

韩观昌 李连诗 编著

小型无缝钢管生产

XIAOXING WUFENG
GANGGUAN SHENGCHAN

下

冶金工业出版社

小型无缝钢管生产

下 册

韩观昌 李连诗 编著

冶金工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

小型无缝钢管生产 下册/韩观昌,李连诗编著. —北京:冶金工业出版社,1990. 8(1999 重印)

ISBN 7-5024-0689-1

I. 小… I. ①韩… ②李… II. 无缝钢管-轧制 IV. TG335.7

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第 05177 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

北京东茶坞印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1990 年 8 月第 1 版,1999 年 5 月第 4 次印刷

850mm×1168mm 1/32;15.125 印张;398 千字;474 页;6001~8000 册

30.00 元

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

下 册 目 录

第二篇 冷拔冷轧钢管生产

第十章 冷拔冷轧钢管生产的工艺过程主要设备 及车间平面布置	3
第一节 生产工艺过程	3
第二节 拔管机	12
一、拔管方式及拔管机的分类	12
二、链式拔管机	15
三、非链传动的拔管机	45
四、半连续和连续拔管机	50
第三节 冷轧管机	56
一、冷轧管机的分类、技术性能、组成和布置	56
二、二辊式冷轧管机的主要装置和机构	64
三、多辊式冷轧管机的工作机架	89
四、其他冷轧管机	89
第四节 冷拔冷轧钢管车间的平面布置	94
第十一章 冷拔冷轧钢管的基本原理	98
第一节 冷拔钢管的基本原理	98
一、无芯棒拔管过程	102
二、短芯棒拔管过程	128
三、长芯棒拔管过程	134
四、游动芯棒拔管过程	137
五、其他拔管方法	141
六、拔制力	152
第二节 冷轧钢管的基本原理	155
一、轧管过程	155
二、冷轧钢管时金属的变形和应力状态	159
三、瞬时变形区的结构及其参数	162

四、轧制过程中的滑移及轴向力	169
五、金属作用在轧辊上的压力	173
六、多辊式冷轧管机杠杆系统的调整	174
第十二章 钢管酸洗	178
第一节 碳钢和低合金钢管的酸洗	181
一、硫酸和盐酸酸洗的原理及特点	181
二、酸洗的工艺流程	183
三、酸洗溶液的使用制度	185
四、酸洗溶液的配制和调整	185
五、影响酸洗速度的主要因素	187
六、酸洗缺陷	190
七、酸洗缓蚀剂	192
八、酸洗液的检验	193
九、酸洗设备	193
第二节 高合金钢管的酸洗	198
一、酸法酸洗	199
二、碱酸复合洗	201
第十三章 钢管的润滑	204
第一节 摩擦和润滑的基本概念	204
一、摩擦的起因和类型	204
二、摩擦引起的后果	209
三、润滑的作用	209
四、对润滑的要求	212
第二节 磷酸盐处理加皂化的润滑方式	213
一、磷酸盐处理的原理	214
二、磷化液各成分的配比和调整	217
三、磷化过程的质量分析	219
四、皂化和去磷	226
第三节 化学镀铜加皂化或其他工艺润滑的润滑方式	227
一、化学镀铜的原理及工艺	227
二、镀铜后钢管的工艺润滑和去铜	230
第四节 草酸盐处理加皂化的润滑方式	231
一、草酸盐处理的原理	232

二、草化后的皂化	232
第五节 不锈钢钢管的牛油石灰润滑	233
第十四章 钢管的热处理	236
第一节 钢管热处理的目的和方法	236
第二节 热处理设备	239
一、室状热处理炉	239
二、辊底式连续热处理炉	240
三、分段式快速热处理炉	242
四、电接触加热的热处理装置	245
五、管式光亮淬火炉	247
六、电加热真空热处理炉	247
第三节 热处理工艺制度	248
第四节 钢管热处理的主要缺陷	252
第十五章 工艺程序表的编制	255
第一节 变形规程的设计和计算	256
一、冷加工方式的配置	256
二、管料尺寸的选择	261
三、道次变形量的选择和变形道次的确定	264
第二节 辅助工序的确定	270
第三节 金属消耗系数、投料量和加工长度的计算	271
第四节 编制工艺程序表的方法、步骤及算例	274
一、拔制表的编制	274
二、轧制表的编制	274
第十六章 冷拔模具的设计、制作、选配和安装	283
第一节 拔管模的设计	283
一、锥形拔管模	283
二、弧形拔管模	285
第二节 短芯棒的设计	290
一、圆柱形芯棒的设计	290
二、圆锥形芯棒的设计	292
第三节 模具的制作	294
一、制造模具用的材料	294
二、钢质拔管模的制作	295

三、钢质芯棒的制作	298
四、硬质合金拔管模模坯的镶套和模孔的加工	300
第四节 模具的选配和安装	304
一、模具的选配	304
二、拔制前模具的安装	307
第十七章 冷轧钢管工具的孔型设计与制作以及冷轧	
管机的操作	311
第一节 冷轧钢管工具的孔型设计	311
一、二辊式冷轧管机工具孔型设计	311
二、二辊式冷轧管机工具孔型设计算例	326
三、多辊式冷轧管机工具孔型设计	334
第二节 变形工具的加工制作	341
第三节 冷轧管机的操作	348
一、冷轧管机的工作制度	348
二、冷轧管机开动前的检查和调整	350
三、冷轧时轧机的故障及其消除	359
第十八章 冷拔冷轧时钢管的质量和产量	365
第一节 冷拔时钢管的缺陷、产生原因及消除办法	365
第二节 冷轧时钢管的缺陷、产生原因及消除办法	369
第三节 产量计算	376
一、拔管机的小时产量	376
二、冷轧管机的小时产量	380
三、拔管机和冷轧管机的平均小时产量	382
四、拔管机和冷轧管机的负荷率	383
第十九章 几种专用钢管的冷加工生产工艺	384
第一节 冷拔高压锅炉钢管生产	384
一、锅炉钢管用钢	384
二、品种及技术条件	387
三、冷拔高压锅炉钢管的生产工艺	390
第二节 冷拔轴承钢管生产	397
一、轴承钢管用钢	397
二、轴承钢管的技术条件	399
三、冷拔GCr15轴承钢管的生产工艺	400

第三节 不锈钢管的冷拔和冷轧生产	412
一、不锈钢概述	412
二、1Cr18Ni9Ti奥氏体不锈钢冷加工工艺特性	415
三、1Cr18Ni9Ti不锈钢管的冷加工生产工艺	418
四、奥氏体类型以外其他类型不锈钢管冷加工生产工艺特点	428
第四节 异形钢管的拔制	429
一、等壁异形钢管的拔制	429
二、不等壁异形钢管的拔制	445
三、用滚动模拔制异形管	450
第二十章 钢管的无损探伤	454
第一节 超声波探伤	455
一、基本原理	455
二、探伤方法	458
三、钢管的超声波探伤	461
第二节 磁粉探伤	465
一、基本原理	465
二、磁化方法	467
三、磁粉探伤操作	468
第三节 涡流探伤	469
一、基本原理	469
二、涡流的检测及探伤操作	470
第四节 渗透探伤	471
参考文献	473

第二篇 冷拔冷轧 钢管生产

第十章 冷拔冷轧钢管生产的工艺

过程主要设备及车间平面布置^(1~10)

第一节 生产工艺过程

冷拔冷轧是继热轧、挤压或焊接之后对管材进行二次加工以生产精密、薄壁和高机械性能产品的主要方法。其优点是：可生产小口径管、毛细管、薄壁管和极薄管，目前，用冷轧的方法可生产外径为4~450毫米、壁厚为0.2~35毫米的管材，用冷拔的方法可生产外径为0.2~242毫米、壁厚为0.015~24毫米的钢管和外径 ≤ 768 毫米的有色金属管，而热轧钢管的最小外径为20毫米，最小壁厚为2毫米；产品尺寸精度和表面光洁度高；冷加工和相应的热处理相结合可使管材获得高的综合机械性能，除了一般圆管以外还可以生产多种异形管和变断面管

冷拔和冷轧可单独或同时用于生产。冷轧的主要优点是：道次变形量大，可充分利用金属的塑性以减少加工道次，缩短生产周期；金属消耗小。它的缺点是：工具的设计和制造较困难；变更产品规格不太方便、生产上灵活性较差；设备结构及维护较复杂；生产率较低。冷拔的主要优点是：生产率较高；生产中变更产品规格比较方便，灵活性大；工具的设计和制作以及设备的结构和维护比较简单。它的主要缺点是：道次变形量小，因此加工道次多，生产周期长；金属消耗大。在生产车间中同时配置冷拔机和冷轧机有利于发挥它们各自的优点，特别是在生产不锈钢管等高合金钢管的情况下，更为合理和必要。

碳素钢管和低合金钢管冷拔生产的一般工艺流程如图10-1。

冷轧钢管生产的一般工艺流程见图10-2。

每一种产品的具体生产工艺流程，根据钢种、产品要求、车间的设备及生产条件决定。

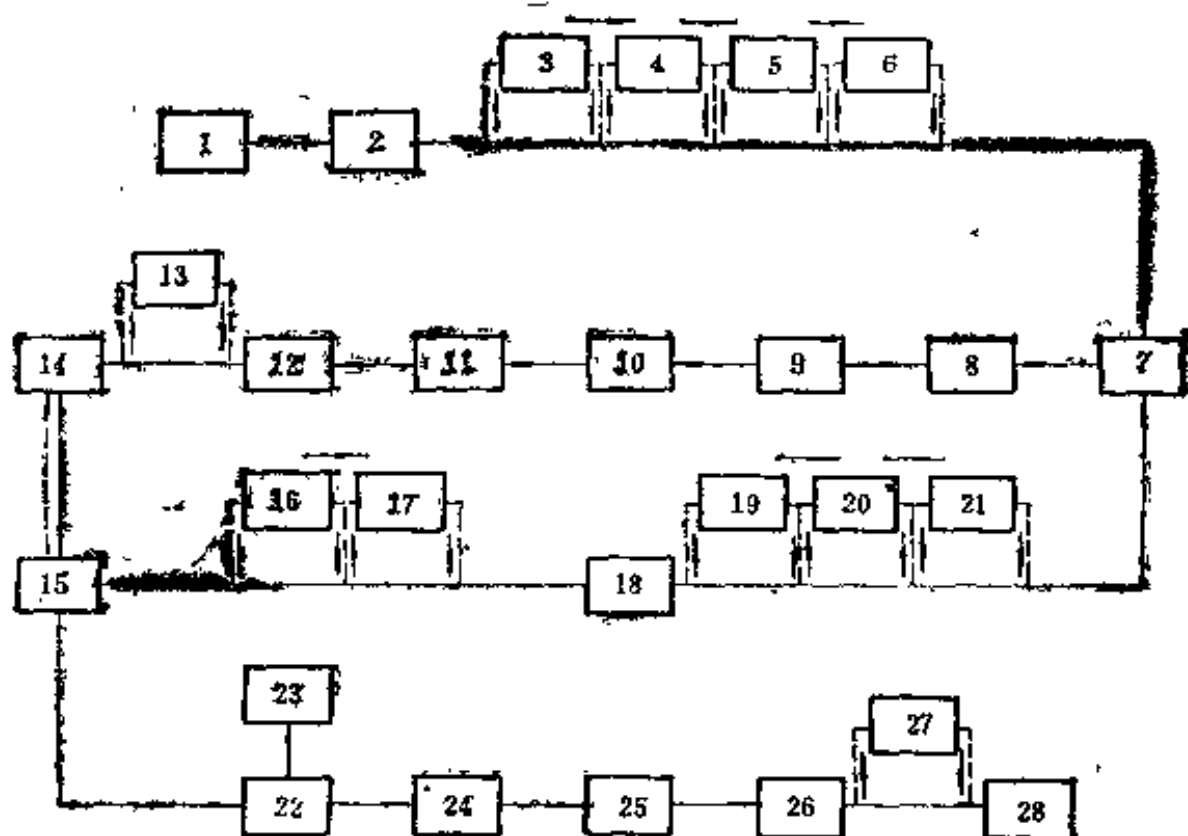


图 10-1 冷拔钢管生产的一般工艺流程

1—管料；2—检查；3—修磨；4—切断；5—锤头；6—管料热处理；
7—打捆；8—酸洗；9—清洗和冲洗；10—中和；11—磷化、草酸
盐处理或镀铜；12—清洗；13—烘干；14—皂化；15—拉拔；16—
切断（头）；17—锤头；18—中间热处理；19—矫直；20—切断
（头）；21—锤头；22—成品热处理；23—取样；24—矫直；25—切
头尾；26—检查；27—涂油；28—入库

冷拔冷轧钢管生产的基本特点是，管料在冷变形前和累积冷变形量达到了一定程度后的在制品为了消除加工硬化及其他需要在继续冷变形之前都要进行一系列准备工作，工序比较多；管料从投产到加工成成品通常要经过多次冷变形，而且，整个生产过程往往包含多个由准备工序和变形工序组成的生产循环，循环往复，生产周期长，金属消耗大；设备多为单体布置，一般是间断性生产。

对管料必须进行仔细检查，其表面不得存在有害的缺陷如折皱、裂缝、结疤、划道等；尺寸应符合一定要求，如使用热轧成品管，其外径公差约为 $\pm 1 \sim 1.5\%$ ，壁厚公差约为 $-(10 \sim 15)\%$ ，

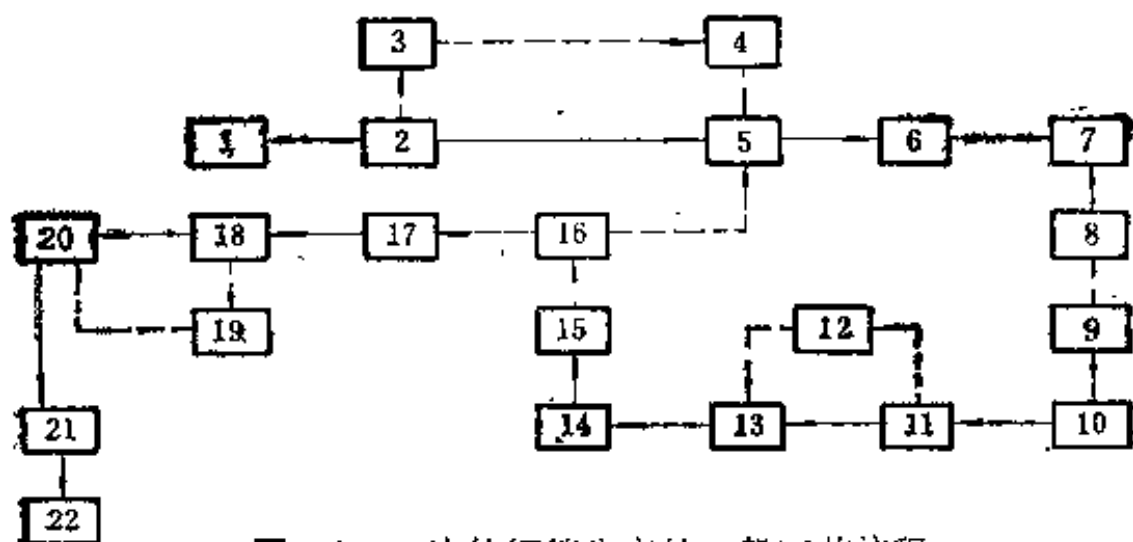


图 10-2 冷轧钢管生产的一般工艺流程

1—管料；2—检查；3—切头、切断；4—管料热处理；5—打捆；
6—酸洗；7—清洗；8—冲洗；9—中和；10—烘干；11—检查；
12—修磨；13—润滑处理；14—冷轧；15—热处理；16—初矫；
17—终矫；18—切头尾；19—水压试验；20—检查；21—涂油；22—
入库

+ (10~12.5)%；弯曲度一般不大于 1.5~2 毫米/米；端部应平直，且不得有毛刺；如有毛刺要去除，这对冷轧管尤其重要。此外，管料的化学成分和力学性能均应符合技术条件中的规定。

一般，对管料的表面应先酸洗再进行检查。对轻微的缺陷可进行修磨。修磨外表面缺陷可使用剥皮车床、无心磨床、手提或吊挂式砂轮机。内表面缺陷的修磨可在内圆镗床等修磨机上进行。由于在冷变形过程中表面缺陷会不断扩大，而且随着生产中管径的减小，内表面缺陷的修磨更加困难，因此，管料的表面缺陷应尽可能地消除在冷加工之前。

如果所提供的管料太长，投产前要进行切断。如管料尾端呈马蹄形或者管端的不圆度过大而影响穿芯棒时，应进行端部切除。

供冷拔的管料要进行锤头，使锤头端能伸过拉拔模的模孔被拔管小车夹住而进行拉拔。

目前76机组生产的管料一般都利用热轧后的余热进行锤头。在不能利用余热的情况下，锤头前，管端的一端在缝式炉中加

热，加热长度一般比锤头端的长度多出 100 毫米左右，加热温度为 $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，根据钢种和管壁厚度而定。钢的含碳量较低、管壁较厚时，采用较高的加热温度。加热时要防止产生过热或过烧，否则拉拔时容易断头。

对锤头的要求是：

1) 锤头端的管壁应紧密地结合在一起，使锤头有尽可能小的直径，保证锤一次头可以拉拔 2~3 个道次；

2) 锤头端的长度（包括锤实部分和过渡区）在保证拔管小车能正常夹住管头的前提下应尽量缩短，以降低金属消耗。有的资料指出，冷拔钢管生产中，总的金属损耗量为产量的 7~33.1%，而因切除锤头部分而造成的损失约占其中的 20~40%，由此可知，减小锤头部分的长度对节约金属具有重要意义。锤头部分的具体长度根据钢管尺寸及中心架的厚度确定；

3) 锤实端与管体之间的过渡应圆滑，不允许有尖锐和凸出的楞子，以避免在拉拔过程中损伤拔管模；

4) 锤头端不允许有扭转现象，锤头时要防止管壁局部凹陷过深；

5) 锤头端的中心线应和钢管的轴线相一致。

为了防止氧化铁皮积存在钢管内而影响酸洗效率，最好在锤头前用压缩空气把氧化铁皮吹净。为了便于排气使酸洗液能在钢管内很好地流动，保证内表面的酸洗和润滑质量，锤头时有时在其过渡部分冲一个直径为 5~8 毫米的小孔。

对于冷拔中间管，当原锤头直径已大于下一道次模孔的直径时，应重复锤头，即不切头而把原来的头部再锤一次，称重锤；或者切掉原来锤的头另锤新头。重锤的次数不能多，因为已锤实的管头再继续锤小比较困难；另外，经过短芯棒拉拔，在锤头部分后的一段管子上管壁比较厚，对以后的拉拔过程不利，因此需把原来的头切掉另锤新头。中间切断后，没有锤过头的后半根钢管也需要锤新的头。

中间管的锤头在热处理前进行较好，因这时钢管的弯曲度较

小操作较方便。但对于拉拔后开裂倾向较大的空拔管最好在热处理后锤头。

一般对于壁厚小于2毫米、直径小于30毫米的钢管也可以进行冷锤头或冷轧头。

锤头设备主要有空气锤、回转锻造机、压力机和轧尖机。

空气锤锤头速度快，操作较容易，锤头部分圆而紧密，生产中特别是在钢管直径较大的情况下有广泛的应用。图10-3为用空气锤锤头时的一种成形过程。



图 10-3 空气锤锤头时头部的成形

回转锻造机（图10-4）由机座和主轴等组成。主轴的前端能在机座的壳体中自由回转，其端面上切有凹槽，槽中装着锻模和辊子。机座壳体内侧与主轴之间装着位置固定面可自由转动的辊子。当主轴回转时，在主轴上的辊子不与壳体內的辊子接触时

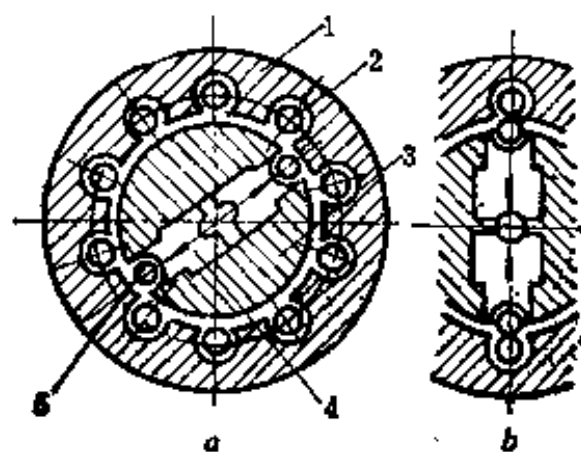


图 10-4 回转锻造机及其锤头过程示意图

a—不锤头状态；b—锤头状态

1—机座壳体；2—辊子；3—主轴；4—锻模；5—辊子

的情况下，由于离心力的作用，两个锻模分开；在主轴上的辊子与壳体內的辊子相接触时，两个锻模合上。回转锻造机就是利用

锻模的忽开忽闭来对钢管进行锤头的。

回转锻造机主轴的转速在每分钟200~300转以上，并在机座壳体内装有多個錘子，錘头时变形程度也比较大，所以生产率高，錘的头形状和尺寸比较规整，操作方便。回转锻造机的缺点是锻模和錘子容易磨损，工作时的噪音较大。

生产中也采用压力机来錘头。图10-5为国外使用于热錘头的八压模液压机。一种用于冷錘头的液压装置及其錘头过程见图10-6。

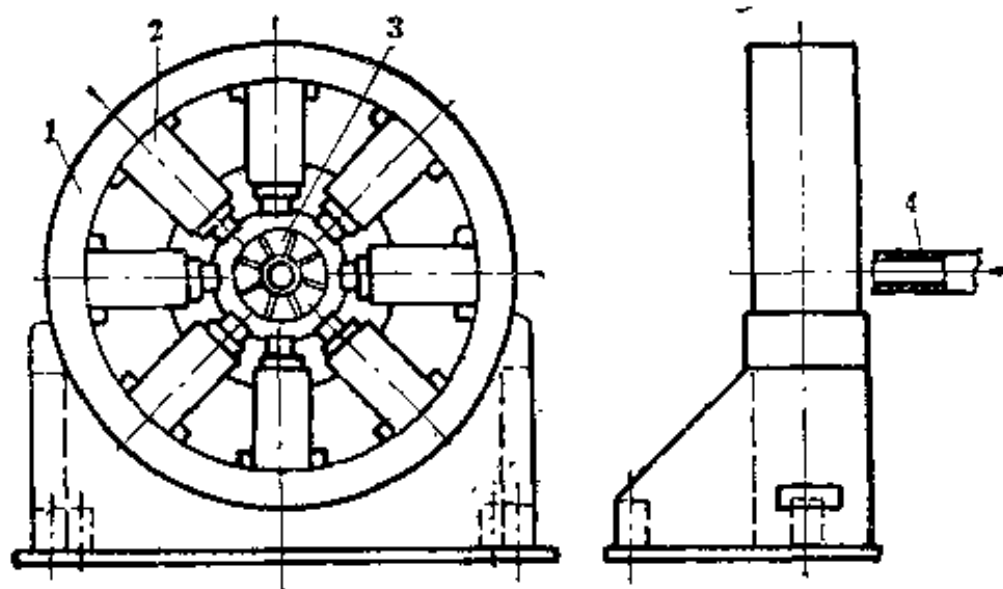


图 10-5 热錘头液压机

1—机架；2—液压缸；3—压模；4—罐式炉

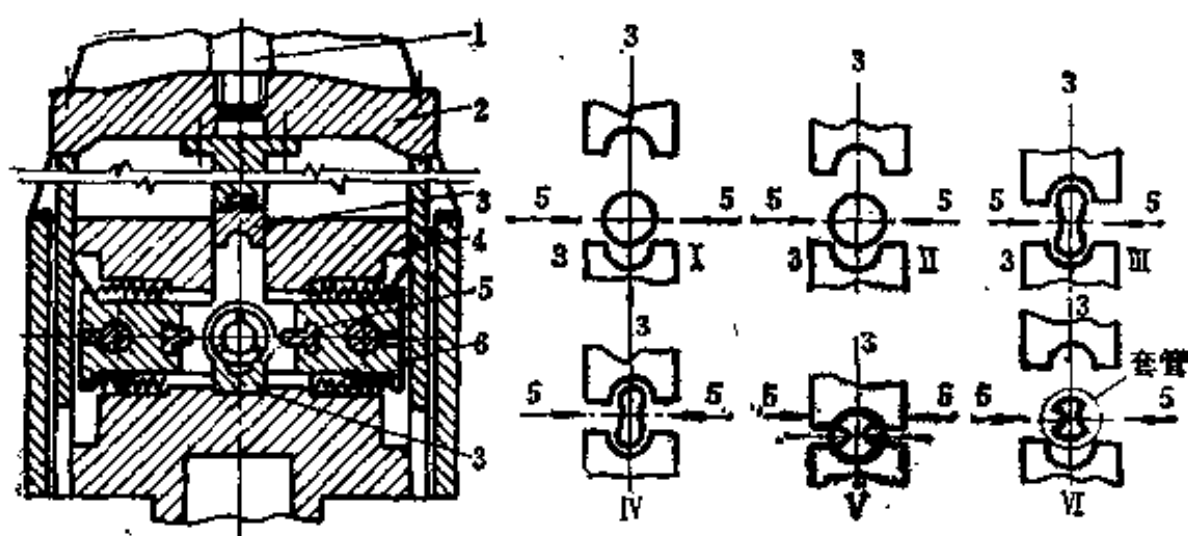


图 10-6 冷錘头的液压装置

1—液压缸；2—横梁；3—压模；4—靠模；5—压模；6—滑块

I~VI—操作过程

表 10-1 锤头部分的尺寸及主要锤头设备

直径, 毫米		锤头部分长度 毫米	主要锤头设备
钢管	锤头部分		
5~8	4~5	90~100	回转锻造机
12	6~7	90~100	回转锻造机
16	9~10	90~100	回转锻造机
22	12~13	100~110	回转锻造机
23~30	15	100~110	回转锻造机, 轧头机
31~40	20	120~140	回转锻造机, 轧头机
41~50	25	130~150	750千牛空气锤, 轧头机
51~60	35	130~150	1500千牛空气锤, 轧头机
61~80	45	140~160	1500千牛空气锤, 轧头机
81~90	50	150~160	1500千牛空气锤
>90	70	200~250	3000千牛空气锤

轧头机是轧辊上刻有变断面孔型的二辊轧机, 轧头时管端在孔型中进行周期性的反复轧制直至达到所需的尺寸。

不同直径的钢管, 其锤头部分的尺寸及所使用的主要锤头设备见表10-1。

目前在拔管生产中也在研究应用推料器把管端强制地推过模孔直接制成适于拉拔的管头的新技术。图10-7为一种用推料器使管头成形方法的示意图。采用这种技术可以去掉单独放置的锤头

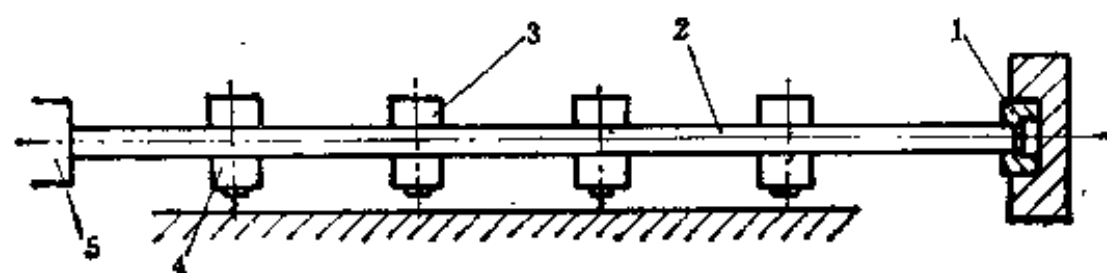


图 10-7 一种用推料器使管头成形方法的示意图

1—模子; 2—管子; 3—活动夹具; 4—固定夹具; 5—支架

设备; 减少运输作业; 提高管头强度; 降低金属消耗, 据研究约可减少二分之一; 另外, 还有利于实现拉拔过程的机械化和自动化并为建立拔管生产流水作业创造了条件。

推料器可布置在拔管模前的拉拔中心线上或平行地布置在拔管机一侧（图10-8）。前者适用于拔管机小车的返回速度小或者在使用高速、有效长度大的现代化拔管机的情况下；后者多用在拔管机有效长度不大的情况下，以避免因制备管头及装芯棒等操作的时间超过拔管小车返回的时间而影响产量。

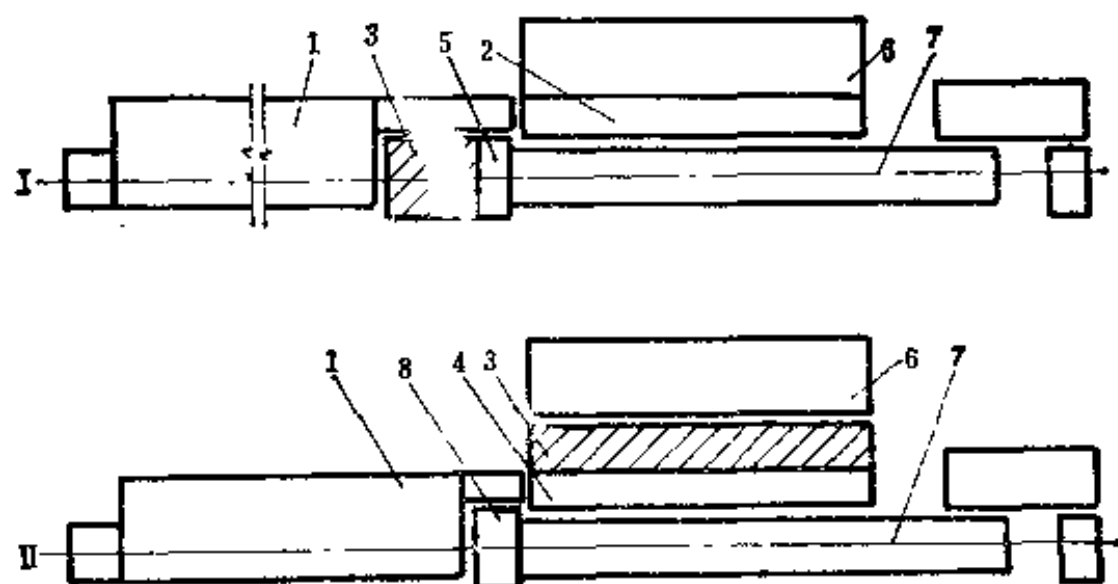


图 10-8 推料器在拔管机上的布置

I—沿拉拔中心线布置；II—平行布置

1—管子和芯棒的传送机构；2、4—供管机构；3—推料器；5、8—模座；6—受料分料装置；7—拉拔中心线

推料器根据其推料机构可分为三种类型：带卡紧板牙的；带后活动支架的及带后固定支架与侧夹紧装置的。推料机构通常用液压传动。

图10-9为用在500千牛三线拔管机上的推料器。

推料器推料时的推力大于同变形量的无芯棒拉拔的拉拔力，两者有如下的关系：

$$P_n = P_B [1 + 0.04\delta(\sigma_s + 9.4)]$$

式中 P_n ——推力；

P_B ——无芯棒拉拔时的拉拔力；

δ ——绝对压下量；

σ_s ——管子材料的屈服限。

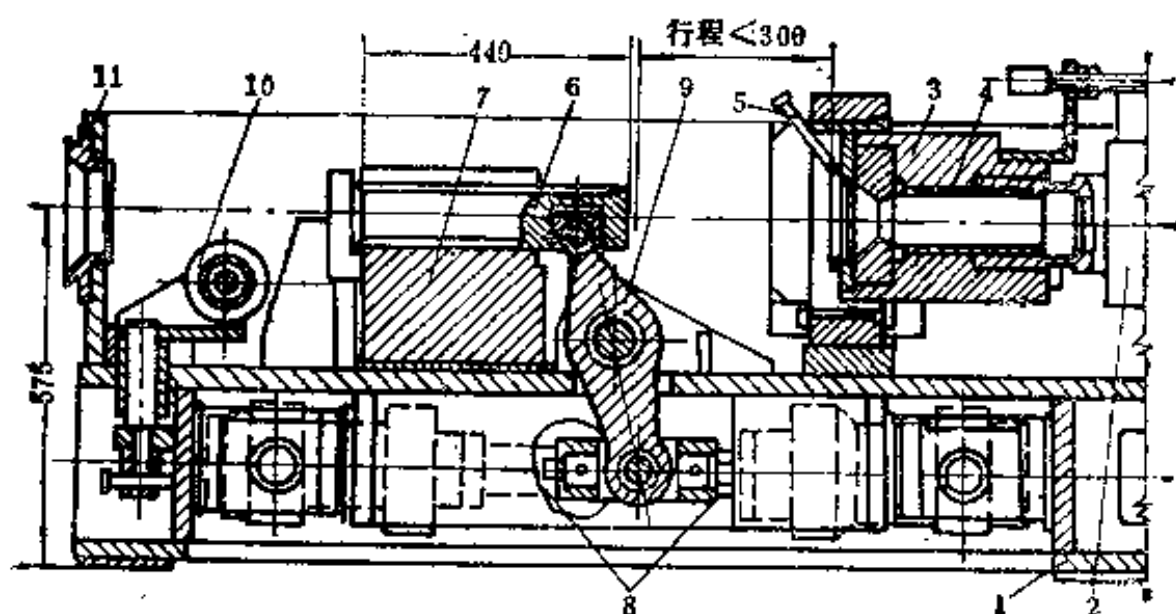


图 10-9 500千牛拔管机的液压推料器

1—机架；2—液压缸；3—模架(装在液压缸2的活塞杆端部)；4—套管；5—工艺润滑装置；6—楔形板牙；7—底座；8—液压缸；9—杠杆；10—导轮；11—喇叭口

用推料器使管头成形，生产率较锤头机锤头低，而且成形时的直径压缩率一般不能大于20~25%，因为过大的变形程度会使管端截面丧失稳定性。因此，一般认为推料器仅适于为短芯棒拔管或截面稳定性较大的中厚壁管子的无芯棒拉拔制备管头。对于薄壁管要使用特殊的方法和装置。

有的管料要经过热处理进行软化。经过一定冷变形的中间管要进行中间热处理以消除加工硬化。

管料和经过中间热处理的钢管都要进行酸洗、润滑以及与它们有关的清洗、冲洗、中和等工序，其目的是清除氧化铁皮、减小冷变形时的摩擦，以降低拉拔力或轧制力，增加道次变形量提高生产率，保证产品表面质量和延长工具使用寿命。

在生产过程中，如果中间管的长度超过了冷拔机、冷轧机或酸洗槽、润滑槽及热处理炉等设备的有效长度，要进行中间切断。中间切断和中间锤头一样，也最好安排在热处理之前，这样不仅钢管弯曲度小容易操作，而且由于钢管强度高，锯切时不易

出现压扁和过大的毛刺。中间切断目前多使用摩擦锯、圆盘锯和砂轮锯。使用摩擦锯时，钢管由于管壁摩擦发热熔化而被锯断，生产率高，但噪声大、切口部分毛刺多。用圆盘锯锯断生产率也比较高，且噪声较小，但被锯切的钢管弯曲度要小。砂轮锯适于切断薄壁管，效率高，但费用较大。

经过热处理的管料或中间管，若产生较大的弯曲度，应进行矫直，以利于酸洗前的打捆和冷拔冷轧时芯棒杆的插入并把芯棒保持在正确位置。矫直接其作用可分为初矫和终矫。初矫一般在凸轮式矫直机上进行，矫直大于30~40毫米/米的弯曲度。终矫一般在多辊斜辊式矫直机上进行，终矫后弯曲度可减小到0.75~1.5毫米/米。生产中可根据需要只进行初矫或依次进行初矫和终矫。

经过上述一系列的准备工序后管料或中间管才能送去进行冷拔或冷轧。

关于热处理、酸洗、润滑、冷拔、冷轧的原理、工艺及设备分别在有关章节中阐述。

在最后一个冷变形道次以后，钢管进行成品精整和处理，其主要内容包括成品热处理、矫直、切管、表面质量和尺寸精度检查、物理及工艺性能检验、无损探伤等，有的产品还要经过钝化和涂油。最后进行包装入库。

第二节 拔管机

一、拔管方式及拔管机的分类

主要的拔管方式有4种：1）无芯棒拔制（拔制时只用拔管模不用芯棒）；2）短芯棒拔制（拔制时用拔管模及轴向固定的长度不大的短芯棒）；3）长芯棒拔制（拔制时用拔管模及随所拔钢管一起移动的长度略大于管子长度的长芯棒）和4）游动芯棒拔制（拔制时用拔管模及不作轴向固定面能自行稳定地保持在变形区中的短芯棒），见图10-10。其中前两种在生产上应用得尤其普遍；无芯棒拔制用来减小钢管的外径；其他三种带芯棒的

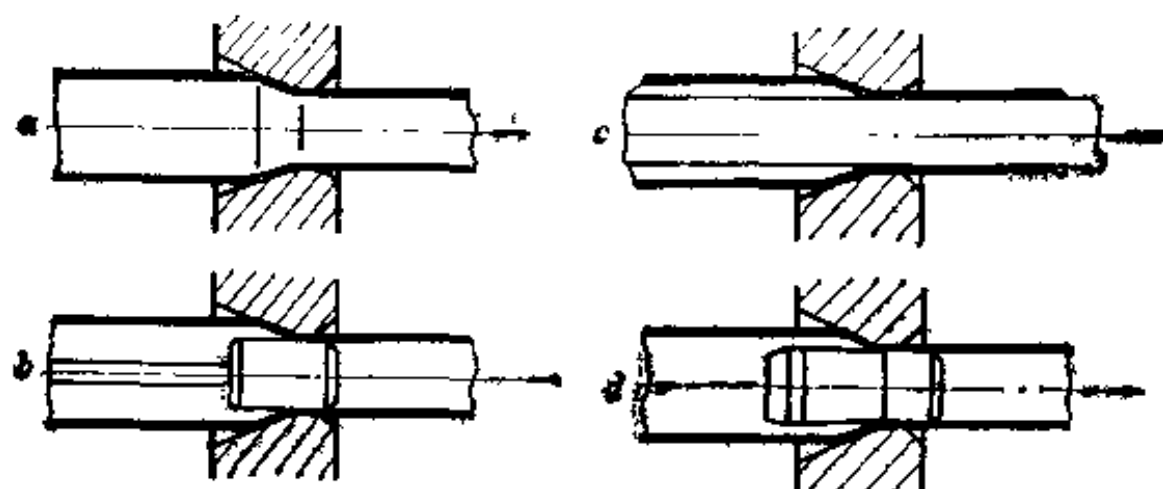


图 10-10 主要的拔管方式

a—无芯棒拔制；b—短芯棒拔制；c—长芯棒拔制；d—游动芯棒拔制

拔制主要用来压缩钢管的壁厚，同时也有一定的减径变形。

除用来减径或同时减径减壁外，还可利用拉拔机进行扩管，图10-11为两种扩管法。

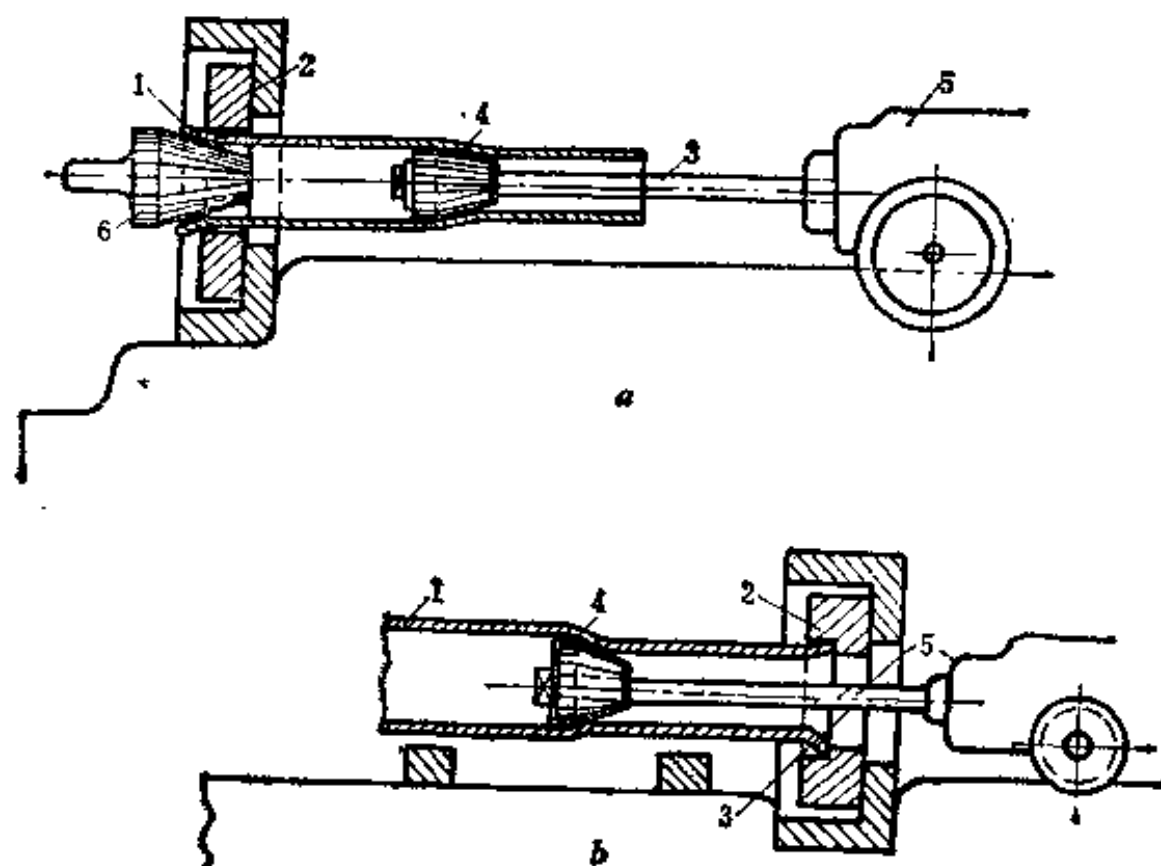


图 10-11 扩管法

a—牵引扩管法；b—压缩扩管法

1—钢管；2—挡板；3—顶杆；4—芯棒；5—拔管小车；6—顶塞

扩管法用于生产大口径薄壁管；对内孔进行定径以获得高的内孔精度；校正由于内径和外径过小而造成的超差，也可用来制造双金属管。

牵引扩管法（图 10-11，*a*）在扩管时钢管不易发生弯曲，故可扩制薄壁管，而且可以达到的扩径量也比较大。该法通常用来扩制直径 $\geq 20\sim 50$ 毫米、壁厚 $\leq 1.5\sim 2$ 毫米的钢管，每道次的扩径量在 $5\sim 10$ 毫米之间。这种方法的缺点是，扩管前必须先把钢管之一端卷边，金属损耗较大。

压缩扩管法（图 10-11，*b*）用来扩制壁较厚（ ≥ 4 毫米）及长度较小（ $\leq 3\sim 4$ 米）的钢管。扩制更薄和更长的钢管容易产生纵向弯曲和沿圆周管壁的不均匀变形。这种扩管法每道次的扩径量为 $4\sim 5$ 毫米。

拔管机可按拔制方式、拉拔力、传动方式和作业方式分类。

根据拔管方式，拔管机可分为短芯棒（无芯棒）拔管机和长芯棒拔管机。扩管机和短芯棒拔管机类似，只是在某些结构上有些变更。

由于拉拔不同钢种、不同规格的钢管以及采用不同变形量时，需要能承受不同拉拔力的拔管机，所以对同一种类型的拔管机还以拉拔力的大小进行分类。按拉拔力的大小，拔管机有 5、10、30、50、80、100、150、200、300、450、650、1200 和 1500 千牛等各种规格。目前最大的拔管机的能力为 5000 千牛。

按传动方式分，拔管机有链式、齿条式、丝杠式、钢绳传动、液压传动、卷筒式等各种类型，而以链式拔管机应用最为广泛。

按作业方式分类，拔管机可分为间歇式、半连续式和连续式三种。所谓间歇式拔管机是指作业时拔完前一根钢管后必须等拔管小车返回才能继续拔制后一根钢管，拔管过程间断进行的拔管机。半连续拔管机和连续拔管机则可以进行半连续作业和连续作业。

下面分别对各种类型的拔管机作专门介绍。



0241.943

二、链式拔管机

1. 种类

链式拔管机是指拔管时夹住管头牵引钢管的拔管小车是由链轮链条系统传动的拔管机。它有三种类型，即单链单机（图 10-12）、单链双机和双链单机（图 10-13）。单链单机拔管机的主传

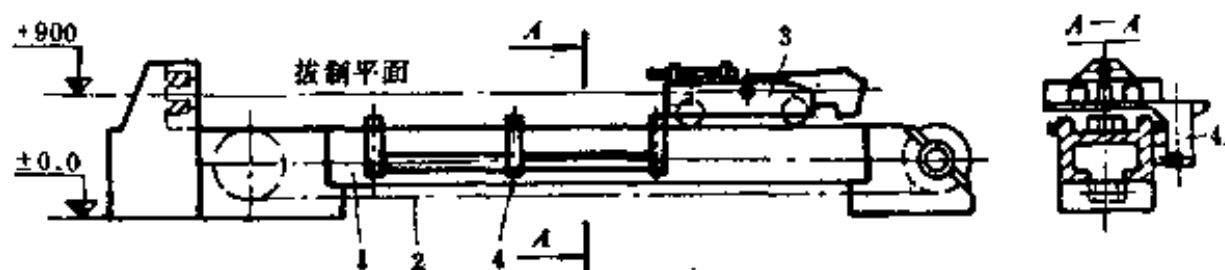


图 10-12 三线单链单机拔管机的工作机列

1—带模座的工作台；2—拔管链；3—拔管小车；4—抛管机构

动只传动一根链条带动一台拔管小车。单链双机拔管机的主传动同时传动两根链条，每根链条分别带动一台拔管小车。双链单机拔管机指主传动同时传动两根链条，而两根链条只共同带动一台拔管小车的拔管机。双链拔管机的拔管小车有的通过挂钩由连续运转的拔管链传动；有的固接在两根链条上，链条作往复运动不

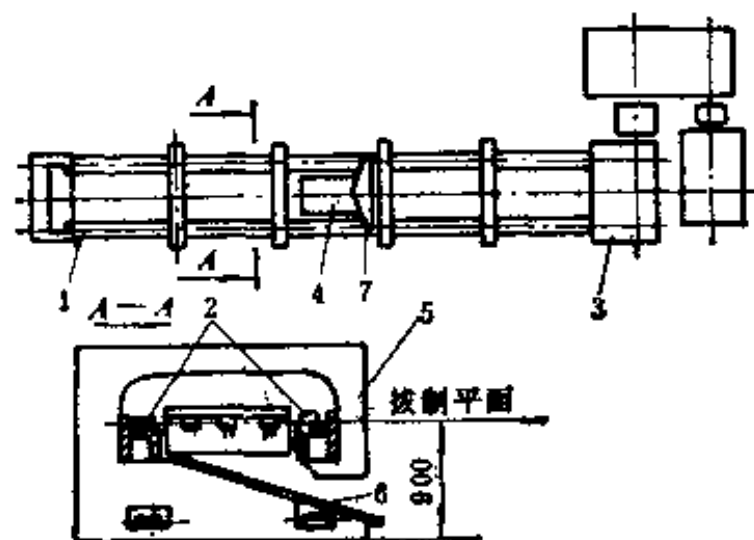


图 10-13 三线双链拔管机的工作机列

1—带模座的工作台；2—拔管链；3—主传动；4—拔管小车；5—T形架；6—斜台架；7—横梁

断带动拔管小车前进和返回（图10-14）。

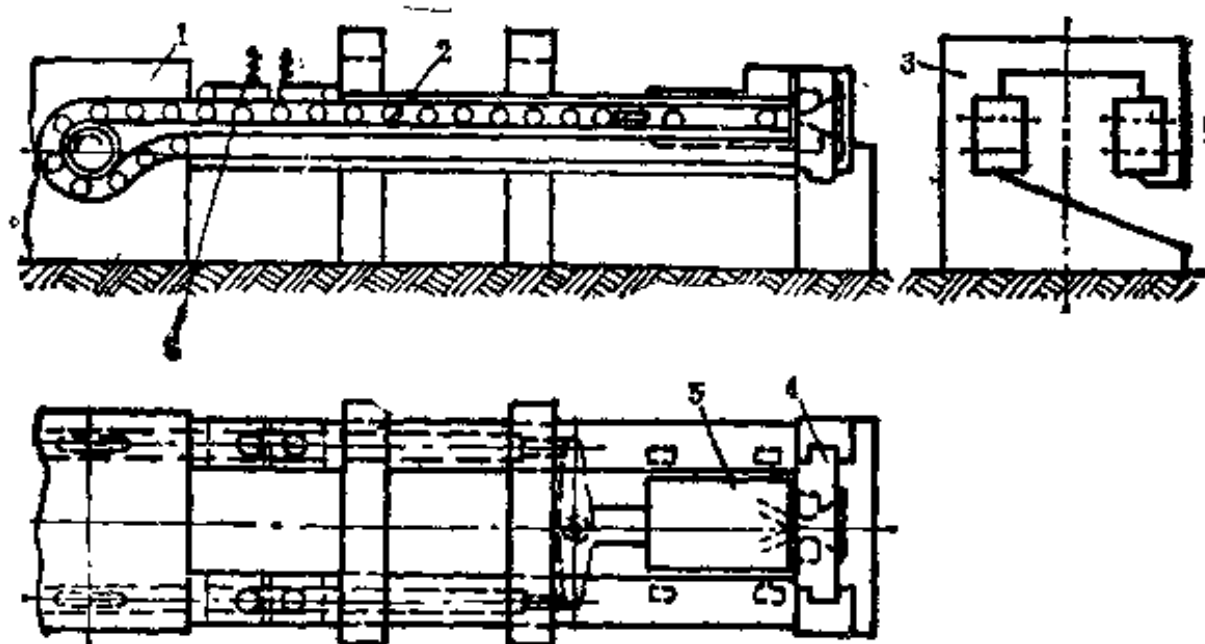


图 10-14 链条往复运动的双链拔管机

1—主传动；2—拔管链；3—I形架；4—模座；5—拔管小车；6—闭锁装置

目前，双链拔管机得到了较大的发展和应用。

和单链拔管机相比，双链拔管机的主要优点是：

1) 拉拔后的钢管能直接沿着置于两根拔管链之间的斜台架落入收集槽，钢管收集容易。这样可缩短辅助操作时间和拉拔节奏。一般拉拔节奏可比单链拔管机减少3~5%；

2) 拉拔中心线与拔管链的拉力作用线能较好地重合，拉拔过程平稳，有利于拔制长管和提高拉拔速度，防止管子弯曲；

3) 拔管链的尺寸规格少，加工制造及安装维护比较容易。

2. 设备组成及技术性能

图10-15、图10-16、分别为无芯棒拔管机和短芯棒拔管机的设备组成图。

由图可知，无芯棒拔管机一般由模座（中心架）、工作台（前机座）、拔管链、主传动、拔管小车、拔管小车返回机构、受料分料装置、成品收集槽、后机座等几部分组成。对短芯棒拔管机除有和无芯棒拔管机相同的上述装置和机构外，尚有芯棒杆装入钢管内的机构以及移动、固定、转换芯棒杆的机构。拔管机的各

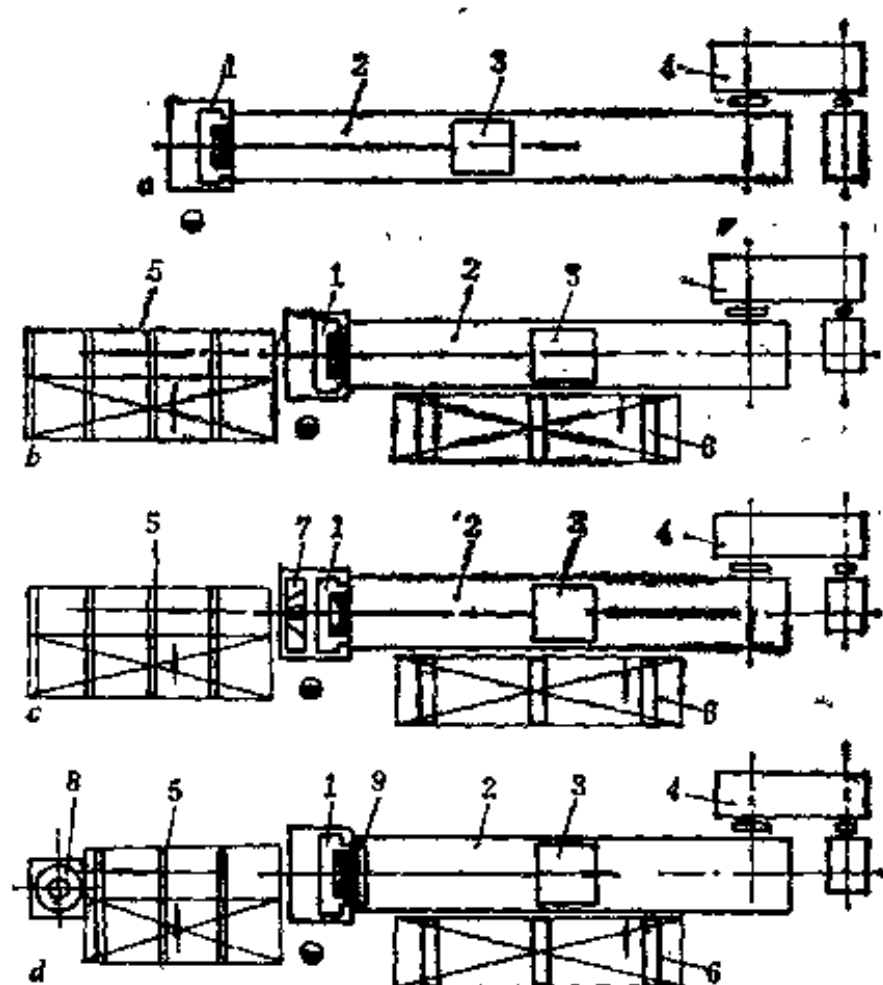


图 10-15 无芯棒拔管机设备组成

a—人工装卸管的拔管机；b—机械化的具有受料分料装置及成品收集槽的拔管机；c—使用推料器制备管头的拔管机；d—使用盘卷料的拔管机

1—模座；2—工作台；3—拔管小车；4—主传动；5—受料分料装置；6—成品收集槽；7—推料器；8—放料卷筒；9—剪

主要部分将在以后分别介绍。

现代化的拔管机具有高速(最大拉拔速度为120~150米/分)、多线(≤ 5 线)、长度大(有效长度 $\geq 14 \sim 16$ 米)和机械化自动化程度高的特点。

我国冷拔管机系列型号见表10-2。新系列拔管机的技术性能见表10-3。一些国外冷拔管机的技术性能见表10-4。

苏联伊尔库茨克重型机器制造厂(ИЗТМ)、全苏冶金机械科学研究所(ВНИИметмаш)和阿尔玛-阿丁重型机器制造厂(АЗТМ)设计制造的拔管机的技术性见表10-5、10-6和10-7。

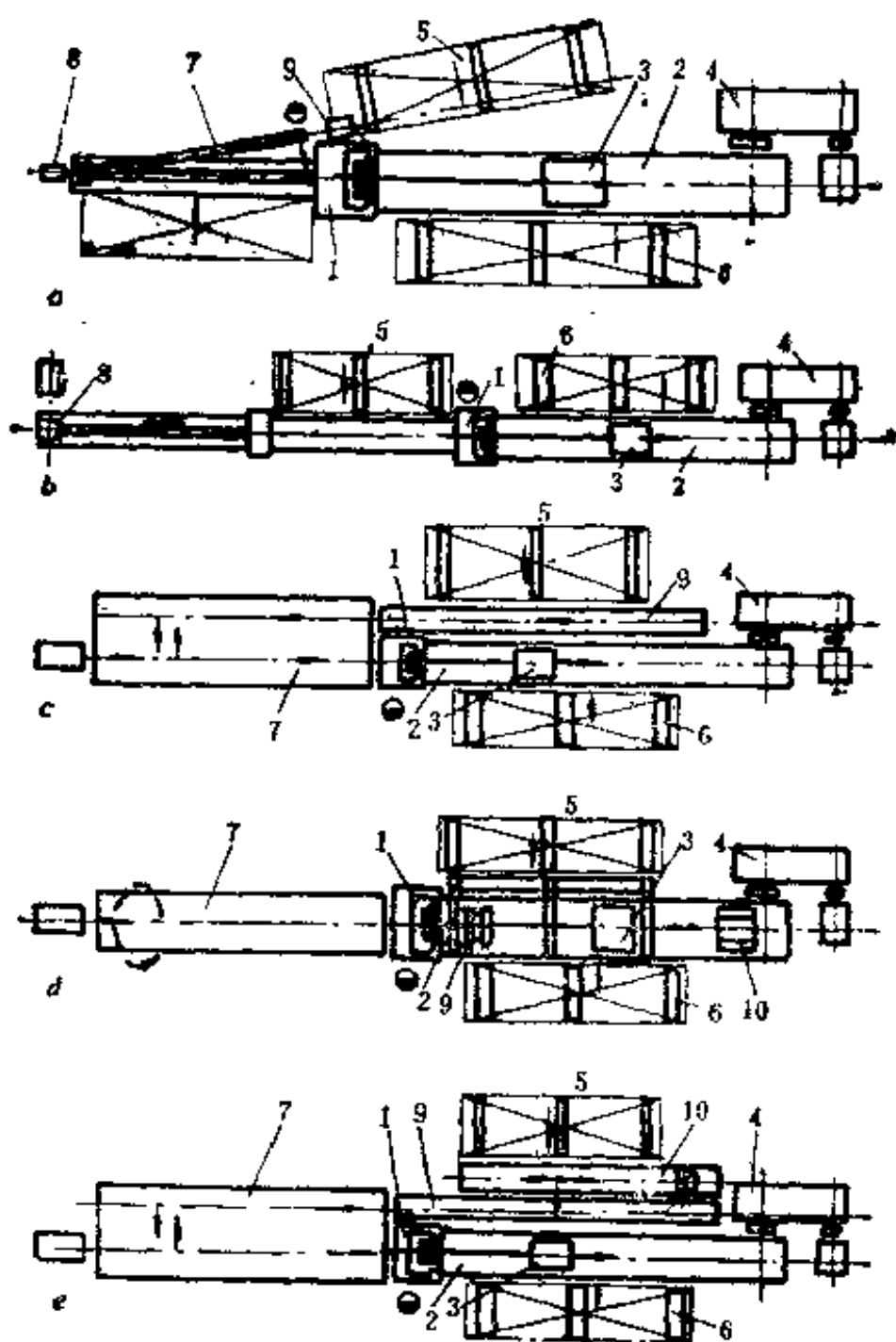


图 10-16 短芯棒拔管机的设备组成

a—装料位置和拔制线成一角度；**b**—芯棒杆的中心线和钢管中心线及拔制线一致；**c**—装料位置和拔制线平行并同在一水平面；**d**—装料位置在拔制线之上且相互平行；**e**—同**c**，且用推料器制备管头
 1—模座；2—工作台；3—拔管小车；4—主传动；5—受料分料装置；6—成品管收集槽；7—转换芯棒杆和钢管的机构；8—芯棒杆移动和固定机构；9—钢管套在芯棒杆上的机构；10—制备管头的机构

按国外的情况，把拉拔力在 750 千牛（重型拔管机）以下的拔管机分为三组：

表 10-2 我国冷拔管机系列型号

制定年份	系 列	型 号	备 注
1963	LB-0.5, LB-1.5, LB-3, LB-5, LB-10, LB-15, LB-20, LB-30, LB-60, LB-100		单链, 直流传动
1974	LB-0.5, LB-1, LB-3, LB-5, LB-10, LB-20, LB-30, LB-50, LB-75, LB-100, LB-150		双链, 直流传动

表 10-3 我国冷拔管机系列主要技术性能

拔管机性能	拔管机能力, 千牛										
	5	10	30	50	100	200	300	500	750	1000	1500
额定拉拔速度, 米/分	40	40	40	40	40	40	40	30	25	20	15
拉拔速度范围, 米/分	3~60	3~60	3~60	3~50	3~50	3~50	3~50	3~40	3~30	3~25	3~20
拔管小车返回速度, 米/分	80	80	80	80	80	80	80	60	60	50	40
成品管最大直径, 毫米	5	10	15	20	40	60	89	125	150	175	200
同时拉拔根数	1~3	1~3	1~3	1~3	1~3	1~3	1~3	1~3	1~3	1~3	1~3
主电动机功率, 千瓦	4.5	9	31	55	100	160	250	2×160	2×200	2×200	2×250
拉拔长度, 米	9	9	9	9	9, 12	9, 12	9, 12	9	9	9	9

表 10-4 国外三线拔管机的技术性能

参 数	基士林(Kieserling)公司 (西德)			森得维盖尔 (Sundviger) 公司 (西德)		阿特纳标准 (Aetna Standard)公司 (美国)		骑士(Chevalier)公司① (法国)			
拉拔力, 千牛	160	320	500	150	300	163	300	454	150	250	600
成品管直径, 毫米	20~60	30~90	40~100	30~100	40~108	20~60	30~90	40~120	20~90	40~100	40~160
拉拔长度, 米	15	15	15	12	12	17	20	18	15	15	15
拉拔计算速度, 米/秒	0.67	0.67	0.57	0.67	0.5	0.75	0.5	0.45	0.75	0.83	0.67
拉拔速度调整范围, 米/秒	0.083 ~1.1	0.17 ~1.1	0.083 ~0.83	0.15~1.33	0.25~0.83	0.17 ~1.33	0.17 ~1.1	0.17 ~0.75	0.25 ~1.5	0.25 ~1.7	0.17 ~1.5
拔管小车返回速度, 米/秒	2	2	1.7	3	2.5	1.5	1.33	1	2	2	2
主传动功率, 千瓦	140②	300②	400②	140	2×250	150	280	400	150	300	450
外形尺寸, 米											
长	38	38	38	40	40	42	48	44	38	38	38
宽	6	6	7	8	9	6	6	8	5	5	6

① 具有制备管头的装置;

② 采用直流和交流电动机, 其余为直流电动机。

续表 10-4

参 数	海恩里希·劳(Heinrich Rau)公司 (民主德国)				诺顿 (Norton) 公司 (英国)			日佳尔厂(Ждярский завод) (乌克兰)		
拉拔力, 千牛	180	250	450	750	150	300	450	125	250	400
成品管直径, 毫米	20~60	30~90	30~120	40~150	20~80	30~100	30~120	20~60	30~90	60~120
拉拔长度, 米	16	16	16	16	15	15	15	16	16	16
拉拔计算速度, 米/秒	0.83	0.67	0.58	0.85	0.77	0.5	0.43	1.0	0.83	0.67
拉拔速度调整范围, 米/秒	0.17 ~1.5	0.17 ~1.33	0.17 ~1.0	0.25 ~1.0	0.17~1.33	0.17~1.0	0.083~ 0.67	0.34~1.83	0.25~1.7	0.17~1.33
拔管小车返回速度, 米/秒	2	2	2	1.7	2	1.7	1.7	2.3	2	1.6
主传动功率, 千瓦	160	2×140	2×200	2×250	150	250	400	150	265	360
外形尺寸, 米										
长	40	40	40	40	38	38	38	38	41	40
宽	6	6	8	9	5	5	6	4.6	5.6	8

表 10-5 伊尔库茨克重型机器制造厂1~3线双链拔管机的技术性能

参 数	拉拔力, 千牛					
	50	150	150	300	500	750
成品管直径, 毫米	8~35	15~65	20~60	30~90	40~110	40~120
拉拔长度, 米	12	12	16	12	12	12
拉拔计算速度, 米/秒	0.9	0.9	0.9	0.9	0.83	0.75
拉拔速度调整范围, 米/秒	0.25~1.70	0.25~1.70	0.25~1.70	0.25~1.70	0.71~1.17	0.17~1.17
拔管小车返回速度, 米/秒	1.84	1.84	1.84	1.84	1.17	1.17
管子在芯棒上的送进速度, 米/秒	2.5	—	2.4	2	0.83~3.3	2
主传动功率, 千瓦	52	160	160	400	500	630
外形尺寸, 米						
长	30	30	37	30	29.5	30.5
宽	3.7	6.1	7.5	7.5	9.5	10
设备重量, 吨	34	74	85.5	97.6	148	185

表 10-6 全苏冶金机械科学研究所拔管机的技术性能

参 数	拉拔力, 千牛			
	10	30	500	750
拉拔方式	无芯棒	短 芯 棒		
拉拔线数	2	2	1、2、3	1、2、3
成品管直径, 毫米	3~10	5~18	40~150	25~80
拉拔长度, 米	9	11	15	16
拉拔计算速度, 米/秒	1.0	0.83	0.6	0.83
拉拔速度调整范围, 米/秒	0.2~1.2	0.2~1.2	0.16~1	0~1.67
拔管小车返回速度, 米/秒	1.67	1.67	1.46	1.67
管子在芯棒上的送进速度, 米/秒	—	1.5	0.4~1.3	0.4~1.5
主传动功率, 千瓦	16	29	400	730
外形尺寸, 米				
长	19.2	25.0	40.0	38.6
宽	2.35	3.1	8.5	12.0

1) 拉拔力 ≤ 150 千牛的无芯棒及某些短芯棒多线拔管机, 这些拔管机主要用于拉拔小口径的有色金属管, 而且一般机械化程度不高, 因为所加工的管子尺寸和重量不大, 同时由于纵向刚度较差一些辅助操作的机械化比较困难;

2) 拉拔力为150~300千牛的拔管机, 用于无芯棒和带芯棒拔制。加工品种众多的有色金属管和钢管。这组拔管机在生产中应用最为广泛;

3) 拉拔力为300~700千牛的拔管机, 进行短芯棒和游动芯棒拉拔, 主要用来加工机械制造用的有色金属管和钢管, 并且拉拔由管料开始的头几道, 因此这组拔管机主传动的功率大。近年来制造的拔管机通常配有推料器类型的管头制备设备。

表 10-7 阿尔玛-阿丁重型机器制造厂拔管机技术性能

参 数	拉拔力, 千牛				
	10 ^①	10 ^①	30 ^②	30 ^②	100 ^③
拉拔线数	1~3	6	1~3	1	1~3
成品管直径, 毫米	3	0.4~1.0	10	10~30	10
拉拔长度, 米	9	8	9	9	15
拉拔速度, 米/秒	0.2~1.1	0.17~0.83	0.2~1.0	0.1~0.6	0.2~1.2
主传动功率, 千瓦	17	14	42	25	160
外形尺寸, 米					
长	18.7	10.2	24.5	34.0	33.3
宽	3.2	1.2	3.5	4.5	2.9
设备重压, 吨	10	3.2	15	34	26

① 无芯棒拉拔;

② 扩拔;

③ 短芯棒拉拔。

为了提高生产率, 希望增加拔管机的有效长度。目前已出现了具有更大长度的拔管机。下面是美国制造的一些超长拔管机的性能:

拉拔力, 千牛	54	68	90
最大拉拔和小车返回速度, 米/秒	1.5	1.5	1.75
计算速度, 米/秒	1.25	0.75	0.83
拉拔长度, 米	17	33.5	36.5
拉拔力, 千牛	113	136	163
最大拉拔和小车返回速度, 米/秒	1.5	1.5	1.5
计算速度, 米/秒	0.83	0.75	0.75
拉拔长度, 米	24.5	33.5	17

重型拔管机用于拉拔高精度的大口径管以及异形管和变截面管, 在日本和美国较多, 有链式的和用液压传动的。国外链式重型拔管机的技术性能见表10-8。液压传动的重型拔管机最大能力为5000千牛。

3. 工作台和模座

工作台即拔管模的前机座, 模座也称中心架, 两者固接在一起。图10-17为单链拔管机的工作台和模座。

工作台的两侧为工字梁, 工字梁安装在底座上并用横梁连结

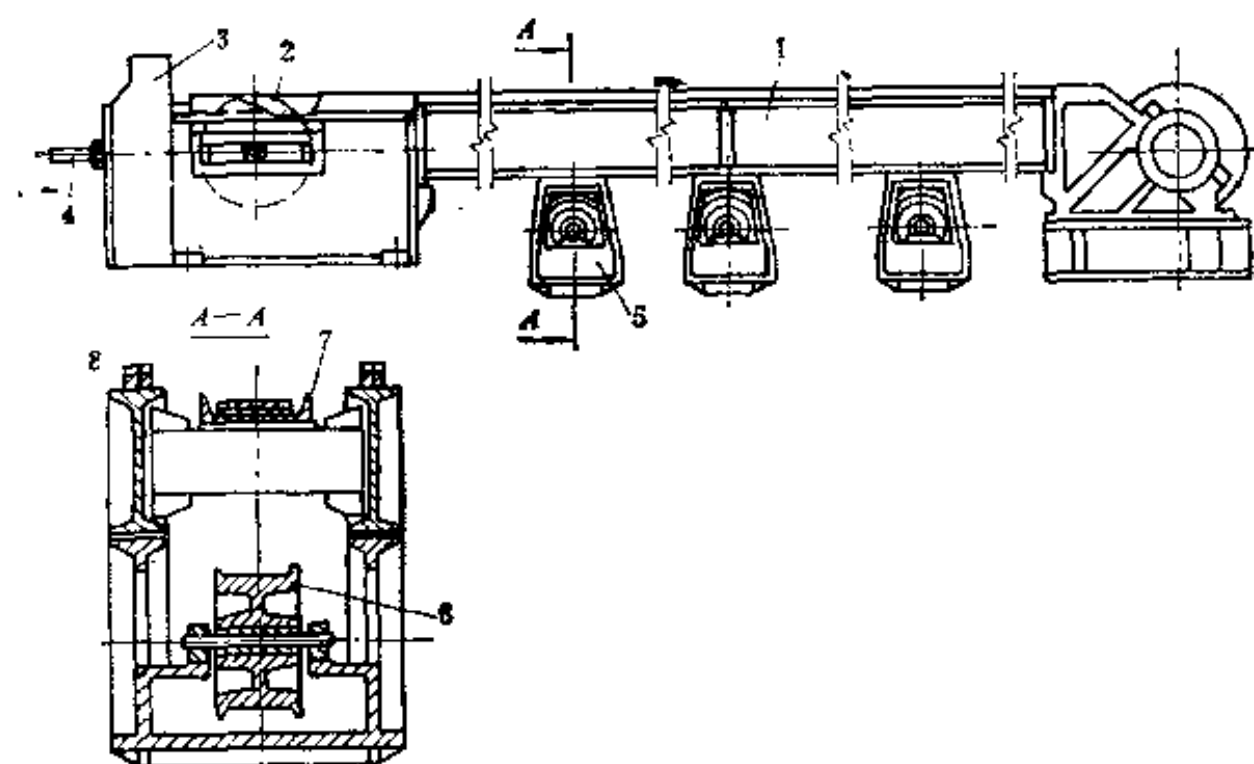


图 10-17 单链拔管机的工作台和模座

1—工字梁; 2—从动链轮; 3—模座; 4—拉紧螺栓; 5—底座;
6—托辊; 7—导槽; 8—导轨

表 10-8 国外重型拔管机的技术性能

参 数	“阿特纳标准” (美国)	“诺顿” (英国)	“特里费尔” (法国)	“住友” (日本)	“神户钢厂” (日本)	伊尔库茨克 重机厂 (苏联)
拉拔力, 千牛	1500	1000 1500	1000	900 1350	1000 ^① 1200 ^②	1500 ^③
拉拔线数	1	1~3 1	1~3	1~3 1~3	1 1	1
成品管直径, 毫米	200	54~165 70~208	80	— —	242 100~200	76~236
拉拔长度, 米	—	12 12	20	25 25	17 15	12
拉拔计算速度, 米/秒	0.2	0.2 0.2	0.4	0.13 0.13	0.13 0.16	0.30
拉拔速度调整范围, 米/秒	0.07~0.3	— —	0~0.4	0~0.6 0~0.6	0~0.5 0.07~0.2	0.16~0.4
拔管小车返回速度, 米/秒	—	— —	2.6	— —	— 0.75	0.7

① 双链拔管机, 其余为单链。

在一起。工字梁的一端固定在减速机的机座内，另一端固定在模座的机座内。在两个工字梁之间的横梁上放置着供拔管链移动用的导槽。导槽用槽钢制成。在底座间安装着防止拔管链下坠的托辊。拔管小车的轮子沿工字梁上的导轨运动。

模座主要用来安放拔管模，同时也是连接前后机座的支持部分，其结构见图10-18。

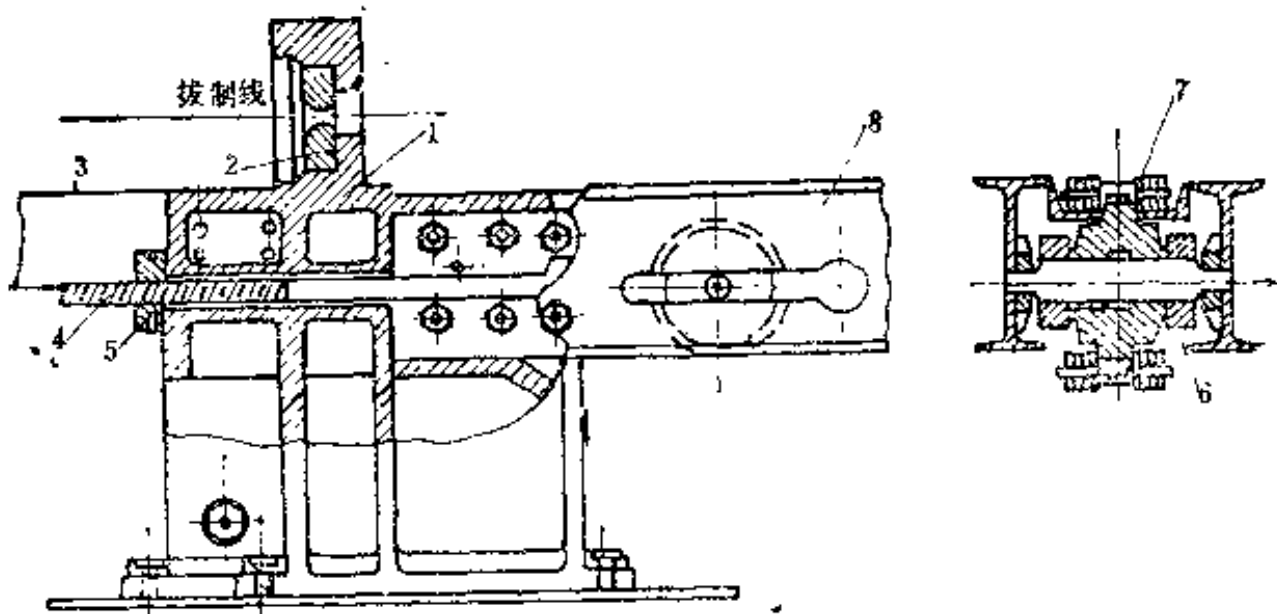


图 10-18 拔管机的模座

模座1上部凸出部分上的圆形孔用来安放拔管模2（一般拔管模放在装在圆形孔中的模套内）。模座的一端用螺栓固定在前机座的工字梁8上，另一端与后机座的钢梁3相联。拔管链的松紧借助通过模座的调整（拉紧）螺杆4来调整。螺杆4的一端与从动链轮轴上的叉子6相联接，另一端用螺母拧紧，当转动螺母时，螺杆便和从动链轮一起作纵向移动，因而可用来调整拔管链的松紧。

4. 拔管链和链轮

拔管链和链轮组成了链式拔管机的链传动。

在单链拔管机上，拔管链是闭路的环链，工作时沿同一个方向连续运行。拔管开始时拔管小车的挂钩落在链条上，链条随即带动夹住管头的拔管小车进行拔管。

根据挂钩的位置分，拔管链有两种形式，一种是挂钩挂在链轴上的链条（图10-19a），另一种是挂钩挂在内链板上的链条（图10-19, b、c）。对拉拔力大于500千牛的拔管机采用多排链。一些拔管机如现代化的快速双链拔管机，采用套筒滚子链（图10-20）。套筒滚子链的链轴3与外链板2、套筒4与内链板1分别用静配合固定，而链轴与套筒，滚子5与套筒之间则为动配合，这样，当链与链轮啮合时，滚子与轮齿为滚动摩擦，可减少链和轮齿的磨损。

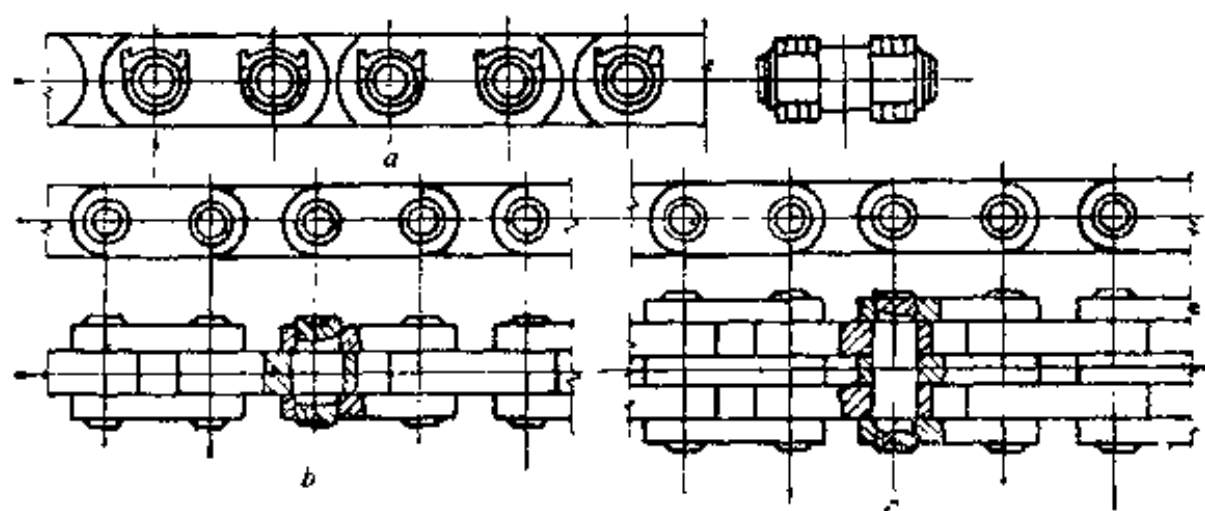


图 10-19 拔管链

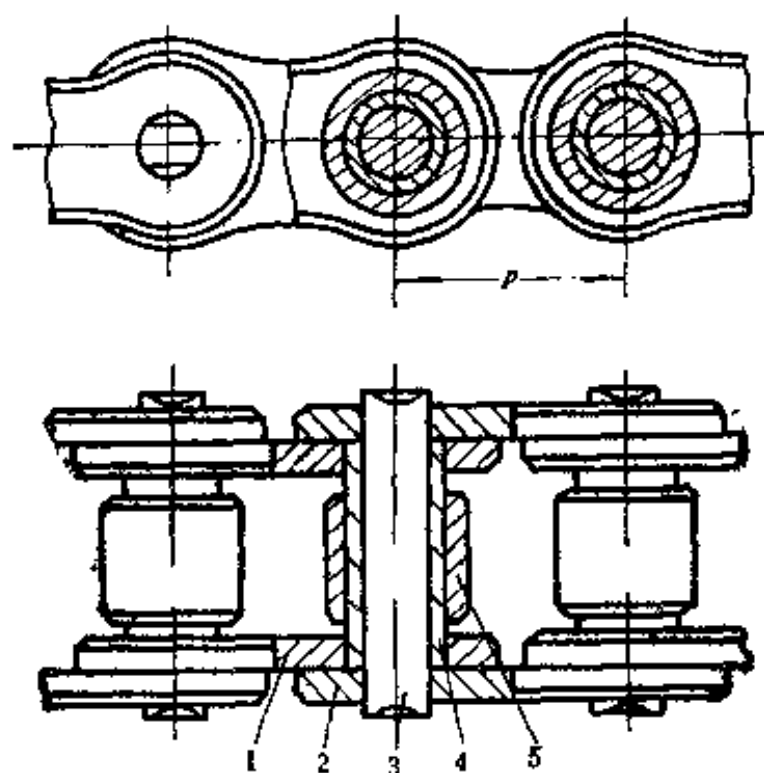


图 10-20 套筒滚子链

对于拔管小车直接固接在拔管链上的双链拔管机，由链条和拔管小车组成闭环，小车和链条的联接见图10-21。拔管小车通过其横梁两端分别与两根链条上的拉手2相联而和链条1联接在一起。工作时，链条-小车的运动是可逆的，拔管过程中链条和小车同时沿拉拔方向运行；小车返回时，链条和小车一起反向运行。因而在上下层运行的链条交替地处于主动状态，所以都必须拉紧。为此安有链条拉紧装置，由管形联接器和两根分别具有左和右螺纹的拉杆4组成。拉杆的一端和联接器相接，另一端与链条相接。链条的拉紧通过拧动联接器来实现。链条拉紧以后用止动螺丝5固定。链条的拉紧还可以采用其他方法。

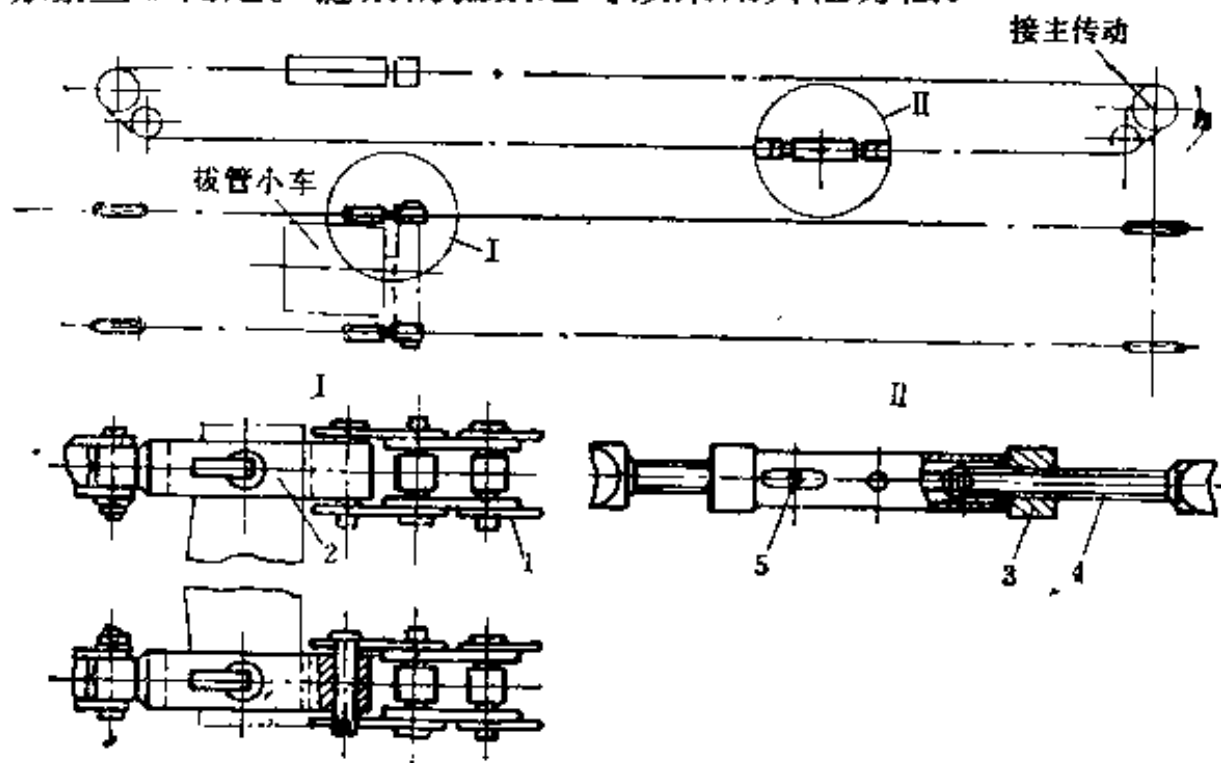


图 10-21 双链拔管机的拔管链

链板应有足够的强度和刚性，通常用3号钢制作，表面经过渗碳、淬火、回火等处理。表面渗碳层的厚度为0.5~0.6毫米左右，热处理后表面硬度应达到HRC50~54。

链板及链轴的尺寸及每节链条链板的数量应根据拔管机所允许的最大拔制力来选择。计算时安全系数通常取为5。

图10-22为一种单链拔管机的链轮。图上所标符号为链轮和链条的各元素。

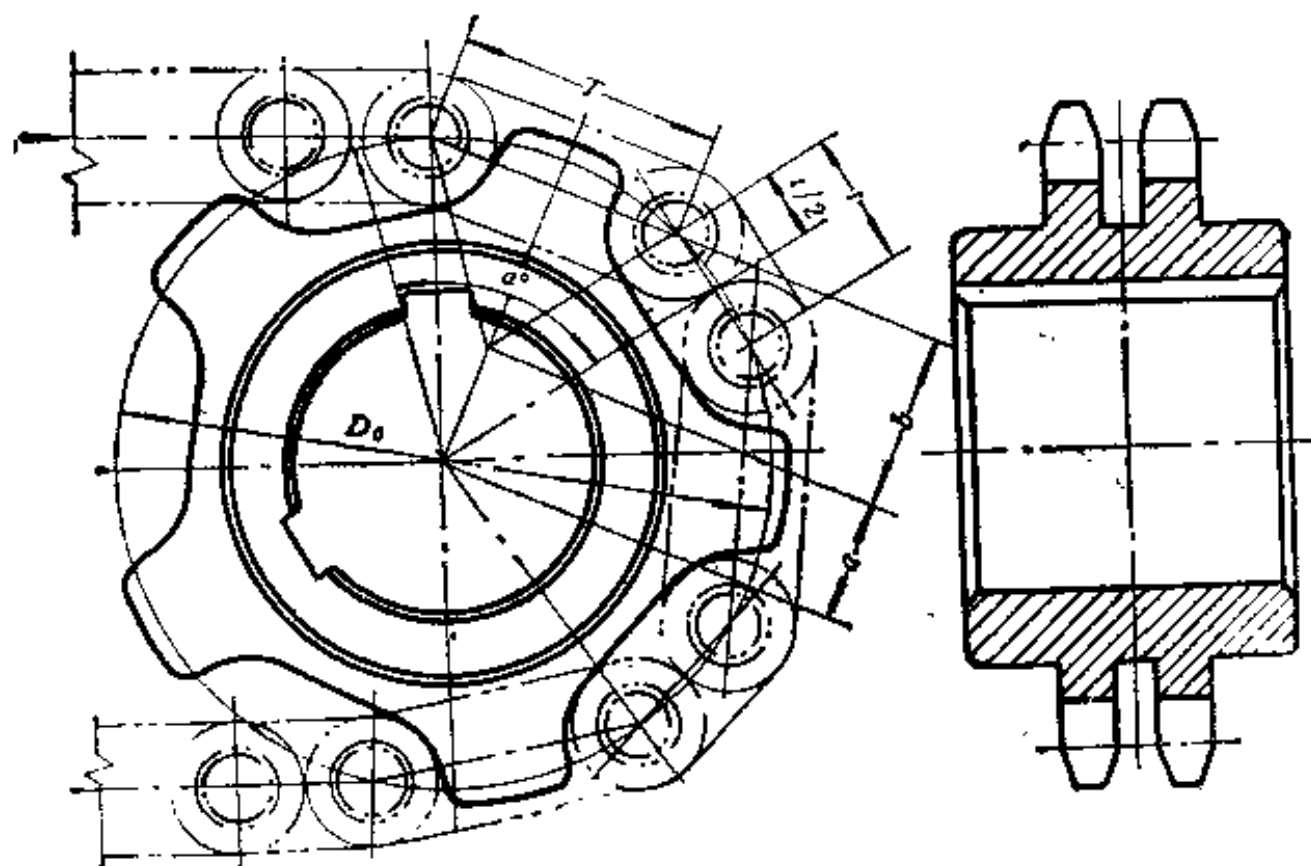


图 10-22 单链拔管机的链轮

因为更换链轮要停产而且比较困难，因此链轮的使用寿命应大于链条。另外，由于磨损会改变轮齿的形状，对链条的使用性能有不利影响，同时链轮工作时除磨损外，还承受冲击及循环载荷，因此，链轮的齿应具有足够的硬度，并且达到规定的屈服强度和冲击韧性。在不少情况下还对组织有一定要求。通常主动链轮用40、45、45Mn、40Cr、50钢的锻件和铸件制造，从动链轮则采用经变性处理的高强度铸铁。通过整体或表面热处理改善金属组织。

5. 主传动

链式拔管机的主传动（图10-23）由电动机1、减速机2及主动链轮装置组成。主动链轮安装在传动轴5上。电动机轴和减速机快速轴通常用标准的齿形联轴节联接。减速机低速轴和链轮轴由齿形联轴节或弹性联轴节联接。

重型拔管机的主传动经常使用两台减速机，这样可以减小减速机的尺寸和改善其速度性能。

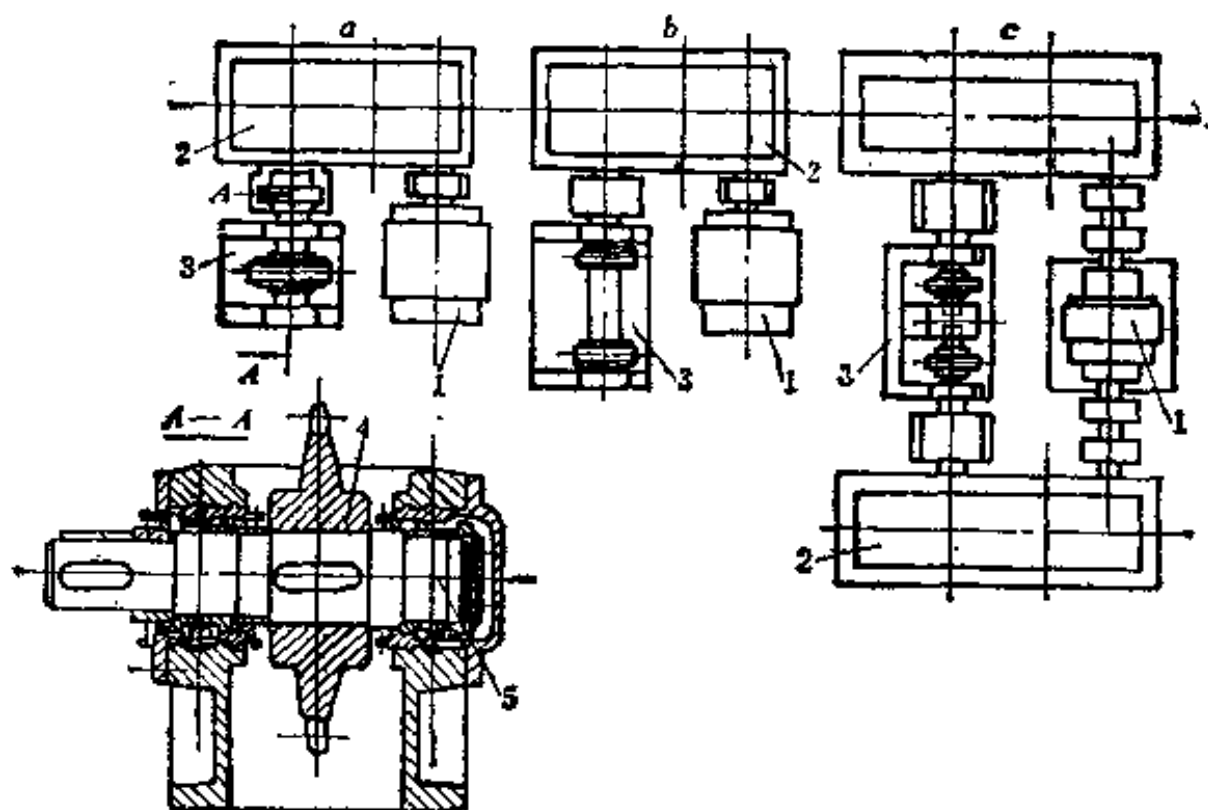


图 10-23 链式拔管机的主传动

a—单链；b—双链；c—双链（有两台减速机）

主电动机用交流电动机或直流电动机。现代化的拔管机广泛采用直流电动机，其优点是拉拔速度可根据需要在比较宽的范围内进行平滑的调整，并可实行低速咬管、快速拉拔的工作制度，这样既可减少开拔时钢管的拔断，又可提高拔管机的生产率。

6. 拔管小车

拔管小车是用来夹住管子的锤头部分并带管子沿拉拔方向移动，使拉拔过程得以实现的机构。拉拔时小车对管头的夹持必须是强有力的和可靠的。对于用挂钩和拔管链相联接的拔管小车还必须在开拔时能进行自动夹管和挂钩，在拔制终了时能保证自动脱钩。

拔管小车主要有夹钳式和楔式两种。两种型式的拔管小车，开拔时都能自动夹管、自动挂钩；拔制终了时都能自动脱钩。夹钳式拔管小车结构比较简单，更换板牙方便，在单链单线拔管机上应用较多。

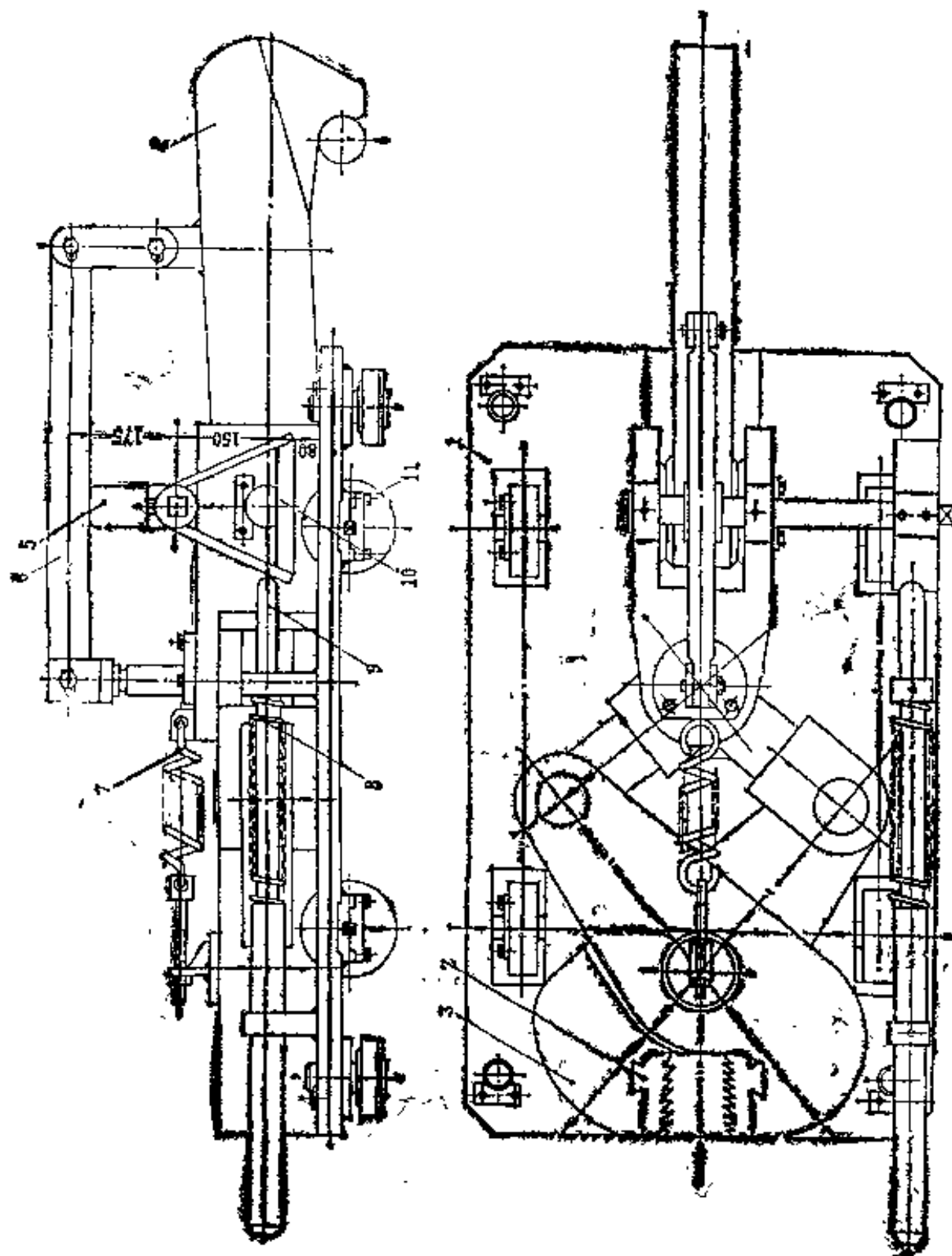


图 10-24 夹钳式拔管小车

图10-24为一种夹钳式拔管小车。这种拔管小车由装着板牙2的夹钳3、车架1、挂钩4、挂钩拉杆6、撞杆9、顶杆5及顶杆架10等主要部件组成。工作时车架靠轮子11沿拔管机前机座的床面移动。其工作过程如下：每次开拔时，小车返回到中心架前并使撞杆和模座相撞，碰撞后撞杆前移使顶杆架及顶杆一起转动，顶杆离开垂直位置，于是挂钩拉杆和挂钩下落，钩子挂在拔管链的轴上，当挂钩和链轴一起移动后就带动夹钳拉杆使夹钳夹紧管头并开始拔制，与此同时，撞杆由于压簧8的作用回到撞前的原始位置，另外由于受力后拔管链上抬，挂钩和它的拉杆也上抬，顶杆架就在自重的作用下恢复原始状态，使顶杆回到垂直位置，当拔制終了，拔管链下落，挂钩和链子脱离，同时，由于拉簧7的作用，夹钳拉杆张开，夹钳松开，管头脱离夹钳。然后拔管小车返回到模座前进行下一次拉拔。

在多线拔管机上广泛使用楔式拔管小车。楔式拔管小车通过斜楔来控制两块板牙的张开与收拢。这种拔管小车较简单地解决了多线拔管机夹管头装置的机械化和自动化。

现有两种楔式拔管小车，一种借冲击力来移动板牙，另一种是气动的。

图10-25为利用冲击力的拔管小车。在机架1上装着可更换的板牙盒2，盒上开有切槽供楔形板牙3移动。切槽和板牙的上面盖有盖4，在盖上有可倾倒的支架5。在支架内安装着主动杠杆6和板牙杠杆7。板牙杠杆自由地装在轴8上，其一端与板牙上的切槽相联，另一端通过弹簧9和拉杆10与主动杠杆接触。主动杠杆用键固定在轴8上。主动杠杆的中部与凸出在机架前沿的顶杆11相联接。当拔管小车移向模座并受到冲击时，顶杆受力并使主动杠杆转动。这时主动杠杆压缩弹簧9，在弹簧的作用下，拉杆10后移并带动板牙杠杆围绕轴8转动。随着板牙杠杆的转动，板牙沿切槽前移，板牙间的开口度逐渐减小并夹住管头。

顶杆受力后也使和其侧面相联的杠杆发生转动并压缩回动弹簧12。在拔制过程中力图使板牙杠杆回复到原始位置，把板牙口

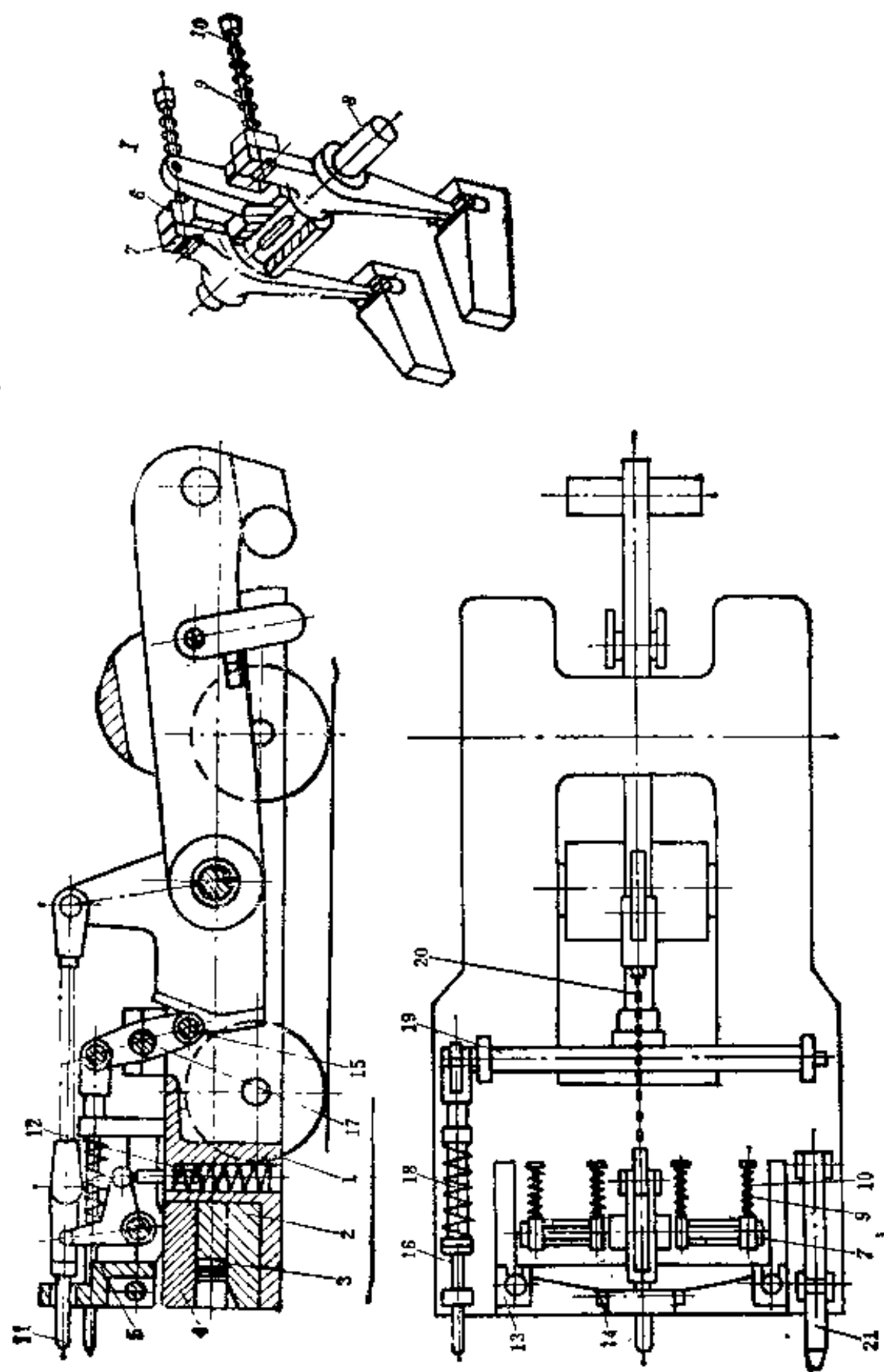


图 10-25 在冲击力作用下工作的楔形拔管小卒

张开，但是由于这时板牙对管头的夹持力很大，回动弹簧的作用不足以克服由于夹持力所造成的移动板牙的阻力，因而是不能实现的。当拔制終了，由于板牙对管头的夹持力迅速降低，回动弹簧发生作用，使板牙杠杆逆转，板牙后移并张开，回复到原始位置，管头脱落。

板牙盒的结构可以实现板牙的快速更换。更换时，卸掉固定支架的压紧装置13，然后在轴14上转动支架，从板牙的切槽中退出板牙杠杆的端部并从盒中取出板牙。

拔管小车返回时，其挂钩借滚轮15的支持作用始终处在高于拔管链的位置(中间位置)。一旦小车接近模座，顶杆16受力使杠杆17发生转动，滚轮的支持作用消失，在自重的作用下，挂钩下落并挂在链条上。开始拉拔后，链条上抬，力图处于拉拔平面内，因此，这时挂钩的位置高于中间位置。与此同时，由于弹簧18的回动作用，顶杆16回复到原始位置，而滚轮15处在挂钩尾部的凹槽之上。当拉拔过程结束，由于负载消失，拔管链和挂钩脱离，挂钩由于自重下落，但下落到一定位置后挂钩尾部和滚轮接触，后者把挂钩锁住使它保持在中间位置。

为了防止由于多线拉拔时负载不对称、管端没有夹住或者边部钢管拔断而引起拔管小车倾斜，在机架下部两侧安装着四个立轮。

拔管小车还可以停在工作台的任何位置上夹持拔断了头的钢管。这时使小车回到管头所在位置，把管头放在板牙之间，转动锁紧装置的轴19，使挂钩下落，同时借链条20转动主动杠杆和板牙杠杆，移动板牙把管头夹住。

为了防止拔管小车撞击模座时发生后退现象，小车上装着由闭锁杆21控制的闭锁装置。

上述利用冲击作用工作的楔式拔管小车结构比较简单，但也存在一些缺点，如必须利用冲击才能可靠地工作，板牙夹紧后只有在整根钢管拔完以后才能重新张开等。

为了弥补利用冲击作用的楔式拔管小车的不足，近来，在现

代化的拔管机上采用气动式楔式拔管小车，这种拔管小车可保证夹管头、拉拔、脱管的自动进行，既可用于单链、双链、单线、多线的拔管机，也可用于其他传动方式（钢绳、齿条、液压）的拔管机。

图10-26为一种双链拔管机的楔式拔管小车。在机架1上安装着板牙垫2和板牙3。板牙的移动靠气缸4。板牙杠杆通过弹簧和横梁5和活塞杆相联。气缸由安装在机架底部的气包供气。气包的充气通过装在模座上的给气器和装在小车上的喷嘴6，当小车返回接近模座时，喷嘴进入给气器，配气阀闭合，压缩空气从给气器通过喷嘴及管路进入气缸无活塞杆的一侧，推动板牙前移夹住管头。工作时小车的四个滚轮7沿工作台上的导轨运行。小车用由弹簧8与拉杆9组成的平衡装置和拔管链相联接。

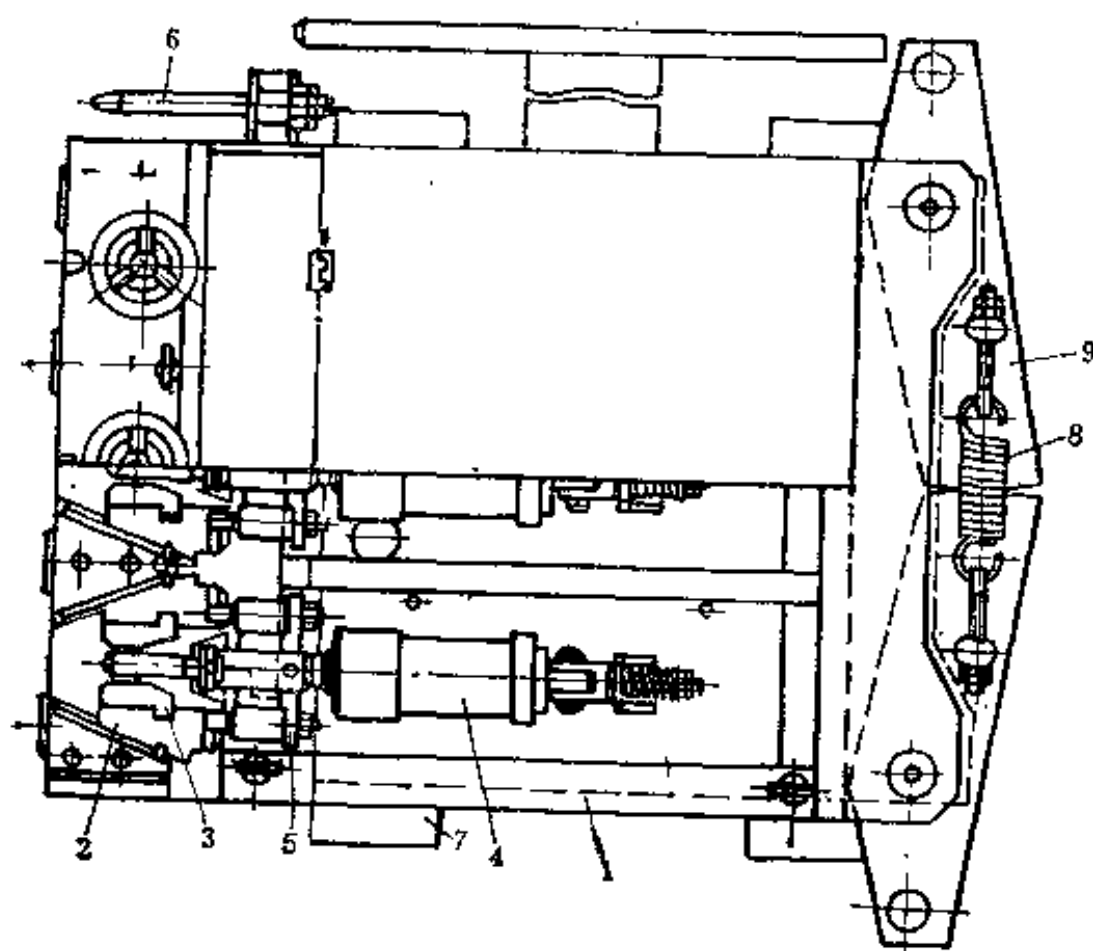


图 10-26 双链拔管机的气动楔式拔管小车

7. 拔管小车的返回机构

为了缩短拉拔节奏，提高拔管机的生产率，在拔完前一根钢

管后，要求拔管小车快速返回到模座前，接着拉拔下一根钢管，因此如何实现快速返回对拔管小车来说是个较为重要的问题。

对于单链拔管机设有单独传动的小车返回机构。一般由电动机传动，有链式和绳式两种。

图10-27为一种链式拔管小车返回机构，由一对装在前机座两端的链轮、链条、电动机和减速机组成。主动链轮3装在轴1的端部。轴由固定在前机座钢梁上的轴承2支撑。主动链轮由电动机5通过减速机4传动。减速机的输出轴8和主动链轮轴用摩擦离合器相联。离合器的一半9直接装在蜗轮减速机的轴8上，另一半可沿轴1上的键滑动，并用电磁铁6来控制。在小车拔管时，电磁铁断电，离合器的两半7和9不接触，链轮不转；当要使小车返回时，电磁铁通电，电磁铁拉动杠杆使离合器的一半7移向另一半9，两者接触，链轮转动，小车返回。

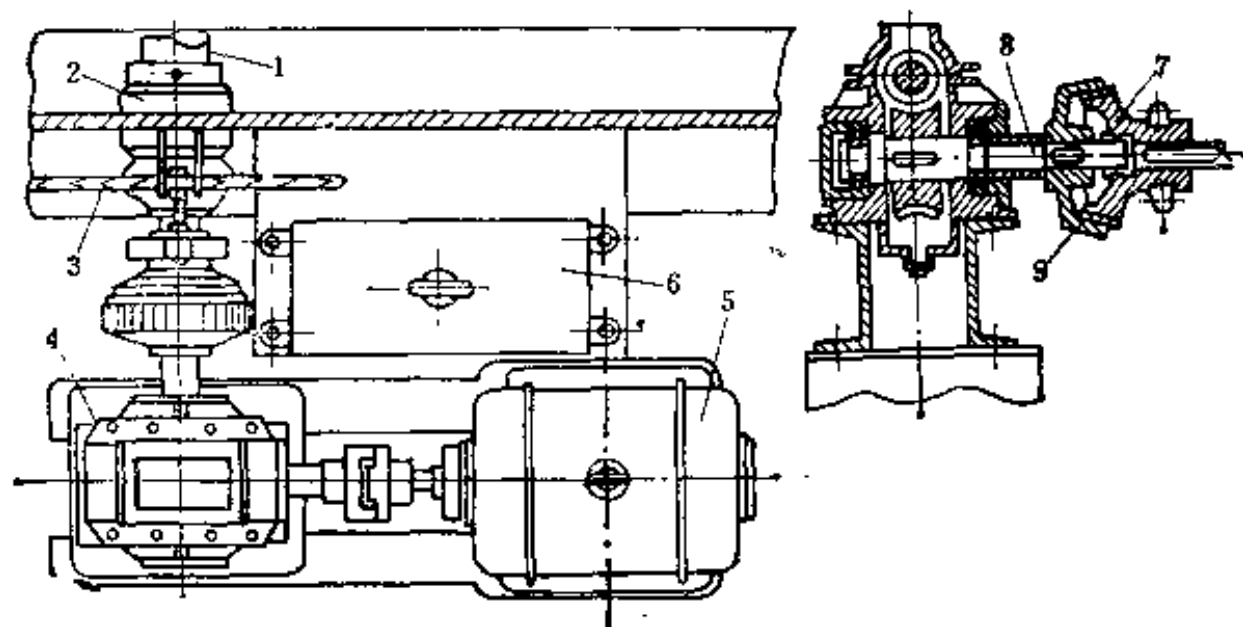


图 10-27 链式拔管小车返回机构

绳式拔管小车返回机构用钢绳来传动小车（图10-28）。钢绳1和小车相联并缠绕在卷筒2上。卷筒通过齿形联轴节和减速机的输出轴联接。为了补偿钢绳的伸长和防止钢绳在卷筒上打滑，在前机座上安装有拉紧装置3。在拔管时卷筒借助于摩擦力可自由转动。

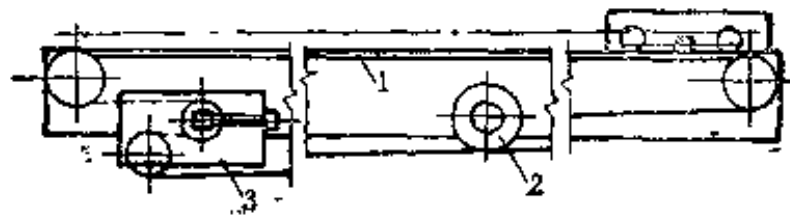


图 10-28 绳式拔管小车返回机构

如果采用双速交流电动机或可调速的直流电动机，可保证小车的快速启动、运转和缓慢而平稳地接近模座。

对于大多数双链拔管机，拔管小车的快速返回借主电动机的逆转来实现，这时使主电动机具有最大的速度。这种方式对拉拔力不大（ $\leq 250 \sim 300$ 千牛）的拔管机是合适的，但不宜用于拉拔力较大的特别是重型的拔管机。因为电枢轴上较大飞轮质量的快速转动、强力启动以及迅速制动会使主电动机的控制复杂化并恶化主电动机的发热状态。为了解决上述问题，在有的拔管机上为了实现拔管小车的快速返回，用液体联轴节来进行减速机传动的转换而无需改变主电动机的转动方向。但采用这种方式，要增加专门的液压站，主减速机的结构也大为复杂化。

近年来出现了用单独的小功率电动机来传动拔管小车返回机构的双链拔管机（图10-29）。主电动机和返回机构电动机工作的实现通过安装在中间轴上的电磁或液体联轴节来执行。

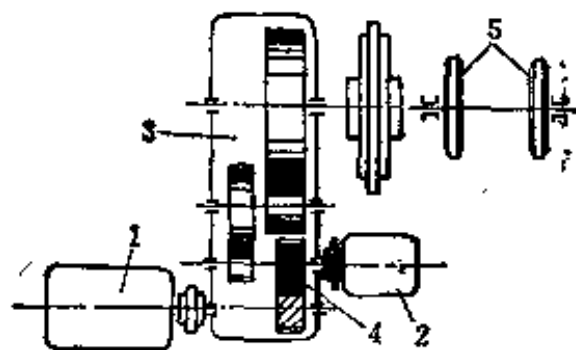


图 10-29 由单独电动机传动拔管小车返回机构的双链拔管机的主传动

1—主电动机；2—小车返回机构的电动机；3—减速机；
4—电磁（液体）联轴节；5—链轮

另外还有一种只有一台不可逆主电动机，但使用特殊的固定可逆式行星减速机的主传动（图10-30）。使用这种主传动可完成拔管、拔管小车的快速返回和制动，以及防止链条可能出现的断裂。为此，在减速机的中心齿轮上安装着可控的制动装置。

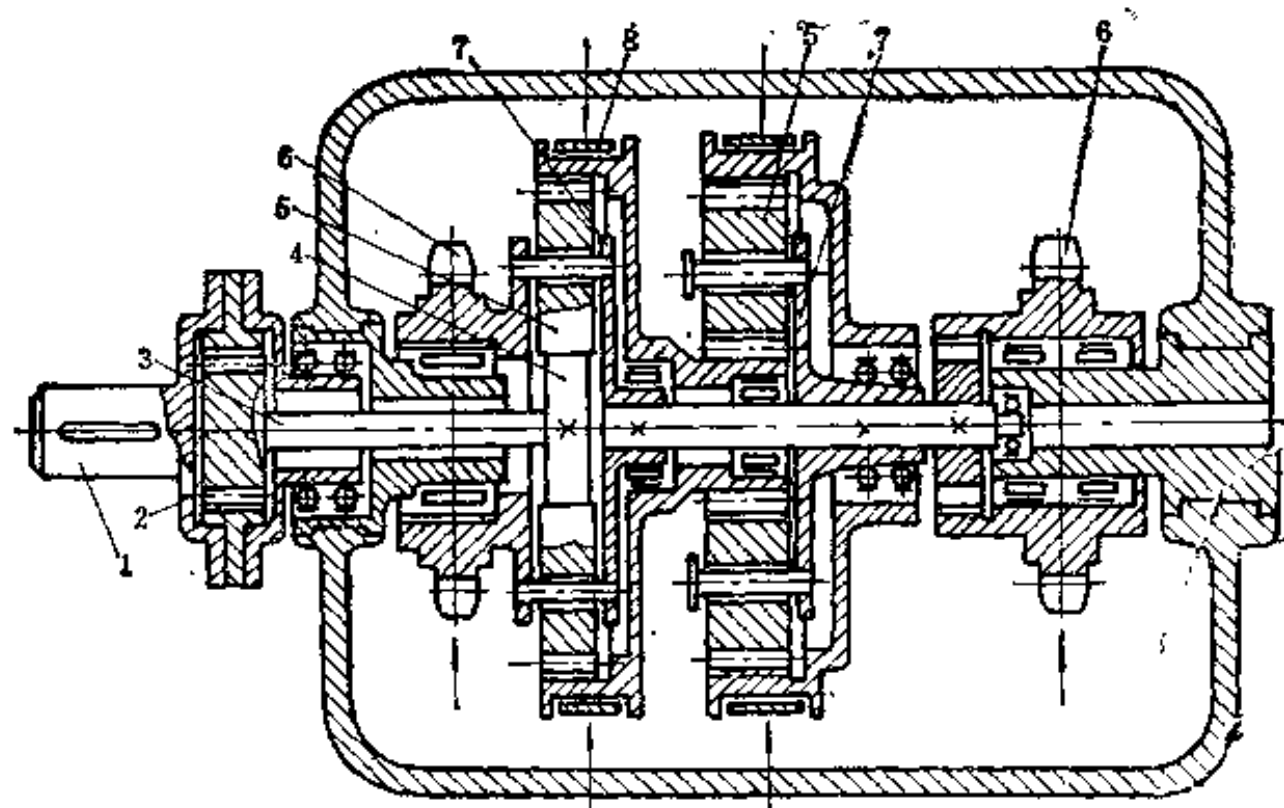


图 10-30 具有可逆式行星减速机的主传动
1—传动轴；2—齿形联轴节；3—从动轴；4—中心齿轮；
5—行星齿轮；6—链轮；7—导架；8—制动器

8. 芯棒拉杆的装入与交换

短芯棒拉拔时，在把管料送入拔管模进行拉拔之前必须预先通过芯棒拉杆把芯棒（固定在拉杆的前端）装入管料内，且把管料和芯棒一起送入拔管模，然后在拉杆作轴向固定的条件下进行拉拔，保证管料在拔管模和芯棒的同时作用下变形。因此，在管料内装入芯棒拉杆是短芯棒拉拔这种拔制方式典型的辅助操作。

按照装杆时管料和芯棒拉杆的运动方式来分，装杆方式有两种。一种是插的方式，即装杆前管料事先置于后机座的料槽内，然后使芯棒拉杆前移并插入不动的管料中（图10-16, b），另一种是套的方式，即装杆前拉杆事先置于靠近中心架的后机座的一侧

(图10-16, *a, c, e*) 或置于中心架之上 (图10-16, *d*), 然后把管料从拔管机的前台移到拔管机的后台, 并套在不动的拉杆上。采用前一种装杆方式, 要求后台有较大的长度, 这样增加了拔管机的总长度, 但由于这时管料台架和拔后钢管的收集槽可以布置在拔管机的同一侧, 因此可减少拔管机的总宽度。采用后一种装杆方式, 拔管机的总长度较小, 但由于管料台架和拔后钢管的收集槽必须分别布置在前台的两侧, 这样增加了拔管机的总宽度。

为了缩短拔制节奏, 提高拔管机的生产率, 在短芯棒拔管机上, 一般每条拔制线应配置一副即两根芯棒拉杆, 如单线短芯棒拔管机应配置两根拉杆; 三线短芯棒拔管机应配置六根拉杆。生产过程中, 当一根芯棒拉杆在工作, 另一根芯棒拉杆则在进行装料。上一根钢管拔制終了后, 原来在拔制线上工作的拉杆退出拔管模, 然后两根拉杆交换位置。原在装料线上的拉杆和在他上面的下一根钢管一起转换到拔制线上, 原在拔制线上的拉杆转换到装料线上。拉杆交换结束后, 刚处在拔制线上的拉杆把钢管和芯棒送入拔管模并重新开始拉拔。下一次拉杆的交换按同样的程序进行。这样做可以使一些操作时间重叠, 从而达到缩短拔制节奏的目的。

在以套管方式装入芯棒拉杆的拔管机上, 实现拉杆交换的换杆机构的型式有换向式、升降式、平移式和转鼓式等。

换向式换杆机构交换拉杆时, 两根芯棒拉杆同时各自以连接在同一支架上的尾端为支点, 转动其前端, 使原来处在拔制线上的拉杆转到装料线上以及相反的转换。拔制线和装料线处在同一水平面内。这种换杆机构只适用于单线拔管机, 如用于多线拔管机, 拉杆数增加, 尾端在支点的连接比较困难。

图10-31为换向式换杆机构之一。该机构有两个用来支持芯棒拉杆的料槽1, 每个料槽安装在两根分别与前偏心盘4和后偏心盘5铰接的传动杠杆3上。芯棒拉杆尾端装在与推料器8的推杆相连的支架7上。在推料器上装有工艺润滑泵。前、后偏心盘与万向接轴相连, 由可逆电动机传动, 也可采用液压或气压传动。

当一根钢管拉拔结束后，推料器的推杆和芯棒拉杆一起后移，使芯棒从拔管模中退出，然后转动偏心盘交换芯棒拉杆。传动杠杆3的长度以及前、后偏心盘的直径根据交换时芯棒拉杆的运动学特点来确定。装料线上在芯棒拉杆上套管时，管料用辊道2传送。6为工艺润滑装置。

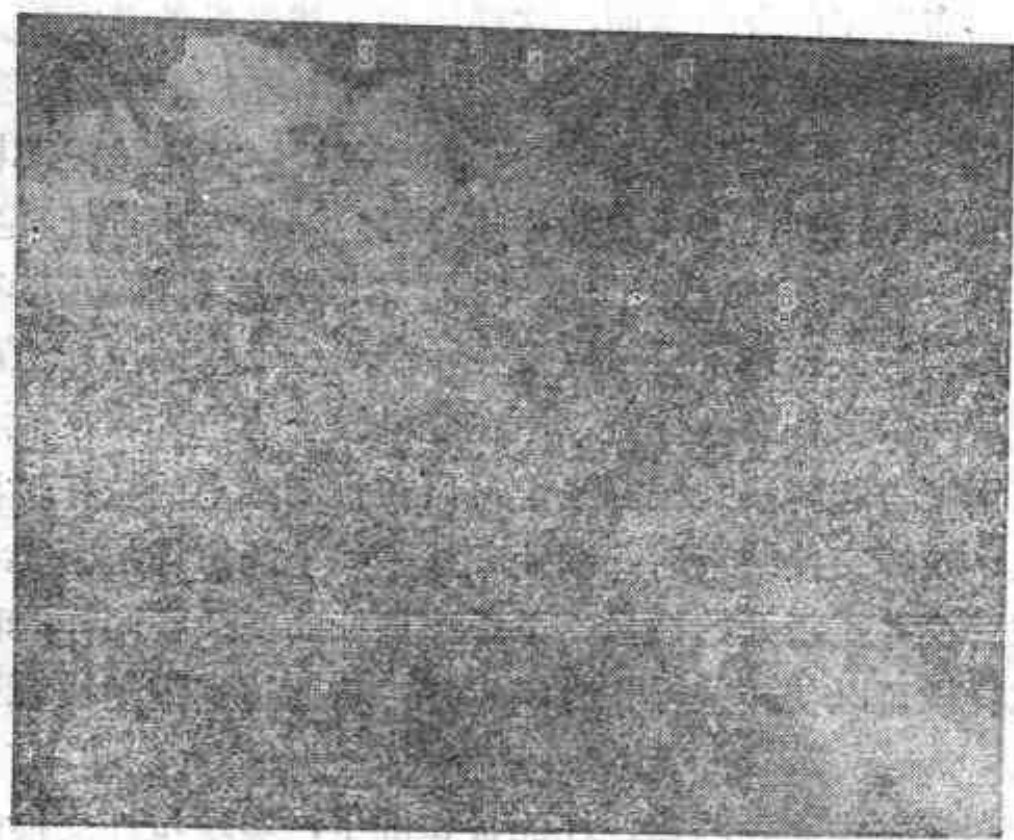


图 10-31 换向式换杆机构

升降式换杆机构是多线短芯棒拔管机换杆机构中的一种。这时装料线在拔管机的上层，拔制线在拔管机的下层。图10-32为一种三线拔管机的换杆机构。在这种机构上有上下两个托架2，托架上置有支持芯棒拉杆1的料槽。两个托架分别与立柱3和4相连。换杆时，两组托架和立柱借助于固定在轴6上的杠杆5一升一降交换芯棒拉杆的位置。即转动杠杆5，套上了管料的芯棒拉杆就由上而下地转换到拔制线上，相反，拉拔后退出了拔管模的自由芯棒拉杆同时由下而上地转换到了装料线上。轴6由气缸7通过扇形齿轮8和齿轮9传动。

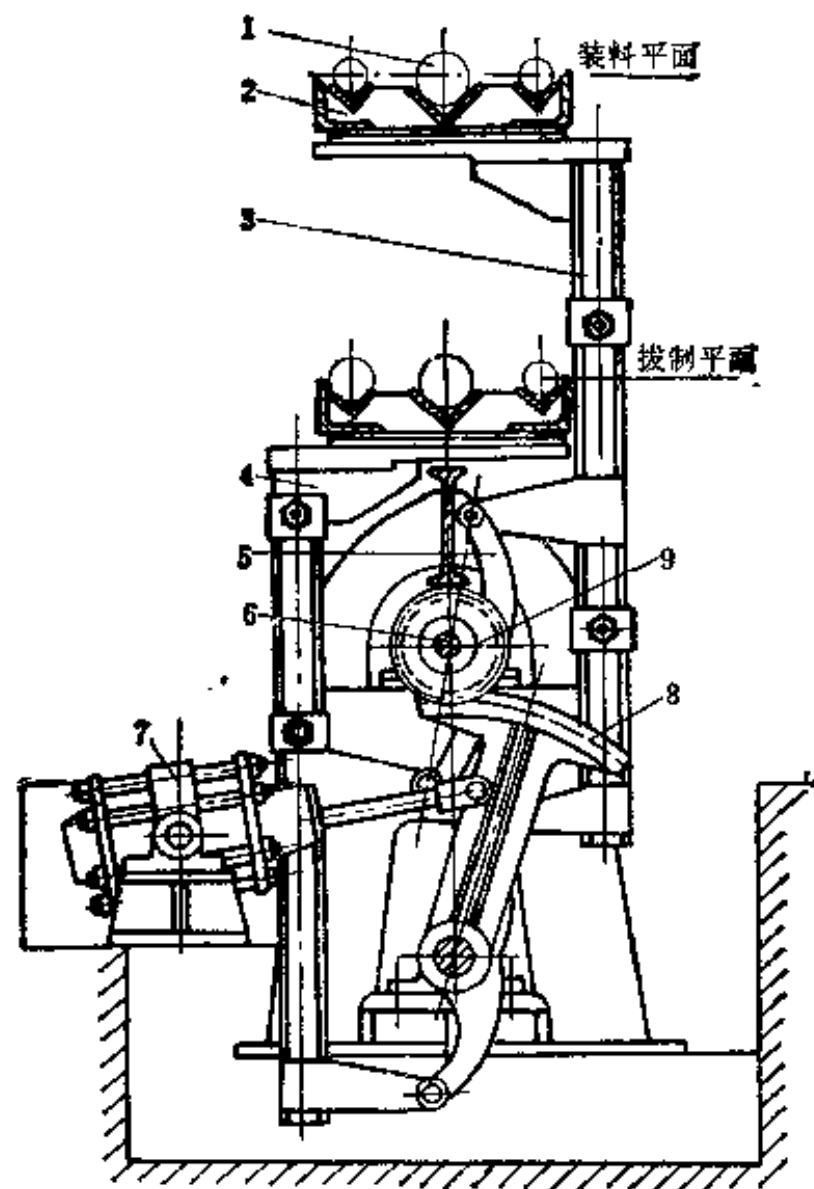


图 10-32 三线拔管机的升降式换杆机构

图10-33为用升降式换杆机构的单链三线短芯棒拔管机,用这种拔管机可同时拔制一根、两根或三根钢管。同时拔制三根钢管时,拔管机上共装有六根芯棒,分为两组交替使用。

拔管机的主电动机1通过减速机2、链轮3和链4,使位于中心架9前的前机座6上的拔管小车5运动。小车返回由电动机7和绳轮传动。8为受料分料装置。

拔制时,管料从料架1(图10-34)通过分料装置2传给链式输送机3。上升后的管料沿垫杆4滚落到齿形架7上。垫杆和由气缸9传动的轴相连。启动气缸,使每根管料落入齿形架的一个槽中。布料后借助于另一个气缸10使齿形架降落,这时管料落

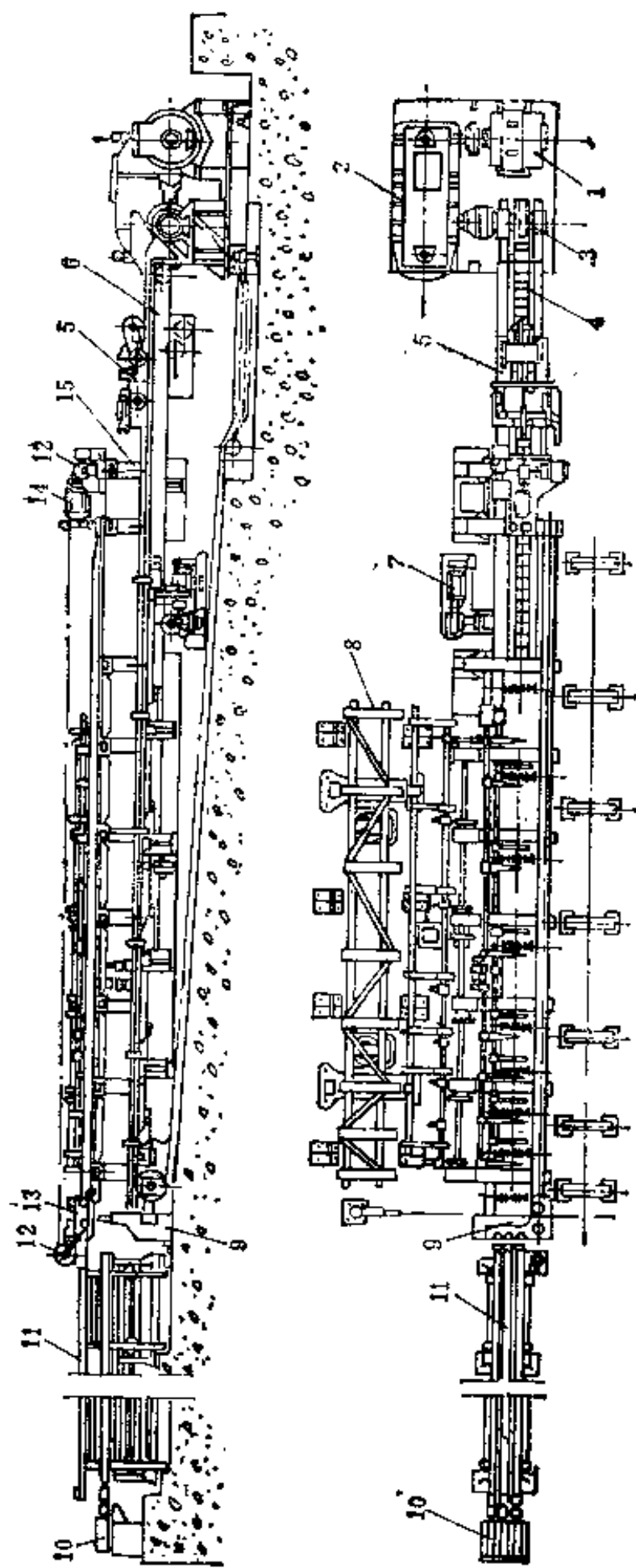


图 10-33 用升降式换杆机构的单线短总棒拔管机

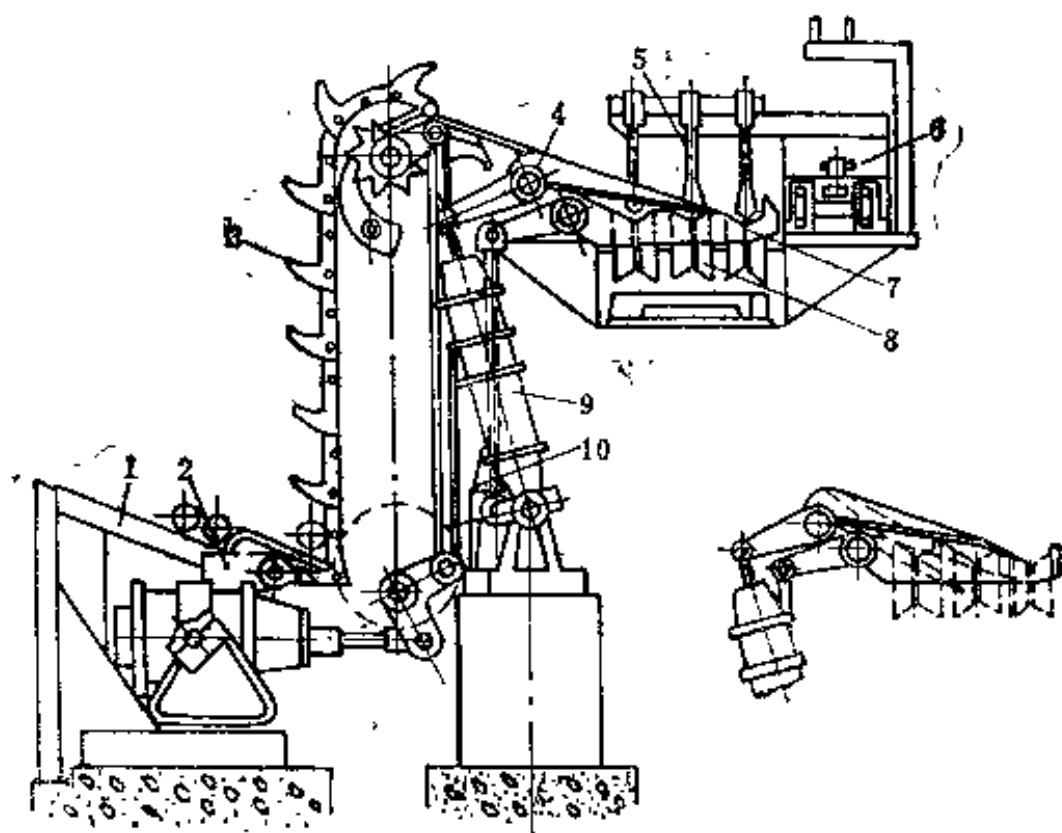


图 10-34 链式输料机 and 布料机构

到辊道 8 上，然后由推料装置从台把管料套到位于后台的芯棒拉杆上。推料装置由小车 6、装着推料板 5 的支架等组成。它装在立柱 15（图 10-33）上，小车 13 由电动机 14 通过钢绳传动装置 12 传动。当小车朝着中心架移动时，推料板推着管料并把它套在芯棒拉杆 11 上。管料和芯棒借助于气缸 10 送入拔管模。

换向式和升降式换杆机构的结构比较简单，拉拔发生拔断时断管容易取出。但是上述机构的刚性较差，拉拔过程中芯棒拉杆容易抖动，因此通常只用在拉拔长度 ≤ 12 米，能力 ≤ 300 千牛的拔管机上。

平移式换杆机构也用于多线拔管机上。工作时，两组芯棒杆在同一平面内平行地进行交换。图 10-35 为用于 500 千牛拔管机上的平移式换杆机构。它由 4 个焊接支架 1 组成，支架上有供小车 2 和 3 运行的导轨。小车 2 和 3 的传动是可逆的，通过链传动 4 来实现。小车上料槽，小车 3 上的料槽可借助于杆 6 作垂直移动。换杆时两台小车相向而行，并且小车 2 在小车 3 下通过。换

杆结束后，启动气缸把处在拔制线上的芯棒和管料送入拔管模。拉拔时作用在芯棒拉杆上的轴向力由其中装有可以调整芯棒和拔管模之间距离的螺旋机构的支架来承受。和换向式和升降式换杆机构相比，平移式换杆机构可用于拉拔长度更长和能力更大的拔管机上。

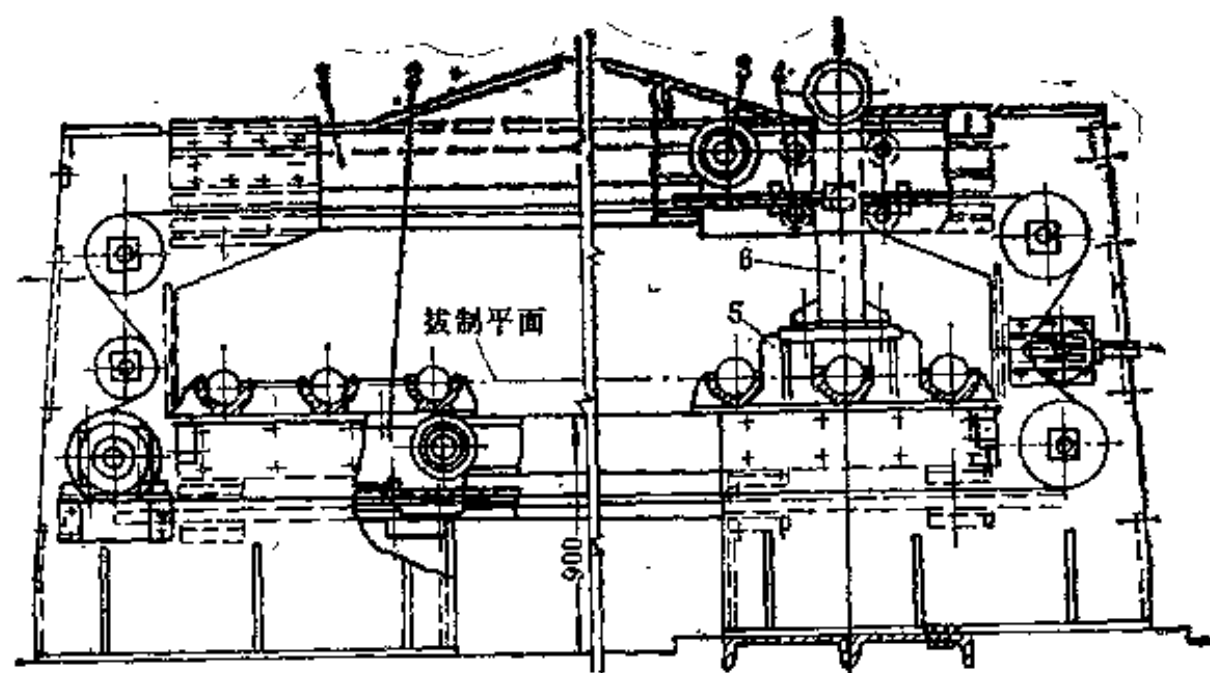


图 10-35 500千牛三线短芯棒拔管机的平移式换杆机构

转鼓式换杆机构既可用于装料线和拔制线在同一水平面上的拔管机（图10-16, c、e）上，也可用于装料线在拔制线上面的拔管机（图10-16, d）上。但在前一种情况下，由于布置上的原因，转鼓的直径较大，因此只见于单线拔管机。在后一种情况下使用的转鼓多见于多线拔管机。转鼓由一组周边用管轴相连接的圆盘组成。有的有外罩，有的没有。有外罩的转鼓安全、外观好，但在发生拔断时取出断管比较困难。转鼓由电动机或液压传动，目前以后者居多。在既拔制圆管又拔制异形管的拔管机上，转鼓上应有在其旋转时能使钢管、芯棒与拔管模的相对位置保持不变的装置。

图10-36为用转鼓式换杆机构的三线短芯棒拔管机。

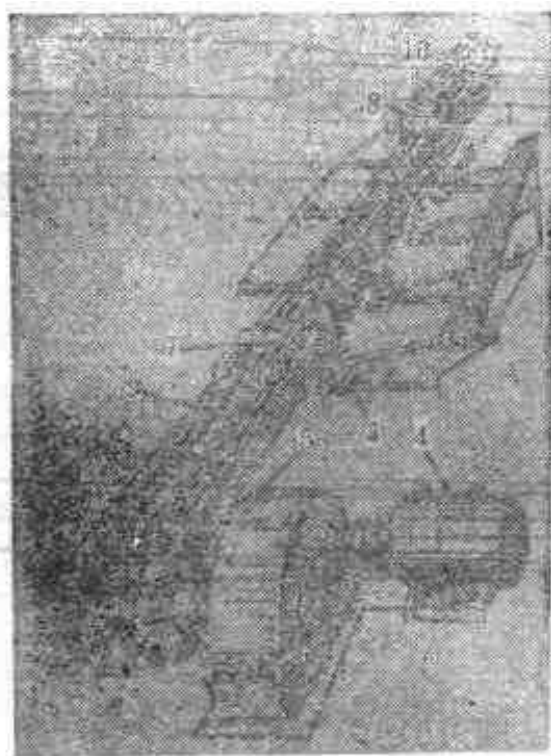


图 10-36 用转鼓式换杆机构的三线短芯棒拔管机

1—挡料器；2—料架；3—链式输送机；4—主电动机；5—减速机；
6—螺旋输送机；7—拔管小车；8—中心架；9—拔管链；10—转鼓

三、非链传动的拔管机

除了链式拔管机外，还有一些靠其他方式传动拔管小车的非链传动的拔管机，主要有钢绳式、液压式、齿条式、丝杠式以及卷筒式拔管机等。

链式拔管机在实际生产中得到了广泛的应用，但这类拔管机也有它的缺点，主要的是，进行高速拉拔时钢管振动较大，钢管容易拔断，因而需要降低道次变形量；同时也会恶化钢管的表面质量。链式拔管机的上述缺点是由于链传动中存在周期式的间歇冲击而造成的。

为了达到传动平稳，出现了钢绳式和液压式拔管机。

钢绳式拔管机的拔管小车由两根钢绳传动（图10-37）。一般，钢绳式拔管机的拔制速度可比链式拔管机高10~25%。钢绳式拔管机的能力通常在200千牛以下。

液压式拔管机的拔管小车由液压缸带动（图10-38）。拔管机可以是单缸传动的（图10-38,a），也可以是双缸传动的（图10-

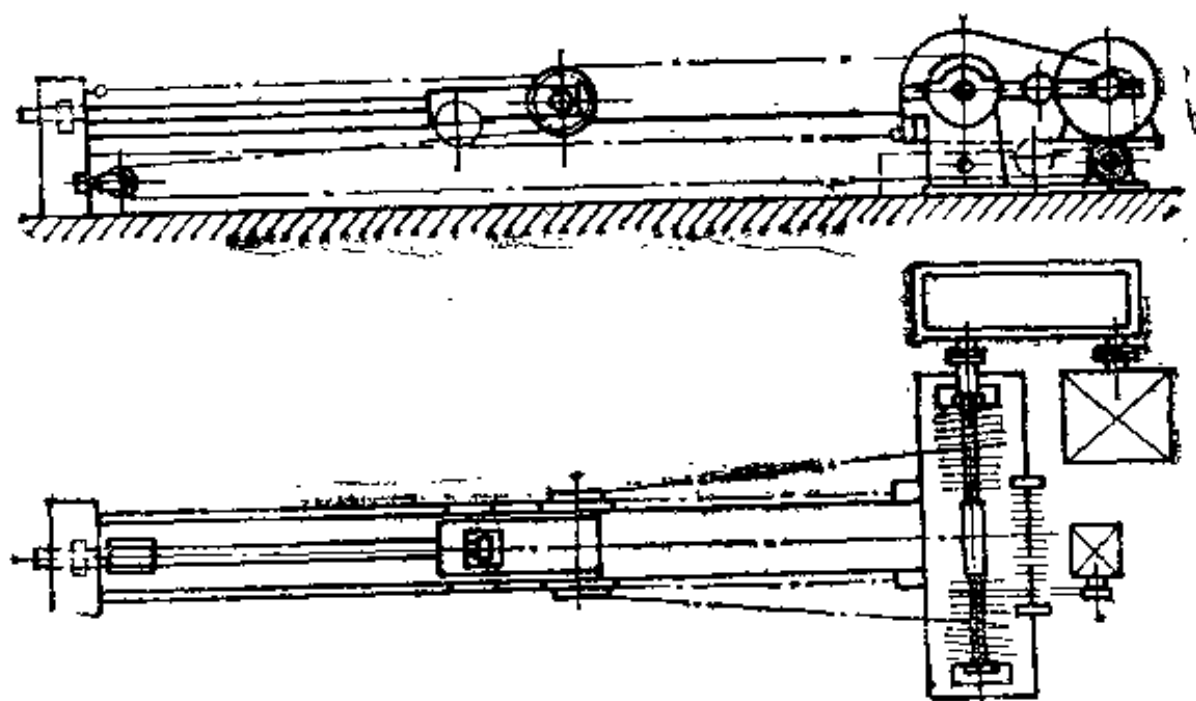


图 10-37 钢绳式拔管机

38, b)。后者可以达到较大的拉力和拔制较长的钢管。图10-38, a)是一台液压绳式拔管机，在液压缸的作用下，由绕过动滑轮的钢绳传动拔管小车进行拉拔，液压缸的行程通过钢绳而增加了一倍，从而可以拔制更长的钢管。目前国外有2000~5000千牛的液压拔管机。

钢绳式和液压式拔管机都有升速平稳、钢管质量好等优点。

在齿条式拔管机上，其机座的两侧各固定着一条长的齿条。主电动机安装在拔管小车上，通过齿轮和齿条的啮合，使小车移动。这种拔管机的能力在15至50千牛之间，其主要优点是拔制速度较高（ ≤ 100 米/分）及可以拔制较长（ ≤ 50 米）的钢管。制造能力更大的齿条式拔管机会使其结构复杂化，因此是不合理的。

丝杠式拔管机的拔管小车用多头丝杠传动。拔管机的能力较小，速度低，仅用来拔制毛细管。

卷筒式拔管机用于无芯棒和游动芯棒拉拔，拔制直径小于25毫米的小口径管，而且几乎所有直径 ≤ 2.5 毫米的管子都用这种拔管机进行拉拔。

在用前面已介绍过的链式等所有拔管机拔管时，都由拔管小车牵引管子，直至拔制过程结束管子始终呈直线状。因而上述拔

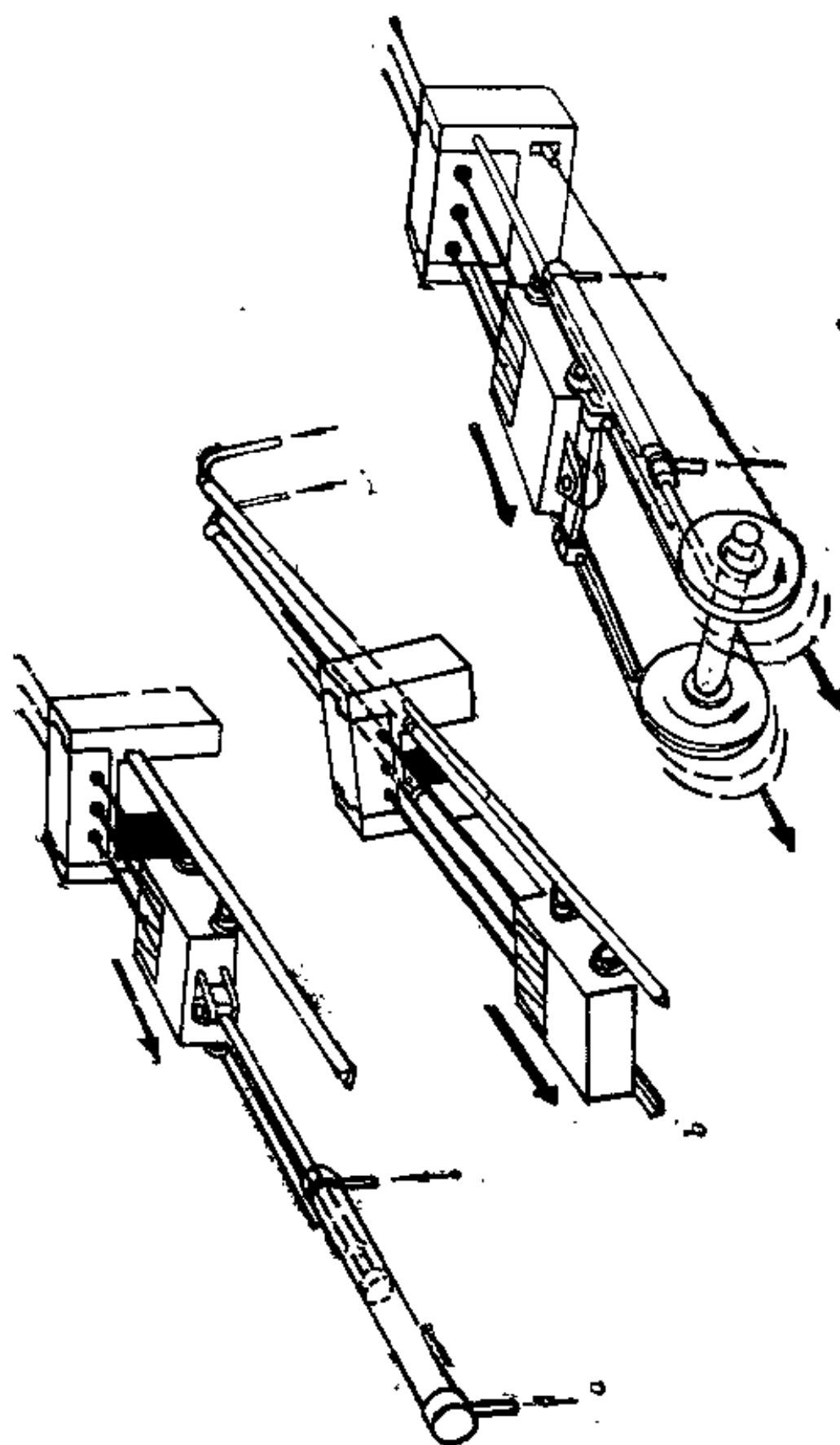


图 10-38 液压式拔管机

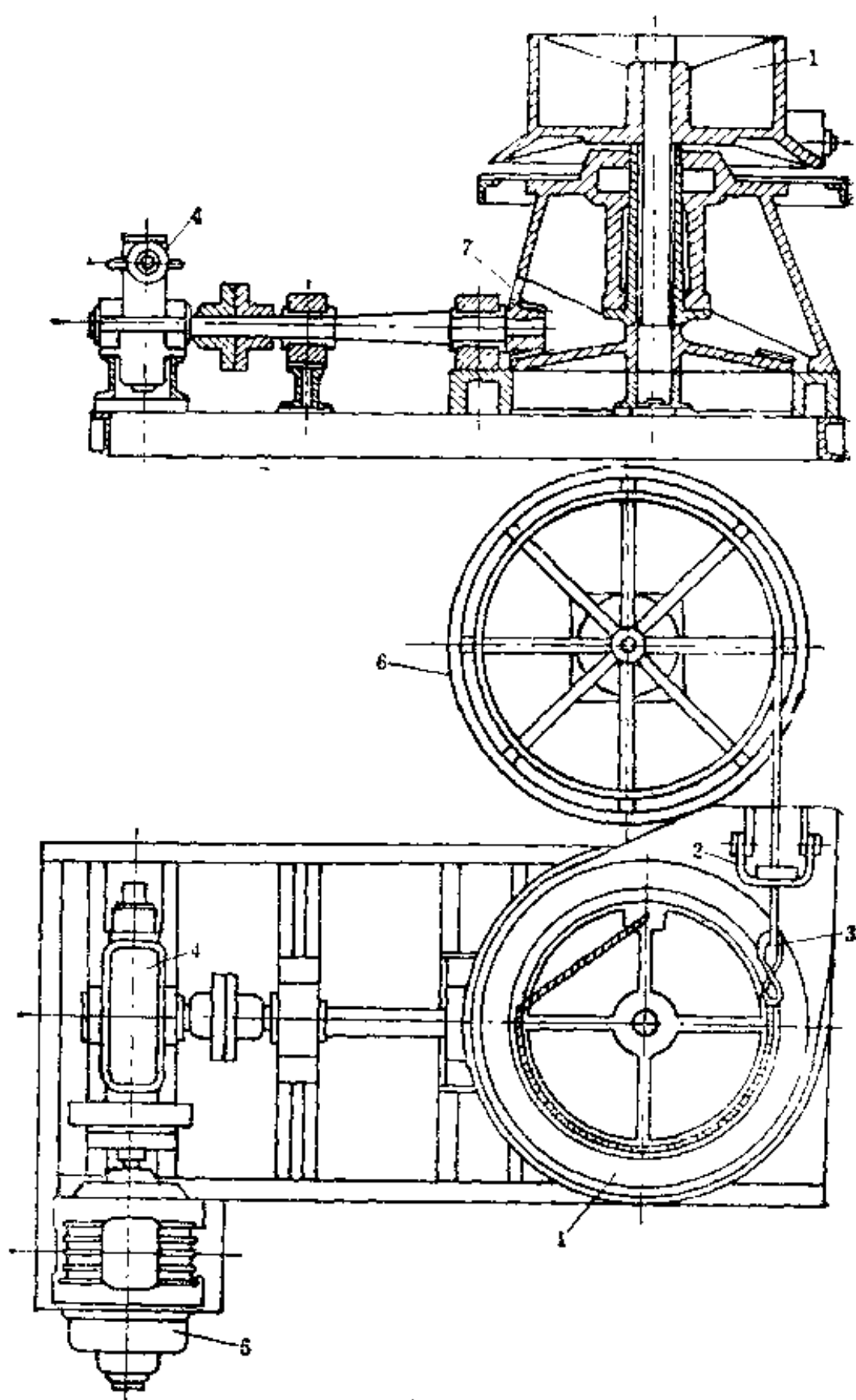


图 10-39 卷筒式拔管机

1—铸铁卷筒；2—铰接的机架；3—夹钳；4—蜗轮减速机；5—电动机；6—管卷架；7—伞齿轮

管机称为直线式拔管机。卷筒式拔管机则不同，它没有拔管小车，拉拔时以卷筒牵引管子，管料和成品都呈管卷，所以是非直线式的。

和直线式拔管机相比，用卷筒式拔管机拉拔小口径管具有以下主要优点：

1) 可拔制长度 ≥ 100 米的管子，拔制速度 ≥ 200 米/分，最高可达720米/分。目前卷筒式拔管机的能力最大的已达100千牛，生产率可比直线式高1.5~2倍；

