

李连诗 韩观昌 编著

小型无缝钢管生产

XIAOXING WUFENG

GANGGUAN SHENGCHAN



冶金工业出版社

小型无缝钢管生产

上册

李连诗 韩观昌 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 上册/李连诗, 韩观昌编著. —北京:冶金工业出版社, 1989. 8(1999 重印)

ISBN 7-5024-0500-3

I. 小… II. ①李… ②韩… III. 无缝钢管-轧制 IV. T
G335.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 05178 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

北京市东茶坞印刷厂印刷, 冶金工业出版社发行, 各地新华书店经销

1989 年 8 月第 1 版, 1999 年 5 月第 4 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 15.625 印张, 1 插页, 413 千字, 490 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)

前 言

解放初期我国钢铁工业极其落后，当时钢材年产量仅有14万吨，其中钢管仅有焊管4千吨，无缝钢管基本上是空白。自1953年从国外引进的140自动轧管机组投产后才开创了我国自力生产无缝钢管的时代。

三十多年来，我国无缝钢管生产有了巨大的发展，相继建设了大小无缝钢管机组60多套，设计能力约200万吨，其中 $\phi 60\sim 100$ 机组约占50多套。小型无缝钢管机组的生产量约占全国无缝钢管生产量的一半以上。小型机组为我国钢管生产发展做出了巨大的贡献。

与国外无缝钢管发展速度相比，我国无缝钢管生产发展比较缓慢，数量也比较少。国外钢管产量一般占钢材产量的10%以上，原苏联、意大利等国家甚至占到18%以上，其中无缝钢管一般约占总产量的30~50%；而我国钢管仅占钢材产量的5~6%，焊管和无缝钢管各占一半。由于钢管的产量不能满足社会的实际需求，多年来不得不靠进口大量无缝钢管来补充。

我国多数无缝钢管机组生产潜力尚待发挥，特别是发挥小型无缝钢管机组的潜力是极其重要的，因为它们在无缝钢管生产中居于举足轻重的地位。

应当指出，小型无缝钢管机组的优点很多：如建设投资少、建设周期短、见效快，因而小型无缝钢管机组遍布全国；它除了能提供大量无缝钢管产品外，对改善钢铁工业布局作用很大；由于产地接近用户，便于有计划的合理流通，满足经济地区市场需求，从而促进了地区经济的发展和社会经济效益的提高。但小型无缝钢管机组存在的问题也不少，主要表现是技术落后、效率低和产品质量不高以及品种规格范围窄等。对大多数小型无缝钢管机组来说，当务之急是如何尽快把这些机组的潜力发挥出来，把

它们改造好，力争短时期内达到较先进和先进水平。

我们编写这本《小型无缝钢管生产》专著的目的就是为小型无缝钢管生产和技术改造服务，为提高工人和中等专业技术人员的技术水平竭尽绵薄。

本书所涉及的重点内容是小型无缝钢管的生产工艺，对小型无缝钢管机组的设备和钢管变形原理只做了一般介绍。这些介绍是为阐明生产工艺问题而服务的。因此，本书是一本实用性较强的生产工艺专著。

书中以阐述现有 $\phi 60 \sim 100$ 机组生产工艺为主，对涉及小型机组技术改造的科学知识也做了较充分的论述。

本书取材于经过整理和综合的国内工厂的资料和经验，国内外的科研成果（包括作者的科研成果），以及与小型无缝钢管生产和技术改造有关的国外资料。

在这里应该说明的是，生产工艺问题十分复杂，大多数问题是综合性的，随机因素很多，且要受客观条件制约。因此，读者参阅本书时首先应该掌握分析问题的思路和方法，然后结合客观实际运用书中有关的数据。

限于编者的业务水平，书中必然会存在一些问题，望读者给予批评指正。

编 者

1988年7月

上册目录

第一篇 热轧钢管生产

第一章 小型无缝钢管机组的产品及技术条件	3
第一节 小型无缝钢管机组的产品及其发展方向	3
第二节 产品的标准和技术条件	6
第二章 60~100机组的生产工艺过程及其主要设备	11
第一节 60~100机组的工艺过程	11
一、60、76机组生产方式	12
二、100(114)机组生产方式	15
第二节 60~100机组机械设备和加热设备	26
一、剪断(锯断)设备	26
二、管坯及钢管加热设备	26
三、60~100机组主轧机	38
四、精整设备	60
第三节 60~100机组平面布置方式	63
第三章 管坯及其轧前准备	68
第一节 管坯	68
一、对管坯的要求及影响管坯质量的因素	70
二、管坯质量和穿孔方法	78
第二节 管坯的截断和定心	79
一、管坯的截断	79
二、定心	81
第三节 管坯(钢管)加热	84
一、低温段加热时期	86
二、高温段加热时期	89
三、加热曲线	91
四、加热温度的确定	92
五、加热过程中产生的缺陷	98
六、钢管加热的特点	108

七、管坯加热炉的节能	109
第四章 热轧钢管原理	114
第一节 钢管斜轧穿孔原理	114
一、斜轧穿孔变形过程	114
二、斜轧穿孔运动学	117
三、斜轧穿孔时的咬入条件	123
四、斜轧穿孔时金属的变形和流动	126
五、斜轧实心圆坯的应力及变形状态——孔腔形成机理	130
六、斜轧穿孔作用力及力矩	135
七、三辊穿孔机的变形原理	140
八、导盘穿孔机的变形原理	145
九、菌式（锥形辊）穿孔机的变形原理	159
第二节 钢管斜轧延伸、定径和均整原理	170
一、二辊斜轧延伸机的变形原理	171
二、三辊斜轧延伸机的轧制过程特点	179
三、二、三辊斜轧定径机的变形特点	182
四、二辊均整机的变形特点	185
第三节 钢管纵轧（圆孔型中轧制）原理	187
一、圆孔型中的轧管过程和变形过程	188
二、变形区和孔型的几何参数	193
三、圆孔型中轧管的咬入条件	197
四、圆孔型中轧管的运动学	201
五、在圆孔型中轧管的变形	206
六、圆孔型中轧管时的作用力和力矩的确定	218
第四节 顶管变形原理	225
一、顶管的变形过程	227
二、顶管负荷试验研究	231
第五节 无缝钢管轧机的节电	236
一、影响无缝钢管轧机电耗的因素	237
二、无缝钢管轧机的电耗计算	247
三、无缝钢管轧机附属设备的电耗计算	250
第五章 热轧工具设计	251
第一节 穿孔机的工具设计	251

一、轧辊设计	252
二、顶头设计	259
三、导板和导盘设计	275
第二节 自动轧管机的工具设计	285
一、轧辊及回送辊设计	285
二、轧管机顶头设计	295
第三节 斜轧延伸机的工具设计	299
一、三辊轧管机的工具设计	299
二、二辊延伸机的工具设计	300
第四节 均整机的工具设计	303
第五节 定减径机及矫直机的工具设计	308
一、定径机的孔型设计	308
二、无张力减径机的孔型设计和轧制表编制	309
三、矫直机的轧辊设计	316
第六章 轧制表编制	324
第一节 自动轧管机组轧制表编制	326
一、各轧机后管子尺寸、主要工具及管坯尺寸的确定	327
二、各轧机的调整参数计算	334
三、轧制表参数的校验	339
四、可换部件的选择	339
五、现厂计算轧制表的方法和程序	340
第二节 斜轧轧管机的轧制表编制	374
一、二辊斜轧轧管机的轧制表编制	374
二、三辊斜轧轧管机的轧制表编制	377
第三节 顶管机的孔型设计及轧制表编制	390
一、各架的变形量分配	390
二、孔型设计	393
第七章 钢管的质量控制和轧制缺陷	396
第一节 钢管尺寸精度的控制	398
一、外径精度	398
二、横向壁厚精度	399
三、纵向壁厚精度	411
四、钢管弯曲度	412

第二节 钢管内表面的质量控制	417
一、穿孔机产生的内表面缺陷	417
二、轧管机产生的内表面缺陷	419
三、均整机产生的内表面缺陷	423
第三节 钢管外表面的质量控制	428
第四节 轧制的中间废品	428
一、金属破裂	428
二、轧卡	428
第五节 钢管机械性能的控制	430
一、热加工变形过程中的“硬化”和“软化”矛盾及其作用	430
二、控制析出相	433
三、控制轧制	434
四、余热正火	437
五、轧后直接淬火(DQ法)	437
六、冷矫直对钢管机械性能的影响	437
第六节 钢管的成品检查	439
第八章 小型无缝钢管机组的生产效率	440
第一节 产量分析	440
一、轧制图表及生产图表	440
二、生产率计算	441
三、小型无缝钢管机组的增产措施	446
第二节 降低金属消耗	447
第三节 节约能源	448
一、60~100机组节能潜力	448
二、小型无缝钢管机组的节能方向	451
第九章 特殊的合金钢管生产	452
第一节 不锈钢耐热钢管的生产	452
一、不锈钢的化学成分及高温下的组织	453
二、不锈钢的工艺性质	457
三、不锈钢钢管的生产工艺	464
第二节 轴承钢管的生产	475
一、轴承钢的化学成分及高温下的组织	476
二、轴承钢的加工性能	478

三、轴承钢管的生产流程	480
四、轴承钢管的生产工艺问题 (以100机组为例)	480
第三节 其他合金钢管的生产	486
一、高压锅炉管的生产	486
二、精密合金管的生产	487
参考文献	489

第一篇 热轧钢 管生产

第一章 小型无缝钢管机组的产品 及技术条件

钢管是一种重要的经济钢材，在国际上按重量计算通常约占轧材总产量的6~18%，而按长度（米）计则所占比例要高得多。世界各国都十分重视钢管生产的发展，近年来钢管的增长速度超过了粗钢的增长速度。但我国目前钢管生产数量比较少，钢管产量仅占钢材产量的5~6%，无缝管只占钢材产量的2.5~3%，而且品种和质量也不能满足国民经济发展的要求。

小型无缝钢管机组生产的钢管约占全国无缝钢管产量的一半，而冷加工管所占的比例更大。因此，通过技术改造和改善经营管理来发挥小型无缝钢管机组的作用有重要意义。

第一节 小型无缝钢管机组的产品及其发展方向

小型无缝钢管机组生产的规格范围一般为：

热轧管 $\phi 57 \sim 127 \times 3.5 \sim 25$ 毫米；

带张减时最小热轧管 $\phi 25 \times 2.5$ 毫米；

冷加工管 $\phi 3 \sim 90 \times 0.5 \sim 20$ 毫米。

小型机组可生产的冷热管尺寸规格如表1-1所示。

我国小型无缝钢管机组已能生产各种钢种的管材，包括优质碳素钢、低合金钢、合金钢以及高合金钢（如不锈钢耐热钢、轴承钢、高温合金、精密合金等）钢管。

按产品断面形状来分，已生产出圆光管，车丝扣管，各种等壁异形管和异壁厚异形管（图1-1）以及内螺纹管（图1-2）和沿长度上变壁厚和变外径管等。

按用途分，可生产一般管、锅炉管、液压支柱管、轴承管、地质钻探管、石油管、结构管、化工用管以及仪表用管等。

表 1-1 小型机组生产的钢管尺寸规格

热 轧 管		冷 加 工 管	
外径, 毫米	壁厚, 毫米	外径, 毫米	壁厚, 毫米
25	2.5~4	4	0.2~1.2
28	2.5~4	5	0.2~1.6
32	2.5~4	6	0.2~2.0
38	2.5~4	7	0.2~2.5
42	2.5~4	8	0.2~2.5
45	2.5~5	9	0.2~2.8
50	2.5~5.5	10	0.2~3.5
54	3~11	11	0.2~3.5
57	3~13	12	0.2~4
60	3~14	14	0.2~4
63.5	3~14	16	0.2~5
65	3~16	18	0.2~5
70	3~16	20	0.2~6
73	3~19	22	0.4~6
76	3~19	25	0.4~7
83	3.5~19	28	0.4~7
89	3.5~24	30	0.4~8
96	3.5~24	32	0.4~8
102	3.5~24	34	0.4~8
108	4~28	36	0.4~8
114	4~28	38	0.4~9
121	4~28	40	0.4~9
127	4~30	42	0.4~9
		45	1.0~10
		48	1.0~10
		50	1.0~10
		53~76	1.0~12
		80~110	1.4~12

小型无缝钢管机组已成为生产多品种、多规格、多用途、多钢种、多形状的各种无缝钢管的基础, 并在不断地开发新品种。

小型无缝钢管机组所生产的产品存在的主要问题是:

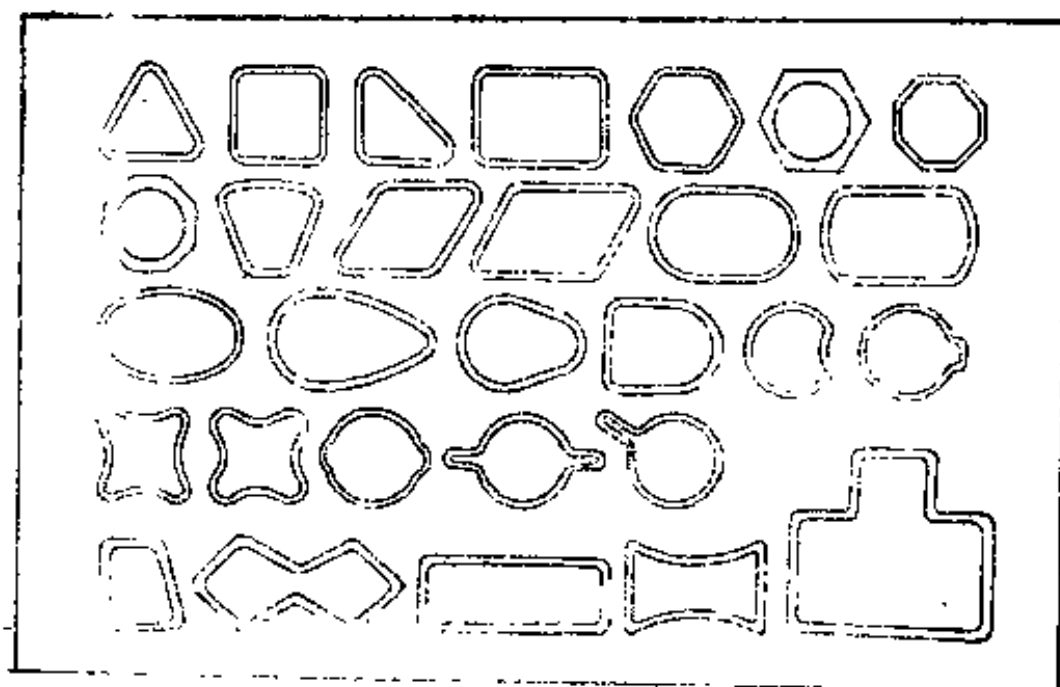


图 1-1 异形管

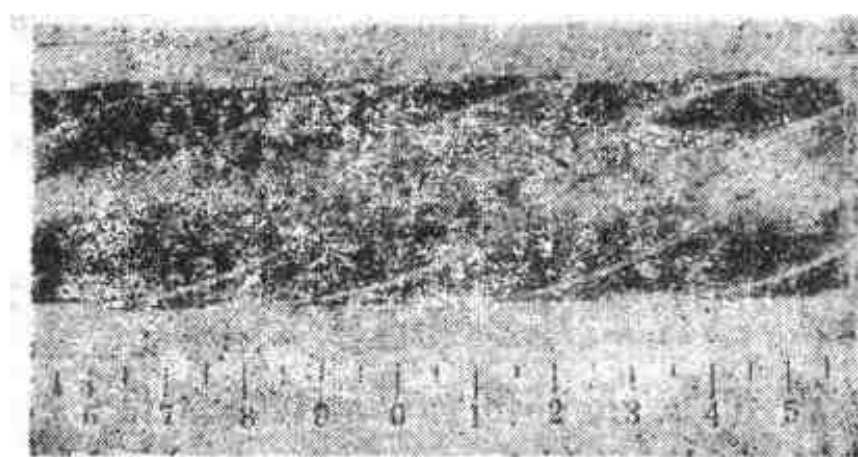


图 1-2 内螺纹管

1) 一般管所占比例较大, 而且相当多的一部分机组不能生产热轧成品管, 而只能生产冷拔管坯; 冷拔管在成品管中所占的比例过重, 产品结构组成不合理。

2) 产品质量不高, 如我国小型机组生产的冷加工钢管一般未达到高尺寸精度, 只能达到一般尺寸精度要求。此外, 对于一些高标准的钢管, 不论表面质量还是物理化学性能都不能满足要求, 而且成品率、成材率相当低, 生产浪费很大。

3) 小型热轧钢管机组尺寸规格范围太窄, 大多数机组只能

生产外径 $\phi 76 \sim 114$ 毫米、最小壁厚4毫米、最大壁厚20毫米的钢管，成品管长度一般不超过8米；生产的品种也较少，主要是一般管、低压锅炉管、地质管等。

4) 由于小型机组精整设备不配套和缺乏必要的无损探伤设备和自动测量设备，产品质量难于控制，与国外先进国家产品相比还有差距。

小型无缝钢管机组的产品结构怎样发展，这是涉及小型机组的发展方向问题，我们认为小型无缝钢管的产品发展方向应是：

1) 向高尺寸精度、小批量、多品种方向发展。应把品种和质量放在首位，尤其是冷加工钢管应尽快提高产品质量，扩大品种以满足现代化工业和科学技术发展的需求，为航空、汽车、化工、原子能、火箭、电子工业、空间技术、机械制造、医疗器械等部门提供大量优质产品。

2) 与重点企业大型机组相协调，多生产大机组难于生产或生产不经济的产品，以弥补国内无缝钢管产品的一些空白。

3) 多生产一些经济断面的无缝钢管和一些特殊的产品，如各种异形管和多种镀层管、复合管等。

4) 100机组应向生产小尺寸和多品种热轧管方向发展。

第二节 产品的标准和技术条件

钢管的规格品种和质量要求均规定在有关的标准和技术条件中。满足产品标准和技术条件的要求，是确定工艺过程、组织生产的依据和出发点，小型无缝钢管生产所涉及的标准如表1-2所示。

标准中规定对产品质量的要求主要包括七个方面：1) 化学成分；2) 几何尺寸精度；3) 表面质量；4) 物理化学性能；5) 工艺性能；6) 金相组织；7) 对特殊用途的钢管提出的特殊要求。

几何尺寸精度主要包括外径、壁厚、定尺管长度公差及弯曲度等。

表 1-2 小型无缝钢管的标准

用 途	钢管名称	技术标准	常用生产方法
管道用管	石油输送管	YB231—70	热 轧
	蒸汽管道用无缝管	YB231—70	热 轧
热工设备和 热交换器用管	普通锅炉管	GB3087—82	热轧，冷拔
	高压锅炉管	GB5310—85	热轧，冷拔
机械工业用管	航空结构管	YB678—71, YB679—71, YB680—71, YB681—71	热轧，冷拔
	汽车拖拉机结构管	YB231—70	热轧，冷拔
	半轴及车轴管	GB3088—82	热轧，冷拔
	柴油机高压油管	GB3093—82	冷 拔
	拖拉机冷却器用管	YB241—64	冷 拔
	农机用方矩形管	YB233—64	热轧，冷拔
机械工业用管	轴承钢管	YB/Z12—77	热轧，冷拔
	液压支柱管		
石油地质工业用管	地质钻探管	YB235—70	热轧，冷拔
	石油油管	YB239—63	热轧，冷拔
化工用管	石油裂化管	YB237—70	热轧，冷拔
	化肥用高压管	YB800—70	热轧，冷拔
	化工设备及管道用管	GB2270—80	热轧，冷拔
		YB231—70	
其他用管	仪表用管	专门协议	冷 拔
	表壳用管	YB446—64	冷 拔

外径精度：

正偏差为钢管横截面的最大外径 $D_{\max}$ 与名义直径 D_H 之差，即

$$+\Delta D = D_{\max} - D_H$$

负偏差为钢管横截面的最小外径 $D_{\min}$ 与名义直径之差，即

$$-\Delta D = D_{\min} - D_H$$

正负偏差相对值为

$$\frac{\pm \Delta D}{D_H} \times 100\%$$

外径椭圆度：

绝对值为 $D_{\max} - D_{\min}$

$$\text{相对值为 } \frac{D_{\max} - D_{\min}}{\frac{1}{2}(D_{\max} + D_{\min})}$$

椭圆度也可用 $D_{\max}/D_{\min}$ 来表示。

壁厚精度：

正偏差为钢管横截面上测得的最大壁厚 $S_{\max}$ 与名义壁厚 S_H 之差，

即

$$+\Delta S = S_{\max} - S_H$$

负偏差为钢管横截面上测得的最小壁厚 $S_{\min}$ 与名义壁厚之差，即

$$-\Delta S = S_{\min} - S_H$$

正负偏差的相对值为

$$\frac{\pm \Delta S}{S_H} \times 100\%$$

壁厚不均度

$$\frac{S_{\max} - S_{\min}}{S_H} \times 100\%$$

或

$$\frac{S_{\max} - S_{\min}}{S_e} \times 100\%$$

式中 S_e ——测量同一横截面上八个点的壁厚平均值。

弯曲是指一米长度内管子的挠度。

物理化学性能包括有常温下的机械性能、一定温度下的机械性能（热强性）和抗腐蚀性能（抗氧化、抗水蚀、抗酸碱等性能）。

表 1-3 美国ASTM标准

分 类	碳 钢	合 金 钢	不 锈 钢	特殊用途
配管用管	A 53, A 120 A 134, A 135 A 139, A 211 A 539 A 155, A 381 A 672 A 106, A 587	A 309, A 335 A 405 A 691 A 714	A 312, A 731 A 358, A 376 A 430 A 409 A 270, A 651	A 333, A 524 A 671 A 523, A 589
锅炉热交换用管	A 178, A 192 A 210, A 226 A 556, A 557 A 179, A 214 A 161	A 209, A 213 A 250, A 423 A 692 A 199, A 200	A 268, A 269 A 632 A 249, A 688 A 669, A 498 A 271	A 334
机械用管	A 512, A 513 A 519 A 252, A 500 A 501, A 595	A 618	A 511, A 554	

工艺性能包括有压扁、扩口、卷边和焊接性能等。

金相组织包括有低倍组织和高倍组织。

标准中所规定的质量要求并不是一成不变的，随着现代化工业和科学技术的不断发展，用户对产品的要求愈来愈高，为了满足用户要求，标准将定期进行修正。

为了执行对外开放政策，扩大无缝钢管产品出口量，打入国际市场，产品的质量应满足国际标准要求，因此要相应地执行国际标准。

各国的标准代号如下：

美国 ASTM, ASME, ABS, API

日本 JIS, NK

西德 DIN

英国 BS, LR

苏联 ГОСТ

法国 NF, BV

美国材料试验协会 (ASTM) 有关钢管的标准列于表1-3。

应当指出, 国际标准和国家标准中的规定, 只是对某类产品的一般要求, 为了加强企业竞争力, 提高企业的声誉, 各企业应多生产超标准管材, 创制更多的名牌产品。

第二章 60~100机组的 生产工艺过程及其主要设备

60~100无缝钢管生产机组装备在中小型企业内，遍及全国。它在我国无缝钢管生产机组中占有重要地位。多年来，该机组为我国工农业和国防工业发展做出了巨大的贡献。60~100机组是由我国自行设计、自行制造的设备，经过多年来不断改造，有的机组愈来愈显示出它的某些优点，而且在技术上也有可能逐步达到先进水平。

概括起来，该机组具有如下的特点：

- 1) 建设时间短，投资少，设备重量轻，制造简单和迅速。
- 2) 机械化程度达到一定的水平。
- 3) 由于中小型企业可自供热轧管坯，并开始使用小连铸坯，可减少开坯机和管坯轧机建设的投资。
- 4) 可生产各种合金钢管，包括高合金钢管，且比较灵活，适于小批量生产。

但也存在一些问题，特别是老76机组。例如有的工厂劳动生产率较低，设备潜力有待进一步发挥，各种消耗指标较高，以及个别厂机械化水平不高，体力劳动繁重等。因此，进一步研究60~100机组工艺过程和设备改造是很重要的，也是急需的。

第一节 60~100机组的工艺过程

在60~100机组上生产的热轧钢管（和半成品管）的规格是：直径25~127毫米，壁厚2.50~20毫米。钢种包括碳素钢、低合金钢、合金钢和高合金钢（如不锈钢、耐热钢、轴承钢、高温合金、精密合金等）。

76毫米以下机组多数只出热轧半成品管，供冷拔坯料，而

100机组（包括114机组）多数直接出热轧成品管，同时也可供冷拔坯料。

一、60、76机组生产方式

76机组的生产过程包括有以下几种方式。

1. 原料→加热→二辊穿孔（毛管做为冷拔坯料）

毛管尺寸大致为 $\phi 50 \sim 82 \times 3.5 \sim 7$ 毫米（个别的达 $\phi 122 \sim 135 \times 12 \sim 14$ 毫米），多用于小机组和合金钢管生产。显然，这种生产方法不能提供冷拔所需的合理坯料，如外径大、壁厚大以及表面质量差，导致拉拔道次多，周期长，成本高。有的厂通过冷轧和冷拔联合工艺出成品，虽然缺点有所克服，但不能从根本上解决问题。这种生产方式多受现厂设备条件限制。如在轧管机上轧制不锈钢钢管时，由于轧制压力大，设备容易出故障；通过轧管机后内表面质量难以保证（虽然管壁有所减薄）以及对工具（顶头）的质量要求高。

60机组采用这种生产方法，虽然可穿轧壁厚为3毫米的毛管，但内外表面质量较差，也难于轧制长管。

2. 原料→加热→二辊穿孔→自动轧管机轧管（一般两道）

这种生产方式生产出的热轧半成品钢管，一般尺寸为 $\phi 74 \sim 85 \times 3.5 \sim 5$ 毫米。这种生产方法可生产各种碳素钢管和合金钢管，由于供冷拔用的坯料壁厚有所减小，从而可减轻冷拔机的负担。但由于外径较大以及壁厚相对来说还较厚（对冷拔薄壁管），用这种毛管冷拔和冷轧薄壁钢管不尽合理。同时由于只通过轧管机，钢管的几何精度较差，对冷拔和冷轧也是不利的。

此外，由于不少76机组的热轧生产能力大于冷拔生产能力以及由于热轧不能生产成品钢管，热轧设备长期处于负荷不足的条件下生产，同时也导致能耗增高。

现在大多数76机组都采用这种生产方法，并累积了不少经验，如钢管长度增大到7米，这样不但提高了热轧的产量，同时也可在一定程度上提高冷拔的产量，减少金属消耗，提高成材率。又如采用“薄穿少轧”的工艺，即穿孔的毛管壁较薄，在自

动轧管机上取较小的变形量，一般减壁量在1.5毫米左右，两道次顶头直径相等以及使用球形顶头等，显著改善了钢管的内表面质量，因而有利于冷拔钢管质量的提高。为了平衡冷热工段的生产能力，采用增设大吨位的冷拔机，增加冷拔链条数，提高冷拔机速度，增大延伸系数以及减小由热轧管到冷拔管的总减壁量（0.5~1.0毫米，对于大直径厚壁管而言），能显著提高冷拔能力，从而缓和了热轧和冷拔能力不平衡的矛盾。

3. 原料→加热→二辊穿孔→自动轧管机轧管→均整

这种生产方法的优点在于热轧半成品管的几何精确度通过均整会有显著提高，钢管表面质量能有改善。缺点是均整后钢管的（荒管）终轧温度较低，存在着加工硬化，使荒管冷拔有些困难（荒管不退火时）。另外，在均整过程中有些扩径（4~6毫米），同时由于一般只设置一台均整机，从而设备能力不平衡，均整限制了热轧能力的发挥，由于实际效果不显著，这种工艺并未得到发展。

4. 原料→加热→二辊穿孔→三辊斜轧轧管

这种生产方法在沈阳某厂主要用于生产50BA管等。穿孔后的毛管尺寸为 $\phi 70 \sim 71 \times 9.0 \sim 9.5$ 毫米，通过三辊轧管机轧成 $\phi 53 \sim 54 \times 8.5$ 毫米。三辊轧机的生产能力和穿孔机相平衡。这种三辊轧管机的轧辊及短芯棒如图2-1及2-2所示。该三辊轧管机的轧制特点是：

1) 三辊轧管机主要用来减径，故又可称三辊斜轧减径机。其减径量 ≤ 20 毫米；而减壁量不大，名义减壁量为1毫米。实际上，轧辊脊部处的急剧缩径使壁增厚，故其总减壁量为1.5毫米。轧制后钢管壁厚公差较小，壁厚差 < 0.4 毫米，外径公差为 $0.08 \sim 0.53$ 毫米。

2) 轧制过程为反轧过程，短芯棒进入变形区不再移动，并承受拉力。

3) 芯棒和轧辊都作成台阶形，从而有较大的减径量。

由以上可以看出，该生产过程主要适用于生产尺寸较精确的

厚壁管。荒管 ($\phi 53 \times 8.3 \sim 8.9$ 毫米) 经过冷拔后的成品管尺寸为 $\phi 20 \times 6.45$ 毫米。最近, 江西某厂 90 机组引进英国改进型阿塞尔轧管机, 可制造薄壁管, 最小壁厚 3 毫米, 轧后长度超过 12 米。

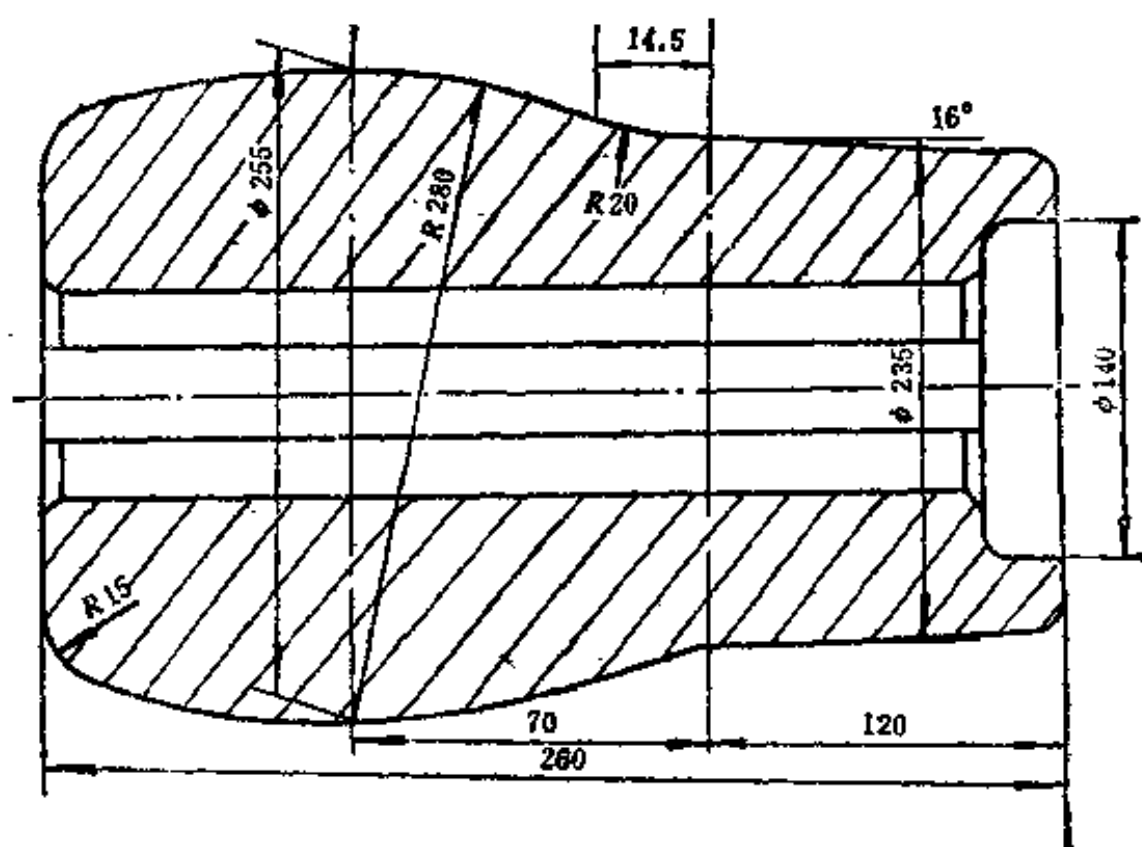


图 2-1 三辊轧管机的轧辊

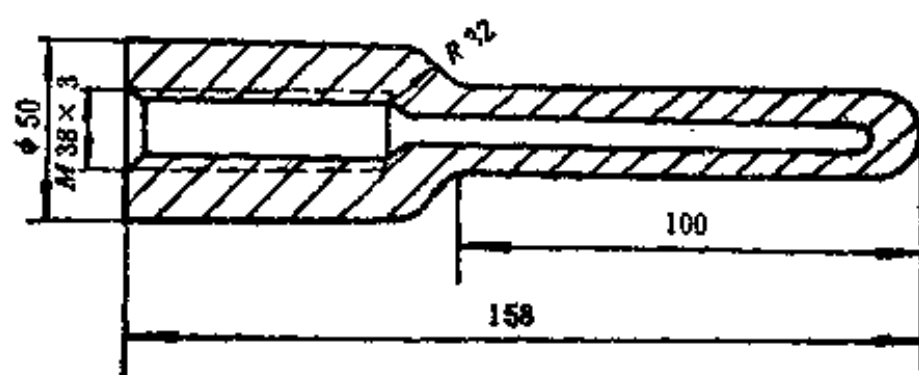


图 2-2 三辊轧管机的短芯棒

5. 原料→加热→二辊斜轧穿孔→二辊斜轧延伸

这种生产方式也用来生产热轧半成品管, 作为冷拔坯料。

二辊斜轧延伸可用狄塞尔轧机、两次穿孔 (固定芯棒和半浮动芯棒) 和拉力芯棒斜轧延伸机 (包括全浮动芯棒) 等。这种生



产方式有如下优点:

1) 二辊斜轧延伸机减壁量大, 而外径或稍有增加或保持不变, 甚至减小。轧出的钢管外径为 $\phi 45 \sim 90$ 毫米, 壁厚精确度和外径精确度(椭圆度)均较高, 壁厚差小于0.4毫米。

2) 根据国外介绍的资料也证明, 采取两次穿孔方法可减小钢管壁厚不均约 $1/3$, 同时还可用小直径管坯轧制大直径钢管, 通过两次穿孔其扩径量可达50%。一般第二架扩径量较第一架要小些, 不然会影响毛管的质量。二次穿孔的壁厚压缩量可达50%以上。

3) 用斜轧延伸机代替自动轧管机, 工具使用以及调整较为方便, 变换规格也较容易。

4) 当生产热轧管时机组设备组成较简单, 可以省去均整机, 因为壁厚不均、椭圆度和内表面质量均较好, 这样设置均整机就没有必要了。

但两次穿孔工艺也存在一些问题, 如两架穿孔机生产能力不平衡, 采用固定芯棒时顶头寿命低, 钢管内表面质量差。目前国内用两次穿孔方法生产出的管子长度较短, 从而作为冷拔坯料时金属消耗较大。

今后发展方向是采用狄塞尔轧机或拉力芯棒(全浮或半浮芯棒)二辊延伸机以及改进型的阿塞尔轧机。

二、100(114)机组生产方式

100(114)机组生产热轧钢管的工艺过程基本上有下列几种方式。

1. 典型的自动轧管机组工艺过程

典型的自动轧管机组的工艺过程如图2-3所示。

有的100机组没有设置减径机作业线, 只生产定径管, 用这种工艺生产的产品规格范围太窄。我国典型的自动轧管机组的工艺过程, 历年来变化不大。值得一提的是张力减径机的应用。在我国100机组配置张力减径机, 可以显著地扩大产品规格, 生产的最小尺寸的热轧管为 20×2.5 毫米。

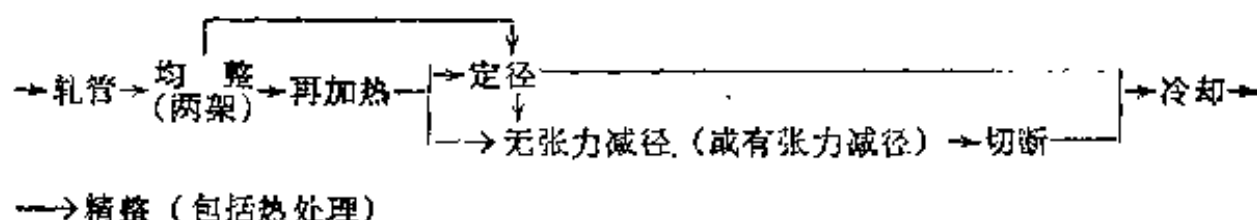
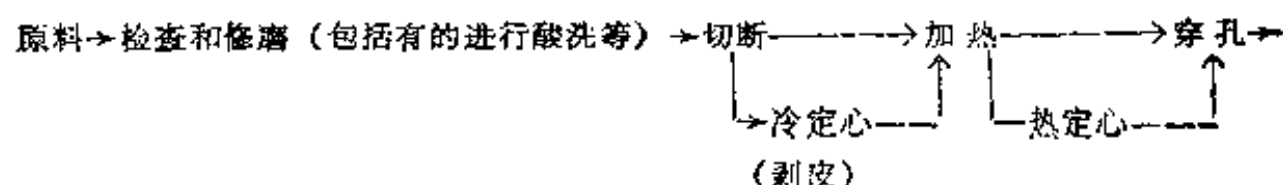


图 2-3 自动轧管机组的工艺流程

张力减径机是一种不带芯棒的连续轧管机，它除了能使荒管的直径变小外，还能使管壁厚度减薄，生产小口径热轧薄壁管。减径量到75~80%，减壁量到35~40%，延伸系数到6~8。张力减径机是钢管生产中的一项新设备，对提高钢管产量、扩大钢管品种、改善钢管质量起关键作用。

以前都采用无张力减径方法来生产小直径钢管，它一直受到两方面的限制：1) 总的直径减缩量受到限制；2) 对成品钢管的壁厚不能调节。因此，荒管（减径机前机组）生产机组必须生产外径范围很大的荒管，并且还要有不同的壁厚，才能满足各种成品管壁厚的要求。这就给生产带来了两方面的缺点：1) 必须储备尺寸范围很大的管坯；2) 在总的生产时间内换品种规格和检查尺寸的时间占去很大比例。设置张力减径机后这些缺点就克服了。

现在100机组配置张力减径机的主要问题是，由于荒管长度较短以及张力减径后的钢管存在着纵向壁厚不均，成品管的切头切尾较长，金属消耗增加。另外张力减径机能力较大，与前机组能力不平衡。这些都有待于克服。

在使用无张力减径机方面，国内有较丰富的经验。在无张力减径机上生产的最小钢管尺寸是 $\phi 57$ 毫米，但轧制时壁厚要增厚。一般壁厚都在3.5毫米以上。为了在无张力减径机上提高产量（提高整个热轧机组生产能力），多采用“大管”减径方法，把

定径机和减径机串联起来，增加减径机架数。这样可以加大来料荒管尺寸，从而既提高了热轧机组的生产能力（避免轧小料），又提高了减径机的生产能力，但管壁精度差。

2. 用三辊斜轧系统生产热轧钢管

用三辊穿孔机代替二辊穿孔机是一种新的穿孔工艺。三辊穿孔较二辊穿孔具有优点，主要是生产出的钢管，表面质量和几何精度都较高。

用三辊斜轧式轧管机（称阿塞尔轧机）代替自动轧管机早在1932年就已试验成功。三辊轧管机主要用来生产几何尺寸精度高的厚壁钢管（如轴承钢管等），即钢管直径和壁厚之比 D/S 小于12。三辊轧管机能用很少的工具和备件来生产多种尺寸的中、厚壁钢管。生产出的钢管几何尺寸精度可达1/1000英寸（壁厚和外径公差）。法国瓦鲁来克公司和英国钢管投资公司共同研制出一种可以在轧制过程中变换前进角的新型三辊轧管机称“特朗斯瓦尔”轧管机。这种轧管机已广泛用于工业生产，它是在阿塞尔轧管机的基础上发展起来的，仍属于阿塞尔轧机，生产出的钢管 $D/S > 20$ 。以前三辊轧管机都是和二辊穿孔机相配；而最新的生产方法则是和三辊穿孔机相配。这就是用三辊斜轧系统生产热轧钢管的方法，其工艺过程如下：

原料→剪断→加热→热定心→三辊穿孔→三辊轧管→再加热→定径（或减径）→回转定径→冷床。

在此机组中也可设置减径机，以获得较小尺寸的厚壁钢管。该机组最适合生产高精度钢管和合金钢管（如不锈钢、轴承钢、合金结构钢等）。

在定径机前设再加热炉，其目的是提高钢管定减径温度，由 650°C 加热到 980°C 左右，从而保证了钢管的继续加工和最终成品的机械性能。

使用一台回转定径机是为了获得结构钢管所要求的圆度。回转定径机与二辊式穿孔机极为相似，所不同的只是不带顶头。这道轧制实际上几乎没有压缩量，其目的是规圆，因此，轧机结构

可以简化，无需调整角度（前进角）。苏联也有用三辊式回转定径机的。回转定径机的孔型如图2-4所示。湖南某厂新改造的108机组用微张力减径机代替回转定径机也获得了成功。

我国生产实践证明，用这套机组生产出的钢管，不管表面质量还是尺寸精度都高。三辊穿孔不会产生“孔腔”，从而不易产生内折缺陷。合金钢穿孔时也是如此，钢管内外表面质量良好。

湖南某厂在108机组的三辊穿孔机上用圆铸坯顺利地穿孔成功。铸坯穿孔前后的晶粒组织如图2-5和2-6所示。由图可以看出，晶粒结构得到了显著改善。

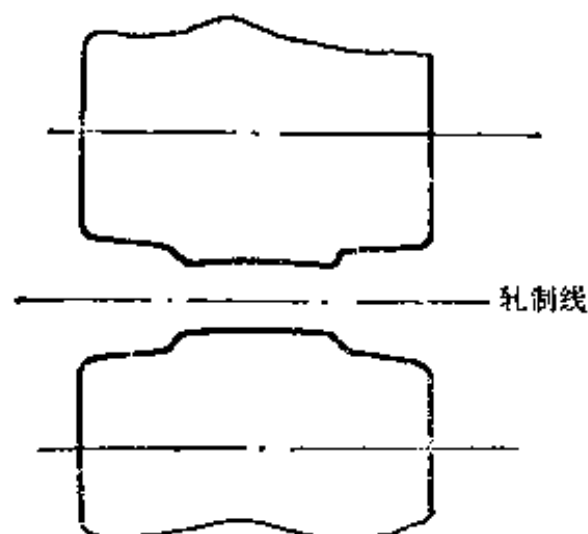


图 2-4 回转定径机的孔型图示



图 2-5 ZG35圆铸坯原始晶粒组织（ $\times 100$ ，4%硝酸酒精侵蚀）

同心性（壁厚不均）得到改善的原因是，管子在变形区中受三个轧辊作用，从而可限制毛管上下串动，位于中心的顶头也较二辊穿孔时稳定得多。而二辊穿孔时由于钢管外径严重歪斜（变椭圆），不易限制顶头上下串动，所以顶头位置不稳定，壁厚不均较三辊穿孔时的大。

二辊穿孔的坯料横截面的变形过程是由圆到椭圆再规圆的过程，而三辊穿孔的变形过程则是由圆到圆三角再规圆的过程。这就是毛管壁厚精确度较高的原因所在。

通过两个三辊斜轧机轧制（穿孔和轧管）的 $\phi 50.8 \sim 101.6$ 毫米热轧钢管，壁厚公差可达 $\pm 0.5 \sim 5\%$ ，外径公差也很小， D/S 比值一般在 $10 \sim 13.6$ 。

由以上不难看出，用三辊系统来生产热轧管是较先进的方法，是有发展前途的方法。最后应指出，三辊穿孔能和任何机组相配合轧出高质量的钢管，也能用质量较差的管坯轧出合格的钢管来。不足的是，目前用三辊穿孔机穿制薄壁毛管还有些困难。

3. 用二辊斜轧系统生产热轧钢管

二辊斜轧系统和三辊系统近似，都是用斜轧机来代替自动轧

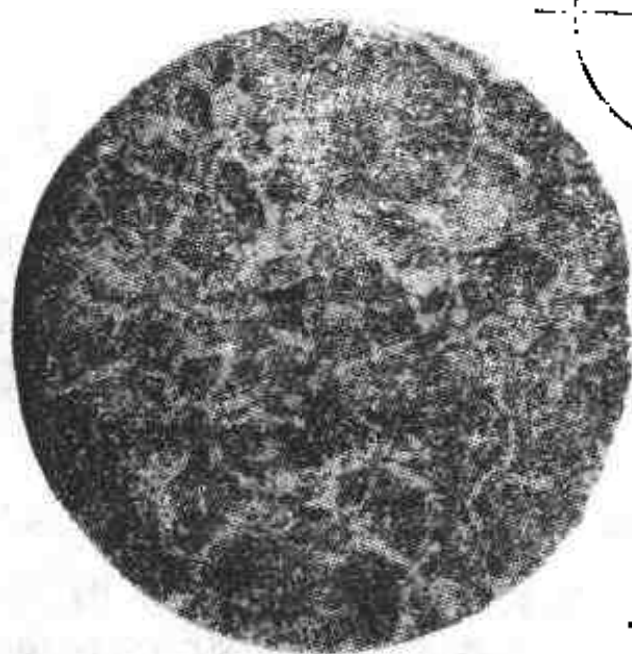


图 2-6 ZG35圆铸坯穿孔后的
晶粒组织

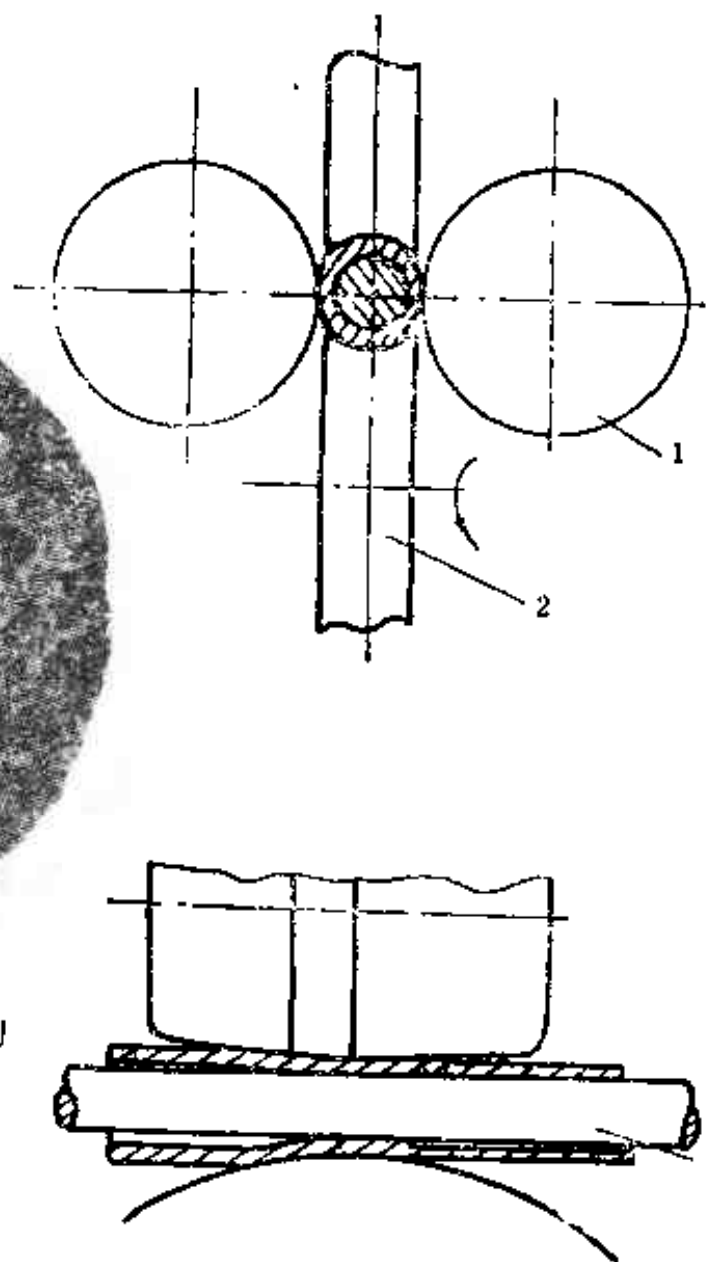


图 2-7 带导盘的斜轧延伸机

1—工作轧辊；2—导盘；3—芯棒

管机和均整机，从而机组中轧机较少（省去均整机）。一般第一架是二辊穿孔机，第二架是带回转导盘的延伸机或带导板的二辊斜轧延伸机以及拉力芯棒延伸机。图2-7为带导盘的斜轧延伸机的简图。图2-8为带导盘的100斜轧延伸机组的导盘形状和尺寸。

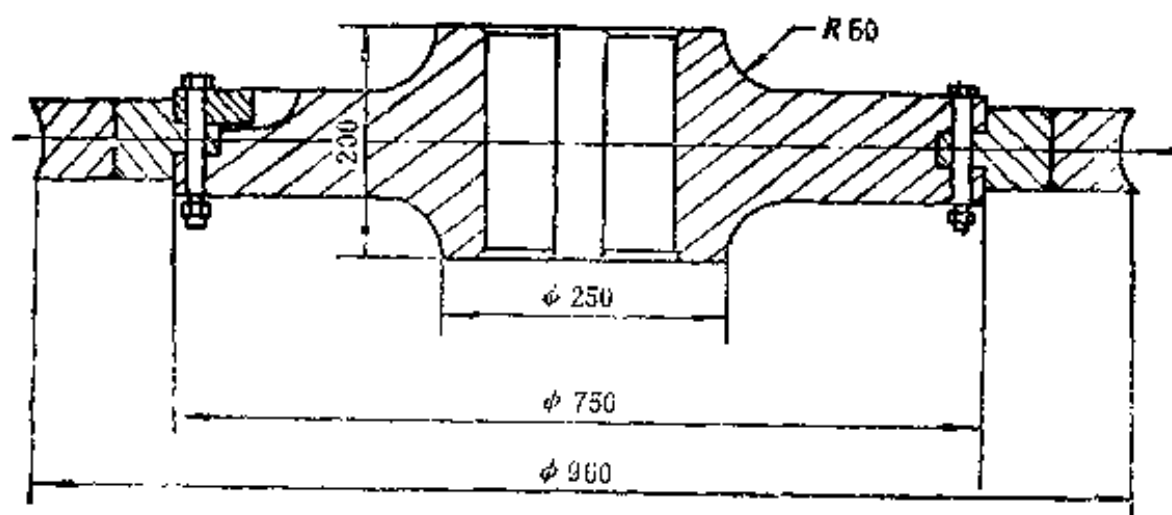


图 2-8 导盘的形状和尺寸

用主动旋转的导盘来代替一般二辊斜轧机的导板，目的是为了在延伸机上有较大的减壁量，从而可以轧出薄壁钢管。这是因为旋转导盘的圆周速度大于轧辊的圆周速度的轴向分量，从而导盘对钢管必然产生一个轴向拉力（即导盘拉钢管），提高了纵向延伸变形，减小了金属和轧辊之间的滑移。同时由于使用长芯棒，内表面质量也较好。该机组目前的缺点是减壁量受到限制，有时内螺纹较重。

我国某厂100狄塞尔延伸机组的工艺流程如图2-9所示。该机组已成批生产出各种合金钢管（如不锈钢管、铁素体钢管，25Fe-Al-Mo，40Fe-Al-Mo等），质量良好。据资料[1]介绍，用这种机组生产出的钢管，壁厚公差为 $\pm 1.32 \sim \pm 4.1\%$ ，外径公差也较小，并且尺寸范围较广， D/S 在4~35范围内。这是它的突出优点。

某厂76机组轧管工段改造后的设备性能如下。

环形加热炉的性能如表2-1~表2-3所示。

原穿孔机为闭口机架，改为开口机架（如图2-10所示）后显

著减少了换辊时间。轧辊轴承改为滚动轴承，提高了轧机的精度，降低了能量消耗，延长了寿命并节约了冷却轴瓦（胶木）用的自来水（净水）。为了实现轧长管和提高毛管几何尺寸精确度，增设了定心辊和入口导管，并将前后台加长。穿孔机改造前后的性能比较如表2-4所示。改造后穿孔机只用两个人操作，达到了较高的机械化水平。

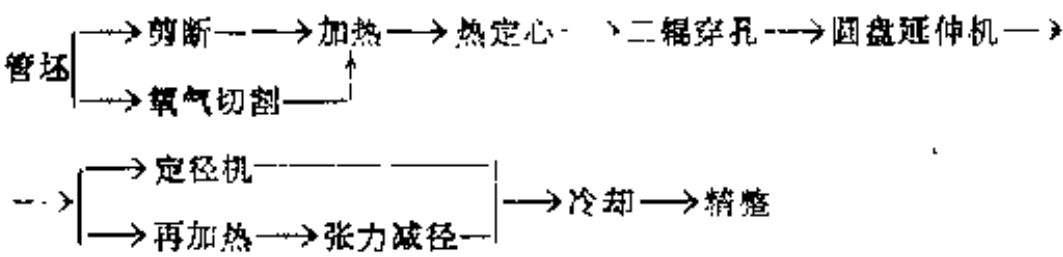


图 2-9 100狄塞尔轧管机组的工艺流程

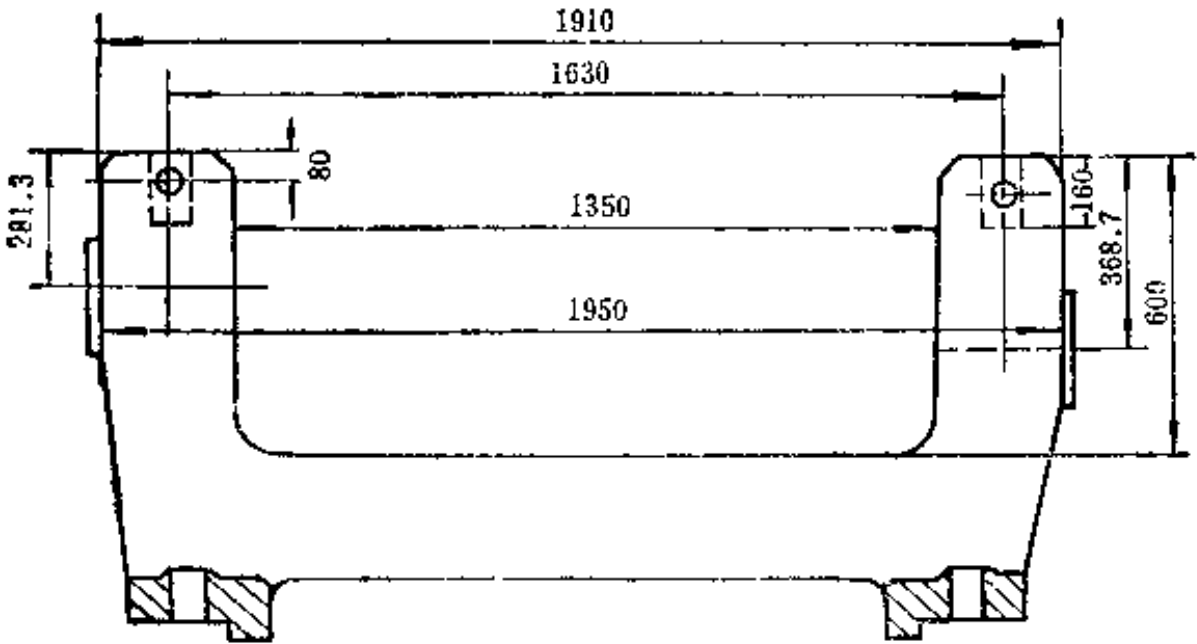


图 2-10 穿孔机机架改造示意图

自动轧管机的技术性能如表2-5所示。

通过改造轧管机机械化水平也有了显著提高，使用了球形顶头、自动撒盐和小车送钢，做到自动送钢和自动翻管，并把梅花轴套改为十字接手，减少了冲击和噪音，并提高了轧制过程的稳定性。

自动换顶头的机构如图2-11所示。

表 2-1 炉底转动机械的性能

油泵型号 (叶片式)	油泵油压 兆帕	油泵油量 米 ³ /分	电动机			油缸直径 毫米	活塞最大行程 毫米	炉底转角, 度	转向
			型号	容量 (千瓦)	转速 转/分				
HY02—100×65	6.37	0.1	JO262-6	13	970	180	270	3	顺时针

表 2-2 加热炉的技术性能

炉底面积 米 ²	小时产量 吨/时	放置管坯支数	管坯尺寸 毫米	燃料			烧嘴数量 个	烧嘴能力 公斤/时	油温 (烧嘴前) °C	空气量 米 ³ /时	最大空气量 米 ³ /时	空气预热 热效率	砌砖尺寸 (外径) 毫米	炉膛直径 米	炉底转角, 度	冷却水压力 兆帕
				类型	发热值 千焦/公斤	消耗量 公斤/时										
39.2	5.5	110	φ70~100 1=1800 (最大)	重油	38874 ~40128	370	φ4英寸 11个, φ2.5英寸 6个	550	90~110	5000	4800	辐射式 换热器	最大 10.5 最小 4.13	外 8.09, 内 5.09, 平均 7.09	3	2.16

表 2-3 环形炉进出料机械手的性能

小车最大行程, 毫米	夹持管坯尺寸, 毫米	提升气缸行程, 毫米	铅口低头距, 毫米	文铅转角度	走行小车电动机	减速机	小车速度米/秒
2860	$\phi 70 \sim 100$ $l = 600 \sim 1700$	73	190	30	JZR126-6	DM250-IV-1Y	0.52

表 2-4 穿孔机改造前后性能比较

	主电动机	减速机	人字齿轮轧辊尺寸, 毫米	轧辊转速, 转/分	轧辊线速度, 米/秒	管坯尺寸, 毫米	毛管长度, 毫米	小车速度, 米/秒	轧辊轴承	顶杆长度, 毫米	最大行程, 米
改造前	JRQ1410-8.370 千瓦 735转/分	$i = 3.25$	$\phi 500 \times 350$	89	1.86~2.33, 轴向分速 0.2~0.25	$\phi 70 \sim 90$	2500 ~3500	1.5	胶木	4.6	4.5
改造后	JSO 158-6.550 千瓦 989转/分	$i = 2.094$	$\phi 580 \times 350$	119	~0.62	$\phi 70 \sim 100$ $l < 1800$	~6000	2	滚动 2097732 160/270 $\times 150$	7.14	6.5

表 2-5 自动轧管机的技术性能

主电动机	减速机	轧辊直径 毫米	轧辊转速 转/分	回送辊转速 转/分	轧辊刻槽 数 目	备 注
JRQ1410-6 型, 380千瓦, 980转/分	$A = 1300$ 毫米, $i = 9.73$, 飞轮 直径1230毫米, $GD^2 = 19.6$ 千焦	360~450	100	216	6~8	后台长由原来5米加长到8.01米

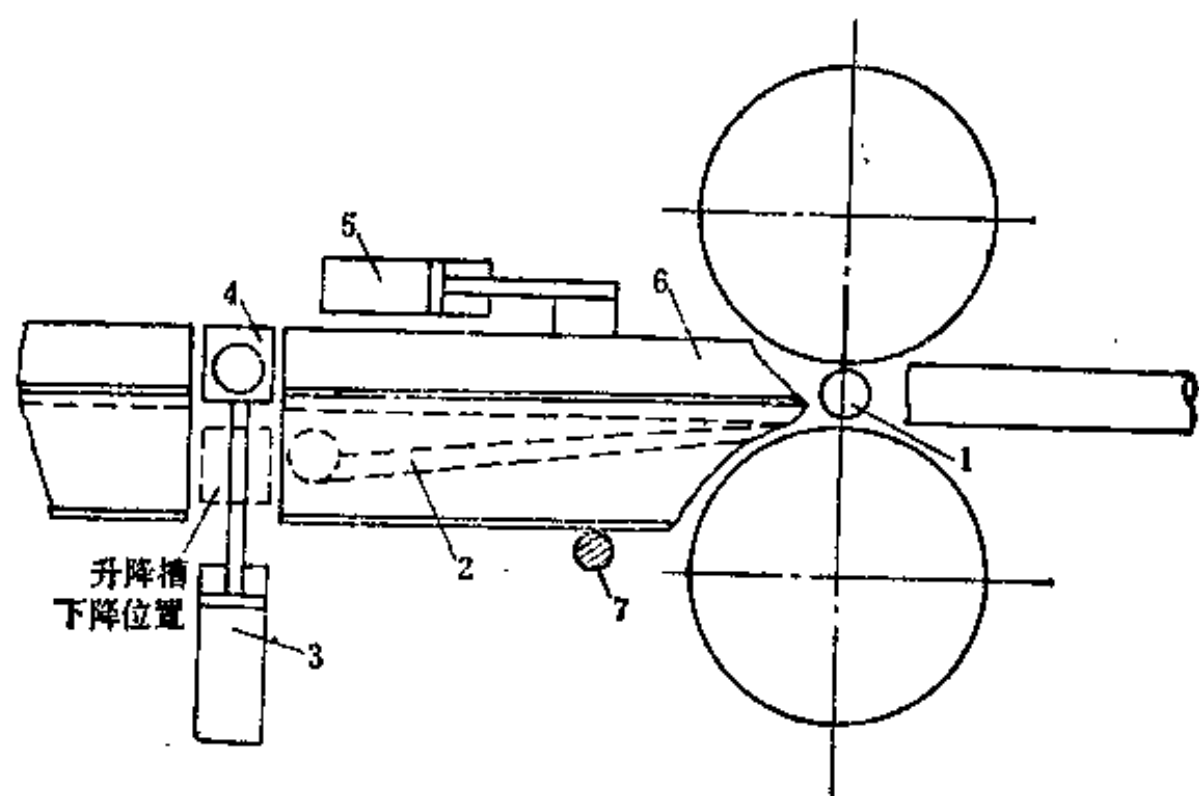


图 2-11 自动换顶头装置

1—球顶头；2—球顶头滚动料槽；3、5—气缸；4—球顶头升降槽；6—活动料槽；7—机架拉杆

送钢小车的技术性能如表2-6所示。

改造后的轧管机也只用两人操作，达到较高的机械化水平。现在不少76机组有的是换一个较大的穿孔机，同时对原有轧管机进行了加固改造，有的是将原76机组改为90机组以适应轧制较大直径管坯和合金钢管的要求。

综上所述，我国现有的 $\phi 100$ 自动轧管机组存在的主要问题及改造方向是：

表 2-6 送钢小车的技术性能

行走机构				推头升降气缸		翻管机构		
速度 米/秒	电机	蜗轮减 速 机	轨 距 毫米	直 径 毫米	行 程 毫米	气缸	翻转角度	棘轮
~1.65	JZRB21 -0, 4.2 千瓦, 950转/分	A = 120 毫米, i = 8	680	φ100	120	φ75毫米 行程 230毫米	约41°	M = 8, Z = 10

1) 所用管坯为轧制管坯, 而且一般都由大企业供应, 大多数中小企业不能自供管坯, 造成管坯供应紧张, 不能充分发挥设备能力, 甚至造成很大浪费。发展方向应该是使用连铸坯, 特别是使用连铸圆坯。与此相应的, 应该改造旧的穿孔机, 如采用导盘穿孔机、菌式穿孔机等, 以适应于穿制连铸坯。

2) 轧出的成品钢管长度短 (一般不超过8米), 不能满足一些用户的要求, 而且成材率低。这主要受穿孔机和轧管机后台长度限制 (即顶杆强度和稳定性的限制)。大多数100机组未设置减径机, 因而轧管后钢管不能再延伸。改造方向是, 延长主要机组后台长度, 强化顶杆固定装置, 设置微张力减径机, 实现大管减径。

3) 产品几何尺寸精度差, 主要是壁厚不均严重, 这是自动轧管机本身造成的。用斜轧延伸机或小型顶管机代替自动轧管机是发展方向。

4) 产品质量不高, 品种范围窄。除上述原因外还有精整工序不齐全, 设备不配套。大多数工厂缺少热处理设备、自动检查仪表以及必要的精整设备等。因此进一步改造精整工序也是发展方向之一。

综上所述, 76毫米以下机组的改造方向重点在于为冷拔提供合理的坯料。目前存在的主要问题是: 轧出的荒管壁厚过厚, 壁

厚精度不高，内外表面质量也有待提高。轧制高合金钢时一般只穿孔不轧管，显得更不合理。

现有76机组的自动轧管机应该淘汰，最好的办法是用长芯棒的二辊或三辊斜轧延伸机来代替。穿孔机应改为单主动导盘穿孔机以适应穿制合金钢管坯和连铸管坯。76机组应是生产高精度、高性能、多品种的冷加工钢管的专业化机组，而且应该是灵活性强和适应小批量生产的机组，除了改造热轧工段外还应改造现有的76机组落后的冷拔工艺及其相应设备。

第二节 60~100机组机械设备和加热设备

60~100机组机械设备和加热设备都较简单，而且大多数设备都可由地方工业自制。

一、剪断（锯断）设备

在60~100机组常用的剪断（锯断）设备有锯机、剪断机等，其技术性能如表2-7及表2-8所示。

表 2-7 锯机的技术性能

机组（工厂）	型 式	锯片尺寸，毫米	可锯最大断面，毫米	电 动 机
76机组	管坯砂轮锯	$\phi 400 \times 3$	$\sigma_b = 685$ 兆帕 时为 $\phi 120$	16千瓦
（合金钢厂）	圆盘锯床	$\phi 660 \sim 710 \times 5$	$\sigma_b = 1080$ 兆帕 时为 $\phi 120$	—
（合金钢厂）	872弓型锯床		$\phi 220$	1.5千瓦

一般多用剪断机剪切管坯，因为生产率高、成本低；不能用剪断机剪切的钢种（高合金钢）则用锯机或火焰切割截断，但金属消耗大。

二、管坯及钢管加热设备

目前76机组常用的管坯加热炉有斜底炉和环形炉。近来环形炉获得了迅速发展，是因为它有下列优点：

表 2-8 冷剪机的技术性能

机组 (工厂)	最大剪切力 千牛	剪切次数 次/分	上刀刃行程 毫米	电动机 千瓦	剪断规格, 毫米	备 注
114机组	3500	18	90	40	$\phi 110, \phi 105, \phi 80$ (10、20、45、60号钢)	重33吨
114机组	10000	12	—	55	最大 $\phi 140$ 管坯 (中碳钢)	重50吨
100机组 (烟台)	10000	12	140 行程高度	55	方料180, 管坯 $\phi 190$	重43.5吨
100机组 (长治)	12500	16	160		$\phi 75 \sim \phi 210$	重63吨
76 机 组 (天津)	5000	18	—	28	最大 $\phi 132$ (低碳钢)	Q42—500
76 机 组 (青岛)	2500	22	—	14~28	$\phi 90$ (低碳钢)	H137—250
76 机 组 (青岛)	3500	10	—	65	$\phi < 75$ (中碳钢, 合金钢)	刀片材料
	1600	12	~	40	$\phi > 75$ (10、20号钢)	5CrW2Si
76 机 组 (重庆)	5000	18	100	—	$\phi 132$ (碳钢)	

1) 由于不用人工翻钢以及机械化、自动化程度高,定员少,劳动条件得到改善;

2) 由于炉子不开翻料口,吸入冷空气少,从而金属烧损少,一般在1%左右,而斜底炉在3%左右。此外,管坯在炉底上不动,表面氧化铁皮不易剥落,从而减少了金属氧化;

3) 由于吸入冷空气少,容易控制炉内气氛,实行微压操作,从而有利于提高管坯加热质量,可以保证沿断面和长度上加热均匀。同时良好地控制炉子气氛可以改善钢管表面质量和性能(如氧化少,脱碳少);

4) 环形炉相对地占地面积小;

5) 由于管坯在环形炉中是四面加热,从而可缩短加热时间;

6) 燃料消耗少。

应当指出,60~100机组所使用的斜底炉,由于不断地进行改造,劳动强度明显降低,如上料和出料机械化的实现,煤气和重油燃料的使用,尤其是采取架空炉底(预热段),并适当增加炉底斜度等措施(单排料),使得上料、翻料、出料等岗位的劳动强度有较显著的减轻。对于燃煤加热炉,发展了自动加煤的往复炉排装置,也显著降低了劳动强度。从长远观点来看环形炉是发展方向。

近来国外加热小断面尺寸的管坯,有的采用工频电流感应加热炉,有的则采用通道式炉,实行快速加热。

60~100机组所使用的斜底加热炉技术性能如表2-9所示。斜底加热炉侧出料机技术性能如表2-10所示。各厂根据生产情况和具体条件不同,炉子的技术性能也有较大的差异。某些环形炉的技术性能如表2-11所示。

近年来对环形炉的改进显著降低了燃料消耗,改进的项目主要有:改善炉体结构,使用轻质耐火材料或陶瓷纤维,增设换热器,提高预热空气温度等。此外,使用微型计算机自动控制,既可节能又保证了加热质量。

表 2-9 管坯斜底加热炉的技术性能

机 组	加 热 管 坯 尺寸, 毫米	加 热 温 度, °C	燃 料 和 烧 嘴	炉底有效面积 米 ²	炉 子 产 量		单位燃料消耗 量, 千焦/公斤	备 注
					小时产量 公斤/时	炉底应力 公斤/米 ²		
114 机组	φ70~120 L<1600 双排 加热 L>1600 单排 加热	1230~1260	煤气压力784~980帕; 煤气流量3500米 ³ /时; 煤气发热值14.65~15.9兆焦/ 米 ³ ; 低压烧嘴17个	4×17.4	10~12×10 ³	195	2239	
100 自动 轧管机组	φ70~120	1230~1260	煤 气	3.016× 12.412	5.85×10 ³	—	—	
φ100 秋塞 尔轧管机组	φ90~110 L≤2000	1100~1200	焦炉煤气, 压力2156帕; 煤气消耗量1300米 ³ /时; 9个烧嘴	3.6× 12.032	5×10 ³	—	—	
76 机 组 (普钢厂)	φ70~80	最大1260	重油4"烧嘴3个; 烧嘴前重油压力 5086~10132帕	1.4×12	3根/分	—	—	
76 机 组 (合金钢厂)	φ75~80	1030~1230	清洗发生炉煤气; 煤气压力≥13720帕; 发热值5.27兆焦/米 ³ ; 烧嘴φ65毫米, 4个(炉头), φ48毫米, 6个(两侧)	1.5×11	—			炉底斜度 11%

表 2-10 斜底炉出料机的技术性能

机 组	最大推力 牛	推杆速度 米/秒	推杆行程 米	电 动 机 千瓦	备 注
114	2940	2.3	5	JZR42-8型16 718转/分	再加热炉推杆行程为7米,其他性能同管坯斜底加热炉
76	—	0.4	—	4.5	推杆为 $\phi 76$ 毫米钢管内通 $\phi 20$ 毫米水管冷却

在76~100机组定减机前的再加热炉有三种炉型：室状连续炉，步进炉和快速加热炉。再加热炉用于将钢管再加热到900~1050°C（个别到1100°C）。用于114机组无张力减径机前的再加热炉如图2-12所示。

再加热炉的主要性能如下：

产量：12吨/时；

炉底有效面积 $9.5 \times 3.019 = 28.6 \text{米}^2$ ；

允许加热钢管长度：8米；

出炉温度：950~1100°C。

在室状连续炉中加热管子时炉温一般高于被加热金属的温度50~100°C。炉子宽度根据加热管于长度决定。炉子长度决定于同时在炉底上放置的管子数量（即生产率）。烧嘴或喷油嘴布置在管子出口方向的炉墙上，管料借助于推钢机推出。为了便于管子在炉底上滚动，炉底做成倾斜的。炉子两侧有翻料门，用人工翻钢。

这种炉子的缺点是，由于加热过程中钢管易产生较厚的氧化铁皮（相对面言），同时在炉底上滚动时钢管外表面易粘上氧化铁皮和耐火砖渣，在轧制（减径）过程中将产生结疤缺陷；同时劳动强度大。优点是结构简单，投资少。

为了减轻人工翻钢的劳动强度，改善钢管质量，在新的设计中常采用步进炉。这种炉子在炉底上设有移动钢管的步进梁，从

表 2-11 部分机组环形炉的技术性能

技 术 性 能	76 机 组 (武汉)	76 机 组 (上海)	100 机组 (安阳)	76 机 组 (北京)	108 机 组 (衡阳)
炉底面积, 米 ²	39.5	37.68		43.33	69
炉子生产率, 吨/时	5	7		5	10
管坯最大装炉根数	110	168	134	112	—
管坯直径, 毫米	φ60~80	φ70~100	φ70~100	φ75~90	最大φ120
管坯长度, 毫米	600~1200	1800	900~2000	800~1300	最大2000
管坯加热温度, °C	1250	1130~1250	1130~1250	1130~1250	1150~1250
燃 料	发生炉煤气	重 油	—	重 油	重 油
燃料发热值, 千焦/米 ³	5225~5643	—	—	4480 千焦/公斤	—
单位燃料消耗量, 千焦/公斤	2717	2508	—	2508	2926
燃料消耗量, 公斤/时	2750米 ³ /时	370	—	370	738
烧嘴型式	高压喷射式	—	—	R3	C-I 低压喷嘴
烧嘴数量	内5, 外11	—	—	10个	2 1/2" 8个, 4" 3个
烧嘴前油或煤气压力, 千帕	13.7	—	—	98~196	49~98
预热器型式	整体 (铸铁—钢管) 式	—	—	—	—

续表 2-11

技 术 性 能	76 机 组 (武汉)	76 机 组 (上海)	100 机 组 (安阳)	76 机 组 (北京)	108 机 组 (衡阳)
煤气预热温度, °C	300	—	—	—	—
预热器受热面积, 米 ²	55.4	—	—	—	—
炉体内径, 毫米	4130	8000	5700	4470	6632
炉体平均直径, 毫米	7690	11000	9000	7340	10028
炉体最大外径, 毫米	10050	14000	12300	10210	13424
炉底转角, 度	3	2	2.5	3	3
油缸直径, 毫米	—	200	—	—	—
油压力, 兆帕	—	49	—	—	—
推力, 千牛	—	98	—	—	—
行程, 毫米	—	250	—	—	—
电机, 千瓦	13	—	—	—	—
进出料夹角, 度	—	24	25	—	33
空气消耗量, 米 ³ /时	—	—	—	—	9100
空气压力, 帕	—	—	—	7840	—