2) 切头损失减小，可降低金属消耗；

3) 占地面积小。

卷筒式拔管机的结构见图10-39。苏联一些卷筒式拔管机的技术性能见表10-9。

表 10-9 卷筒式拔管机的技术性能

性 能 参 数	拔 管 机 型 号		
	BCT-1/750	BCT-1/1000	BCT 1/1500
拔制力，千牛	15	25	80
卷筒直径，毫米	750	1000	1500
卷筒工作长度，毫米	1200	1500	1500
拔制钢管直径，毫米	1.2~8	5~15	8~45
拔制钢管长度，米	350~2300	280~800	130~600
拔制速度，米/分	100~540	85~540	40~575
速度调节	无级	无级	无级
主传动 功率，千瓦	32	42	70
转速，转/分	750~1500	650~1800	600~1800
管卷储存能力，个	15	15	13
平均生产率，米/时	13000	11000	9500
设备重量，公斤	21 925	31 113	40 600

在卷筒式拔管机上拔管时，管子发生弯曲而产生附加应力，其横断面形状有变椭的倾向。为了避免管子横断面变椭圆，拉拔时的道次变形量通常比直线式拔管机小15~20%。此外，管径愈大和管壁愈薄，拔管机卷筒的直径应该愈大。

卷筒式拔管机目前多用于生产有色金属管。

四、半连续和连续拔管机

前面已介绍过的各种直线式拔管机都是间歇工作的，即在前一根钢管拔制終了后必须等待拔管小车返回到中心架前时才能拔制后一根钢管。为了提高拔管机的生产率主要依靠提高拔制速度和小车返回速度以及增加拔管机的有效长度和线数。但要继续依靠这些措施更进一步提高拔管机的生产率存在许多结构上的困难。因此出现了以排除等待拔管小车返回时间，增加拔制节奏中机械时间（拔制时间）的比重来提高生产率的半连续和连续拔管机。

1. 半连续拔管机

半连续拔管机有许多型式，且绝大多数建立在链传动的基础上，但拔管机具有两台或多台拔管小车，小车始终和拔管链相连并先后顺次工作，两台小车之间的距离等于拔管机的最大有效长度。

在图10-40上列出了几种型式的半连续拔管机。在图10-40, *a*所示的拔管机上，拔管小车固接在拔管链上，在绕过链轮时小车沿具有一定形状的导轨运行。当一台在上层的小车把前一根管拔制完时，另一台在下层的小车到达中心架之前并夹住后一根管进行拔制。采用这种型式夹住管端时小车处在从动链轮的上点位置，速度较大容易拔断管子。因此若主传动不能调速这种拔管机的速度和能力都不能大。一台这种型式的20千牛拔管机，速度为0.7米/秒不能调，用来拔制长度 ≤ 12 米的铝合金管。

图10-40, *b*所示的拔管机，拔管小车通过双臂杠杆铰接在拔管链上，杠杆的另一端装着滚轮。当滚轮沿着装在主、从动链轮附近的靠模滚动时，拔管小车进行上下层的过渡。在下层运行的小车拔制钢管，而在上层运行的小车朝中心架移动。当前一根钢管拔完后，原在上层运行的小车夹住后一根钢管的管端并转到下层进行拔制。这种拔管机的小车夹住管端时，杠杆与链条铰接处的水平速度为零，与链条速度无关，因此可采用不能调速的主传

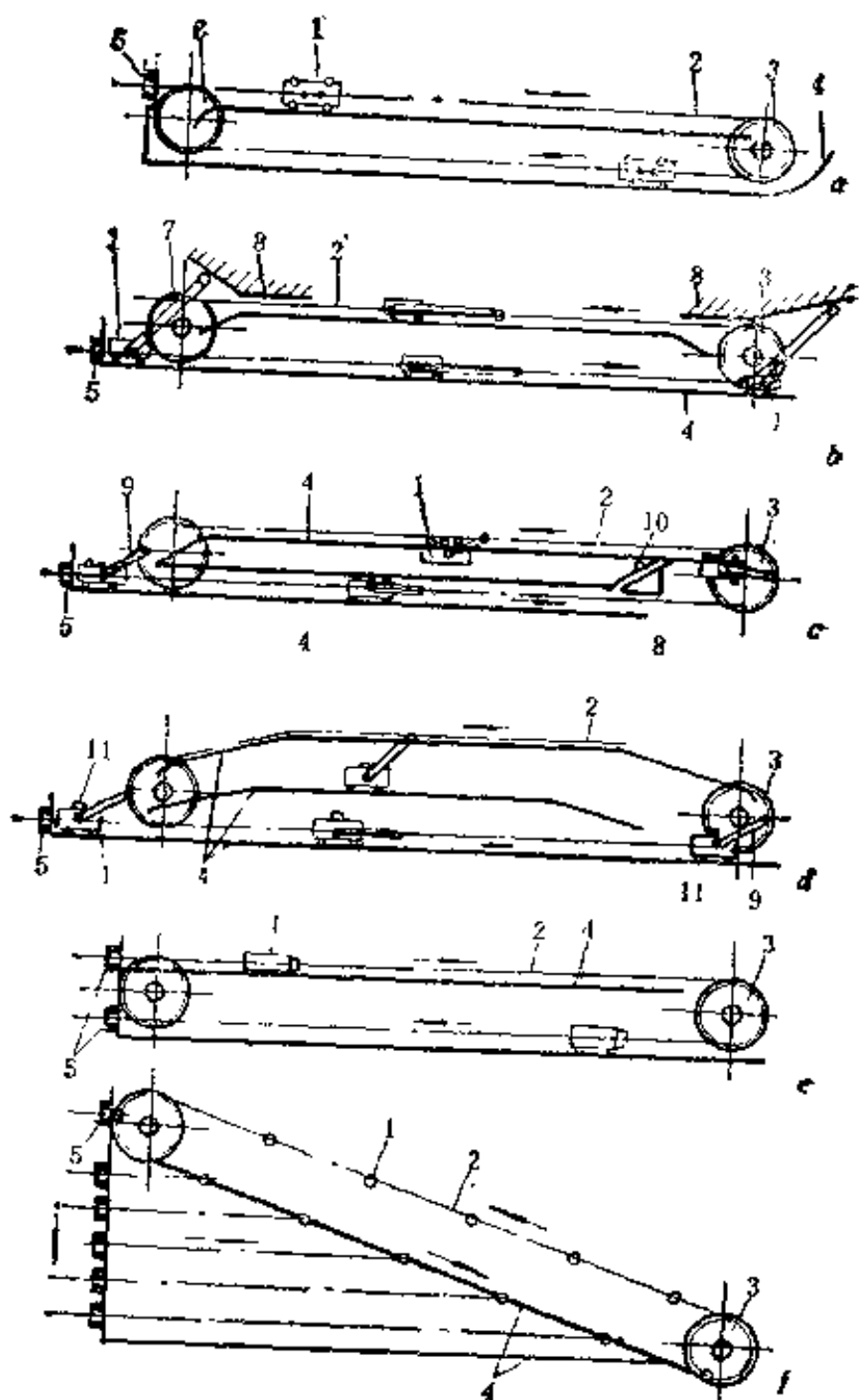


图 10-40 半连续拔管机图示

a—具有两台固接在拔管链上的拔管小车；b—具有通过双臂杠杆铰接在拔管链上的拔管小车；c—具有通过单臂杠杆铰接在拔管链上的拔管小车；d—具有供拔管小车过渡的导轨；e—具有通过铰式平衡杆与拔管链相连的拔管小车；f—具有多台拔管小车；1—拔管小车；2—拔管链；3—主动链轮；4—机座；5—拔管模；6—从动链轮；7—双臂杠杆；8—固定靠模；9—单臂杠杆；10—转辙器；

11—挡铁

动。一台这种型式的5~30千牛的三线拔管机拔制速度为0.6~0.7米/秒，拔制长度 ≤ 8 米，生产率为3000米/时。

图10-40, c所示的拔管机，拔管小车通过单臂杠杆与拔管链相连。小车的顶部装有附加滚轮。在下层的小车拔制完前一根管子后，借助滚轮沿着固定靠模转到上层，另一台原在上层的处于中心架前的小车沿着倾斜的靠模转到下层拔制后一根管子。这种拔管机可在零速度时可靠地夹住管端，并允许增加小车的重量。伊尔库茨克古比雪夫重机厂制造的这种拔管机的技术性能如下：

拔制力，千牛	50
线数	1、2、3
成品管直径，毫米	5~26
拔制长度，米	12
管料最小长度，米	3
拔制计算速度，米/秒	0.83
速度调整范围，米/秒	0.25~1.5
管料送入拔管模的速度，米/秒	0.65
主电动机的功率，千瓦	52
外形尺寸，米	
长	27.5
宽	4.2
设备重量，吨	26.1
生产能力，米/时	3500

图10-40, d所示的拔管机上，拔管小车在上、下层之间的过渡以及在上层的运行借助于机座上两条具有特殊形状的导轨。它有水平段和两个斜面组成，小车和铰接杠杆的滚动支撑分别支在两条导轨上。这种拔管机操作时不会出现故障，小车过渡时路程也较短。伊尔库茨克古比雪夫重机厂按上述型式设计的一台50千牛拔管机，主传动可调速计算速度为0.8米/秒，有效长度12米，生产能力约为4000米/时。

图10-40, e所示的拔管机是可逆的，拔制交替在上层和下层进行。这种拔管机可有较大的能力和较高的速度。

可以同时拔制多根管子的半连续拔管机见图10-40, *f*。它的特点是拔管链布置成与拔制线呈一定角度, 并且在链条上装着多个夹管头的装置。每个夹管头装置在通过拔制的起始位置时都夹住一根管子的管头, 这时拔制速度为零。拔制过程开始后, 管子和拔管模一起垂直向下移动, 直至拔制終了。一台这种型式的5千牛拔管机, 拔制速度0.5米/秒, 拔制长度 ≤ 8 米, 其生产能力为3000米/时。

还有一种拔制时移动拔管模的半连续拔管机(图10-41)。在这种拔管机上, 装在机座1中的连续运行的拔管链2上固接着装有拔管模4的模座3。在管头伸过模孔并被夹钳5夹住后, 拔管过程开始。当一个拔管模拔完前一根管子时, 另一个拔管模到达拔管的开始位置, 接着进行后一根管子的拉拔。

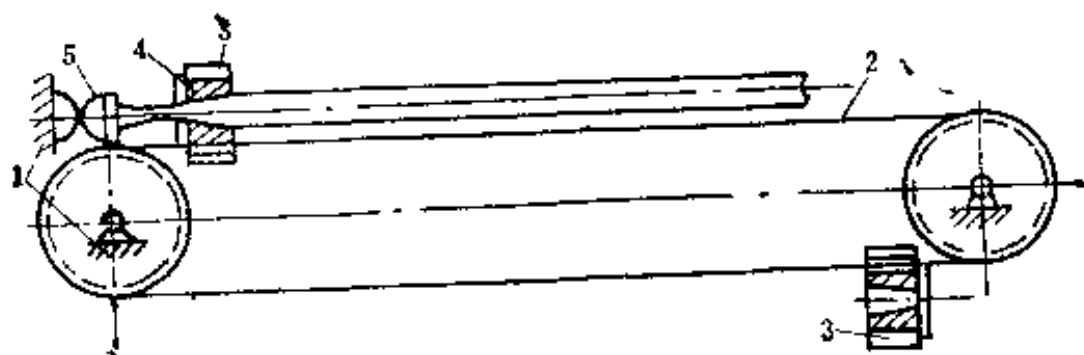


图 10-41 移动拔管模的半连续拔管机

2. 连续拔管机

连续拔管机有履带式、小车往复运动式和小车连续运动式等。

履带式连续拔管机由几个机架组成, 图10-42为其中的一个机架。每个机架前装着拔管模。机架上下两侧都安装着环链。链环的轴上装着履带节用来输送管子进入拔管模。

在莫斯科钢管厂有一台50千牛履带式连续拔管机, 可进行无芯棒和长芯棒拉拔, 拔制直径为8~26毫米的钢管。拔管机由三个机架组成, 拔制速度为1.25米/秒。和间歇工作的拔管机相比生产率几乎提高了3倍。但经无芯棒拔制后的钢管存在一定的纵向壁厚不均。

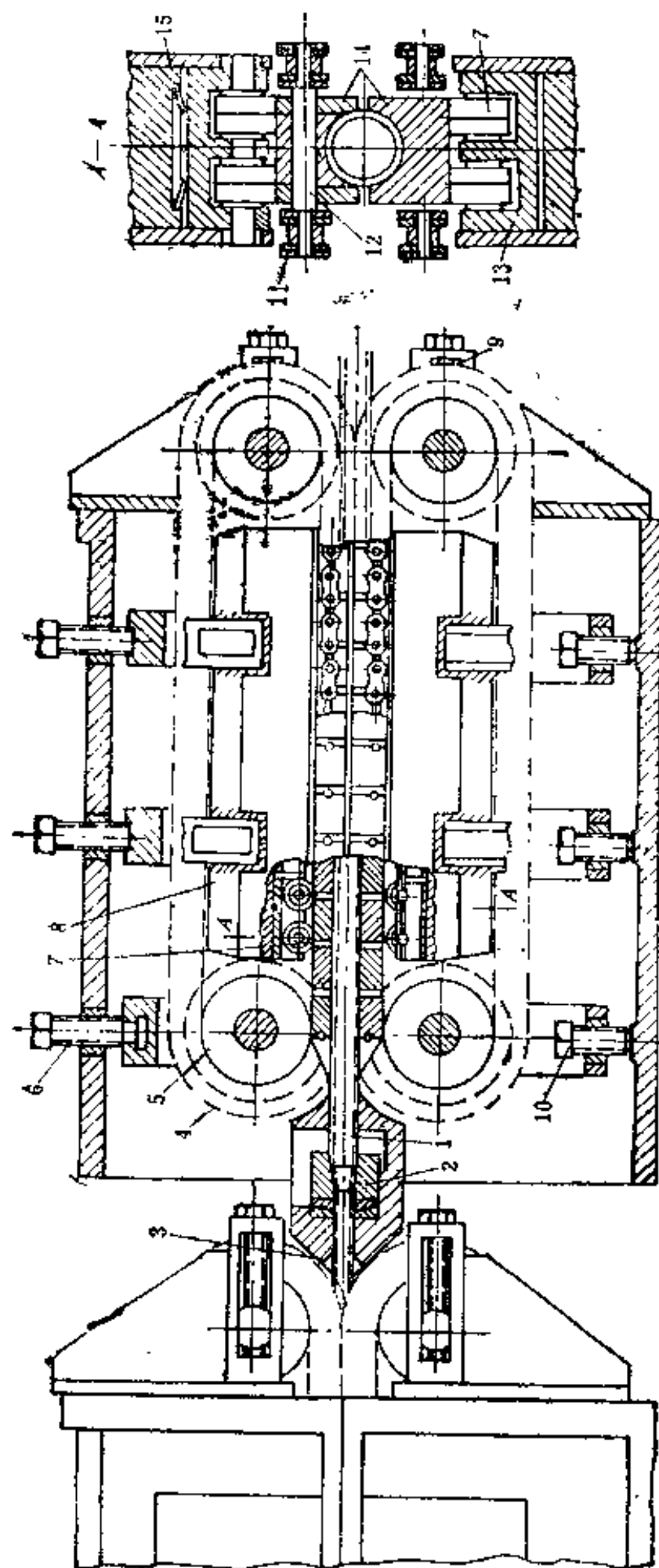


图 10-42 履带式连续拔管机的一个机架

1—管料；2—拔管轴；3—拔后管子；4—环链；5—链轮；6和10—调整环链压力的螺丝；7—支撑梁；8—环链的张紧装置；11—链环；12—轴；13—支座；14—履带节；15—碟形弹簧

生产中小车往复运动式连续拔管机有较广泛的应用。图10-43为这种拔管机的示意图。拔管小车1和2由具有特殊形状的转鼓3和4传动。小车置于导轨上。转鼓和轴5相连。每台小车的下面装着靠模轮6，它和转鼓的侧面相互协同动作。为了夹住管子7，小车上夹钳装置。工作时，一台拔管小车在一个转鼓的推动下朝拔制方向运动拔制管子，另一台小车处在空程状态，在另一个转鼓的推动下朝中心架8方向移动。当处在极限位置时，原牵引管子的小车和管子脱开并改变运行方向转入空程，原空程运行的小车夹住管子，继续拔制管子。整个拔制过程在不断作往复运动的两台小车的交替牵引下连续地进行。一台这种型式的230千牛拔管机，拔制速度为0.6米/秒，主电动机的功率为200千瓦可拔制直径为19~40毫米的管子。小车的运动方式限制了这种拔管机的速度和生产率。

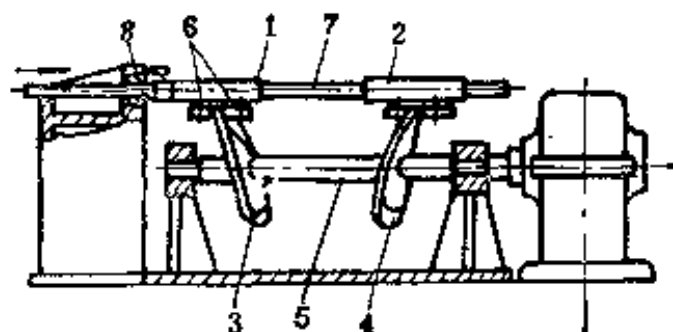


图 10-43 小车往复运动的连续拔管机

拔管小车连续运动的连续拔管机具有最大的生产率。图10-44为一台这样的拔管机。拔管机有三台用双臂杠杆8铰接在拔管链上的拔管小车7。小车上夹钳装置15。拔管链9上还装有夹持拔制中管子的装置12，该装置中安有夹钳16。由放管卷筒1上来的管子2通过矫直辊进入拔管模，这时装在中心架3上的气缸杆推动小车上的板牙柄15，它带动板牙移动夹住管头并开始拔制。当其中一台小车接近主动链轮10时，小车上的板牙逐渐松开并和管子脱开。与此同时，第二台小车绕过从动链轮4从返回线上转到拔制线上。板牙柄上的滚轮与导板5相碰，使板牙靠拢夹住管子。脱开管子后的第一台小车在杠杆8和靠模6的作用下由

拔制线转入返回线，管子的拔制在第二台小车的牵引下继续进行。连续拔制就在小车不断交替牵引下得到实现。

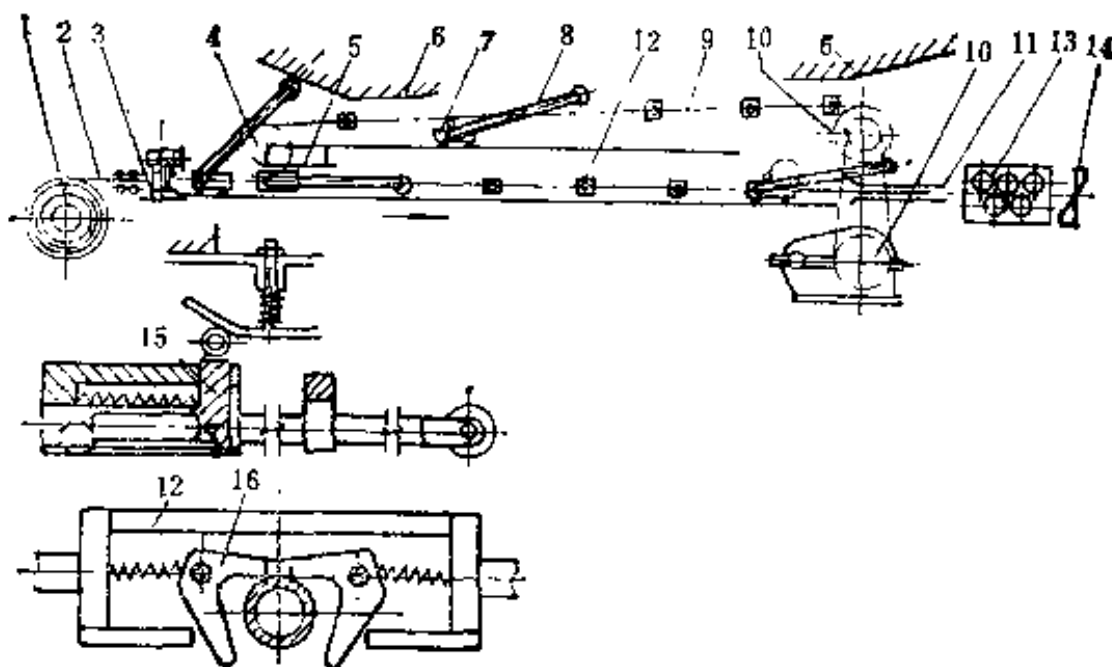


图 10-44 小车连续运动的连续拔管机

拔制结束后，管子通过导管11相继进入矫直装置13和切断装置14加工。

第三节 冷轧管机

一、冷轧管机的分类、技术性能、组成和布置

目前用冷轧的方法可以轧制直径为4~450毫米、厚度为0.2~35毫米的管材。所用轧机主要为二辊式冷轧管机和多辊式冷轧管机。一般把冷轧管机按其所轧管子的规格范围分为几组。

二辊式冷轧管机分为3组：

1) 小型轧机：如苏联的XΠT32, XΠT55和国产的LG30, LG55等；

2) 中型轧机：如苏联的XΠT75, XΠT90, XΠT90Π, XΠT120Π, XΠT250和国产的LG80, LG120, LG150, LG200等；

3) 大型轧机：如苏联的XΠT450等。

多辊式冷轧管机分为两组：

1) 小型轧机：如苏联的XΠTP3-8, XΠTP4-15, XΠTF8-15, XΠTP6-15, XΠTP15-30和国产的LD-8, LD-15, LD-30等；

2) 中型轧机：如苏联的XΠTP30-60, XΠTP60-120和国产的LD-30, LD-90, LD-120等。

在苏联制造和国产冷轧管机的名称中，字母后面的数字，对于二辊式冷轧管机表示该轧机轧制管子的最大直径，对于多辊式冷轧管机表示轧制管子的最小和最大直径或最大直径。苏联制造的有的二辊式冷轧管机的名称中，在代表管径的数字前还标有轧机线数的数字，如二线轧机XΠT2×40；在表示管径的数字后顺次有表示轧机型号和管料最大长度的数字，如XΠT32-2-5。轧制变断面管的冷轧管机则在表示管径的数字后标有字母Π，如XΠT90Π。

一些国产和苏联及西德制造的二辊式冷轧管机的技术性能见表10-10、10-11和10-12。

一些国产和苏联制造的多辊式冷轧管机的技术性能见表10-13和10-14。

冷轧管机本身由各种设备和机构组成，一般包括下列几部分：

1) 轧制设备：由工作机架、工作机架的底座、传动机构、前卡盘和中间卡盘组成，这一部分设备用来直接轧制钢管。

2) 受料台：放置待轧的管料和在轧制时送进和回转管料，包括装料台、中心架、送进回转机构、主传动、管料卡盘。

3) 后台：这一部分机构用来在装料时移动芯棒杆和在轧制时固定芯棒杆，包括芯棒杆卡盘的固定机构、芯棒杆返回机构、返回机构的传动机构和中间连接部分。

4) 出料台：用来收集轧制后的钢管，包括篦条和料框在内的受料槽、锯和拨料机。

5) 液压操纵装置：用来储油和向各液压缸供油，包括油

表 10-10 我国二辊式冷轧管机的技术性能

指 标	轧 机 种 类						
	LG-30	LG-30ⅢΦ	LG-55	LG-80	LG-120	LG-150	LG-200
管料尺寸:							
直径, 毫米	22~46	22~46	38~73	57~102	89~146	108~171	140~230
壁厚, 毫米	1.35~6	1.35~6	1.75~12	2.5~20	~26	~28	~32
长度, 米	1.5~5	1.5~5	1.5~5	1.5~5	2.5~6	2.0~6.5	2.5~6.5
轧成管尺寸:							
直径, 毫米	16~32	16~32	25~55	40~80	80~120	100~150	125~200
壁厚, 毫米	0.4~5	0.5~5	0.75~10	0.75~18	14~16	3~18	3.5~22
长度, 米	~25	3~25	~25	~25	4~10	4~10	4~10
工艺参数:							
最大断面减缩率, %							
含C<0.35%的碳钢管	83		88	88	80	80	80
合金钢和不锈钢管	79	73	79	79	70	70	70
最大直径减缩量, 毫米	24	21	33	33	50	50	50
最大壁厚减缩率, %							
含C<0.35%的碳钢					70	70	70
合金钢和不锈钢	70	65	70	70	45~60	45~60	45~61
管料送进量, 毫米	2~30	2~20	2~30	2~30	2~20	2~20	2~15
结构参数:							
辊径, 毫米	300	300	361	434	550	640	760

指 标	轧 机 种 类						
	LG-30	LG-30ⅢD	LG-55	LG-80	LG-120	LG-150	LG-200
主动齿轮节圆直径, 毫米	280	280	336	主406或378	462	主528 从640	616
机架行程长度, 毫米	450	450	624	705	802	905.56	1076
轧辊回转角, 度	185.501	184.08	212.856	213.912	198.986	196.531	200.131
机架行程次数, 次/分	80~120	70~210	68~90	60~70	60~100	45~80	45~70
主电动机功率, 千瓦	72	115	100	130	320	320	500
生产率, 米/时	115	343	108	95	90	75	70

① LG-30Ⅲ为高速三线长行程轧机。

表 10-11 苏联二辊式冷轧管机技术性能

指 标	轧 机 种 类 及 制 造 厂											
	Y3TM			33TM			33TM			Y3TM		
	XПТ-32	XПТ-55	XПТ-75	XПТ-32-2	XПТ-32-2	XПТ-32-2	XПТ-32-2	XПТ-32-2	XПТ-32-2	XПТ-32-2	XПТ-32-2	XПТ-32-2
管料尺寸,												
直径, 毫米	28~46	38~68	57~102	28~46	38~73	57~102	28~46	38~73	57~108	57~108	108~165	121~173
壁厚, 毫米	1.35~6	1.45~12	2.5~20	1.35~6	1.75~12	2.5~20	1.35~6	1.75~12	2.5~20	2.5~20	4~25	2.5~28
长度, 米	1.5~5	1.5~5	1.5~5	1.5~8	1.5~8	1.5~8	1.5~8	1.5~8	1.5~8	1.5~8	2.5~8.5	1.5~8
												1.5~24

续表 10-11

指 标	轧 机 种 类 及 制 造 厂											
	УЗТМ		ХПТ-ХП									

表 10-12 西德曼内斯曼-米尔公司制造的二辊式冷轧管机

轧机类型	管料最大直径 毫米	轧成管最大直径 毫米	辊径, 毫米	轧槽工作部分 长度, 毫米	机架行程次数 次/分	主电动机功率 千瓦
KPW25VMR	28	8~23	180	300~360	100~260	37
KPW50VMR	51	12~38	300	610	75~190	165
KPW75VMR	76(80)	20~60	370	760	60~160	300
KPW100VMR	102	30~80	450	890	55~145	400
KPW125VMR	133	48~113	520	1000	50~135	550
KPW150VMR	160	60~127	620	1100	52.5~105	800
KPW50VM	51	12~38	280	370	75~190	90
KPW75VM	76	20~60	336	455	60~160	180
KPW100VM	102	30~80	403	545	55~145	240
KPW125VM	133	48~113	480	636	50~135	350
KPW175VM	175	76~150	640	840	37.5~90	650
KPW225VM	230	114~205	760	950	37.5~75	1200
KPW250VM	260	140~230	800	950	20~45	1000
KPW3×50VMR	51	12~38	400	610	60~160	400
KPW3×75VMR	80	20~60	500	800	55~135	700
KPW3×100VMR	106	30~80	590	920	45~120	920
KPW3×115VMR	122	35~80	610	920	40~120	950

注: VM—采用半圆形孔型的短行程轧机;
VMR—采用环形孔型的长行程轧机。

表 10-13 我国多辊式冷轧管机的技术性能

指 标	轧 机 种 类				
	LD-8	LD-15	LD-30	LD-60	LD-120
管料尺寸:					
直径, 毫米	3.5~9	9~17	17~34	32~64	63.5~127
壁厚, 毫米	0.3~1.3	~1.8	~2.5	~4	~3.5
长度, 米	1.2~3	0.8~4	1.5~5	2~5	2~5
轧成管尺寸					
直径, 毫米	3~8	8~15	15~30	30~60	60~120
壁厚, 毫米	0.1~1.0	0.1~1.0	0.1~2.0	0.2~3.0	0.25~2.5
长度, 米	≤6	~8	~15	4.5~15	~15
工艺参数:					
最大断面减缩率, %	70		70~75		
延伸系数	≤2.5		2~3.5	3	3
送进量, 毫米	1.5; 2.1; 3.0; 4.3;	1.65; 2.08; 2.88; 4.17; 5.15; 7.1	2; 3; 4; 5; 6; 7; 10	3; 4.3; 5.8; 8	2~8
最大减径量, 毫米					
结构参数:					
辊径, 毫米					
辊数, 个	3	3	3	3	5
机架行程长度, 毫米	400	450	475	603	753.34
机架行程次数, 次/分	60~150	70~140	65~130	50~100	50~150
主电动机功率, 千瓦	4.7	10	25	55	125
生产率, 米/时	20	15~30	20~30	20~30	

泵、分流阀、重力蓄力器和油管等。

6) 润滑和冷却系统: 用来向冷轧管机各个机构、管料和所轧管子供应润滑油和冷却液, 可以分为稀油站、干油站和冷却液站。

冷轧管机设备的平面见图10-45。

图10-46为二辊式冷轧管机典型的传动系统图, 从图中可以更直接地看到轧机上各种设备的位置及其相互关系。

工作机架30由主传动8通过接手7和伞齿轮副5和6传动。齿轮5使齿轮25及26转动, 齿轮26通过连杆29使工作机架作往复

表 10-14 苏联多辊式冷轧管机的技术性能

指 标	轧 机 种 类					
	XПТР 4-15	2XПТР 6-15	XПТР 8-15	XПТР 15-30	XПТР 30-60	XПТР60 -120
同时轧制钢管的根数	1	2	1	1	1	1
管料最大直径, 毫米	17	17	17	33	65	127
管料长度, 米	1.5~4	1.5~4	1.5~4	1.5~5	2.5~5	2.5~5
轧成管直径, 毫米	4~15	6~15	8~15	15~30	30~60	60~120
轧成管最小壁厚, 毫米	0.08	0.1	0.08	0.1	0.3	0.5
机架行程次数, 次/分	78~95 ~140	0~125	60~80 ~120	60~82 ~122	44~60 ~90	0~90
送进量, 毫米	1.3~1.8	1.06~ 8.8	1.3~8.0	1.3~9.2	1.3~9.0	1.3~9.0
轧辊直径, 毫米	36	36	36	62	83	180
辊数, 个	3	3	3	3	3	4
生产率, 米/时	20~35	30~70	20~30	20~35	20~35	20~35

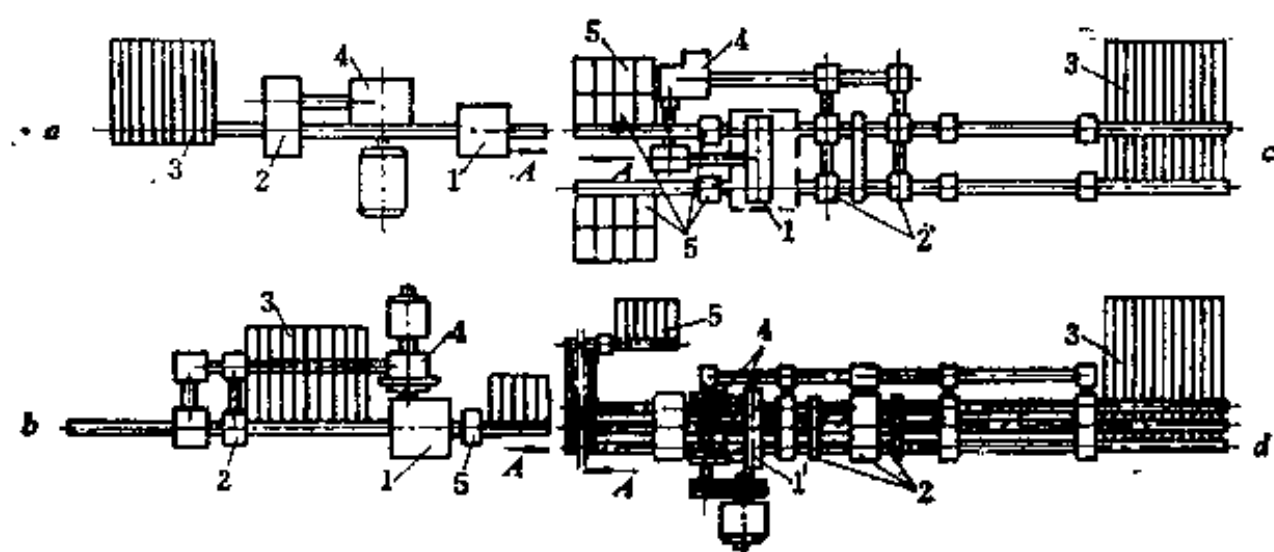


图 10-45 冷轧管机设备的平面布置

a—XПТР轧机; b—XПТ55轧机; c—XПТ2×40轧机; d—XПТ

3×75轧机; A—管子出口方向; 1—工作机架; 2—送进回转机构;

3—受料台; 4—主传动; 5—输送和收集台架

移动。在工作机架作往复移动的同时, 装在轧辊辊颈端部的主动齿轮31沿着固定在机座上的齿条32滚动, 带动轧辊2作同步往复转动。主电动机还通过减速机11使送进回转机构21的凸轮轴10转动。在主电动机轴上装有制动器9。送进回转机构传动前卡盘33

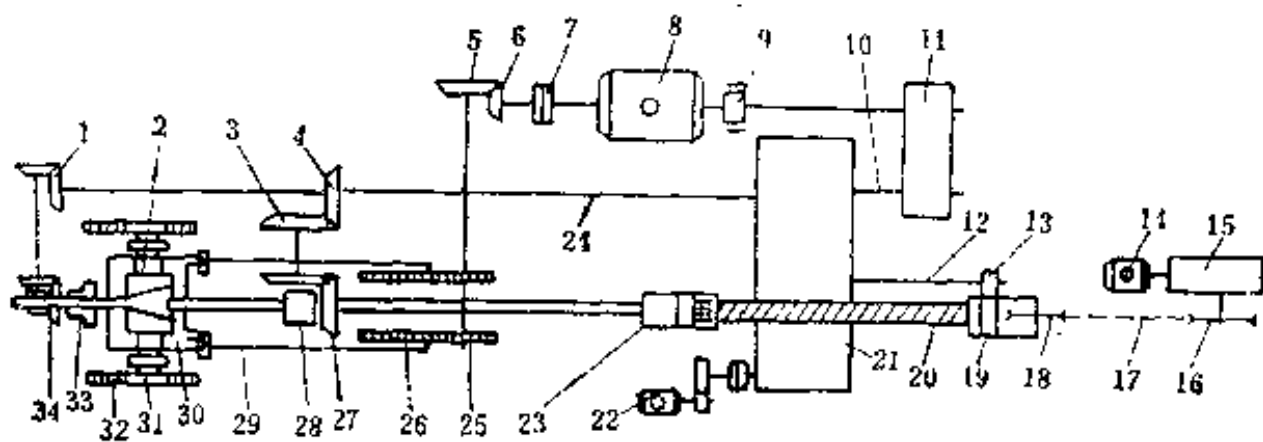


图 10-46 二辊式冷轧管机的传动系统图

和中间卡盘28的传动轴24，传动使管料卡盘23运动的送进螺丝2⁰以及轴12。轴12上装着齿轮13，齿轮13同芯棒杆卡盘上的齿轮啮合使它转动。

当送进回转机构上的齿轮传动套在送进丝杠上的青铜螺母时，送进丝杠和管料卡盘向轧制方向移动。送进丝杠和管料卡盘由另一个电动机22传动作快速返回。

中间卡盘28的轴由传动轴24通过齿轮4、3和27传动，而前卡盘的轴则通过伞齿轮副1和34传动。芯棒杆卡盘19由链条17和链轮18与16传动。主动链轮16由电动机14通过减速机15传动。

不同型式的轧机其传动系统存在一些区别，特别是辅助装置。

多辊式冷轧管机的传动系统与二辊式轧机的没有原则区别。多辊式冷轧管机的主电动机通常布置在车间地平面以下。主电动机通过皮带轮带动曲柄连杆机构的主动齿轮转动。借助曲柄连杆机构和杠杆系统工作机架和轧辊架产生往复移动。杠杆系统布置在工作机架的前面或后面。

二、二辊式冷轧管机的主要装置和机构

1. 工作机架

工作机架直接用来轧制钢管，是冷轧管机主要组成部分。工作机架的结构应便于工具（轧辊、轧槽块、芯棒等）的更换并具

有足够的刚度和强度。在轧制过程中，工作机架中的各个部件和机架本身产生弹性变形，如果工作机架的刚度和强度不足，弹性变形量大，会给轧制精度带来不利的影响。

图10-47为XHT-55冷轧管机工作机架的结构。

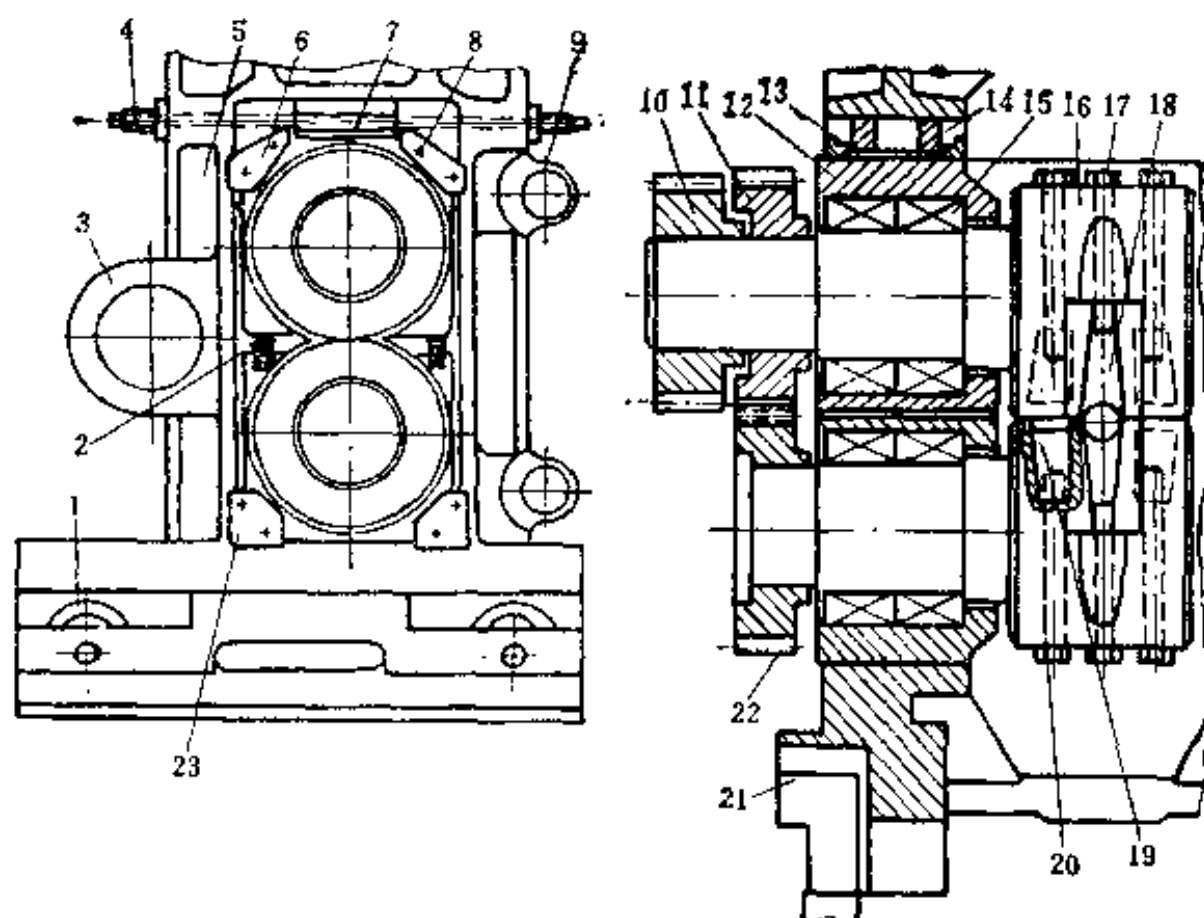


图 10-47 二辊式冷轧管机的工作机架

机架（牌坊）5为铸件或焊接件。机架上的凸耳3用来与传动机构的连杆相联。机架下部的凸台21用来防止工作机架由于倾翻和移动而离开轧制中心线。机架下部还有两对镗孔，孔中装着滚轮1的轴，但在有的轧机上滚轮已改为滑板。

工作轧辊16安装在轴承座12中的滚动轴承15上。轴承座放在机架的窗口中。上下轧辊辊颈上装着从动齿轮11和22。此外在上轧辊轴端还装着主动齿轮10。主动齿轮和固定在机座上的齿条相啮合。在上下轧辊的轴承座上钻有孔，孔中安放平衡弹簧2，用来平衡上轧辊以及装在轧辊上的全部零件。

上下轧辊的轴承座用盖板23固定在窗口中。上轧辊可作垂直

方向的移动，它的移动靠调整装在上轧辊轴承座和机架之间的斜楔7来实现。斜楔位置的调整借助于螺栓4。轧辊的轴向移动，通过从一面松动压板23和6的螺钉8而从另一面拧紧压板螺钉的办法来实现。

在斜楔中置有安全装置的剪切环13和冲头14。剪切环在轧制负荷超过允许值时发生破坏，从而对轧辊及工作机架的其他部件起保护作用。

轧槽块18用中心螺丝17固定在工作轧辊的切槽中，通过装在轧槽块和辊身上径向刻槽中的两个斜楔19把扭矩从轧辊传到轧槽块。斜楔用螺栓20拧紧。

凸耳9用来连接平衡装置的连杆。

2. 主传动及传动机构

主传动包括主电动机和减速机。

冷轧管机可用交流电动机或直流电动机驱动。直流电动机因为转速可调，常用来驱动小型冷轧管机，这些轧机轧制的钢管尺寸

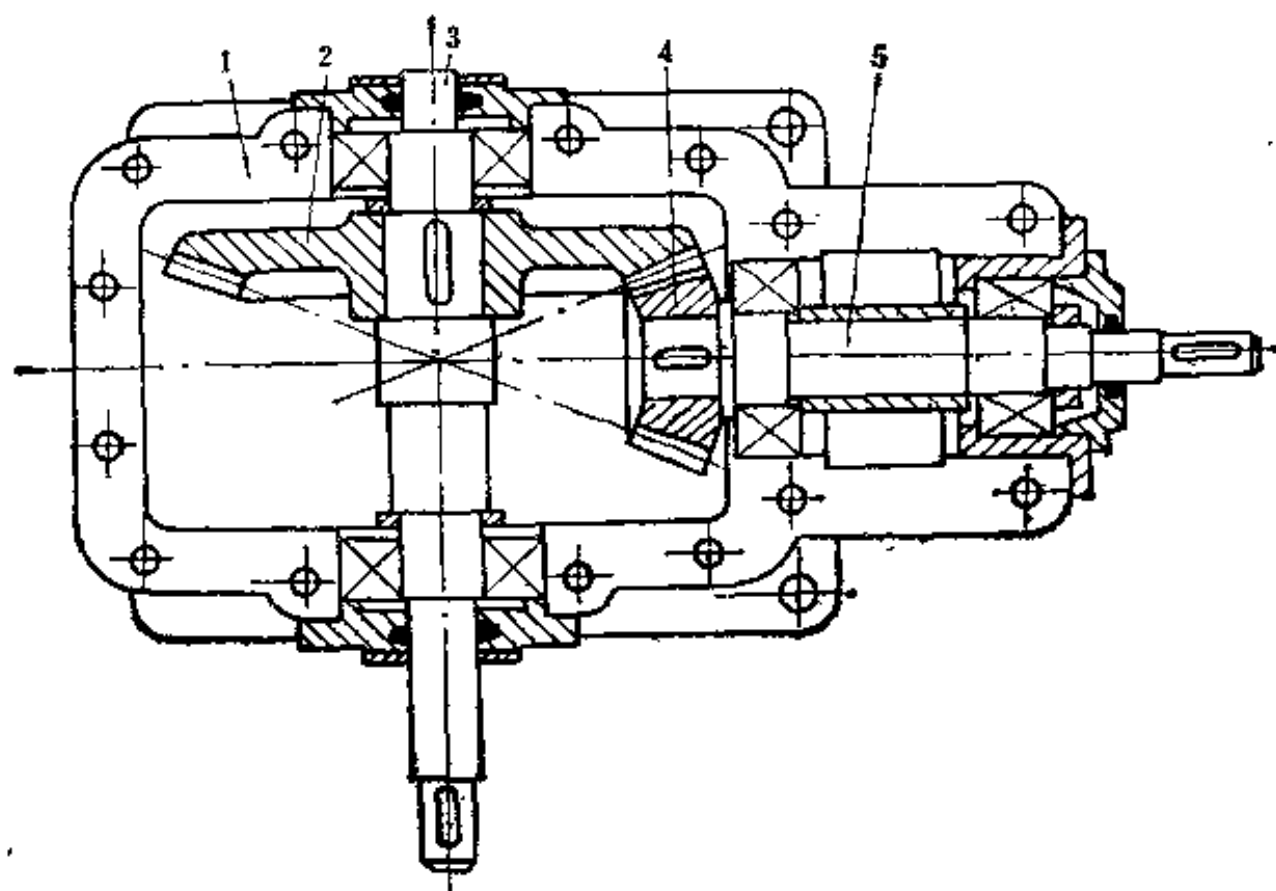


图 10-48 二辊式冷轧管机圆锥齿轮减速机

和钢种变化多，需要经常改变轧制速度。对于专用的以及大中型冷轧管机采用交流电动机驱动比较合理，以减少投资。

主传动的减速机有圆锥齿轮减速机和圆锥-圆柱齿轮减速机。用圆锥齿轮减速机的优点是，主传动可布置成与轧制线平行，以减小机列的宽度。圆锥齿轮减速机的结构见图10-48，在箱体1中安装着2或3个装在主动轴5和从动轴上的伞齿轮2和4。

传动机构的作用是把冷轧管机主传动的转动变成工作机架的

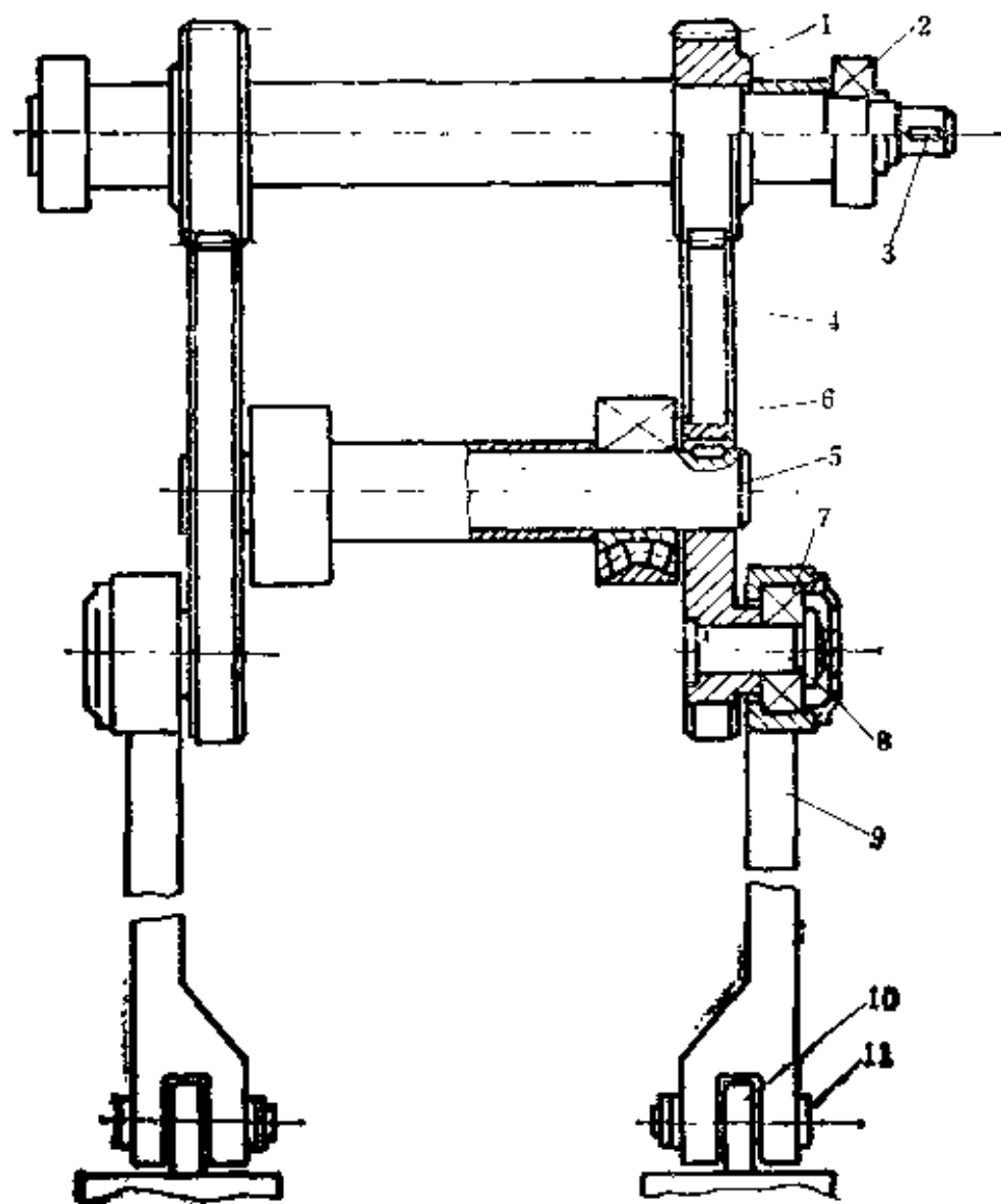


图 10-49 二辊冷轧管机的传动机构

1—主动齿轮；2—滚动轴承；3—曲柄连杆机构的传动轴；4—曲柄
齿轮；5—曲柄齿轮轴；6—滚动轴承；7,10—销钉座；8,11—销
钉；9—连杆

往复移动。二辊式冷轧管机的传动机构由一对曲柄连杆机构和两对齿轮组成。其中一对齿轮是从动的曲柄齿轮；另一对是主动齿轮，它通过联轴器与主传动相连（图10-49）。

工作机架的传动系统见图10-50。

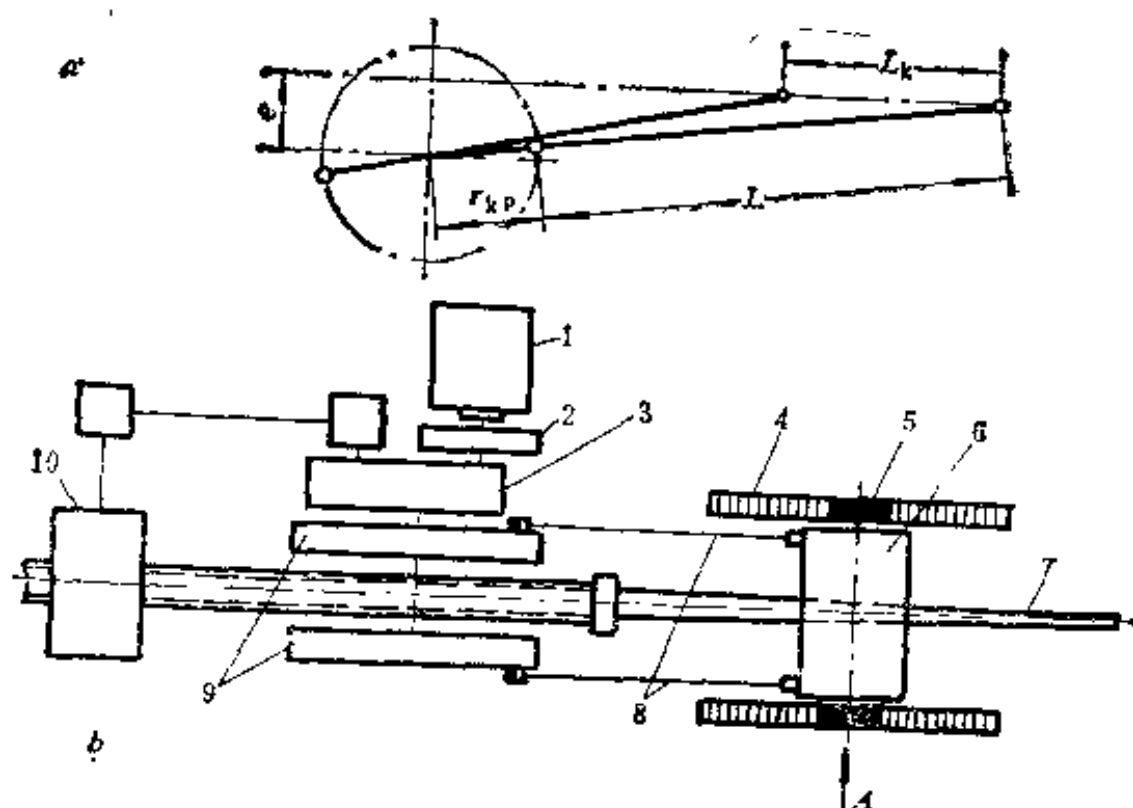


图 10-50 二辊式冷轧管机工作机架的传动系统

a—曲柄连杆传动图示；b—传动机构部件的布置

1—主电动机；2—联轴节；3—主减速机；4—齿条；5—齿轮；6—工作机架；7—管子；8—连杆；9—曲柄轮；10—送进回转机构

移动时工作机架的行程长度决定于曲柄半径 r_{kp} 、连杆长度 L 和偏心矩 e ：

$$L_k = \sqrt{(L + r_{kp})^2 - e^2} - \sqrt{(L - r_{kp})^2 - e^2}$$

在作往复移动时，工作机架由一个极限位置移动到另一个极限位置的过程中，其移动速度是变化的。在通过极限位置时速度为零，继续移动速度逐渐上升，当移到行程的中间位置时速度达到最大值；通过中间位置后速度逐渐降低，当移到另一个极限位置时，速度再回复到零。以上说明，在前半个行程中存在加速

度，在后半个行程中则存在减速度。由于加速度和减速度的存在，导致处在运动状态的工作机架和曲柄连杆机构要不断承受很大的惯性力。惯性力的值与轧机移动部分的质量和速度以及主传动机构和工作机架的结构参数等有关。惯性力通过连杆还被传递到主减速机以及主电动机的电枢。

由于工作机架周期性的加速和减速，连杆内的应力见图10-51。图10-52为轧制过程中主电动机电枢电流的变化。

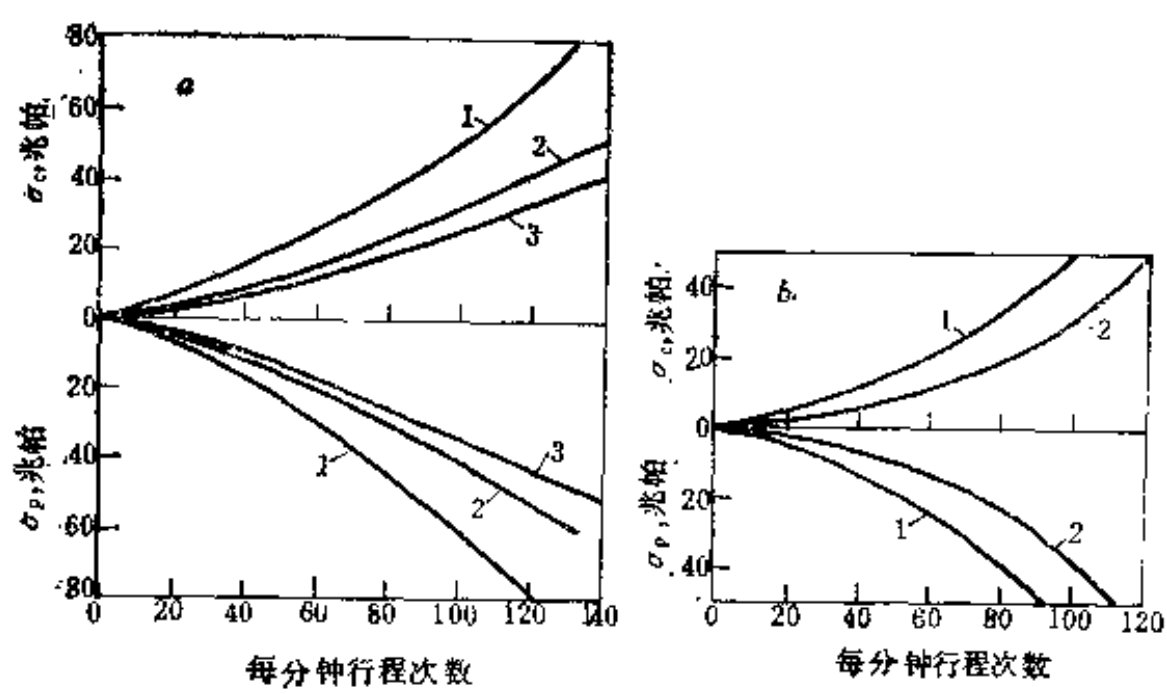


图 10-51 连杆内的应力

a—X11T55轧机；b—X11T75轧机

1—实际的轧机；2,3—工作机架分别减轻30~40%

σ_p ——拉应力； σ_c ——压应力

为了减小惯性力，主要措施之一是设置惯性质量的平衡装置。

西德曼内斯曼-米尔公司制造的冷轧管机采用重锤平衡（图10-53, a）。这种轧机上主电动机通过皮带轮2带动曲轴3，曲轴使工作机架1作往复移动。重锤4用来平衡曲轴上的动负载。因为曲轴同时传动工作机架和重锤，而当工作机架速度为零时，重锤有最大的速度，这样可以大大降低工作机架加速时电动机的负载。

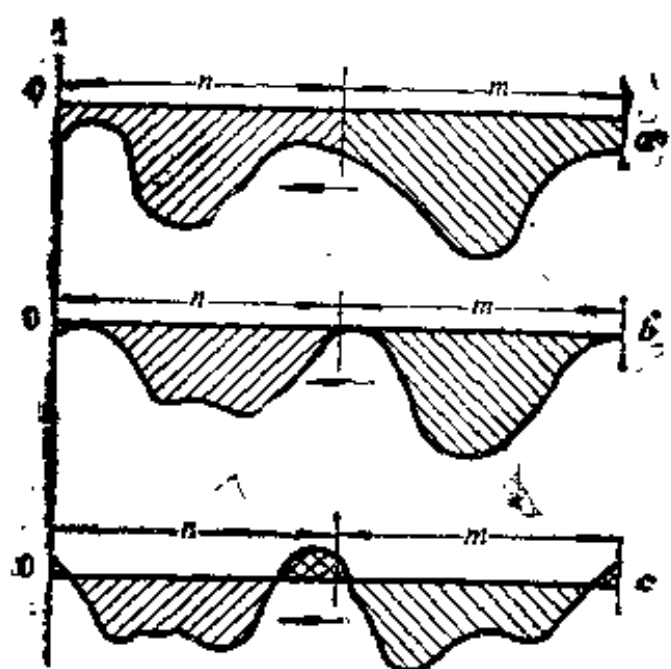


图 10-52 轧制时主机电枢电流的变化
a—大送进量；b—小送进量；c—空行程不轧管；
m—正行程；n—返行程

这种平衡装置的缺点是结构复杂和不能消除连杆联结处的动负载。

在苏联采用气动和液压平衡装置。它们在轧机前面直接和工作机架相联。气动平衡装置（图10-53, b）由两个双通的气缸4组成。工作机架的平衡依赖于活塞3对气体的压缩。采用气动平衡，冷轧管机的速度可提高15~30%；并改善传动机构零部件的工作条件。

液压平衡装置（图10-53, c）的工作原理和气动平衡装置类似。

除了上述几种平衡装置外，尚有气-液动平衡装置和在曲柄轮上带配重的平衡装置。

没有平衡装置和有不同平衡装置时，工作机架每分钟最大的行程次数如表10-15所列。

降低工作机移动时惯性的另一个主要途径是减小其移动部分的质量。特别是随着所轧管子直径的不断增大，同时轧制管子根数的增加和轧机日益大型化，减小移动部分质量的重要性显得更

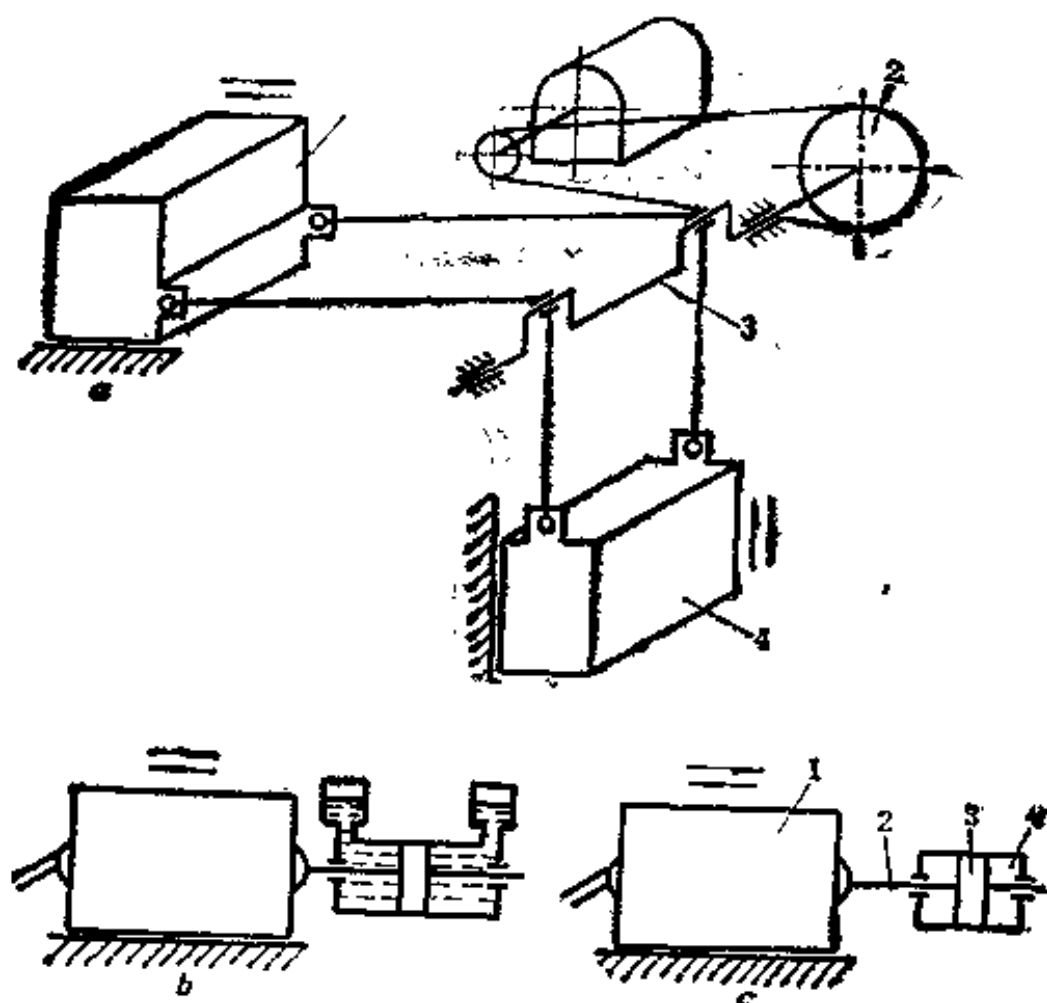


图 10-53 二辊式冷轧管机平衡装置的类型

a—重锤平衡，b—气动平衡，c—液压平衡

加重要。为此，设计制造了轧制时工作轧辊作往复移动而机架不移动的固定机架冷轧管机。图10-54为XΠT120Π固定机架冷轧管机。在这种轧机上，轧制时作用在工作轧辊上的垂直轧制压力，通过滚柱轴承6和辊式支撑轴承的厚壁外套2传递到固定机架的支撑轨5上，而轴向力则通过锥形滚柱轴承7和轴承座3传递到辊架8上。曲柄连杆机构的连杆借助于吊耳9带动辊架和其中的工作轧辊1作往复运动。由于安装在辊颈上的主动齿轮4和机座上的固定齿条相啮合，因此，工作轧辊在移动的同时也产生摆动。在辊架8的轴11上安装着滚轮10，机架移动时它沿固定机架上的导轨运动。

XΠT120Π轧机移动部分的质量，机架固定的为7.3吨，而机架移动的则为20~30吨。

表 10-15 有无平衡装置时冷轧管机每分钟的最大行程次数

轧 管 机	XПТ32	XПТ55	XПТ90	XПТ3×55	XПТ3×75
没有平衡装置	120	90	70	—	—
有气动平衡装置	150	130	100	—	—
有在曲柄轮上带配重的平衡装置	—	—	—	120	100
有重锤平衡装置	210	180	160	150	135

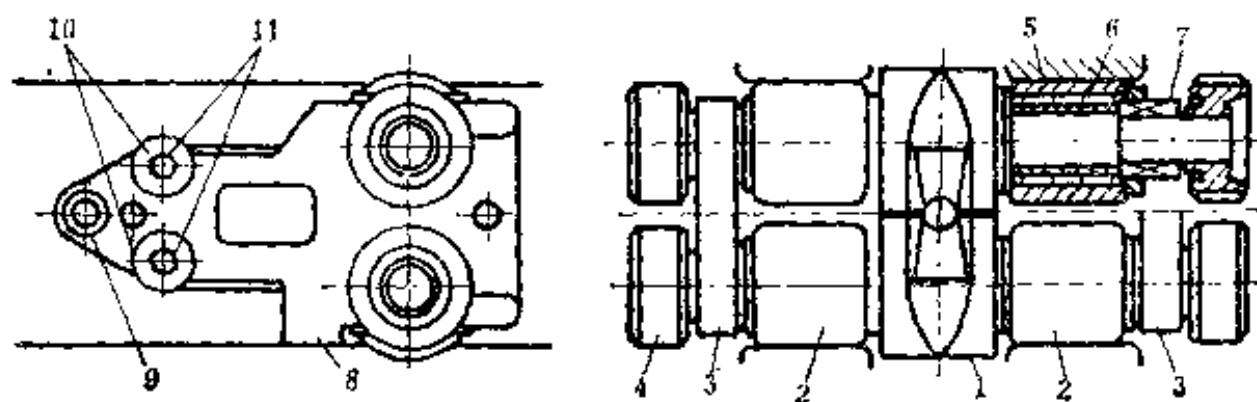


图 10-54 XПТ120П固定机架冷轧管机

上述固定机架冷轧管机存在一定缺点。由于垂直轧制压力是通过辊式支撑轴承传递的，它承受循环载荷并在沉重条件下工作。为了使它具有足够长的使用寿命，必须加大它的外形尺寸（直径和宽度）。这样做的结果，必然会增加工作轧辊的直径和运动质量，加大轧制时工作轧辊的弹性变形量，影响所轧管子尺寸的稳定性。

为了改善一般固定机架冷轧管机的工作条件，发展了带支撑辊的固定机架冷轧管机。图10-55为XПТ3×55和XПТ3×75带支撑辊的固定机架冷轧管机。在这种轧机上没有辊式支撑轴承，垂直轧制压力由工作轧辊1通过支撑辊2再传递到固定机架7的支撑轨3上。这样可以减小工作轧辊的直径，从而降低移动部分的质量，减少轧制时工作轧辊的弹性变形量提高所轧管子的尺寸精度。工作轧辊和支撑辊安装在辊架6中，辊颈上装着主动齿轮4

并和固定齿条5啮合。这类轧机有的还采用预应力固定机架，这可进一步提高管子的精度。

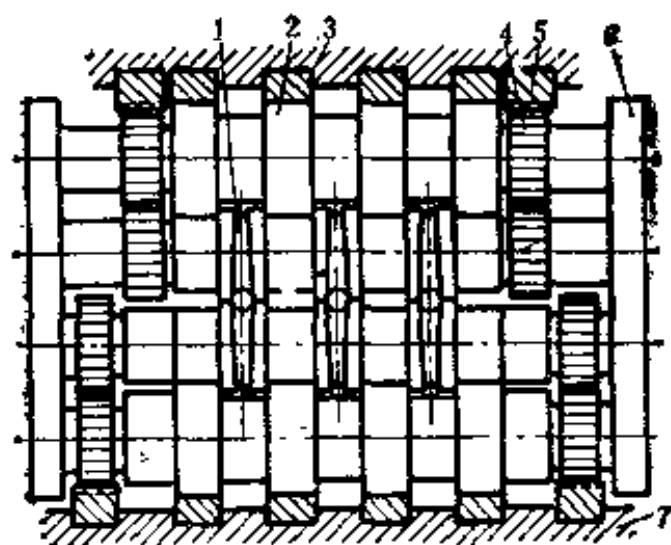


图 10-55 XΠT3 × 55和XΠT3 × 75带支撑辊的固定机架
冷轧管机

3. 送进回转机构

如前所述，冷轧管机具有周期性的工作制度，即管料的变形不是连续进行的，而是局部的和间断的。在没有变形的间隙时间里，管料进行送进或回转或两者同时进行。对于二辊式冷轧管机广泛采用当工作机架处在后极限位置时送进管料、当工作机架处在前极限位置时回转管料的送进回转制度。在多辊式冷轧管机上，一般当工作机架处在后极限位置时，同时送进和回转管料。也可以采用下述送进回转制度：当工作机架处在后极限位置时送进管料和工作机架处在前、后极限位置时都回转管料；或者当工作机架处在前、后极限位置时都送进管料，而当工作机架处在前极限位置时回转管料。

实现管料送进和回转的机构即为送进回转机构。

因为只有管料不和轧辊接触时才能进行送进和回转，因此，送进回转机构的动作不仅应具有周期性并且必须与工作机架的运动相协调，使两者严格保持同步。

送进回转机构应保证管料的送进量可在3~40毫米范围内进

行平滑或分级调整，其不均匀度应不大于15%，退回量应不大于2.5毫米。

管料的最小回转角可这样确定。处在图10-56所示孔型侧壁开口 ab 范围内的金属，在管料回转后应在孔型 bc 部分（处在以 R_x 为半径的孔型顶部圆弧上）轧制。为此，必须使管子上的 a 点按箭头所指的方向转过孔型上的 b 点，即管料的回转角应不小于孔型侧壁开口角 β_x ($30^\circ \sim 35^\circ$) 的两倍。由于孔型有强烈磨损，回转角应设计成可变的，即在每个行程或几个行程后能自动地变化，但最大的回转角不宜超过 90° ，否则回转传动系统中动载荷增加。这样送进回转机构的回转角，在轧制同一根管料时应能在 $60^\circ \sim 90^\circ$ 之间自动变化。

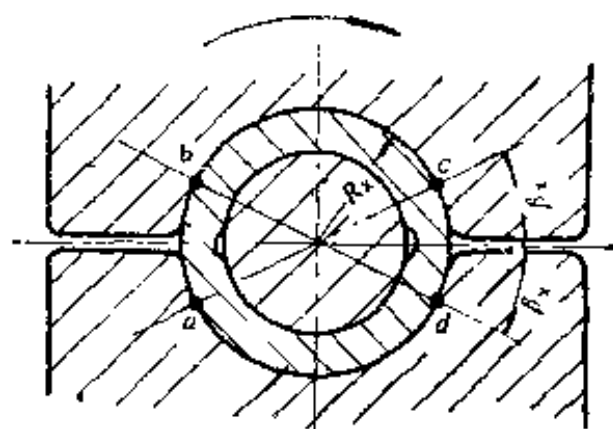


图 10-56 管子和轧槽块的径向断面

在装料和调整轧机时，送进回转机构应能快速和连续地沿着或逆着轧制方向移动管料卡盘。

送进回转机构有多种型式，下面介绍其中的马尔泰盘式、杠杆式和减速箱式三种：

(1) 马尔泰盘式送进回转机构

马尔泰盘式送进回转机构用在多辊式冷轧管机上，也见于一些老的二辊式冷轧管机。

马尔泰盘式送进回转的结构见图10-57。其主动曲柄销7由冷轧管机的主传动带动旋转，转速同工作机架的往复行程次数一

样。开始送进时，曲柄销 7 与马尔泰盘 6 相结合，使之回转一个确定的角度（其大小等于 360° 被马尔泰盘上的槽数除）。马尔泰盘通过传动系统来传动送进丝杠 3 和回转轴 2。为了调整送进量，在传动系统中装设了可换的齿轮 1。在工作机架正处在正、返行程期间，为了制动马尔泰盘，以免它自行回转，在主动轴上装设了特殊的凸轮 5，这个凸轮转进马尔泰盘的凹槽 4 中时，便可约束住马尔泰盘，使它不致继续旋转，最多只允许它再转动一个凸轮与马尔泰盘上凹槽之间的间隙。为了快速退回送进丝杠，备有一台电动机，通过三角皮带和接手带动丝杠。

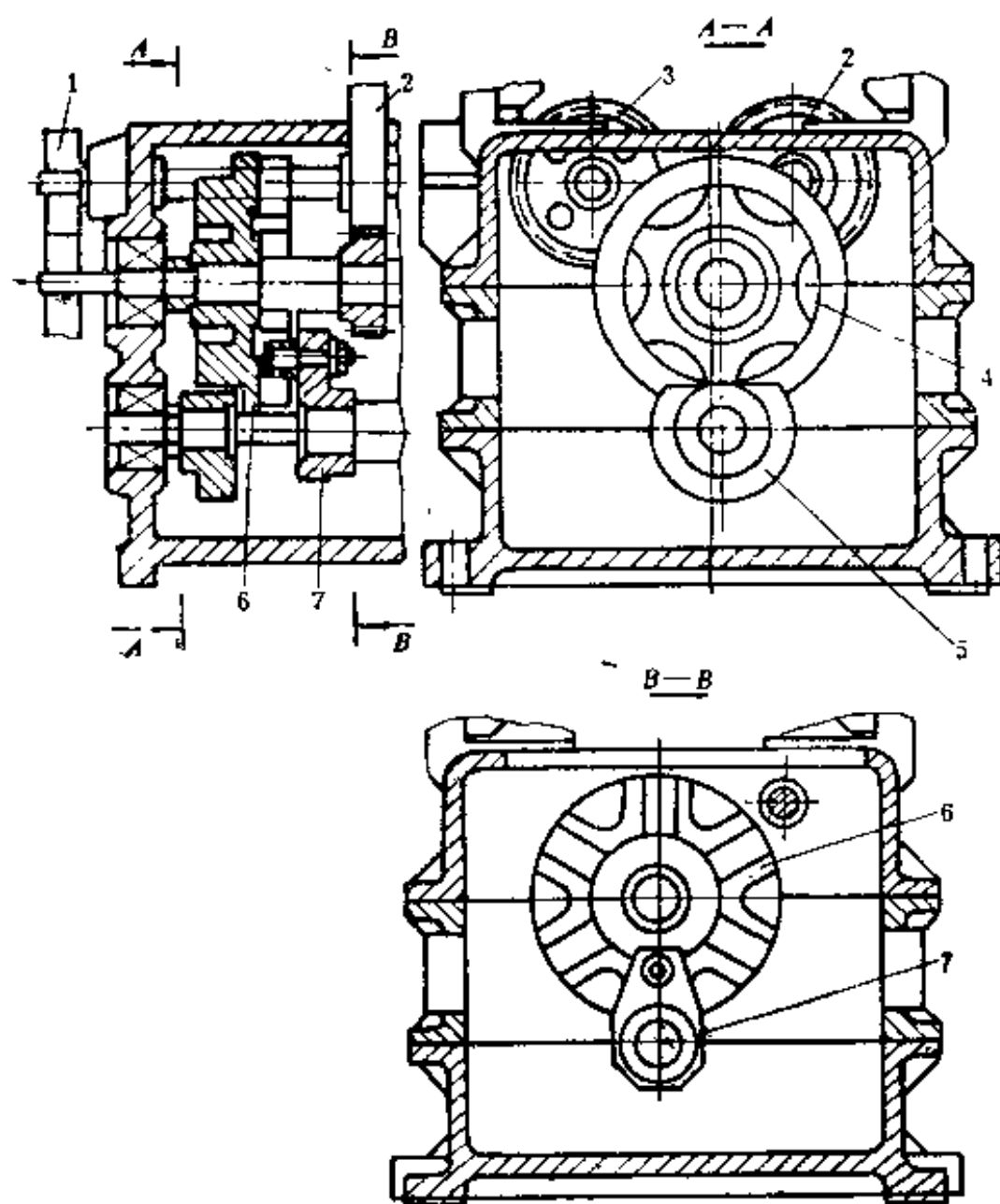


图 10-57 马尔泰盘式的送进回转机构

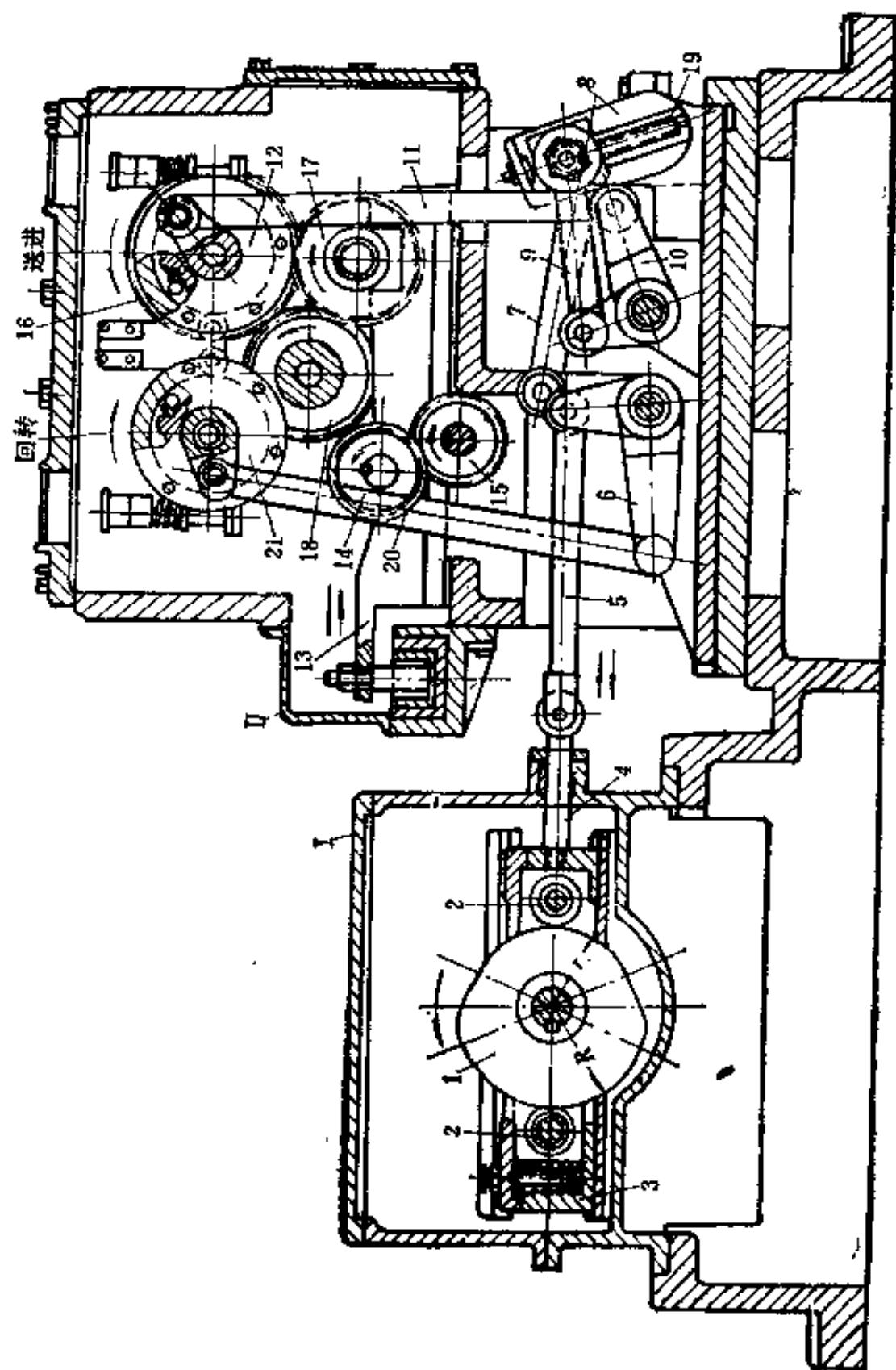


图 10-58 杠杆式送进回转机构

马尔泰盘式送进回转机构所以没有广泛地用于二辊式冷轧管机，因为它存在一些严重的缺点：

1) 为了减小送进机构中的动载荷以保持冷轧管机的正常工作，马尔泰盘应该做成六槽的。但在应用六槽马尔泰盘时，轧槽块上孔型送进和回转空转部分同其工作部分之比很大，为2:1，即为了完成管料的送进和回转，传动机构的总转角为 240° ，而只有 120° 用于对管料的轧制。孔型空转部分和工作部分的这种分配显然是不合理的；

2) 管料的回转角不能变。在生产中为了减轻孔型磨损，希望管料回转角是可变的，这在使用马尔泰盘式送进回转机构时不能实现。

(2) 杠杆式送进回转机构

杠杆式送进回转机构（图10-58）由两部分组成，一部分是凸轮箱Ⅰ，通过这个凸轮箱把主传动的连续传动变为间歇的往复运动；另一部分是杠杆箱Ⅱ，通过箱中的杠杆系统把运动再传给送进丝杠和回转轴。

在凸轮箱内装着凸轮轴和滑架。凸轮轴以和工作机架往复行程次数相等的转速在滚动轴承上旋转。从凸轮机构（图10-59、58）的传动系统中可以看出，凸轮1的轮廓是这样画的：各占 120° 的相对的两部分（AD和BC）是以凸轮旋转中心为圆心，

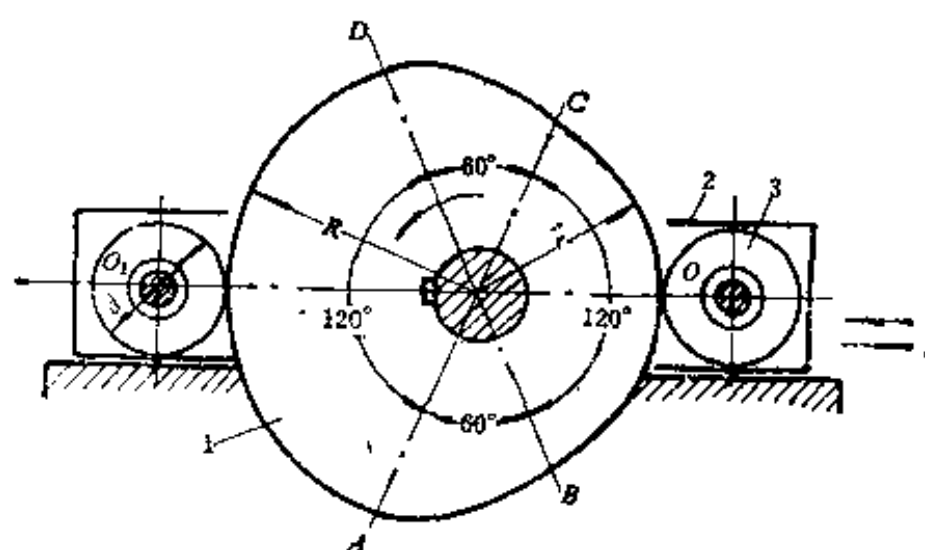


图 10-59 凸轮机构的传动系统

分别以 R 和 r 为半径画成的。各占 60° 的相对的两部分(DC 和 AB)是用变半径画成的。

选择 DC 和 AB 弧的变曲率半径时,使两个滚轮2之间的距离保持不变且有 $O_1O_2=R+r+d$ 。

这样画出的凸轮轮廓,能保证孔型上空转部分和工作部分之间的最佳比例关系。当两个滚轮在定半径区(AD 和 CB)上滚动时,其中装有滚轮的滑架3是不动的,因而整个丝杠系统以及与之相联的回转轴和送进丝杠也是不动的。这时管料正在两个轧槽块中进行轧制。因为凸轮轴以等速旋转,所以,可以认为它的旋转角和时间成正比,即一个轧制周期的 $\frac{2}{3}$ 时间(相当于凸轮旋

转 240°)用于金属变形, $\frac{1}{3}$ 时间(相当于凸轮旋转 120°)用于送进和回转。

只有当凸轮上的 D 、 B 两点都转到通过凸轮中心线的水平面上时,滑架才开始从左向右移动;当 A 、 C 两点转出水平面时,滑架才停止移动。滑架的移动量等于两个定半径之差($R-r$)。凸轮转过 120° 后,滑架开始反向(从右到左)运动。两个滚轮都在各自的心轴上转动,其中一个心轴牢牢地固定在滑架上,而另一个可借助于斜楔进行调整,使之靠近或离开凸轮,以便调节两个滚轮与凸轮之间的间隙。

从凸轮箱中伸出的连杆4,同杠杆系统中的连杆5相铰接,在凸轮箱中的一端,固定于滑架上(图10-58)。滑架往复移动着,通过连杆4和5使杠杆6摆动,再通过连杆20传动辊式接手21的轮缘进行管坯的旋转和通过连杆7传动摇拐8。通过连杆9、11和双臂杠杆10,把摇拐8的摆动运动传给辊式接手12的轮缘进行管料的送进。这样,当滑架3运动时,两个辊式接手的轮缘都回转,一个逆时针回转,另一个顺时针回转。

辊式接手的结构如图10-60。辊子1被弹簧3通过推头2楔紧在轮缘4和垫块5之间。为了便于更换,垫块与星形轮之间的

连接采用燕尾槽。

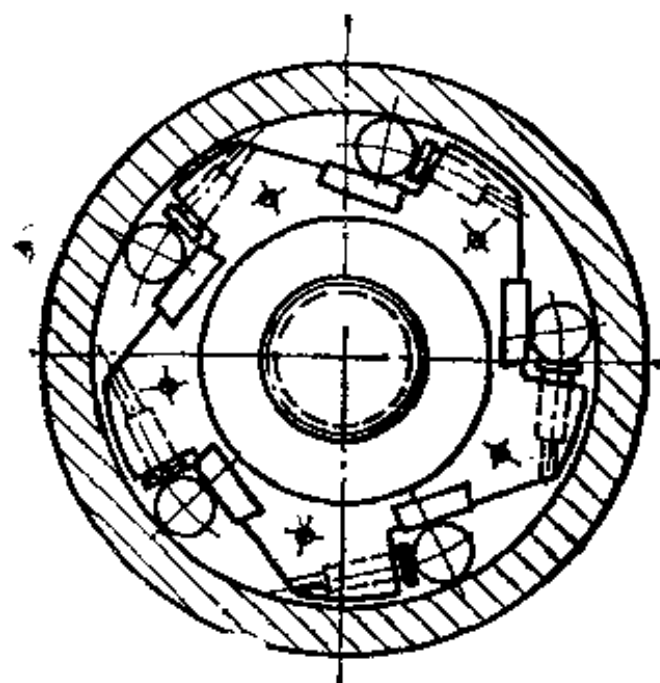


图 10-60 单向辊式接手

辊式接手只能传递单方向的转动，当反向转动时，它就打滑。

在所讨论的系统中，当用于管料回转的辊式接手的轮缘在顺时针方向转动时，才能传动其后的各个机件，而送进用的辊式接手的轮缘在逆时针方向转动时，才能传动其后的各个机件。滑架 3（图10-59）从左向右移动时管料回转，因为这时回转管料用的辊式接手的轮缘顺时针方向回转，轮缘楔卡其内部的星形轮，星形轮便把运动传给与之相联的回转轴，回转轴的中心线和辊式接手的中心线相重合。当回转管料的辊式接手工作时，送进管料的辊式接手打滑，其后的整个传动系统停止不动。

当滑架 3 从右向左移动时，送进用的辊式接手楔住，而同辊式接手轮缘固接在一起的齿轮16，回转某一角度。这个运动通过同齿轮16和18同时啮合的惰轮17，传给送进丝杠的螺母，齿轮18装在螺母上。因为该螺母轴向固定，因此它的回转引起送进丝杠移动。这时回转管料用的辊式接手打滑。

旋转螺丝19借以改变曲拐 8 的臂长，这样就可以调整送进量的大小。为了使管料卡盘快速返回，可借助于液压缸使滑块13从

左向右移动。这时，固定在滑块上的惰轮17同螺母上的齿轮脱开。另一个惰轮14便同螺母上的齿轮相啮合，惰轮14也是固定在该滑块上并且总是同齿轮15相啮合的。齿轮15通过弹性联轴器同快速返回电动机相连。快速返回电动机通过齿轮15和14传动螺母上的齿轮，使管料卡盘快速返回。

杠杆式送进回转机构获得了较多的应用。使用这种送进回转机构，孔型空转部分和工作部分之比为2:3，优于马尔泰盘式送进回转机构。但这种送进回转机构也存在一些缺点，主要的是杆件上附加动载荷大；滚轮和凸轮之间存在冲击；铰链连接多，节点处的销子和套在动载荷下工作容易损坏等。

(3) 减速箱式送进回转机构

减速箱式送进回转机构据认为是一种较好的送进回转机构。减速箱式送进回转机构（图10-61）是有一个水平分箱面的组合箱，比较紧凑。凸轮轴7是主动轴，它的转速同工作机架的往

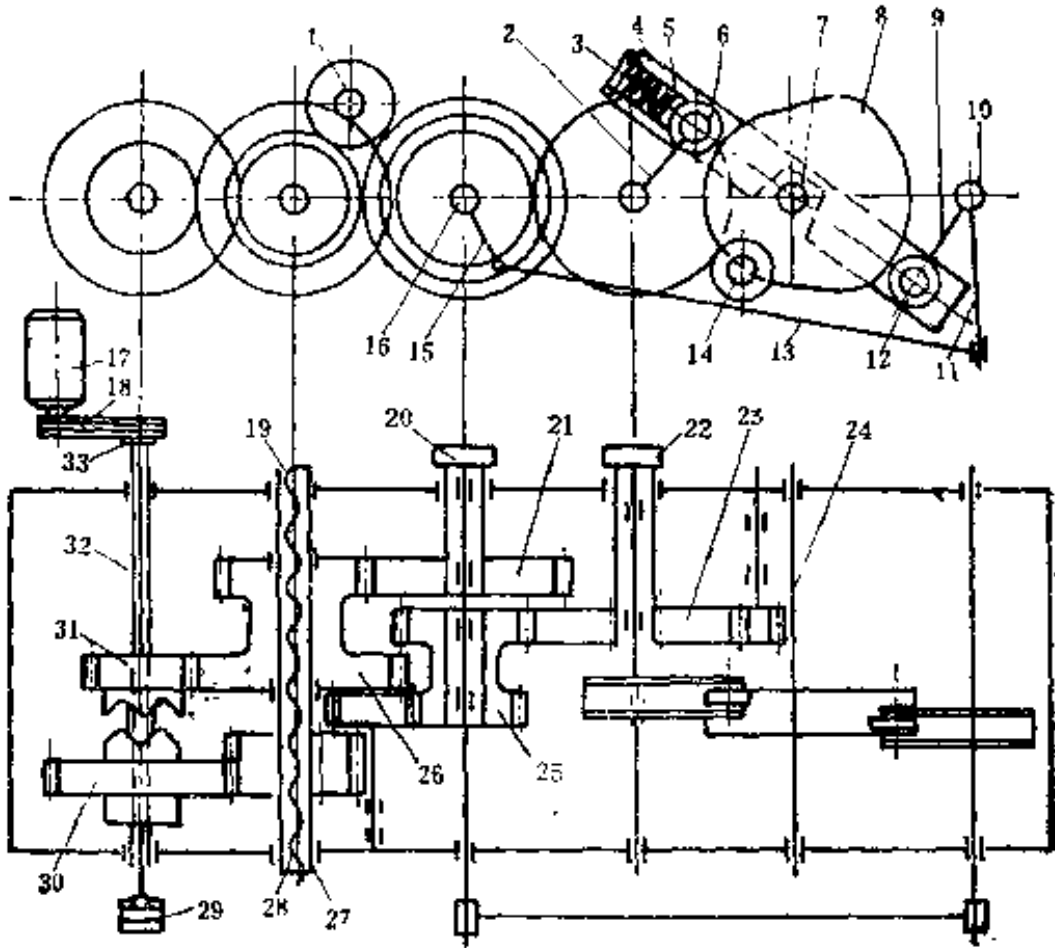


图 10-61 减速箱式送进回转机构的传动系统

复行程次数完全一样。固定在摆杆 9 和 2 的两个滚轮 6 和 12 在凸轮 8 上滚动。一对滚轮之间用滑架 4 联接着，同时，滚轮 12 的小轴以转配合装在滑架的颚板中。第二个滚轮 6 的小轴固定在滑块 5 中，该滑块能够在滑架 4 的槽中移动。

弹簧 3 装在滑块的端部，它保证把滚轮压紧在凸轮上，用来消除机构工作中的冲击。

凸轮的轮廓设计使得机架正、返行程期间滑架和滚轮都是不移动的。送进时，凸轮变半径那一段轮廓使滚轮 12 向右偏转，从而使摆杆 9 在逆时针方向偏转 $20^{\circ}30'$ 角。同摆杆 9 装在同一根轴上的摇拐 11 也偏转 $20^{\circ}30'$ 角。连杆 13 装在摇拐销上，其另一端同摇杆 15 铰接。根据摇拐销的位置，定出轴 10 和轴 16 之间的传动比，使轴 16 的转角可在 $0^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 之间变化。这样就能实现送进量大小的调整。在轴 16 的端部（花键）装有平向辊式接手的星形轮 20。当送进时，接手楔住，同时把轴 16 的转动，通过单向辊式接手的轮缘，传给同这个轮缘牢牢固接在一起的齿轮 21。

通过连裙齿轮 26，进一步传动牙嵌式离合器 30、31 和送进轴 27 上的齿轮。在送进轴上固定着青铜螺母 19。轴向固定的螺母 19 转动，使送进丝杠 28 向工作机架方向移动进行送进。丝杠的转动靠管料卡盘上的专用键来防止。

回转管料时，凸轮变半径那段轮廓使滚轮向左偏转，这时，摆杆 2 朝逆时针方向偏转。同摆杆 2 固定在同一轴上的单向辊式接手的星形轮也同时回转。在回转过程中，接手楔死，从而把转动传给接手的轮缘 22 和与它牢牢固定在一起的齿轮 23。齿轮 23 一方面与连裙齿轮 25 啮合来传动心棒杆的上回转轴 1，另一方面同齿轮 24 相啮合，来传动与前卡盘和中间卡盘的传动轴相连接的下回转轴 14。

送进管料时，摆杆 2 顺时针方向偏转。这个转动不能由回转管料的单向辊式接手传递出去。回转管料时，送进管料用的辊式接手打滑，送进摆杆 9 的偏转运动不能由接手的轮缘传出去。

为使管料卡盘快速移动，牙嵌式离合器 30、31 可借助于液压

缸29脱开。同时压紧摩擦离合器33的摩擦片。快速行程的电动机17通过三角皮带18、摩擦离合器33、轴32和送进轴27上的齿轮使送进丝杠的螺母旋转。

杠杆式送进回转机构采用了有利的传动系统和比较成功的整体布置。机构的所有摩擦环节，除了连杆13的铰链之外，都装了滚动轴承。机构所有构件的润滑得到了可靠的保证。因此能较好地满足对送进回转机构所提出的要求。

4. 卡盘

卡盘是把送进回转机构间断性的送进和回转运动传给管料、管子和芯棒杆的装置。送进管料的卡盘叫管料卡盘，而转动管料、管子和芯棒杆的卡盘分别叫中间卡盘、前卡盘和芯棒杆卡盘。但在一些轧机上，管料的送进和回转用同一个管料卡盘来完成，这样，在管料卡盘上除了有送进管料的装置外，还设置了卡紧和回转管料的装置，机构较复杂。

下面先介绍二辊式冷轧管机用的卡盘。

图10-62为一种侧装料的二辊式冷轧管机用管料卡盘。这种卡盘只用来送进管料。壳体1上有镗孔，孔的轴线同冷轧管机的轧制中心线相重合。孔中的滚动轴承3上装有空心轴4。可更换的挡碗5以螺纹同空心轴的前端相联，挡碗5用于管料的定心和

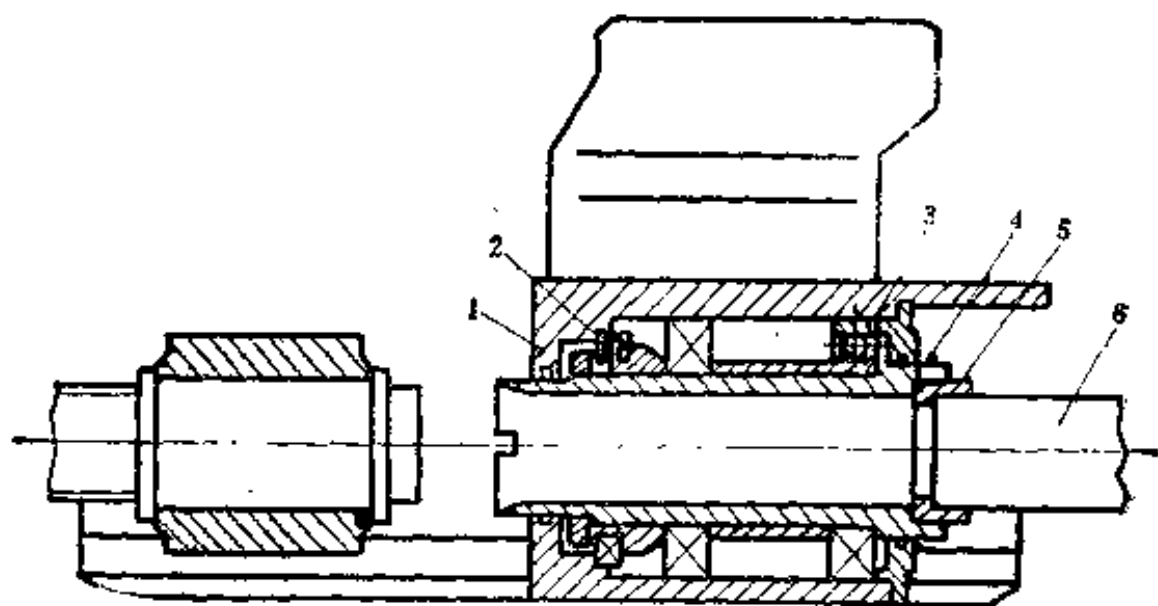


图 10-62 二辊冷轧管机的管料卡盘

顶着管料向前移动。轧制过程中产生的轴向力由止推轴承 2 来承受。

这种管料卡盘结构简单，所以应用广泛。

在端部装料的冷轧管机上、管料卡盘完成两个操作：管料的送进和转动。图10-63为一种端部装料冷轧管机的管料卡盘。它由壳体 1、可在其内孔自由通过管料的空心轴 2、以相隔 120° 分布在空心轴纵向切槽中的三个卡爪 3、张开弹簧、具有锥形内表面并和卡爪外表面相接触的卡碗 4 以及可沿管轴移动卡碗的机构 5 组成。在空心轴上还安装着齿轮 6。齿轮 6 与送进回转机构转动轴上的齿轮相啮合。

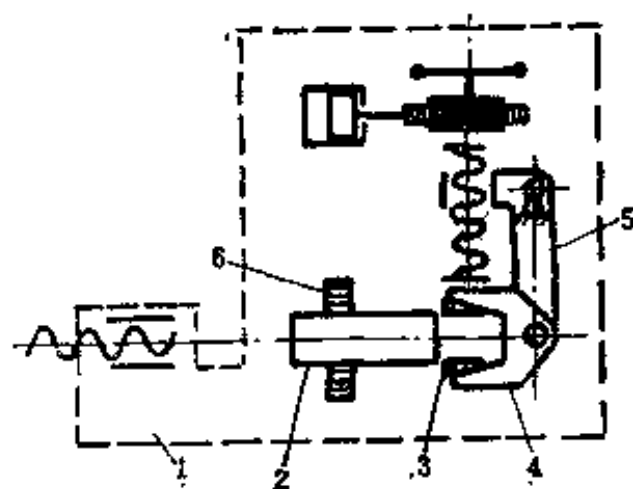


图 10-63 端部装料二辊式冷轧管机管料卡盘

在单线冷轧管机上，装料之前，把管料卡盘退到后极限位置，借助于机构 5，使卡碗右移、卡爪放开、管料自由地通过空心轴的内孔。当通过卡盘的管料其前端与前一根管料的尾端相接触时，机构 5 使卡碗右移、卡爪靠拢直到它们和管料的外表面接触为止。卡碗的行程应保证卡爪有足够的力来实现管料的送进和回转并承受轧制过程中产生的轴向力。借助于送进丝杠，卡盘送进管料，即通过丝杠的间歇转动，实现管料卡盘和管料沿轧制方向的周期性送进。又借助送进回转机构的转动轴及齿轮使管料旋转一定的角度。在卡盘行程终了时，重复上述过程，再装入下一根管料。

装料时间在轧制一根管子的总时间中所占的比重，对侧装料的冷轧管机比较大，为8~15%；对端部装料的冷轧管机比较小，为3~5%，为了避免重新装料时轧制过程的停顿，有的冷轧管机上顺序地安装了两台这样的管料卡盘。卡盘交替工作并有不大的行程(1~3米)。当第一个卡盘在送进并沿轧制方向移动时，第二个卡盘快速回退到后极限位置，并用卡爪卡紧管料并开始把它送入变形区。这时第一个卡盘到达前极限位置，脱开管料并快速后退。由于两个卡盘的工作是同步的，因此，轧制过程中管料的送进和回转不会中断。

所有多线冷轧管机和近年来制造的单线冷轧管机，每线都装有两台管料卡盘。

用来回转管料的中间卡盘安装在工作机架之前，它应当同时能防止轧制时管料的轴向移动，但必须在送进时能使管料通过。图10-64为一种单线冷轧管机的中间卡盘。它由机壳1、和送进回转机构转动轴相连的齿轮系2、中空轴4、用来导入管料的导管3、三个卡爪5、套6以及横梁7组成。横梁和管料卡紧装置的液压缸相连。当液压缸的活塞杆移动时，横梁压靠卡爪的锥形表面，使卡爪靠拢卡住管料。液压缸活塞杆的移动与工作机架曲

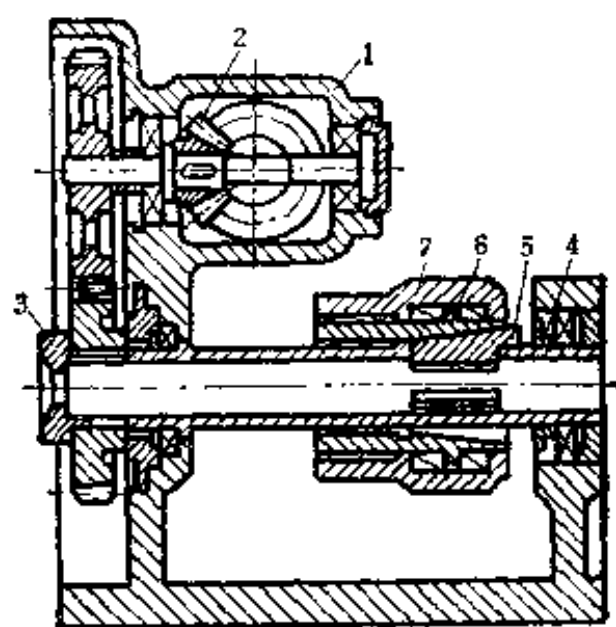


图 10-64 中间卡盘

柄连杆机构轴的转动同步。当工作机架到达前极限位置时，借助于转动轴及齿轮系2，卡盘和被卡爪所卡住的管料一起转动；当工作机架到达后极限位置时，液压缸的活塞杆左移，卡爪和管料脱开不干扰管料的送进。

多线冷轧管机所有中间卡盘装于同一个机壳内。

为了完成送进时打开卡爪让管料通过，送进终了时压紧卡爪以便回转管料，以及当工作机架行至前极限位置时进行管料的回转，须装设操纵卡盘的专用系统。

前卡盘安装在工作机架底座的前挡板上。在各种规格的冷轧机上前卡盘的结构都是相似的。图10-65为二辊式冷轧管机前卡盘的结构。卡盘的空心轴4安装在壳体3的滚动轴承2中。滚动轴承的内环用伞齿轮5的凸缘压着，冷轧管机的传动装置通过该伞齿轮使卡盘的空心轴间歇地回转。

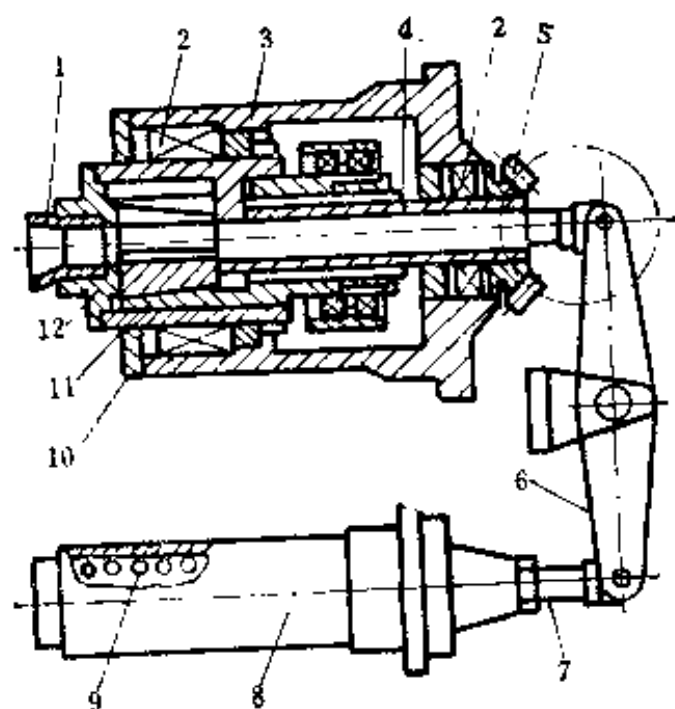


图 10-65 二辊式冷轧管机的前卡盘

空心轴右端面上开有三个孔，套筒10的三个凸爪，分别通过这三个孔插在空心轴的内腔中。套筒10的三个凸爪上都开有T形槽，卡爪11的相应凸台插在这个T形槽中。为避免卡爪从T形槽中脱出，用法兰12加以固定。在该法兰上固定有导套1。套筒10通过键与空心轴4相联，同时套筒可沿着键移动。套筒的移

动借助于拉杆。杠杆 6 的一端与拉杆相联，另一端与单向液压缸 7 的活塞杆相联。

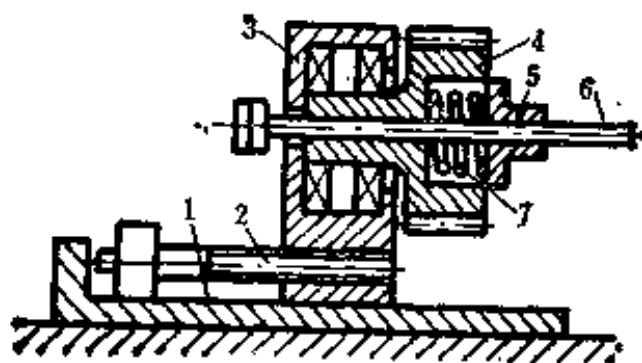


图 10-66 侧装料单线二辊式冷轧管机的芯棒杆卡盘

液压缸 8 的左腔室中装有弹簧 9，其张力可用螺塞调整。卡爪在该弹簧的作用下抱紧管子，液压装置动作时，卡爪松脱。

轧制钢管时芯棒杆卡盘用固定机构固定。

芯棒杆卡盘用来固定芯棒杆、调整芯棒在变形区中的位置，同时在回转管料时回转芯棒杆。图10-66为一种侧装料单线二辊冷轧管机的芯棒杆卡盘。它由底板1、小车3、套筒4、拉杆6、缓冲弹簧7、调整垫圈5和调整螺丝组成。芯棒通过芯棒杆及拉杆6和小车相连，并通过送进回转机构的转动轴及装在套筒4右端的齿轮回转。套筒的左端装在小车内并支在止推轴承上，通过缓冲弹簧7承受轧制时作用在芯棒杆上的轴向力。芯棒位置的调整借助螺丝2来实现。在装下一根管料时，芯棒杆必须后撤大于管料

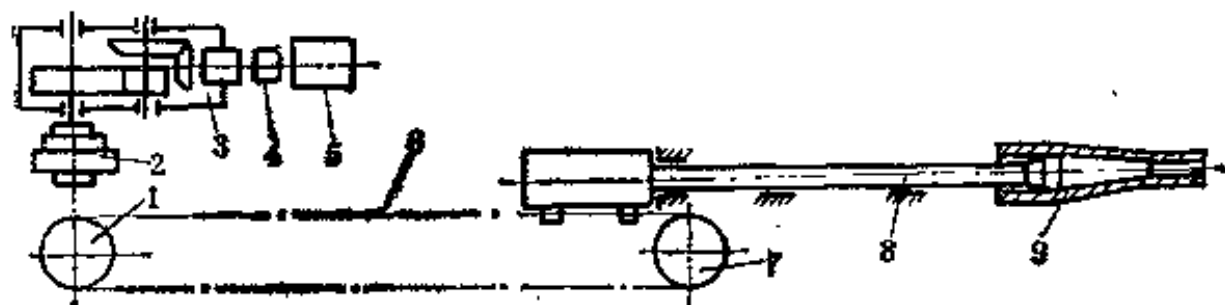


图 10-67 芯棒杆卡盘返回机构传动系统

1—主动链轮；2—法兰盘；3—减速机；4—弹性联轴器；5—电动机；6—链条；7—从动链轮；8—芯棒杆；9—芯棒

长度1.5~2米的距离，这靠沿固定机座上的导轨移动底板以及小车来实现，如图10-67。

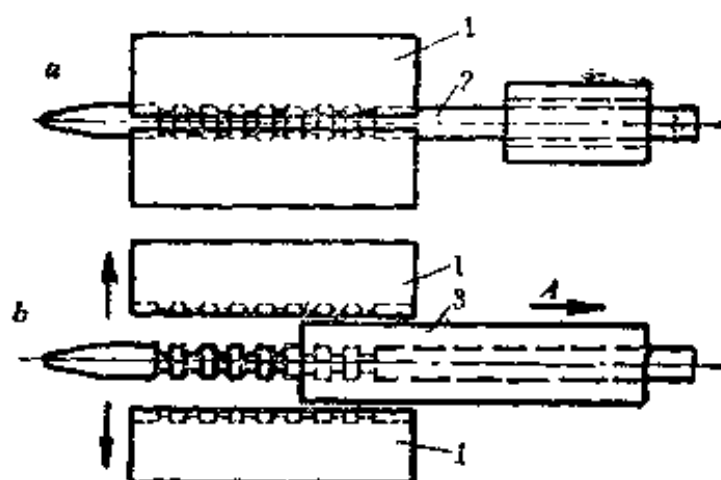


图 10-68 端部装料的二辊式冷轧管机的芯棒杆卡盘

a—工作位置；b—装料时位置；A—管料送进方向

在端部装料的二辊式冷轧管机上，芯棒杆靠两块可以张开的闸瓦1固定在卡盘上(图10-68)。在闸瓦上切有环状凹槽，当闸瓦相合时，其凹槽抱住拉杆2尾端的环状凸起，固定芯棒杆。当装下一根管料时，闸瓦打开，管料3在闸瓦与拉杆尾端之间的间隙中通过。闸瓦安装在小车上，小车的位置借助于螺丝来调整，以此来改变芯棒在变形区中的位置。

在多辊式冷轧管机上，一般只装设管料卡盘、芯棒杆卡盘。前卡盘只在轧制特种管子时才用。

多辊式冷轧管机的管料卡盘(图10-69)由壳体2、空心轴3、卡爪6、回转轴、送进丝杠以及螺母、齿轮、轴承等组成。空心轴装在壳体内部的滚动轴承4中。在空心轴上所开的槽中装着三个卡爪。轧制时轴向力由止推轴承5和7承受，空心轴上的齿轮1与用滑键装配在回转轴上的齿轮啮合。回转轴和送进丝杠同空心轴并行地布置在壳体内(图中没有画出)。

对于小的多辊式冷轧管机，可用由车床卡盘和活动壳体组装成管料卡盘。

端部装料的多辊式冷轧管机用的芯棒杆卡盘的结构见图10-69。

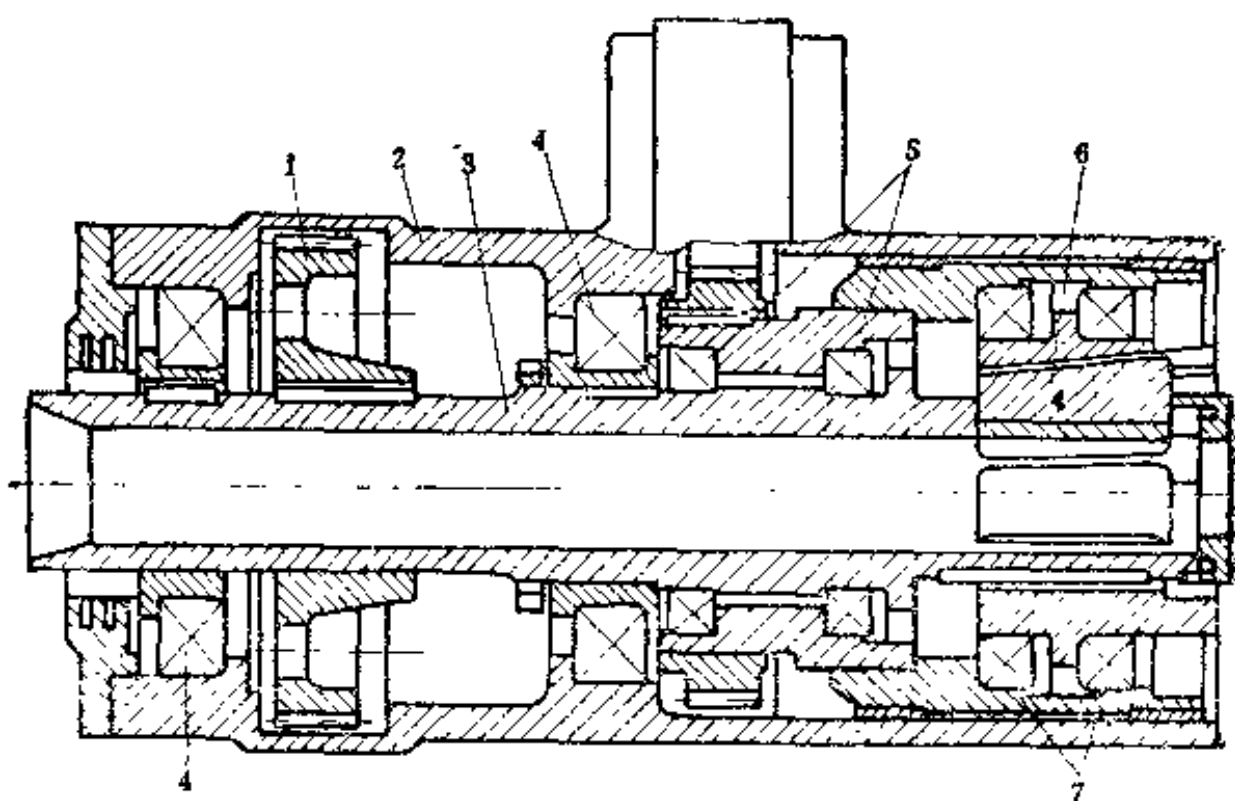


图 10-69 多辊式冷轧管机的管料卡盘

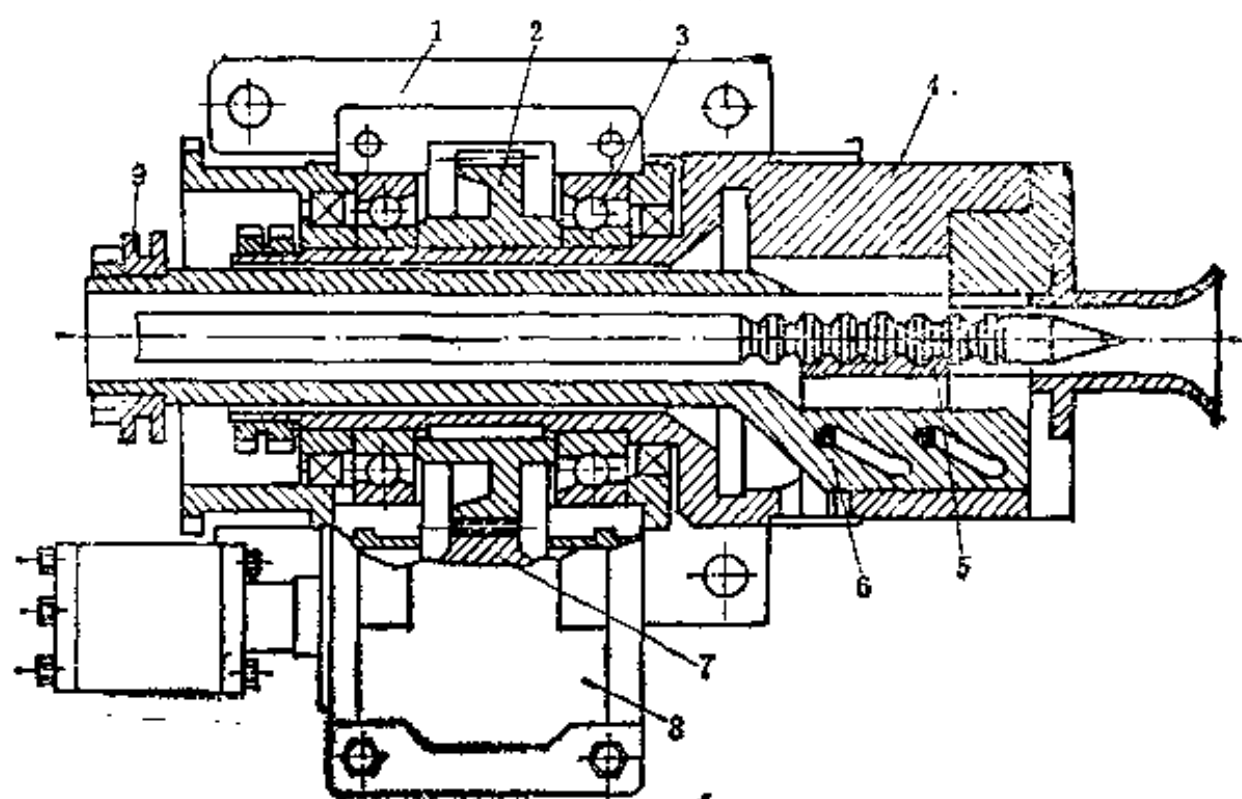


图 10-70 多辊式冷轧管机的芯棒杆卡盘

空心轴 4 装在卡盘壳体 1 内的滚动轴承 3 中。空心轴上装有从动齿轮 2，它与位于壳体凸起部 8 的齿轮 7 啮合。空心轴内装

着空心轴6。空心轴作纵向移动时，在轴上具有特殊形状的沟槽的带动下，板牙座5作径向移动。空心轴6的移动，由位于壳体下面的气缸带动叉子和叉环9来实现。芯棒杆的固定靠板牙座和芯棒杆尾部凹凸处的相互啮合。

芯棒杆卡盘由回转轴传动，为了保证装料时轧机能继续工作，轧机上装有两个芯棒杆卡盘，供交替使用。

多辊式冷轧管机前卡盘的结构与二辊式冷轧管机的没有区别。

三、多辊式冷轧管机的工作机架

多辊式冷轧管机工作机架的结构（图10-71）与二辊式冷轧管机不同。它由厚壁套筒1、固定在厚壁套筒上的支承板2、轧辊架4和装在轧辊架内的轧辊3等组成。轧制时产生的轧制力，通过辊颈和支承板传递到厚壁套筒上。主传动通过曲柄连杆机构带动工作机架作往复移动。由于大连杆与摇杆5及厚壁套筒相连，小连杆与摇杆及轧辊架相连，所以在厚壁套筒作往复移动的同时轧辊架及轧辊也作往复移动，并和厚壁套筒之间存在相对运动。多辊冷轧管机的工作轧辊一般为3~4个。

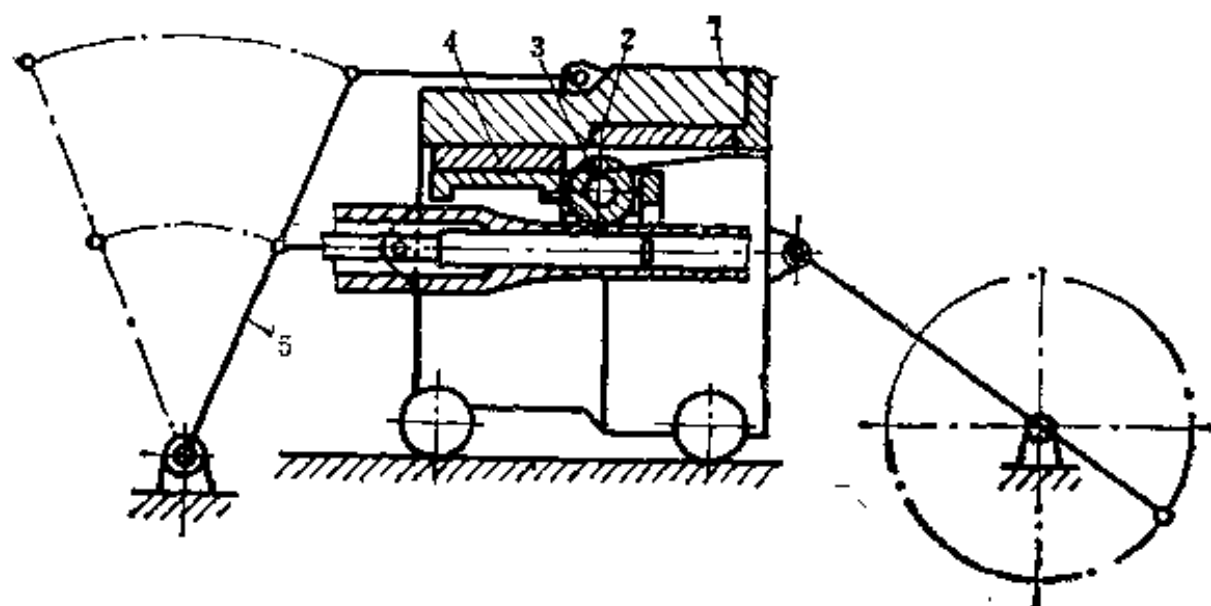


图 10-71 多辊式冷轧管机的工作机架

四、其他冷轧管机

除了前面介绍的二辊式和多辊式冷轧管机外，还有一些其他

型式的冷轧管机。下面介绍其中的行星式冷轧管机和连续式冷轧管机。

1. 行星式冷轧管机

行星式冷轧管机也采用周期式轧制方式，其主要特点是：工作机架不作往复移动；轧制过程中管子可以不用回转。

图10-72为一台用 $32 \times 2 \sim 4$ 毫米的管料轧制直径8~18毫米、壁厚0.6~1毫米的管子的30行星式冷轧管机。

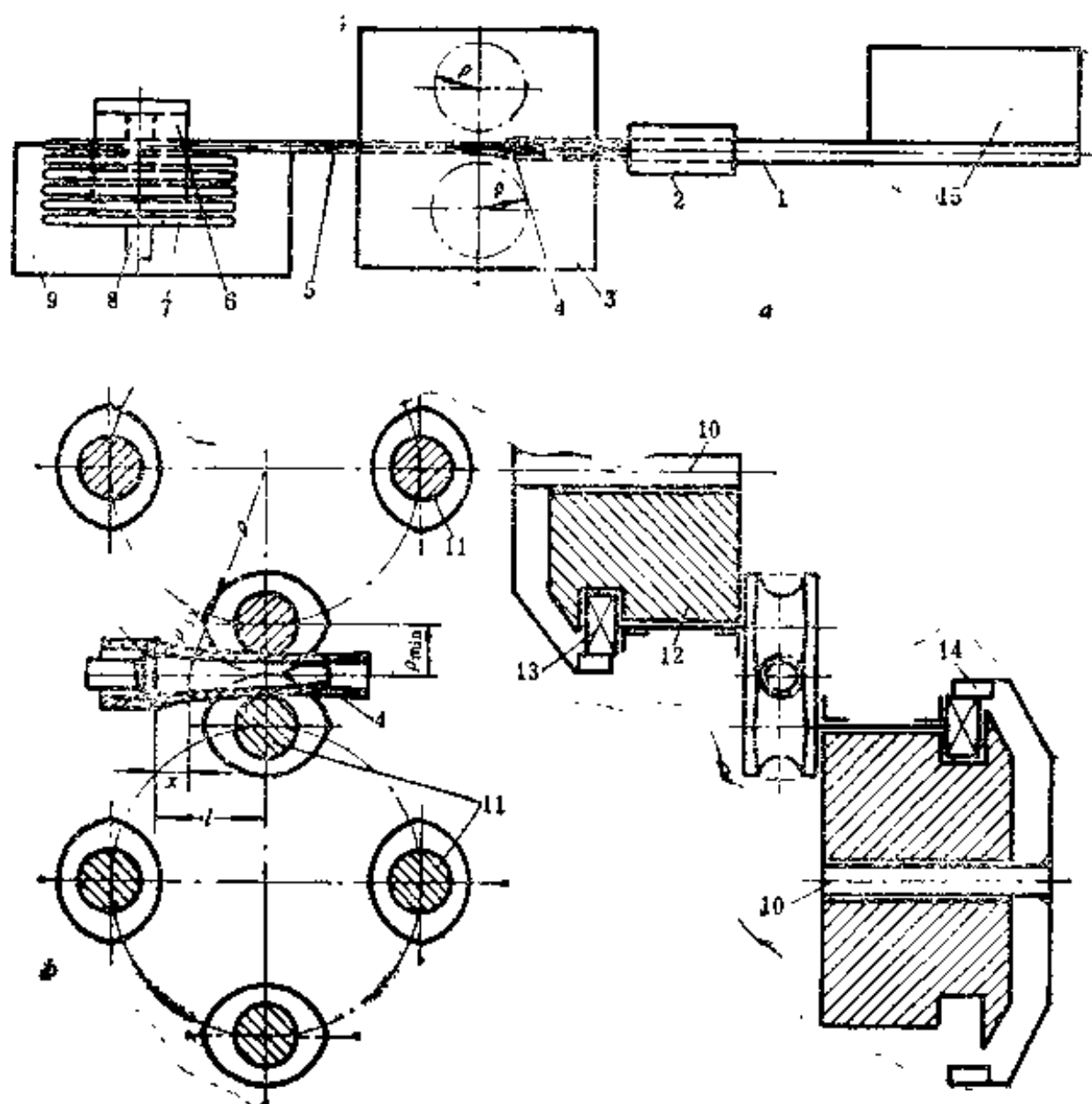


图 10-72 30行星式冷轧管机

a—设备布置；b—行星组合件图示

ρ —工作轧辊中心的转动半径； ρ_{min} —工作轧辊中心与管轴之间的最小距离； ρ_{bx} —x截面轧辊的半径； l —变形区的总长度

管料 1 借助于送进机构 2 进入工作机架 3，在变断面轧辊与锥形芯棒 4（固定的或游动的）之间进行轧制。轧后的管子 5 进入收集装置 8 的卷取机构 6 卷成管卷 7，或者进行切断并送到收集台 9 上。

在工作机架中装有四个行星轧辊架 10，每个轧辊架上都有四个工作轧辊 11，它们分别装在分隔圈 12 的四个孔中。其中两个辊架上的工作轧辊布置在水平面上；另两个辊架上的工作轧辊布置在垂直平面内。

当分隔圈转动时，工作轧辊绕分隔圈的轴线旋转。与此同时，工作轧辊借助于固定的内齿轮 14 和齿轮 13 也围绕自己的轴线转动。

在分隔圈的转动过程中各对工作轧辊交替地和管料接触，然后管料就在轧槽与芯棒之间变形，进行直径和壁厚的压下。先是布置在垂直平面内的接着是布置在水平面内的工作轧辊对管料进行加工。这样能保证管子的四周都得到良好的加工，从而免除轧制间隙中管料的回转。

由于这种轧机工作时工作机架不作往复移动，传动部件的受力状况大为改善，这样可以提高转速到 300 转/分。

由于轧制时管料不用回转，因此可以不设回转机构，这样既

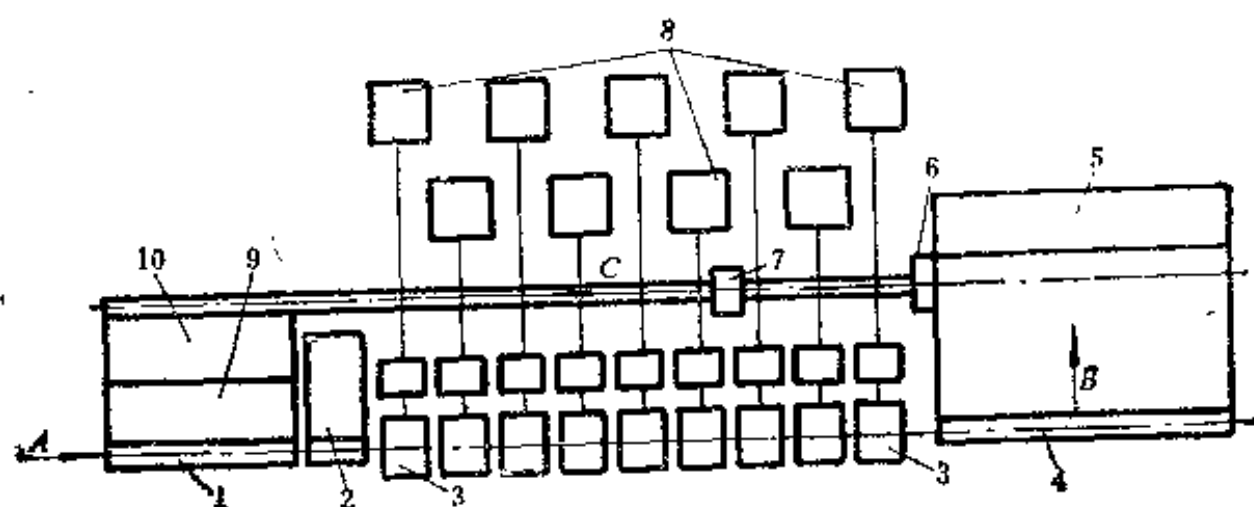


图 10-73 HXHT40 连续式冷轧管机的设备布置

A—轧制方向；B—轧后带芯棒的管子的横向移动；C—芯棒返回到轧机入口

简化了轧机结构，也解决了管子盘卷的困难。

但这种轧机还存在一些缺点，主要的是：变形区短；工作轧辊的数量大（16个）；变更轧制规格时，更换工具和调整轧机需要较长的时间；轧机结构和传动复杂；工作轧辊开始接触管料时产生较大的冲击力等。基于这些原因，上述30行星式冷轧管机取用较小的送进量（0.04~0.3毫米）。其生产率为150~250米/时，与XΠT32冷轧管机相当。工具制造和轧机维修的消耗比较大。

2. 连续式冷轧管机

图10-73为一台HXΠT40连续式冷轧管机的设备布置图。这台轧机用直径30~50毫米、壁厚2~3毫米的管料轧制直径20~40毫米、壁厚0.8~1.5毫米的管子。

轧机的组成中包括：料架2，长芯棒台架10，芯棒的冷却和润滑槽9，把装了管料的芯棒送入工作机架的辊道1，20个工作机架3，单独传动的直流电动机8，收集和输送轧后带芯棒的管子的台架4，成品槽5，以及具有固定挡板6和移动小车7的抽芯棒机。布置时，沿轧制方向，各相邻的工作机架相互错动90°，以保证管子四周都能得到很好的加工，不再需要翻转。

每个工作机架（图10-74）由两个圆柱形辊套7组成，用拉紧螺栓8系紧。在辊套内安装着三个工作辊2和三个支撑辊3。工作时支撑辊是传动的，由直流电动机通过减速机、轴5及齿轮系6来驱动。工作辊是从动的，在管子4和芯棒3通过工作机架的时候，借助于作用在支撑辊和工作辊接触面上的摩擦力，使工作辊转动。

在连续式冷轧管机上轧制管子，由于轧制过程是连续进行的，没有动载荷，所以可采用较高的轧制速度（1~3米/秒）。但也存在一些缺点，限制了它的应用，如：

1) 所轧管子存在端部增厚现象，管端比管子中间部分约厚0.3~0.5毫米。因为轧制管子中间部分时有轴向张力的作用，而在轧制管端时轴向张力的作用近于消失。为了消除纵向壁厚和直径不均匀要进行1~2道次的短芯棒拔制；

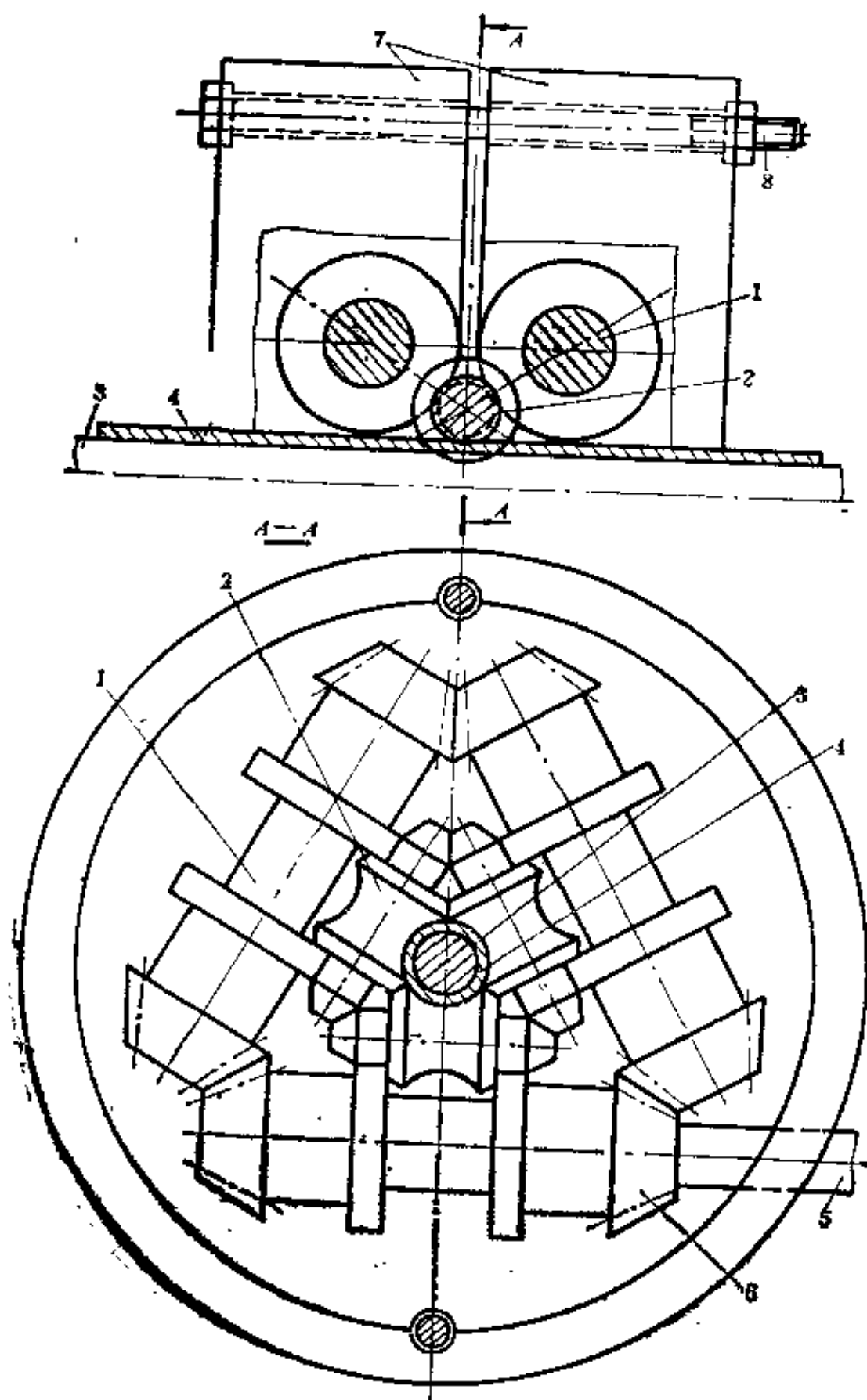


图 10-74 连续式冷轧管机的工作机架

2) 因受芯棒长度(应比轧出管长1~3米)的限制,只能轧制长度为7~9米的管子;

3) 工具数量多,要求高,更换费时,因此比较适宜于进行专业化生产,生产1~2个规格的中、小口径管并组织流水线作业。

第四节 冷拔冷轧钢管车间的平面布置^[11]

冷拔冷轧钢管车间的平面布置,应充分考虑生产中工序复杂、加工道次多和工艺路线循环等特点,并为满足这些特点而提出的特定要求。布置力求流程线路通顺,避免交叉和往返运输,因此布置所形成的流程线路应该是封闭的;总的运输路线要短;必须保证操作的方便和安全以及便于设备的安装和维修;有必要和充足的管料仓库、中间仓库和成品库,以及每个工序之间临时的堆放场地,以满足品种规格多和非连续生产的需要。当然在满足上述要求的前提下,布置应尽量紧凑。

按工艺设备与厂房之间的相对位置关系,冷轧冷拔车间的平面布置可分为横向布置、纵向布置和混合布置三种(图10-75),它们的特点如下。

1) 横向布置:车间各生产跨的厂房互相平行布置;冷轧机、冷拔机及热处理炉、矫直机等主要辅助设备的轴线都和厂房的长度方向垂直,而且大部分安装在两跨之间,以利用设备本身作钢管的过跨运输。

2) 纵向布置:各跨厂房也平行布置,但冷轧机、冷拔机及主要辅助设备的轴线与厂房的长度方向一致。

3) 混合布置:酸洗、润滑跨的厂房布置在车间的一端和其他生产跨的厂房相垂直。

有的研究指出,从车间全部产品在整个生产过程中经过的流程路线的总长度和工序间中间运输的总时间这两项指标来评价,混合布置流程路线的总长度最短(分别比纵向布置和横向布置短29.7%和41.5%),中间运输的总时间最少(分别比纵向布置和

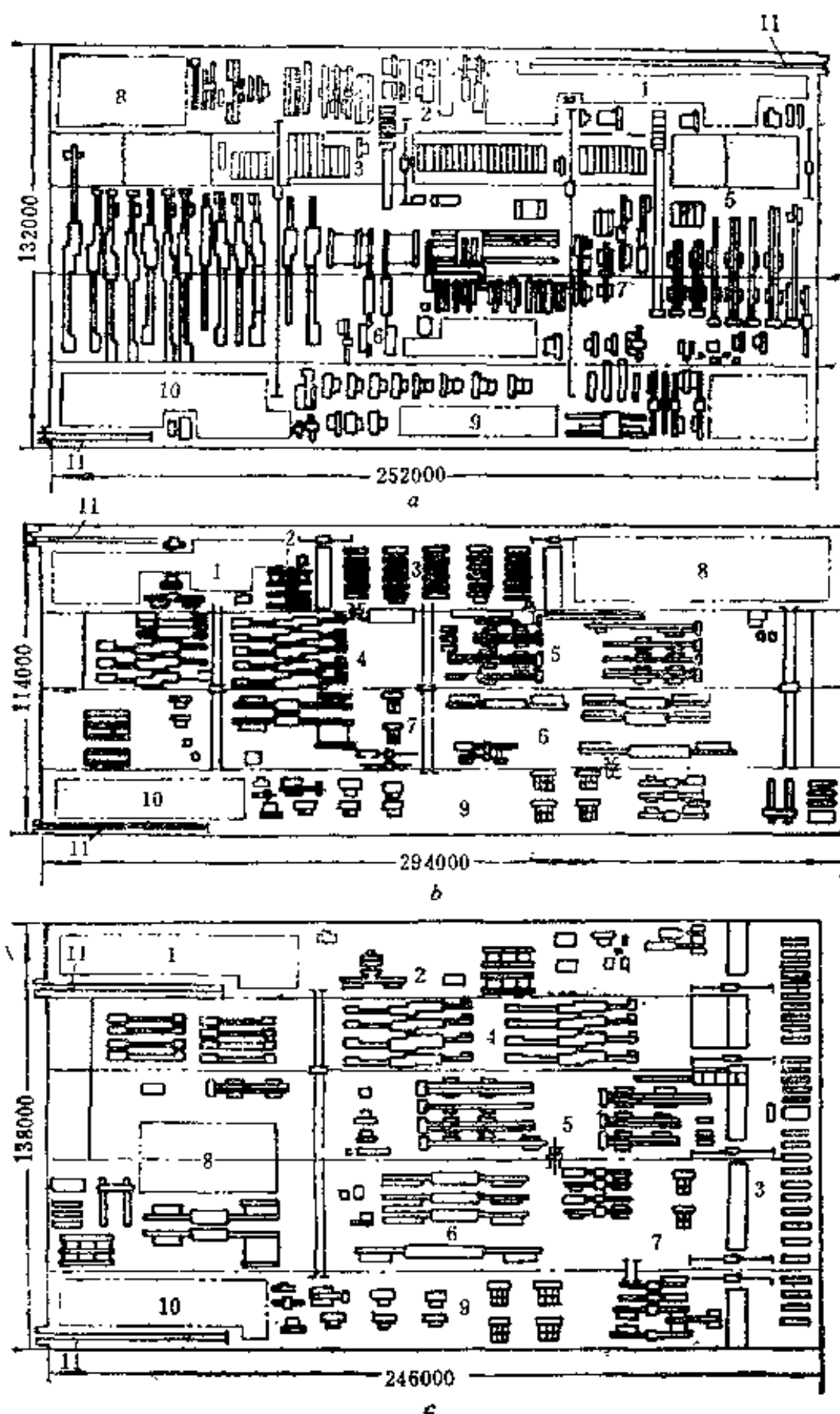


图 10-75 钢管冷拔冷轧车间平面布置方案

a—纵向布置, b—纵向布置, c—混合布置

1—管料仓库; 2—管料准备; 3—化学处理工段; 4—冷轧管机; 5—冷拔管机; 6—热处理工段; 7—中间尺寸钢管精整工段; 8—小直径管生产工段; 9—最终精整、检查和成品交库工段; 10—成品仓库

横向布置少19.7%和30.3%)；纵向布置次之；横向布置最长、最多。因此可以认为，混合布置和纵向布置在缩短流程路线和减少运输时间上比横向布置更优越一些。另外，随着钢管长度的不断增加，以及设备，特别是热处理炉长度的不断加长，采用横向布置也具有更多的困难。

考虑到冷轧冷拔钢管生产的特点，对于大批量的产品最好进行专业化生产。对于生产过程连续流水作业线的研究也是一个很重要的课题。

目前冷拔冷轧钢管都是在各个设备上成捆地进行生产的。由于冷加工生产工艺的特点是多道次往复循环，即在生产过程中要进行多个道次的冷拔或冷轧，或两者交替进行，其间尚有许多中间工序如锤头、切断、热处理、清除氧化铁皮、涂层及润滑等。这样给生产带来了不少困难，表现在：为了管子的运输必须进行大量的吊运；要求有足够的中间仓库；需要大量的操作工人；延长了生产周期，增加了生产过程机械化和自动化的难度，并且还在一定程度上影响了工艺的稳定和产品质量。实行流水作业，可在很大程度上消除上述缺点。实践证明，流水作业可以提高生产率、降低生产成本、改善产品质量、减少操作工人、减少生产面

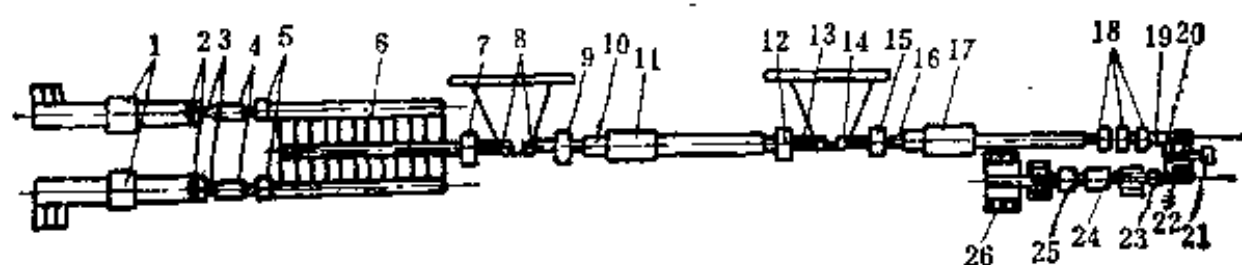


图 10-76 生产 $\phi 6 \sim 12$ 毫米碳素钢管的冷拔流水作业线

- 1—XHT冷轧管机；2—检查装置；3—辊道；4—保护气体感应炉；5—喷水装置；6—辊道和台架；7—打尖机；8—卷筒冷拔机；9—管卷运输机；10—切管机；11—保护气体感应炉；12—打尖机；13—运输机；14—卷筒冷拔机；15—运输机；16—切管机；17—辊底式炉；18—开卷装置；19—辊道；20—台架；21—吹灰装置；22—辊道；23—检查装置；24—测长装置；25—检查钢号的装置；26—打捆机

积、提高生产特别是运输操作的机械化和自动化程度。因此可以认为变成掘生产为流水线作业对钢管冷加工生产的现代化具有很重大的意义。

在组织钢管冷加工生产的流水作业方面已经进行了不少尝试。如图10-76、10-77分别为生产 $\phi 6 \sim 12$ 毫米碳素钢管的冷拔流水作业线和生产 $\phi 12 \sim 20$ 毫米碳素钢管的冷轧冷拔流水作业线。

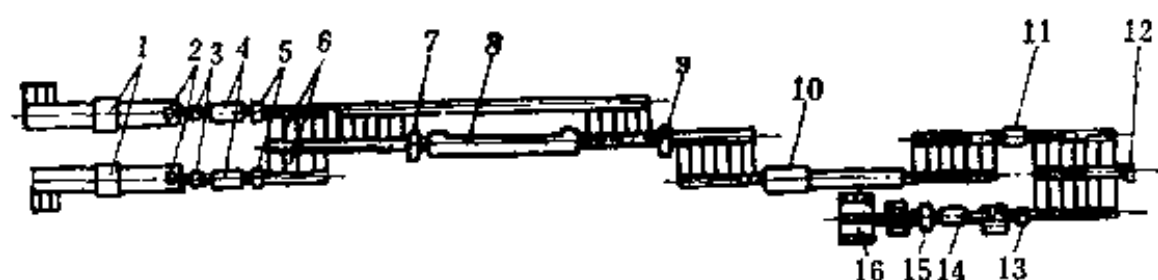


图 10-77 生产 $\phi 12 \sim 20$ 毫米碳素钢管的冷轧冷拔流水作业线

- 1—XHT冷轧管机；2—检查装置；3—飞切机；4—保护气体感应炉；5—喷水装置；6—辊道和台架；7—打尖机；8—直线型冷拔机；9—切管机；10—直通式辊底炉；11—矫直机；12—吹灰装置；13—检查钢管质量和尺寸精度的装置；14—测量管长和计数的装置；15—钢号检查装置；16—钢管打捆机

但组织流水作业必须具备一些基本条件，如：

1) 产品规格要少，批量要大。这对于提高流水作业线的效率是很重要的。

2) 在一个流水作业线上，冷轧或冷拔的道次一般为1~2次，不宜再多，否则会增加中间工序使工艺过程复杂化。

3) 为了实现流水作业，必须减少中间工序。

4) 在流水作业线上必须采用可靠的高效设备。

随着生产技术和加工设备的不断完善，钢管冷加工的流水作业必将得到进一步发展。

第十一章 冷拔冷轧钢管的基本原理

第一节 冷拔钢管的基本原理

如前所述，目前在生产中应用的拔制方式主要有无芯棒拔制、短芯棒拔制、长芯棒拔制和游动芯棒拔制等四种。图11-1为上述四种拔管方式拔管时，在稳定拔制阶段，作用在变形区上的外力及应力状态图示。^[12]

图中： P ——拔管时的作用力，即施加于钢管前端的拔制力；

p, p_z ——在拔管模入口锥，作用在钢管外表面上的单位压力及其水平分力；

p_1 ——在定径带，作用在钢管外表面的单位压力；

p_0 ——在减壁区，作用在钢管内表面的单位压力；

τ, τ_z ——在拔管模入口锥，作用在钢管外表面的单位摩擦力及其水平分力；

τ_0 ——在减壁区，作用在钢管内表面的单位摩擦力；

τ_{01}, τ_1 ——在定径带，作用在钢管内、外表面的单位摩擦力；

σ_1 ——轴向应力；

σ_r ——径向应力；

σ_t ——周向应力。

图中箭头所示的方向为各力作用的方向。

由图可知，上述各种拔管过程中，在变形区上钢管所受的外力均可分解为两组，一组为在外表面（无芯棒拔制时）或外表面和内表面（带芯棒拔制时）沿圆周分布的径向压力，一组是由拔制力和与它相平衡的轴向力所组成的拉力。

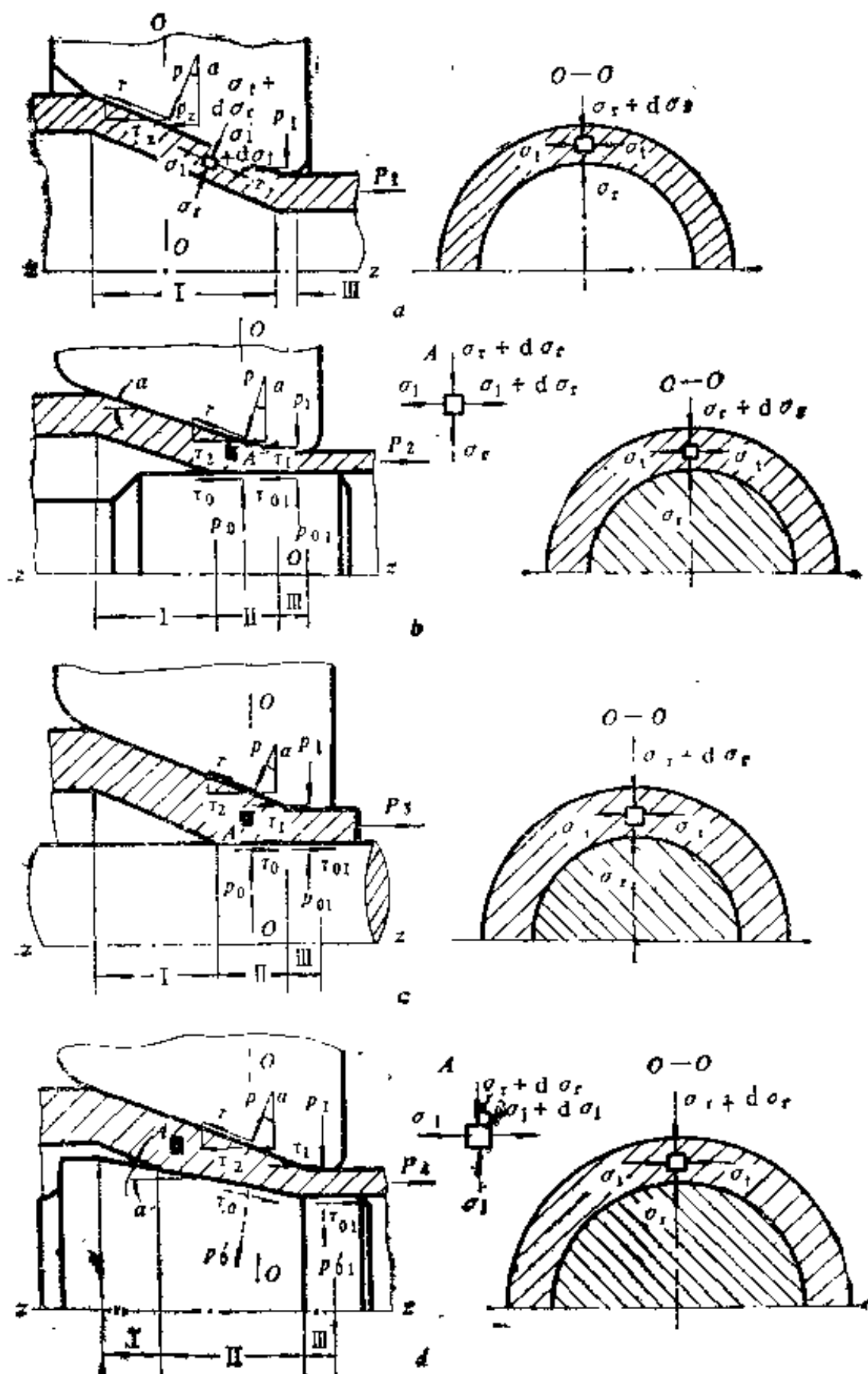


图 11-1 拔管时的外力及应力状态图示

a —无芯棒拔制； b —短芯棒拔制； c —长芯棒拔制； d —游动芯棒拔制；I—减径区；II—减壁区；III—定径带

轴向力的平衡方程，对无芯棒拔制为：

$$P_1 = \Sigma p_z + \Sigma \tau_z + \Sigma \tau_1$$

对短芯棒拔制为：

$$P_2 = \Sigma p_z + \Sigma \tau_z + \Sigma \tau_1 + \Sigma \tau_0 + \Sigma \tau_{01}$$