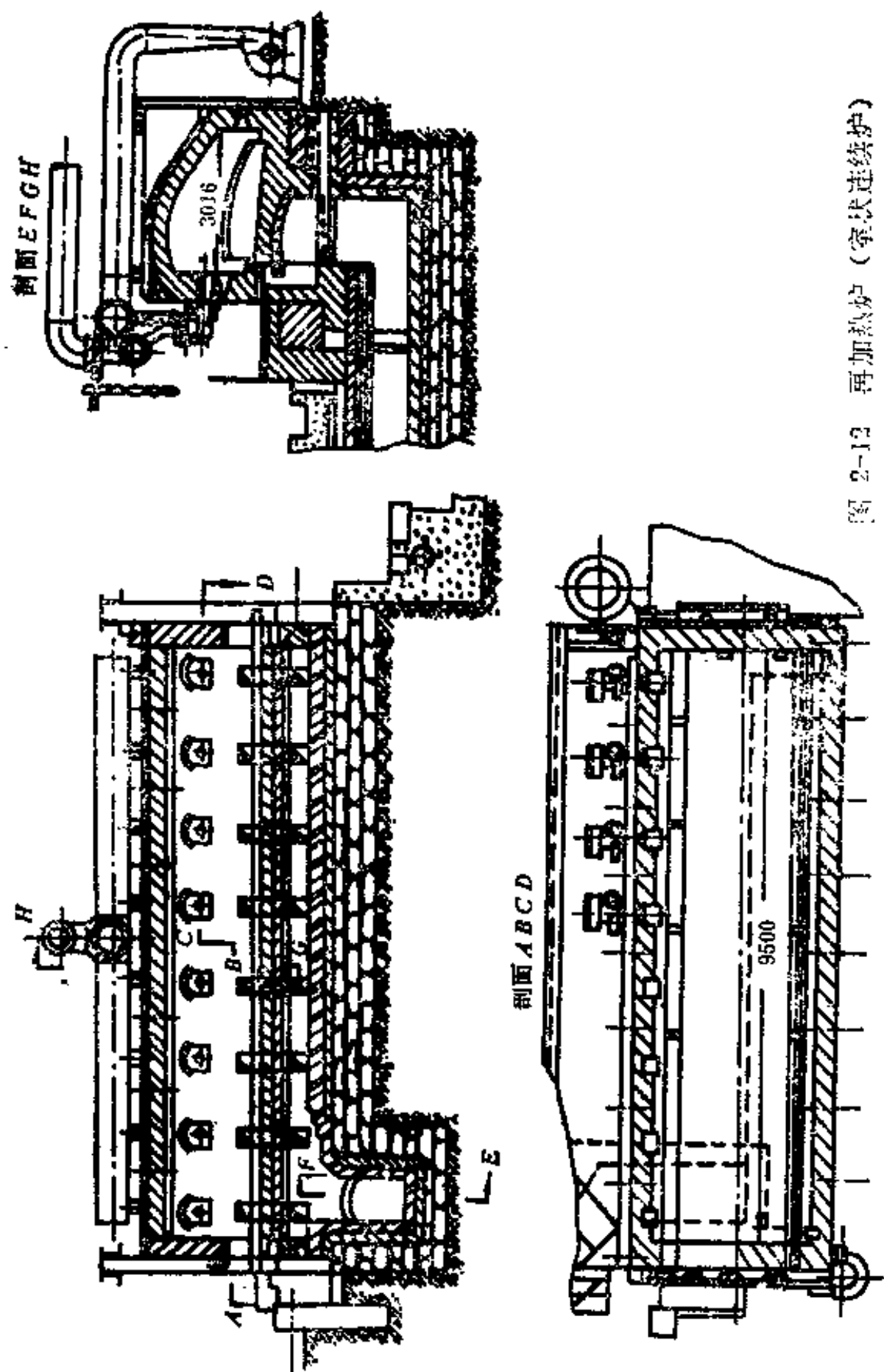


图 2-12 再加热炉 (塞状连续炉)

而使钢管的装出炉以及在炉底上的移动完全机械化了。步进梁和固定梁由耐热钢制成，加上炉底传动机构，所以步进炉的投资要贵些。

步进炉的结构如图2-13所示。某厂的步进炉技术性能是：炉子有效尺寸 5.6×11 米，步进梁齿距200毫米，固定梁可放钢管28根，步进梁升降行程160毫米，步进周期 ≤ 15 秒，冷却水耗量 $40 \text{米}^3/\text{时}$ 。

快速加热炉多用于张力减径机前的再加热。这种炉子的特点是：在很小的空间内迅速而完全地燃烧大量的燃料，以达到很高的温度，为此需要采用最完善的燃烧方法和燃烧装置（烧嘴）。

图2-14为用于76毫米张力减径机前的快速加热炉。

快速加热炉为分室式，其组成中包括：炉体（加热室和中间室）、燃烧器、辐射换热器、空气和煤气管道、鼓风机、炉内外辊道及传动装置。

这种炉型的炉膛为正圆形桶状，烧嘴对称地装在炉体两侧，烧嘴中心线与炉膛内圆成切线方向布置，因此火焰和气流在炉膛内形成高速旋转状态。钢管通过炉膛中心时，一方面接受来自正圆形炉壁对钢管的集中辐射热，一方面接受高速旋转火焰的直接加热，因此具有良好的热传导条件，可以实现快速加热。

实践证明，这种炉型具有较好的灵活性；加热温度和加热速度可以通过改变输送辊道的速度、点火节数的多少来调整。如果炉子能力不足，可增加节数，如果炉子能力过大可以减少点火节数。为了提高燃烧温度和减少燃料消耗（回收余热），在方形室上方装有辐射式换热器将空气预热。中间室下方装有运送钢管的辊道，辊道材质为Cr24Al2Si和Cr25Ni20Ti（耐热钢），辊道轴采用厚壁无缝钢管，管内通水冷却，辊道靠链条集体拖动，采用7.5千瓦的直流电机，可以调速。快速加热炉的技术性能如表2-12所示。

除了上述三种炉型外，近来在国外有用感应加热器来加热钢管的。据报道，这种加热方法有下列优点：几乎完全消除了氧

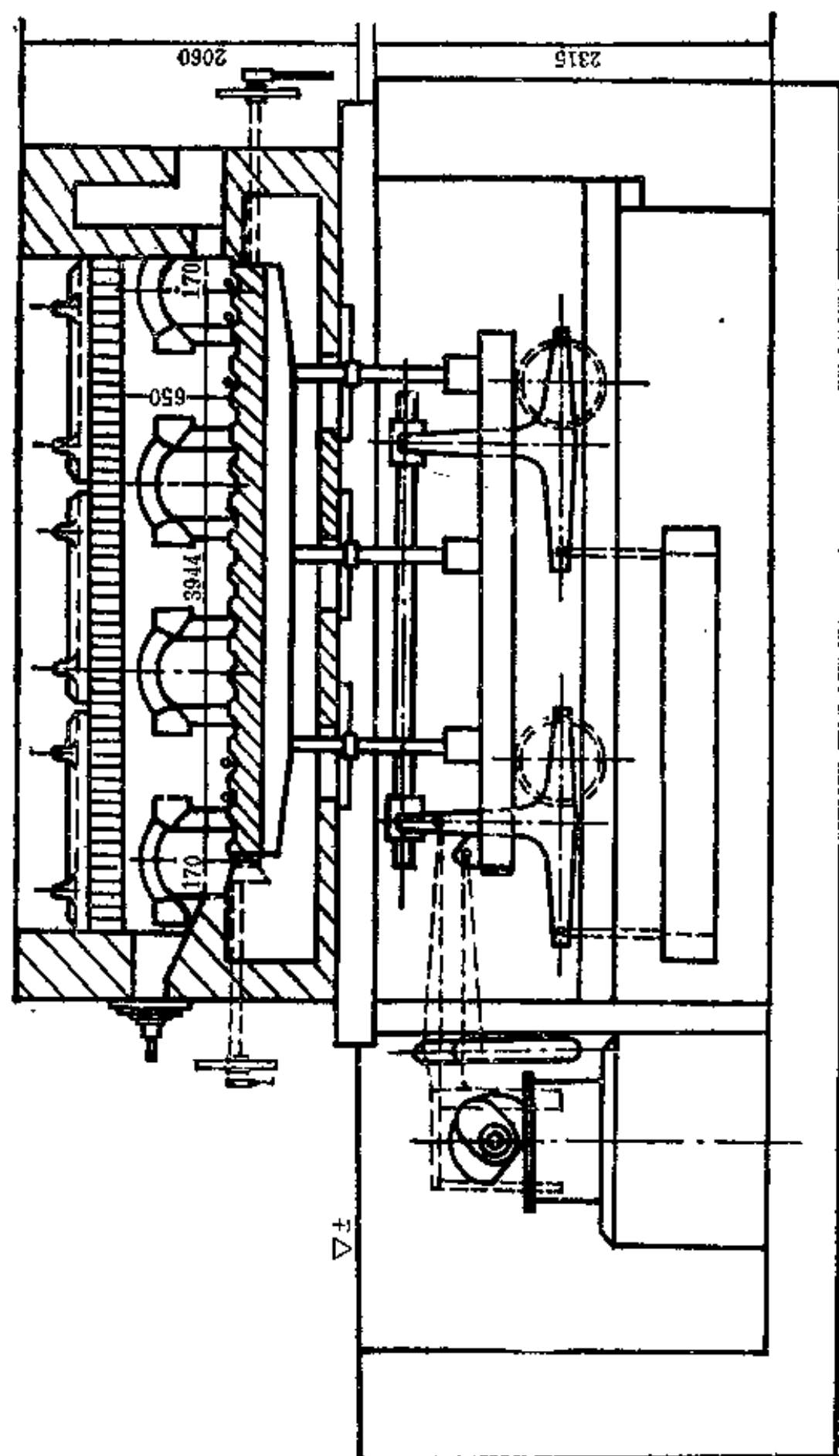


图 2-13 步进炉

化；可以精确地控制加热温度和时间；可以很容易和很快地改变加热温度；同时去除了停炉时的能量消耗。

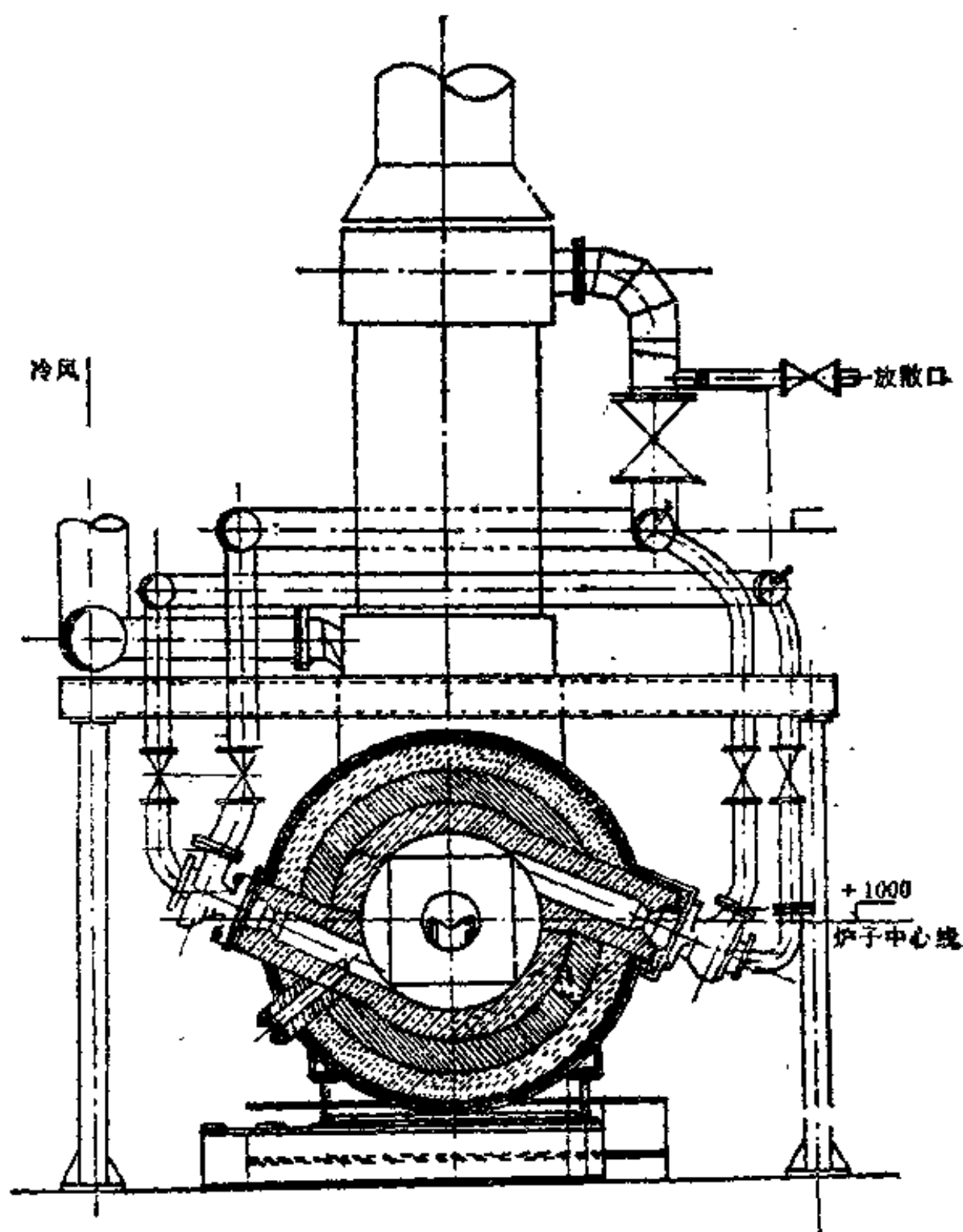


图 2-14 快速加热炉

在 76~100 机组中当生产热轧合金钢管（成品）时一般都配置有热处理炉。热处理炉的型式、结构和使用同钢管冷加工用的

热处理炉完全相同，这里不再叙述。

表 2-12 快速加热炉的技术性能

名 称	单 位	指 标
炉体尺寸	节×米	18×26.9
炉膛尺寸	毫米	φ700×900
炉内辊道间距	毫米	1500
被加热钢管规格	毫米	φ76×≤5, L>4500
钢管进炉温度	℃	常 温
钢管加热温度	℃	1100~1180
钢管加热速度	米/秒	0.5
燃 料		城市煤气
煤气发热量	千焦/米 ³	15048~15884
煤气压力	帕	约882
煤气消耗量	米 ³ /时	约1500
空气消耗量	米 ³ /时	6100
空气预热温度	℃	200~250

114机组用于球化退火的车底式退火炉的技术性能如下：

炉子用途	轴承钢管的热处理
处理温度	800~1000℃
燃料	重油 $Q_H = 40546$ 千焦/公斤
燃料消耗	400公斤/时
空气需要量	4800米 ³ /时
废气量	1.42米 ³ /秒
重油压力	196~392千帕
装炉量	12~18吨（小规格如φ57、60毫米可装双层料，装炉量达30吨）
炉体	砌砖尺寸（长×宽×高）8932×4418×2350毫米 炉膛尺寸8120×1856×1777毫米
台车	有效炉长8320毫米，有效宽1740毫米，炉底标高+927毫米

西宁100机组率底式退火炉的技术性能如下:

炉底有效尺寸	9500 × 1392毫米
燃料	煤气
产量	4吨/次

三、60~100机组主轧机

60~100机组的主轧机包括有穿孔机(二辊和三辊)、三辊斜轧轧管机、自动轧管机、带导盘的延伸机、拉力芯棒延伸机、均整机、定径机、无张力减径机以及带张力减径机等。

114机组的主轧机包括有两辊穿孔机、自动轧管机、均整机、五机架集体驱动的定径机以及十五机架无张力减径机等。表2-13为我国114机组和同类型外圆轧机之比较。

114机组穿孔机的部分总图如图2-15至2-17所示; 轧管机、

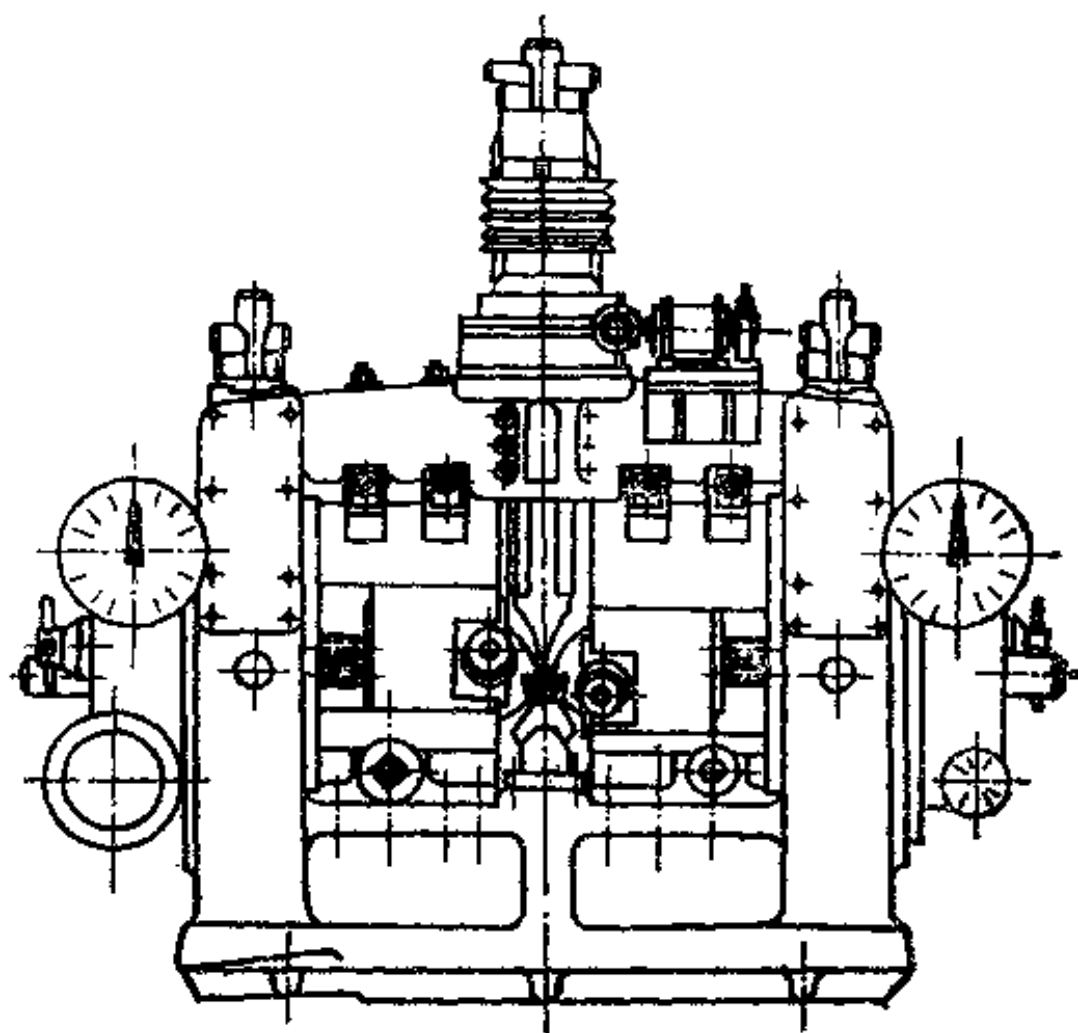


图 2-15 穿孔机机架部分总图

表 2-13 我国114机组与国外同类型机组的技术性能比较

轧 机	技术性能	114 机 组	美国国家钢 管公司某厂	苏 联	
				A厂	B厂 C厂
管坯尺寸, 毫米	成品规格, 毫米	85~120	84~122	80~120	80~120
		57~121	73~114	46~114	50~114
二辊穿孔机	型 式	辊 式	辊 式	辊 式	盘 式
	辊径, 毫米	530~650	720~920	690	1000
	辊身长, 毫米	360	—	400	—
	轧辊转速, 转/分	142	101.9	100~180	73~155
自动轧管机	前进角, 度	7~12	—	5~12	—
	主电机能力, 千瓦	1900	750	883	883
均 整 机	辊径, 毫米	420~480 (500)	510~570	610	610
	辊身长, 毫米	1275	—	1680	1680
	轧辊转速, 转/分	120	107	80~120	80~120
	主电机能力, 千瓦	630	600	590	590
均 整 机	架 数	2	2	2	2
	辊径, 毫米	406~480	580~870	730	730
	辊身长, 毫米	340	—	545	545

续表 2-13

机 机	技术性能	114 机组	美国国家钢管公司某厂	联		
				A 厂	B 厂	C 厂
均 整 机	轧辊转速, 转/分	180	146.26	73~146	73~146	73~146
	主电机能力, 千瓦	310	225	184	184	184
定 径 机	机架数目	5	—	3	3	3
	辊径, 毫米	340~380	—	415	415	415
	辊身长, 毫米	200	—	220	220	220
	轧辊转速, 转/分	50.626(末架)	60	81	81	81
	主电机能力, 千瓦	310 (集)	225 (集)	80(每架)	80(每架)	80(每架)
无张力减径机	机架数目	15	—	18	20	18
	辊径, 毫米	340~380	—	308	450	308
	辊身长, 毫米	200	—	150	220	150
	轧辊转速, 转/分	0.7米/秒 (末架)	—	74.2~117	30~100	50~176
	主电机能力, 千瓦	29×15	—	245 (集)	50×20	330 (集)

均整机、定（减）径机如图2-18至2-22所示。

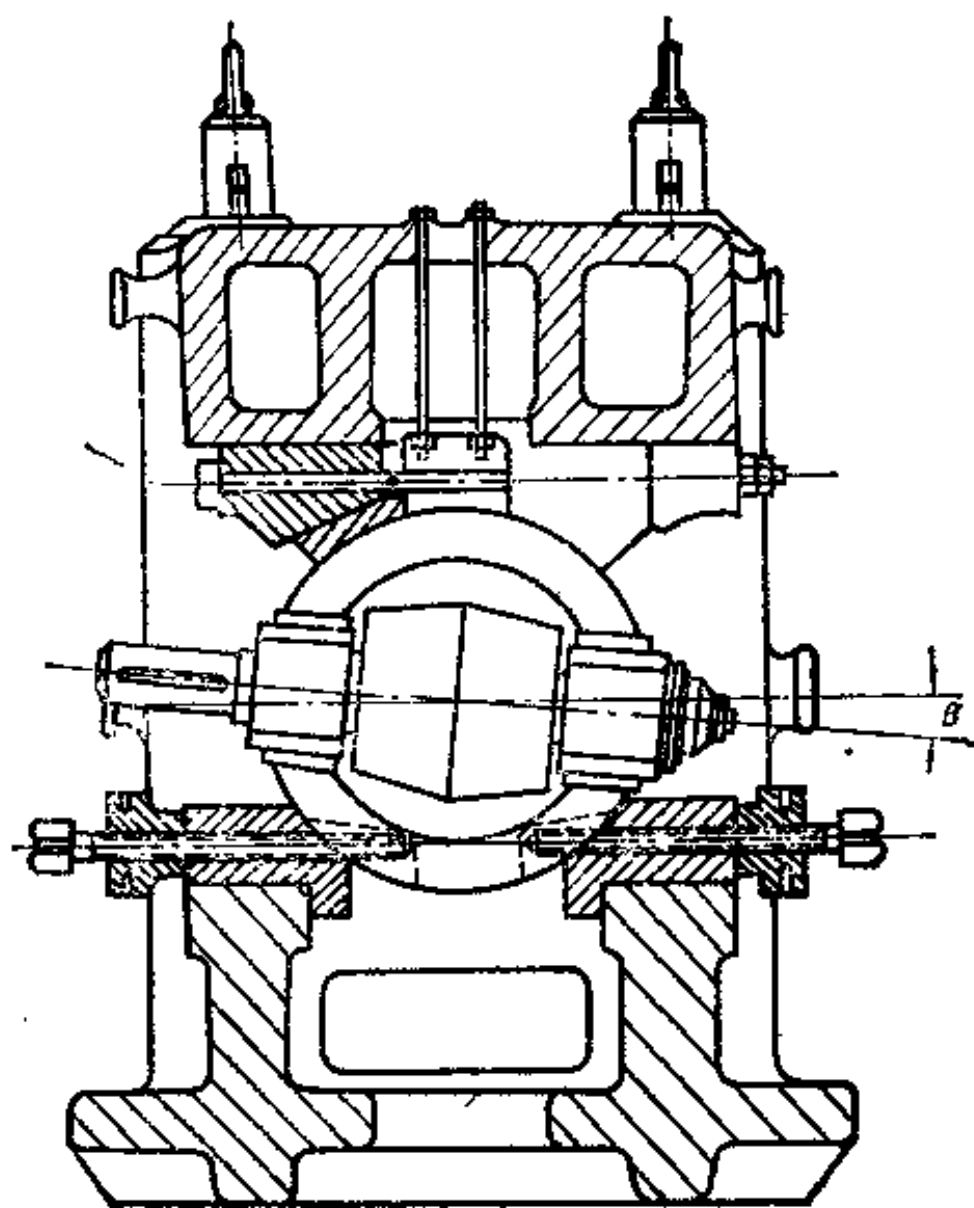


图 2-16 穿孔机机架剖视图

100机组包括有穿孔机、轧管机、均整机和定减径机（包括张力减径机），各型100机组主要设备的技术性能如表2-14所示。

118、108和76机组张力减径机的技术性能如表2-15所示。
100带导盘延伸机机座的总图如图2-23所示。108三辊穿孔机和轧

管机的外形图如图2-24及图2-25所示。

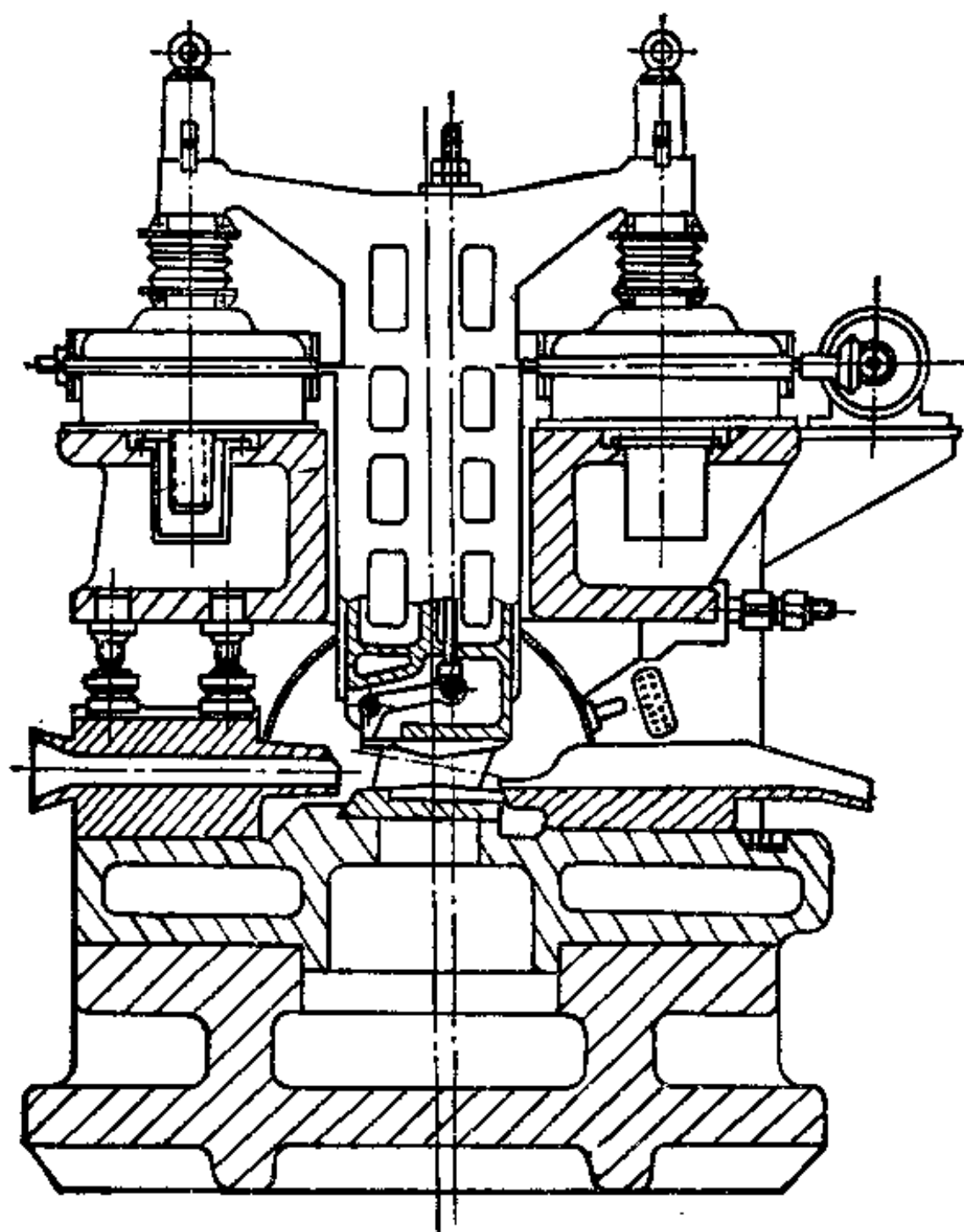


图 2-17 穿孔机导板架剖视图

76机组（包括改造的）轧机的技术性能如表2-16所示（典型的）。60机组带导板、拉力和全浮芯棒延伸机的总图如图2-26所示。

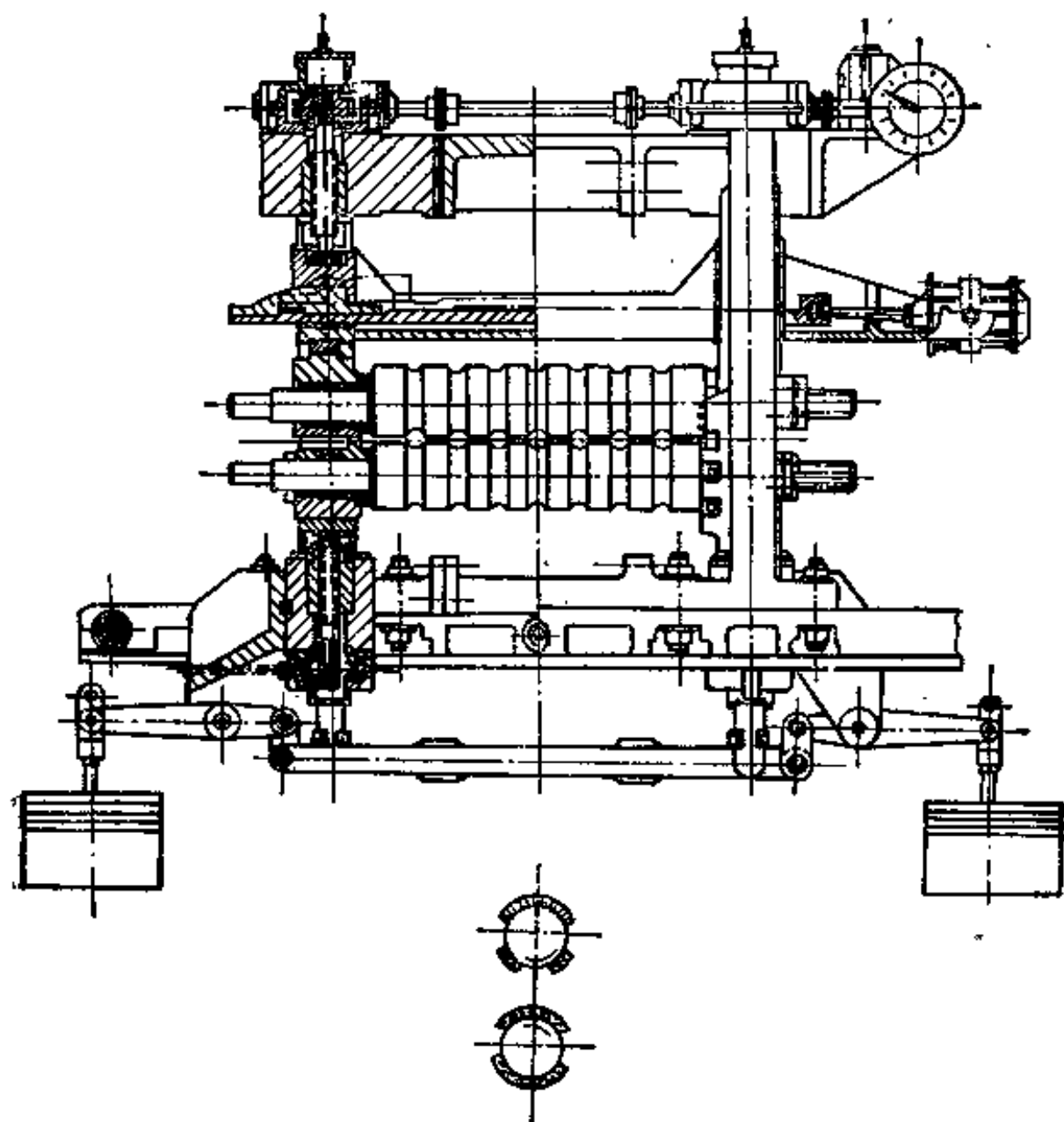


图 2-18 轧管机机架总图

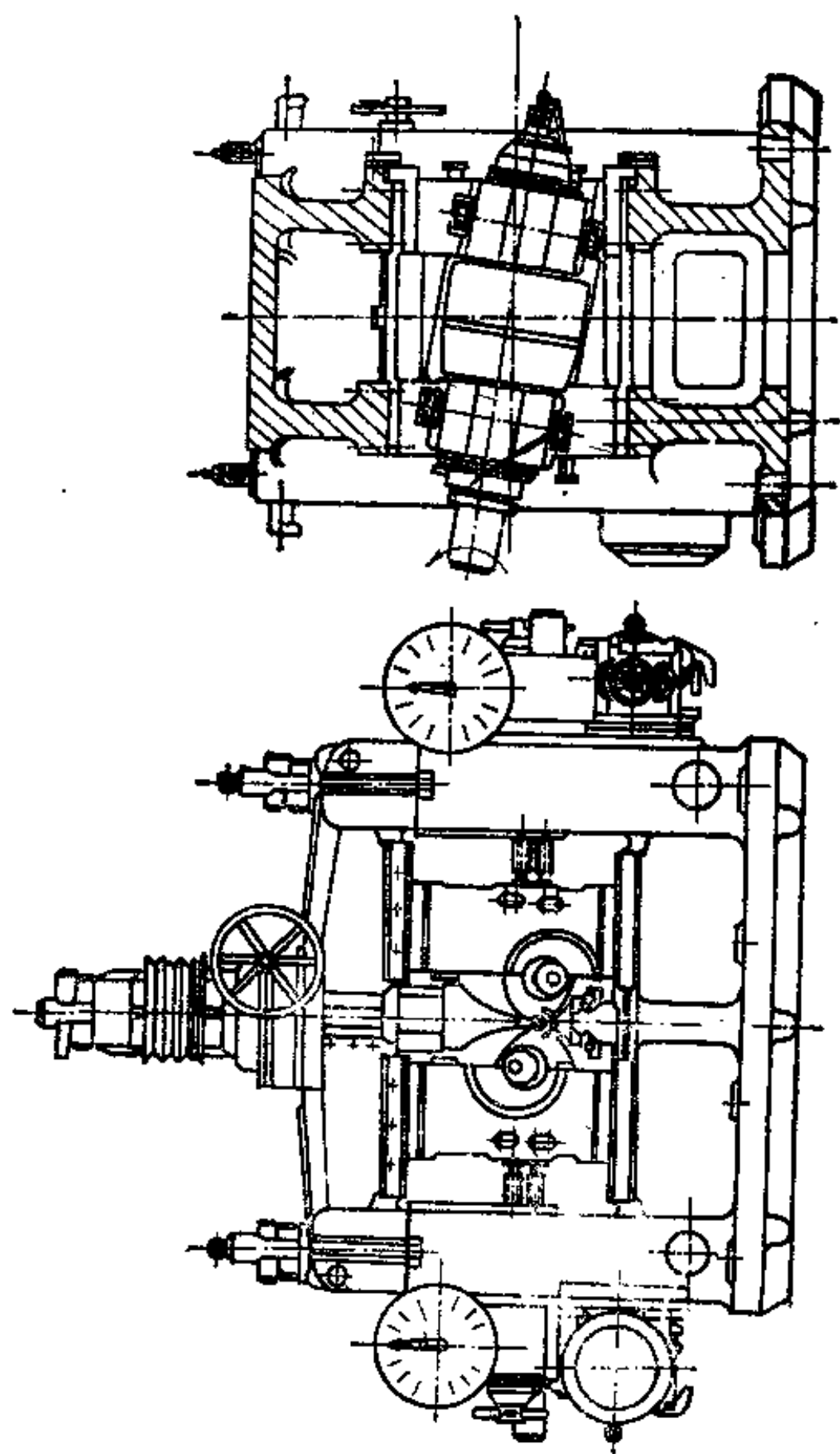


图 2-19 . 均整机机座正面图和剖视图

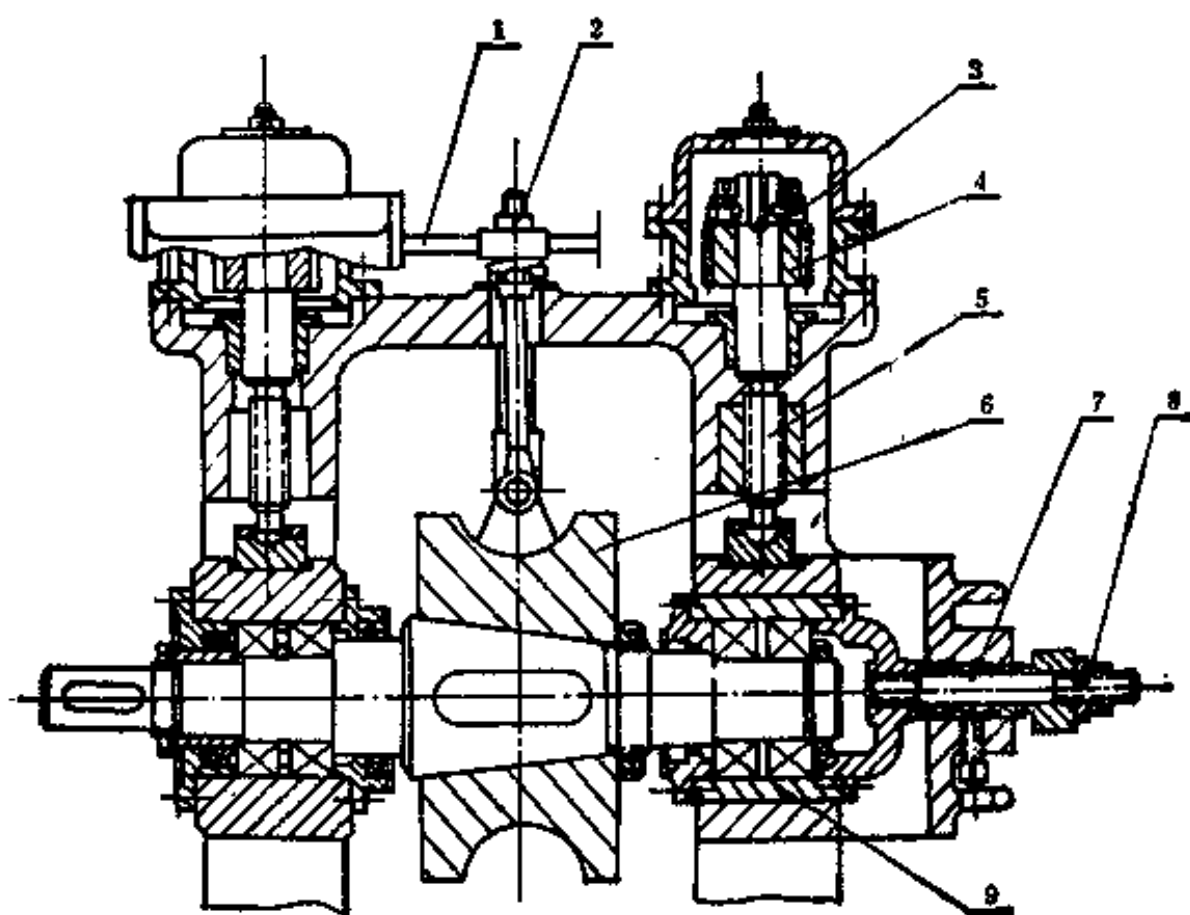


图 2-20 定(减)径机机架图

1—钢杆轴；2—拉紧螺母；3—离合器；4—蜗轮；5—螺杆；6—轧
辊；7—螺丝；8—螺母；9—轧辊箱

表 2-14 100机组主要设备的技术性能

轧机	技术性能	100 机 组				
		西 宁	烟 台	大 连	鞍 山	长 治
穿 孔 机	型 式	二 辊	二 辊	二 辊	同	二 辊
	轧辊尺寸,毫米	500~550×370	550~650×350	500~650×350		φ500~550×350
	轧辊转速,转/分	60~130	124.5	101.4		165(最大)
	前进角,度	—	8	8		3~13
	中心距,毫米	700	—	982		—
轧 管 机	主 人 字 减 速 机 及 座	68/31	—	Z ₁ =25	西 宁	—
	齿 数	12/14	—	16		—
	模 数	380×2	—	550		—
	齿 宽, 毫米	—	—	—		—
	主 电 动 机	直 流 1000 320/650	交 流 1100 492	交 流 1000 490		直 流 1150 0~420
轧 管 机	型 式	自动轧管机	自动轧管机	自动轧管机	带导盘延伸机	自动轧管机
	轧子尺寸,毫米	420~480×1270	550×800	550×1200	520~600(辊径)	480~540×1270
	轧辊转速,转/分	115	100	100	倾角7°	111
	中心距毫米	480	—	529.62	导盘直径	540 / 1200
	主 人 字 减 速 机 及 座	30 14/16	—	Z ₁ =74 20	900毫米 轧辊转速140 转/分 驱动导盘电机 370千瓦	—
轧 管 机	齿 数	—	—	—	—	—
	模 数	—	—	—	—	—
	齿 宽, 毫米	—	—	—	—	—
	主 电 动 机	—	—	718	—	—
	主 电 动 机	—	—	—	—	—

续表 2-14

轧机	技术性能	100 机 组					
		西 宁	烟 台	大 连	鞍 山	长 治	衡 阳
轧管机	电 机 式 功率,千瓦 转速,转/分	交 流 630 740	交 流 570 790	交 流 525 495	交 流 625(轧辊) 730	交 流 800 742	直 流 1250 500~1000
均整机	轧辊尺寸,毫米 轧辊转速,转/分 电机功率,千瓦 架 数	440~550×350 167 310(交流) 2	500×350 89 370(交流) 2	500×350 89 370(交流) 2		500×350 — 320(交流) 2	
定径机	架 数 辊子尺寸,毫米 轧辊转速,转/分 电机功率,千瓦	5 340~380×200 $n_1=55$, $n_5=59.42$ 180	5 200~380×200 $n_1=48.362$, $n_5=50.99$ 240	5 380×200 $n_1=48.39$, $n_5=50.9$ 310	5 380×200 $n_1=55$, $n_5=59.4$ 300	8 $v_1=1.37$ 米/秒 $v_2=1.76$ 米/秒 250(直流)	— — — —
管坯尺寸,毫米 成品钢管尺寸,毫米		$\phi 70 \sim 120$ $\phi 32 \sim 114$	$\phi 75 \sim 120$, L800~2200 $\phi 21 \sim 114$	$\phi 75 \sim 110$, L800~1500 到114	$\phi 70 \sim 120$ 到114	$\phi 70 \sim 120$ L800~2000 $\phi 33.5 \sim 114$	$\phi 75 \sim 120$, L到2000 $\phi 60 \sim 114$
备 注		准备建减径机	设有108张力 减径机		准备建16架减 径机	设20架减径机	准备建减径机 和回转定径机

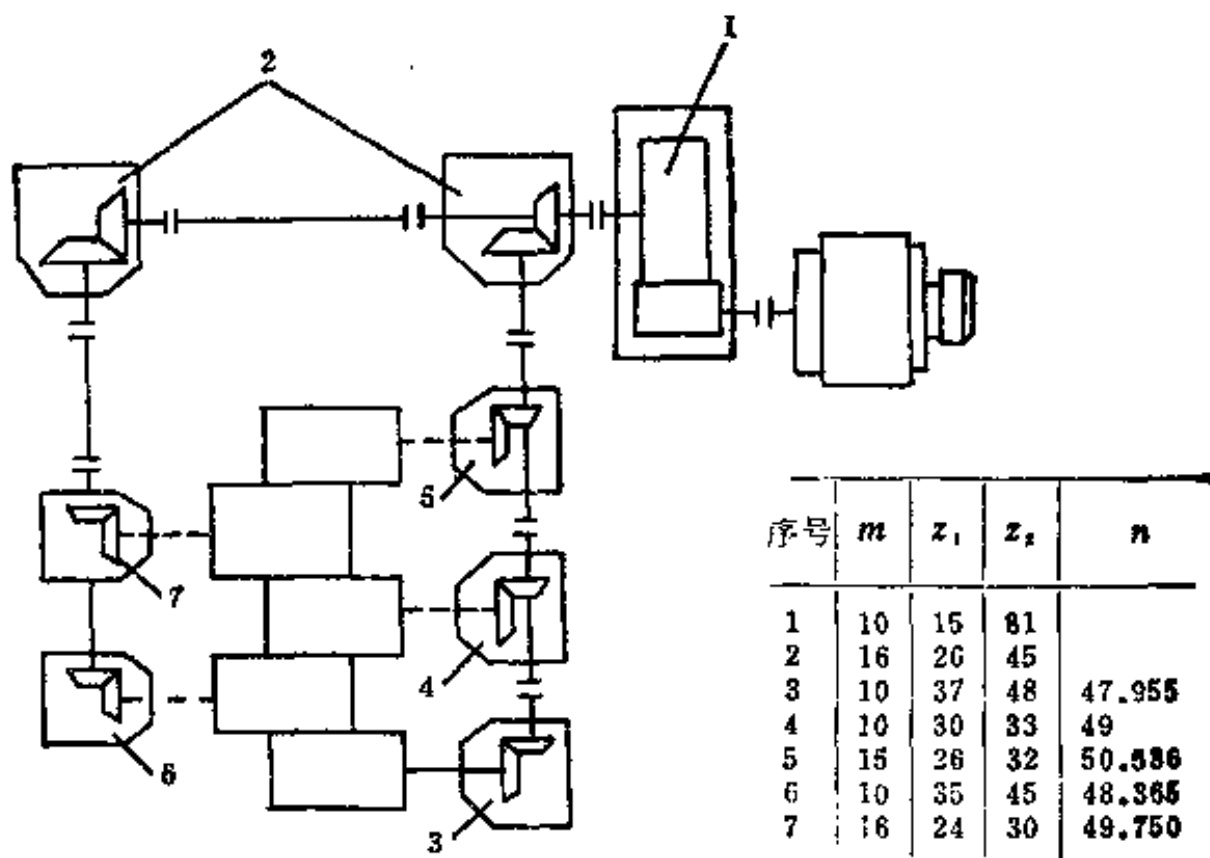


图 2-21 5 机架定径机传动系统图

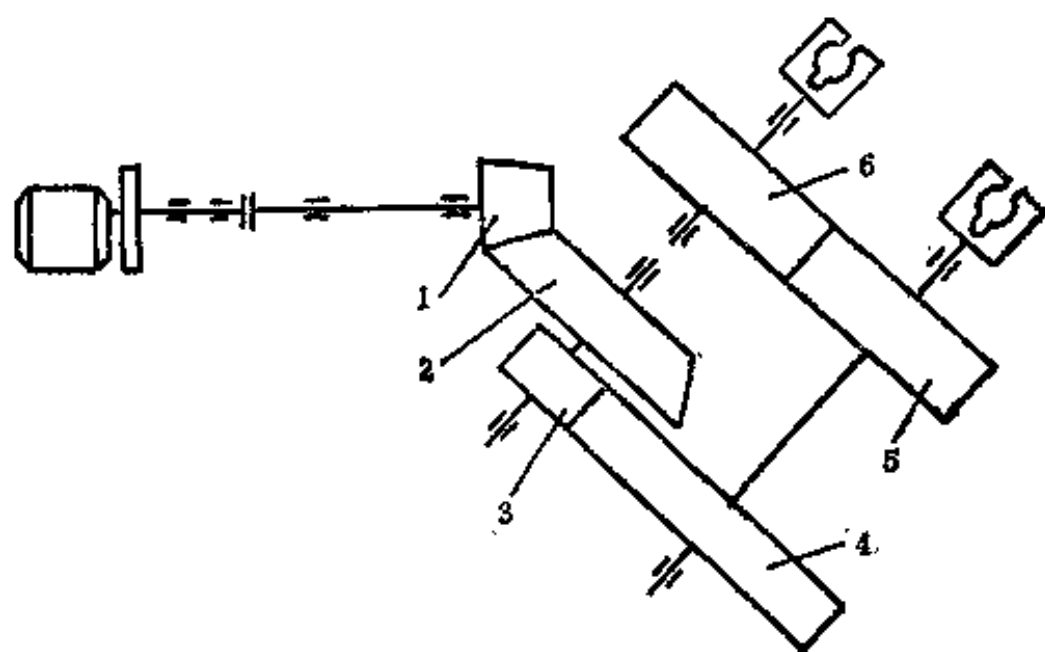


图 2-22 减径机传动系统图

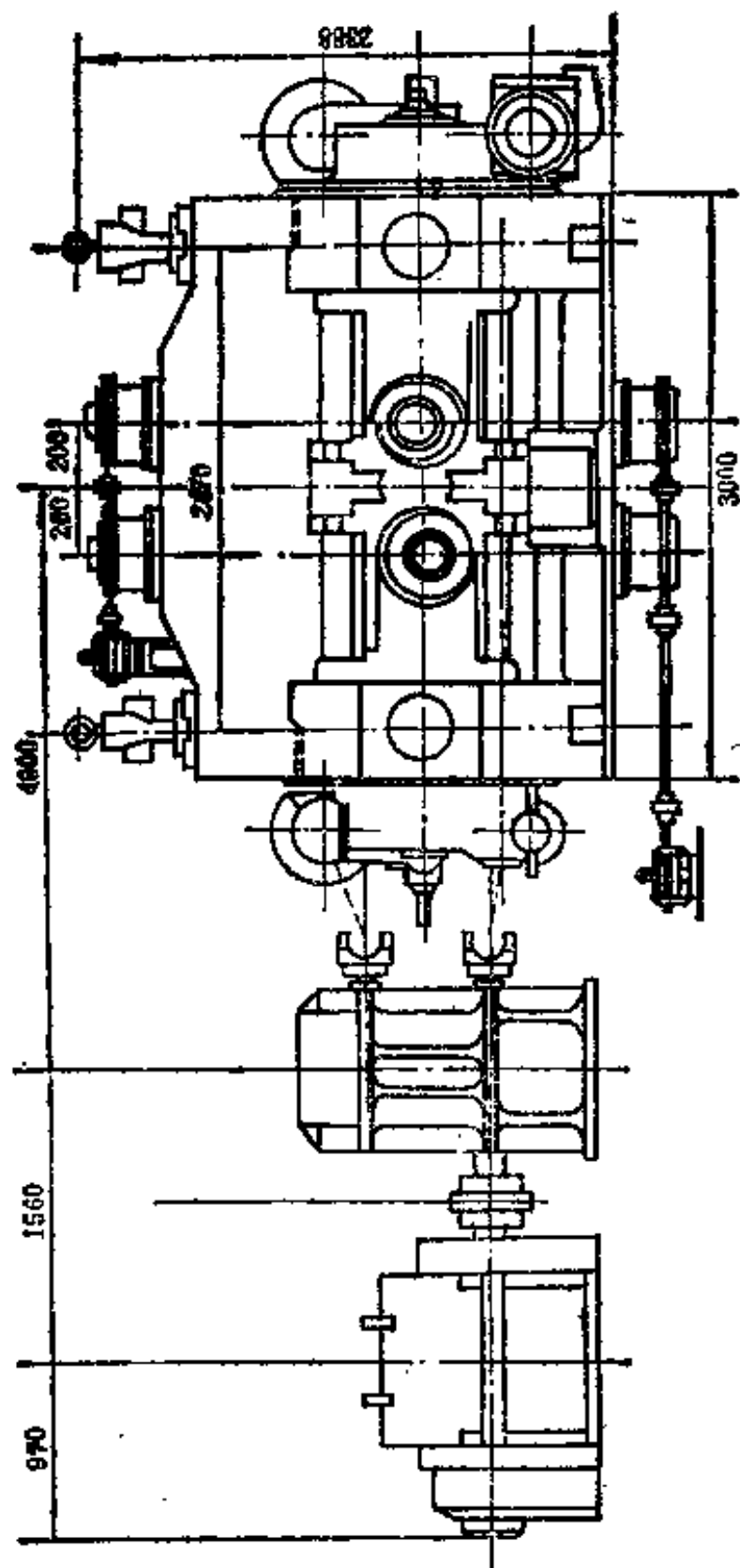


图 2-23 100吨塞尔延伸机

表 2-15 张力减径机的技术性能

技术性能	76张力减径机	108张力减径机	118张力减径机
进口钢管直径,毫米	$\phi 76$	$\phi 108$	$\phi 118$
进口钢管壁厚,毫米	≤ 5	≤ 5	≤ 11
减径量, %	~ 70	76	79
减壁量, %	~ 30	44	最大延伸系数7.5
钢管进口速度,米/秒	~ 0.5	—	0.75
钢管出口速度,米/秒	2~2.5	5	6
机架数目	16	16	24
机架型式	三辊式	三辊式	三辊式
轧辊理论直径,毫米	270	310	270
轧辊宽度,毫米	84	—	—
机架间距,毫米	270	310	250
传动方式	集中传动,单独调速	集中传动,单独调速	集中传动,单独调速
调制范围, %	± 30	—	—
主电机能力,千瓦, 转速,转/分	380, 735	300 $\times$ 2, 1475	450 $\times$ 2
最小成品尺寸,毫米	$\phi 21 \times 2.5$	$\phi 25 \times 2.8$	$\phi 25$, 最大壁厚6毫米
轧制温度, $^{\circ}\text{C}$	—	950~1050	—

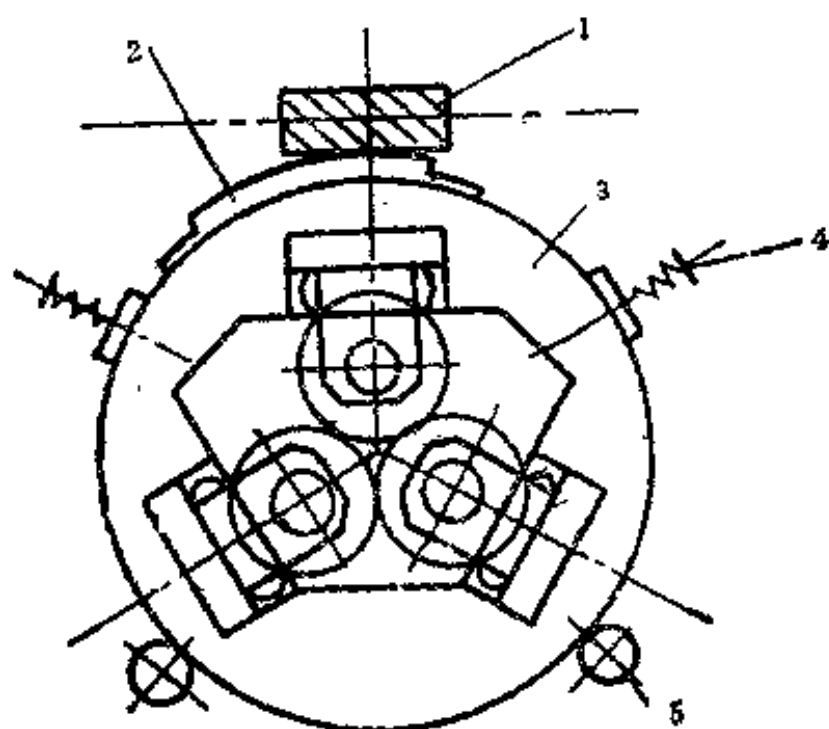


图 2-24 三辊穿孔机示意图

1—蜗杆; 2—蜗轮块; 3—机架; 4—压下螺丝; 5—定位辊轮

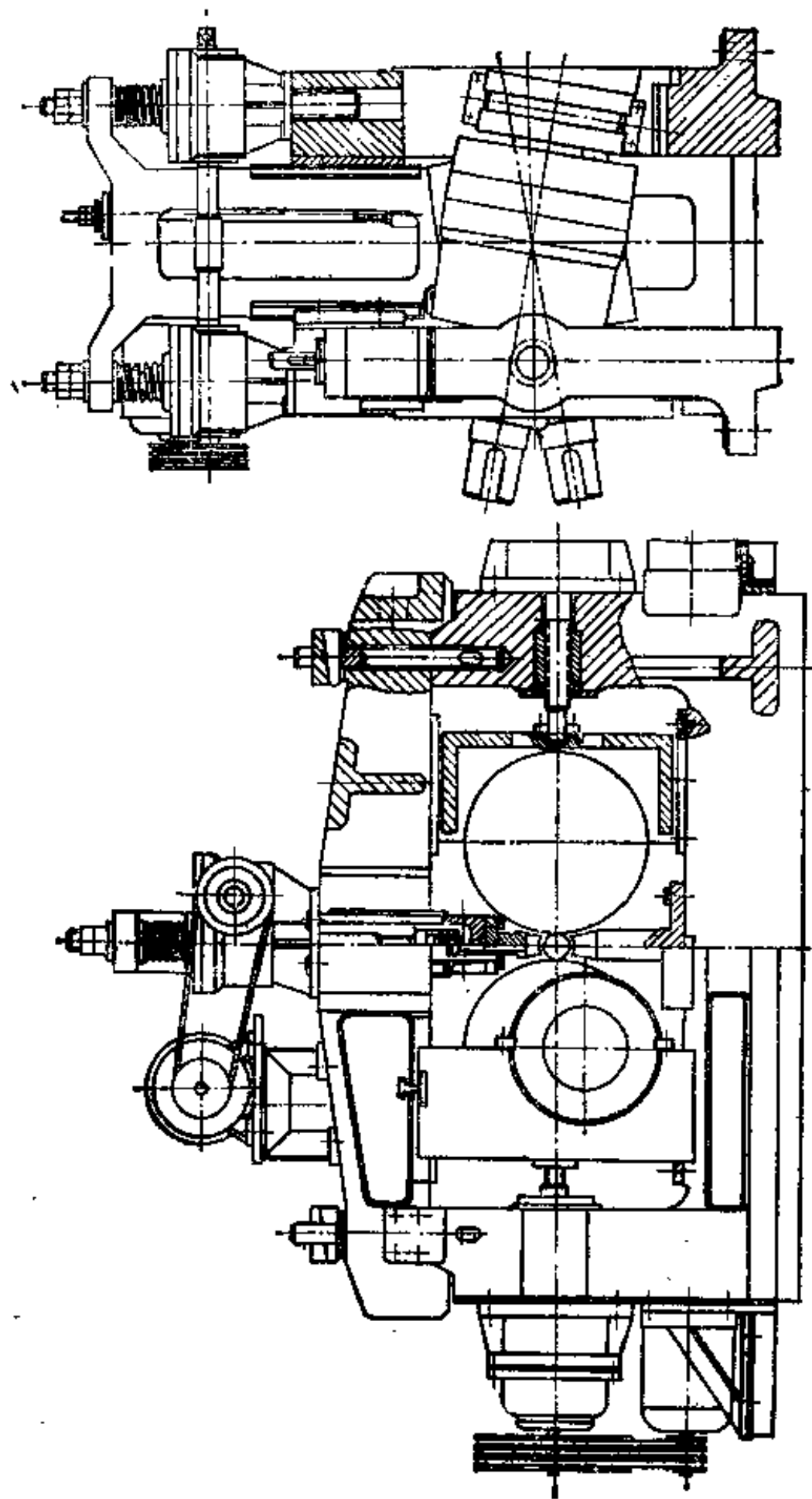


图 2-26 带导板的二辊延伸机

60~100机组穿孔机的结构较为简单,调整灵活而且重量轻,还采用了一些新的结构,如万向接轴改为十字形接手,采用滚动轴承等。结构设计上的缺点是大多数穿孔机不能调整前进角,固定为 8° ,从而限制了工艺上的灵活性。由于多为交流电动机驱动,转速也不能调整。

表 2-16 典型76机组轧机的技术性能

轧机	技术性能	工 厂			
		A厂	B厂	C厂	D厂
穿 孔 机	辊子尺寸,毫米	450~550×350	550×350	480~560×350	400~500×350
	毛管长,米	2~4.5	—	—	—
	前进角,度	8	8	8	8
	轧辊转速,转/分	98	87.5	120	89
	主电机功率,千瓦	710	550	625	380
轧 管 机	辊径,毫米	450	500	380~450	450
	辊身长,毫米	800	1200	800	1200
	轧辊转速,转/分	100	100	120	100
	主电机功率,千瓦	380	370	380	220

在轧机参数上,所设计的轧机一般都提高了轧制速度,60~100机组穿孔机轧辊的转速一般为89~165转/分,圆周速度一般为2.3~4.1米/秒。根据国外一些轧机发展情况来看,穿孔机轧辊转速有提高的倾向,一般由4米/秒增加到6米/秒。提高转速的主要目的是增加穿孔速度,提高生产率,同时可保证钢温。但轧辊转速过高将导致滑移增加,咬入受到影响以及穿孔过程中坯料甩动利害,不稳定。强化穿孔过程的另一种办法是增加轧辊轴线对轧制线的倾角(前进角)。76~100机组穿孔机前进角一般在 8° ~ 13° ,国外一般多采取 10° 以上。一般认为适当增加倾角对提高穿孔速度是有好处的,但增大前进角后万向接手的故障增加,轴向力增加。

再一种办法是增大轧辊辊径。现有两种看法:一种认为轧辊直径增加导致接触面积增加,不利于提高毛管质量,容易产生内

部裂纹，同时轧制压力会增加；另一种认为增大辊径可提高轧制速度，轧制过程稳定。60~100机组的轧辊直径一般多在420~650毫米，这样的辊径被认为是合适的。实践证明，对于原76机组适当增加轧辊转速和辊径是有好处的。如青岛某厂把原76穿孔机改造后，使轧辊直径由500增至580毫米，轧辊转速由89转/分增至119转/分，取得了良好的效果，既提高了穿孔速度又保证了钢温，穿孔过程稳定，毛管质量良好。

主电机功率一般都在增大，这是由于品种规格不断扩大以及轧制速度提高要求电机的能力也应相应地增加。各厂根据情况不同，有的采用直流电机，有的采用交流电机。采用直流电机调速方便，但投资高；而采用交流电机便宜，且在碳钢管生产中未发现过大问题。

60~100机组所用的电机功率波动范围较大，在280~1900千瓦，多数是550~1250千瓦。

在穿孔机的辅助设备中（特别是后台装置中）定心辊很重要，因为它是保证穿孔过程稳定、减小毛管壁厚不均的关键设备。现在三辊式双气缸带动的定心辊得到了广泛发展，根据穿出的毛管长度大小一般设置3~5组。随着76~100机组轧制的钢管长度不断增加，设计和使用坚固可靠、调整灵活的定心辊是很重要的。

原76机组设计的自动轧管机，传动装置较为薄弱，不能很好地适应生产需要，因而不少工厂都做了改造和加固（或替换），同时电机能力（220千瓦）也较小，不少工厂都加大了。

在轧机结构上76机组和100机组的自动轧管机都做了一些改进，如电动压下，弧形斜铁或如图2-27所示的斜铁，梅花轴套改为十字接手，轧辊轴承由胶木瓦改为滚动轴承，回送辊机架和工作机架连接在一起并加固，前后台加长并加固，等等。至于轧辊长度有两种看法。一种看法认为改为800毫米有利于提高轧辊强度和减少轧辊重量，便于换辊。但另一种看法认为，由于减少了孔型配置数目，增加了换辊次数，特别是对于热轧成品钢管车间

更为不便。但现有的76机组的轧管机多数使用胶木瓦，轧制精度差，采用闭口机架换辊不便，以及制造精度差等有待进一步改造。

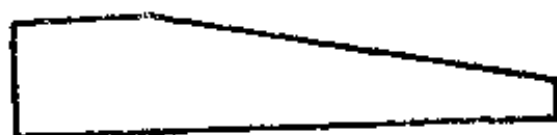


图 2-27 自动轧管机的斜铁

回送辊装置有两种，一种是分体式回送辊，一种是整体式回送辊。分体式回送辊的优点是节省辊料，起动灵活，加工方便；但缺点是更换孔槽时要移动回送辊来对准各个孔型，增加调整回送辊工作，生产中使用不便。整体式回送辊的长度和轧辊长度相适应，并在回送辊上刻有与轧辊相同的孔槽数目，从而换轧辊孔槽时不必调整回送辊，生产中使用较方便。

为了减小电动机容量（功率）一般都装有飞轮，但有的工厂实践证明，装飞轮的作用并不大，反而会带来一些问题（如停车慢等）。不少工厂去掉了飞轮，并适当增加了电机的容量。

近年来单槽自动轧管机在国外得到了发展，国内也有两家采用，它使得轧机结构大大简化，轧辊重量减小，前后台结构和轧机调整都有所简化，每次换辊时间减少，采用滚珠轴承减少了能耗，等等。而且一般都由两个直流电机单独驱动两个轧辊，这样可省去人字齿轮座和减速机。采用直流电机可以实现轧制过程中的调速，即咬入时低速（便于咬入），而后轧制时加速。这样就可以缩短轧机节奏时间，提高生产率，改变自动轧管机成为整个机组中薄弱环节的局面。76机组轧管机的改造方向之一是采用单槽自动轧管轧。

我国鞍山某厂发明的双槽轧管法是提高轧管机生产能力的有效措施。

设计自动轧管机选取参数时，一般都适当地增加轧辊转速和辊径，并相应地增加电动机的功率。76~100机组的自动轧管机

轧辊转速一般为100~125转/分，轧制速度（钢管出口速度）一般为1.7~2米/秒。根据资料介绍，最高转速可达180转/分（甚至更高一些，特别是采用直流电机驱动时）。

用提高轧辊转速来减少轧制时间主要受咬入条件的限制。根据资料^[2]试验得出，随着轧辊转速的提高，摩擦系数降低，如表2-17所示。

表 2-17 轧辊转速同摩擦系数的关系

轧辊圆周速度 米/秒	1.7	3.4	4.65
摩擦系数	0.3	0.2	0.1

76~100机组自动轧管机的轧辊直径一般为400~550毫米。生产实践证明，轧辊的强度是足够的，轧辊直径的选择主要应考虑咬入条件和轧制速度。通常认为辊径在480~550毫米范围内是合适的。轧辊直径过大是没有好处的，如导致轧制压力增加等。

76~100机组轧管机主电机的功率一般是380~800千瓦。

均整机的结构较为简单，因为不需要调整前进角。国内均整机多采用短轴驱动，是先进的。均整机的前进角一般是6°~8°，采取大的前进角可提高均整速度。

均整机的轧辊转速一般是89~180转/分，最高到220转/分（或者更高）。取较高的轧辊转速是合理的，可保证终轧有较高的温度并保证有高的生产能力。

76~100机组均整机的轧辊直径一般在500毫米左右，主电机功率一般是220~380千瓦。

均整机的发展方向是采用三辊均整机，其优点是减壁量大，均整后的管子质量高，生产效率高。

76~100机组定径机一般采用两端支撑轧辊的集体传动的定径机，定径机架数一般是5~9架。

无张力减径机的结构和定径机相同，一般采取每架由单独的

直流电机驱动，架数是15~20架，其技术性能见表2-13。

张力减径机有二辊式的和三辊式的。国内76~100机组的张力减径机都是三辊式、集体传动和液压（或电机）调速的。该轧机由主传动、差动齿轮箱、减速箱、机架、液压调速系统、光电测速等六部分组成。轧机的起动、停车、运转情况的观察均集中在操作台上，传动原理如图2-28所示。整个轧机由一台交流电机拖动。

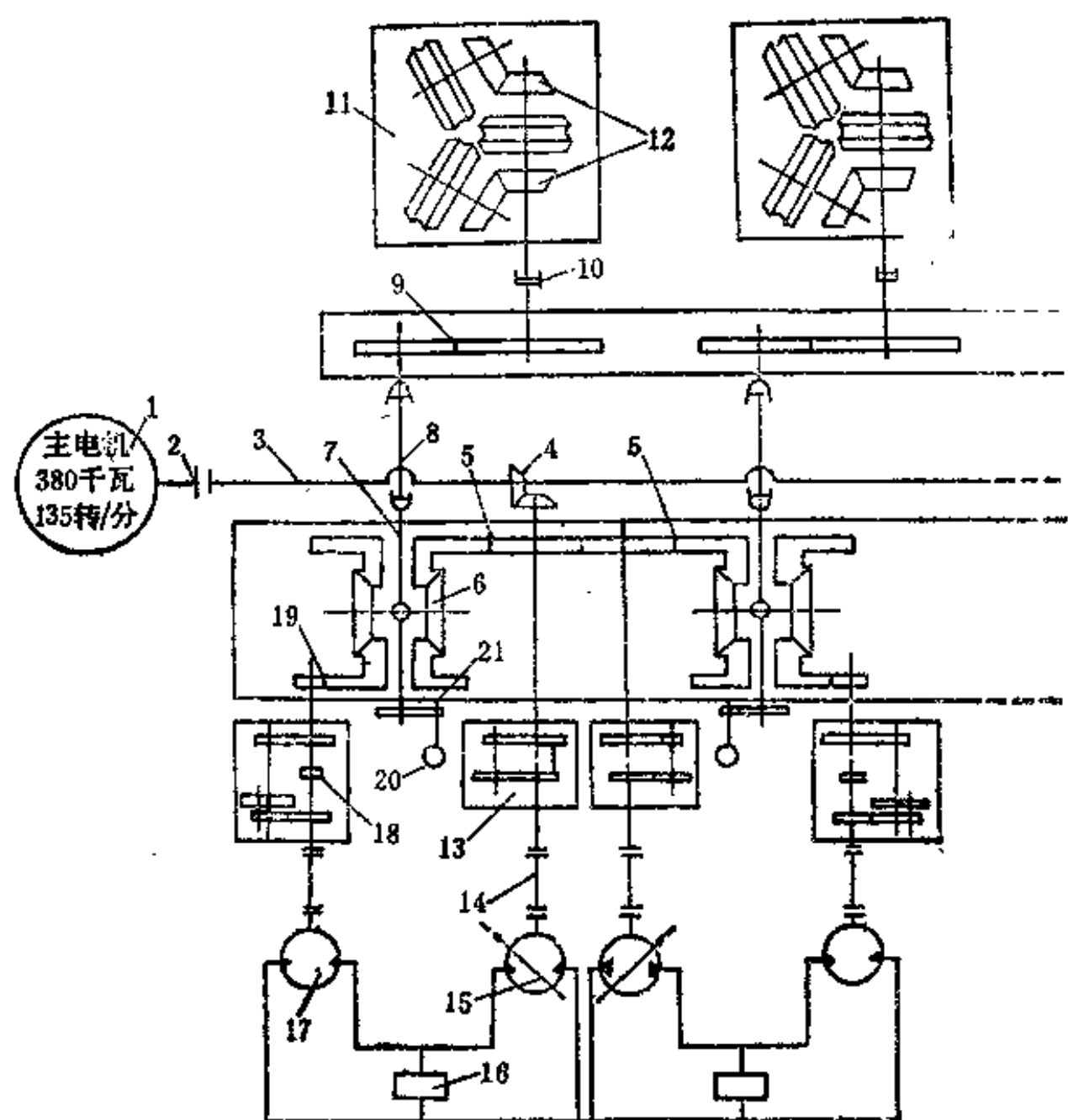


图 2-28 张力减径机的传动原理

主电机 1 经联轴节 2 传动长轴 3。长轴上有 8 对伞齿轮 4，每对伞齿轮通过齿轮 5 分别传动两组差动齿轮 6，使轴 7 获得一个速度、经万向接轴 8 带动减速齿轮 9，再经齿型接手 10 传动轧辊，使轧辊获得一个速度。此速度称之为轧机的基本转速。因为减速箱的 16 根轴的速比是变化的，因而构成了 1~16 架轧辊的基本转速是递增的，如图 2-29 所示。

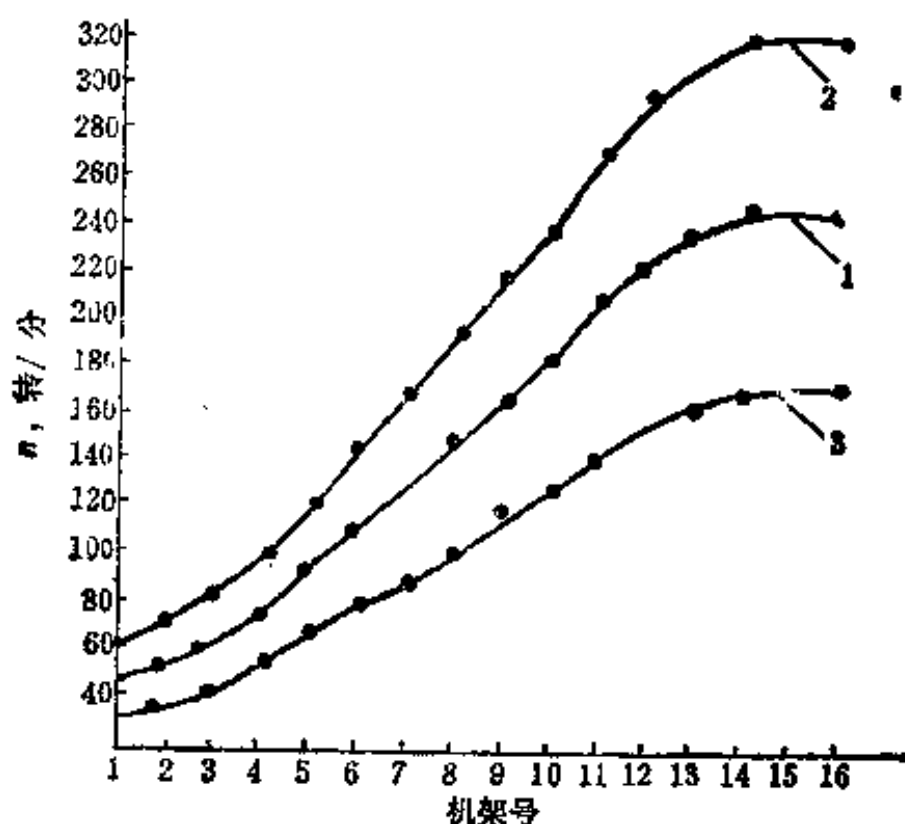


图 2-29 张力减径机各架的速度分配
1—基本转速；2—调速 +30%；3—调速 -30%

长轴 3 上的伞齿轮 4 除带动齿轮 5 而驱动差动齿轮 6 外，同时带动增速机构 13，使增速机构 13 的出轴获得一个 2260 转/分的固定转速，通过接轴 14 带动 2BY-40 变量油泵 15，变量油泵对 2M-40 定量油马达 17 供油，使油马达获得一个所需要的转速，通过接轴 14 驱动可变减速机构 18，再通过齿轮 19 传动差动齿轮 6，使轴 7 又获得一个可变化的速度。此可变化的速度，与上述一样，经万向接轴 8、减速齿轮 9、齿型接手 10 到机架轧辊，称之为叠加转速，与轧辊的基本转速叠加，从而可以达到调节轧辊转