对长芯棒拔制为：

$$P_3 = \Sigma p_z + \Sigma \tau_z + \Sigma \tau_1 - \Sigma \tau_0 - \Sigma \tau_{01}$$

对游动芯棒拔制为：

$$P_4 = \Sigma p_z + \Sigma \tau_z + \Sigma \tau_1$$

在上述外力的作用下，变形区内部产生相应的内力，其轴向为拉应力，径向和周向均为压应力，因此，拔管过程中金属处于一向拉和两向拉的应力状态。

作用力是拉力和变形时金属处于一向拉和两向拉的应力状态是拔管过程基本的力学特征，而且这些力学特征决定了拔管这种压力加工方式的特点，主要的是：

1) 由于拔管时金属处于一向拉二向压的应力状态，变形抗力低。根据塑性方程式

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \beta \sigma_s$$

式中 σ_1 ——最大主应力，

σ_3 ——最小主应力，

β ——表示中间主应力 σ_2 影响的系数，等于1~1.15，

σ_s ——单向拉伸屈服极限。

可知，由于拔管时 σ_1 是拉力， σ_3 是压应力，两者符号相反，因此，变形过程中任一方向的主应力，其绝对值均不会大于 $\beta\sigma_s$ ，所以变形抗力较轧、挤等其他压力加工方式低。

2) 由于应力状态中存在拉应力，变形时金属塑性较差，因而对于低塑性金属或因加工硬化而降低了塑性时，拔制比较困难。

3) 拔管时由于作用力是施加在锤头部的拉力，因此，拔制过程中在离开了变形区以后，管体上仍作用着轴向拉应力。这种拉应力称拔制应力。为了建立拔制过程，拔制应力必须小于拔制

后钢管的屈服极限，即

$$K_B = \frac{P}{F_1} < \sigma_s$$

式中 K_B ——拔制应力；

F_1 ——拔制后钢管横截面的面积；

P ——拔制力。

不然，离开变形后的管体将继续变形以至被拉断，使拔制过程建立不起来或遭到破坏。

设
$$\frac{\sigma_s F_1}{P} = \frac{\sigma_s}{K_B} = \gamma$$

γ 称为安全系数，一般取为1.1~1.2，主要考虑管体上可能存在强度比较薄弱的截面（锤头部分或存在局部缺陷的部分）以及由于开拔时的动载荷和摩擦条件、变形量、管体机械性能变化而引起的拔制力的升高。

在拔管时变形量越大则拔制力越大，拔制应力也随之增加，所以，由于受上述条件的限制，每道次的变形量存在一个极限值。为了增加拔管时的道次变形量，防止拔断，必须降低拔制力。

冷拔钢管时，由于加工硬化的结果，变形后钢管的屈服极限提高了，而且加工硬化使屈服极限提高的程度大于使拔制应力提高的程度，这样可以减少拔断的可能性，从这个意义上讲，加工硬化的结果有利于增加拔制时的道次变形量。

除了减径或减径减壁以外，拔管过程也可用来进行扩管，即扩大钢管的直径。扩管法一般可分为牵引扩管法和压缩扩管法两种。牵引法扩管时变形区内金属的应力状态为二向拉一向压（图11-2）；压缩法扩管时，变形区内金属的应力状态为一向拉二向压（图11-3）。

扩拔时的扩径率一般 $\leq 15 \sim 20\%$ 。扩径后钢管的长度有所缩

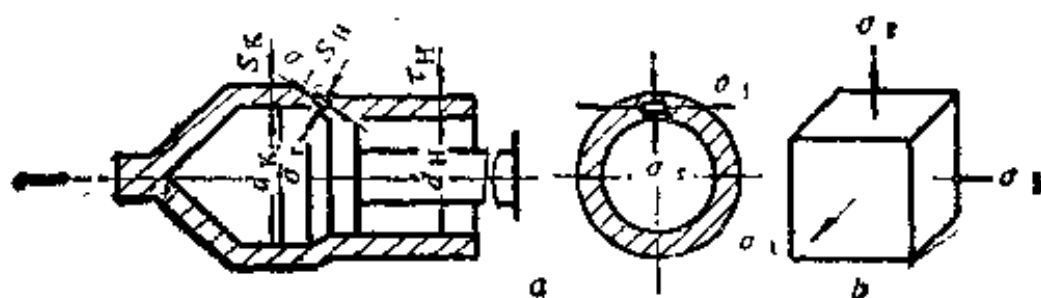


图 11-2 牵引扩管法的变形过程 (a)
和应力状态 (b)

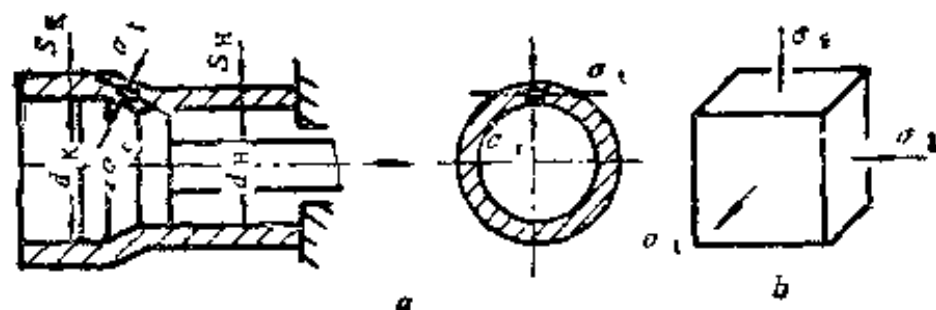


图 11-3 压缩扩管法的变形过程 (a)
和应力状态 (b)

短，壁厚有所减薄。扩径后钢管的壁厚可按下式计算：

$$S_K = \frac{1}{2} [\sqrt{d_K^2 + 4(d_H - S_H)S_H} - d_K]$$

式中 d_H 和 d_K ——钢管扩拔前和扩拔后的内径；

S_H ——钢管扩拔前的壁厚。

一、无芯棒拔管过程

1. 变形过程和变形区

无芯棒拔管一般也叫空拔或空收。拔制时所用的变形工具只是一个拔管模(空拔模)，因此是一种最简单的拔管方式。图11-4为生产中所用空拔模的形状。图中 *a* 为锥形空拔模，它的特点是模孔由入口锥1、定径带2及出口锥3组成；图中 *b* 为弧形空拔模，它的特点是模孔的入口部分由一圆弧段4和一锥角较小的圆锥段1共同构成或由单一的圆弧段构成。

拔管时钢管各横截面顺次通过模孔的各部分。在通过入口部分时钢管直径逐渐受到压缩，进入定径带后钢管进行定径。所

以，无芯棒拔制的整个变形过程包括减径和定径两个阶段，变形区由减径区和定径区两部分构成。图11-5为其变形过程和变形区的示意图。

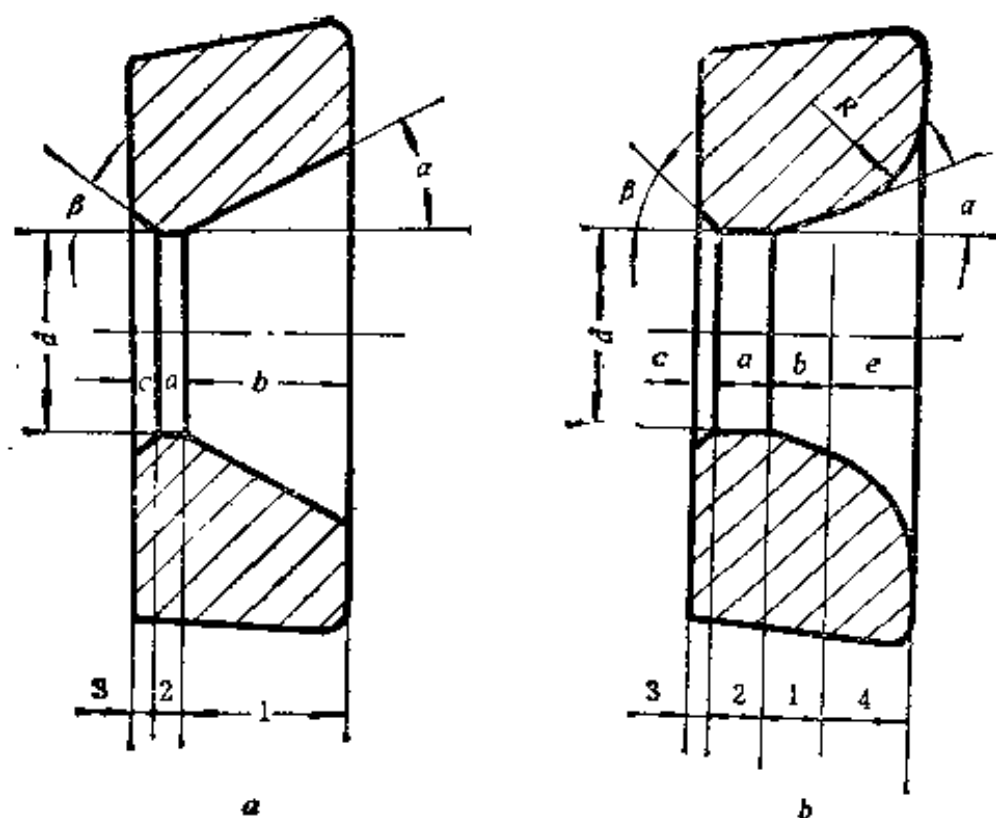


图 11-4 空拔模的形状

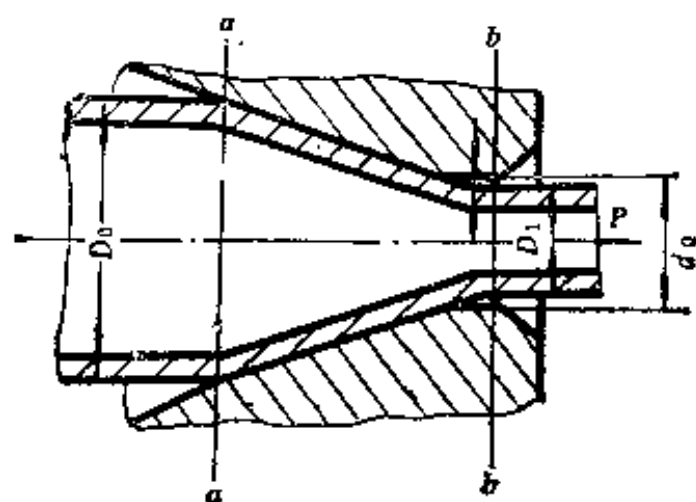


图 11-5 空拔时变形过程和变形区的示意图

一般把变形区的始端即图上 $a-a$ 截面处的钢管直径定为拔制前钢管的原始直径 D_H ，而变形区的终端即图上 $b-b$ 截面处的钢管

直径定为模孔定径带的直径 d_0 。但实际上，实验资料^[13]和生产实践都指出，无芯棒拔制时，钢管的变形开始于与模壁接触之前，而当钢管离开了模孔入口锥进入定径带后，仍可能继续有一定程度的变形。图11-6为 $\phi 3.5 \times 3.5$ 毫米的低碳钢管，用锥角（模壁母线的倾斜角）分别为 10° 、 20° 和 30° ，模孔直径分别为

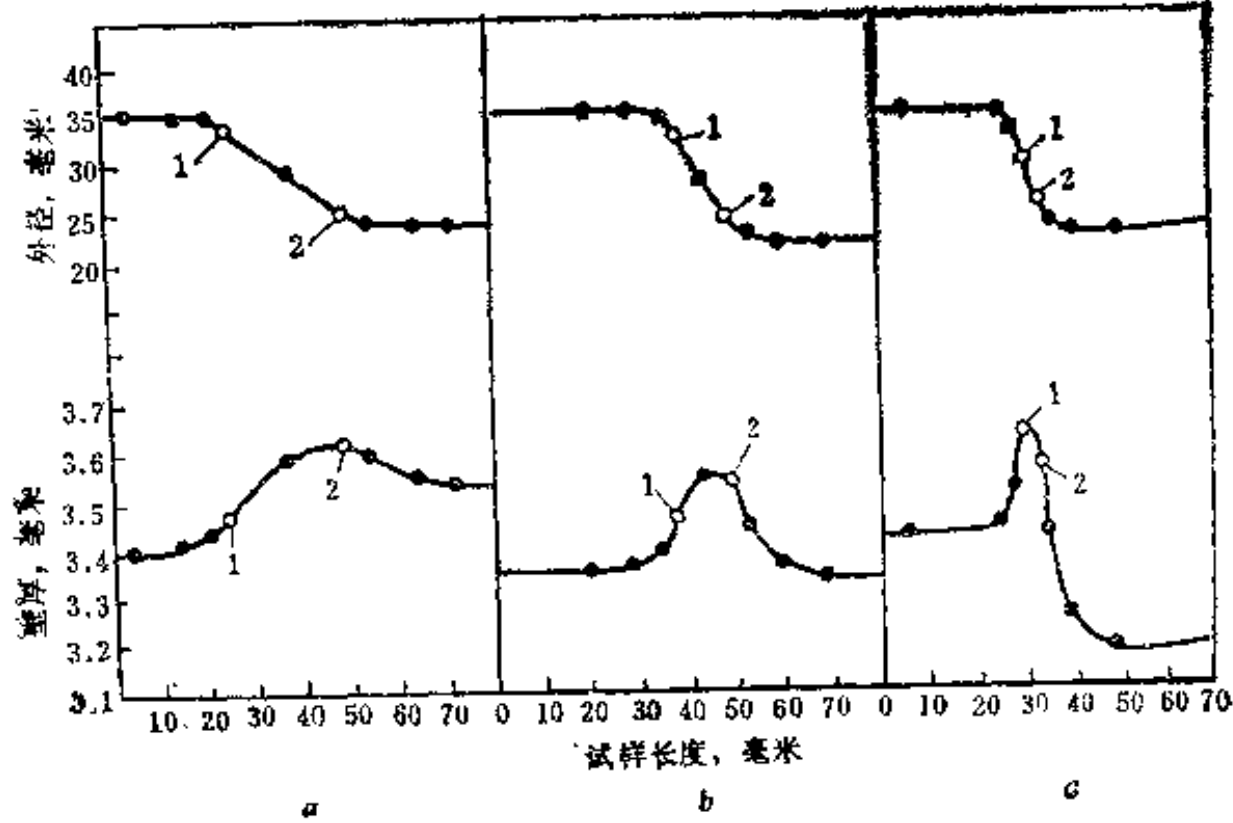


图 11-6 空拔过程中钢管尺寸的变化

a—锥角 10° ，模孔直径24毫米；b— 20° ，22毫米；c— 30° ，24毫米；1—和模壁接触；2—和模壁脱离

22毫米和24毫米的锥形空拔模拔制时，在拔卡试样上实测的变形区钢管尺寸的变化曲线。从这些曲线可以看到，在无芯棒拔管过程中，钢管开始接触模壁之前直径已略有减小，壁厚已略有增加，这说明变形已经开始。当钢管离开入口锥进入定径带之后，钢管直径仍继续有某些减小，壁厚亦有某些减薄，这说明还有一定程度的变形。在生产中空拔后钢管的直径往往不等于而是略小于定径带模孔的直径，证明了后一种变形现象的存在。

所以，按变形过程中钢管与模壁接触的情况可以认为，无芯

模拔管时的变形区，一般由一个接触变形区及前、后两个不接触变形区构成。

存在不接触变形区的原因，以用锥形模进行空拔为例，可这样来说明，设想从钢管上沿其轴向切下一条单元窄条（图11-7），则该窄条在整个变形过程中要经过两次弯曲。在入口处由于模壁压力的作用而产生第一次弯曲。这次弯曲的结果，使部分金属在接触模壁前就开始变形，从而形成了前不接触变形区。当窄条离开入口锥进入定径带后在沿原来方向移动的过程中，由于模壁压力消

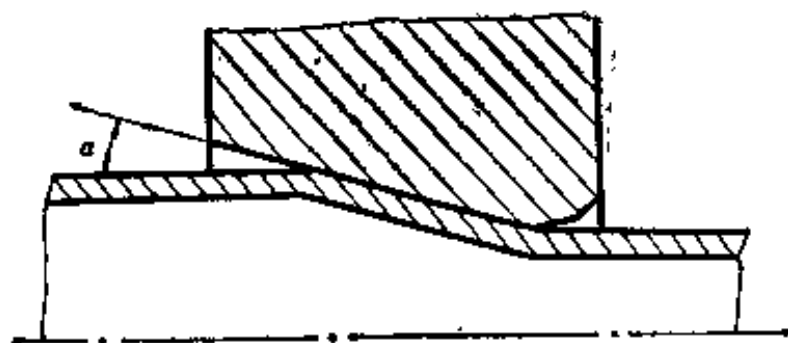


图 11-7 空拔时钢管上单元窄条的弯曲

失，因而在钢管其他部分及拔制力的作用下，窄条产生方向和前一次相反的另一次弯曲。在这次弯曲过程終了之前钢管仍继续有某些变形，结果钢管直径小于定径带模孔的直径，构成了后不接触变形区。

2. 变形区中应力的分布

前面已经提到，拔管变形时，金属处在一向拉二向压的应力状态。其中轴向应力 σ_1 是拉应力，径向应力 σ_r 和周向应力 σ_t 是压应力。进一步分析可知， σ_r 和 σ_t 的值也是不相等的。在无芯棒拔制的情况下，根据作用在单元环上的力的平衡条件， σ_r 与 σ_t 之间存在如下关系（图11-8）：

$$\sigma_t 2S = \sigma_r D$$

或

$$\sigma_t = \sigma_r \frac{D}{2S}$$

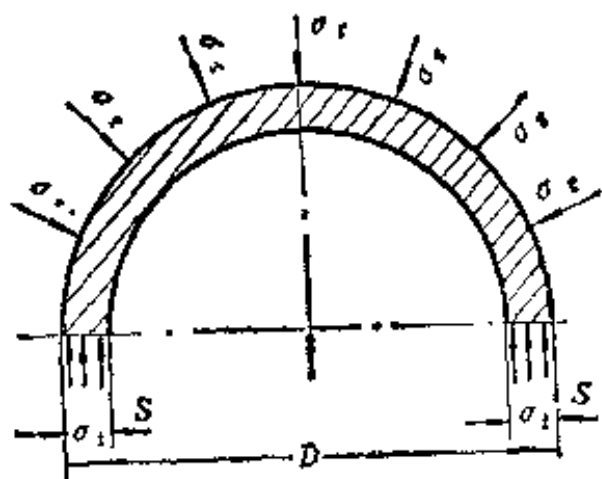


图 11-8 确定 σ_r 和 σ_t 之间关系的图示

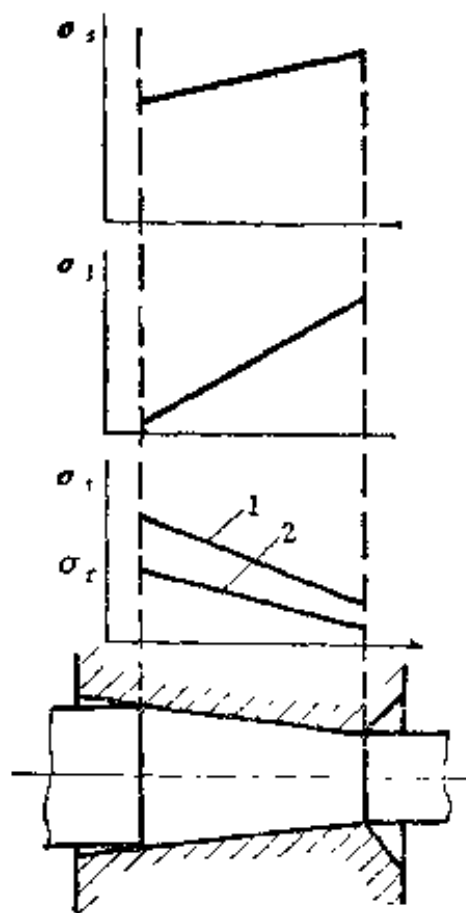


图 11-9 沿变形区长度， σ_s 、 σ_t 、 σ_1 和 σ_r 的变化（绝对值）
1— σ_t ；2— σ_r

式中 D ——变形区上单元环的直径；
 S ——变形区上单元环的壁厚。

因为始终有 $\frac{D}{2S} > 1$ ，而 σ_r 、 σ_t 都是压应力，因而就绝对值而言 σ_t 比 σ_r 大，但就代数值而言 σ_t 小于 σ_r 。所以，三个主应力中， σ_1 是最大主应力， σ_t 是最小主应力， σ_r 是中间主应力。

若把 σ_t 和 σ_r 都视为绝对值，则无芯棒拔制变形时的塑性条件可表达为

$$\sigma_1 - (-\sigma_t) = \beta \sigma_s$$

即 $\sigma_1 + \sigma_t = \beta \sigma_s$

由于无芯棒拔制时， σ_r 与 σ_t 的差别较大，故可取 $\beta = 1.12 \sim$

1.15。

在变形区中应力的分布是不均匀的。径向应力在钢管的外表面最大，在内表面为零。 σ_z 、 σ_l 、 σ_r 和 σ_t 沿变形区长度的分布见图11-9。从变形区的入口到出口 σ_l 是逐渐增加的。在无后张力的情况下，也可认为入口截面上 $\sigma_l = 0$ 。造成 σ_l 逐渐增加的原因是：1) 由于加工硬化，金属的 σ_z 不断增大；2) 钢管的横截面逐渐减小；3) 离入口截面的距离增加，金属和模壁的接触面积增大，摩擦阻力上升。

根据应力之间的关系式可知，从变形区的入口到出口，随着 σ_l 的逐渐增加， σ_r 、 σ_t （绝对值）都应该是逐渐减小的。

由于在变形区的入口截面 σ_r 是最大的，因此，在该部分模壁上容易出现较深的环状磨损。

3. 拔制后钢管直径的确定^[14]

如前所述，无芯棒拔制的目的是为了减小钢管的直径，而拔制后钢管的直径 D_K 则通过空拔模定径带的模孔直径 d_0 来控制。 D_K 和 d_0 通常是有差异的，并有 $D_K > d_0$ 、 $D_K = d_0$ 、 $D_K < d_0$ 三种可能。一般是 $D_K < d_0$ ，在某些情况下其差值还比较大。表11-1为用锥角为 12° 的硬质合金空拔模拔制一些钢管时， D_K 和 d_0 的差值。

下面来分析造成模孔与拔后钢管间直径差的原因及影响因素。

前面已经提到，空拔时存在两个不接触变形过程，由于后不接触变形过程，导致在空拔模的定径带钢管的直径一般不等于而是略小于模孔直径，这称为缩径现象。缩径现象是造成空拔后钢管直径不同于模孔直径的主要原因。影响空拔后钢管直径的其他因素是拔制过程中空拔模的弹性变形和拔制后钢管本身的弹性恢复，但这两者都会使空拔后钢管的直径有所增加。

因此，空拔后钢管的直径应为：

$$D_K = d_0 - a_1 + a_2$$

式中 a_1 ——由于后不接触变形造成的缩径量；

表 11-1 模孔直径与空拔后钢管直径的差值 (单位: 毫米)

模孔直径 d_0	钢 种	拔制前钢管尺寸		拔制后钢管尺寸		模孔与拔后钢管的直径差 $d_0 - D_1$
		D_0	S_0	D_1	S_1	
25.02	10	80	0.98	24.71	1.05	0.31
		88	2.42	24.60	2.59	0.42
		88	3.45	24.68	3.57	0.34
32.01	10	38	0.87	31.52	0.98	0.49
		45	3.37	31.27	3.57	0.74
		42	5.22	31.24	5.33	0.77
32.01	20	45	3.44	31.37	3.60	0.64
		42	5.28	31.20	5.41	0.81
32.01	45	42	3.42	31.26	3.57	0.75
		42	5.25	31.30	5.36	0.81
42.01	10	51	1.41	41.35	1.52	0.65
		51	3.39	41.21	3.55	0.80

a_2 ——钢管直径弹性增加值, 由空拔模的弹性变形量和拔制后钢管的弹性恢复量两部分构成。

若以相对直径差 $\frac{\Delta D}{d_0} = \frac{D_K - d_0}{d_0} 100\%$ 来度量拔制后的钢管与模孔之间直径相差的程度, 则影响该值大小的具体工艺因素有模子的锥角 α 、钢管的直径与壁厚之比 $\frac{D}{S}$ 以及变形程度 ε 等。图 11-10 为不同 $\frac{D}{S}$ 的 10~20 钢钢管在不同 α 和 ε 条件下拔制时的 $\frac{\Delta D}{d_0}$ 值。

由图可知, 当比值 $\frac{D}{S}$ 很大时, 在 $\alpha = 10^\circ$ 和 $\varepsilon \leq 30\%$ 的情况下,

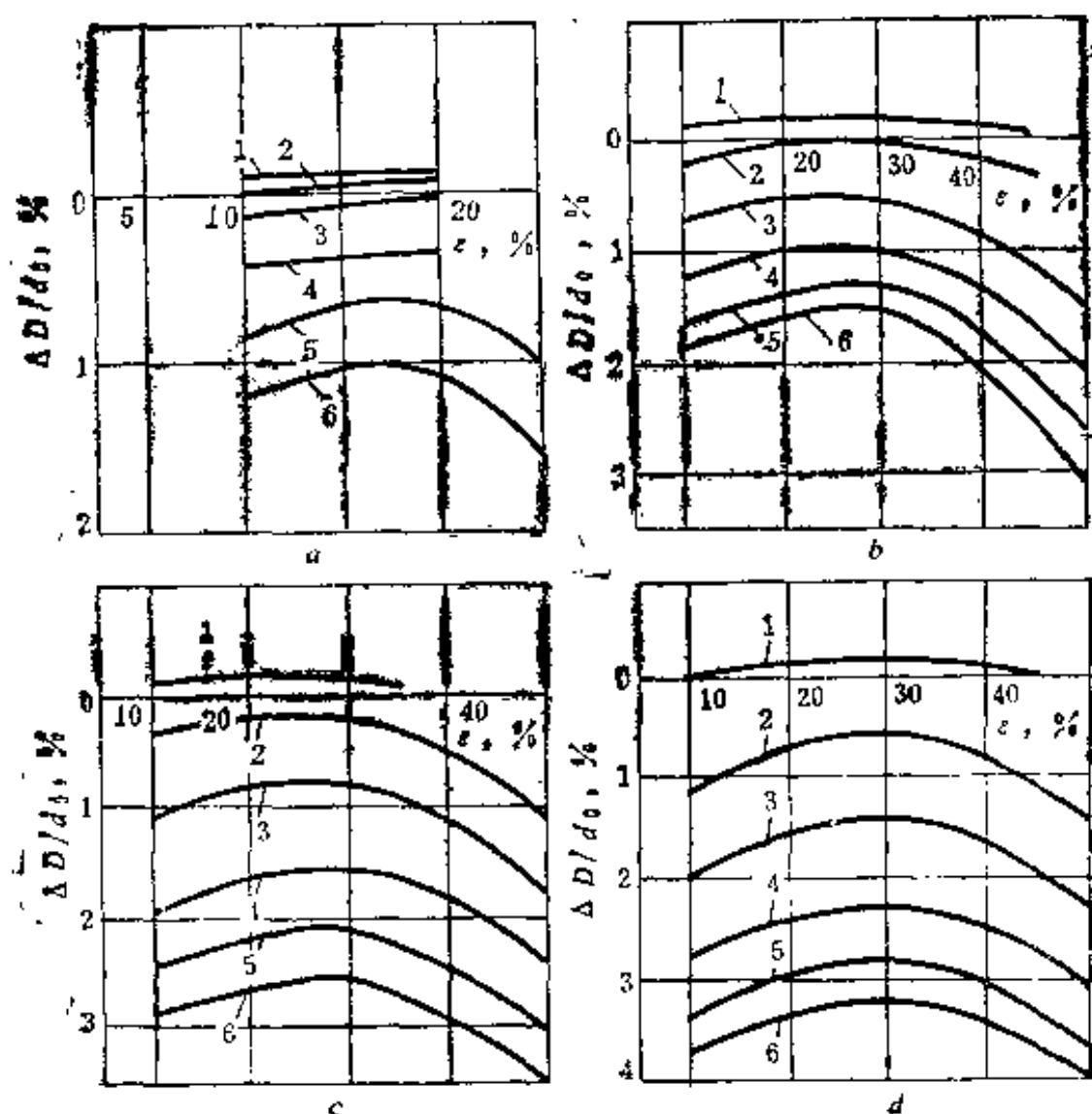


图 11-10 不同 $\frac{D}{S}$ 值时, $\frac{\Delta D}{d_0}$ 与 ε 、 α 的关系

a— $\frac{D}{S}=60$ (30×0.5 毫米); b—45 (30×0.7 毫

米) c—30 (30×1.0 毫米); d—15 (30×2.0 毫米)

1— $\alpha=5^\circ$; 2— 10° ; 3— 15° ; 4— 20° ; 5— 25° ; 6— 30°

$\frac{\Delta D}{d_0}$ 几乎等于零; 当 $\alpha \leq 15^\circ$ 时 $\frac{\Delta D}{d_0} < 0$, 并且随着 α 的增加其绝对值增大, 即拔制后钢管的直径愈小于模孔的直径; 另外, 其他条件不变的情况下, 当 ε 或 $\frac{D}{S}$ 达到某个一定值时, $\frac{\Delta D}{d_0}$ 的绝对

值最小。

使用锥形空拔模时，相对直径差可用下列经验公式计算：

$$\frac{\Delta D}{d_0} = \left[\left(0.0015 - 0.125 \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{S_K}{D_K}} \right) \sqrt{\mu} \right] \times 100\%$$

式中 D_K 和 S_K ——拔制后钢管的直径和壁厚，

μ ——延伸系数。

由于拔制过程中空拔模的弹性变形量以及拔制后钢管直径的弹性恢复量一般比因后不接触变形而造成的钢管缩径量要小得多，因而为了减少差值 $d_0 - D_K$ ，提高拔制后钢管的直径精度，减少钢管在后不接触变形区中的变形具有很大的作用。

根据在出口端产生不接触变形的原因可以推知，改变模孔形状可以减少甚至消除这种不接触变形（图11-11）。

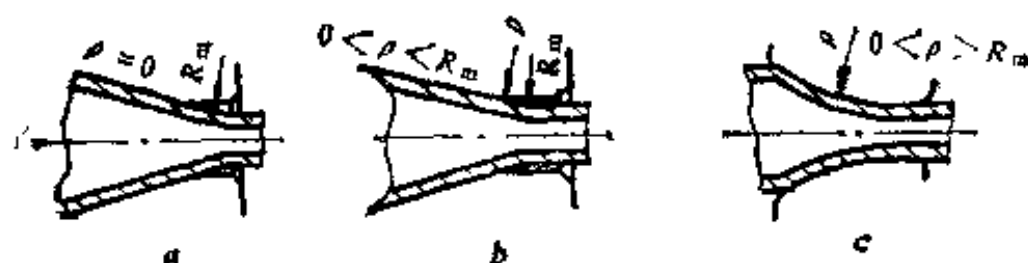


图 11-11 模孔形状对缩径量的影响

对于锥形空拔模，当入口锥锥角很大或者入口锥与定径带之间加工不良过渡不平滑时（图11-11，a，图中 ρ 为模孔过渡处的圆角半径； R_m 为后不接触变形区的弯曲半径），拔制过程中有较大的不接触变形及缩径量；如果入口锥与定径带之间过渡平滑，则可减少不接触变形的程度及缩径量（图11-11，b）；若采用弧形空拔模并有 $\rho \geq R_m$ ，则不接触变形及缩径量很小，实际上趋于消失（图11-11，c）。生产实践证实了上述分析。

4. 壁厚变化及均壁作用

无芯棒拔管是以减小钢管的直径为目的的。但应该注意的是，无芯棒拔制过程中在直径减小的同时钢管壁厚也发生着变化。经过空拔，钢管的壁厚可能减薄、不变或者增加。为了获得壁厚

合乎要求的成品管，在空拔道次比较多的情况下，掌握空拔时钢管壁厚的变化规律是很重要的。

(1) 产生壁厚变化的力学条件

空拔时金属在三向应力作用下进行变形，由于变形前后体积是不变的，所以空拔时钢管壁厚的变化取决三个应力之间的相互关系（图11-12），根据E.西贝尔等提出的空拔时金属流动的基本方程式即

$$\varepsilon_t : \varepsilon_r : \varepsilon_l = (\sigma_t - \sigma_m) : (\sigma_r - \sigma_m) : (\sigma_l - \sigma_m)$$

式中 σ_m ——平均应力；

$$\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_l + \sigma_r + \sigma_t),$$

$$\varepsilon_t = \ln \frac{D_H}{D_K} \text{——周向对数变形,}$$

$$\varepsilon_r = \ln \frac{S_H}{S_K} \text{——径向对数变形,}$$

$$\varepsilon_l = \ln \frac{L_K}{L_H} = \ln \frac{F_H}{F_K} \text{——轴向对数变形（延伸）,}$$

D_H 、 S_H 、 L_H 和 F_H ——拔制前钢管的直径、壁厚、长度和截面积；

D_K 、 S_K 、 L_K 和 F_K ——拔制后钢管的直径、壁厚、长度和截面积。

可知：

$$\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_t} = \frac{\sigma_r - \sigma_m}{\sigma_t - \sigma_m}$$

即

$$\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_t} = \frac{2\sigma_r - \sigma_l - \sigma_t}{2\sigma_t - \sigma_r - \sigma_l}$$

因此

$$\varepsilon_r = \frac{2\sigma_r - \sigma_l - \sigma_t}{2\sigma_t - \sigma_r - \sigma_l} \varepsilon_t$$

上式为空拔时钢管的壁厚变化率与直径压缩率及三向应力之间的基本关系式。从该式可以推知：

当 $\sigma_r < \frac{\sigma_t + \sigma_l}{2}$, $S_H > S_K$ 即空拔后壁减薄,

当 $\sigma_r = \frac{\sigma_t + \sigma_l}{2}$, $S_H = S_K$ 即空拔后壁厚无变化,

当 $\sigma_r > \frac{\sigma_t + \sigma_l}{2}$, $S_H < S_K$ 即空拔后壁增厚。

所以 $\sigma_r < \frac{\sigma_t + \sigma_l}{2}$ 、 $\sigma_r = \frac{\sigma_t + \sigma_l}{2}$ 、 $\sigma_r > \frac{\sigma_t + \sigma_l}{2}$ 分别为空

拔时壁减薄、壁厚保持不变和壁增厚时的力学条件。因此，凡是能改变 σ_t 、 σ_r 、 σ_l 三个应力的的大小以及它们之间相互关系的各种因素都会影响空拔时壁厚变化的数量甚至性质。钢管的几何尺寸、变形量、模具形状、外摩擦以及钢的力学性能等都属于这类因素。

(2) 壁厚变化的一些规律

1) 空拔钢管壁厚的变化发生在接触变形区，也发生在不接触变形区。据研究，在前不接触变形区壁厚一般是增加的，在后不接触变形区壁厚一般是减薄的。因为，在前不接触变形区钢管是在几乎没有轴向应力的条件下进行变形的，而在后不接触变形区则作用着相当于拔制应力的轴向应力。在接触变形区，根据不同变形条件，壁厚可能有各种变化。空拔后钢管壁厚的改变是整个变形区内壁厚变化的总和，见前图11-6。

2) 空拔时钢管壁厚的变化主要取决于拔制前原始直径与原始壁厚的比值 $\frac{D}{S}$ (或 $\frac{S}{D}$)。 $\frac{D}{S}$ 值既影响壁厚变化的性质，也影响壁厚变化的数量。

试验和生产实践都证实，对应于一定的拔制条件，存在一个

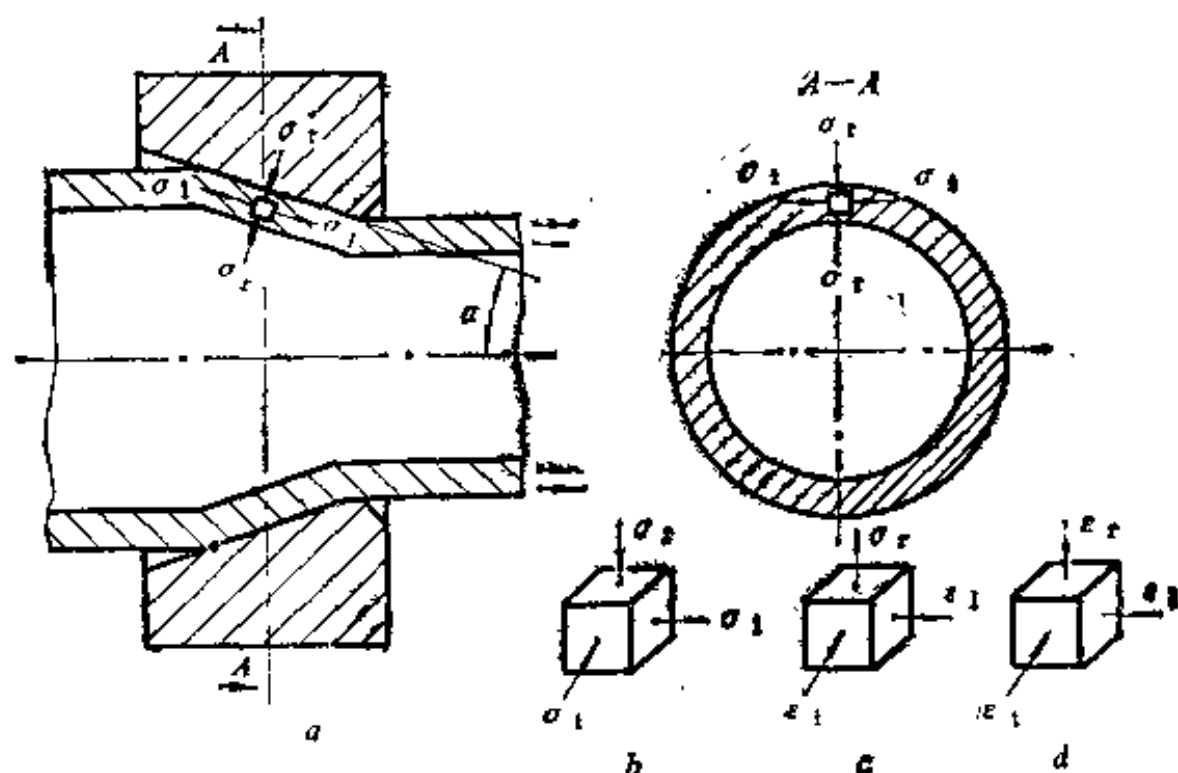


图 11-12 无芯棒拔制时的应力及变形
a—变形区；b—应力状态；c—壁增厚时的变形
图示，d—壁减薄时的变形图示

临界值 $\left(\frac{D}{S}\right)_K$ ，当 $\frac{D}{S} = \left(\frac{D}{S}\right)_K$ ，空拔时钢管壁厚没有变化，当 $\frac{D}{S} < \left(\frac{D}{S}\right)_K$ 时，壁减薄；当 $\frac{D}{S} > \left(\frac{D}{S}\right)_K$ 时，壁增厚。一般 $\left(\frac{D}{S}\right)_K \approx 5 \sim 6$ ，或 $\left(\frac{D}{S}\right)_K \approx 16.5 \sim 21\%$ 。

关于临界值的存在，可做如下的解释。

前面已经分析过，在无芯棒拔管的情况下，周向压应力 σ_t 的绝对值始终是大于径向压应力 σ_r 的绝对值，而两者的具体差值则决定于比值 $\frac{D}{S}$ ， $\frac{D}{S}$ 的值越大，则两者的差别越大。当 $\frac{D}{S}$ 很大时， σ_t 很大， σ_r 很小，在管径受到压缩的过程中，金属在向轴向流

动的同时，也容易向中心流动，变形结果，壁厚增加；当 $\frac{D}{S}$ 很小时， σ_t 很小， σ_r 很大，在管径受到压缩的过程中，金属集中向轴向流动，其中包括部分壁厚上的金属，变形结果，壁厚减薄。由此可知， $\frac{D}{S}$ 也必然有一个临界值，这时变形结果壁厚保持不变。

变形条件不同， $\left(\frac{D}{S}\right)_K$ 值不同，影响其大小的因素主要有变形量、拔管模的锥角、钢管的力学性能等。一般，随着变形量、拔管模锥角及钢管屈服极限的增加，轴向应力增加，金属容易向轴向流动，使 $\left(\frac{D}{S}\right)_K$ 趋向较大的值。

基于同样的原因，当其他条件不变但 $\frac{D}{S}$ 值不同时，壁厚变化的程度也不同。在 $\frac{D}{S} > \left(\frac{D}{S}\right)_K$ 的范围内， $\frac{D}{S}$ 值越大，空拔时增壁率越大；在 $\frac{D}{S} < \left(\frac{D}{S}\right)_K$ 的范围内， $\frac{D}{S}$ 值越小，减壁率越大。

3) 对于一定的 $\frac{D}{S}$ 值，包括在 $\frac{D}{S} < \left(\frac{D}{S}\right)_K$ 或 $\frac{D}{S} > \left(\frac{D}{S}\right)_K$ 的情况下，在一定范围内，当变形量增加时，壁厚变化率会随之增加。

在生产中常以壁厚变化量 ΔS 与减径量 ΔD 的比值来衡量变形量对壁厚变化的影响和估算不同减径量时壁厚的变化值。根据某厂的实测数据，用弧形模拔制20钢钢管时，就其平均值，

在增壁的情况下， $\frac{\Delta S}{\Delta D} = 0.01 \sim 0.025$ 毫米/毫米，即每减径1毫

米，管壁增厚约0.01~0.025毫米。所拔管的壁较厚时其值较大；

在减壁的情况下, $\frac{\Delta S}{\Delta D} = 0.04 \sim 0.05$ 毫米/毫米, 即每减径1毫米,

壁减薄约0.04~0.05毫米。

4) 模具的形状对空拔管的壁厚变化有影响。模具形状影响着拔制时轴向应力的的大小和出口端不接触变形的程度, 所以分析模具形状对壁厚变化的影响要综合考虑以上两种因素的作用。

在使用锥形模的情况下, 一般随着模具锥角的增加, 空拔时增壁率逐渐减小, 减壁率逐渐增加^[15] (图11-13)。

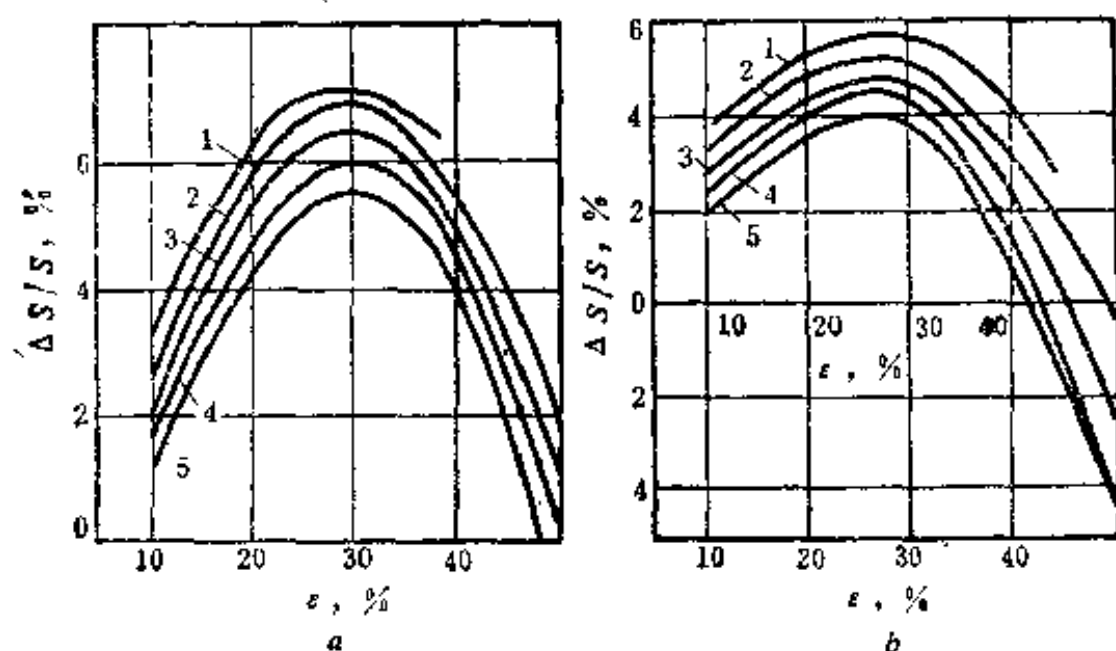


图 11-13 壁厚变化率与变形程度 ε 及
模具锥角 α 的关系

$$a - \frac{D}{S} = 30 (30 \times 1.0 \text{ 毫米}); \quad b - \frac{D}{S} = 15 (30 \times 2.0$$

毫米) 1— $\alpha = 5^\circ$; 2— 10° ; 3— 15° ; 4— 20°

5— 25°

一般, 使用弧形模与使用锥形模相比, 前者空拔时壁增厚的倾向更大一些。

5) 关于钢的力学性能对空拔时壁厚变化的影响, 有的资料指出, 塑性大的金属壁厚变化较大^[16]。

图11-14分别为低碳钢管由50×5毫米、40×4毫米拔到35×

3.5毫米后不经退火空拔和经退火后空拔时壁厚变化的试验曲线，曲线表明，在减径率相同的条件下，退火管壁增厚的程度较大[17]。

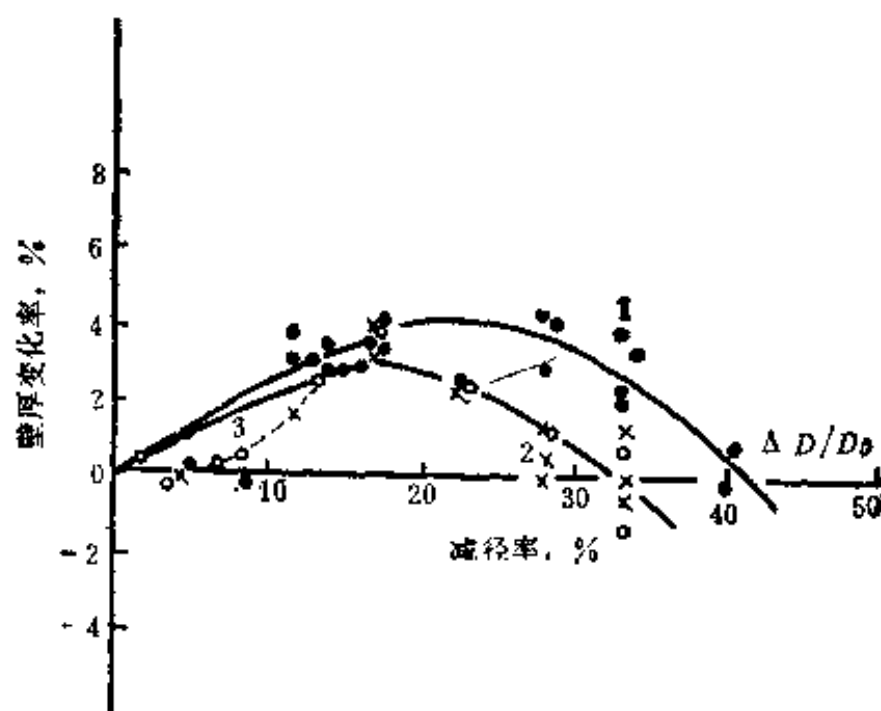


图 11-14 空拔时壁厚变化与变形前
钢管状态的关系

1—退火管；2—具有23.5%的冷变形量；3—具
有51.0%的冷变形量

(3) 壁厚变化的工程计算[18]

对空拔时的壁厚变化文献中已提出了不少计算方法，但这些计算方法有的比较复杂，有的精度较差。经过与试验结果比较认为，在通常道次减径率 $\leq 30\%$ 和外模锥角 $\alpha \leq 15^\circ$ 的情况下，Ю.Ф.舍瓦金等人提出的计算公式[18]比较方便又具有一定的精确度，可用于工程计算。该公式推导时假设 $\left(\frac{D}{S}\right)_K = 5$ ，同时忽略

了模具锥角的影响。

Ю.Ф.舍瓦金等人提出的公式为：

$$\frac{\Delta S}{S_H} = \frac{1}{6} \times \frac{\Delta D}{D_C} \left[3 - 10 \left(\frac{S_H}{D_H} \right)^2 - 13 \left(\frac{S_H}{D_H} \right) \right]$$

式中 $\frac{\Delta S}{S}$ ——壁厚变化率,

$$\Delta S = S_K - S_H$$

S_H 和 S_K ——钢管空拔前和空拔后的壁厚,

$\Delta D = D_H - D_K$ ——减径量,

D_H 和 D_K ——钢管空拔前和空拔后的直径,

$$D_c = \frac{D_H + D_K}{2}.$$

上式可写成:

$$\frac{S_K - S_H}{S_H} = \frac{1}{6} \times \frac{\Delta D}{D_c} \left[3 - 10 \left(\frac{S_H}{D_H} \right)^2 - 13 \left(\frac{S_H}{D_H} \right) \right]$$

或

$$\frac{S_K}{S_H} = \frac{1}{6} \times \frac{\Delta D}{D_c} \left[3 - 10 \left(\frac{S_H}{D_H} \right)^2 - 13 \left(\frac{S_H}{D_H} \right) \right] + 1$$

也可改写成

$$\frac{S_K}{D_H} = \left\{ \frac{1}{6} \times \frac{\Delta D}{D_c} \left[3 - 10 \left(\frac{S_H}{D_H} \right)^2 - 13 \left(\frac{S_H}{D_H} \right) \right] + 1 \right\} \frac{S_H}{D_H}$$

图11-15为根据上式绘制的图表,利用它可以查得不同 $\frac{\Delta D}{D_c}$

值时, $\frac{S_H}{D_H}$ 和 $\frac{S_K}{D_H}$ 两者互相对应的值,由此可根据拔制前的壁厚

S_H 求得拔制后的壁厚 S_K ,或者根据拔制后应达到的壁厚 S_K 来推算拔制前钢管应有的壁厚 S_H 。

有的文献^[15]推荐用下列公式计算厚壁管空拔时的壁厚变化量:

$$\Delta S = 3.02 \Delta D \frac{S_H}{D_H} \left(0.17 - \frac{S_H}{D_H} \right)$$

(4) 空拔过程中的均壁作用

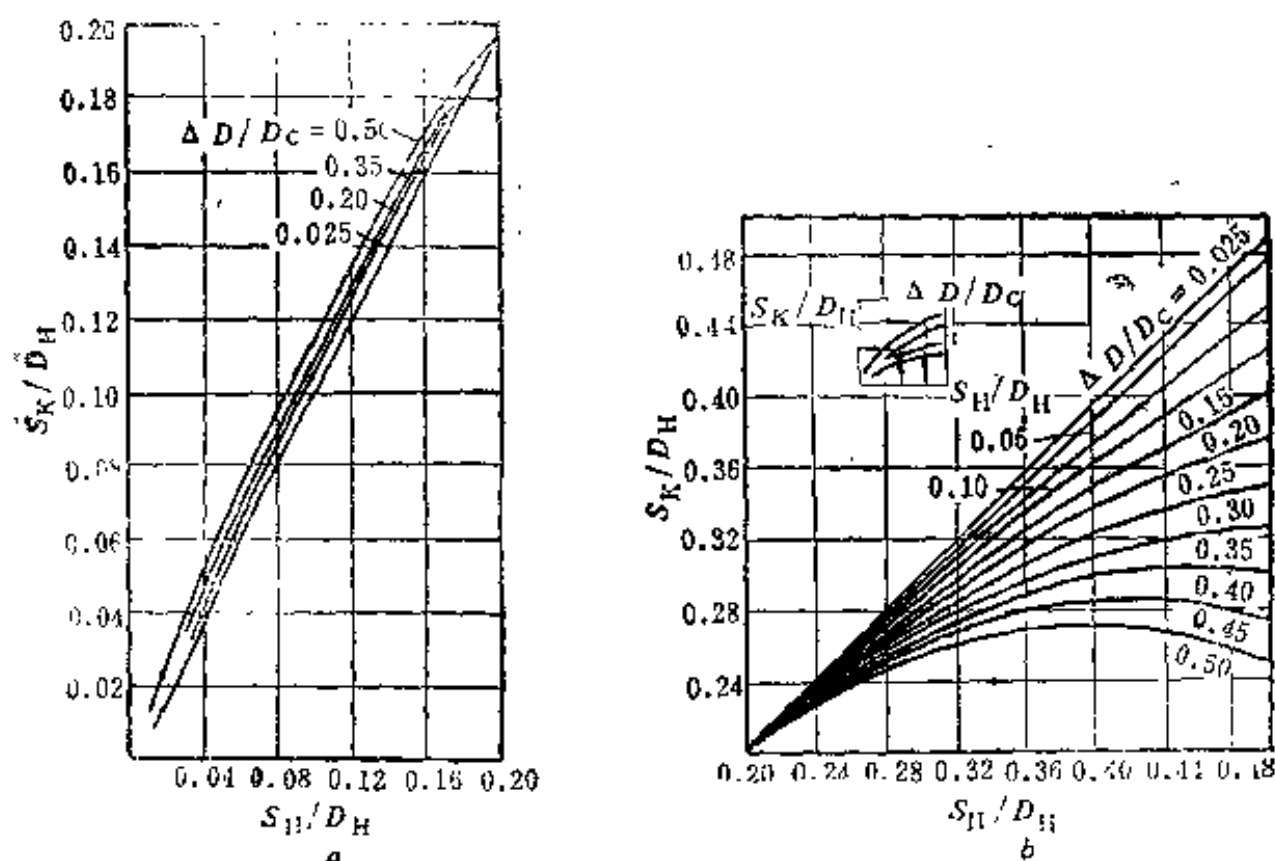


图 11-15 空拔时壁厚变化与

$\frac{S_H}{D_H}$ 及 $\frac{\Delta D}{D_C}$ 的关系

$$a - \frac{S_H}{D_H} \leq 0.2, \quad b - \frac{S_H}{D_H} \geq 0.2$$

空拔过程中，在壁厚发生变化的同时，钢管原始横向壁厚不均的程度能有所减少，即存在均壁作用。

均壁作用的产生是由于管壁上的不同壁厚处在空拔过程中有不同的壁厚变化，即在增厚的情况下，壁薄处增厚多，壁厚处增厚少；在减壁的情况下则相反，壁薄处减薄少，壁厚处减薄多，见图11-16，结果可使壁厚有某些均匀化[19]。

应该注意的是，为了达到均匀作用，空拔时必须使钢管轴线、空拔模的轴线和拔制线三者相一致。

拔制时管子轴线和模孔轴线常会发生偏移，这时若在拔管模前加一导向模，使两者一致，可减少壁厚不均（图11-17、18）。但若在变形区的入口管子轴线与模子轴线相一致而模子端面与拔

制线不垂直也会产生较大的壁厚不均（图11-18），这说明上述三线一致的重要性。

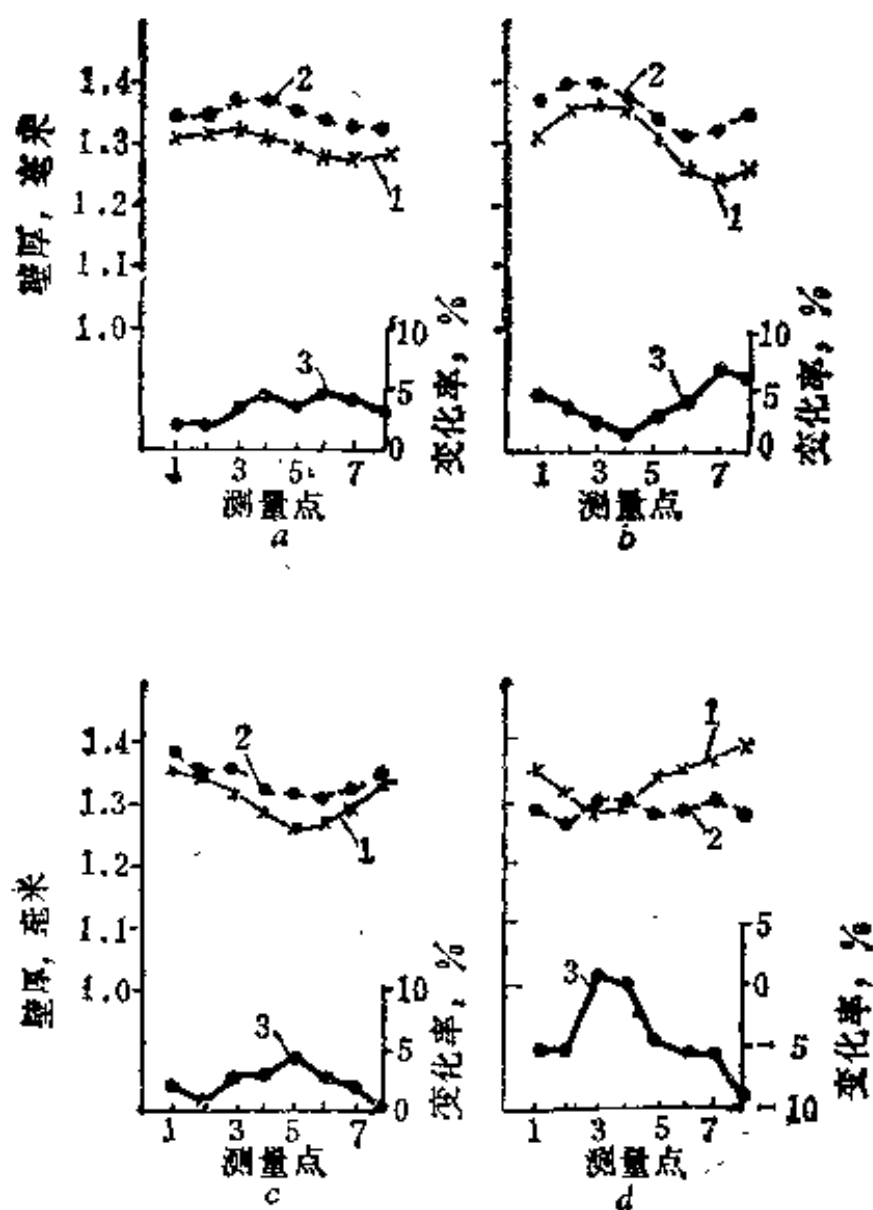


图 11-16 空拔时不同壁厚处管壁厚度的变化（由 17.3×1.3 毫米拔到直径15毫米，退火的铝合金管）

a—模子锥角 $\alpha = 6^\circ$ ；b— 13° ；c— 20° ；d— 30°

1—拔制前壁厚沿圆周的分布；2—拔制后；
3—壁厚的变化

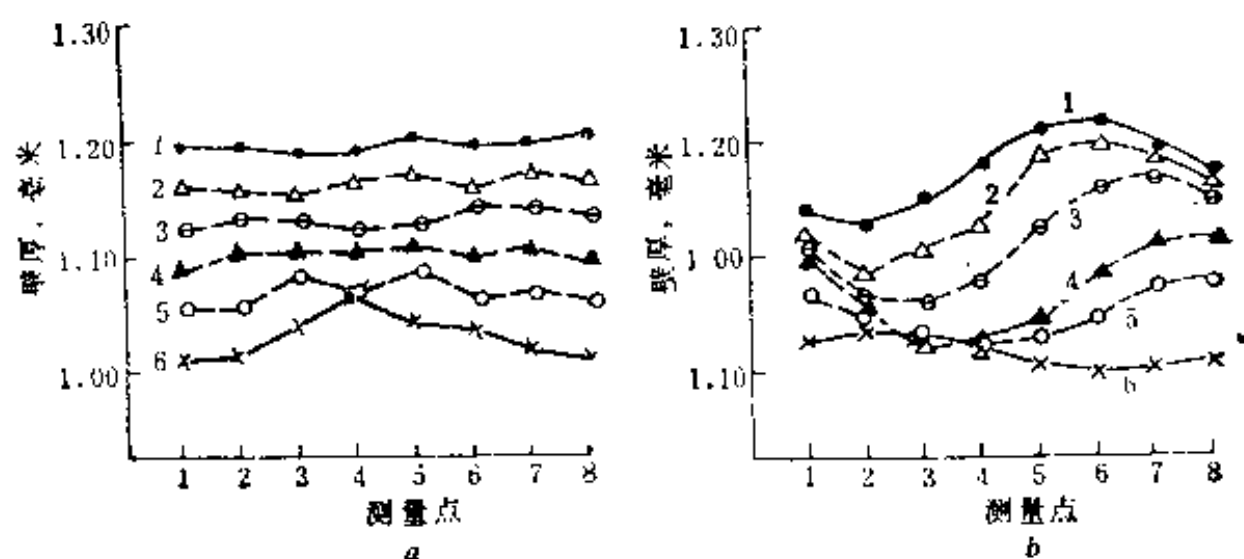


图 11-17 放置导向模对空拔后管子壁厚均匀度的影响 (管子原始直径18.7毫米; 模子锥角 $\alpha = 6^\circ$)

a—放置导向模; b—没有放置导向模拔制后管子直径, 毫米: 1—13.0; 2—14.0; 3—15.0; 4—16.2; 5—17.4; 6—18.7

5. 不均匀变形及拔制后钢管内部的残余应力

前面讨论了出现在空拔过程中的两个主要宏观变形现象: 缩径和壁厚变化。下面来分析空拔时变形区内金属流动的特点。总的看空拔过程中金属流动是不均匀的, 存在较严重的不均匀变形。由于变形的不均匀性, 拔制时产生附加应力, 拔制后附加应力残留在钢管内部而形成残余应力。

(1) 产生不均匀变形的原因

变形的不均匀性是由引起变形本身矛盾运动的因素所造成的, 对于空拔过程, 这些因素主要是:

1) 钢管本身的几何因素: 因为空拔时不压缩管壁, 由于钢管本身是圆柱形中空体这一几何因素, 变形时沿壁厚钢管各层的自然延伸系数具有较大的差异。结果导致较大不均匀变形的产生。其特点是:

第一, 自然延伸以外表面层为最小, 内表面层为最大, 中间各层的自然延伸从外表面层至内表面层逐渐增加。可以推知, 其

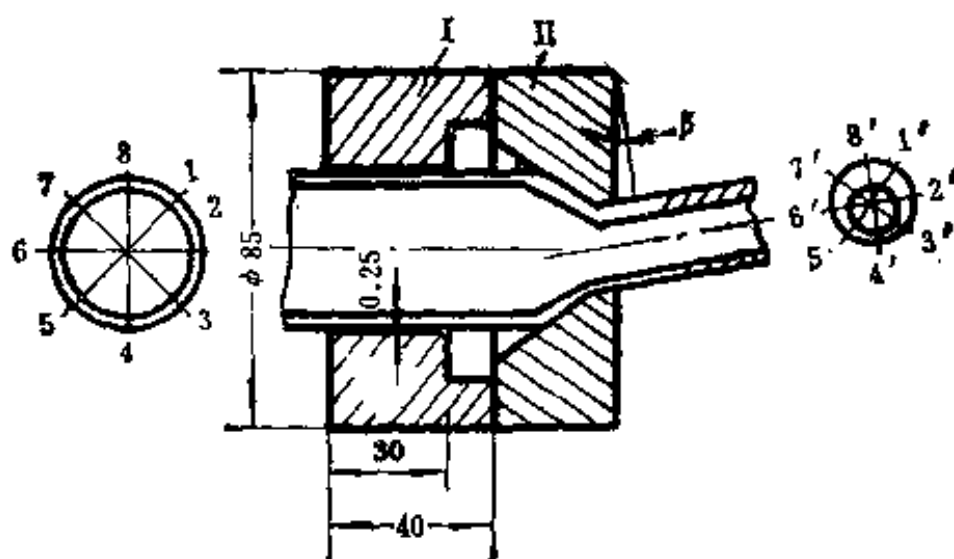
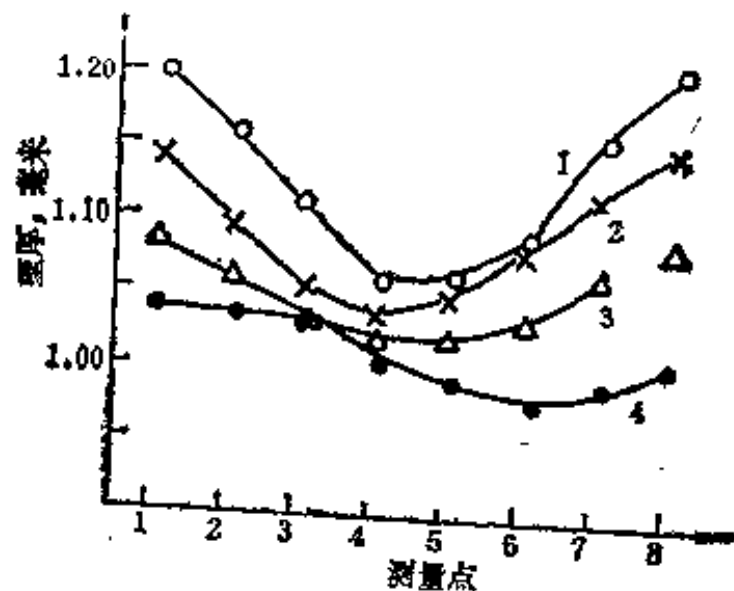


图 11-18 拔管模倾斜对空拔管壁厚不均的影响

(管子原始尺寸为 20×1.0 毫米, 模子锥角 $\alpha = 13^\circ$, 模子倾斜角 $\beta = 5^\circ$)

I—导向模; II—拔管模

1—拔制后管子直径为13.0毫米; 2—15.0毫米;
3—17.4毫米; 4—20.0毫米

间必存在一个“中性层”，这一层的自然延伸相当于其他各种自然延伸的平均值；

第二，由于整体性的关系，实际变形时钢管上各层不能有不同延伸，因此，各层的变形必相互制约。因为外表面层至中性层之间（称外层）的金属其自然延伸都比中性层的自然延伸小；

内表面层至中性层之间（称内层）的金属其自然延伸都比中性层的自然延伸大，所以变形时外层的金属必受内层金属的牵曳作用，其实际延伸将比其自然延伸大，同时由于增加了延伸，该层的厚度将减小并力图缩小其直径。与此相反，内层金属的延伸将受到外层金属的阻碍，其实际延伸比其自然延伸小；与此相关，变形结果该层的厚度和直径与自然变形相比都将增加。

2) 模具形状和外摩擦：模具形状和外摩擦也是造成金属流动和变形不均匀的重要因素，这里用以坐标网格法研究圆棒拉拔时金属流动的结果来说明。

把试样沿轴线纵向剖开，在一个剖面上刻上直角坐标网格，然后把试样组合在一起进行拉拔并拔卡。拔制时沿变形区剖面上的坐标网格其形状和尺寸有以下主要变化，见图11-19：

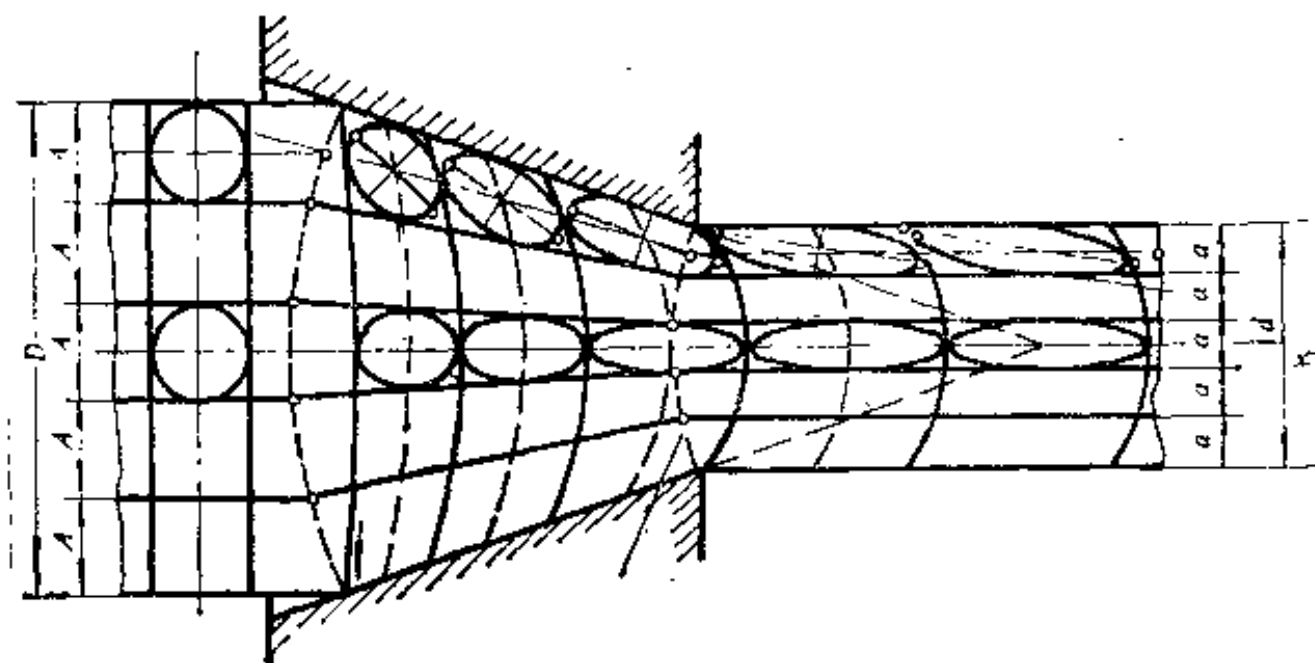


图 11-19 用锥形模拔制圆棒时变形区
内坐标网格的变化

首先，垂直于试样轴线的坐标线变形过程中由直线变为弧线，其曲率在通过变形区时逐渐增大，弯曲方向朝向模孔出口；

其次，拔制过程中各坐标网格轴向延伸径向压缩，中心层次的坐标网格变形后近似于长方形，而表面层次的坐标网格变形后则成为菱形平行四边形；

最后,和试样轴线平行的坐标线变形前是直线,变形后仍是直线,但在通过变形区的过程中坐标线与轴线间的间距逐渐减小,因此,轴向坐标线在变形过程中有两次弯曲,一次在模子入口,一次在模孔出口,两次弯曲的方向相反。

根据变形时坐标网格的上述变化,可以认为,由于模具形状和外摩擦的影响,拔制过程中金属在变形区内的流动和变形是不均匀的,其特点是:

首先,垂直坐标线在通过变形区时曲率逐渐增加说明变形过程中各层金属的轴向流动速度不一致,这主要是受模壁压力和外摩擦的影响。由于外层金属的流动受模壁及外摩擦阻力的阻碍比内层要大,因此,内层金属的轴向流动速度比外层大,外模锥角越大、外摩擦系数越大,则两者的差别越大。但因整体性的关系,两者不能具有不同的流动速度,这样,在外层就会产生附加的轴向延伸,在内层则产生附加的轴向压缩变形;

其次,变形时有附加的剪切变形存在,离外表面越近的金属层附加剪切变形越大;

最后,拔制过程中还产生附加弯曲变形,也是离外表面层越近的金属层,弯曲变形的程度越大。用锥形模拔制时,表面层金属的弯曲角度与模孔的角度相同。用弧形模拔制时,则表面层金属最大的弯曲角度等于其接触面的最大切线角。

圆棒是管材当 $S = \frac{D}{2}$ 时的极限状态,上述圆棒拔制过程中的变形特点管材空拔时也是存在的。由于管材不存在中心层,因而变形沿径向不均匀分布的程度将减少^[20],其程度取决于管壁的厚度。

由上面的讨论可知,因受多种因素的影响空拔过程中,金属的流动比较复杂,变形是不均匀的。不均匀变形的一个主要后果是在拔制过程中产生附加应力,拔制后在钢管内存在残余应力。

(2) 空拔管内的残余应力

存在过大的残余应力是空拔管一些缺陷产生的内因,比如,

空拔后钢管的纵裂就是较为常见而又危害较大的一种缺陷。这种缺陷往往突然发生，一旦出现钢管的一部分甚至沿钢管全长就纵向开裂，成为不可挽救的废品。钢管的纵裂与其外表面层存在较大的周向拉伸残余应力有关〔21〕。下面对空拔管的残余应力特别是轴向和周向残余应力作些具体讨论。

因不均匀变形而产生的附加应力和残余应力，方向和附加变形的方向一致，大小和附加变形的量有关。

空拔时，外层金属的自然延伸和轴向流动速度小于内层，但由于受整体性的制约，在轴向，外层产生附加拉力，内层产生附

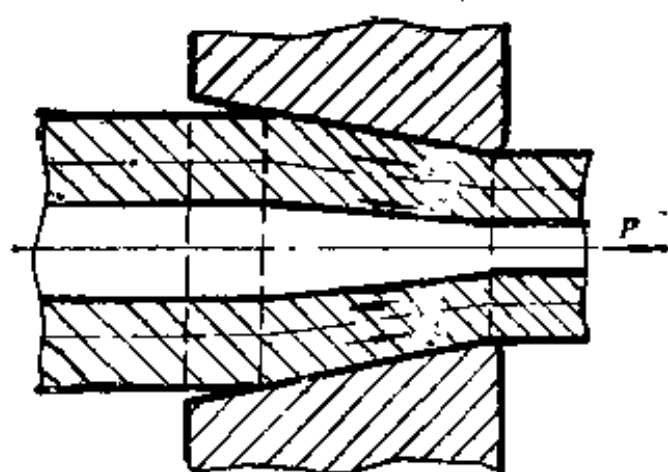


图 11-20 空拔时内外层上轴向附加内力的方向

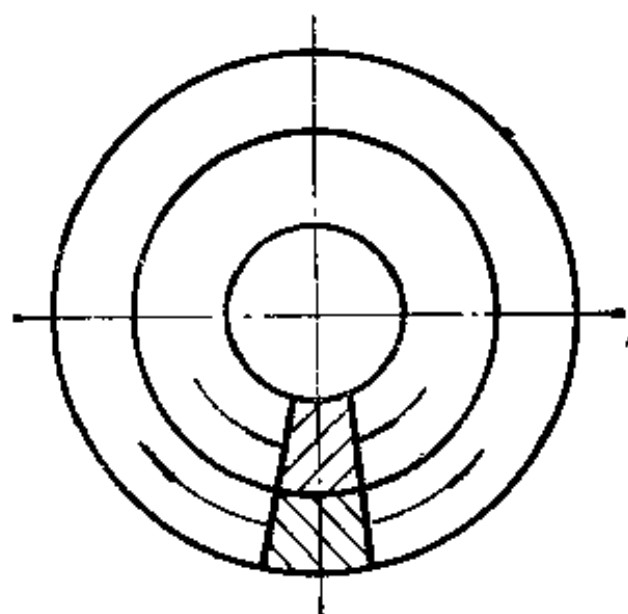


图 11-21 空拔时内外层上周向附加内力的示意图

加压力（图11-20）；由于外层金属同时力图减少厚度缩小直径，内层金属力图增加厚度增大直径，因此，在周向，外层产生附加拉力，内层产生附加压力（图11-21），在径向，外层和内层都产生附加压力。另外，由于后不接触变形过程的存在，在轴向和周向，外层和内层也会分别产生附加拉力和附加压力。

附加内力在相应的金属层中都形成同方向的按一定规律分布的附加应力，不同层中的附加内力互相平衡。

变形结束后附加应力保留在管体内形成残余应力。空拔管内，在轴向、周向和径向都存在残余应力：轴向残余应力 σ'_1 、周向残余应力 σ'_2 和径向残余应力 σ'_3 的定性分布见图11-22。其特点是，近似地看，在外表面 σ'_1 和 σ'_2 均为拉应力并具有最大值，沿壁厚由外向内，其值逐渐减小，在内表面 σ'_1 和 σ'_2 均为压应力，并具有最大值，沿壁厚由内向外，其值逐渐减小。在壁厚的某一

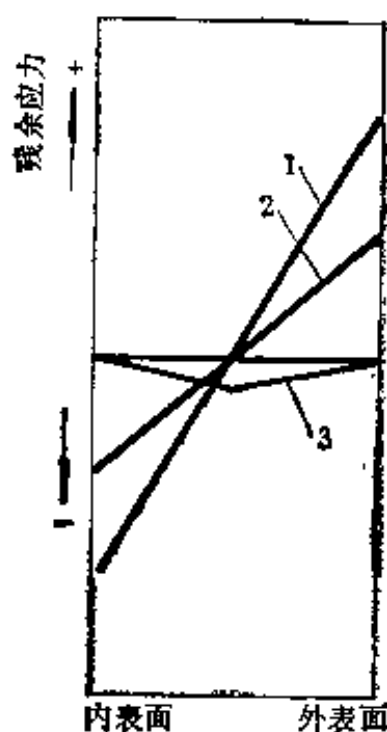


图 11-22 空拔管内三个方向残余应力的定性分布

- 1—轴向残余应力 σ'_1 ；
- 2—周向残余应力 σ'_2 ；
- 3—径向残余应力 σ'_3 ；

截面 σ'_1 和 σ'_2 为零； σ'_3 沿壁厚均为压应力，且在内外表面为零，在壁厚中间具有最大值。

空拔管外表面的轴向和切向拉伸残余应力有时可以达到很大的值。这是因为空拔时壁厚只有因变形本身所引起的少量变化，没有直接的压下变化，存在较大的不均匀变形。影响空拔管外表面轴向和周向拉伸残余应力大小的主要因素有直径压缩率 ε_D 、钢的力学性能、钢管的壁厚等。 ε_D 对空拔管外表面 σ'_1 、 σ'_2 的影响见图11-23。由图可知，在一定范围内，随着 ε_D 的增加，外表面的 σ'_1 和 σ'_2 是增加的。图11-24为不同 ε_D 时20钢钢管和30CrMnSiA钢管

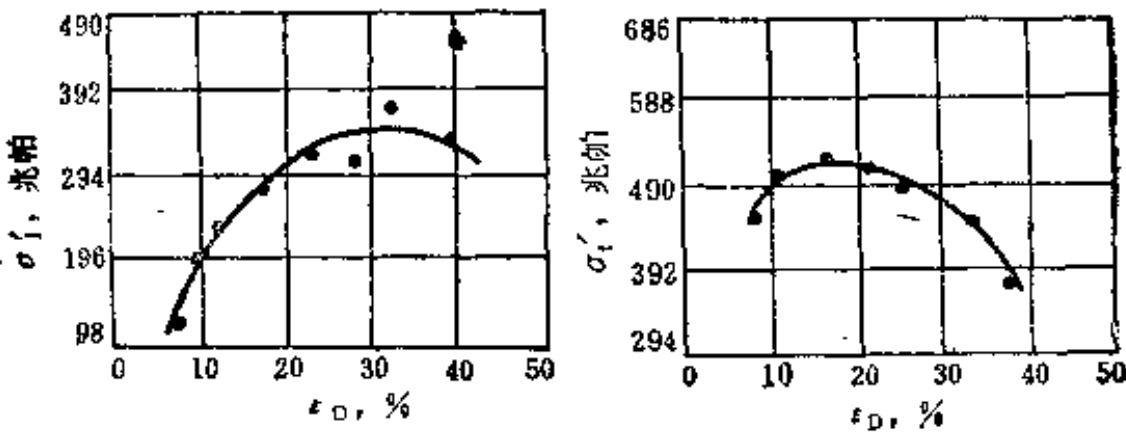


图 11-23 空拔时 ε_D 对外表面 σ'_1 和 σ'_2 的影响

钢管原始尺寸：45×3毫米；材质：10钢
外模锥角： $\alpha=12^\circ$

空拔后外表面的 σ'_3 。由图可知，在变形程度一样的条件下，钢种不同，空拔后钢管内的残余应力是不同的。通常，钢的屈服极限高，空拔后钢管内的残余应力大，钢的屈服极限低，空拔后钢管内的残余应力小。厚壁管与薄壁管比，一般，在其他条件相同的情况下，空拔后前者具有较大的残余应力。

拉伸残余应力的存在，特别在温度较低的情况下，会降低金属的冲击韧性，引起金属的脆性破坏。空拔管由于在外表面存在高水平的轴向和周向拉伸残余应力，就容易产生开裂。通常出现的是直线型的纵向开裂，裂缝大部分通过锤头端管壁凹陷较深的

部位；也有的裂缝通过蹄形管尾的凹陷处。纵向开裂的产生和空拔管外表面存在较大的周向拉伸残余应力有关。空拔管也可能产生螺旋形或锯齿形开裂，这是由于存在于外表面的轴向和周向拉伸残余应力共同作用的结果。

钢质较脆、变形量过大、环境温度低、拔制前存在较大的加工硬化或者退火时加工硬化没有完全消除以及受冲击等因素都会增加空拔管的开裂。目前，生产过程中为了防止开裂主要是合理确定空拔时的变形量、根据需要进行及时退火、注意打头质量、避免形成蹄形管尾，如若出现及时切除或在中切后用于锤头。

如果拉伸残余应力较大的空拔管，没有产生开裂，但已在管体内形成了微裂纹，热处理后残余应力消失了而微裂纹继续存在。这种钢管可能在以后工作时产生开裂，例如，有的钻探管在使用过程中发生开裂就是由于这个原因。

由上可知，研究如何降低空拔管的残余应力的问题应加以重视。

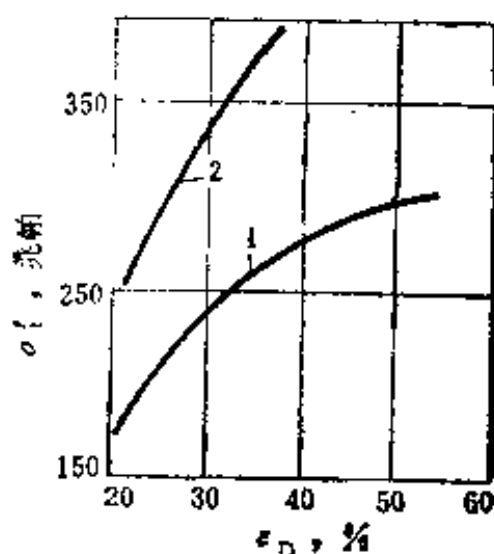


图 11-24 空拔管外表面 σ'_t 与钢种的关系

1—20钢；2—30CrMnSiA

6. 空拔过程中钢管的稳定性

在薄壁管进行空拔时，钢管在拔制过程中的稳定性成了影响能否正常拔制的主要因素。管壁很薄，减径量超过一定值时，空

拔时钢管就会由于局部的（图11-25）或沿钢管全长的管壁内凹，造成凹折缺陷。

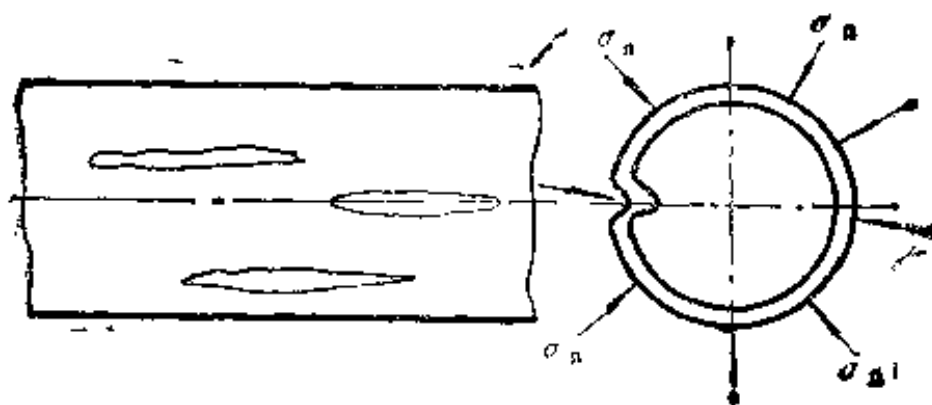


图 11-25 空拔时因钢管丧失稳定性而造成的缺陷

空拔时钢管有丧失稳定性可能的壁厚范围，按 $\frac{S}{D}$ 考虑，一般为 $\frac{S}{D} < 4\%$ [12]。根据试验，当外模锥角 $\alpha = 10^\circ \sim 15^\circ$ 时，为了防止钢管丧失稳定性，空拔时的减径量应小于壁厚的 6 倍，即

$$\Delta D < 6S$$

空拔时钢管丧失稳定性发生在钢管和模壁开始接触处的可能性最大，因相对于变形区的其他部分，该处钢管的 $\frac{S}{D}$ 值最小而模壁作用在钢管上的径向应力最大。锤头部分局部管壁凹陷过深，受其影响，钢管丧失稳定性的现象容易出现。

二、短芯棒拔管过程

短芯棒拔制时，在稳定拔制阶段，芯棒被固定在变形区的一定位置，故又叫做固定芯棒拔制。这种拔制方式，工具制造简单、调整和操作比较方便，因此，在带芯棒的拔制方式中，它是应用最广泛的一种，在国内更是如此。

1. 变形过程和变形区

短芯棒拔制一般使用锥形外模和圆柱形芯棒（图11-26, a），但也有使用弧形外模和锥形芯棒的（图11-26, b），或在生产过

程中两者配合使用。

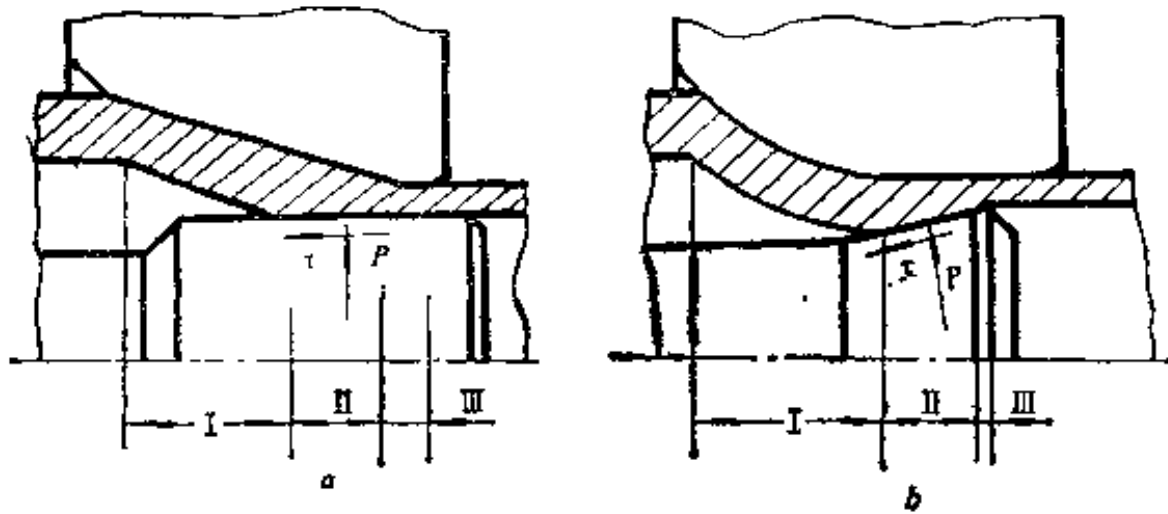


图 11-26 短芯棒拔制的模具及变形区

要实现短芯棒拔制，在开始拔制时，存在一个建立过程的问题。拔制过程的建立一般包括以下几个阶段：钢管前端进入外模开始减径；钢管内壁和送入的芯棒接触并把它带入变形区，钢管减壁，这时，芯棒和钢管一起前移，相当于长芯棒拔制；稍后，芯棒被固定不再移动，钢管在固定的外模与芯棒之间变形和移动，变形过程进入稳定拔制阶段。图11-27为建立拔制过程中作

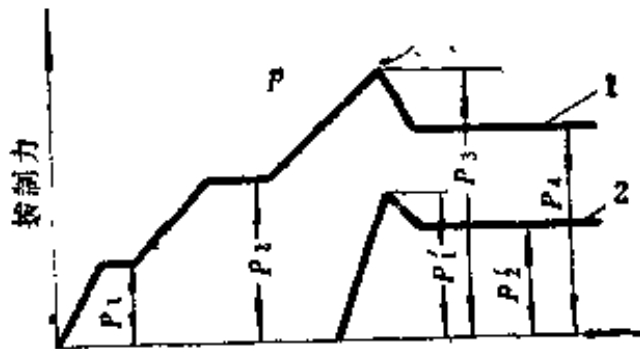


图 11-27 短芯棒拔制过程建立时作用在外模及芯棒上的力

1—作用在外模上的力；

2—作用在芯棒上的力

P_1 —无芯棒拔制时的力； P_2 —长芯棒拔制时的力；

P_1' 、 P_2' —芯棒停止移动时的力； P_3 、 P_4 —稳定拔制时的力

用在模子上和芯棒上的力的变化图示。由图可知，当芯棒由随钢管一起移动过渡到固定不动时，作用在模子和芯棒上的力都具有峰值，这意味着这时的拔制力是整个拔制过程中最大的。

建立拔制过程的关键是能否把芯棒带入变形区。芯棒前端的形状是影响芯棒带入条件的主要因素。芯棒前端倒棱的形状应该保证钢管内壁与芯棒接触时，作用在芯棒上的正压力 P 与摩擦力 T 合力的水平分力朝向拔制方向。为了达到上述要求，应把芯棒前端倒成锥形，防止倒成弧形，因前一种形状对带入芯棒有利（图11-28）。芯棒前端合适的倒角与摩擦条件及变形程度有关，一般倒成 45° 角。

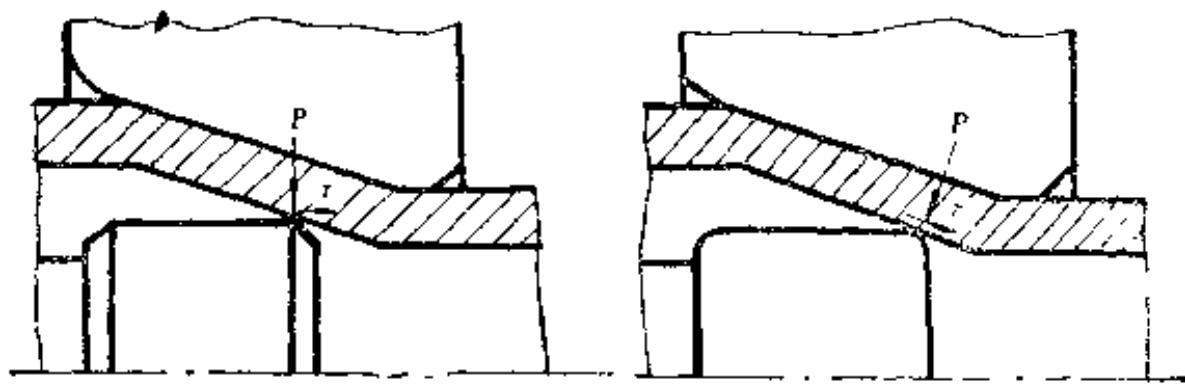


图 11-28 带入时作用在芯棒前端的力

在稳定拔制阶段，钢管的变形过程是先减径，继之是减壁，最后是定径。因而短芯棒拔制时的变形区由减径区、减壁区和定径区即图11-1中的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三部分组成。

在减径区钢管的应力应变状态和无芯棒拔制时一样。在减壁区，这是短芯棒拔制时变形最集中的区域，金属的变形处在径向和周向压缩而轴向延伸的状态；而在应力状态中， σ_r 成了最小主应力，如果忽略减径区的存在，则三个主应力沿减壁区的分布如图11-29所示。

短芯棒拔制时的最大道次变形量，在拔管机能力足够的情况下，一般受管体强度的限制。但对于一些在拔制过程中芯棒上容易粘结金属的钢管，由于芯棒上粘结金属后钢管内表面会产生划道而影响质量，因而在确定道次变形量时就应该考虑这个因素。

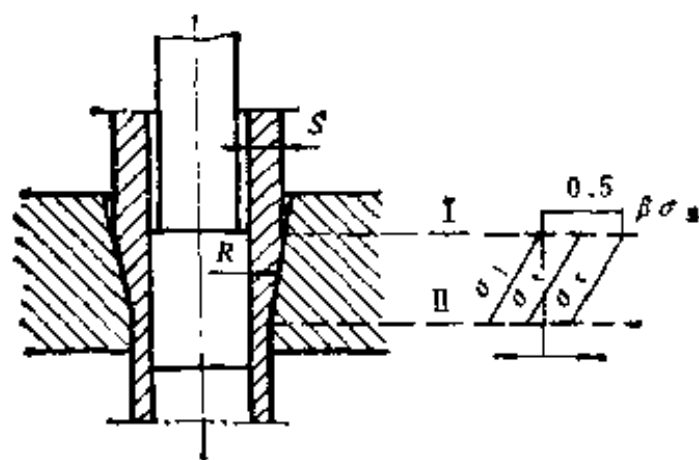


图 11-29 短芯棒拔制时主应力沿减壁区的分布

2. 金属的流动和变形

短芯棒拔制时，由于钢管的变形是在外模和芯棒的同时作用下完成的，既减径又减壁，钢管内外表面又都存在摩擦阻力，因此，在空拔时造成金属不均匀流动和变形的因素，在短芯棒拔制

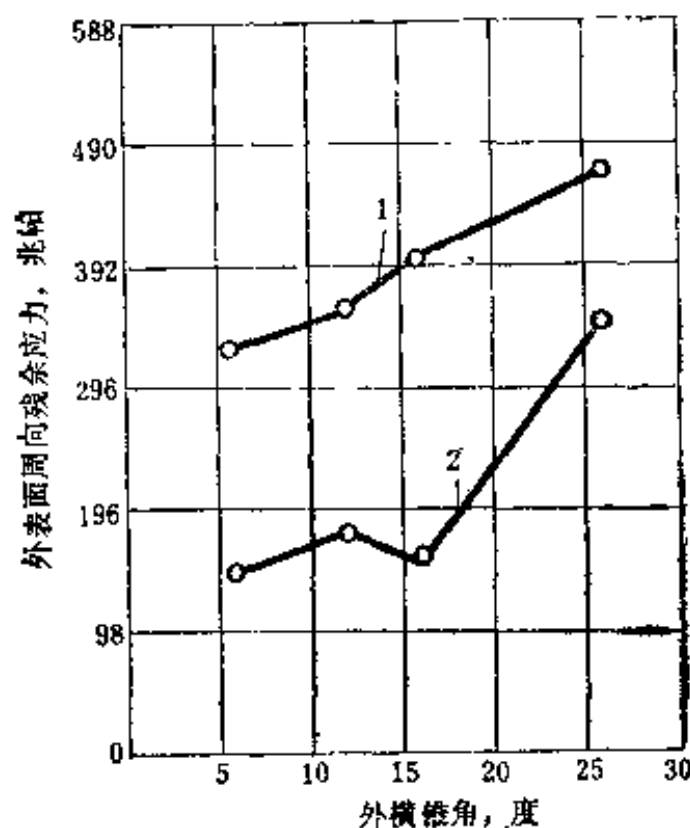


图 11-30 空拔和短芯棒拔制后钢管外表面的周向拉伸残余应力
1—空拔管；2—短芯棒拔制后的钢管

时它们的作用都减弱了。可以认为，短芯棒拔制时金属的流动和变形都较空拔时均匀，所产生的附加应力和残余应力也小。图11-30为含C=0.14%、Si=0.14%、Mn=0.53%，尺寸为43×4.2毫米的钢管，退火后分别用直径为40毫米的拔管模进行空拔和用直径为40毫米的拔管模及直径为32毫米的短芯棒进行拔制后，钢管外表面的周向拉伸残余应力，由图可知，短芯棒拔制后钢管外表面的周向拉伸残余应力比减径量相同的空拔管小〔22〕。

根据试验研究〔21〕，短芯棒拔制时，在减径率 ε_D 一定的条件下，随着减壁率 ε_s 的增加，钢管外表面的轴向、周向拉伸残余应力逐渐减小，而且当 ε_s 大于一定值后，钢管外表面的轴向、周向残余应力还会由拉应力转化为压应力；在 ε_s 一定而 ε_D 增加时，一般钢管外表面的轴向、周向拉伸残余应力是随着增加的，见图11-31。

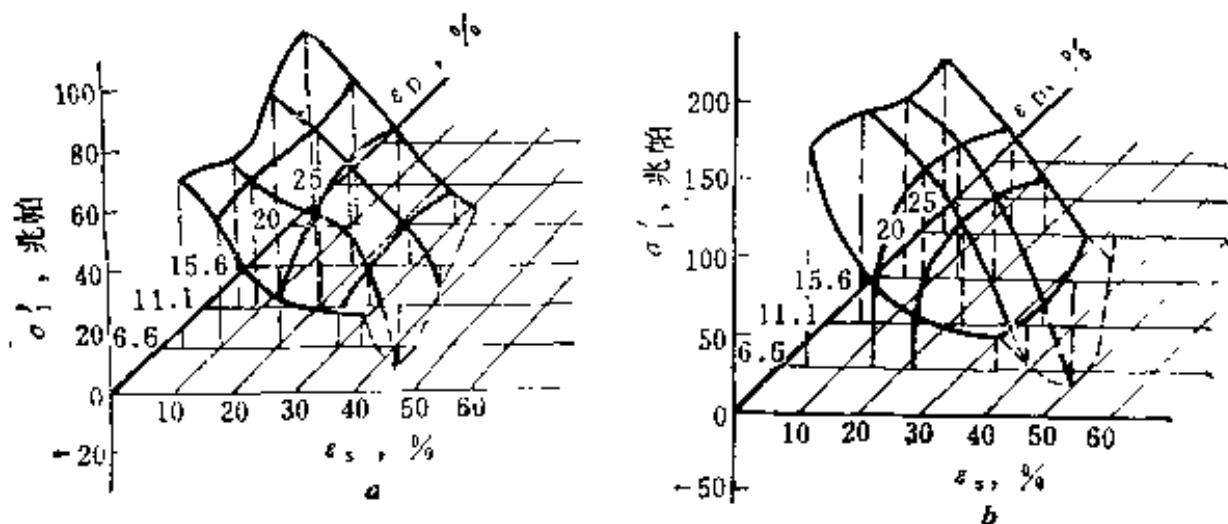


图 11-31 短芯棒拔制后钢管外表面的残余应力与减径率及减壁率的关系
a—周向残余应力；b—轴向残余应力

实际生产中，钢管的开裂主要发生在空拔管，短芯棒拔制的钢管很少开裂，这和上述短芯棒拔制后钢管外表面的拉伸残余应力较小有关。

3. 拔制时的抖动现象

在短芯棒拔制特别是采用圆柱形芯棒拔制时，在一定条件下，拉杆-芯棒系统会产生抖动。抖动的结果，使钢管表面产生

明暗交替的环纹而纵向壁厚波动，损坏模具并发出很大的声响使生产过程不能进行。产生抖动的根本原因在于这种拔制方式的芯棒-拉杆系统是一个弹性振动系统。如图11-32所示，在拔制过程中，当芯棒在变形区内处于稳定位置时，作用在芯棒上的总摩擦力 $\Sigma \tau$ 与拉杆弹性拉伸的反力 Q 相平衡，即

$$\Sigma \tau = \Sigma p l \pi d f$$

式中 p ——作用在芯棒上的单位压力；

d ——芯棒的直径；

l ——钢管内表面和芯棒接触面的长度；

f ——摩擦系数。

若在拔制过程中正压力 Σp 和摩擦系数频繁变化，则上述平衡将不断改变，拉杆的弹性变形量和芯棒位置亦随之不断改变，结果引起芯棒-拉杆系统的强迫振动进而产生抖动。

由以上讨论可知，短芯棒拔制时发生抖动现象与引起作用在芯棒上的轴向力发生变化的因素有关，生产中这类因素主要是由拔制前退火、酸洗、清洗或润滑的质量不好造成的。

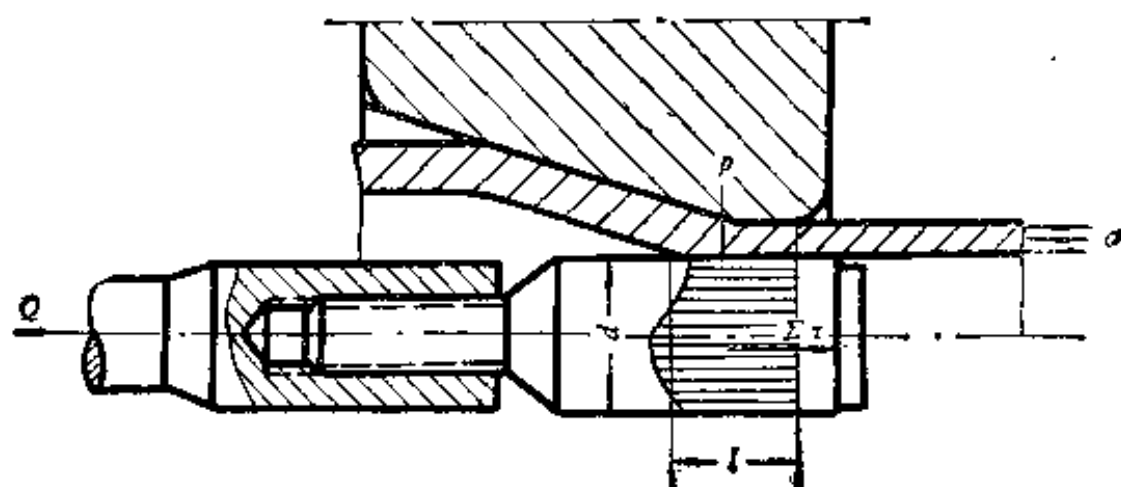


图 11-32 短芯棒在变形区的受力情况

拉杆的直径过小、长度过大、拔制时变形量过大，都会使拉杆的静变形量增加，使抖动容易产生。为了防止因拉杆过长而引起抖动，一般短芯棒拔制时钢管的长度不大于30米。

当拔制速度过高时也容易产生抖动，目前短芯棒拔制的速度通常 ≤ 60 米/分。

三、长芯棒拔管过程

长芯棒拔制，如前所述，其特点是拔制时芯棒随钢管一起移动，所用的模具为锥形外模和比拔后钢管略长的圆柱形芯棒。变形区亦由减径区Ⅰ、减壁区Ⅱ和定径区Ⅲ（图11-33）组成。

在拔制过程中可认为芯棒的前进速度等于钢管的出口速度 V_B ，设离开外模后钢管的截面积为 F_K ；在减壁区的任一截面钢管的截面积为 F ，其前进速度为 V ，则根据秒流量相等原理有：

$$F_K V_B = F V$$

因为

$$F > F_K$$

所以

$$V_B > V$$

上式说明，在减壁区金属的前进速度比芯棒的速度小。由此可知，这时作用在钢管内壁的摩擦力的方向和拔制方向相同。因而，根据轴向力平衡条件，和短芯棒拔制相比，长芯棒拔制时可以降低拔制应力，从而能增加道次变形量。这是长芯棒拔制的优点。

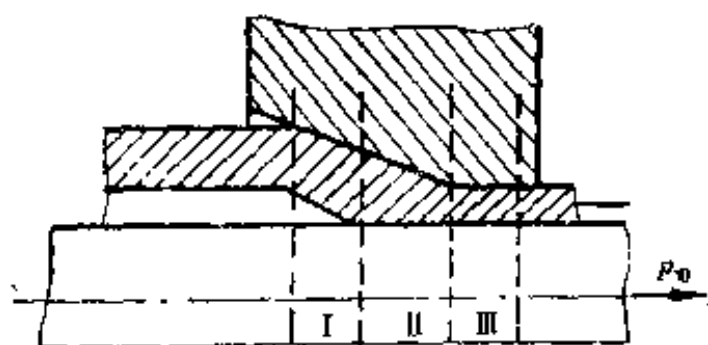


图 11-33 长芯棒拔制

由于长芯棒拔制的道次变形量较大，所以它适用于拔制头两个道次，这时主要的目的是减壁，为减少拔制道次创造条件。长芯棒拔制还是生产毛细管的唯一的拔制方法。

长芯棒拔制的缺点是，芯棒的制备比较复杂，拔制后需要脱棒。目前一般采用先经斜轧均整扩径再抽芯棒的办法脱棒，比较麻烦。由于以上缺点限制了它的广泛应用。

但因为长芯棒拔制可大大强化变形过程，特别对加工难变形的钢管更为有利，目前在国外它又重新得到了发展，并出现了新

型的长芯棒拔管机。新出现的长芯棒拔管机一般分为均整与抽芯棒装置在拔管模后的拔制线上和与拔制线平行布置两类。后者需要较多的移送设备和芯棒，占地面积较大，但是也可用来进行其他方式如短芯棒或无芯棒的拉拔，在大多数情况下它是管子拉拔和精整流水作业线上的基本设备；前者可减少移送设备和芯棒，占地面积小，但只能专门用来进行长芯棒拔制。

苏联伊尔库茨克古比雪夫重机厂（ИЗТМ）和阿尔玛-阿丁重机厂（АЗТМ）设计的长芯棒拔管机其技术性能如下：

	A3TM	ИЗТМ
拔制力，千牛	150	300
拔制线数	3	1
直径，毫米		
管料（最大）	55	80
成品管	12~24	30~70
管子长度，米	7	8
速度，米/秒		
拔制	0.25~1.25	0.25~1.67
小车返回	1.25	1.83

图11-34为一种均整装置布置在拔制线上的长芯棒拔管机〔9〕。

转动给料器14，管料沿倾斜杠杆落到升降辊道13上。升降辊道把管料前端送到压头装置3上压头，把芯棒15送入管内，再把芯棒和管料一起送入拔管模4。这时芯棒前端较细的部分通过均整装置5和管子的夹持装置6，再由拔管小车7夹住芯棒前端并开始管子16的拉拔和均整。在拔管小车前进的同时，抽芯棒小车12也前进。拉拔终了时，抽芯棒小车的夹钳进入芯棒尾端的环形切槽中夹住芯棒。以后，拔管小车和芯棒脱离并朝中心架返回，而抽芯棒小车从管子中抽出芯棒。这时均整后的管子的端部为夹持装置的板牙所夹持。抽出芯棒后管子留在抛出装置上，最后离开拔管机。

当拔管小车接近管子夹持装置时，抽芯棒小车靠近靠模17。借助于靠模把抽芯棒小车的夹钳打开和芯棒脱离。然后自由芯棒

由升降辊道输送到原始位置（当抽芯棒小车通过时升降辊道下降），下一根管料落入拔管机的料槽继续进行下个循环的操作。

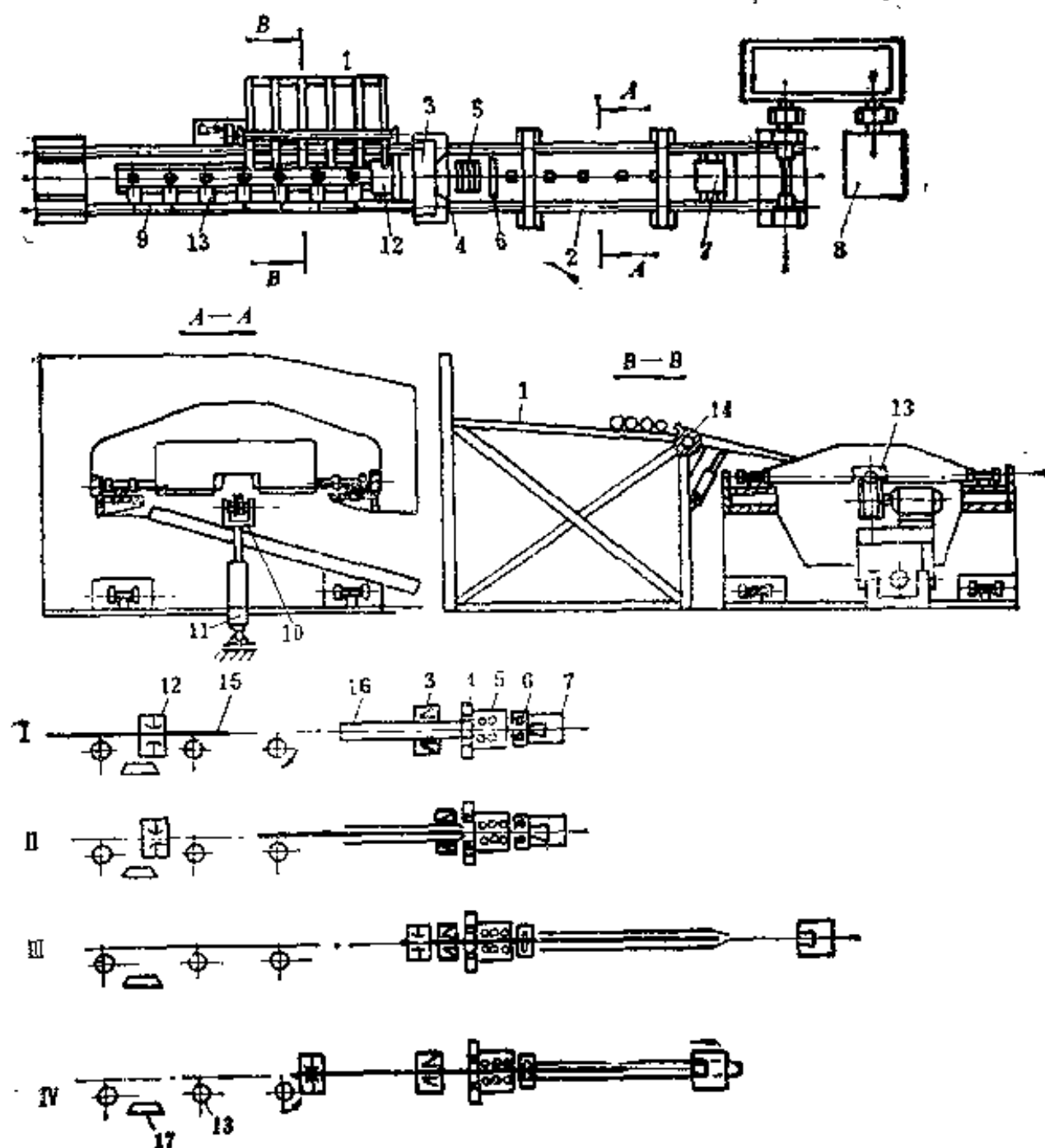


图 11-34 均整装置布置在拔制线上的长芯棒拔管机 (ИЗТМ)

1—受料台；2—工作台；3—压头装置；4—拔管模；5—均整装置；6—管子夹持装置；7—拔管小车；8—主传动；9—拔管链；10—抛出装置；11—气缸；12—抽芯棒小车；13—升降辊道；14—给料器；15—芯棒；16—管子；17—靠模

I ~ IV—各机构相互作用图示

在均整装置布置在拔制线上的长芯棒拔管机上，用纵向均整装置。这种装置一般由一组辊箱组成，每个辊箱中通常装有三个平辊。辊子是从动的，由前进中的管子带着旋转。纵向均整装置用于均整较薄的管子。

在国外也有利用双模拔制（图11-35）来进行抽芯棒前的扩径。两个模子中，前一个是工作模，后一个是附加模，通过附加模时管壁只有很小的变形量，使通过附加模后钢管直径稍有扩大，这样可以降低脱芯棒时的脱棒力〔4〕。

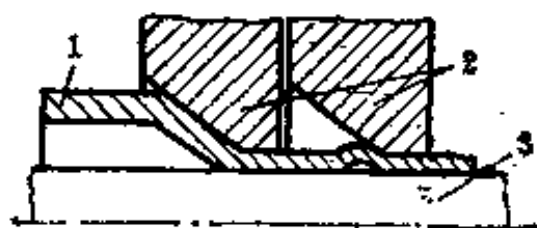


图 11-35 双模长芯棒拔制

1—钢管；2—外模 3—长芯棒

四、游动芯棒拔管过程〔23,24〕

如改变短芯棒的设计，使芯棒由前圆柱段Ⅰ、圆锥段Ⅱ和后圆柱段Ⅲ所组成，如图11-36所示，且将各主要参数设计恰当，则拔制过程中作用在芯棒上的各轴向力会自相平衡，虽不用拉杆或用拉杆但不作固定的情况下，芯棒能稳定地保持在变形区的一定位置。这种芯棒叫游动芯棒，所形成的拔制过程叫游动芯棒拔制。

游动芯棒拔制时拔制力较小，可提高道次变形量；由于不存在拉杆的限制，可带芯棒拔制小口径钢管，与空拔相比能改善钢管的内表面质量和尺寸精度；可以提高拔制速度和拔制长度，并可采用卷筒拔制。由于有以上优点，在冷拔钢管生产中特别是拔制要求较高的小口径钢管时，游动芯棒拔制正在得到推广应用。

1. 实现稳定拔制的基本条件

游动芯棒拔制时，芯棒能否自行稳定地处于变形区中，取决于作用在芯棒上的轴向力是否平衡。

当芯棒处于稳定位置时，设在它的前圆柱段和圆锥段上分别

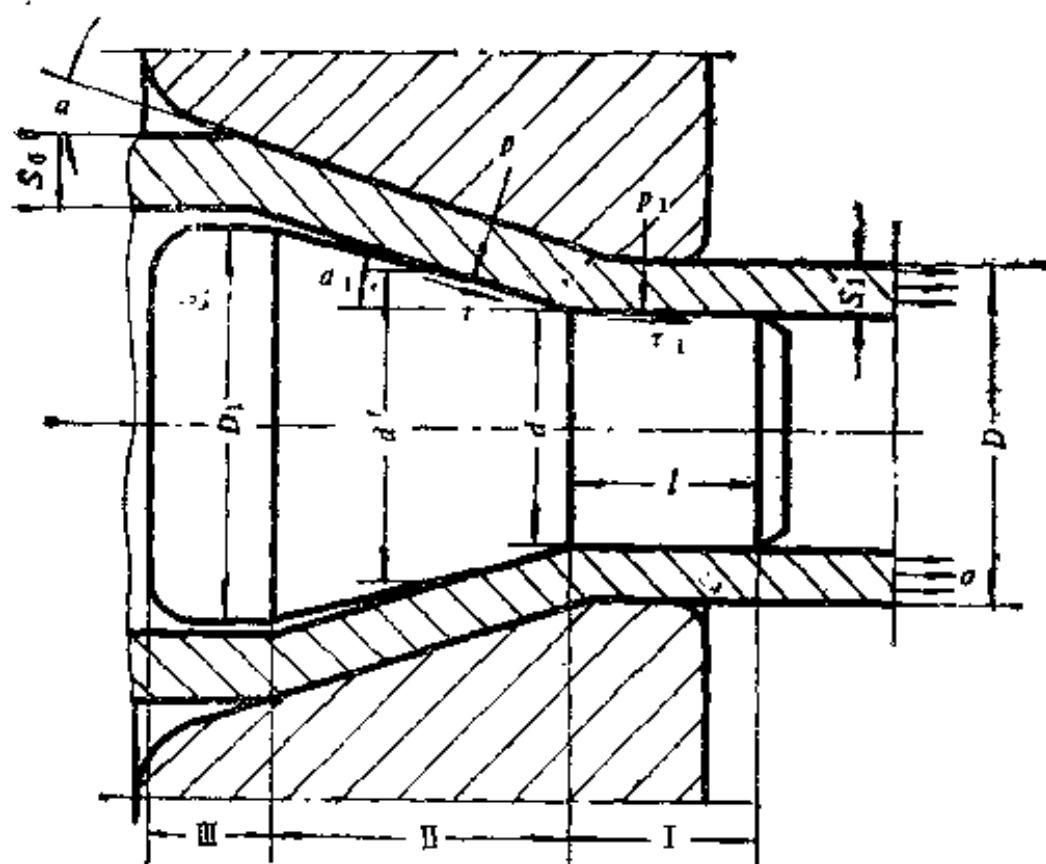


图 11-36 游动芯棒拔制

I—芯棒的前圆柱段；II—芯棒的圆锥段；III—
芯棒的后圆柱段

作用着单位正压力 p_1 、 p 及单位摩擦力 τ_1 、 τ （见图11-36），则必满足下列力平衡方程：

$$\Sigma p \sin \alpha_1 - \Sigma \tau \cos \alpha_1 - \Sigma \tau_1 = 0$$

或
$$\Sigma p (\sin \alpha_1 - f_2 \cos \alpha_1) = \Sigma \tau_1$$

式中 α_1 ——圆锥段芯棒母线的倾斜角；

f_2 ——芯棒与管材内表面之间的摩擦系数。

由上式可以得出实现稳定拔制的一个基本条件：

$$\alpha_1 > \beta$$

即芯棒锥角必须小于摩擦角 β 。

因11-1式中 Σp 、 $\Sigma \tau$ 均大于零，所以在满足上述力平衡方程的条件下必然有

$$\frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha_1} > f_2$$

即

$$\operatorname{tg} \alpha_1 > f_2$$

$$\alpha_1 > \beta$$

如不能满足上述条件, 则芯棒将进入模孔过深造成断管。

实现稳定拔制的第二个基本条件是, 游动芯棒的锥角必须小于或等于外模的锥角, 即

$$\alpha_1 \leq \alpha$$

不符合上述条件, 在拔制开始时芯棒上建立不起与 $\Sigma \tau_1$ 方向相反的推力, 因此, 芯棒将顺拔制方向移动并将在外模的入口锥挤压管材而造成断管。即使不发生断管, 在拔制过程中, 由于轴向力变化, 芯棒往复移动, 也将在管子内表面挤出明显的环状纹。

根据实践, 外模锥角与芯棒锥角之间存在一个对应的合理范围。当外模锥角 $\alpha = 11^\circ \sim 15^\circ$ 时, 可取 $\alpha_1 = 9^\circ \sim 13^\circ$ (并符合 $\alpha > \alpha_1$), 这时拔制力小, 拔制过程稳定。

2. 变形区的构成

游动芯棒拔制时的变形区一般由六部分组成, 见图 11-37。

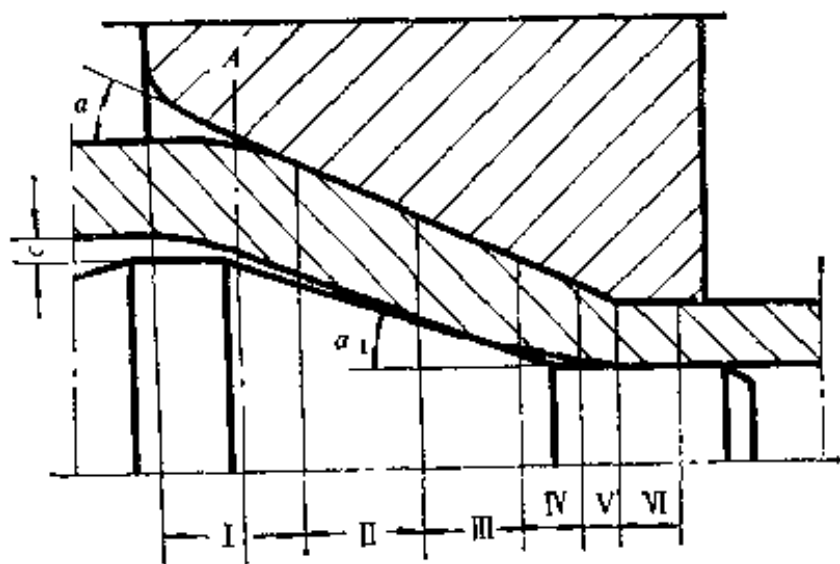


图 11-37 游动芯棒拔制时的变形区

I — 不接触变形区, 在实际计算中常略去该区而认为变形从 A-A 截面开始;

II — 第一减径区, 在该区的最终截面之前, 管子内表面不与芯棒接触; 当管料与芯棒之间的间隙 c 相等和其他条件相同时, 游动芯棒拔制时这一区的长度比短芯棒拔制时的减径区长;

Ⅱ—第一减壁区，管料在该区产生较大的减径，同时有减壁，减壁量大致等于第Ⅰ区的增壁量；

Ⅳ—第二减径区，在该区中由于轴向拉应力的方向改变，管子内表面稍稍离开芯棒表面并产生减径；

Ⅴ—第二减壁区，在这里产生主要的壁厚变形；

Ⅵ—定径区。

3. 道次变形量

由于游动芯棒拔制时作用在芯棒上的轴向力是互相平衡的，所以作用在管子内壁上的轴向力也是互相平衡的。根据这种受力情况，若其他条件相同，游动芯棒拔制时的拔制应力应比短芯棒拔制时为低，图11-38的试验结果说明了这一点。因此，游动芯棒拔制可比短芯棒拔制有更大的道次变形量。

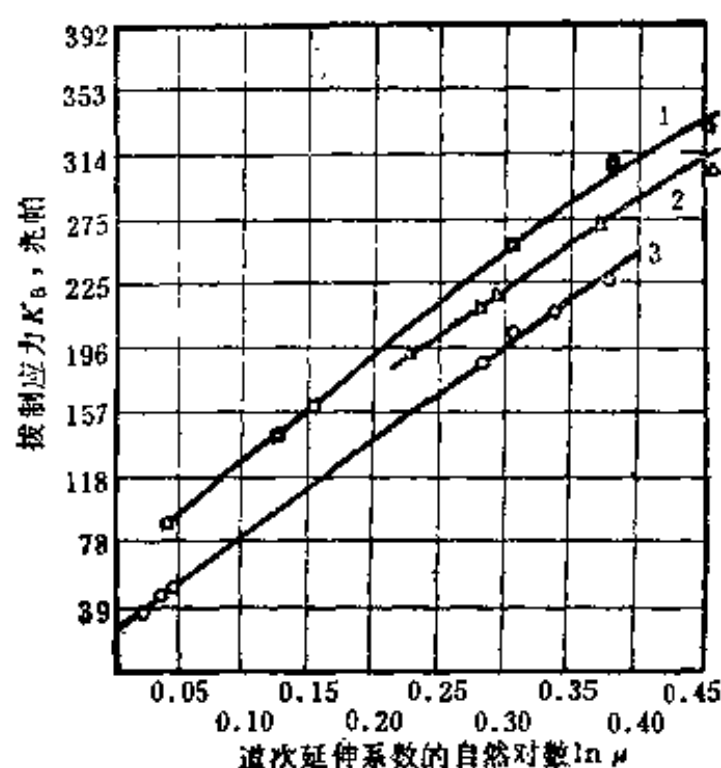


图 11-38 不同拔制方式的拔制应力

1—短芯棒拔制；2—游动芯棒拔制；3—空拔

但在确定游动芯棒拔制的道次变形量时应注意到：

1) 试验证明，只有当芯棒与钢管内壁之间的摩擦系数小

时，游动芯棒拔制的拔制应力才较短芯棒拔制时小，游动芯棒拔制才能比短芯棒拔制有更大的道次变形量；

2) 与短芯棒拔制相比，游动芯棒拔制时必须具有更大的减径量。

由于以上两点以及芯棒的设计、制作和规格比较复杂，游动芯棒拔制在生产中的广泛使用受到了一些限制。

五、其他拔管方法

除了前面介绍的以外，还有不少其他拔管方式，下面再介绍其中的几种。

1. 双模拔制

双模拔制即在拔制时使用两个拔管模，目前主要用于空拔(图11-39)。

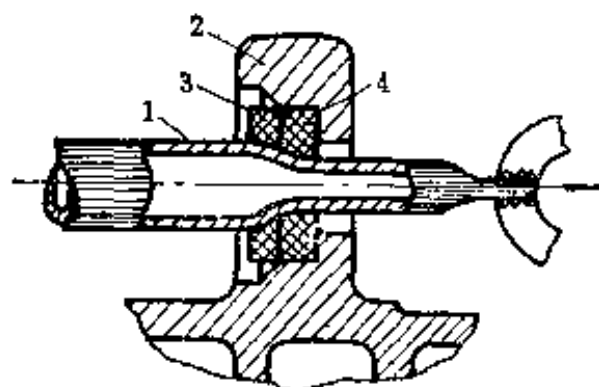


图 11-39 使用双模的空拔过程

1—钢管；2—中心架；3—进口模；4—出口模

空拔时采用双模拔制主要是为了增加道次减径量，因为这时的减径过程同时在两个模子中进行，可采用比单模拔制时为大的减径量。特别在拔制薄壁管时，双模拔制可以提高钢管在变形过程中的稳定性，为增加减径量创造了很好的条件。

双模拔制时，对于在出口模中变形的钢管来说，存在着后张力的作用，因为这时钢管还同时在进口模中变形，处在两个模子之间的金属存在张力的作用。由于后张力的存在，在出口模中，空拔时壁增厚的倾向减少了，因此，在总减量相同的条件下，和单模拔制比，双模拔制后的管壁薄一些，两者的差值和两个模子中

的变形量分配有关。由于双模拔制后管壁较薄，这样可适当减少前面短芯棒拔制道次中的减壁量。图11-40为几种退火、酸洗、锈化涂皂后的20钢钢管，在使用弧形模的情况下，双模拔制和分两道次拔制时的壁厚变化率 $\frac{\Delta S}{S_0}\%$ 与进口模中（双模拔制）或第一道次中（两道次拔制）的减径量 ΔD_1 同两个模子中（双模拔制）或两个道次中（两道次拔制）的总减径量 ΔD_E 之比 $\frac{\Delta D_1}{\Delta D_E}$ 的关系[25]。

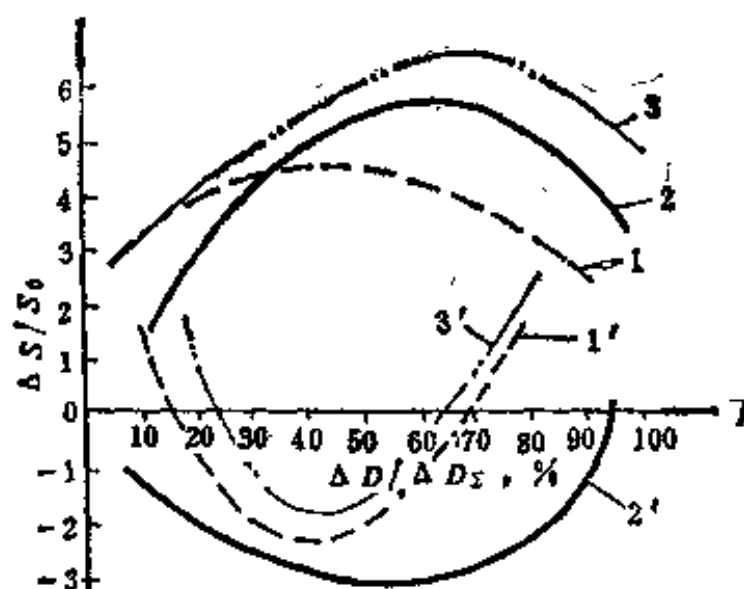


图 11-40 双模和分两道次空拔时钢管壁厚变化率与
 $\frac{\Delta D_1}{\Delta D_E}$ 的关系

1'和1—双模和分两道次空拔，拔制程序 $32 \times 3 \rightarrow 24 \times 3$ 毫米；2'和
2— $38 \times 3 \rightarrow 25 \times 3$ 毫米；3'和3— $45 \times 3.5 \rightarrow 32 \times 3.5$ 毫米

双模空拔时，整个拔制过程中，作用在两个模子上的轴向力及总的拔制力的变化见图11-41[4]。由图可知，作用在出口模上的轴向力，稳定拔制时比钢管尾端离开进口模后单独在一个模子中拔制时小，即 $P_2 < P_2'$ 。这是由于在稳定拔制时后张力的存在降低了作用在出口模变形区中的径向应力 σ_r 及相应的摩擦力。

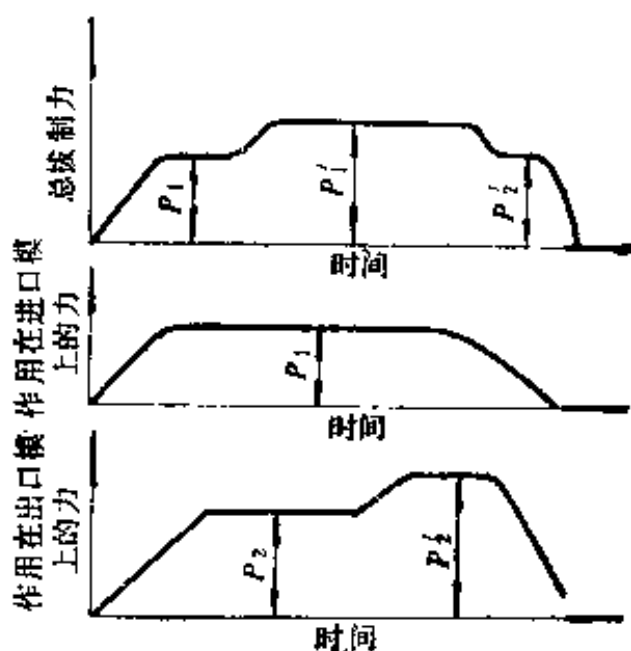


图 11-41 双模空拔过程中总拔制力及作用在两个模子上的轴向力的变化

P_1 —拔制开始时及过程建立后，作用在进口模上的轴向力； P_1' —拔制过程建立后，作用在出口模上的轴向力； P_1' —拔制过程建立后总的拔制力； P_2' —拔制終了时作用在出口模上的轴向力

2. 圆锥芯棒拔制^[26]

圆锥芯棒拔制是以圆锥形芯棒取代常用芯棒的短芯棒拔制方式。芯棒的直径朝拔制方向逐渐减小，其锥角 β 对于硬质合金芯棒 $\leq 1^\circ$ ；对于钢质芯棒为 $1^\circ 30'$ 。

和一般的短芯棒拔制相比，这种拔制方式的特点是：

1) 拔制时作用在芯棒拉杆上的拉力较小，如和使用圆柱形芯棒相比，其拉力约小一个 $N_k \cos \beta$ 值， N_k 为作用在芯棒上的正压力。因为采用圆锥形芯棒拔制时，作用在芯棒上的轴向力的平衡条件（图11-42）为：

$$N_k \sin \beta - T_k \cos \beta + P_c = 0$$

式中 P_c ——作用在芯棒拉杆上的拉力；

T_k ——作用在芯棒上的摩擦力。

而使用圆柱形芯棒时，由于 $\beta = 0$ ，所以 $P_c = T_k$ 。

2) 当移动芯棒时，芯棒与模孔之间的间隙发生变化，从而

可以改变所拔管子的壁厚。如图11-43所示,芯棒轴向移动量 ΔL_0 与管壁厚度变化值 ΔS 之间存在如下的关系:

$$\Delta L_0 = \Delta S / \operatorname{tg} \beta$$

由于第一个特点,采用圆锥形芯棒拔制时可减小一般短芯棒拔制时容易产生的抖动,从而防止抖纹的出现和拉断。

由于第二个特点,可在一定范围内借助于移动芯棒来调整所拔管子的壁厚,因而可减少芯棒的数量,节省调整壁厚时更换芯棒的时间,有利于拔制定尺管、有端部增厚的热轧减径管以及进行负公差拔制。另外,由于圆锥芯棒拔制时减壁变形是逐渐增加的,同时钢管从芯棒上脱开时的摩擦力较小,因而可降低拔制力的峰值,这可减少断管和增加拔制过程的稳定性,对拔制薄壁管有利。

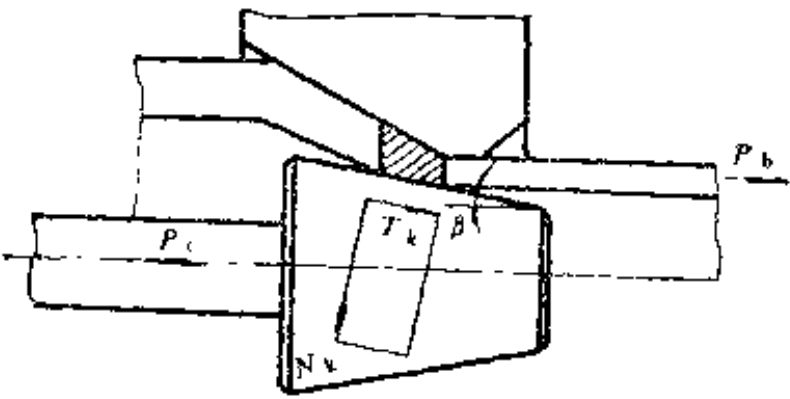


图 11-42 圆锥芯棒上力的作用图
 P_b —拔制力

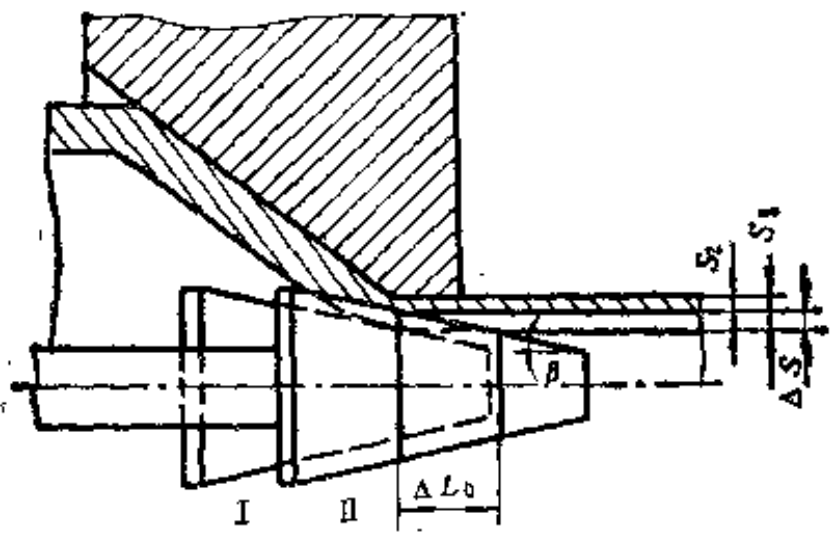


图 11-43 圆锥芯棒的移动量与壁厚变化的关系

3. 流体动力润滑拔制[4, 15]

图11-44为流体动力润滑拔制的示意图。该拔制方式的特点是，拔制时在拔管模前安装一个压力管，压力管具有一定的长度 l_H 并且其内壁与管料外表面之间只存在较小的间隙。拔制过程中，润滑剂由向前移动的钢管携带通过压力管到达变形区前。由

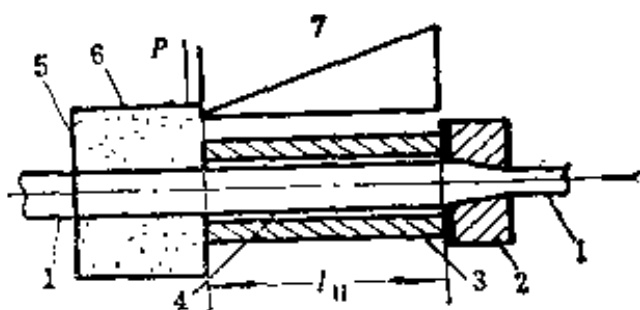


图 11-44 流体动力润滑拔制的示意图

1—钢管；2—拔管模；3—压力管；4—间隙；5—润滑剂槽；6—润滑剂；7—润滑膜的压力

于压力管内壁与钢管表面之间的间隙较小，而拔制后随钢管一起离开变形区的润滑剂又比较少，因此，润滑剂在通过压力管时受到强力的挤压，润滑膜的压力 p 逐渐升高，这就是流体动压效应，它是建立流体动力润滑拔制的物理基础。若在变形区前润滑膜的压力达到足以使钢管表面和模壁分开，使两者之间完全充满着润滑剂，形成液体摩擦，这样可以大大改善润滑条件，减小摩擦系数，从而达到降低拔制力提高道次变形量以及减少模具磨损的目的。

实现流体动力润滑拔制的基本条件是：有一个具有一定长度的压力管，拔制速度较高，使用粘度高的润滑剂。目前流体动力润滑拔制主要在空拔时应用，并通常采用粒状固体肥皂作为润滑剂。据研究，这时可用由两个模子组成的组合模来进行流体动力润滑拔制，组合模中进口模起压力管的作用，出口模为工作模（图11-45）。

4. 振动拔制[4, 9, 11, 15]

振动拔制时，模具中有因波的传播而引起的振动。波的频率有低频（25~500赫）和高频（16000~80000赫，通常用20000赫）。

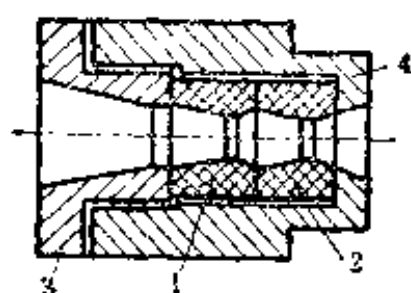


图 11-45 用于流体动力润滑拔制的组合模

1—压力模；2—工作模；3—压力套；4—外套

低频波由机械或液压传动的振动装置产生；高频波为超声波，一般由压电式或磁致伸缩式转换器（振子）产生。

近年来对超声波振动拔制有较多的研究，下面对它作些介绍。

拉拔过程中，用超声波振动拉拔模时，模子的振动形式有横向即波的传播方向和拔制方向相垂直（图11-46，a）、纵向即波的传播方向和拔制方向相同（图11-46，b）和回转式即波沿模子的圆周方向传播（图11-48，c）等几种。

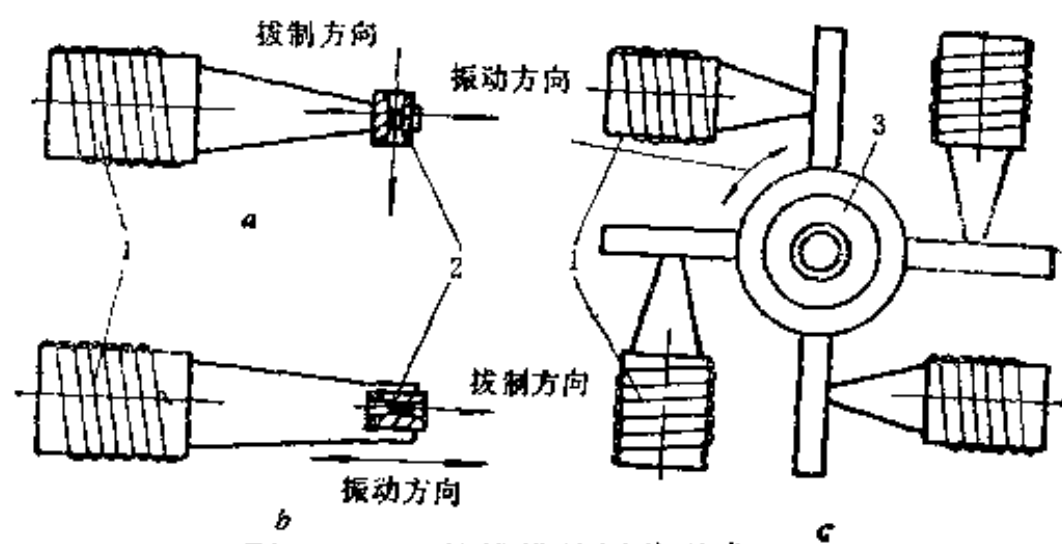


图 11-46 拉拔模的振动形式

a—横向；b—纵向；c—回转式

1—振子；2—拉拔模；3—带模套的模子

短芯棒拔制时采用超声波振动可只振动外模、芯棒或同时振动外模和芯棒。芯棒采用纵向振动。

经研究认为，超声波振动对金属塑性变形过程的影响主要表

现在：

1) 变形时施加超声波振动，由于交变应力的作用及对声能的吸收，变形抗力降低和金属塑性提高；

2) 促进润滑剂进入变形区，改善润滑效果；

3) 改变摩擦条件，减少摩擦力。如图11-47所示，设无振动时在钢管和外模的接触面 $B-B$ 上的 A 点，金属以速度 V_A 沿入口锥的母线向前移动。若在超声波振动下外模产生了与入口锥母线成 φ 角的振动，其振动速度以 V_K 表示，这时 A 点金属相对于模壁移动的方向将决定于合速度的方向。

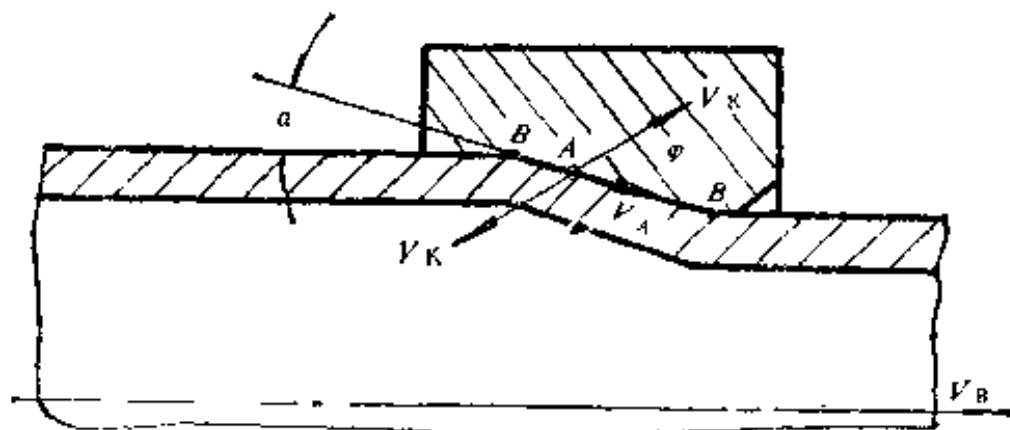


图 11-47 超声波振动拔制时金属的移动速度和外模的振动速度

在一个振动周期内， V_K 按正弦波规律变化。考虑绝对值，在 $V_A > V_K \cos \varphi$ 的情况下，不论 V_K 的方向是朝上或是向下，金属相对于模壁的移动方向和无振动时一样；但在 $V_A < V_K \cos \varphi$ 的情况下，当 V_K 的方向朝下时，金属沿模壁移动的方向和无振动时相反。在前一种情况中，作用在钢管外表面上的摩擦力是阻碍金属前移的；而在后一种情况中，摩擦力改变了方向，变为促使金属向前移动。由于在一个振动周期的部分时间内，接触摩擦力改变了方向，变阻碍金属移动为促使金属移动，所以应用超声波振动可以降低摩擦力。

基于有上述一些作用，所以在拔制过程中采用超声波振动可以降低拔制力提高道次变形量，改善钢管表面质量；延长工具使

使用寿命，以及减少拔制后钢管的残余应力，效果很好。

采用超声波振动拔制时，设计拉拔工具的基本原则是：使工具在变形区内的振动具有最大的振幅；芯棒杆或拔管模应固定在超声波振动的波节上，以防止波传递时的能量损失。

图11-48为具有弓形波导的双线拔管模超声波振动装置，它

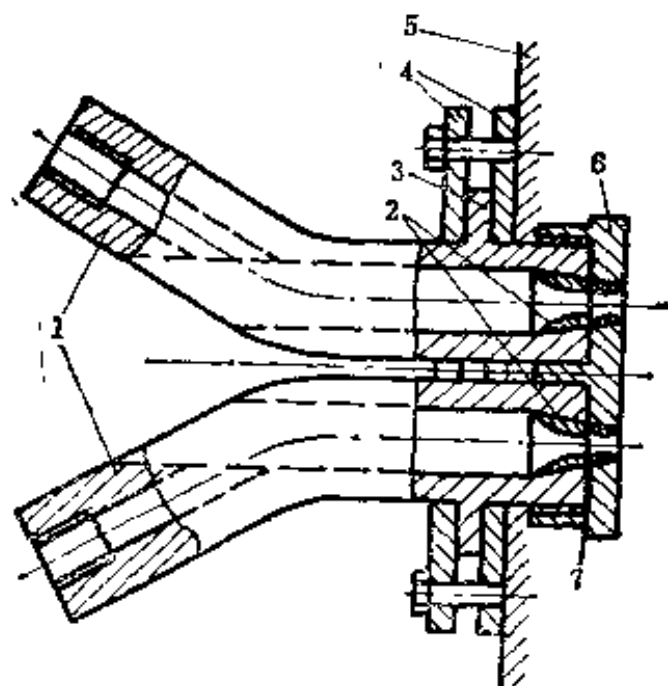


图 11-48 具有弓形波导的拔管模超声波振动装置

1—弓形波导；2—拔管模；3—联结法兰；4—固定装置；5—支架；
6—活动套；7—附加模

用来在拔制速度为0.35~0.70米/秒时拉拔直径10~20毫米、壁厚0.8~1.5毫米的碳钢和耐腐蚀钢钢管。

一种在拔制管子直径 ≤ 63.5 毫米的三线拔管机上的芯棒超声波振动装置见图11-49。

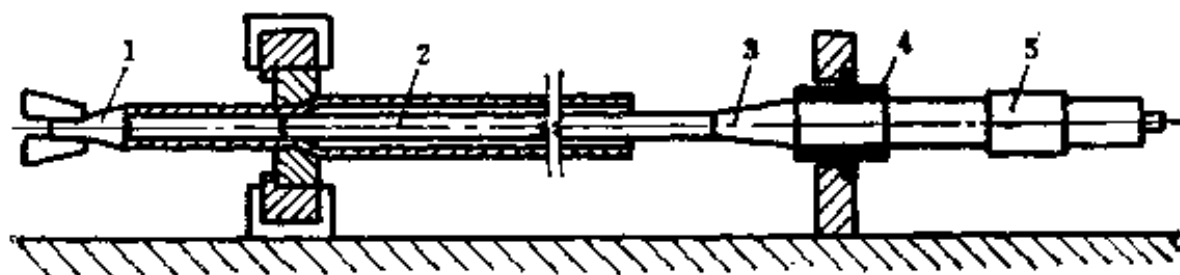


图 11-49 芯棒超声波振动装置

1—管子；2—芯棒拉杆；3—聚能器；4—固定装置；5—陶瓷换能器

在拔管模上和芯棒上同时加以超声波振动的拔管系统见图 11-50。

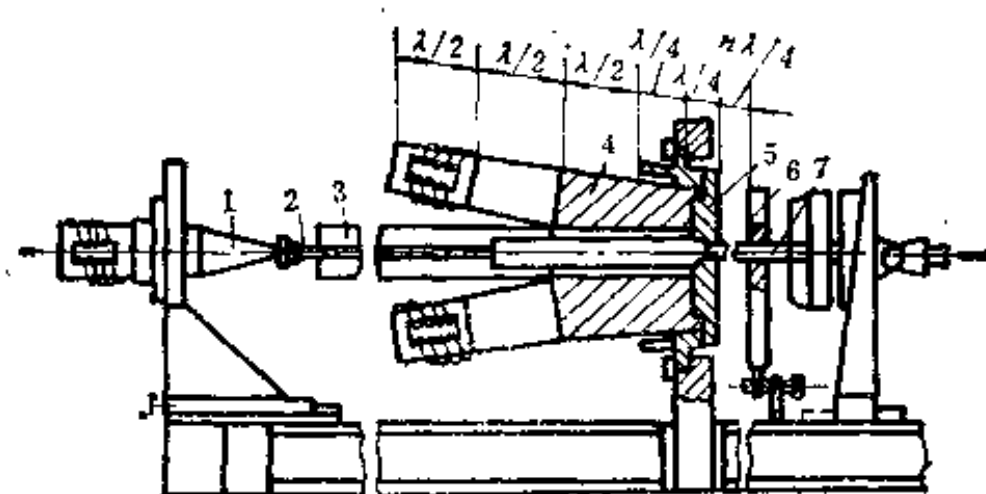


图 11-50 拔管模和芯棒同时加超声波振动的系统

1—聚能器；2—芯棒杆；3—杯体；4—波导；5—拔管模；6—用来调整谐振的拔模；7—钢管； λ —波长

据研究，采用超声波振动拔制可降低拔制力 5~23%。由于拔制力下降可以减少拉拔道次，生产率可提高 30~40%，成品率可提高 7% 左右。

虽然超声波振动拔制有很大的优点，但至今在生产上还没有得到广泛的应用。其主要原因是，超声波振动的效果和拉拔速度与工具振动速度之比有关。当工具的振动速度不变时，随着拔制速度的提高，振动所产生的效果就降低，甚至完全消失。因此超声波振动拔制较合理的是应用于在低速或中等速度下拔制难变形的金属或合金。

近年来又出现了流体动力润滑与以超声波的频率使拔管模进行纵向振动相结合的新的拔制过程。在这种情况下，虽然由于振动的作用，一些润滑剂会被挤出变形区，减小了实现液体摩擦的变形量的范围，但这时不会出现拔制力的周期性变化，因此可进一步降低拔制力。和通常的拔制相比，新过程约可降低拔制力 50%，这样也相应提高了拔管机的生产率。

5. 温拔^[9]

温拔即在加热到高于再结晶温度的条件下进行变形的拔制过

程，其目的是减小拉拔时的应力和拔制力，因此它也是增加道次变形量、强化变形过程，减少道次和提高拉拔生产效益的途径之一。

温拔时变形钢管的加热方式有接触式和感应式。采用感应加热，被加热的管子和感应线圈必须严格同心，以保证圆周上两者之间的间隙一致和加热均匀；另外如出现拔制过程停顿管子容易过热。由于以上原因，目前温拔时以采用电接触加热居多，其装置如图11-51。

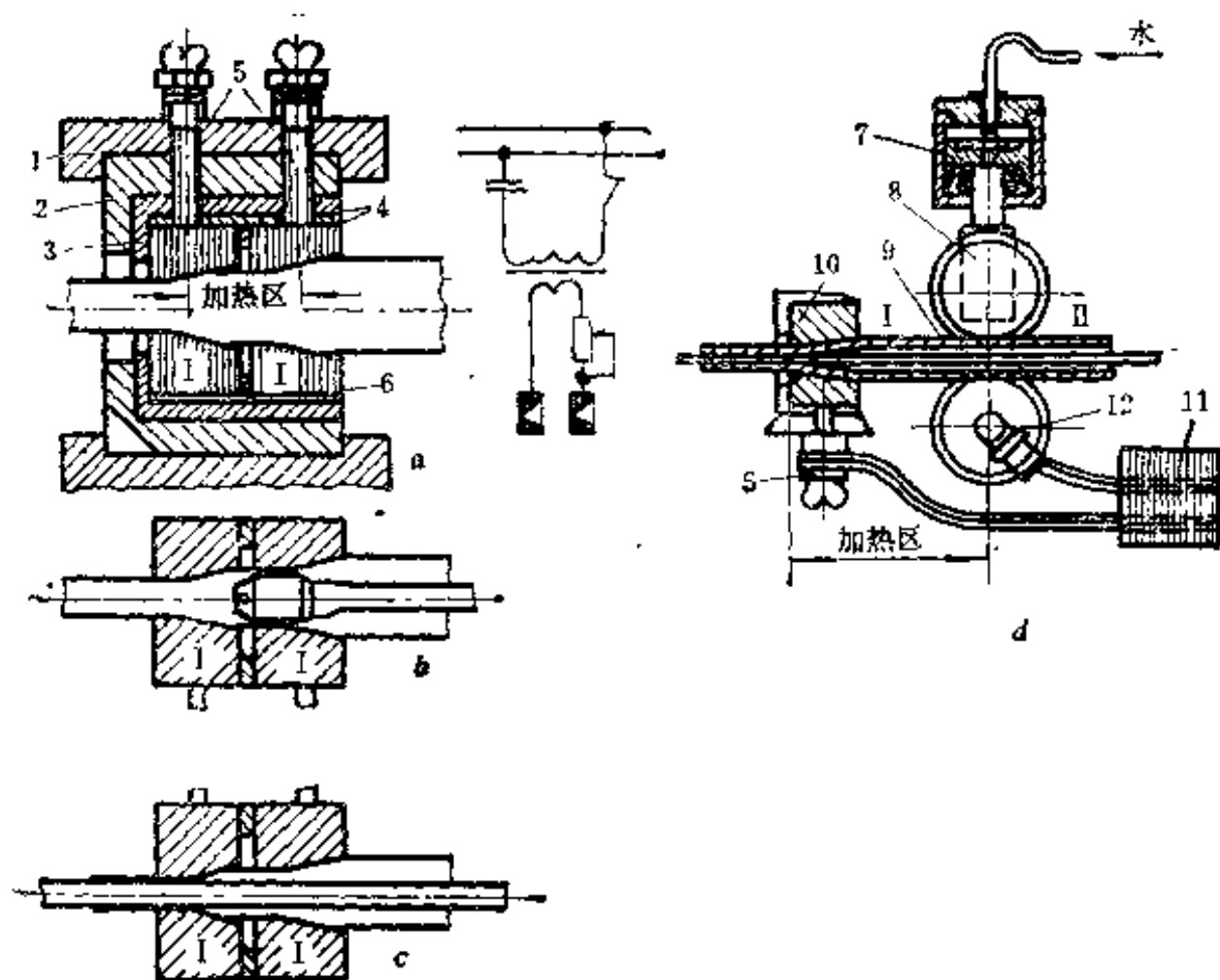


图 11-51 采用电接触加热的温拔

a—无芯棒拔制；*b*—短芯棒拔制；*c*—长芯棒拔制；*d*—具有导电滚轮的加热装置

1—框架；2—模座；3、4—绝缘套；5—导电螺丝；6—拔管模；7—气缸；8—导电滚轮；9—管子；10—拔管模；11—变电器二次线圈；12—母线和电刷

I—滑动接触；II—滚动接触

据研究，采用温拔，对于难变形的奥氏体钢如 12Cr18Ni10 钢的钢管，道次变形量可比通常的拔制提高30%以上（短芯棒拔制为53%；无芯棒拔制为57%），两次热处理间可拔制三道，总变形量达80%。

6. 扭转拔制^[9]

扭转拔制即在拉拔的同时使管子扭转的拔制过程。这样可使拔后的管子具有足够的平直度，以省略继续加工前的矫直工序。其拔制过程如图11-52所示。管料1拔制时通过置于中心架2上的椭圆模3（用于防止管子转动）和工作模4。借助于拔管小车6上的夹钳5的旋转对出变形区后的管子施加扭矩，使它产生扭转。管子因扭转而防止了弯曲。扭转拔制用的拔管机，其结构见图11-53。