速（调速）的目的。调速范围如图2-29所示。

图2-28中20为测速发电机，齿轮21用来使测速发电机增速，以便提高速度测量的精确度。16为单向安全阀组。

张力减径机的结构、传动方式以及参数变化，类型繁多，详细情况可参阅有关专著。

上述的三辊张力减径机，虽然结构较二辊的复杂，但近年来得到了发展，这是因为它有一定的优点。其一，增加轧辊数目可降低变形的不均匀，这对提高管壁精度有利。其二，三辊式减径机机架间距离能够缩短，在理论辊径相同时，三辊式减径机的机架间距较二辊式可小12~14%^[3]。这样三辊式机架可以大大地降低切头尾的金属损耗（机架间距离愈大，则厚壁头尾端愈长）。其三，所有机架的传动轴可水平安装（二辊式机架上辊中心线与水平面成45°角放置，和无张力减径机相同），从而可以简化传动系统。传动装置的单向配置便于轧机维护，同时便于整体更换机架或换辊（带辊箱），如图2-30所示。

现今二辊式张力减径机多用来轧制厚壁（超过12毫米）钢管并用于高速轧制。高速轧制时三辊式张减机的伞齿轮和轴承负荷过重，轧机难以保证正常运转。

减径机的传动方式有两种：

1) 单独传动。这种传动方法可保证轧辊速度的调整，并在很宽的范围内调整张力。

单独传动的减径机结构简单可靠，设备投资省。在高速轧管时（超过10~12米/秒），操作比较可靠，使用寿命较高。这是单独传动的优点。然而单独传动的减径机在轧辊咬入钢管时转速要降低，从而导致钢管前后端壁厚不均段加长。近年来在电机设计上做了不少改进，如为了减少速度降，采用较大的、飞轮力矩较高的专用电动机。此外，电动机配有比较复杂的调整系统，可保证速度降最小，并能迅速恢复到规定的数值。据资料^[4]介绍，速度降可减小到2.23%。所有这些措施使得传动装置造价提高，电机容量增加以及用在操作方面的电耗也增大。但采取集体传动时

这些缺点能得到克服。单独传动的张力减径机的布置如图2-31所示（多用在两辊轧机上）。

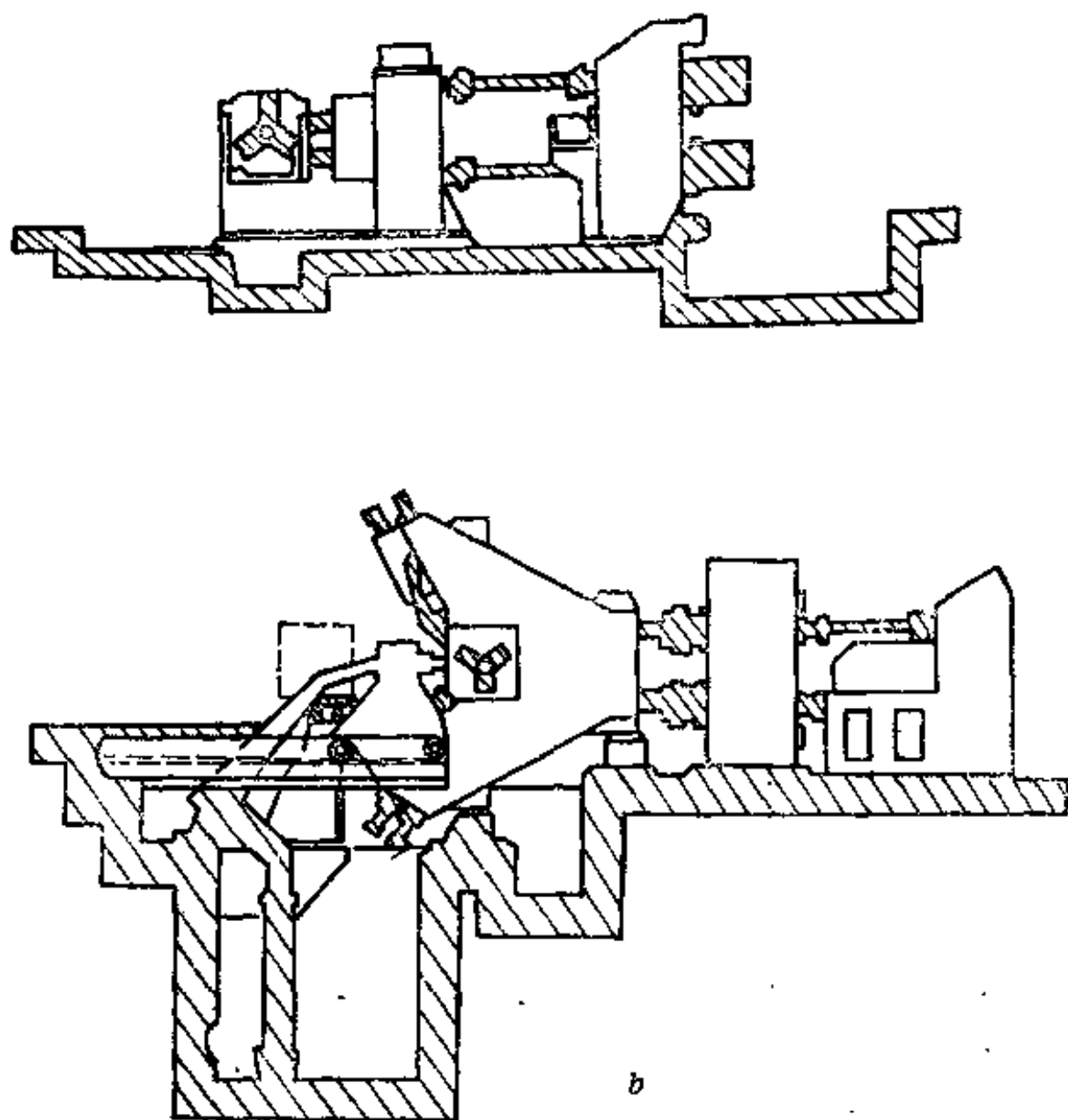


图 2-30 三辊张力减径机的换辊方法
a—整个机架吊走；b—侧向推进、拉出轧辊箱

2) 集体传动（差速传动）。这种传动也可保证实践中需要的轧辊速度调整范围。差速传动的工作原理如下：减径机任何一个机架内的轴速由两部分组成：一为 n'_x ，由主传动装置而来；一为 n''_x ，由辅助传动装置而来。这样

$$n_x = n'_x + n''_x$$

所计算的机架内之轧辊速度与第一个机架内轧辊速度之比，

即辊速系数等于

$$K_{r,s} = \frac{n'_s + n''_s}{n'_1 + n''_1}$$

辊速系数由第一架（为1）至最后一架是依次递增。主传动电机可以是直流的，也可以是交流的，可调速和不可调速的。辅助传动可以是成组的或单独的；可以采用液压马达或电动机传动。成组辅助传动多采用电动机传动，如图2-32所示。

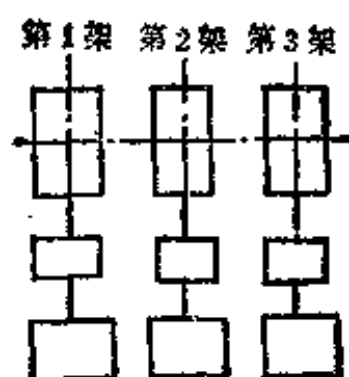


图 2-31 单独传动的减径机

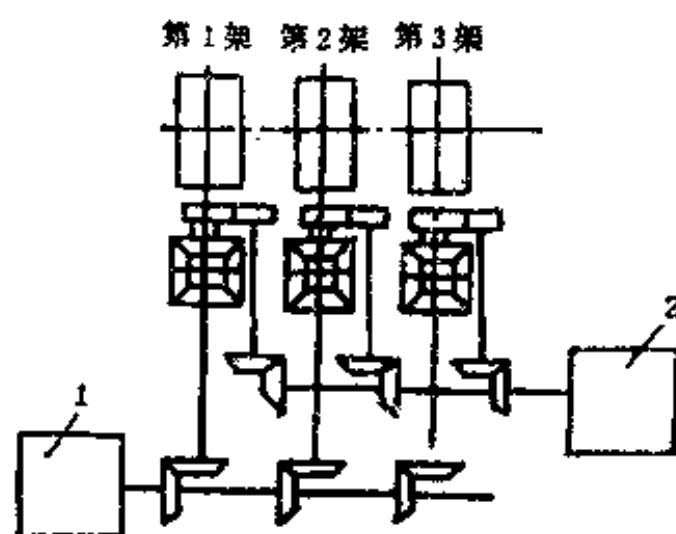


图 2-32 成组辅助传动

1—主电动机；2—辅助电动机

还必须指出，差动传动系统不仅能调整每个机架的辊速，还可以同时调整所有机架的辊速。

在减径机传动装置中使用了三种差动系统。前两个系统采用恒星齿轮和行星齿轮圆锥啮合；而第三个系统则采用圆柱齿轮内外啮合（如图2-33所示）。在两个锥齿轮差动方案中，经常使用轧辊由转臂传动的方案。

国内小型无缝钢管轧机中的三辊穿孔机、三辊斜轧轧管机、狄塞尔轧管机以及拉力芯棒二辊斜轧延伸机均属试验样机，除了三辊轧管机的装备水平较先进外，其他轧机的装备水平均不高，因而有待进一步研究提高。

四、精整设备

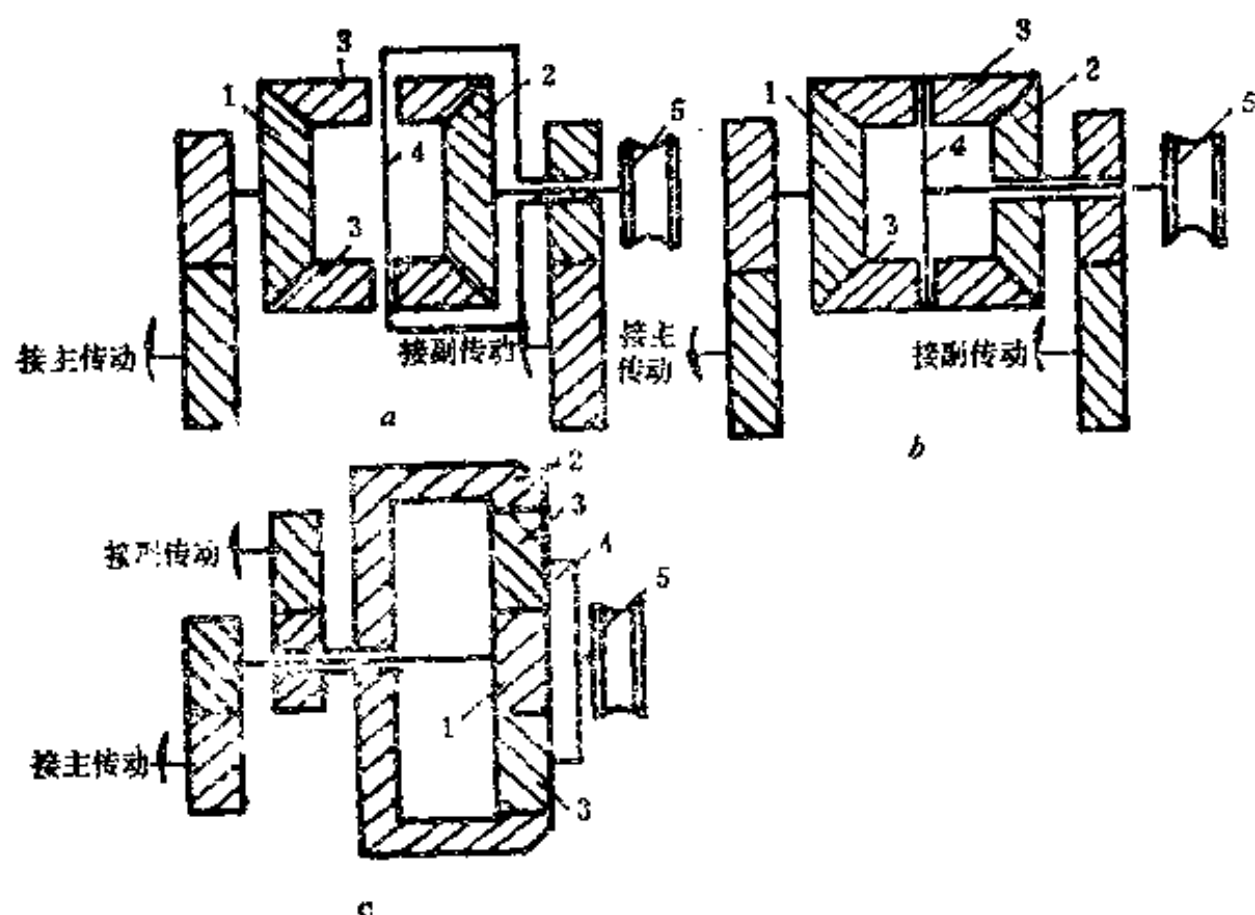


图 2-33 差动传动系统

a—由行星轮传动轧辊的锥齿差动器；b—由导架（转臂）传动

轧辊的锥齿差动器；c—由转臂传动轧辊的柱形齿轮差动器

1、2—行星齿轮；3—行星齿轮；4—转臂；5—轧辊

76~100机组热轧钢管的精整机械主要有冷床、矫直机以及切管机等。

76~100机组所使用的冷床都是链式冷床。各厂的链式冷床的技术性能如表2-18所示。这种形式的冷床由于各链条之间拉力不匀，钢管易被弄弯；但由于结构简单，现仍被广泛采用。钢管在冷床上一般要求冷却到50~100℃。

冷床上倾斜式拖运机的链条如图2-34所示。

76~100机组生产热轧成品钢管时常用的矫直机有2-2-2-1七辊矫直机和3-1-3七辊矫直机。2-2-2-1七辊矫直机的传动如图2-35所示。3-1-3七辊矫直机的示意图如图2-36所示。

3-1-3新型矫直机是由鞍山某厂设计制造的。该矫直机有设备重量轻等特点，而且矫直质量也好，其主要技术性能如下：

表 2-13 链式冷床的技术性能

机组 (工厂)	长度 米	宽度 米	节距 毫米	链条移动 速度 米/秒	电 机		钢管尺寸 毫 米
					功率 千瓦	转 速 转/分	
114机组							到 $\phi 121$
1号冷床	4.15	9	170	0.009	2.8	715	
2号冷床	29.25	9	230	0.0136	4.5	960	
103机组 (长治)	24		230	0.011			$\phi 33.5 \sim \phi 114$, $L = 3.6 \sim 10$ 米
160机组 (西宁)	25.23	8.4					

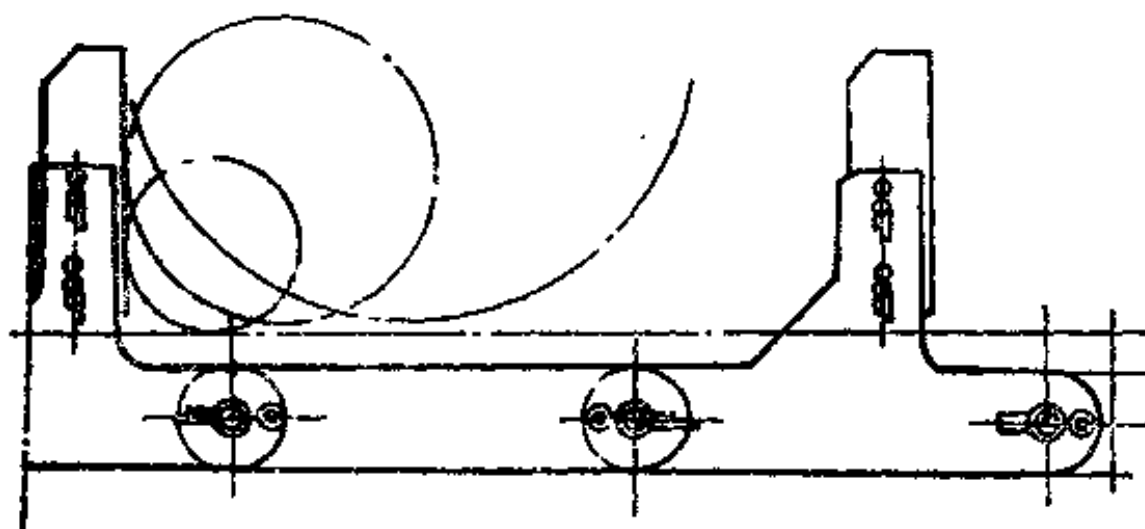


图 2-34 钢管冷床上倾斜式拖运机的链条

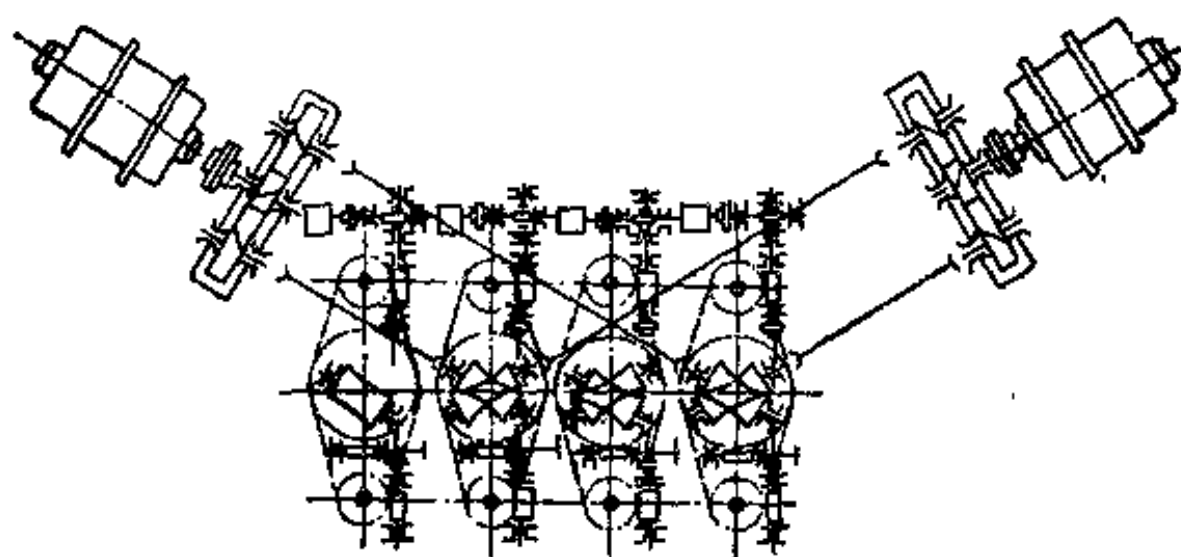


图 2-35 2-2-2-1七辊矫直机辊子传动和调整示意图

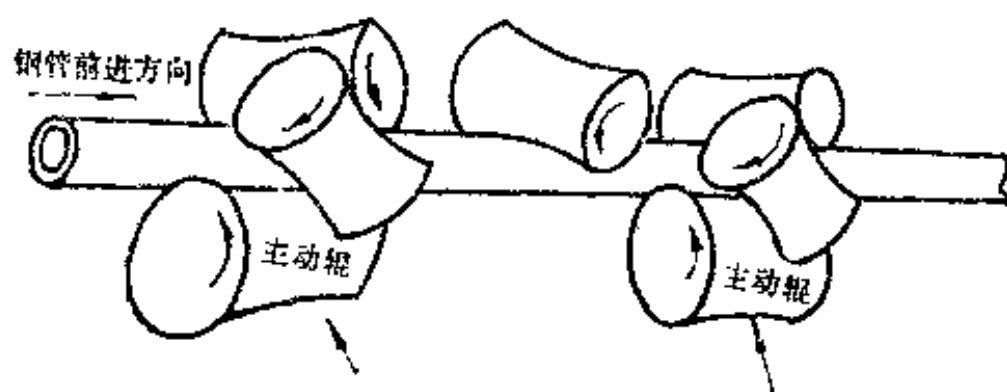


图 2-36 3-1-3七辊矫直机

- 1) 主传动电机功率55千瓦, 转速720转/分;
- 2) 主动辊尺寸 $\phi 240 \times 360$ 毫米, 被动辊尺寸 $\phi 220 \times 260$ 毫米;
- 3) 主动辊转速172转/分;
- 4) 当矫 $\phi 80$ 毫米钢管时, 两个空转辊与下主动辊成 120° 角。

常用的是2-2-2-1七辊矫直机, 各厂所用的七辊矫直机技术性能如表2-19所示。

当钢管弯曲度很大时或矫直高强度合金钢管时, 不能直接在斜辊矫直机上矫直, 应先经压力矫直机粗矫。

76~100机组所用的切管机为标准设备, 型号有:

Q J 1111型, 切割钢管直径 $\phi 20 \sim \phi 114$ 毫米, 钢管长度 ≤ 9 米;

Q J 1115型, 切割钢管直径 $\phi 38 \sim \phi 152$ 毫米, 钢管长度 ≤ 9 米;

Q J 1111型, 切管机技术性能如下:

电机	切割直径	主轴尺寸	主轴转速
JO2 32-4, 3千瓦	$\phi 20 \sim 114$ 毫米	孔径 $\phi 120$ 毫米	110~220转/分

第三节 60~100机组平面布置方式

钢管车间平面布置的流程线一般是直线横移式, 这是因为金

属横向移动可靠钢管自由滚动来实现，如由穿孔机到轧管机，由轧管机到均整机钢管都是靠自由滚动运送的，如图2-37，a所示。图2-37，b中由轧管机至均整机的流程线是直线式的。

表 2-19 2-2-2-1七辊矫直机的技术性能

机组 (工厂)	被矫直的钢管 规格 毫米	被矫直钢管的强度 极限兆帕	最大线 速度 米/秒	矫直辊 尺寸 毫米	辊子 安装 角度	辊子调 整角度	主电动机 千瓦	矫直机 台数
114	$\phi 38 \sim 120$ 最大壁厚20	785	0.644	$\phi 220 \times 340$	26°	$2^\circ 54'$	2×28	2
$\phi 100$ (长冶)	$\phi 33.5 \sim \phi 133$		0.58~0.66				2×20	2
$\phi 100$ (西宁)	$\phi 20 \sim 114$ $\times 2.5 \sim 8$		1~1.6	$\phi 240 \times 330$			2×55	2
$\phi 100$ (大连)	$\phi 108$ 以下			$\phi 270$, 节距850				2
$\phi 100$ (鞍山)	$\phi 20 \sim 114$		0.67~2.68	$\phi 200$, 节距700				2

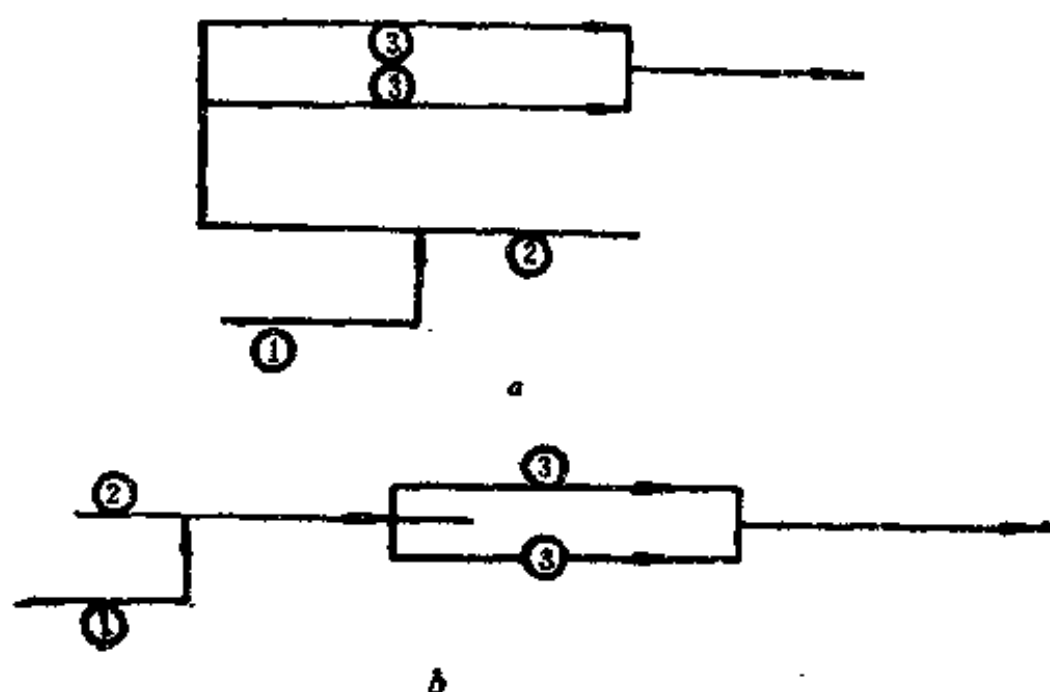


图 2-37 金属流程图
① 穿孔；② 轧管；③ 均整

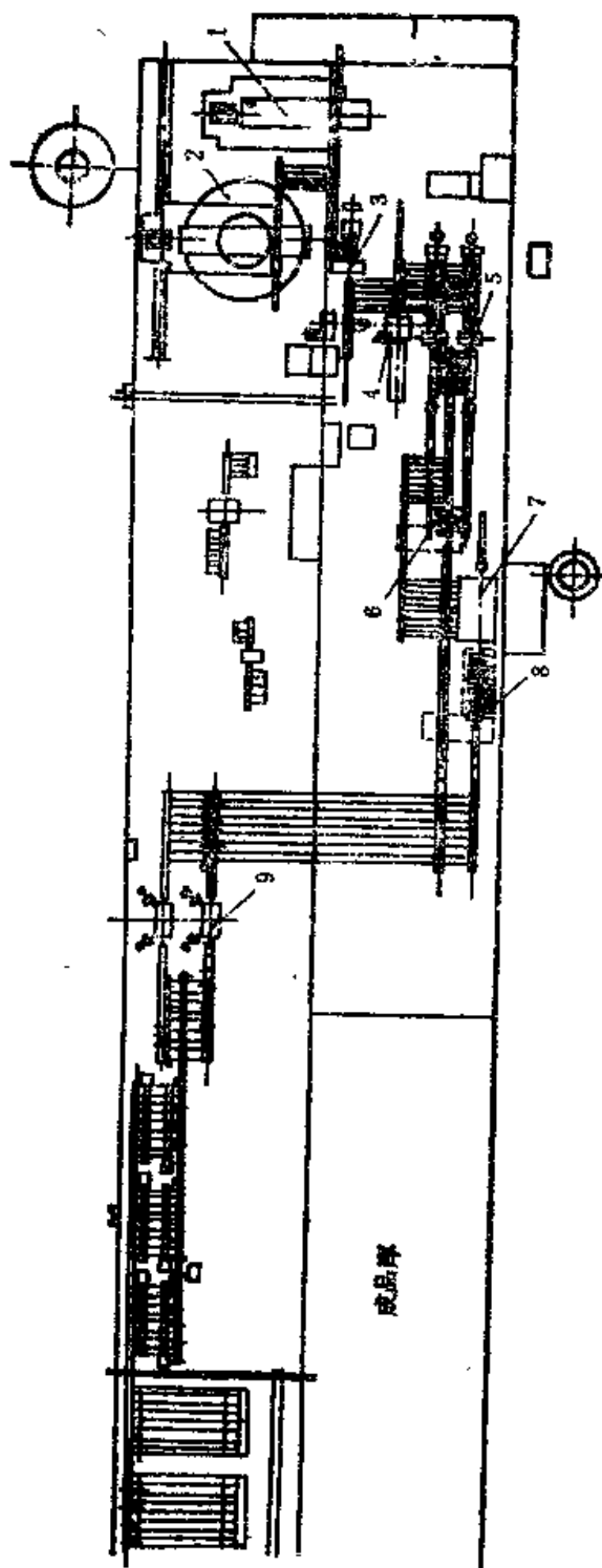


图 2-38 114机组平面布置简图

1—斜底加热炉；2—环形加热炉；3—穿孔机；4—自动轧管机；
5—均整机（两架）；6—定径机；7—再加热炉；8—减径机；9—矫
直机（两架）

图2-38为114机组平面布置简图。大多数工厂轧机的布置大都如此，该平面布置可认为是典型的布置。

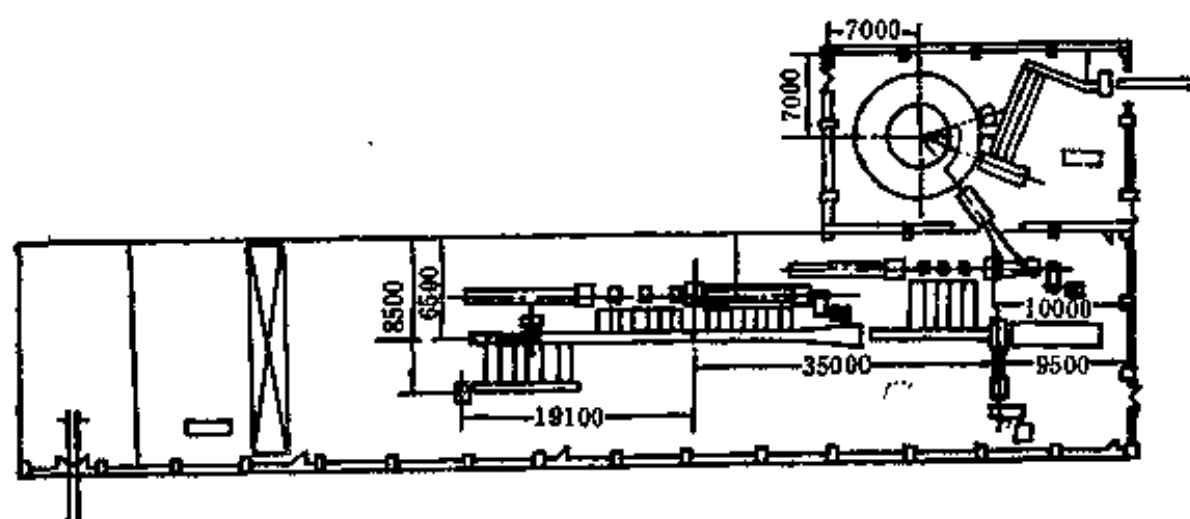


图 2-39 某厂76毫米机组的平面布置

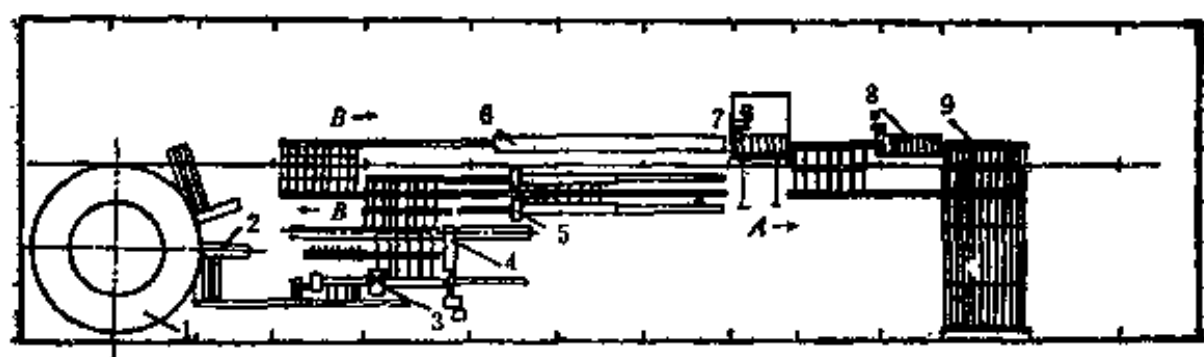


图 2-40 折回平面布置方案

1—环形炉；2—环形炉出料机；3—穿孔机；4—自动轧管机；5—均整机（短轴驱动）；6—快速加热炉；7—定径机（可移动式）；8—张力减径机；9—冷床

图2-39为某厂76机组的布置方案。这种布置方案的特点是，在自动轧管机上采取轧尾的办法。轧尾的优点是有可能减小钢管纵向壁厚不均（由于温度关系）；缺点是，有的工厂认为由于穿轧毛管尾部有时带有铁环，当不脱落时，轧尾易使铁环（半圆或整圆的）套在顶头上，致使管壁擦伤；^{〔5〕}此外，还有均整时不好咬入。图2-37b就属于这种布置方案。很明显这种布置可以减

小设备基础标高差和厂房高度。但这种布置方案在后面跟快速加热炉和张力减径机的情况下，会造成厂房过长，增加投资，有时在经济上是不合算的。一般这种情况下可采取折回布置如图2-40所示。图中钢管通过定径机时走A线（不经过快速加热炉）；减径钢管走B线；而且可以使定径和减径串联起来，增加减径量。

第三章 管坯及其轧前准备

第一节 管 坯

钢管根据用途不同，对它的要求也不同。为了满足对钢管的各种要求，除了改进生产工艺外，最重要的是合理地选择制造钢管的用钢。

各类钢管的要求、技术条件和钢种由国家标准和部标准规定（见本书第一章）。

无缝钢管用钢可按制造方法、化学成分、用途、机械性能、质量和成型方法等进行分类。

按照使用方法，钢可分为四类：

1) 制造机械零件和结构用钢；这类包括有低碳钢、中碳钢、合金结构钢等；

2) 石油地质钻探管用钢；这类钢包括有中碳钢、低合金钢以及合金钢；

3) 制造各类工具用的碳素和合金工具钢；

4) 特殊性能的钢种：不锈钢，耐热钢，耐酸钢，低温用钢以及其他有特殊性能要求的钢种。

按照冶炼方法，钢分电炉钢、平炉钢以及吹氧转炉钢等。

管坯按成型方法分为：

钢锭——开坯——管坯；

连铸方坯——开坯——管坯，

直接连铸圆管坯。

按照化学成分，钢分为两大类：碳钢和合金钢。根据含碳量不同碳钢又分为低碳钢（含碳量在0.3%以下）中碳钢（0.3~0.5%）和高碳钢（超过0.6%）。

根据合金元素的含量的不同，合金钢可分为低合金钢、中合金钢和高合金钢。

根据浇注方法，钢可分为沸腾钢、镇静钢和半镇静钢等。

选用什么钢种、冶炼方法、成型方法等应根据钢管用途和要求、管坯成本、供料可能以及充分发挥各厂的潜力来决定。

我国现有的60~100机组多使用平炉和电炉冶炼的管坯钢。

我们知道管坯成本占热轧钢管的总成本的75~80%，甚至还要高，从而使用较便宜的原料对降低钢管成本是很重要的。采用吹氧转炉冶炼的钢最便宜，尤其是采取吹氧转炉和连续浇注相配合，更为先进。

60~100机组多分布在全国各地中小型企业中，中小企业自供管坯是急需解决的问题。在这方面不少单位都做过研究，并取得良好的成绩。例如安阳某厂用转炉冶炼管坯钢，经650开坯将270（10.5英寸）的钢锭轧成供76和100机组所用之圆管坯。重庆某厂用连铸方坯在500轧机上轧成 $\phi 75$ 毫米圆管坯。马鞍山某厂用水平连铸机直接铸成 $\phi 80$ 毫米的圆管坯，经常州和无锡的76机组使用，生产冷拔无缝钢管获得了成功。

不难得出，上述三种生产76~100机组的圆管坯方式是今后发展方向，它们可以部分解决小管坯由特钢厂和大钢厂（鞍钢、攀钢、太钢、重钢等）供应的不合理现象，并可部分解决管坯供需的矛盾。

在中小型企业中，利用小型钢锭或连铸方坯经650轧机或500轧机轧成管坯是一种可行的办法，这是解决中小型企业自供一部分管坯的重要途径。

在国内76~100机组的供坯关系按钢锭大小可分为四种类型：

1）用8.3吨大钢锭经1150（1000）初轧机开坯，两火轧制出管坯；

2）用500毫米（20英寸）钢锭，经850或750初轧开坯，两火轧制出管坯；

3）用280毫米（11英寸）或270毫米（10.5英寸）钢锭经650开坯机开坯和300~400轧机轧成管坯供76机组；

4) 用200毫米(8英寸)钢锭,经500轧机开坯并轧成管坯供76机组。

各钢厂的生产管坯情况如表3-1所示。

一、对管坯的要求及影响管坯质量的因素

由于斜轧穿孔的变形特点以及穿孔时存在着不利的应力状态(特别是一般二辊穿孔时),对管坯应当有较严格的要求。要求的具体内容都反映在国家标准和部标准中。

对一些特殊用途的高合金管坯要求更加严格,因为在管坯上存在着的任何缺陷都会带到钢管上,而且这些有缺陷的地方往往会造成应力集中,通过塑性变形(穿孔变形),缺陷会加深、加长。