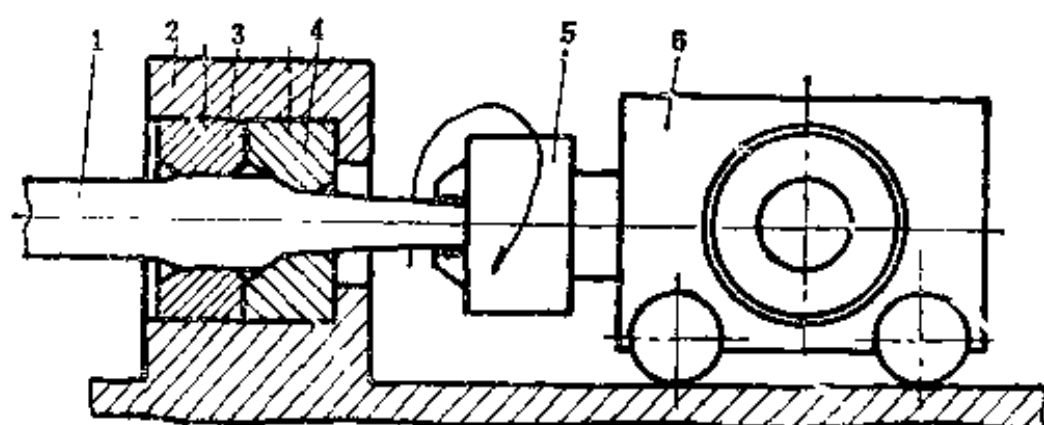


图 11-52 扭转拔制过程

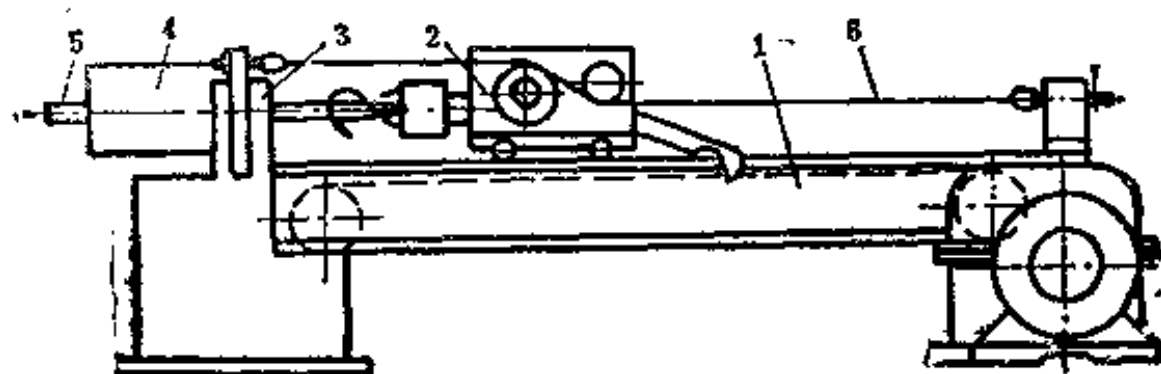


图 11-53 扭转拔制用的拔管机

1—机座；2—拔管小车；3—模座；4—防止管料转动的装置；5—管料；6—拔管链

扭转拔制时管子扭转角度的大小根据管子的直径和壁厚以及拉拔时的延伸系数来选定。拔制后钢管的弯曲度决定于变形程度、扭转角以及壁厚与直径之比 S/D 。

六、拔制力

生产中为了确定拔制时拉拔机的吨位和知道拔制应力的大小以估计是否存在拔断的危险，都必须计算拔制力。下面对拔制力的影响因素和计算方法做些介绍。

1. 影响拔制力的主要因素

可认为拔制力 P 由三部分力组成：

$$P = P' + P'' + P'''$$

式中 P' ——单纯消耗于形状和尺寸变化所需的力；

P'' ——克服摩擦所需要的力；

P''' ——消耗于不均匀变形所需要的力。

因此，凡与上述三种力有关的因素都影响拔制力的大小，其中主要有：

1) 钢管本身的力学性能及变形程度。其他条件相同时屈服极限高的钢，随着变形程度的增加，变形功增加了，加工硬化的程度增加了。因此拔制力也增加。

2) 摩擦条件。拔管时用于克服摩擦力的力，占拔制力的很大一部分，如在不芯棒拔制时约为40%；在短芯棒拔制时约为60%。这部分力拔制时做功发热，使工具和钢管的温度升高。

由于克服摩擦力要消耗拔制力的很大一部分，因此，在生产中创造条件改善摩擦条件、减小摩擦系数，对降低拔制力有很大的意义。为此，必须提高工具工作表面的硬度和光洁度；改善拔制前酸洗、冲洗和润滑等工序的工作质量。

3) 模具形状。拔管模的形状对拔制力的大小有影响。锥形外模的试验证明，对于一定的变形条件，都有一个最佳锥角范围，这时拔制力最小，超过这个范围拔制力都较大。因为锥角对拔制力的影响与两个作用相反的因素有关。随着锥角 α 的增加，一方面，变形区的长度减小，这样，摩擦面减小，正压力及相应的

摩擦力减小；另一方面，正压力的水平分量增加，弯曲等附加变形的程度增加，使拔制力增加。当 α 角较小时，前一个因素所起的作用是主要的。当 α 角增大到一定值以后，后一个因素起主要作用。因此， α 角对拔制力的影响存在一个最佳范围。

一般外模的定径带越宽，拔制力越大。

使用弧形外模时，由于这种模具定径带宽，在入口部分，圆锥的锥角较小，而圆弧段则可认为具有变动的锥角，在这部分只有一部分属于最佳角度范围。因此，拔制力比使用锥形外模时大。

4) 拔制方式。在变形程度相同的条件下，短芯棒拔制和无芯棒拔制时的拔制应力和拔制力是不一样的。前者较大，后者较小；尤其在拔制较薄的钢管时，差别更为明显。因为在短芯棒拔制时，变形区的内外表面都作用着摩擦阻力。

在用锥形外模、圆柱形芯棒进行短芯棒拔制时，拔制力还与芯棒在外模中的位置有关。若芯棒前端伸出定径带的距离过大，则拔制时钢管离开外模定径带以后还会继续沿着芯棒的表面移动，从而增加摩擦力和拔制力。

5) 钢管的几何尺寸。钢管的几何尺寸主要是通过其壁厚与外径的比值 $\frac{S}{D}$ 对拔制应力及拔制力产生影响。在短芯棒拔制时，

$\frac{S}{D}$ 值小则拔制应力大。无芯棒拔制时由于主要是压缩外径，在 $\frac{S}{D}$ 较小时， $\frac{S}{D}$ 对拔制应力的影响不大，但在 $\frac{S}{D}$ 值很大时，拔制应力比较大，钢管容易拔断。

2. 拔制力的计算

计算拔制力的公式很多，但目前国内在生产中主要采用下列经验公式：

$$P = K(F_H - F_K)$$

式中 K ——拔制力系数；

F_H 和 F_K ——~~拔制前~~拔制前和拔制后钢管的截面积。

K 值是根据试验或经验确定的。显然， K 值的选取是很重要的，因影响拔制力的因素很多，而上式中的 $(F_H - F_K)$ 主要是考虑变形程度的影响，其他因素的影响则全由 K 所包括。

目前国内使用的 K ，各厂不尽相同，而且由于生产工艺不同，有时差别还较大，因此需要进行更多的实际测定，使之更符合于生产实际。

表 11-2 拔制力系数 K 值

制 种	K , 兆帕	
	短芯棒拔制	无芯棒拔制
10, 20, 20A, 15	736~834	637~736
35, 45, 12CrMo, 15Cr	1079~1177	883~980
35Cr, 38Cr, 40Cr, 15MnV, 12CrMoV, 12Cr1MoV, 18MnMoNb, 15MnMoNb, 14MnMoV, 35CrMo, 40Mn2, 40MnB, 45MnB, 12MnMoV, 25CrMnSiA	1569~1667	1373~1471
30CrMnSiA, 30CrMnAlA 40Mn2Mo, 9CrNi1Mo 9CrMo, 18CrNiW 50CrV, 35CrMnSiA, 45Cr, 50Cr, 12CrNi3A, 12Cr2Ni4A, 20CrMnMo, GCr15, 7Cr, 18Mo	1667~1765	1373~1471
1Cr13, 2Cr13, 0Cr18Ni10, 1Cr18Ni9Ti, Cr17Ni13Mo2Ti, Cr17Ni14Mo3Ti 0Cr18Ni10Ti, 1Cr21Ni5Ti		1373~1471

某厂的 K 值见表11-2。对于表中没有的钢，可采用与表中强度极限相近的钢的 K 值^[27]。

第二节 冷轧钢管的基本原理^[5, 6, 7, 10, 28]

一、轧管过程

冷轧钢管生产中广泛应用周期式冷轧管机轧制钢管。周期式冷轧管机分为辊式和滚轮式两种。辊式冷轧管机一般是二辊式的，所以常称为二辊式冷轧管机。滚轮式冷轧管机，轧辊有三或四个，所以一般称为多辊式冷轧管机，有时根据其轧辊数目分别称为三辊或四辊式冷轧管机。

二辊式和多辊式冷轧管机，其轧机的结构不同，但基本工作原理是相同的。

1. 在二辊式冷轧管机上轧制钢管

上面已提到，二辊式冷轧管机工作时，其工作机架借助于曲柄连杆机构作往复移动（图11-54）。在上下轧辊的辊端装有从动齿轮，在下轧辊或上轧辊上从动齿轮的外侧装有主动齿轮。两个

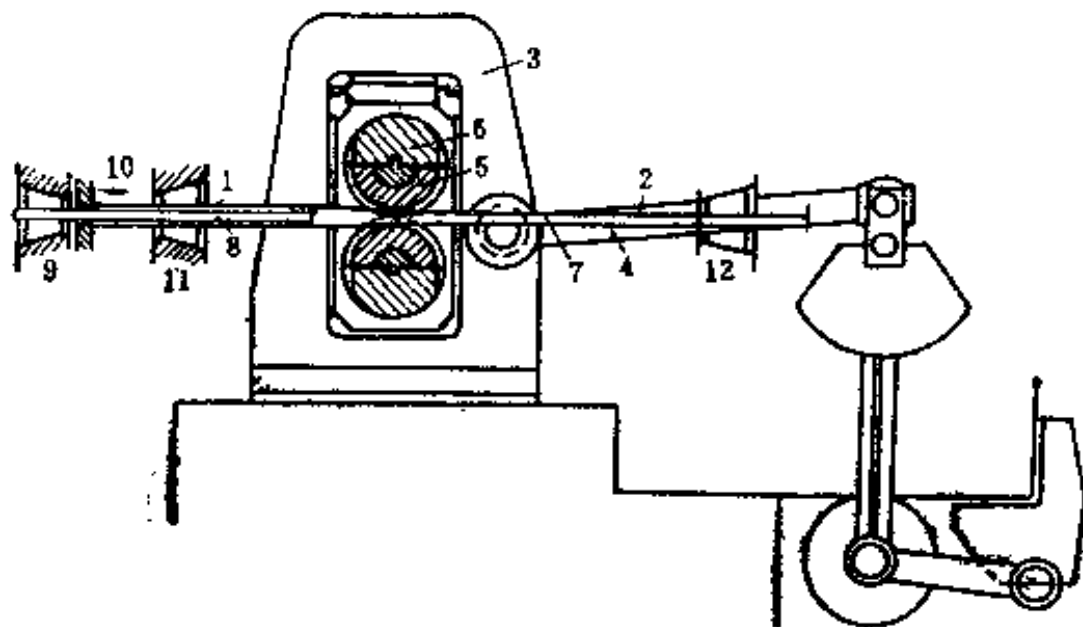


图 11-54 二辊式冷轧管机工作机架的传动

1—管料；2—轧成管；3—工作机架；4—曲柄连杆机构；5—轧槽
缺；6—轧辊；7—芯棒；8—芯棒杆；9—芯棒杆卡盘；10—管料卡
盘；11—中间卡盘；12—前卡盘

轧辊上的从动齿轮互相啮合，而主动齿轮则与装在固定机座上的齿条啮合。这样，当工作机架移动时，两个轧辊在随机架一起作往复移动的同时，借助于齿条齿轮系统，还作往复旋转。

如图11-55所示，管子的轧制是在一根拧在芯棒杆上的固定不动的锥形芯棒和两个轧槽块之间进行的。在轧槽块的圆周上开有半径由大到小变化的孔型。孔型开始处它的半径相当于管料的半径 R_0 ，而其末端的半径等于轧成管的半径 R_T 。

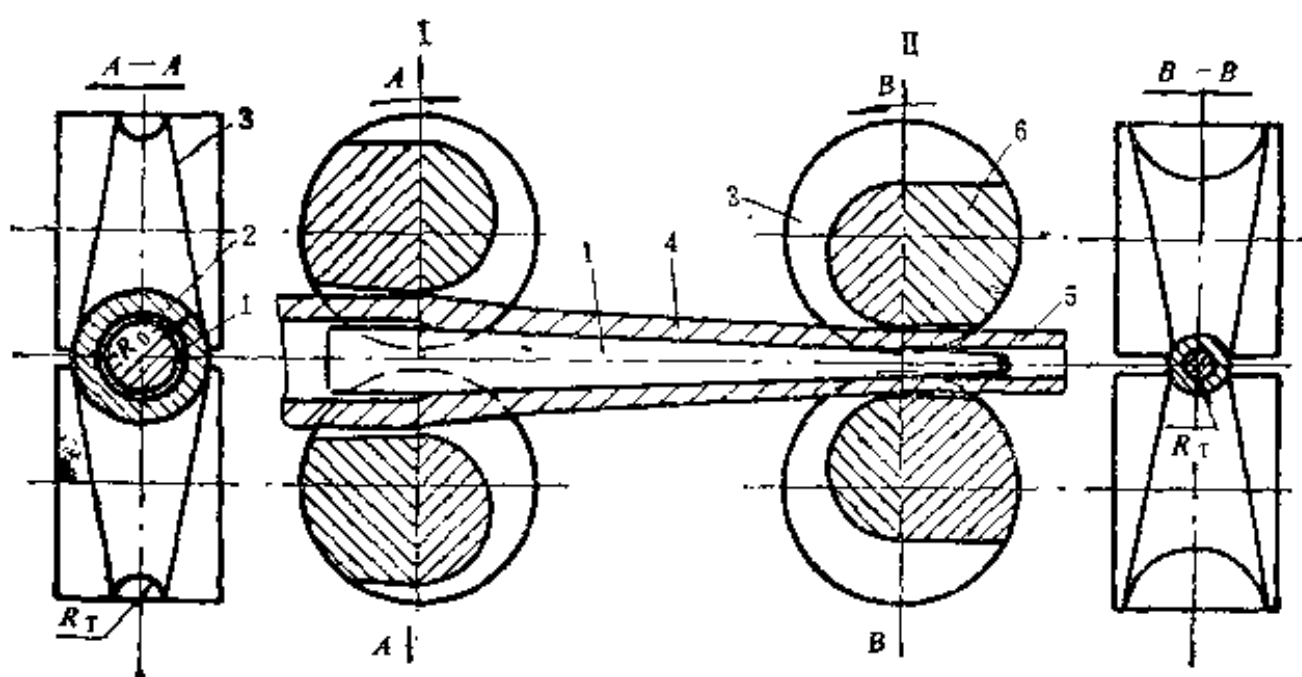


图 11-55 二辊式冷轧管机上轧制钢管的示意图

1—芯棒；2—管料；3—轧槽块；4—工作锥；5—轧成管；6—轧辊

由于工作时工作机架往复移动，所以它有前后两个极限位置。图11-55中的Ⅰ位置称为工作机架的后极限位置，图11-55中的Ⅱ位置为工作机架的前极限位置。当工作机架由后极限位置移动到前极限位置时叫正行程；当工作机架由前极限位置移动到后极限位置时叫返行程。一个正行程轧制和一个返行程轧制的组合称为一个轧制周期。

因为孔型是变半径的，因此，处在工作机架两个极限位置之间的管体其尺寸（包括外径和壁厚）也是变化的。外形基本上呈锥体，习惯上把这部分尺寸处于过渡状态的管体称为工作锥。

轧制过程中，当工作机架到后极限位置时，把管料送进一小

段，所送进的管料的长度称送进量，以 m 表示。工作机架向前移动后，刚送进的管料以及原来处在工作机架两个极限位置之间尚未加工完毕的管体，在由孔型和芯棒所构成的、尺寸逐渐减小的环形间隙中进行减径和管壁压下。

当工作机架移动到前极限位置时，管料与芯棒一起回转 $60^\circ \sim 90^\circ$ 。工作机架反向移动后，正行程中轧过的管体受孔型的继续轧制而获得均整并轧成一部分钢管。轧成部分的钢管在下一次管料送进时离开轧机。

在送进和回转时，孔型和管体是不接触的，为此，轧槽块上在孔型工作部分的前面和后面，都加工有一定长度送进开口（半径比管料的半径大）和回转开口（半径比轧成管的半径大）。

在轧制过程中，管料被卡盘卡住，因此，无论在正行程轧制或返行程轧制时，管料都不能作轴向移动。

2. 在多辊式冷轧管机上轧制钢管

多辊式冷轧管机轧制钢管的原理见图 11-56。轧制时管子在圆柱形芯棒 1 和刻有等半径轧槽的 3~4 个轧辊 2 之间进行变形。轧辊装在轧辊架 3 中，其辊颈压靠在具有一定形状的支承板

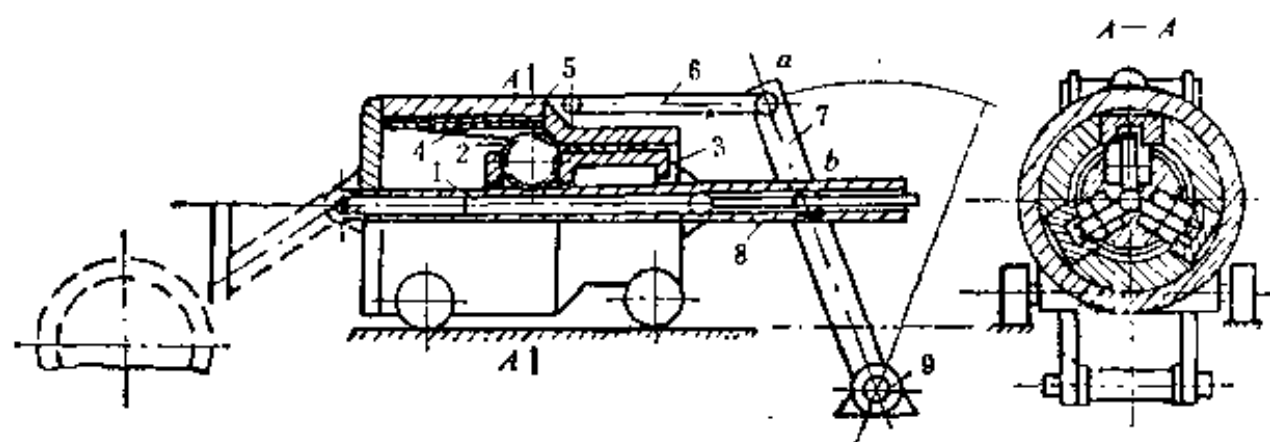


图 11-56 多辊式冷轧管机的工作原理

（滑道）4 上，支承板装在厚壁套筒 5 中，而厚壁套筒本身就是轧机的机架，它安装在小车上。

工作时，曲柄连杆和摇杆系统分别带动小车和装在工作机架

内的轧辊架作往复移动。由于小车和轧辊架是通过大连杆 6 和小连杆分别与摇杆 7 上 a 、 b 点相联结的，所以当摇杆摆动时，轧辊与支承板便产生相对运动。当辊颈在具有一定形状的支承板表面上作往复滚动时，轧辊和圆柱形芯棒组成的环形孔型就由大到

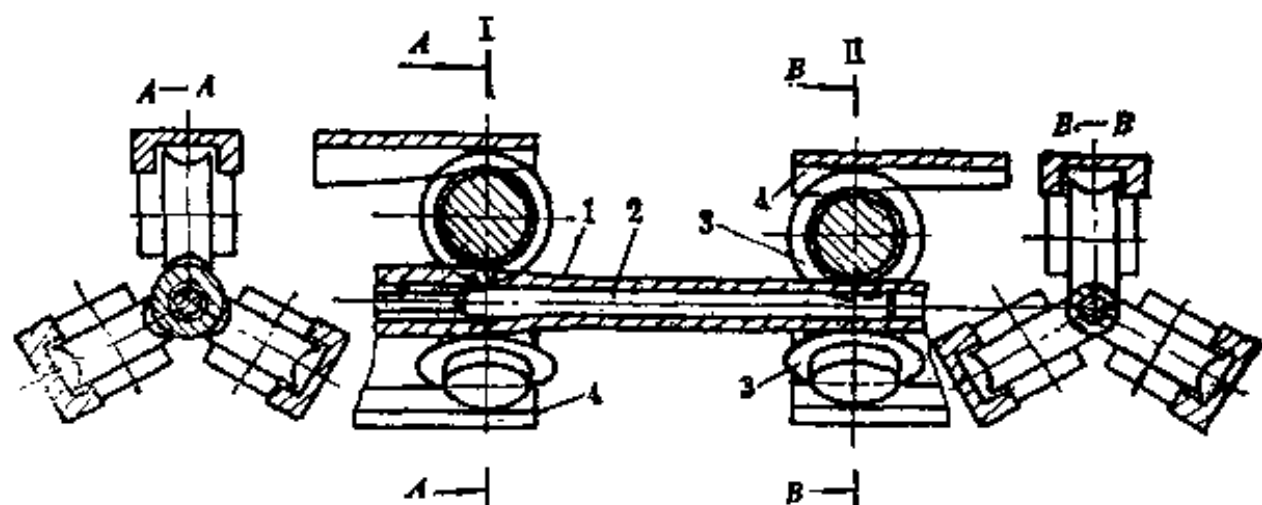


图 11-57 多辊式冷轧管机轧管时孔型直径的变化

1—管料；2—芯棒；3—轧辊；4—支承板

小，再由小到大地作周期性改变（图11-57）。当小车走到后极限位置时，送进一定的管料并将管体回转一个角度。对于多辊式冷轧管机，为了降低返行程轧制时的轴向力以防止两根相邻管料在端部产生相互切入，一般管料的送进和管体的回转，是当小车在后极限位置时同时进行的。当小车离开后极限位置向前移动时，孔型逐渐变小，工作锥受到轧制，在返行程轧制时，工作锥受到均整。

和二辊式冷轧管机相比较，多辊式冷轧管机的优点是：

1) 辊径小，所以轧制过程中金属与轧辊及芯棒的接触面积小，这样可以降低轧制时的单位压力以及轧辊和芯棒的弹性变形量，从而可以轧制最小直径为4毫米和管壁与直径之比小于1/200的薄壁管；

2) 由于轧槽切深小，金属与轧槽表面之间的滑移较小，能生产光洁度高、表面质量好的管子；

3) 结构简单，轧制工具的制造和更换容易。

但是，多辊式冷轧管机轧管时，减径量（管料和轧成管的直径差）不能大，所轧管材的规格范围较窄；延伸系数和送进量较小；生产率较低。这是由于：

1）因为多辊式冷轧管机使用半径等于轧成管半径的等截面轧槽，轧制过程中，孔型高度的变化通过改变轧辊轴线与轧制线之间的距离来实现，当管料直径与轧成管直径之差较大时，辊环就会压入管料，使金属强烈地进入辊缝而损伤管子表面，因此只能采用较小的总减径量。另外，由于在正常轧制过程中，轧辊是沿着支承板和变形钢管自由滚动的，如果变形时压下量过大，会因滚动时阻力增加而造成轧辊楔住在支承板与管子之间，出现管子的猛进和断裂，辊颈损伤以及轧辊和芯棒的破损等，使轧制过程不能继续进行。由于以上原因，在多辊式冷轧管机上轧制钢管时轧制一道的总变形量比二辊式轧机小，一般总延伸系数为2.5~3。基于同样的原因，轧制过程中的送进量也只能取较小的值。实际上多辊式冷轧管机主要用来轧薄管料的壁厚，特别是用壁厚较薄的管料轧制壁厚很薄（<0.5~0.8毫米）的管材。

2）由于结构上的限制，多辊式冷轧管机轧辊辊颈的长度不能大，因此，辊颈和支承板的接触长度较小，轧制时接触应力大，这也限制了送进量；若送进量过大，会加剧辊颈和支承板的磨损。

3）在同一个行程中，多辊式冷轧管机的机架和轧辊具有不同的行程长度，机架的行程长，轧辊的行程短，前者约为后者的1.8~2倍。因此，若工作锥的长度相同，多辊式冷轧管机工作机架的行程长度几乎要增加一倍，这显然会降低工作机架每分钟的往复行程次数，从而影响轧机的生产率，一般比二辊式冷轧管机低 $\frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}$ 。

二、冷轧钢管时金属的变形和应力状态

冷轧管过程中金属以下列方式进行变形（图11-58）。当工作机架处在后极限位置时，由于管料的送进，工作锥1向轧制方向

移动一段距离 m ，等于管料截面的工作锥的 I-I 截面也移动相同的距离到了 I₁-I₁ 位置。工作锥的 II-II 截面移动一个距离 m 以后到了 II₁-II₁ 位置（图11-58, a）。

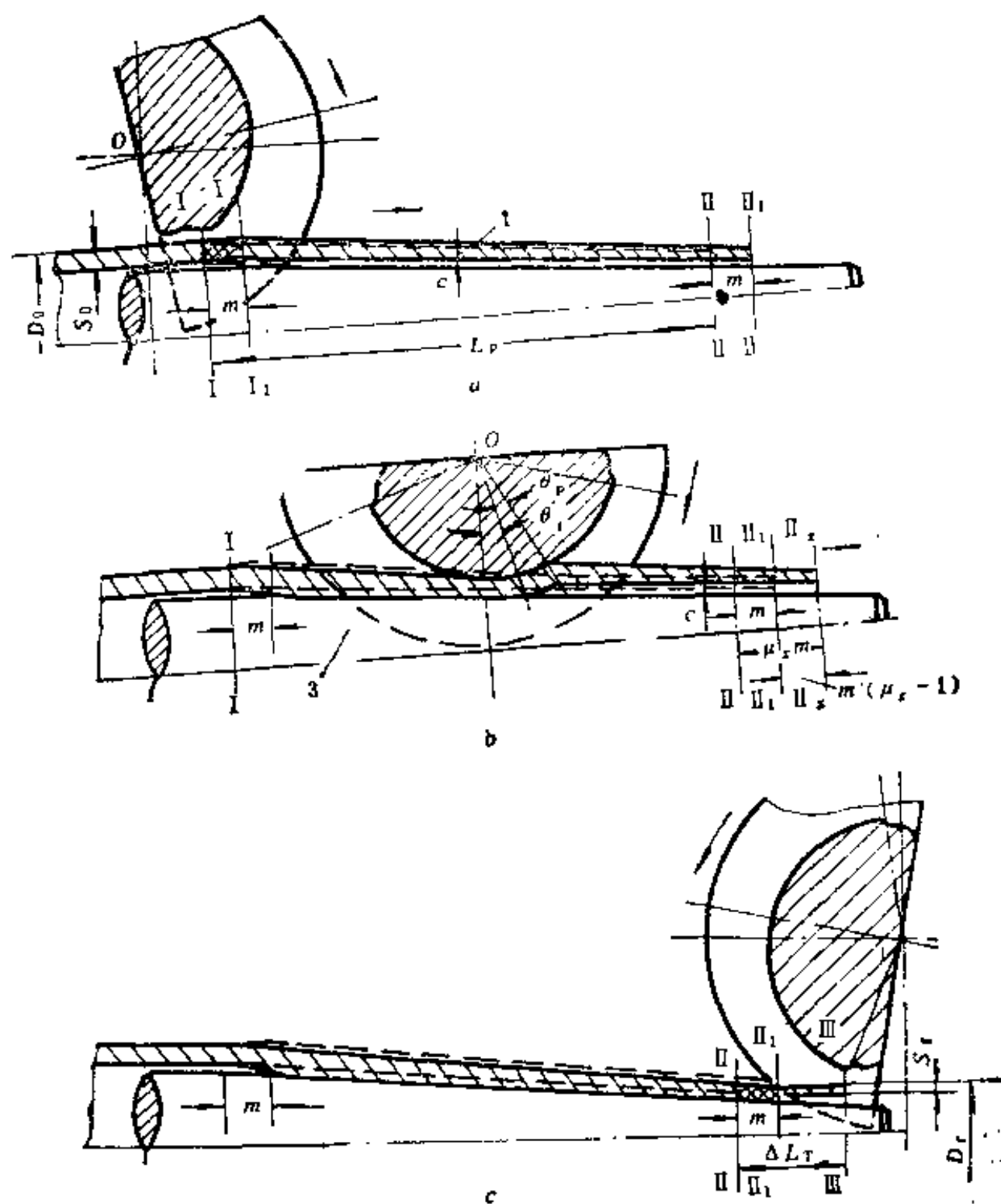


图 11-58 冷轧钢管时金属的变形

由于在管料送进的时候，工作锥的内表面脱离了芯棒的表面，两者之间形成了一个间隙 c ，所以，当工作机架前移、工作

锥变形时，在变形区中先是减径，然后压下管壁，见图11-58, *b*。在工作锥前移的过程中，工作锥内表面与位于轧槽块前的芯棒之间的间隙不断增大。同时，由于延伸，工作锥的末端截面移动到 I-I' 位置。

图11-58, *c*表示工作机架移动到了前极限位置的情况。

在返行程轧制时，由于轧制前管体回转了一个角度，原来处在孔型侧壁的金属转到了孔型顶部，因而工作锥受到了均整，使每个横截面的形状更圆、壁厚更均匀。另外，由于变形时其中一部分金属向周向流动的结果，在孔型侧壁，工作锥的内表面脱离了芯棒，这样有利于下一次管料送进。

工作机架回到后极限位置，一个轧制周期结束，轧成一段长度为 ΔL_T 的管子。 ΔL_T 的计算公式推导如下。

由于所送进的一段管料的长度为 m ，所以它的体积（送进体积）为：

$$V_m = \pi S_0 (D_0 - S_0) m$$

式中 D_0 和 S_0 ——管料的直径和壁厚；

在一个轧制周期中，轧成的管子的体积为：

$$V_T = \pi S_T (D_T - S_T) \Delta L_T$$

式中 D_T 和 S_T ——轧成管的直径和壁厚。

而 $V_m = V_T$

所以

$$\begin{aligned} \Delta L_T &= \frac{\pi S_0 (D_0 - S_0) m}{\pi S_T (D_T - S_T)} \\ &= m \mu_{\Sigma} \end{aligned}$$

式中 μ_{Σ} ——总延伸系数，等于管料截面积与轧成管截面积之比。

$m \mu_{\Sigma}$ 也称为金属的前移量。

上式确定了在工作机架一个往复行程的过程中，所轧成一段管子的长度与总延伸系数及送进量之间的关系。可以看出，总延伸系数 μ_{Σ} 和送进量 m 越大，则所轧出的一段管子 ΔL_T 越长；反之

ΔL_T 越小。

根据上述变形过程可以认为，冷轧钢管时金属的变形有如下特点：

1) 冷轧钢管时，在工作机架行程的全长上轧制钢管的孔型尺寸是不断变化的，所以金属是在不断改变着的瞬时变形区内变形；

2) 在每一个轧制周期中，只有长度相当于送进量的一部分管料开始变形，因此，一根管料要经过很多个轧制周期才能轧制完毕。而管料上的每一个截面，从变形开始到变形終了，中间要经过不同轧制周期的多次压下变形，因而可以达到很大的总变形量。

如图11-59所示，冷轧管时，金属在轧辊的正压力 P 、芯棒的正压力 N 、来自轧辊的摩擦阻力 T 以及来自芯棒的摩擦阻力 T_1

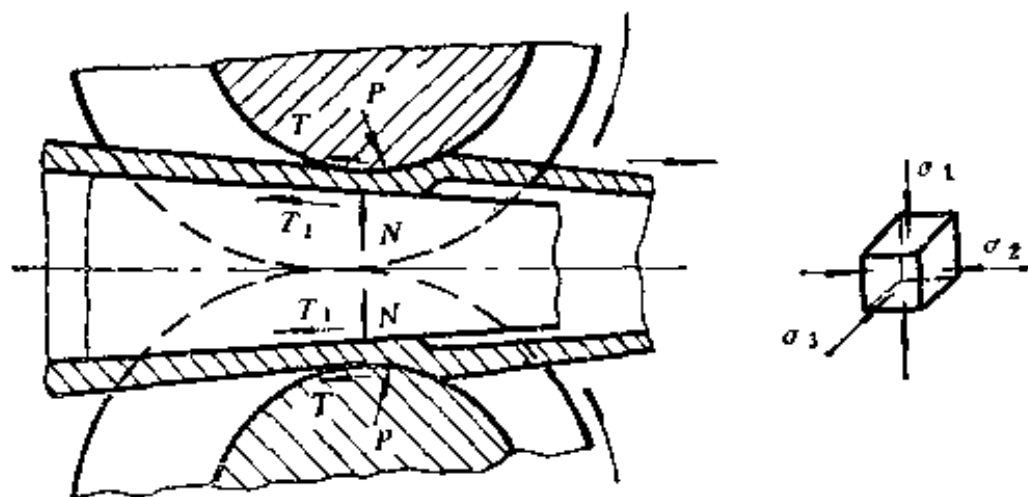


图 11-59 冷轧管变形时的作用力及应力状态

的作用下进行变形。若在变形区中取一单元体，则其径向主应力 σ_1 、周向主应力 σ_2 和轴向主应力 σ_3 均为压应力，所以，冷轧管时，金属变形基本应力的应力状态是三向压应力。和冷拔钢管时的二向压一向拉的应力状态相比，这种应力状态更有利于金属塑性的发挥。

三、瞬时变形区的结构及其参数

1. 瞬时变形区的结构

前已指出，冷轧钢管时金属在尺寸不断变化的瞬时变形区中变形。这里来讨论瞬时变形区的结构。

无论正行程轧制或返行程轧制，瞬时变形区的出口截面都与工作机架的中心截面相重合。

在二辊式冷轧管机上轧管时，正行程刚开始的一段距离中，工作锥只减径，所以瞬时变形区由单一的减径区构成。当工作锥的内壁和芯棒接触后，由于进入变形区的管体要先减小直径再减小壁厚，因此，瞬时变形区由两部分构成，即由中心角 θ_p 所构成的部分和由中心角 θ_t 所构成的部分(图11-58, b)。在前一部分中管体的直径减小到其内表面与芯棒相接触。而在后一部分中管体的直径和壁厚同时受到压下。 θ_p 称为减径角， θ_t 称为压下角，在工作机架的行程中 θ_p 、 θ_t 的大小是变化的。 θ_p 与 θ_t 之和构成瞬时变形区总的咬入角。

在多辊式冷轧管机上轧管时，行程的开始阶段瞬时变形区由单一的减径区构成，在行程的其他部分，因为这种轧机使用圆柱形芯棒，瞬时变形区可认为由单一的减壁区构成。

2. 瞬时变形区变形量的确定

在一般纵轧过程中，变形区的几何尺寸是不变的。所以坯料上的每一个截面可以一直从变形区的入口移动到出口。变形区进口截面和出口截面的高度差，就是坯料上任一截面连续通过变形区时的压下量，而且是稳定不变的。但在冷轧钢管时，进入变形区和离开变形区的管体截面的尺寸是不断变化的，而且瞬时变形区进口截面和出口截面的高度差也不等于工作锥上进入瞬时变形区的截面在一个轧制行程中的压下量。因此，冷轧钢管时，工作锥上任一截面，在一个轧制行程中连续通过不断变化着的瞬时变形区时所达到的变形量是不相同的，而且确定它的大小也是比较复杂的。

在实际计算中，通常是根据各瞬时变形区出口截面的尺寸，确定该截面变形开始时在工作锥上的位置和尺寸，再计算其变形量。这个变形量称为瞬时变形区变形量。瞬时变形区变形量的计算一般以下述原则作为基础：设某瞬时变形区的出口截面为 I-I (图11-60)，则该截面的压下量等于它与另外一个和此截面相

差 Δx 距离的截面Ⅰ-Ⅰ的高度差，而这两个截面之间所包括的金属体积等于送进的金属体积。图中， R_x 、 r_x 和 S_x 分别为瞬时变形区出口截面的外半径、内半径和壁厚； $R_{\Delta x}$ 、 $r_{\Delta x}$ 和 $S_{\Delta x}$ 分别为该截面变形前的外半径、内半径和壁厚。

在冷轧钢管时，主要变形是在正行程轧制过程中完成的；但是，由于工作机架、轧辊等零部件的弹性恢复（轧制压力小了）和轧制前管体的回转，在返行程轧制时工作锥也有一定的变形。

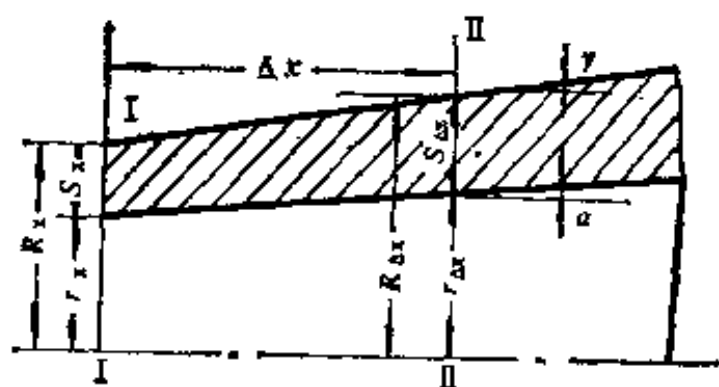


图11-60 直角坐标中的一段工作锥

苏联学者Ю.Ф.舍瓦金提出用下列公式来计算正行程轧制和返行程轧制的壁厚压下量。

$$\Delta S_n = [\sqrt{S_x^2 + 2V_r(\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha)} - S_x](1 - K_t)$$

$$\Delta S_0 = [\sqrt{S_x^2 + 2V_r(\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha)} - S_x]K_t$$

式中 ΔS_n ——正行程轧制时的壁厚压下量；

ΔS_0 ——返行程轧制时的壁厚压下量；

$$V_r = \frac{R_0 + r_0}{R_x + r_x} m S_x \text{——送进体积率；}$$

R_0, r_0 ——管料的外半径和内半径；

α ——锥形芯棒的母线倾斜角；

γ ——工作锥母线的倾斜角；

K_t ——计算返行程轧制时变形量的系数，一般可取 $K_t = 0.3 \sim 0.4$ 。

一个轧制周期中的壁厚压下量为

$$\begin{aligned}\Delta S_x &= \Delta S_n + \Delta S_0 \\ &= \sqrt{S_x^2 + 2V_r(\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha)} - S_x\end{aligned}\quad (11-1)$$

3. 瞬时变形区的边界和咬入角

为了计算变形时金属与轧辊的接触面积，必须知道瞬时变形区的前后边界线。周期式轧制时，瞬时变形区的后边界线（出口一侧的边界线）是一条空间曲线，但根据计算，实际的后边界线和轧机中心面与工作锥的交线之间的偏差量在计算接触面积时可以忽略，因此一般把后者作为瞬时变形区的后边界线。

瞬时变形区的前边界线（入口的边界线）是空间曲线，它决定于沿孔型周边的变形区各纵截面上的咬入角 θ （图11-61）。

咬入角 θ 可按下列简化公式计算：

$$\theta = 1.41 \sqrt{\frac{\Delta R_x R_x}{C(\rho_0 - C)}} \quad (11-2)$$

式中 ΔR_x ——瞬时变形区中的半径压下量；

ρ_0 ——轧辊的理想半径；

C ——孔型周边上不同点处孔型的高度；

R_x ——瞬时变形区出口截面工作锥的半径。

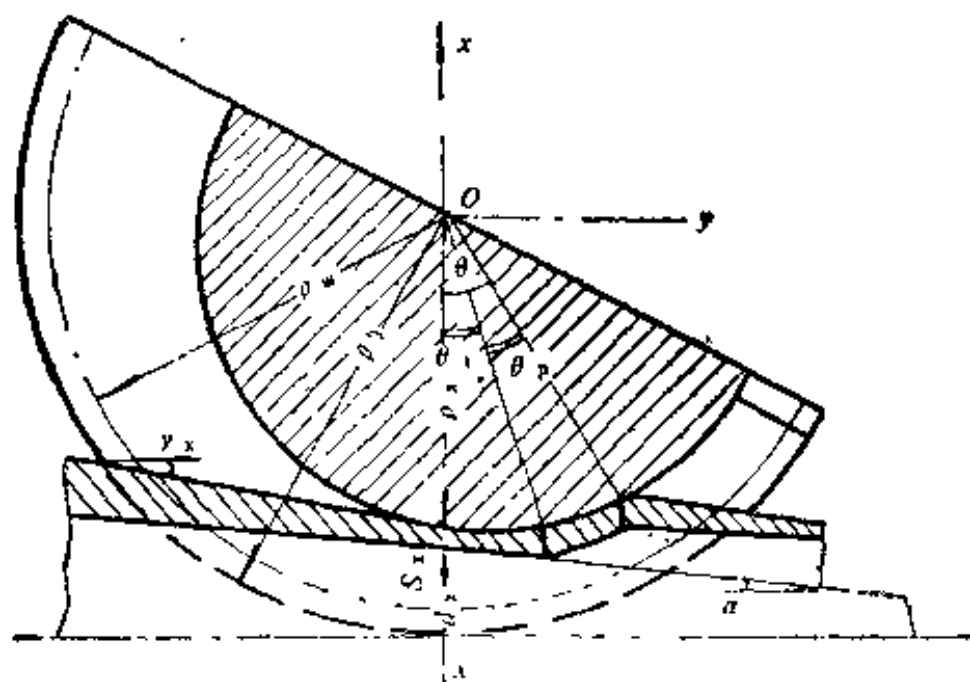


图 11-61 瞬时变形区的纵截面

在孔型的脊部，咬入角为

$$\begin{aligned}\theta_r &= 1.41 \sqrt{\frac{\Delta R_r}{\rho_0 - R_r}} \\ &= 1.41 \sqrt{\frac{\Delta R_r}{\rho_r}}\end{aligned}$$

式中 ρ_r ——孔型脊部轧辊的半径。

若以瞬时变形区的壁厚压下量取代上式中的 ΔR_r ，则可得到确定瞬时变形区前边界线上各点咬入角的计算公式。

4. 瞬时变形区的接触面积

图11-62为二辊式和多辊式冷轧管机轧制钢管时的变形区及接触面积图示。

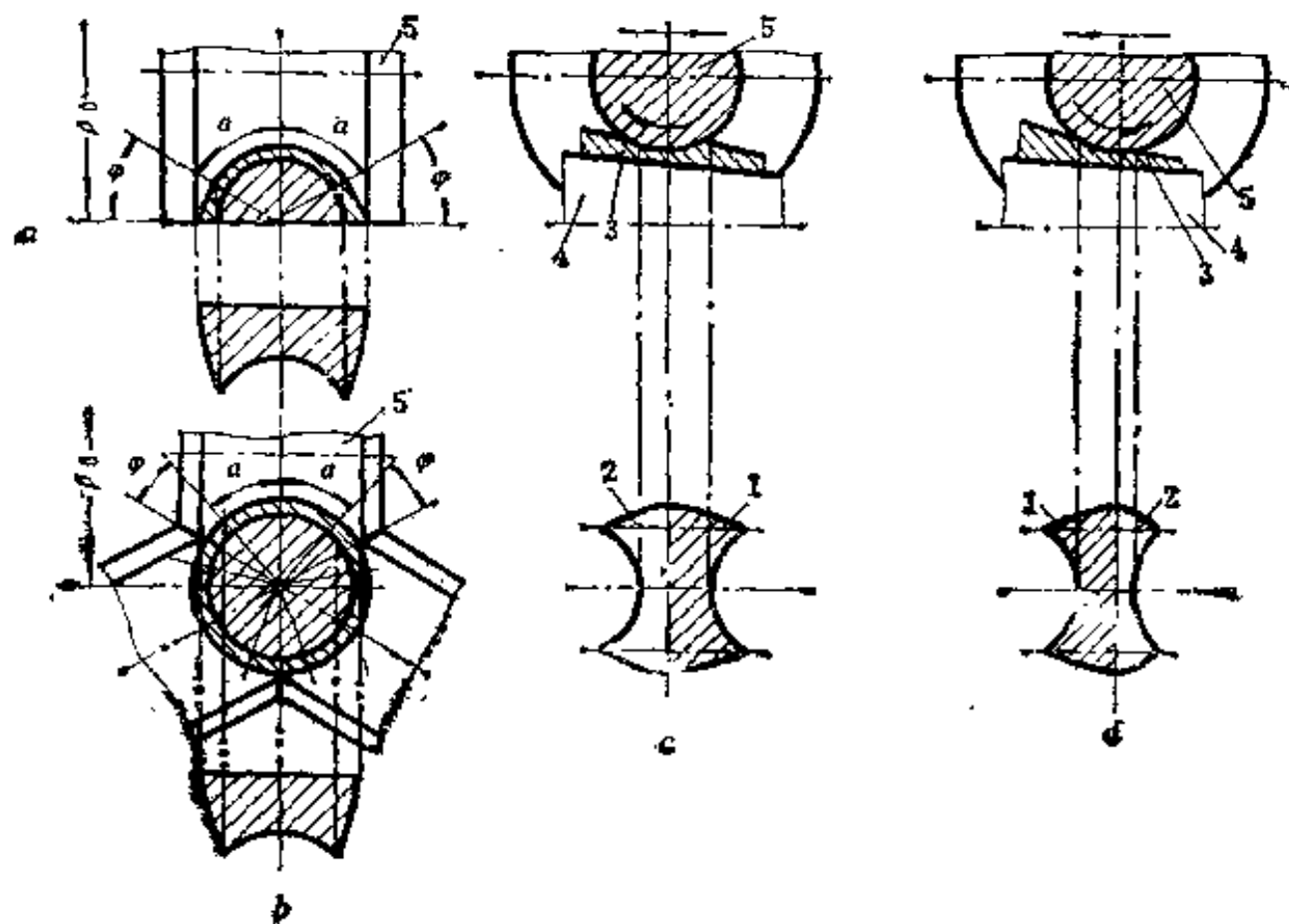


图 11-62 冷轧钢管时变形区及接触面积图示

a—二辊式冷轧管机的变形区；b—多辊式冷轧管机；

c—正行程时的接触面积；d—返行程时的接触面积

1—塑性和弹性变形区；2—弹性变形区；3—管子；4—芯棒；5—轧辊

文献中提出了一些计算瞬时变形区接触面积的近似公式。下面介绍Ю.Ф.舍瓦金提出的确定二辊式冷轧管机轧管时接触面积的计算方法。

图11-63为借助于式11-2计算得到的正行程轧制时瞬时变形区接触面积的垂直投影和水平投影。区域 $OPLMC$ 为总接触面积的垂直投影； $OPRE = F'_1$ —减壁区接触面积的垂直投影； $B_1L_1M_1NM_2L_2B_2 = F''_0$ —总接触面积的水平投影； $C_1R_1PR_2C_2 = F''_1$ —减壁区接触面积的水平投影。

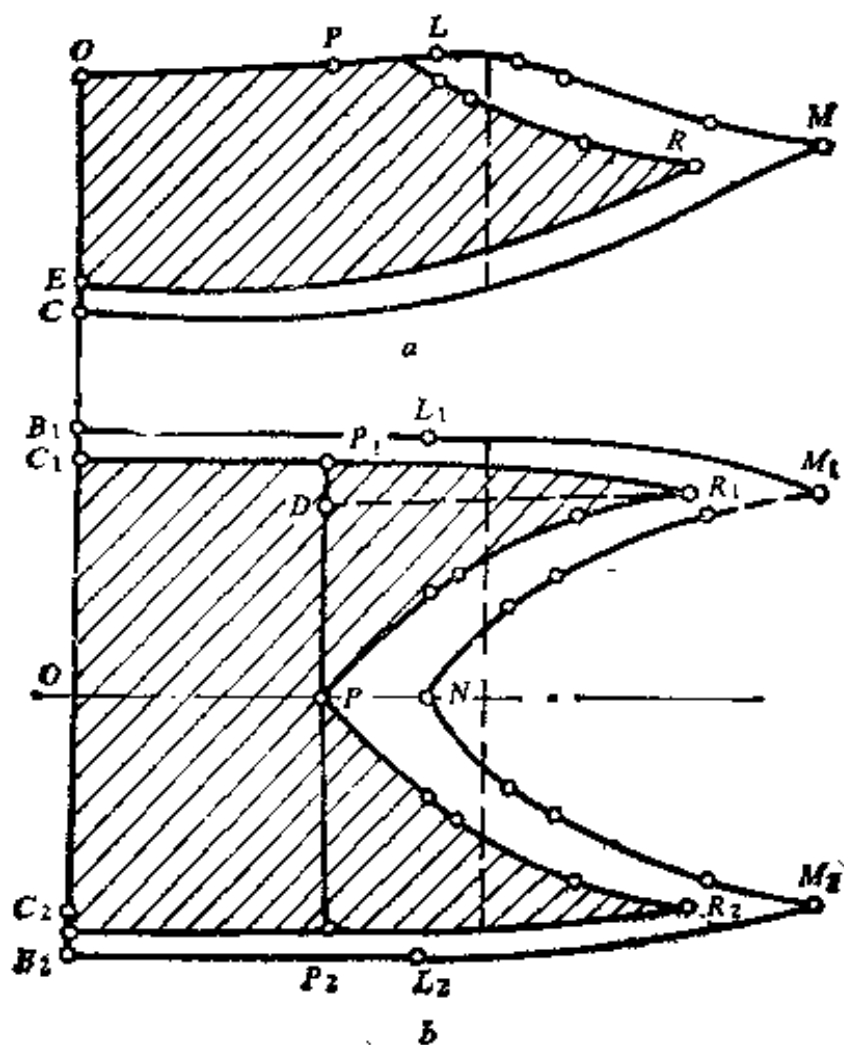


图 11-63 正行程轧制时瞬时变形区接触面积的垂直投影和水平投影
a—垂直投影，b—水平投影

先来确定减壁区接触面积的水平投影。

由图11-63可知，减壁区接触面积的水平投影可分成两部分：

$$F''_1 = 2(F_{C_1P_1P_0} + F_{P_1R_1P})$$

因为，在孔型脊部 $C = R_x$ ，面积 $F_{C_1P_1P_0}$ 用下式计算具有足够的精确度

$$F_{C_1P_1P_0} = 1.41 R_x \rho_r \sqrt{\frac{\Delta S_x}{\rho_r}}$$

面积 $F_{P_1R_1P}$ 取为

$$F_{P_1R_1P} = \eta_1 \frac{1}{2} (P_1P)(R_1D)$$

式中 η_1 ——系数，等于0.85。

R_1D 由下式确定

$$R_1D = (\rho_0 - C_{\min}) \sin(\theta_{tc} - \theta_{tr})$$

式中 $C_{\min}$ ——孔型周边与工作锥最先接触处轧槽的高度；

θ_{tr} ——孔型脊部减壁区的咬入角；

θ_{tc} ——孔型周边和工作锥最先接触处减壁区的咬入角。

所以计算 F_x^* 的公式可写为（取 $\sin(\theta_{tc} - \theta_{tr}) \approx \theta_{tc} - \theta_{tr}$ ）：

$$F_x^* = 2.81 \sqrt{\Delta S_x \rho_r} + 0.85 (\rho_0 - C_{\min}) (\theta_{tc} - \theta_{tr}) \quad (11-3)$$

由于孔型侧壁的开口角通常为 $16^\circ \sim 22^\circ$ ，用于工程计算可取

$C_{\min} = \frac{1}{3} R_x$ ，所以孔型周边与工作锥最先接触处的总咬入角为

$$\begin{aligned} \theta_{oc} &= 1.41 \sqrt{\frac{\Delta R_x R_x}{C_{\min} (\rho_0 - C_{\min})}} \\ &= 1.41 \times 1.73 \sqrt{\frac{\Delta R_x}{\rho_0 - C_{\min}}} \end{aligned}$$

而孔型脊部的总咬入角为

$$\theta_{or} = 1.41 \sqrt{\frac{\Delta R_x}{\rho_r}}$$

因此

$$\frac{\theta_{oc}}{\theta_{or}} = 1.73 \sqrt{\frac{\rho_r}{\rho_0 - C_{\min}}}$$

取

$$\frac{\theta_{ic}}{\theta_{tr}} = \frac{\theta_{oc}}{\theta_{or}} = \eta_2$$

对不同轧机 η_2 波动在1.60~1.70之间, 轧机较大, 其值较小。

以角 θ_{tr} 来表示角 θ_{ic} , 并把所得的值代入式11-3, 可以把 F_x^* 的计算公式写成更简单的形式:

$$F_x^* = 2.82\eta_3 R_x \sqrt{\rho_x \Delta S_x}$$

式中 η_3 ——接触面积的形状系数, 对于二辊冷轧管机, 其值为1.20~1.25; 对于三辊式冷轧管机可取为1.10。

相应地减壁区的总接触面积可按式确定:

$$F_x = 1.41\pi\eta_3 R_x \sqrt{\rho_x \Delta S_x} \quad (11-4)$$

在式11-3和11-4中以 ΔR_x 取代 ΔS_x , 则可求得总接触面积的水平投影及总接触面积。

冷轧管时, 由于单位压力很大, 轧辊在径向上产生压扁。由于轧辊弹性压扁而造成的接触面积增量的水平投影可用下式计算:

$$F_e = 3.9 \times 10^{-4} \sigma_b R_x \left(\frac{\pi}{4} \rho_0 - \frac{2}{3} R_x \right)$$

式中 σ_b ——在已知变形程度下管子的强度极限。

四、轧制过程中的滑移及轴向力

在冷轧管过程中, 金属与轧槽表面之间也存在着相对滑动即滑移。变形区由前滑区和后滑区构成。冷轧管时金属的滑移与轧制过程的运动学特点有关。下面以二辊式冷轧管机的正行程轧制为例来分析冷轧管时金属滑移的特点。

在正行程轧制时, 工作机架向前移动, 轧辊借助固定在机座上的齿条的带动(通过主动齿轮和从动齿轮)而旋转。因而, 在两个轧辊中心截面上, 孔型各点的速度分布如图11-64所示, 即在 bd 弧上孔型各点的速度, 其方向和工作机架移动方向相同, 其

值由 b 及 d 至孔型脊部从零按线性规律逐渐增大，而在 dc 和 ba 弧上，孔型各点的速度，方向和工作机架相反，其值由 d 到 c 和由 b 到 a 则从零按线性规律逐渐增加。形成这种速度分布的原因，就是由于轧辊是通过齿条、主动齿轮、从动齿轮系统传动的，这时主动齿轮与齿条啮合线上的各点，如图11-64上离轧辊轴心 O 的距离等于主动齿轮节圆半径 ρ_0 的 O_1 点，都是轧辊旋转的瞬时速度中心，即轧辊以它们为瞬时中心而旋转，这样，孔型上各点的速度 v_k 等于各点至瞬时中心的距离与角速度的乘积，而其方向决定于轧辊旋转的方向。

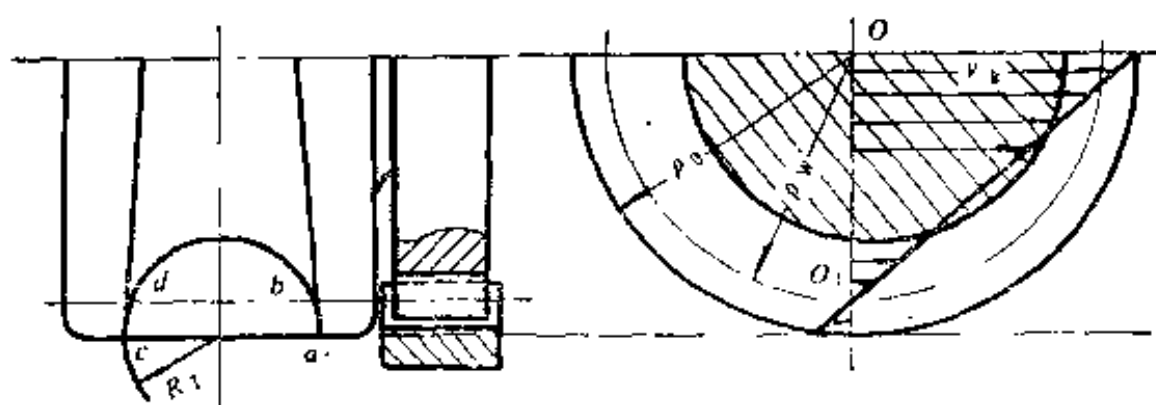


图 11-64 孔型各点的速度图

冷轧钢管时，在机架的工作行程中，管料是被固定而不能作轴向移动的。在这种情况下之所以能轧制钢管，就在于二辊式冷轧管机是不依靠摩擦力对钢管进行自然咬入和建立轧制过程的，即是说轧制过程具有强制性。所以，在正行程轧制时，瞬时变形区的出口截面金属的流动速度为零。从瞬时变形区的出口到入口，由于变形的结果，金属沿工作机架移动的方向流动，而速度越来越快。

在瞬时变形区的出口截面，比较孔型上各点轧辊和金属的速度可知，在瞬时速度中心以上各点，轧辊的速度大于金属的速度，存在滑动，这种滑动称为后滑；在瞬时中心以下各点，金属的速度为零，而轧辊具有的是和工作机架移动方向相反的速度，以工作机架移动的方向作为速度的正方向来考虑，这意味着轧辊速度小于金属的速度，也存在着滑动，这种滑动称为前滑。

就整个瞬时变形区的接触面积而言，根据轧辊和金属的轴向

速度沿变形区的变化规律，可以得出，在瞬时速度中心以上靠近

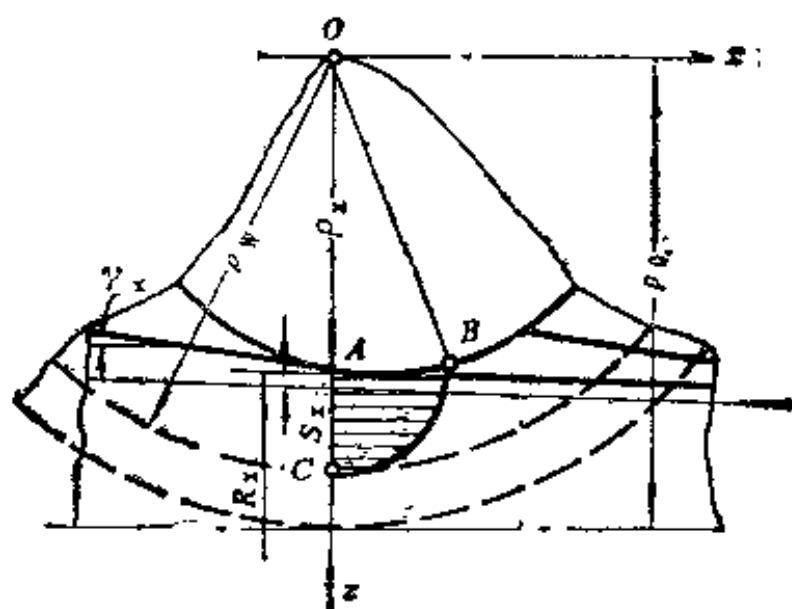


图 11-65 瞬时变形区中前后滑区的分布

出口截面和孔型脊部的接触面（图11-65中有阴影线的部分）为后滑区，变形区接触面积的其他部分为前滑区。前滑区和后滑区接触面积的比例随变形条件如主动齿轮的节圆半径 ρ_w 、壁厚压下量 ΔS_x 、孔型侧壁的开口角 φ_p 等的改变而变化。

轧制过程中，在前滑区作用在金属上的摩擦力（图11-66中的 T_{x1} ）的方向和机架移动的方向相反；在后滑区作用在金属上的摩擦力（图11-66中的 T_{x2} ）的方向和机架移动的方向相同。

在没有外加前后张力的一般简单的纵轧过程中，变形区上，轧辊作用在金属上的正压力的轴向分量和作用在前后滑区的摩擦力的轴向分量始终是互相平衡的。这是因为，在这种轧制过程中，轧件的出口速度能根据变形条件而自动变化，相对于一定的变形条件，必有一个相应的出口速度以形成适宜的前后滑区，使这时前后滑区所产生的摩擦力的轴向分量正好与轧辊正压力的轴向分量相平衡。

在冷轧管时，由于轧制过程的强制性，不存在通过改变轧件出口速度调节前后滑区大小的可能。因此，在一般情况下，作用在变形区上各力的轴向分量不能相互平衡，其结果，在变形过程中管体受到来自变形工具的轴向力。有时轴向力还是比较大的。

一般轴向力与轧制压力成比例，有的试验指出，正行程轧制时，轴向力约为轧制压力的6~10%；返行程轧制时轴向力约为轧制压力的10~15%。返行程轧制时的轴向力大于正行程轧制时的轴向力，主要原因是，返行程轧制时，仍然具有较大的轧制压力，同时，除了靠近辊环的小部分外，大部分接触面积上的摩擦力，其方向都和工作锥延伸的方向相反。

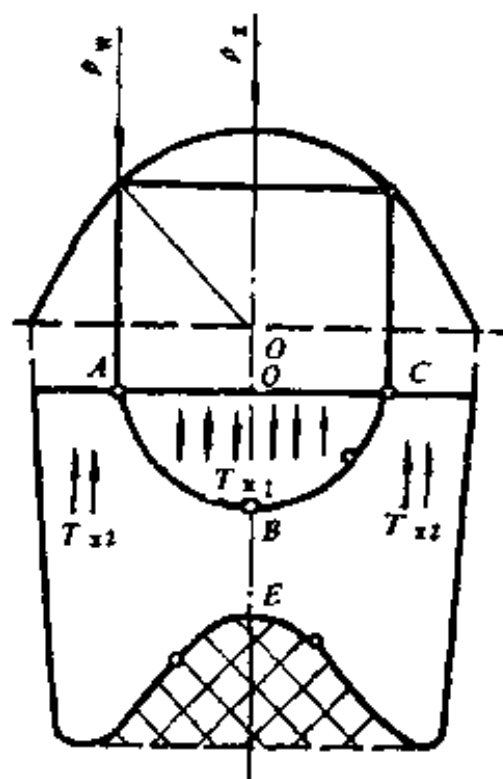


图 11-66 前后滑区接触面积的水平投影及摩擦力的方向

轴向力在工作机架行程长度上的分布是不均匀的，并且最大轴向力往往不与最大轧制压力相对应。在正行程轧制时，轴向力可能是压力（方向和工作锥延伸的方向相反）或拉力（方向和工作锥延伸的方向相同）；在返行程轧制时，一般只出现轴向压力。

轴向力过大会对轧制过程产生不良影响，如出现两根相邻管料的端部相互切入，芯棒杆纵向弯曲，轧制过程中工作锥窜动，送进管料时工作锥从芯棒上脱开时的阻力增加，以及送进机构的磨损加剧，等等。因此，轴向力的大小在一定程度上决定着轧机的生产率和能够达到的变形量。

对于二辊式冷轧管机来说，影响轴向力的主要因素是主动齿

轮的节圆半径。如上所述，变形区上前滑区面积之比对轴向力的产生有很大的关系，而这个面积比取决于金属的流动速度和轧槽工作表面的移动速度，而后者与主动齿轮的节圆半径直接有关。

对应于一定的变形条件，在变形区的出口截面上总可找到这样的点，当该点的轧辊速度和金属速度相等时，轧制时不产生轴向力，即这时作用在变形区各力的轴向分量能相互平衡。该点的辊径叫做轧制半径。

理想的主动齿轮的节圆半径应该始终等于轧制过程中的轧制半径，这样，在整个轧制过程中都不会产生轴向力。但这是不易做到的。因为每一种二辊式冷轧管机所轧管子的尺寸范围比较宽，而不同规格的管子，其轧制半径是不同的；另外，在轧制一定规格的管子时，不同行程和不同行程长度上的轧制半径也是变化的。

为了减小冷轧管机工作时的轴向力，对于二辊式冷轧管机，一般用下式确定主动齿轮的节圆半径：

$$\rho_{\text{齿}} = R_k = \rho_0 - 0.7R_T$$

式中 R_k ——轧制半径；

ρ_0 ——轧辊的理想半径；

R_T ——轧机所轧成品管的最大和最小半径的算术平均值。

冷轧管机专业化或一台轧机配置一套节圆半径不相同的主动齿轮，使主动齿轮的节圆半径比较接近于轧制条件下的轧制半径，也有助于减小轧制时的轴向力。

所轧管子的壁厚、摩擦系数、送进量、总延伸系数以及孔型宽度等因素也对轴向力产生影响。一般，所轧管子的壁厚较薄以及摩擦系数、送进量和总延伸系数较大时，轴向力较大。孔型的宽度不同，变形区的宽度将发生变化，从而改变前滑区和后滑区的面积比并影响轴向力。

五、金属作用在轧辊上的压力

在二辊式冷轧管机上，金属作用在轧辊上的平均压力即平均

轧制压力可按式计算：

$$P_z = K_\sigma \sigma_{b50} (D_0 + D_T) \sqrt{[m\mu_z(S_0 - S_T)] \frac{R_c}{l_0}}$$

式中 K_σ ——与轧制时金属加工硬化有关的系数，对钢它可取为1.42；

σ_{b50} ——变形程度为50%时金属的强度极限；

D_0 ——管料的直径；

D_T ——轧成管的直径；

R_c ——轧槽压下段轧辊的平均半径；

l_0 ——轧槽压下段的长度；

S_0 ——管料的壁厚；

S_T ——轧成管的壁厚。

在多辊式冷轧管机上，平均轧制压力的计算公式为：

$$P_z = K \sigma_{bc} (D_0 + D_T) \sqrt{[m\mu_z(S_0 - S_T)] \frac{R_k}{l_{pk}}}$$

式中 K ——与多辊式冷轧管上变形特点有关的系数，一般可取为1.6~2.2；

σ_{bc} ——变形前后管材强度极限的平均值；

R_k ——轧制半径；

l_{pk} ——工作锥压下段的长度。

六、多辊式冷轧管机杠杆系统的调整

在多辊式冷轧管机上轧管时，根据不同的轧制条件，要对杠杆系统中各杆件的长度及它们的相互位置进行调整，主要考虑两个方面：

1) 使轧辊作用在管体上的轴向力为最小。轧制过程中轧辊作用在管体上的轴向力为零是最理想的，出现这种情况的运动学条件是轧件离开瞬时变形区的出口速度应等于轧制半径处轧辊的速度。对于多辊式冷轧管机的正行程轧制，这时应有（图11-67）。

$$\frac{l_1}{l_0} = \frac{D_k}{D_a} \quad (11-5)$$

式中 l_1 ——从摆杆轴到轧辊架拉杆固定点的距离；
 l_0 ——机架拉杆和轧辊架拉杆，在摆杆上的两个固定点之间的
 距离；
 D_k ——轧辊的轧制直径；
 D_n ——轧辊辊颈的直径。

图 11-67 多辊式冷轧管机杠杆系统调整图

$$D_k = D_g + 0.2D_T \text{ (对于三辊式冷轧管机)}$$

$$D_k = D_g + 0.1D_T \text{ (对于四辊式冷轧管机);}$$

式中 D_g ——轧槽底部轧辊的直径;

D_T ——轧成管的直径。

2) 使机架和轧辊架的拉杆处于平行状态。在调整杠杆系统时, 如上所述, 首先是确定同所轧管子尺寸相适应的 l_1 和 l_2 的大小。调整结果, 当 l_1 变化了某一个 n 值时, 轧辊架的拉杆便离开原始水平位置, 倾斜一个 α 角。这时, 为了使处在原始水平位置的机架拉杆和轧辊架拉杆保持平行, 点 P 必须移动一个 a 值, 使机架拉杆也绕点 M 转动一个 α 角, 同时改变机架拉杆的工作长度。

调整时 P 点移动的距离 a 及调整后机架拉杆的工作长度 L_1 可计算如下:

由上图知

$$L = L_1 \cos \alpha + a \cos \beta \quad (11-6)$$

式中 L ——调整之前, 机架拉杆的长度;

β ——决定于轧机规格的角度, 对于每种规格的轧机是个固定的值。

$$\alpha = \arctg \frac{n}{C}$$

因为

$$L_1 \sin \alpha = a \sin \beta$$

所以

$$a = \frac{L_1 \sin \alpha}{\sin \beta} \quad (11-7)$$

将式11-7代入式11-6得

$$L = L_1 \sin \alpha (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta)$$

由此有

$$L_1 = \frac{L}{\sin \alpha (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta)}$$

$$\alpha = \frac{L}{\sin \beta (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta)}$$

当轧制某一种规格的管子时，可用上述两式来决定机架拉杆的位置及其工作长度。

第十二章 钢管酸洗^(1,2,5,7,8,29)

热轧管料或中间热处理后的在制管，在冷加工之前，应清除掉内外表面的氧化铁皮。氧化铁皮的存在，一方面影响随后进行的润滑的质量；另一方面，由于它的硬度高于基体金属，冷加工时会压入钢管表面而产生缺陷。结果是：加工变形时摩擦力增大，工具磨损加剧，钢管表面质量下降，使冷加工过程不能正常和有效地进行。因此，清除管料和在制品表面氧化铁皮是很重要的。

在钢管冷加工生产中，氧化铁皮的清除，广泛采用的是化学方法，即对碳钢管和低合金钢管一般采用酸洗方法，对高合金钢管采用酸洗或碱酸复合洗的方法。

碳钢管表面的氧化铁皮主要是三氧化二铁 (Fe_2O_3)、四氧化三铁 (Fe_3O_4) 和氧化亚铁 (FeO) 三种铁的氧化物。在氧化铁皮接近空气的部分，氧原子数量较多，因此生成了含氧较多的 Fe_2O_3 (其中氧占30%)，在中间部分生成含氧量中等的 Fe_3O_4 (其中含氧量为27.6%)，而在最靠近铁基体的部分，则生成含氧量少的 FeO (其中含氧量占22.2%)。图12-1为铁-氧状态图，它显示了在不同的温度和含氧量时，铁氧化物的组织状况。

一般，在大于575℃的温度下所生成的氧化铁皮，其结构分为三层 (图12-2)，第一层是 Fe_2O_3 ；第二层是 Fe_3O_4 ；第三层是 Fe_3O_4 和 FeO 的混合物。第三层最厚约占氧化铁皮厚度的80~85%；第二层次之，约占4~18%；第一层最薄只占1~2%。但氧化铁皮的厚度以及各层的比例并不是一定的，而是随着加热温度、加热速度和氧化介质 (蒸汽、水、炉气) 的不同而有所变化。

各种铁氧化物的分子式、晶格、含氧量、密度各不相同，这

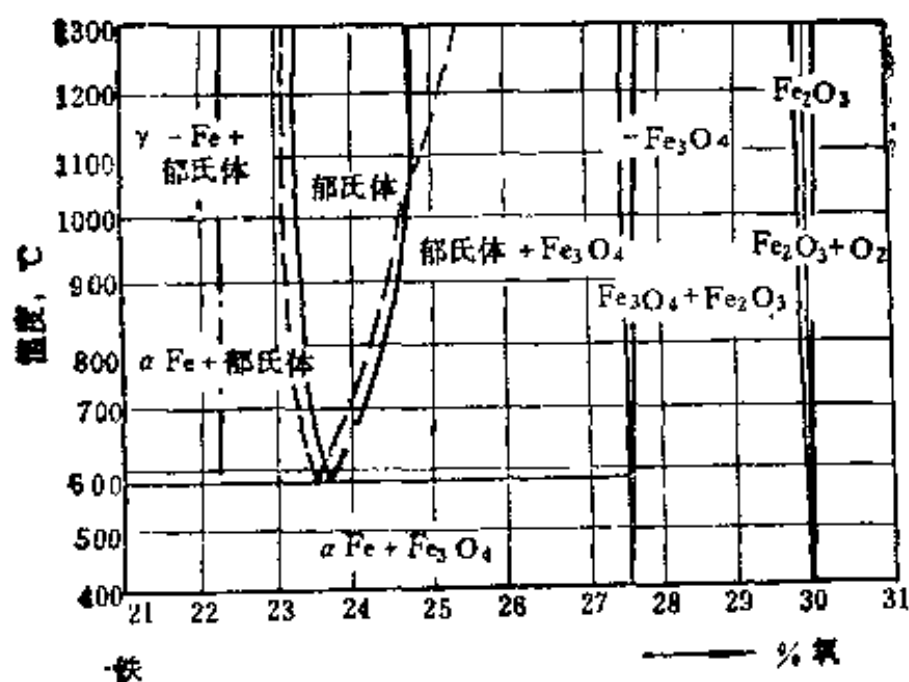


图 12-1 铁-氧状态图

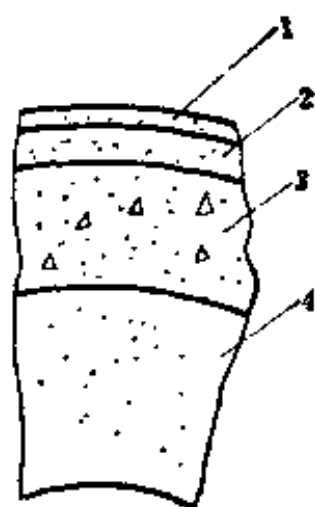


图 12-2 氧化铁皮结构

1— Fe_2O_3 ; 2— Fe_3O_4 ;
3— $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{FeO}$;
4—基体

些决定了它们酸洗的难易，下面简略介绍一下三种铁的氧化物的特性：

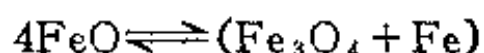
1) 三氧化二铁：亦称氧化铁，分子量为159.68，其晶格属四方晶系，呈红棕色。当温度 $<1100^\circ\text{C}$ 时可以稳定地存在，在较高温度下局部分解，而在 1565°C 时则完全分解。其密度为 $5.1\text{吨}/\text{米}^3$ 。化学稳定性好，在酸中很少溶解。体积大而疏松，中多裂纹。

2) 四氧化三铁：分子量为231.52，亦为四方晶格呈蓝黑色。有显著的金属特性和良好的导电性，化学稳定性也较好，在酸中较少溶解。密度为 $5.2\text{吨}/\text{米}^3$ 。

3) 氧化亚铁：又称一氧化铁，分子量为71.84。实际上不可能稳定地获得化学成分符合分子式 FeO （含氧量22.28%）的氧化亚铁，在氧化过程中，通常得到的是含氧量较高，即在23.15%至25.6%的氧化物（根据温度而定）。由于这个含氧量位于 FeO 与 Fe_3O_4 的理论含氧量之间，因此，这一氧化亚铁层（相）

可以看作是 $\text{FeO}-\text{Fe}_3\text{O}_4$ 的固溶体共析产物，在金相检验中被称为郁氏体。郁氏体是多孔的，它的密度大约是 5.99吨/米^3 ，是最易在酸中溶解的氧化物。

由状态图可知，郁氏体从熔点 1377°C 冷却至 570°C 时，由其中析出过剩的 Fe_3O_4 。低于 570°C 时，剩余的郁氏体不可能稳定存在，而将发生共析转变，形成 Fe_3O_4 及 Fe 的两相组成的共析体，即：



郁氏体的共析转变进行得很慢，而当冷却速度过大时，它将不发生分解而保留原郁氏体状态。在这些过程中被转变的郁氏体的绝对量取决于冷却速度。

上述转变过程是可逆的，即加热至 570°C 时共析体（ $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}$ ）转化为固溶体，温度继续升高时，原先析出的 Fe_3O_4 又会溶于其中。

因而铁的氧化物结构，不仅取决于加热温度，也取决于冷却速度。氧化亚铁相（郁氏体）在铁的氧化过程中起着重要作用，其分解产物在很大程度上决定了氧化铁皮的特性。

钢中除含铁的原子外，还有其他元素的原子，如碳钢中含有硅、锰等元素的原子，加热时它们也向外扩散与氧原子结合生成氧化物。特别是在合金钢中，含有更多的金属元素、氧化铁皮的组成更为复杂。如在镍铬钢的氧化铁皮中，除铁的氧化物外还含有 Cr_2O_3 、 NiO ；如果是 $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ 钢，除铁、铬和镍的氧化物外还有钛的氧化物 TiO_2 。对于 $\text{Cr}5\text{Mo}$ 钢，则会生成 Cr_2O_3 和 MoO_3 等氧化物。有些元素（如 Cr 、 Ni 、 Si ）的原子在氧化铁皮中扩散得比铁原子慢。因此这些元素的原子就更多地靠近铁基体的部分和氧原子相遇，氧化生成氧化物，使这部分元素的氧化物大都分布在靠近铁基体的氧化铁皮中，甚至可能成为靠近铁基体的单独一层氧化膜。

合金钢，特别是高合金钢钢管表面氧化铁皮的清除要比碳钢钢管困难。

第一节 碳钢和低合金钢管的酸洗

碳钢和低合金钢的氧化铁皮一般是疏松的且能溶于单一的酸溶液。生产中碳钢和低合金钢钢管氧化铁皮的清除广泛采用硫酸酸洗，在特殊情况下则用盐酸酸洗。

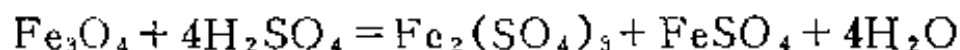
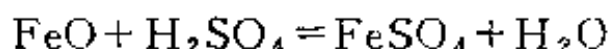
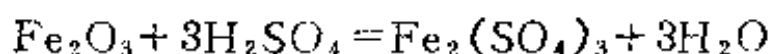
一、硫酸和盐酸酸洗的原理及特点

氧化铁皮中的氧化亚铁和氧化铁是碱性或两性偏碱性的氧化物。这些氧化物与硫酸和盐酸能发生化学反应。

由于碳钢和低合金钢表面的氧化铁皮比较疏松，有裂缝和孔隙，钢管在酸洗时，酸通过裂缝和孔隙与铁基体接触，也会与铁产生化学反应。

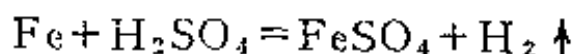
硫酸酸洗的机理是：

1) 氧化铁皮与酸液反应发生溶解，过程如下：



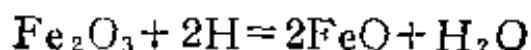
反应前铁的氧化物在水中是不溶解的，通过与硫酸反应，变成硫酸亚铁或硫酸铁，它们能溶于水。所以，反应结果，氧化铁皮就能从钢管上除去。这个作用称为溶解作用。

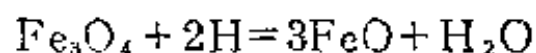
2) 氧化铁皮被硫酸和铁反应生成的氢气泡剥离。酸洗过程中，硫酸酸洗溶液通过结构疏松的氧化铁皮与铁起反应：



在钢的铁基体上，硫酸和铁反应产生大量氢气泡，氢气泡产生的膨胀压力能把氧化铁皮从钢管上剥落下来，称为剥离作用。在更换酸洗液时，可以看到酸槽底有固体的氧化铁皮存在。

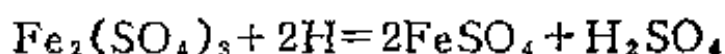
3) 氧化铁皮中的氧化铁被氢原子还原成氧化亚铁加速了酸洗过程。酸洗过程中，硫酸与铁基体起反应时，生成大量的氢原子，它很活泼，具有很强的还原性，能把氧化铁还原为氧化亚铁：





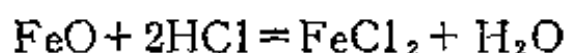
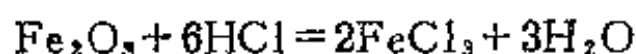
由于FeO的碱性比Fe₂O₃的强，所以更容易与硫酸作用，加速酸洗过程。上述作用称为还原作用。

另外，在硫酸酸洗过程中，+3价铁的硫酸盐也被还原为+2价的盐：

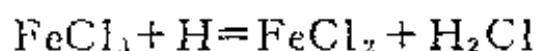


因此，从废酸溶液中回收到的是硫酸亚铁。

盐酸酸洗的机理，主要是利用它的强酸性，使碱性的铁的氧化物溶解，过程是：

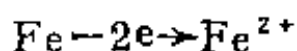


在这里，三价铁盐也被氢原子还原：

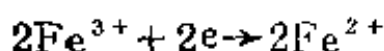


酸洗过程中的各步化学反应彼此按不同的速度和不同的程度进行，且相互影响。氧化物的溶解速度随溶液中氢离子浓度的增加而增加，即随pH值的增加而下降。

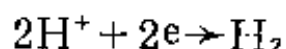
除了化学溶解以外，进一步的研究还证实，在酸洗过程中也存在电化学反应，当酸洗溶液通过氧化铁皮的气孔和裂纹进到铁的氧化物与钢管表面之间，三者构成了微电池。如由于郁氏体在25℃时，在一克当量的硫酸中具有+440毫伏的静电位，而铁电极具有-250毫伏的静电位，因此郁氏体构成微电池的阴极，铁构成阳极，这时铁按下列方式氧化：



形成的二价铁离子进入电解液，放出的电子迁移到郁氏体。按化学式，郁氏体具有的铁原子数目比氧原子少，为了使晶格里铁的正电荷总量等于氧的负电荷数，必有相当多的三价铁离子嵌入这种晶格。当氧化物在酸中溶解时自动生成的三价铁离子与迁移过来的电子相遇，被还原成二价铁离子并进入电解液：



此外，在郁氏体上使氢离子变成氢气：



由上可知，郁氏体中三价铁的含量对氧化物和铁之间的微电池的作用是很重要的。

四氧化三铁与铁之间的微电池同郁氏体与铁之间的微电池有类似之处。但是，由于三氧化二铁实际上是不导电的，因此，对酸洗过程的电化作用没有什么作用。

由于酸洗时存在铁与氧化物间的电化作用，从而加速了氧化铁皮的溶解和剥离作用，当然也增加了对铁基的侵蚀。

因为各种铁的氧化物在酸中的溶解度是不同的。FeO在盐酸和硫酸中都能很好地溶解，而Fe₃O₄的溶解度要小得多；Fe₂O₃在硫酸中则是最难溶解的。此外，由于Fe₂O₃导电率小，它也不能作为微电池的阴极起作用，因此，酸洗时Fe₂O₃绝大部分以原来的形式作为酸洗残渣留下。

硫酸酸洗的优点是：硫酸价格便宜，酸洗成本低；对脆性氧化铁皮有良好的剥离作用，耗酸少；可通过提高温度以维持酸洗作用，使酸液得到充分利用；析出的酸雾刺激作用较小；废酸中的硫酸亚铁利用价值较高。其缺点是：必须加热，消耗热能较多；对铁基的侵蚀较大，容易产生氢脆；酸洗后钢管表面较暗，上面的铁盐因溶解度小而不易清除；酸洗速度较慢。

盐酸酸洗则相反。酸洗时不必加热；酸洗速度快；生成的铁盐易溶于水，洗后表面光洁；不易产生过酸洗和氢脆，这些是盐酸酸洗的优点。它的缺点是：酸洗成本高，盐酸易挥发，逸出的氯化氢与空气中的水汽相遇，生成盐酸小液滴而形成白雾，有强烈的刺激性和较大的腐蚀性；废酸的利用价值较低。

目前，在生产中盐酸酸洗主要用于高标准精密钢管的酸洗，其他钢管一般都用硫酸酸洗。采用硫酸酸洗，只要控制好浓度、温度和硫酸亚铁的含量，也可以获得良好的质量

二、酸洗的工艺流程

为了获得良好的酸洗质量，应该有完善的工艺流程，一般

为:

打捆→水洗→酸洗→清洗→冲洗→中和

对于精密管,在成品道次或成品前几道次以及小口径管,酸洗的工艺过程应为:

打捆→水洗→酸洗→清洗→冲洗→擦洗→盐酸浸→清洗→中和

酸洗前钢管必须打捆,以便于酸洗操作。热处理后的钢管在温度低于40℃时才可打捆酸洗。酸洗的冷拔管料其弯曲度应 ≤ 10 毫米/米,冷轧管料的弯曲度应 ≤ 1.5 毫米。打捆时钢管必须堆放整齐,长管在下面,短管在上面,不锤头的开口端应置于同一垂直面内,以便于酸洗后的冲洗。为了避免钢管之间互相接触影响酸洗,打捆时各层钢管之间最好用铁垫或木垫隔开。管捆高度应小于酸液深度的80%。

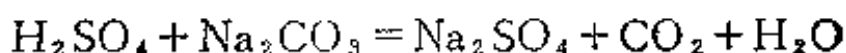
管捆在入酸洗槽前有时先进行水洗,其目的是清洗钢管表面的污物,防止污染酸液,水洗最好用70~80℃的热水,以加快水洗速度和预热钢管,避免冷捆入槽使酸液温度下降。

酸洗后的钢管必须顺次进行清洗和冲洗,作用是很好地清除沉积在钢管表面的亚铁盐结晶、残酸等污物。清洗最好用热水,以利于亚铁盐的溶解。冲洗时,把管捆置于倾斜(倾斜度一般为30°)的工作台上,锤头的一端放在工作台的较高一侧。用12个大气压左右的高压水自上而下一层一层依次冲洗。对于以后进行无心棒拔制的钢管,可只冲洗外表面。对以后进行短心棒拔制的钢管,内外表面都必须冲洗,直至每根钢管都流出清水为止。

对一些高标准的钢管,在清洗、冲洗后,有时还要进行擦洗。擦洗在流动的水中进行,外表面用麻布,内表面用直径大于钢管内径的毛刷擦洗。擦洗后的钢管应立刻放入水中,避免在空气中停留过久,在送往下一个工序前再吊起。

钢管冲洗后的中和是为了彻底清除残酸,使残酸与碱或碱性盐类起反应而生成不呈酸性的物质。当然,在经清洗、冲洗后,钢管表面的残酸已完全消除的情况下,也可不再进行中和。在生

产中，一般用碳酸钠配制中和液。碳酸钠的浓度为5~10%，中和时间2~5分钟，在室温下进行。反应式如下：



三、酸洗溶液的使用制度

硫酸溶液的使用制度为

新溶液中硫酸的浓度，%	22~24
酸洗液的温度，°C	≥20~25
硫酸的最低浓度，%	7~10
硫酸亚铁的含量，克/升	<200~250
硫酸浓度降低后酸液的温度，°C	增加到60~75
酸洗时间，分	
热轧管料	30~60
退火后的中间管	15~25

盐酸溶液的使用制度为

盐酸浓度，%	8~12
亚铁含量，克/升	<100
酸洗温度，°C	室温
酸洗时间，分	10~30

四、酸洗溶液的配制和调整

酸洗溶液的浓度，是重量百分比浓度，其计算公式为

$$\text{溶液的重量百分比浓度} = \frac{\text{溶质的重量}}{\text{溶液的重量}} \times 100\%$$

酸洗溶液是由浓酸配制的，如硫酸溶液常用含硫酸95.6%和水4.4%的浓硫酸配制，而配制盐酸溶液用的一般是含氯化氢31.5%的浓盐酸。

配制一定体积的酸溶液所需浓酸的体积可按式计算：

$$V_s = V \frac{n}{V_s (n_s - n) + n}$$

式中 V ——需配制的酸溶液的体积，米³；

n ——需配制的酸溶液的浓度，%；

V_s ——所需浓酸的体积，米³；

n_s ——所用浓酸的浓度，%；

γ_s ——所用浓酸的密度。

不同浓度时硫酸和盐酸的密度见表12-1和表12-2。

表 12-1 硫酸溶液的密度与浓度的关系

密 度 克/厘米 ³ (15℃时测)	波美度数	浓 度		密 度 克/厘米 ³ (15℃时测)	波美度数	浓 度	
		重量%	克/升			重量%	克/升
1.00	0	0.09	1	1.24	27.9	32.28	400
1.02	2.7	3.03	31	1.28	31.5	36.87	472
1.03	4.1	4.49	46	1.32	35.0	41.50	548
1.04	5.4	5.96	62	1.36	38.2	45.88	624
1.05	6.7	7.37	77	1.40	41.2	50.11	702
1.06	8.0	8.77	93	1.45	44.8	55.03	798
1.07	9.4	10.19	109	1.51	48.7	60.65	916
1.08	10.6	11.60	125	1.60	54.1	68.70	1099
1.09	11.9	12.99	142	1.70	59.5	77.17	1312
1.10	13.0	14.35	158	1.80	61.2	86.92	1582
1.12	16.4	17.01	191	1.835	65.7	93.56	1717
1.14	17.7	19.61	223	1.837		94.25	1730
1.15	18.8	20.91	239	1.840		95.60	1759
1.17	20.9	23.49	275	1.841		96.38	1774
1.20	24	27.32	328	1.841		98.20	1808

表 12-2 盐酸溶液的密度与浓度的关系

密 度 克/厘米 ³ (15℃时测)	波美度数	浓 度		密 度 克/厘米 ³ (15℃时测)	波美度数	浓 度	
		重量%	克/升			重量%	克/升
1.000	0.0	0.16	1.6	1.060	8.0	12.19	129
1.010	1.4	2.14	22.0	1.080	10.6	16.5	174
1.015	2.1	3.12	32.0	1.100	13.0	20.01	220
1.020	2.7	4.13	42.0	1.120	15.4	23.82	267
1.025	3.4	5.15	53.0	1.140	17.7	27.66	315
1.030	4.1	6.15	63.0	1.150	18.8	29.57	340
1.040	5.4	8.16	85.0	1.160	19.8	31.52	366
1.050	6.7	10.7	107.0				

由于盐酸在所使用的浓度条件下密度接近于 1，因此，在计算所需浓酸的体积时，可用下列近似公式：

$$V_s = V \frac{n}{n_s}$$

如果以重量来表示所需浓酸的数量时，则所需浓酸的重量为

$$G_s = V_s \gamma_s$$

在生产中可用比重计或波美氏表测定酸液的浓度，波美度 (°Be) 与密度之间的换算公式为

$$\text{密度} = \frac{144.3}{144.3 - ^\circ\text{Be}}$$

但应注意的是，用比重计和波美氏表测定浓度，对于新配制的酸溶液是准确的。老酸洗液因含有亚铁等杂质，比重与无杂质时不同，所以所测的浓度是不准确的。

在配制硫酸酸洗液时要注意安全。配制时应先将清水注入酸槽，然后再徐徐注入浓硫酸，并予以搅拌。决不能先注浓硫酸后注清水，否则由于水和酸的急剧反应，浓硫酸会飞溅出来伤人。因为硫酸是含氧酸，遇到人体能强烈氧化，夺取人体组织内的水份，引起严重烫伤。

在酸洗溶液的使用过程中，当浓度的降低和亚铁含量的增加达到一定程度以后，为了继续有效地使用，可对酸液进行调整，即在老酸洗液中加入部分浓酸或者把老酸液排掉一部分再加入适量的浓硫酸和水，重新使酸液浓度提高到适于酸洗的要求。

调整时，所加浓酸的量，应使调整后的酸液在以后的使用过程中，当亚铁含量达到允许的最大值时，酸液浓度恰好达到允许的最低值。

酸液的调整有一定的限度。一般，当酸液中的亚铁含量已达到规定含量的上限时，就应更换酸液。

五、影响酸洗速度的主要因素

生产中酸洗速度以洗好一批钢管所用的时间来表示。影响酸洗速度的主要因素有：

1) 氧化铁皮的组织及形态。一般组织疏松、裂缝孔隙较多的氧化铁皮容易酸洗，因为，在这些条件下酸液容易渗透，氧化铁皮也容易剥离。在氧化铁皮的各成分中，氧化亚铁较易酸洗、四氧化三铁和三氧化二铁较难酸洗。

2) 酸种、酸液的浓度和温度。图12-3和12-4分别为硫酸和盐酸酸洗液的浓度、温度与酸洗速度之间的相互关系。

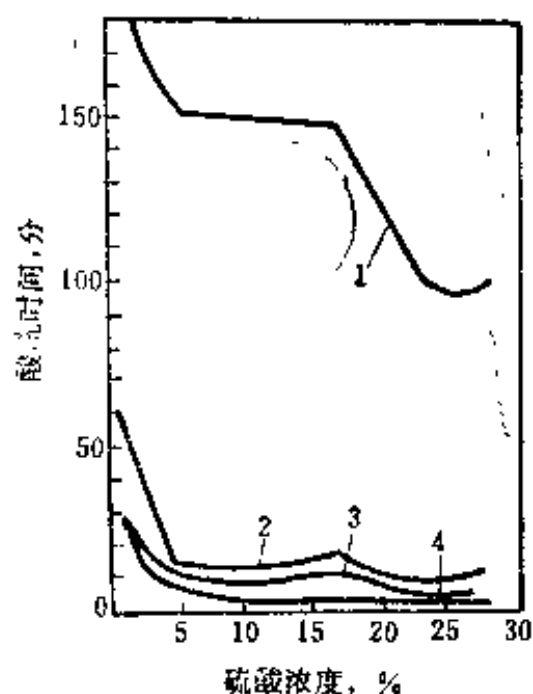


图 12-3 硫酸浓度、温度与酸洗速度的关系

1—20°C; 2—40°C; 3—60°C;
4—80°C

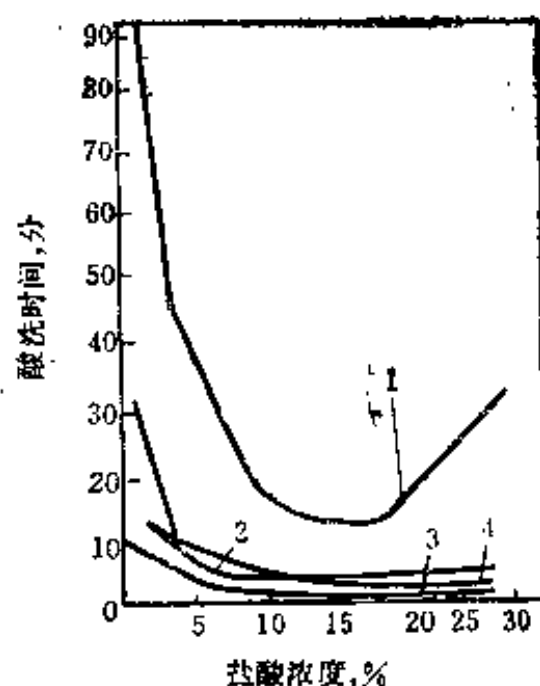


图 12-4 盐酸浓度、温度与酸洗速度的关系

1—20°C; 2—40°C; 3—60°C;
4—80°C

比较两图可知，在浓度和温度相同的条件下，盐酸酸洗的速度比硫酸酸洗的快得多。从图上还可以看到，硫酸浓度在25%左右，盐酸浓度在15%左右，酸洗速度最快。硫酸浓度 $>25\%$ 时，浓度愈高，酸洗速度反而愈慢，因为这时硫酸气化和钝化的性能增强，在钢管表面上逐渐生成不溶解的钝化膜，阻碍硫酸与铁基体的作用，降低了酸洗的速度。

从温度看，酸洗温度升高，无论对硫酸或盐酸酸洗，酸洗速度都增加，但增加的程度不同。硫酸酸洗时增加得多，特别在酸液浓度低时，升高温度能明显地提高酸洗速度。盐酸酸洗时，升

高温度虽然也能使酸洗速度增加，但在浓度为15%左右时增加得并不明显。

鉴于硫酸酸洗时，提高酸液温度和提高酸液浓度相比，前者对酸洗速度的影响要大得多，因此，钢管一般可在浓度为7~20%、温度为50~75℃的硫酸溶液中酸洗。浓度低时，可以通过提高温度来增加酸洗速度；但温度也不宜过高，否则会加剧硫酸与铁基体的作用。新配的硫酸溶液也可以不加热进行酸洗，因为在配制酸液时，硫酸与水作用放出大量的热，另外新配的酸液浓度较高，因此可有足够的酸洗速度。对于盐酸酸洗，由于提高温度对增加酸洗速度的作用并不明显，加上盐酸是挥发性酸，酸液温度升高会加速盐酸的挥发，这不仅增加盐酸的消耗，也污染环境。所以，盐酸酸洗常在室温下进行，浓度为12~15%。

3) 铁盐的含量。酸洗时，酸液中铁盐含量的多少对酸洗速度有影响。

硫酸酸洗时，钢管酸洗的速度随着硫酸亚铁含量的增加而降低。但酸液浓度比较大（15~20%）和酸洗温度高时，其影响较小。当酸液中亚铁含量很高超过了它的溶解度时，将有结晶析出沉积在钢管表面，这时酸洗速度将显著降低；另外，酸洗后残留在钢管表面的铁盐也将增加并恶化后续工序的质量。在实际生产中，硫酸亚铁的含量，对一般钢管的酸洗以不超过200~250克/升为宜，对要求较高的钢管，含量应不超过150~200克/升。

硫酸亚铁含量过多时，不能依靠添加浓酸的办法来解决。因为添加浓酸会使沉淀在槽底的亚铁盐再溶解。因此，在酸液中硫酸亚铁的含量已达到规定含量的上限时，就应更换酸洗液。

盐酸酸洗时生成的铁盐主要是氯化亚铁。氯化亚铁易溶于水，而且对酸洗有活化作用，能增加酸洗速度。不含氯化亚铁时酸洗速度明显下降。因此在更换酸洗液时，槽内一定要留些老酸，以保持一定的氯化亚铁的含量。但是如果氯化亚铁的含量过多，同样会弄脏钢管表面，影响酸洗质量。一般盐酸酸洗液中氯化亚铁的含量应不大于150~200克/升。

氯化亚铁因比硫酸亚铁更易溶于水，从而在用水清洗时容易去除。所以，对要求高的钢管，在硫酸中酸洗后可在稀盐酸溶液中浸洗一下，使硫酸亚铁反应生成氯化亚铁，然后用水清洗，这样可以获得更洁净的表面。

4) 酸洗溶液的搅拌。配酸时，浓酸一般是从酸洗槽的一端加入的，在短时间内，这一端酸的温度和浓度比另一端高些，如果这样酸洗，钢管两端的酸洗速度就不同，严重时会出现一端过酸洗另一端欠酸洗的情况，因此，配酸后应进行搅拌。

在酸洗过程中搅拌酸洗液也会增加酸洗速度。在没有搅拌时，在钢管表面附近，由于氧化铁皮与酸作用的结果，酸的浓度很快降低，亚铁含量很快增加。这样就会影响酸洗速度。如果进行搅拌，使钢管表面附近的酸洗液不断更新，就可使酸洗加快。

钢管酸洗时生成的氢气泡，加热硫酸时的蒸汽都起搅拌作用。搅拌酸液也可用酸洗摆动机。

六、酸洗缺陷

酸洗时产生的主要缺陷有氢脆、过酸洗、欠酸洗及表面残留黑渣等。

1. 氢脆性

产生氢脆的主要原因是，酸洗过程中，酸液与铁基相互反应不仅生成铁盐，同时还产生氢原子，这些氢原子一部分合成氢气而逸出，一部分扩散到金属内部。扩散到金属内部的氢原子可能在显微间隙、非金属夹杂处聚集，使内应力增加，从而降低金属的塑性和韧性，增加脆性，但对屈服极限和强度极限一般没有明显的影响。氢脆恶化了钢的冷加工性能。

盐酸酸洗由于清除氧化铁皮主要靠溶解作用，因此产生的氢脆比较轻微。相反，在硫酸酸洗时则容易产生氢脆，因为硫酸酸洗时，氧化铁皮的清除大部分靠酸液与铁基体反应所产生的氢气的剥离作用，在这同时，会有较多的氢原子扩散到基体内部，随着硫酸溶液浓度的增加，铁的溶解速度加大，产生氢脆的可能性增加。酸洗温度升高时，一方面大大加速了金属铁的溶解，另一

方面加快了氢原子的扩散速度。这些都使氢脆产生的可能性增大。而且，升高温度比增加浓度对氢脆的影响更大。

碳钢中碳的含量增加，酸洗时铁的溶解增加，氢脆的可能性加大。

酸洗溶液中的夹杂砷 (As)、锑 (Sb)、硫化氢 (H_2S) 和二氧化硫 (SO_2) 等对氢脆有明显的影响。 H_2S 和 SO_2 能加快氢原子向铁基体的扩散，As 和 Sb 会阻碍氢原子向氢气的转变，这些都能容易引起氢脆。

为了防止和消除氢脆，硫酸酸洗时应尽量不在低浓度、高温下进行；在酸洗液中加入适量的缓蚀剂，避免酸洗时间过长，酸洗好的钢管要及时取出；可在 $150\sim 200^{\circ}C$ 时干燥去氢或者停放 24 小时以上进行自然去氢。

2. 过酸洗

碳钢过酸洗时表面粗糙而色暗。产生过酸洗的原因是酸洗液的浓度过高、酸洗时间过长，如为硫酸酸洗则还可能是温度过高。

过酸洗是不可补救的。防止的方法主要是按工艺规程进行操作。同时酸洗后的钢管应及时清洗和冲洗。

3. 欠酸洗

欠酸洗主要是指钢管酸洗后表面残留有氧化铁皮，分全欠酸洗和局部欠酸洗两种情况。全欠酸洗的主要原因是酸洗液浓度低、酸洗时间不足，如为硫酸酸洗则还可能为温度太低或含硫酸亚铁过高。局部欠酸洗的原因可能是钢管在酸槽中堆放过挤或者氧化铁皮厚度不均匀，局部有油污等。

欠酸洗的钢管可以重新酸洗，但重新酸洗时要防止出现过酸洗。

4. 钢管表面上残留黑渣

钢管表面上残留的黑渣是钢中各化学元素的氧化物或盐类，它的数量和钢的化学成分有关。如果表面黑渣去除不净，钢管的润滑会受到影响。

黑渣中大部分是铁的氧化物 (Fe_3O_4 , Fe_2O_3)，一般可在含有NaCl的硫酸溶液中去除。

七、酸洗缓蚀剂

能阻碍或完全制止酸洗过程中金属腐蚀的物质叫酸洗缓蚀剂。为了抑制基体铁的溶解，以减少金属与酸的消耗、防止氢脆的发生以及减少酸雾逸出改善劳动条件，生产中常在酸液中添加缓蚀剂。

目前常用的酸洗缓蚀剂是一些高分子化合物，它不溶于水，在酸液中带正电。因为铁带负电而缓蚀剂带正电，故缓蚀剂会形成一种薄膜附在钢管表面。又因铁的氧化物带正电，而缓蚀剂也带正电，故氧化铁和缓蚀剂在酸液中互相排斥。结果，基体铁与酸隔绝，只有氧化铁皮与酸接触，所以酸液只能与氧化铁皮起反应，而使基体铁受到保护。同时，缓蚀剂中还含有起泡剂，它易溶于水，并能在酸洗液表面形成一层比较稳定的泡沫，可以减少酸雾的逸出。

酸洗缓蚀剂在减小金属铁的溶解速度的同时不应明显减慢氧化铁皮的溶解速度。缓蚀剂还应具有热稳定性，而且在酸洗过程中不在钢管表面形成难以清洗的油状薄膜。此外，要求价格不高，容易取得。

目前硫酸酸洗中广泛采用若丁作缓蚀剂。若丁的成分是二邻甲基硫脲25%、氯化钠15%、糊精20%和角粉5%，是灰色粉末。在水中只有部分成分溶解，在稀酸中溶解度略有增加。若丁的加入量一般为纯酸量的0.2~0.4%。加入前应用酸调成浆状，然后均匀地加入酸槽中。若丁的使用温度不可超过80~85℃。在实际生产中，认为加入若丁后酸洗速度有所降低。在不加若丁时，为了防止酸雾逸出，可加入起泡剂。在硫酸酸洗液中加入适量的食盐（每升酸溶液加10~15克），也能防止基体铁的溶解和氢的析出，起到一定的缓蚀作用。

盐酸酸洗时使用若丁也可起缓蚀作用，但容易污染钢管表面，污物清洗时不易完全清除。实际生产中有时用甲醛与苯胺的

缩合物。

八、酸洗液的检验

在酸洗过程中，酸洗液的浓度逐渐下降，铁盐含量逐渐上升，这样就要影响酸洗效果。因此，对酸洗液的浓度和铁盐含量要经常检验，以便根据浓度和铁盐含量的变化，对酸洗液进行及时调整。

酸液浓度的测定有下列两种方法：

1) 苏打滴定法。从酸洗槽中取出 5 毫升溶液注入 250 毫升的烧瓶中，加入 25 毫升蒸馏水和两滴甲基橙试剂，然后用苏打液滴定（苏打液是将 11.52 克苏打粉溶入 1000 毫升蒸馏水中制成的），直至烧瓶中的液体由红色转变到黄色为止。酸的重量百分比浓度等于所消耗的苏打滴定液毫升数的五分之一。例如，苏打滴定液的消耗量为 5 毫升，则酸的浓度为 1%。

2) 苛性钠滴定法。从酸槽中取出 5 毫升酸洗液注入 250 毫升烧瓶中，再加入 100~150 毫升蒸馏水和数滴甲基橙试剂，然后用 0.1 克当量的苛性钠溶液滴定（苛性钠溶液是用 4 克苛性钠溶解于 1000 毫升蒸馏水中制成的），直到溶液由玫瑰色变成黄色为止。

酸液浓度的计算如下：

硫酸浓度（克/升）= 滴定液消耗的毫升数 $\times$ 0.98

盐酸浓度（克/升）= 滴定液消耗的毫升数 $\times$ 0.73

铁盐含量的测定方法是，由酸槽中取 5 毫升溶液，注入 500 毫升三角瓶中，并加入 100 毫升蒸馏水和约 5 毫升磷酸，然后用 0.1 克当量过锰酸钾滴定液滴入（滴定液是用 3.16 克过锰酸钾溶于 1000 毫升蒸馏水中制成的），待溶液变成鲜艳粉红色为止。亚铁含量为：

硫酸亚铁含量（克/升）= 滴定液消耗的毫升数 $\times$ 3.04

氯化亚铁含量（克/升）= 滴定液消耗的毫升数 $\times$ 2.535

九、酸洗设备^[30]

1. 酸洗槽

酸洗槽的尺寸决定于所洗钢管的规格，一般，酸洗槽的尺寸

如下：

长度：7000~15000毫米

宽度：1000~1100毫米

深度：1100~1200毫米

对于中小规格钢管，酸洗槽的宽度和深度应取下限，对于规格较大的钢管则取上限。在有槽边抽风时，槽宽的确定，还应适应抽风的需要。

酸槽的长度应大于酸洗钢管的最大长度，留一定的操作间隙，一般为1000~1500毫米，以利于酸洗操作和酸洗过程的进行。

酸洗槽应合理设计和施工。酸洗槽应具有一定的强度和耐磨性；能耐一定的温度；特别是能耐磨蚀和不渗漏，在较大的负荷和热胀冷缩的情况下不出现裂缝和损坏。

制造酸槽的耐酸材料，常用的有耐酸陶瓷（耐酸砖和铸石砖等）、花岗岩、塑料板、木材、耐酸钢板、耐酸混凝土、铅板等。其中花岗岩、塑料板等使用较为普遍^[26]。

（1）花岗岩酸洗槽

花岗岩对硫酸、盐酸均具有极好的抗腐蚀性能。容积较小的可用整体花岗岩酸洗槽。容积较大的用花岗岩石板拼接的酸洗槽。拼接酸洗槽制作的要点是防止渗漏，尤其是需要加热的硫酸

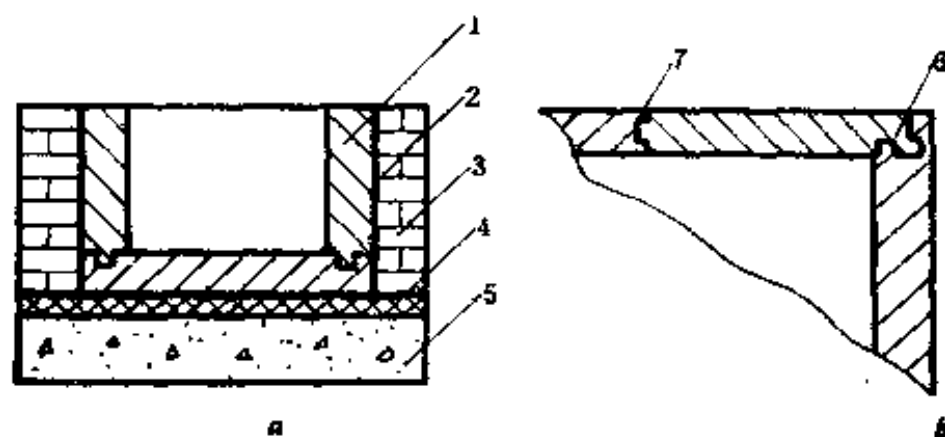


图 12-5 花岗岩石板拼接酸洗槽的结构

a—酸洗槽的构成；b—石榫和灌缝

1—石池；2—耐酸水泥；3—砖墙；4—沥青油毡层；5—基础；6—石榫；7—灌缝

酸洗槽。

拼接酸洗槽的基础上，一般敷设沥青油毡，以防渗漏时酸液渗入地层。如在槽身上包上铅板则更保险。石板厚度，一般底部为25厘米，其余为18厘米。拼接处用石榫定位，并留有灌缝孔。图12-5为花岗岩石板拼接酸洗槽的结构。

石板拼接用环氧树脂或耐酸水泥粘合，并用耐酸水泥灌缝。槽底四周应予堆缝。槽身周围用耐酸水泥涂覆，待干燥后再砌保护砖墙。要使酸槽质量可靠，拼接时应一丝不苟，尤其是耐酸水泥的质量和施工要有保证。

为了在出现渗漏时，酸液可以排出，可在槽底部的四周用耐酸水泥筑排酸沟，渗出的酸液可由排酸沟流入贮酸井，而不致渗入地层。

（2）耐酸混凝土酸洗槽

这种酸洗槽结构牢固，并有耐蚀、耐温、使用寿命长、维修费用低等优点。但是浇制过程相当复杂，能否成功取决于选料、浇制、酸化等一系列关键性技术。制造不良会导至整体报废。

酸槽是钢筋耐酸混凝土结构。混凝土层的厚度一般为150毫米，浇制在基础和砖结构上。为了防止酸洗液渗漏，应在混凝土层与基础及砖结构之间敷上一层油毡沥青。耐酸混凝土酸洗槽的结构见图12-6。

耐酸混凝土的主要成分是耐酸粉、氟硅酸钠和水玻璃，使用时再加上耐酸填料。耐酸粉品种很多，如辉绿岩粉、长石粉、铸

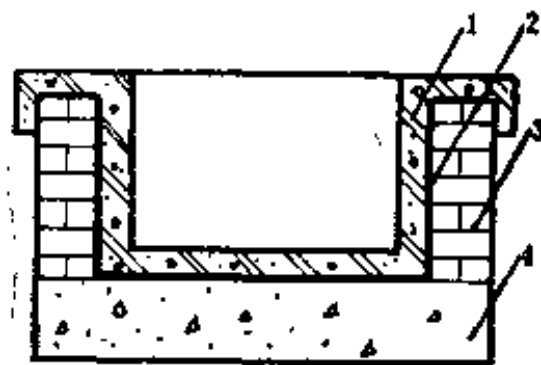


图 12-6 耐酸混凝土酸洗槽的结构

1—钢筋耐酸混凝土；2—油毡沥青防水层；3—砖结构；4—基础

石粉等。氟硅酸钠有加速混凝土凝固的作用，水玻璃是胶合剂。耐酸混凝土成分的配比见表12-3。水玻璃的模数要选择适当，如果水玻璃质量不好，混凝土会不易干燥和硬化，严重的甚至报废。

表 12-3 耐酸混凝土成分配比

材 料	规 格	配 比	
		第一种	第二种
耐酸水泥	耐酸粉	1	1
	氟硅酸钠	0.14	0.10
	水玻璃	1.34	0.68
填料	细石英砂	2	1.2
	粗石英砂及块	4	2.04

耐酸混凝土极易硬化，一次配置量应在20分钟内用完。搅拌时先搅拌耐酸粉与氟硅酸钠，其次掺入填料拌匀，最后再加入水玻璃。搅拌前，耐酸粉和氟硅酸钠要过筛并缓慢干燥，水玻璃要过滤。浇制时要捣实，在10℃以上保养20天左右，并严防沾水。然后用40~50%浓度的硫酸涂刷三十次左右（约每六小时一次），使硅胶析出，达到脱水硬化的目的。

2. 排酸、驱酸雾及酸雾回收、中和装置

目前，一般都用耐酸泵来排酸，因为在酸槽底部安装一只固定的排酸金属塞或橡皮塞（也有的用耐酸阀）不大安全，常由于排酸孔附近容易损坏而引起漏酸。

废硫酸的沉渣中含有相当多的硫酸亚铁，其结晶物即为铁矾，用途很广，所以一般都进行回收利用。废盐酸沉渣中的氯化亚铁可作为化学试剂的原料，但回收利用的价值较小。如果不回收利用，废酸排出酸槽后一定要用石灰或苛性钠一类的碱剂中和，以免污染环境。

在酸洗过程中，酸洗槽上不断逸出酸雾，恶化了劳动条件。特别在盐酸酸洗时和气压低及换了新酸的情况下更为严重。因

此，酸洗槽最好有驱雾装置。驱雾装置有两种基本形式。一种为双吸式，即在酸洗槽的槽宽两侧各设一组抽风装置，并配用一只或两只吸风机。另一种为吹吸式，即在酸槽靠操作的一侧安装吹风装置，其对面一侧安装抽风装置，见图12-7，实行一吹一吸。抽风量应为吹风量的六倍以上，以保证抽吸完善。

为了防止酸雾通过驱雾装置后进入空中污染环境，应进一步设法清除酸雾。

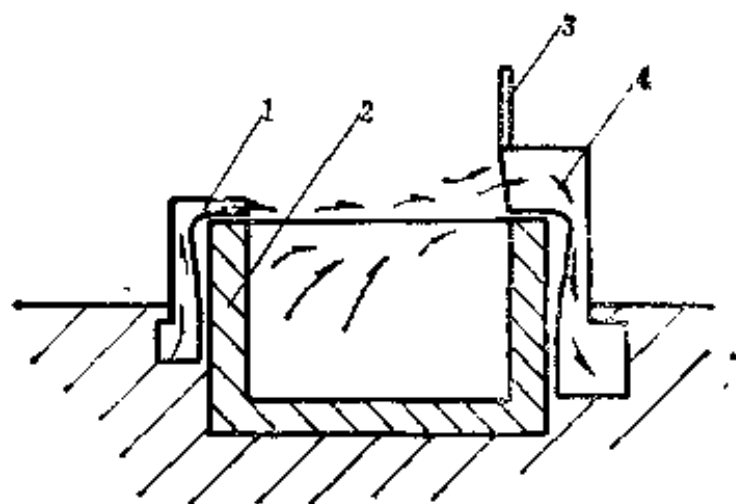


图 12-7 吹吸式驱酸雾装置

1—吹风装置；2—酸洗槽；3—挡板；4—抽风装置

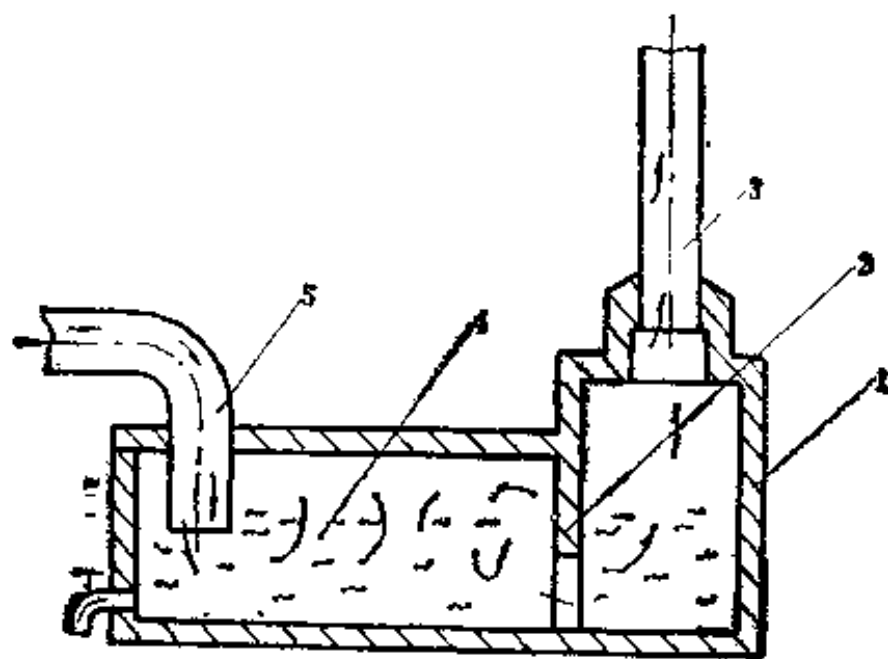


图 12-8 酸雾中和装置

1—槽体；2—挡水墙；3—塑料烟囱；4—石灰水；5—酸雾引入管

清除酸雾的设备有净化回收装置和中和装置两类。净化回收装置中效果较好的是净化塔。净化塔的塔顶装着塑料抽风机，塔内装有10~20个尼龙喷头（分2~3层安装）。酸雾进入抽内后，由于塔的截面积比酸雾抽吸管道的截面大几倍，因而酸雾上升的速度下降，并在塔内四处扩散，这时在清水的喷淋之下，酸雾即被溶解吸收。如果喷淋碱水，酸雾则被中和。此种装置造价较高。

酸雾中和装置是一个碱性溶液（石灰水）的槽子。使用时，将酸雾引入槽内，使它溶于碱性溶液中，即可达到中和的目的，其结构见图12-8。此种装置结构简单，造价较低，效果尚可。

第二节 高合金钢管的酸洗

合金钢表面氧化膜的组成取决于铁和合金元素对氧的亲合力。合金元素中一类是较铁容易氧化的元素（Si、Al、Cr、W、V、Mn），一类是较铁难于氧化的元素（Ni、Cu、Co、Mo）。

用铬、硅、铝合金化的钢，其表面会形成坚固的和难溶的氧化膜，它阻碍金属和氧原子沿两个方向扩散，使金属在高温下的氧化速度减小，同时也给酸洗带来困难。相反，当钒、硼、钼和钨在钢中的含量达到一定值时，就会使氧化膜的坚固性降低。因为在高温时，钼在钢表面形成挥发性的氧化物，而钒和硼则形成易熔的氧化物。

根据研究结果可认为，铬镍高合金钢上的氧化物分为三类：

1) 纯金属氧化物，如铁的氧化物 FeO 、 Fe_3O_4 和 Fe_2O_3 ，以及合金元素的氧化物 Cr_2O_3 、 NiO 等；

2) 具有尖晶石型晶格的复杂氧化物，如 $\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\text{NiO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ ；

3) 合金元素在纯铁和复杂氧化物中的固溶体。

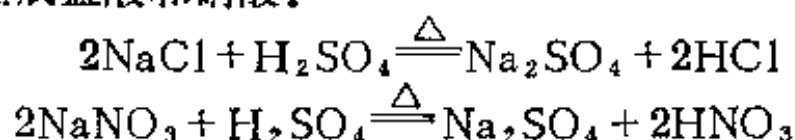
由于铬镍不锈钢等高合金钢的氧化膜中存在 Cr_2O_3 和尖晶石 $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ ，酸洗比较困难，因为 Cr_2O_3 即使温度高达 80°C 时也不溶于硫酸、盐酸或硝酸。

生产中，为了清除铬镍不锈钢等高合金钢钢管的氧化铁皮，有酸法酸洗和碱酸复合洗两类方法。不论哪类方法，首先都要使氧化铁皮转化成可溶的状态。

一、酸法酸洗

1. 在加有食盐和硝酸钠的硫酸溶液中酸洗

为了清除一些高合金钢钢管的氧化铁皮，有时使用加入了腐蚀性强的盐酸和氧化性强的硝酸的硫酸溶液。由于盐酸和硝酸比较贵，运输和储存也比较困难，因此常改用在硫酸溶液中加食盐和硝酸钠的办法。在这种酸洗溶液中，食盐和硝酸钠与硫酸作用分别生成盐酸和硝酸：



酸洗溶液的配比随钢件的不同而有所变化，一般为：16~18% H_2SO_4 + 5% NaNO_3 + 1~2% NaCl 。

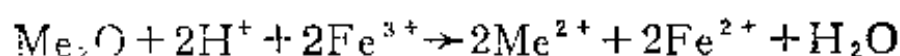
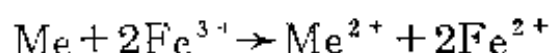
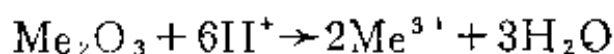
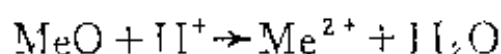
溶液配好之后，在酸洗的初期出现氢气和氮的氧化物的析出物，然后析出停止，酸洗溶液平静地工作。酸洗温度保持在65~80℃，酸洗时间根据钢的化学成分、氧化铁皮的特性、酸洗液的组成，波动在20~50分钟之间。

Cr25Ti这种高铬耐热钢用其他方法酸洗去氧化铁皮比较困难。根据有的厂的试验，在65℃时，用20% H_2SO_4 + 1.2% HNO_3 + 5% NaCl 的酸洗液进行酸洗效果较好。要注意的是掌握好硝酸的加入量。硝酸的最佳浓度约为0.9~1.4%。

2. 在含有三价铁的硫酸盐的硫酸溶液中酸洗

带有坚固氧化铁皮的不锈钢，有时在含有硫酸高铁 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 的硫酸溶液中酸洗，它的组成一般为15% H_2SO_4 + 10% $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 。因为，在酸洗含铬高的不锈钢时，酸洗液一方面要起溶解氧化铁皮的作用，另一方面又要起到将低价难溶的铬的氧化物 Cr_2O_3 转化为高价易溶的铬的氧化物 CrO_3 的氧化剂的作用。含有硫酸高铁的硫酸溶液就具这两种性质。

在用含有硫酸高铁的硫酸溶液酸洗时发生下列反应：



(Me— 在氧化作用的顺序中位于三价铁离子前面的金属，如铬、镍等)

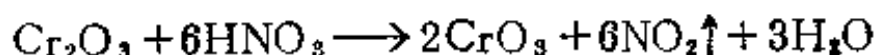
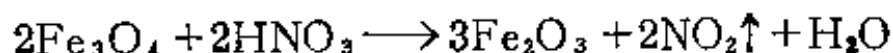
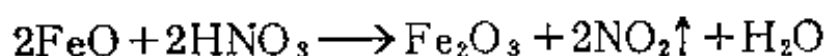
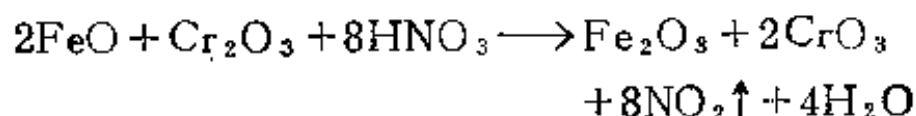
降低 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 的浓度时，金属会产生严重的腐蚀，由此可见， $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 既是氧化铁皮的氧化剂，同时又能在酸洗时保护金属。

3. 用硝酸和氢氟酸的混合酸液酸洗

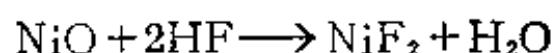
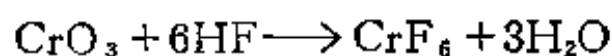
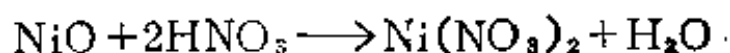
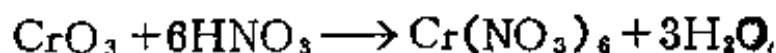
目前国内外广泛采用硝酸和氢氟酸的混合酸液酸洗奥氏体不锈钢钢管。

1Cr18Ni9Ti等奥氏体型不锈钢钢管，由于其氧化铁皮中所含的三氧化二铬 (Cr_2O_3) 和尖晶石 ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$) 不溶于一般的酸，酸洗比较困难。用硝酸和氢氟酸的溶液酸洗，可把不锈钢管氧化铁皮中不溶于酸的低价氧化物先氧化成能溶于酸的高价氧化物，然后进行高价氧化物的溶解，其化学反应过程如下：

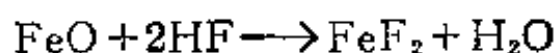
1) 铬和铁的低价氧化物被氧化成高价氧化物

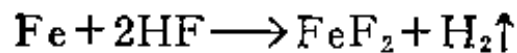
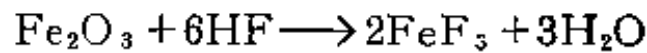
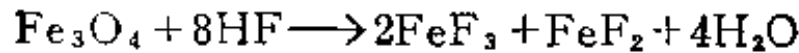


2) 高价铬和镍的氧化物的溶解



3) 铁及其氧化物的溶解

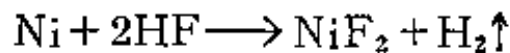
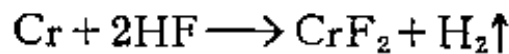




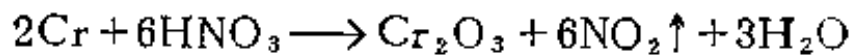
硝酸也可以溶解 FeO 、 Fe_2O_3 和 Fe_3O_4 ，但是它能使铁钝化，生成钝化膜。

4) 钢基的溶解和钝化

钢基能被 HF 溶解：



但是， HNO_3 能使钢基钝化，生成铬的低价氧化物保护膜：



硝酸和氢氟酸混合溶液的配比，有的厂为：4~6% HF +8~12% HNO_3 。酸洗温度一般为50~60℃。铁盐的含量应<18克/升。铁盐含量>18克/升时，酸液改为去油用。酸洗时间一般为20~40分钟，以氧化铁皮洗净为止。酸洗时要勤于检查，防止过酸洗。

在配制酸洗液时，在槽中先加水，然后加硝酸和氢氟酸。

氢氟酸能腐蚀玻璃，一般用塑料瓶盛装。酸洗槽多用硬聚氯乙烯板制成。

二、碱酸复合洗

由于酸法酸洗高合金钢管时，不能保证获得均匀而清洁的金属表面，金属损失大，酸耗高，并且存在出现局部腐蚀和点腐蚀的危险。近年来碱酸复合洗得到了应用和发展。

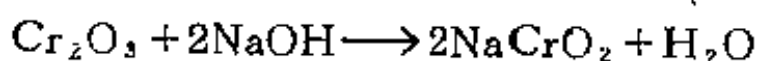
碱酸复合洗时，钢管先在温度为400~500℃的氢氧化钠和硝酸钠的熔液中处理氧化铁皮，使它变得疏松、呈棉絮状并易于溶解在酸中。然后取出，浸入冷水洗涤槽，这时疏松的氧化铁皮层大部分被热钢管浸入冷水槽时所生成的蒸汽除去。为了得到洁净而光亮的表面，钢管在碱液中处理并经冷水洗涤后，需要再在10~12% HCl 、3~5% NaCl +15~18% H_2SO_4 或2~4% HF +8~12% HNO_3 的酸液中进行酸洗，酸洗的温度约为60~70℃，时间

为3~10分钟。最后在50~55℃的5~8% HNO₃溶液中钝化2~3分钟。

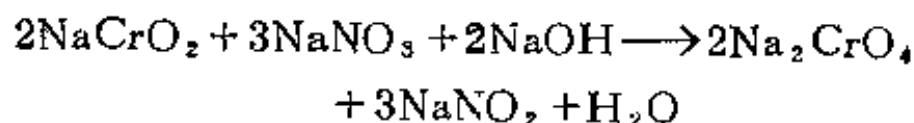
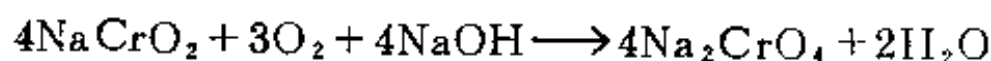
在进行不锈钢和耐热钢等高合金钢钢管的复合洗时，适宜的氢氧化钠与硝酸钠的配比具有重要的意义。熔液和氧化铁皮应具有最大的反应能力，同时熔点要低，粘度要小。粘度小钢管从碱液槽中取出时带出的熔液比较少。生产中常用的配比为70~80% NaOH + 20~30% NaNO₃。

碱洗时的反应过程如下：

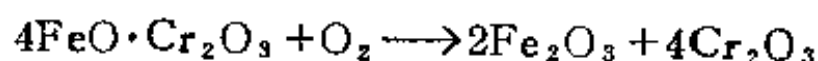
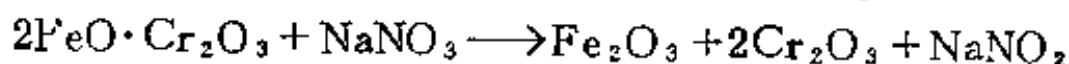
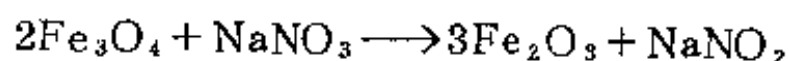
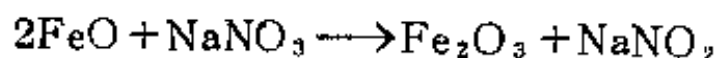
1) 三氧化二铬与氢氧化钠作用生成亚铬酸盐



2) 亚铬酸钠被空气中的氧或熔液中的硝酸钠氧化生成易溶于水铬酸钠



3) 氧化铁皮中低价铁的氧化物和铁的亚铬酸盐被空气中的氧或熔液中的硝酸钠氧化



由于低价铁的氧化物被氧化，氧化铁皮因发生体积和结构的变化而遭到破坏。破坏后的氧化铁皮一部分在碱液中已经剥落而沉于槽底，另有一部分当钢管在冷水中洗涤时被生成的水蒸汽除去。仅有很少量残留的氧化铁皮是在以后的酸洗时清除的。因此，采用碱酸复合洗时，酸洗过程进行得很迅速，而且酸的消耗不大。

钢管在熔融的NaOH-NaNO₃碱液中浸洗时，能够使氧化铁皮氧化、疏松，然后除去。但是碱洗时温度不宜过高，否则熔液中的氧或硝酸钠还会使金属本身氧化，形成第二氧化膜。第二氧

化膜是一种非常薄的钝化膜，导致以后酸洗的时间延长。

在 $\text{NaOH}-\text{NaNO}_3$ 熔液中加入食盐，可以降低其粘度，从而减少消耗。加入食盐还可以改善酸洗钢管的表面质量。

由于氢氧化钠和硝酸钠组成的碱液熔化温度低而且不怕过热，在 $600\sim 650^\circ\text{C}$ 时几乎不蒸发，因而在使用过程中可以不抽风。

第十三章 钢管的润滑^[1,2,5,7,8,29]

第一节 摩擦和润滑的基本概念

一、摩擦的起因和类型

在压力加工的塑性变形过程中，由于工具与金属之间有相对运动，因此就存在摩擦。摩擦的存在对变形过程有很大的影响，也是加工时采用工艺润滑的直接原因。下面介绍一些有关摩擦起因和类型的基本概念。

一般，摩擦系数和摩擦力用库仑定律来计算：

$$f = \frac{T}{N}$$

$$T = fN$$

式中 f ——摩擦系数；

T ——摩擦力；

N ——正压力。

关于摩擦的起因存在不少论述。下面简单介绍一下于摩擦的粘着理论和分子-机械理论，这两种理论都认为：摩擦物体表面总是高低不平的，平滑只是相对的。因此，当两个固体表面接触时，实际接触只发生在一些点上，即真实接触面积（物体接触的实际微小面积的总和）比名义接触面积（接触物体的外形尺寸）小得多。因为真实接触面积 A 很小，所以甚至在负荷 N 很小的时候，真实接触面积上也产生很大的单位压力。

粘着理论认为：在很大单位压力作用下，接触点上的金属将发生塑性变形，这时塑性接触点上的应力等于较软金属的压缩屈服极限或流动压力 p_m ，而真实接触面积等于负荷与流动压力之比，即 $A = N/p_m$ 。

在摩擦时，接触点产生瞬时高温，使两物体发生粘着，在相

对移动时粘着点被剪切断掉，两物体发生滑溜。摩擦就是粘着与滑溜交替进行的过程。这种过程使运动受到阻力，这阻力等于各粘着点被剪断时阻力的总和。它是构成摩擦力的主要部分，称为摩擦力的剪切项，其值为 $A\tau$ ， τ 是材料的剪切强度。此外，在摩擦物体表面比较粗糙时，硬物可嵌入软物并形成粘着，在相对移动时，这些粘着点也将被剪断，构成摩擦力的另一部分，称为摩擦力的粗糙度项（刨削项）。当表面不太粗糙时，这项力可以不计。在这种情况下有

$$f = \frac{T}{N} = A\tau / Ap_m = \tau / p_m$$

即摩擦系数为材料剪切强度与流动压力之比。

分子-机械理论则认为：在很大单位压力的作用下，摩擦物体接触时处在弹塑性混合状态，且表面互相啮合而接触。克服机械的互相啮合和克服分子引力是决定摩擦的两个因素。因此，分子-机械理论定义摩擦系数是摩擦力 T 与正压力 N 和两物体分子引力 N_0 之和的比值，即

$$f = \frac{T}{N + N_0}$$

或摩擦力

$$T = f(N + N_0)$$

上列关系称为摩擦二项式定律，比库仑定律具有更一般的形式。

根据摩擦物体表面状态以及是否有润滑剂，摩擦可分为下列几种类型。

1) 干摩擦。在摩擦物体表面没有润滑剂或任何玷污物（包括周围介质的微粒）的摩擦叫干摩擦（图13-1，a）。因此，严格地说，干摩擦是两接触表面的直接摩擦。这种摩擦可在物体表面发生显著的塑性变形时形成，因为这时可裸露出纯净的表面；也可在仔细净化表面的情况下在实验室中的高真空中获得。干摩擦的摩擦系数很高，如钢对钢的干摩擦，其摩擦系数为0.7~0.8。

但实际上，在一般条件下，仅会在相互作用表面的个别点产生干摩擦，纯粹的干摩擦是不存在的，因为即使在表面纯净的条件下，由于摩擦时有热和塑性变形的产生，促使金属和周围介质起化学变化如氧化等，这就会使摩擦系数降低，如钢对钢一般降为0.15左右。所以，实际上干摩擦习惯上是指非润滑体摩擦。

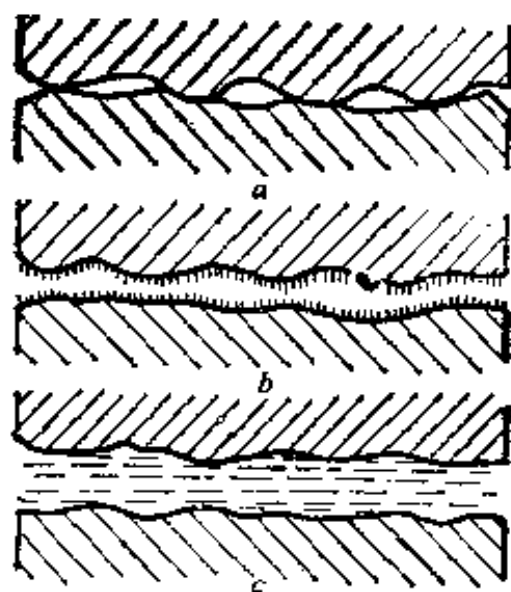


图 13-1 表面的接触

a—干摩擦；b—边界摩擦；c—液体摩擦

2) 边界摩擦。当摩擦表面存在极薄油膜（其厚度数量级为 $\frac{1}{100} \sim \frac{1}{10}$ 微米）时，通称为边界摩擦（图13-1, b）。若润滑剂中存在表面活性物质（例如脂肪酸、醇及其衍生物）时，在金属表面形成很薄的油膜。它具有特殊结构，表现在介质分子的活性端固定在金属表面上，分子垂直金属表面排列，形成一定数量的密集层（图13-2）。例如脂肪酸分子以其羧基 COOH 和金属连接（图13-2上的圆圈），羧基分子对称排列。因此，边界油膜具有类似于晶体的有序结构而且分层。这种结构有利于承受很大的法向载荷，同时，表现出很小的层间剪切阻力。

在边界摩擦的情况下，由于边界膜的作用，真实接触面积大为减少，同时由于边界膜的层间剪切阻力小，因而摩擦系数和摩

擦力比干摩擦要小得多。这时摩擦力可按下式计算（图13-3）：

$$T = \alpha A_r \tau_d + A_r (1 - \alpha) \tau_l$$

式中 A_r ——承担全部载荷的面积；

τ_d ——金属粘着部分的剪切强度；

τ_l ——边界膜的剪切强度；

α ——承载面积中真实接触面积所占的百分比， $\alpha < 1$ 。

边界膜的作用愈强， α 值愈小。

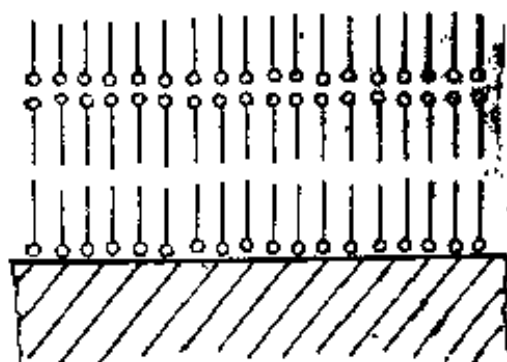


图 13-2 润滑油边界层的结构示意图

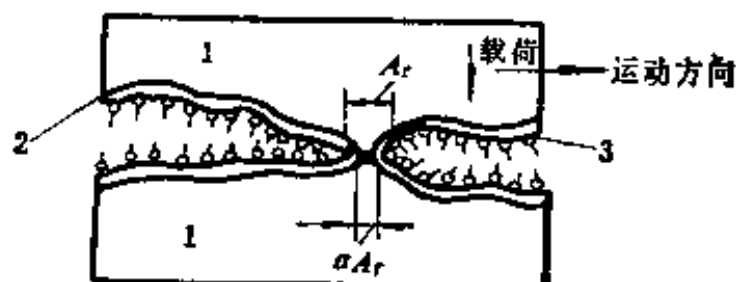


图 13-3 边界摩擦的真实接触面积

1—金属；2—氧化物；3—吸附极性分子

3) 液体摩擦。液体摩擦时，摩擦表面间存在一层连续的、较厚的润滑层（图13-1, c），摩擦表面完全被介质层分开，不存在表面凹凸不平处的直接咬合。

液体摩擦的性质和干摩擦及边界摩擦的性质有本质的区别。在液体摩擦的条件下，摩擦力的大小仅取决于处在摩擦表面之间的润滑层的层间剪切阻力，因而，它具有最小的摩擦系数和摩擦力。

4) 混合摩擦。包括半干摩擦和半液体摩擦。半干摩擦是干摩擦和边界摩擦的组合。表现为在摩擦表面上存在很少量润滑剂或其他物质。半液体摩擦是液体摩擦和边界摩擦或干摩擦、其他摩擦的组合。这时，摩擦表面之间具有润滑层，但是其厚度不足以完全把表面分开。

混合摩擦是比较常见的摩擦形式，特别是半液体摩擦。

在由液体摩擦和边界摩擦组成混合摩擦的条件下，总摩擦力可用下式表示（图13-4，a）：

$$T = \tau_f A_f + \tau_l A_l$$

式中 τ_f ——边界润滑层内的剪切强度；

A_f ——边界摩擦区的面积；

τ_l ——液体摩擦区润滑层体内的剪切强度；

A_l ——液体摩擦区的面积。

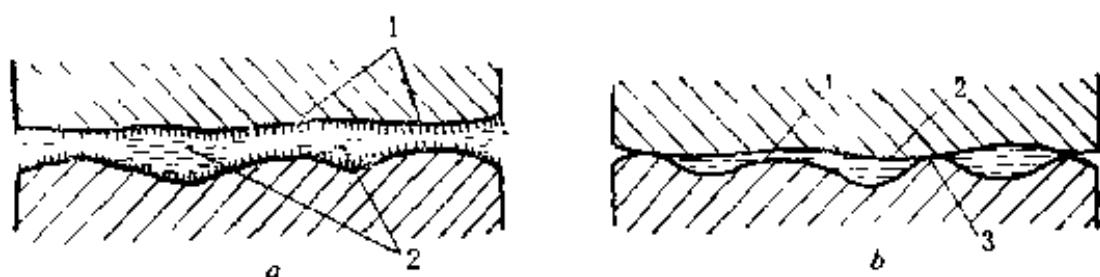


图 13-4 在混合摩擦（半液体摩擦）条件下的接触表面示意图

a—表面活性润滑油；b—非活性润滑油

分区：1—边界摩擦；2—液体摩擦；3—干摩擦

在混合摩擦兼具液体摩擦、边界摩擦和干摩擦时，总摩擦力为：

$$T = \tau_f A_f + \tau_l A_l + \tau_d A_d$$

式中 τ_d ——金属粘着部分的剪切强度；

A_d ——干摩擦区的面积。

由上可知，当润滑层的平均厚度增大时，由于液体摩擦区域增加，因而摩擦力将减小。若混合摩擦中存在干摩擦，将使摩擦

力增加，这在润滑不良和加工易粘结的金属如铝、钛、不锈钢时，容易出现。

在各种摩擦状态下，摩擦系数的大致范围如下：

干摩擦	$f = 0.7 \sim 1.0$
边界摩擦	$f = 0.1 \sim 0.3$
液体摩擦和边界摩擦的混合状态	$f = 0.03 \sim 0.1$
液体摩擦	$f = 0.002 \sim 0.1$

压力加工中塑性变形时工具与金属之间的摩擦系数比一般的滑动摩擦系数大，这有两方面原因。一方面是由于在塑性变形过程中会不断形成新的接触面，另一方面是塑性变形过程中的实际接触面积比一般滑动时的接触面积大大地增加了。

二、摩擦引起的后果

塑性变形过程中，摩擦的存在是不利和有害的，引起的后果主要表现为：

1) 摩擦力的存在改变了变形时作用力的分布情况，从而引起应力应变的不均匀分布，并产生附加应力，在变形后出现残余应力；

2) 提高金属的变形抗力，同时增加变形时的能量消耗；

3) 摩擦会提高工具的表面温度，从而降低工具的强度。此外，摩擦会引起工具的磨损，摩擦系数愈大，磨损程度亦愈大。

由上可知，摩擦对塑性变形过程有着非常重要的影响。

三、润滑的作用

为了降低摩擦，减少摩擦对塑性变形过程的不利影响，通常的办法是进行润滑。

润滑的作用是把两个摩擦表面隔开，尽量减少其接触。同时，改善或改变摩擦面移动时的力学性质，以降低摩擦和摩擦力。

用润滑油和润滑脂进行润滑时，润滑油和润滑脂中的极性分子在摩擦表面的吸附是有倾向性的。亲水基全部靠近金属表面，

分子间互相平行并尽可能紧密地包住金属表面。这样，分子既与金属粘着，彼此也相互粘着，结果在金属表面形成一层坚固的膜，它具有较高的抗压强度，能防止摩擦面间金属与金属的全部接触，见图13-5。

润滑油和润滑脂的润滑作用都有一定的温度限制。高于某一温度就失去润滑作用，这一温度称为转变温度。转变温度与润滑油、脂的熔点有关。熔点高、转变温度也高。超过转变温度，吸附的膜变得散乱、软化或熔化，所以润滑油、脂就失去润滑作用。

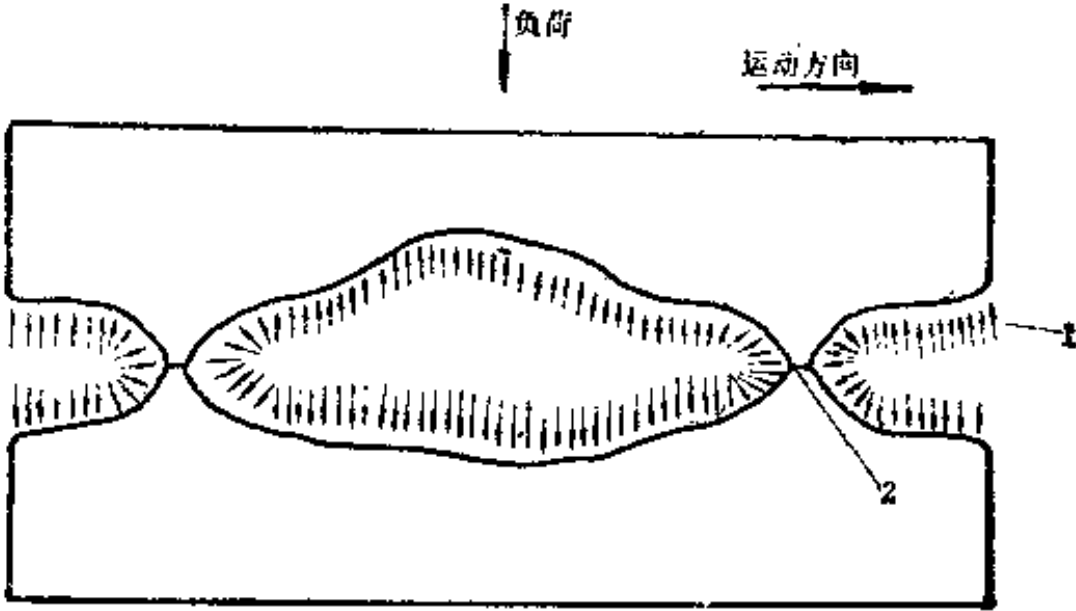


图 13-5 润滑油和润滑脂在摩擦表面中间的粘附
1—吸附的极性分子；2—金属间咬焊处

一些具有层状结构的晶体，因为它们具有各向异性的特点，常用作固体润滑剂。例如，在石墨晶体里，六个碳原子形成六边形的层状结构（图 13-6）。在层内相邻碳原子之间的距离为1.42埃，并以较强的共价键相连。而层与层的碳原子之间的距离为3.41埃，是以结合较弱的分子间力连接。在这种情况下，层与层的碳原子作用力就要比层内的弱得多。当对晶体的层施加切力时，层的劈开远比法向作用力对层的破坏容易，因此，层与层之间容易滑动。

二硫化钼 (MoS_2) 也具有各向异性的强度性质。在六方晶系层状结构的 MoS_2 晶体 (图13-7) 中, 每一层里的一个钼原子被六个硫原子所包围, 硫原子暴露在层的表面且与金属表面具有强的附着性。 MoS_2 晶体的一层由 S-Mo-S 三个平面构成, 这一层的基本厚度为 6.25 埃。每一层内部 S-Mo-S 以强的化学键相连, 在两层之间 S-S 以弱的分子间力相连。同一层内的硫原子间相距 3.26 埃, 而层与层之间相距 12.30 埃。

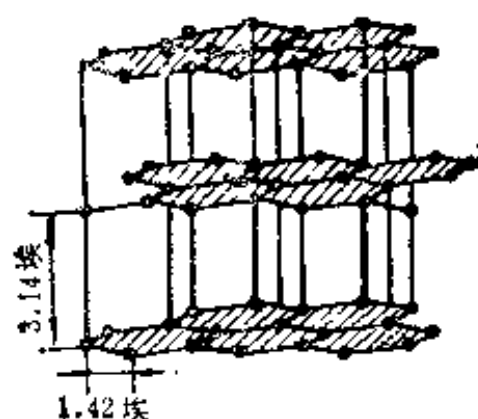


图 13-6 石墨晶体的结构模型

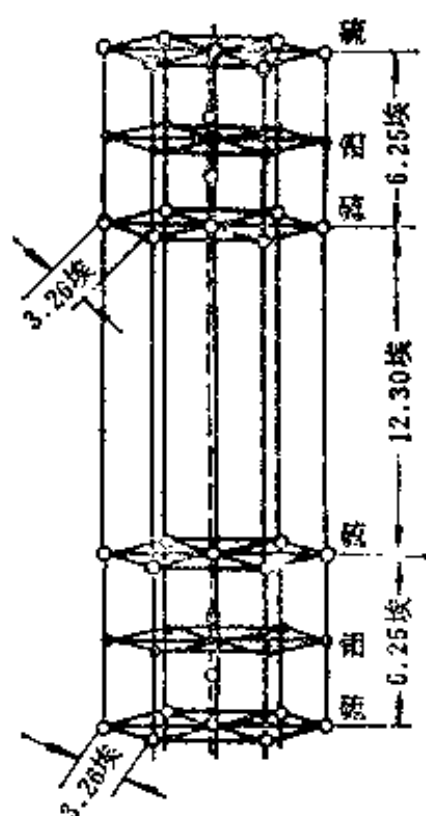


图 13-7 MoS_2 的晶体结构模型

只要层状结构排列方向平行于摩擦力的方向并且晶体表面与摩擦表面具有足够的附着性, 它就能起润滑作用, 即这时滑动面不再是金属与金属之间或金属与晶体之间, 而是晶体与晶体之间, 摩擦力转而由比较小的晶体层与层之间的作用力所决定。

在冷轧钢管时常用镀铜的铜层作为润滑剂的载体; 在冷拔钢管时常用磷酸盐薄膜, 有时用草酸盐薄膜作为润滑剂载体。铜是软金属, 磷酸盐和草酸盐是金属的化合物, 它们在起润滑剂载体

作用的同时，本身在塑性变形过程中也有一定减少摩擦的作用。

由前面提到的摩擦粘着理论知道， $f = \frac{\tau}{p_m}$ 。从该关系式可

以看到：要使摩擦系数 f 降低，就应使比值 $\frac{\tau}{p_m}$ 减小，亦即降低

剪切强度 τ 、提高流动压力 p_m 或两者同时配合着变化。在同一种材料上同时得到这种条件一般是不可能的，因为许多材料表明，当剪切强度低时，通常流动压力也是低的。但是，在硬的材料上使用剪切强度低的软金属或金属化合物，就可得到所需的条件。

图13-8表示了三种材料强度性质不同的摩擦物体的摩擦特性。图中第一种情况是两种硬金属的摩擦，这时，虽然接触面积 A 小，但 p_m 大、 τ 大，所以摩擦系数和摩擦力不一定小；图中第二种情况是一硬金属在一软金属上的摩擦，这时，虽然 τ 小，但是 A 大、 p_m 小，所以摩擦系数和摩擦力也不一定小。只有在两种硬金属之间加了低剪切强度的膜的第三种情况下，两种硬金属之间的摩擦系数和摩擦力才有可能降低，因为这时不仅 τ 和 A ，而且 p_m 也大。

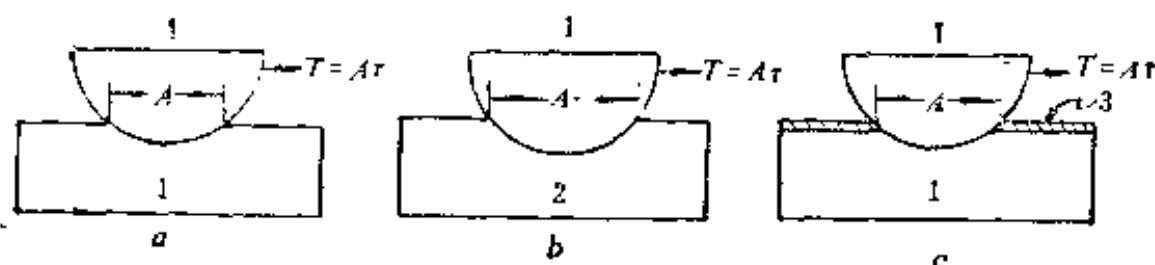


图 13-8 强度性质不同的摩擦物体的摩擦特性

a— τ 大， A 小， p_m 大；b— τ 小， A 大， p_m 小；c— A 、 τ 皆小， p_m 大

1—硬金属；2—软金属；3—干膜

四、对润滑的要求

在钢管冷加工中，为了使润滑具有很好的效应，即通过润滑降低摩擦能达到减小变形力和变形功，增加道次变形量，减少工具磨损提高工具使用寿命，避免由于工具磨损和粘结金属而恶化。

钢管的表面质量，以及提高加工速度增加生产率。在选择润滑方式时，应使所形成的润滑层能满足下列要求：

1) 润滑层能很快和牢固地附着在金属表面，耐压，具有良好的延伸性能，在变形过程中不脱落、不断开；

2) 润滑性能好，摩擦系数小；

3) 对金属、工具和设备没有腐蚀作用，不污染环境，对操作人员无害；

4) 在变形过程的温升范围内，不分解、不燃烧，性能稳定；

5) 易于去除；

6) 来源广，价格低。

在下面的各节中分别介绍钢管冷加工生产中常用的润滑方式。

第二节 磷酸盐处理加皂化的润滑方式^[31]

这种润滑方式目前广泛应用于碳钢、低合金钢和中合金钢钢管的冷加工生产中。其中磷酸盐处理后，所形成的磷化膜为润滑剂的载体，皂化所用肥皂为润滑剂。

经过磷酸盐处理和皂化以后，在钢管表面形成一层由钠皂、金属皂和磷化膜组成的润滑层（图13-9）。这种润滑方式的优点是：

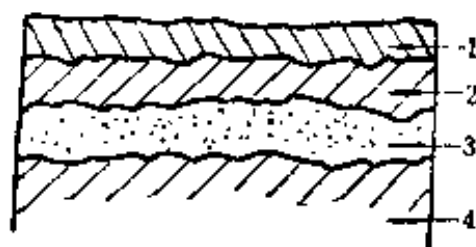


图 13-9 磷酸盐处理加皂化形成的润滑层

1—钠皂；2—金属皂；3—磷化膜；4—金属

1) 磷化膜具有一定的强度和良好的塑性；

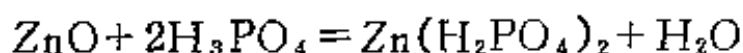
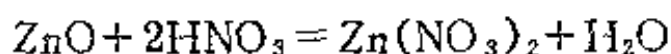
2) 磷化膜具有多孔性的结晶结构，它与钢管基体的结合力

很强，能吸附皂液等润滑剂。如以钠皂为润滑剂，磷化膜与钠皂反应生成坚固而润滑性能好的金属皂；

3) 整个润滑层耐压，延伸性大，摩擦系数小。

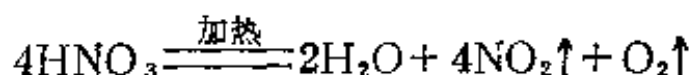
一、磷酸盐处理的原理

钢管冷加工生产中，磷酸盐处理（磷化）是以化学方式进行的，且一般属于中温型。磷化液以往用氧化锌（ ZnO ）、硝酸（ HNO_3 ）和磷酸（ H_3PO_4 ）配制。其中的硝酸和氧化锌的大部分反应生成硝酸锌 $[Zn(NO_3)_2]$ ，磷酸和余下的氧化锌反应生成磷酸二氢锌 $[Zn(H_2PO_4)_2]$ ，它们的化学反应式如下：



配制新磷化液时，先配母液，即在小槽中放适量的水，加入氧化锌，搅拌均匀，然后加入硝酸，再仔细搅拌。加入硝酸后，大部分氧化锌溶解，溶液为清乳色。最后加入磷酸，溶解剩余的氧化锌。母液配好后倒入磷化槽配制工作液。倒入母液之前，磷化槽要清理干净并预先放入一大半水，通蒸汽加热到 $40^\circ C$ 左右。母液倒入后，加水到需要的高度，并进行充分搅拌，当温度达到 $65\sim 75^\circ C$ 时取样化验。配制新磷化液所需要的磷酸也可直接加在工作槽里。

在配母液时，加入浓硝酸后溶液的温度升高，硝酸受热会分解出二氧化氮（ NO_2 ），冒棕色的烟并有毒，其分解的反应式如下：



为了防止污染，生产中目前已多改用直接加入 $Zn(NO_3)_2$ ，即用 $Zn(NO_3)_2$ 、 ZnO 和 H_3PO_4 来配制磷化液。

磷酸加入时也放热，因此槽内开始的水不能太少，否则会出现沸腾和冒蒸汽的现象。

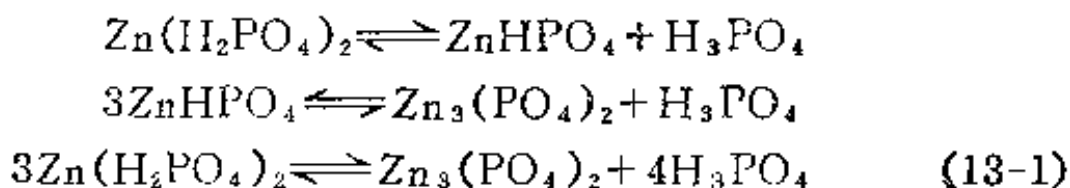
磷化膜的生成是磷酸二氢锌水解及与钢管铁基体作用的结果，而硝酸锌的加入可加速这个过程，所以是实现快速磷酸盐处理的催化劑。