根据国内76~100机组的生产经验得出,对于大多数钢种来说,钢管的强度、延伸率、冲击功等机械性能,压扁、扩口等工艺性能以及金相组织、物理性能等,一般都能满足部标准要求,而影响质量的主要因素是钢管的内外表面缺陷,其主要形式有发纹、裂缝、折叠和结疤,严重的缺陷也会影响钢管的物理、机械性能。

管坯的表面缺陷是指表面上和靠近表面的缺陷。如果缺陷深度不超过0.7毫米,这种缺陷是没有危险的,因为通过加热可以烧掉(形成氧化铁皮)。

内部缺陷主要指缩孔、中心疏松、非金属夹杂物集聚、含有气体(如气泡和皮下气泡)。

当大量存在上述缺陷时,在穿孔过程中容易造成内部缺陷和内表面缺陷。大量生产实践证明,管子内外表面上的缺陷常常是由非金属夹杂物的集聚造成的。这是因为当进行热塑性变形时,由于有些非金属夹杂物不能承受大的塑性变形(特别是穿孔变形),金属的致密性受到破坏。有时则是一些非金属夹杂物(氮化物、氧化物等)常分布在晶界上,从而减弱了晶粒间的联系,使金属塑性降低,最终导致金属破裂而出现了缺陷。

1. 冶炼因素对管坯质量的影响

钢内含有大量气体会造成大量的蜂窝气泡和皮下气泡。这些蜂窝气泡主要分布在钢锭的上半部，钢锭的断面愈小，高度愈大，则气泡在钢锭纵断面上分布愈深。皮下气泡主要分布在靠近钢锭外表面的内层。这些气泡在加热时如被氧化，通过开坯和轧制管坯时气泡将不能焊合，而造成缺陷残留在管坯内，致使金属致密性受到破坏。而不被氧化的气泡通过热塑性加工则可以焊合。这决定于气泡的大小、多少以及是否和外部贯通。

资料^[6]也指出，决定管坯质量的一个主要因素是非金属夹杂物对金属的污染程度。经金相研究证明，在金属致密性被破坏的地方，如在钢管上形成的折叠和离层缺陷，大都是非金属夹杂物主要是氧化物和硅酸盐聚集的地方。

钢锭的质量主要决定于缩孔和中心疏松的深度。在镇静钢钢锭纵断面上，上部中心处有一个没有被金属充满的空间，其形状类似漏斗，这就是缩孔。它是由于金属从液态变成固态时体积缩小造成的。在缩孔的下面有时存在着疏松，即很小的孔隙贯穿在金属中，犹如缩孔的延续。这些小孔隙也是由于金属冷却收缩而形成的。当存在着深的缩孔和大的疏松时，它们通过开坯不能消除，并使管坯内存在着缩孔和疏松残余。缩孔和疏松经过穿孔变形后将加深和扩大，导致内表面缺陷产生。采取熔渣保护是减小缩孔最有效的办法。按照国外的数据缩孔深度不应超过钢锭高度的4~5%。

当钢种含有砷、铅、锡、锑、铋时，由于这些元素几乎完全不溶解于金属而分布在晶粒边界上，当钢加热到一定温度时它们即开始熔化（比钢的熔点要低得多），从而削弱了晶粒间联系，在热塑性变形时很容易产生金属破裂，而导致大量缺陷产生。如我国某厂虽然用的是电炉冶炼的管坯，但由于金属中含有砷（矿石中带来的），穿孔性能很差，很容易产生内外表面缺陷。所以在冶炼时这些元素要控制在最少的范围内。

上述对管坯质量的影响，主要是由冶炼因素造成的。因此，提高管坯质量的关键在于炼钢，而钢管的质量在很大程度上决定

表 3-1 管 坯

序号	厂名 代号	冶炼方式及锭型	钢锭尺寸 毫 米	钢锭平均 断面积, 毫米 ²	轧制过程
1	A	平炉及电炉钢 3吨镇静钢锭	550/450×1430	250000	850初轧, 500轧机二次 轧成
2	B	平炉镇静钢锭 20"(19"), 2.4吨	510/430×1300	220900	750初轧, 650/430×3 轧机二次轧成
		平炉镇静钢锭 11"	275/225×1250	62500	650/430×3轧机一次轧 成
3	C	电炉640锭型	290/230×1100	67600	φ75毫米在650、500轧 机二次轧成; φ90~130毫米一次轧成
4	D	电炉530锭型	290/225×1000	67000	650轧机一次轧成; 个别品种二次轧成
5	E	电炉650锭型	305/245×1000	75700	φ75毫米在650、430/300 轧机二次轧成, φ90~130 毫米在650轧机一次轧成
6	F	电炉8"锭	215/185×350	40000	500、430/300轧机二次 轧成
7	G	电炉8"锭	215/185×850	40000	550×3轧机一次轧成
8	H	顶吹转炉, 电炉 8"锭	215/185×850	40000	500轧机一次轧成
9	I	平炉, 顶吹转炉	680×600/580 ×580×1' 0, 帽头高380	396900	1000初轧, 650×3轧机 二次轧成; 方坯尺寸155 ×190×3000~3500毫米
10	J	顶吹氧转炉 4吨 锭沸腾钢D3P	4吨锭		850/650开坯成180毫米 方, 在530轧机上轧成110 毫米方, 再在430轧机上轧 成φ75毫米管坯
11	K	平炉, 水平连铸	φ80		直接用连铸圆坯一火成材

生 产 情 况

管坯精整	生产管坯 规格范围, 毫米	管坯断面积 毫米 ²		锭坯压缩比		表面质量情况 及修磨量	备注
		φ75 毫米	φ100 毫米	φ75 毫米	φ100 毫米		
二次检查, 修磨 (初轧后经酸洗检查修磨)	φ60~φ130	4420	7860	57	32	表面质量最佳	
检查, 局部清理 两次	φ75~φ120	"	"	50	28	φ100毫米待整 品约为9.31%	待整品为 测定指标
一次酸洗, 检查 修磨	φ90~φ100	"	"		8	φ100毫米待整 品为17.11%	测定指标
两次检查, 修磨; 一次检查, 修磨	φ75~φ130	"	"	15	8.6	表面质量良好	喷丸清理
一次检查, 个别 修磨; 二次精整	φ75~φ130	"	"	15	8.5	同 上	同上
二次检查, 修磨; 一次检查, 修磨	φ75~φ130	"	"	17	9.7	同 上	同上
三次检查, 修磨; 其中第二次要经过 酸洗	φ75~φ80	"	"	9		质量尚可	
均未修磨	φ75	"	"	9		50%由于表面缺 陷引起不合格, 缺陷严重	
均未修磨	φ75	"	"	9		缺陷严重	大量电炉 钢; 少量 转炉钢
初轧坯检查, 砂 轮修磨	φ75	"		89.1		一般质量良好	合格率 98~99%
—	φ75	"					合格率 99%以上
酸洗, 修磨	φ80	—	—	—	—	表面质量较好, 大部分可不进行 修磨, 主要表面 缺陷有冷隔纹、 针眼气孔, 内部 缺陷主要是内裂 纹	合格率 97%左右

于管坯的质量。

通过研究证明^[7]，用平炉冶炼管坯钢时，出钢温度和浇注速度同管子内外表面产生折叠缺陷有着密切的关系。提高出钢温度可以减少内折缺陷，而选择合理的浇注速度可以降低外折缺陷。

提高出钢温度能使穿孔性能大为改善，临界压缩量增加。提高出钢温度能够降低钢管的内折缺陷的原因在于，提高出钢温度有利于非金属夹杂物上浮，从而减少钢中非金属夹杂物含量，改善管坯的质量，改善金属的塑性，提高穿孔性能。

提高钢锭的浇注速度反而会降低管坯和钢管的外表面质量。这是因为提高浇注速度使得钢锭冷却时的初次壳减薄，这层外壳经受不住钢水的压力而破裂，导致钢锭表面形成纵裂纹。这种缺陷在轧制过程中不能消除，而残留在管坯表面上，恶化管坯的表面质量。

至于完善冶炼工艺对改善管坯质量更为重要，主要是通过精选炉料和选取良好的脱氧方法来减少非金属夹杂物。其次是排气，减少气体的含量。一句话，钢锭中杂质少、干净是很重要的。净化钢质的新技术主要有：炉外精炼，RH真空脱气，钢包吹氩以及保护气体浇注等。

在提高连铸坯质量方面的新技术主要有：

1) 保护气体浇注。因为钢水从盛钢桶流出后，还要经过中间包才能注入结晶器，因此钢水暴露在空气中容易被氧化造成氧化物夹杂增加。为此采取盛钢桶到中间包之间用长水口或惰性气体保护，而中间包到结晶器之间可采用浸入式水口加保护渣，气体保护套管以及喷洒液态氮等加以保护。

2) 电磁搅拌技术。其原理是借助电磁力的作用把未凝固的钢水搅动起来，达到阻止柱状晶的发展、扩大等轴晶区、细化结晶组织、消除偏析以及防止缩孔的目的。

3) 为防止连铸坯出现各种裂纹，可采取如下措施：

尽量缩短拉辊间距，这样可以减小由于钢水静压力造成的鼓肚量，防止内裂出现；

采取多点弯曲和矫直，这样可以避免弯曲矫直时产生的过大拉应力；

调整各拉辊的速度，以便对铸坯产生一个预压应力，以抵偿弯曲矫直产生的拉应力。

2. 开坯和管坯轧制工艺对管坯质量的影响

我们知道钢锭是铸造组织，集聚在晶界上的杂质在塑性变形时就会引起铸钢的脆性。通过轧制（热塑性加工）钢锭的组织可以得到如下的改善：

1) 枝晶、柱晶和粗大晶粒被破碎，钢锭通过轧制变成晶粒细小的、均匀的轧制组织；

2) 改变钢中夹杂物的分布情况，成分偏析在一定程度上得到改善。这是因为钢锭中各个部位的成分分布不均，钢锭在轧制前加热（由锭到管坯要有2~3次加热）时，在加热炉中的高温作用下，通过扩散分布不均的成分会受到某种程度的均匀化作用；

3) 气泡的焊合。不被氧化的气泡，在高温高压下有可能焊合。

这就不难看出，由钢锭到管坯的总变形量是决定变形金属组织和机械性能的主要因素之一，也就是说轧制变形对管坯的内部组织质量也有影响。由钢锭到管坯总的变形量，可用压缩比来表示。压缩比是指钢锭（或连铸坯）断面积与管坯断面积之比，即延伸系数。

由表3-1可看出，我国各厂由不同的锭型轧成 $\phi 75 \sim 100$ 毫米的管坯时总压缩比在8~90范围内。试验证明，压缩比在8~12范围内就能保证管坯内部组织质量和良好的机械性能；再提高压缩比对管坯质量就没有多大影响^[8]。从理论上讲，采用大于250毫米（10英寸）的钢锭轧成 $\phi 75$ 毫米管坯时压缩比是足够的。但问题比较复杂，因为在生产中还会涉及其他因素。有的工厂实践证明，采取较大的钢锭有利于提高管坯质量。上海地区曾对当地和湖北的管坯做过一次全面分析，其比较结果如表3-2。

表 3-2 管坯压缩比对钢管质量的影响

钢 号	机 组	锭型, 毫米	热轧管待整品率, %
20	上海114机组	280(11英寸)	32.3~41.4
		380(19英寸)	12.9~14.32
	上海76机组	280(11英寸)	21.91~24.53
		380(19英寸)	4.4~6
		大冶管坯 3 吨锭	2.34~2.65

据分析, 大钢锭可以提高管坯质量的原因有^[9]:

1) 大钢锭压缩比大, 致使钢的结构比较致密, 夹杂物的分布比较分散, 加工过程中气泡的焊合机会大;

2) 大钢锭经过两次加热, 部分表面缺陷在加热过程中随氧化铁皮而剥落, 加上两次轧制和两次精整均可改善管坯的表面质量;

3) 大钢锭做到了亮圈浇注, 消灭了翻皮, 铸模内钢液有较长时间处于液体状态, 因而有利于非金属夹杂物上浮。

但关键问题还在钢的质量。在轧制过程中(包括开坯)虽然在一定程度上可以克服冶炼带来的缺陷, 但在管坯轧制中由于加热制度、轧制制度以及孔型设计的影响, 也会产生新的缺陷, 从而恶化管坯质量, 诸如由于在轧制时孔型过充满出耳子而造成的折叠缺陷, 加热不良产生的裂纹, 轧制管坯中不利的应力状态和不均匀变形导致的轧裂, 等等。因此, 要判断管坯中的缺陷是由冶炼因素造成的还是由轧制因素造成的, 应当结合具体问题具体分析。

另外有的资料^[6]指出, 高碳钢和合金钢管坯产生内部裂纹(缺陷)可能是“白点”的影响。通过试验证明, 缓冷的管坯和空冷的管坯相比较, 前者质量要好。

冶炼因素带来的缺陷通过轧制并不能完全消除, 而且轧制过程中还会产生新的缺陷。因此, 要完全避免产生缺陷是不可能。国外虽然发展了无缺陷钢, 我们目前还做不到。这样, 对于管坯

缺陷的修整就显得十分重要了（包括钢坯缺陷的修整）。

管坯上存在着的缺陷，应用机械等方法加以清除，以便防止在钢管生产过程中缺陷进一步扩大。

如上海某650车间，专门设置了生产管坯的精整工段，对280毫米（11英寸）锭和380毫米（19英寸）锭所轧管坯全部进行酸洗修磨，结果，热轧成品管的待整品前者由未经酸洗修磨的32.3~41.4%下降到17.11%，后者由12.92~14.32%下降到9.32%（根据一次测定资料）^{〔9〕}。

国内的管坯修整方法有：

酸洗→检查→修磨；

抛丸处理→检查修磨。

现厂经验说明，采用酸洗效果较好，容易较明显地暴露缺陷；但酸洗设备占地面积大，劳动条件差；而抛丸处理占地面积小，效率高。管坯缺陷修磨的方法有风铲清理、砂轮修磨、多刀铣削、车床剥皮以及火焰清理等。选用何种修磨方法应根据钢种而定。对于一些合金钢和特殊合金钢要采取剥皮处理，这是因为这种管坯比较贵，而且对质量要求也高。剥皮量一般5~10毫米（沿直径）。剥皮处理可以去除各种表面缺陷，并容易发现内部缺陷。

用火焰清理缺陷，效率比较高，但主要用于中低碳钢。对于高碳钢用火焰清理缺陷则容易在管坯表面形成淬火层，而后在剪切管坯时容易产生剪切裂纹。

风铲常用于清理局部缺陷，风铲清理的缺点是劳动强度大。

砂轮磨削主要用于合金钢以及用风铲难于清理的钢种。一种光电控制自动砂轮磨床（如图3-1所示）已经投入使用。这种自动砂轮磨床采用了光电控制的新技术，以汽动代替人工操作，装有较完善的吸尘系统，机械结构简单，使用和检修方便，工人容易掌握并大大减轻了劳动强度，保证了身体健康，同时显著提高了生产能力。

在国外生产无缝钢管的工厂中十分重视管坯缺陷的检查和修

磨。如日本几家工厂对于沸腾钢坯一般都是逐根检查，然后磨修，或先酸洗再检查修磨或剥皮处理。

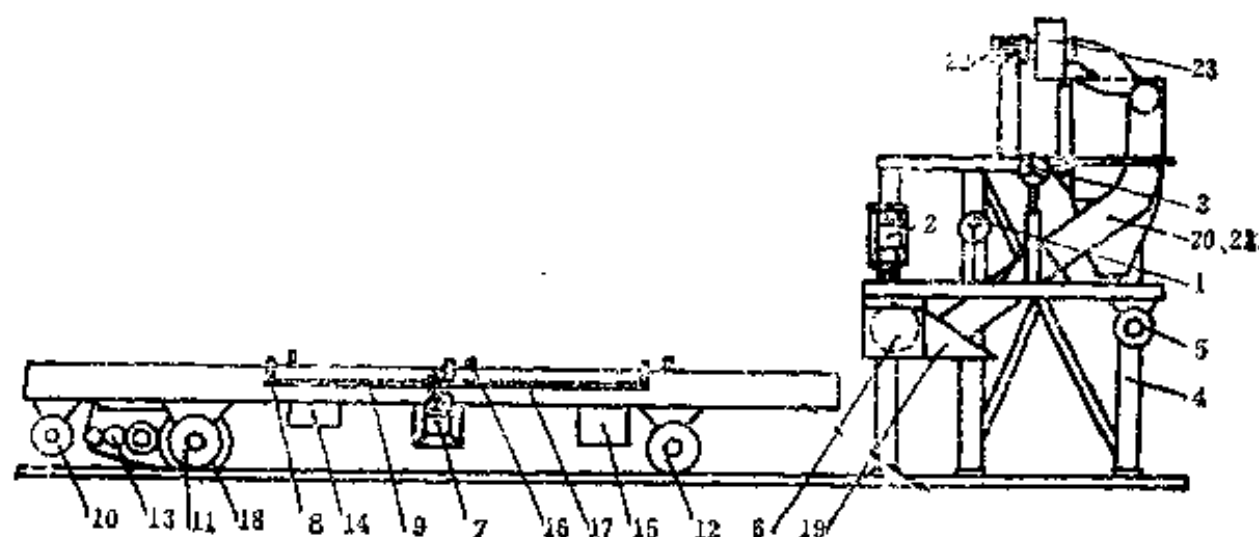


图 3-1 光电控制自动砂轮磨床总体结构

1—水平调整汽缸；2—垂直调整汽缸；3—水平移动装置；4—砂轮；
机支架；5—驱动电机；6—砂轮；7—卸料汽缸；8—拨爪；9—长
轴；10—驱动电动；11、12—车轮；13—减速机；14、15—转钢汽
缸；16—搁脚；17—车架；18—导轨；19—吸风口；20—管道；21—
除尘器；22—电机；23—风机

一般修磨量主要视材质、铸锭及轧制情况的差别而不同，也决定于钢管品种和剥皮量大小。通常是小直径管坯比大直径管坯修磨率高，小型钢锭比大型钢锭修磨率高。一般检查的项目有标重、化学成分、尺寸和公差、表面质量（肉眼和磁粉探伤）、内部缺陷（超声波探伤）等。修磨方式有风铲、火焰清理、砂轮研磨等。

除了对管坯表面质量和内部组织性能有要求外，对管坯几何尺寸公差也有要求，这些要求都规定在国家或部标准内。管坯的几何尺寸应当尽可能精确，如直径过小（即负偏差过大）或过大和椭圆度大将会恶化穿孔时的咬入条件；直径过大还会增加穿孔时的压缩量，最终有可能产生缺陷。

二、管坯质量和穿孔方法

对管坯的质量要求同穿孔工艺有着密切的联系。在两辊穿孔

机上穿轧毛管时存在着不利的应力状态和严重的不均匀变形。因此，坯料上存在着的局部缺陷通过穿孔而扩大，在毛管内外表面造成缺陷。特别是金属中一些薄弱的地方——非金属夹杂物聚集和金属致密性较差的地方，一通过穿孔变形很容易引起金属的破裂。因此选用合理的穿孔方式，改变不利的应力状态，可以防止缺陷产生，同时也可降低对管坯的要求。近年来出现的三辊穿孔机、导盘穿孔机、菌式穿孔机就是三种较好的斜轧穿孔方式。推轧穿孔（P.P.M）则是用方坯直接穿孔的好方法。采用这几种穿孔方法，特别是菌式穿孔机，不但可以穿轧连铸坯，而且可以穿轧高合金钢。

至于在两辊带导板的穿孔机上也可以通过穿孔工艺的改进，防止缺陷产生，从而降低对管坯质量的要求。

第二节 管坯的截断和定心

一、管坯的截断

进入轧管车间的管坯，一般都是5~7米的长料。为了满足轧制各种壁厚的钢管，需要准备各种长度的管坯，因此长料要截断。钢管车间所需的坯料长度波动范围较大，车间自设截断设备是合理的，经济上也是合算的。如果车间要求供应的坯料就是这种短的、长度范围波动大的管坯，显然是不合理的，也是很困难的。特别是当轧制定尺的热轧钢管时，管坯的长度公差不应该超过±10毫米。当超出这一公差，生产薄壁管时，毛管的长度就有可能超出轧机所允许的长度，即使还能勉强轧制，也会导致管子切头和金属消耗增加，或者生产的钢管短尺。对于厚壁管由于延伸（伸长）系数小，管坯的长度公差可允许大一些。

对于76机组（供冷拔的热轧半成品管），管坯的长度还需考虑冷拔管的定尺和减少短尺以及冷拔设备所允许的长度。为此，只有在钢管车间设置截断设备才能满足管坯长度上的要求。

生产中切断长管坯的方法有：气切，用锯锯断，在剪机上剪断以及在压断机上折断。

当前供60~100机组的管坯多采用在剪机上剪断。锯断主要适用于由于性脆（产生剪切裂纹）而不能承受剪切某些合金钢种如GCr15、12Cr5MoA等。我国已成功地利用预热方法（200~300℃）来剪切GCr15轴承钢。气切用得较少，缺点是金属消耗大，一般只在无其他剪切手段时才用或用于截断合金钢管坯。60~100机组所使用的冷剪机吨位（剪切力）一般在160~1250吨。

锯断设备有砂轮锯、圆盘锯、摩擦锯和弓型锯。砂轮锯有的用于锯断1Cr18Ni9Ti不锈钢、耐热钢和轴承钢，其特点是锯切速度快、产量高，但锯片消耗量大，成本高。圆盘锯可锯切合金钢（如30CrMnSiA等），特点是操作安全，锯片消耗量少，成本低，但产量低。弓型锯也用于锯断合金钢。锯断的管坯，端面质量好。

对于一般钢种最好的截断方式是在剪机上剪断。用剪断机剪断，产量高，成本低，但有个剪切断面畸变问题。在剪断机上切断管坯时，要特别注意使切断后的管坯端部平整和产生的椭圆度小。过大的切斜度会导致钢管端部壁厚不均增加，这是因为当切斜的管坯端面和顶头鼻部相遇时不易对准中心。过大的椭圆度会影响管坯的咬入。

为了防止管坯端部产生过大的椭圆度，剪刀孔槽应同管坯断面相当。一般考虑各种因素的影响，如管坯直径的变化等，剪刀孔型直径可取等于管坯直径加3毫米，大吨位的剪机加5~10毫米。如果剪刀孔槽过大，则易压扁管坯端部，使椭圆度增加。

为了避免在管坯端部形成毛刺，剪刀应当很锋利，且上下两剪刀的间隙不得大于2毫米（有的厂规定为0.5毫米）。

为了获得平整的端部，管坯应垂直于剪刀运动方向放置。为此，在剪断机的入口方面装有压紧装置，用它来限制管坯在剪切时上翘（抬）和在剪刀中歪斜。

在剪断机上允许的压扁度不超过8~10%，允许的切斜度不超过6毫米。

根据所要求的热轧钢管长度，管坯的长度可以按下式计算：

$$l_x = \frac{4(L+C)(D-S)S}{Kd_z^2}$$

式中 l_x ——管坯长度；

K ——烧损，一般取等于0.97~0.995（与炉子构造和钢号有关）；

D 、 S ——成品管的直径和壁厚；

L ——钢管长度；

C ——钢管切头长度；

d_z ——管坯直径。

一般为了提高产量和降低金属消耗，应当尽量轧制长的坯料，因此管坯的长度差别最好不超过200~300毫米。冷剪机的结构简图如图3-2所示。

二、定心

定心是为了在穿孔时使顶点鼻部正确地对准管坯轴线，而在管坯的前端做一个不深的圆孔，称为定心孔。

管坯定心可以减小毛管前端的壁厚不均，并改善穿孔的咬入条件。管坯通过前端定心使得前端变形后的凹陷（漏斗状）增大，有利于对准顶头鼻部，可以减小前端壁厚不均。特别当穿轧厚壁毛管时定心更为重要，因为厚壁毛管压缩量小，故前端变形后的凹陷也小，同时顶头直径比管坯直径要小得多（同薄壁管相比），所有这些都增加了顶头鼻部和管坯前端相遇时不对准中心的几率。因此为了减小壁厚不均和金属消耗，当轧制厚壁管时定心是完全必要的。

通过定心可以改善二次咬入条件，这是因为增加了顶头前的压缩，如图3-3所示。由图可以明显看出 $l_{H'} > l_H$ 。

一些合金钢穿孔时，常取较小的压缩量以便实现正常的二次咬入和防止前端壁厚不均，定心尤为必要。如果不定心，则在穿孔锥中管坯与顶头鼻部相接触的这段距离较小（ l_H 较小），即接触面积较小，当轧辊曳入管坯的摩擦力小于顶头阻力时，则不能

实现二次咬入。这就是说，通过定心可增加接触面积，从而增大了曳入摩擦力，有利于实现二次咬入。

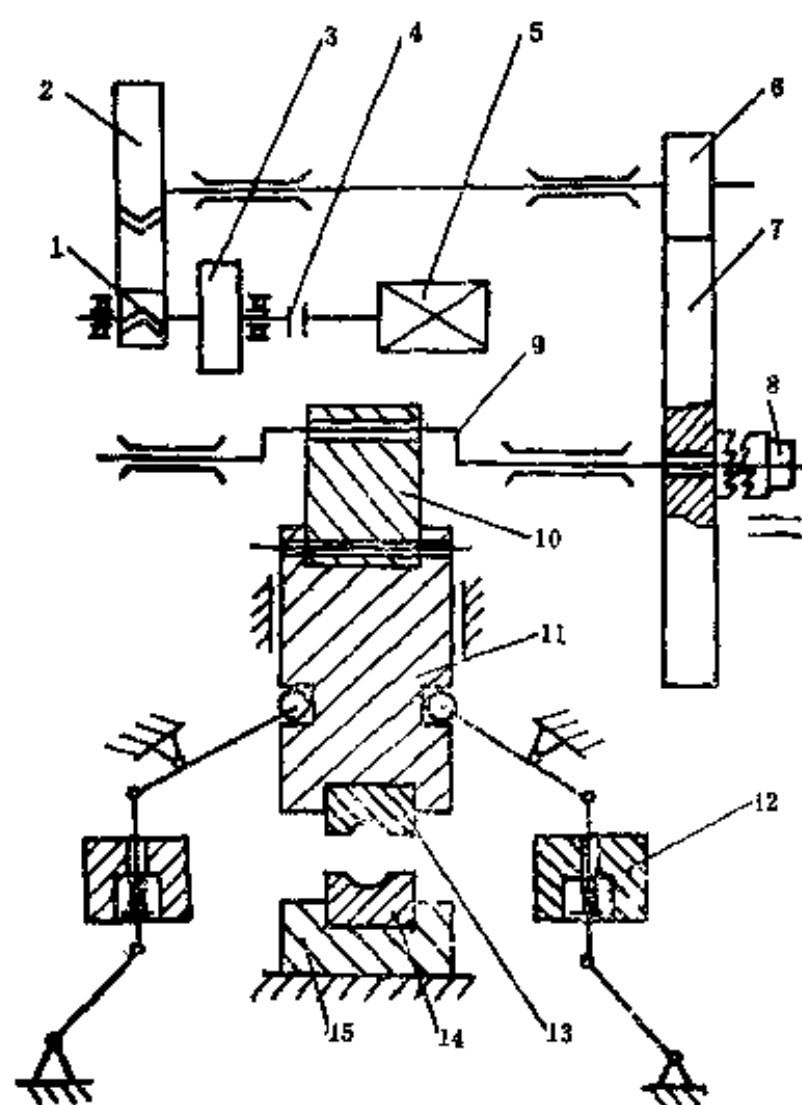


图 3-2 冷剪机的结构简图

1、2、6、7—传动齿轮；3—飞轮；4—联轴器；5—电机；8—离合器；9—曲轴；10—摇杆；11—上刃台（滑块）；12—平衡锤；13—上剪刀；14—下剪刀；15—下刃台

但定心并不是在所有情况下都是需要的，如轧制小直径薄壁管时定心与否对前端壁厚不均影响很小，管坯可不经定心直接穿孔。

定心的方法有下列两种：热定心是用压缩空气（或液压缸）在热状态下冲孔；冷定心是在车床上钻孔以及用氧—乙炔火焰烧孔（用得较少）。

在穿孔机前工艺流程线上装设热定心机实现热定心得到了广

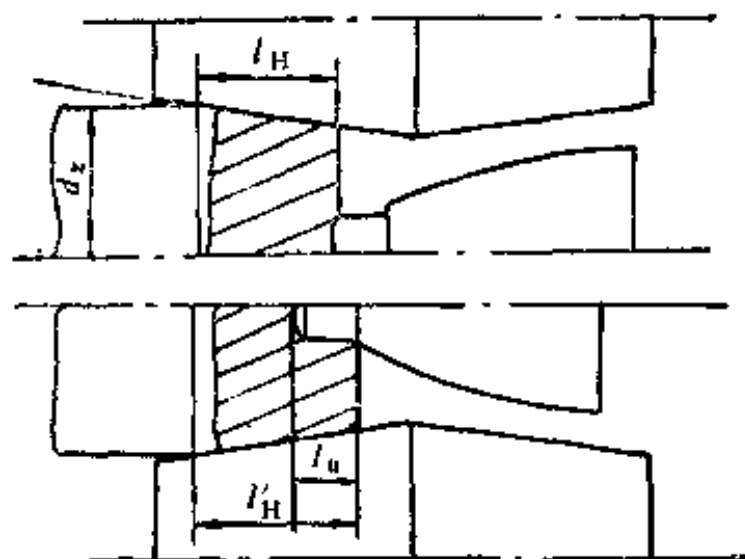


图 3-3 管坯定心和不定心对二次咬入的影响

泛发展。这种方法生产率高，设备简单，同时由于冲头的形状与顶头鼻部形状相适应，故所得的定心孔良好。图3-4为我国114机组热定心机示意图。它是用01-38式风镐改装而成的。这种热定心机有以下特点：

- 1) 体积小，重量轻，约25公斤；
- 2) 生产安全，工作可靠。

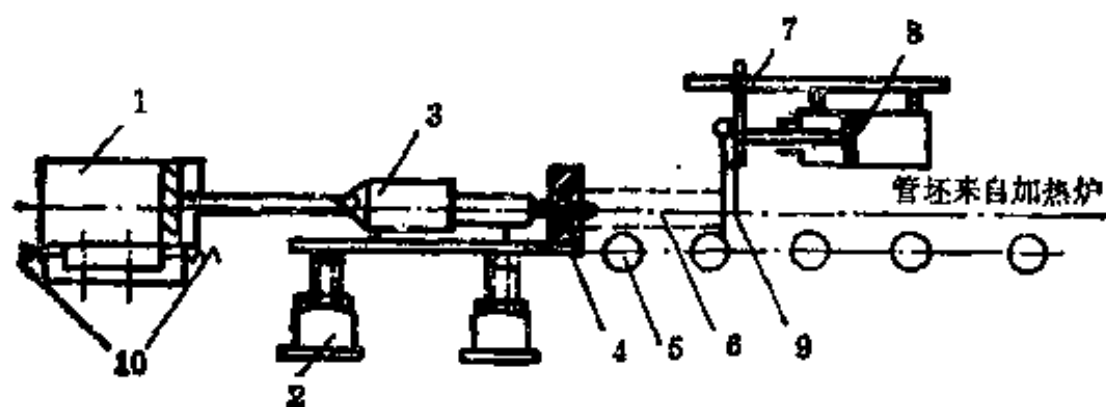


图 3-4 热定心机

1—工作气缸；2—升降螺杆；3—工作风镐（热定心机）；4—自动定心器；5—输送辊道；6—管坯；7—导杆；8—推力气缸；9—活板推料头；10—调节螺钉

缺点是冲击力不够，定心孔过浅。因此这种定心机要经过数次冲击才形成定心孔。定心孔的尺寸较为准确，偏心度在2毫米

之内，数据如表3-3所示。

表 3-3 热定心机的技术数据

钢 种	打孔深度, 毫米	打孔时间, 秒	备 注
10, 20	30	5~6	偏心度在 2 毫米之内
10, 21	20	4	
GCr15	20	7~8	
40Mn2	20	7~8	

冷定心一般是在车床上钻一小孔。钻孔的形状不当，很容易形成定心内折缺陷。定心内折是由于定心孔底部直径突变的棱角造成的，定心内折的形成如图3-5所示。定心孔不应过深，否则虽然利于咬入，但是容易导致定心内折缺陷。定心内折一般为半圈到一圈，且在头部。

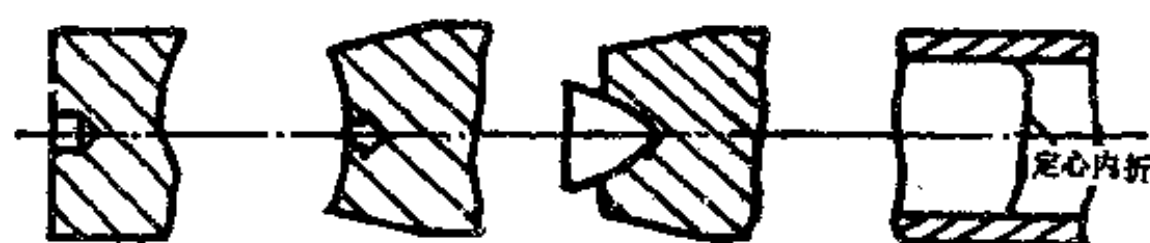


图 3-5 定心内折的形成过程

定心内折是容易判断的，根据定心孔深度乘以毛管的延伸系数就能找出产生定心内折的位置。

用火焰烧孔（定心孔）用得不多，主要限于很难钻孔的高碳合金钢^{〔6〕}，但定心孔的质量不高。

定心孔的尺寸和形状应和顶头鼻部形状尺寸相适应。各厂所规定的定心孔尺寸如表3-4所示。

第三节 管坯(钢管)加热

金属加热过程是通过燃料（煤气、重油、煤）燃烧发出大量的热，大部分热量传给金属，使低温的管坯加热到高温。

管坯在加热时，管坯依靠各种传热方式得到热量，有从炉底

以传导方式得到的热量，有从炉气以对流方式得到的热量，也有从炉气、炉墙和炉顶以辐射方式得到的热量。低温时管坯得到的热量大部分依靠对流和传导传热，而在高温时（500℃以上）绝大部分热量依靠辐射传热。

表 3-4 一些工厂定心孔的技术数据

机组	管坯直径 毫米	定心孔直径 毫米	定心孔深度 毫米	偏心率 毫米	钢 种	定心方法	备 注
上海 114机组	70~85	25~30	8~10	<2	碳 钢 合金钢	热定心	
	90~100	30~35	8~10				
	105~120	40	8~10				
北京 76机组	70~80	30	25~30	<2	1Cr18Ni9Ti	冷定心	
天津 76机组	75	20	8~10	<3	合金钢	冷定心	
大冶 76机组	75~80	23.5	28	—	1Cr18Ni9Ti等	冷定心	
上海 76机组	75	30~35	25	—	合金钢	冷定心	
日本	<115	30	25	—	碳 钢 合金钢	冷热定心	管子壁厚 >7毫米 时定心
苏联	80~90	20~25	15~20		一般碳钢 不锈钢	冷热定心	
	105~130	25~30	15~20			冷定心	
	80~90	25~30	20~30			冷定心	

传导、对流和辐射三种传热方式都与温度差有关，特别是辐射传热，温度差稍微提高，辐射热量就大大增加。因此，提高炉温，增大炉气与管坯（钢管）的温差，则可实行快速加热，快速加热炉就是根据这一原则来实现的。

金属通过传导、对流、辐射传热方式接受热量，而温度逐渐升高；随着温度不断增高，组织不断发生变化，而最终达到人们所要求的、良好的加工组织。

对于轧管工作者来说，重要的是掌握在加热过程中金属内部

发生的各种变化。这首先决定于加热制度。加热制度（指管坯的加热温度、加热速度和加热曲线等）在很大程度上决定着成品管的质量——内外表面质量、机械性能和工艺性能等。

管坯加热的根本目的在于为穿孔和轧管准备良好的加工组织和改善金属性能。一方面加热可使管坯转变为有足够的塑性和低的变形抗力的材料，这就为金属成型创造了有利条件。而另一方面在加热过程中可以改善钢的组织性能。

但金属加热过程也会带来一些缺陷，如金属表面层被氧化而形成氧化铁皮、金属表面层脱碳和增碳，而使得金属表面质量降低，增加了金属消耗。由于表面脱碳将会降低某些合金钢的性能（如表面硬度、疲劳强度、耐磨性等）。对于不锈钢在加热过程中产生增碳现象是最不利的。因为这会降低不锈钢的防腐蚀性能，即通常所说的产生晶界腐蚀。

管坯的加热一般分为低温加热和高温加热两个阶段，两个阶段各有特点。

一、低温段加热时期

低温段加热时期往往是加热一些特殊合金钢的关键时期，因为这时钢有低的热传导性能和低的塑性，因此，选择加热速度时必须考虑如下因素。

1. 金属的导热性

金属的导热性决定于金属的化学成分、金属的状态和温度。

图3-6为合金元素的含量（%）对钢的导热性的影响。由图可看出，含合金元素Ni、Cr、Si、Mn（特别是大量含Cr、Ni的钢）愈多则钢的导热性愈低；而其中以Mn和Ni影响最为显著。