下面从磷酸盐的性质和磷化膜的生成过程两个方面来介绍磷酸盐处理的原理。

1. 磷酸盐的性质

磷酸是三元酸，金属取代酸中的氢离子之后，可生成三种磷酸盐。金属取代磷酸中一个 H^+ ，生成第一磷酸盐（也叫磷酸二氢盐），如 $Fe(H_2PO_4)_2$ 、 $Zn(H_2PO_4)_2$ 等。第一磷酸盐皆溶于水。金属若取代了磷酸中两个和三个 H^+ ，则分别生成第二、第三磷酸盐，也分别叫磷酸氢盐和磷酸盐。第二、第三磷酸盐除钾、钠、铵盐溶于水外，其他都难溶于水。如第二磷酸锌（磷酸氢锌） $ZnHPO_4$ 、第三磷酸锌（磷酸锌） $Zn_3(PO_4)_2$ 等就都难溶于水。

锌、铁、锰等的第一磷酸盐是强酸弱碱盐，在水溶液中水解生成第二和第三磷酸盐，而且温度愈高，水解反应进行得愈彻底。其水解反应如下：

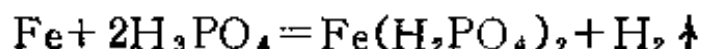


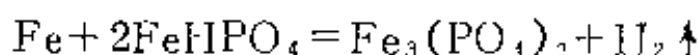
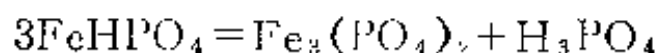
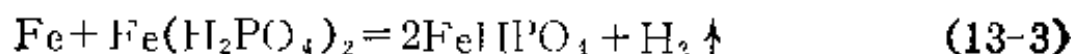
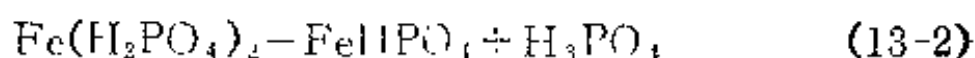
水解的结果，溶液中出现游离的磷酸，使溶液呈酸性，同时生成难溶的第二、第三磷酸锌。

2. 磷化膜的生成过程

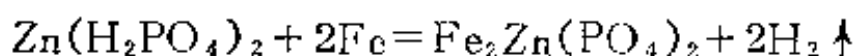
磷化膜的主要组成部分是磷酸锌 $[Zn_3(PO_4)_2]$ 结晶。磷酸锌结晶开始析出在钢管表面的阴极部位，以后晶粒长大，逐渐形成薄膜。磷化膜的其他组成部分为磷酸氢锌（ $ZnHPO_4$ ）和铁的第二、第三磷酸盐 $[FeHPO_4$ 、 $Fe_3(PO_4)_2]$ ，也可能有磷酸铁和锌的复盐 $Fe_2Zn(PO_4)_2$ 。各组成的比例决定于磷化液的成分、磷化的时间和温度。

磷化液中由于第一磷酸锌水解，溶液中含有磷酸。钢管放入磷化液中后，金属铁与磷酸相互作用并产生溶解，生成铁的第二、第三磷酸盐，发生的反应如下：





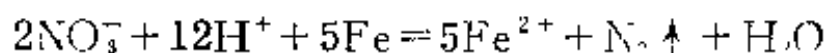
此外还会发生下列反应：



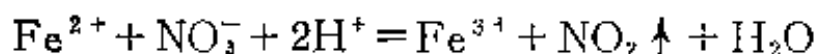
反应结果，在钢管与磷化液的接触界面上第二、第三磷酸盐的浓度不断增加，当它们达到过饱和时就结晶沉积在钢管表面上。

随着磷化膜的生成，钢管表面与溶液被隔开，氢气泡析出减少，甚至停止。所以，可根据磷化槽中析出氢气泡的多少判断磷化膜的生成过程是否完结。

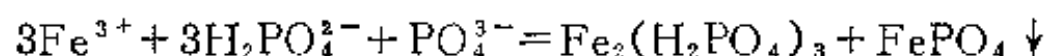
磷化液中的硝酸锌，作为氧化剂，一方面它把由反应产生的附着在钢管表面的氢气氧化生成水，加快磷化液与钢管表面的接触；另一方面，它在钢管表面上夺取铁的电子，促使金属表面氧化而加速铁的溶解，所以硝酸锌的含量会影响磷化膜的质量，其反应如下：



由于硝酸根的作用加速了铁的溶解，钢管与磷化液接触界面上铁离子的浓度增加，使结晶核增多、磷酸二氢锌分解而析出磷酸氢锌和磷酸锌的过程加快，生成细密而牢固的磷化膜。此外，硝酸根的存在能不断地将亚铁离子 Fe^{2+} 氧化为正铁离子 Fe^{3+} ：



Fe^{3+} 与磷酸氢根、磷酸根作用，生成磷酸氢铁和磷酸铁：

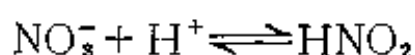
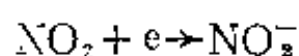


磷酸铁部分沉积在钢管表面成为不溶于水的磷化膜的一部分，另一部分沉积到槽底成为沉淀物。在沉淀物中也可能混有 $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ 等其他成分。

磷化液中还可加入其他催化剂，特别是在中低温磷化的情况

下，以进一步加快磷化过程，减少或抑制 Fe^{2+} 的集聚，增强磷化膜和钢基的结合。常用的催化剂分三类，即无机盐如 NaF 、 NaNO_2 等，有机物如EDTA等以及某些重金属离子如 Ni^{2+} 、 Pb^{2+} 等。它们分别以氧化、络合或改变电极电位参加反应，从而加速磷化过程。

根据有的钢丝磷化试验，加入适量的 NaNO_2 ，对中温磷化，在加速磷化过程和消除 Fe^{2+} 的集聚方面有较好的作用，磷化膜的厚度和质量良好，渣量也少。因为 NaNO_2 在含硝酸的磷化液中会产生自生催化作用，其反应如下：



由上列反应式可知，只要使溶液中的 NO_2^- 形成一定的初始浓度，便可自动转化成 NO_2 。 NO_2 与 Fe^{2+} 络合生成 $[\text{Fe}(\text{NO}_2)]^{2+}$ 络离子，使磷化液能稳定地工作。同时一部分 NO_2 不断取得电子又变成 NO_2^- ，有利于铁的电离和氢的逸出，从而加速磷化过程。 NaNO_2 的加入量为0.1~0.3克/升。

二、磷化液各成分的配比和调整

使用 ZnO 、 HNO_3 和 H_3PO_4 配制磷化液时，其配比一般为：

ZnO 、克/升	9~15
HNO_3 ，克/升	12~18
H_3PO_4 ，克/升	5~8

使用 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 、 H_3PO_4 和 ZnO 配制磷化液时，有的厂使用的配比为

$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ，克/升	8
H_3PO_4 ，克/升	7
ZnO ，克/升	1.25

配好的新磷化液要取样化验。全面化验要分析七个项目，其相应指标应在下列范围内

总酸度	25~35滴
游离酸度	4~6滴
Zn	9.5~11克/升
HNO ₃	17~20克/升
H ₃ PO ₄	3~6.5克/升
Fe ²⁺	无
SO ₄ ²⁻	无

磷化的温度以65~75℃为宜，一般不超过80℃，磷化时间约为7~10分钟（碳钢管）或15~30分钟（合金钢管）。

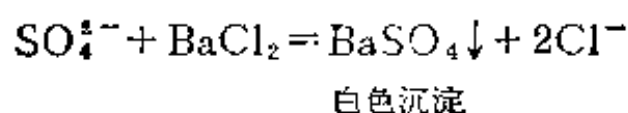
磷化过程中，溶液中所含的各成分因发生化学反应而逐渐减少。因此，它们必须随时补充，补充的办法是加调整母液。由于磷化时磷酸的消耗极快，因此，母液中更要多加磷酸。调整母液的配比大致如下：

ZnO, 克/升	150
HNO ₃ , 克/升	180
H ₃ PO ₄ , 克/升	150

溶液经过调整后也要取样化验。

在连续进行磷化处理的过程中，除了溶液的酸度改变，Zn、HNO₃和H₃PO₄的含量逐渐下降以外，若磷化前钢管冲洗不净，还会带入硫酸根离子SO₄²⁻和亚铁离子Fe²⁺，而且在磷化过程中也会产生亚铁离子，因此，磷化液中SO₄²⁻和Fe²⁺的量会逐渐增多。SO₄²⁻和Fe²⁺增多对磷化过程和磷化膜质量产生不利影响。因此在必要时，除了化验分析总酸度、游离酸度、Zn、HNO₃和H₃PO₄的含量外，还要分析SO₄²⁻和Fe²⁺的含量，一般应保证SO₄²⁻≤5克/升、Fe²⁺≤2.5克/升。大于这些值时应设法将它们消除。

消除SO₄²⁻多用加入氯化钡的办法。加入氯化钡（BaCl₂·2H₂O）后，SO₄²⁻生成难溶的硫酸钡（BaSO₄）沉淀于槽底，反应式如下：



用氯化钡消除 SO_4^{2-} 时，在溶液中产生氯离子（ Cl^- ），它会影响磷化过程。

消除亚铁离子的办法是加硝酸或双氧水（即过氧化氢 H_2O_2 ），它们都能使 Fe^{2+} 氧化成三价铁离子 Fe^{3+} ， Fe^{3+} 与磷酸根离子 PO_4^{3-} 生成 FePO_4 沉淀于槽底。

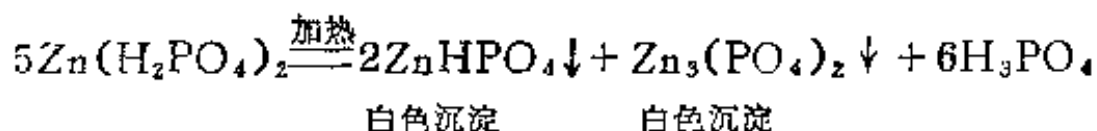
三、磷化过程的质量分析

1. 从磷化液的物理状况分析

磷化液的颜色有白色或接近无色、绿色和发暗或接近棕色三种情况。前两种颜色属正常，新配的磷化液常为白色或接近无色，使用一段时间后，颜色逐渐发绿。发绿的磷化液磷化效果好。磷化液颜色发暗则磷化效果不好。颜色发暗的原因通常是硝酸的含量过高。硝酸与铁反应生成 NO_2 （棕色气体），使磷化液发暗。在这种磷化液中磷化时，钢管表面不能形成磷化膜，而常生成一擦即掉的黑膜。

正常的磷化液应该是透明清晰的。磷化液混浊的原因可能是温度过低或成分配比不适当。

磷化液会出现沉淀。沉淀的产生有三个可能的原因。如果配制新磷化液时加入槽中的母液是透明清晰的而又没有向槽中直接加入 ZnO ，则沉淀是由于磷酸二氢锌加热分解生成的白色磷酸氢锌和磷酸锌发生了沉淀，分解反应如下



根据有的厂的经验，在配制新磷化液时，磷化槽的温度应先保持在 40°C 左右，待倒入母液并搅拌均匀后，再把温度提高到 $65\sim 75^\circ\text{C}$ 的使用温度。否则会出现 $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 分解过多的情况，使溶液中 $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 的含量减少，磷化效果降低，同时产生大量沉淀。在向磷化槽中直接加入氧化锌或氧化锌与酸的白色悬浊液时，可能发生不溶的白色氧化锌的沉淀。此外，用氯化钡消除硫酸根离子时，将生成白色硫酸钡沉淀，在消除亚铁离子时还会形成磷酸铁沉淀。

磷化槽中沉淀过多时，沉淀物将覆盖在钢管表面上，降低磷化膜质量。因此，一般不采用直接向磷化槽中加入氧化锌的办法，以减少氧化锌的沉淀。磷化温度一般控制在 $65\sim 75^{\circ}\text{C}$ ，温度过高会促进 $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 分解，这既影响磷化效果又增加沉淀。但由于磷化过程中 $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 的分解总在进行着，同时还会有 FePO_4 的沉淀。因此，磷化槽中总会有或多或少的沉淀物。为了防止沉淀物对磷化过程造成不良影响，应定时进行清渣。

2. 从磷化膜的物理状态分析

前面已提到磷化膜主要由磷酸锌 $[\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2]$ 的晶粒构成。磷酸锌晶粒呈片状的磷酸锌薄膜具有多孔性，吸附肥皂液时能比镀铜层多 $2\sim 3$ 倍。

质量好的磷化膜具有下述特征：风干后呈青灰色；表面散布有明亮的晶粒；用干燥指甲刻划，出现白色条纹，经手指抹擦后仍留有白色条纹的痕迹；膜上没有覆盖和沉积大面积的白色粉末。

磷化膜单位面积的膜重应为 $15\sim 30\text{克/米}^2$ 。

3. 从磷化液的化验结果和磷化条件分析

对磷化液应建立化验制度。经常性的化验有时只进行总酸度和游离酸度的测定两项。对新配制的溶液、调整后的溶液和在出现问题时要进行七项或五项化验分析。七项化验是指总酸度、游离酸度以及 Zn 、 HNO_3 、 H_3PO_4 、 Fe^{2+} 和 SO_4^{2-} 的含量。五项是指上述七项中的前五项。

各化验项目所涉及的因素都对磷化过程和磷化膜的质量产生影响。下面分别进行讨论：

(1) 总酸度、游离酸度及总酸度与游离酸度之比的影响

磷化液的浓度通常采用测定酸度的办法控制。要测定的是总酸度和游离酸度。要求把其中的每一个以及它们的比值控制在合理的范围内。

游离酸度反映磷化液中游离磷酸含量的高低。总酸度可用来度量磷化液中 $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 的浓度，并与 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ （或 ZnO 和

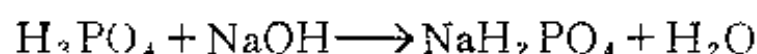
HNO₃)的含量有关。

滴(或点)是总酸度和游离酸度的计量单位。与10毫升磷化液进行中和反应需用的0.1摩/升氢氧化钠溶液的毫升数即为滴的数。用酚酞作指示剂滴定的结果称总酸度,用甲基橙作指示剂滴定的结果称为游离酸度。

根据磷化液配方可知,溶液中必然存在下列电化学平衡:



从H₃PO₄逐级电离常数可知,在第一等当点时,即用甲基橙为指示剂到滴定终点时,游离的H₃PO₄全部被中和至H₂PO₄⁻,即

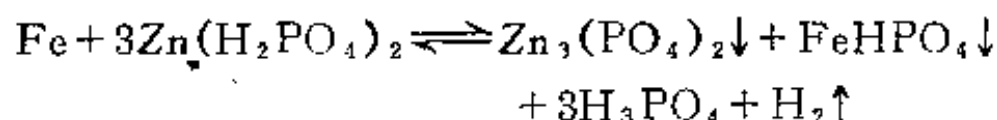


因此,游离酸度反映磷化液中游离磷酸含量的高低。

在第二等当点时,即用酚酞作指示剂滴定到终点时,H₃PO₄全部被中和至HPO₄²⁻,所以,总酸度可用来度量磷化液中Zn(H₂PO₄)₂的浓度。此外,由于溶液中存在Zn²⁺,在总酸度滴定至酚酞变色时,Zn²⁺基本上都已形成Zn(OH)₂沉淀。由于Zn²⁺的沉淀,必定消耗数量可观的NaOH,所以用上述方法滴定的总酸度与溶液中硝酸锌的含量有密切的关系,或者说与ZnO和HNO₃的含量有关。因为Zn²⁺离子主要来源于Zn(NO₃)₂,而它又是由ZnO与HNO₃按一定重量比(1:1.56)化合而成的。

下面来分析游离酸度和总酸度对磷化过程的影响。

把前已得出的式(13-1)+式(13-3)-式(13-2),可得磷化处理时总的化学反应式



但上述反应只有在钢管表面产生了电化学反应时才能出现。因为,产生电化学反应后,电子不断从阳极流向阴极,使阳极区的铁不断溶解,在阴极区放出大量的氢气。这样,磷化液中的

H^+ 离子浓度不断降低，溶液的酸性减弱，pH值逐渐升高，同时溶液中 Fe^{2+} 离子浓度不断增大，结果使总反应方程式的平衡向右移动，从而磷化膜得以生成。

由上可知，磷化液必须具有一定的游离酸度，因为这是钢管表面所需的电化学反应（图13-10）得以产生的必要条件，只有这样，一定的金属铁才能形成铁离子，并逸出氢气。如果，磷化

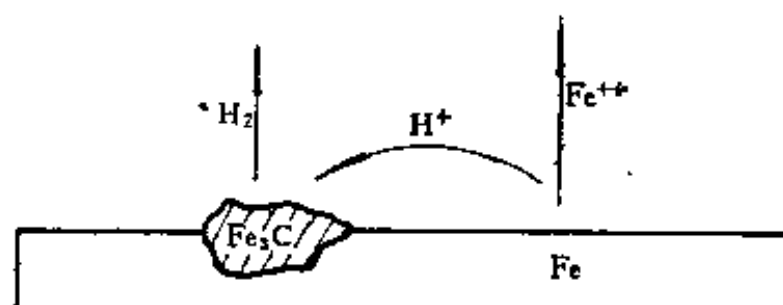


图 13-10 磷化时金属铁的溶解

液的游离酸度过低，表示溶解铁的游离酸含量太少，磷化膜发暗多孔，密着性差，甚至磷化不上，而废渣则增加。当游离酸过量即游离酸度过大时，会抑制磷化的总反应过程，使磷化膜难以生成，所得到的磷化膜疏松，粗大多孔。

在磷化反应中必须有磷酸二氢锌的存在。磷化液中磷酸二氢锌的浓度对磷化反应的影响很大，浓度过大过小都会影响磷化质量，因此必须控制其浓度，这就要控制总酸度。总酸度正常，磷化速度快，磷化膜细密。如总酸度过低，反应缓慢，不易生成良好的磷化膜。总酸度过高，反应强烈，所形成的磷化膜晶粒粗大质量不好。

总酸度和游离酸度除分别影响磷化过程外，这两者的比值称酸比，对磷化过程也具有很大的影响。因为酸比的大小反映了磷化液中各主要组成部分浓度之间的相互关系。一般酸比过高时，成膜时间长，磷化膜粗糙，沉渣增加；酸比过低时，磷化膜与钢管基体的附着力低，容易脱磷。

磷化液中总酸度应保持在25~35滴，游离酸度最好保持在1~4滴，而酸比与温度的关系见表13-1。

为了获得和保持合理的酸度和酸比，必须掌握好制备溶液时原料的配比，并在使用过程中适时地进行调整。

表 13-1 磷化液合理酸比与温度的关系

处理温度, °C	合 理 酸 比
80~100	4.5~6
60~80	6~10
45~60	10~20
30~40	20~30
<30	>30

当总酸度和游离酸偏低或酸比不符合工艺要求时可进行调整：游离酸度偏低时可加入 H_3PO_4 ；总酸度偏低时可添加硝酸和磷酸或硝酸锌；而添加氧化锌可同时降低游离酸度和提高总酸度。

但是，在使用期间若用直接补充用料来调整磷化液，常会因操作不当使磷化液的成分有较大的波动。如直接添加磷酸，游离酸度往往偏高，这样就降低了酸比；又如直接添加氧化锌，它在溶液中不易溶解，这会造成材料的浪费。因此调整时最好追加按各种材料消耗规律而配制的浓缩液。

（2）硝酸根离子的影响

硝酸根含量高时，能大大加快磷化速度，使磷化膜致密均匀，但同时降低了膜的厚度。它的含量不足时，磷化膜附着力不好，还可能出现黄锈。硝酸根离子的含量过高时，可加入氧化锌和磷酸加以调整。一般溶液中 HNO_3 的含量应比 ZnO 的含量高2~3克/升或更多一些。

（3）亚铁离子的影响

在磷化过程中，金属铁溶解成亚铁离子 Fe^{2+} 而进入溶液中。由于亚铁离子的半径和锌离子的相近，因而当磷化液中有 Fe^{2+} 离子存在时，磷酸氢铁 $FeHPO_4$ 、磷酸亚铁 $Fe_3(PO_4)_2$ 和磷酸锌 $Zn_3(PO_4)_2$ 会同时在钢管表面析出。这样得到的磷化膜，质量

要比单由 $Zn_3(PO_4)_2$ 构成的要差。此外，亚铁离子含量过高，磷化膜晶粒粗大，也可能不产生磷化反应。因此，磷化液中亚铁离子的含量要控制在一定的范围之内。当溶液呈酱色时，说明亚铁的含量已过高，一般可及时加硝酸和适当提高温度来降低亚铁离子的含量。

(4) 硫酸根离子的影响

硫酸根离子是由于钢管酸洗后没有冲洗净而带人磷化槽中的，另外，磷酸、硝酸、氧化锌和水中也可能含有这种离子。它的存在使磷化膜疏松多孔，磷化时间增加，硫酸根离子吸附在膜的孔隙里促使铁基体腐蚀。同时，由于硫酸根离子能与锌离子 Zn^{2+} 、亚铁离子 Fe^{2+} 生成硫酸锌 $ZnSO_4$ 、硫酸亚铁 $FeSO_4$ ，它们会发生水解，引起磷化液酸度的变化，影响磷化膜的生成。实践表明，当溶液中硫酸根离子的含量超过5克/升时，磷化膜就不再生成。前面已提到，消除硫酸根离子的办法一般是加氯化钡。

除磷化液的化学成分外，磷化条件包括温度、时间、钢管的化学成分和表面状态，以及磷化槽中沉淀物的量，都影响磷化过程和磷化膜的量。

温度对磷化反应的影响是很大的，使用同一种磷化液、改变磷化温度，磷化过程就有明显变化。

磷化按处理温度可分为高温、中温和低温磷化三种。

高温磷化在 $80\sim 98^{\circ}\text{C}$ 时进行。因为处理温度较高，能促使磷化过程中产生的氢气脱离钢管表面，使溶液和钢管基体紧密接触，同时，能加速溶液中离子的扩散、及时补充钢管表面的 Zn^{2+} 、 $H_2PO_4^-$ 等离子，因此，磷化反应和成膜速度快。另外，高温磷化还有磷化膜与基体结合牢固、耐腐蚀性能好等优点，但是它存在水分蒸发快、磷化液成分波动大以及沉渣较多等缺点。沉渣多是因为温度高反应快能促进亚铁离子氧化，使游离酸度不稳定，磷酸盐直接从溶液中析出面沉淀。

中温磷化的处理温度为 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ ，其优点是溶液成分稳定、磷化时间短和生产效率较高，而磷化膜的润滑性和耐蚀性都可达

到与高温磷化接近。但在工艺不合理时会出现 Fe^{2+} 的集聚，形成的磷化膜薄而不牢、晶体粗而松。

低温磷化在低于 50°C 时进行。其优点是不需加热、溶液成分稳定和成本低，其缺点是磷化膜的结合力低，耐热和耐蚀性较差，而且处理时间长、生产率低。

钢管生产中一般采用中温磷化。从节能、降低成本、获得结晶细密的磷化膜、防止沉渣过多以及方便操作等方面考虑，可认为中温磷化比高温磷化更为合理。

因此，磷化温度不是越高越好。必须按需要确定磷化的温度类型及相应磷化液的配比，或者根据一定配方的磷化液，把温度控制在合理范围，以达到良好的磷化效果。

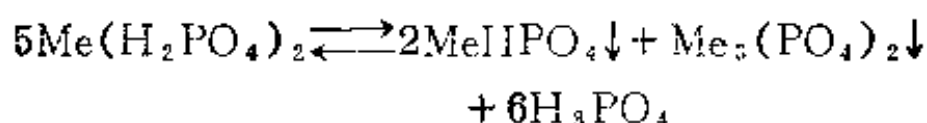
在磷化液及其他条件都相同的情况下，一般，处理时间长，磷化膜的厚度（重量）增加，但是膜的厚度不与时间成正比地增加，而是开始时磷酸盐析出的重量增加得很快，到一定时间后逐渐变慢，甚至停止。所以时间对磷化过程的影响是有一定限度的。

磷化时间与钢管的材质、表面状态以及溶液的浓度等因素有关。

磷化处理一般只用于碳钢和低、中合金钢钢管的冷加工生产。碳钢钢管较低、中合金钢钢管易于磷化。碳钢钢管中，含碳量较高的易于磷化。对于高合金钢钢管，磷化时要用强酸腐蚀，否则不易形成磷化膜。所以润滑时不采用磷化处理。

钢管表面洁净程度对磷化过程有很大的影响。钢管表面如存在氧化铁皮、水锈膜、酸洗残渣、油污或油污和肥皂在退火后形成的半碳化的颗粒以及亚铁离子，将大大影响磷化膜的生成，降低磷化膜的质量，甚至不能形成磷化膜。因此，磷化前钢管表面必须清洗和冲洗干净。

定期清除磷化槽中的沉淀物，也是控制磷化液使之正常工作的一个有效措施。沉淀物过多或过少都会影响磷化过程的正常进行。因为由下面的磷酸二氢盐的分解反应



(Me代表Fe、Zn等金属)

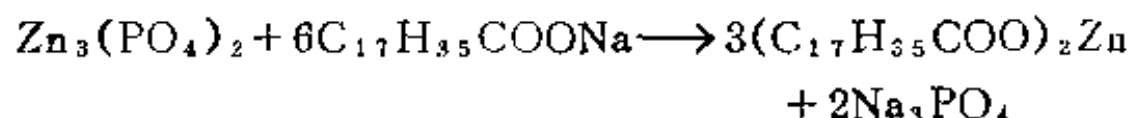
可知，沉淀物多了，磷酸二氢盐不易分解；相反，若没有沉淀物，溶液中的磷酸多了出来，也妨碍磷酸二氢盐的分解。结果，磷化膜的形成受到了限制。根据经验，在正常的情况下，沉淀物的体积应约为磷化液总体积的 $\frac{1}{20} \sim \frac{1}{30}$ 。

四、皂化和去磷

磷化后生成在钢管表面的磷化膜仅是润滑剂的载体，即润滑底层，不能单独使用。用作为润滑层，钢管表面的磷化膜还要涂上肥皂，即皂化。

用于皂化的肥皂是各种高级脂肪酸的钠盐(RCOONa)，它具有润滑性和吸附性，其脂肪酸的含量应 $>60\%$ ，游离碱的含量应 $<1\%$ 。一般使用的都是用动物油脂与碱反应而制取的肥皂。

具有多孔性结晶结构的磷化膜在吸附了润滑剂肥皂之后，产生复分解反应，在钢管表面形成一层由锌脂和磷酸钠组成的金属皂薄膜，反应如下：



金属皂耐压而有良好的润滑作用。

用于磷化后皂化的肥皂液、其脂肪酸的含量应为30~50克/升，游离碱的含量应 <4 克/升。配制肥皂液时，先在小槽中注入一定量的水，然后加入计算量的肥皂，用蒸汽直接加热溶化。溶化后的肥皂倒入具有一定水量，水温为50~60℃的工作槽中，再加水到规定的水量，停止加热。当温度降低到40~50℃时，便可进行皂化操作。皂化时间一般为5~10分钟。

当皂化液中的脂肪酸含量 <30 克/升，而磷酸根离子 PO_4^{3-} 和硫酸根离子 SO_4^{2-} 的含量又分别达到0.085克/升和2克/升时，应添加一定量溶好的肥皂，使脂肪酸含量提高到规定的范围。为了

减少 PO_4^{3-} 和 SO_4^{2-} 的含量，钢管在磷化之后应进行中和处理或水清洗。

皂化后，如果钢管在潮湿情况下进行拔制，由于肥皂与钢管表面的结合较少，润滑效果受到影响。为了提高皂化的润滑作用，同时也是为了去氢防止氢脆，皂化后钢管最好进行干燥，干燥温度为 $150\sim 180^\circ\text{C}$ ，干燥时间，对进行短心棒拔制的钢管为 $45\sim 60$ 分钟，对无心棒拔制的钢管为 $15\sim 20$ 分钟。

若钢管的磷化质量不好，有时需要去掉磷化膜润滑层以重新进行润滑。这种处理叫去磷。

去磷常用两种方法。一是送进热处理炉，把润滑层烧掉，这种方法会影响钢管表面质量。二是用化学法；第一步用 $15\sim 20\%$ NaOH 的溶液把钢管表面肥皂中的油脂去掉并进行清洗；第二步利用酸洗的硫酸或盐酸溶液把磷化膜洗掉，然后清洗。去磷后的钢管重新进行磷皂和皂化。

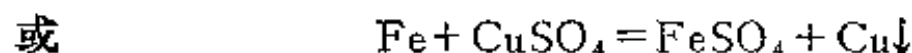
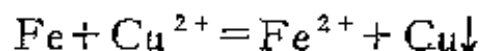
第三节 化学镀铜加皂化或其他工艺润滑的润滑方式

化学镀铜目前主要用于不锈钢等高合金钢钢管的冷轧生产中。由化学置换反应得到的铜层也是润滑剂载体，镀铜后的钢管还要进行皂化或其他工艺润滑。

进行磷化处理的钢管也可在磷化前先镀铜，这样有助于磷化时磷化膜的形成。

一、化学镀铜的原理及工艺

化学镀铜是为了在钢管表面上析出一层致密和牢固的铜层，一般是在硫酸铜溶液中进行的。硫酸铜($\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$)能溶解在水中并离解成 Cu^{2+} 及 SO_4^{2-} 离子。当钢管放到了硫酸铜溶液之后，根据金属的活动顺序，铁能置换铜，并很快发生下列反应：



析出的铜沉积在铜管表面。以上就是化学镀铜的基本原理。

在用来进行化学镀铜的硫酸铜溶液里，还应含有硫酸和动物

胶，它们通常的配比是：

硫酸铜($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	15~25克/升
硫酸(H_2SO_4)	20~40克/升
明胶	0.1~0.2公斤/米 ³

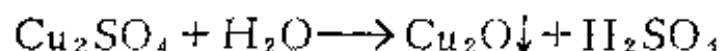
镀液的浓度、酸度、温度及铁离子含量等是决定铜离子沉积速度、影响镀层质量的因素。

镀液中硫酸铜是主剂，是提供铜离子的来源。硫酸铜浓度的高低决定着镀液中铜离子含量的多少。如果硫酸铜浓度过低，会延长镀铜时间并且不易获得所需厚度的镀层，所以镀液中应含有一定量的硫酸铜，并在使用过程中随其含量的降低进行调整。但是，铜的沉积速度过快，会使铜的晶粒迅速成长，导致镀层疏松、粗糙，影响镀层与基体的结合，质量降低。因此，镀液中硫酸铜的浓度也不能过高，要加适当控制。

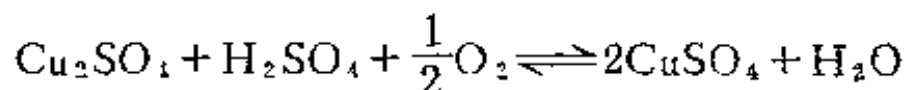
镀液的酸度指硫酸的浓度。镀液中必须加入一定量的硫酸，其作用是：

1) 活化钢管表面，即去除钢管表面在酸洗后的冲洗过程中产生的水锈。水锈的存在会降低铜层和钢基的结合，甚至镀不上铜层；

2) 防止硫酸亚铜的水解，形成低价的氧化物 Cu_2O ：



Cu_2O 的沉积会降低镀层质量。加入硫酸特别是同时鼓入空气搅拌，可防止 Cu_2O 的生成：



但若 H_2SO_4 的含量过高，会加速铁的溶解，致使产生大量氢气泡，影响镀层和基体的结合；同时，会增加硫酸亚铁的含量。

镀液中亚铁离子 Fe^{2+} 的浓度对镀液寿命影响较大。 Fe^{2+} 的浓度增加会污染硫酸铜溶液，恶化镀层质量，延长镀层时间，降低镀液寿命。因此， Fe^{2+} 的浓度必须控制在一定范围内。

明胶（动物胶）的作用是使镀层的结晶细密及与基体结合牢固。

一般不加明胶的镀层是粗糙和疏松的，与基体结合不牢，拉拔时容易脱落。加入明胶后，析出的铜层借助于明胶的胶膜而牢固地覆盖在钢基上，同时，对镀铜反应也有一定抑制作用。

但是，明胶的加入量不宜过多，否则将出现铜层发暗、发黑。明胶加入时先在水中加热溶化，再加入镀液槽中。

镀液温度对镀层质量的影响很大。温度较低时，镀层光亮致密，但是会增加镀铜时间，降低生产率。如果温度过高，则镀层的结晶粗大，铜层厚、粗糙、疏松，附着力差。因为温度高铜的沉积速度快，气体析出量增加。所以控制了温度也就控制了铜的沉积速度和氢气的析出。

镀液温度应 $\leq 25^{\circ}\text{C}$ 。镀后冲洗时的水温也应 $\leq 25^{\circ}\text{C}$ ，否则残存在钢管表面上的镀液将继续与基体反应，影响质量。

因此在高温季节应对镀液及水采取降温措施。也可以加入一些络合剂如加入硫脲50~150毫克/升，以降低铜的沉积速度。

化学镀铜前，钢管表面的氧化铁皮必须去掉，它是影响镀层质量的主要因素。此外，酸洗后存在于钢管表面的 FeSO_4 也必须冲洗干净。有时在镀铜之前还专门将钢管放在浓度为5~6%、含硫酸亚铁 < 250 克/升的废硫酸酸洗液中进行活化，时间为20~30分钟。

当溶液中硫酸亚铁的含量超过了110~120克/升和硫酸铜（ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ）的含量 $< 1\%$ 时，应停止使用，另配新液。

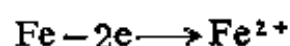
不锈钢管在冷镀铜时，每根不锈钢管的内外表面要放入和套上碳钢管，其工艺过程是：

酸洗 $\longrightarrow$ 清洗 $\longrightarrow$ 冲洗 $\longrightarrow$ 插放碳钢管 $\longrightarrow$ 活化 $\longrightarrow$ 镀铜

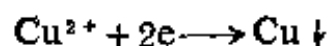
因为不锈钢中含有铬，铬具有惰性使钢管钝化不能从硫酸铜中置换出铜。但当不锈钢管内外放入和套上碳钢管后，因为碳钢管与不锈钢钢管接触，放入硫酸铜溶液中，铁和铬、镍等其

他金属元素构成原电池。铁（碳钢钢管）的电位高、活泼，为原电池的负极，铬、镍等金属（不锈钢钢管）电位低、不活泼，为原电池的正极，两极的反应为：

负极区域



正极区域



因此，发生着金属铁从硫酸铜溶液中置换出金属铜而沉积在正极区域，即不锈钢管的表面上。当然碳钢表面也析出金属铜，因为碳钢中含有 Fe_3C 等电位较低的杂质，它们与铁基体也构成原电池。

镀铜层的厚度波动在2~12微米之间。

二、镀铜后钢管的工艺润滑和去铜

为了获得润滑效果良好的润滑层，镀铜后的钢管要进行清洗并进一步进行工艺润滑。工艺润滑的方式之一是皂化。皂化方法有两种：一种是干涂肥皂，一般用于冷轧不锈钢钢管；另一种是热浸法，即将钢管置于热肥皂液中浸泡，这是常见的皂化方法，其工艺制度可参见钢管磷化后的皂化。除肥皂外，还可用其他材料作工艺润滑剂，如不锈钢钢管用牛油石灰（见第233页）。冷轧钢管时，有的工艺润滑也可在轧制过程中进行。

冷轧钢管时苏联所用的一些工艺润滑剂见表13-2。

含石墨的润滑剂具有较好的润滑效果。其缺点是热处理前不易去除，热处理时会引起钢管的局部渗碳，对于不锈钢钢管还会降低其抗晶间腐蚀性能。

滑石具有层状结构，使用时作为填料和润滑剂。

在润滑剂中含有氯的化合物可在钢管表面形成氯化亚铁（ FeCl_2 ），这一层薄膜具有良好的抗耐磨性能。

近年来在多辊式冷轧管机上也采用仪表用的高级机油作为润滑剂。

冷轧后的钢管有时要把铜层去掉即去铜，去铜有的采用硝酸溶液或硝酸加氢氟酸溶液。主要靠硝酸与铜的作用：

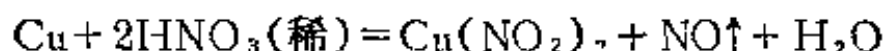


表 13-2 冷轧钢管时的工艺润滑剂

组 成	数 量, %	
	方案 I	方案 II
在二辊式冷轧管机上轧制		
蓖麻油或椰子油	60~65	60~40
滑石	40~35	35~40
氯化铵或氯化钠	—	15~20
聚合脂肪酸	60~80	—
滑石、氯化铵或氯化钠	40~20	—
乳化液或环烷酸皂	90	—
滑石	10	—
蓖麻油	70~80	80
氧化锌	30~20	20
石墨	10~15	—
钙基润滑脂	90~85	100
在多辊式冷轧管机上轧制		
蓖麻油	80	—
锌白	20	—
石灰乳	80	—
肥皂 (含60%脂肪酸)	20	—

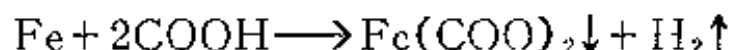
也可在含铬酐18~20%和硫酸0.1~0.2%的溶液中去铜。在室温下进行, 时间5~20分钟。

第四节 草酸盐处理加皂化的润滑方式

草酸盐处理(草化)国外应用较多, 主要用于不锈钢钢管的冷轧冷拔生产中。因为不锈钢钢管不能磷化, 有的不锈钢钢管如原子能用管不允许镀铜。草酸盐处理的效果不亚于镀铜, 并具有操作简单、速度快的优点。这种方法也可用于碳钢及一般合金钢钢管的润滑处理, 形成载体。

一、草酸盐处理的原理

草酸盐处理时，把酸洗和清洗后的钢管浸入草化溶液之中。溶液里的草酸 $[(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ 与铁基作用，产生下列置换反应：



结果，在钢管表面沉积上一层草酸亚铁薄膜。这就是草化的过程和目的。

有的厂对碳钢和低合金钢钢管的草化，采用下列的溶液配比和工艺制度：

草酸 $[(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$	15~25克/升
食盐 (NaCl)	20~25克/升
海波(即硫代硫酸钠 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)	0.1~1.0克/升
草化的温度	65~75°C
草化的时间	10~20分钟

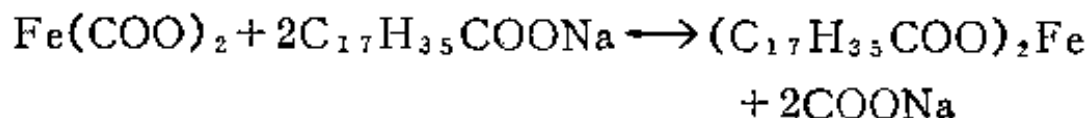
溶液中的硫代硫酸钠的作用是促进草酸亚铁的形成，因此叫促进剂。但它在草化的酸性条件下是不稳定的，会分解出硫、硫化氢和二氧化硫，有难闻的气味，并使草化溶液的成分难于控制。

不锈钢钢管草化时，通常用下列配比的草化溶液：

草酸 $[(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$	24克/升
碱式氧化铁 $(\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O})$	12克/升
重铬酸钾 $(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$	3.5~6克/升
食盐 (NaCl)	160~200克/升

二、草化后的皂化

草化膜也只是润滑剂的载体，草化后要进行皂化。在皂化过程中，草酸亚铁和肥皂产生下述复分解反应：



反应结果生成铁脂和草酸钠。所形成的润滑层具有良好的耐压性和延伸性能，润滑性也好。润滑层的厚度约为11~15微米。

草化后皂化所用的皂化液要求含有较高的脂肪酸、如有的

厂用含脂肪酸140~160克/升的皂化液。皂化后钢管进行清洗、中和和干燥。

草酸盐薄膜的颜色应呈草绿色,用指甲刻划,出现白色条纹。经皂化和干燥后,润滑层变为咖啡色。

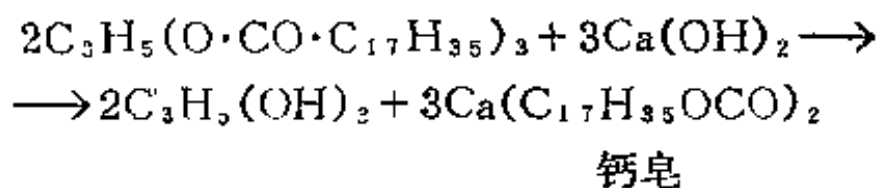
草化的操作过程比较简单,速度也较快。但有较大的腐蚀性,碳钢钢管和低合金钢钢管处理后应及时进行下个工序的加工。对于不锈钢钢管,使用草化有时容易出现划线和凹坑,这样使推广应用受到了限制。

第五节 不锈钢钢管的牛油石灰润滑

与碳钢及低、中合金钢钢管不同,高铬、铬镍不锈钢钢管在冷加工时变形抗力高,同时它们的导热系数低,变形过程中产生的大量的热由于传导散热很慢而集中于钢管表面,它们又具有别的钢种钢管所少有的粘性,金属容易粘在工具表面上,影响工具的使用寿命和钢管的表面质量。因此,不锈钢钢管的冷加工必须使用耐压、能吸热、摩擦系数小和能防止金属粘在工具上的润滑剂,这在进行短心棒拔制时尤其重要。

我国在不锈钢钢管的生产中采用牛油石灰涂层作润滑剂具有很好的效果。

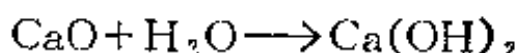
牛油石灰中的牛油,目前实际使用的通常是三号工业钙基脂(黄油)。它是在矿物油(或动植物油)加入钙皂稠化而成的润滑脂。钙皂一般由硬脂酸脂 $[2C_{17}H_{35}(O\cdot CO\cdot C_{17}H_{35})_3]$ 与石灰乳 $[Ca(OH)_2]$ 直接反应生成:



钙皂在水中的溶解度很小,但能和水形成化合物,属于水-油类型的乳化剂,故具有亲油性。钙皂的水合物在矿物油中形成高度分散的纤维。润滑脂的纤维结构是使它具有良好润滑性能的基础。因为亲油的钙皂纤维在矿物油中形成三维的结构骨架,而油被保

持在这些骨架的空隙处，使润滑脂具有良好的润滑性。

牛油石灰中的石灰 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 通过生石灰 (CaO) 水化制备，其反应如下：



石灰本身具有某些润滑效能，同时也是一种润滑剂载体。润滑脂和石灰混合涂在钢管表面上经干燥后形成的润滑层，耐压、粘度大。在不锈钢钢管冷加工时用牛油石灰润滑具有很好的润滑性能，可以减少或防止在工具上粘金属的现象。

牛油石灰的配比有的厂为：

石灰：3号工业钙基脂 = 10：1.2~1.5

即在10份石灰中加入1.2~1.5份三号工业钙基脂。某厂用优选法进行优选的结果认为其比值为6.4：1较好，在拔制不锈钢钢管时可以减少钢管表面出现石灰压坑和划线等缺陷。

配制牛油石灰润滑剂时要使用含 $\text{CaO} > 95\%$ 的优质生石灰，水解后经40~50目的筛子过滤去杂质。石灰的粒度小可以增加钢管表面上石灰吸附的程度。石灰粒度过大或石灰中含有杂质会降低润滑效能和损伤钢管表面。过滤后的石灰沉淀并自然干燥到含水量降到20~40%，其硬度已高于三号工业钙酸脂的硬度时，和三号工业钙酸脂按比例地倒入搅拌器中搅拌，使其成为没有油球存在的胶状体，然后用水进行稀释，直到适当的粘度。配好后的润滑剂应为浆状。

在钢管表面涂牛油石灰时，要求涂层薄而均匀。

对于一般品种和中间道次的钢管，在其内外表面都要进行加工的情况下，牛油石灰的润滑过程是：内壁涂润滑剂→烘烤→外表面涂润滑层。一般涂牛油石灰时先涂内壁，涂后送去烘烤，烘烤后待钢管表面冷到100℃以下及时地在钢管的外表面涂润滑剂，这样可以利用钢管的余热起烘烤作用。对进行无心棒拔制的钢管，只在外表面涂牛油石灰。

为了使润滑层耐压能牢固地粘附于钢管表面，牛油石灰涂后必须烘烤。烘烤温度为300~350℃，烘烤时间，对无心棒拔制的

钢管约10~20分钟；对短心棒拔制的钢管壁厚 >3 毫米的约30~45分钟，壁厚 ≤ 3 毫米的约20~40分钟。烘烤要均匀，要防止因温度过高而使涂层过干甚至烤焦。

对按高标准生产的和薄壁的不锈钢钢管，以及有的成壁道次和成品道次，润滑层烘烤后要擦去钢管表面的石灰。有时还要求涂两次擦两次。擦石灰时要求把表面擦干净，擦后不允许有成块的石灰存在，防止冷加工时在钢管表面出现石灰压坑、划线等缺陷。用牛油石灰润滑时，易因产生上述缺陷而引起质量问题。

第十四章 钢管的热处理^[1,5,7,8]

第一节 钢管热处理的目的和方法

热处理是钢管冷加工生产中的重要工序。按生产阶段分，有管料热处理、中间热处理和成品热处理三种。

管料热处理是冷加工前对热轧管料进行的一种预备性热处理，生产中只有一部分管料需要经过这个工序。管料热处理的主要目的是消除管料的内应力，调整管料的金相组织，降低硬度，增加塑性，以改善其冷加工性能适应冷变形的需要。因为，有的热轧管料由于终轧温度偏高和轧后冷却速度过大及冷却不一致，其组织和性能不均匀，内应力较大，硬度偏高，塑性偏低，冷加工性能较差。

通过热处理以后，管料的硬度一般要求降到 $\leq \text{HB200}$ 。

低碳钢及低碳合金结构钢的管料，其热轧空冷后的组织为铁素体及珠光体，硬度较低、塑性较好，因此，在没有特殊要求时，可不进行热处理。

中高碳的碳素结构钢及合金结构钢的管料，其热轧状态的金相组织为珠光体及不同含量的块状及网状铁素体，硬度偏高，同时也可能存在组织缺陷如魏氏组织等。为了降低硬度和消除组织缺陷，管料应进行热处理。如果只着眼于降低硬度，一般用低温退火（在低于下临界点 A_1 的温度下退火）或高温回火。如要纠正某些组织上的缺陷，则应进行完全退火、正火或正火后回火。

滚动轴承钢的管料，热轧后的组织为片状珠光体，硬度高，难以进行冷加工，所以必须进行球化退火。

奥氏体型和铁素体型不锈钢管料，在冷加工前应进行固溶处理，使之成为单一组织。这个过程通常在热轧生产中通过终轧后水淬的办法来完成。马氏体型不锈钢管料常用低温退火或高温回

火进行软化。

中间热处理指生产过程中冷变形到一定程度后的钢管所进行的热处理。其主要目的是消除钢管冷变形时产生的加工硬化和冷变形后存在于钢管内的残余应力，降低强度，恢复塑性。

经受冷变形的金属或合金，随着变形量的增加，其强度和硬

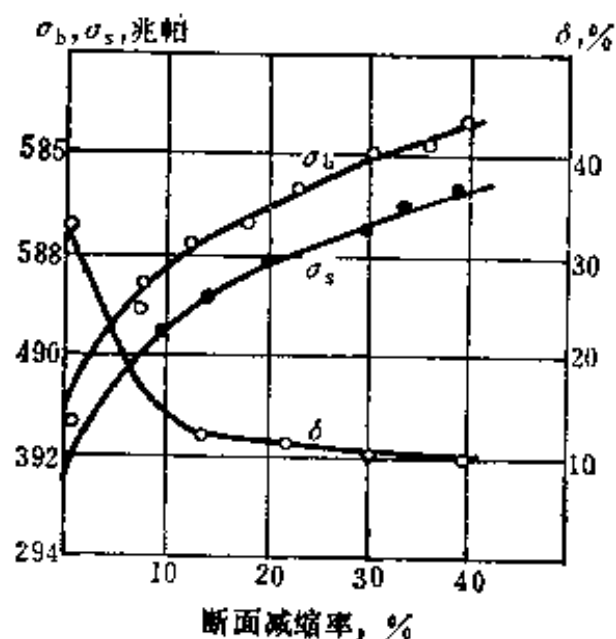


图 14-1 无芯棒拔制时钢管机械性能随断面减缩率的变化

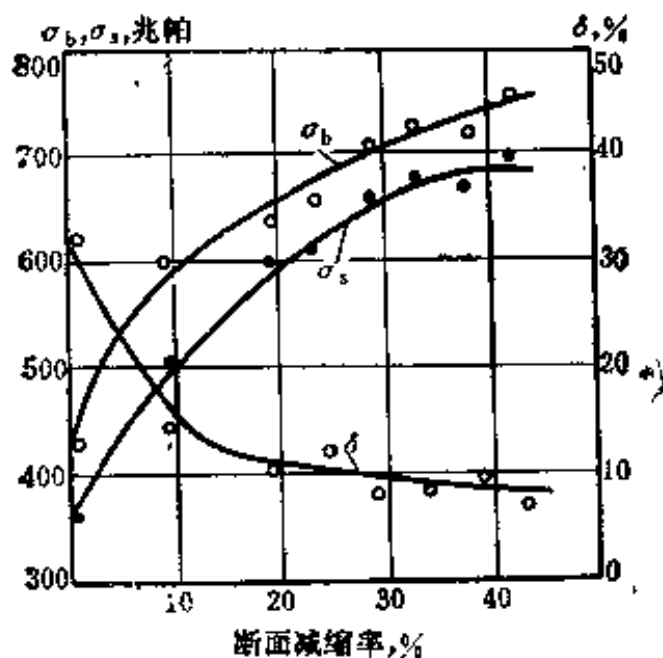


图 14-2 短芯棒拔制时钢管机械性能随断面减缩率的变化

度逐渐提高而塑性和韧性逐渐下降的现象称为加工硬化。图14-1和14-2分别为10钢 $\phi 45 \times 3$ 毫米的管料进行无芯棒和短芯棒拔制时，钢管机械性能即强度极限 σ_b 、屈服极限 σ_s 和延伸率 δ 随变形程度断面减缩率而变化的变化曲线。

关于加工硬化产生的原因，有人认为，这是由于冷变形使晶体产生了缺陷，造成了晶格点阵畸变，滑移的进一步进行受到了阻碍而引起的。从位错理论解释认为，在冷变形过程中，金属内部产生了大量位错，位错的堆集和相互干扰阻止滑移的进一步进行，因而出现加工硬化。

加工硬化使金属的冷加工性能下降。如果钢管在加工硬化程度已比较大的情况下仍继续进行冷加工，这不仅增加了变形力和能量及工具的消耗，还必须减小变形量，并容易产生各种缺陷，因此，是不经济的也是不合理的。所以在实际生产中，当一道次的冷变形量比较大或几个道次的总冷形量达到一定程度后，加工后的钢管都要进行中间热处理，以利于以后的冷加工。

中间热处理除奥氏体型和铁素体型不锈钢钢管用淬火外，其余的碳钢和合金钢钢管，一般都用再结晶退火，即高于每种钢的再结晶温度 $150 \sim 250^\circ\text{C}$ 的低温退火。

在大变形的条件下，纯金属的再结晶温度($T_{\text{再}}$)与其熔点($T_{\text{熔}}$)有一近似的经验公式：

$$T_{\text{再}} = (0.35 \sim 0.40) T_{\text{熔}}$$

式中的温度单位为绝对温度。

再结晶温度并不是一个固定的物理量，它与材料及其他多种因素有关。碳钢的再结晶温度约为 $450 \sim 500^\circ\text{C}$ 。

冷变形后的金属，当加热到再结晶温度以上时，发生再结晶。再结晶也是一个形核和长大的过程。它和液体结晶时的形核和长大的过程相似，但它并不是相变，因为再结晶前后晶体的结晶点阵是一样的。经过再结晶过程，冷变形所造成的组织完全得到改组，性能发生较剧烈的变化，加工硬化消除。如果在冷加工后的金属内存在残余应力，在再结晶过程中也同时得到消除。

成品热处理指钢管在最后一个冷变形道次（成品道次）结束后进行的热处理。成品热处理除了消除加工硬化和残余应力外，还应该使钢管获得所需要的性能。成品热处理的方法根据产品标准的要求和品种规格来选择。有些产品，标准上规定了热处理方法；有些产品，标准上规定了钢管应达到的性能要求。一般，低碳钢钢管的成品热处理多采用完全退火或常化；中碳和高碳钢钢管多采用不完全退火；有些中碳和中碳低合金结构钢采用调质处理；铬不锈钢钢管常采用淬火或淬火加回火；而铬镍奥氏体型不锈钢钢管则采用固溶处理。

为了防止氧化铁皮的生成以及钢管的脱碳或增碳，有时钢管装在密闭器中进行热处理，或者在通有保护气体的热处理炉及真空热处理炉中进行热处理。热处理后钢管表面无氧化层，光亮，故称为光亮热处理。

第二节 热处理设备

在钢管冷加工生产中使用的热处理炉，种类较多，下面分别进行介绍。

一、室状热处理炉

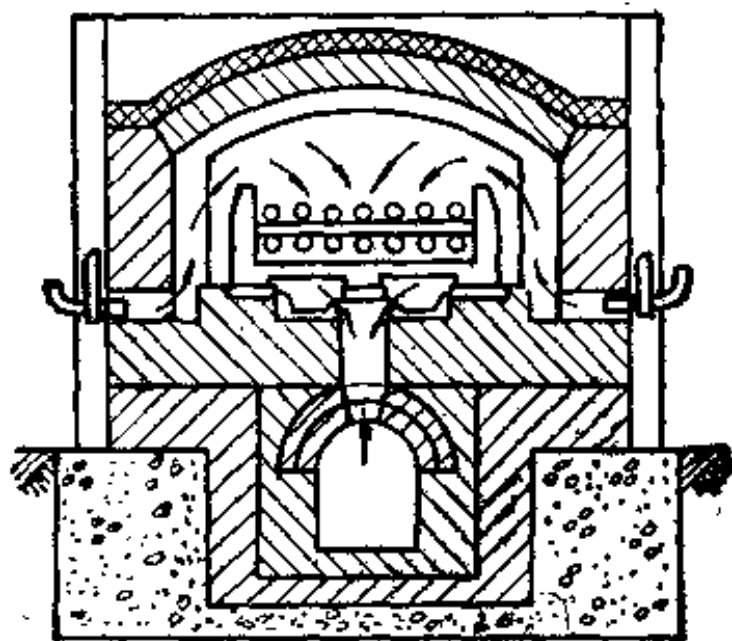


图 14-3 室状热处理炉

室状热处理炉按其结构可分为单室式和双室式两种。单室式室状炉的结构见图14-3。

室状热处理炉主要用于钢管的退火。

室状炉都装有专用的装卸料机，用来装炉和出炉。炉子长度一般为8~12米，一个室的装料量为4~7吨。炉温可达1000℃左右。对于精密管和薄壁管可预先把钢管装在套筒内，再把装有钢管的套筒放入炉内进行套筒式光亮热处理。

室状炉是一种比较陈旧的炉型。它的优点是结构比较简单，投资较少，使用比较可靠，能按不同工艺制度进行各种钢管的退火。但是这种炉子，加热时内外层钢管的加热条件不一样，外层的温度高，内层的温度低，为了使内外层钢管加热均匀，需要较长的均温时间。同时，为了防止外层钢管过热，炉膛温度和加热速度的提高都受到了限制。因此，生产率低，退火后的钢管，表面氧化铁皮多，组织性能容易不均匀，弯曲度也比较大，此外，整个操作也比较麻烦，目前，这种炉子新建已较少，逐渐为辊底式连续热处理炉等所替代。

二、辊底式连续热处理炉

辊底式连续热处理炉可用来进行钢管的退火、正火以及不锈钢管的固溶处理。

按其结构，辊底式连续热处理炉可分一段式、两段式和三段式。

国内钢管冷加工生产中广泛应用的辊底式连续热处理炉都是一段式的。二段或三段式辊底炉多用于钢管的光亮热处理，一般称为辊底式光亮热处理炉。

一段辊底式连续热处理炉，钢管的预热、加热和保温均在同一段炉体进行，并通过调整烧嘴的燃烧而实现。目前生产中辊底炉的炉底辊道多数尚采用水冷却。一般水冷辊道辊底式连续热处理炉炉体结构见图14-4。

炉体的前后分别装有装料台和出料台。台架和炉底的辊道由链传动。热处理时钢管单层或数层成排连续地由辊道带动通过炉

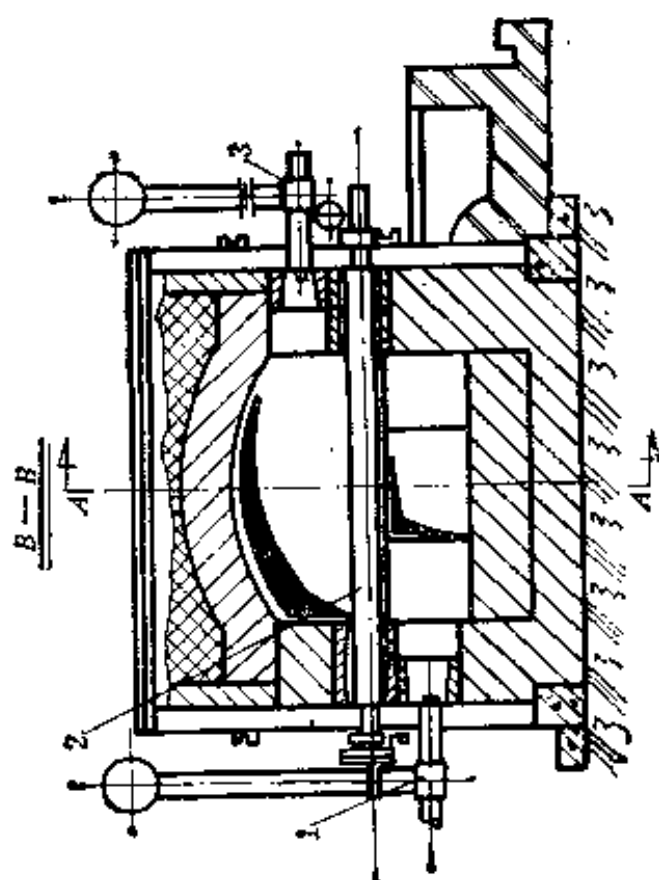
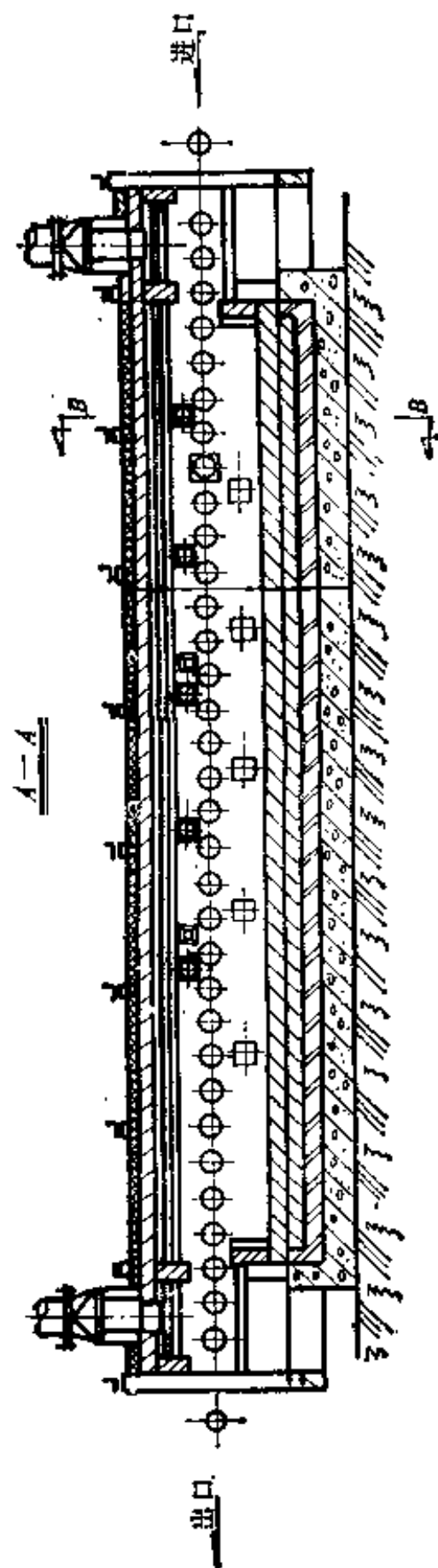


图 14-4 水冷辊道
辊底式连续热处理
炉炉体图

1—下烧嘴, 2—水
冷辊道, 3—上烧嘴

体并在出炉后根据需要进行空冷或风冷，对有的不锈钢管进行水淬。

辊底式连续热处理炉的长度一般为12~16米，也有更长的炉子。炉子加热温度最高为1100℃左右，辊道的速度为0.3~3米/分。热处理的时间通过调整辊道速度来控制。

使用这种炉子，由于热处理过程是连续进行的，同时，因为加热时钢管的层数不多，加热比较快，所以生产率比较高；此外还有燃料消耗较少、操作简单、热处理后钢管弯曲度较小等优点，因此这种炉子得到较广泛的应用。

目前，国内有的厂又对水冷辊道辊底式连续热处理炉进行了技术改造^[31]，主要包括：以耐热钢空腹不水冷辊道代替水冷辊道；采用陶瓷纤维炉顶和复合炉衬；安装换热器和喷流预热装置等。实践证明，上述措施对节能、节水、降低炉体表面温度、改善车间环境和劳动条件以及减小加热钢管的温差、提高热处理质量都有很好的效果。

耐热钢空腹不水冷辊道辊底炉的炉体图见图14-5。

辊底式光亮热处理炉一般用于碳钢及合金钢精密钢管的热处理。二段辊底式光亮热处理炉，炉体由加热室和缓冷室组成，三段式的辊底光亮热处理炉，炉体由加热室、缓冷室和快冷室组成。此外，在加热室前一般都设有预装室，用于将装炉时带入的空气排走。炉子采用电加热或者用燃料加热辐射管通过热辐射对钢管进行间接加热。图14-6为后一种炉子的结构。

辊底式光亮退火炉的快冷室采用水冷炉壁及风扇进行冷却。

炉子的前后设有上料台和出料台。辊道的速度为2.5~3米，炉体的长度一般为25~42米。

进行光亮热处理时，所用保护气体的种类及其组成见表14-1。

三、分段式快速热处理炉

分段式快速热处理炉的结构见图14-7。这种炉子用于碳钢和合金钢钢管的退火（正火）以及不锈钢钢管的淬火。热处理钢管的规格为直径25~83毫米，壁厚1.5~5毫米，长度2.5~10米。

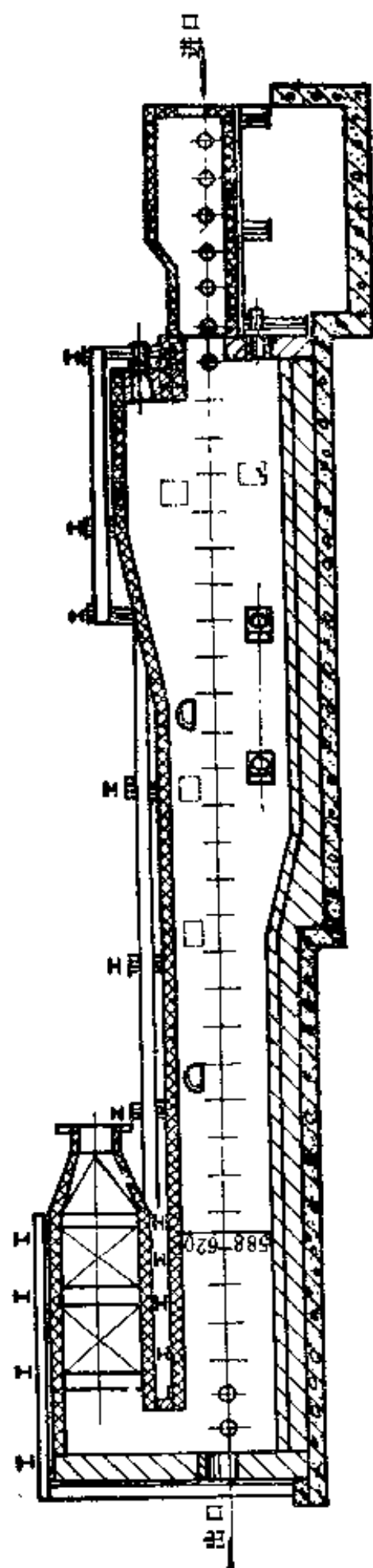


图 14-5 耐热钢空腹不水冷辊道辊底连续热处理炉
炉体图

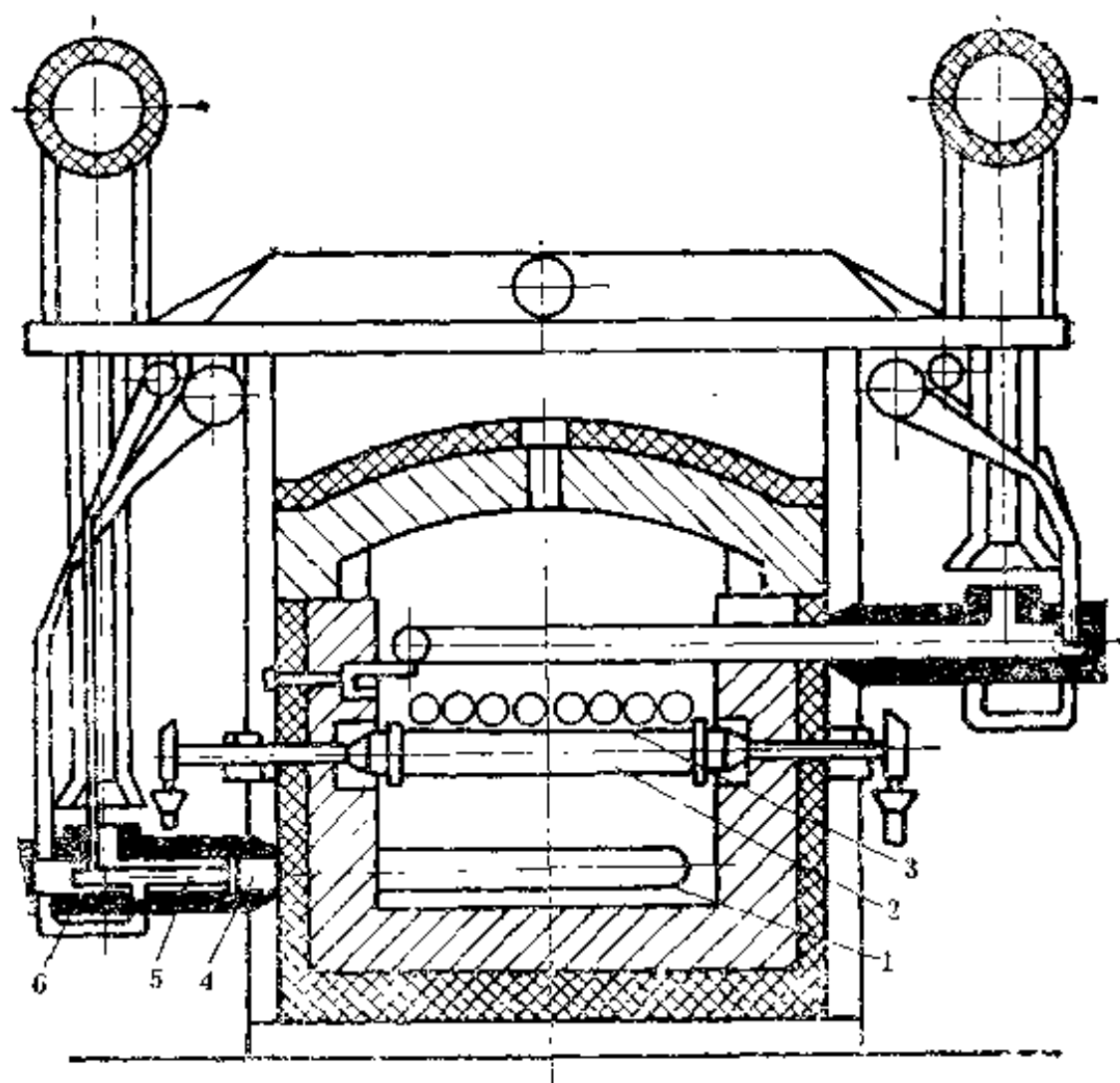


图 11-6 利用热辐射加热的辊底式连续炉
1—辐射管；2—辊道；3—钢管；4—烧嘴；5—煤气管；6—空
气管

表 14-1 保护气体的种类及组成

气 类	组成，%（体积）					适用钢种
	H ₂	N ₂	CO	CO ₂	O ₂	
N ₂	5~10	95~90	—	—	—	碳钢，低合
	2.0	95.9	2.0	0.1	—	金钢
NH ₃ 分解	75	25	—	—	—	碳钢，低合 金钢
H ₂	100	—	—	—	—	不锈钢

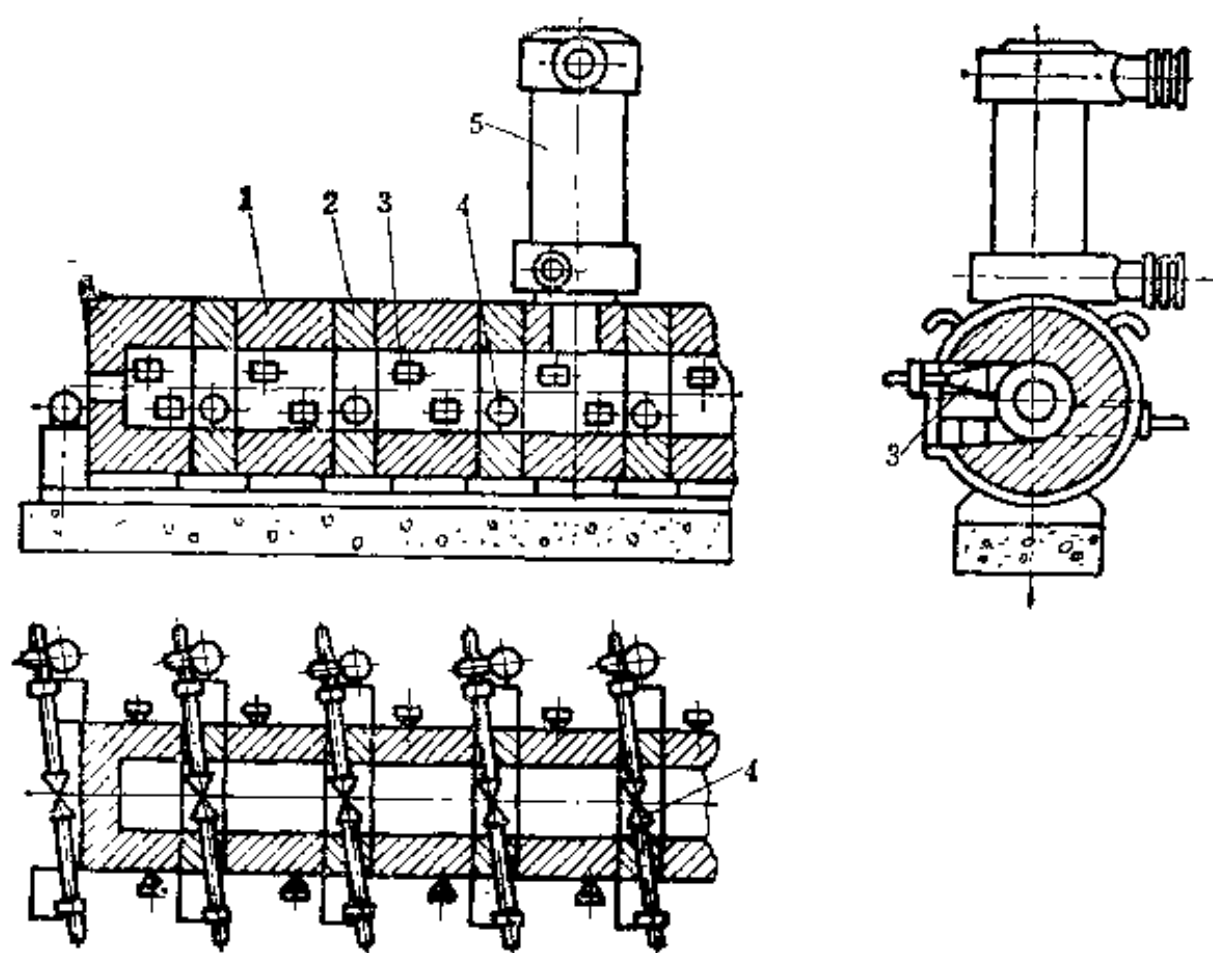


图 14-7 分段式快速热处理炉

1—燃烧室；2—间隔室；3—烧嘴；4—辊道；5—换热器

整个炉子由7~9个燃烧室组成。燃烧室之间由间隔室相连。间隔室底部装有辊道，辊道中心线相对于炉子中心线倾斜一个角度。炉子总长8~10米。辊道的速度为4~20米/分。

这种炉子的炉膛温度可高达1400~1500℃。热处理时钢管成单行或双行连续通过炉子，而且边前进边旋转。炉膛内上下都有烧嘴。

这种炉子的优点是加热快、加热均匀，烧损少。当钢管的尺寸为76×3.0毫米时，炉子的生产率可达到4.0吨/时。

四、电接触加热的热处理装置

电接触加热热处理装置的结构见图14-8。一些装置的性能见表14-2。

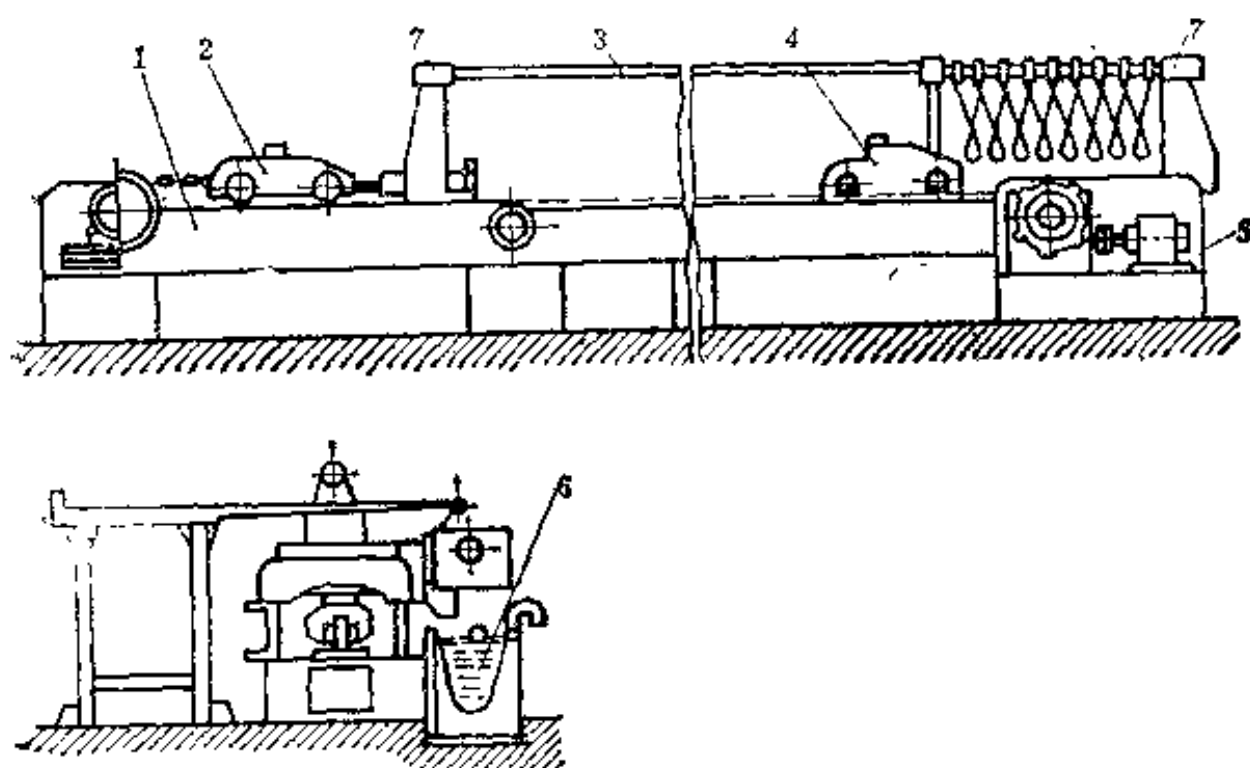


图 14-8 电接触加热的热处理装置

1—台架；2、4—小车；3—钢管；5—电动机；6—水槽；7—夹具

表 14-2 电接触加热热处理装置的性能

性 能		设备名称 (变压器的容量, 千伏安)			
		200	320	360	480
输入	电压, 伏	380	380	380	380
	电流, 安	842	842	842	842
输出	电压, 伏	200, 150, 100, 50	100, 50	72, 36	56
	电流, 安	1600, 2133, 3200, 6400	3200, 6400	5000, 10000	10000
加热钢管的直径, 毫米		≤15	15~30	30~50	≥50
加热温度, °C		1000~1200	1000~1200	1000~1200	1000~1200
有效长度, 米		14	7	4	6

这种装置主要用于不锈钢钢管淬火前的加热, 也可用来进行钢管的退火, 在退火的同时还可对钢管进行张力矫直。

在这种装置上钢管的热处理是逐根进行的, 加热前钢管的两端分别由夹具夹紧, 工作时钢管上直接通以变压器二次绕组的工

频低压的大电流。在由变压器、连线、夹具夹头和钢管组成的回路中，钢管的电阻最大，根据楞次-焦耳定律：

$$Q=0.24I^2Rt$$

式中 Q ——通电时金属体的发热量，卡；

I ——电流，安；

R ——电阻，欧；

t ——时间，秒。

我们知道，通电时金属的发热量和其电阻的平方成正比。因此，钢管在通电以后，由于其电阻大，就可以得到加热并达到高温。

两个夹具之间的距离，可通过移动小车来加以调整，一般为4~14米，以加热相应长度的钢管。

加热温度根据钢种而定，一般可在800~1150℃间变化。温度的调节通过改变变压器一次绕组的电压及加热时间来实现。加热时间约为20~40秒。

电接触加热热处理的优点是加热快、氧化少、加热温度准确并可在较宽的范围内变化。这种热处理方法的缺点是切头损失大，因为电接触加热时，每端都有长40~50毫米的一段由于和夹具接触得不到加热必须切去；耗电大；生产率较低；不适于加热长度和壁厚较大的管子。此外，在用人工装料的情况下，劳动条件差。

五、管式光亮淬火炉

这种炉子，炉体由刚玉管组成。采用电加热，电热体缠绕在刚玉管外面，钢管从刚玉管中通过时，通过热辐射加热。炉体由预热室、加热室和冷却室组成。冷却室采用水冷炉壁。它用于不锈钢钢管的淬火。当钢管通过炉体冷却室时进行空淬。炉温最高可达1300℃。保护气体采用氢气或分解氨。

六、电加热真空热处理炉

真空热处理炉仅用于易氧化金属管、极薄不锈钢钢管及对表面质量和组织均匀性具有严格要求的特殊用途管材的热处理。炉子的真空度，在一般情况下，为0.13~1.3帕，在进行重要和特殊用途管材的热处理时，应为0.00013~0.0013帕。

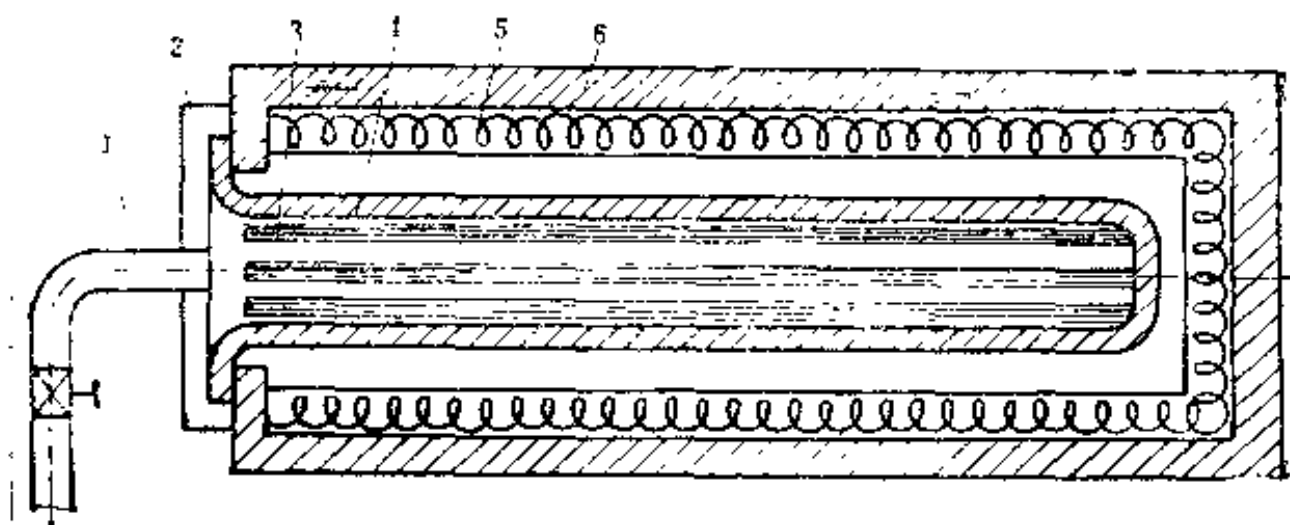


图 14-9 电加热真空热处理炉

1—通真空泵的管路；2—密封盖；3—管子；4—套筒；5—加热器，
6—炉体

电加热真空热处理炉的结构见图14-9。管子装在套筒内加热。大多数真空炉都采用半连续式作业。管子往套筒里装料在炉外进行。当炉内的管子加热结束后，把管子连同套筒一起移出炉体，然后把已预先装好待加热管子的另一个套筒放入炉内进行加热。加热前套筒要盖上密封盖，然后抽真空。

第三节 热处理工艺制度

热处理时正确的装炉和布料应能保证炉内气流畅通，使钢管受热均匀，从而获得均匀的组织 and 性能。一般装炉时的炉温没有什么限制，可以是冷炉，也可以是热炉。

加热温度应根据钢种及热处理的类型来决定，同时也要考虑热处理炉的条件及装炉布料的方式。在初步选定后最好通过试验验证。各种热处理方式加热温度的范围见表14-3。

热处理时，除马氏体钢外，对其他类型的钢管一般均可尽快地加热升温。这样既可缩短热处理周期、提高炉子的生产率，同时也可减少钢管的氧化和脱碳。但加热速度受热处理炉结构和供热能力等的影响，有一定的限度。

保温时间的长短，因钢种、钢管规格、热处理炉的类型、装炉量及装炉布料方式、冷变形量的不同而有所差异。

表 14-3 各种热处理方式的加热温度及冷却方式

热处理方式	加热温度, °C	冷却方式
正火	$A_{c3} + (30 \sim 40)$	空冷
完全退火	$A_{c3} + (20 \sim 30)$	炉冷至600°C左右空冷
不完全退火	$A_{c1} < t < A_{c3}$	炉冷至600°C左右空冷
球化退火	$< A_1$	以10~20°C/时的冷却速度缓冷到600~650°C后空冷, 或在缓冷至650~700°C时保温或等温2~4小时再缓冷至600~650°C出炉空冷
固溶处理	1050~1150	水冷
软化及消除内应力退火	$< A_1$	空冷
再结晶退火	$t_{再}^{①} < t < A_1$	空冷

① $t_{再}$ —为再结晶温度。

表 14-4 管料的热处理制度

钢 种	典型的热处理曲线 (图14-10)	t_1 , °C	t_2 , °C	t_3 , °C	a, 时	b, c, 时	冷却方式
35, 45, D	2	680~700	—	—	0.5	—	空冷
36Mn2Si	2	690~720	—	—	0.5~1.0	—	空冷
30CrMnSiA	5	780~800	700~720	650	0.5~1.0	b=2.0	空冷
38CrMoAlA	3	720~740	650	—	1.0	—	空冷
15Cr1Mo1V	3	730~750	680	—	1.0~2.0	—	空冷
Cr5, Cr8	2	730~750	—	—	1.0	—	水冷
Cr5Mo	3	830~850	680~700	—	1.0	—	空冷
GCr15	6	780~800	730~740	$t_3=700$, $t_4=650$	2.0~3.0	b=5~7, c=2~3	空冷

保温时间应保证炉内钢管能完全烧透, 使其温度均匀, 并完成应有的组织转变, 从而获得均匀的组织 and 性能。一般提高加热温度可以适当缩短保温时间。在进行低温退火(包括软化、消除应力及再结晶退火)时, 退火温度愈接近于下临界点 A_1 , 钢的回复愈快, 消除加工硬化的作用愈完全, 因此, 保温时间也可以适当缩短。

表 14-5 中间热处理的工艺制度

钢 种	典型的热 处理曲线 (图14-10)	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$a, \text{时}$	炉 型	冷却方式
10, 20, 35, 45, D	1	730~750	—	见图14-11	P或K	空冷
30Mn2Si	2	770~790	—	0.5	K	空冷
30CrMnSiA	3	720~740	680	0.5	K	空冷
38CrMoAlA	2	750~770	—	0.5~1.0	K	空冷
15Cr1Mo1V	1	850~900	—	见图14-11	P或K	空冷
Cr5, Cr8	2	730~750	—	0.5~1.0	K	水冷
GCr15	3	680~700	650	3.0	K	空冷
Cr5Mo	3	700~740	680	0.5	K	空冷

注：F—通式炉；K—室状炉。

表 14-6 成品热处理的工艺制度

钢 种	典型的热 处理曲线 (图14-10)	$t, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$a, \text{分}$	炉型	冷却 方式	备注
10, 20	2	730~780	—	5~15	P或K	空冷	航空管
20A	2	660~680	—	60~90	K _b	空冷	
35, 45	2	820~850	—	10~15	P或K	空冷	
D	2	880~900	—	20	P或K	空冷	
30Mn2Si	2	860~880	—	20	K	空冷	航空管
30CrMnSiA	2	710~730	—	40	K _b	空冷	
38CrMoAlA	2	750~770	—	60~90	K	空冷	
15Cr1Mo1V	3	940~960	740~760	40~60	K	空冷	
Cr5, Cr8	2	720~740	—	30~60	K _{o.b}	水冷	
Cr5Mo	5	840~860	$t_1=720\sim740$ $t_2=680$	$a=30$ $b=90$	K	空冷	
GCr15	2	680~700	—	60	K	空冷	

注：K_b—室状炉中装套筒热处理；K_{o.b}—室状炉中装不封闭的套筒热处理。

各种热处理的冷却方式见表14-4。

对于进行光亮退火的钢管，一般在冷至250℃以下后才出炉。如在较高温度时出炉，钢管表面将受到不同程度的氧化而达不到光亮退火的目的。

冷加工生产中，一些碳钢、合金钢钢管的管料、中间和成品热处理的工艺制度分别见表14-4、14-5和14-6。钢管典型的热处理曲线列于图14-10。

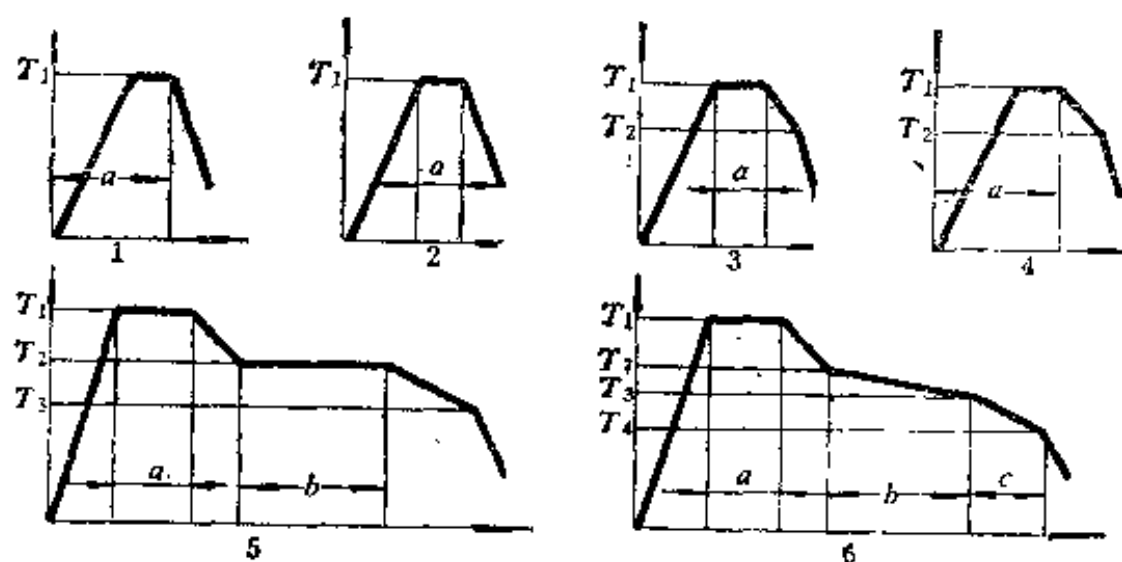


图 14-10 钢管典型的热处理曲线

1~6—曲线的编号

10~45、D号和15Cr1Mo1V钢钢管中间热处理的总加热时间见图14-11。

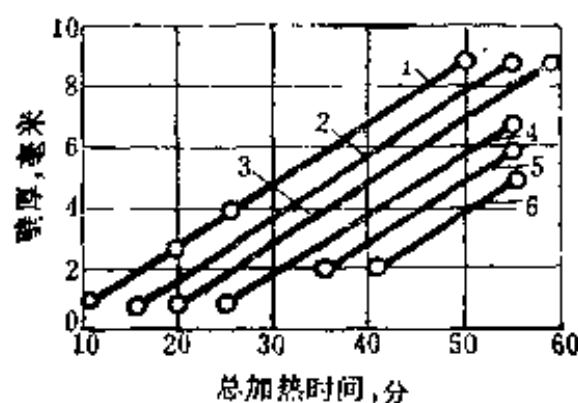


图 14-11 一些钢管中间热处理的总加热时间

1~6—加热时钢管的层数

某厂一些高合金钢钢管和合金管电接触加热的热处理制度见表14-7，1Cr13和2Cr13在室状炉中热处理的工艺制度见表14-8。

表 14-7 一些高合金钢钢管和合金管电接触加热的热处理制度

钢 种	中间热处理加热	成品热处理加热	冷却方式	备 注
	温度, °C	温度, °C		
1Cr18Ni9	1080~1100	1040~1060	水冷	需反复升温 数次
1Cr18Ni9Ti	1080~1120	1040~1060	水冷	
1Cr18Ni12Mo2Ti			水冷	
06Cr18Ni10	1080~1120	1050±10或 1170±10	水冷	
45Mn17Al3	1120±10	1090~1110	水冷	
17Mn25Al4	1080~1100	1080~1100	水冷	
Cr17Mn13Mo2N	1150~1180	1090~1110	水冷	
GH30	1100~1120	980~1020	水冷	
GH40, GH39	1100~1150	1050~1080	水冷	

注: 凡壁厚 ≤ 1 毫米或外径 ≤ 15 毫米而壁厚与外径之比 $\leq \frac{1}{10}$ 的钢管也可采用空冷或风冷。

表 14-8 1Cr13、2Cr13钢钢管的热处理制度

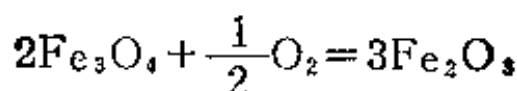
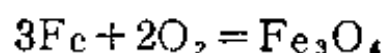
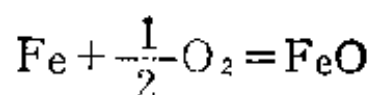
管料热处理		中间热处理					成品热处理			
加热温度 ℃	保温时 间, 时	钢管 壁厚 毫米	装炉温度 ℃	加热温度 ℃	保温时 间, 分	冷却 方式	装炉温度 ℃	加热温度 ℃	保温时 间, 分	冷却 方式
740~780	1.5~2.5	1~2	700~800	740~780	30~60	空冷	700~800	760~800	45~75	空冷 或炉冷
		2~4	700~800	740~780	45~75	空冷	700~800	760~800	60~90	空冷 或炉冷
		4~6	700~800	740~780	60~90	空冷	700~800	760~800	75~120	空冷 或炉冷
		>6	700~800	740~780	75~120	空冷	700~800	760~800	90~150	空冷 或炉冷

第四节 钢管热处理的主要缺陷

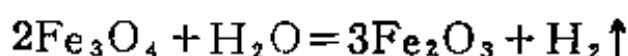
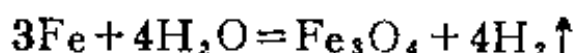
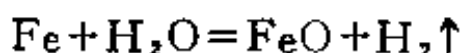
钢管热处理的主要缺陷有以下几种:

1) 氧化铁皮层过厚。钢管表面氧化而生成氧化铁皮是热处理过程中普遍发生的现象, 它是钢管表面的铁和炉气中的氧、水蒸气以及二氧化碳起作用的结果, 其化学反应式如下:

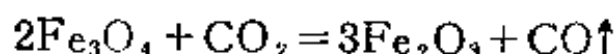
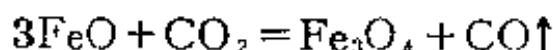
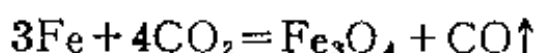
铁与氧的反应



铁与水蒸汽的反应



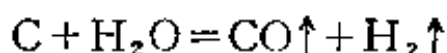
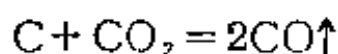
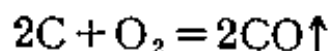
铁与二氧化碳的反应



热处理时，如果炉气呈强氧化性气氛或者热处理时间过长，整个钢管表面的氧化铁皮就厚；若加热温度不均匀，会造成局部氧化铁皮过厚。氧化铁皮过厚会增加金属消耗，延长酸洗时间。氧化铁皮局部过厚还容易出现过酸洗或欠酸洗。

为了防止氧化铁皮整体或局部过厚，在明火加热的情况下，应采用正压操作，加热要均匀并避免加热时间过长，装炉时钢管表面应该干燥。

2) 钢管表面严重脱碳。脱碳是由于钢中的碳（溶于奥氏体中或以 Fe_3C 的形式存在）被炉气中的氧、二氧化碳、特别是水氧化，减少了含碳量而造成的。其化学反应如下：



一些钢管的产品标准明确规定其表面的脱碳层不能超过一定的深度。脱碳层会降低钢的强度和硬度，严重脱碳的钢管常常因

其强度达不到技术条件规定的要求而报废。

炉气的氧化性气氛愈强、加热温度愈高、保温时间愈长，钢管愈容易脱碳。脱碳程度也与钢的含碳量有关，一般含碳较高的钢容易脱碳，对于低碳钢如10、20钢实际上不存在脱碳问题。

为了防止脱碳的发生和发展，应严格控制加热温度和保温时间；采用正压操作；用烘烤的办法排除钢管表面的水分；采用间接加热，即把钢管装在套筒里进行加热，并在套筒中加适量的木炭以减少炉气的氧化性气氛，降低脱碳反应的速度，但木炭不能加得过多或直接加在钢管上，否则木炭经燃烧发热，会使钢管的温度增高，这除了造成加热温度难于控制以外，还会促使脱碳反应加剧，引起相反的作用。

3) 钢管的过热和过烧。过热是指钢由于在高温下长时间保温而出现的晶粒过度长大、晶粒间结合力显著减弱、力学性能严重恶化的现象。过烧除了晶粒过分长大以外，又由于碳和其他偏析夹杂物所组成的晶间薄膜被熔化而后再被炉气氧化，造成晶粒被氧化物所分割。这是一种不能挽救的缺陷。

过热、过烧通常发生在高温下进行热处理的情况下。烧嘴火焰过长直接烧着钢管表面，也可能造成钢管局部过热、过烧。

4) 热处理后钢管力学性能不均匀、不合格。造成热处理后钢管力学性能不均匀、不合格的原因是：炉温分布不均匀，温差大；在辊底式连续炉中进行热处理时，每排管子数目不均，差数大，或者钢管重叠过多；加热温度和工艺制度不符，保温时间不足等。

5) 热处理后钢管弯曲度过大。在室状炉中热处理时，若垫铁少，间距大或钢管装炉不整齐，以及钢管过长，热处理后高温吊运等都容易造成钢管弯曲度过大。

第十五章 工艺程序表的编制^[5, 7, 33]

在钢管冷加工车间，一种产品在投产以前，必须对它的生产工艺程序，包括生产工艺过程、变形参数、加工设备等有一个明确的规定，作为组织生产、进行操作的依据。这项工作就是编制工艺程序表。根据所采用的冷加工方式，工艺程序表可分为拔制表（钢管采用冷拔变形）、轧制表（钢管采用冷轧变形）和轧拔制表（钢管采用冷轧和冷拔两种方式变形）。由于钢管冷加工生产的特点是多工序和循环性，而且品种很多，为了使这样的生产能合理和有秩序地进行，编好工艺程序表是很重要的。

工艺程序表所包含的基本内容是：生产该种钢管所用管料的尺寸；变形方式和道次；每道次的变形量及变形后钢管的尺寸；选用的冷加工设备；冷加工前后的辅助工序；对拔制表还有所用模具的类型等。此外，有的工艺程序表上还具体列出了生产一吨钢管应投料的数量、每道次的加工长度和总加工长度，以便安排实际生产。

从工艺程序表所包含的内容可以看到，它编制得合理与否会直接影响到产品的产量、质量和各项消耗等技术经济指标。因此，编制工艺程序表必须从高产、优质、低消耗的前提出发来考虑。为了达到这个目的，必须在保证产品质量和设备安全的条件下，尽可能地减少冷加工道次和辅助操作工序，同时使车间内各设备的负荷均匀，以达到均衡生产。

编制工艺程序表，除根据钢管钢种的特点和钢管的技术条件外，还必须考虑具体的生产条件，如冷加工设备和辅助设备的配置和它们的技术性能、各工序的工艺和操作水平等。因此，各冷加工车间都有其根据自己生产特点制订的工艺程序表，并且在生产实践的基础上不断地进行修改和完善。

编制工艺程序表概括起来主要进行 3 个方面的工作，即变形规程的设计和计算、工艺流程即辅助工序的确定以及金属消耗系数、投料量和加工长度的计算。下面分别进行讨论。

第一节 变形规程的设计和计算

这一部分工作主要是配置冷加工方式、选择管料尺寸以及确定道次变形量、变形道次，最后算出各道钢管的尺寸。

一、冷加工方式的配置

如前所述，钢管的冷加工既可采用冷轧，也可采用冷拔，冷轧又有二辊式和多辊式轧制两种，冷拔也有不同方式可供选择。因此，在编制工艺程序表时，特别在冷轧和冷拔设备都有的车间里，如何选择和配置冷加工方式，是首先需要考虑的问题。

按照冷轧、冷拔的使用情况，生产过程中冷加工方式的配置可有单一冷轧、单一冷拔和冷轧冷拔结合等 3 种方案。单一冷轧和单一冷拔方案指生产过程中钢管的全部变形都通过冷轧或冷拔一种方式来完成。生产过程中钢管的变形有的道次用冷轧，有的道次用冷拔则为冷轧冷拔结合方案。下面讨论冷加工方式配置方案的选择。

1. 单一冷轧方案

和冷拔相比，钢管冷轧的优点是道次变形量大，因此，可以减少中间工序、缩短生产周期、降低消耗、降低成本；变形时应力状态好，适宜于加工塑性差的高合金钢钢管和合金管，能加工薄壁和特薄的管材。二辊式冷轧管机可轧制壁厚和直径之比 $\frac{S}{D} =$

$\frac{1}{60} \sim \frac{1}{100}$ 的管材，多辊式冷轧管机可轧制 $\frac{S}{D} = \frac{1}{150} \sim \frac{1}{250}$ 的管

材，而冷拔一般只能拔制 $\frac{S}{D} < \frac{1}{100}$ 的管材（长心棒拔制除外），

此外，冷轧管的光洁度高，尺寸精确。钢管冷轧的缺点是设备、工具和轧制过程比较复杂，生产率低，生产上灵活性较小。因

此，虽然原则上讲，冷轧可用来生产碳钢钢管、低合金钢管和高合金钢管，但在实际生产中，一般它主要用来轧制难变形的高合金钢管如不锈钢钢管等，以及薄壁管。碳钢和低合金钢管的轧制一般只用在和冷拔相比可以大大减少变形道次的情况下。

单一轧制方案用来轧制GCr15轴承钢钢管、对内径精度要求很高的钢管以及变截面管。这种配制方案生产不灵活，钢管的规格变动受限制较大。

按单一轧制方案轧制碳钢和低合金钢管，以及轧制不锈钢钢管的变形规程的例子见表15-1和15-2。

表 15-1 轧制碳钢和低合金钢管的变形规程

钢管尺寸 毫米	延伸系数	轧机类型	钢管尺寸 毫米	延伸系数	轧机类型
57×5.5	—	—	89×4.5	—	—
32×2.3	4.2	XΠT-55	60×1.5	4.3	XΠT-75
17×0.95	4.4	XΠT-32	76×4.5	—	—
15×0.5	2.2	XΠTP	50×1.5	4.3	XΠT-75
57×4.5	—	—	57×4	—	—
32×1.9	4.1	XΠT-55	30×1.5	4.4	XΠT-55
18~20×1.0	4.6	XΠT-32	52~57×3.3	—	—
63×6.0	—	—	25×1.5	4.7	XΠT-55
38×2.3	4.2	XΠT-55	42~46×3.0	—	—
18~20×1.0	4.6	XΠT-32	25×1.0	5.1	XΠT-32

采用单一轧制方案生产钢管时，头几个道次一般在二辊式冷轧管机上轧制。因为和多辊式冷轧管机相比，在二辊式冷轧管机上轧制减径量和变形程度都比较大。由二辊式冷轧管机轧制成品时应注意工具磨损对钢管尺寸精度和表面质量的影响。多辊式冷轧管机主要用于轧成品，由于它的道次减径量和变形程度都较小，须由二辊式冷轧管机供料。

2. 冷轧冷拔相结合的方案

在既有冷轧管机又有冷拔管机的车间，钢管冷加工的合理方

表 15-2 轧制不锈钢钢管的变形规程

钢管尺寸 毫米	延伸系数	轧机类型	钢管尺寸 毫米	延伸系数	轧机类型
93×6.0	—	—	76×5.0	—	—
48×3.3	3.1	XПТ-75	44×2.6	3.3	XПТ-75
32×1.8	3.0	XПТ-55	20~25×1.5	3.3	XПТ-55
17×0.95	2.2	XПТ-32	83×6.0	—	—
15×0.5	2.2	XПТР	48×3.5	3.0	XПТ-75
89×6.5	—	—	25×2.0	3.4	XПТ-55
57×3.5	2.9	XПТ-75	76×5.0	—	—
38×1.8	2.9	XПТ-55	48×2.3	3.4	XПТ-75
18~20×1.0	3.6	XПТ-32	30×1.0	3.6	XПТ-55

案, 应该是冷轧和冷拔相结合, 这样, 可以发挥冷轧变形量大和冷拔生产灵活的优点, 以减少工序、缩短生产周期、提高生产率和扩大品种。

冷轧和冷拔的结合方式, 通常是管料先在冷轧机上轧到定壁或定壁前的某个道次, 然后进行无芯棒拔制或短芯棒和无芯棒拔制, 直至成品道次。在个别情况下, 如管料尺寸比较大而又没有相应的冷轧机, 也可以先进行短芯棒拔制, 然后再进行冷轧。

冷轧冷拔结合加工钢管的变形规程的例子见表15-3。

3. 单一冷拔方案

和冷轧相比, 钢管冷拔的道次变形量较小。从管料拔至成品, 变形道次多、中间工序循环次数多、生产周期长、金属及辅助材料消耗大。但是, 拔管机结构比冷轧机简单, 投资少, 操作容易掌握, 工具制造和更换方便, 生产灵活性大, 生产率也比较高。因此, 采用单一冷拔方案来加工碳钢、低合金钢钢管在实际生产有广泛的应用。

在我国的冷拔钢管生产中, 主要应用短芯棒和无芯棒两种拔制方式。在生产直径较大和对内表面质量有较高要求的钢管, 可由短芯棒拔制一种方式来加工钢管。但生产中一般是短芯棒拔制和无芯棒拔制配合使用。这一方面是由于钢管直径较小时采用短

表 15-3 冷轧冷拔结合加工钢管的变形规程

成品管尺寸 毫米	钢 种	道次	钢管尺寸 毫米	加 工 方 式
10 × 0.5	碳 钢	0	57 × 4	
		1	38 × 2.1	在XHT-55轧机上轧制
		2	26 × 0.8	在XHT-32轧机上轧制
		3	23 × 0.65	短芯棒拔制
		4	21 × 0.55	短芯棒拔制
		5	19 × 0.48	短芯棒拔制
		6	15 × 0.49	无芯棒拔制
		7	12 × 0.5	无芯棒拔制
		8	10 × 0.5	无芯棒拔制
20 × 1.0	碳 钢	0	57 × 4.5	
		1	38 × 2.4	在XHT-55轧机上轧制
		2	28 × 1.2	在XHT-32轧机上轧制
		3	24 × 0.95	无芯棒拔制
		4	20 × 1.0	无芯棒拔制
6 × 0.2	不锈钢	0	80 × 4	
		1	49 × 2.4	在XHT-55轧机上轧制
		2	32 × 1.6	在XHT-55轧机上轧制
		3	18 × 0.95	在XHT-32轧机上轧制
		4	15 × 1.0	无芯棒拔制
		5	12 × 1.05	无芯棒拔制
		6	10 × 0.5	在XHTP8-15轧机上轧制
		7	8 × 0.19	在XHTP8-15轧机上轧制
		8	7 × 0.195	无芯棒拔制
		9	6 × 0.2	无芯棒拔制
12 × 0.5	不锈钢	0	80 × 4	
		1	49 × 2.9	在XHT-55轧机上轧制
		2	32 × 1.9	在XHT-55轧机上轧制
		3	18 × 1.2	在XHT-32轧机上轧制
		4	16 × 0.45	在XHTP15-30轧机上轧制
		5	14 × 0.47	无芯棒拉拔
		6	12 × 0.5	无芯棒拉拔

芯棒拔制保证芯棒和拉杆的连接强度有困难。所以，用短芯棒拔制的钢管直径，一般不小于30毫米，最小的大约是15毫米。因此，在拔制小口径钢管时，通常先用短芯棒拔制拔至定壁尺寸，然后用无芯棒拔制减小钢管的外径到成品尺寸；另一方面，由于无芯棒拔制的操作较短芯棒拔制简单、方便，拔制过程中也不会因钢管内壁酸洗、润滑不良出现抖动等现象而影响生产。因此，在实际生产中，不仅拔制小口径钢管，就是在生产直径较大的钢管时，也希望尽量减少短芯棒拔制的道次，尽早把管壁减薄至定壁壁厚，定壁后用无芯棒拔制生产成品。这在生产中叫“大直径定壁冷拔工艺”。表15-4为某厂大直径定壁冷拔工艺的定壁参数。

表 15-4 大直径定壁冷拔工艺的定壁参数

成品管尺寸 毫米	钢种	管料尺寸 毫米	总拔制道次	拔制定壁 尺寸的道次	定壁时钢管 的直径 毫米	定壁时钢管的 壁厚，毫米
8×1	10, 20	75×1	15	8	35	0.75
25×1		75×4	14	8	41	0.85
8×1.5		75×4	13	7	42	1.1
8×2		75×4	12	6	45	1.5
12×2.5		75×4	9	4	47	2
13×3		75×4.5	8	3	48	2.6
10×3.5		75×5	11	3	48	3.2
14×4		75×5.5	9	3	48	3.65
17×4.5		75×6	8	3	50	4.1
15×5		78×7	9	3	57	5
19×5.5		78×7.5	8	3	57	5.1
20×6		78×8	8	3	56	5.9
20×6.5		78×8.5	9	3	59	6.4
20×7		78×9	9	3	59	7.3
24×7.5		80×9.5	8	3	69	8
24×8		80×10	8	3	58	8.5

采用大直径定壁冷拔工艺时应注意：

- 1) 要掌握无芯棒拔制道次中钢管壁厚的变化规律，以控制成品道次钢管的壁厚；
- 2) 小口径薄壁管定壁时钢管的直径不宜过大，以提高无芯

棒拔制过程中钢管的稳定性，防止产生凹折缺陷。例如，在拔制 8×1 毫米的成品管时，若在外径为41毫米时定壁，即定壁壁厚为0.68毫米时，壁厚和外径之比 $\frac{S}{D}=1.66\%$ ，其值较小，无芯棒拔制时钢管的稳定性较差，容易出现凹折。所以生产 8×1 毫米的钢管时改在直径为35毫米时定壁比较合理；

3) 接连进行的无芯棒拔制道次较多时，钢管内表面的光洁度较差，同时也会影响钢管的壁厚精度，因而大直径定壁冷拔工艺在生产壁厚精度和内表面光洁度要求高的钢管时不宜采用。在这种情况下，如果管料的直径与成品管的直径差别较大，为了避免最后的无芯棒拔制道次过多，影响产品质量，可把无芯棒拔制道次分散安排在短芯棒拔制道次之间。

二、管料尺寸的选择

在钢管冷加工生产中，管料的规格即它的直径和壁厚是决定变形道次、成品钢管的尺寸精度以及表面质量的基本因素。因此，根据供料情况及成品钢管的质量要求，合理选用管料的规格，对保证钢管质量，以及减少变形道次、缩短生产周期、提高产量、降低成本都有很大的意义。在保证成品钢管质量的前提下尽可能选用接近成品尺寸的管料。确定管料的尺寸首要的是确定管料的壁厚。管料的最小壁厚应保证管料和成品管的壁厚差即总减壁量能消除热轧管表面的螺纹道、划道等表面缺陷，改善壁厚不均的程度，以获得尺寸公差、表面质量都符合要求的钢管。如果按最小壁厚供料生产有困难甚至不能生产时，则管料壁厚应选为能够生产的最小壁厚。管料的直径在与管料壁厚相适应的供料直径范围内，根据变形需要选择确定。

在冷拔钢管生产中，当以热轧成品管为管料时，拔制一般管、冷拔的最小总减壁量一般取为0.5~1.0毫米。当钢管的尺寸精度和表面质量要求较高，或者管料的表面质量和壁厚不均较大时，冷拔的最小总减壁量应取得大一些。管料的直径比成品管的直径大5~20毫米是比较合理的，但这要看供料的可能性。由于

短芯棒拔制时，为了便于插芯棒，钢管的内径必须大于芯棒的直径，因而，拔制过程中除了减壁外，还有减径。所以，管料和成品管的壁厚相差愈大，因为短芯棒拔制道次多，其直径差应愈大。

我国的76无缝钢管机组，以冷拔出成品，用热轧半成品作为冷拔的管料。一般，轧管机所生产的管料，其尺寸范围为72~73×4.0(3.5)~6.5毫米，因而72~76×4.0(3.5)毫米通常是76机组热轧供料的下限，壁厚大于6.5毫米的管料，则直接用穿孔的毛管。在用轧管机生产的管料时，冷拔的最小总减壁量为1毫米左右，个别厂为0.5毫米。当用穿孔的毛管拔制厚壁钢管时，冷拔的最小总减壁量一般 ≥ 1.5 毫米。

总的看，在76机组，由于管料几何精度和表面质量较差，直径单一而且偏大，因而增加了冷拔道次。

在冷轧钢管生产中，管料尺寸的选择包括原始（热轧）管料尺寸的选择和中间管料（供各中间轧制道次）尺寸的选择两种情况。

选择冷轧原始管料规格的原则和选择冷拔管料的一样，即管料尺寸既要尽可能接近成品尺寸，又要保证成品能达到质量要求，同时要考虑供料的可能性。在确定原始管料的具体尺寸时，则需参考轧机的孔型系和允许的管料的壁厚范围。确定冷轧中间管料时，轧机类型、它的孔型系和允许的管料壁厚，则是考虑的主要方面。

对于每一台二辊式冷轧管机，为了减少轧槽块的数量和换轧槽块的次数以及提高轧机生产率，通常都只在轧机所能生产的外径规格和轧制过程中所允许的减径量的范围内，有选择的设计一些孔型系。每一个孔型系对应于一组确定的轧前和轧后直径。因此，在选择二辊式冷轧管机的管料时，一旦孔型系选定，管料的直径也就随之确定了。同一规格的冷轧管机，在不同车间可能有不同的孔型系。

国产二辊式和多辊式冷轧管机的管料尺寸分别见表15-5和15-6。

表 15-5 二辊式冷轧管机管料的尺寸 (单位: 毫米)

轧 机	管 料 尺 寸		成 品 尺 寸	
	直 径	壁 厚	直 径	壁 厚
LG-30	22~48	1.35~6	16~32	0.4~5
LG-55	38~73	1.75~12	25~55	0.75~10
LG-80	57~102	2.5~20	40~80	0.75~18
LG-120	89~146	~26	80~120	1.4~16
LG-150	108~171	~28	100~150	3~18
LG-200	140~230	~32	125~200	3.5~22

表 15-6 多辊式冷轧管机管料的尺寸 (单位: 毫米)

轧 机	管 料 尺 寸		成 品 尺 寸	
	直 径	壁 厚	直 径	壁 厚
LD-8	3.5~9	0.3~1.3	3~8	0.1~1.0
LD-15	9~17	~1.8	8~15	0.1~1.0
LD-30	17~34	~2.5	15~30	0.1~2.0
LD-60	32~64	~4	30~60	0.2~3.0
LD-120	63.5~127	~3.5	60~120	0.25~2.5

二辊式冷轧管机孔型系的配置见表15-7。

表 15-7 二辊冷轧管机的孔型系 (单位: 毫米)

轧 机	孔 型 系			
	国 内 某 厂		苏 联 某 厂	
XПТ-32	51→30, 40→25		46→25, 38→24, 32→20, 32→18	38→27, 38→22, 32→19,
XПТ-55	65→48,	57→40	57→38, 57→28, 51→32, 48→28	57→32, 57→22, 48→32,
XПТ-75	114→95, 96→76, 89→57.	102→85, 89→65, 83→50.5	102→89, 83→57, 83→48, 68→38	89→76, 83→51, 76→51,

三、道次变形量的选择和变形道次的确定

1. 道次变形量的选择

在使用同一种管料的条件下，冷加工时道次变形量的大小，就直接决定了变形道次的多少。因此，编制工艺程序表时必须根据冷加工方式合理地选择道次变形量，包括变形程度（断面压缩率、延伸系数）、减径量和减壁量。应做到既保证设备安全和钢管质量，又能尽可能地减少变形道次。

冷轧钢管时，二辊式冷轧管机道次变形量的选择，要考虑轧机工作机架和传动系统主要部件的强度、所轧管材的钢种和它的塑性、对钢管的质量要求等。在实际生产中，钢管的直径精度、纵向壁厚不均、表面状态以及工具的寿命等工艺因素常成为提高道次变形量的限制因素。中间道次变形量可以大一些，成品道次要小一些。

在多辊式冷轧管机上轧制钢管时，因为允许的减径量很小，因此，实际能达到的道次变形量比二辊式冷轧管机的小一些。

一些二辊式和多辊式冷轧管机的道次变形量见表15-8和15-9。

表 15-8 我国二辊式冷轧管机的道次变形量

钢 种	变 形 参 数	轧 机 型 号					
		LG-30	LG-55	LG-80	LG-120	LG-150	LG-200
碳 钢	最大断面压缩率，%	88	88	88	80	80	80
	最大壁厚压缩率，%	75	75	75	70	70	70
	最大直径压缩量，毫米	24	33	33	50	50	50
	最大延伸系数	8.5	8.5	8.5	5	5	5
合金钢	最大断面压缩率，%	79	79	79	70	70	70
不 锈 钢	最大壁厚压缩率，%	70	70	70	60	60	60
	最大直径压缩量，毫米	24	33	33	50	50	50
	最大延伸系数	5	5	5	3.5	3.5	3.5

冷拔钢管时，几种主要拔制方式的道次变形程度见表15-10。

下面对短芯棒和无芯棒拔制的道次变形量的选择作些重点讨

表 15-9 苏联二辊式和多辊式冷轧管机的道次变形量

变 形 参 数	二辊式冷轧管机			多辊式冷轧管机	
	XIIТ-III型		XIIТ-I型	碳 钢	不 锈 钢
	碳 钢	不 锈 钢			
最大断面压缩率, %	90	75	68	83	80
最大壁厚压缩率, %	70	62	60	80	76
最大直径压缩量, 毫米	21~35	21~35	20~25	2~3	1~3
最大延伸系数	10	4	3.1	6	5.5
实际延伸系数	4~5.5	3~4	2.5~3	2.5~4	2.5~3.5

表 15-10 主要拔制方式的道次变形程度

拔 制 方 式	道 次 变 形 程 度	
	最大断面压缩率, %	延 伸 系 数
无芯棒拔制	30~35	1.1~1.5
短芯棒拔制	35~40	1.2~2.0
游动芯棒拔制	35~42	1.2~2.0
长芯棒拔制	40~54	1.7~2.4
扩拔	每道直径扩15~20%或5~10毫米	

论。

影响冷拔道次变形量的主要因素有：

1) 钢的冷加工性能，包括钢的强度和塑性。一般，塑性好、强度较低的低碳钢钢管拔制时可以采用较大的道次变形量。对于强度较高、塑性较差的合金钢和含碳量较高的碳钢钢管，则道次变形量要取小一些；

2) 管身强度。由于拔管时拔制力作用在钢管端部，因此，在拔制过程中，离开了变形区的钢管，仍处在轴向拉应力状态。所以拔管时特别是在短芯棒拔制时，道次变形量受管身强度的限制，按选择的道次变形量拔制不能出现拔断现象；

3) 拔管机的能力。选择道次变形量必须考虑拔管机的能力。变形时的拔制力不应超过拔管机实际能承受的能力，否则会发生设备事故。

在钢管断面积一定的条件下，在拔制同一种钢种的钢管时，延伸系数愈大，拔制力愈大；同样，延伸系数一定，钢管的断面积愈大，拔制力也愈大。因此，在拔制大规格的钢管时，选择变形量更要注意拔管机的能力；

4) 拔制方式和模具类型。在选择道次变形量时，也要考虑拔制方式和模具的类型。一般，在短芯棒拔制时，道次变形量受拔断及拔管机能力的限制是主要的。而在无芯棒拔制时，由于其变形过程的特点，在拔制薄壁管时防止钢管的凹折，在拔制较厚的钢管时防止钢管在拔制后开裂，通常是限制道次变形量的原因。只有在拔制厚壁管时拔断一般才成为限制无芯棒拔制道次变形量的主要因素。

短芯棒拔制和无芯棒拔制目前在生产中都使用着两种类型的模具。选择道次变形量也要考虑模具的类型。当其他条件相同，用锥形拔管模和圆柱形短芯棒拔制时，拔制力较小，因此，可取较大的道次变形量。采用弧形拔管模和圆锥形芯棒时，拔制力较大，道次变形量要取小一些。但用弧形拔管模和圆锥形短芯棒拔制时，拔制过程稳定，即使在酸洗、润滑质量较差的情况下，也不会像用锥形拔管模和圆柱形芯棒拔制那样，产生剧烈的抖动，同时所拔钢管的内表面质量比较好。在无芯棒拔制时，用弧形拔管模比用锥形拔管模有更大的拔制力。根据有的厂的经验，在用弧形拔管模拔制厚壁管容易产生拔断现象的情况下，改用锥形拔管模拔制则有利于降低拔制力，防止拔断，因而可取较大的道次变形量。

在选择拔制的道次变形量时，除考虑上述因素外，在道次中间不经热处理而进行连续拔制的情况下，要考虑加工硬化对金属冷加工性能及道次变形量的影响，热处理、酸洗、润滑质量的好坏，直接影响到拔制力的大小，所以，在确定冷拔道次变形量时要考虑上述工序的质量情况；考虑到管料尺寸会有波动，第一道的变形量应取小一些，以留有余地；等等。

在短芯棒拔制时，钢管既减径又减壁，因此，在延伸系数一

定的情况下，还要注意减径量和减壁量的合理组合。

短芯棒拔制时，为了保证拔制前芯棒和拉杆一起能顺利地插入钢管的内孔，钢管的内径必须大于芯棒的直径，两者的最小差值就构成拔制时必需的最小减径量。实际减径量可以大于最小减径量，但不宜过大，不然会削弱作为短芯棒拔制主要目的的减壁作用，一般减径量 ≤ 12 毫米。

一般，短芯棒拔制道次的减壁量，平均为0.4~0.6毫米。管壁厚时减壁量大一些，管壁薄时减壁量小一些。图15-1为由72~75×4毫米的管料，用短芯棒拔制10和20钢钢管时，不同壁厚的减壁量范围。

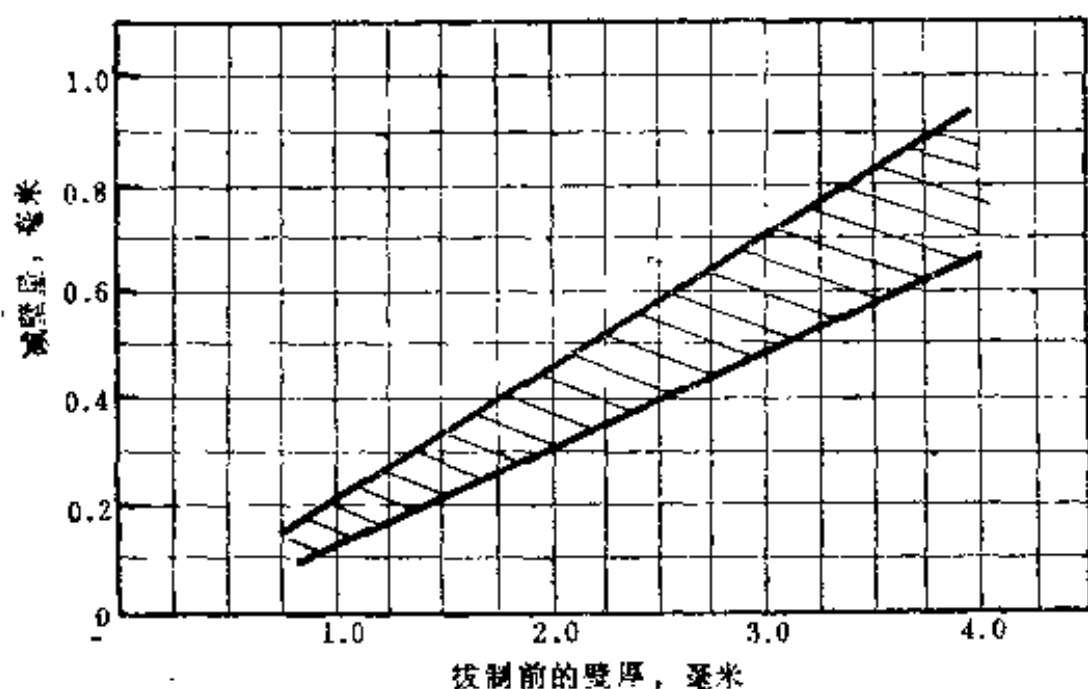


图 15-1 短芯棒拔制时减壁量与拔制前钢管壁厚的关系

无芯棒拔制时的变形程度取决于拔制时的减径量。

图15-2为根据一些厂的实际资料绘制的、用无芯棒拔制10和20钢钢管时减径率随所拔钢管壁厚与直径之比 $\frac{S}{D}$ 而变化的统计规律。

从该图可以看到，空拔时的最大减径率 $\frac{\Delta D}{D}$ 约为30%。当 $\frac{S}{D}$ 小于一定值时（从图可知这个值约为5%），所取的 $\frac{\Delta D}{D}$ 随 $\frac{S}{D}$ 的减小而

减少，这说明 $\frac{S}{D}$ 很小即拔制薄壁管时，变形量只能小一些，而且钢管的壁愈薄，变形量应愈小，以防止拔制时钢管因丧失稳定性而出现凹折。当 $\frac{S}{D}$ 大于一定值时，随 $\frac{S}{D}$ 值的增加，所取的 $\frac{\Delta D}{D}$ 变化不大或略呈下降的趋势，但应注意的是，这时，实际的延伸系数是随 $\frac{S}{D}$ 值的增加而增加的，因为，在减径率相同的条件下， $\frac{S}{D}$ 值愈大，延伸系数愈大，同时， $\frac{S}{D}$ 值大，无心棒拔制时管壁的增厚量少，甚至由增壁变为减壁，使延伸系数增大。在上述情况下，主要要防止钢管拔制时拔断或拔制后纵裂

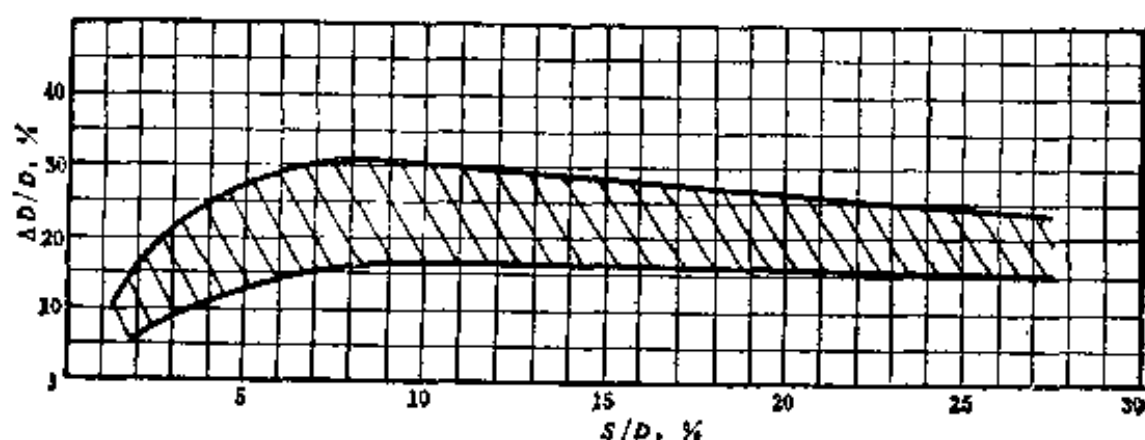


图 15-2 无心棒拔制时减径率 $\frac{\Delta D}{D}\%$ 与钢管壁厚与直径

之比 $\frac{S}{D}$ 的关系

2. 变形道次的确定

在钢管冷加工生产中，从管料加工到成品所需要的变形道次，一般利用平均延伸系数来计算。在采用单一冷拔或单一冷轧方案进行冷加工的情况下，变形道次可按下式确定：

$$n = \frac{\lg \mu_{\Sigma}}{\lg \mu_c} \quad (15-1)$$

式中 μ_{Σ} ——由管料加工到成品的总延伸系数，

$$\mu_{\Sigma} = \frac{F_0}{F_n}$$

F_0 ——管料横截面的面积；

F_n ——成品道次钢管横截面的面积；

μ_c ——平均延伸系数，即假设各道延伸系数都相等时的延伸系数。计算轧制道次时用轧制时的平均延伸系数，计算拔制道次时采用拔制时的平均延伸系数。

在采用轧拔结合的冷加工方案时，可先根据车间冷轧管机和拔管机的配置，冷轧机所具有的孔型系等具体条件，确定由冷轧转为冷拔时钢管的尺寸，然后再分别计算冷轧和冷拔的道次，两者之和即为总的变形道次。

下面介绍式15-1的推导。

设经过第一、第二、……第 n 道拔制后，钢管的断面积分别为 F_1 、 F_2 、……、 F_n 。则各道延伸系数将是：

$$\mu_1 = \frac{F_0}{F_1}; \quad \mu_2 = \frac{F_1}{F_2} \cdots; \quad \mu_n = \frac{F_{n-1}}{F_n}$$

把上列各式等号两边分别连乘得：

$$\mu_1 \mu_2 \cdots \mu_n = \frac{F_0}{F_1} \times \frac{F_1}{F_2} \times \cdots \times \frac{F_{n-1}}{F_n} = \frac{F_0}{F_n} = \mu_{\Sigma}$$

由上式可知，各道延伸系数的乘积等于总延伸系数。

在实际生产中，各道的延伸系数通常是不一样的，若以平均延伸系数来统一度量各道次的变形程度，则有

$$\mu_c = \mu_1 = \mu_2 = \cdots = \mu_n$$

所以

$$\mu_{\Sigma} = \mu_c^n$$

$$\mu_c = \sqrt[n]{\mu_{\Sigma}}$$

上式两边取对数得

$$n = \frac{\lg \mu_E}{\lg \mu_c}$$

平均延伸系数 μ_c 与钢种、加工方式、工艺及操作水平等有关。因此，在各厂之间和生产不同产品及生产条件改变时，平均延伸系数都会有所差别，应结合具体生产情况和实践经验选取。一般，二辊式冷轧管机的平均延伸系数为3.5左右，冷拔的平均延伸系数在1.3~1.6之间。

根据式15-1计算所得的 n 值若不为整数时，取为大于和最接近于计算值的整数。

第二节 辅助工序的确定

编制工艺程序表时，在计算变形规程的同时，应相应地确定钢管生产的工艺过程，即确定管料和中间管在拔制前和成品管在精整时应顺次进行的辅助工序。需要安排的主要工序和考虑的问题如下：

1) 钢管的连拔。连拔时可省去退火、酸洗等工序，是减少中间工序、加快钢管周转的好办法。生产中凡是热处理、酸洗、润滑质量好的钢管，一次热处理后，一般可以接连拔制2~3道，即连拔1~2次再进行下一次热处理。但在连拔前应重新涂皂。表15-11为某厂拔制10~45钢钢管时道次延伸系数和连拔总延伸系数的上限值，这是各厂中比较高的。

表 15-11 连拔的总延伸系数

钢种	拔制前的力学性能		延伸系数			
	强度极限	延伸率	短芯棒拔制		无芯棒拔制	
	σ_b , 兆帕	δ_s , %	一次	连拔总延伸	一次	连拔总延伸
10, 20,	315~390	20~24	1.65	2.3	1.65	1.86
35, 45	510~590	14~17	1.54	2	1.6	1.85

采用连拔时，若出现钢管拔断、钢管表面产生大量划道或在无芯棒拔制后出现纵裂，应停止连拔，把钢管送去退火。

2) 热处理。一般35钢以上的碳钢、大部分合金钢和高合金钢的管料,在冷加工前要进行热处理。冷加工后不能进行连拔和连拔以后的钢管都要进行中间热处理,以消除加工硬化。成品管要进行成品热处理,使其得到应有的组织和性能。

3) 酸洗和润滑。凡管料和经过中间热处理的钢管,均须进行酸洗,清除表面氧化铁皮,并进行表面润滑。成品管可根据要求进行或不进行酸洗。

4) 锤头和切头。钢管的锤头和切头只存在于冷拔的生产过程中。一般,每锤一次头,应能拔制2~3次。以后继续拔制时,通常把老头切掉,再重新锤头。若为薄壁管或下道为无心棒拔制时,则中间可缩头一次。厚壁管由于缩头有困难,一般不采用缩头。

5) 中间矫直。冷拔生产中,如果热处理以后钢管的弯曲度较大,影响了酸洗打捆或在下一个短芯棒拔制中插心棒时,应在热处理后安排中间矫直。在用连续式辊底炉进行热处理的情况下,一般不安排中间矫直。当下一道为冷轧时,钢管在热处理后应进行中间矫直。

6) 检查和修磨。成品钢管必须检查表面质量,发现表面缺陷应在允许范围内进行修磨。

根据钢管的用途和使用要求,对某些钢管,在加工过程中的适当时候还须规定必要的中间检查和修磨工序。

第三节 金属消耗系数、投

料量和加工长度的计算

为了根据成品管的数量组织投料,安排和平衡各冷加工设备的生产任务以及进行经济核算,在编制每种产品的工艺程序表时,还应计算生产一吨钢管时在每个加工循环中的金属消耗以及由料到成品总的金属消耗系数,投料数量,各变形道次所加工钢管的根数和长度,全部道次加工钢管长度的总和,等等。

下面来分析钢管冷加工生产中的金属消耗。

在钢管的冷加工生产中，金属的消耗包括有形损耗和无形损耗两类。有形损耗指锤头、切头、取样和废品等的消耗。无形损耗指酸洗消耗和热处理烧损。

冷拔钢管时因锤头而造成的金属损耗决定于锤头的长度。而锤头长度又与模座结构和拔管模的尺寸等有关。一般，锤头部分的平均长度为150毫米左右。钢管长度增加，锤头损耗相对降低。

切头损耗指生产过程中不计在锤头损耗之内的其他的中间切头切尾和成品切头切尾损耗。

热处理烧损为热处理过程中由于氧化而造成的金属损耗。当采用保护气体热处理时，可以降低烧损。

表 15-12 冷轧钢管生产中的金属损耗

工 序	金属损耗，%
不锈钢管料磨削	2.5
管料的车和镗	按实际量计算
碳钢钢管酸洗（每一次）	0.5
不锈钢钢管酸洗	1.5
退火时的烧损	0.75
淬火时的烧损	1.0
在保护气体下加热时的烧损	0.1
轧制废品	1
轧制前切头尾	1
成品切头尾	
轧后长度 ≤ 20 米时	1.75~2.5
轧后长度 ≈ 7 米时	5~7
取作力学性能试验的试样	
碳钢和合金钢	1
不锈钢	1.5
最终废品	≤ 1.5
成品修磨	0.5
不锈钢钢管的钝化	0.5

酸洗损耗是由于金属在酸洗过程中的溶解而造成的。酸洗一次，损耗的金属约为酸洗钢管重量的0.5%。

成品检验取样的数量与钢管的钢种和品种有关。不同钢种和品种的钢管，其检验项目不同，取样的数量和造成的金属损耗也不同。

废品中包括轧废、拔废的中间废品和成品检验时性能、尺寸和表面质量不合格的钢管。一般，合金钢钢管、高标准和精密管、小口径管的废品率分别高于碳钢钢管、一般用途管、大规格

表 15-13 冷拔钢管生产中的金属损耗

工 序	金属损耗，%
锤头损耗（锤头长度 $\approx$ 150毫米）	
锤头前钢管长度为4米时	4.0
锤头前钢管长度为10米时	1.5
碳钢钢管酸洗（每一次）	0.5
不锈钢钢管酸洗	1.5
钢管退火烧损	0.75
钢管淬火烧损	1.0
在保护气体下加热时的烧损	0.1
中间废品	
拔制直径 >15 毫米的钢管时	0.5
拔制直径 <15 毫米，壁厚 <1.0 毫米的钢管时	0.75
拔制直径 <10 毫米的钢管时	1.0
成品管的切头切尾（在定尺管两端共切400毫米，非定尺管两端共切300毫米的情况下）	
成品管的平均长度为5~6米时	5~7
成品管的平均长度约为12米时	2.5~3
取作力学性能试验的试样	
船舶用管及碳素结构管	1.0
Cr-Mo和Cr-Mn-Si结构管	4~8.0
最终废品	0.5~1.0

钢管。

冷轧和冷拔钢管生产中，各项金属损耗的参考数据见 表15-12和15-13。

关于投料数量、各道次加工钢管的根数和长度以及全部道次加工钢管长度的总和等的计算见下一节。

第四节 编制工艺程序表的方法、步骤及算例

下面分别介绍拔制表和轧制表的编制方法以及它们的算例。

一、拔制表的编制

举例：编制按GB3087-82标准生产20钢 25×2.0 毫米锅炉钢管的拔制表。

1. 变形规程的计算（表15-14）

2. 辅助工序的确定

算例中的辅助工序的安排见表15-18。

3. 拔制力的计算与拔管机的选用（表15-15）

4. 管料、中间管以及成品管的金属损耗、有效重量和有效长度的计算（表15-16）

5. 吨管的投料量、金属消耗、每道次拔制长度和总拔制长度的计算。

不包括因取样和废品造成的金属损耗时，生产一吨钢管的投料量、金属消耗、每道次拔制长度和总拔制长度的计算列于表15-17。

算例的拔制表见表15-18。

二、轧制表的编制

举例：编制 20×1.0 毫米不锈钢钢管的轧制表。

1. 变形规程的计算（表15-19）

2. 辅助工序的确定

算例中辅助工序的确定见表15-20。

3. 金属消耗和拔制长度的确定（表15-20）

表 15-14 变形规程的计算

步 骤	计算公式	算例中的取值或计算结果																									
(1) 基础计算: 选择管料尺寸 计算管料断面积 计算成品管的断面积 计算总延伸系数 确定拔制方法 计算总拔制道次	$F_0 = \pi(D_0 - S_0)S_0$ $F_K = \pi(D_K - S_K)S_K$ $\mu_E = \frac{F_0}{F_K}$ $n = \frac{\lg \mu_E}{\lg \mu_c}$	选用 $57 \times 3.5 \times 5000$ 毫米的管料 $F_0 = \pi(57 - 3.5)3.5 = 588 \text{ 毫米}^2$ $F_K = \pi(25 - 2)2 = 144.44 \text{ 毫米}^2$ $\mu_E = \frac{588}{144.44} \approx 4.07$ 开始为短芯棒随后为无芯棒拔制 $n = \frac{\lg 4.07}{\lg 1.4} \approx 4.17$ 取整数, 定为 5 道 取 $\mu_c = 1.4$																									
(2) 第一次计算: 设定壁道次钢管壁厚 等于成品管壁厚的条 件下, 进行近似计算 1) 短芯棒拔制过程的计 算: 按总减壁量分配各道的 减壁量, 确定拔制道 次; 分配各道的减径量; 计算各道钢管尺寸及延 伸系数 2) 无芯棒拔制过程的计 算: 确定道次; 分配减径量; 确定每道次的壁厚变 化; 确定最后一道钢管的壁 厚; 计算各道的延伸系数		短芯棒拔制过程的第一次计算结果 <table border="1"> <thead> <tr> <th>道次</th> <th>减壁量 毫米</th> <th>减径量 毫米</th> <th>钢管尺寸 毫米</th> <th>延伸 系数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td>57×3.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0.5</td> <td>8</td> <td>49×3</td> <td>1.36</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.6</td> <td>9</td> <td>40×2.4</td> <td>1.53</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.4</td> <td>6</td> <td>34×2</td> <td>1.41</td> </tr> </tbody> </table> $n_K = n - n_E = 4 - 3 = 1$ $\Delta D_1 = 9 \text{ 毫米}$ $\Delta S_1 = -0.1 \text{ 毫米 (增厚 } 0.1 \text{ 毫米)}$ $S_1 = S_0 + 0.1 = 2 + 0.1 = 2.1 \text{ 毫米}$ $\mu_1 = \frac{F_0}{F_1} = \frac{\pi(57 - 2)2}{\pi(49 - 2.1)2.1} = 1.33$	道次	减壁量 毫米	减径量 毫米	钢管尺寸 毫米	延伸 系数	0			57×3.5		1	0.5	8	49×3	1.36	2	0.6	9	40×2.4	1.53	3	0.4	6	34×2	1.41
道次	减壁量 毫米	减径量 毫米	钢管尺寸 毫米	延伸 系数																							
0			57×3.5																								
1	0.5	8	49×3	1.36																							
2	0.6	9	40×2.4	1.53																							
3	0.4	6	34×2	1.41																							

续表 15-14

步 骤	计算公式	算例中的取值或计算结果																																				
(3) 第二次计算: 确定第一次计算中最后一道钢管壁厚与成品管壁厚的差值; 根据上述差值修正定壁道次钢管的壁厚; 重新分配减壁量和决定短芯棒拔制道次; 修订短芯棒拔制道次的减径量; 确定无芯棒拔制的道次; 计算无芯棒拔制道次的壁厚变化及最后一道钢管的壁厚; 计算各道次的钢管尺寸和延伸系数		$S_4 - S_K = 2.1 - 2 = 0.1$毫米 $S_{定} = S_K - 0.1 = 2 - 0.1 = 1.9$毫米 第二次计算结果 <table border="1"> <thead> <tr> <th>道次</th><th>减壁量 毫米</th><th>减径量 毫米</th><th>钢管尺寸 毫米</th><th>延伸 系数</th><th>拔制 方式</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td><td></td><td></td><td>57 × 3.5</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>1</td><td>0.5</td><td>8</td><td>49 × 3.0</td><td>1.36</td><td>短</td></tr> <tr> <td>2</td><td>0.6</td><td>9</td><td>40 × 2.4</td><td>1.53</td><td>短</td></tr> <tr> <td>3</td><td>0.5</td><td>6</td><td>34 × 1.9</td><td>1.48</td><td>短</td></tr> <tr> <td>4</td><td>-0.1</td><td>9</td><td>25 × 2</td><td>1.33</td><td>无</td></tr> </tbody> </table>	道次	减壁量 毫米	减径量 毫米	钢管尺寸 毫米	延伸 系数	拔制 方式	0			57 × 3.5			1	0.5	8	49 × 3.0	1.36	短	2	0.6	9	40 × 2.4	1.53	短	3	0.5	6	34 × 1.9	1.48	短	4	-0.1	9	25 × 2	1.33	无
道次	减壁量 毫米	减径量 毫米	钢管尺寸 毫米	延伸 系数	拔制 方式																																	
0			57 × 3.5																																			
1	0.5	8	49 × 3.0	1.36	短																																	
2	0.6	9	40 × 2.4	1.53	短																																	
3	0.5	6	34 × 1.9	1.48	短																																	
4	-0.1	9	25 × 2	1.33	无																																	

表 15-15 拔制力的计算与拔管机的选用

步 骤	计算公式	算例的计算结果																																				
(1) 计算拔制力	$P_i = K_i (F_{i-1} - F_i)$ $= K_i \Delta F_i$ 式中P—拔制力; K—拔制力系数; F—钢管断面积; i—道次序号	各道的拔制力和拔管机的吨位 <table><tr><th>n</th><th>F 毫米²</th><th>ΔF 毫米²</th><th>K 兆帕</th><th>P 千牛</th><th>拔管机能力 千牛</th></tr><tr><td>0</td><td>588.3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>1</td><td>433.5</td><td>154.8</td><td>1175</td><td>182</td><td>300</td></tr><tr><td>2</td><td>283.5</td><td>150.0</td><td>1175</td><td>176</td><td>300</td></tr><tr><td>3</td><td>191.6</td><td>91.9</td><td>1175</td><td>108</td><td>150</td></tr><tr><td>4</td><td>144.5</td><td>47.1</td><td>1175</td><td>55</td><td>100</td></tr></table>	n	F 毫米 ²	ΔF 毫米 ²	K 兆帕	P 千牛	拔管机能力 千牛	0	588.3					1	433.5	154.8	1175	182	300	2	283.5	150.0	1175	176	300	3	191.6	91.9	1175	108	150	4	144.5	47.1	1175	55	100
n	F 毫米 ²	ΔF 毫米 ²	K 兆帕	P 千牛	拔管机能力 千牛																																	
0	588.3																																					
1	433.5	154.8	1175	182	300																																	
2	283.5	150.0	1175	176	300																																	
3	191.6	91.9	1175	108	150																																	
4	144.5	47.1	1175	55	100																																	
(2) 选择拔管机																																						

表 15-16 钢管的金属损耗、有效重量和有效长度的计算

步 骤	计算公式	算例的计算结果
(1) 管料 单重, 公斤/米 每根重量, 公斤/根 金属损耗(每一根管料): 有形损耗 无形损耗	$g_0 = 7.85 \times 10^{-3} \times F_0$ $G_0 = 0.00785 F_0 L_0 = g L_0 \quad L_0 \text{—管料长}$ $Q_0' = l_0 g_0 \quad l_0 \text{—锤头的长度}$ $Q_0'' = (k_0 + m_0)(L_0 - l_0) g_0$ $k_0 \text{—管料热处理时的烧损率;}$ $m_0 \text{—管料酸洗时的金属损耗率}$	$g_0 = 0.00785 \times 588.3 = 4.618 \text{ 公斤/米}$ $G_0 = 4.618 \times 5 = 23.09 \text{ 公斤/根}$ $Q_0' = 0.16 \times 4.618 = 0.739 \text{ 公斤}$ $Q_0'' = (0 + 0.005)(5 - 0.16) \times 4.618 = 0.112 \text{ 公斤}$ 因管不热处理 $k_0 = 0$, 取 $m_0 = 0.5\%$
有效重量 有效长度 (2) 各个道次 钢管单重 金属损耗(按每一根管料计算) 有形损耗	$G_0' = G_0 - (Q_0' + Q_0'')$ $L_0' = L_0 - l_0$ $q_i = 0.00785 F_i \quad i \text{—道次序}$ $Q_i' = q_i l_i g_i$ q—锤头个数(在成品道次为切头切尾的钢管数);	$G_0' = 23.09 - (0.739 + 0.112) = 22.239 \text{ 公斤}$ $L_0' = 5 - 0.16 = 4.84 \text{ 米}$

步 骤	计算公式	算例的计算结果																																																																														
无形损耗	l_i —锤头长度 (在成品道次为锤头部分以外附加的切头和切尾的长度) $Q_i'' = (k_i + m_i) (L_i' - \mu_i - q_i l_i) \cdot g_i$ L_i' —钢管的有效长度; k —热处理的烧损率; m —酸洗时的金属损耗率 $G_i' = G_{i-1} - (Q_i + Q_i'')$ $L_i' = \frac{G_i'}{g_i}$	<table><tr><th>n</th><th>0</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th></tr><tr><td>F, 毫米²</td><td>588.3</td><td>433.5</td><td>283.5</td><td>191.6</td><td>144.5</td></tr><tr><td>g, 公斤/米</td><td>4.618</td><td>3.403</td><td>2.225</td><td>1.504</td><td>1.134</td></tr><tr><td>q, 个(次)</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>2</td></tr><tr><td>L, 米</td><td>0.16</td><td>0</td><td>0.16</td><td>0</td><td>0.30</td></tr><tr><td>Q', 公斤</td><td>0.739</td><td>0</td><td>0.712</td><td>0</td><td>0.681</td></tr><tr><td>k, %</td><td>0</td><td>0</td><td>0.75</td><td>0</td><td>0.75</td></tr><tr><td>m, %</td><td>0.5</td><td>0</td><td>0.5</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>μ</td><td></td><td>1.36</td><td>1.53</td><td>1.48</td><td>1.33</td></tr><tr><td>Q'', 公斤</td><td>0.112</td><td>0</td><td>0.269</td><td>0</td><td>0.154</td></tr><tr><td>G, 公斤</td><td>22.239</td><td>22.239</td><td>22.239</td><td>22.239</td><td>22.239</td></tr><tr><td>L', 米</td><td>4.84</td><td>6.535</td><td>10.629</td><td>10.629</td><td>10.217</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>4.777</td><td>2×7.67</td><td>2×9.00</td></tr></table>	n	0	1	2	3	4	F, 毫米 ²	588.3	433.5	283.5	191.6	144.5	g, 公斤/米	4.618	3.403	2.225	1.504	1.134	q, 个(次)	1	0	2	0	2	L, 米	0.16	0	0.16	0	0.30	Q', 公斤	0.739	0	0.712	0	0.681	k, %	0	0	0.75	0	0.75	m, %	0.5	0	0.5	0	0	μ		1.36	1.53	1.48	1.33	Q'', 公斤	0.112	0	0.269	0	0.154	G, 公斤	22.239	22.239	22.239	22.239	22.239	L', 米	4.84	6.535	10.629	10.629	10.217				4.777	2×7.67	2×9.00
n	0	1	2	3	4																																																																											
F, 毫米 ²	588.3	433.5	283.5	191.6	144.5																																																																											
g, 公斤/米	4.618	3.403	2.225	1.504	1.134																																																																											
q, 个(次)	1	0	2	0	2																																																																											
L, 米	0.16	0	0.16	0	0.30																																																																											
Q', 公斤	0.739	0	0.712	0	0.681																																																																											
k, %	0	0	0.75	0	0.75																																																																											
m, %	0.5	0	0.5	0	0																																																																											
μ		1.36	1.53	1.48	1.33																																																																											
Q'', 公斤	0.112	0	0.269	0	0.154																																																																											
G, 公斤	22.239	22.239	22.239	22.239	22.239																																																																											
L', 米	4.84	6.535	10.629	10.629	10.217																																																																											
			4.777	2×7.67	2×9.00																																																																											
钢管的有效重量																																																																																
钢管的有效长度																																																																																

表 15-17 投料量、金属消耗和拔制长度的计算

步 骤	计算公式	算例的计算结果																																				
(1)投料量, 根/吨	$N = \frac{1000}{G_n'}$ $G_n' \text{—成品管的有效重量}$	$N = \frac{1000}{20.422} = 48.96 \approx 49 \text{根/吨}$																																				
(2)金属消耗系数, 吨/吨	$B = \frac{G_0}{G_n'}$	$B = \frac{23.09}{20.422} = 1.131$																																				
(3)每道次的拔制长度, 米	$l_i' = N \frac{G'_{i-1}}{g_{i-1}} \mu_i$	算例中每道次的拔制长度和 总拔制长度的计算结果																																				
(4)总拔制长度, 米	$l_{\Sigma} = N \Sigma \frac{G'_{i-1}}{g_{i-1}} \mu_i$	<table> <tr> <th>n</th> <th>N</th> <th>L'</th> <th>μ</th> <th>l'</th> <th>l_Σ</th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>49</td> <td>4.84</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>49</td> <td>6.535</td> <td>1.36</td> <td>322.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>49</td> <td>2×4.777</td> <td>1.53</td> <td>489.9</td> <td>2426.8</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>49</td> <td>2×7.07</td> <td>1.48</td> <td>692.86</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>49</td> <td>2×9.00</td> <td>1.33</td> <td>921.5</td> <td></td> </tr> </table>	n	N	L'	μ	l'	l _Σ	0	49	4.84				1	49	6.535	1.36	322.5		2	49	2×4.777	1.53	489.9	2426.8	3	49	2×7.07	1.48	692.86		4	49	2×9.00	1.33	921.5	
n	N	L'	μ	l'	l _Σ																																	
0	49	4.84																																				
1	49	6.535	1.36	322.5																																		
2	49	2×4.777	1.53	489.9	2426.8																																	
3	49	2×7.07	1.48	692.86																																		
4	49	2×9.00	1.33	921.5																																		

表 15-18 生产20钢25×2毫米锅炉钢管的拔制表

管料规格 57×3.5×5000毫米；总延伸系数4.07， 每吨钢管投料根数49根， 每吨钢管的总拔制长度2425.8米

道次	钢管尺寸 毫米	钢管断 面积 毫米 ²	延伸 系数	拔制 方法	模具类型	拔制力 千牛	拔管机 吨位 千牛	辅助工序	拔后 钢管 数根	钢管单重 公斤/米	有效重量	
											根数	总重公斤
0	57×3.5	588.3						锤头，酸洗，润滑	1	4.618	22.239	22.239
1	49×3.0	433.5	1.36	短	{锥形拔管模 圆柱形芯棒	182	300	矫直，润滑	1	3.403	22.239	22.239
2	40×2.4	283.5	1.53	短	同上	176	300	切头，切断，退火，锤头，酸洗，润滑	2	2.225	10.629	21.258
3	34×1.9	191.6	1.48	短	同上	108	150	矫直，润滑	2	1.504	10.629	21.258
4	25×2	144.5	1.33	无	弧形拔管模	55	100	退火，矫直，切头尾	2	1.134	10.211	20.422

金属消耗 (每一根管料)											
有效长度											
道次	根长 米/根	总长 米	锤头 公斤 %	酸洗 公斤 %	烧损 公斤 %	切头尾 公斤 %	废品 公斤 %	试样 公斤 %	其他 公斤 %	合计	
										公斤	%
0	4.840	4.840	0.739	0.112	0.19					0.851	3.69
1	6.535	6.535									
2	4.777	9.554	0.712	0.108	0.47	0.161	0.7			0.981	4.27
3	7.070	14.14									
4	9.000	18.000			0.154	0.67	0.681	3.0		0.835	3.67
										2.667	11.63
											1.131

表 15-19 变形规程的计算

步	骤	计算公式	算例的取值或计算结果
(1) 基础计算:			
选择管料尺寸			选用 $83 \times 5.75 \times 5000$ 毫米的管料
计算管料断面积		$F_0 = \pi(D_0 - S_0)S_0$	$F_0 = \pi(83 - 5.75) \times 5.75 = 1394.72$ 毫米 ²
计算成品管的断面积		$F_K = \pi(D_K - S_K)S_K$	$F_K = \pi(20 - 1) \times 1 = 59.66$ 毫米 ²
计算总延伸系数		$\mu_\Sigma = \frac{F_0}{F_K}$	$\mu_\Sigma = \frac{1394.72}{59.66} = 23.38$
确定轧制方法			全部道次用二辊式冷轧管机轧制
计算轧制道次		$n = \frac{\lg \mu_\Sigma}{\lg \mu_c}$	$n = \frac{\lg 23.38}{\lg 3.5} = 2.52$ 取 $n = 3$, 取 $\mu_c = 3.5$
(2) 轧制过程的第一次计算:			
选择轧机规格及孔型系			
根据孔型系计算各道次的减径量			
分配各道次的减壁量			
计算钢管尺寸和延伸系数			
第一次计算结果			
道次	1	2	3
轧机规格	XIII-75	XIII-55	XIII-32
孔型系, 毫米	83 → 57	57 → 38	38 → 20
减径量, 毫米	26	19	18
减壁量, 毫米	2.85	1.4	0.5
钢管尺寸, 毫米	57 × 2.9	38 × 1.5	20 × 1.0
钢管断面积, 毫米 ²	492.63	171.92	59.66
延伸系数	2.84	2.88	2.88
(3) 轧制过程的第二次计算			
			无修改

表 15-20 生产 20×1.0 毫米不锈钢钢管的轧制表

道次	钢管尺寸 毫米	钢管断面 积 毫米 ²	延伸 系数	轧机规格	辅助工序	轧制后 的钢管 数, 根	钢管的 单重 公斤/米	钢管重量		钢管长度		轧制后钢管的消耗	
								根重 公斤/根	总重 公斤	根长 米/根	总长 米	公斤	% 金属消耗系数
0	83×5.75	1394.72			修磨, 酸洗, 清洗, 镀铜, 润滑	1	10.95	54.75	54.75	5	5	2.74	5.0
1	57×2.9	492.63	2.84	XIII-75	切断, 脱脂, 稳定化退火, 初矫, 终矫, 切端部, 酸洗, 清洗, 镀铜, 润滑	3	3.87	17.34	52.01	4.48	13.4	2.21	4.25
2	38×1.50	171.92	2.86	XIII-55	切断, 脱脂, 稳定化退火, 初矫, 终矫, 切端部, 酸洗, 清洗, 镀铜, 润滑	9	1.35	5.53	49.80	4.10	36.9	2.12	4.25
3	20×1.0	59.66	2.88	XIII-32	切断, 脱脂, 淬火, 初矫, 终矫, 切端部, 磨光, 检查, 取样, 钝化	18	0.109	2.65	47.58	5.65	101.7	4.29	9.0
					考虑成品切头切尾损耗			2.41	43.39	5.15	92.5	1.43	3.0
					考虑废品损耗				41.96	4.97	89.5		1.305