退火的钢较淬火的钢有较大的导热率，轧坯较铸坯有较大的导热率。这是因为经过塑性变形组织变得致密所致。

碳钢随着加热温度的提高，其导热率降低；而某些合金钢则有相反的趋势，如图3-7所示。

纯铁有最大的导热率。随着碳和合金元素含量的增加，钢的导热率下降。通常高合金钢的导热率最小。

由图可以看出，纯铁（超低碳钢）和低碳钢在低温时导热率最大，而温度增加导热率明显下降。高合金钢在低温时导热率很差，高温时反而有所提高。

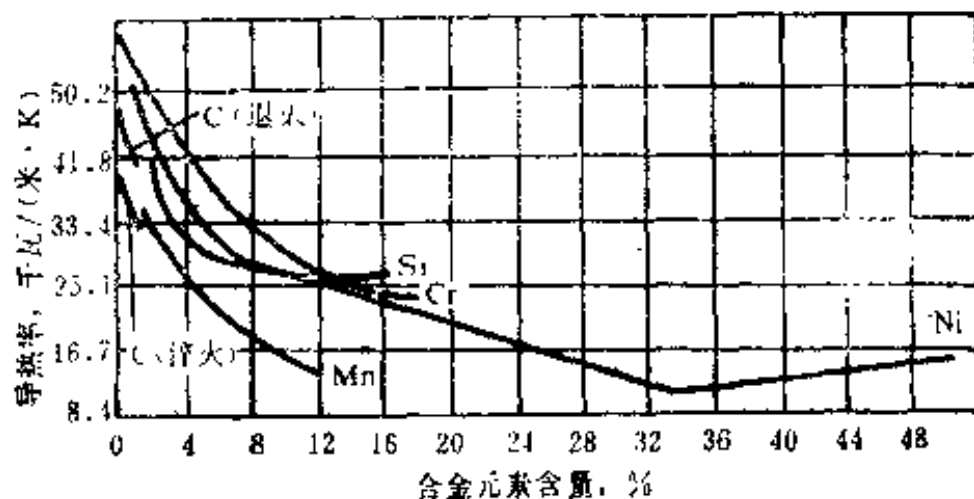


图 3-6 合金元素对钢的导热性的影响

各种钢的导热率是合理地选择加热速度的主要依据，这是我们在拟定加热制度时必须掌握的。

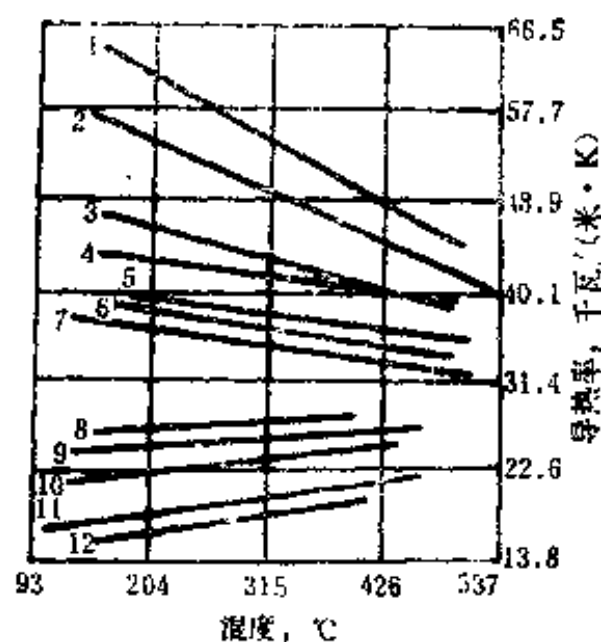
2. 热应力

在加热管坯时温度沿截面的分布是不均的，而且表面温度高于内层温度，这样内外层的热膨胀就不同，各层间将产生热应力（也称温度应力）。热应力值的大小决定于温度沿截面的传递情况，它是加热速度、管坯直径和热传导系数（导热率）的函数。加热速度愈快，管坯直径愈大，钢的导热性愈差，则产生的热应力也愈大。在低温加热大断面合金钢管坯时存在着较大的热应力，当热应力超过该温度下的金属强度时会产生裂纹缺陷，裂纹严重的管坯将报废。因此，在生产中加热高合金钢管坯时应特别小心。

3. 组织应力

在确定低温段的加热速度时另一个要考虑的重要因素是钢的塑性。大部分钢种在 600℃ 以前塑性不高，在 300~500℃ 温度范围内将产生“蓝脆”现象，这时钢的强度将显著降低。图3-8为碳钢加热到300~500℃时，塑性急剧下降的图示。这个温度相当

于“蓝脆”区。



图中曲线号	钢中合金元素含量, %					
	C	Mn	Cr	Ni	Si	W
1	0.02	0.03	—	—	—	—
2	0.04	0.04	—	—	0.026	—
3	0.83	0.27	—	—	—	—
4	0.35	0.56	0.046	1.37	—	—
5	0.51	1.65	—	—	—	—
6	0.35	0.75	0.61	—	—	1.04
7	0.10	0.45	5.15	—	—	—
8	0.7	0.9	12.9	—	—	—
9	0.14	0.19	14.6	—	—	—
10	0.10	0.40	26.0	—	—	—
11	0.07	0.27	18.6	9.1	—	—
12	0.15	12.5	—	3.0	—	—

图 3-7 温度和钢的导热率的关系

此外, 当把钢加热到临界点 A_1 时, 将产生相变 (组织转变), 在慢速加热时临界点温度为 $700 \sim 800^\circ\text{C}$, 有些钢种这个温度或低些 (670°C) 和高些 (900°C)。

在组织转变时金属体积将发生变化, 由此产生了组织应力,

组织应力和热应力相叠加，有时很容易导致金属的连续性（致密性）遭到破坏。

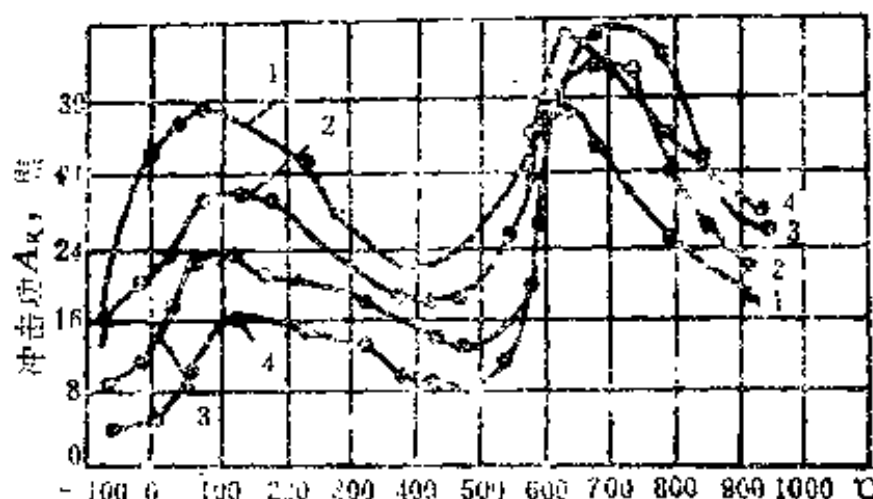


图 3-8 碳钢的冲击韧性（塑性指标）与温度的关系
含碳量：1—0.08%；2—0.13%；3—0.25%；4—0.40%

4. 原始应力

原始应力是由于注锭后冷却不当造成的，它只存在于铸态管坯中（如连铸管坯）。但由于浇注的管坯直径较小，这种应力影响较小。

5. 钢的组织

管坯是铸造组织还是变形组织，这是在选择低温段加热速度时必须考虑的因素。铸造组织的塑性比较低，而变形组织的塑性却有所提高，其主要原因是在铸造组织中晶间物质大量聚集在晶界上，其导热率低，塑性也差；而在变形组织中晶界物质遭到了破碎。

二、高温段加热时期

高温段加热时期指的是金属加热到700~800℃以上，这时金属的导热性和塑性显著增加，同时沿断面的温度差减小，因而热应力大大减少，故可采取快速加热。

在高温段加热时期主要问题是如何保证沿管坯断面和长度上加热均匀、改善组织结构、减少脱碳、氧化以及防止过热和过烧。

加热均匀是生产工艺中很关键的问题，管坯加热不均会给生产带来很多问题，如壁厚不均、出现“大螺旋”(阴阳面严重造成的)、轧卡、不咬入以及出现内外表面缺陷。

保证沿管坯断面上和长度上加热均匀和许多因素有关，如炉子的结构和能力，在炉内管坯排料方式、烧嘴调节(即沿炉宽温度分布)，炉膛压力控制，对于斜底炉还有翻料情况，等等。

为了保证沿断面加热均匀，主要的是要勤翻料，每次要准确地翻转 180°C ，一般都是每出钢5~7支，翻料一次。当炉子的生产能力小于穿孔机时，由于加热时间太短，容易造成管坯表面温度和中心温度差别太大。由于76机组主要是加热 $\phi 75$ 毫米管坯，矛盾还不突出；而对100机组而言，当加热较大直径管坯时，则必须注意这个问题。同时由于加热炉长度短，均热段实际上是很小的，这样更容易造成沿管坯断面加热不均。环形炉因管坯在炉底上隔开放置，有利于管坯加热均匀。

沿管坯长度上加热均匀，主要是应防止“白头”和“黑头”。如果管坯长短差别过大(一批管坯中)，而排料方式又不合理时很容易造成“白头”，如图3-9所示。

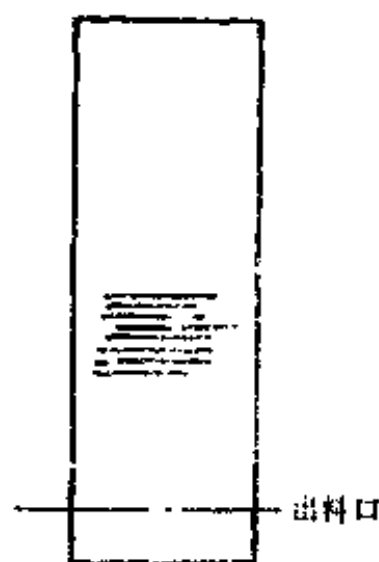


图 3-9 炉内管坯排料不合理

端部烧嘴调节不当，在加热段和均热段大量吸入冷空气，容易造成“黑头”。以及在出钢槽(水冷的)中放置时间过长，也容易造成沿管坯断面上的温度不均。此外，在炉底上装有冷却水管的斜底炉中，还存在有“黑印”问题。

在炉子设计上，对于加热一些大直径的管坯，需有一定长度的均热段，这对保证管坯的加热

均匀是重要的。

在高温段加热会在一定程度上改善金属的组织性能。这是因

为高温下存在着扩散过程。如轴承钢中铁和铬的碳化物聚集，在轧制管坯时由于延伸而形成带状碳化物。这种碳化物会恶化轴承钢管的质量，在使用时由于硬度不均会造成轴承圈不均匀磨损，甚至破坏。因而轴承钢的管坯加热的延续时间还取决于为溶解碳化物必需的时间，但轴承钢的加热时间不能太长，因为该钢种对过热敏感性强。

此外，通过高温扩散过程还可以使化学成分均匀化，改善钢管的机械性能等。

三、加热曲线

通过对低温段和高温段管坯加热特点的分析，不难看出，实际生产中常用的加热曲线可分为两种，如图3-10所示。

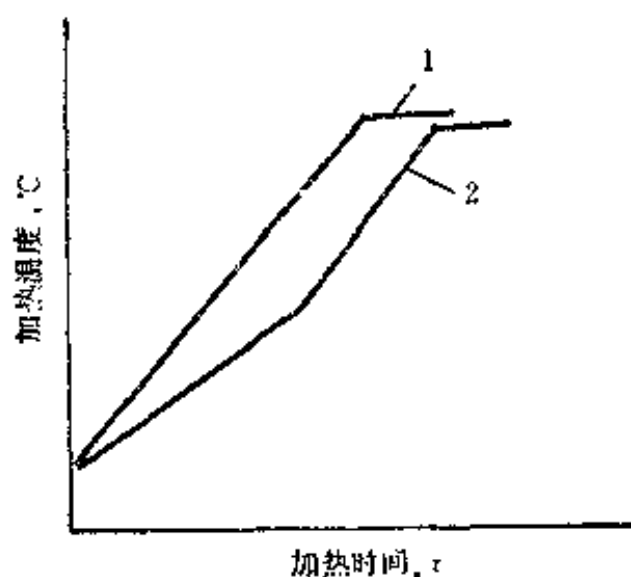


图 3-10 加热曲线

曲线1称不变速加热法，即从装炉到出钢始终用不变的最大加热速度进行加热。小直径的低碳钢和某些低合金钢坯都可采取这种加热方法。采取不变速加热（快速加热）会带来一系列的好处，如提高炉子生产率，减少金属氧化和脱碳，减少燃料消耗。同时由于减少了氧化，管坯表面的薄层氧化铁皮比较牢固，这种氧化铁皮可以增加穿孔时金属和轧辊之间的摩擦系数，改善穿孔速度条件（滑移减少），使钢管内外表面质量有所提高。

对于快速加热，有适当的保温段是有利的，这样可以保证管

坯加热均匀。

曲线 2 是在低温带和高温带对管坯采取不同的加热速度加热（变速加热）。这种加热方法一般都用于具有低导热率的合金钢以及高碳钢。很明显，低温段采取慢速加热是为了防止产生加热缺陷。

图3-11为某合金钢管车间各种钢的加热制度（加热曲线）。由图可以看出，曲线 *a* 和 *b* 属于变速加热方法；而图中曲线 *c* 和 *d* 则属于不变速加热方法。

影响加热速度的因素，主要决定于炉子和加热金属之间的热传递情况。此外，金属在炉底上分布对加热速度也有影响。试验证明，分散放置在炉底上的圆管坯能很快地被加热，似如四面加热。而排成一系列的圆管坯随着其间距离的减小，加热时间增加，尤其在圆管坯间隔距离小于 $0.5d_z$ 时影响最大。大于 $0.5d_z$ 的间隔距离对加热时间的影响就不明显了，如图3-12所示。由此不难得出，环形炉的加热速度应大于斜底炉（在其他条件相同下）。

加热速度决定着加热时间。在高温段时加热时间是很重要的。一方面较长的加热时间可使温度沿管坯断面和长度上分布得更均匀，有利于溶解碳化物；但另一方面，加热时间愈长，温度愈高，则晶粒长大得愈严重，使钢的塑性降低，恶化穿孔性能。因此应该全面地分析加热各种钢种的主要矛盾，合理地选取高温段的加热速度。对于加热小直径管坯而言，一般都是应该选取快的加热速度。

上述两种加热曲线是理想的情况，实际生产中加热曲线的控制是复杂的，受许多因素影响，而只能尽量按图3-11所示的要求去做。

四、加热温度的确定

随着温度升高，钢的塑性提高，变形抗力降低，与此同时电耗和工具消耗降低，轧制力减小，设备磨损小。但是，温度的上限还受到其他一些因素的限制。因此，确定合理的加热温度应考虑以下因素：

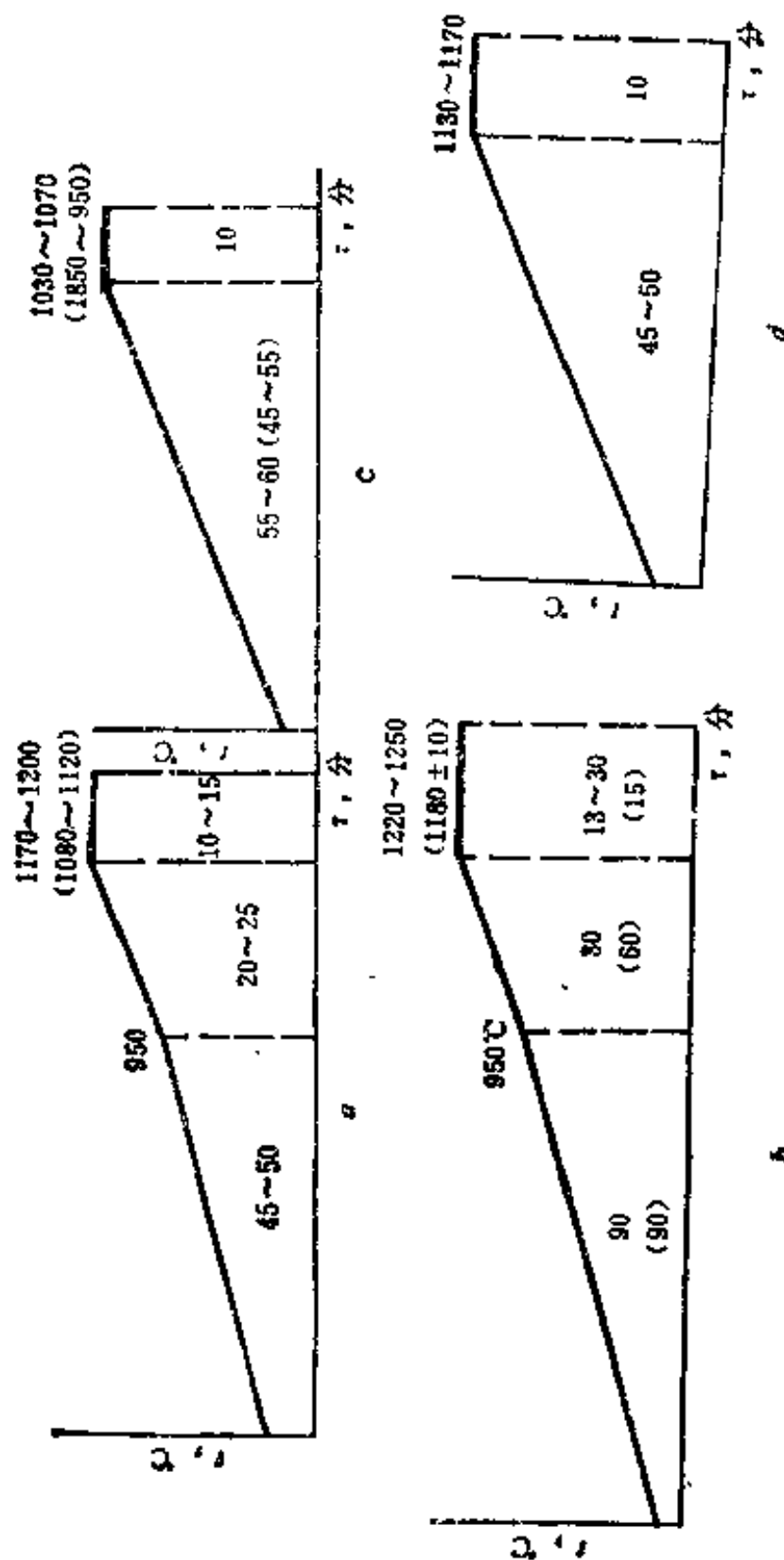


图 3-11 某厂实际的加热曲线

a—变速加热 (铝基顶头), 钢号: 0Cr18Ni10.1Cr18Mo2Ti, 1Cr18Ni9Ti, b—变速加热 (铝基顶头), 钢号: Cr17Mn14Mo2N, Cr17MnBN, c—不变速加热, 钢号: 20A, 10, 20, 25, 工业纯铁; d—不变速加热, 钢号: 0Cr13, 1Cr13, 3Cr13, 15CrMo, GCr15

1) 当温度过高时可能产生过热和过烧。金属过热时金属的晶粒长得很大, 金属的塑性降低。金属过烧时则完全丧失了塑性。

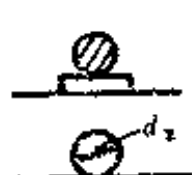
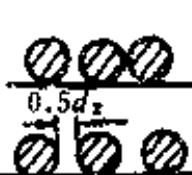
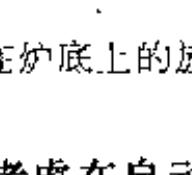
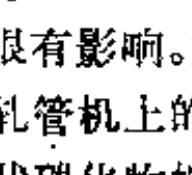
圆坯在炉底上分布	相对加热时间
	1
	1
	2
	1.4
	1.3

图 3-12 圆坯在炉底上的放置情况对加热时间的影响

2) 加热温度还应考虑在自动轧管机上的终轧温度, 因为终轧温度对某些产品性能很有影响。如轧制厚壁轴承管时, 加热温度的选择必须考虑钢管在轧管机上的终轧温度。因为终轧温度愈高, 管子冷却得愈慢, 则网状碳化物析出的可能性就愈大。一般当终轧温度约 900°C 并迅速冷却时, 在成品管上则不形成网状碳化物。不过, 对于76~100机组由于管径比较小, 根据现厂经验, 一般问题是不大的。

3) 加热温度过高还会使钢的表面层脱碳严重。不过, 由于从管坯到钢管变形量很大, 成品管上的脱碳层一般深度不大, 但有些产品脱碳是不允许的。

4) 随着温度提高, 氧化铁皮增厚, 增加了金属的消耗。

5) 确定加热温度还要考虑金属在加热过程中的组织变化。

钢在单相状态下具有良好的塑性, 此时各个晶粒几乎都能受到相

同的变形,因此固溶体组织有良好的塑性(即穿孔性能)。由不同相组成的组织,由于各相晶粒的性能不同(如表3-5所示),变形是不均匀的。

表 3-5 金属的组织力学性能

组 织	延伸率, %	硬 度(HB)
铁素体	50	软 (80~100)
珠光体	10	硬 (200)
马氏体	0	很硬 (500~700)

带有弥散析出相的多相组织的钢,也具有足够高的塑性,这种组织中析出相的质点很小,从而可以自由地,在高塑性的固溶体中移动,因此,变形也较均匀。

当在多相组织中有不均匀分布的粗大析出相时,钢的塑性就会显著下降。

对于铁素体类钢,由于这种钢不存在相变,因而随着温度升高而晶粒不断增长。当加热温度过高时,会得到粗大的晶粒组织,钢的机械性能(塑性等)显著降低。铁素体类钢的加热温度一般比奥氏体类钢要低得多。

6) 确定管坯加热温度,还应该考虑穿孔过程中温升情况。因为由于热效应的结果(机械能变为热能)穿孔时温度有一些增高,这对于一些高合金钢显得特别重要。因为这类钢对过热的敏感性大。温升的大小决定于穿孔速度和变形量。

7) 确定管坯加热温度还要考虑轧制成品管的规格,一般轧制厚壁管时加热温度可稍低一些,因为温降小。某厂有如下经验:

当 $S_0 < 8$ 毫米时,按要求温度加热;

当 $S_0 = 8 \sim 15$ 毫米时,比要求温度低 10°C ;

当 $S_0 = 15 \sim 20$ 毫米时,比要求温度降低 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ (S_0 ——毛管壁厚)。

8) 管坯的加热温度和穿孔顶头材质有关,用钨基合金顶头

穿轧不锈钢管坯时加热温度要低80~90℃，即用3Cr2W8水冷顶头时为1170~1200℃，钼基合金顶头为1080~1120℃。

9) 对于钢管的加热（定减径前再加热炉）温度一般取得较低，这是因为一方面取低的温度可以减少氧化铁皮，另一方面如果在斜底室状炉中加热温度过高，钢管表面粘上铁皮等，会造成结疤缺陷。因此，减径前加热温度一般都取900~1050℃（个别到1100℃）。

碳素钢的加热温度一般可根据相图来确定，一般碳钢的最高加热温度要比钢的开始熔化温度低100~150℃，如图3-13所示。各种钢的理论过烧温度如表3-6所示。

表 3-6 钢的理论过烧温度

钢 号	过烧温度, °C
碳 钢1.5%C	1140
碳 钢1.1%C	1180
碳 钢0.9%C	1280
碳 钢0.7%C	1280
碳 钢0.5%C	1350
碳 钢0.2%C	1470
碳 钢0.1%C	1490
镍 钢3%Ni	1370
铬镍钢	1370
铬钒钢	1350
奥氏体铬镍钢	1420

在亚共析钢中轧制温度范围应在 γ 相的固溶体区域中，即NIE和GS线之间区域。由图可以看出，开轧温度比较高，而终轧温度可较低，因为奥氏体区比较宽。过共析钢的加热温度则要低些，因为它的奥氏体区较窄，同时过共析钢完全在单相状态下轧制是不可能的，这是因为：1) 只在奥氏体区域中加工时，加工温度范围太窄，生产上做不到；2) 不可能很细地破碎通过ES线所析出的渗碳体网，这一点对过共析钢（如轴承钢）有特别重要的意义。选择过共析钢热加工温度时，还必须考虑这些钢

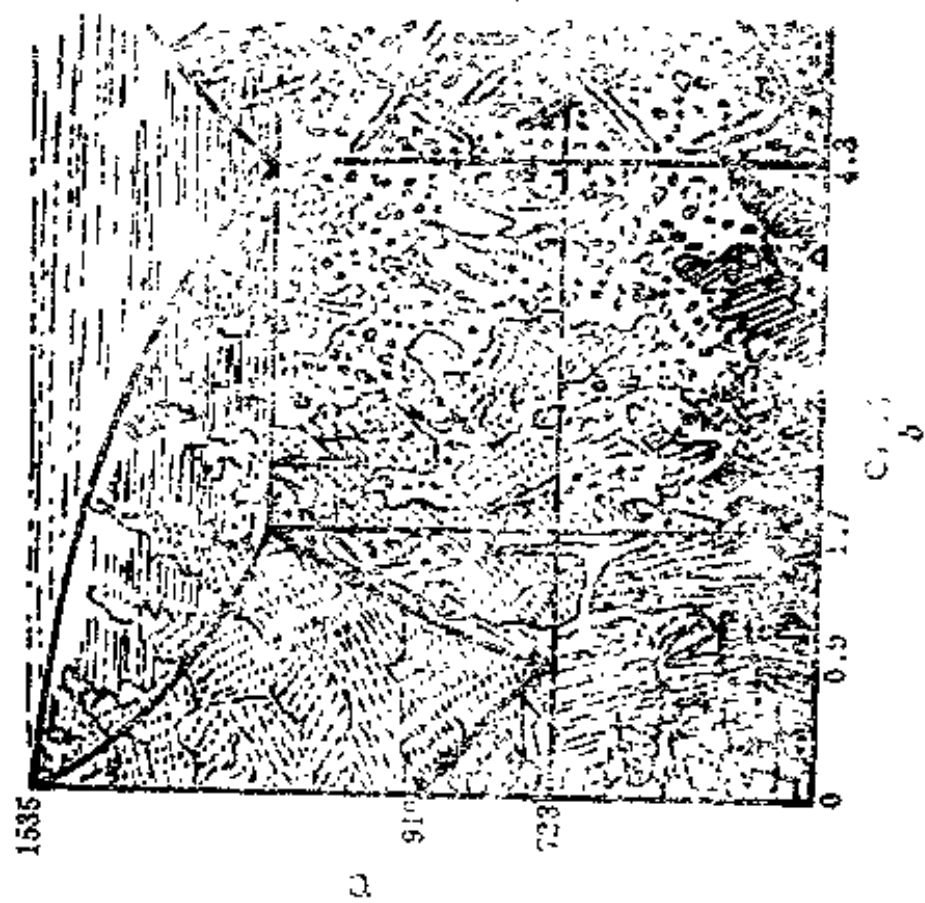
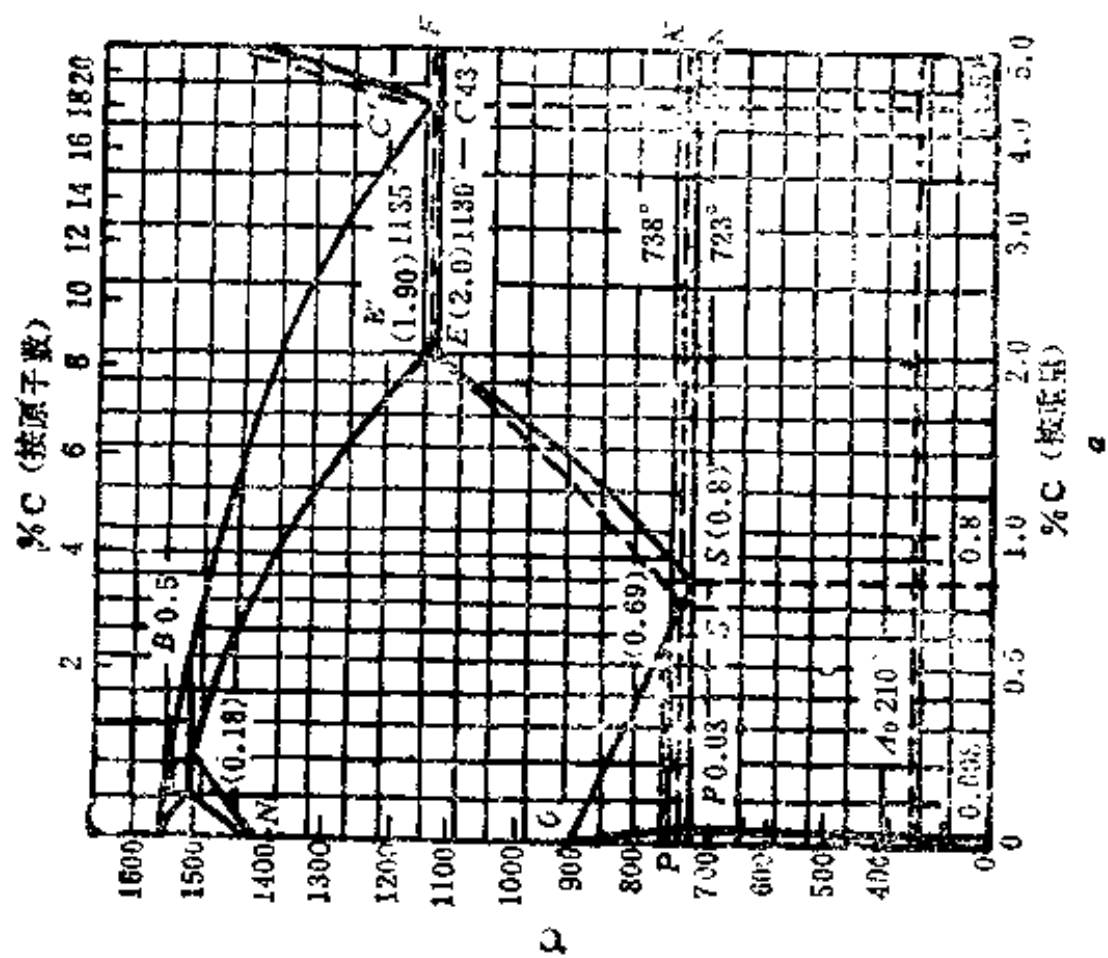


图 2-13 铁-碳合金相图 (a) 相图 (b) 显微组织

在低温下塑性降低和变形抗力猛增的特性，因此终轧温度也不能太低。

某些合金钢和高合金钢的穿孔温度，一般不用相图来确定，这是因为由相图确定的穿孔温度并不能保证良好的穿孔性能。合金钢（特别是高合金钢）最合适的穿孔温度近年来在实验室中可以用热扭转法或在小穿孔机上的实际穿孔法确定。用这种方法确定出的数据十分可靠。

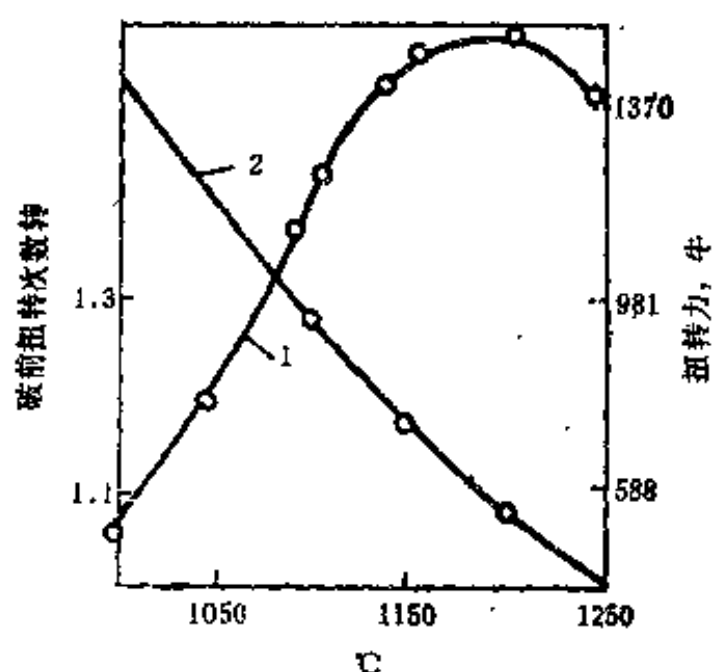


图 3-14 用热扭转法确定的穿孔温度(钢号Cr18Ni10Ti)

1—扭转数；2—扭转力

图3-14为用热扭转法确定的扭转力（变形抗力）和扭转次数（塑性）同温度的关系。图3-15为用斜轧穿孔法（空轧）确定的温度和临界压缩量的关系。

表3-7至3-9为我国76~114机组轧制的各钢种的加热温度和加热时间的实际数据。国外一些工厂加热管坯的加热制度如表3-10和3-11所示。从这些表可看出，各厂所采用的实际数据并非完全相同。这是因为各厂的具体情况不同，但大体上是相一致的。

五、加热过程中产生的缺陷

1. 金属氧化

在加热管坯(钢管)时氧化铁皮的形成是由于氧和铁(基体)扩

表 3-7 114机组的加热制度

钢 种	穿孔后毛管 温 度 °C	加热温度, °C	加 热 时 间, 分				
			管 坯 直 径, 毫米				
			85	90	95	100	110 115 120
10	锅炉管 1240~1260 一般管 1230~1260	1260~1290					
15			60	66	66	70	80 85
20							
25	1210~1240	1230~1260					
30			60	66	66	70	80 85
35							
40	1200~1230	1220~1250					
45DZ			60	66	66	70	80 85
新 钢 种	1100~1140	出炉温度 1100~1120	80	80	80	90	90 —
GCr15	1120~1160	1100~1120	80	80	80	90	90
Fe-Al-Mn	1190~1250	出炉温度 1100~1200					90~120 150

表 3-8 某合金钢厂76机组的加热制度

钢 种	钢 号	加热温度, °C	加 热 时 间, 分			穿 孔 后 冷却方式	备 注
			预 热 段	加 热 段	均 热 段 (保温)		
碳 素 结构钢	20A, 50BA	1080~1120	30~35	15~30	2~5	空 冷	除50BA外可 存炉
	10~45, 45MnV	1120~1160	30~35	15~30	2~5	空 冷	可存炉
合 金 结 构 钢	15Cr-15Cr 30CrMnSiA 12Cr~15CrMoA 12CrMoVA	1100~1150	30~35	15~30	2~5	空 冷	预热段可存炉
	40CrNiMoA Ge-4	1140~1180	30~35	15~30	2~5	空 冷	
	Cr25, Cr25Ti Cr17	1000~1060	50~60	15~20	5~10	水 淬	
不 锈 耐 热 钢	Cr25Ni18 9Cr18Ni9	1120~1140	50~60	15~20	5~10	水 淬	不存炉

续表 3-8

钢 种	钢 号	加热温度, °C	加 热 时 间, 分			穿 孔 后 冷 却 方 式	备 注
			预 热 段	加 热 段	均 热 段 (保 温)		
不 锈 耐 热 钢	Cr18Mn8Ni15N	1120~1140	50~60	15~20	5~10	水 淬	不存炉
	35Mn8Ni9Cr4V	1140~1160	50~60	15~20	5~10	水 淬	
	Cr18Ni10Ti 1Cr13, 1Cr18Ni9Ti 2Cr13, 1Cr18Ni9 00Cr18Ni10Ti	1140~1160	50~60	15~20	5~10	1Cr13, 2Cr13 缓 冷	00Cr18Ni10Ti 和1Cr13, 2Cr13 按上限加热, 不存炉
高 温 合 金	GH39	1020~1040	50~60	15~20	3~6	空 冷	不存炉
	GH131, GH132	1100~1130	50~60	15~20	10~15		
滚 珠 轴 承 钢	GCr15 GMnMoVR	1060~1100	40~50	15~30	10~15	空 冷	不存炉, 要防 止过热过烧

散的结果。铁向表面层扩散，而氧通过已形成的薄的氧化层向金属内部扩散。由于扩散可充分进行，能生成很厚的氧化铁皮。在加热过程开始阶段形成氧化亚铁 FeO ，当温度在 900°C 左右时，氧化铁皮由三层构成，最上层是氧化铁 Fe_2O_3 ，约占氧化铁皮厚度的2%，中间是磁性氧化铁 Fe_3O_4 ，占氧化铁皮厚度约18%，靠金属基体的内层为氧化亚铁 FeO ，约占氧化铁皮厚度的80%。

表 3-9 北京某厂钢管车间加热制度

钢 种	钢 号	加 热 温 度 $^{\circ}\text{C}$	加热时间，时—分		
			管 坯 直 径，毫米		
			75	80	90
碳 钢	10~35	1230~1260	0—55	1—00	1—10
	40~50	1200~1230	0—55	1—00	1—10
	55	1180~1210	0—55	1—00	1—10
合 金 钢	12CrMo, 15CrMo 30CrMnSiA 30CrMoA 35Cr, 38Cr	1200~1230	1—55	1—55	2—00
	40Cr	1200~1230	1—55	1—55	2—00
	12Cr5MoA	1230~1260	1—50	1—55	2—00
	15Mn, 20Mn	1230~1260	0—55	1—00	1—05
	Cr28, Cr25Ti	1050~1080	2—30	2—45	3—00
	2Cr18Ni9 Cr18Ni11 Cr18Ni2Mo3Ti	1140~1160	2—30	2—45	3—00
不 锈 耐 热 钢	1Cr 3	1170~1180	2—30	2—45	3—00
	2Cr13	1100~1120	2—30	2—45	3—00
	1Cr18Ni9Ti	1190~1220	2—30	2—45	3—00
轴 承 钢	GCr15	1100~1150	2—00	2—05	2—10
新 轴 承 钢	GSiMnV	≤ 1150	2—00	2—05	2—10