第十六章 冷拔模具的设计、制作、 选配和安装^(1,5,8,33)

冷拔钢管所用的变形工具是拔管模（外模）和芯棒（内模），此外，尚有固定拔管模和芯棒用的模套、芯棒螺丝、连接杆及拉杆等附属工具。

拔制时模具直接对钢管进行加工，它们对冷拔生产的产量、质量、消耗和成本有很大的影响，因此，必须有严格的要求，主要考虑下列几方面：

- 1) 孔型设计合理，能满足变形的需要，拔制力小，拔制过程稳定，变形均匀和磨损均匀；
- 2) 几何形状和尺寸精确；
- 3) 工作表面光洁，表面粗糙度 R_a 为 $0.16 \sim 1.25$ 微米，不允许有缺陷；
- 4) 工作表面有足够的硬度和耐磨性。硬度应达到 $HRC \geq 60$ ；
- 5) 模具有足够的强度，避免在使用时因强度不足而损坏，或产生过大的弹性变形。模具还要求耐冲击和便于加工。

以上要求涉及模具的设计、材质及制造等环节。此外，模具的正确选配和安装，对保证所拔钢管获得所需要的几何形状和尺寸以及拔制过程的正常进行也有很大的意义。

下面讨论无芯棒和短芯棒拔制所用模具的设计、制作、选配和安装。

第一节 拔管模的设计

一、锥形拔管模

锥形拔管模可用于无芯棒和短芯棒拔制。用于短芯棒拔制

时，与圆柱形芯棒配合使用。

锥形拔管模的孔型由三部分构成（图16-1），即：

1）入口锥，是母线为直线的圆锥形孔，其作用是导入和压缩钢管的外径，使钢管变形；

2）定径带，为一圆柱形孔，起定径作用，使拔制后的钢管具有合乎要求的外径；

3）出口锥，为倾斜方向和入口锥相反的圆锥形孔，母线通常为一直线，但也有做成圆弧的。其作用是保护定径带，防止定径带出口一侧的边缘损坏，并避免钢管出口时被模具刮伤。

设计拔管模的任务就是确定孔型各部分及模子外形的尺寸，选择材料和对加工制作提出要求。下面讨论拔管模的参数设计。

定径带的直径 d 相当于要求拔制的钢管的外径，是拔管模的基本参数，但它主要根据需要确定。

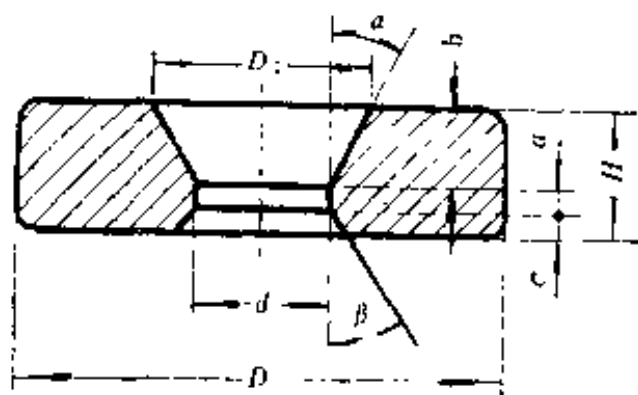


图 16-1 锥形拔管模

设计锥形拔管模的孔型主要是选定入口锥锥角 α 和定径带的长度。

入口锥锥角 α 的大小，直接影响拔制力。拔制力最小时的 α 最佳值，如前所述，与多种因素有关。目前生产中一般取 $\alpha = 12^\circ \sim 14^\circ$ 。

定径带的长度 a 对拔制力及拔管模的寿命有影响。 a 愈大，拔制力愈大，特别在短心棒拔制的情况下。 a 小则拔制力小，但易磨损而难于保持本身的形状，因而会降低使用寿命。在实际生产中， a 一般取为3~7毫米，并随所拔钢管外径的增加而加长。

入口锥的长度 b 与 a 、 d 及入口锥的最大直径 D_1 有如下的关系:

$$b = \frac{D_1 - d}{2 \tan \alpha}$$

而 $D_1 = D_0 + \Delta = d + \Delta D + \Delta$

式中 D_0 ——拔制前钢管的外径;

ΔD ——拔制道次的减径量;

Δ ——保证钢管顺利地进入拔管模而留的余量, $\Delta \geq 3 \sim 4$ 毫米。

利用上式, 可根据设定的道次减径量和入口锥锥角求入口锥的长度, 或在入口锥长度一定的条件下, 推算拔管模允许的最大减径量。

入口锥的母线与定径带母线及拔管模的端面应以圆弧连接。

出口锥应有一定的长度。在锥形拔管模上, 一般出口锥长度 c 与定径带长度 a 相近, 在出口锥的母线为直线时, 通常取其锥角 $\beta = 30^\circ$ 。

在拔管模的外形尺寸中, 确定其外径 D 时要考虑强度, 确定其厚度 H 时要考虑能满足变形的需要。目前生产中所用钢质拔管模的外径 D 与模孔直径 d 之间大致有如下的关系:

$$D \geq 2d$$

根据 d 的大小, 取 $H = 35 \sim 80$ 毫米。

为了减少拔管模的种类, 实际上拔管模的外形尺寸按模孔直径定为几种。

为了让拔管时拔管模的位置容易找正, 最好把它做成锥形, 和内孔带锥的模套相配合装在中心架上。拔管模外表面的锥角一般取为 5° 。

一些钢质拔管模的尺寸见表16-1。

二、弧形拔管模

除锥形拔管模外, 在我国的冷拔钢管生产中, 还使用一种弧形拔管模, 它可与锥形芯棒相配合进行短芯棒拔制, 但更为广泛

表 16-1 钢质锥形拔管模的尺寸 (单位: 毫米)

d	D	H	a	c	β , 度
>85	210	70	6	7	30
71~84	175	65	5	6	30
51~70	175	60	4	5	30
38~50	145	45	3	4	30

注: 符号见图16-1。

的是应用于无芯棒拔制。用于短芯棒和无芯棒拔制的弧形模, 孔型的参数有所不同, 现分述如下。

1. 短芯棒拔制用的弧形拔管模

弧形拔管模孔型的形状见图16-2。孔型一般由四部分组成, 即入口圆弧段、入口圆锥段、定径带及出口锥。其中圆锥段在有的设计中没有。

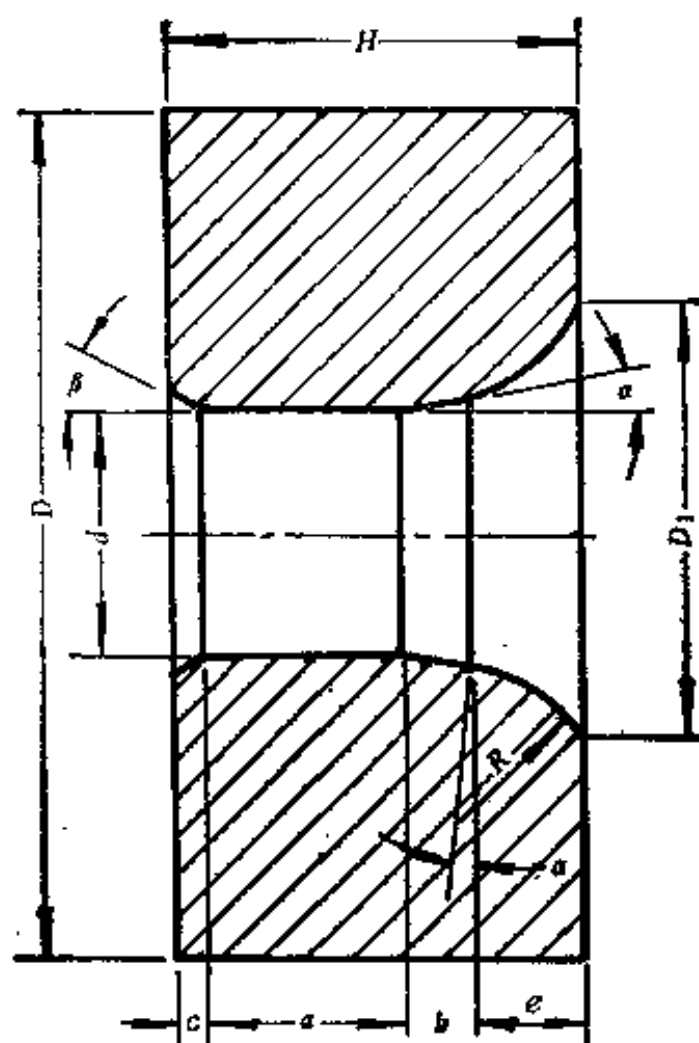


图 16-2 短芯棒拔制用的弧形拔管模

与锥形拔管模相比，定径带较长，入口部分的母线为圆弧或由圆弧和直线组成，是弧形拔管模的特点。孔型形状的这些特点与变形过程有关。

采用弧形拔管模和锥形芯棒进行短芯棒拔制时，在模子的定径带完成钢管的减壁和定径，为了实现上述变形和便于芯棒位置的调整，定径带必须有足够的长度。当然过长会增加拔制时的摩擦力和拔制力。

模子入口部分的母线为圆弧时，拔管过程中直径压缩率沿入口部分长度的分布比较均匀，同时入口部分与定径带之间平滑过渡。在圆弧段与定径带之间有一个小锥角的圆锥段有利于夹持钢管、防止拔制时管尾的甩动。

设计弧形拔管模的孔型，主要是确定定径带长度 a 、圆锥段的锥角 α 和长度 b 、圆弧段的圆弧半径 R 和长度 e 等参数。

定径带的长度 a 随模孔直径 d 的增加而加长。根据一些工厂的数据，当 $d = 12 \sim 80$ 毫米时， $a = 14 \sim 22$ 毫米，约占孔型总长度的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 。

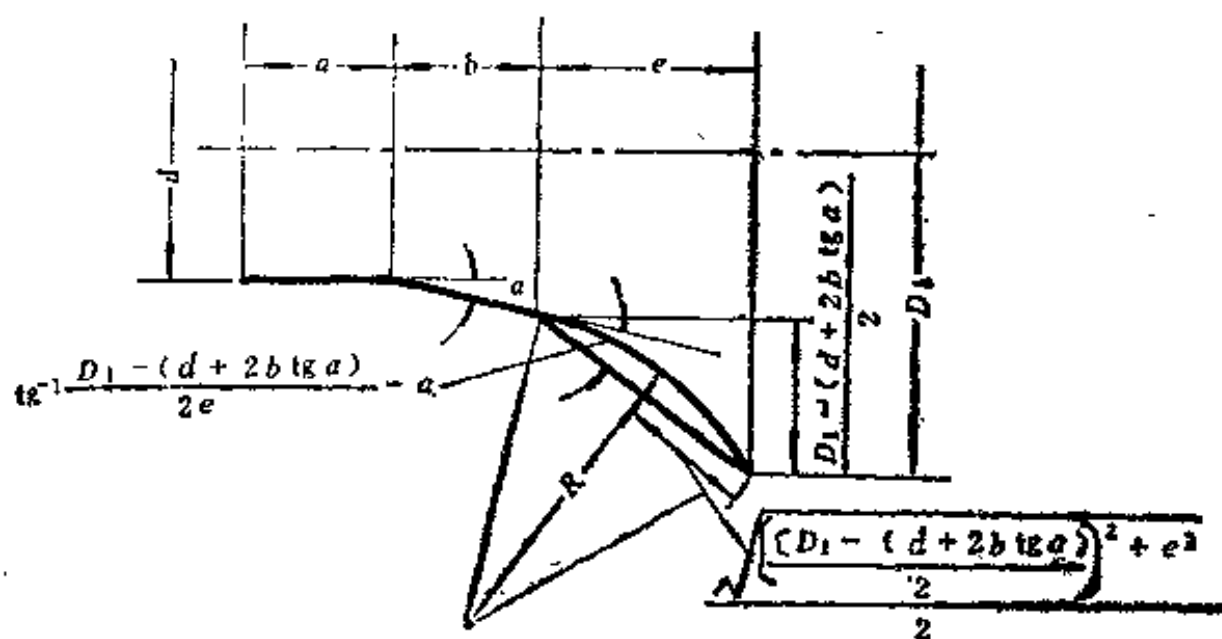


图 16-3 弧形拔管模孔型各尺寸间的几何关系

圆锥段的长度约为定径带长度的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ ，一般取 $b = 6 \sim 10$ 毫米。

圆锥段的锥角 α 大及圆弧段的圆弧半径 R 小，模口的开口度大，但在道次减径量一定的情况下，变形区短，入口部分对钢管的夹持作用较差。 R 大和 α 小时变形区长，入口部分对钢管的夹持作用较好，但模孔的开口度小；道次减径量较大时，需增加模子的厚度，同时也会增加拔制力。

圆锥段的锥角 α 通常在 $3^\circ \sim 5^\circ$ 的范围内。

根据图16-3所示的几何关系，圆弧半径 R 与圆锥段的锥角 α 、圆锥段的长度 b 、圆弧段的长度 e 以及模孔的开口度即入口部分的最大直径 D_1 和定径带直径 d 的差值 $D_1 - d$ 之间有如下的关系：

$$R = \frac{\sqrt{\left[\frac{D_1 - (d + 2b \operatorname{tg} \alpha)}{2}\right]^2 + e^2}}{2 \sin \left[\operatorname{tg}^{-1} \frac{D_1 - (d + 2b \operatorname{tg} \alpha)}{2e} - \alpha \right]}$$

$$= \frac{\sqrt{\left[\frac{(D_1 - d) - 2b \operatorname{tg} \alpha}{2}\right]^2 + e^2}}{2 \sin \left[\operatorname{tg}^{-1} \frac{(D_1 - d) - 2b \operatorname{tg} \alpha}{2e} - \alpha \right]}$$

拔管模开口度的大小取决于拔管时的道次减径量。在开口度已定的情况下，由上式可知， e 小则 R 小， e 大则 R 大。因为 R 的大小对拔制过程的稳定性和拔制力的大小有影响，所以决定 R 时，应根据所需要的模孔开口度 $D_1 - d$ ，并结合 e 值的选取一起考虑。

确定了 a 、 b 、 α 、 e 及 $D_1 - d$ 以后， R 可按上式计算或由作图法求得。

根据一些工厂的数据，当 $d = 12 \sim 85$ 毫米时，一般 $e = 8 \sim 25$ 毫米， $R = 15 \sim 45$ 毫米。

出口锥的考虑和锥形拔管模一样。

孔型定径带、圆锥段和圆弧段之间的连接必须光滑、无棱角。

表16-2为某厂使用的短芯棒拔制用弧形拔管模的尺寸。

表 16-2 短芯棒拔制用弧形拔管模的尺寸 (单位: 毫米)

d	D	H	a	b	e	R	α , 度	r (出口锥圆弧半径)
50~70	150	45	17	10	15	35	5	3
20~50	150	45	17	10	15	35	5	3
12~25	150	32	15	7	10	32	5	2

注: 符号见图16-2。

2. 无芯棒拔制用的弧形拔管模

无芯棒拔制用的弧形模和短芯棒拔制用的弧形模相比, 主要区别是, 前者定径带比较短, 圆弧段比较长, 圆锥段的锥角较小, 圆弧段的圆弧半径 R 较大。孔型的这种特点, 既可有较大的模孔开口度, 以满足无芯棒拔制时进行较大减径的需要, 又有利于保证拔制过程的稳定进行。

当模孔直径 $d=15\sim80$ 毫米时, 一般定径带的长度 $a=7\sim10$ 毫米, 圆弧段的长度 $e=15\sim30$ 毫米, 圆弧半径 $R=30\sim70$ 毫米。

表16-3为某厂无芯棒拔制用弧形拔管模的尺寸。

表 16-3 无芯棒拔制用弧形拔管模的尺寸 (单位: 毫米)

d	D	H	a	b	e	R	α , 度	r (出口锥圆弧半径)
35~80	163	50	8	10	29	60	3	3
<35	70	35	8	5	20	35	3	2

注: 符号见图16-2。

与锥形拔管模相比, 用弧形模进行无芯棒拔制时, 拔制后钢管的弯曲度小, 这给中间工序带来很大的方便; 拔制后钢管的

“缩径量”少，容易控制钢管的外径；此外，减径率沿变形区长度的分布比较均匀，模子的磨损也比较均匀。由于有这样一些优点，弧形拔管模在无芯棒拔制时有广泛的应用。

第二节 短芯棒的设计

芯棒的作用是和拔管模组成环形孔型，在拔制过程中压缩管壁，达到所要求的壁厚。

短芯棒常用的有两种，即圆柱形芯棒和圆锥形芯棒。如前所述，前者与锥形拔管模配合使用，后者与弧形拔管模配合使用。

一、圆柱形芯棒的设计

圆柱形芯棒分空心的和实心的两类。空心芯棒一般用来拔制内径 ≥ 30 毫米的钢管。在拔制内径较小的钢管时，由于芯棒直径已很小，如果再车制一个内孔，芯棒的壁就很薄，经不起大的径向压力，容易变形和破裂，所以要用实心芯棒。

空心圆柱形芯棒的形状见图16-4。使用时，芯棒用芯棒螺丝和连接套与芯棒拉杆连接在一起（图16-5）。这种芯棒机加工方便，可以两头使用，比较经济。

设计空心圆柱形芯棒时，主要是确定外径 D 、长度 L 和端部

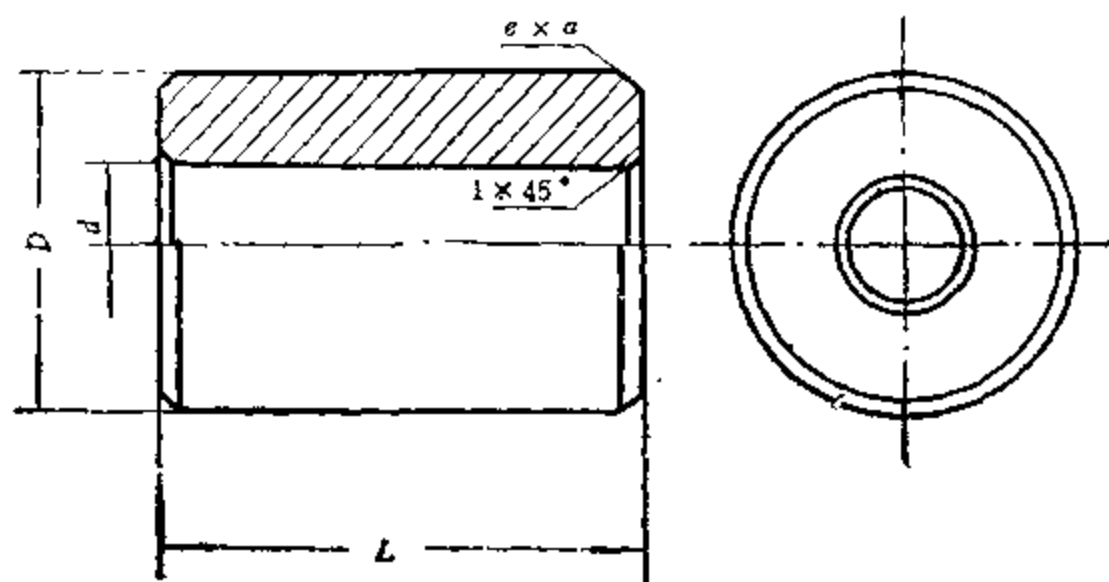


图 16-4 空心圆柱形芯棒

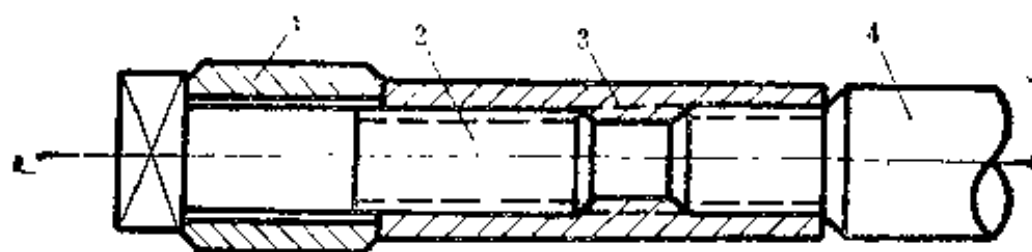


图 16-5 空心芯棒与拉杆的连接

1—芯棒；2—芯棒螺丝；3—连接套；4—拉杆

倒棱的角度。内孔的直径 d 根据芯棒螺丝的直径选定，前者略大于后者。芯棒的直径 D 等于拔制后钢管的内径。芯棒的长度 L 与芯棒直径 D 大致有如下的关系：

$$\frac{L}{D} = 1 \sim 1.5$$

D 大时比值 $\frac{L}{D}$ 较小； D 小时比值 $\frac{L}{D}$ 较大。生产中所用空心圆柱形芯棒的长度，当芯棒直径 $D = 28 \sim 70$ 毫米时，一般为35~50毫米。

为了保证开始拔制时芯棒能顺利地随钢管带变形区，芯棒端面一般倒成 45° 角（见第十一章第一节）。

常见的空心圆柱形芯棒的尺寸列于表16-4。

实心圆柱形芯棒有两种形式，一种为带内丝扣的实心芯棒

表 16-4 空心圆柱形芯棒的尺寸 (单位：毫米)

D	L	d	α , 度	e
28~31.6	35	16	45	2
32~37.6	40	20	45	2
38~43.6	40	23	45	2
44~49.6	50	26	45	2
50~60.6	50	30	45	3
61~70.6	50	33	45	3

注：符号见图16-4。

(图16-6)，一种为带凸尾螺丝的实心芯棒（图16-7）。

带内丝扣的实心芯棒和芯棒拉杆的连接方式见图16-8。凸尾实心芯棒和拉杆连接时，利用凸尾螺丝直接装在拉杆前面的连接套上。

实心芯棒只可使用一端，不能调转 180° 再使用另一端。

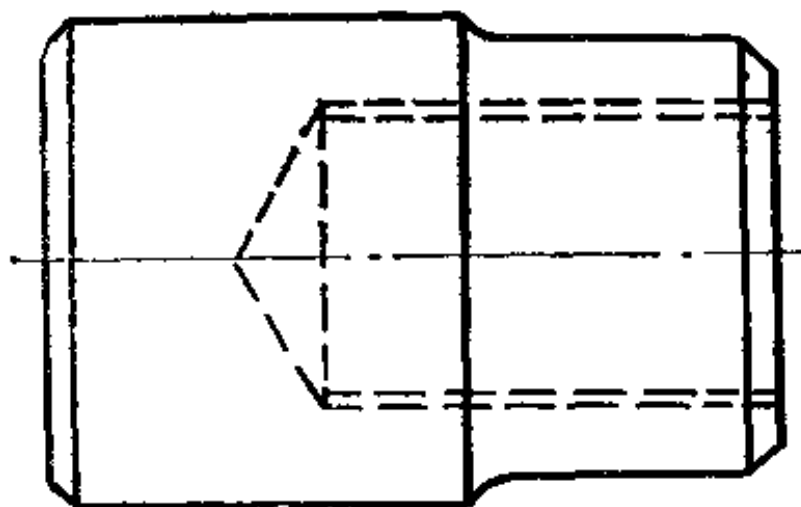


图 16-6 带内丝扣的实心圆柱形芯棒

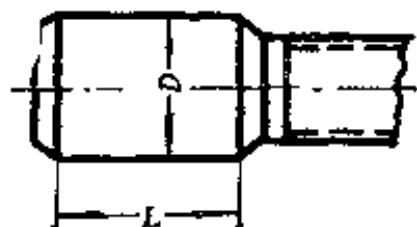


图 16-7 带凸尾螺丝的圆柱形芯棒

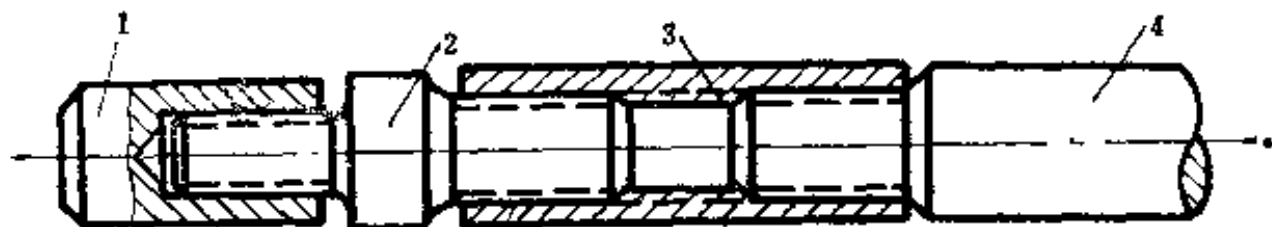


图 16-8 带内丝扣的实心圆柱形芯棒和拉杆的连接
1—芯棒；2—接手；3—连接套；4—拉杆

二、圆锥形芯棒的设计

短芯棒拔制用的圆锥形芯棒也有实心的（图16-9）和空心的（图16-10）两种。

使用圆锥形芯棒时，管壁的变形主要在芯棒的顶端进行。因此，对这种芯棒，正确选择其定径带的长度 α 及圆锥部分的锥角 β 很重要。

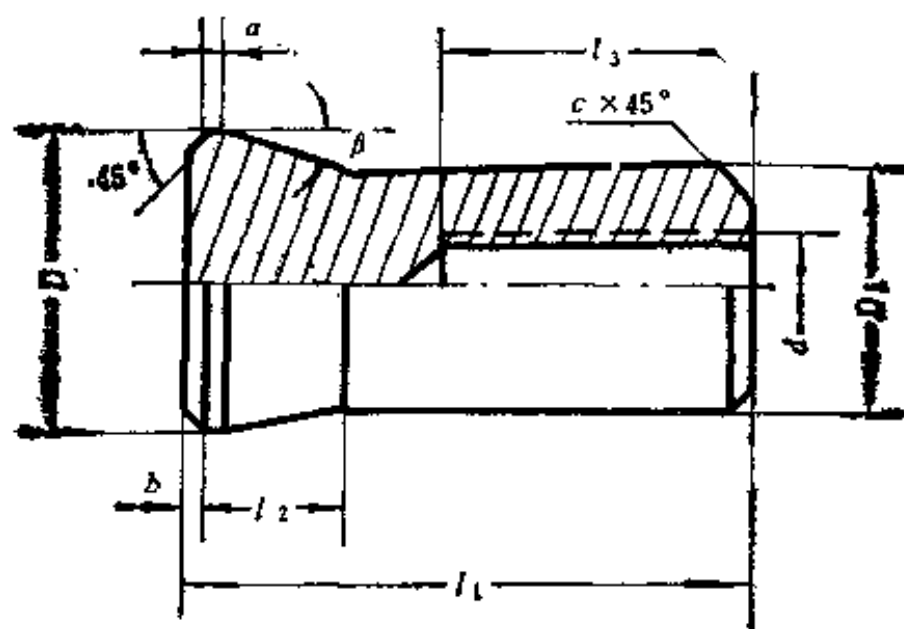


图 16-9 实心圆锥形芯棒

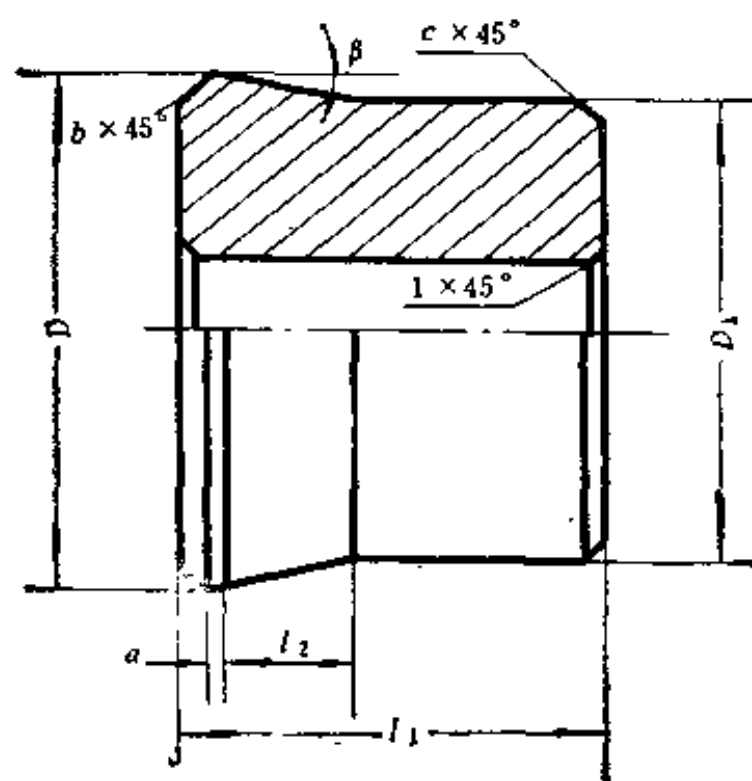


图 16-10 空心圆锥形芯棒

在减壁量一定的情况下， β 小则减壁区长，摩擦力增加； β 大则变形集中且正压力的水平分量增加。在上述两种情况下都会使拔制力增加。 β 大、变形集中还会加剧芯棒端部的磨损。因此，选择 β 角要综合考虑各种因素的影响。一般 $\beta = 8^\circ \sim 13^\circ$ ，常用的是 $8^\circ \sim 9^\circ$ 。

芯棒定径带的长度 α 一般为 ≤ 3 毫米, 过长会增加拔制时的摩擦力。

表16-5为某厂圆锥形芯棒的尺寸。

表 16-5 圆锥形芯棒的尺寸 (单位: 毫米)

D	D_1	d	l_1	l_2	l_3	a	b	c	α , 度	β , 度
15~17	$D-(1.5\sim 2)$	3/8"	40	12	18	1	1.5	1	45	9
18~21	$D-(2\sim 3)$	1/2"	46	13	24	1	2	1.5	45	9
22~25	$D-(2\sim 3)$	5/8"	50	14	27	1	2	1.5	45	9
26~31	$D-(3\sim 4)$	3/4"	55	17	24	1	2.5	2	45	9
32~36	$D-(4\sim 5)$	7/8"	58	20	30	0.5~1	3	2.5	45	9
37~55	$D-(5\sim 10)$	1"	60	20	30	0.5~1	3	2.5	45	9
>55	$D-8$		70	25		0.5~1	3	3	45	11

注: 符号见图16-9和16-10。

第三节 模具的制作

由于模具必须具有很高的硬度和耐磨性, 一定的强度和韧性, 高的工作表面的光洁度, 同时还要考虑取材和制作方便, 并能降低成本, 所以, 必须合理地选择模具材料和制订模具加工工艺。

一、制造模具用的材料

现用的模具有钢质模具和硬质合金模具两类。钢质拔管模用45钢、30CrMnSiA、40Cr5Ti以及12Cr5MnA钢等制作。钢质芯棒用35钢、45钢以及30CrMnSiA钢等制作。在国内, 生产中通常用45钢制作钢质拔管模和芯棒。因为, 45钢模具经过表面热处理后, 工作表面具有高的硬度和耐磨性, 而内层则有良好的综合机械性能, 同时, 取材方便, 成本较低。

除钢质模具外, 硬质合金模具特别是拔管模, 已在生产中广泛应用。硬质合金模具硬度高 ($HRC=85\sim 91$)、耐磨性好, 能大大提高使用寿命并能严格控制钢管的公差。至于硬质合金模具比较脆的缺点, 如果牌号选择合适, 镶装正确, 使用合理, 是可

以克服的。

硬质合金拔管模一般用牌号为YG8、YG11和YG15的硬质合金制作。硬质合金芯棒一般用YG15制作。YG8、YG11和YG15都是钨钴硬质合金。YG8和YG11中碳化钨的含量较多，钴的含量较少，因此，硬度和耐磨性较高，但使用时强度、抗冲击性和抗震动性较差，而YG15则相反。

二、钢质拔管模的制作

45钢拔管模大都是用锻造后的圆钢坯来制作的。圆钢坯的直径比拔管模的直径大5毫米左右，圆钢坯的厚度比拔管模的厚度大3毫米左右。为了降低硬度便于机械加工，加工之前圆钢坯应进行退火。退火后的硬度应为 $HB \leq 200$ 。

圆钢坯退火时，装炉温度应 $\leq 600^{\circ}\text{C}$ ，装炉后经两小时左右加热至 $820 \sim 840^{\circ}\text{C}$ 并在此温度保温三小时，然后在炉内以每分钟 $20 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 的冷却速度冷却至 600°C 再出炉空冷。退火时，圆钢坯不允许产生过热、过烧等缺陷。

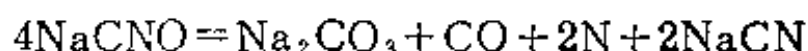
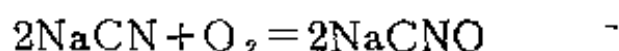
圆钢坯经退火并检查合格后，按要求进行机械加工。

为了提高拔管模工作表面的硬度和耐磨性，机械加工后的拔管模进行表面热处理。模具的表面热处理过去通常是进行氰化及淬火。近几年来我国有的工厂正在试用渗硼和三元（碳、硼、氮）共渗。

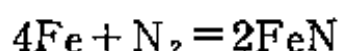
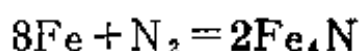
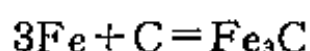
氰化具有渗碳和渗氮的性能，氰化层厚度均匀，深度容易控制，生产效率高，故应用较多。模具的氰化通常是用高温液体氰化法。液体氰化在盐浴内进行，应用较广的盐浴由 $\text{NaCN} + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaCl} + \text{BaCl}_2$ 组成。某厂氰化拔管模时盐浴中NaCN的含量为 $40 \sim 44\%$ ， Na_2CO_3 的含量 $< 40\%$ ，其余为 BaCl_2 和 NaCl ，其工艺制度如下：

装炉温度， $^{\circ}\text{C}$	保温温度， $^{\circ}\text{C}$	保温时间，时
760~800	820~920	3.5~4
淬火温度， $^{\circ}\text{C}$	冷却剂	
840~860	8~10% NaCl	

氰化层的厚度为1.0~1.8毫米。硬度为HRC≥63。氰化时，氰盐是表面渗碳和渗氮的来源，而在盐浴中有空气中的氧的溶解是氰盐进行分解的必要条件。氰化钠被空气中的氧氧化为氰酸钠，然后氰酸钠再进行分解：



由氰酸钠分解而产生的CO和N，在高温下产生渗碳和渗氮的作用。

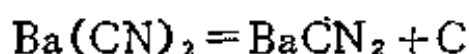
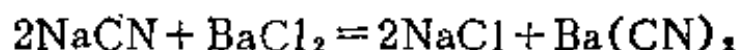


氰酸钠分解时还析出碳酸钠。如果碳酸钠的含量过多，由于它与氰化钠发生反应和本身的直接分解，要析出大量的二氧化碳：

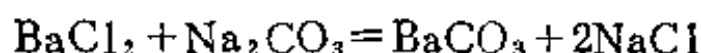


CO₂的析出会减低或抑制模子的渗碳过程。因此，为了减少氰化钠的消耗和防止渗碳过程受到的抑制，盐浴内碳酸钠的浓度不能过高。

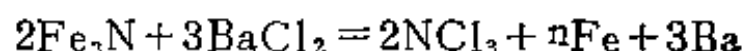
氯化钡的主要用途是提高盐浴的渗碳能力，因为氯化钡与氰化钠反应能产生大量的原子状态碳：



氯化钡还能与碳酸钠中和，降低碳酸钠的含量：



此外，氯化钡在高温时还会促使钢件脱氮：



所形成的NCl₃从盐浴内挥发掉。氮减少后促进了高温氰化时的渗碳过程。NaCl和BaCl₂也有类似的作用。

氰化的缺点是氰盐具有剧毒，它与空气中的 CO_2 及 H_2O 发生反应产生毒性很大的HCN（氢氰酸）气体。因此氰化处理时必须严格遵守操作规程。

近年来我国的一些工厂和研究单位开展了模具渗硼工艺的研究，并取得了很好的效果。一些研究指出，45钢冷拔模具经渗硼后，其使用寿命较氰化的约提高4~6倍。模具一般采用液体渗硼。一种渗硼盐浴的组成为：

$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	85%
Al	10%
NaF	10%

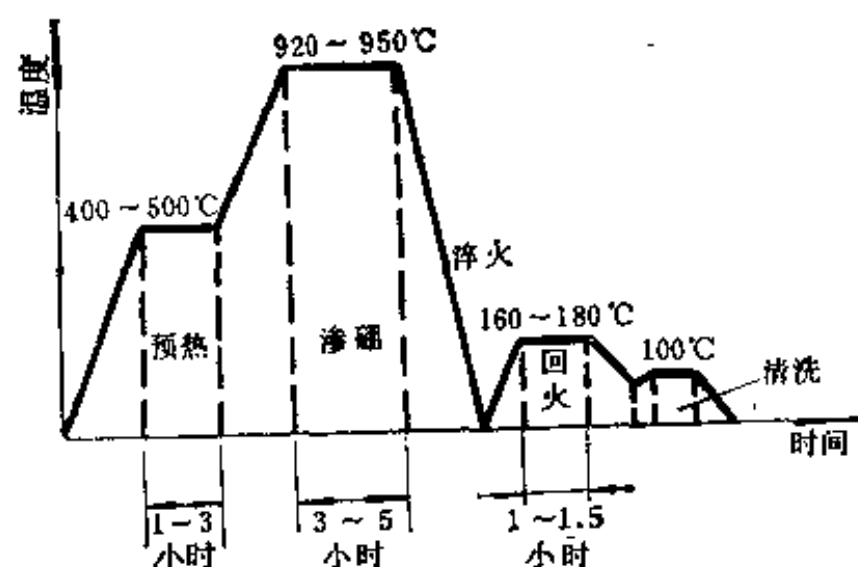


图 16-11 45钢渗硼处理曲线

对于45钢，渗硼温度为 $920\sim 950^\circ\text{C}$ ，保温3~5小时，渗硼后直接进行水淬，然后在 $160\sim 180^\circ\text{C}$ 回火，其渗硼处理曲线见图16-10。渗硼后进行淬火和回火，是为了既得到高的表面硬度，又使基体具有足够的硬度和韧性。

在渗硼层中，FeB的硬度很高但脆性大，容易剥落，因此，在渗硼时希望尽量减少FeB，而得到单相的 Fe_2B 。

当拔管模模孔直径小于25毫米时，采用液体渗硼。由于盐液的流动性差，渗硼过程缓慢，而且渗硼质量往往达不到要求。因

此，有的厂改用膏体渗硼（或称涂膏渗硼）。膏体由下列成分组成^[34]：

150目的碳化硼 (B_4C)	5~50%
粉末状的氟硅酸钠(Na_2SiF_6)	5~10%
100目的氟化钙(CaF_2)	40~90%

渗硼前，先将上述组成物混合均匀，然后用松香（30%）酒精（70%）溶液调成糊状。把糊状的膏体涂在已除去油污及锈斑的模孔上，涂层厚度约2毫米，晾干后模子成叠装箱，然后密封加热，进行渗硼。渗硼后出炉，将模孔内的残药去掉，待冷到840℃左右在水中淬火。最后在160~200℃时进行低温回火。整个渗硼过程的工艺曲线见图16-12。

经表面处理后的拔管模，应进行研磨抛光，再进行镀铬。镀铬可以提高拔管模的使用寿命。但实际生产中常不镀铬即使用。

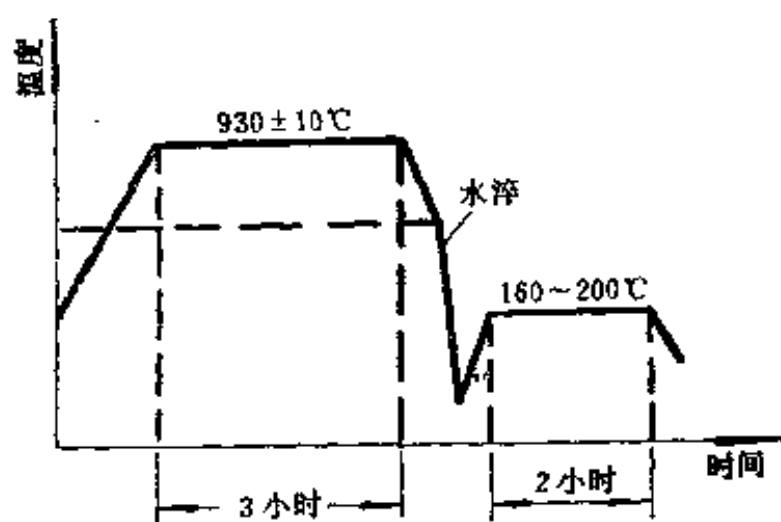


图 16-12 膏体渗硼的工艺曲线

三、钢质芯棒的制作

加工芯棒的原料是圆钢坯或厚壁钢管。为了容易车削，车削前原料也要进行退火以降低硬度。

机械加工合格后的芯棒进行表面热处理，工艺和拔管模的表面热处理类似。

芯棒在热处理后必须进行镀铬，即在芯棒工作表面上覆盖上一层厚度 $\geq 0.02 \sim 0.025$ 毫米的金属铬，以增加芯棒的耐磨性，减少拔制时的摩擦力，防止表面粘结金属并延长使用寿命。同

时，可以避免生锈，便于长期保存。

芯棒的镀铬采用电镀的方法。镀铬时不用铬阳极而用铅阳极，金属铬离子不由阳极补充而是由铬酸直接电解产生。电解液中铬离子的消耗用加入铬酐（ CrO_3 ）的办法来补充。

铬酐在水溶液中形成铬酸（ H_2CrO_4 ），并进行离解：

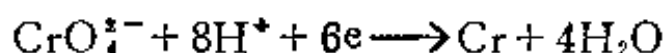


目前广泛采用的镀铬电解液中还含有硫酸。

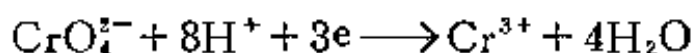
电解时，两个电极上发生的氧化、还原反应如下：

阴极反应

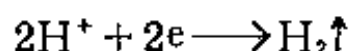
1) 金属铬离子的放电



2) 六价铬还原成三价铬

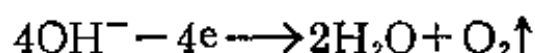


3) 氢气的析出

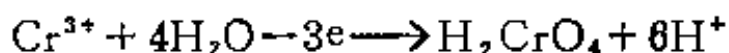


阳极反应

1) 氧气的析出



2) 三价铬氧化为六价铬



电镀一般用中等浓度的电解液，其中含有 CrO_3 200~250克/升，硫酸约为 CrO_3 的1%，即2.0~2.5克/升。电镀温度为55~60℃。电镀时，芯棒装在金属杆上和阴极母线相连，通过电解质的电流密度保持在30~35安/分米²。为了减少铬酐的消耗，实心芯棒不需要镀铬的部分可涂上绝缘材料。

芯棒镀铬质量的好坏，除与电镀本身的工艺有关外，和电镀前芯棒的表面状况关系很大，因此，应该重视电镀前芯棒表面的准备。

芯棒表面处理后，留在其表面和丝扣部分的残渣，镀铬前必须清洗干净。如果有残留的盐带入镀槽，将影响铬层质量，并使

电解质变质。因此，芯棒在电镀前要先浸入水中煮沸，逐个清洗。

为了增加铬层与芯棒基体的附着力，要把表面上机械加工的痕迹及氧化薄膜去掉，所以，镀铬前芯棒表面还需要磨光，一般用无心磨床进行研磨。

芯棒在镀铬前还必须除油。有的厂除油时，芯棒首先在5%的NaOH溶液中碱洗，碱洗后用清水冲洗，冲洗后再放入3%的硫酸溶液中弱酸洗，1~2秒钟后，立即清洗装入镀槽。除油也可在温度为70~80℃的下述成分的电解液中进行（电解清除）：NaOH10克/升， Na_3PO_4 25克/升， Na_2CO_3 25克/升和 Na_2SiO_3 5克/升。电解时，电流密度保持在8~10安/分米²，其大小取决于进行除油的芯棒的表面积。电解除油后的芯棒需经热水冲洗后才能送入镀槽镀铬。

镀铬后的芯棒应用冷水洗去电解液。

冷水冲洗后的芯棒，为了防止出现氢脆，必须进行烘干，烘干温度为180~200℃，时间为1~2小时。

四、硬质合金拔管模模坯的镶套和模孔的加工

硬质合金的优良特性是具有高的耐磨性和抗压强度，但它的抗张和抗冲击性能较差。在冷拔钢管时，拔管模在圆周方向上受到很大的张力，因此，使用硬质合金拔管模时，模坯必须镶上外套，由外套给它施加一定的压应力，以减小或抵销模坯工作时的张应力，增加它的强度以防止在使用时破裂。

冷拔钢管用的硬质合金拔管模一般采用单层镶套(图16-13)。模子的使用寿命在很大程度上决定于它的镶套质量。套必须镶得紧密而牢固，以保证使用时，在外力的作用下或受热膨胀后外套不松弛。因此，要正确选择外套的材料和过盈量，尽量减小模坯和外套内孔的椭圆度。镶装时模孔的中心线应垂直于外套底部的支承面。

外套多用45钢制作。如果拔制时模坯内的应力很大时，外套也可用40Cr、35CrMnSi等合金结构钢制作。

确定外套尺寸，要考虑拔制时模坯受的力及镶套时要加的预应力，一般按下列经验公式计算：

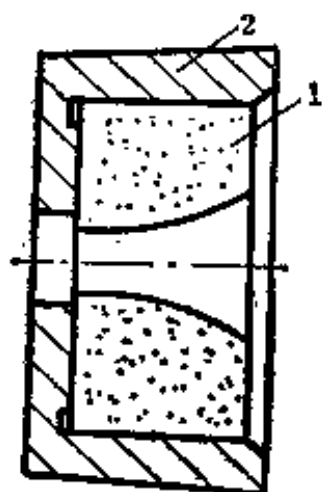


图 16-13 硬质合金拔管模
模坯的镶套
1—模坯，2—外套

$$D_0 = \frac{d}{K}$$

$$H_0 \geq 2h$$

式中 D_0 ——外套的直径；
 H_0 ——外套的高度；
 d ——模坯的直径；
 h ——模坯的高度；
 K ——模具几何系数，大小与材料强度及内应力有关，其最佳值为 0.4~0.75。

一些硬质合金拔管模外套的尺寸见表16-6。

表 16-6 硬质合金拔管模外套的尺寸 (单位：毫米)

模 坯 尺 寸		外 套 尺 寸	
d	h	D_0	H_0
20~26	12~18	50	30
30	21~22	70	40
35~50	25~28	100	50
60~65	30~35	100	60
70~80	35	150	70
90	35	175	70
100	40	200	80

镶套一般采用红装的方法，即将外套加热，趁热将模坯镶入，利用热胀冷缩的原理而达到紧配合的方法。要使红装成功，关键是掌握过盈量，过盈量的参考值见表16-7。

红装前将外套加热到800~850℃，一般不要超过900℃。加热温度过低，外套容易冷却，镶装时不好操作。加热温度过高，会增加外套内孔的氧化和导致镶装时外套发生塑性变形，既降低

了红装的紧配程度，又易使同心度产生误差。

表 16-7 硬质合金拔管模红装时的过盈量 (单位：毫米)

模坯直径	过 盈 量	模坯直径	过 盈 量
17.5~20.5	0.05~0.06	44.5~50.0	0.11~0.13
20.5~24.0	0.06~0.07	50.0~75.0	0.12~0.14
24~28.5	0.07~0.08	75~87.5	0.14~0.16
28.5~35	0.08~0.11	87.5~100	0.16~0.18
35~44.5	0.09~0.12	100~125	0.18~0.20

为了防止镶装时模坯因急热而产生裂纹，镶装前模坯可先预热到300℃左右。

红装时要使模坯始终保持垂直状态。

在使用前模坯的内孔要进行加工，一般包括扩孔、研磨和抛

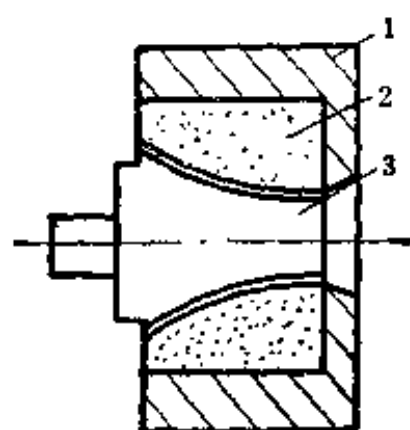


图 16-14 工具阴极的示意图

1—外套；2—硬质合金模坯；
3—工具阴极（模芯）

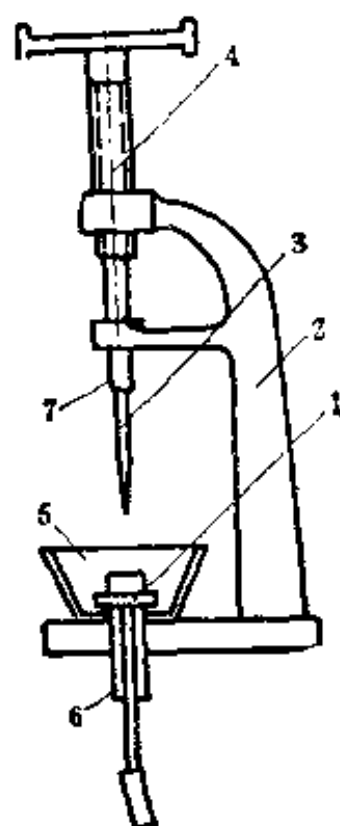


图 16-15 电解磨削机的基本结构

1—模子托座（工具阳极）；2—支架；
3—工具阴极；4—升降轴；5—电解液；
6—正极；7—负极

光三个过程。模坯的扩孔通常采用电解磨削方法。电解磨削法效率高，比机械研磨法约高10倍以上。

电解磨削法是根据阳极溶解的原理进行的。电解磨削时，把待加工的模子连接在电源的阳极，称工作阳极，按模孔应有的形状和尺寸制成的模芯接于电源的阴极，称为工具阴极。工具阴极的示意图与电解磨削机的基本结构分别见图16-14和16-15。

电解磨削时，两极之间保持一定的间隙（2~3毫米），具有一定压力的电解液从中通过。图16-16为电解磨削过程的示意图。图中的阴影线表示两极之间的电流，其疏密程度表示电流密度的大小。在两极距离最近的地方，电流密度最大，此处阳极溶解得最快。由于阴极或阳极（通常是阴极）的不断送进，模孔表面就不断被电解，直至模孔形状与模芯形状基本吻合。

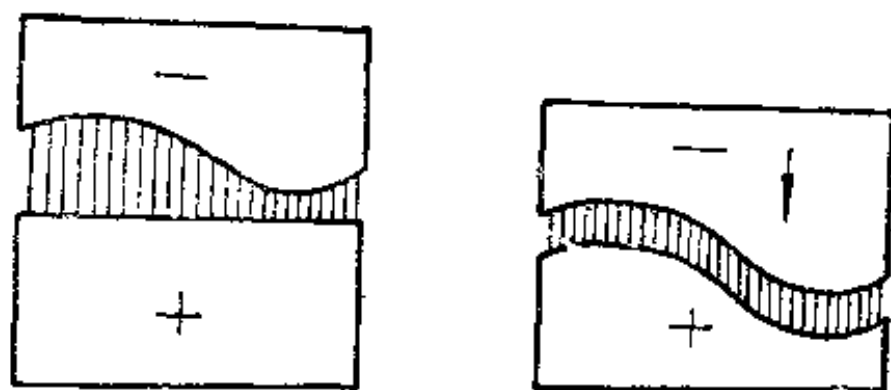


图 16-16 电解磨削过程示意图

电解液的配方有不少种。其中比较简单的是含碳酸钠（ Na_2CO_3 ）40~100克/升和氯化钠（ NaCl ）40~100克/升的水溶液。其他配方有酒石酸（ $\text{H}_2\text{C}_4\text{O}_6$ ）150克/升、氢氧化钠（ NaOH ）150克/升、氯化钠（ NaCl ）20克/升和酞酐（ Cr_2O_3 ）0.05克/升，等等。

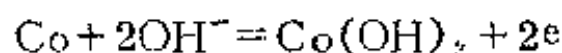
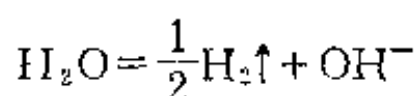
由于在硬质合金的溶解过程中，其表面生成的氧化物 WO_3 不易溶于酸性和中性溶液，而易溶于碱性溶液，所以电解液中要有碱的成分。

NaCl 在电解过程中起活性作用。在通电的情况下，活性阴离子能破坏模孔表面的氧化膜，可以加速工件的溶解。

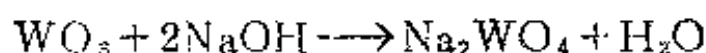
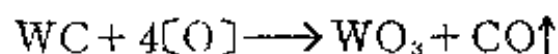
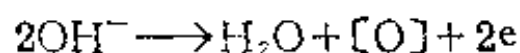
酒石酸是一种络合性溶液，它的作用是络合被溶解下来的金属离子形成可溶性的络合物，从而加速工件的溶解并保持电解液的清洁，并能改善工件表面的光洁度。

在有的配方中，含有硝酸钠、亚硝酸钠、磷酸或磷酸钠等成分，它们都起钝化作用。在一定条件下它们可以减少工件的腐蚀，增加表面的光洁度。

电解磨削过程中，在阳极，首先是硬质合金中粘结剂钴的溶解，在阴极则放出氢气：



阳极在钴溶解的同时放出氧，初生态氧将阳极中的碳化钨氧化：



电解产物溶于高速流动的电解液中并被带走。电解过程不断地进行，直到模孔被加工成型。

在电解磨削后，为了提高模孔的精度和表面光洁度，模孔还要进行研磨和抛光，研磨时可先用100号碳化硅（金刚砂）进行粗磨，然后再用180、400、500号碳化硅进行中磨和精磨。抛光时的介质可用机油和钻石粉，钻石粉的规格为1000号。钻石粉抛光效果好，但价格较贵。作为代用品可用试剂高锰酸钾（1份）和三氧化二铝粉（3份）的混合物。抛光量最多为0.01毫米。

第四节 模具的选配和安装

一、模具的选配

拔制时模具的尺寸直接决定了钢管的尺寸。由于每个拔制道次后，钢管的尺寸必须在公差范围内，因此，拔制前应该根据拔制尺寸及其公差认真地进行模具尺寸的选配。

1. 短芯棒拔制时模具尺寸的选配

短芯棒拔制时，拔管模和芯棒的尺寸根据钢管直径和壁厚的拔制尺寸及其公差来选配。拔管模模孔和芯棒允许的最大和最小直径，可用下列公式计算：

$$d_{\text{最大}} = D - \Delta D_+$$

$$d_{\text{最小}} = D - \Delta D_-$$

$$d_{0\text{最大}} = d_0 + 2\Delta S_+$$

$$d_{0\text{最小}} = d_0 - 2\Delta S_-$$

式中 $d_{\text{最大}}$ 和 $d_{\text{最小}}$ ——拔管模模孔允许的最大和最小直径；

$d_{0\text{最大}}$ 和 $d_{0\text{最小}}$ ——芯棒允许的最大和最小直径；

ΔD_+ 和 ΔD_- ——钢管直径的正偏差和负偏差；

ΔS_+ 和 ΔS_- ——钢管壁厚的正偏差和负偏差；

d_0 ——芯棒的名义直径， $d_0 = D - 2S$

D 和 S ——钢管名义的拔制直径和壁厚。

冷拔钢管的控制公差，有的厂按中间管、非定尺成品道次和定尺成品道次及成壁道次，分别作了规定，见表16-8、16-9和16-10。

表 16-8 中间管公差

(单位：毫米)

壁 厚	公 差	外 径	公 差
$S \leq 1$	± 0.07	$D \leq 15$	± 0.3
$1 < S \leq 2$	$\pm 7\%$	$15 < D \leq 40$	± 0.5
$2 < S \leq 3$	$\pm 6\%$	$40 < D \leq 70$	± 1.0
$S > 3$	$\pm 5\%$	$D > 70$	± 1.5

规定拔制的控制公差时应考虑：

1) 使各道次负荷均衡。如规定的公差太大，在按正偏差拔制时拔管机的负荷就大；而若按负偏差拔制时则会增加下一道拔管机的负荷。在使用公差时，退火后可拔负偏差，这样可为下一道连拔创造条件；

2) 成壁道次的壁厚公差应该小一些。这样，在考虑了以后空拔道次中的壁厚变化后，容易达到成品管的要求；

表 16-9 非定尺管成品道次及成壁道次公差 (单位: 毫米)

壁 厚	公 差	外 径	公 差
$S \leq 1$	± 0.05	$D \leq 30$	$+1.0$ -0.05
$1 < S \leq 2$	$+6\%$ -4%	$30 < D \leq 38$	$+0.15$ -0.05
$2 < S \leq 3$	$+5\%$ -3%	$38 < D \leq 51$	$+0.10$ -0.10
$S > 3$	$+5\%$ -2%	$D > 51$	$+0.3\%$ -0.4%

表 16-10 定尺管成品道次及成壁道次公差 (单位: 毫米)

壁 厚	公 差	壁 厚	公 差
$S \leq 1$	± 0.05	$D \leq 30$	$+0.10$ -0.05
$1 < S \leq 2$	$+4\%$ -5%	$30 < D \leq 38$	$+0.15$ -0.05
$2 < S \leq 3$	$+0.10$ -3%	$38 < D \leq 51$	± 0.10
$S < 3$	$+0.10$ -2%	$D > 51$	$+0.3\%$ -0.4%

3) 成品道次应控制较小的公差。因在成品道次后钢管还要经过退火、矫直, 如果公差大, 钢管在精整后会达不到成品技术条件所规定的要求。例如, 拔制薄壁管时若规定的正偏差太大, 矫直后会出现过大的椭圆度; 而拔制厚壁管时若规定的负偏差太大, 则会因退火时产生了较厚的氧化铁皮使尺寸缩小而出格。在生产中一般厚壁管按正偏差拔制, 薄壁管按负偏差拔制;

4) 拔制定尺管同拔制不定尺管相比, 公差要控制得更严格一些。拔制定尺管时若公差大, 则容易加大钢管间长度上的差距, 造成金属的浪费。

2. 无芯棒拔制时拔管模尺寸的选配

无芯棒拔制时, 拔管模模孔直径可按下列公式确定:

$$d_{最大} = D + \Delta D_+$$

$$d_{最小} = D - \Delta D_- + \delta$$

式中 δ ——无芯棒拔制后钢管外径的缩小量，用锥形拔管模时，其值约为0.1~0.3毫米；用弧形拔管模时，钢管外径缩小量较小，一般 <0.1 毫米。

除了对工具的尺寸要正确选配外，对工具的形状及表面质量也应有严格的要求。不允许使用椭圆度过大的工具。工具的工作表面不允许有结疤、划痕、裂纹及金属的粘结。工具工作表面上的铬层应光滑、均匀。

总之，在拔制前必须对工具的尺寸、形状和表面进行仔细的选配和检验，合格后方可使用。在使用过程中也要经常检查，发现缺陷及时更换。

二、拔制前模具的安装

拔制前拔管模和芯棒安装得是否正确，会直接影响拔制过程的进行、拔制后钢管的质量以及工具的消耗。

拔管模必须非常垂直地安装在中心架的模座内，拔管模的中心线应和拔制中心线一致。这样可以避免拔制时钢管产生弯曲或壁厚不均。

在短芯棒拔制时，芯棒的位置很重要。芯棒必须进入拔管模的定径带，在拔管模的全周上形成一个环形孔型（图16-17）。这样，拔出来的钢管才能符合规定的拔制尺寸。

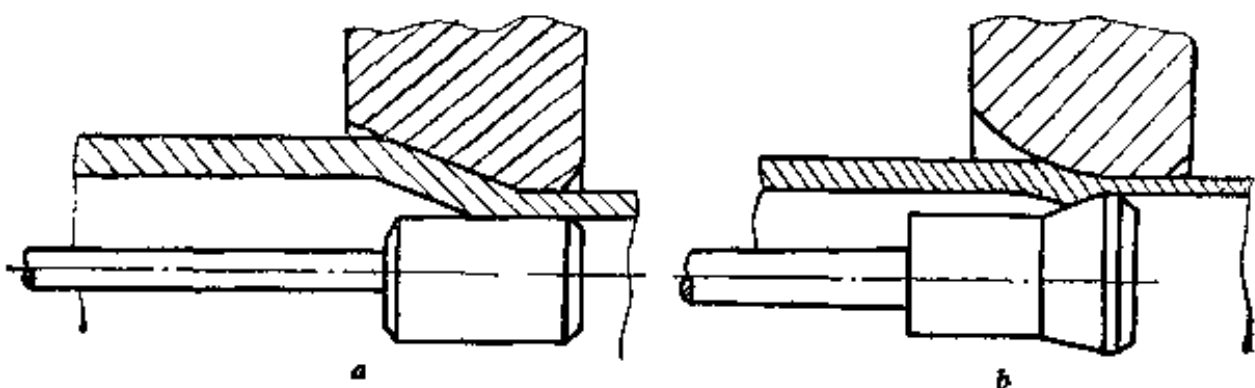


图 16-17 短芯棒拔制时拔管模和芯棒的配合
a—锥形拔管模和圆柱形芯棒；b—弧形拔管模和圆锥形芯棒

芯棒在变形区内的位置不能过前或过后。在用锥形拔管模和圆柱形芯棒配合进行短芯棒拔制时，如果芯棒的前端超越拔管模的定径带过多如图16-18，则钢管出拔管模的定径带以后，还继续和芯棒的工作表面接触，这样，拔制时特别在拔制过程刚建成时，由于摩擦力增加，加大了拔制力，增加了钢管拔断的可能性。此外，也会增加芯棒和电能的消耗，并在钢管内表面造成划道、擦伤等缺陷。

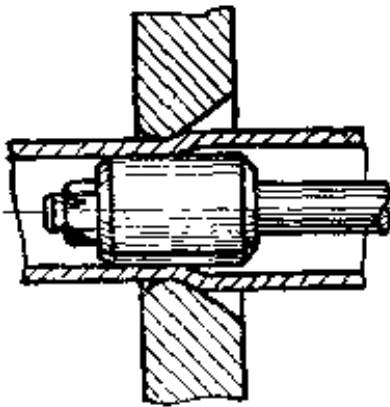


图 16-18 芯棒位置过前

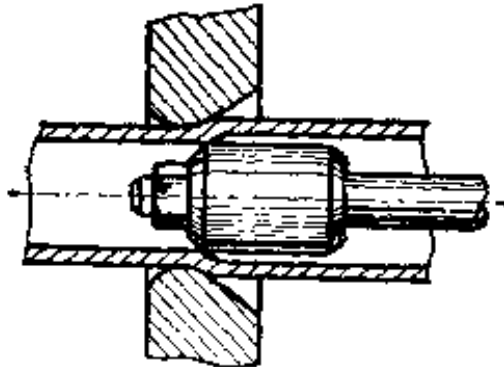


图 16-19 芯棒位置过后

当芯棒的位置过后，其工作表面没有进入拔管模的定径带时，如图16-19，拔制后钢管的内径将小于芯棒的直径，不能达到预期的尺寸。

为了保证拔制时芯棒处在一个合适的位置，根据生产实践经

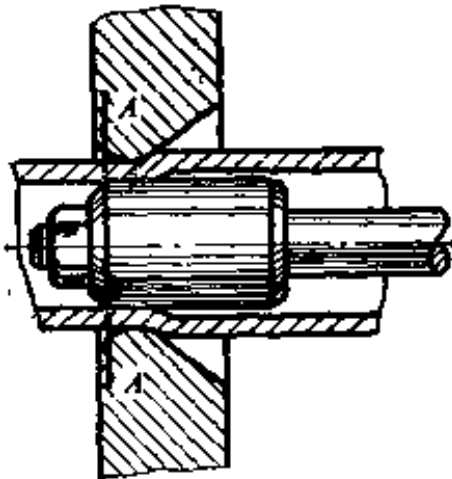


图 16-20 圆柱形芯棒位置的调整

验，在拔制前调整芯棒位置时，一般先把芯棒工作表面的前端和拔管模定径带靠出口锥一侧的端面对齐，见图16-20中的A—A线。然后进行试拔，根据拔制后芯棒上与钢管内壁接触的印迹，判断其位置是否正确并进行调整。

在拉杆上固定空心芯棒时，芯棒螺丝要拧紧，否则它们之间的间隙会影响拔制时芯棒的实际位置。

在用弧形拔管模和圆锥形芯棒进行短芯棒拔制时，在拔制前，根据经验，一般把芯棒的定径带调整到拔管模上定径与圆锥段的交接处，这样，拔制力比较小，而且以后还可随拔管模定径带的磨损将芯棒逐渐移进，以延长芯棒的使用寿命。如果拔管模和芯棒配合不当，拔制后钢管会达不到应有的尺寸。若芯棒的位置过后，拔制时芯棒的定径带没有进入拔管模的定径带，则拔制后钢管的壁厚会超过规定；若芯棒的位置过前，拔制时芯棒的定径带超过了拔管模的定径带，拔制后钢管的管径会比要求的大。

在短芯棒拔制时，由于开拔前芯棒不能预先进入拔管模的定径带，处在拔制过程中它应在的位置，因此，在拔制刚开始时，在芯棒被钢管带入变形区之前，实际上进行的是无芯棒拔制。故在靠近锤头部分的一段钢管，管壁在拔制过程中没有得到压缩，可能反比原来的增厚了。这部分厚壁管段一般叫空拔头。图16-21为在第一道次中形成的空拔头。

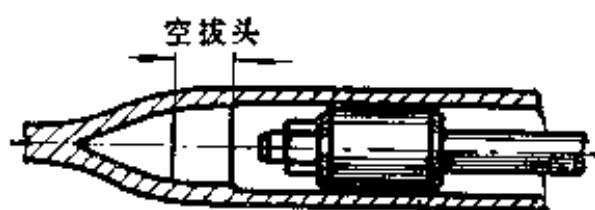


图 16-21 短芯棒拔制时的空拔头

形成了空拔头以后，若在下一个短芯棒拔制道次时，误把芯棒送入了空拔头，则在拔制时，则该部分的管壁将受到很大的压缩，出现拔制力的增加和导致钢管的拔断。为了避免出现上述现象，拔制时，必须在空拔头拔完后，才能让芯棒和钢管内壁接触，并由钢管把芯棒带入变形区。若在芯棒前面装一个定位器，

定位器的直径小于芯棒的直径。这样当芯棒向前送时，定位器进入空拔头而芯棒留在空拔头后面，可以避免出现钢管的拔断。图 16-22 为第二个短芯棒拔制道次使用定位器的情况。生产中也可用芯棒螺丝的头部起定位器的作用，这时，根据上道次所形成的空拔头的长度来选取芯棒螺丝头部的厚度。

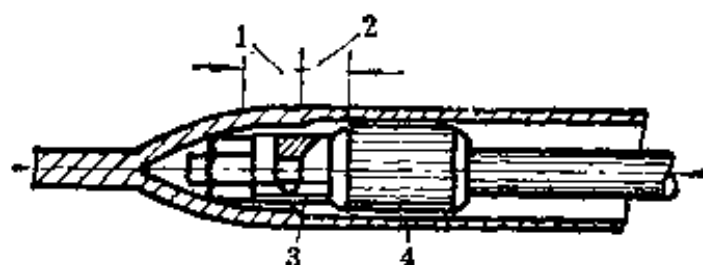


图 16-22 定位器的使用

1—第一个短芯棒拔制道次中形成的空拔头；2—第二个短芯棒拔制道次中将形成的空拔头；3—定位器；4—芯棒

空拔头的长度，一般规定不超过50毫米，超过了这个长度应将它切除。

第十七章 冷轧钢管工具的孔型设计与制作以及冷轧管机的操作

第一节 冷轧钢管工具的孔型设计^[5~8]

工具孔型设计是冷轧钢管生产工艺中的核心问题。孔型设计的好坏直接影响产品质量、轧机生产率、工具寿命以及金属消耗。因此,设计好孔型具有很重要的意义。

一、二辊式冷轧管机工具孔型设计

二辊式冷轧管机的变形工具是轧槽块和芯棒,下面分别讨论它们的孔型设计。

1. 轧槽孔型的结构

二辊式冷轧管机轧槽的孔型按其轧槽块的形状分为下列三种:

1) 半圆形孔型。轧槽块呈半圆形,其圆心角等于 180° ,这是目前最常见的一种轧槽孔型。

2) 蹄形孔型。这种孔型的轧槽块有如图17-1所示的形状。使用这种孔型,在工作机架行程长度保持不变的条件下,轧辊直径比

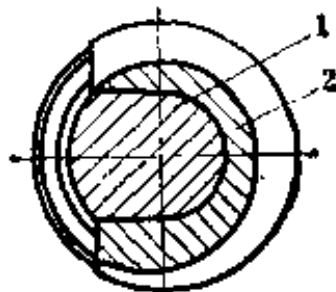


图 17-1 蹄形孔型

1—轧辊; 2—轧槽块

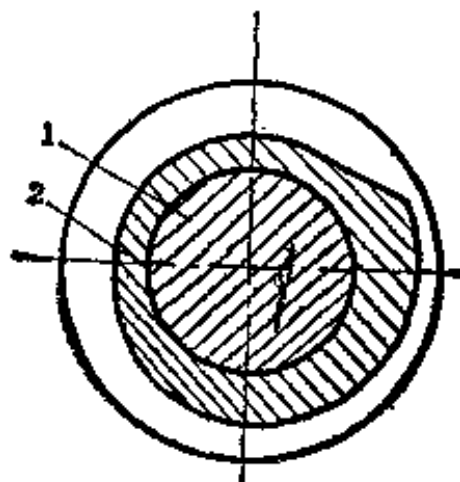


图 17-2 环形孔型

1—轧辊; 2—轧槽块

使用半圆形孔型时为小，一般轧辊直径可减小20~50%，因而可减轻机架运动部分的质量，提高其摆动速度，从而增加轧机生产率，另外还可以轧制更薄的钢管（最小壁厚为0.2毫米）。

3）环形孔型（图17-2）。采用环形孔型，轧辊在一个轧制行程中的回转角度可以达到 $270^{\circ}\sim 300^{\circ}$ ，因此它比采用蹄形孔型具有更大的优点：既可减小工作机架运动部分的质量，增加轧机的速度和生产率，还可增加工作机架的行程长度和轧槽孔型的工作长度，以改善金属的变形条件和工具的工作条件，强化变形制度。目前使用环形孔型的长行程高速轧机获得了发展。使用环形孔型的缺点是，更换轧槽块时，拆装比较困难。因为它和轧辊是压紧配合，装卸时都需加热。

下面结合半圆形孔型来分析轧槽孔型的结构。

为了便于孔型设计计算和确定加工尺寸，一般把轧槽孔型的脊部按轧辊主动齿轮的节圆直径展开，见图17-3。展开图的纵坐标表示孔型的半径，横坐标表示孔型的长度。孔型的脊部由三个基本部分组成，即送进空转部分、工作部分和回转空转部分，它们在展开图上的长度分别为 l_a 、 l_p 和 l_b 。

孔型的送进和回转空转部分在轧制过程中和工作锥是不接触的，当它们分别处在工作机架的后极限位置和前极限位置时，进行管料的送进和管体的回转。

孔型的工作部分还分成几部分，一般由减径段、壁厚压下段、预精整段和定径段组成，它们在展开图上的长度分别标为 l_d 、 l_o 、 l_{sp} 和 l_K 。各段的作用是：

1）减径段。这一段的作用是压缩管料送进部分的直径。该段的长度与管料内径同芯棒之间的间隙以及孔型脊部的锥度有关。在减径过程中管壁稍有增厚；

2）壁厚压下段。对管壁进行压下，是孔型整个工作部分上金属变形最集中的地方；

3）预精整段。在这一段上完成钢管的壁厚变形，使管壁尺寸定型；

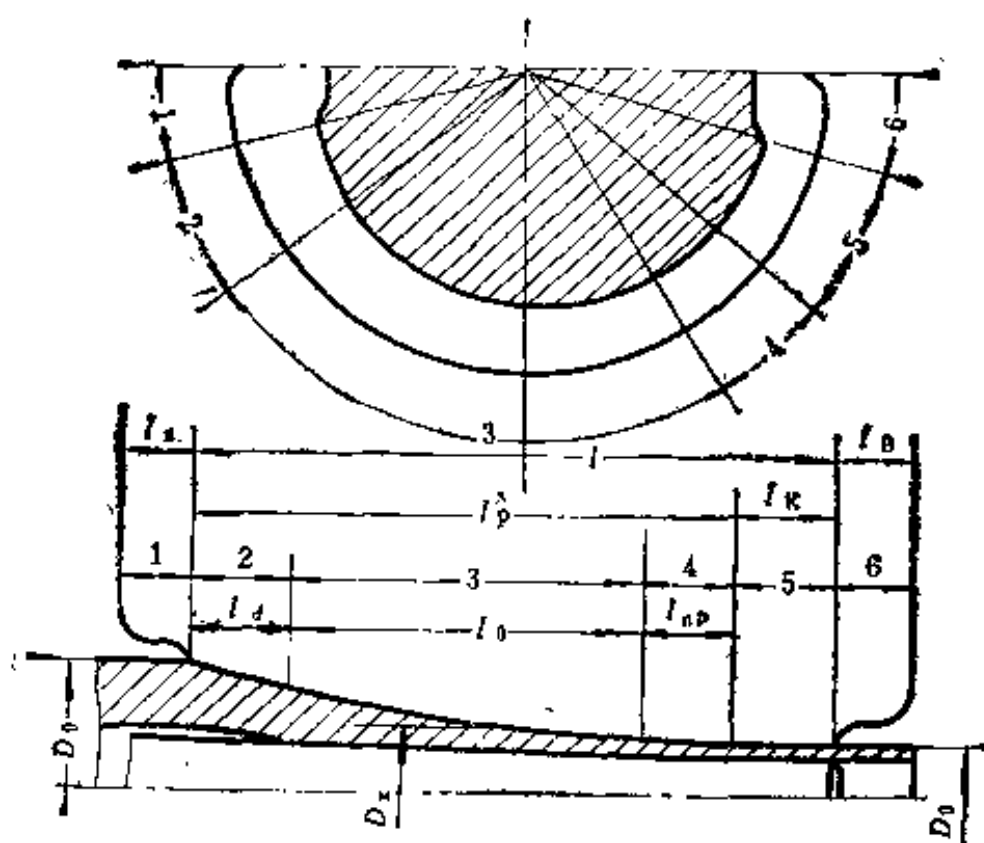


图 17-3 孔型脊部的展开图

1—送进空转部分；2—减径段；3—壁厚压下段；4—预精整段；
5—定径段；6—回转空转部分

4) 定径段。使钢管外径达到规定尺寸并获得质量良好的表面。

减径段、壁厚压下段和预精整段三部分合在一起称为压下段

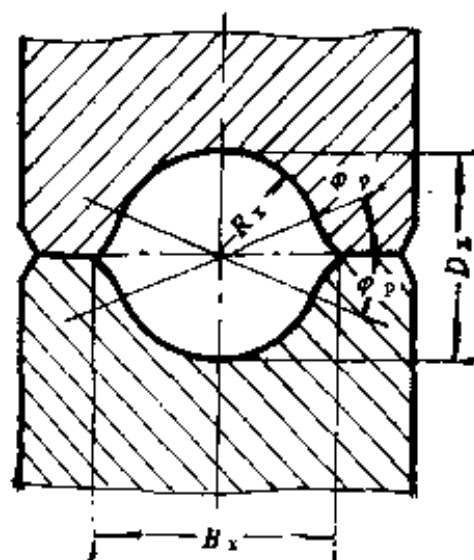


图 17-4 任一径向截面上孔型的形状

(部分), 其长度以 l_p 表示。

孔型工作部分脊部的轧槽块半径 ρ_r , 在工作部分的开始处具有最小值, 并且向这一部分的末端逐渐增大。在定径段 ρ_r 不变。

任一径向截面上的孔型形状, 一般是一个带直线侧壁的圆(图17-4), 这一圆的半径($R_x = \rho_0 - \rho_r$), 在孔型工作部分的开始处具有最大值, 并等于管料的半径; 在定径段上具有小值, 并等于所轧管子的半径。中间逐渐过渡。

孔型的宽度 B_r 略大于孔型的直径 D_r 。宽度和直径之差即为孔型的开口度 $b_r = B_r - D_r$ 。和孔型侧壁开口部分相对应的中心角 φ_r 称为开口角。

2. 孔型的宽度

进行孔型设计时, 正确地确定孔型宽度具有重要意义。孔型宽度不够大, 轧制时, 会在管子表面上形成折叠、压痕、耳子等缺陷。在不改变孔型宽度的情况下, 要消除上述缺陷必须减少送进量, 很显然, 这将降低轧机的生产率。孔型宽度过大, 将会增加沿孔型周边壁厚压下的不均匀性, 恶化管子的几何精度, 当轧制低塑性钢管时, 容易产生裂纹。

为了确定孔型宽度, 先来分析金属在瞬时变形区中形状的变化过程。

瞬时变形区可以划分为四部分(图17-5):

1) 从孔型刚接触金属起到管壁开始压下。与这一段相对应的中心角为 $\theta_{oc} - \theta_{ic}$;

2) 从管壁开始压下起到金属完全充满孔型周边为止。与这一段相对应的中心角为 $\theta_{ic} - \theta_o$;

3) 从金属完全充满孔型周边起到孔型脊部开始压下管壁止。与这一段相对应的中心角为 $\theta_o - \theta_{is}$;

4) 孔型脊部的管壁压下区。与这一段相对应的中心角为 θ_{is} 。

在变形过程的第一阶段, 由于没有工具的内支撑, 同时管体

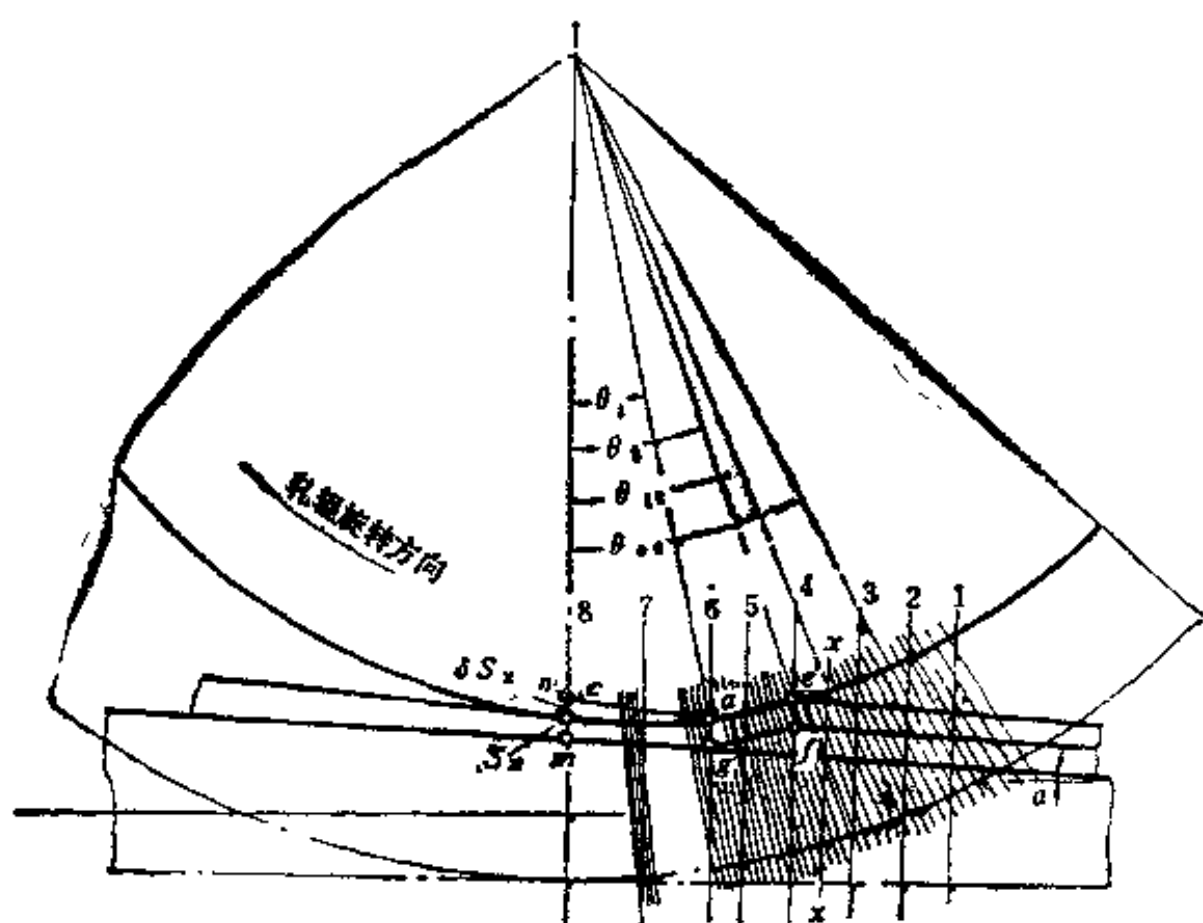


图 17-5 正行程轧制时瞬时变形区的划分

和轧槽间的接触面积很小，所以金属的主要变形是压扁。变形结果管体的垂直尺寸有所增加，水平尺寸有所减小。

变形过程进入第二阶段，管子在减径的同时开始了壁厚压下。由于减壁变形仅发生在管体不长的周边上，金属变形不均匀。一般这会引起管体垂直尺寸的增加。

从变形的第三阶段开始起，管体的水平尺寸逐渐增加，决定孔型宽度时要很好考虑金属在该区段的变形条件。

在变形过程的第四阶段，沿管体周边除了孔型侧壁开口的局部区域以外，壁厚都受到了压下。在金属的横变形上同时进行着两个过程：不和芯棒接触部分管壁的拉缩和金属的强迫宽展。前者使管体的水平尺寸减小，后者使管体的水平尺寸增加。

由以上分析可知，确定轧槽孔型各截面的宽度时，应同时考虑开始咬入时进入所讨论的孔型截面的工作锥的原始宽度以及它在以后变形过程中由于压扁和宽展造成的宽度的变化。

基于上述分析而提出的孔型宽度的计算公式为:

$$B_x = D_x + b_x \\ = D_x + 2[K_s m \mu_x (\operatorname{tg} \gamma_x - \operatorname{tg} \alpha) + K_d m \mu_{tx} \operatorname{tg} \alpha] \quad (17-1)$$

式中 b_x ——孔型的开口度;

D_x ——所讨论截面孔型的直径;

μ_{tx} ——该截面上管壁的延伸系数;

γ_x ——展开图上同该截面相对应的那段孔型的锥角;

α ——芯棒母线的倾斜角;

K_s ——考虑强迫宽展和孔型磨损的系数,其值为1.05~1.80,其中大值用于压下段的开始截面,小值用于压下段的末端截面;

K_d ——考虑水平压扁的系数,一般取为0.7。

孔型宽度也可按下式计算:

$$B_x = D_x + 2m\mu_x \operatorname{tg} \gamma_x + (1-\varepsilon)\delta \quad (17-2)$$

式中 δ ——孔型在深度上的磨损量;

ε ——孔型深度磨损量与宽度磨损量之比;

μ_x ——所讨论截面上的总延伸系数。

显然,这时孔型的开口度为:

$$b_x = 2m\mu_x \operatorname{tg} \gamma_x + (1-\varepsilon)\delta$$

设计孔型时一般把压下部分等分为几段。

按式17-2确定孔型宽度时,先定孔型压下部分的第一段(靠孔型的开始截面)末端和最后一段末端的开口度 b_H 和 b_K ,根据经验有:

$$b_H = 2m \operatorname{tg} \gamma_1 + 1.0$$

$$b_K = 2m\mu_z \operatorname{tg} \alpha + 0.2$$

式中 μ_z ——总延伸系数;

γ_1 ——压下部分第一段孔型脊部的锥角。

压下部分中间各段孔型的开口度用内插法确定。

定径段靠回转开口的二分之一长度上,开口度取为 $b=0.2\sim 0.8$ 毫米(大规格取大值),另二分之一长度上的开口度均匀地增

加, 一直增加到 b_k 。

3. 芯棒的形状

目前，二辊式冷轧管机一般使用锥形芯棒，芯棒的形状及其在孔型中的位置见图17-6。使用锥形芯棒可以通过调整它与孔型间的相对位置，改变所轧管子的壁厚。所以，芯棒锥体部分的始点不必一定和孔型压下部分的始端相对，但是必须使芯棒的锥度准确地和孔型的形状相适应。

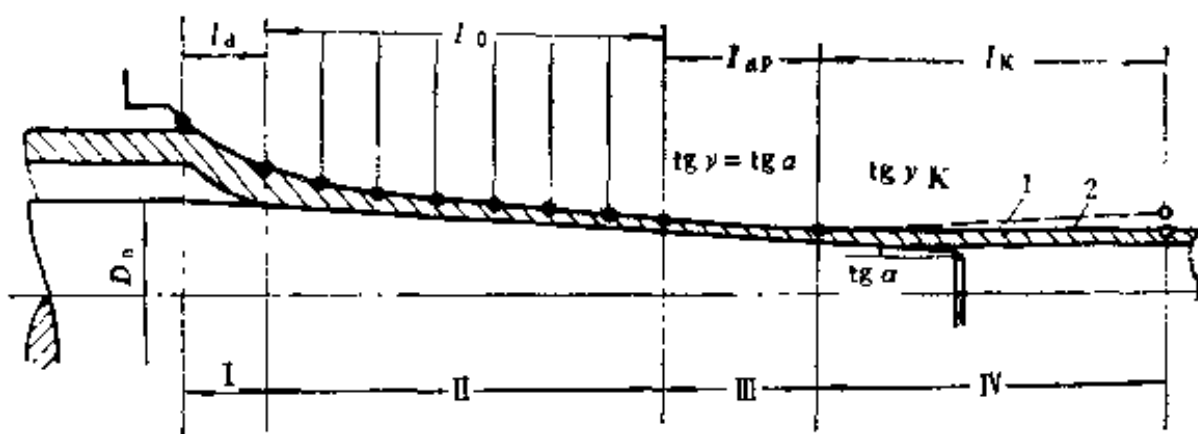


图 17-6 芯棒在工作锥中的位置

I—减径段；II—壁厚压下段；III—预精整段；IV—定径段

1—轧槽定径段的原始位置；2—轧槽定径段的工作位置

芯棒锥度可按下式计算:

$$2 \operatorname{tg} \alpha = \frac{D_v - (D_T - 2S_T)}{l_0}$$

式中 l_p ——压下段即不包括定径段的孔型工作部分的长度;

D_n ——芯棒圆柱部分的直径;

$$D_n = D_0 - 2S_0 - \Delta p$$

Δp ——芯棒圆柱部分与管料内表面之间为了插芯棒所必需的間隙。

芯棒锥度对管子质量及轧机生产率都有很大的影响。试验证明, 采用锥度较小的芯棒对改善钢管质量和提高轧机的生产率有利。因为芯棒锥度小可以减小孔型的开口度, 同时也可在送进管料时采用较大的送进量。一般, 芯棒的锥度 $2 \operatorname{tg} \alpha = 0.01 \sim 0.04$ 。

但是，应该注意到，锥形并不是芯棒的理想形状，不仅锥度

大的芯棒、即使锥度小的芯棒也存在不利于金属变形的缺点。

在冷轧管过程中，在管料送进之后，工作锥内表面与芯棒之间产生间隙。当机架向前运行时，由于工作锥上未受到变形的部分朝着机架的运动方向移动，这个间隙逐渐增大，当机架靠近前极限位置时，总咬入角中的减径角远远超过壁厚压下角。因此，若芯棒的锥度过大，减径变形将主要发生在孔型的预精整部分，这时金属已经产生加工硬化，过大的减径变形会在轧制过程中造成管子的破裂。如果采用锥度小的芯棒，则会增大正行程轧制开始时的减径量。在管料减径时管壁有所增厚，此外，减径过程中，管料由于加工硬化而使塑性有所下降。管壁的增厚和金属塑性的降低，给减径以后的主要变形（在芯棒上进行强烈的壁厚压下）带来了困难。为了消除上述缺点，应该改变芯棒的形状，使芯棒形状既有利于减少正行程轧制开始时的减径量，又可使金属的主要变形能在锥度较小的那部分芯棒上进行。符合这种要求的芯棒有抛物线形芯棒和具有特殊曲线形状的芯棒。

4. 减径段轧槽孔型的确定

设计减径段轧槽的孔型，主要是确定孔型脊部的锥度 $2\lg\gamma_p$ ，允许的减径量 ΔD_p （管料内径与芯棒圆柱部分直径之差）及该段的长度 l_d 。

确定减径段孔型脊部的锥度要考虑两方面的因素：

1) 孔型锥度对轴向力的影响。据分析，当孔型锥度大于一定值时减径过程中将产生轴向力；

2) 孔型锥度对管料送进过程的影响。孔型锥度过大，会出现送进时管料与辊面相碰，使送进过程受阻的现象。

一般，减径段孔型锥度取 $2\lg\gamma_p \leq 0.20$ 。

减径段的减径量，在大多数情况下，取为 $\Delta D_p = 6 \sim 12$ 毫米，就可以最大限度地减少金属在壁厚压下段变形时的减径变形。

知道了孔型的锥度和减径量，减径段的长度 l_d 可按下式计算：

$$l_d = \frac{D_0 - 2[S_0 + \Delta S_p] - D_n}{2(\operatorname{tg} \gamma_p - \operatorname{tg} \alpha)}$$

式中 ΔS_p ——减径过程中的增壁量；

$$\Delta S_p = (0.7 \sim 0.8) S_0 \frac{\Delta D_p}{D_n}$$

或

$$\Delta S_p = (0.05 \sim 0.06) \Delta p$$

Δp ——管料内表面与芯棒圆柱部分的间隙；

D_n ——芯棒圆柱部分的直径。

若不考虑减径时管壁的增厚，则减径段长度按下式计算：

$$l_d = \frac{\Delta D_p}{2(\operatorname{tg} \gamma_p - \operatorname{tg} \alpha)}$$

5. 预精整段及定位段的孔型

如前所述，孔型预精整的作用是对管壁进行精整，并使管壁通过该段后达到所要求的尺寸。对轧制壁厚 ≤ 1.5 毫米及高精度的管材，孔型中有预精整段是必要的；但在轧制中厚壁管时，预精整段也可以不要。因为孔型脊部通常设计成平滑曲线，压下段的最后部分可起预精整段的作用，所以一般不设单独的预精整段。

设计预精整段时，它的锥度应等于芯棒的锥度，其长度按工作锥上各截面在进入定径段前都通过预精整段一次的原则来确定，取

$$l_{ap} = K_1 m \mu_{\Sigma}$$

式中 K_1 ——预精整系数，等于1~1.4。

取 $K_1 > 1$ 是考虑由于机架的弹性变形，在一个轧制循环以后，在预精整段开始的某些长度上（沿轧制方向）管子的壁厚不等于成品壁厚，它们的精整需要在后一个轧制循环中进行。

定径段是对钢管外径进行精整，因而按理定径段上孔型各截面的半径应该是不变的。但实际上，定径段的孔型若按等半径设计，由于轧制过程中沿定径段的长度上机架的弹性变形量是变化的，在开始时较大，在末尾较小，这样在轧制薄壁管时会产生横

向波纹，在轧制厚壁管时会产生横向凹陷。为了补偿弹性变形量的变化，定径段须做成方向与压下段相反的倒锥。在定径段末端孔型的半径 R_K'' 应稍大于该段开始处的半径 R_K' ，一般取

$$R_K'' - R_K' = 0.5\varepsilon$$

式中 ε ——在定径段两个轧辊的弹性变形量，一般取 $\varepsilon = 0.003 \sim 0.008 P_\Sigma$ ， P_Σ 为轧制压力，对小型轧机系数取大值，对大型轧机系数取小值。

定径锥的锥度按下式计算：

$$\operatorname{tg} \gamma_K = \frac{0.5\varepsilon}{l_K}$$

定径段的长度取为

$$l_K = K_2 m \mu_\Sigma$$

式中 K_2 ——定径系数，取等于 $1.5 \sim 3$ 。

一般，芯棒的锥度越大， K_2 应该越大，其推荐值取

$2\operatorname{tg}\alpha$	$0.002 \sim 0.01$	$0.01 \sim 0.04$
K_2	1.5	$2 \sim 2.5$

6. 孔型工作部分各段长度之间的合理关系

对于一定的轧机，孔型工作部分的长度是个定值，所以，确定了减径段的长度 l_d 、预精整段的长度 l_{np} 和定径段的长度 l_K 后，即可求得壁厚压下部分的长度 l_0 ：

$$l_0 = l_p - l_d - l_{np} - l_K$$

或

$$l_0 = l_p - \frac{\Delta D_p}{2(\operatorname{tg} \gamma_p - \operatorname{tg} \alpha)} - K_1 m \mu_\Sigma - K_2 m \mu_\Sigma$$

在一个轧制周期中轧出管子的长度 $m \mu_\Sigma$ 越大，轧机的生产率越高。但是， $m \mu_\Sigma$ 值大， l_{np} 和 l_K 就相应地增加，致使 l_0 减少。 l_0 减少的结果是，轧制时的轧制压力增大，管料的每个截面从开始变形到变形终止的变形次数减少。因此，孔型设计时，必须按照压力条件（当轧机生产率受限于作用在轧辊或芯棒上的压力时）或塑性条件（当轧机生产率受限于金属的塑性时）来确定允许的

$m\mu_{\Sigma}$ ，并最终确定各段长度之间的合理关系，达到既有利于提高生产率又可保证产品质量和设备安全。

7. 压下段孔型脊部形状确定

冷轧管时，主要变形集中在压下段。压下段孔型脊部的形状决定了变形过程中沿孔型长度变形量及轧制压力的分布，从而直接影响轧机生产率、产品质量及工具寿命。因此，正确合理地确定压下段孔型脊部的形状是二辊冷轧管机工具孔型设计的一个重要内容。下面介绍两种目前在生产中应用较多的方法。

(1) IO.Φ.舍瓦金的设计方法

这个设计方法用于在减径段的孔型确定以后设计压下段其余部分孔型脊部的形状。该方法以相对变形量沿壁厚压下段长度按一定规律下降作为设计的计算基础。这是考虑到冷轧管过程中金属有较大的不均匀变形。由于变形不均而在不接触变形区（靠孔型侧壁开口处）所造成的轴向拉应力，有时会使管子产生横向裂纹，工作锥各截面上相对变形越大，产生裂纹的可能性就越大。因此，根据轧制过程中金属由于加工硬化引起的塑性下降而相应地减小相对变形量的原则来设计孔型是比较合理的。

如图17-7所示， x 截面上的管壁压下量等于 x 截面同 $x + \Delta x$ 截面上的壁厚差（这两个截面间所包含的金属体积等于送进体积）。

可以近似地取

$$F_x \Delta X = V_m = m F_0$$

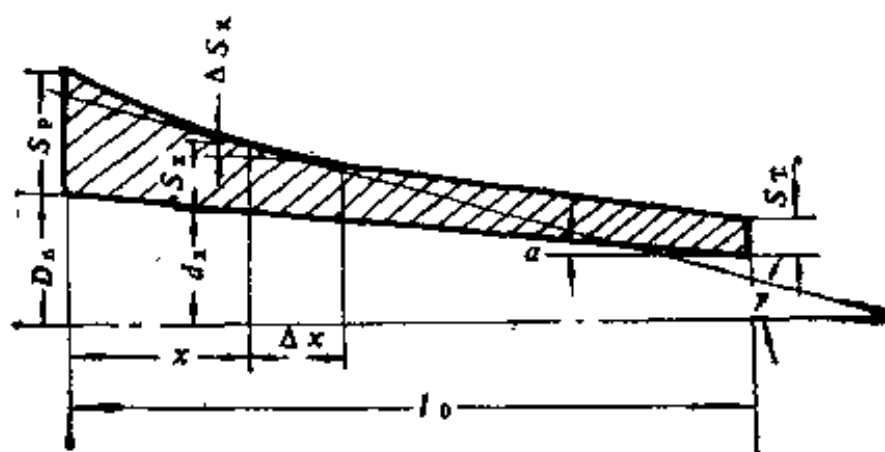


图 17-7 确定管壁压下量的图示

式中 F_x ——所考虑截面的截面积,

F_0 ——管料的截面积,

V_m ——送进体积。

因此

$$\Delta X = \frac{m F_0}{F_x} = m \mu_x$$

由上图知

$$\Delta S_x = \Delta X (\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha) \quad (17-3)$$

$$d_x = D_0 - 2 \operatorname{tg} \alpha X$$

$$\operatorname{tg} \gamma = - \frac{1}{2} \frac{dD_x}{dx} \quad (17-4)$$

式中 D_x —— x 截面上工作锥的直径,

$$D_x = (D_0 - 2 \operatorname{tg} \alpha X) + 2 S_x$$

将 D_x 的值代入式17-4, 经微分后得

$$\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha = - \frac{dS_x}{dX}$$

这样, 式17-3可写为

$$\Delta S_x = - m \mu_x \frac{dS_x}{dX}$$

管壁相对压下量为

$$\frac{\Delta S_x}{S_x} = - m \mu_x \frac{1}{S_x} \times \frac{dS_x}{dX}$$

近似地取

$$\mu_x = \frac{S_0}{S_x}$$

则上式可写为

$$\frac{\Delta S_x}{S_x} = - \frac{m S_0}{S_x^2} \times \frac{dS_x}{dx}$$

设

$$\frac{\Delta S_x}{S_x} = f(x)$$

則
$$f(x)dx = -m S_0 \frac{dS_x}{S_x^2}$$

积分后得

$$S_x = \frac{m S_0}{\int f(x) dx + C} \quad (17-5)$$

式中 C ——积分常数。

把函数 $f(x)$ 写成下列两种形式

$$f(x) = \frac{\Delta S_r}{S_x} = A \left(1 + 2n_1 \frac{x}{l_0} \right)$$

$$f(x) = \frac{\Delta S_x}{S_x} = A e^{-n_2 \frac{x}{l_0}}$$

把上面两式分别代入式17-5，并利用下述边界条件进行积分：

$$\left. \begin{array}{ll} x=0 & S_x = S_p \\ x=l_0 & S_x = S_r \end{array} \right\}$$

式中 S_p ——和芯棒接触时管料的壁厚（考虑了减径段管壁的增厚）。

这样，在第一种情况下可以得到

$$S_x = \frac{S_p}{\frac{\frac{S_p}{S_r} - 1}{1 + n_1} \left(1 + n_1 \frac{x}{l_0} \right) \frac{x}{l_0} + 1} \quad (17-6)$$

在第二种情况下可得到

$$S_x = \frac{S_p}{\frac{\frac{S_p}{S_r} - 1}{1 - e^{-n_2 \frac{x}{l_0}}} \left(1 - e^{-n_2 \frac{x}{l_0}} \right) + 1} \quad (17-7)$$

式中 S_x ——所考虑截面工作锥的壁厚；

l_0 ——孔型不包括减径段的压下部分的长度；

$\frac{x}{l_0}$ ——动点坐标（在0~1之间变化）；

n_1 和 n_2 —— 系数，一般取 $n_1 = 0.1$ ， $n_2 = 0.64$ 。

式17-6能满足壁厚相对变形按线性规律逐渐减小的要求；式17-7能满足壁厚相对变形按对数关系逐渐减小的规律。在实际计算中主要采用式17-7。

求得 S_x 后根据下式确定所考虑截面上孔型的直径：

$$D_x = d_x + 2S_x - \Delta K$$

式中 d_x —— 考虑截面上芯棒的直径：

$$d_x = 2l_x \tan \alpha + d_n$$

$$d_n = D_T - 2S_T$$

l_x —— 从定径段开始截面到所考虑截面的距离；

ΔK —— 在镦制、研磨孔型时或在轧制时，两轧槽块之间的间隙。

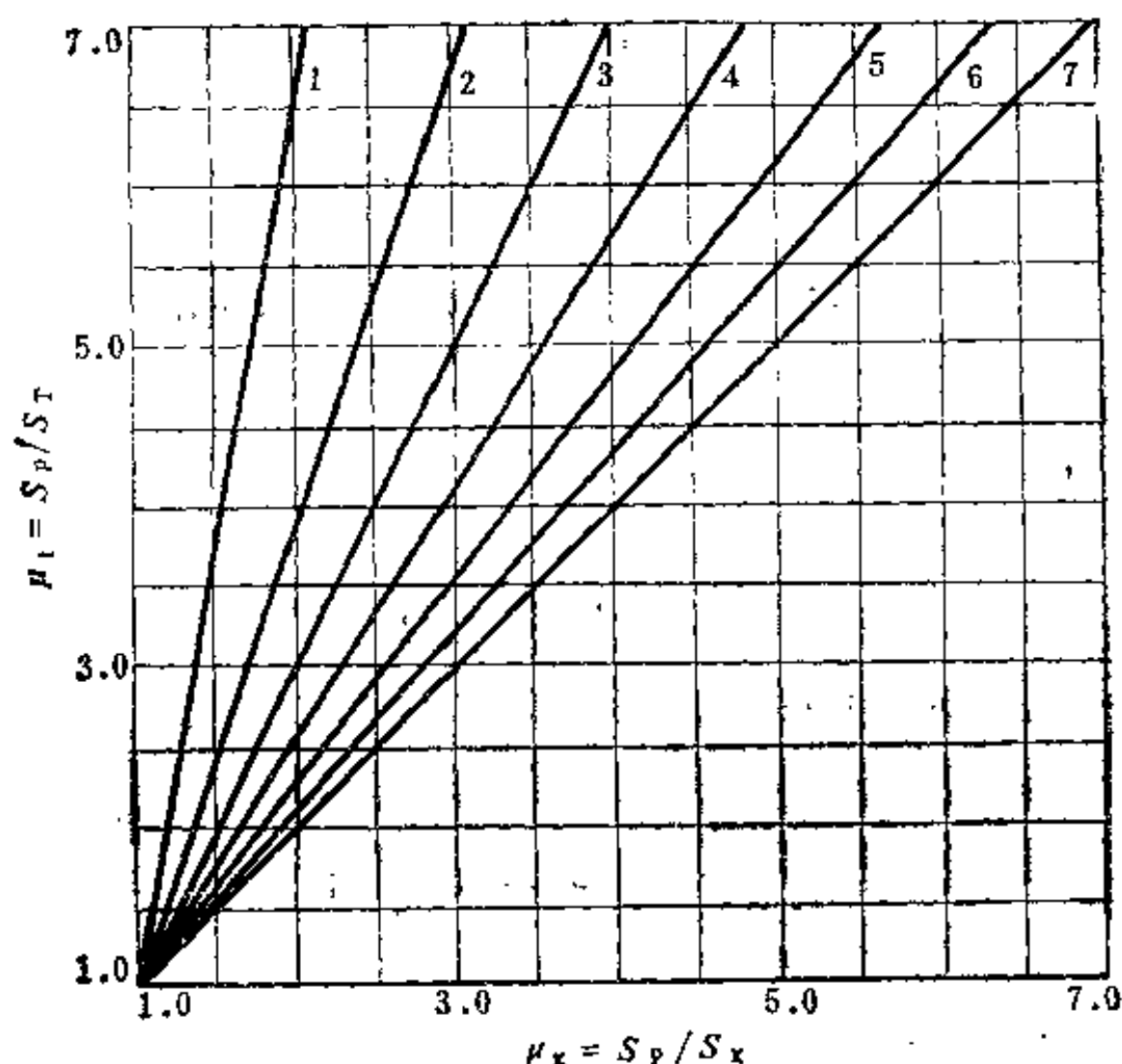


图 17-8 确定工作锥上各检查截面的壁厚压下率的图表

1~7——检查截面

用上述方法确定压下段孔型脊部的形状时,也可用按式17-7制作的图表(图17-8)来确定各规定截面(或称检查截面)的壁厚,其步骤如下:

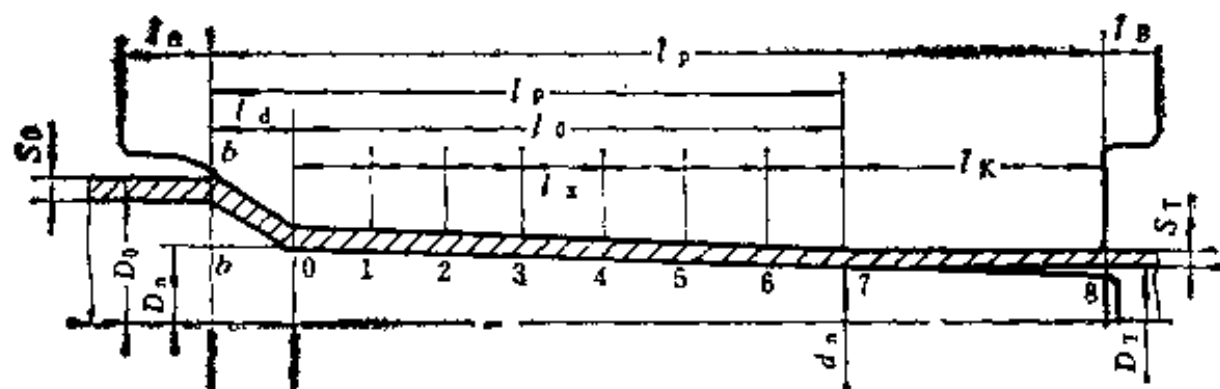


图 17-9 按Ю.Ф.舍瓦金方法设计孔型的展开图

- 1) 根据 S_p 和 S_T 确定壁厚总延伸系数 $\mu_t = \frac{S_p}{S_T}$;
- 2) 把去掉减径段的孔型压下部分分为七等分,在图17-8上求与既定 μ_t 相对应的七个截面上的壁厚延伸系数 $\mu_{tx} = \frac{S_p}{S_T}$;
- 3) 按上式确定各检查截面的壁厚。

图17-9为按Ю.Ф.舍瓦金方法作孔型设计时用的展开图。

(2) ВНИТИ-НТЗ设计方法

这是一种图解法,是由苏联全苏管材研究设计院(ВНИТИ)和第一乌拉尔所钢管厂(НТЗ)一起拟定的。图17-10为按该方法进行孔型设计时孔型的展开图。图中的AB线是平行于芯棒的母线。所考虑截面上孔型的半径可用下式确定:

$$R_x = R_T + l_x \operatorname{tg} \alpha + a_x \quad (17-8)$$

$$\text{或} \quad R_{x_n} = R_{x_{n-1}} + l_i \operatorname{tg} \alpha + (a_{x_n} - a_{x_{n-1}}) \quad (17-9)$$

式中 R_T ——轧成管的半径;

l_x ——从定径段开始截面到所考虑截面的距离;

a_x ——所考虑截面的壁厚同成品管壁厚之差;

R_{x_n} ——第 n 个截面上管子的半径;

$R_{x_{n-1}}$ ——距离截面 n 为 l_1 的第 $n-1$ 截面上的管子的半径。

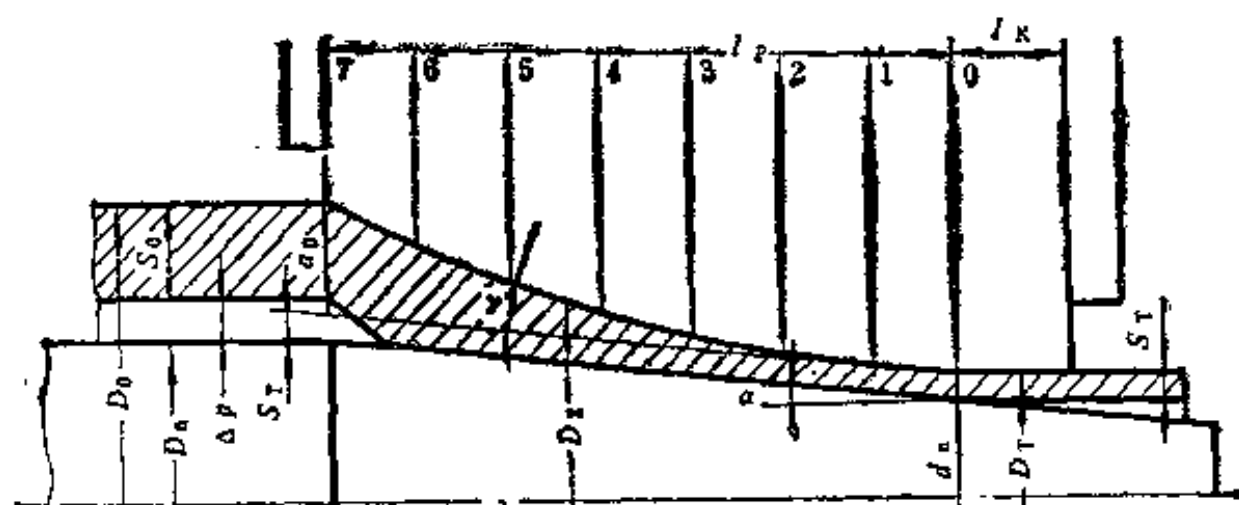


图 17-10 按BNIT-NT3方法设计孔型的展开图

式17-9也可写为

$$D_{x_n} = D_{x_{n-1}} + \Delta d + \left(\frac{a_{x_n}}{a_0} - \frac{a_{x_{n-1}}}{a_0} \right) 2a_0$$

式中 $\Delta d = \frac{D_1 - d_n}{n}$;

$$2a_0 = 2(S_0 - S_1) + \Delta p$$

值 $\left(\frac{a_{x_n}}{a_0} - \frac{a_{x_{n-1}}}{a_0} \right)$ 以 k_H 来表示, 它的大小见下一部分的孔型

设计算例。

二、二辊式冷轧管机工具孔型设计算例

1. Ю.Ф.舍瓦金方法的算例

在XПТ-75冷轧管机上按 $57 \times 4.5 \rightarrow 38 \times 1.8$ 毫米的程序轧制 12Cr18Ni10Ti 钢管时的孔型设计。原始数据 (单位为毫米): 管料直径 $D_0 = 57$, 管料壁厚 $S_0 = 4.5$, 轧成管直径 $D_1 = 38$, 轧成管壁厚 $S_1 = 1.8$, 孔型压下部分的长度 $l_0 = 410$, 其中减径段长度 $l_d = 74$, 壁厚压下段长度 $l_b = 336$, 把壁厚压下段等分为七段时

每段的长度 $\frac{336}{7}=48$ ，在镦制、研磨或者在轧制时两轧槽块之间的间隙 $\Delta K=0.4$ （表17-1），送进量 $m=6$ 。

表 17-1 在镦制和研磨时轧槽块之间的间隙 ΔK

轧 机	所轧管子的壁厚，毫米	轧槽块之间的间隙，毫米
XIII-32	≤ 0.8	0.05~0.3
	> 0.8	0.05~0.6
XIII-55	≤ 1.2	0.10~0.4
	> 1.2	0.10~1.0
XIII-75	≤ 1.5	0.2~0.7
	> 1.5	0.3~1.2

孔型特性：总延伸系数

$$\mu_{\Sigma} = \frac{S_0(D_0 - S_0)}{S_T(D_T - S_T)} = \frac{4.5(57 - 4.5)}{1.8(38 - 1.8)} = 3.63$$

管料横截面的相对减缩率

$$\frac{F_0 - F_T}{F_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{1}{\mu_{\Sigma}}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{1}{3.63}\right) \times 100\% = 73\%$$

管壁相对压下量

$$\frac{S_0 - S_T}{S_0} \times 100\% = \frac{4.5 - 1.8}{4.5} \times 100\% = 60\%$$

管料外径减小量

$$D_0 - D_T = 57 - 38 = 19 \text{ 毫米}$$

芯棒的孔型设计：在管料直径减小19毫米的情况下，芯棒的锥度取0.025 ($2 \operatorname{tg} \alpha = 0.025$)，见表17-2。

同孔型压下部分末端相对应的芯棒直径

$$d_a = D_T - 2S_T = 38 - 2 \times 1.8 = 34.4 \text{ 毫米}$$

芯棒圆柱部分的直径为

$$D_a = d_a + l_p \times 2 \operatorname{tg} \alpha = 34.4 + 410 \times 0.025 = 44.65 \text{ 毫米}$$

压下部分孔型脊部形状的计算：管料内表面同芯棒圆柱部分

表 17-2 芯棒锥度的推荐值

轧 机	管料和轧后钢管的直径差 毫米	芯 棒 锥 度
XПT-32	<13	0.01~0.015
	>13	0.02
XПT-55	<14	0.01
	14~18	0.015
	>18	0.02~0.03
XПT-75	12~16	0.01
	17~22	0.02
	23~28	0.03
	>29	0.04

的间隙

$$\Delta p = (D_0 - 2S_0) - D_n = (40 - 2 \times 4.5) - 44.65 = 3.35 \text{ 毫米}$$

减径段上管料壁厚增加值

$$\Delta S_p = (0.05 \sim 0.06) \Delta p = 0.06 \times 3.35 = 0.201 \text{ 毫米}$$

考虑了减径时壁增厚的管料厚度

$$S_p = S_0 + \Delta S_p = 4.5 + 0.201 = 4.7 \text{ 毫米}$$

管壁延伸系数

$$\mu_t = \frac{S_p}{S_T} = 4.7 / 1.8 = 2.61$$

由图表 (图17-8) 确定各检查截面上的壁厚延伸率

检查截面的序号 1 2 3 4 5 6 7

壁厚延伸系数 1.30 1.60 1.85 2.05 2.30 2.50 2.60

按 $S_x = \frac{S_p}{\mu_{tx}}$ 计算各检查截面上管子的壁厚

检查截面的序号 0 1 2 3 4 5 6 7

壁厚, 毫米 4.70 3.66 2.93 2.54 2.29 2.04 1.88 1.8

根据 $d_x = d_n + 2l_x \operatorname{tg} \alpha$ 计算芯棒各检查截面的直径 (式中 l_x ——从定径段开始处到所求截面的距离)

检查截面的序号	0	1	2	3	4	5	6	7
芯棒直径, 毫米	42.8	41.6	40.4	39.2	38.0	36.8	35.5	34.4

轧槽各检查截面的直径按下式计算 (图17-9)

$$D_x = d_x + 2S_x - \Delta K$$

在 $b-b$ 截面上 $D_x = D_0 - \Delta K$

检查截面的序号	b	0	1	2	3
轧槽直径, 毫米	56.6	51.8	48.52	45.86	43.98
检查截面的序号	4	5	6	7	
轧槽直径, 毫米	42.18	40.48	38.95	37.6	

轧槽宽度的确定: 两相邻区段过渡截面的轧槽宽度按式17-1计算。

截面0—0上的开口度等于截面1—1上的开口度。截面 $b-b$, 即孔型入口处的开口度等于1.2~1.5毫米。

截面8-8上的轧槽宽度

$$B_8 = D_T + (0.2 \sim 0.8) \text{ 毫米 (大规格的冷轧管机取大值)}$$

孔型压下部分各区段的锥度

$$2 \operatorname{tg} \gamma_x = \frac{D_{x_n} - D_{x_{n-1}}}{l_n}$$

检查截面的序号	1	2	3	4	5	6	7
$2 \operatorname{tg} \gamma_x$	0.068	0.055	0.039	0.0375	0.035	0.031	0.028

式中的系数 k , 按下列规律取

检查截面的序号	1	2	3	4	5	6	7
k	1.8	1.675	1.55	1.425	1.3	1.175	1.05

孔型开口度按式17-1计算

检查截面的序号	1	2	3	4	5	6	7
轧槽开口度, 毫米	1.48	1.3	0.88	0.86	0.84	0.73	0.64

考虑间隙值 ΔK , 轧槽宽度按下式计算

$$B_x = D_x + b_x + \Delta K$$

检查截面的序号	b	0	1	2	3
轧槽宽度, 毫米	58.34	53.68	50.40	47.56	45.26
检查截面的序号	4	5	6	7	8
轧槽宽度, 毫米	43.44	41.72	40.08	38.64	38.6

从截面8-8算起，定径段二分之一长度上的轧槽宽度是不变的，等于38.6毫米，其余的二分之一长度上按直线关系变化。

2. ВНИТИ-НТЗ方法的算例

在ХПТ55冷轧管机上按 $48 \times 2.3 \rightarrow 28 \times 1.0$ 毫米的程序轧制 $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ 钢管时的孔型设计。原始数据（单位为毫米）： $D_0 = 48$ ， $S_0 = 2.3$ ， $D_T = 28$ ， $S_T = 1.0$ ，管料内表面同芯棒圆柱部分间的间隙 $\Delta p = 2$ （表17-3）， $\Delta K = 0.4$ ， $m = 6$ ， $l_p = 406$ 。

作孔型设计时，把压下部分等分为七段，每段的长度为 $\frac{406}{7} = 58$ 毫米（图17-10）。

表 17-3 管料内表面与芯棒圆柱部分间的间隙

轧 机	管 料 厚 度 毫米	间 隙 毫米
ХПТ-32	≤ 2.5	1.5
	> 2.5	2.0
ХПТ-55	≤ 4.0	2.0
	> 4.0	2.5
ХПТ-75	≤ 4.0	2.5
ХПТ-90	4.0~8.0	3.0
ХПТ-120	> 8.0	3.5

孔型特征：总延伸系数

$$\mu_{\Sigma} = \frac{S_0(D_0 - S_0)}{S_T(D_T - S_T)} = \frac{2.3(48 - 2.3)}{1.0(28 - 1.0)} = 3.89$$

管料横截面面积的相对减缩率

$$\frac{F_0 - F_T}{F_0} \times 100\% = \frac{298 - 85}{298} \times 100\% = 71\%$$

管壁相对压下率

$$\frac{S_0 - S_T}{S_0} \times 100\% = \frac{2.3 - 1.0}{2.3} \times 100\% = 56\%$$

管料的外径减小量

$$D_0 - D_T = 48 - 28 = 20 \text{毫米}$$

芯棒的孔型设计：芯棒圆柱部分的直径

$$\begin{aligned} D_n &= D_0 - (2S_0 + \Delta p) \\ &= 48 - (2 \times 2.3 + 2) = 41.4 \text{毫米} \end{aligned}$$

同孔型压下部分末端相对应的芯棒直径

$$d_n = D_T - 2S_T = 28 - 2 \times 1.0 = 26 \text{毫米}$$

芯棒锥度

$$2 \tan \alpha = \frac{D_n - d_n}{l_p} = \frac{41.4 - 26}{406} = 0.0379$$

在孔型压下部分（七段中）的每一段长度上，芯棒直径的变化量

$$\Delta d = \frac{D_n - d_n}{7} = 2.2 \text{毫米}$$

孔型脊部形状的计算：逆着轧制方向进行。截面 n 上的轧槽直径可按式确定

$$D_{x_n} = D_{x_{n-1}} + \Delta d + \left(\frac{a_{x_n}}{a_0} - \frac{a_{x_{n-1}}}{a_0} \right) 2a_0$$

$2a_0$ 的值按下式计算

$$2a_0 = 2(S_0 - S_T) + \Delta p = 2(2.3 - 1) + 2 = 4.6 \text{毫米}$$

令

$$k_H = \frac{a_{x_n}}{a_0} - \frac{a_{x_{n-1}}}{a_0}$$

XΠT-32、XΠT-55和XΠT-75冷轧管机的 k_H 值列于表17-4中。

表 17-4 系数 k_H 的值

轧 机	孔型压下部分的分段数								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
XΠT-32	0.015	0.060	0.120	0.245	0.560	—	—	—	—
XΠT-55	0.010	0.030	0.050	0.085	0.155	0.255	0.415	—	—
XΠT-75	0.005	0.015	0.030	0.050	0.070	0.100	0.160	0.250	0.320

计算 $2a_0k_H$ 的值

检查截面的序号	0	1	2	3	4
$2a_0k_H$, 毫米	0.000	0.046	0.138	0.230	0.391
检查截面的序号	5	6	7		
$2a_0k_H$, 毫米	0.713	1.173	1.909		

从定径段开始计算轧槽的直径

定径段的轧槽直径

$$D_0 = D_T - \Delta K = 28 - 0.4 = 27.6 \text{ 毫米}$$

压下部分每一区段末端的轧槽直径（从定径段算起）

$$\begin{aligned} D_1 &= D_0 + \Delta d + 2a_0k_{H1} \\ &= 27.6 + 2.2 + 0.046 = 29.846 \text{ 毫米;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_2 &= D_1 + \Delta d + 2a_0k_{H2} \\ &= 29.846 + 2.2 + 0.138 = 32.184 \text{ 毫米;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_3 &= D_2 + \Delta d + 2a_0k_{H3} \\ &= 32.184 + 2.2 + 0.230 = 34.614 \text{ 毫米;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_4 &= D_3 + \Delta d + 2a_0k_{H4} \\ &= 34.614 + 2.2 + 0.391 = 37.205 \text{ 毫米;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_5 &= D_4 + \Delta d + 2a_0k_{H5} \\ &= 37.205 + 2.2 + 0.713 = 40.118 \text{ 毫米;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_6 &= D_5 + \Delta d + 2a_0k_{H6} \\ &= 40.118 + 2.2 + 1.173 = 43.491 \text{ 毫米;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_7 &= D_6 + \Delta d + 2a_0k_{H7} \\ &= 43.491 + 2.2 + 1.909 = 47.600 \text{ 毫米} \end{aligned}$$

轧槽宽度的确定：为了确定轧槽的宽度先计算压下部分末端和开始处轧槽的开口度

$$b_K = 2m\mu_E \operatorname{tg} \alpha + \Delta K + 0.1,$$

$$b_H = 2m \operatorname{tg} \gamma + \Delta K + 1.0$$

$$\begin{aligned} \text{其中 } 2 \operatorname{tg} \gamma &= \frac{(D_7 - D_6)7}{l_p} = \frac{(47.60 - 43.491)7}{406} \\ &= 0.07 \end{aligned}$$

所以有

$$b_K = 6 \times 3.89 \times 0.0379 + 0.4 + 0.1 = 1.38 \text{ 毫米,}$$

$$b_H = 6 \times 0.07 + 0.4 + 1.0 = 1.82 \text{ 毫米}$$

从 b_K 到 b_H 之间各截面轧槽的开口度按直线规律变化

$$b_0 = b_K = 1.38 \text{ 毫米}$$

$$\begin{aligned} b_1 &= b_K + \frac{b_H - b_K}{7} = 1.38 + \frac{1.82 - 1.38}{7} \\ &= 1.44 \text{ 毫米,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_2 &= b_K + \frac{2(b_H - b_K)}{7} = 1.38 + \frac{2(1.82 - 1.38)}{7} \\ &= 1.50 \text{ 毫米,} \end{aligned}$$

$$b_3 = b_K + \frac{3}{7} \cdot 0.44 = 1.56 \text{ 毫米,}$$

$$b_4 = b_K + \frac{4}{7} \cdot 0.44 = 1.63 \text{ 毫米,}$$

$$b_5 = b_K + \frac{5}{7} \cdot 0.44 = 1.69 \text{ 毫米,}$$

$$b_6 = b_K + \frac{6}{7} \cdot 0.44 = 1.76 \text{ 毫米,}$$

$$b_7 = b_K + \frac{7}{7} \cdot 0.44 = 1.82 \text{ 毫米。}$$

轧槽宽度等于

$$B_x = D_x + b_x$$

因此有

$$B_0 = D_0 + b_0 = 27.6 + 1.38 = 28.98 \text{ 毫米,}$$

$$B_1 = D_1 + b_1 = 29.846 + 1.44 = 29.85 \text{ 毫米,}$$

$$B_2 = D_2 + b_2 = 32.184 + 1.50 = 33.68 \text{ 毫米,}$$

$$B_3 = D_3 + b_3 = 34.614 + 1.56 = 36.17 \text{ 毫米,}$$

$$B_4 = D_4 + b_4 = 37.205 + 1.63 = 38.84 \text{ 毫米,}$$

$$B_5 = D_5 + b_5 = 40.118 + 1.69 = 41.81 \text{ 毫米,}$$

$$B_6 = D_6 + b_6 = 43.494 + 1.76 = 45.25 \text{ 毫米,}$$

$$B_7 = D_7 + b_7 = 47.600 + 1.82 = 49.42 \text{ 毫米。}$$

在靠近回转开口二分之一长度的定径部分上，开口度取 $b = 0.2 \sim 0.8$ 毫米（大规格的轧机取大值），定径部分的另二分之一长度的开口度均匀地增加，一直增加到 b_K 。

三、多辊式冷轧管机工具孔型设计

多辊式冷轧管机的变形工具有轧辊、芯棒和支承板。

多辊式冷轧管机轧辊的结构如图17-11所示。一些多辊式冷轧管机轧辊的主要参数见表17-5。其中，辊身的最大直径 D_p 可按下式计算：

$$D_p = D_B - 2R \cos \frac{\alpha}{2} - 2K \sin \frac{\alpha}{2}$$

表 17-5 多辊式冷轧管机轧辊的尺寸（单位：毫米）

轧机类型	R	A	B	α	D_p	D_g	D_u	D_B	K
8-15	4	19	40	120	48.29	45.15	28.5	53.15	0.5
	5	—	—	—	47.29	43.15	—	—	—
	7.5	—	—	—	44.29	38.15	—	—	—
15-30	7.5	30	65	120	73.63	67	45	82	0.5
		—	—	—	70.63	61	—	—	—
	11	40	90	120	79.57	70	45	92	0.75
		—	—	—	75.57	62	—	—	—
	15	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—
30-60	15	55	155	120	114.62	101	65	131	0.8
		—	—	—	107.12	86	—	—	—
	22.5	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—
	32.5	75	135	120	118.77	97	65	143	1.0
		—	—	—	111.27	83	—	—	—
60-120	30	75	132	90	196.01	180	100	240	1.2
		—	—	—	174.67	150	—	—	—
	45	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—
	60	98	170	90	234.44	260	120	300	1.5
		—	—	—	213.29	180	—	—	—

注：符号见图17-11。

式中 D_b ——孔型的中心距，
 R ——轧槽的半径，
 α ——轧槽的中心角，
 K ——工作锥定径段上辊缝的一半。

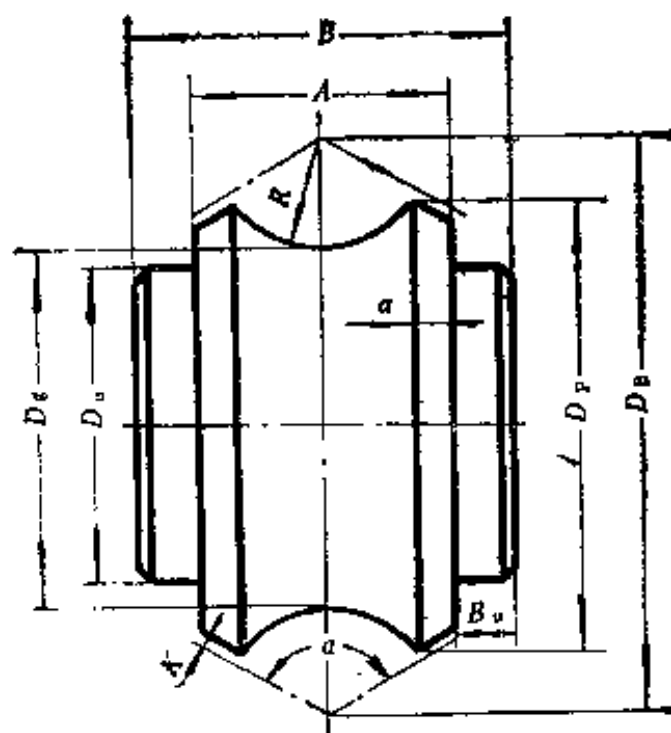


图 17-11 多辊式冷轧管轧机的轧辊

多辊式冷轧管机的轧辊采用等截面的带侧壁开口的圆孔型，其轧槽的形状如图17-12所示。

一般，轧槽半径 R 取等于轧成管的半径 R_T ，即

$$R = R_T$$

为了防止轧制时辊环凸缘压入管子表面，轧槽侧壁必须开口。侧壁开口的形状有直线形和圆弧形两种。但若开口过大，轧出的管子精度差。在有的资料中侧壁开口角 φ_p 取为 $10^\circ \sim 18^\circ$ 。

辊环凸缘的圆角半径可取为

$$r = 0.6(R_0 - R_T)$$

式中 R_0 ——管料的半径。

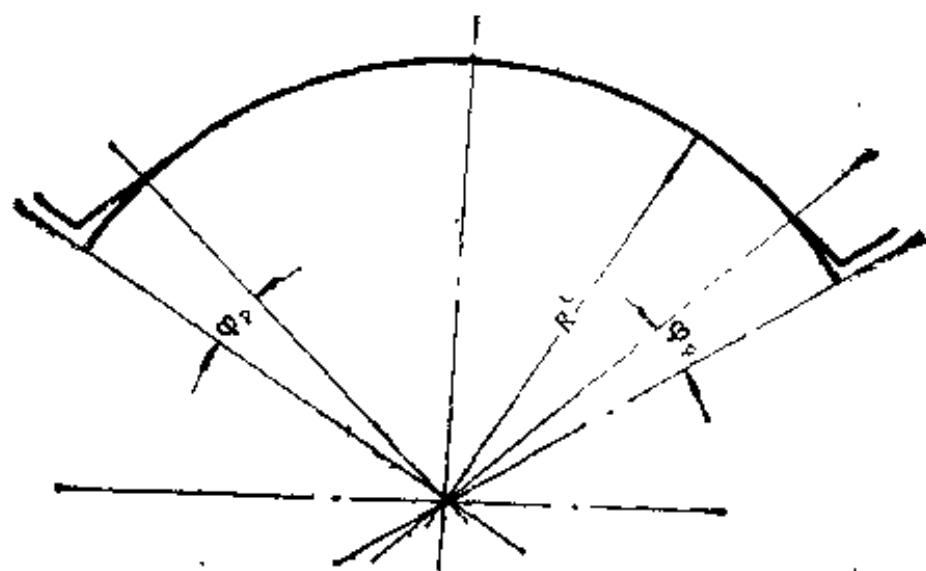


图 17-12 多辊式冷轧管机轧槽的形状

多辊式冷轧管机的芯棒是圆柱形的。但为了避免管子内表面在轧制过程中出现环状凹陷和减小送进管料时所需的力，芯棒尾端长 m_0 的一段（图17-13）可加工成锥度不大的圆锥。 m_0 的值对8-15和15-30轧机取为20毫米；对30-60和60-120轧机分别取为40和50毫米。锥形部分的直径差 $D-D_1$ ，对8-15和15-30轧机取0.2毫米；对30-60和60-120轧机分别取为0.3和0.4毫米。

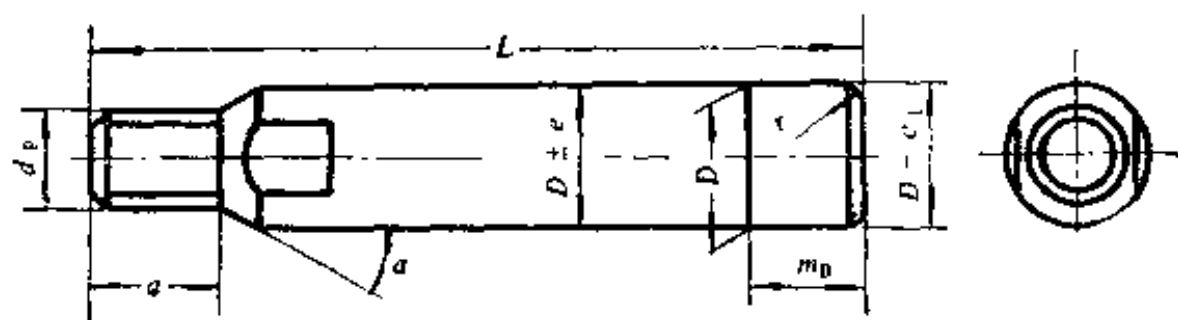


图 17-13 多辊式冷轧管机的芯棒

下面讨论支承板工作面的孔型设计。

由于多辊式冷轧管机是靠支承板来改变沿着它滚动的轧辊所组成的孔型直径的，因此，支承板的工作面应按设计二辊式冷轧管机轧槽脊部轮廓曲线的相同方法进行设计。要注意的是，支承板上各段的长度不等于工作锥上相应段的长度，前者是后者的 $\frac{R_n}{R_k}$ (R_n ——辊颈半径； R_k ——轧制半径) 倍。因为轧辊每转

动一周，辊颈在支承板上移动的距离为辊身沿工作锥移动距离的 $\frac{R_v}{R_K}$ 倍。因此，进行支承板工作面的孔型设计时，确定了工作锥的尺寸后，要再把它换算到支承板上。

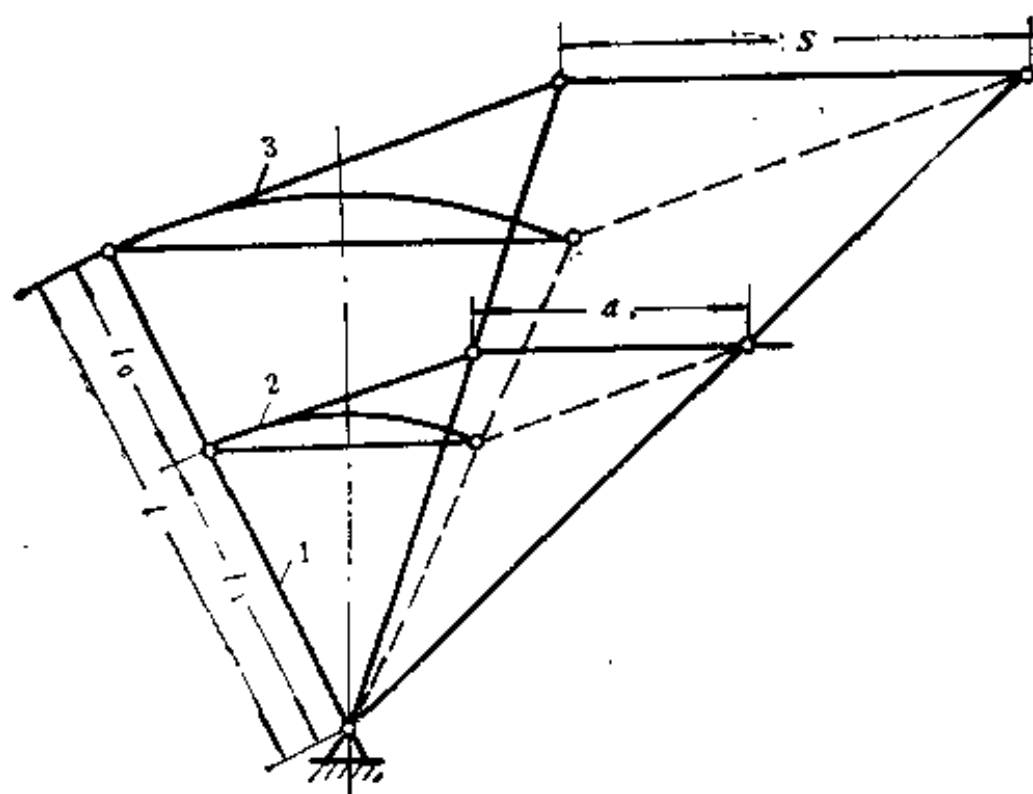


图 17-14 杠杆系统图

1—摇杆；2—轧辊架拉杆；3—机架拉杆

对于一定型号的轧机，支承板的总长度是个定值。轧制时轧辊在支承板上的起始位置和终了位置根据轧机曲柄连杆机构及摇杆机构的尺寸决定。轧辊在支承板上的行程可按下式计算(图17-14)：

$$L = S - a$$

式中 S ——机架的行程长度，对一定轧机是个定值；

a ——轧辊架的行程长度。

对于机架为摇杆传动的轧机，轧辊架的行程长度 a ，根据杠杆系统的传动图确定：

$$\frac{a}{S} = \frac{l_1}{l}$$

$$a = S \frac{l_1}{l}$$

式中 l_1 ——摇杆轴同摇杆上轧辊架拉杆的固定点之间的距离，
 l ——摇杆长度。

当调整轧机时， l_1 改变， a 也改变，在不同的 $l_1(a)$ 值时，轧辊在支承板上的行程长度 L 为：

$$L = S \left(1 - \frac{l_1}{l} \right)$$

因 $l = l_1 + l_0$ ， l_0 为小车拉杆和轧辊架拉杆在摆杆上两个固定点之间的距离，同时，根据式11-5有 $\frac{l_1}{l_0} = \frac{D_K}{D_*}$ ，所以上式可写为

$$L = S \left/ \left(1 + \frac{D_K}{D_*} \right) \right. \quad (17-10)$$

轧辊的最小行程长度同 l_1 的最小值相对应，即

$$a_{\min} = S \frac{l_{1\min}}{l}$$

所需的支承板最大长度为

$$L_{\max} = S \left(1 - \frac{l_{1\min}}{l} \right)$$

对于管料的送进和回转同时进行的轧机，支承板上只有一个非工作段 l_0 ，同送进回转开口相对应。在工作部分上包括减径段 l_d 、壁厚压下段 l_0 和定径段 l_K （图17-15）。

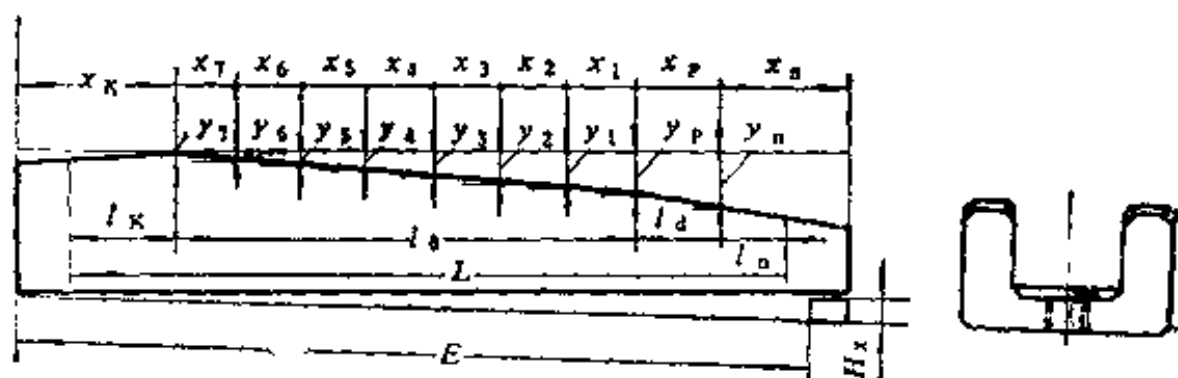


图 17-15 支承板及其主要设计参数

支承板上非工作段的长度由下式确定

$$l_n = S_1 - a_1$$

式中 S_1 ——机架从后极限位置到送进回转终止那点的行程长度；

a_1 ——机架从后极限位置走到送进回转终止点时轧辊的行程，其值为

$$a_1 = S_1 \frac{\sigma_{\min}}{S}$$

上式也可写为

$$l_n = S_1 / \left(1 + \frac{D_K}{D_u} \right)$$

支承板上定径段的长度为

$$l_K = K_2 m \mu_{\Sigma} \frac{R_u}{R_K}$$

式中 K_2 ——定径系数，一般取4~5。

由于在多辊式冷轧管机上轧管时，管料内径与芯棒直径之差较小，通常为0.5~1.5毫米，因此，支承板上减径段的长度可取为10~20毫米。

支承板上壁厚压下段的长度为

$$l_0 = L - (l_d + l_K) - l_n$$

确定了支承板上各部分的长度后，进而可以确定工作面的形状。

设计支承板壁厚压下段的形状时，先把工作锥的壁厚压下段等分为若干段，利用前面介绍的设计二辊式冷轧管机轧槽孔型背部轮廓的方法，确定各检查截面的壁厚，然后计算支承板上各相应截面的高度小于定径段高度的值：

$$\psi_x = S_x - S_T$$

式中 S_x ——检查截面管子的壁厚；

S_T ——轧制后钢管的壁厚。

知道了各检查截面的 y 值, 就可以加工壁厚压下段的工作面。

在减径段的终止截面(即壁厚压下段的开始截面)和开始截面, 支承板的高度小于定径段支承板高度的值 y_p 和 y_n 分别为

$$y_p = S_0 - S_T$$

$$y_n = R_0 - R_T$$

定径段及其后面的非工作部分做成倾斜方向和压下段相反的斜面, 斜度取为0.005~0.008。

支承板的底面是一个斜面, 其斜度一般取 $\frac{1}{50}$ 。

下面是支承板壁厚压下段设计的算例。

原始数据: 轧制程序 $27.5 \times 2 \rightarrow 24 \times 1$ 毫米; 机架行程长度 $S = 450$ 毫米; 机架从极限位置到送进回转终了的行程长度 $S_1 = 69$ 毫米; $\frac{D_K}{D_0} = 1.6$, 一个轧制周期的轧出量 $m\mu_s = 15$ 毫米。

计算顺序:

1) 确定支承板工作面的长度

$$L = S / \left(1 + \frac{D_K}{D_0} \right) = 450 / (1 + 1.6) = 173 \text{ 毫米}$$

2) 确定支承板上送进回转段的长度

$$l_n = S_1 / \left(1 + \frac{D_K}{D_u} \right) = 69 / (1 + 1.6) = 26 \text{ 毫米}$$

3) 确定支承板上定径段的长度

$$l_K = K_2 m \mu_s \frac{D_u}{D_K} = 4 \times 15 \times 0.6 = 36 \text{ 毫米}$$

4) 选定支承板减径段的长度

$$\text{取 } l_d = 12 \text{ 毫米}$$

5) 确定支承板壁厚压下段的长度

$$\begin{aligned} l_0 &= L - (l_d + l_K + l_n) = 173 - (12 + 36 + 26) \\ &= 99 \text{ 毫米} \end{aligned}$$

6) 计算管壁总延伸系数

$$\mu_t = \frac{S_n}{S_T} = \frac{2}{1} = 2$$

7) 确定工作锥壁厚压下段各检查截面的壁厚。

这里采用IO.Φ.舍瓦金的设计方法。把工作锥的壁厚压下段等分为七部分。每段长度 $x = \frac{99}{7} = 14$ 毫米。查图17-8得各检查截面的

壁厚延伸系数 $\mu_{tx} = \frac{S_x}{S_T}$ ，并由此求得 S_x 如下：

检查截面	1	2	3	4	5	6	7
$\mu_{tx} = \frac{S_x}{S_T}$	1.18	1.35	1.5	1.65	1.78	1.90	2.00
S_x , 毫米	1.69	1.48	1.33	1.21	1.12	1.05	1.00

8) 确定支承板壁厚压下段相应检查截面的高度小于定径段高度的值：

检查截面	1	2	3	4	5	6	7
y_x 毫米	0.69	0.48	0.33	0.21	0.12	0.05	0.00

第二节 变形工具的加工制作

变形工具加工后的尺寸和表面光洁度直接影响所轧钢管的几何精度和表面质量。另外，变形过程中它们在沉重的条件下工作，要承受高压、交变载荷和冲击，同时还有一定的温升(150~250℃)，使用中容易磨损和出现其他形式的损坏如金属剥落、裂纹等，特别是一些存在尖角、切口、沟槽等会引起应力集中的地方更容易产生。芯棒还可能局部变细。显而易见，工具质量对轧机生产率、钢管质量以及工具消耗都有很大的影响。因此，保证工具质量、提高其使用寿命对生产具有重要意义。

对变形工具的基本要求是：几何精度高，表面光洁度好，耐磨。具有足够的硬度、强度、良好的弹性和韧性。

一些变形工具的具体技术条件见表17-6。

对变形工具的要求通过合理选材、正确的机加工和热处理,以及必要的表面处理来保证。

制造变形工具的材质见表17-7。

各变形工具的加工工艺过程见表17-8。

制造二辊式冷轧管机轧槽块的坯料为方坯或圆钢,加工前先要锻成一定的形状和尺寸。对于半圆形的轧槽块,锻坯一般做成半圆块。在进行机械粗加工前锻坯要退火,一般在室状炉内进行。几种锻坯的退火曲线见图17-16。

表 17-6 冷轧钢管变形工具的技术条件

工具种类	技 术 条 件
二辊式冷轧管机的轧槽块	1) 锻坯不得有影响其强度的缺陷如裂纹、白点等; 2) 最终热处理后的硬度: 轧槽部分HRC=55~62, 接近轧槽部分52~59, 其余50~55; 3) 轧槽部分淬火层深度为6~8毫米; 4) 轧槽块底面的变形$\leq 0.15 \sim 0.20$毫米, 侧面的变形$\leq 0.10 \sim 0.15$毫米; 5) 侧面对底面的不垂直度< 0.05毫米; 6) 侧面凹槽两槽壁间的不平行度及其对底面的不垂直度< 0.05毫米, 槽对轧槽块中心线的偏移< 0.05毫米, 两个侧面凹槽相互偏移< 0.02毫米
二辊式冷轧管机的芯棒	1) 锻坯不得有裂纹、白点等缺陷; 2) 最终热处理后的硬度: 在工作锥表面为HRC=58~63, 有螺丝处不进行热处理; 3) 工作锥表面不得有台肩、直道及烧熔的痕迹存在; 4) 工作锥磨光后, 顺轴向进行抛光, 不允许留有周向的加工痕迹
多辊式冷轧管机的轧辊	1) 最终热处理后工作表面的硬度为HRC=60~62; 2) 辊身与辊颈的不同心度应< 0.01毫米, 辊颈的椭圆度、圆锥度不得大于公差之半; 3) 轧槽两侧边缘对中心线的偏差应< 0.01毫米; 4) 同一副轧辊的辊颈直径差应≤ 0.01毫米; 5) 轧槽顶部和侧壁开口圆弧的连接处应圆滑, 辊环凸缘的尖角要倒钝; 6) 加工后涂黄油保护
多辊式冷轧管机的芯棒	1) 最终热处理后工作表面的硬度为HRC=60~62, 螺丝部分不进行热处理, 全长的弯曲度应< 0.03毫米; 2) 芯棒工作表面对中心线的摆差应< 0.01毫米; 3) 加工后涂黄油包纸保护

表 17-7 冷轧管机变形工具的材质

工 具 种 类		材 质
二辊式冷轧管机的轧槽块		GCr15, 55CrVA, 60CrVA, 4Cr8B2
多辊式冷轧管机的轧辊及支承板		GCr15, 60CrVA (个别情况下用)
二辊式和多辊式冷轧管机的芯棒	冷 轧	GCr15, 60CrVA, 60Si2CrVA
	温 轧	3Cr2B8, 4Cr8B2

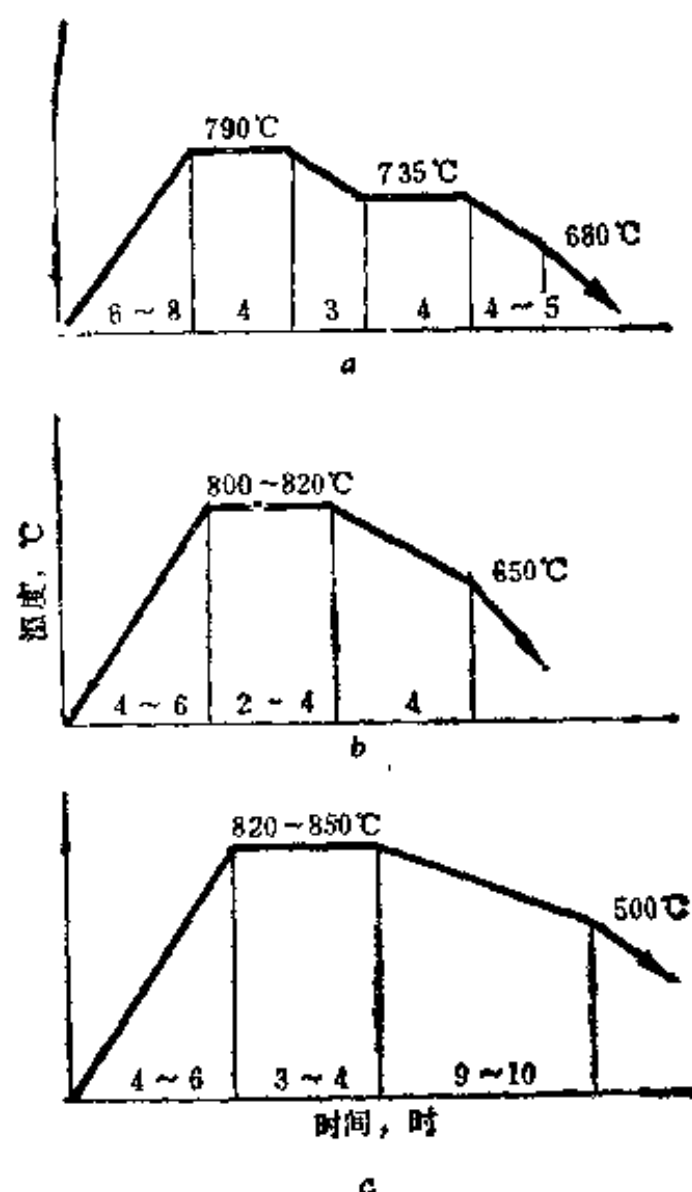


图 17-16 轧槽块锻坯的退火曲线

a—GCr15钢; b—60CrVA和55CrVA钢; c—4Cr8B2钢

锻坯的机械粗加工包括铣底面、车外圆和侧面、倒角、车轧槽、刨两侧的凹槽、钻孔和车丝。

表 17-8 冷轧钢管变形工具加工工艺过程

工 具 种 类	加 工 工 艺 过 程
二辊式冷轧管机的轧槽块	钢坯 → 切块 → 锻造 → 退火 → 机械粗加工 → 孔型镗削 → 热处理 → 孔型研磨
二辊式和多辊式冷轧管机的芯棒	钢坯 → 切断 → 锻造 → 退火 → 机械加工 → → 热处理 → 矫直 → 研磨 → 车丝 → 抛光 → → 镀铬
多辊式冷轧管机的轧辊	钢坯 → 切块 → 锻造 → 机械加工 → 热处理 → 研磨
多辊式冷轧管机的支承板	钢坯 → 切断 → 锻造 → 机械加工 → 热处理 → 研磨

经过机械粗加工的锻坯在专用的孔型镗床上进行孔型的镗制，这是轧槽块机加工中的主要操作。镗孔型时要留出以后研磨的余量。

镗制孔型的过程按下述方式进行（图17-17）。轧槽块 1 安装

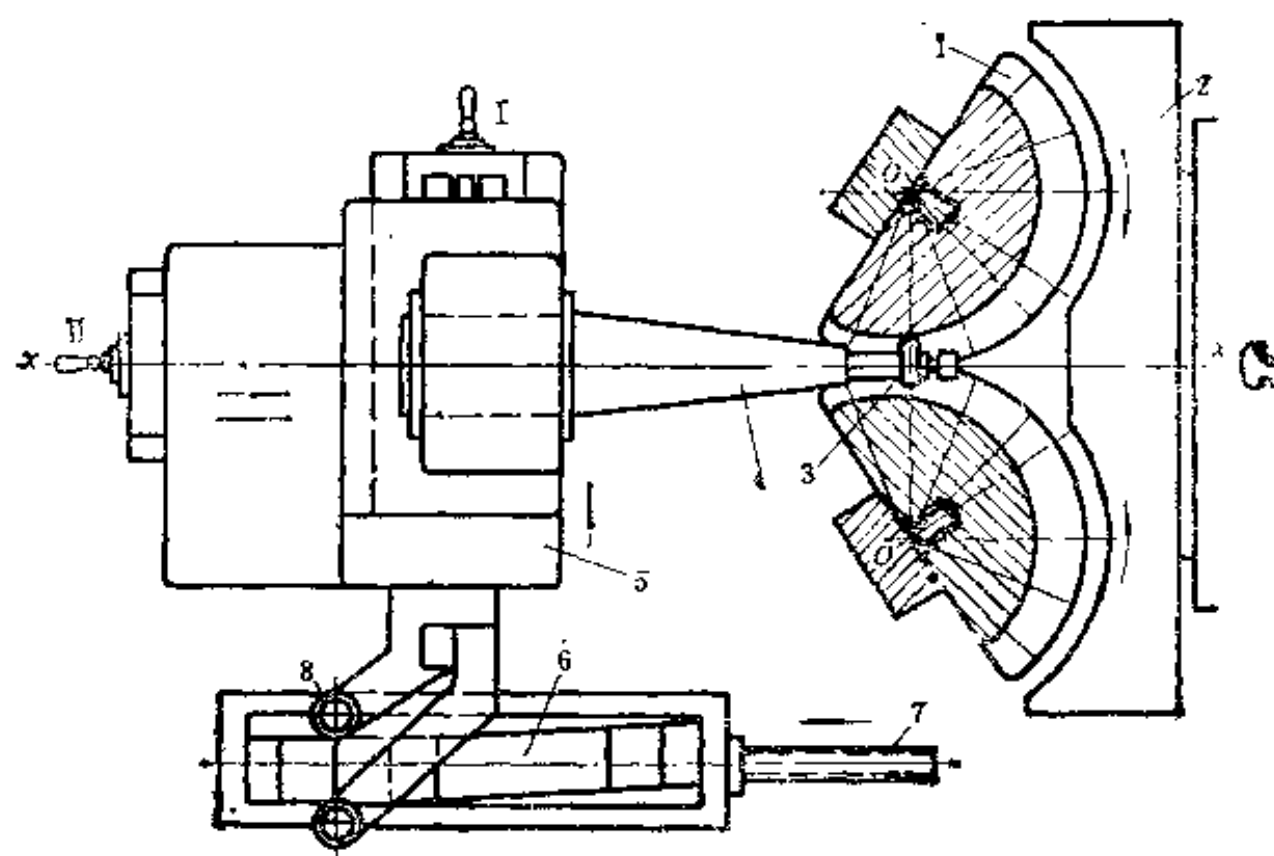


图 17-17 镗制孔型的简图

在围绕 $x-x$ 轴转动的平面卡盘2上，并同时绕中心0回转。在轧槽块回转的过程中，用装在镗杆4上的刀具3镗制孔型。刀具处在通过回转中心连线0—0的平面中并随刀架5沿垂直于 $x-x$ 线的方向移动。固接在刀架上的两个小轮8紧压靠在靠模6上，刀架在垂直方向的移动由靠模来控制。

靠模具有和轧槽顶部按轧辊主动齿轮同齿条啮合线展开后一样的形状。靠模移动的速度和轧槽块回转的角速度相适应。当靠模由于丝杠7转动而向左移动的时候，刀架向上。这样，从轧槽的预精整部分开始，刀架上小轮在靠模工作表面上的位置，将会精确地和刀具与轧槽表面接触点的位置相对应，并加工出所需要的轧槽孔型。切削的深度可用手柄I来进行调整。装有镗杆的夹具其沿 $x-x$ 轴的移动通过转动手柄II来实现。

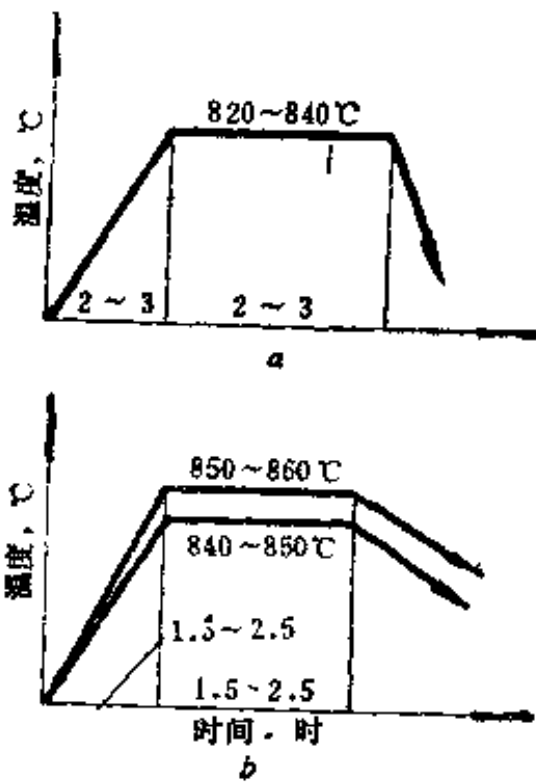


图 17-18 轧槽块的淬火曲线
a—GCr15钢；b—60CrVA和55CrVA钢

经镗制后的轧槽块要进行淬火，GCr15、60CrVA和55CrVA

钢的淬火曲线见图17-18。淬火时加热保温后的冷却在 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$ 的流动水中进行。水经过喷水器喷到轧槽表面。喷水器具有和轧槽孔型相近的形状并安装在水槽中。冷却时间约 $2\sim 4.5$ 分钟，随轧槽块规格的加大而增加。

淬火后立即进行低温回火，以消除淬火应力。回火在油槽中进行。对于GCr15钢，油温为 $260\sim 270^{\circ}\text{C}$ （加热两次，中间充分冷却）；对于60CrVA和55CrVA，油温为 $200\sim 220^{\circ}\text{C}$ 。

回火以后，轧槽块在含 $0.25\sim 0.5\%$ 无水碳酸钠的溶液中进行脱脂，温度为 $85\sim 95^{\circ}\text{C}$ 。

热处理后进行轧槽的研磨。研磨在类似于孔型镗床的孔型磨床上进行。但把刀具换成磨料砂轮。研磨后进行抛光。抛光用风动工具。在抛光轧槽顶部和开口之间的过渡部分时，风动工具的转子上装磨料砂轮；在抛光轧槽表面时转子上装毡轮，并在其表面上用水玻璃粘上一层粒度为80和120目的金刚砂，分别用于初抛和精抛。

多辊式冷轧管机的轧辊和支承板多用GCr15钢制作。机加工前，锻坯的退火工艺和二辊式冷轧管机轧槽块锻坯一样。机加工后淬火时，在室状炉或盐浴炉中加热。轧辊的加热温度，在室状炉中为 $820\sim 840^{\circ}\text{C}$ ；在盐浴炉中为 $870\sim 900^{\circ}\text{C}$ 。支承板的加热温度，在室状炉中为 $870\sim 900^{\circ}\text{C}$ ；在盐浴炉中为 $890\sim 910^{\circ}\text{C}$ 。保温的温度和时间根据工具的规格而定。回火在温度为 $260\sim 270^{\circ}\text{C}$ 的油槽中进行。

淬火回火后，轧辊轧槽的研磨在专用机床上进行。研磨时，轧辊除了转动外，还围绕通过圆周（这圆周上的一段弧线正是轧槽的轮廓）中心O的轴线进行摆动（图17-19）。

在研磨轧槽的侧壁开口时，对砂轮中心线和轧辊回转中心线之间的距离进行适当的调整。研磨后轧槽还要进行抛光。

支承板的机加工可以是刨或者是铣。淬火回火后在平面磨床上研磨表面。研磨（图17-20）时，支承板1放在磨床的磁力台4上。在支承板一端的下面放入垫块3。开始用高度较小的垫块，

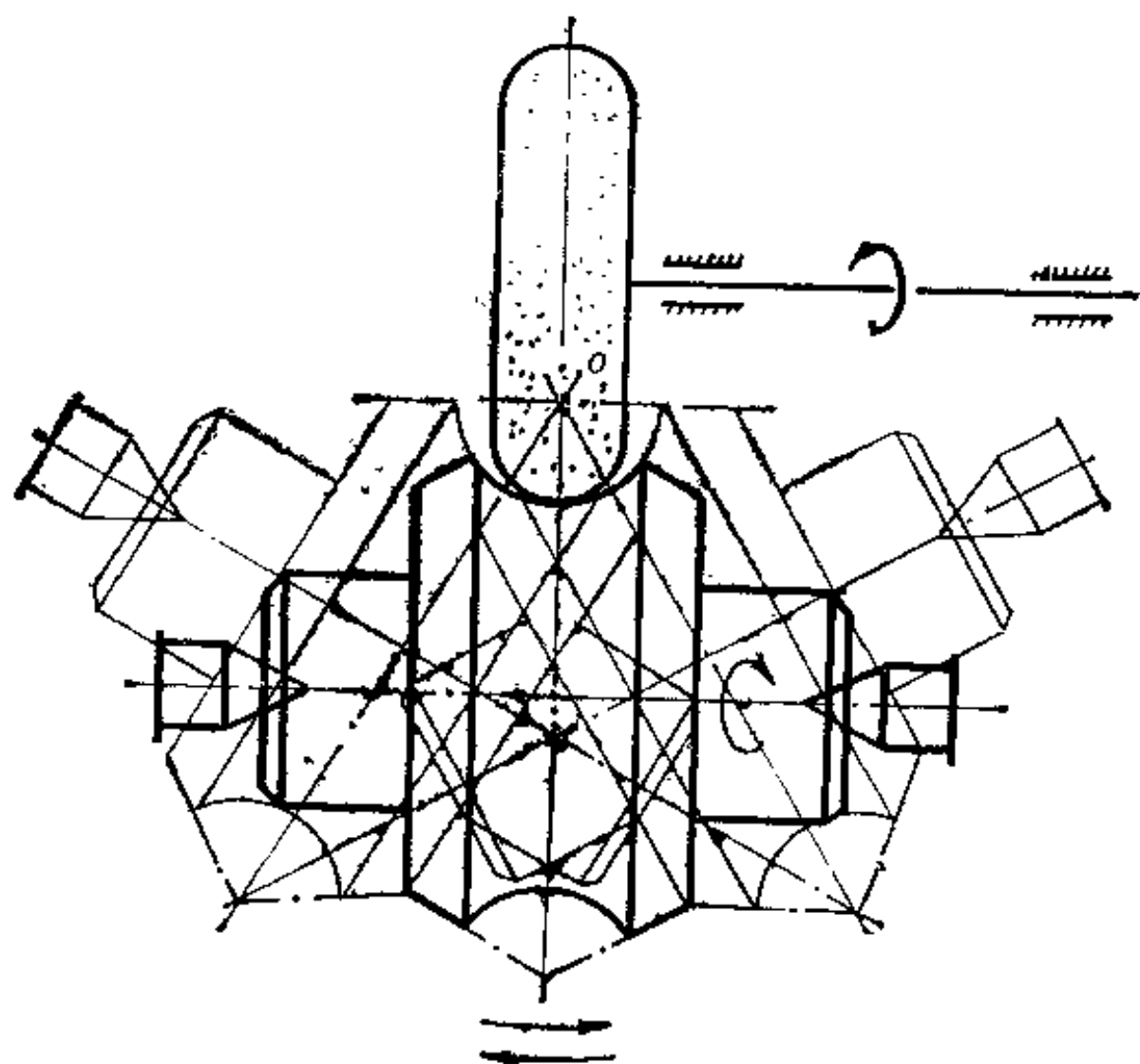


图 17-19 研磨多模式冷轧管机轧槽的示意图

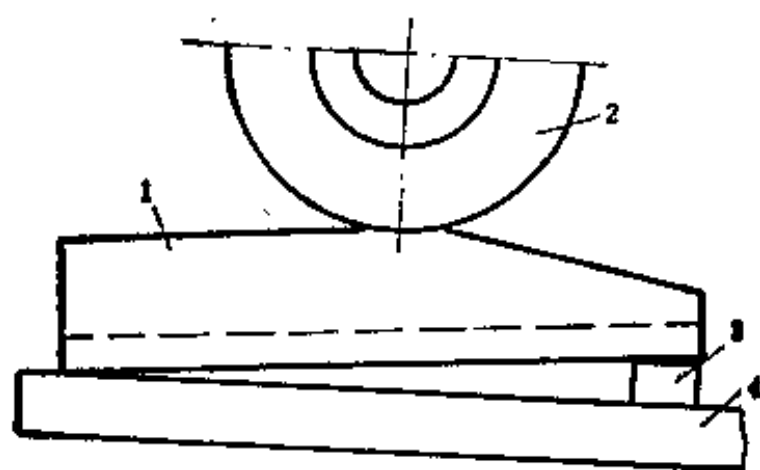


图 17-20 支承板的研磨

以后逐渐加高。每调整一次垫块高度，研磨出一段支承板的工作表面，垫块的高度恰好使该段工作表面两端的高度差符合设计所规定的值。研磨用砂轮2进行。

二辊式和多辊式冷轧管机的芯棒机加工后进行淬火和回火。淬火时芯棒在室状炉或盐浴炉中加热。加热以最快的速度进行。GCr15钢加热到820~840℃，保温15~45分钟；60CrVA钢加热到860~900℃，保温25~80分钟。用60Si2CrVA钢制作的芯棒，淬火时加热到830~880℃，保温10~60分钟。回火时，GCr15钢加热温度为240~260℃，时间为50~70分钟；60CrVA和60Si2CrVA钢加热温度为120~200℃，时间为60~150分钟。淬火和回火后在油中冷却。

芯棒的研磨和抛光在外圆磨床上进行。

用于轧制粘结金属倾向较大的钢管的芯棒需要镀铬，镀层厚度为0.020~0.025微米，镀后进行二次抛光。

第三节 冷轧管机的操作

一、冷轧管机的工作制度

冷轧管机的工作制度包括速度制度（工作机架每分钟的往复次数）和送进制度。它们与轧机生产率、产品质量、金属及工具消耗，以及设备的运转状况直接有关。合理的轧机工作制度是在大量生产实践的基础上制订出来的，与生产的具体条件密切结合。

1. 速度制度

对于每一种冷轧管机，工作机架每分钟的往复次数取决于该轧机主传动的结构及其技术性能。轧机工作机架每分钟的往复次数越多，轧制速度越快，生产率越高。但是，轧机运动部分所承受的惯性力就越大，这样，主传动装置零部件的寿命就会下降。考虑到动载荷的影响，大型轧机的轧制速度应比小型轧机的小一些，普通轧机的轧制速度低于装有动力矩平衡装置的轧机。

在实际生产中所采用的轧制速度一般小于冷轧管机传动系统

技术性能所允许的数值，而且随所轧钢管的钢种及所达到的变形程度而变化。一般轧碳钢管的轧制速度比轧合金钢管时高。在钢种相同的条件下，变形程度越大，则轧制速度越低。通常，二辊式冷轧管机工作机架每分钟的往复行程次数，XΠT-32轧机为80~100；XΠT-55轧机为70~90；XΠT-75和XΠT-90轧机则为60~70。国内一些二辊式冷轧管机工作机架每分钟往复行程次数的实际数据见表17-9。

表 17-9 二辊式冷轧管机工作机架每分钟往复行程次数

轧机型号	轧机允许的工作机架每分钟往复行程次数		实际采用的每分钟往复行程次数			
	最小	最大	碳素钢管	合金钢管	不锈钢管	轴承钢管
XΠT-32	80	120	80~100	80~95	80~90	80~85
XΠT-55	63	90	75~80	75~80	70~75	65~75
XΠT-75	56	70	55~65	55~60	55~60	55~65

多辊式冷轧管机工作机架每分钟往复行程次数通常 ≤ 100 ，小轧机取得大一些，大轧机取得小一些。

2. 送进制度

冷轧钢管时，合理选择管料的送进量是保证生产达到高产、优质、低消耗的重要途径。生产实践表明，在一定范围内，送进量越大，生产率越高；但若超过了一定值，就会产生相反的结果。送进量过大会增加轧机的负荷，但更主要的是恶化钢管的质量，如导致钢管出现波纹、壁厚不均、直径尺寸精度不高等。

送进量 m 的大小与许多因素有关。一般根据一个轧制周期中允许的轧出量 ΔL_T 和总延伸系数 μ_z 来确定。因为有

$$\Delta L_T = m\mu_z$$

$$m = \frac{\Delta L_T}{\mu_z}$$

允许的轧出量 ΔL_T 值与钢管的钢种及对钢管的要求有关。轧

制变形抗力比较高的和质量要求比较高的钢管，以及在成品道次， ΔL_T 应取小一些，在其他情况下可适当取大一些。二辊式冷轧管机允许轧出量的参考值见表17-10。

表 17-10 二辊式冷轧管机一个轧制周期的轧出量 ΔL_T 毫米

钢管钢种	ΔL_T		
	XΠT-32	XΠT-55	XΠT-75(90)
含碳量 $\leq 0.35\%$ 的碳钢、低合金钢	36~48	38~52	46~60
含碳量 $> 0.35\%$ 的碳钢、中合金钢	32~45	36~50	42~55
GCr15	—	34~46	38~50
奥氏体不锈钢及铁素体耐热钢	28~40	32~45	38~50

ΔL_T 也可以根据下式确定

$$\Delta L_T = l_K / K$$

式中 l_K ——轧制行程中定径段的长度；

K ——定径系数。

对于一定的轧机 l_K 基本上是个定值，例如对于XΠT-32、XΠT-55、XΠT-75轧机，其值分别为124、129、134毫米。定径系数 K 根据钢种和对钢管的要求选定，一般，轧制碳钢和不锈钢的薄壁管取为3.0，而厚壁管则取为4.5。

实际生产中，随着轧机大小、钢管钢种和规格以及变形程度的变化，二辊式冷轧管机的送进量一般波动者4~15毫米之间，多辊式冷轧管机的送进量约为1~6毫米。

二、冷轧管机开动前的检查和调整

为了保证冷轧管机能正常工作并轧出合乎要求的产品，在开动以前，轧机应进行仔细的检查 and 调整。

在开动以前的检查内容包括：传动机构的齿轮箱和减速箱以及轧机上各润滑点的润滑情况；轧机各机构的工作；生产工具的表面质量以及它们固定的可靠程度；主传动的紧急开关和各机构的极限开关是否完好；送进机构的调整是不是符合轧制表的规定。

等。

在经过检查和消除隐患以后，进行轧机的调整。轧机调整是轧制工艺的重要组成部分。轧机调整得正确与否直接影响钢管质量、工具寿命以及轧机的生产率。只有调整正确，才能获得尺寸和表面质量都合乎要求的钢管，同时，工具和轧机的各个部件才能在正常的条件下工作。

对于二辊式冷轧管机，轧机调整的内容包括芯棒位置和轧槽块之间间隙的调整以及其他生产工具（导管、衬垫、卡爪）等的正确安装。

在二辊式冷轧管机上，两个轧槽块之间间隙的大小，对轧制过程有很大的影响。当轧槽块之间没有间隙时（两轧槽块处在滚压状态），轧机负荷急剧增加，可能引起轧槽块和轧辊轴承损坏等不良后果。在轧槽块之间的间隙太大和沿轧制行程分布不均匀（由预精整段向压下段逐渐减小和工作机架处在中间位置时的间隙小于预精整段的间隙）的情况下，在钢管上会出现折叠、凹陷、裂纹及其他缺陷。

轧槽块之间间隙的大小可用升降上轧辊、在轧槽块支承面上加垫片以及用异形楔固定轧槽块的办法进行调整。

二辊式冷轧辊机的上轧辊用装在两个轧辊轴承座1（图17-21）之间的弹簧4进行平衡。当用压下螺丝2移动支承楔3时，上轧辊即可上升或下降。

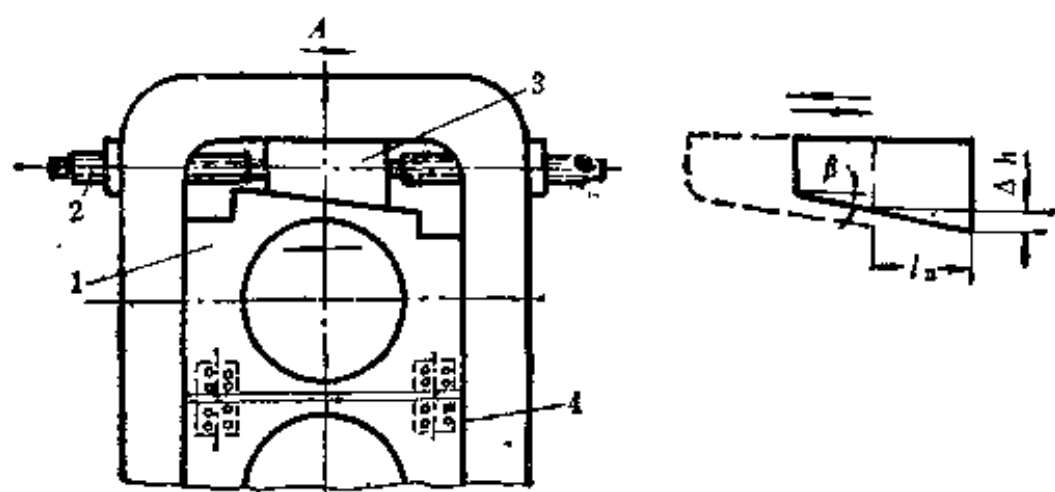


图 17-21 调整二辊式冷轧管机时升降上轧辊的示意图

当要求上轧辊上升或下降的距离 Δh 已定时，压下螺丝回转转数 n_B 可推导如下：

$$\Delta h = l_n \operatorname{tg} \beta; \quad l_n = n_B S_B$$

$$\Delta h = n_B S_B \operatorname{tg} \beta, \quad n_B = \frac{\Delta h}{S_B \operatorname{tg} \beta}$$

式中 l_n ——支承楔移动的长度；

β ——支承楔的倾斜角；

S_B ——压下螺丝的螺距。

实际上，在一个轧制行程中，两个轧槽块之间的间隙一般都是变化的，也就是说轧槽块之间间隙的分布是不均匀的。

轧辊、轧槽块和楔子的支承面的磨损，对轧槽块之间间隙的大小有很大的影响。每次送进之后开始轧制时轧槽块与轧辊之间的连续冲击常使两者的接触面遭到磨损。轧槽块在轧辊上固定不牢有松动，轧制时引起轧槽块与轧辊支承面之间的相对移动，这会增加支承面的磨损。

一般，上轧辊承受的磨损比下轧辊更大一些，因为，在轧槽块自重的作用下，它在上轧辊上的固定常常容易松动。

在轧辊和轧槽块遭到严重磨损的情况下，仅用升降上轧辊的办法来调整两个轧槽块之间的间隙是不能达到目的的。在这种情况下，还要用异形楔和垫片来进行调整。异形楔可以使轧槽块沿着轧辊的底面移动。下面来讨论上述调整方法。

首先要确定没有装异形楔和垫片时轧槽块之间间隙的原始值，方法如下。当工作机架处在前极限位置时，把管料送进一个等于或者稍大于送进量的距离，然后把工作机架顺次停在轧槽块底面同垂直面相交 α 角的位置（图17-22中的位置Ⅰ）、中间位置（位置Ⅱ）和位置Ⅲ，分别测量轧槽块之间的间隙。角度 α 取约等于 45° 。

下面分三种情况来讨论轧槽块之间间隙的调整。

1) 间隙分布不均匀，并且由位置Ⅰ到位置Ⅲ逐渐增大。这意味着轧辊上安装固定轧槽块的楔的凹槽磨损了。为了调整轧槽

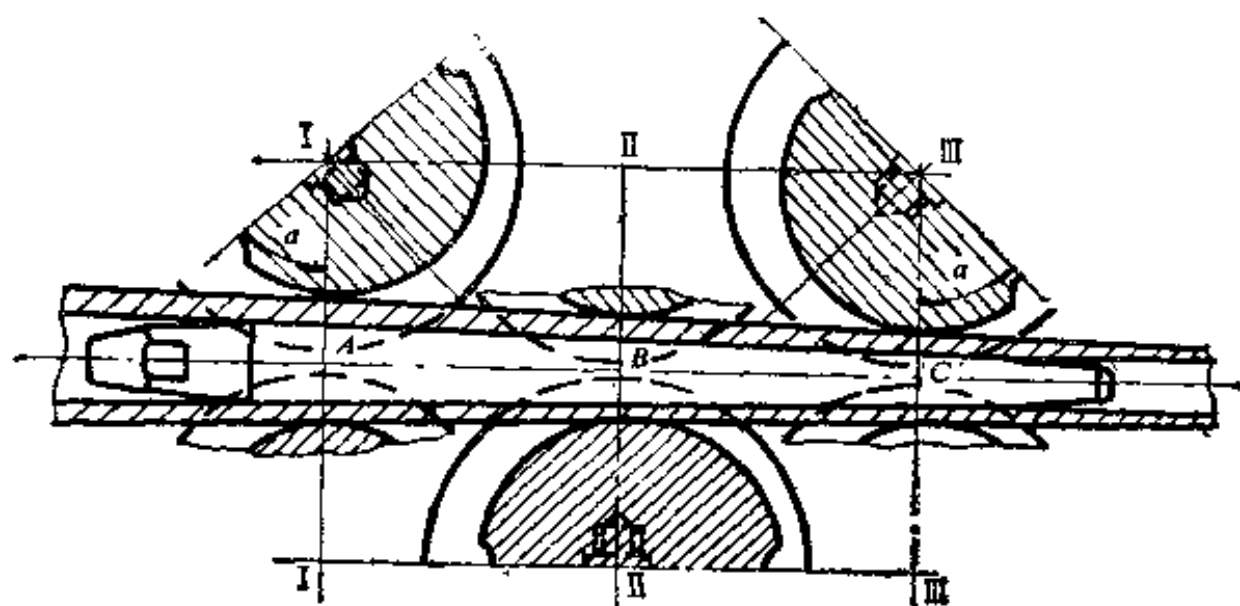


图 17-22 测量间隙大小时的轧槽块位置

A, B, C—间隙的测量点

块之间的间隙使之由位置Ⅰ到位置Ⅲ逐渐减小并达到比较理想的间隙分布，必须使用异形楔（图17-23），并如图17-24所示那样，使轧槽块按所示方向移动。

下面来确定轧槽块的移动距离。

设每一个轧槽块应该在与Ⅰ—Ⅲ平面平行的平面内向轧制线方向移动 U_B 的距离，此时，在Ⅰ—Ⅲ平面内，每一个轧槽块所移动的距离为 U_P 。两个轧槽块在Ⅰ—Ⅲ平面内所移动的距离为：

$$C - K = 2U_P$$

式中 C ——调整间隙之前轧槽块之间的距离；

K ——要求的轧槽块之间的间隙。

因
$$U_P = U_B \cos \alpha$$

所以
$$C - K = 2U_B \cos \alpha$$

即
$$U_B = \frac{C - K}{2 \cos \alpha}$$

根据轧辊3和轧槽块2的凹槽的磨损特点，可以把异形楔做成图17-23所示的各种形状。

2) 位置Ⅰ的间隙小于位置Ⅲ的间隙，但大于位置Ⅱ的间

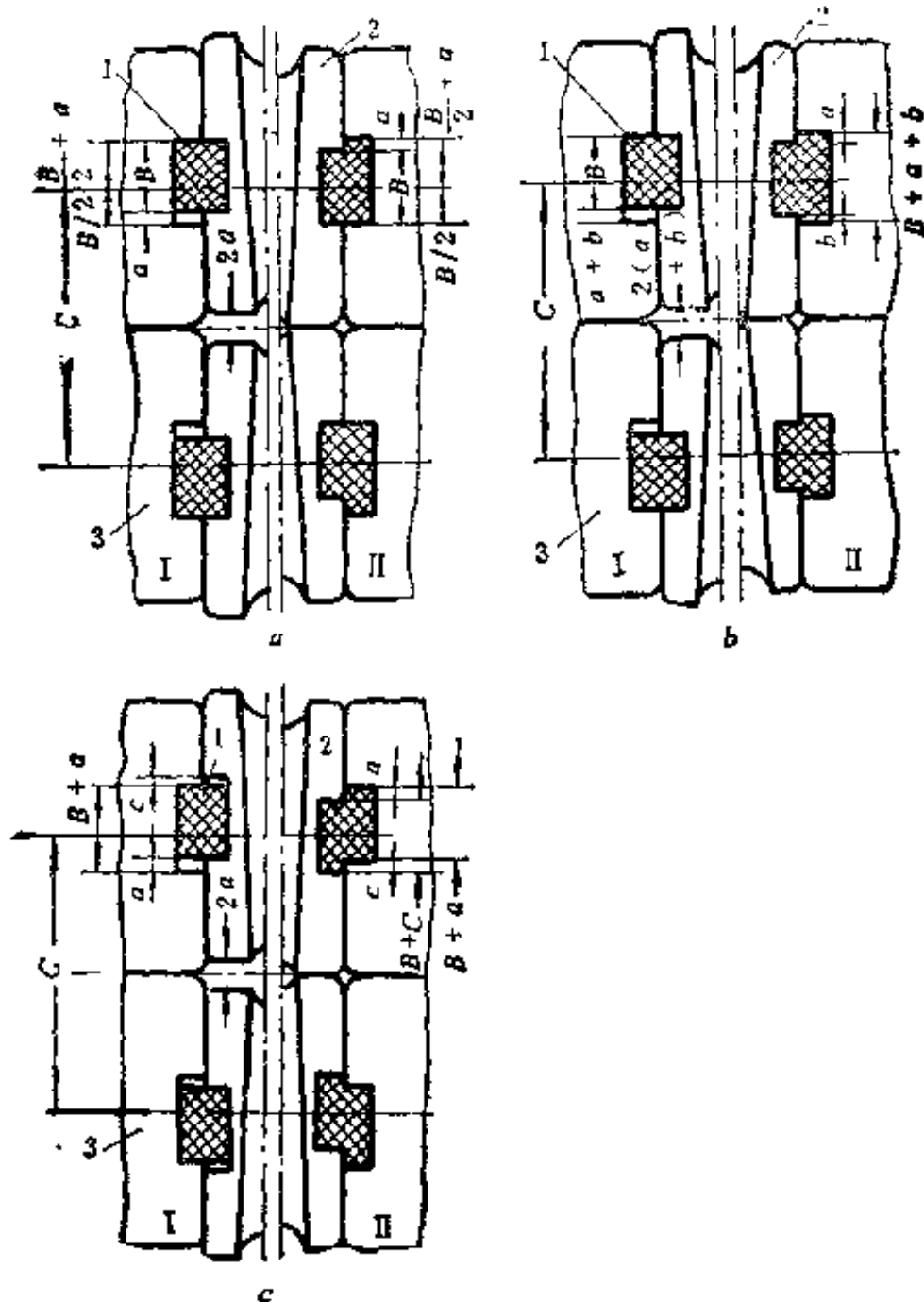


图 17-23 凹槽磨损后用来调整轧槽块间隙的异形楔的形状

I—调整楔子以前；II—调整楔子以后

a—轧辊凹槽在孔型入口部分一侧磨掉a；

b—轧槽凹槽在孔型入口部分一侧磨掉a，
在孔型预精整部分一侧磨掉b；

c—轧辊凹槽在孔型入口部分一侧磨掉a，

而轧槽块凹槽在孔型预精整部分一侧磨掉c

隙。造成这种间隙不均匀分布的原因，是由于轧辊支承面磨损后，在垂直于底面的Ⅰ—Ⅰ平面（图17-25）上，轧槽块表面上

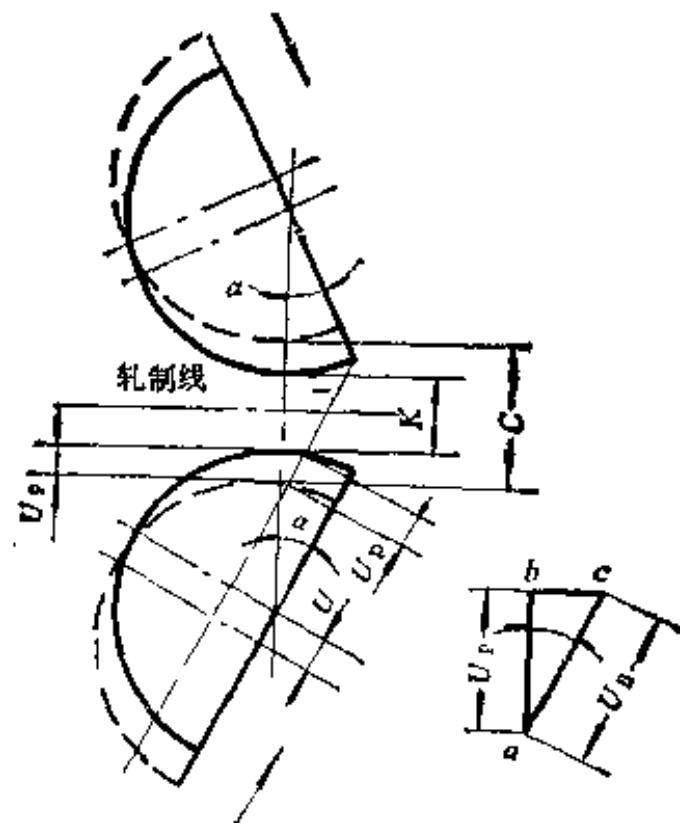


图 17-34 确定用异形楔使轧槽块移动的距离的示意图

--- 轧槽块的原始位置;
—— 轧槽块调整后的位置

的一点 O 移动了 h_a 的距离而到了 O_1 的位置。这时，在Ⅱ—Ⅱ截面上，轧槽块表面上的点 d 移到 d_1 的位置，移动的距离为 h_p 。因此，两个轧槽块在Ⅱ—Ⅱ平面中的间隙便增大了 $2h_p$ 。设未调整前轧槽块之间的间隙为 C ，则

$$C - H = 2h_p$$

式中 H ——在Ⅱ—Ⅱ平面中所要求的间隙。

从 $\triangle ckt$ 中得出

$$h_p = h_B \cos \alpha$$

因此

$$C - H = 2h_B \cos \alpha$$

在这种情况下，用加垫片的办法来调整间隙。每一个轧槽块所垫垫片的厚度为

$$h_d = \frac{C - H}{2 \cos \alpha}$$

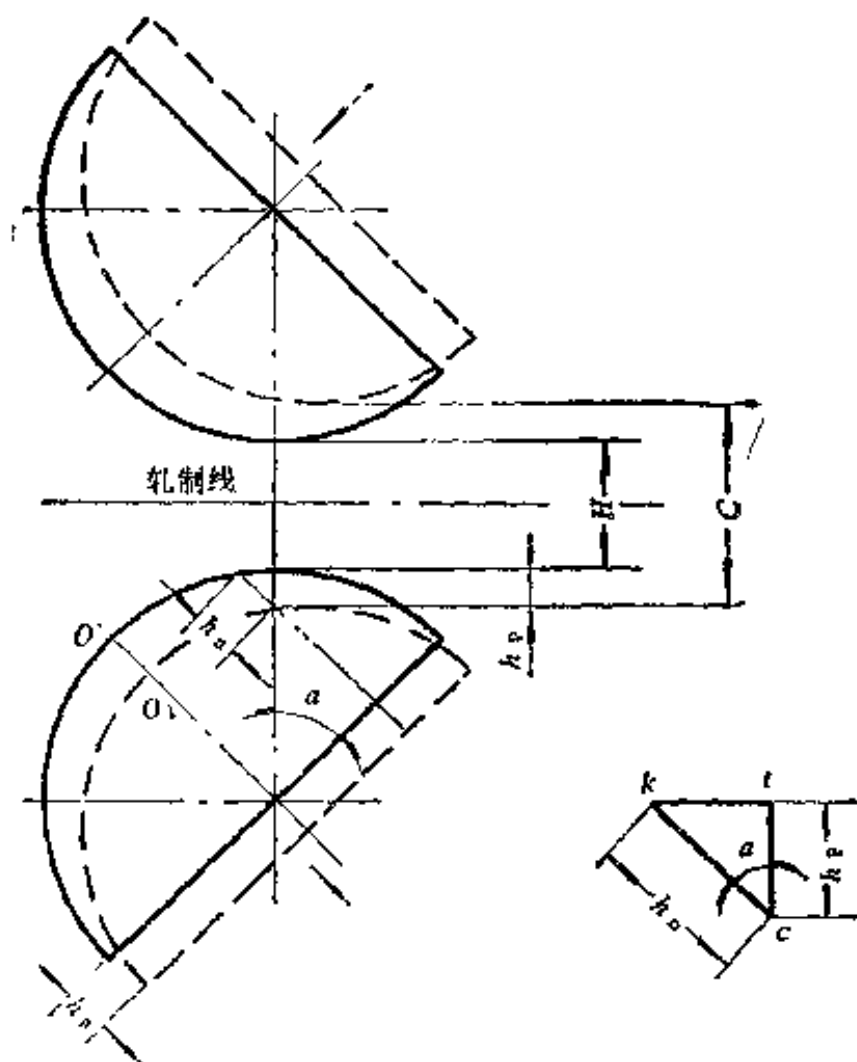


图 17-25 确定轧槽块下面垫片厚度的示意图

——轧槽块的原始位置；
——加了垫片后轧槽块的位置

如果垫片的计算厚度小于0.75~1.0毫米，则只在轧槽块下面加垫一块二倍计算厚度的垫片，因为薄垫片容易磨损或破坏。

3) 位置Ⅰ的间隙大于位置Ⅱ的间隙，但小于位置Ⅲ的间隙。在这种情况下，用异形楔和减少垫片的厚度来调整。垫片厚度减小值为

$$R=1.72(C-B)$$

式中 C ——更换垫片前，位置Ⅲ轧槽块之间的间隙；

B ——更换垫片前，位置Ⅰ轧槽块之间的间隙。

不同型号二辊式冷轧管机轧槽块之间间隙的推荐值见表17-11。

表 17-11 轧槽块之间的间隙

冷轧管机型号	所轧管子的壁厚 毫米	工作机架在下列位置时的间隙, 毫米		
		Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
ХПТ-32	0.4~0.95	0.05~0.25	0.2~0.4	0.35~0.6
	1.0~1.5	0.15~0.35	0.3~0.5	0.45~0.7
	>1.5	0.25~0.5	0.45~0.65	0.6~0.9
ХПТ-55	0.75~1.35	0.15~0.35	0.35~0.55	0.5~0.8
	1.5~2.0	0.3~0.5	0.5~0.8	0.7~1.0
	>2.0	0.5~0.7	0.7~1.0	0.9~1.2
ХПТ-75 ХПТ-90	1.0~1.5	0.25~0.5	0.6~0.8	0.8~1.1
	1.6~2.5	0.6~0.8	0.8~1.0	1.0~1.3
	>2.5	0.8~1.0	1.0~1.2	1.2~1.6
ХПТ 120	1.25~1.75	0.4~0.7	0.7~0.9	0.9~1.2
	2.0~2.5	0.7~0.9	0.9~1.1	1.1~1.5
	>2.5	0.9~1.1	1.1~1.4	1.4~1.8

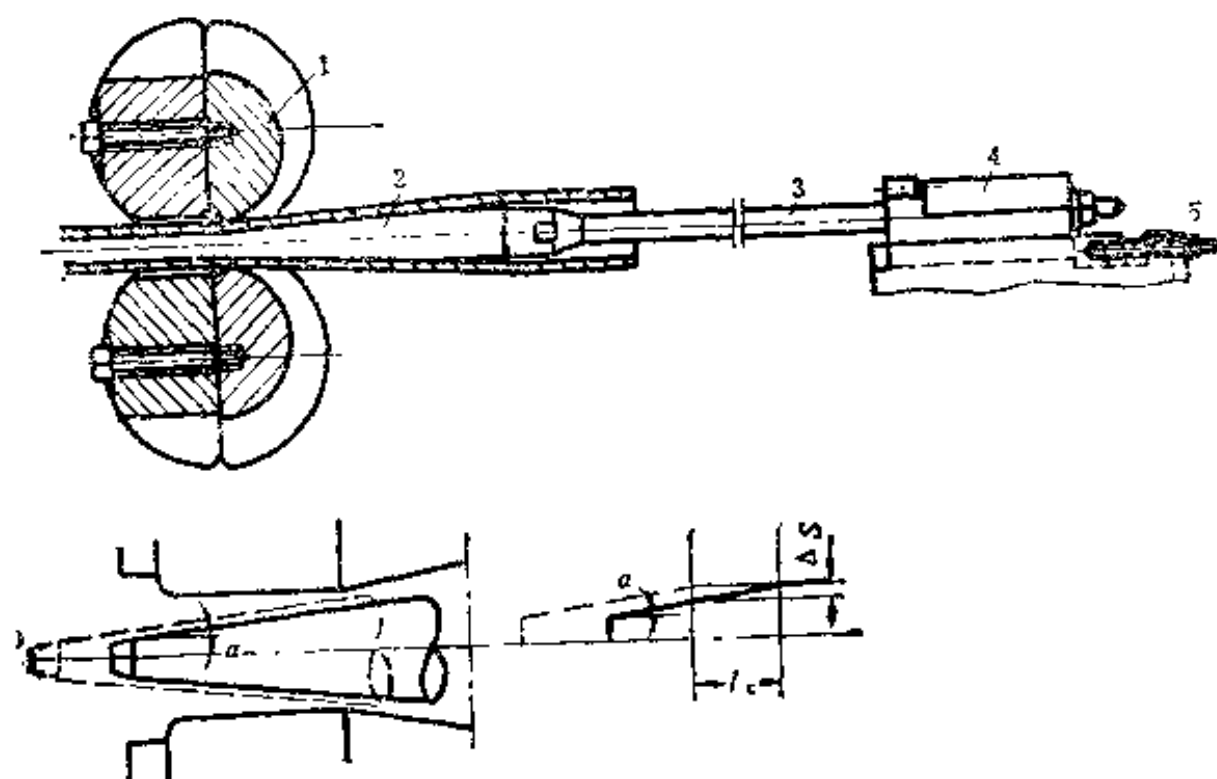


图 17-26 改变钢管壁厚时,确定芯棒移动距离的示意图

在二辊式冷轧管机上, 所轧钢管的壁厚决定于孔型定径部分开始 (沿轧制方向) 截面上轧槽与芯棒之间的间隙。装好芯棒调

整芯棒位置时，应使芯棒上直径相当于钢管内径的截面和孔型定径部分开始截面相对应，这时，芯棒上靠圆柱段一侧的圆锥部分应进入减径段约20~30毫米。

在生产中，若要在保持钢管直径不变的情况下，在不大范围内改变钢管的壁厚，可通过移动芯棒改变芯棒2和轧槽块1之间的相对位置来实现（图17-26）。芯棒由芯棒杆3带动。芯棒杆固定在芯棒杆卡盘的支座4上，支座借助于螺丝5的转动而移动。

芯棒移动的距离可按下式计算：

$$l_c = \frac{\Delta S}{\operatorname{tg} \alpha}$$

式中 ΔS ——要求的壁厚变化量；

α ——芯棒圆锥段母线的倾斜角。

芯棒杆卡盘的支座螺丝应转动的转数为：

$$n_c = \frac{\Delta S}{S_c \operatorname{tg} \alpha}$$

式中 S_c ——支座螺丝的螺距。

芯棒的移动距离一般 ≤ 30 毫米。

芯棒的移动一般是在停止送进和冷轧管机空载运转时进行的。如果在轧制过程中需要升降上轧辊，就必须相应地改变芯棒的位置，以保持壁厚不变。

在二辊式冷轧管机上还可能出现管坯卡盘和前卡盘的中心线同轧制中心线不一致的情况。在这种情况下，在钢管表面会出现不对称的波纹，还会引起管端弯曲和芯棒折断。轧制中心线在水平方向的偏移，是由于轧辊轴承箱松动而使轧辊偏向一侧造成的。轧制中心线在垂直方向的偏移，是由于机架下面的滚轮、道轨以及轧辊底面磨损造成的。

确定轧制中心线偏移方向和偏移量的方法之一是，将工作机架移动到前极限位置上，用前卡盘的卡爪夹住一根经过仔细矫直的管段，并使其端部伸到轧辊的切口中。通过测量轧辊切口到管段中心的距离来确定偏差，并按照测量的结果来调整轧辊。

芯棒杆的直径应小于管料内径，其差值对于XΠT-32轧机为2~5毫米；对于XΠT-55轧机为2.5~7毫米；对于XΠT-75、XΠT-90和XΠT-120轧机为5~15毫米。XΠT-120轧机芯棒杆的最大直径 ≤ 76 毫米。管料与中心架垫瓦之间的间隙通常取为1~3毫米。中间导管的内径应比管料直径约大2毫米。前卡盘导管的内径应比所轧钢管的直径大5毫米左右。

对于多辊式冷轧管机，在更换轧制规格时，要对杠杆系统进行重新调整。开轧后必要时可用安装在支承板下面的斜楔来修正所轧钢管的外径和壁厚。如果斜楔已处在极限位置，为了获得所需要的几何尺寸应该更换芯棒、轧辊，或在斜楔与支承板之间加垫片。对于XΠTP8-15和XΠTP15-30轧机，芯棒杆直径较芯棒直径小1~4毫米。中心架垫瓦内径应比管子直径大1~4毫米。

在冷轧钢管的时候，由于金属的塑性变形和金属与工具之间的摩擦，产生大量的热，使钢管和工具的温度升高，如在二辊式冷轧管机上，工作锥和芯棒的温度会升高到135~275℃，轧槽块的表面温度会达到110~200℃。其后果是恶化了工艺润滑的工作条件，使工具磨损加剧并降低钢管的表面质量。

生产中用乳化液来冷却金属和工具。乳化液应具有高热容量和良好的润滑性能，一般以石油产品或肥皂为基础进行配制。

除了一些不宜冷却的特殊情况，在轧管过程中，孔型和工作锥要连续不断地用乳化液进行冷却。乳化液流应靠近轧制中心线和孔型，并沿轧制中心线喷射。乳化液的流量应保证乳化液与金属与工具接触时不出现沸腾。

三、冷轧时轧机的故障及其消除〔6,7〕

冷轧管机在工作过程中有时会出现一些故障，这既影响钢管的质量也影响钢管的产量，应设法防止。

二辊式冷轧管机工作时常见的故障是：管料猛进、管料对头切入和管端破裂等。

管料猛进 管料的猛进指轧制中出现送进不均，送进量自发增大的不正常现象，通常具有周期性。

管料猛进的出现主要与送进时工作锥从芯棒上脱开时所受的阻力增大有关。

在送进管料的时候，如果工作锥从芯棒上脱开时所受的阻力增大，管料就不能自由地送进，这时，送进机构中的各个部件，由于受力而产生一定的弹性压缩，使实际送进量小于正常值。继续送进时，送进机构中各个部件所受的力还会不断增加。但一旦当送进机构中各个部件上受的力在下一次送进时增加到能克服芯棒的阻力时，各部件的弹性压缩变形消失，结果送进量急剧增加而出现猛进。

管料猛进可能引起轧槽块、芯棒或轧辊轴承的破坏。由于管料的猛进，在管子表面上会产生折叠、凹陷、过大的波纹等缺陷，还会出现纵向壁厚不均。

造成工作锥从芯棒上脱开的阻力增大而引起管料猛进的可能原因是：

- 1) 在管料内表面有氧化铁皮或存在酸洗后残留的铁盐；
- 2) 管料润滑不良；
- 3) 由于热处理质量不良而使管料的力学性能在长度上不均匀，使工作锥从芯棒上脱开所需的力沿管长有很大的变化；
- 4) 芯棒硬度不够，工作后局部变细或者芯棒弯曲；
- 5) 在芯棒表面粘上了所轧制的金属；
- 6) 芯棒位置过前，在芯棒的圆柱部分就开始了管料的压下；
- 7) 芯棒尺寸与轧槽上孔型的形状不符，管壁的压下集中在长度不大的一段芯棒上；
- 8) 前卡盘把管子卡得过紧。

当送进机构调整不正确而使管料被轧槽块轧住的时候，也可能引起管料的猛进。管料的不均匀送进是一种变相的管料猛进。不均匀送进多半是由于送进机构调整有毛病或前卡盘没把管子卡紧而引起的。为了避免管料的猛进，必须消除产生猛进的原因。

管料对头切入和管子在变形区中的对头切入 管料对头切入

指正在轧制中的前一根管上尚未轧完部分的尾端与装入冷轧管机的后一根管料的前端的端头互相切入。通常造成管料对头切入的一些原因有：

1) 工作锥从芯棒上脱开的阻力太大。这时管料端面上的压力急剧增加，引起管料端头的压破和互相切入；

2) 芯棒杆直径过细、管料弯曲，或者由于导板和托架衬套的尺寸同管料尺寸不符，使前后两根管料的端头错位，仅以端面的一部分接触；

3) 芯棒杆在卡盘中固定不牢使正在轧制中的管料同刚装入的管料的端头不断发生冲击；

4) 使用了端头切斜和压扁了的管料，或者在清除毛刺时端头切得过分尖锐；

5) 由于轧槽块的轧制直径与轧辊主动齿轮节圆的直径不符，轧制时产生较大的轴向力，管料被轧槽块向前和向后用力拖拉。

管料对头切入通常出现在用薄壁管料轧管的时候。管料对头切入后，切入部分端头的壁厚相当于原来的两倍，轧制时轧机负荷增加，容易引起工具和轧机部件的损坏和出现故障。因此，必须防止管料对头切入的发生。

为了防止产生管料对头切入，必须消除使工作锥难于从芯棒上脱开的原因，检查轧制中心线并装设同管料尺寸相符的导板和托架衬套，对于所轧制的管料来说芯棒杆应当采用直径最大的。

为了减少轧槽块由于轧辊主动齿轮节圆直径与轧制直径不符所产生的对管料的拖拉，应该使各种规格的冷轧管机在轧制的管子规格上实行分工。

在未轧完的一段管料上套上一个定心导管有助于防止薄壁管料的对头切入。

除了管料的对头切入外，还会出现管子在变形区中的对头切入，产生这种对头切入的多半是壁厚为0.4~1.5毫米的管子。这时后一根管料的前端和前一根管料的尾端在变形区中相碰。管子端

头被轧槽块轧破并且互相切入。

把前卡盘中的管子松开并且用手把管子渐渐地从芯棒上脱下来，就可以避免管子的对头切入。

管端破裂 在轧制外径同壁厚之比大于38~40的薄壁管以及某些高强度低塑性合金钢钢管时，如果孔型的侧壁的开口过大或者轧槽之间的间隙分布不均匀，就会出现管端的破裂。因为在这种情况下，沿孔型周边管壁压下的不均匀性显著增加，导致管端裂开。

沿孔型周边壁厚压下不均的程度与孔型的侧壁开口度有关。当机架向前移动对所送进部分金属进行压下的时候，在工作锥的任何一个截面上，靠孔型顶部的壁厚压下量总要大于侧壁开口处的壁厚压下量；轧制后靠孔型顶部的壁厚 S_0 总要小于侧壁开口

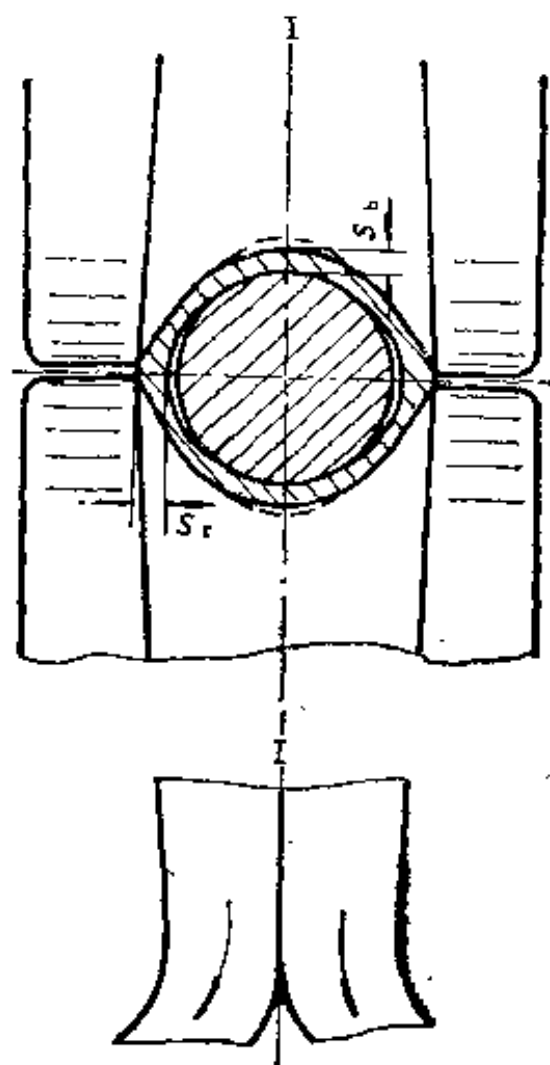


图 17-27 产生端部破裂的示意图

处的壁厚 S_1 (图17-27)。当机架到了前极限位置时, 管料回转一个大约 90° 的角度。这时, 工作锥上原来管壁较厚的部分转到了孔型的顶部。这样, 当机架向后移动时也产生管壁的不均匀压下: 在孔型顶部最大, 在孔型侧壁最小。

若把工作锥从 I—I 平面 (图17-27) 分成两部分。在壁厚压下量最大的孔型顶部, 金属的变形要比侧壁开口处的变形大, 因此, 侧壁开口处的金属力图使孔型顶部的金属向侧壁开口处流动, 由于在壁厚压下量最大的地方 (I—I 截面), 工作锥上的两部分是互相连系着的, 所以不可避免地要产生横向的拉应力。

在轧制大直径薄壁管和低塑性钢管时, 如果孔型侧壁的开口度过大, 或者机架在中间位置时轧槽块之间的间隙过小, 都会增加沿孔型周边管壁压下的不均匀程度, 结果使所产生的横向拉应力超过了金属强度极限, 管子端部就产生纵向开裂。轧制薄壁管时的加工硬化程度要比轧制厚壁管时大, 这也促使端部破裂的形成。

在设计孔型时适当减少侧壁的开口度, 在轧制时重新调整轧槽块之间的间隙并适当地加大这一间隙, 有助于防止管端破裂。在这些情况下管壁的不均匀压下会显著地减轻。在轧制低塑性钢管时, 必须细心地进行管料的切断, 并且要清除毛刺和凹凸不平。为了防止在轧制薄壁管时出现管端破裂, 有时可先在管端轧一段长100~150毫米管壁较厚的管段, 然后再开始正常轧制。

冷轧管机工作时除了避免出现上述故障外, 还要防止润滑油和乳浊液供应的中断。一旦出现这种情况, 轧机应停止工作, 直到消除故障为止。

除了特殊情况以外, 在一般轧制过程中都要用乳浊液来冷却工作锥。如果乳浊液供应中断而仍继续轧制, 会引起管子和芯棒温度迅速升高, 润滑油燃烧以及在芯棒上粘上所轧制的金属。

实际上, 只要对管料及工具质量能认真进行检查、操作上遵守工艺规程并经常细心观察轧制过程和设备状态, 二辊冷轧管机工作中的故障是可以避免的。这些对防止多辊式冷轧管机工作中

的故障也同样适用。

在多辊式冷轧管机上如果工具选配不当，在轧制过程中会产生噪音和撞击，送进和回转时管料会被卡住，以及出现管子回退，管子对头切入，芯棒杆弯曲，管料在管料卡盘中打滑，芯棒、滑道和轧辊的损坏等其他故障。

如果轧机调整不当将会出现轧辊打滑并引起机架的振动和不规则运动；管子和芯棒抱紧或送进时管料猛进；轧辊楔卡在变形区中和磨损的加剧；管子被辊环凸缘卡住；送进和回转时需要的力增大并引起管料在卡盘中打滑和管子的对头切入以及芯棒或芯棒杆卡在管子中间等故障。

轧制过程中若在机架中出现撞击，轧机应停止工作。找出产生的原因并采取措施加以解决。

第十八章 冷拔冷轧时钢管 的质量和产量

第一节 冷拔时钢管的缺陷、产生 原因及消除办法

冷拔钢管时产生缺陷的基本原因是：

1) 管料或中间管的质量不好，包括几何尺寸不符合要求，纵向和横向壁厚不均严重，弯曲度和椭圆度过大，化学成分不合，力学性能不合或不均等；

2) 没有遵守拔制前各准备工序的操作规程。主要的是锤头工艺不正确、化学处理和热处理操作不当、管端有毛刺、修磨质量不高、在运输过程中产生缺陷等；

3) 没有遵守拔管过程的操作规程。表现在管子中心线和拔制线不一致、拔管模安装不正、开拔速度太快、工具选配不当、芯棒拉杆的直径过大或过小、变形量太大、芯棒送进不及时等；

4) 拔管模和芯棒的质量不好，包括光洁度差、硬度和强度低、尺寸不合、硬质合金模的镶装不正确等；

5) 拔管机失修。如拔管小车倾斜、模座或拔管模本身在中心架上安装不正等。

下面介绍冷拔管的主要缺陷、它们产生的具体原因和消除办法。

折叠 存在于钢管的外表面或内表面，呈直线或螺旋状、连续的或不连续的。产生折叠的主要原因是管料质量不好，本身存在折叠，或者表面有夹杂、严重的刮伤和裂缝；在修磨处有棱角，拔制后经延伸而出现折叠。为了避免折叠的产生，应该提高管料质量并注意检查和修磨。

裂缝（包括裂纹、发纹）指钢管内外表面上呈直线或螺旋

线分布的细小裂纹，深度在1毫米或1毫米以上，有连续的和连续的。产生的原因是：热轧管坯有皮下气泡和皮下夹杂物，拔制前钢管上有裂纹或较深的麻点，在热轧时或冷拔各工序操作中产生了纵向划道或擦伤。防止裂缝的形成也在于提高管料质量，加强管料的检查的修磨。同时应避免管子在冷拔生产过程中产生麻点、划道和擦伤。

凹坑 即分布在钢管表面上的面积不一的局部凹陷，分布有的呈周期性，有的无规律。凹坑的产生是由于氧化铁皮或其他质硬的污物在拔制或矫直过程中压入了钢管表面，或者是原来存在于钢管表面的翘皮剥落。防止出现凹坑的措施是仔细地检查管料并除去翘皮等缺陷，保持工作场地、工具和润滑剂等的清洁，防止氧化铁皮和污物落到钢管表面。

直径超差 造成直径超差的主要原因是配模不当或者忽视了拔管模尺寸由于磨损而引起的变化。矫直过程中矫直辊压下量过大也会造成钢管的直径过小。

壁厚超差 造成壁厚超差的主要原因是配模不当，或者忽视了模具尺寸由于磨损而引起的变化，对定壁后空拔道次中的壁厚变化量估计不准确，使用弧形外模和锥形芯棒进行短芯棒拔制时芯棒位置调整不当一过前或过后。为了防止壁厚超差，应该正确配模、正确调整芯棒位置。空拔道次中钢管的壁厚变化应估算准确。

椭圆 即钢管的横截面呈椭圆形。在拔制过程中使用了模孔是椭圆形的拔管模或者在矫直时由于钢管两端弯曲过大，在矫直过程中上下窜动、钢管外径过大推入时卡住、钢管尾部甩动过大以及各对矫直辊之间压下量分配不均等均会产生这种缺陷。如果由于模孔椭圆而产生缺陷应更换拔管模。若椭圆是在矫直过程中形成的，应消除矫直时造成椭圆的有关原因。

壁厚不均 钢管产生壁厚不均的主要原因是：管料壁厚不均过大，拔制时拔制线和钢管的轴线不一致，芯棒和拔管模的模孔椭圆。为了减少钢管的壁厚不均，管料的壁厚不均应尽可能小，

同时应仔细检查模具和调整拔管机。

划道和擦伤 缺陷的特征是，在钢管的内外表面上呈现纵向直线形的长短不一的划痕，多为沟状，但也可能是凸起的条纹。产生划道和擦伤的主要原因是：在管料上有内划道在拔制时未能消除，钢管上残留着氧化铁皮，模具粘钢，模具强度和硬度不够或不均，模具出现碎裂和磨损，锤头不良，锤头过渡部分的尖锐棱角损伤了模具等。为了防止产生划道和擦伤应该提高拔制前各准备工序的质量和使⤵用强度及硬度高、光洁度好的模具。

拔断 出现拔断的主要原因是：变形量过大，热处理酸洗润滑的质量不好，锤头不合乎要求，在锤头前的加热时产生了过热或过烧，拔制线和钢管的轴线不一致，短芯棒伸出拔管模的定径带过前，开拔速度过快等。为了防止拔断，拔制前钢管的尺寸和配模应严格按照拔制表的规定进行，拔管模应安正，芯棒的位置要正确，应保证拔制前各准备工序的质量，在拔制速度高的情况下，开拔时速度要降低。

短芯棒拔制时空拔头过长 短芯棒拔制时，钢管上存在一段不长的壁厚大于规定拔制壁厚的空拔头是正常的。但若空拔头过长就会增加切头量，加大金属消耗。出现空拔头过长的原因是开拔时芯棒推入不及时或者芯棒不能被钢管带入变形区。出现前一种情况时，应该注意操作和使用定位器。若芯棒不能进入变形区，可在砂轮上打磨一下芯棒端部倒角，使之有利于带入变形区。

抖动 只产生在短心棒拔制时。出现抖动时，钢管内表面或内外表面上呈现高低不一、数目不同的波浪形环痕，有的是连续的，有的是断续的，可能是整圈的，也可能不是整圈的。所以产生抖动，是由于拔制过程中钢管和芯棒拉杆发生了抖动。造成抖动的具体原因是：酸洗和润滑质量不好，拔制时摩擦力增加而且不断变化，热处理后沿钢管长度力学性能不一致，芯棒拉杆过长过细，芯棒位置过前或过后，以及变形量过大等。为了防止抖纹的产生，应该提高酸洗、润滑和热处理的质量，正确调整芯棒位

置，避免使用直径过细的芯棒拉杆。

纵向开裂 出现这种缺陷时，钢管呈现穿透管壁的纵向裂开，具有突发生。一般发生在全长，有时发生在靠锤头部分一端。纵向开裂通常只在空拔管中出现，因为空拔后钢管的外表面存在较大的切向拉伸残余应力。造成纵向开裂的具体原因是：减径量太大，变形不均匀的程度加剧，残余应力增加；空拔时连拔道次过多，钢管产生了较大的残余应力和加工硬化现象；退火不当包括温度过低、温度不均或者时间太短；锤头后过渡部分管壁局部凹陷过深或者拔制后钢管的尾端不齐有凹口引起应力集中；拔制后未及时烘烤或退火并在搁置时遭到冲击；钢管表面有折叠等缺陷以及氢脆等。钢的冷加工性能差、钢管壁较厚和气温低时空拔管发生纵向开裂的倾向更大。钢管纵向开裂是一种无法挽救的缺陷，一旦出现、钢管就报废。防止钢管纵向开裂，应该控制空拔道次的减径量和连拔次数，保证热处理和锤头质量，避免出现氢脆，拔制后的钢管应及时退火。

管壁纵向凹折 发生在空拔薄壁和特薄壁管时，是由于拔制过程中钢管横截面丧失了稳定性造成的。具体原因是减径量过大。如果锤头端过渡部分管壁局部凹陷过深也会增加产生纵向凹折的倾向。在拔制薄壁和特薄壁管时为了防止产生纵向凹折，减径量要小一些，锤头质量要好，也可采用双模拔制。

翘皮 其特征是钢管内外表面有局部与金属基体分离的薄片，个别的成块状，不连续，在管壁上生根或不生根，但不能自然剥落。产生的原因是：1) 钢质不良，有皮下气泡，经冷拔后暴露；2) 在热轧时产生的翘皮带至冷拔；3) 钢管上原有较深并具棱角的横向凹坑经拔制后形成翘皮。

夹杂 表现为在钢管表面或表面裂缝内嵌入了非金属夹杂。产生的原因是钢质不良或者在管坯加热或钢管退火时表面压入了杂质。

麻面 其特征是钢管表面呈现成片的点状细小凹坑。产生麻面的主要原因是酸洗时产生点状腐蚀，退火后氧化铁皮过厚矫直

后压入钢管表面，钢管保存不好发生锈蚀。

碰（压）凹 主要产生于薄壁管。产生的原因是搬运、吊运不当特别在退火后出炉时钢管堆放过多，低层钢管被压凹，矫直时钢管甩动，切管时夹持过紧。

矫凹 表现为钢管外表面有圆滑的或具有尖锐棱角的螺旋状印痕。产生的原因有，矫直辊的角度不正确，矫直时钢管擦着了矫直辊边部的凸肩，矫直辊上有磨损的凹槽，钢管两端弯曲过大。

第二节 冷轧时钢管的缺陷、产生原因及 消除办法^[5~7]

二辊式冷轧管机轧管时最常出现的产品缺陷有：折叠，凹陷，过大的波纹，内表面上的凹陷和擦伤，直径和壁厚的超差以及壁厚不均，等。

折叠 在机架的正行程中，金属进到了轧槽块之间的间隙中，在工作锥的侧表面上形成了耳子。在机架的返行程时，这些耳子被轧槽块压到工作锥的表面中去，所形成的缺陷就是折叠。由于轧制时管料在一个轧制周期中要回转一次，所以折叠在管子表面呈螺旋分布。

轧槽块之间的间隙太大，间隙分布不均匀，孔型各部分的宽度不够，芯棒尺寸同孔型形状不相符合，送进量大小不均匀或者管料猛进以及管料停止回转等，这些原因都会促使在工作锥上形成侧面耳子和在管子表面上形成折叠。

如果轧槽块之间的间隙太大，应该重新调整间隙。当孔型各个部分的宽度不够时，可以找出金属被孔型凸缘“啃掉”的地方，并用风动砂轮研磨孔型，加大孔型宽度较小部分的开口度。

芯棒尺寸同孔型形状不符会引起金属的集中压下而出现耳子。为了消除这种现象，可换上芯棒圆锥母线斜度较大的芯棒。

在送进量大小不均匀或者在管料猛进的情况下，应该消除它

们产生的原因。如果管料停止了回转可调整一下前卡盘。

凹陷 管子表面上的凹陷多发生在孔型的预精整段部分以及当机架返行程时管子不在芯棒上辗轧的情况下。形成凹陷的原因是：轧槽块之间的间隙太大和孔型预精整部分侧壁的开口太陡，轧槽块在水平面内互相错开以及轧槽块表面上有缺陷等。凹陷多半出现在轧制薄壁管时。

当轧槽块之间的间隙太大和孔型预精整部分侧壁开口太陡时，在机架的正行程中金属充满了孔型的侧壁开口部分并被孔型的凸缘切割，被切割部分的金属在返行程轧制时被压到管子的表面下而形成凹陷。由于管子回转，管子表面上的凹陷一般呈螺旋分布。

当轧槽块两侧的间隙不等时，凹陷可能只出现在管子的一侧。

为了避免凹陷的产生必须减小出现凹陷处的轧槽块之间的间隙，同时研磨孔型预精整部分的侧壁开口，减小它的陡度。

如果上下轧槽块发生水平错位，工作锥表面会在孔型的预精整部分和定径部分受到切割，在返行程轧制时，这些地方没有被辗平而留在管子表面形成凹陷。这时必须重新调整轧辊使其上下对称。

当孔型预精整部分或者定径部分的凸缘被压碎，也可能在管子表面形成凹陷。此时，必须修整孔型的压碎凸缘并恢复其宽度。

除了上述原因外，在管料送进量太大、送进量不均匀或管料猛进的情况下，管子也可能产生凹陷。

波纹度过大 波纹指管子表面上沿管长分布的环状凹凸不平。产生过大的波纹的原因可能是孔型定径部分表面磨损并由圆柱形变成了锥形、轧槽块上的回转开口部分加工不良以及回转机构的调整不正确等。由于孔型定径部分磨损大而引起的过大的波纹，出现在孔型预精整部分压下量过大的情况下。在这种情况下，孔型设计时应减少孔型预精整部分工作锥的压下量。

当回转开口的加工不良时，在管子表面会出现环状的凹陷。

为了避免产生这种缺陷，在轧制、研磨时，必须使孔型的工作表面平滑地过渡到开口部分。

在回转机构调整不正确即管子还没有脱离轧槽块就开始回转的情况下，在管子表面就会产生环状凹陷和擦伤。正确地调整回转机构可以避免由于上述原因而产生的波纹。

此外，当管料卡盘和前卡盘的中心线和轧制中心线不一致的时候，波纹会显著地增大。当送进量大小不均匀和管料猛进时，波纹也会加大。

管子内表面上的环形压痕 当芯棒位置过后以致芯棒的前端处于孔型的预精整部分时，就会在管子的内表面上产生环形的压痕（图18-1）。在轧制的时候，芯棒前端倒角过于锐利和芯棒从预精整部分折断也会在管子的内表面形成环形的压痕。

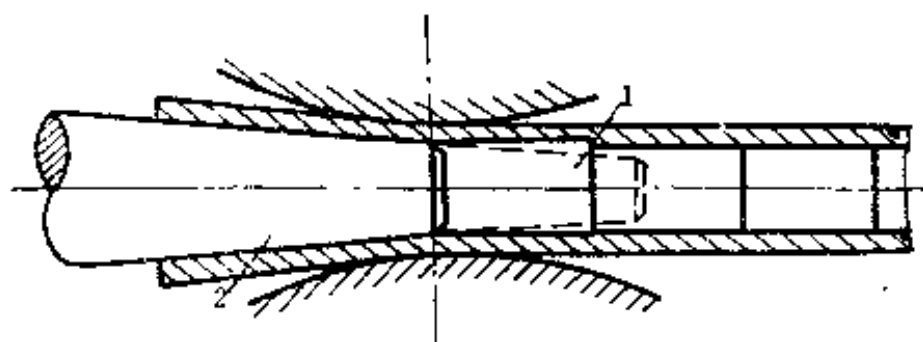


图 18-1 在管子内表面上形成环形压痕的示意图

1—芯棒位置正常；2—芯棒位置不对

管子外表面上的横向擦伤 管子外表面上的横向擦伤是由于回转机构调整不正确，孔型回转开口部分加工不良或者长度不够面造成的。

当回转机构调整不正确、孔型回转开口部分加工不良或者长度不够时，管子回转时在定径部分过渡到回转开口部分的地方同孔型表面接触，从而使管子产生横向擦伤。

当导板和前卡盘卡爪的表面不平整时，在管子表面也会出现横向擦伤。

只要很好研磨轧槽块、导板和前卡盘卡爪以及正确地调整回转机构，上述缺陷是可以避免的。

管子外表面龟裂 发生在孔型凸缘出现破裂（或者压碎）和在孔型表面有凹坑的情况下。

当孔型凸缘破裂，在正行程轧制的时候，金属就会进入孔型凸缘部分的凹陷处，在工作锥表面上形成突起部分。在返行程轧制时，这些突起部分被辗平后，在管子表面留下龟裂状的缺陷。在孔型表面上有凹坑时，管子表面也会出现类似缺陷。

正确调整轧机和选用工具，防止集中压下和管子的对头切入，可以避免孔型凸缘的破裂和在内孔表面上形成凹坑。孔型表面上的缺陷可以用手提砂轮进行清理。采取以上措施，管子外表面的龟裂就可以防止。

管子内表面的凹坑和擦伤 管子内表面上产生凹坑是由于在管料内掉入了金属块或氧化铁皮。在轧制过程中，这些东西被压入工作锥中。轧制后它们脱离管子表面，于是在内表面上留下了勉强可见或者相当深的压痕即凹坑。管料的毛刺、芯棒杆上以及管料卡盘、中间卡盘和送进丝杠里的氧化铁皮和金属碎片也会进入管料内孔，使管子内表面产生凹坑。

为了避免在管子内表面上产生凹坑，必须把管料内表面的氧化铁皮清除掉。管料切断后，飞刺应全部去掉。应该经常清扫送进螺丝里面以及管料卡盘、中间卡盘和芯棒杆上的金属块和氧化铁皮。润滑油里的脏物必须去除。

管子内表面出现擦伤是由于轧制时芯棒表面粘上了所轧制的金属。

芯棒上粘结金属是在轧制压力和摩擦力的作用下发生的。在很大的单位压力和摩擦力的作用下，芯棒表面和与它毗连的工作锥上的金属相结合，由于金属和芯棒的结合比金属自身结合更紧密有力，结果一些金属就从工作锥上剥落下来粘结在芯棒上。

金属和芯棒的粘结通常发生在孔型的预精整部分，因为这时管子已产生了很大的加工硬化，并且轧制压力也大。芯棒的硬度愈低，芯棒表面愈粗糙，轧制时润滑条件愈差，则金属粘结现象愈严重。轧制不锈钢钢管时粘结金属的倾向较大。

为了避免在芯棒表面粘结金属和在管子内表面产生擦伤，芯棒必须具有很高的硬度和良好的加工。轧制时应有很好的润滑并且要防止发生集中压下和过大的滑动。

花纹 当孔型的表面硬度低和管子回转角度固定不变时，在孔型上会由于磨损而出现纵向的凹沟。若管子回转角度固定不变，在正行程轧制时处在孔型侧壁开口处的工作锥的厚壁部分，返行程轧制时始终在孔型顶部的同一部位进行压下，使这部分孔型表面发生严重磨损而出现凹沟。在这种情况下轧出来的钢管的表面就会带有花纹。为了避免产生这种缺陷，回转机构的回转角应该设计成可调的，同时孔型表面应该有足够的硬度，防止过早磨损。

管子内表面折皱和粗糙 管子内表面折皱和粗糙主要是由于壁厚压下量不充分，管料内表面的凹坑、擦伤和纵向划痕等没有完全被辗平而造成的。轧制钢管的管壁愈厚、轧制时减径量愈大和减壁量愈小，则管子内表面愈粗糙，折皱愈严重。因此，在轧制厚壁管时，尤其应该避免采用大减径量和小壁厚压下量的变形。

如果使用了锥度比设计值小的芯棒，则工作锥变形时减径段就会增加，这也是造成管子内表面质量不好的原因之一，需要避免。

壁厚超差 造成壁厚超出公差的主要原因是：芯棒尺寸和孔型尺寸不符；孔型的预精整部分和定径部分磨损；芯棒位置过前或过后以及送进量过大等。为了防止壁厚超差，应该正确地选择工具和送进量，正确地调整芯棒位置。

管子直径和椭圆度超差 预精整部分和定径部分孔型的深度太深或深度不够，孔型开口度太大以及轧槽块之间的间隙分布不正确都是造成管子直径超差和椭圆度超差的主要原因。严格地选择和研磨孔型，正确地调整冷轧管机，同时在轧制过程中加强检查，可以避免管子直径和椭圆度超差。

壁厚不均 造成壁厚不均的主要原因是：管料的壁厚不均太大，轧制过程中壁厚压下量太小，孔型的开口度太大和孔型严重磨

**表 18-1 多辊式冷轧管机上轧管时的典型缺陷、产生原因
及消除办法**

缺陷类型	产生原因	消除办法
壁厚不均	孔型和辊颈磨损 支承板磨损 送进量太大 孔型侧壁开口度太大	更换轧辊 更换支承板 减小送进量 更换轧辊
折叠	孔型侧壁开口度太小, 辊缝太大 减径量太大 支承板减径段的设计不 正确	增加孔型侧壁开口度或更换 轧辊 增加孔型侧壁开口度或改变 变形制度 更换支承板
波纹	送进量过大 支承板上没有反斜度 支承板磨损 管料猛进 壁厚压下量太大	减小送进量 更换支承板 更换支承板 重新调整轧机 减小壁厚压下量或者 更换管料
外表面凹 陷和多边 形化	孔型侧壁开口度过大 孔型尺寸和钢管尺寸不 符, 孔型磨损	更换轧辊 更换轧辊
内表面的环 形压痕	芯棒折断 芯棒杆太短 芯棒端部倒角太尖 芯棒上铬层剥落	更换芯棒 更换芯棒杆 把芯棒端部打圆 更换芯棒
结疤和发裂	管料上有缺陷	更换管料
横裂	变形量过大 管料机械性能不良	减小送进量, 更换管料 重新进行热处理
管子扭转并 带有呈螺 旋分布的折		

续表 18-1

缺陷类型	产生原因	消除办法
叠和擦伤	回转机构的回转不及时、滞后或超前 杠杆系统的调整不正确 支承板上送进和回转的部分太短 支承板上送进和回转部分斜面太高 选用的支承板和孔型不符	消除故障 重新调整 更换支承板 更换支承板 更换支承板
凹坑	硬的物体落入轧辊和管子之间	检查轧辊、支承板和管子端部，更换润滑油
内表面的直道和擦伤	芯棒上粘结了金属 管料弯曲和椭圆 芯棒杆弯曲 芯棒端部倒角没有打圆	更换芯棒 矫直管料 更换芯棒杆 更换芯棒
外表面发毛	轧辊上粘结了金属	研磨或更换轧辊
内表面折皱	壁厚压下量太小	更换管料

损，芯棒锥度小在孔型的预精整部分壁厚压下量集中，轧辊倾斜以及一个轧制周期的轧出量 $m\mu_z$ 值过大等。为了防止出现过大的壁厚不均，应该正确地选择管料和工具，减小送进量，并把轧辊放平。

横裂 造成横裂的原因是热处理质量不好，变形量、送进量和孔型侧壁的开口太大。为了防止横裂，应保证管料的热处理质量，正确设计孔型并合理地确定变形量和送进量。

钢质缺陷 钢质缺陷指管料上原料的折叠、龟裂、发裂、翘皮、凹坑和擦伤在轧制过程中没有消除而在管子上形成的缺陷。防止这些缺陷的产生在于对管料进行严格的检查，并在发现后进行很好的修磨。

在多辊式冷轧管机上轧管时，产品缺陷的基本类型和二辊式

冷轧管机的一致，但也有一些本身特有的缺陷。多辊式冷轧管机上轧管时的典型缺陷，它们产生的原因及消除的办法见表18-1。

第三节 产 量 计 算

一、拔管机的小时产量^[5,33]

1. 拔管机小时产量的计算公式

拔管机单位时间内的产量称为拔管机的生产率。分别以小时、班、日、月和年为时间单位进行计算。其中小时产量为常用的生产率指标。产量可按重量或长度来计算。

在以拔制长度计算产量时，在单根拔制的情况下，拔管机小时产量的计算公式如下：

$$A = \frac{60 \times 60}{T} Lb, \text{ 米/时} \quad (18-1)$$

式中 T ——拔制节奏，秒；

L ——拔制后钢管的长度，米；

b ——成品率。

拔制节奏 T 为拔制出一根钢管所延续的时间，即为前一根钢管开始拔制到后一根钢管开始拔制或前一根钢管拔完到后一根钢管拔完所间隔的时间。它包括拔制钢管的时间和一些辅助操作的时间。这里要注意的是，拔制节奏常不等于拔制一根钢管所经过的全部操作所需时间的总和，因为有一些辅助操作是和钢管的拔制或其他辅助操作同时进行的。

拔制节奏可以进行实际测定，也可以根据拔制图表来确定。

2. 拔制图表

拔制图表是反映和表示拔管过程各项操作与时间之间关系的图表。它的横坐标表示拔制过程延续的时间，纵坐标上列着拔制一根钢管顺次经过的操作。从拔制图表上可以知道每项操作的时间及其相互之间的关系。根据拔制图表可以计算拔制节奏和分析工序间的薄弱环节。

图18-2为在200千牛拔管机上由75×4毫米拔制64×3.3毫米钢管的拔制图表。拔制后钢管长5.6米，拔制速度为12.4米/分。拔管机装有两根芯棒拉杆，侧装料，当上一根钢管在拔制时，把下一根钢管套到另一根芯棒拉杆上，为拔制下一根钢管作准备。

从拔制图表上可以看到，在该拔管机上拔制一根钢管共有10项操作，即：

- 1) 把待拔的钢管套在芯棒拉杆上；
- 2) 交换芯棒拉杆，即把已套上了待拔钢管的芯棒拉杆与拔制上一根钢管时所用的拉杆交换位置；

操 作 名 称	操 作 延 续 时 间	总 计 秒
向芯棒拉杆上套钢管		10.5
换 拉 杆		0.7
向拔管模里送钢管		3.0
小车咬住管头,挂上链条		1.2
拔 制		27.0
抛 出 钢 管		1.1
从拔管模里退出拉杆		1.0
换 拉 杆		0.7
检查和固紧内模		2.5
小 车 返 回		4.7

图 18-2 拔制图表

- 3) 把管子头部送过拔管模；
- 4) 小车夹钳咬住管头和钩子挂上链条；
- 5) 拔制；
- 6) 抛出钢管；
- 7) 从拔管模内退出芯棒；
- 8) 再交换芯棒拉杆，即把已退回的刚才拔制钢管时使用的芯棒拉杆，与已套上再下一根待拔钢管的芯棒拉杆交换位置；
- 9) 检查和固紧使用后的芯棒；
- 10) 小车返回。

各项操作延续的时间见拔制图表，其中的拔制时间可按式

计算：

$$t = \frac{L}{V} \times 60, \text{ 秒}$$

式中 L ——拔制后钢管的长度，米；

V ——平均拔制速度，米/分。

在上例中， $L=5.6$ 米， $V=12.4$ 米/分，所以

$$t = \frac{5.6}{12.4} \times 60 = 27 \text{ 秒}$$

辅助操作的时间为实测数据。

拔制图表中必须确切地表示各项操作间的相互关系。如在上述拔制图表中，把套上了待拔钢管的芯棒拉杆换到拔管模前，与把拔制上一根钢管所用的芯棒拉杆换到套待拔钢管的位置，应是同一个操作，此外，小车夹钳咬住管头的操作必在小车返回以后，而只有当拔制后的钢管抛出以后小车才能开始返回。

根据拔制图表可以确定拔制节奏，在上述拔制图表中，由于有些操作是同时进行的，拔制节奏为下列四个操作所需时间之和，即：

小车咬住管头并挂上链条	1.2秒
拔制	27秒
钢管抛出	1.1秒
小车返回	4.7秒
拔制节奏	34秒

应该指出，由上述方法确定的节奏时间为理论上的节奏时间。在实际生产中常会由于各种原因，例如操作失误、处理断管及设备零星小故障、更换模具以及拔制每批钢管前的停歇等等，不能持续地按理论节奏进行拔制。因此，拔管机的实际小时产量达不到根据理论节奏计算的小时产量。所以在计算拔管机的实际小时产量时，必须根据具体生产情况和操作水平，估计各种时间损失，对理论节奏时间进行修正。

3. 影响拔管机小时产量的因素

从式18-1可见，影响拔管机小时产量的因素有：拔制节奏，拔制后钢管的长度和成品率。

拔制同一种钢管时，拔制节奏时间越短，拔管机的小时产量越高。要缩短拔制节奏必须减少拔制时间和辅助操作时间。由于拔制时间在节奏中占有很大的比例，所以减少拔制时间对提高拔管机产量有很大的影响。而减少拔制时间的有效措施在于尽可能地提高拔制速度，特别是在拔制长管时更为重要。要减少辅助操作对拔制节奏的影响，关键是提高拔制小车返回的速度，并且应尽可能地把一些辅助操作同钢管的拔制或其他辅助操作重叠起来进行。

增加拔制后钢管的长度，相对地提高了拔制时间在节奏中所占的比重，降低了辅助时间在节奏中所占的比重，从而能提高拔管机的小时产量，这在拔制长度小于30米及拔制速度高时尤为明显^[13]（图18-3）。增加拔制后钢管长度的主要措施是增加来料的长度。拔制长管要考虑到设备和操作上的可能性，或应为之创造条件。

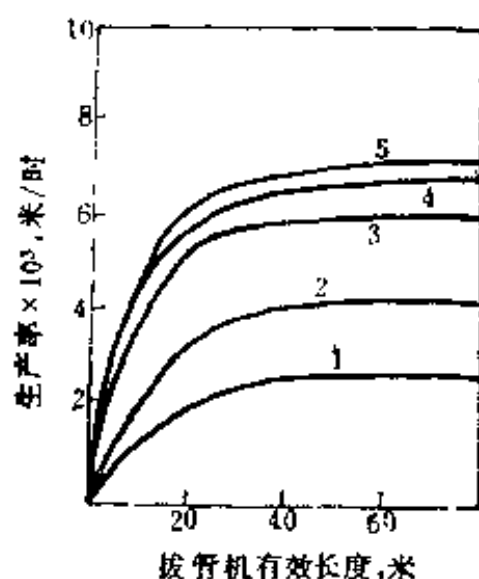


图 18-3 拔管机的有效长度对生产率的影响

1—拔制速度35米/分；2—45；3—55；4—65；5—75

成品率越高，拔管机的小时产量越大。影响成品率的主要因素是生产过程中产生的各种金属消耗，包括有形消耗、无形消耗

和拔制过程中产生的废品等。因此，提高成材率的关键在于减少各种金属消耗。

除了上述因素以外，很明显，增加同时拔制的钢管的根数，也能有效地提高拔管机的生产率。对于多线拔管机，小时产量按下式计算：

$$A = \frac{60 \times 60}{T} n_t L \eta b, \text{ 米/时}$$

式中 n_t ——同时拔制的钢管的根数；

η ——修正系数，考虑钢管长度不同对产量的影响，对单线、双线和三线拔管机可分别取为1、0.9和0.8。

二、冷轧管机的小时产量^[6]

冷轧管机的小时产量按下式计算：

$$A = \frac{60 m \mu_{\Sigma} n n_t}{1000} \eta' b, \text{ 米/时}$$

式中 m ——管料送进量，毫米；

μ_{Σ} ——总延伸系数；

n ——工作机架每分钟往复行程次数；

n_t ——同时轧制钢管的根数；

η' ——轧机利用系数，取为：

单线轧机	0.85~0.95
双线轧机	0.80~0.85
三线轧机	0.70~0.80

轧机利用系数 η' 主要考虑装料对轧机产量的影响。装料延续的时间 T_1 可根据其操作程序图表决定。图18-4为二辊式冷轧管机装料操作程序图表的例子。如不考虑其他因素造成的时间损失，则轧机利用系数可按下式决定：

$$\eta' = 1 - \frac{T_1}{T}$$

式中 T ——轧制节奏。

端部装料时的轧机利用系数比侧面装料时的大一些。因此，

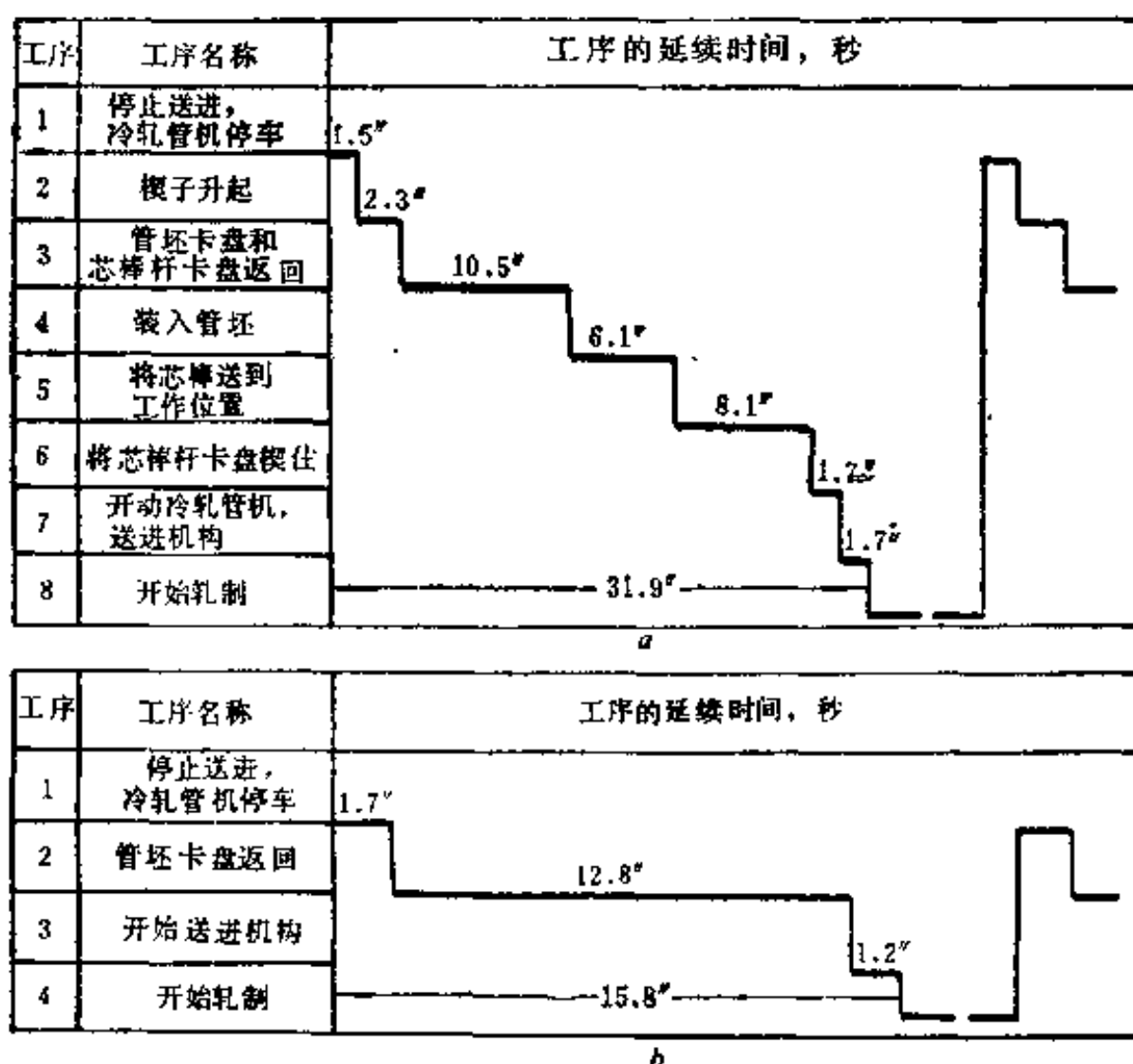


图 18-4 二辊式冷轧管机装入管料的操作程序图表

a—侧装料, b—端部装料

在其他条件相同的情况下, 端部装料的冷轧管机的生产率要比侧面装料的冷轧管机高些。单线轧机的轧机利用系数较高于多线轧机的轧机利用系数。

为了提高轧机利用系数, 应尽可能轧制长管料; 在管料长度相同的条件下, 冷轧时最好是在保持该种尺寸管子的 $\mu m = \Delta L_T$ 值不变的情况下, 采用较大的变形量 (较大的延伸系数 μ) 和较小的送进量 m , 这样都可以减少冷轧管机的装料次数, 降低装料时间在轧制节奏中所占的比例。

提高冷轧管机小时产量的方法是强化冷轧过程, 即增加送进量和提高轧制速度, 减少零星停歇, 缩短装料时间。

增加送进量是提高冷轧管机生产率的主要潜力之一。存在进一步增加送进量的可能性，因为在大多数情况下，增加送进量并不引起轧制压力的显著增加。而在增加变形程度时，轧制压力则升高较多。要增加送进量，关键在于改进孔型设计和提高工具的使用寿命，做到在保证所轧管子的表面质量和尺寸精度的前提下增加 ΔL_r 值。

增加轧槽块上孔型工作部分的长度，从而增加变形程度和送进量，这也是提高冷轧管机生产率的潜力所在。

提高冷轧管机的轧制速度，主要在于减小轧机工作机架运动部分的质量或采用平衡装置，来减小或平衡机架和传动机构零件的惯性。

三、拔管机和冷轧管机的平均小时产量

上两节所述仅是拔管机和冷轧管机单品种小时产量的计算。在实际生产中加工的品种是不断变化的，因此必须计算各种品种占有不同比例时的小时产量。这个产量称为平均小时产量，也称综合小时产量。计算拔管机和冷轧管机平均小时产量有两种方法：

1) 百分比法。如以 $a_1, a_2 \dots a_n$ 表示不同品种在总加工量中的百分数比值， $A_1, A_2 \dots A_n$ 表示各该品种的小时产量，则拔管机和冷轧管机的平均小时产量 A_p 为

$$A_p = \frac{1}{\frac{a_1}{A_1} + \frac{a_2}{A_2} + \dots + \frac{a_n}{A_n}}$$

2) 换算法。这种计算方法是选取一种或数种品种作为标准品种，以其他品种的单品种小时产量与标准品种小时产量相比，得出换算系数，将各种品种的单品种小时产量乘以换算系数，即可得出经过换算后的与该品种相当的平均小时产量。

换算系数为

$$X = \frac{A_b}{A}$$

式中 A_b ——标准品种的小时产量；

A ——某种品种的小时产量。

换算系数可根据现场统计实际数字来确定。这样，平均小时产量计算公式可表示如下：

$$A_p = \frac{1}{\frac{a_1}{A_b} X_1 + \frac{a_2}{A_b} X_2 + \dots + \frac{a_n}{A_b} X_n}$$

四、拔管机和冷轧管机的负荷率

为了估量拔管机和冷轧管机的利用情况，检验配置数量的合理性或为调整和平衡车间里各种拔管机和冷轧管机生产能力提供依据，在进行车间设计和安排生产计划时，必须计算它们的负荷率。

拔管机和冷轧管机的负荷率按下式计算：

$$Q = \frac{\text{年加工总量}}{\text{年额定生产总量}} \times 100\%$$

$$\text{年额定生产总量} = \text{每种拔管机或冷轧管机的数量} \times \text{额定年工作时间} \times \text{小时产量。}$$

年加工总量根据产量方案、拔制和轧制程序表、成品率等确定。

表18-2为冷轧管机负荷率的计算实例。

表 18-2 冷轧管机负荷率计算

轧机型号	年加工总量 万米	轧机年额定加工总量				负荷率 %
		轧机数量 台	小时产量 米/时	额定年工 作时数, 时	年加工总量 万米	
LG-30	352	6	115	6000	414	85
LG-55	222.6	4	108	6000	259.2	85.9
LG-80	192.89	4	95	6000	228	84.6
LG-120	90.75	3	90	6000	108	84
LG-150	38	1	75	6000	45	84.4
LG-200	35.4	1	70	6000	42	84.3

注：一般情况下，轧机负荷率应在85%以上。

第十九章 几种专用钢管的冷加工 生产工艺^[33]

多道次、循环性生产是钢管冷加工生产工艺过程的基本特点。但在制定产品的具体工艺过程和工艺制度时，必须以产品钢种的特点、产品的技术条件以及设备的配置情况等为依据，并注意总结丰富的实践经验。这样，制定的生产工艺才能合理并符合生产实际。

下面以几种产品为例，来叙述钢管冷加工的生产工艺。

第一节 冷拔高压锅炉钢管生产

一、锅炉钢管用钢

锅炉管主要是指锅炉受热面管（如过热器、再热器和水冷壁管等）以及蒸汽管道管（如导管、集箱和连接管等）。这些钢管均在高温并承受内压的条件下工作，因此对制管用钢有一定的要求，并可归纳为：

1）足够的持久强度、蠕变极限和持久断裂塑性。持久强度是指在一定不变的温度下，经一定的时间后，因继续蠕变而导致材料破坏的应力。一般的持久强度是指在一定温度下试样经十万小时后的破断强度（ $\sigma_{b/100000}$ 兆帕），这个数值通常用外推的方法取得。蠕变试验是在长时间的恒定荷重和恒定温度条件下，来测定试件微小的变形。在给定的温度下外推到经十万小时后使试样发生1%延伸率的强度数值称为在该温度下的条件蠕变极限（ $\sigma_{1/100000}$ 兆帕）；

2）高的抗氧化性；

3）良好的组织稳定性；

4）良好的热加工工艺性，特别是可焊接性。

表 19-1 高压锅炉用无缝钢管的钢号和化学成分

钢类	序号	钢号	化 学 成 分, %											
			C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ti	B	W	RE	S	P
优质碳素钢	1	20G	0.17 ~0.24	0.35 ~0.65	0.17 ~0.37	—	—	—	—	—	—	—	0.035	0.035
	2	12CrMo	0.08 ~0.15	0.40 ~0.70	0.17 ~0.37	0.40 ~0.70	0.40~0.55	—	—	—	—	—	0.035	0.035
	3	15CrMo	0.12 ~0.18	0.40 ~0.70	0.17 ~0.37	0.80 ~1.10	0.40~0.55	—	—	—	—	—	0.035	0.035
	4	12Cr2Mo	0.08 ~0.15	0.40 ~0.70	≤0.50	2.00 ~2.50	0.90~1.20	—	—	—	—	—	0.035	0.035
合金钢	5	12Cr1MoV	0.08 ~0.15	0.40 ~0.70	0.17 ~0.37	0.90 ~1.20	0.25~0.35	0.15~0.30	—	—	—	—	0.035	0.035
	6	12Cr2MoW VTiB	0.08 ~0.15	0.45 ~0.65	0.45 ~0.75	1.60 ~2.10	0.50~0.65	0.28~0.42	0.08 ~0.18	≤0.008	0.30 ~0.55	—	0.035	0.035
	7	12Cr3MoV SiTiB	0.09 ~0.15	0.50 ~0.80	0.60 ~0.90	2.50 ~3.00	1.00~1.20	0.25~0.35	0.22 ~0.38	0.005 ~0.011	—	—	0.035	0.035
	8	12MoVWB SiRE	0.08 ~0.15	0.40 ~0.70	0.60 ~0.90	—	0.45~0.65	0.30~0.50	0.06*	电炉0.008* 平炉0.01*	0.15 ~0.40	0.15*	0.040	0.040
不 锈	9	1Cr18Ni9	0.04 ~0.10	≤2.00	≤1.00	18.00 ~20.00	Ni8.00~ 11.00	—	—	—	—	—	0.030	0.035
	10	1Cr18Ni11 1Nb	0.04 ~0.10	≤2.00	≤1.00	17.00 ~20.00	Ni9.00~ 13.00	Nb + Ti ≥ 8C %~1.00%	—	—	—	—	0.030	0.035

注: 1.*指加入量;

2.残余铜含量不大于0.25%;

3.20G钢中, 酸溶铝不大于0.010%, 暂不作交货依据, 但应填在质量证明书中;

4.用纯氧顶吹转炉加炉外精炼制造的钢, 氮含量不大于0.008%。

根据国内的资源情况，近年来，我国发展了一系列用于制造锅炉钢管的合金钢。例如12MoVWBSiRE是无铬热强钢，性能超过12Cr1MoV，它打破了耐热钢一定要含铬的框框。我国研制成功了作为过热器管使用的珠光体热强钢如12Cr3MoVSiTb和12Cr2MoWVB，其使用温度较高，为生产高参数大容量的机组提供了经济的、工艺性能良好的材料。

根据现行的国家标准GB5310—85规定，高压锅炉用无缝钢管用钢的钢号及化学成分见表19-1。

在碳素和合金锅炉钢中各合金元素的作用是：

碳 对钢有强化作用，但在高温下由于碳化物的聚合，其强化作用显著降低。在个别情况下，由于碳化物的分解而对强度有所损害。碳也会使钢的塑性、焊接性、耐蚀性和抗氧化性受影响。因此锅炉钢管用钢一般含碳量限制在0.2%以下。

铬 可提高钢的抗氧化性。在低合金钢中加入少量的铬，钢的再结晶温度显著提高，能增加钢的热强性。

钨 在高温下，钨的蠕变抗力最大。因它是最难熔的金属，所以它能提高钢的再结晶温度。

钼 钼也能提高钢的再结晶温度。钼是能单独应用于热强钢的元素，但单独加入钼的钢有石墨化的倾向，因此常与铬并加，应用于珠光体钢中，其含量约为0.5~1.0%。

硅 硅对各类钢都不能提高其热强性，因此在热强钢中硅一般只维持脱氧后的残余含量。但硅与铬相似，在高温下能形成不透气的致密的氧化膜，因而可以提高钢的抗氧化性。

锰 低合金钢的主要强化元素，含量不大于1.80%。

钒 通过形成细小弥散的碳化物来提高钢的热强性。

硼 硼溶解在固溶体中，使晶体点阵发生较大的畸变，从而使强度增高。同时因晶粒间界是短路扩散途径，碳化物、氮化物的沉淀常先在这里发生，而位于晶界上的硼原子能阻止扩散，因而使热强性提高。

钛 是强碳化物形成元素，与碳结合成为稳定的TiC。含有

少量Ti的珠光体钢通过适当热处理后，由于TiC的析出，可以产生弥散硬化，提高持久强度。

一些锅炉钢管的应用范围如表19-2。

表 19-2 锅炉钢管应用范围

序号	钢 号	用 途	备 注
1	20G	壁温 $\leq 450^{\circ}\text{C}$ 的导管、集箱，壁温 $\leq 500^{\circ}\text{C}$ 的受热面管子，以及水冷壁管等	
2	12CrMo	壁温 $\leq 510^{\circ}\text{C}$ 的导管、集箱，壁温 $\leq 540^{\circ}\text{C}$ 的受热面管子	
3	15CrMo	壁温 $\leq 510^{\circ}\text{C}$ 的导管、集箱，壁温 $\leq 550^{\circ}\text{C}$ 的受热面管子	
4	12Cr1MoV	壁温 $\leq 540^{\circ}\text{C}$ 的导管、集箱，以及壁温 $\leq 580^{\circ}\text{C}$ 的过热管、再热器等	该钢含Cr，应推广采用12MoVWBSiRE
5	12MoVWBSiRE	壁温 $\leq 580^{\circ}\text{C}$ 的过热器、再热器等	
6	12Cr2MoWVTiB	壁温为 $600\sim 620^{\circ}\text{C}$ 超高参数锅炉的过热器、导管	
7	12Cr3MoVSiTIB	壁温为 $600\sim 620^{\circ}\text{C}$ 超高参数锅炉的过热器、导管及 $600\sim 650^{\circ}\text{C}$ 的再热器管	

二、品种及技术条件

1. 品种

冷拔（轧）高压锅炉用无缝钢管外径及壁厚的尺寸范围为 $\phi 10\sim 108\times 2\sim 13$ 毫米，其尺寸的允许偏差为：

1) 外径

外径的允许偏差如下：

外 径 毫米	普通级精确度	较高级精确度
≤ 30	± 0.2 毫米	± 0.15 毫米
$> 30\sim 51$	± 0.3 毫米	± 0.25 毫米
> 51	$\pm 0.8\%$	$\pm 0.6\%$

2) 壁厚

壁厚的允许偏差如下:

壁 厚 毫米	普通级精确度	较高级精确度
2~3	$\begin{matrix} +12\% \\ -10\% \end{matrix}$	$\pm 10\%$
>3	$\pm 10\%$	$\pm 7.5\%$

2. 技术条件

根据对钢管提出的性能及工艺要求, 碳素及合金高压锅炉用钢管一般作如下质量检查:

1) 化学成分;

2) 交货状态钢管的力学性能应符合表19-3的规定。外径大于和等于57毫米, 并且壁厚大于和等于14毫米的钢管应做纵向冲击试验。外径大于和等于168毫米, 并且壁厚大于和等于25毫米的钢管应做横向力学性能试验, 不做纵向力学性能试验;

3) 表面质量。钢管内外表面不允许有裂缝、折叠、发纹、轧折、结疤及离层等缺陷存在, 这些缺陷必须完全清除掉。被清除的地方不得小于壁厚所允许的最小值。冷拔管的允许直道深度不大于壁厚的4%, 最大深度不大于0.2毫米;

4) 压扁和扩口试验。压扁、扩口试验是为了检验钢管的冷加工工艺性能, 鉴别钢管在弯管或胀管时是否有形成裂纹的可能。根据GB5310—85规定, 外径大于22毫米的钢管应作压扁试验。扩口试验是否进行, 根据工艺要求而定;

5) 水压试验。每根钢管应作水压试验, 在规定的试验压力下, 不得出现漏水或“出汗”现象。经涡流检验的钢管可不进行水压试验(经供需双方协商, 也可用超声波检验代替水压试验);

6) 金相检查。在实际生产中, 金相检查有三方面: 一是检查表面的脱碳情况, 因脱碳层过大会显著降低钢管的持久强度, 标准规定外径小于和等于76毫米的冷拔(轧)成品钢管, 应检验全脱碳层, 其深度, 外壁为 ≤ 0.3 毫米, 内壁为 ≤ 0.4 毫米, 两者

表 19-3 高压锅炉用无缝钢管的常温力学性能

钢 类	序号	钢 号	纵向力学性能				横向力学性能			
			抗拉强度 σ_s 兆帕	屈服点 σ_s 兆帕	伸长率 δ_s %	冲击值 A_K 焦	抗拉强度 σ_b 兆帕	屈服点 σ_s 兆帕	伸长率 δ_s %	冲击值 A_K 焦
			不小于				不小于			
优质碳素钢	1	20G	412~549	245	24	39	402	216	22	31
	2	12CrMo	412~559	206	21	55	—	—	—	—
	3	15CrMo	441~638	235	21	47	441	226	20	39
合金钢	4	12Cr2Mo	450~600	280	20	48 ^①	—	—	18	34 ^①
	5	12Cr1MnV	471~638	255	21	47	441	255	19	39
	6	12Cr2MoWVTiB	540~736	343	18	—	—	—	—	—
	7	12Cr3MoVSiTiB	608~804	441	18	—	—	—	—	—
	8	12MoVWBSiRE	540~687	314	18	—	—	—	—	—
不锈钢耐热钢	9	1Cr18Ni9	≥ 520	206	35	—	—	—	—	—
	10	1Cr18Ni11Nb	≥ 520	206	35	—	—	—	—	—

注：1. 允许一个试样的冲击值比表19-3中规定数值低7.8焦，但一组三个试样的算术平均值不小于表19-3中规定值，20G钢的横向冲击值不允许降低；
 2. 用12CrMo钢制造的钢管，当外径不大于30毫米，壁厚不大于3毫米时，其屈服点允许降低10兆帕；
 3. 当壁厚大于16至40毫米时，屈服点允许降低10兆帕；
 4. 需要作V形缺口冲击试验时，其冲击值填在质量证明书中，不做交货依据；
 ① 指西德采用的DVM(德国工业材料试验联合会) V形缺口试样的冲击值。

之和应 ≤ 0.6 毫米；二是检查金相组织，借以评定热处理情况是否正常，因高温持久强度试验难以列入常规检验，而金相组织同持久强度有密切的关系，所以金相组织检查对高压锅炉管，尤其对合金锅炉钢管显得至为重要，成品管的显微组织，20G钢管应为铁素体加珠光体，12CrMo、15CrMo、12Cr2Mo和12Cr1MoV钢管应为铁素体加珠光体（包括粒状贝氏体），不得存在 $A_{c1} \sim A_{c3}$ 之间的不完全相变产物，而12Cr2MoWVTiB、12Cr3MoVSiTiB和12MoVWBSiRE钢管应为贝氏体，不得存在自由铁素体；三是评定晶粒度，优质碳素钢和合金钢成品管的实际晶粒度应不小于4级，两个试片上最大与最小级别差应不大于3级，但对12Cr2MoWVTiB、12Cr3MoVSiTiB和12MoVWBSiRE钢成品管的实际晶粒度，按实际检验结果交货；

7) 无损检验。钢管应逐支进行超声波检验。

三、冷拔高压锅炉钢管的生产工艺

从上面的叙述中可以知道，目前用于生产高压锅炉钢管的钢有优质碳素钢20G、合金钢和不锈钢耐热钢。下面介绍20G和合金钢高压锅炉管的生产工艺。

优质碳素钢20G，它与一般20钢不同的是，其含碳量的上限低约0.02%。生产高压锅炉管的合金钢属热强钢，含有较多的合金元素，强度比较高，其中以12Cr3MoVSiTiB最大，12Cr2MoWVTiB和12MoVWBSiRE次之，12Cr1MoV等更小一些。随着钢中含合金元素特别是Cr含量的增加，酸洗也困难一些。

由于在技术条件上对钢管的组织、常温和高温力学性能以及表面脱碳层都有要求，因此生产中成品管的热处理是一个很重要的环节。此外对钢管的表面质量的要求也很高。钢管应用符合GB5311—85《高压锅炉用无缝钢管管坯》标准规定的管坯制造，生产过程中要防止缺陷的产生，对成品管要进行严格的质量检验。

在制定锅炉管的冷拔生产工艺时要考虑上述特点。

1. 生产工艺流程

生产高压锅炉管时，在成品道次前，一般可按碳结钢和合结钢钢管的工艺流程组织生产，如在某厂这个流程是：

管料→锤头→(退火)→(过冷水)→酸洗→过冷水冲洗→磷化→过热水→皂化→(烘干)→(皂化)→冷拔→(皂化)→(连拔)→(切断)→(锤头)→退火→(过冷水)→酸洗→过冷水→冲洗→磷化→过热水→皂化→(烘干)→(皂化)→拔制^{循环拔制}→拔制成品。

成品道次后的生产流程为：

拔制成品→(烘干)→正火→(回火)→矫直→切头尾→酸洗→防锈处理→检验→探伤→入库。

成品热处理后进行酸洗是为了清除氧化铁皮便于检查表面缺陷。

2. 工艺制度及要求

为了保证钢管的表面质量，对于生产锅炉管的合金钢管坯，热轧前一般要进行扒皮或对表面缺陷进行修磨，对热轧冷拔料也要注意表面检查。

下面分别讨论冷拔生产的工艺制度及要求。

(1) 锤头

对锤头工艺的要求和生产其他钢管是一样的，即锤头端的管壁应锤打紧实以缩小锤头端直径，增加锤一次头后的拔制道次；过渡部分要圆滑，不得有尖锐和突出的棱子；锤头的中心线应与管子中心线一致并不得产生扭转。此外，加热时不允许出现过热过烧现象以免降低管头强度等。

锤头前管端的加热温度根据管壁厚度而定，一般为800~1000℃，壁薄管加热温度应低一些。锤头端的长度应在保证金属消耗最小和拔管小车容易夹住的前提下，按钢管尺寸和拔管机中心架的厚度而定，一般长120~160毫米。

(2) 酸洗与润滑

酸洗在硫酸溶液中进行。对于20钢，酸液的浓度为6~20%，随溶液中酸的浓度下降而提高。酸液温度最高不应超过75℃。硫

酸亚铁含量应不大于200~250克/升。对合金锅炉钢管，特别是含Cr、Si等元素的钢管，由于这些元素会形成稳定的氧化膜，因此酸液浓度一般要求不小于15%。对成品的酸洗，一般在新配的酸液中进行，以加速酸洗过程，保证表面质量。

在入酸洗槽前，管捆应在水槽里进行水洗，最好上下起落数次，洗去一部分钢管表面的氧化铁皮及污物，以利缩短酸洗时间和减少酸的消耗。锤头和退火后的钢管，应在冷却到一定温度后再水洗。

酸洗时，对减壁以后进行短芯棒拔制的钢管必须使酸液充满整根钢管，保证内壁均受到酸洗，酸洗时间根据钢的化学成分、钢管规格、钢管表面氧化铁皮的厚度及酸洗溶液的使用情况而定，一般是30分钟，按情况可延长或缩短。

酸洗后，管捆应先在冷水槽中起落清洗数次，然后用高压（ $\geq 0.7 \sim 0.8$ 兆帕）水冲洗。对以后进行短芯棒拔制的钢管，其内外表面的残酸、残留的氧化铁皮以及硫酸亚铁等污物应清除干净。尤其是长的和直径小的钢管、合金钢管、成壁或成品道次的钢管，更应细致地冲洗，以保证后继工序的质量。在保证冲洗质量的前提下，应尽量缩短冲洗时间并及时进行下一道工序，避免钢管表面生锈过多，对润滑带来不良的影响。

成品管酸洗后应进行防锈处理。防锈溶液可由碳酸钠和亚硝酸钠配成。

钢管进行磷化时，用通常使用的磷酸盐溶液。

为了去除酸洗后残留在钢管表面上的硫酸，在磷化前最好经过中和。中和用 Na_2CO_3 溶液。 Na_2CO_3 的含量为2~3克/升，溶液温度为75~80℃，中和时间1~2分钟（管捆起落2~3次）。钢管在75~80℃的溶液中进行中和，也使钢管得到预热，以免冷钢管放入磷酸盐溶液中时，使溶液的温度下降。

磷化温度一般为65~75℃，时间一般 ≥ 10 分钟。对于合金钢管的磷酸盐处理，更要精心操作，处理后钢管表面应该满布青灰色且致密的磷酸盐薄膜，用指甲刻划时以留下白线条者为好。

磷化后钢管要进行中和或热水洗，以除去残酸，并可使钢管得到干燥。

钢管磷化后必须涂皂。磷酸盐晶体吸收肥皂以后生成摩擦系数低、耐压性和塑性高的薄膜，这样能改善拔制时的摩擦条件，并能采用更高的变形量进行钢管的拔制。皂液的脂肪酸含量应 $\geq 30\sim 50$ 克/升，游离碱应小于4克/升。皂液温度 $45\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，涂皂时间 $20\sim 60$ 分钟。

为了去除酸洗时渗入钢的铁基体里的氢以防止产生氢脆并使润滑层有更好的效果，钢管在拔制前，应在干燥炉内进行干燥。干燥温度 $\leq 250\sim 300^{\circ}\text{C}$ 。温度过高会破坏润滑层，温度过低氢和水分不易除去。干燥时间约为 $20\sim 40$ 分钟。检查干燥质量，可看锤头端有没有水，若此处存水，表明干燥时间过短或温度过低。当没有干燥炉或不用干燥炉进行干燥时，应以热水洗来代替，水温为 $85\sim 95^{\circ}\text{C}$ 。热水必须保持清洁，应经常更换，否则在钢管表面极易生成一层硫酸亚铁盐及其他沉淀物。为了保持热水清洁及延长使用时间，钢管在磷化后须先经过冲洗或在清水中起落数次，除去污物。壁厚的和直径小的钢管更要注意干燥。

(3) 热处理

合金锅炉钢管的冷拔料一般要退火进行软化。管料的软化可采用低温退火即加热到低于 A_{c1} 的某一温度，保温一定时间，然后缓慢冷却以消除管料的内应力，降低硬度。也可用加热高于 $A_{c1}20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的不完全退火进行软化。

各种锅炉管用钢的临界点见表19-4。

中间管的退火是再结晶退火。

一些锅炉钢管管料及中间管的退火温度例举于表19-5（用辊底炉退火）。

为了保证钢管有良好的高温性能，成品管要进行正火或正火加回火的热处理，这是锅炉钢管生产上的特点。

珠光体热强钢的正火，一般加热到 A_{c3} 以上 50°C 左右。由于碳化物的形状和分布在很大程度上影响蠕变强度，正火温度愈高，

表 19-4 锅炉钢管用钢的临界点

钢 号	临 界 点			
	A_{c1}	A_{c3}	A_{r1}	A_{r3}
20G	735	855	680	835
15CrMo	745	845		
12Cr1MoV	774~803	882~914	761~787	830~895
12MoVWBSiRE	835~858	932~940	804~822	832~881
12Cr2MoWVTiB	812~830	900~930	736~785	836~854
12Cr3MoVSiTiB	870~879	965~970	844~858	920~937

表 19-5 锅炉钢管的冷拔料及中间管的退火温度

钢 号	管料退火温度, °C	中间管退火温度, °C
20G	不退火	760~780
15CrMo	760~780	740~760
12Cr1MoV	760~780	740~760
12MoVWBSiRE	780~800	760~780
12Cr2MoWVTiB	780~800	760~780
12Cr3MoVSiTiB	800±15	770~800

愈容易使难溶的碳化物溶解, 从而促使碳化物作有利的分布, 所以珠光体耐热钢的正火温度比一般结构钢高一些。

为了使正火后的组织比较稳定, 可以在高于使用温度100°C下进行回火处理。GB5310—85推荐的锅炉管成品热处理制度如表19-6。

合金锅炉钢管的退火及正火在炉时间较长。使用连续式辊底炉时, 一些钢管热处理的在炉时间见表19-7。正火时, 钢管的进出炉方向和退火时相反, 以保证正火时从炉子温度高的一端出炉。回火在电阻炉内进行。

锅炉管尤其是成品管热处理时要防止脱碳, 脱碳层过深会显著降低钢管的持久强度。

为了防止脱碳, 必须在热处理前排除残存在钢管内的水分,

表 19-6 高压锅炉用无缝钢管成品管的热处理制度

序号	钢 号	热 处 理 制 度
1	20G	900~930℃正火, 热轧管当终轧温度 $\geq 900^{\circ}\text{C}$ 时, 可以代替正火
2	12CrMo	900~930℃正火, 670~720℃回火, 保温时间2~3小时
3	15CrMo	930~960℃正火, 680~720℃回火, 保温时间2~3小时
4	12Cr2Mo	正火: 900~960℃; 回火700~750℃; 也可进行: 加热至900~960℃, 炉冷至700℃保温1小时以上, 空冷
5	12Cr1MoV	980~1020℃正火, 保温时间: 按壁厚每毫米1分钟, 但不少于20分钟, 720~760℃回火, 保温时间2~3小时, 当壁厚 $S > 40$ 毫米应进行调质处理时, 淬火温度 $\geq 950^{\circ}\text{C}$, 回火温度720~760℃, 保温2~3小时
6	12Cr2MoWVTiB	1000~1035℃正火, 保温时间: 按壁厚每毫米1.5分钟, 但不少于20分钟; 760~790℃回火, 保温时间: 3小时
7	12Cr3MoVSiTiB	1040~1090℃正火, 保温时间: 按壁厚每毫米1.5分钟, 但不少于20分钟; 720~770℃回火, 保温时间: 3小时
8	12MoVWBSiRE	970~1010℃正火, 保温时间: 按壁厚每毫米1.5分钟, 但不少于20分钟; 760~780℃回火, 保温时间: 3小时
9	1Cr18Ni9	固溶处理: 固溶温度 $\geq 1040^{\circ}\text{C}$
10	1Cr18Ni11Nb	固溶处理: 热轧(挤扩)管, 固溶温度 $\geq 1050^{\circ}\text{C}$; 冷拔(轧)管, 固溶温度 $\geq 1095^{\circ}\text{C}$

其措施是冷拔前的烘烤要干。若烘烤不干, 则在热处理前应进行烘烤(气温高时也可自然风干)。此外热处理时炉子应采用正压操作, 以防止因冷空气的进入而增加氧化性气氛。有的厂采用不完全燃烧起保护作用。在室状炉内, 还可以用套筒进行间接加热防

表 19-7 锅炉钢管的热处理时间

钢 号	在炉时间, 分		
	管料退火	中间退火	成品正火
15CrMo	54	44	54
12Cr1MoV	54	54	54
12MoVWBSiRE	67	67	67
12Cr2MoWVB	67	67	67

止脱碳。但套筒内不宜加木炭, 否则会引起局部增碳现象, 而使钢管性能不均, 增碳处压扁不合, 在冷弯时发生脆断。

(4) 拔制

锅炉钢管的成品道次一般按正偏差进行拔制, 以留出成品酸洗余量。

确定冷拔变形量时要考虑拔管机的能力、各种钢的力学性能和拔制前表面准备的质量。

冷拔前表面准备的质量对冷拔过程有很大的影响, 在拔制强度较大的钢管时, 如酸洗冲洗不净、磷化层不良或干燥不足, 在短芯棒拔制时会产生剧烈的抖动。

表 19-8 20钢32×4毫米锅炉钢管拔制表

道次	拔制尺寸 毫米	拔制方法	断面积 毫米 ²	延伸系数	中 间 工 序
0	75×5.5		1200		锤头, 酸洗, 磷化, 涂皂
1	65×5	短	926	1.30	退火, 酸洗, 磷化, 涂皂
2	56×4.5	短	728	1.27	皂化
3	49×3.9	短	553	1.3	切头, 锤头, 退火, 酸洗, 磷化, 涂皂
4	40×4.1	空	463	1.2	皂化
5	32×4.2	空	366	1.26	成品热处理

表19-8、19-9、19-10分别为某厂几种锅炉钢管的拔制表, 所用拔管机最大能力为400千牛。

表 19-9 12Cr2MoWVB钢38×4.5毫米锅炉管拔制表

道次	拔制尺寸 毫 米	拔制方法	断面积 毫米 ²	延伸系数	中 间 工 序
0	75×6		1300		锤头, 退火, 酸洗, 磷化, 皂化
1	65×5.5	短	1028	1.26	皂化
2	57×5	短	817	1.26	缩头, 退火, 酸洗, 磷化, 皂化
3	48×4.5	短	615	1.32	退火, 酸洗, 磷化, 皂化
4	38×4.7	空	492	1.25	成品热处理

表 19-10 12Cr2MoWVB钢42×5.0毫米锅炉管拔制表

道次	拔制尺寸 毫 米	拔制方法	断面积 毫米 ²	延伸系数	中 间 工 序
0	78×7		1560		锤头, 退火, 酸洗, 磷化, 皂化
1	71×6.5	短	1320	1.18	皂化
2	63×6	短	1074	1.23	退火, 酸洗, 磷化, 皂化
3	57×5.5	短	890	1.21	皂化
4	51×5	短	723	1.23	切头, 锤头, 退火, 酸洗, 磷化, 皂化
5	42×5.2	空	600	1.21	成品热处理

第二节 冷拔轴承钢管生产

轴承钢管的生产方法可分为热轧(挤)和冷拔(轧)两大类。常用轴承钢管的规格为 $\phi 30 \sim 200 \times 3 \sim 30$ 毫米, 其中需要量最大的为 $\phi 60 \sim 120 \times 4 \sim 25$ 毫米。我国已经生产过的热轧轴承钢管的规格为 $\phi 57 \sim 197 \times 5 \sim 22$ 毫米, 冷拔轴承钢管的规格为 $\phi 11 \sim 76 \times 2 \sim 11.5$ 毫米。

本节主要讨论冷拔GCr15轴承钢管的生产工艺。

一、轴承钢管用钢

轴承钢管用来制造滚动轴承的套圈。由于滚动轴承工作时, 负荷集中, 单位面积承受很大的压力, 因此要求轴承在工作时能抗压、耐磨损、耐腐蚀和有较长的工作寿命。为了达到这些要求, 轴承用钢应具有高而均匀的硬度和耐磨性, 高的弹性极限和

接触疲劳强度，一定的韧性和淬透性，而且在大气或润滑剂中具有一定的抗腐蚀能力。同时，对钢的内部组织、化学成分的均匀性、所含非金属夹杂和碳化物的分布状况以及钢的脱碳程度等都要求十分严格，否则会显著降低轴承的使用寿命。

制造轴承钢管目前以高碳铬钢GCr15较多。GCr15轴承钢的化学成分如下：

C	Si	Mn	Cr
0.95~1.05%	0.15~0.35%	0.20~0.40%	1.30~1.65%
Ni	Cu	S	P
≤0.30%	≤0.25%	≤0.02%	≤0.027%

其退火状态下的力学性能为：

强度极限	屈服极限	延伸率	断面收缩率	硬度
兆帕	兆帕	%	%	HB
600~675	355~390	20.5~27.0	40.0~58.9	207

其临界点为：

A_{c1}	A_{cm}	A_{r1}	A_{r2}
760°C	900°C	707°C	695°C

下面来讨论GCr15轴承钢的特点。

GCr15是含碳约1.0%、含铬约1.5%的过共析铬碳钢。Cr是一种形成碳化物的元素，在含碳1%的过共析钢中，会显著地改变钢中碳化物的分布状态和颗粒大小。含铬的渗碳体 $(Fe, Cr)_3C$ 退火时，集聚的倾向性较无铬的渗碳体为小，所以铬的加入能使碳化物细化，并使其在钢中分布均匀，经淬火及低温回火后，可提高钢的耐磨性、强度、硬度、强度极限和屈服点。同时，铬能增加淬透性和奥氏体稳定性。但是，含铬量过高（>1.65%）会促使残余奥氏体量增加，使钢的硬度减小，并且不易获得均匀的组织，因而会影响钢的韧性。所以铬轴承钢的含铬量在0.5~1.65%之间。铬的加入使临界点 A_{c1} 比碳钢高。

铬轴承钢轧制后的组织为片状珠光体，硬度较高（HB=255~340），难以进行冷变形或切削加工，并且这种组织在以后淬火时容易形成过热和淬火开裂，由此所获得的力学性能，如强

度、韧性、耐磨性和疲劳强度都较低。只有经过球化处理得到均匀的球化组织，才能适当地满足冷变形和轴承制造上的要求，并在淬火后获得良好的综合力学性能。因此为了保证拔制过程的顺利进行并满足产品对组织的要求，在冷拔生产过程中，轴承钢管的球化是很重要的环节。由于铬钢的碳化物（含铬碳化铁）较难溶于奥氏体中，因此需要较长的时间，这样加长了退火的周期。实际生产中，GCr15钢管的球化退火一般都在20小时左右。

此外，铬碳钢的碳化物网是很难被球化的，因而，在钢管的生产过程中要防止网状碳化物的析出。

二、轴承钢管的技术条件

轴承钢管应以退火状态交货。根据现行的冶金工业部指导性技术文件YB/Z12—77的规定，冷拔（轧）轴承钢管的一些主要技术条件为：

1) 钢管尺寸的允许偏差

外径允许偏差：普通级精确度 $D \leq 50$ 毫米， $+0.5$ 毫米； $D > 50$ 毫米， $+1.0$ 毫米

较高级精确度 $D \leq 65$ 毫米， $+0.2$ 毫米， -0.1 毫米； $D > 65$ 毫米， ± 0.6 毫米

壁厚允许偏差：普通级精确度 $+10\%$
 -5%

较高级精确度 $+10\%$
 -2%

2) 钢管组织的合格级别

退火组织：1~4级

碳化物网状： ≤ 3.0 级

碳化物带状： ≤ 2.5 级

碳化物液析： ≤ 2.0 级

3) 钢管表面允许的总脱碳层（铁素体+过渡层）

外表面总脱碳层深度： ≤ 0.4 毫米

内表面总脱碳层深度： ≤ 0.6 毫米

4) 退火后钢管的硬度

对GCr15钢管，其布氏硬度的压痕直径应为4.2~4.6毫米。

5) 表面质量

钢管的内外表面不得有裂缝、折叠、离层、轧折、结疤和发纹，如有应完全清除。但清除深度不得使壁厚和外径超过负偏差范围。

三、冷拔GCr15轴承钢管的生产工艺

根据上述GCr15轴承钢的特点及产品技术条件可知，轴承钢管的尺寸精确度要求高，并必须达到组织及性能（球化，网状，脱碳，硬度）所规定的指标。为了保证轴承钢管的组织性能合乎要求，并在冷拔时能有较好的加工性能和防止拔断，热轧生产和锤头时要防止网状碳化物的析出，热处理时应注意球化质量，退火和锤头加热时应避免钢管的脱碳。

为了有高的尺寸精确度应该合理地选择管料和控制拔制过程中的尺寸公差。

此外，即使在球化处理后轴承钢也有较高的强度，因此确定冷拔变形量要注意到这一点。

冷拔GCr15轴承钢管的生产工艺流程及主要的工艺制度如下。

1. 生产工艺流程

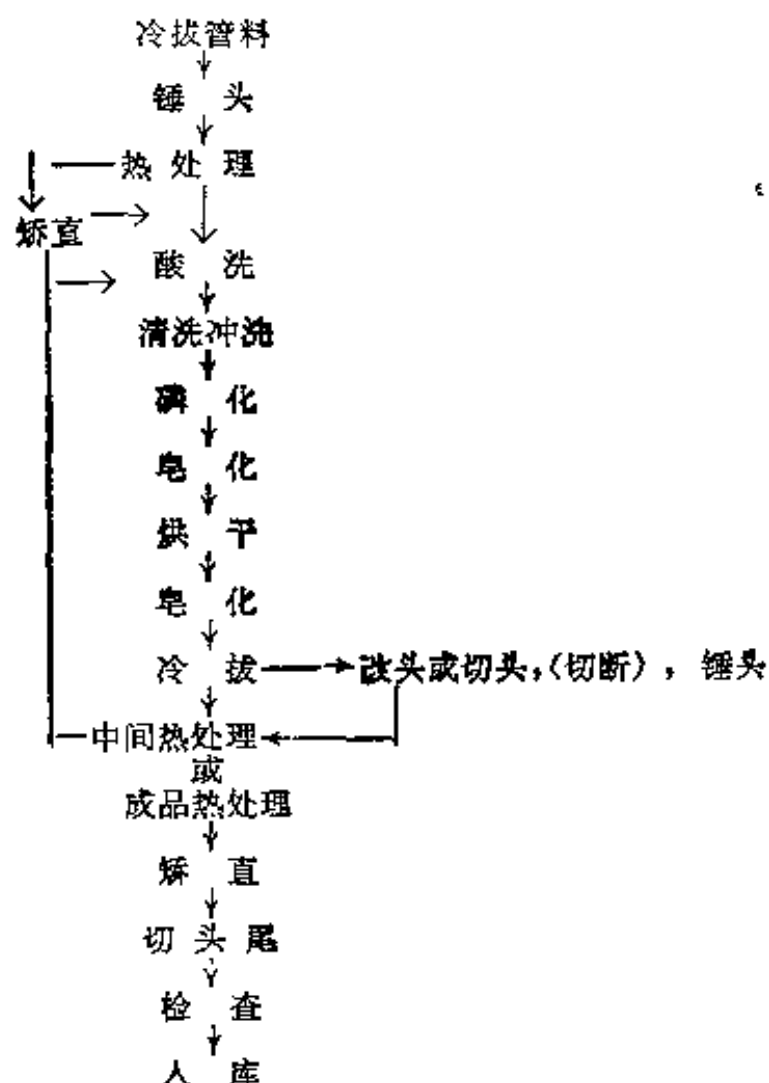
生产冷拔GCr15轴承钢管的工艺流程例举如下（见第401页）。

轴承钢管一般在硫酸溶液中酸洗，以磷化加皂化进行润滑。酸洗用硫酸溶液的浓度，有的厂为18~20%，浓度高一点比较好，酸洗的温度为45~55℃。

为了清除酸洗后的氢脆和除去钢管的水分，轴承钢管特别是管壁比较厚的钢管，酸洗后应进行烘烤。有的厂烘烤温度在180~250℃，烘烤时间根据壁厚而定。

根据生产冷拔轴承钢管的特点，有关锤头、热处理以及拔制

等主要工艺叙述如下。



2. GCr15钢管的锤头

GCr15 钢管锤头前的管端加热温度以及锤头后的冷却方式对以后能否顺利拔制有很大的影响。由于GCr15是过共析钢,在管端的加热及以后的冷却时,需要防止网状碳化物的出现,即防止从奥氏体中析出的渗碳体分布在晶界上,使室温下的组织成为珠光体及分布在晶界上的网状渗碳体。网状碳化物的存在会大大降低钢的塑性,使钢管在拔制过程中容易断头。因此,锤头时,加热温度应比较低。一般在管端加热温度为 $800\sim 850^{\circ}\text{C}$ 时锤头,随后应进行快速冷却以防止网状碳化物的析出。

轴承钢管毛管的锤头必须在球化退火前进行。

3. 轴承钢管的热处理

冷拔轴承钢管生产过程中,钢管的热处理包括管料热处理、中间热处理及成品热处理。为了达到成品所要求的球化组织和硬

度并为拔制创造良好的条件，上面已经谈到，生产轴承钢管时球化处理是一个重要的环节。

按球化的方式，有两种不同的热处理方案。

1) 球化在管料热处理时完成，中间热处理和成品热处理均为软化退火；

2) 积累球化，钢管的球化在管料热处理、中间热处理及成品热处理过程中逐渐完成，三者退火制度相同。

下面来讨论上述两种球化退火工艺。

(1) 管料的球化退火

所谓球化退火就是为了使过共析钢珠光体中的渗碳体和二次渗碳体球化而进行的一种退火。在球化退火时，一般将钢加热到稍高于 A_{c1} 的温度，使珠光体转变为奥氏体。此时溶进奥氏体中的碳化物数量相当于共析成分(0.8% C)，多余的过共析碳化物随着温度的升高在奥氏体中的溶解度逐渐增加，细网状碳化物也可消除。但对应一定的加热温度，在奥氏体中碳的溶解量是一定的。因此，如果加热温度超过 A_{c1} 不多，它的组成将是奥氏体和大量未溶解的碳化物，这些碳化物也就成为钢冷却时的结晶核心。同时在碳化物向奥氏体中溶解时，在碳化物原先存在的地方，形成含有高浓度碳的区域，当温度稍微降低时，这种成分不均的奥氏体中在碳浓度与碳化物相近或相等的地方就会形成稳定的晶核，它们也是以后碳化物结晶的核心。因此，含碳浓度较高的奥氏体区域和大量未溶解的碳化物在钢冷却时即形成为稳定的晶核，随即结晶成为表面能最小的球状碳化物。

当加热温度较高时，过共析碳化物绝大部分溶解于奥氏体中，且奥氏体中的成分均匀，均匀的奥氏体冷却时，发生正常的珠光体转变，形成普通的层片状珠光体。此时未溶解的过共析碳化物保持自己的结晶核心的作用。温度愈高未溶解的碳化物越少，因此较高温度退火后得到的除了片层状珠光体外，同时还有单个的或聚集的碳化物，甚至析出网状碳化物。这是不希望的。

由此可知，轴承钢退火后碳化物的尺度和形状除了与加热温

度及随之而定的固溶体的状态即过共析碳化物在奥氏体中的溶解量和奥氏体的均匀度有关外，还和随后的冷却速度有很大的关系。

对GCr15轴承钢而言，共析转变（珠光体→奥氏体）的终结温度为760℃，这是退火加热温度的下限。使奥氏体浓度得到相对均匀的温度为840℃这是退火加热温度的上限。在此温度范围内退火，才可能形成球状珠光体。

在实际生产中都是大批装料退火，考虑到炉内各部位温度的不均匀性，因此对GCr15轴承钢的球化退火温度不能定得过高（>840℃）或过低（<760℃），一般取为790±10℃。无铬轴承钢的退火温度比GCr15约低20°。

退火加热制度应根据炉型、装炉方式、装炉量等情况，并使整个炉料透烧均匀而定。生产中一般都采用阶梯式加热曲线，即在低于加热最终温度的某一温度将钢料保温烧透，一般都在720~740℃均匀化保温。这在装炉量大、透烧条件比较差的情况下很有必要。

达到退火温度必须进行保温，采取的保温时间必须使所有炉料的温度达到所规定的退火温度，保证珠光体全部转变为奥氏体，并使奥氏体中的含碳量达到对应于退火温度下的含量。

退火的冷却速度决定碳化物分散度，即决定钢的硬度。冷却速度过大（100~300℃/时），碳化物颗粒来不及长大，形成相互融合的极小的碳化物密集区域，使钢的硬度增加。冷却速度过小（5℃/时），会使碳化物集结成粗大的完全孤立的碳化物和没有碳化物的铁素体区，使钢的硬度过低。一般采用的冷却速度为10~30℃/时。尤其是在奥氏体转变为珠光体的温度范围内更需要缓慢冷却。GCr15轴承钢一般炉冷至650℃后出炉空冷。

在实际操作中也有将出炉温度提高到680℃的，这对硬度影响不显著。无铬轴承钢因其淬透性较好，出炉温度必须在650℃以下，否则硬度会过高。

除上述球化工艺外，有的厂用等温退火来进行球化。其制度

是将轴承管加热到 $790\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，保温后即快速冷却，使奥氏体来不及分解，碳化物来不及长大。而过冷的奥氏体在一定的温度下能在较短的时间内发生组织转变，进而缩短退火时间。等温退火时温度越低，进行组织转变所需的时间愈短。但等温退火的温度越低，组织的分散度越大，钢的硬度越高。由于球化退火后轴承钢的硬度应达 $\text{HB}\leq 207$ ，因此等温退火应在较高的温度（ $720\sim 730^{\circ}\text{C}$ ）进行，因此需要较长的等温保温时间。这样有时就会失去等温退火缩短退火周期的意义，所以有的厂倾向不采用等温退火而采用上述一般的球化退火工艺。

应该指出，管料的球化工艺和球化质量与其热轧后的原始组织状态有密切的关系。良好的原始组织应为细片层状珠光体，且无网状碳化物析出，以便为球化退火时获得细粒状珠光体创造条件。为了得到所希望的组织，主要从两方面进行控制：一是控制热轧的终轧温度；二是控制热轧后的冷却速度。

管料热轧时的终轧温度最好控制在 $800\sim 850^{\circ}\text{C}$ 。终轧温度过高（ $>900^{\circ}\text{C}$ ），变了形的奥氏体晶粒会迅速长大，对防止网状碳化物的形成不利。当然终轧温度也不能过低，否则，毛管的热加工性能下降，而且在低于 750°C 时，析出的剩余碳化物就开始形成网状。

控制热轧后的冷却，就是使终轧后的毛管快速冷却至 600°C 。这样可以细化热轧组织，降低网状碳化物的级别，为球化退火准备良好的预备组织。

轧后快冷以往通常采用风冷或喷雾冷却。为了进一步强化冷却过程，目前，有的厂已开始采用穿水强制冷却^[35]，取得了很好的效果。

某厂穿水强制冷却的做法是，在锤头机与冷床之间安装四组水冷器，各组水冷器相距3.5米。热轧后的毛管锤头后，由辊道输送顺次通过各组水冷器。辊道速度可在 $0\sim 1.49$ 米/秒范围内调整，一般取 $0.8\sim 1$ 米/秒。采用多级冷却是为了防止一次冷却冷却速度太快，在毛管表面形成马氏体组织。冷却水用室温下的河

水。据测定，四组水冷器水的流量分别为35~40、30~39、28~35和10~20吨/时。在该厂的具体生产工艺和设备条件下，86×5.5毫米的毛管在轧制、锤头及穿水冷却过程中的温度变化见表19-11。

表 19-11 轴承钢热轧毛管生产过程中的温度变化 (单位: °C)

项 目	一次穿 孔后的 温度	二次穿 孔后的 温度	锤 头 温 度	第一组 水冷器		第二组 水冷器		第三组 水冷器		第四组 水冷器		到冷床 后的回 复温度
				进 水 温 度	出 水 温 度	进 水 温 度	出 水 温 度	进 水 温 度	出 水 温 度	进 水 温 度	出 水 温 度	
最大值	1170	1030	890	845	715	770	670	745	600	710	585	675
最小值	1140	950	840	820	675	720	630	710	550	660	550	610
平均值	1151	990	866	831	700	749.5	658	730	578.5	695.5	568	543.5

经该厂试验确定，改喷雾冷却为穿水冷却后，管料球化退火的时间缩短了7~8小时（用1.8×1.8×12米的燃油渣的台车式室状炉，装炉量8吨），球化退火和淬火回火后的碳化物直径分别减小了10~17%和20%，网状碳化物的级别降低0.5~1级。新冷却工艺的采用，提高了热处理炉的生产能力降低了能耗；改善了轴承钢管的冷加工性能并减少一个拔制道次，降低了由于断头断尾造成的金属消耗和其他辅助材料的消耗；轴承的使用寿命也得到提高。

热轧后采用喷雾冷却和穿水冷却的轴承钢冷拔管料，其球化退火曲线见图19-1。

在热轧生产中如果终轧温度或冷却速度控制不好或控制有困难致使GCr15轴承钢管的组织为粗层片状珠光体并存在网状碳化物时，为了改善轧后的不良组织，使之获得细层片状珠光体并消除网状碳化物，在球化前要进行正火处理，其工艺是将钢管加热到 A_{cm} 以上，即加热到900~920℃，使残余的碳化物及网状碳化物都溶入固溶体，然后采取快速冷却，以改善钢管的组织。

(2) 积累球化退火

除上述在管料热处理时即完成轴承钢的球化这种工艺外，有的厂在生产冷拔轴承钢管时采用积累球化退火工艺，即对轴承钢管冷拔料的球化不作严格要求，只要使第一道小变形量冷拔能进行即可，以后在中间退火和成品退火时继续球化不断提高球化的级别，最后达到成品管对球化组织的要求。

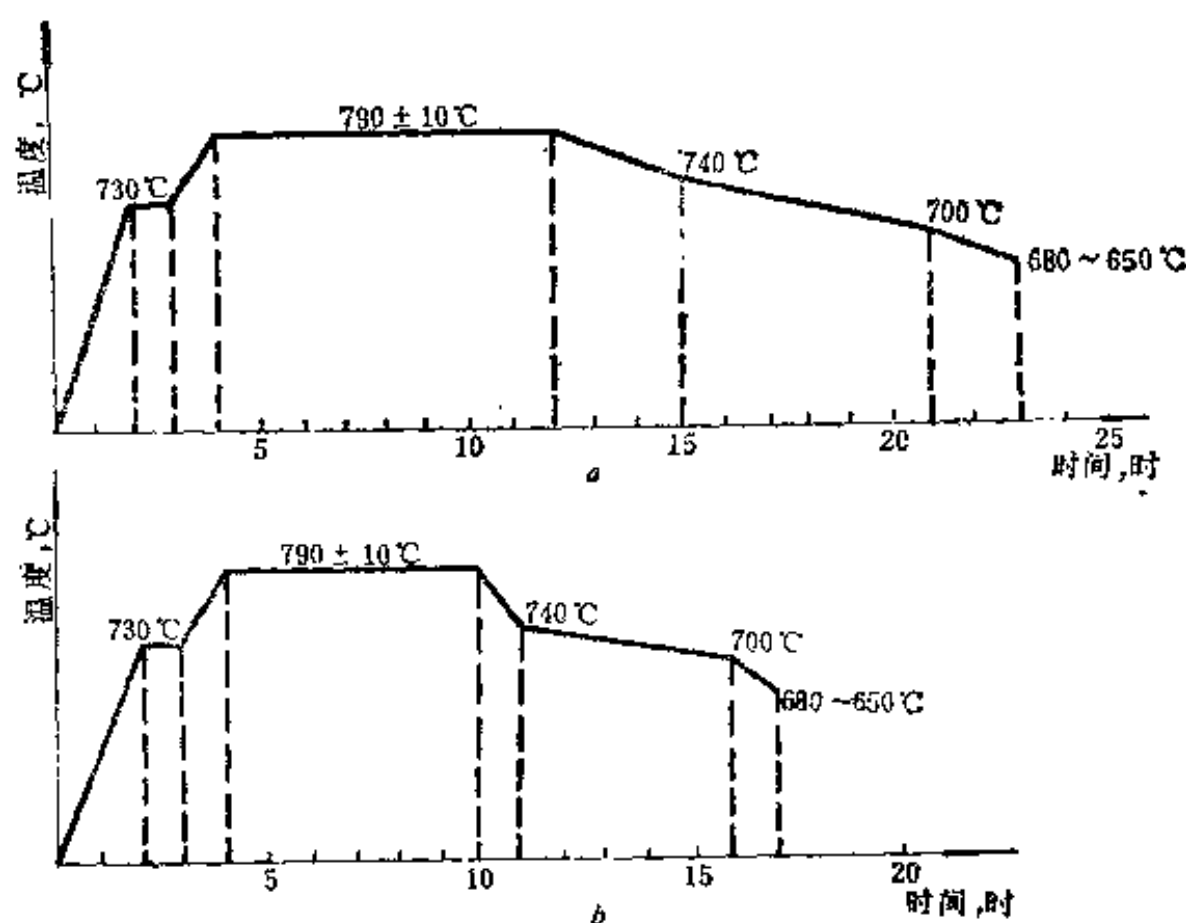


图 19-1 轴承钢管料的球化退火曲线

a—热轧后喷雾冷却；b—热轧后穿水冷却

根据生产经验，热轧冷拔料的球化退火比较困难，退火时间长，但经过冷拔后的轴承管就比较容易球化。尽管冷拔管料球化组织不好，甚至不合格（小于1~1.5级），但最后成品管的球化组织一般都很容易达到2~3级。有人认为这是由于冷加工增加了晶粒间界和各相间的应力，从而能加速铬碳钢球化过程中碳的溶解速度和扩散速度，促进球化过程的加速进行。

采用积累球化工艺时，冷拔管料的热处理、中间热处理以及成品热处理均采用同一工艺制度：退火周期约为8小时。其操作

的特点是，退火温度较高约为820℃，热装炉，开始时快速升温，无明显的均温阶段，以慢速加热起均温作用，也无明显的保温阶段，以慢速降温起保温作用。

采用积累球化的球化工艺可以大大减少冷拔管料的球化时间。但由于球化级别低，钢管的强度高，冷加工性能差，所以只能用较小的变形量进行拔制。

4. GCr15轴承钢管的拔制

由于钢本身的特性，轴承钢的强度比较高，经球化退火后，GCr15钢的强度极限为600~675兆帕，比20钢在热轧或退火状态的强度极限（≥390兆帕）约高50%。在用下式计算拔制力时

$$P = K(F_0 - F_1)$$

式中 P ——拔制力，千牛；

F_0 ， F_1 ——拔制前后钢管的横截面面积，毫米²；

K ——拔制力系数，兆帕。

表 19-12 GCr15轴承钢管与碳钢管冷拔变形量的比较

力学性能	钢 种		10,20	35,45	GCr15
	钢管状态		轧制状态	轧制状态	球化退火
	抗拉强度 σ_b ，兆帕		333~390	510~590	600~675
	延伸率 δ_5 ，%		24~20	17~14	20.5~27.0
冷拔延伸系数	短芯棒	一次拔制	1.65	1.54	1.41
	拔 制	连 拔	2.3	2	不连拔
	无芯棒	一次拔制	1.65	1.6	1.4
	拔 制	连 拔	1.88	1.85	不连拔

对10、20钢有的厂取 K 值为1080~1175兆帕，面对GCr15钢，根据一些厂的数据， $K=1570\sim1765$ 兆帕。因此，拔制同样规格的钢管时，拔制轴承钢管比拔制20钢管的拔制力会增大50%左右；同时轴承钢管冷拔时的变形量也应比碳钢管为小。

表19-12为某厂拔制 GCr15 钢管与碳钢管时冷拔变形量（上、

限值) 的比较数据。

冷拔过程中轴承钢的塑性指标(强度、延伸率, 断面收缩率等) 与热处理有密切的关系。退火后的球化组织以及网状碳化物的级别对加工性能有很大的影响。一般情况下, 球化级别高、网状碳化物级别低的钢, 塑性指标也好, 拔制时比较顺利。此外, 拔制过程还与酸洗、烘干、润滑的质量有关, 酸洗、烘干、润滑较好时, 拔制也顺利。

根据拔管机的能力、热处理制度、润滑方式等不同情况, 一些厂冷拔轴承管的变形量例举于表19-13。

表 19-13 轴承钢管冷拔变形量

厂别	短芯棒拔制			无芯棒拔制		备 注
	延伸系数	减径量 毫 米	减壁量 毫 米	延伸系数	减径量 毫 米	
A	1.15~ 1.41	3~11	0.4~1	1.15~ 1.4	4~10	1.管料球化退火; 2.磷化、皂化、润滑并烘干; 3.有650千牛冷拔机
B	1.06~ 1.21	4~6	约0.4	1.06~ 1.29	3~9	1.积累球化退火; 2.磷化、皂化、润滑; 3.最大冷拔机为200千牛

从表19-13可以看出, 如拔管机的能力较大, 钢管的球化在管料退火时完成, 则冷拔时可采用较大的变形量, 其拔制表例举于表19-14。若拔管机能力较小, 又采用积累球化工艺, 则只能采用小变形量拔制(一般不连拔), 其拔制表例举于表19-15。

轴承钢管大多数是厚壁管, 而且对尺寸公差及表面质量有较高的要求。因此, 和拔制一般用途的钢管相比, 其冷拔总减壁量一般大0.5毫米或更大一些。对于76机组, 热轧时采用两次穿孔生产的冷拔管料, 实践证明, 壁厚均匀度可以提高, 因此, 成品钢管的壁厚精度更有保证。

表 19-14 A厂GCr15轴承钢管拔制表

拔制道次	钢管规格 $D \times S$ 毫 米	拔制方式	延 伸 系 数	拔制力 千 牛
$\phi 75 \times 6 \rightarrow \phi 30 \times 3$				
0	75×6			
1	66×5	短	1.36	539
2	57×4.3	短	1.35	373
3	47×4.5	无	1.18	167
4	44×4	短	1.19	147
5	41×3.5	短	1.23	137
6	38×3.15	短	1.20	108
7	30.25×3.25	无	1.24	108
$\phi 75 \times 6 \rightarrow \phi 16.5 \times 3.6$				
0	75×6			
1	66×5	短	1.36	539
2	55×4.3	短	1.39	373
3	47×4.5	无	1.15	167
4	44×4	短	1.18	147
5	36×4.15	无	1.21	127
6	33×3.65	短	1.23	118
7	26×3.8	无	1.27	118
8	20×3.9	无	1.34	118
9	16.75×3.95	无	1.25	157
$\phi 75 \times 6 \rightarrow \phi 19 \times 4$				
0	75×6			
1	66×5	短	1.36	539
2	57×4.2	短	1.37	392
3	47×4.35	无	1.19	177
4	38×4.5	无	1.24	167
5	35×4.15	短	1.18	118
6	28×4.25	无	1.27	118
7	23×4.35	无	1.25	98
8	19.25×4.4	无	1.24	78

续表 19-14

拔制道次	钢管规格 $D \times S$ 毫米	拔制 方式	延 伸 系 数	拔制力 千 牛
$\phi 76 \times 6 \rightarrow \phi 54 \times 4.5$				
0	76×6			
1	67×5.3	短	1.28	441
2	60×4.8	短	1.24	294
3	54×4.5	短	1.19	196
$\phi 75 \times 6 \rightarrow \phi 24.3 \times 4$				
0	75×6			
1	66×5	短	1.36	539
2	57×4.3	短	1.34	373
3	47×4.5	无	1.18	167
4	38×4.6	无	1.24	196
5	35×4.25	短	1.16	108
6	28×4.35	无	1.28	127
7	24.5×4.4	无	1.15	69
$\phi 75 \times 7.5 \rightarrow \phi 30 \times 6.5$				
0	75×7.5			
1	66×6.9	短	1.24	500
2	57×6.5	短	1.22	373
3	52×6.2	短	1.18	206
4	42×6.35	无	1.25	275
5	35×6.45	无	1.23	196
6	30.25×6.5	无	1.2	137
$\phi 75 \times 10 \rightarrow \phi 25 \times 8$				
0	75×10			
1	64×9.5	短	1.25	637
2	55×9.1	短	1.25	471
3	45×9.3	无	1.26	392
4	37×9.4	无	1.28	373
5	30×9	无	1.37	333
6	25.25×8.5	无	1.33	216

续表 10-11

拔制道次	钢管规格 $D \times S$ 毫米	拔制 方式	延 伸 系 数	拔制力 千 牛
$\phi 90 \times 12 \rightarrow \phi 30 \times 9$				
0	90×12			
1	82×11.3	短	1.17	637
2	73×10.7	短	1.2	628
3	64×10.1	短	1.23	569
4	54×10.3	无	1.21	451
5	45×10.45	无	1.25	422
6	37×10.2	无	1.32	412
7	30.25×9.7	无	1.36	363

表 19-15 B厂GCr15轴承钢管拔制表

拔制道次	断面尺寸 $D \times S$, 毫米	延伸系数	拔制力 千 牛	拔制道次	断面尺寸 $D \times S$, 毫米	延伸系数	拔制力 千 牛
$72 \times 4.5 \rightarrow 36 \times 4$				$72 \times 5.5 \rightarrow 41.2 \times 5$			
0	72×4.5			0	72×5.5		
1	67	1.06	78	1	67	1.06	100
2	62×4.1	1.21	245	2	62×5.2	1.17	240
3	54	1.13	129	3	54	1.14	136
4	47	1.14	118	4	47	1.15	155
5	41	1.14	105	5	41.2	1.14	129
6	36	1.14	96				
$72 \times 5 \rightarrow 36 \times 4.5$				$72 \times 5 \rightarrow 48 \times 4.6$			
0	72×5			0	72×5		
1	67	1.06	90	1	67	1.06	90
2	62×4.7	1.17	228	2	62×4.8	1.15	202
3	54	1.14	153	3	54	1.16	177
4	47	1.15	138	4	48	1.10	99
5	41	1.15	123				
6	36	1.14	103	$72 \times 6 \rightarrow 34.3 \times 5.6$			
				0	72×6		
				1	68	1.05	84
				2	63×5.6	1.17	278
				3	56	1.12	161
				4	49	1.14	167
				5	43	1.15	147
				6	38	1.14	124
				7	34.3	1.13	103

续表 19-15

拔制 道次	断面尺寸 $D \times S$, 毫米	延伸系数	拔制力 千牛	拔制 道次	断面尺寸 $D \times S$, 毫米	延伸系数	拔制力 千牛
$72 \times 6.5 \rightarrow 34 \times 8$				$72 \times 7 \rightarrow 60 \times 6$			
0	72×6.5			0	72×7		
1	68	1.05	96	1	68	1.05	112
2	64×6.5	1.09	154	2	64×6.8	1.11	228
3	60×6.3	1.10	176	3	60×6.5	1.12	215
4	54	1.11	155	$85 \times 7 \rightarrow 70 \times 6.0$			
5	48	1.13	162	0	85×7		
6	43	1.13	137	1	81	1.04	104
7	38	1.14	141	2	78×7	1.05	145
8	34	1.14	124	3	74×6.8	1.09	210
				4	70×6.5	1.11	231

第三节 不锈钢管的冷拔和冷轧生产

一、不锈钢概述

一般所谓的不锈钢是不锈钢、耐酸钢和耐热钢的总称。不锈钢按成分可以分为两大类,一类是含铬在12%以上的简单铬钢,另一类是在含铬12%以上的简单铬钢的基础上再添加其他元素的钢。

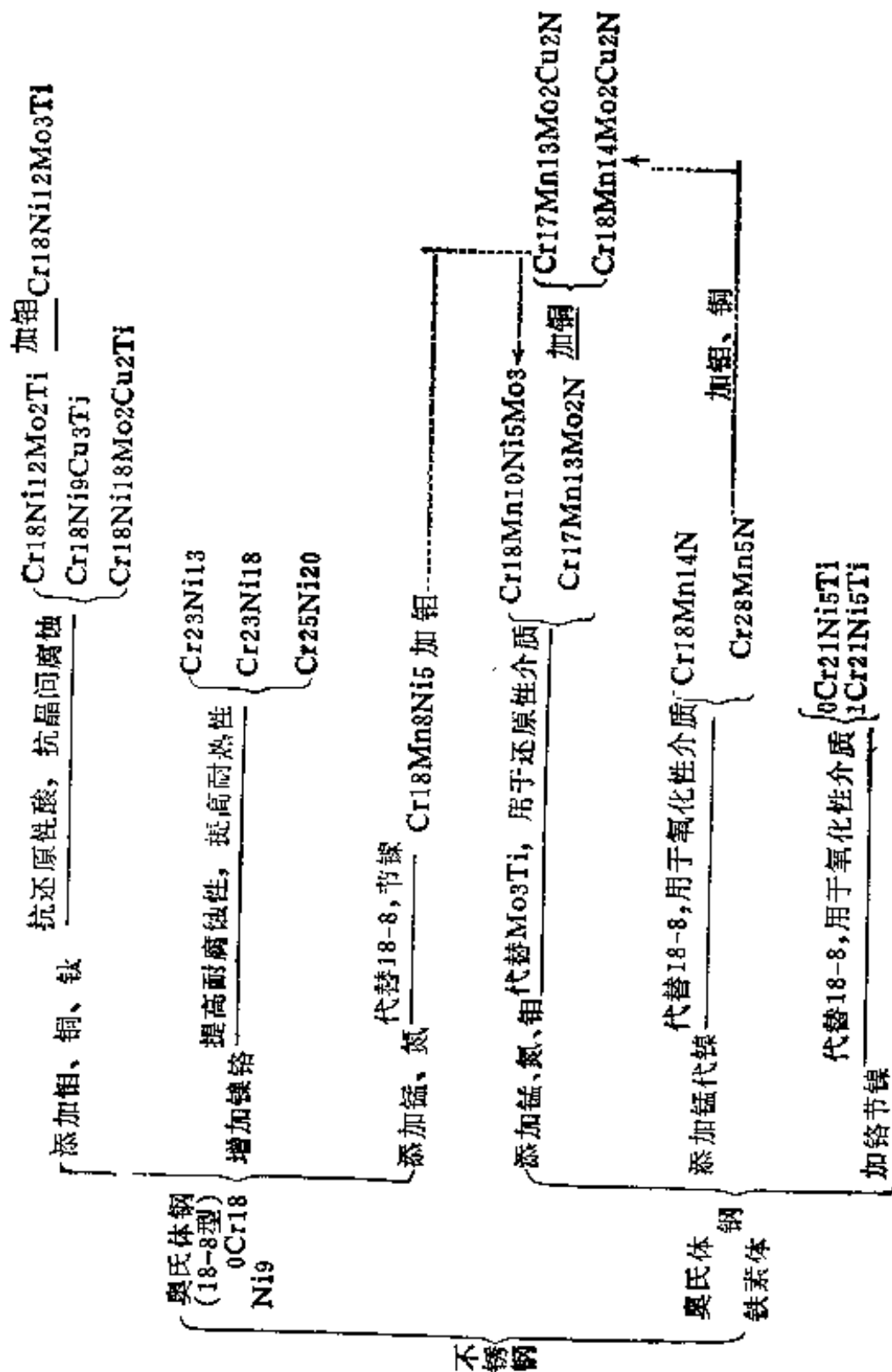
基于碳和铬结合成的碳化铬会降低不锈钢的耐腐蚀性能,所以不锈钢的含碳量都比较低,一般含碳量为0.1~0.2%而不超过0.4%。

镍是扩大奥氏体区的元素,高铬不锈钢加镍可使组织发生明显的变化,如Cr17钢加2%镍以后,即由单一的铁素体组织过渡到两相状态,可以部分地接受淬火强化,获得很高的力学性能。将镍提高至8%时,钢的马氏体转变点(M_s)可降至室温以下,使在常温下具有奥氏体组织,这就是广泛应用的18-8铬镍奥氏体不锈钢。这类钢除了具有高的耐腐蚀性能以外,还具有许多宝贵的性能,如冷变形性能、焊接性能、高的冲击韧性及没有磁性等等。

表 19-16 我 国 不 锈 钢 的 分 类

马氏体钢 (Cr13型) 1Cr13	增加碳量	提高强度和硬度, 提高热强性	$\begin{cases} 2Cr13 \\ 3Cr13 \\ 4Cr13 \end{cases}$
	增加铬、碳量	提高耐腐蚀性, 提高淬火硬度	9Cr18
	增加镍、铬量	提高强度和韧性, 提高耐腐蚀性	Cr17Ni2
	降低碳量	提高耐腐蚀性, 提高焊接性	0Cr13
铁素体钢 (Cr13型) 0Cr13	添加硅等	提高耐腐蚀性	$\begin{cases} Cr13Si4Nb \\ Cr10Si2Mo \end{cases}$
	增加铬量	提高耐腐蚀性	$\begin{cases} Cr17 \\ Cr25 \end{cases}$ 加钛提高抗晶间腐蚀性Cr17Ti 加钛提高抗晶间腐蚀性Cr25Ti 加钛提高抗晶间腐蚀性Cr28
	降低碳量	提高抗晶间腐蚀性	00Cr18Ni10
	降低碳量	提高抗晶间腐蚀性	$\begin{cases} 00Cr17Ni13Mo2 \\ 00Cr17Ni14Mo3 \end{cases}$
奥氏体钢 (18-8型) 0Cr18 Ni9	增加碳量	提高强度	$\begin{cases} 1Cr18Ni9 \\ 2Cr18Ni9 \end{cases}$
	添加钛、铌	稳定碳化物, 抗晶间腐蚀	$\begin{cases} 1Cr18Ni9Ti \\ 1Cr18Ni11Nb \end{cases}$
	降低碳量	提高抗晶间腐蚀性	00Cr18Ni10
	降低碳量	提高抗晶间腐蚀性	$\begin{cases} 00Cr17Ni13Mo2 \\ 00Cr17Ni14Mo3 \end{cases}$

不 锈 钢



锰量在 2 % 以下时对不锈钢的性能不发生重大影响。由于锰可以增加奥氏体的稳定性,起到代替镍的作用,在这方面大约 2 % 的锰可代替 1 % 的镍,所以有 Cr17Mn4 代 Cr17Ni2; Cr18Mn8Ni5 代 1Cr18Ni9; Cr18Mn10Ni5Mo3 代 Cr18Ni12Mo3Ti 钢的出现。由于低碳高铬 ($C \leq 0.2\%$, $Cr \geq 14 \sim 15\%$) 的情况下,仅以锰代镍不能获得纯奥氏体组织,以及简单铬锰不锈钢的一些不足,因此就发展了以锰与氮同时加入代镍的钢种。以氮代镍的比例约为 0.025 : 1。一般认为氮可以取代不锈钢中 2.5 ~ 6 % 的镍,这种以锰、氮代镍的不锈钢就是新型的铬锰氮系不锈钢。

高铬不锈钢在强氧化介质(如硝酸)中具有很高的耐腐蚀性能,但在弱氧化介质(如硫酸)及非氧化性介质(如盐酸,各种有机酸等)则并不稳定,为了使之扩大应用至上述方面,尚须加入其他合金元素,在这方面应用较多的是钼与铜,如 Cr17Mo2、Cr18Ni12Mo2Ti、Cr18Ni12Mo3Ti、Cr18Ni18Mo2Cu2Ti、Cr18Ni20Mo2Nb 等。含钼的钢对点腐蚀具有较大的抵抗力。同时添加钼与铜的铬镍不锈钢在硫酸中具有较高的耐腐蚀性能,在低浓度的盐酸中也较不含钼与铜的钢稳定性高。

钛与铌加入不锈钢中是为了防止晶间腐蚀,为了这个目的,向钢中加入钛或铌必须与钢中的碳保持一定的比例。

工业中应用的含钛或铌的不锈钢,其典型钢号有 1Cr18Ni9Ti、Cr18Ni11Nb 等。就加钛与铌比较,钛的缺点是它比铌易于氧化、会降低钢的表面质量和在沸腾硝酸中的稳定性等。但由于钛的成本低,在防止晶间腐蚀方面,在大多数情况下已能胜任,故应用比较广泛。

不锈钢按从高温 (900 ~ 1100℃) 空冷后的金相组织可分马氏体、奥氏体、奥氏体-铁素体及铁素体四大类。

我国不锈钢的分类及发展概况如表 19-16。

各种不锈钢中不同类型的不锈钢管的性能不同,生产钢管的工艺也不同。

二、1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢冷加工工艺特性

1Cr18Ni9Ti 是一种应用很广的奥氏体不锈钢，并常用来生产钢管，其化学成分如下：

C	Si	Mn	Cr
≤0.12%	0.80%	≤2.00%	17.0~19.0%
Ni	Ti	S	P
8.0~11.0%	$5 \times (C - 0.02) \sim 0.80\%$	≤0.030%	≤0.035%

根据本身的特点，这种钢在进行冷加工生产时，有以下主要的工艺特性。

1) 这种钢经过固溶处理(加热至1050~1100℃后快冷)后，呈单相奥氏体组织，其特点是强度极限 σ_b 较高，但屈服点 σ_s 低，延伸性和韧性都大，因此冷变形的性能好。其常温下的力学性能如表19-17。

表 19-17 20A和1Cr18Ni9Ti的常温力学性能

钢 种	强度极限 σ_b 兆帕	屈服极限 σ_s 兆帕	延伸率 $\delta, \%$	断面收缩 率 $\psi, \%$	冲击功 A_K , 焦	硬度 HB	热导率 λ 瓦/(米·开) ($t=100^\circ\text{C}$ 时)
20A	≥390	≥235	≥25	≥55	≥39	—	50.7
1Cr18Ni9Ti	≥540	≥196	≥40	≥55	≥196	140~170	16.3

从表中可以看出，1Cr18Ni9Ti的力学性能与20A钢很接近，它的冷加工性能甚至比20A钢还要优越。其特点是：

(1) σ_s 比20A还小，在变形中比较早地达到自身的屈服极限，所以在拔制工艺中在外力作用下很容易使其本身产生塑性变形。

(2) 延伸率和断面收缩率大，塑性好，有利于采用大变形量进行加工。

(3) 有较高的强度极限值，加工硬化倾向大，拔制时不容易断头和断管。

但是应注意的是，这种钢在进行冷变形时加工硬化性很高，经冷变形后钢的强度和屈服极限会大大增加。如冷轧1Cr18Ni9Ti

不锈钢管，当减面率为58~66%时，它的强度极限可提高到1185兆帕，屈服极限可提高到885~930兆帕。由于加工硬化性大，从而会增加继续冷变形时的抗力，故它的再加工性能较差。加工硬化性高的原因在于冷变形使奥氏体部分地转变为马氏体。

2) 1Cr18Ni9Ti 的热导率很低，仅为一般碳钢的 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$ 。

冷变形时所产生的大量的热集中于表面，传导散热很慢。又由于这种钢在淬火状态下的硬度较低 ($HB=140 \sim 170$)，因此在冷加工时具有别的钢种所少有的粘性，容易粘结在工具上。

3) 由于不锈钢本身的特点，在加热后钢管表面的氧化铁皮中，除有铁的氧化物外，还有铬和镍的氧化物。由于铬和镍原子在氧化铁皮中的扩散速度比铁慢，因而铬和镍的氧化物大部分分布在氧化铁皮靠近钢基体的内层，而且很致密。铬的氧化物 Cr_2O_3 、 $FeO \cdot Cr_2O_3$ (尖晶石) 实际上不溶于一般的酸，所以 1Cr18Ni9Ti 不锈钢管的酸洗较为困难。

4) 镍铬奥氏体不锈钢在腐蚀性介质中有晶间腐蚀倾向。晶间腐蚀时，腐蚀集中发生在金属的晶界区，因此有时从外观上不易察觉，但由于晶界处因腐蚀而遭到破坏，材料的强度几乎完全丧失，严重时失去金属声，稍经受力即沿晶界断裂，所以晶间腐蚀是一种危害性很大的腐蚀破坏。镍铬奥氏体不锈钢晶间腐蚀的原因是由于在 $400 \sim 800^\circ\text{C}$ 区间内加热时，碳从过饱和的奥氏体中以碳化铬 ($Cr_{23}C_6$) 的形式沿晶界析出，使晶界附近奥氏体的含铬量降至不锈钢耐腐蚀所需要的最低含量以下，从而使腐蚀集中在晶界的贫铬区发生。1Cr18Ni9Ti 钢虽含有稳定碳化物元素 Ti，但如在上述温度范围内加热时间较长，仍会出现晶间腐蚀倾向。耐晶间腐蚀性能是 1Cr18Ni9Ti 不锈钢管主要技术要求之一，为了防止 1Cr18Ni9Ti 不锈钢管出现耐晶间腐蚀性能不合，必须有正确的热处理工艺和锤头的加热及冷却制度，并要防止渗碳，因为碳与铬结合成碳化铬，会降低 1Cr18Ni9Ti 不锈钢管的耐晶间腐蚀性能。

三、1Cr18Ni9Ti不锈钢管的冷加工生产工艺

1. 生产工艺过程

由于1Cr18Ni9Ti这种钢本身的特点，同时，用这种钢制造的钢管无疑都有重要用途，因此，对钢的质量要求很高。如航空用不锈钢无缝管，按GB3090—82规定，除尺寸公差和力学性能外，还要检验晶间腐蚀，特别是钢管内外表面只允许有轻微的矫直痕迹和深度不超过0.05毫米的局部擦伤及个别的压痕（但清理后其深度不得大于外径和壁厚的负偏差范围），其他缺陷均不允许存在，所以其生产流程和工艺都比较复杂。

在我国，由于各厂的设备和工艺条件不同，目前，不锈钢管冷加工的成形过程存在三种基本方式。一种为单一冷拔方式；另外一种为冷拔→冷轧（轧至定壁尺寸）→冷拔；还有一种是冷轧（轧至定壁尺寸）→冷拔。在后两种情况下也可以由冷轧直接出成品管。

单一冷拔成形方式，在有的76机组中采用。其整个生产工艺过程举例如下：

管坯扒皮定心→管坯加热→穿孔→打头淬水→毛管表面检查→酸洗→冲洗→擦洗→润滑→烘烤→**拔制**→除油→冲洗→中间

检查^{（不合格品）}→^{矫直}切头→内磨→外抛→除油→冲洗→打头→酸洗→冲洗→热处理_{（合格品）}

理→矫直→酸洗→冲洗→擦洗→冲洗→润滑→烘烤→**拔制**→除

油→冲洗→（打头）→酸洗→冲洗→热处理^{（循环拔制）}→成品拔制→切头尾（除毛刺）→除油→冲洗→热处理→（初矫）→酸洗→冲洗→擦洗→冲洗→（矫直）→酸浸→冲洗→检验→（抛光）→酸浸→冲洗→白化→出厂检验→包装→入库。

在采用冷轧→冷拔和冷轧单一成形方式的情况下，其基本的生产工艺过程如下：



采用冷拔→冷轧→冷拔成形方式时的生产工艺过程可参考上述两种流程来制订。

从上面的生产工艺流程可以看出，其中辅助工序的比重很大，而且任何一项不精心操作都会影响产品质量。特别是在目前所用润滑剂的条件下，1Cr18Ni9Ti不锈钢管不经中间热处理连续进行两次短芯棒拔制比较困难，更增加了生产的复杂性。由于与冷轧比冷拔可有比较大的变形量（一个轧制道次），为了简化中间工序、保证产品质量，生产1Cr18Ni9Ti不锈钢管采用冷轧—冷拔联合生产工艺则更为合理。

2. 主要工序的生产工艺特点

（1）管料

不锈钢管的管料在冷加工生产前必须进行仔细检查，如发现表面缺陷，要进行局部或整体修磨。对用于生产高标准管材的管料有时采用外表面剥皮、内表面镗削的办法消除表面缺陷。为了便于机加工，管料在剥皮和镗削前先进行矫直。

由于成品的尺寸精度特别是壁厚精度在很大程度上决定于管料的尺寸精度，加工变形道次较少的厚壁管更是如此，因此，管料的尺寸偏差应控制在一定的范围内。

（2）锤头

为了防止产生晶间腐蚀倾向，1Cr18Ni9Ti不锈钢管锤头时必须要有正确的加热和冷却制度，并要防止渗碳。锤头后必须进行固溶处理。

用穿孔毛管作为冷拔料时，一般冷拔的第一、二道属于整形拔制阶段，即将毛管外形尺寸进行均整，便于对有表面缺陷的钢管进行内外壁的修磨。为了便于检查内壁，这时钢管最好锤成大口瓶状的瓶口头，打头时管端先缩口，后放入圆钢再锤打定形。打成瓶口头后拔制时在瓶口头内放一个拉头如图19-2。拉头大头的直径应小于拔制后钢管的内径。

在以后的道次钢管可打成叠形头，可在锤头的过渡区打一个 $\phi 6\sim 8$ 毫米的气孔以便酸洗清洗时液体的流出和烘烤时气体的排

除。



图 19-2 瓶口头和拉头的示意图

加热前必须检查钢管上有无油污，无油污的钢管方可进行加热。锤头时的加热温度应在 1000°C 以上，但不宜 $>1100^{\circ}\text{C}$ 。要快速加热。锤头后在 $>950^{\circ}\text{C}$ 时快速水淬。现厂把操作经验总结为一高（加热温度高 $1050\sim 1100^{\circ}\text{C}$ ），二勤（勤加热勤翻转），三快（快速加热，快速锤头，快速冷却）。为了防止在加热过程渗碳，可采用套管加热，套管长 $1\sim 1.2$ 米，在炉内的一端封口，这样可以避免钢管与炉气接触和污物落在钢管表面。

由于加热时钢管端部有一个低温过渡区，因此打头后必须进行固溶处理。

对于薄壁管，由于 $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ 钢塑性好，可以采用冷打头。一般，当壁厚 ≤ 1 毫米时，可冷锤头；而当外径 ≤ 35 毫米、壁厚 ≤ 1.5 毫米时，可冷轧头。

（3）酸洗

$1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ 不锈钢管，由于其表面的氧化铁皮与碳素钢管的氧化铁皮有很大的不同，因而其酸洗方法也不同。不锈钢表面的氧化铁皮比较难清除，主要是由于其氧化铁皮中含有三氧化二铬 Cr_2O_3 和尖晶石 $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ 的缘故，这种氧化物实际上不溶于一般的酸。

目前 $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ 不锈钢管多用 $\text{HF} + \text{HNO}_3$ 溶液酸洗或碱-酸复合酸洗。

用氢氟酸酸洗时，有的厂生产中所用溶液配比如下：

氢氟酸（ HF ）： $4\sim 6\%$

硝酸（ HNO_3 ）： $8\sim 12\%$

温 度：50~60℃

含铁量：<18克/升

酸洗时间根据钢管的壁厚及直径而定，以表面的氧化物被清除为止，一般为20~40分钟。对于成品管和小口径薄壁管，要勤翻勤看，以防过酸洗。

不锈钢管在冷拔后和热处理之前必须进行除油处理，因为冷拔前在钢管表面涂有含油脂的润滑剂，如不去油就进行热处理，一方面，钢管表面容易在热处理过程中增碳，因为油污在燃烧时会产生CO气体，CO气体继续分解成CO₂及C原子，C原子被钢管表面吸收并逐渐向内部扩散而形成渗碳现象。渗碳会降低不锈钢的抗蚀性，另外不除油也影响热处理后酸洗时钢管的表面质量。

对于以牛油（高温钠基脂）-石灰进行润滑的不锈钢管的去油工艺，有的厂的做法是先含8%HNO₃的溶液中浸15分钟左右，然后再置于HF+HNO₃槽中，其操作方法与酸洗相同。

去油干净与否可用滴水法检查，去油干净的钢管，水滴在钢管表面上不成珠，否则就是去油不干净。

不锈钢管用HF+HNO₃进行酸洗，速度较快，易操作，质量也较好；但其缺点是，劳动条件差，其废液排入地下，对厂房基础的侵蚀性很大。

采取碱-酸复合酸洗法除没有上述用HF+HNO₃溶液进行酸洗的缺点外，还可以缩短时间和减少酸洗时金属的消耗，但需要相应的设备，操作亦较复杂。

用碱-酸法酸洗不锈钢管的工艺为：

1) 钢管先浸入苛性钠（NaOH）与硝酸钠（NaNO₃）混合熔融的溶液中，对氧化铁皮进行化学破坏，生成疏松的氧化层。混合熔融溶液按如下的比例配成（按重量）：

苛性钠（NaOH）	70~80%
硝酸钠（NaNO ₃ ）	30~20%

在含2~3份氢氧化钠和1份硝酸钠的溶液中处理效果最好。

了为使碱溶液保持最适宜的成分，要经常对溶液进行调整。

对奥氏体不锈钢，溶液温度为450~550℃，处理时间为10~30分钟。

2) 在水中冷却和清洗，除去疏松的氧化铁皮及在钢管表面的碱液。

3) 在加入3~5%食盐的、浓度为15~18%的硫酸或三酸(硫酸、硝酸、盐酸)溶液中酸洗。硫酸溶液的温度，对奥氏体不锈钢为70~90℃，时间10~20分钟。

4) 清洗。

(4) 润滑

如上所述由于1Cr18Ni9Ti奥氏体不锈钢钢管的硬度比较低(在淬火状态)，导热系数小，拔制过程中工具上容易粘金属，从而影响钢管表面质量和工具寿命，因此，在加工这种钢管时，润滑是一个很重要的问题。

通过不断的生产实践，我国创造了用牛油-石灰作为拔制不锈钢管的润滑剂，实现了用短芯棒拔制1Cr18Ni9Ti不锈钢管。目前在用短芯棒拔制不锈钢管时，内壁仍主要用这种润滑剂来进行润滑，而在无芯棒拔制和短芯棒拔制时，外表面在有的厂采用草化加皂化的润滑。牛油-石灰和草化加皂化的润滑工艺见前面第十三章。

冷轧不锈钢管时，一般采用镀铜再涂以润滑剂的方式润滑。在国内，有时涂牛油-石灰。在多辊式冷轧管机上，轧制小规格的不锈钢管时通常直接用氯化石蜡润滑。

(5) 热处理

在冷拔生产中，1Cr18Ni9Ti等18-8类型的镍铬奥氏体不锈钢管，都用固溶处理来进行钢管的软化、再结晶退火及成品热处理。

所谓固溶处理是把1Cr18Ni9Ti不锈钢管加热至1050~1100℃，使钢中的碳化物在高温下溶解，然后放入水中或空气中(视壁厚而定)快速冷却，使碳化物固定在奥氏体中，形成单一的奥氏体组织。所以经固溶处理的奥氏体不锈钢具有最高的耐腐蚀性和最

好的塑性。

若用穿孔后的毛管作为冷拔管料，由于穿孔后不锈钢毛管的温度一般均在 1000°C 以上，然后放入水中冷却，实际上相当于进行了一次固溶处理，起了软化作用，使钢管具备了良好的塑性，因此它们在冷拔前不再进行软化热处理。

1Cr18Ni9Ti 不锈钢的中间热处理和成品热处理也采用固溶处理。由于18-8型奥氏体不锈钢的再结晶温度较高 ($>800^{\circ}\text{C}$)，加工硬化程度比其他钢大，采用同碳钢和合结钢相同的再结晶退火温度不足以消除其加工硬化，而且这种温度范围($600\sim 800^{\circ}\text{C}$)恰巧是奥氏体不锈钢中碳化物最易析出的危险温度。碳化物析出导致钢管的耐腐性能大大下降，在酸洗时钢管会受到严重的腐蚀。如采用过高的温度进行固溶处理，由于加热温度愈高奥氏体的过饱和度愈大，会使大量的 TiC 溶入固溶体内，在以后析出碳化铬 Cr_{23}C_6 的温度区间内再加热时，碳化铬的析出过程也就愈强烈，使钢对晶间腐蚀的敏感性增大。

1Cr18Ni9Ti 不锈钢固溶处理的另一个特点是，加热后必须快速冷却到常温，因为 Cr_{23}C_6 固溶后再析出的温度是 $550\sim 750^{\circ}\text{C}$ ，特别是在 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ 会有更多的 Cr_{23}C_6 析出。由于 Cr_{23}C_6 在奥氏体的晶界上析出并固定下来，相应地降低了晶界附近的含铬量，造成晶界局部的贫铬现象，因而防腐性能显著下降。为了不給 Cr_{23}C_6 以析出的机会，必须以最短的时间即最快的冷却速度通过 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ 的温度区，保证在室温下仍然是单一的奥氏体单相组织。为了实现这一目的，通常采用水冷，对于薄壁管则可采用空冷。

总之，为了保证 1Cr18Ni9Ti 不锈钢管在固溶处理后有良好的力学性能和耐腐蚀性能，必须有正确的加热和冷却制度，并且在用炉子加热时要采取高温装炉、保温时间短并保证炉膛温度均匀一致。具体工艺制度见第十四章。

为了提高冷拔 1Cr18Ni9Ti 不锈钢管的耐腐蚀性能或避免固溶处理后耐晶间腐蚀性能不合，可在固溶处理后进行稳定化退

火，即加热到850~870℃，保温2.5~3小时，然后冷却。因为在850~870℃间保温足够时间，TiC会在晶界处析出，可减少在碳化铬析出温度范围内Cr₂₃C₆的析出。

此外，为了防止在固溶处理时钢管表面因渗碳或有残酸、残盐、残碱等沉淀物而出现阴色（即灰黑色的斑印），热处理前必须去油，做到钢管表面无油、无酸、无碱、无盐。

奥氏体不锈钢固溶处理的加热设备有室状炉、连续式辊底炉、电接触加热装置等。为了防止氧化，保护气体热处理炉如氢气保护热处理炉得到了应用。

（6）拔制

如上所述，1Cr18Ni9Ti这种钢的屈服极限 σ_s 比较低，但强度极限 σ_b 、延伸率 δ 、断面收缩率 ψ 比较高，因而有很好的冷加工性能。冷拔1Cr18Ni9Ti不锈钢管时，在设备条件和润滑条件允许的情况下，可以采用较大的变形量。根据某厂的数据其变形量相当于拔制30CrMnSiA合结管时的变形量，与拔制20A碳结管时的变形量也相近，其变形量的范围见表19-18（所用拔管机的最大吨位是196千牛，但实际能力超过196千牛）。

根据另一厂的数据，拔制1Cr18Ni9Ti不锈钢管时的延伸系数，用锥形外模、柱形内模进行短芯棒拔制时为 ≤ 1.50 ；用弧形外模、锥形内模进行短芯棒拔制时为 ≤ 1.40 ；当用弧形外模进行无芯棒拔制时为 ≤ 1.45 。

由于1Cr18Ni9Ti这种钢加工硬化性大，特别是在目前采用牛油-石灰润滑的情况下，一般短芯棒不连拔而采取短芯棒-无芯棒连拔或两道无芯棒连拔。

（7）冷轧

轧制不锈钢管应使用能充分利用其原始塑性的孔型设计。由于不锈钢的粘性比较大并且容易粘结在工具表面上，同时，轧制时的宽展量也比较大，因此，轧制不锈钢管的孔型的侧壁开口度，应比轧碳钢钢管的大15~20%。这样可以减少孔型侧壁上金属的粘结。此外，为了减少和防止金属粘结，芯棒和轧槽表面要

表 19-18 几种钢管冷拔时每道次的变形量(单位: 毫米)

钢 种	拔制方式	模具类型	规格范围		减径量 ΔD	减壁量 ΔS
			直径 D	壁厚 S		
20A	短芯棒拔制	锥形外模	≥ 50	≥ 3	5~6	1~1.5
30CrMnSiA		柱形内模	≥ 50	≥ 3	5~6	1
1Cr18Ni9Ti			≥ 50	≥ 3	5~6	1
20A		弧形外模 锥形内模	≥ 40	≥ 2	3~4	0.5~0.75
30CrMnSiA			≥ 40	≥ 2	3~4	0.5
1Cr18Ni9Ti			≥ 40	≥ 2	3~4	0.5
20A			$< 40 \sim 15$	$< 2 \sim 1$	2~3	0.3~0.5
30CrMnSiA			$< 40 \sim 15$	$< 2 \sim 1$	2~3	0.2~0.4
1Cr18Ni9Ti			$< 40 \sim 15$	$< 2 \sim 1$	2~3	0.2~0.4
20A			$> 15 \sim 40$	> 2	2~4	0.3~0.5
30CrMnSiA			$> 15 \sim 40$	> 2	2~3	0.2~0.4
1Cr18Ni9Ti			$> 15 \sim 40$	> 2	2~3	0.2~0.4
20A			≤ 15	≤ 1	1~2	0.1~0.2
30CrMnSiA			≤ 15	≤ 1	0.5~2	0.1~0.2
1Cr18Ni9Ti			≤ 15	≤ 1	0.5~2	0.1~0.2
20A	无芯棒拔制	弧形模	≥ 50	≥ 3	8~10	
30CrMnSiA			≥ 50	≥ 3	4~6	
1Cr18Ni9Ti			≥ 50	≥ 3	4~6	
20A			$\leq 49 \sim 20$	≥ 2	6~8	
30CrMnSiA			$\leq 49 \sim 20$	≥ 2	4~6	
1Cr18Ni9Ti			$\leq 49 \sim 20$	≥ 2	4~6	
20A			$\leq 20 \sim 10$	≥ 2	4~6	
30CrMnSiA			$\leq 20 \sim 10$	≥ 2	3~5	
1Cr18Ni9Ti			$\leq 20 \sim 10$	≥ 2	3~5	
20A			$\leq 20 \sim 10$	< 2	4~8	
30CrMnSiA			$\leq 20 \sim 10$	< 2	3~6	
1Cr18Ni9Ti			$\leq 20 \sim 10$	< 2	3~6	
20A			$\leq 10 \sim 4$	$< 2 \sim 1$	2~3	
30CrMnSiA			$\leq 10 \sim 4$	$< 2 \sim 1$	1~2	
1Cr18Ni9Ti			$\leq 10 \sim 4$	$< 2 \sim 1$	1~2	
20A			$\leq 10 \sim 4$	≥ 2	1~2	
30CrMnSiA			$\leq 10 \sim 4$	≥ 2	1~2	
1Cr18Ni9Ti			$\leq 10 \sim 4$	≥ 2	1~2	

进行更加仔细的磨光，有时芯棒还要镀铬。

由于变形抗力高，轧制不锈钢管时，工具在非常沉重的条件下工作。为了提高工具的使用寿命，必须仔细地调整轧机，使用按要求设计和制作的工具，保证润滑质量以及按轧制工艺规程进行操作。

冷轧不锈钢管时，断面减缩率一般取55~75%，其中壁厚压缩为 $\leq 60\%$ 。轧制速度和送进量通常比轧制碳钢钢管少10%左右，这样，可以减轻冷轧管机的负荷，也有利于提高所轧钢管的壁厚精度。

在轧制不锈钢管时，一般要用乳化液冷却工具和金属。但有时也采用不冷却轧制。

（8）钢管的内磨外抛

在冷加工生产过程中，对不锈钢管的表面缺陷要进行修磨，即进行内磨外抛。

如以穿孔毛管作为冷拔管料时，由于毛管表面不平，其缺陷的修磨一般在冷拔1~2道以后进行。

内磨前钢管必须进行矫直，并且两端应无毛刺。对1Cr18Ni9Ti钢管的内磨可用中等硬度的氧化铝或碳化硅砂轮块。一般钢管的内径必须大于45毫米，磨头的尺寸应小于钢管内径4~5毫米。若缺陷深度（按钢管的负偏差算） ≤ 0.3 毫米，可采用60~80号磨料的砂轮块。缺陷深度为0.3~0.5毫米分两次修磨，可先用40~60号磨料的砂轮块粗磨，然后用60~80号磨料的砂轮块精磨。内磨后钢管的内壁应无麻坑、麻点、裂纹、翘皮缺陷及无深的修磨痕迹。

钢管外表面的抛光也必须在矫直后进行。外抛的设备有抛布轮和无心磨床。抛布轮可进行粗抛和精抛。经无心磨床磨削后的钢管还需经过抛布轮精抛。

粗抛以消除缺陷为主，一般用100号氧化铝磨料。精抛可消除粗抛后残留的印痕，通常使用200号氧化铝磨料。

抛光时钢管应不断旋转并均匀前进。

四、奥氏体类型以外其他类型不锈钢管冷加工生产工艺特点

除奥氏体不锈钢外，一些其他类型的不锈钢也用来制造钢管，常见的如铁素体不锈钢Cr25Ti、马氏体不锈钢1Cr13、2Cr13等。不同类型的不锈钢由于其性能不同，因而其冷加工工艺也有所不同。

铁素体不锈钢以铬为主要合金元素，含量为13~30%，而含碳量低，均 $<0.25\%$ 。当钢中含铬大于16%时，铸态组织非常粗大，经加工破碎后的晶粒，当温度 $>950^{\circ}\text{C}$ 时有强烈长大的倾向。由于这类钢在加热与冷却过程中不产生相变，因而长大后的晶粒不能用热处理方法来改变。为了避免因晶粒粗大而带来高的脆性，热轧时停轧温度要低($<900^{\circ}\text{C}$)，并在此温度下有一定量的变形。此外，在 $400\sim 525^{\circ}\text{C}$ 温度范围内停留会产生所谓的 475°C 脆性。在 $550\sim 700^{\circ}\text{C}$ 长期加热时，高铬钢会析出 σ 相，使钢变脆。铁素体钢还有室温脆性。高铬铁素体不锈钢含铬高，酸洗困难。以上这些特点在制订冷加工生产工艺时必须考虑。

在生产冷拔铁素体铬不锈钢管时，锤头的加热温度应低一些，如Cr25Ti，锤头前的加热温度为 $700\sim 850^{\circ}\text{C}$ ，加热时要防止渗碳，打头后水冷。Cr25Ti的酸洗困难，某厂用 $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{NaCl}$ 的溶液酸洗，通过优选认为成分为 $\text{H}_2\text{SO}_4 20\%$ 、 $\text{NaCl} 15\%$ 和 $\text{HNO}_3 0.9\sim 1.4\%$ 的酸洗溶液和温度 65°C 的效果较好，其中 HNO_3 含量的影响很大。Cr25Ti不锈钢管也用牛油-石灰润滑。铁素体不锈钢的热处理比较简单，一般是加热至 $750\sim 850^{\circ}\text{C}$ ，然后空冷或水冷。由于铁素体铬不锈钢有室温脆性，冷加工性能较差，容易拔裂、拔断，因此最好在带一定温度的情况下拔制；起拔速度过大也容易拔断。

冷轧铁素体不锈钢管时，管料轧制时的变形量不能超过40~48%。在以后的轧制道次中（在表面准备和热处理以后），根据金属晶粒细化的程度、变形量可增大到55~65%。为了避免钢管在轧制时产生裂纹，应尽量缩短每个轧制周期开始时没有壁厚压下的减径过程。也就是说，孔型的形状必须考虑芯棒具有最大可

能的锥度。

轧制时，管子的温升对于轧制铁素体不锈钢管是有利的。因此，在多数情况下，轧制这类钢管时，不用乳化剂来冷却工具和金属。

马氏体铬不锈钢的特点是，含有较高的碳；随钢中含碳量的增加，钢的强度、硬度提高。这类钢可在空气中淬硬。生产冷拔1Cr13、2Cr13马氏体不锈钢管时，有的厂用 H_2SO_4 (15~18%) + NaCl (2.5~3%) 的溶液酸洗，采用牛油-石灰润滑。锤头加热温度1100~1130℃。管料在750~800℃，中间管和成品管在720~750℃进行退火。1Cr13的冷加工性能较好，2Cr13的冷加工性能较1Cr13为差，拔制这类钢管应尽量采用短芯棒拔制。空拔后容易纵裂，应及时烘烤或退火。

第四节 异形钢管的拔制

异形钢管包括横截面轮廓不是圆的、等壁或不等壁的以及纵向上变直径和变壁厚的钢管。

异形钢管在航空、汽车、造船、矿山机械、农业机械、建筑、轻纺以及锅炉制造等方面都有广泛的应用，以适应其钢管使用条件的特殊性，节约金属和提高零部件制造的劳动生产率。

生产异形钢管的方法有冷拔、冷轧、电焊、挤压、热轧等，其中冷拔法得到了较广泛的应用，特别在小批量生产的情况下更合适。和其他方法比较，冷拔法适应性大，可以生产断面对称和不对称的异形管，也可以生产变直径和螺旋形管等。工艺、设备和成型工具的准备都比较简单。

一、等壁异形钢管的拔制

1. 变形特点

拔制圆管是在保持原有形状的条件下，改变钢管的尺寸（外径或外径和壁厚），而拔制等壁异形管则主要是改变其断面形状。拔制时借模壁压力的作用，使钢管断面上各部分管壁按不同曲率产生塑性弯曲达到成型的目的，这是拔制等壁异形管时变形的基

本特点。由于这一特点，和空拔圆管比，其成型过程有以下不同之处：

1) 钢管的轴向延伸很小，实际上生产中也不计算延伸系数。为了获得形状合乎要求的异形管，主要靠控制成型前钢管的外周长 P_0 和成型后钢管的外周长 P 的比值 $\frac{P_0}{P}$ ，这个比值叫周长压缩系数 η 即

$$\eta = \frac{P_0}{P}$$

η 选取正确则成品角部充满良好，平面部分平直。若 η 选取过小，则角部充不满，使异形管各边相交处角的圆弧半径过大。若 η 选取过大则管子的平面部分会出现内凹缺陷。

2) 拔制时钢管断面的各部分产生不同程度的弯曲变形，曲率发生变化，成型时要防止曲率最大的部分因变形程度超过金属塑性允许的范围而出现裂纹。通常曲率最大的部分在钢管的尖角部分，这部分变形后硬度也最高。

3) 和圆管在无芯棒拔制时一样，用空拔拔制等壁异形管时，管壁由外模的入口槽道向定径带过渡时，会产生径向尺寸的拉缩现象（缩径）。而且同圆管空拔相比，等壁异形管空拔时的拉缩程度更大，特别是异形管的直线边易因此而内凹。

4) 成型时钢管进入变形区后，钢管横截面上各部分是逐渐地和外模模壁相接触的，因此，在变形区中，钢管与外模的接触面积比较小，在拔制过程中钢管的稳定性较差，拔制时会出现尾部摆动和造成钢管的弯曲，而对异形管更要防止钢管的弯曲，因为不好矫直。

上述特点在制定拔制工艺时需要加以注意。

2. 周长压缩系数的选择及圆管料尺寸的确定

如上所述，拔制等壁异形管时，周长压缩系数选取得正确与否，对成品质量有很大的影响。生产实践证明， η 值的大小取决于异形管的断面形状、管料壁厚与直径的比值 $\frac{S}{D}$ 、外模入口槽道

的形状以及拔制方法等一系列因素。

1) 异形管的断面形状对 η 值的影响

异形管的断面形状愈复杂，它和管料的形状差别愈大，则 η 一般应取得大一些，反之可取小一些。当由中间的过渡形状拔制成品时，由于二者形状比较相近， η 取小值。

对于不同形状的异形管，生产中常用的 η 值为：

椭圆和平椭圆	$\eta = 1.00 \sim 1.06$
方管 and 矩形管	$\eta = 1.06 \sim 1.14$
直角梯形管	$\eta = 1.08 \sim 1.10$
梭子管	$\eta = 1.05 \sim 1.06$

2) 管料的 $\frac{S}{D}$ 值对 η 的影响

根据生产经验，一般情况下，对于一定形状的等壁异形管， η 值的选取应随管料 $\frac{S}{D}$ 值的增加而加大。 $\frac{S}{D}$ 值大，而 η 过小，异形管的角部不易充满；反之，管料的 $\frac{S}{D}$ 值小， η 应取小值，特别当 $\frac{S}{D} < 0.05$ 时，由于拔制过程中钢管的稳定性较差，如 η 值过大，异形管的直线边容易产生内凹现象。

3) 外模入口槽道的几何形状对 η 的影响

一般若入口槽道的形状过于平坦，拔制时就会出现过充满而引起异形管直线边的平而凹下现象。若入口槽道的形状过陡，则拔制后异形管的角部就不易充满。在前一种情况下 η 应取得小一些，在后一种情况下 η 应取得大一些。

4) 拔制方法对 η 的影响。采用衬芯棒拔制时，由于内壁有内模的支撑作用， η 值对成品影响不大，可以选得大一些。空拔时 η 值要取得适当。

异形钢管的周长 P ，有如下两种求法，即：

1) 计算法。即按几何图形进行计算，一般用于求断面形状

较简单、较规则的钢管的外周长，如正方形的周长 $P_{\text{方}}$ 、矩形的周长 $P_{\text{矩}}$ 、平椭圆的周长 $P_{\text{平椭}}$ 、椭圆的周长 $P_{\text{椭}}$ 、三角形的周长 $P_{\text{三角}}$ 以及六角形的周长 $P_{\text{六角}}$ ，其计算公式如下，形状及符号见图19-3。

$$P_{\text{方}} = 4(A - 2R) + 2\pi R, \quad R \approx 1.5S;$$

$$P_{\text{矩}} = 2[(A + B) - 4R] + 2\pi R, \quad R \approx 1.5S;$$

$$P_{\text{平椭}} = 2(A - 2R) + 2\pi R, \quad R = \frac{B}{2},$$

$$P_{\text{椭}} = \pi \sqrt{2(a^2 + b^2) - \frac{(a-b)^2}{4}}, \quad a = \frac{A}{2}, \quad b = \frac{B}{2},$$

$$P_{\text{三角}} = (A - 2R) + (B - 2R) + (C - 2R) + 2\pi R, \\ R \approx 1.5S;$$

$$P_{\text{六角}} = 2\sqrt{3} B$$

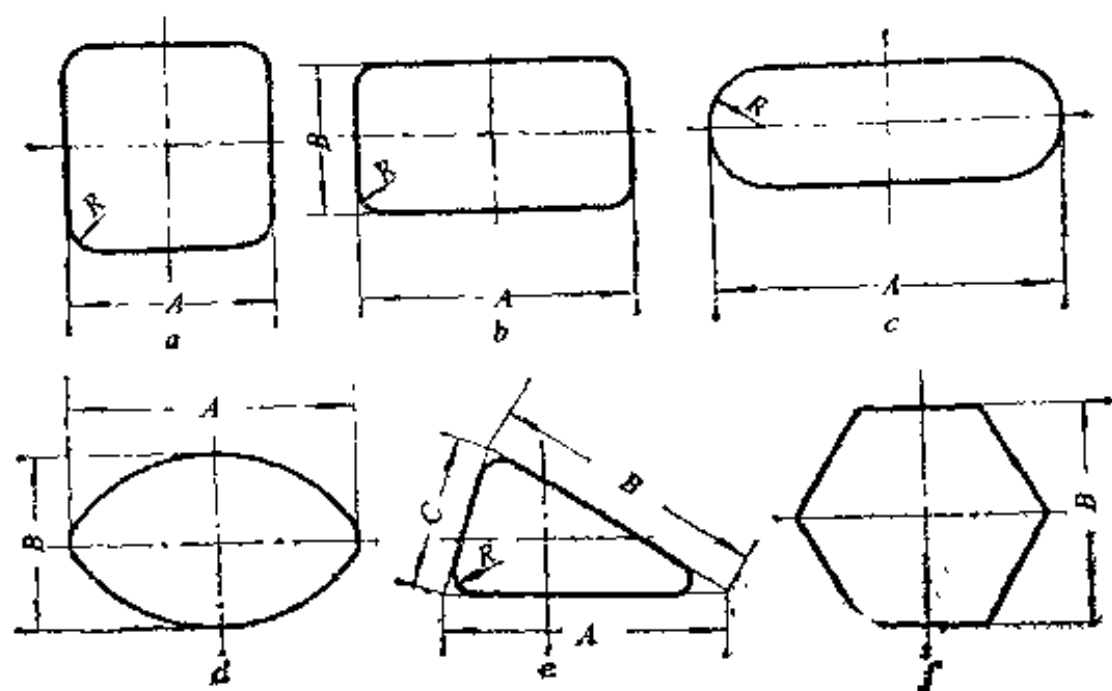


图 19-3 几种异形管的结构

a—方形；b—矩形；c—平椭圆；d—椭圆；e—三角形；f—六角形

2) 实测法。用来求形状较复杂的断面的周长。方法是先按标准规定的尺寸，将异形断面画于纸上（以1:1的比例），用细铜丝围绕其外形，然后展直铜丝求其长度。用这个方法误差不大。

表 19-19 拔制方形管管料的规格

方管尺寸, 毫米		钢 号	周长压缩系数 η	圆管料规格, 毫米		拔制方法
边 长 A	壁厚 S			直 径	壁 厚	
15	1	10,20	1.04	19	1	无芯棒
38	1	10,20	1.05	50	1	二次成型
20	1.5	10,20	1.07	26	1.5	无芯棒
30	1.5		1.07	39.5	1.5	
38	1.5		1.08	51	1.5	
32	2		1.05	41	2	
76	2		1.085	103	2	
30	3		1.118	40	3	
32	3		1.12	43	3	
38	3		1.107	51	3	
28.5	4		1.12	37	3	
32	4		1.12	42	4	
40	4		1.133	54	4	
42	4		1.115	56	4	
52	4		1.095	69	4	
60	4		1.107	81	4	
70	4		1.105	95	4	

根据异形断面之周长 P 及周长压缩系数 η , 在一道次成型的情况下, 圆管外径 D_0 按下式确定:

$$D_0 = \eta \frac{P}{\pi}$$

关于圆管料的厚度, 由于钢管在成型过程中主要是承受弯曲变形, 可以认为壁厚没有变化, 所以一般取等于异形管成品的壁厚或略小一些。

表19-19、19-20、19-21分别为拔制一些方形管、平椭圆管、椭圆管及三角形管(形状及符号见图19-3)时所用圆管料的规格。

3. 拔制方法和道次的确定

(1) 拔制方法

等壁异形管的拔制方法主要有无芯棒拔制和衬芯棒(短芯棒)拔制两种。

方形、矩形、三角形、椭圆形、滴形管以及一些单向曲率的等壁异形管,均可以采用无芯棒拔制的方法来生产。而对一些平面部分质量要求高的方形、矩形、梯形钢管以及断面有交变曲率的、亦即断面由突出部分和凹入部分组成的钢管,如十字形管、T形管、槽形管以及双孔形管等,则可用衬芯棒的拔制方法拔制。

采用无芯棒拔制虽然简单,但有时表面质量不高,出现钢管平面部分不平而形成一定程度的凹陷。此外,由于从圆管料拔制异形管的成型过程本身就是不均匀变形过程,因此外模成型区入口槽道的磨损也是不均匀的。这种磨损对异形管的质量有很大的

表 19-20 拔制平椭圆管管料的规格

平椭圆管尺寸,毫米			钢 号	周长压缩 系数 η	圆管料尺寸,毫米		拔制方法
长轴 A	短轴 B	壁厚 S			D_0	S_0	
17	3.5	0.4	10, 20	1.057	12.8	0.4	无芯棒
17.5	7	0.8		1.08	13.8	0.8	
25	5.7	1		1.057	19	1	
30	12	2		1.045	24.5	2	

影响,使用钢制外模时,往往在拔制10~20根管子后就需要重新修理。所以,除非用无芯棒拔制才能生产的异形管外,对直边形的等壁异形管,采用无芯棒拔制并不是一种先进的方法。如方形管采用衬芯棒拔制与无芯棒拔制比较有下列优点:

1) 外模成型区的槽道可以做成直线如图19-4,其纵剖面的形状和一般拔圆管的锥形外模基本相同,加工方便;

2) 采用衬芯棒拔制的质量高,平面部分一般没有肉眼可见的凹陷,管子也较平直。与此有关,管料周长压缩系数的选取范围比较宽;

3) 投产时不需要大量的试拔管;

表 19-21 拔制椭圆管管料的规格

椭圆管尺寸, 毫米			钢 号	周长压缩 系数 η	圆管料尺寸, 毫米		拔制方法
长轴 A	短轴 B	壁厚 S			D_0	S_0	
34	20	0.8	30CrMnSi	1.038	28.5	0.8	无芯棒
34	20	1.2		1.047	29	1.2	
34	20	1.6		1.047	29	1.6	
34	20	2		1.047	29	2	
30	20	3	10.20	1.063	27	3	无芯棒
105	58	6		1.023	86	6	

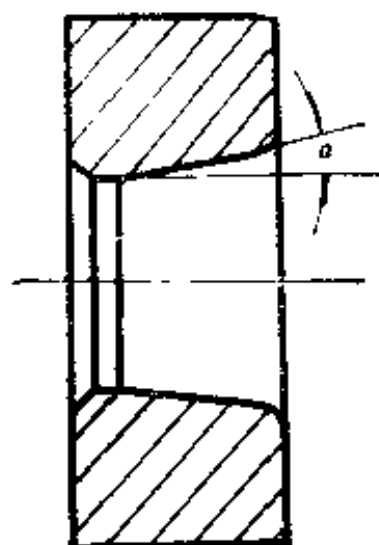


图 19-4 具有直线入口槽道的
异形外模

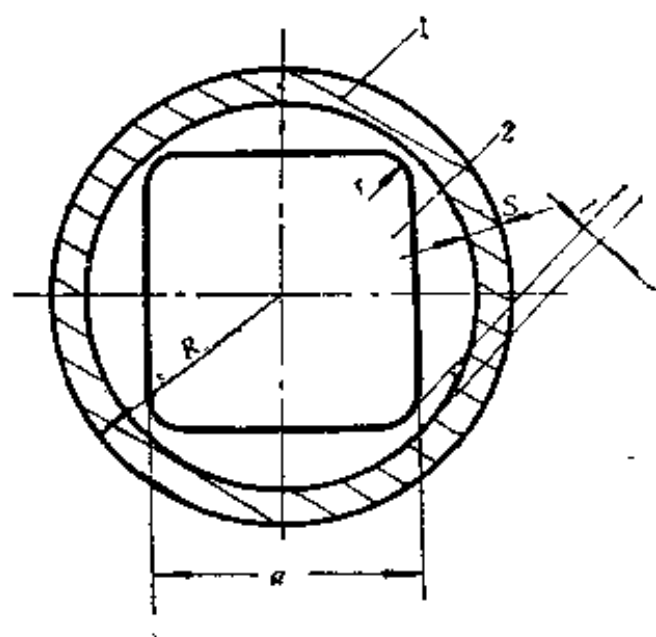


图 19-5 衬芯棒拔制方形管时芯棒
与管料尺寸的关系
1—管料; 2—芯棒

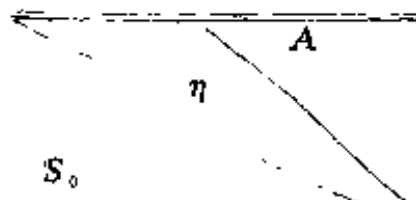
4) 可以延长模具的使用寿命。

在采用衬芯棒拔制时, 选取周长压缩系数要保证内模能插入圆管料中, 其值与异形管的形状和尺寸有一定的依赖关系。下面以方形管为例来推导这一关系。

如拔制边长为 A 、壁厚为 S 的方形管, 则如图19-5所示, 内模边长 $a = A - 2S$ 。

表 19-22 衬芯棒拔制方形管时 η 的最小计算值(单位: 毫米)

	A					
	10	20	30	40	50	60
1	1.285	1.20	1.17	1.157	1.148	1.143
2		1.20	1.169	1.155	1.146	1.14
3			1.173	1.158	1.148	1.142

	A					
	70	80	90	100	110	120
1	1.140	1.137	1.133	1.131	1.129	1.128
2	1.136	1.133	1.130	1.129	1.128	1.127
3	1.137	1.133	1.131	1.128	1.127	1.126

要使内模能顺利地插至钢管的头部, 圆管料内孔直径就应该比内模对角线的长度稍大一些, 设其间隙为 2 毫米, 忽略圆角半径 r , 则圆管料的外径 D_0 应为

$$D_0 = 2R_0$$

$$= 2\left(\frac{\sqrt{2}}{2}a + 1 + S\right)$$

这样, 成型前圆管料的外周长 P_0 为

$$P_0 = \pi D_0 = \pi \times 2\left(\frac{\sqrt{2}}{2}a + 1 + S\right)$$

而成型后方管的外周长 P 为

$$P = 4(A - 2r) + 2\pi r, \quad r = 1.5S$$

$$\therefore \eta = \frac{P_0}{P} = \frac{2\pi\left(\frac{\sqrt{2}}{2}a + 1 + S\right)}{4(A - 2r) + 2\pi r}$$

$$= \frac{2\pi \left[\frac{\sqrt{2}}{2}(A-2S) + 1 + S \right]}{4(A-3S) + 3\pi S}$$

为了保证内模能顺利地插入圆管料内，拔制方形管时， η 不能选得小于按上式计算的值。上式表明，该值与方形管的边长和壁厚有关，表19-22为某厂采用衬芯棒拔制方形管时最小周长压缩系数 η 的计算值，表中 A 为方形管的边长， S_0 为圆管料的壁厚。

(2) 成型道次

等壁异形管的成型道次主要决定于成型前后断面上各部分径向位移值的大小。在外模厚度一定的情况下，在一个道次中径向位移值大则必须增加模头入口区的锥度，但入口锥的锥角过大，钢管在拔制过程中容易丧失稳定性。为了减少入口区的锥角，可增加外模的厚度，但外模的厚度过大造成加工困难。因此，等壁异形管成型时，断面上各部分中最大的径向位移值，每一道要控制在一定范围内。若径向位移值超过了最大的允许值，则要通过异形模拔制两次，这两道都可以是无芯棒拔制，或第二道进行衬芯棒拔制。

4. 模具设计

拔制异形管时模具设计起着很重要的作用，只有合理地设计模具，才能使圆管合理地成型。对模具设计的具体要求是：1) 保证产品几何形状符合要求；2) 能量消耗少；3) 钢管内外表面质量好；4) 模具有足够的强度和耐磨性。

(1) 无芯棒拔制用异形外模设计的

定径带 ∇ 和拔制圆管一样，定径带（图19-6）主要起定径作用以保证异形管尺寸精确，并兼有一定的矫直作用，使异形管平直地出模。所以定径带孔型形状和长度的选择是很重要的。对成品模，定径带孔型的形状应严格按照成品的几何形状和尺寸来设计和加工。

定径带愈长，拔制时对管子的定径和矫直作用愈好，并且可

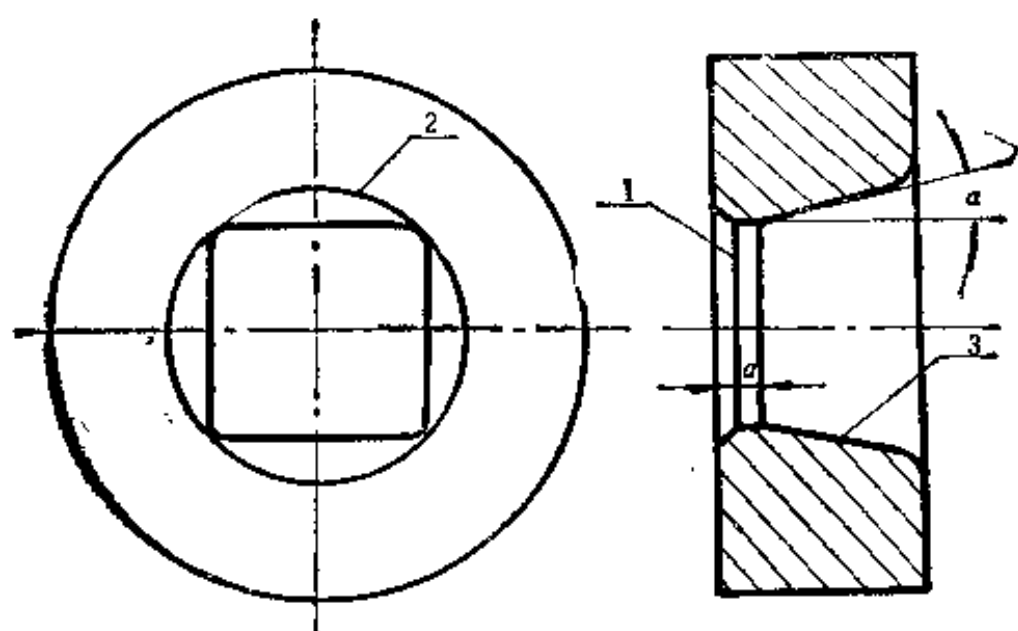


图 19-6 异形外模

1—定径带；2—入口孔；3—入口槽道

以延长拔管模的使用寿命。因为当入口锥与定径带之间的过渡部分磨损后，拔管模可借缩短定径带来修复。但定径带过长，拔制力加大，钢管表面易产生抽丝和划道。定径带长度 a 的范围为3~10毫米，一般取6~8毫米，对厚壁管取长一些。

入口孔和入口槽道 异形模的入口孔和入口槽道的形状（图19-6），决定了拔制时钢管的成型过程，因而影响拔制后钢管的质量。设计入口孔和入口槽道的形状，应保证变形均匀、平稳、拔制后异形管的形状正确、尺寸精度高。

入口孔的形状可分两类：

第一类为圆孔形，即入口孔的形状与圆管料原始形状相同或相似。用圆孔形的入口孔时，在变形区中钢管与模壁的接触面积大，拔制过程比较稳定，拔后钢管比较直，也可延长外模的使用寿命。但这种模具机械加工困难，一般只用于断面形状比较简单的异形管如方形、矩形、椭圆形、六角形管等如图19-7。

第二类为相似异形孔，即成品形状的相似放大，如图19-8。用相似异形孔作为入口孔的形状，外模的加工比较容易，所以应用较多，特别是用于拔制断面较复杂的异形管以及在衬芯棒拔制的

情况下。

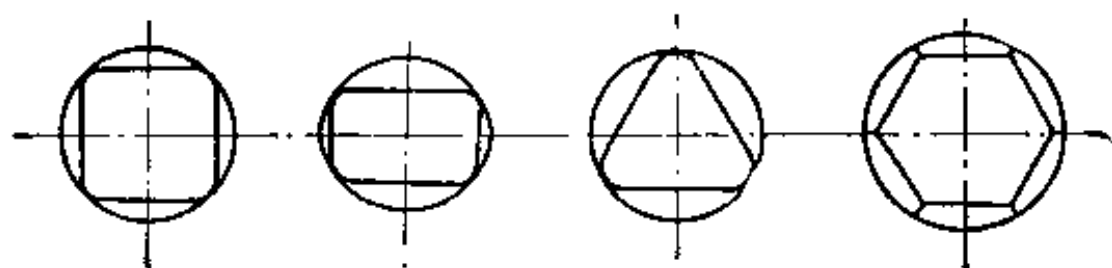


图 19-7 圆孔形入口孔的示意图

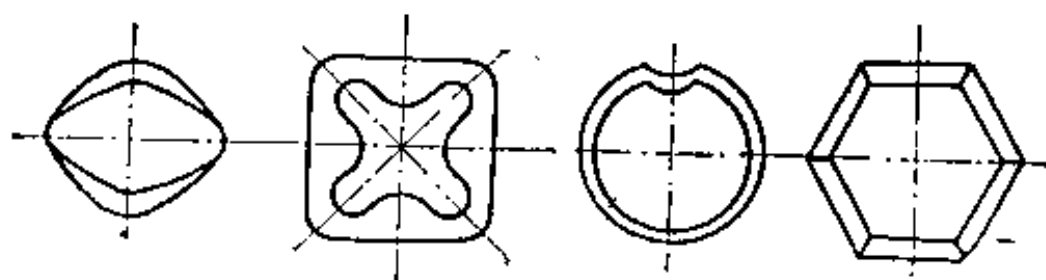


图 19-8 相似异形入口孔的示意图

自左至右：菱形管，十字形管，槽形管，衬芯棒拔制六角形管

入口孔最大的径向尺寸必须大于或等于所拔制异形管的最大边长或对角线的尺寸，而入口孔的最小径向尺寸则应大于管料的外径。但后者也可有例外，如拔制径向变形量很大的矩形或平椭圆管时，拔管模入口孔相当于短轴方向的弧线间的距离，可设计等于或小于管料外径 5~10%，这样可减少外模入口区最大倾角的角度，使拔制过程比较稳定。如拔制 $25 \times 5.7 \times 1$ 毫米的平椭圆管，选用 $\phi 19 \times 1$ 毫米的圆管料，而入口孔设计为 28×15 毫米的椭圆孔。这样做是可能的，因拔制开始时，钢管的锤头部分有个过渡区，而在稳定拔制过程中，由于钢管是在未进入入口孔前已开始变形，因此不致因入口孔狭窄而刮伤钢管的表面。

入口槽道的形状也可分为两种：

一种为直线型，即外模的入口孔按直线向定径带过渡如图 19-9，类似于拔圆管所用锥形模的入口锥。用入口槽道为直线的外模空拔异形管，和用锥形外模空拔圆管时一样，钢管的径向尺寸会有一定程度的拉缩，而且比拔制圆管时更严重，这是这种槽

道形状的缺点，针对这个缺点，设计时应考虑：

首先，不使入口槽道的倾角 α 过大，因为 α 愈大拉缩现象愈严重，同时 α 大变形区短，钢管在拔制过程中也不稳定。

对于异形模，在不同部位，入口槽道的倾角 α 也不同（如图19-9），其中的最大值对钢模一般应为 $8^{\circ} \sim 12^{\circ}$ ，不宜超过 15° 。当然 α 角也不能太小，否则外模厚度太大。

其次，当增加倾角 α 受到限制、又不能使模子厚度太大时，也可将入口区设计成两段：第一段取较大的倾角，第二段即与定径带相接之过渡段，取合乎变形要求的较小的倾角。

另外，在空拔具直线边的异形管时为了使成品的平面部分不出现凹陷，可在入口槽道过渡至定径带的部位锉成像舌瓣形的凹面（图19-10），亦即把入口孔圆弧最凹处的槽道加工得长一些，两侧的槽道相应加工得短一些，这样入口槽道和定径带相吻接的部位，就有一“舌瓣”状的加工痕迹。

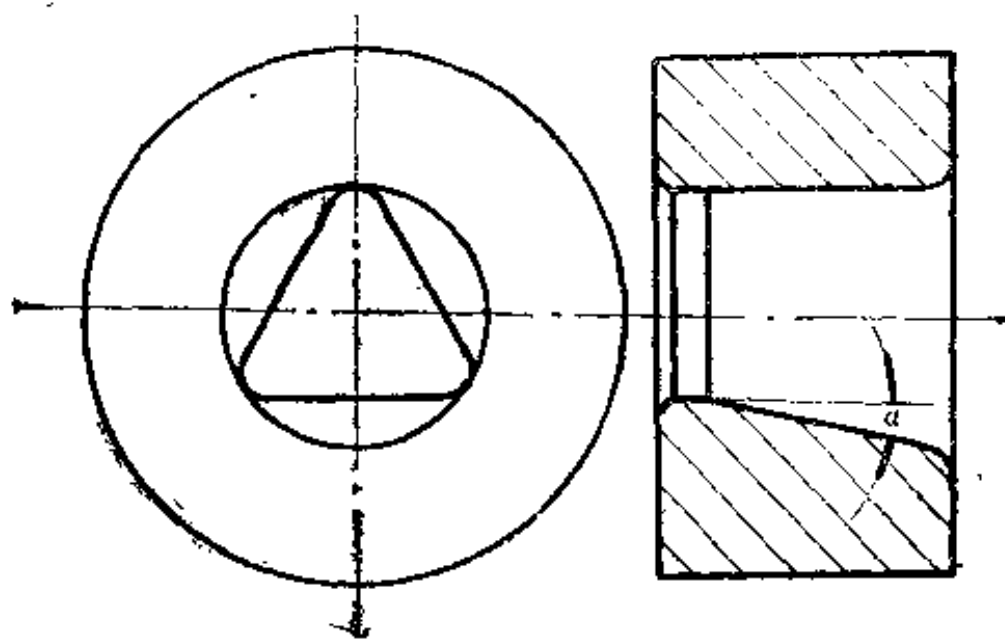


图 19-9 不同部位入口槽道的倾角

由于“舌瓣”的存在，拔制时，异形管直线边的平面由入口槽道向定径带过渡的过程比较缓和，从而能防止在成品的平面上造成凹陷。

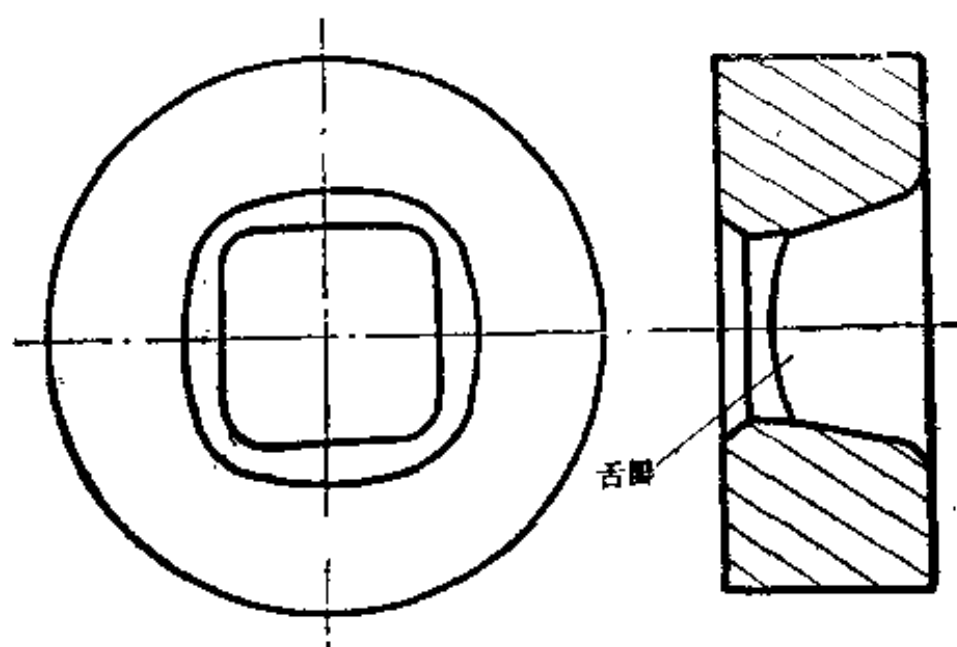


图 19-10 入口槽道过渡到定径带的“舌瓣”

直线型入口槽道的优点是加工比较方便。

另一种为弧线型，即入口孔按弧线向定径带过渡。采用这种形状的入口槽道，拔制时钢管尺寸的拉缩较小。此外，在模具厚度相同的情况下拔制同样的钢管时，变形区比用直线型入口槽道的长，因而拔制过程稳定，拔制后钢管较直。由于有上述优点，目前多采用弧线型入口槽道。它的主要缺点是加工比较困难。

入口槽道弧线的形状，一般由经验决定。

出口锥 出口锥是为了保证钢管由定径带平稳地出口，其长度一般为3~10毫米。异形管的断面愈复杂，其值应大一些。出口锥角可取 45° ~ 60° 。

目前拔管模多用手工开凿。开凿前，在入、出口两端，应将模孔中心对准异形管的断面重心，以防拔制时钢管发生弯曲。然后按入口孔及成品断面形状先加工好两端，再按入口槽道的孔型设计加工修磨。过渡处力求圆滑，无凸点。一般在拔管模加工完后先进行试拔，根据拔制后模壁上面的印迹及试拔管的质量作进一步的修磨。试拔合格后再将模具进行热处理和交付使用。

(2) 衬芯棒拔制用异形内外模的设计

衬芯棒拔制用异形外模的设计较无芯棒拔制用的简单。为了

加工方便，其入口孔的形状均采用相似形。入口槽道则加工成直线，在接近定径带处用弧线过渡，这样可以减小作用在内模上的力，延长内模的使用寿命。倾角 α 一般也选得比空拔模大一些。

衬芯棒拔制等壁异形管时，芯棒的作用主要是支撑钢管的内壁，以防止断面由圆到异形的过渡中管壁向内凹陷。所以在设计异形内模时，不应让内模使钢管产生延伸，否则容易产生划道和壁厚不均等缺陷。

5. 等壁异形管拔管模的设计实例

(1) 设计下列尺寸的双侧翼形管异形模 (图19-11)

$A=51$ 毫米； $D=17$ 毫米；壁厚 $S=2$ 毫米； $r \approx 2S=4$ 毫米。

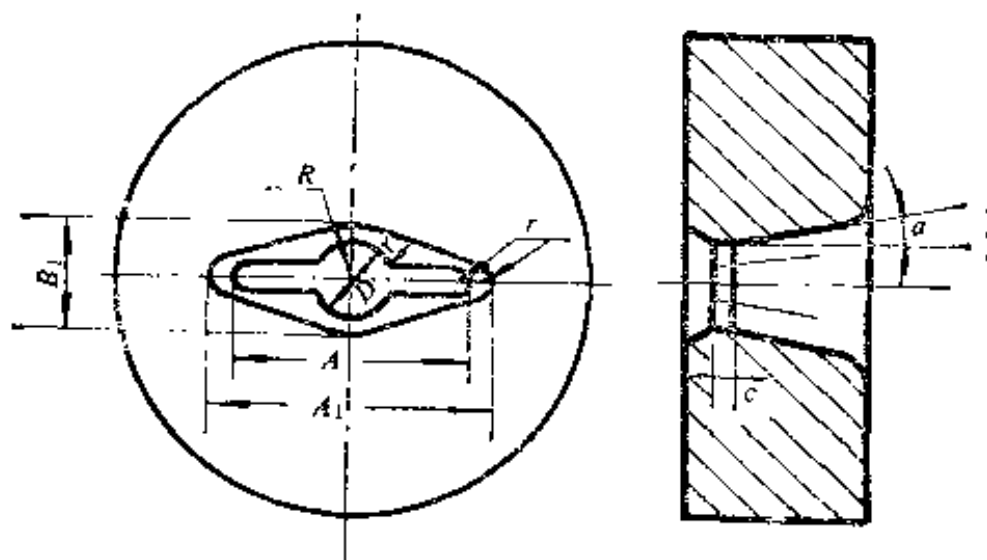


图 19-11 双侧翼形管成品外模的结构

双侧翼形管具有对称于其轴的、且有不同曲率方向的复杂断面形状，因此采用两道次成形。成品道次采用短芯棒拔制，以保证内外形状准确。中间道次采用空拔，取菱形为其断面形状。

成品外模设计 根据给定的尺寸，成品断面之周长 $P_{成}$ 为：

$$P_{成} = 2A + 2\pi r + \pi D - (2D + 8r) = 114.5 \text{毫米}$$

中间菱形的周长 $P_{菱}$ 为

$$\begin{aligned} P_{菱} &= \eta_2 P_{成} \\ &= (1.005 \sim 1.01) P_{成} = 116 \text{毫米} \end{aligned}$$

式中 η_2 ——成品道次的周长压缩系数，由菱形拔制双侧翼成品管时该系数取较小的值。

成品模的入口孔做成与钢管中间断面相同的形状即菱形。入口菱形孔短轴 B_1 取比成品断面圆柱部分的直径大2毫米，使芯棒能顺利地插入钢管。菱形的长轴 A_1 按下式计算：

$$A_1 = \sqrt{\left(\frac{\eta_2 P_{\text{成}} - 2\pi r}{2}\right)^2 - (D + 2 - 2r)^2} + 2r + 0.01 P_{\text{成}}$$

将有关数值代入得

$$B_1 = 17 + 2 = 19 \text{ 毫米,}$$

$$A_1 = 53.14 \text{ 毫米}$$

关于成品入口孔连接菱形边的圆弧半径，菱形钝角处的圆弧半径 R 取等于短轴 B_1 之半；锐角处的圆弧半径取等于成品断面筋条的圆角半径 r 。

取孔型定径带的长度为4毫米，入口锥角 $\alpha = 2^\circ$ ，外模的厚度为53毫米。

成品外模的具体尺寸见图19-12

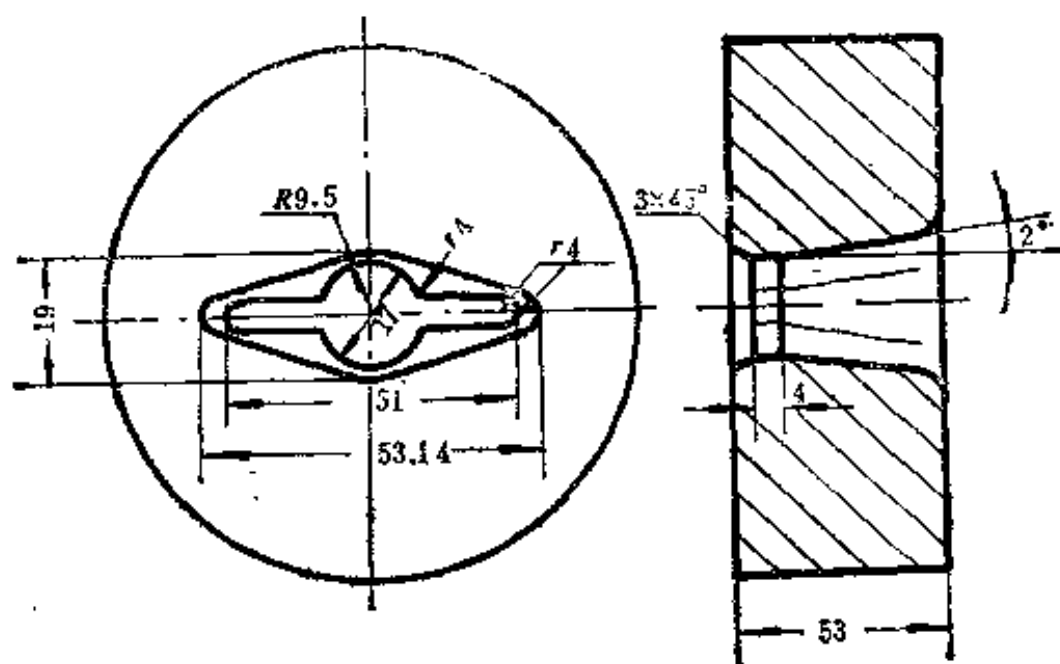


图 19-12 双侧翼异形管成品外模的尺寸

成品内模设计 成品道次所用内模之形状应与成品管内表面之形状相同，即作成带有双侧翼的圆柱体，但侧翼的宽度不必等于成品筋条的宽度，一般两侧翼宽为成品筋宽的35~50%。芯棒圆柱部分的直径或侧翼的厚度，可根据成品内表面尺寸来决定，

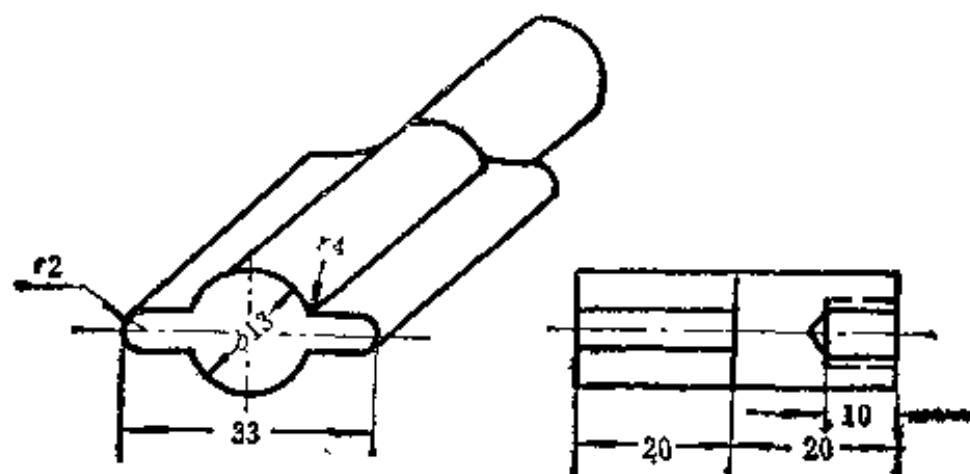


图 19-13 双侧翼形管成品内模的尺寸

要注意不能让芯棒起延伸钢管的作用，所以在空拔时应严格控制钢管的壁厚。成品内模的尺寸见图19-13。

中间拔管模的孔型设计 中间拔管模定径带的模孔作成菱形，入口孔的形状作成椭圆形如图19-14。

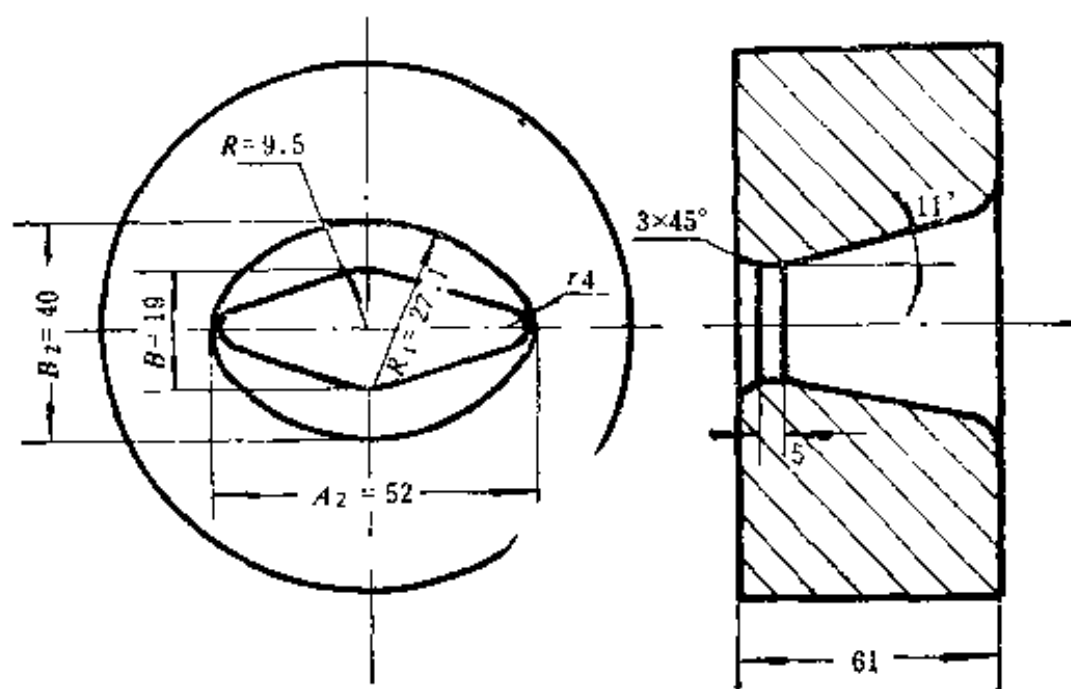


图 19-14 中间拔管模

定径带菱形孔的短轴 B 等于成品外模入口孔的短轴 B_1 ，即 $B = B_1 = 19$ 毫米，其长轴比成品外模入口孔的长轴小一个 $0.01P_{\text{成}}$ 的值，即

$$A_2 = A_1 - 0.01P_{\text{成}}$$

$$= 53.14 - 0.01 \times 114.5 = 52$$

菱形钝角处的圆弧半径等于短轴 B 的一半即 $R = \frac{B}{2} = 9.5$ 毫米, 在

锐角处的圆弧半径等于成品断面筋条的圆角半径 $r = 4$ 毫米。

入口孔椭圆的长轴取等于定径带菱形孔的长轴。为了确定短轴, 必须先确定管料的直径, 一般短轴比管料直径略大或相等, 也可取短轴比管料直径小 $5 \sim 8\%$, 以使外模入口锥有最小的入口锥角。管料直径 $D_{\#}$ 为

$$\begin{aligned} D_{\#} &= \frac{\eta_1 P_{\#}}{\pi} = \frac{(1.03 \sim 1.06)}{\pi} P_{\#} \\ &= \frac{1.05 \times 116}{\pi} = 40 \text{ 毫米} \end{aligned}$$

取短轴 $B_2 = D_{\#} = 40$ 毫米。

椭圆小弧半径 r 等于或略大于菱形侧棱的圆角半径, 但最大不超过 20% , 取 $r = 4$ 毫米。

椭圆大弧半径 R_1 可根据 A_2 、 B_2 、 r 值按下列公式计算:

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{\left(\frac{A_2}{2}\right)^2 + \left(\frac{B_2}{2}\right)^2 - 2r\frac{A_2}{2}}{2\left(\frac{B_2}{2} - r\right)} \\ &= \frac{26^2 + 20^2 - 2 \times 4 \times 26}{2(20 - 4)} \\ &= 27.1 \text{ 毫米} \end{aligned}$$

为了避免拔制过程中在断面侧棱上产生很大的拉缩现象, 入口锥的锥角不应超过 11° 。取孔型定径带的宽度为 5 毫米。中间模的具体尺寸见图 19-14。

二、不等壁异形钢管的拔制

不等壁异形管即指沿钢管周长壁厚不同的异形管, 包括外圆内异的异形管、内圆外异的异形管、齿片管以及内外异形的异形

管。

这类钢管主要用作机械加工的毛坯及作为特殊用途管，过去认为只能用挤压法生产，现在有些也可用冷拔法生产，并以短芯棒拔制应用最多。

1. 变形特点

由于这类钢管沿断面的周长壁厚不同，形状的这种性质决定了在拔制时钢管各部分的减壁量不可能相等，这样在拔制过程中有比较大的不均匀变形，这是拔制这类钢管变形的主要特点。

由于变形时钢管断面上各部分减壁程度不一样，变形量大的那一部分金属变形过程中会强迫变形量小的另一部分金属变形，出现管壁的拉缩现象，即变形量小的部分的管壁会被拉薄。如拔制内圆外六角管时，直边部分变形量较大，角部变形量较小，拔制时角部的管壁就会被拉薄，拉缩量很大时，在成品上对应于角部的内表面会有内槽出现，如图19-15。

拔制其他产品时也会出现凹槽现象，这都和由于不均匀变形而产生的壁厚拉缩有关。

2. 不等壁异形管的拔制工艺

(1) 管料规格及拔制道次的确定

管料壁厚 S_0 的确定

$$S_0 = S_{\text{最大}} + \xi + (0.1 \sim 0.5) \text{ 毫米}$$

式中 $S_{\text{最大}}$ ——成品断面上最厚部分的壁厚；

ξ ——从管料到成品在拔制过程中管壁最大处壁厚总的拉缩量，根据经验 $\xi = 0.5 \sim 3$ 毫米；

$0.1 \sim 0.5$ 毫米——为了使成品断面壁厚最大处在拔制过程中能得到加工，以提高其力学性能和表面质量而加大的量，此外也可弥补在 ξ 值选取过小时不致使钢管局部过薄而报废。

异形模拔制道次的确定 总的最大减壁量 $\Delta S_{\text{总}}$ 为

$$\Delta S_{\text{总}} = S_0 - S_{\text{最小}}$$

式中 $S_{\text{最小}}$ ——成品断面上最小的壁厚。

$$\text{拔制道次 } n = \frac{\Delta S_{\text{总}}}{\Delta S_{\text{平均}}}$$

式中 $\Delta S_{\text{平均}}$ ——平均减壁量，一般 $\Delta S_{\text{平均}} = 0.5 \sim 1.5$ 毫米，它和钢种、设备能力、产品尺寸和形状等因素有关。

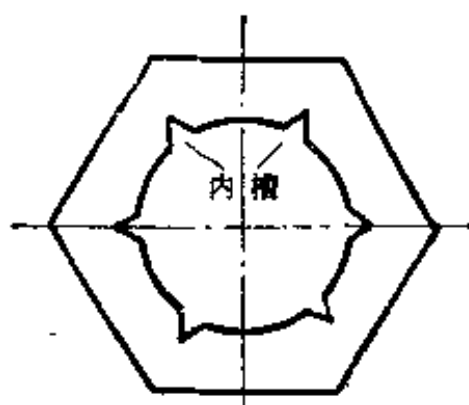


图 19-15 拔制内圆外六角管时的“内槽”现象

管料内径 d_0 的确定

$$d_0 = d_{\text{最大}} + n\Delta$$

式中 $d_{\text{最大}}$ ——成品内孔几何图形的外接圆的直径；

n ——拔制道次；

Δ ——考虑在拔制前芯棒容易插入钢管而留的间隙， Δ 一般为 $0.5 \sim 2$ 毫米。

管料外径 D_0 的确定

$$D_0 = d_0 + 2S_0$$

(2) 变形量的分配

不等壁管在拔制时要求减径量小、减壁量大，这样一方面有利于钢管的成型，另一方面可以减少用异形模的拔制道次。

减壁量的分配 由于断面上各部分减壁量不同，首先分配减壁最大的。分配减壁量时注意使各部分形状过渡缓和，防止拉缩和凹槽现象的出现。

$$\Delta S_{\text{总}} = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \cdots + \Delta S_n$$

式中 ΔS_1 、 ΔS_2 、 $\Delta S_3 \cdots \Delta S_n$ 分别为由管料到成品的各道次在成品断面壁厚最小处的减壁量。

一般减壁量从开始道次到成品道次逐渐减少，这样有利于成

型和减少拉缩及凹槽现象。

减径量的分配 从管料到成品总的最大减径量 $\Delta D_{\text{总}}$ 为

$$\Delta D_{\text{总}} = 2\Delta S_{\text{总}} + n\Delta$$

各道的减径量 ΔD 为

$$\Delta D = 2\Delta S + \Delta$$

式中 ΔS ——该道的减壁量；

Δ ——为了使拔制前芯棒容易插入钢管，芯棒与钢管内径间的间隙。

(3) 模具

根据拔制异形管的特点，设计模具时应注意有合理的形状过渡，避免应力集中以提高模具强度及减少不均匀磨损。

和拔制一般圆管一样，模具弧形外模和锥形芯棒以及锥形外模和柱形芯棒两种组合。前者一般用在拔制外圆内异形钢管，因其变形主要在内壁，这样有利于内壁的成型。后者一般用来拔制内圆外异形管，以利于外壁的成型。

为了防止应力集中而降低模具强度，设计模具时希望不要存在尖角和过小的圆角。因此从管料到成品，其间所用模孔的角部应采用圆弧过渡如图19-16，让管料逐渐达到成品要求的角部形状，这样既保证了产品的要求，又可提高模具的使用寿命。

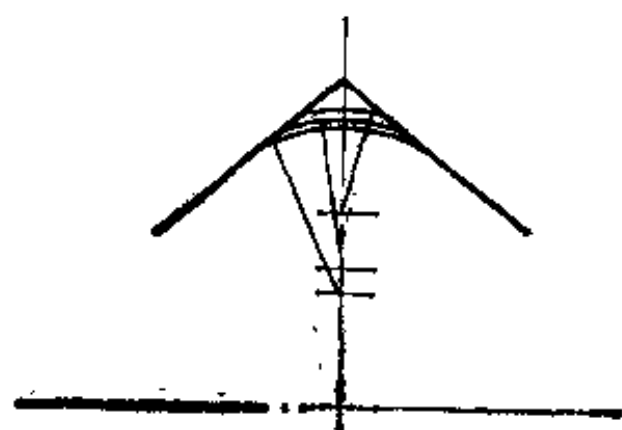


图 19-16 外模尖角部圆弧过渡示意图

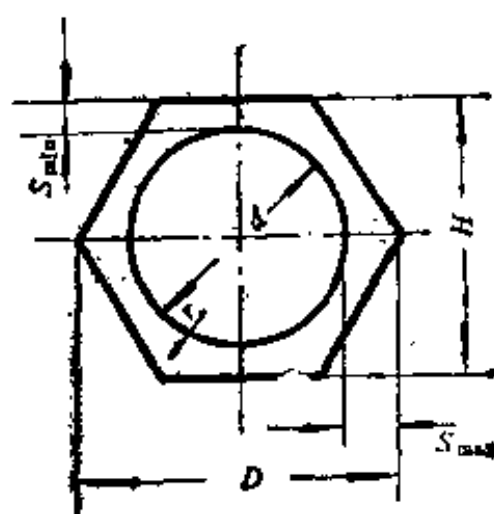


图 19-17 内圆外六角管

3. 不等壁异形管拔制工艺举例

制定成品规格为56 (H) × ϕ 43.5 (d) 毫米内圆外六角管 (如图19-17) 的冷拔工艺。钢管的材料为45号钢, 在200千牛冷拔机上拔制。

(1) 管料规格和变形道次的确定

$$S_{\text{最大}} = \frac{D-d}{2} - 0.15r = 10 \text{ 毫米}; \quad r = 3 \text{ 毫米};$$

$$S_0 = S_{\text{最大}} + \xi + (0.1 \sim 0.5) = 11 \text{ 毫米};$$

$$\Delta S_{\text{总}} = S_0 - S_{\text{最小}} = S_0 - \frac{H-d}{2} = 11 - 6.25 = 4.75 \text{ 毫米}$$

由于产品断面较大和考虑设备能力, 取 $\Delta S_{\text{平均}} = 0.6$ 毫米,

$$\text{则} \quad n = \frac{\Delta S_{\text{总}}}{\Delta S_{\text{平均}}} = 8 \text{ 道};$$

$d_0 = d_{\text{最大}} + n\Delta = 43.5 + 10.5 = 54 \text{ 毫米}$, 平均取 $\Delta = 1.3$ 毫米,

$$D_0 = d_0 + 2S_0 = 54 + 2 \times 11 = 76 \text{ 毫米}$$

根据以上计算, 管料规格为 $\phi 76 \times 11$ 毫米, 共拔8道次。

(2) 变形量分配

道次	1	2	3	4	5	6	7	8
ΔS	1	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.25
Δ	1	2	1	1	1	1	2	1.5
ΔD	3	3	3	2	2	2	3	2

(3) 各道钢管尺寸的计算及工艺表的编制

第一道的尺寸 $H_1 = H_0 - \Delta D_1 = 76 - 3 = 73 \text{ 毫米};$

$$S_1 = S_0 - \Delta S_1 = 11 - 1 = 10 \text{ 毫米};$$

$$d_1 = H_1 - 2\Delta S_1 = 73 - 2 \times 10 = 53 \text{ 毫米}$$

其他各道按同样方法计算, 计算结果列于工艺表中, 见表19-23。

(4) 模具尺寸的确定

模具断面的主要尺寸由工艺表得到, 其结构尺寸如表19-24,

符号见图19-18。

表 19-23 56(H)×φ43.5(d)毫米内圆外六角管拔制表(单位: 毫米)

道次	断面尺寸			中间工序
	H	d	S	
0	76	54	11	打头, 退火, 酸洗, 磷化, 皂化
1	73	53	10	连拔
2	70	51	9.5	退火, 酸洗, 磷化, 皂化
3	67	50	8.5	连拔
4	65	49	8.0	退火, 酸洗, 磷化, 皂化
5	63	48	7.5	连拔
6	61	47	7	退火, 酸洗, 磷化, 皂化
7	58	45	6.5	连拔
8	56	43.5	6.25	退火

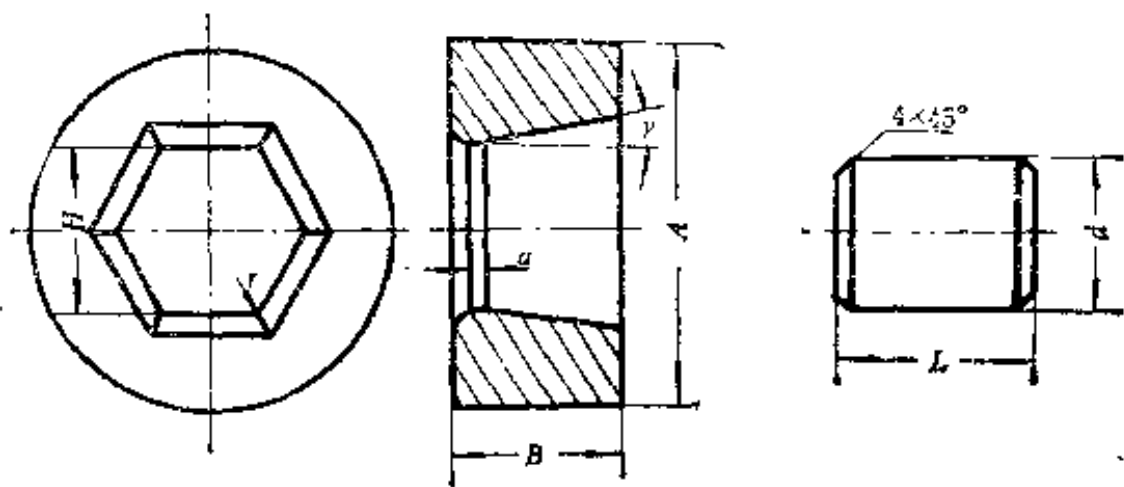


图 19-18 拔制内圆外六角管的内外模

三、用滚动模拔制异形管^[36]

为了提高生产效率、降低电耗以及增加模具使用寿命, 目前的异形管已改用滚动模代替固定模进行拔制。滚动模由一组可自由转动的辊子构成模孔。

滚动模一般有二辊式和四辊式两种。二辊式结构简单, 但调整不便, 孔型加工不易保证, 且在拔制不对称异形管时轴向力不好克服。四辊式结构较复杂, 但调整方便, 孔型好加工, 轴向力容易克服。因此, 一般都采用四辊式结构。图19-19为一种四辊式滚动模。为了便于加工、装配和调整, 采用板墙式模架, 用螺

表 19-24 拔制 $56(H) \times 43.5(d)$ 毫米内圆外六角管的模具尺寸

模 具	模子参数	道 次							
		1	2	3	4	5	6	7	8
外 模	H , 毫米	73	70	67	65	63	61	58	56
	a , 毫米	6~8	6~8	6~8	6~8	6~8	6~8	6~8	6~8
	α , 度	12~13	12~13	12~13	12~13	12~13	12~13	12~13	12~13
	A , 毫米	150	150	150	150	150	150	150	150
	B , 毫米	40~50	40~50	40~50	40~50	40~50	40~50	40~50	40~50
内 模	L , 毫米	50	50	50	50	50	50	50	50
	d , 毫米	53	51	50	49	48	47	45	43.5

栓连接紧固，并与拉拔机的模板尺寸相对应。选用螺旋副与斜面共同作用的调整方法，利用螺旋副的作用自动平衡作用力。调整过程分垫铁补偿调整和精确调整。直接用滚针轴承的外圈作辊子，辊轴做轴承的内圈。

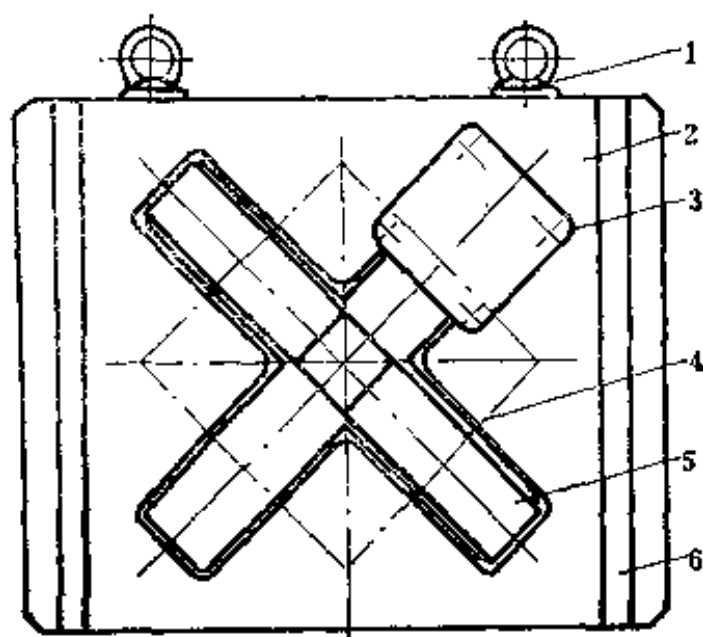


图 19-19 四辊式滚动模示意图

1—起重螺钉；2—前夹板；3—护板；4—辊轴；5—辊子；6—模架

用滚动模拔制异形管，其质量除与管料的尺寸和椭圆度、锤头形状、模具孔型和表面光洁度以及拔制速度等有关外，还与轴

承间隙的变化、轴向窜动等有关。特别要注意辊径的合理选择。辊径较大时，辊子和辊轴的强度、刚性高，则使用寿命长；拔制时不容易出现管子断面失稳现象；但要增加锤头的长度和模具的尺寸。辊径较小时，可以减少锤头的长度，但是辊子和辊轴的强度和刚性降低，特别是拔制时会出现管子断面的失稳现象。

如图19-20所示，当辊子与管料接触时，首先是最大直径处的管壁在辊子压力的作用下向中心方向变形。随着管料不断进入变形区，接触范围逐渐扩大，但接触点 a 、 b 分别向辊子工作面的左右两边移动，管料顶点发生内凹。当辊径过小时，容易出现因内凹超过了一定程度不能由回弹而恢复的情况，即产生断面失稳现象，致使拔制后的钢管边部不平直（图19-21）。

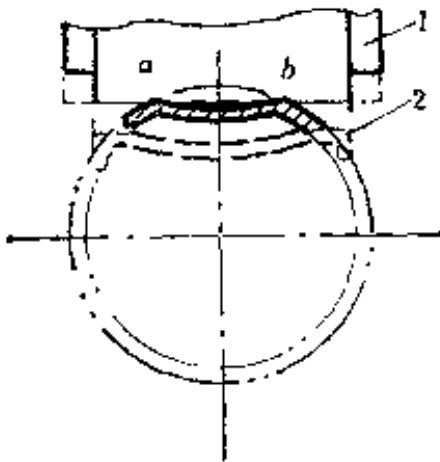


图 19-20 滚模拔制时管壁的变形过程

1—辊子；2—管料

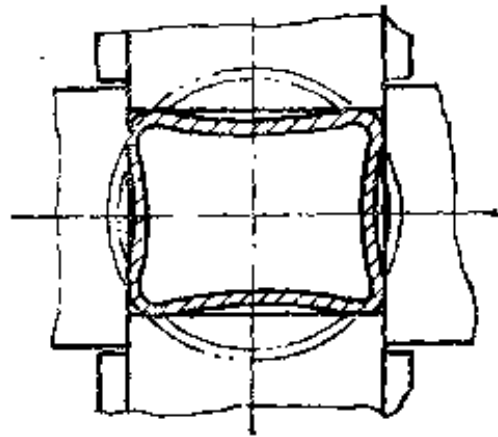


图 19-21 断面失稳现象

有的厂在拔制断面大于 50×50 毫米的异形管时，辊径取 $\phi 150 \sim 175$ 毫米；拔制断面小于 50×50 毫米时，辊径取 $\phi 120 \sim 145$ 毫米。

已有的实践表明，用滚动模拔制一些方形和长方形管时，尺寸可以达到高级精度的要求，并具有以下一些优点：

1) 共用性好，在使用同一模架的情况下，通过调整辊子的位置或更换辊子尺寸，可以生产几种规格的产品，而且能在现场进行调整，操作简便、可靠。

2) 可提高产品表面质量。由于辊子工作带经过磨削、抛光

加工，表面光洁度高，同时，因为是滚动摩擦、摩擦阻力小，因此可减少拔制过程中模具的粘铁及烧坏现象，产品也不容易产生划痕、直道等缺陷。

3) 可提高拔制速度，减轻电动机负荷，降低电耗，减少拔管机零部件的磨损。滚动模可一次拔成边长为10:4的异形管，这有助于减少拉拔道次和中间工序。

4) 延长了模具的使用寿命。因为是滚动摩擦，辊子的磨损小，同时，由于辊子的工作面较长而且处于间断工作状态，有利于散热降低辊温，这些都可延长模具的使用寿命。

另外，由于滚动模调整方便，采用标准棒预调孔型，然后进行1~2次拉管调整，一般即能达到要求。而用固定模时，则在淬火前必须进行试拉、修磨，费工费时，所以使用滚动模还可以节省试模材料及工时。

5) 可减少异形管的头尾扭转。

用滚动模拔制异形管，其扭转现象明显轻于用固定模拔制。即使在锤头严重不对称或来料本身有严重的扭转缺陷时，拔制时一般也只在前端有局部的轻微扭转。

但是采用滚动模拔制时，如何防止管子断面失稳，保证产品几何尺寸精度特别是表面的凹凸度及圆角等，依然仍是有待进一步深入研究的课题。

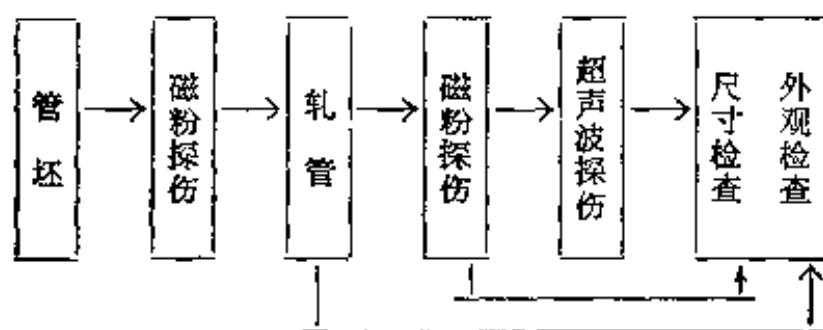
第二十章 钢管的无损探伤^(37, 38)

无损探伤是在不损害被检对象的前提下, 探测其内部或外表缺陷的现代化检验技术, 近年来已被广泛应用于钢管生产中。用于无缝钢管生产中的无损探伤方法主要有超声波探伤、磁力探伤、涡流探伤以及渗透探伤等。各种探伤方法都有其一定的使用范围。随着对钢管质量要求的不断提高, 有时需同时使用几种方法进行探伤, 以对检验结果进行综合的分析、判断。

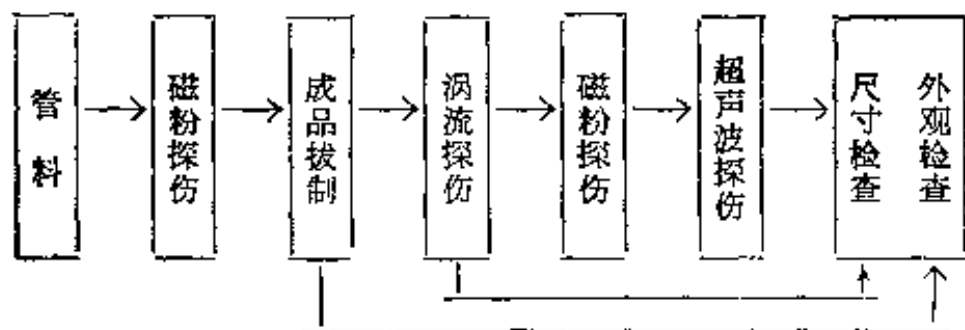
几种主要探伤方法的特点及比较见表20-1。

无损探伤在无缝钢管生产中的应用举例如下:

1) 热轧无缝钢管生产



2) 碳钢、合金钢管的冷加工



3) 不锈钢管的冷加工

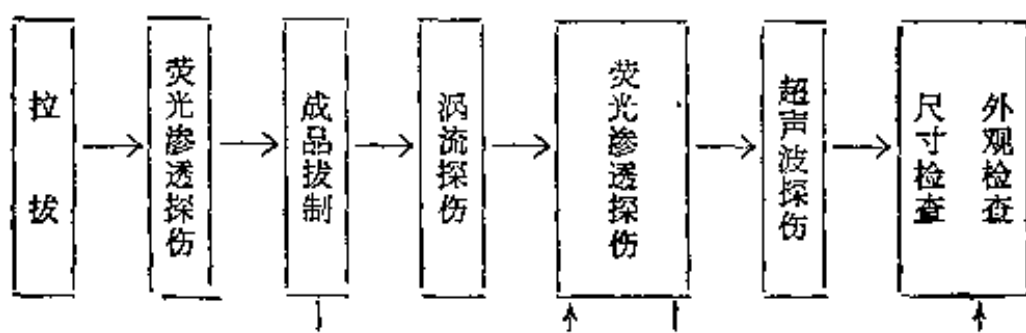


表 20-1 铜管无损探伤方法的比较

项 目	超声波法	涡 流 法	磁 力 法		渗 透 法
			磁 粉	漏 磁	
基本原理	缺陷对超声波的反射和吸收	缺陷处涡电流的变化引起感应磁场的变化	表面缺陷产生的漏磁对磁粉的吸引	表面缺陷产生的漏磁的直接检测	显示液对表面裂纹渗透
探伤部位	表面, 内部	表面, 内部	表面(限于磁性材料)	表面(限于磁性材料)	表 面
灵 敏 度	很 高	高	较 高	较 高	高
检测纪录及显示方式	自动在线, 立即显示	自动在线, 立即显示	着色磁粉显示或荧光磁粉在暗室显示	自动在线, 立即显示	着色液显示或荧光液在暗室显示

第一节 超声波探伤

超声波探伤是一种最基本的无损探伤方法。它的优点是能发现其他探伤方法不能发现的内部缺陷, 能准确地确定缺陷的位置, 而且操作简单、迅速。这种方法的缺点是, 不能判断缺陷的性质, 对钢管表面粗糙度要求达 $2.5 \sim 5$ 微米。

一、基本原理

超声波探伤通常使用 $1 \sim 5$ 兆赫的高频声波。声波的频率高, 其指向性好, 即具有向单方向发射的特性; 波长短, 小的缺陷也能很好地反射; 距离的分辨能力好, 缺陷的分辨率高。

超声波探伤用的高频超声波通常用压电材料产生，如水晶、钛酸钡、锆钛酸铅和硫酸锂。使用前把压电材料切成能够在一定频率下共振的片子即晶片。将晶片两面都镀上银，作为电极，把高频电压加到这两个电极上时，晶片就在厚度方向产生伸缩，这样就把电振动转变成机械振动而发生超声波（图20-1）。

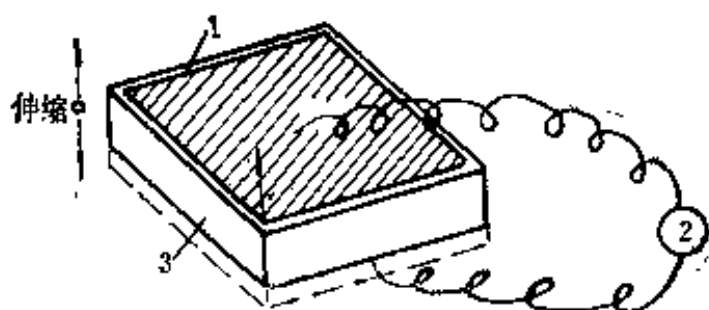


图 20-1 超声波的发生
1—电极；2—电压；3—晶片

反之，将高频机械振动（超声波）传到晶片上时，晶片就被振动，在晶片的两极间产生频率与超声波相等、强度与超声波成正比例的高频电压，这就是超声波的接收。

当超声波传到缺陷、被检物底面时会发生反射。在超声波垂直地传到不同介质相接触的界面时，一部分超声波被反射，而剩余的部分就穿透过去，这两部分的比率取决于接界的两种介质的密度和其中的声速。当钢中的超声波传到空气界面时，由于空气与钢的密度及其中的声速相差很大，超声波在界面上100%地反射了，它几乎完全不会被传到空气中。钢同水接触时，88%的能量被反射，12%穿透出来。因此，如果探伤时垂直探头（图20-2）与被检物之间有空气时，超声波实际上完全传不过去，所以要用油或甘油（接触式探伤时）或水（非接触式探伤时）作耦合剂，使超声波能够很好地传播。垂直探头只发生纵波。

在超声波斜射到界面上时，在界面上会产生反射和折射。当斜探头（图20-3）接触到钢件时，因为两者都是固体，所以反射波和折射波都存在纵波和横波（图20-4）。此时，反射角和折射角是由两种介质中的声速来决定的。由于如果折射波中同时存在

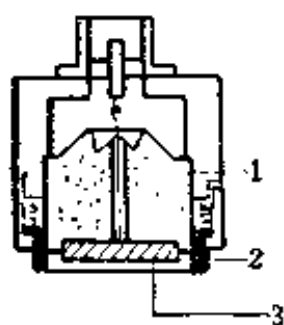


图 20-2 垂直探头（由于晶片直接接触金属，故下方的电极省略）

1—阻尼块；2—接地环；3—晶片

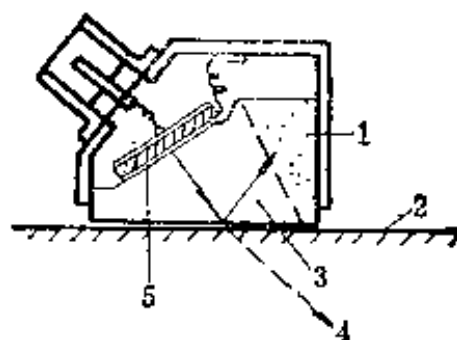


图 20-3 斜探头

1—内部反射波吸收材料；2—探伤面；3—斜楔；4—横波；5—晶片

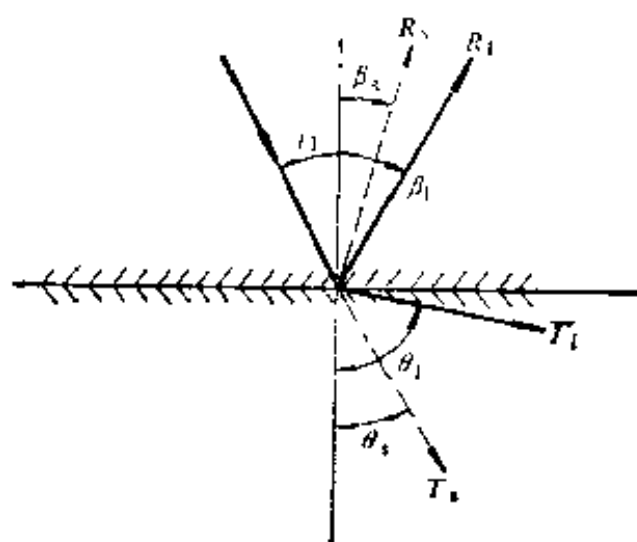


图 20-4 固体-固体间的反射和折射

i —入射角； β —反射角； θ —折射角； R —反射波； T —穿透波； l (下角)—纵波（实线所示）； s (下角)—横波（虚线所示）

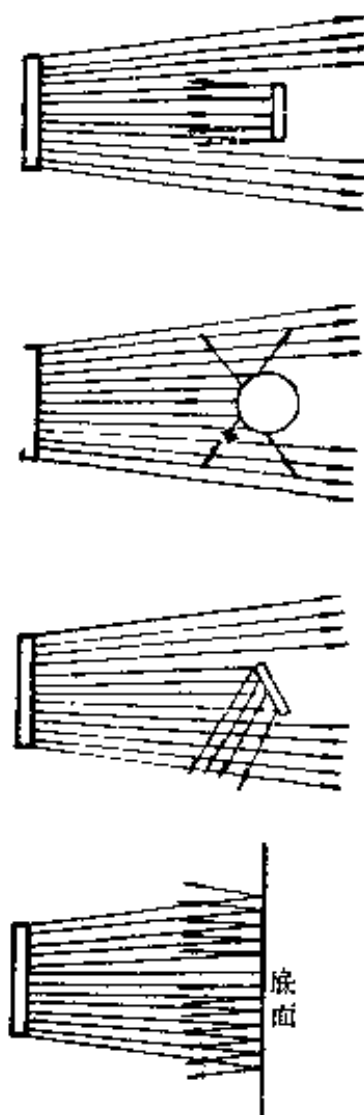


图 20-5 从各种形状和方向的反射体发出的超声波反射

纵波和横波时，对判断结果会发生困难，所以要适当调整探头入射角即探头中斜楔的角度，使入射角的角度大于纵波的临界角（就是使纵波全部反射），而被检物中只有横波射入。斜射时折射的穿透率与折射角有关。通常，当斜探头采用的折射角为 $35^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 时，穿透率最好。

当超声波碰到缺陷时，就在那里反射和散射。一般，超声波探伤中缺陷尺寸的检出极限为超声波波长的一半。缺陷尺寸愈大，其反射愈容易。由于缺陷形状和方向的不同，其反射的方式也有所不同。因超声波具有直线前进的性质，因此其反射方式如图20-5所示。

假如超声波垂直地射到平面状的反射体（例如裂纹）上时，反射波就能很顺利地回到探头的晶体上，得到很高的缺陷回波。但是，球形缺陷（例如气泡）的反射波，因为是向各个方向散射的，回到晶片上的反射波较少，所以缺陷的回波也较低。另外，虽然是平面反射体，但如果是倾斜的话，也可能几乎没有回波。

从超声波入射面（即探伤面）对侧的反射面（底面）反射回来的超声波叫做底面回波。

二、探伤方法

超声波探伤法中，根据缺陷的回波和底面的回波来进行判断的脉冲反射法是应用最多的方法。

采用脉冲反射法时，垂直探伤用纵波，斜射探伤用横波，把超声波射入被检物的一面，然后接收从缺陷处反射回来的回波，根据回波来判断缺陷的情况。下面分垂直探伤法和斜射探伤法加以叙述。

垂直探伤法的原理如图20-6所示。把脉冲振荡器发生的电压加到晶片上，晶片振动，发生超声波脉冲，超声波脉冲以一定速度（对钢约6000米/秒）在被检物体内部传播。在存在缺陷时超声波脉冲的一部分从缺陷反射回到晶片（缺陷回波）。另外，没有遇到缺陷的超声波脉冲就在被检物底面反射回来（底面回波）。因此，缺陷处反射的超声波先回到晶片，由底面反射回来的超声波

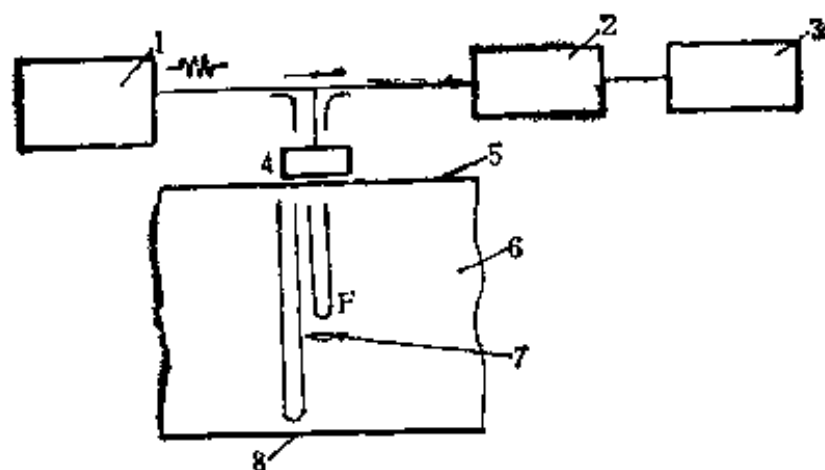


图 20-6 垂直探伤法的原理

1—脉冲振荡器；2—接收器；3—示波管；4—探头；5—探伤面
6—被检物；7—缺陷；8—底面；F—缺陷回波

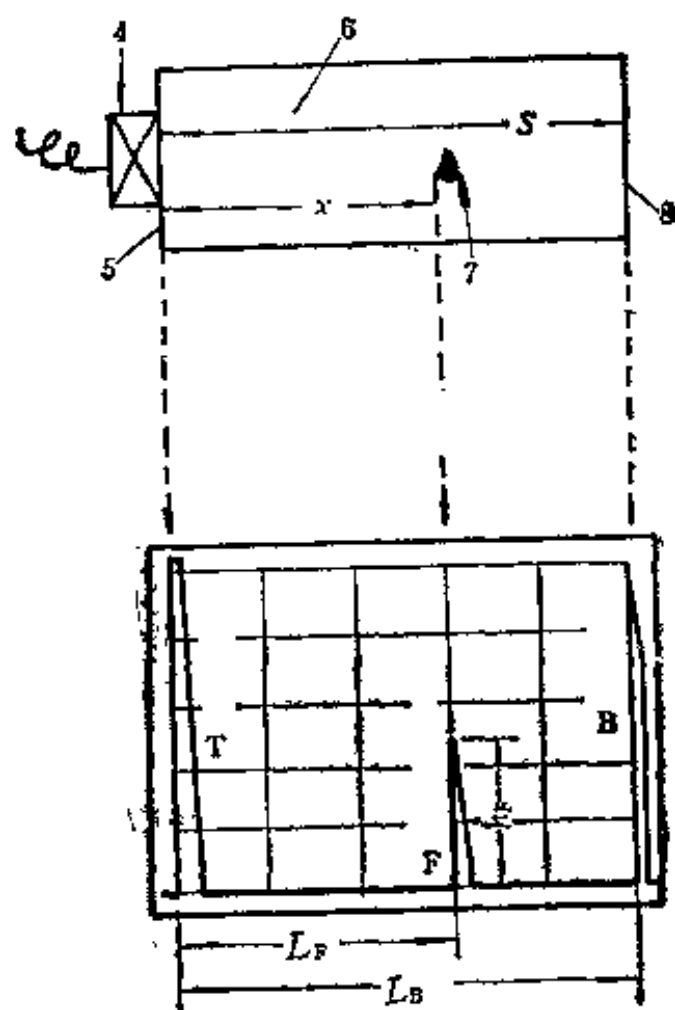


图 20-7 探伤图形的观察方法

4~8—同图20-6；T—发射脉冲；F—缺陷回波；B—底面回波

后回到晶片。回到晶片上的超声波又反过来被转换成高频电压，通过接收器进入示波管。振荡器所发生的高频电压也直接接入接收器内。因此，当在示波管横坐标上以脉冲振荡器的起振时间为基点时，把辉点向右移动时，在示波管上可以得到如图20-7所示的波形图。根据这个波形图就可以看出被检物有没有缺陷、缺陷的部位及其大小。若设探伤面到缺陷的距离为 x ，被检物的厚度为 S ，从示波管T到缺陷F的长度为 L_F ，从T到底面B的长度为 L_B ，因为声速在被检物中是一个定值，因此可得出下式：

$$\frac{x}{S} = \frac{L_F}{L_B}$$

由此式，可以正确地求出缺陷的位置。

由于缺陷回波的高度 h_F 是随缺陷的增大而增高的，所以可由 h_F 来估计缺陷的大小。

如图20-8所示，若使用斜探头代替垂直探头，就可进行斜射探伤。在斜射法探伤中，由于超声波在被检物中是斜向地传播

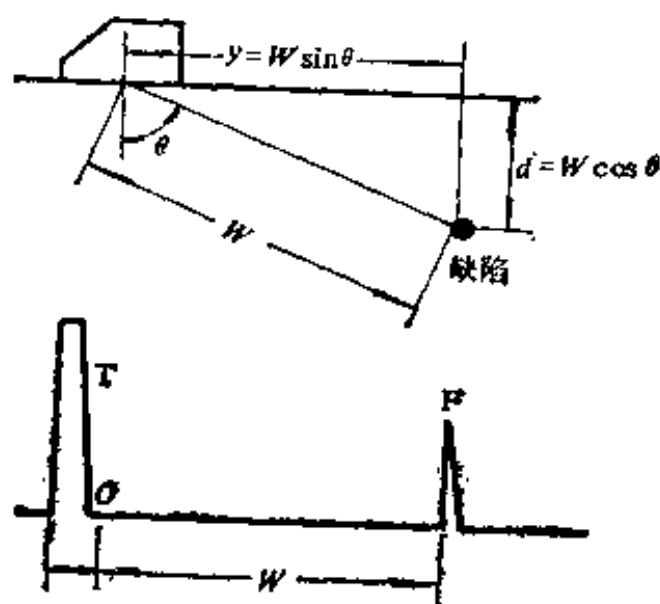


图 20-8 斜射法探伤的几何关系

的，因此，即使被检物两面是平行的，但因为超声波是斜向地射到底面的，所以不会显示出底面回波。所以，为了要知道缺陷位置，需要用适当的标准试块来把示波管横坐标调整到适当状态（测定范围）。在测定范围作了适当调整的情况下，探测缺陷回

波时，根据从示波管上读出的到缺陷的距离 W 可以求出缺陷位置 y 和 d 。

标准试块就是按一定要求设计制作的具有简单形状人工反射体的试件。由于脉冲反射法超声波探伤中荧光屏上反射波的位置、高度、波形等变量与被检物中缺陷之间的声学关系十分复杂，另外还要考虑仪器和探头的性能及被检物材质和耦合介质等因素的影响，这就使得超声波探伤不能单纯依靠仪器的简单调整和简单的计算处理来完成缺陷距离和大小的标定、探伤灵敏度的确定以及测试仪器、探头和辅助材料等某些特性的测定，因此常要借助于标准试块。运用标准试块作为参考依据来进行比较是超声波探伤的一个特点。

三、钢管的超声波探伤

钢管探伤的声波入射方向一般有两个：垂直于管轴的和与管轴成一定交角的。管子探伤的特点是：

1) 无论是从哪一个入射方向上入射声波，由于管壁所引起的声能扩散，它使声波能量随距离很快损失，如图20-9所示。这种现象随管子外径的变小而更趋严重；



图 20-9 不同入射方向的声能扩散

a—垂直入射时的声能扩散；b—斜入射时的声能扩散

2) 管子中的折射声束对内表面的入射角 γ 随壁厚的改变而改变，如图20-10所示。图中 α 为超声波入射到管子外壁上的人射角， β 为折射角。当壁厚 S 与管径 D 之比增大到一定值以后，折射波甚至与管子内壁不能相遇。

上述两点都是由于不同管材的管径使管壁具有不同的曲率引

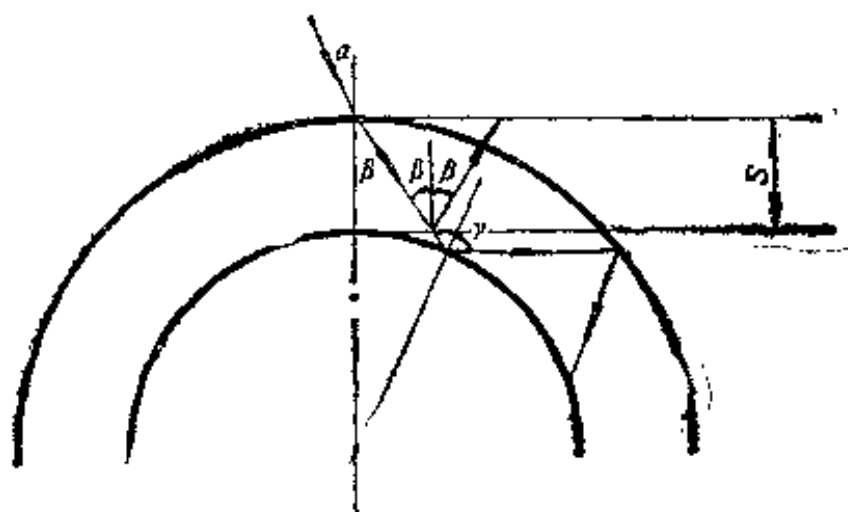


图 20-10 管子探伤中内壁入射角 γ 的变化

一起的。因此，应根据钢管的几何尺寸（管径和壁厚）来选择探伤方法。

一般，大口径管材的管壁比较厚，又由于它具有较小的曲率，探头与管壁表面较易实现声耦合，因此，通常都可用接触法进行探伤。如果管径还不够大，为使探头与曲面之间有更好的吻合，也可在探头前配置与管外壁具有相同曲率的滑块（图20-11）。当大口径管的表面比较粗糙时，也可采用充水法（图20-12）。对于不同的缺陷存在形式，可以采用单直探头、联合双斜探头和单

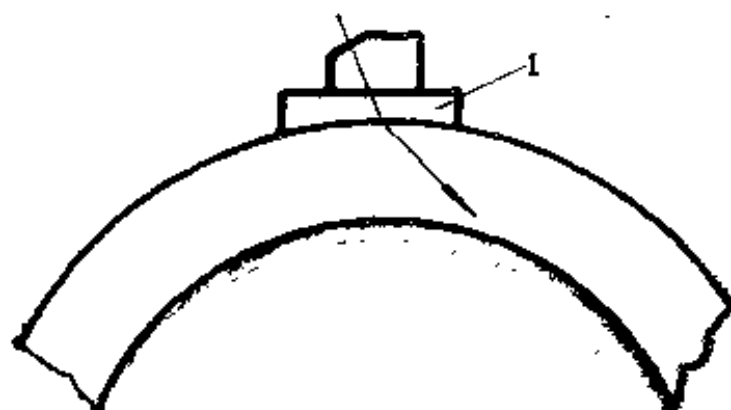


图 20-11 用滑块（1）保证与管外壁的耦合

斜探头进行探伤。

对于管径在50毫米以下的钢管，一方面由于直接接触时耦合不佳，另一方面由于声束在管壁内的能量扩散已变得相当严重，

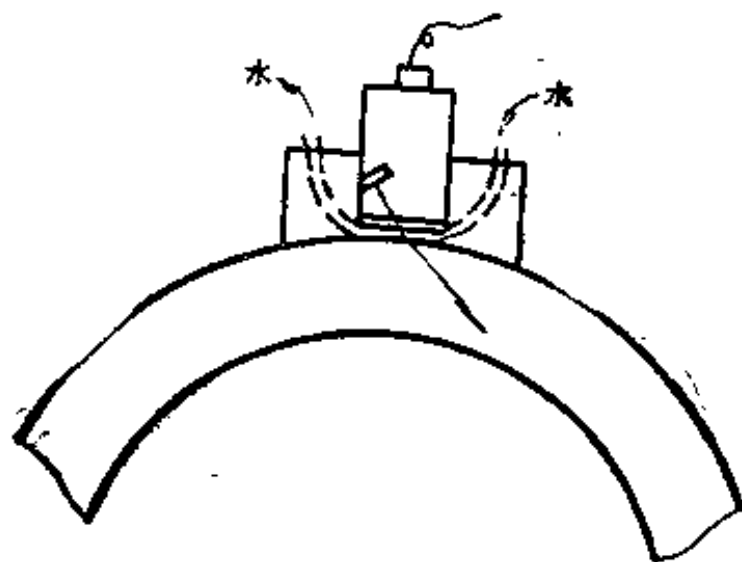


图 20-12 用充水探头对管子进行耦合

实际上用直接接触面已不能进行探伤。为了克服上述困难，一般都将钢管浸入水中，使用聚焦间隔一定距离进行探伤。

对于壁厚与直径之比大于0.20的厚壁管，不能只采用纯横波折射这一种方法进行探伤。这时，可以采用 45° 左右折射的纯横波实现对管子外壁径向缺陷的检测，采用在管内折射的纵波入射到管外壁时产生的反射横波实现对管子内壁径向缺陷的检测。其探伤过程的示意图见图20-13，图中 α_L 为纵波入射角， L 为纵波， S 为横波， β_L 、 β_S 分别为纵波和横波的折射角。

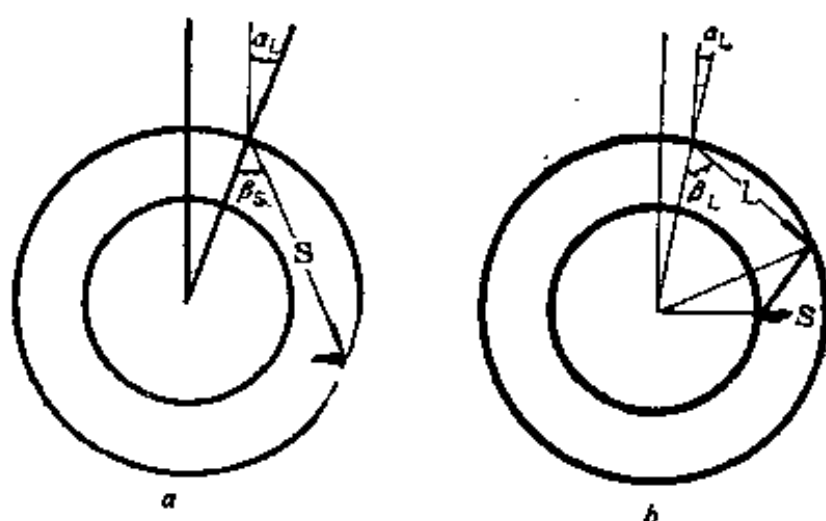


图 20-13 厚壁管中与管轴平行的径向缺陷的探伤

a—外壁缺陷的探伤；b—内壁缺陷的探伤

钢管由于形状简单，可以实现连续自动化探伤，以提高检测的速度与可靠性。

在自动化探伤中，为使整个管子截面都能被聚焦声束探测到，需要使管壁完全被聚焦声束所覆盖。为此，探头与管子之间的相对运动总是使探头的声束在管外壁上扫描的轨迹是一些螺旋线，并且相邻的螺旋线还应有一定的覆盖率（图20-14）。一般选择聚焦声束在非聚焦方向（即管轴方向）声束宽度的 $\frac{1}{3}$ 为覆盖区。另外在螺旋线的轨迹方向也必须实现声束覆盖，以防止漏检。

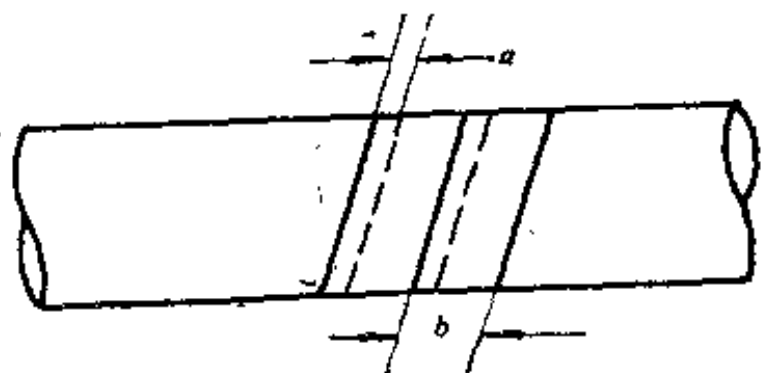


图 20-14 管轴方向的声束覆盖

a —声束覆盖区； b —聚焦声束在管壁上的宽度

为了实现螺旋扫描，目前存在探头旋转管材直线给进和探头不动管材旋转并直线给进这样两种传动方式。前一种传动方式可用少量探头实现高速探伤，而且机械调整简单，易于掌握，所以使用较广泛。但使用这种传动方式时，对旋转腔同心度要求高、机加工要求严，高速旋转时对信号要考虑耦合方式。对于后一种传动方式，在机加工方面要求不高，但在管子本身具有弯曲度的情况下，高速旋转时探伤机构会产生剧烈跳动，对直径较大的管材实际上无法进行探伤。

探伤速度可按下式计算：

$$V = Sn$$

式中 S ——螺旋线螺距；

n ——管子或探头的转速。

由上式可知，探伤速度与螺距和转速成正比，增大螺距或提高转速都可以提高探伤速度，但在实际探伤中，由于螺距受探伤标准的限制以及转速受机械的限制，两者都不能过高。螺距的大小视所要求发现的缺陷长度而定，螺距的长度不能大于规定的标准伤的长度。转速过高，整个机械的稳定性有所降低，这直接影响到探伤的可靠性，所以转速一般都调整在1000~3000 转/分 左右。

第二节 磁 粉 探 伤

磁粉探伤方法可用于探测铁磁性材料表面上或近表面的裂纹以及其他缺陷。磁粉探伤对表面缺陷的灵敏度最大；对表面以下的缺陷，探伤的灵敏度随着缺陷埋藏深度的增加而迅速降低。采用磁粉探伤方法检验铁磁性材料的表面缺陷，比采用超声波探伤有更高的灵敏度，而且操作简单，结果可靠。因此磁粉探伤是一种良好的表面探伤方法。

一、基本原理

钢铁（奥氏体不锈钢等非磁性钢除外）等强磁性材料能被磁场强烈地磁化，磁化后的铁棒的磁力线如图20-15所示。在棒的两端出入的磁力线，使两个端部的附近产生强的磁场，并且两端分别成为N极和S极。因此，把铁粉等强磁性粉末（叫做磁粉）撒在棒上时，由于磁场的作用，磁粉就被吸引到磁极附近，并附在磁极上。

现在来分析一个有缺陷（裂纹）的试样。设缺陷方向与磁化

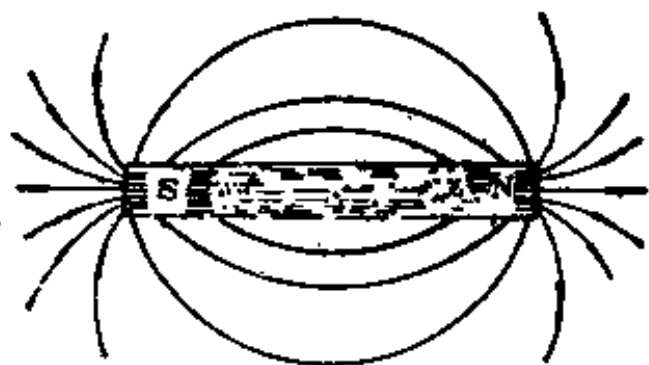


图 20-15 磁棒的磁力线

方向成直角（图20-16）。磁化后的试样可以认为是许多小磁铁的集合体。但除了缺陷和试件两端之外，连续部分的这些小磁铁的N、S磁极是互相抵销的，所以不呈现磁极。另一方面，在试件的缺陷处，磁性是不连续的，如图所示那样，由于金属间相对离开一个距离，故呈现磁极，磁粉就能附在缺陷部位。

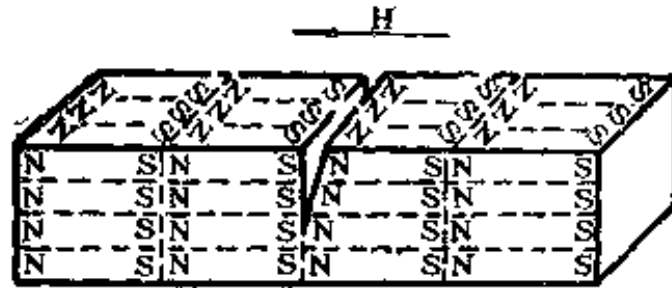


图 20-16 有缺陷试样的磁极

图20-17表示在磁化试件的缺陷部位磁力线的分布。在缺陷部分附近，磁力线绕过空间出现在外面，这种磁力线叫做缺陷漏磁，而所产生的磁场叫缺陷的漏磁磁场。

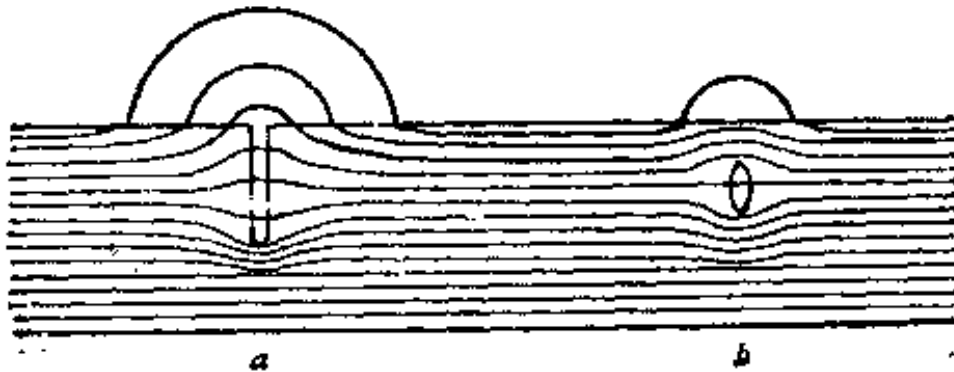


图 20-17 缺陷漏磁

a—表面缺陷，b—内部缺陷

缺陷的漏磁磁场的强度和分布取决于缺陷的尺寸、位置及试件的磁化强度等因素。漏磁磁场强度越大，缺陷部位就越容易吸附磁粉。内部缺陷的漏磁磁场比表面开口缺陷的漏磁磁场要弱，就不容易吸附磁粉。另外，若试件在与缺陷相平行的方向进行磁化时，因为在缺陷部位不产生磁极，所以也就不会有磁粉附着。

把试件磁化，利用缺陷部位所发生的磁极能吸附磁粉的特性来进行探伤，这就是磁粉探伤的基本原理。

由于磁化场的方向与缺陷垂直时漏磁场最大，灵敏度最高，因此，探纵向缺陷时，应采用周向磁场进行磁化；在探横向缺陷时，应采用纵向磁场进行磁化。为了同时检查不同方向的缺陷需要既进行周向磁化又进行纵向磁化的复合磁化。

在探伤中观察到的缺陷部位所吸附着的磁粉叫缺陷的磁粉痕迹。

二、磁化方法

将磁场加到试件上的方法叫做磁化方法。磁化的方法主要有两种：一种是采用通电线圈或电磁铁对试件进行磁化(图20-18)；另一种是给试件通大电流进行磁化(图20-19)。

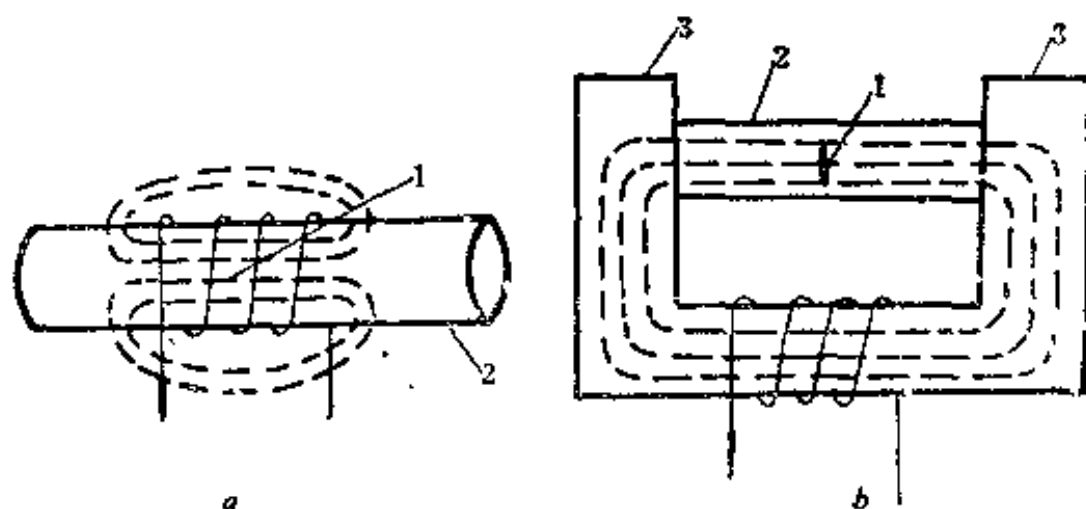


图 20-18 利用通电线圈形成外磁场磁化工作

a—用线圈磁化；*b*—用电磁铁磁化

1--缺陷；2—工件；3—磁极

图20-18: *a* 是利用通电线圈产生与试件轴向相同的磁场磁化试件。图20-18, *b* 是用电磁铁对试件进行闭路磁化。

图20-19中，图*a*是直接通电法，使大电流通过试件；图*b*是心杆法，用反磁性铜棒或电缆穿过试件并通电流；图*c*是在试件局部通以大电流。

在磁粉探伤中，各种磁场都是由电流产生的。磁化电流可使用交流或直流电。使用交流电磁化时，由于交流电有集肤效应，在试件表面的磁化场较强，发现表面缺陷的灵敏度高，但对试件表层下的缺陷的发现能力差。使用直流电（或半波整流电流）磁

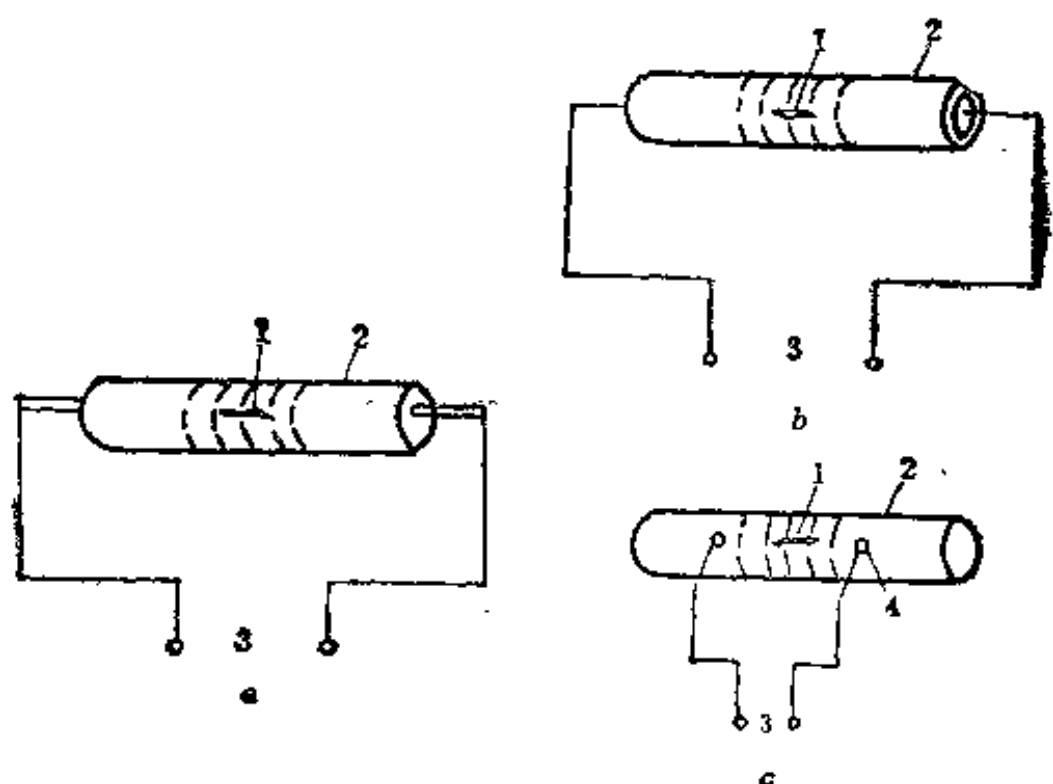


图 20-19 利用给工件通大电流形成磁场磁化工件

a—直接通电法；b—心杆法；c—局部通电法

1—缺陷；2—工件；3—大电流；4—触头

化，试件获得的磁化场较均匀，能发现表层下较深的缺陷。

三、磁粉探伤操作

磁粉探伤操作包括以下一些工序：预处理，磁化，施加磁粉，磁粉痕迹的观察和判断以及后处理等。

预处理包括把试件表面的油脂、涂料以及铁锈等去掉，以免妨碍磁粉在缺陷部位的吸附。用干磁粉时还要使试件的表面干燥。

磁化就是选定适当的磁化方法并加以所需的磁化电流。

磁粉的平均粒度为5~10微米。通常用的材料是四氧化三铁或三氧化二铁。具有较高导磁性的细小磁粉，可以被弱小的磁场所吸引。为了使磁粉图象便于观察，常用的磁粉有黑色、红色及白色的。还可以采用荧光磁粉，便于在紫外线的照射下得到更清晰的磁粉图象。磁粉还分为干式和湿式两种。干磁粉是在空气中分散地撒上的；湿磁粉是用水或无色透明的煤油把磁粉调成悬浮液来使用。

施加磁粉就是把磁粉或磁粉悬浮液撒在磁化的试件上。有连续法和剩磁法两种。连续法是在试件加有磁场的状态下施加磁粉的，且磁场一直持续到磁粉施加完成为止。而剩磁法则先磁化后施加磁粉，用于矫顽力较大的材料。

磁粉痕迹的观察在施加磁粉后进行。用非荧光磁粉时，在光线明亮处进行观察；用荧光磁粉时，则在暗室等暗处用紫外线灯进行观察。

为了记录磁粉痕迹，可采用照相或用透明胶带把它粘住。

探伤后，按需要进行退磁、除去磁粉和防锈，这就是后处理。退磁时，一边使磁场反向，一边降低磁场强度。退磁也有直流法和交流法两种。

第三节 涡流探伤

一、基本原理

涡流探伤就是使导电的试件（导体）内产生涡电流（简称涡流），通过测量涡流的变化量来进行探伤的探伤方法。

如图20-20所示，使线圈1与线圈2相靠近，把线圈1接在交流电源上，通电后，由于电磁感应在线圈2中会产生交流电。如果使用金属板代替线圈2，同样也可以使金属板产生交流电（图20-21）。所产生的交流电称为涡流。涡流的分布及其电流大

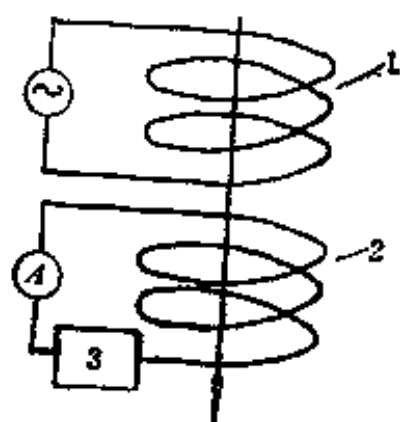


图 20-20 电磁感应现象
1—线圈1；2—线圈2；3—负荷

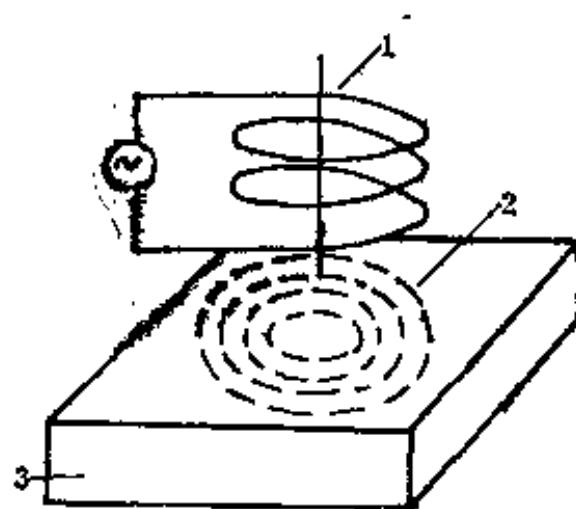


图 20-21 涡流的产生
1—线圈；2—涡流；3—试件

小，是由线圈的形状和尺寸、导体与线圈间的距离以及导体表面缺陷决定的。因此，根据检测到的试件中的涡流就可取得有无缺陷等信息。

由于涡流是交流电，所以在导体表面的电流较多（集肤效应），在表面的缺陷容易检测，而缺陷越深则检测越难。

二、涡流的检测及探伤操作

如图20-22所示，在试件中涡流的方向同初级线圈（或称激磁线圈）的电流方向相反。由涡流所产生的交流磁场，其磁力线是随时间而变化的，它穿过初级线圈时就在线圈内感生交流电。因为这个电流的方向与涡流的方向相反，结果与初级线圈中原来的激磁电流的方向相同。这就是说初级线圈中的电流由于涡流的反作用而增加了。假如涡流变化的话，这个增加的部分也变化。反之，测定这个电流变化，就可以测得涡流的变化，从而得到关于缺陷的信息。另外，交流电是随着时间以一定的频率改变电流的方向的。激磁电流和反作用电流的相位是有一定差异的，这个相位差随着试件的形状等而变化，所以这个相位变化也可以作为检测试件状态的一个信息而加以利用。

因此，让试件或线圈按一定的速度移动时，根据涡流变化的波形，可以知道缺陷的种类形状和大小。

为了测定涡流的反作用电流，除了用激磁线圈之外，还可以使用专用的探测线圈（也称为次级线圈）。如用穿过式线圈（图20-22，a），可检测线材、棒材和管材；用插入式线圈（图20-22，b）把它放在管子内，可对内壁进行检测。

涡流探伤装置的典型组成如图20-23所示。由振荡器发生的

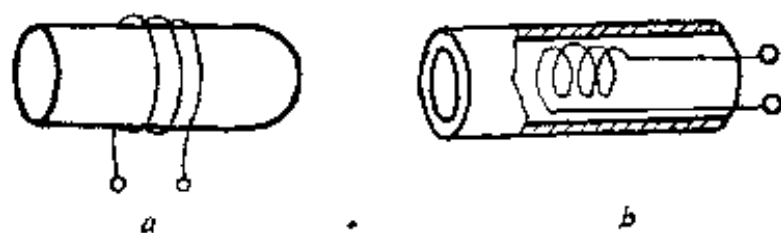


图 20-22 探测线圈的分类

a—穿过式线圈；b—插入式线圈

交流电通入线圈，交流磁场就加到试件上。试件的涡流由线圈检测，作为交流输出送入电桥电路。

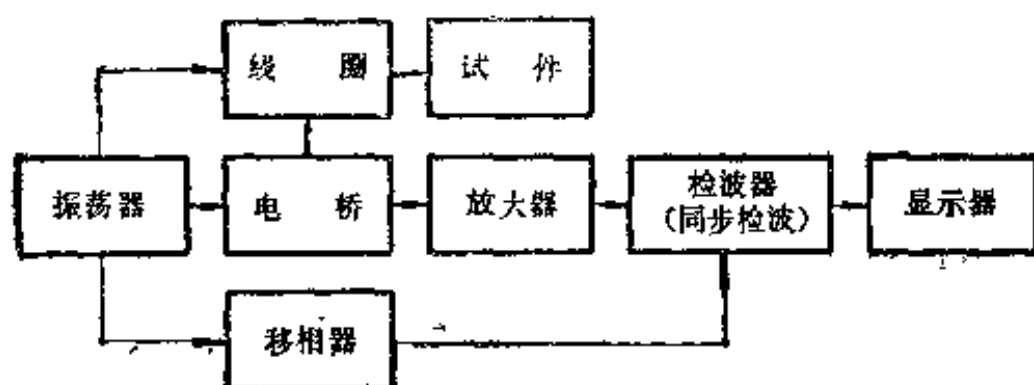


图 20-23 检测装置的组成

为了检出很微小的涡流变化，事先要调整电桥，使其无缺陷时的交流输出几乎接近于零。从电桥输出的信号由放大器放大送到检波器。检波后的电信号作为试件的信息在显示器上显示出来。同步检波利用杂乱信号与缺陷信号的相位差把杂乱信号分离掉，只输出特定相位角的缺陷信号。因此，必须事先调整移相器。

探伤操作包括试件表面清理、探伤仪的稳定、探伤规范的选择以及探伤试验等几个步骤。

涡流探伤的优点是：探伤结果可以直接用电信号输出，便于进行自动化检测；由于采用非接触式的方法，探伤速度很快；适用于表面缺陷的探伤。缺点是：对表面下较深部位的缺陷不能检测；容易产生杂乱信号；难以直接从检测所得的显示信号来判别缺陷的种类。

第四节 渗透探伤

渗透探伤是以液体对固体的润湿能力和毛细现象（包括渗透和上升现象）为基础的探伤方法。

探伤时在试件上浸涂具有高度渗透能力的渗透液，由于液体

的润湿作用和毛细现象，渗透液便渗入试件的表面缺陷中，然后将试件表面多余渗透液清除干净，再涂一层亲和吸附力很强的白色显像剂，将渗入缺陷中的渗透液吸出来，这样在白色涂层上便显示出缺陷的形状和位置，从而达到探伤的目的。渗透探伤的基本操作过程见图20-24。实际上除了上述基本过程外，有时为了使渗透容易进行，还要进行清洗、干燥等预处理。另外，为了使渗透液容易洗掉，对某些渗透液要作乳化处理等。

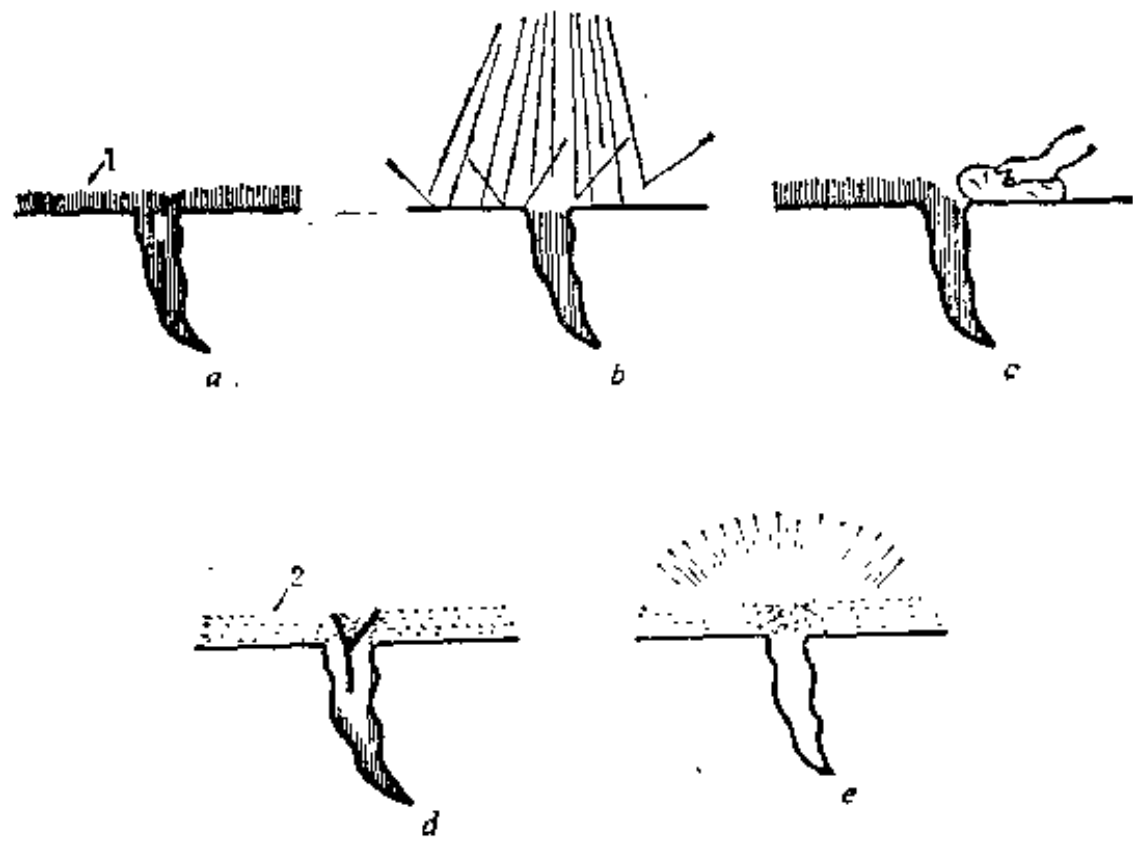


图 20-24 渗透探伤的基本操作过程

a—渗透；b—水清洗；c—溶剂清洗；d—显象；e—观察
1—渗透液；2—显象剂

按缺陷的显示方法分，渗透探伤可分为颜色显示的着色法和荧光显示的荧光法。按渗透液的清洗方法分，渗透探伤可分为水洗型、后乳化型和溶剂清洗型三大类。

荧光渗透探伤法，采用含荧光材料的渗透液，它用波长为 3600 ± 300 埃的紫外线照射显示缺陷，因此须在暗室中进行。

着色渗透探伤法，采用含红色染料的渗透液，在自然光或白光下就可显示缺陷。

水洗型和后乳化型渗透探伤法所用的渗透液都是用水清洗的。前者渗透液可以直接用水清洗干净，而后者因渗透液本身不能用水洗掉，要把乳化剂加到试件表面的渗透液上，再用水洗净。溶剂清洗型渗透探伤法所用的渗透液使用有机溶剂进行清洗。

渗透探伤也是一种表面缺陷的探伤方法。它能探测出的缺陷的最小尺寸与渗透剂的性能、探伤方法和操作以及试件表面的光洁度等因素有关，一般约为深0.02毫米，宽0.001毫米。在荧光渗透探伤时，若渗透液的荧光辉度高，可提高探伤的灵敏度。

和别的探伤方法相比，渗透探伤的优点是设备和探伤材料简单，显示缺陷直观，并同时可以显示各个方向各类缺陷。其缺点是只能检查开口暴露于表面的缺陷，另外操作工序较繁杂。

参 考 文 献

- [1] И. В. Розов, Холодно: волочение стальных труб, Металлургия, 1965, Москва.
- [2] 忻尚烈, 钟广赤, 冷拔钢管生产, 冶金工业出版社, 1960, 北京.
- [3] С. Г. Савин и др., Волочение труб, Металлургия, 1982, Москва.
- [4] М. З. Ерманок и др., Волочение цветных металлов, Металлургия, 1982, Москва.
- [5] Н. В. Розов, Производство труб, Металлургия, 1974, Москва.
- [6] З. А. 考夫等, 冷轧钢管, 中国工业出版社, 1965, 北京.
- [7] В. А. Станкевич и др., Холодная прокатка труб, Металлургия, 1982, Москва.
- [8] 冶金工业部重庆钢铁设计研究院, 冷轧冷拔钢管工艺设计参考资料, 1982, 未发表著作.
- [9] З. и. Перциков, Волочильные станы, Металлургия, 1986, Москва.
- [10] Ф. С. Ссйдалиев, Производство труб на станах ХПТ, Металлургия, 1985, Москва.
- [11] Я. Е. Осада, Совершенные трубные цехи, Металлургия, 1977, Москва.
- [12] Ю. Ф. Шевакин и др. Производство труб из цветных металлов, Металлургиздат, 1960, Москва.
- [13] 岡本豊彦, 住友金属, 6 (1954) №2, 1.
- [14] Ю. Ф. Шевакин и др. Сталь (1965) №1, 46.
- [15] В. С. Паршин и др. Холодное волочение труб, Металлур-

гия, 1979, Москва.

[15] М. М. 别尔施坦, 轧钢文集第六辑, 冶金工业出版社, 1960, 北京.

[17] 岡本豊彦, 住友金属, 6 (1954), №3, 10.

[18] М. З. Ерманок, Цветные металлы, (1965) №6, 66.

[19] Hiroshi Tanaka, Trans. JIM 17 (1976), №12, 826.

[20] С. И. 古布金著, 金属压力加工原理, 高等教育出版社, 1955, 北京.

[21] И. А. Соколов и др. Остаточные напряжения и качество металлоспроудкции, Металлургия, 1981, Москва.

[22] 今井宏, 鉄と銅, 42 (1956), №2.

[23] 洛阳铜加工厂, 游动芯头拉伸铜管, 冶金工业出版社, 1976, 北京.

[24] 李德惠, 游动芯棒拔管, 冶金工业出版社, 1972, 北京.

[25] 李德惠, 顾鹏, 钢管技术 (1984) №2, 20.

[26] А. В. Аранович等, 钢管技术, (1987), №2, 71.

[27] 王延溥等, 轧钢工艺学, 冶金工业出版社, 1981, 北京.

[28] Ю. Ф. Шевакин, Калибровка и усилия при холодной прокатке труб, Металлургияиздат, 1963, Москва.

[29] 刘秀荣, 无缝钢管生产应用化学, 北京钢铁学院, 1974, 未发表著作.

[30] 蒋克昌, 钢丝拉拔技术, 轻工业出版社, 1982, 北京.

[31] 韩观昌等, 钢丝生产工艺及设备, 北京钢铁学院, 1988, 未发表著作.

[32] 天津无缝钢管厂, 耐热钢空腹辊道辊底式退火炉, 1983, 未发表著作.

[33] 韩观昌, 76~100机组冷拔钢管生产, 北京钢铁学院, 1974, 未发表著作.

[34] 安阳钢铁厂, 冷拔模铸体渗碳及其工艺总结, 1976, 未发表著作.

[35] 无锡钢铁厂, 北京钢铁研究总院, GCr15轴承钢管穿水冷却工艺试验总结, 1983, 未发表著作.

[36] 吴锡威, 钢管技术, (1986), №4, 15.

[37] [日] 无损检测协会, 戴端松译 无损检测概论, 上海科技出版社, 1981, 上海.

[38] 云庆华等, 无损探伤, 劳动出版社, 1982, 北京.

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名 = 小型无缝钢管生产 下册

作者 =

页数 = 4 7 4

S S 号 = 1 0 2 8 6 3 5 8

出版日期 =