在高温下氧化铁皮的数量（厚度）决定于下列主要因素：加热温度，加热时间，炉内气氛，吸入冷空气程度（和炉膛压力有

关), 钢的化学成分以及管还在炉底上是否移动等。

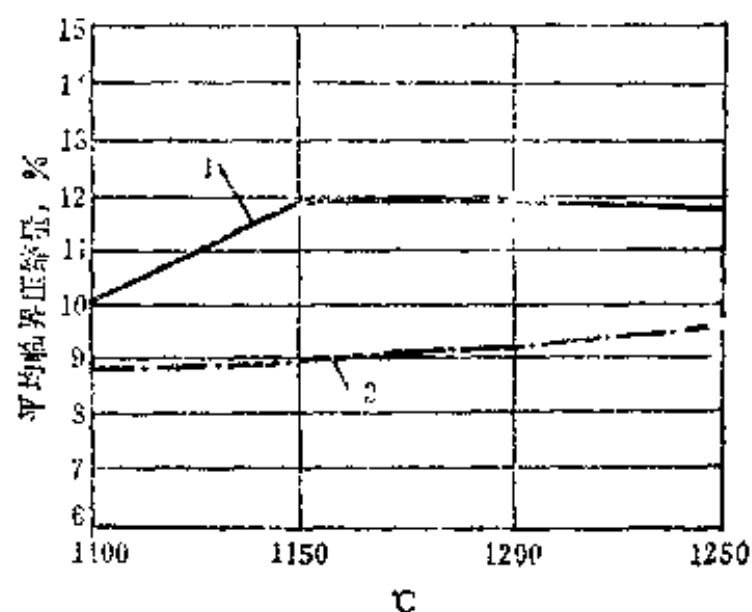


图 3-15 用穿孔法确定穿孔温度
1—1Cr18Ni10Ti; 2—3H847

温度的影响是, 加热温度愈高, 形成的氧化铁皮也愈多; 在 700~750℃时氧化铁皮很薄, 到 800~850℃时稍有增加, 从 900℃

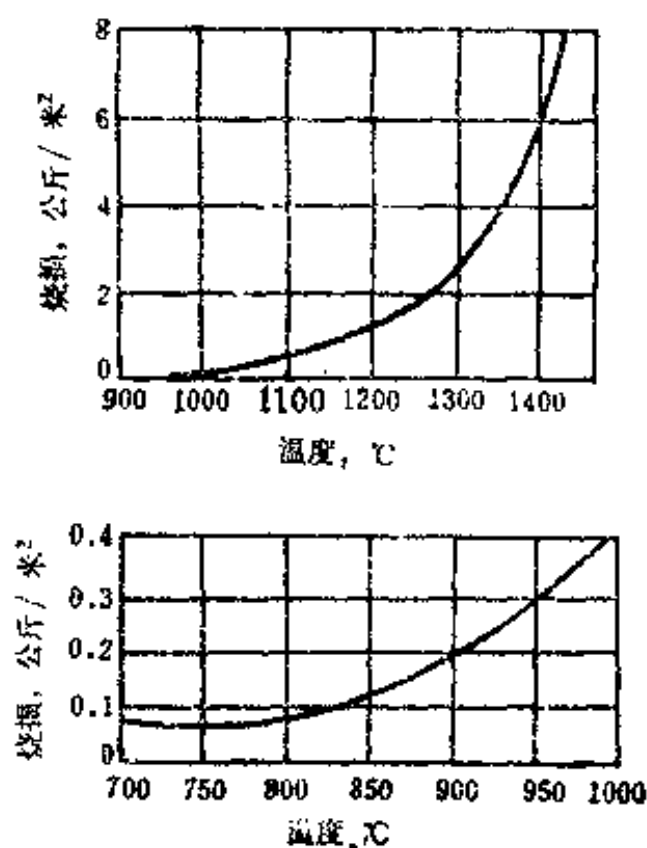


图 3-16 加热温度和烧损的关系

表 3-10 苏联某些工厂的加热制度⁽¹⁰⁾

钢 号	穿孔延伸 系数, μ	穿孔温度 °C	加热速度 分/厘米	出炉温度 °C
10, 20, 20K		1230~1270	5~6.5	
30, 35, 20Mn		1220~1260	5.0~6.5	
45, 钢6, DZ		1200~1240	5.0~6.5	
40CrMoA, 40CrNi	到2.5	1190~1220		
30CrMnSiA		—	6~8	
38CrMoAlA	大于2.5	1210~1240		
Cr5Mo				
12Cr1MoA	到2.5	1190~1230		
15Cr1MoA, 12CrMo			6~8	
15CrMo	大于2.5	1220~1250		
40CrNiMoA, 38CrNiMoV	到2.5	1170~1200		
0CrNi3Mo, 45CrMnNiMo	大于2.5	1190~1220	6.5~8	
	到2.5	1080~1110		
GCr15	大于2.5	1120~1150	8.0~7.5	
Cr18Ni10Ti, 0Cr18Ni12Ti		1170~1210	8~10	1150~1180
0Cr18NiAlTi, Cr18Ni12Ti				
Cr18Ni12Mo2Ti		1160~1200	8~10	1120~1140
Cr18Ni12Mo3Ti				
Cr25Ti		1040~1080	6~8	980~1000
0Cr13, 1Cr13, 2Cr13		1120~1160	6~8	1090~1110
0Cr17				

表 3-11 日本某些工厂的加热制度⁽⁸⁾

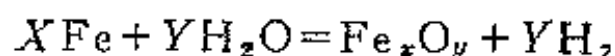
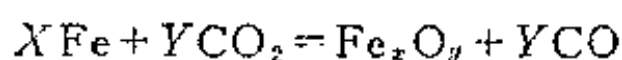
钢 种	穿 孔 温 度, °C
低 碳 沸 腾 钢	1170~1200
低 碳 镇 静 钢	1190~1220
高 碳 镇 静 钢	1190~1220
铁 素 体 系 合 金 钢	1200~1230
奥 氏 体 系 合 金 钢	1200~1230

以后显著增加，到1353℃急剧增加，如图3-16所示。这样，在900℃以上采取快速加热可以显著减少氧化铁皮的厚度。

加热时间的影响是，加热时间愈长，形成氧化铁皮的数目愈多。如轧机停车时往往会生成一层很厚的氧化铁皮。

炉子气氛的影响是，在炉气的组成中包括有氧化性和还原性气体，还有中性的氮气，因此，金属氧化的情况决定于各种炉气的比例。

水蒸气和CO₂在低温度下对氧化铁皮的形成有很大影响（图3-17），其反应式可写成：



氧和空气在高温下900~1000℃对氧化铁皮的形成有很大影响（图3-17）。因此，氧化铁皮的厚度主要决定于氧气和空气在炉气中含量。

炉膛压力控制不好，特别是斜底炉，由于设有大量的翻料口会大量吸入冷空气，从而既降低钢温又会造成氧化严重，因而斜底炉较环形炉有较高的烧损，可达3%以上。为了防止大量吸入冷空气，要很好地控制炉膛压力，一般要求正压。据某厂经验，炉膛压力均采取正压，一般在7.85~11.76帕范围内。由于人工操作（翻钢），在均热段稍许有点负压，而炉尾两个翻料口稍许有轻微的火苗喷出。但炉子正压过大，恶化劳动条件，增加燃料消耗。采用正压操作的优点是，除可以防止过分的氧化烧损外，脱碳也减小，还可防止“黑头”和温度不均，并且能提高燃料的利用率。炉膛压力沿炉长的分布见图3-18。

氧化铁皮多少，在很大程度上还决定于钢的化学成分。Al、Cr、Si、V和Cu元素在钢中含量愈高，则金属表面氧化层愈薄；而钢中含有元素Co、Mo、Ni时，则有相反的结果。

氧化铁皮的形成也决定于氧化物的物理性质。当覆盖在钢表面上的氧化物具有很弱的吸附性时，则不能阻止氧往金属中的扩散，氧化就严重。相反，如果表面层的氧化物具有致密的结构，

且强烈地吸附在金属表面上，则能阻止氧往金属中扩散，氧化就轻。而含有化学元素Si、Al、Cr的耐热钢正是由于加热时形成了薄的抗氧化膜，从而阻止了氧继续扩散，所以烧损很小。

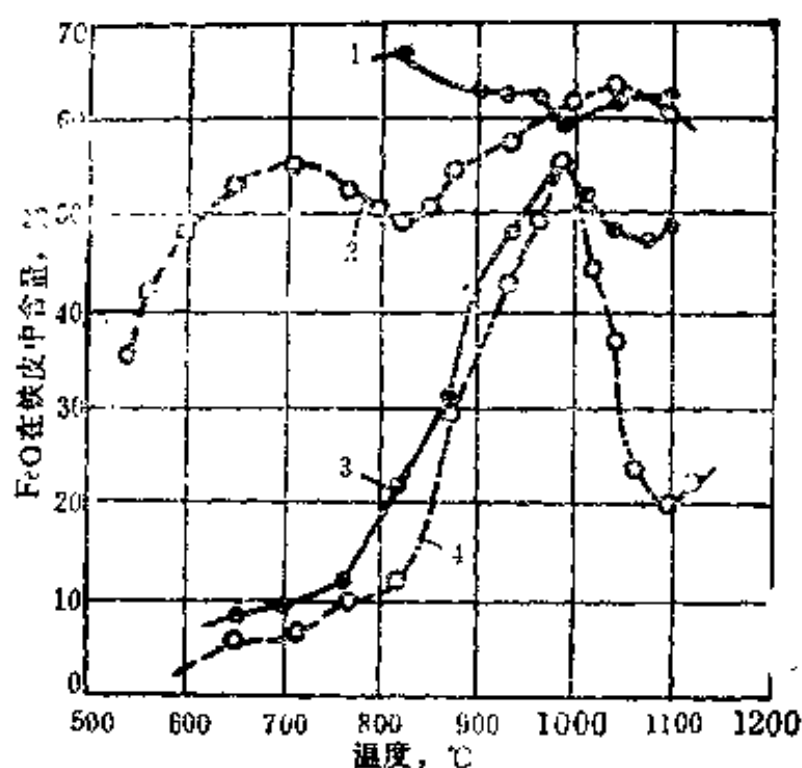


图 3-17 温度和炉内气氛对氧化铁皮中FeO含量的影响

1— H_2O (水蒸汽); 2— CO_2 ; 3—氧气; 4—空气

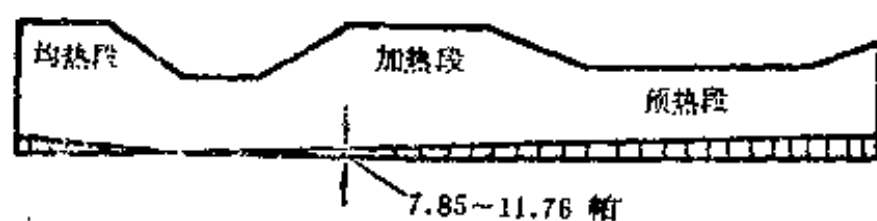


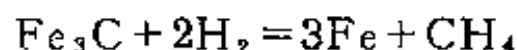
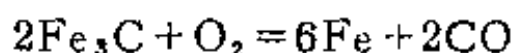
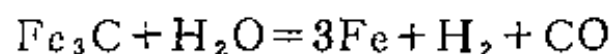
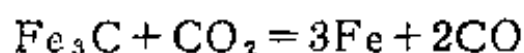
图 3-18 炉膛压力分析

环形炉中加热管坯时氧化烧损要比斜底炉小得多，这是由于吸入的空气少的缘故。此外，还由于管坯在炉底上不转动，故开始加热时形成的氧化层不剥落，能够保护金属不致显著地继续被氧化。而在斜底炉中管坯要转动，已形成的氧化层容易脱落下来，而暴露出没有被氧化的管坯表面，继续被氧化，因此氧化铁皮要厚得多。

2. 金属脱碳和渗碳

当管坯在炉内高温下停留时间过长时，有时会出现金属外层脱碳的现象。温度和炉气中的水蒸气、二氧化碳、氧气以及氢气对脱碳都有很大的影响。而当炉子中有碳存在时，则会发生相反的现象——金属增碳。

在金属加热时表面层脱碳现象和管坯表面的氧化同时发生。碳化物和炉气发生脱碳的化学反应式如下：



除了炉气成分以外，钢的化学成分、加热温度和加热时间对脱碳层的厚薄也有很大影响。在高温度和长时间加热的条件下，脱碳增加。在脱碳和氧化的关系上，一般认为，当温度条件相同时，脱碳层的厚度仅随氧化和脱碳速度的比值而定。如果脱碳速度大于氧化（形成氧化铁皮）速度时，那么将得到一定的脱碳深度。当氧化速度大于脱碳速度时，则脱碳减少，并且有可能完全消失。

脱碳层厚薄在很大程度上决定于钢的化学成分。但人们对各合金元素对脱碳的影响还未得到统一的看法。一般认为钢中含有Cr、Al、W、Mn和Cu等元素可以减少脱碳，而合金元素Co、Mo和V则促使脱碳。有的则认为Al和W促使脱碳，Cr、Co和Mn减少脱碳，而Si、Ni和V对脱碳没有影响。

脱碳可使金属的物理、机械性能发生变化。如果说脱碳对普通碳素钢管没有十分明显影响的话，那么对于用来制造重要零件的许多合金钢管则完全不允许有厚的脱碳层。如GCr15轴承钢管用于制造在强烈压缩和磨损的条件下工作轴承圈零件，脱碳层处抗压和耐磨强度显著降低，因而会引起零件过早磨损和报废。

对于加热不锈钢管坯要防止增碳（渗碳），因为不锈钢增碳会造成晶界腐蚀，严重恶化钢管的产品质量。如某厂曾发生过锯木屑和不锈钢管坯混在一起，加热时出现增碳现象，而导致不少产

品报废。

3. 钢过热

当炉内温度过高，或管坯在炉内高温下停留时间过长时，钢的晶粒长大很快，而且时间愈长晶粒长得愈大，由此导致晶粒间结合力减弱，机械性能显著下降，通过穿孔变形时很容易出现轧裂。钢是否过热，可通过观察金相组织检查出来。某些合金钢例如低碳高铬钢、高锰钢等具有过热的敏感性，就是说这些钢在高温下晶粒特别容易长大。对于一些过热敏感性大的钢在加热到 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ (A_{cs} 线以上)以后应采取快速加热，直至出钢。过热的钢（不包括没有相变的铁素体类钢）一般可以通过热处理的方法进行挽救。

4. 钢过烧

当管坯加热到大大超过GS线以上的温度和长时间停留在炉内时，除了晶粒长大以外，由碳和其他偏析夹杂物组成的晶间薄膜将被熔化，而后又被炉气氧化。于是，晶粒被其间的氧化物分割，导致钢的机械性能和塑性变形能力显著降低。穿孔时这样的管坯将破裂成块。过烧的金属是不能挽救的，只能报废。

随着金属中含碳量和某些合金元素的增多，过烧的可能性增大。对过烧敏感性最大的钢是铬合金钢、镍合金钢以及铬镍合金钢。

为了避免出现钢过热和过烧，必须严格执行各种钢的加热制度。当轧机短时间停车时应降低炉温，当长时间停车时应该从高温段取出已加热的管坯。

六、钢管加热的特点

由于钢管加热属薄材加热，因而对允许的加热速度限制不大，特别是在热装料情况下，一般定减径机前的再加热炉都可采取快速加热。这样可以减少氧化，提高炉子生产率。实践证明，采取快速加热，脱碳层很小，氧化铁皮损失也小(0.2~0.5%)。

定减径机前钢管再加热的温度，一般都在 $900\sim 1050^{\circ}\text{C}$ 范围内。由于定减径机前的再加热接近于出成品，因此，确定加热制

度时，要考虑产品（热轧成品管）的机械性能，甚至显微组织的要求，同时应考虑轧后的冷却方式。

轧制各种产品时的加热情况不完全相同。为了确定钢管在定减径机前再加热炉中的加热时间，可大致用下式进行估算：

$$\tau = 2.2S \frac{D-S}{D}$$

式中 τ ——加热时间，分；
 D ——钢管外径，毫米；
 S ——钢管壁厚，毫米。

当热装炉时（700℃）加热时间应减少30%左右。

七、管坯加热炉的节能

降低管坯加热炉的单位能耗与许多因素有关，主要是降低开轧温度，减少各种热损失，提高火焰及炉气对钢材的传热，减少废气显热，提高换热器（空气预热器）的热效率以及选择合理的加热负荷等。更详细的影响因素见表3-12。

管坯加热炉的热量流动图如图3-19所示。由图可以看出，提高管坯加热炉的热效率重点在于减少废气显热、减少炉体等的散热。国内60~100机组不少管坯加热炉（特别是斜底炉）能耗较高的原因就在于此。此外，还有开工率不足或有效作业率较低等因素。因此要进一步降低管坯加热炉能耗，应做好如下各点：

1) 淘汰斜底炉，用环形炉代替；

2) 提高管坯加热炉装备水平，增设空气换热器并提高其热效率，如常州某厂的斜底炉使用空气换热器预热，空气温度可达400~500℃，而一般仅有200~300℃。应大量使用轻质绝热材料和陶瓷纤维筑炉，减少散热损失。使用微型计算机控制燃料燃烧过程，提高炉气的火焰对钢材的传热，使燃料充分燃烧，并减少废气带走的热量，以及设计新的节能型管坯加热炉；

3) 选择工艺参数时应适当降低开轧温度。根据我们在76机组的试验得出，管坯加热温度由1200℃降至1100℃，每吨成品的工序能耗可降低7公斤标准煤。开轧温度降低虽然使电耗有所增

表 3-12 管坯加热炉的节能措施

区 分	项 目	内 容						
生 产 方 面	加热温度	加 热 温 度 的 影 响						
				燃 料 单 耗, 兆焦/吨				
		①	②	③	30	40	50	60
		1150	737.5	2650	1994	1593	1329	
		1250	863.2	2876	2157	1726	1438	
	1350	928.8	3097	2324	1856	1545		
		注: ① 加热温度, °C; ② 热容量, 兆焦/吨 (被加热材料的显热); ③ 加热炉热效率, %						
	被加热材 料的尺寸	1) 被加热材料直径大, 对燃料单耗降低不利; 2) 长度短时, 对燃料单耗降低不利; 3) 加热料长短不一时 对燃料单耗降低不利						
	被加热条 件的变化	在炉内被加热材料的配置中, 当设定加热温度或被加热材 料的直径出现大的变化时, 邻近的小直径材料或设定加热温 度低的材料就会产生过热和均热过度, 因此对燃料单耗降低 不利						
	被加热材 料均热度	提高均热度对燃料单耗降低不利						
设 备 方 面	加热负荷 吨/时	每个加热炉都存在最低燃料单耗的加热负荷						
	停炉次数 和 时 间	停炉次数少、停炉时间短有利; 升温过程的时间短对燃料单耗降低有利						
	加热制度	选择炉尾温度低的加热制度, 废气损失少, 有利						
	燃 烧	在充分燃烧的范围內, 烟气中氧气的百分比低, 废气热损 失少, 有利						
	炉内压力	漏入炉内空气量最少的炉内压力, 对废气热损失少, 有利						
	调整个别烧 嘴的燃烧量	调整被加热材料在炉宽方向的均匀加热, 有利						
设 备 方 面	加热能力	加热能力越大, 每单位 (吨/时) 的炉体表面积就越小, 同 时燃气层加厚, 因此, 气体辐射传热量增多, 对降低燃料单 耗有利						

区 分	项 目	内 容
设 备 方 面	炉 形	1) 炉高: 高温加热段的炉高越大, 燃烧气体向被加热材料的传热量越多, 对降低燃料单耗有利; 2) 加热段间的挡墙: 由于增大炉内壁辐射面积, 增加燃烧气体的搅动效果, 由炉壁及燃烧气体向被加热材料的传热量增加, 因此, 设置挡墙利于降低燃料单耗; 3) 炉顶及侧壁形状: 拱状圆形炉顶比水平吊顶及垂直侧壁炉体散热面积小, 对降低燃料单耗有利
	炉 长	取燃料单耗最小的炉长
	炉 宽	在小于炉长的范围内, 炉宽越大 (坯料越长), 炉体表面积越小, 对降低燃料单耗有利
	炉 壁	绝热性强有利于降低燃料单耗
	炉 床	步进式加热炉和环形加热炉中, 在炉床开口部安装挡热板和密封圈, 从而减少散热量, 有利于燃料单耗降低
	风 管	预热空气管绝热性能好有利于降低燃料单耗
	门 及 视 孔 侧 门	加强密封性或封闭有利于降低燃料单耗
	门开口面积	开口面积小有利于降低燃料单耗
	开关时间	开关时间短有利于降低燃料单耗
	滑轨水管	陶瓷纤维绝热层厚的有利于降低燃料单耗
	滑轨附件数	为了减少附件的散热损失, 附件数少有利于降低燃料单耗
	换 热 器	废热回收效率高的换热器有利于降低燃料单耗
	烧 嘴	空气过剩系数调节范围大, 能以低空气过剩系数燃烧的高速烧嘴, 燃烧效率及传热效率高, 有利于降低燃料单耗
其 他	使用燃料	辐射率高的高发热值燃料有利于降低燃料单耗

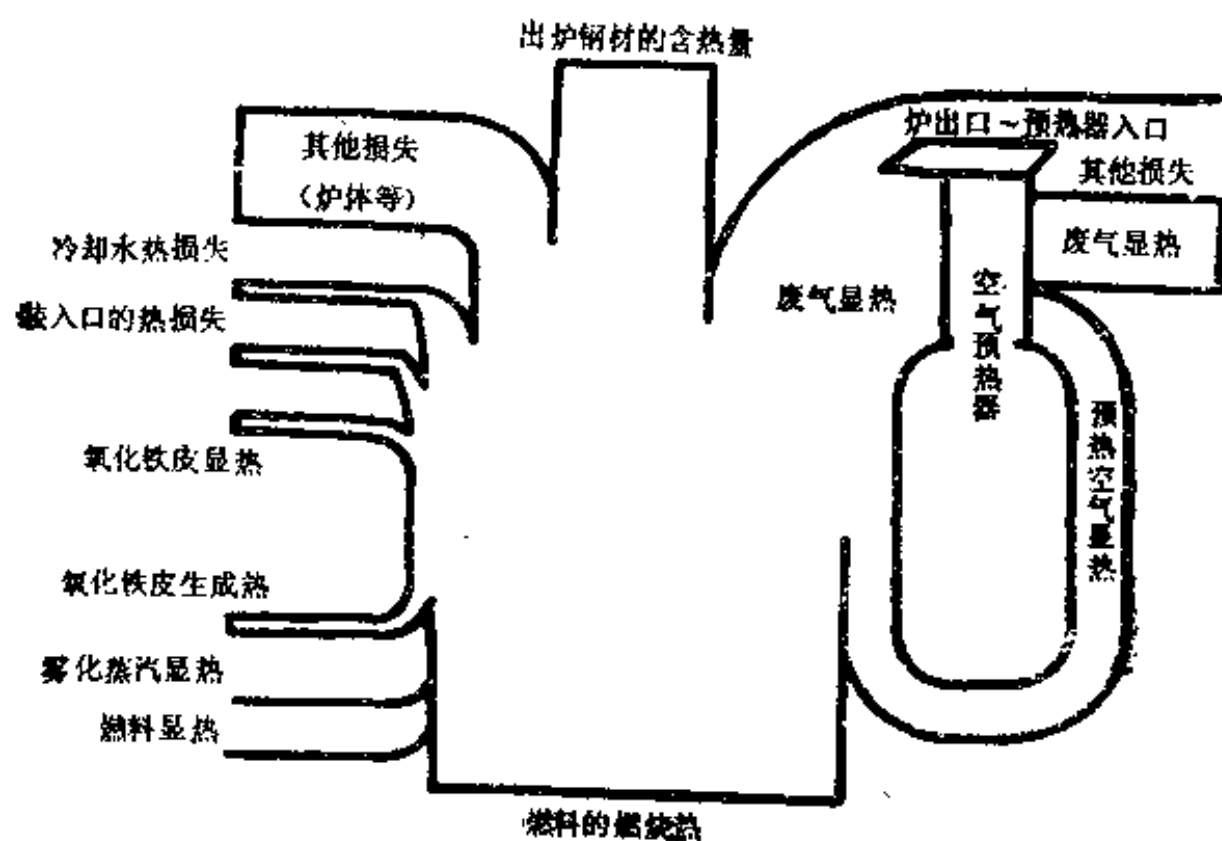


图 3-19 管坯加热炉的热量流动图

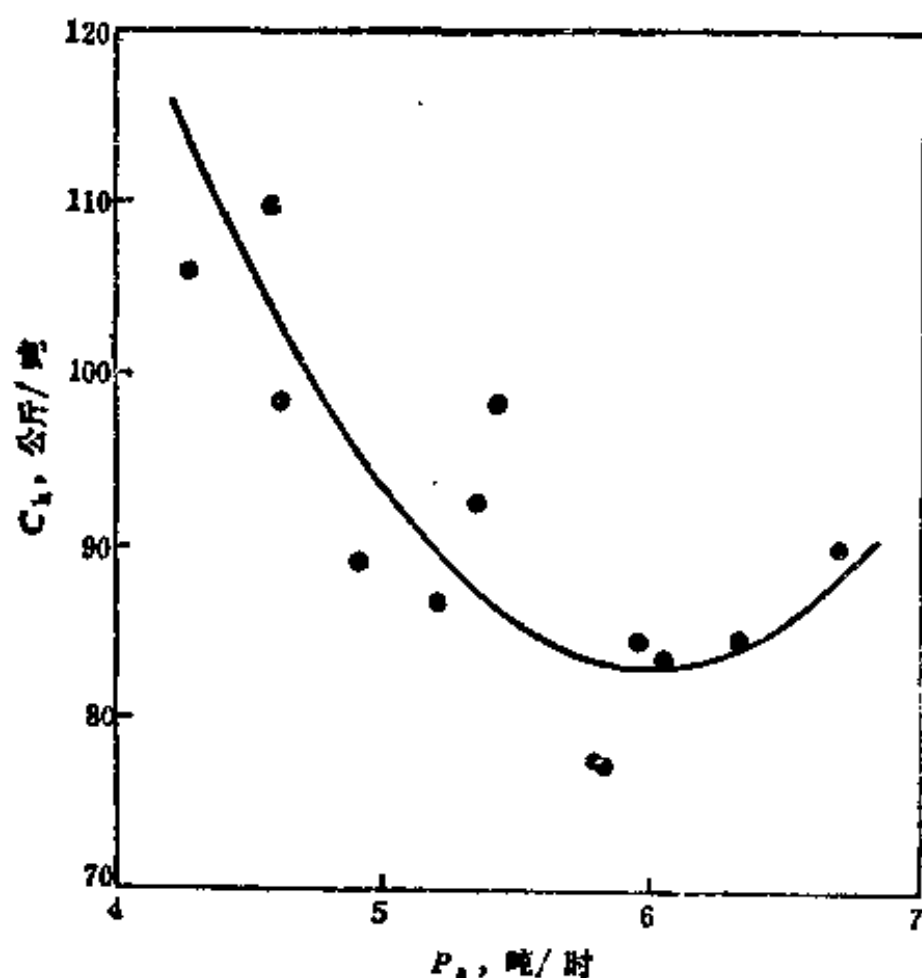


图 3-20 炉子产量 P_n —单位燃耗 C_b 的关系

$$C_b = 455.11 - 124.32P_n + 10.384P_n^2$$

加，但比燃料的消耗要少得多。

4) 在生产中轧机的生产能力应与加热炉的生产能力相匹配，应使加热炉在经济点以下运行。据我们调查，某76机组斜底炉的使用情况如图3-20所示。由图可以看出，能耗有一极小值，这是由炉子热工特性决定的，使能耗达到最小值的轧制量应在6吨/时左右。实际上车间最大轧制量为7.75吨/时，显然炉子是偏离经济点运行的，从而导致能耗增加，同时也说明炉子生产能力小于轧机的生产能力。

5) 挖掘设备潜力，搞好正常生产是加热炉节能的基础。加热炉经常处于空烧状态下运行必然造成能源的大量浪费。因此，对于开工率不足的工厂，应该实行集中生产。

提高轧机的有效作业率，搞好均衡生产也是节能的重要措施。根据我们调查某76机组的作业率与单位能耗的关系得出，随着作业率的提高则单位能耗下降。

6) 对于设有再加热炉和减径机的100机组，如何降低再加热炉的能耗也很重要。除了上述节能措施外，重要的是在生产计划安排上应尽量避免再加热炉常开常停，使减径管实行阶段性集中生产。

第四章 热轧钢管原理

第一节 钢管斜轧穿孔原理

一、斜轧穿孔变形过程

在无缝钢管生产机组中斜轧穿孔机的作用在于将实心坯料穿轧成空心毛管，它是无缝钢管生产中最主要的工序，是金属变形的第一道工序。

斜轧穿孔毛管的变形区由轧辊、顶头和导板构成，如图4-1所示。

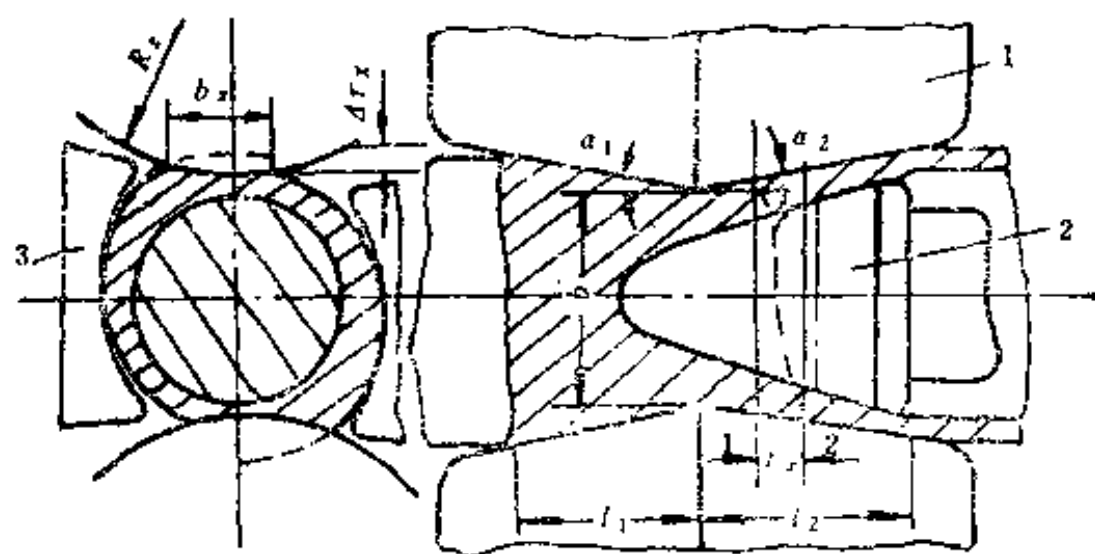


图 4-1 穿孔机变形区

1—轧辊；2—顶头；3—导板

由图可以看出，整个变形区的几何形状，大致可认为，在横截面上是个环形变形区，而在纵截面上是两个小底相接的锥体，中间插入一个弧形顶头。

变形区形状决定着穿孔的变形过程，改变变形区形状（决定于工具设计和轧机调整）将导致穿孔变形过程的变化。不过，至今在生产中常用的变形区形状大致都是如此，只是在尺寸上可能有些差异。穿孔的整个变形区大致可分为四个区域，如图 4-2 所

示。

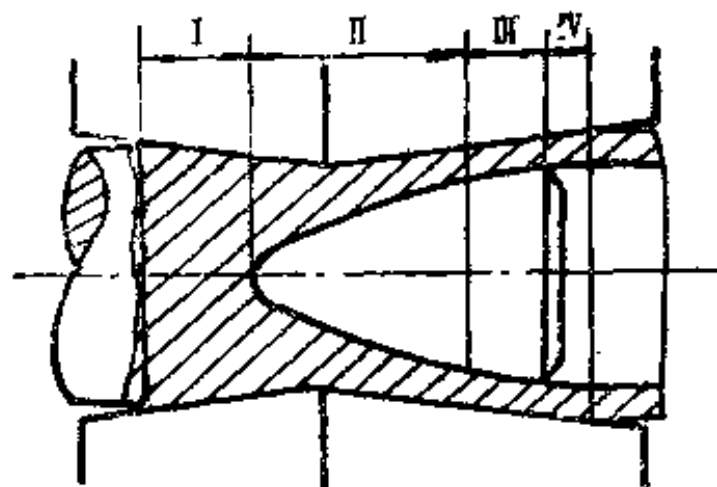


图 4-2 穿孔变形区中的四个区域

I 区称为穿孔准备区（即轧制实心圆管坯区）。I 区的主要作用是为穿孔做准备，和顺利地实现一、二次咬入。这个区的特点是，由于轧辊入口锥表面有锥度，沿穿孔方向（轴向）前进的管坯逐渐在直径上受到压缩，被压缩部分的金属一部分向横向流动，坯料断面由圆形变成椭圆形，一部分金属主要是表面层金属（表面变形）向轴向延伸，因此在坯料前端面要形成一个喇叭口状的凹陷。此凹陷（和定心孔）保证了顶头鼻部对准坯料中心，从而可减小毛管前端的壁厚不均。

II 区称为穿孔区。该区的主要作用是穿孔，即由实心坯变成空心的毛管，该区从金属与顶头相遇开始到顶头圆锥带为止，这个区的特点主要是压缩壁厚，由于轧辊表面与顶头间距离是逐渐减小的，因此毛管壁厚被逐步压缩。壁厚上被压缩的金属，同样可以向横向（扩径）和纵向流动，但由于横向变形受到导板的阻止作用，纵向延伸变形是主要的。在穿孔机上穿孔毛管可以有很大的延伸系数，到5以上。如用 $\phi 75$ 毫米管坯穿成 78×4.5 毫米的毛管，延伸系数达4.2之多。由此可看出，穿孔机的变形量是很大的，这是斜轧穿孔的特点之一。

III 区称为展轧区。该区的主要作用是展轧（均整）管壁，改善管壁的尺寸精度和内外表面质量。由于顶头母线和轧辊母线相

平行，所以压缩量很小，该区主要是起均整作用。

Ⅳ区为转圆区。该区的作用是靠轧辊旋转加工把椭圆形毛管转圆。该区的长度很短，变形特点实际上是塑性弯曲变形，但是由于这个区域很短而且变形量也不大，一般不予考虑。

下面我们来叙述动态穿孔的变形过程。

一开始用推料机（气缸）把管坯送入轧辊中而被轧辊咬入，轧辊带动管坯一边旋转一边向前移动，这是因为两个轧辊向同一方向旋转，带动管坯向相反方向转动。同时由于轧辊轴线和穿孔轴线（轧制轴线）有一倾角，使得管坯同时还获得一个前进运动。在一次咬入时管坯只能和轧辊接触，而不能碰导板，不然是不易咬入的。

管坯被轧辊咬入后首先进入第Ⅰ区，由于轧辊入口锥工作表面有锥度，沿穿孔方向逐渐向前移动的管坯在直径上受到压缩。在第Ⅰ区中管坯何时和导板接触，决定于许多因素。早和导板接触可以早控制横向变形，减小坯料的椭圆度。这点对于穿孔某些合金钢（容易形成孔腔的钢种）是重要的。但早和导板接触，将增加管坯的轴向运动阻力和旋转阻力，特别当开始进入第Ⅱ区时，再加上顶头的轴向阻力，不易实现二次咬入，甚至发生前卡。

管坯继续向前运动，与顶头相遇后，顶头鼻部插入管坯前端的凹陷（和定心孔）中，则进入第Ⅱ区。这时金属在轧辊和顶头之间进行塑性变形（壁压缩），而导板起着控制横向变形的作用。在Ⅱ区中导板起着重要作用。

管壁的最终定型是在顶头圆锥段和直线段相接的地方。到顶头圆锥段后，由于顶头圆锥段母线和轧辊出口锥母线平行，管壁不再受压缩而主要受展平作用，这就是第Ⅲ区。

由于毛管横截面是椭圆形的，而顶头截面是圆形的，因此顶头和毛管内孔存在着间隙，一般管壁压缩愈大则间隙也愈大，同时间隙大小还决定于对横变形的限制程度。由于有间隙，毛管才可能自由地脱离开顶头。

到毛管内壁完全离开顶头后，则进入变形区的第Ⅳ区，即毛

管转圆区。这时毛管只和轧辊相接触。由于在轧辊出口锥上有锥度，轧辊之间的距离是逐渐增大的，因此在Ⅳ区中毛管直径上的压缩量是逐渐减小的，到毛管离开轧辊的一点压缩量为零，毛管原来的椭圆形截面将变成圆形截面。一般毛管离开顶头前，先离开导板（即不和导板接触），因此在第Ⅳ区中导板是不起作用的，只有这样才能转圆。如果导板参与变形，则毛管易被导板夹扁。

由穿孔的变形过程我们可以清楚地看出，穿孔的变形区决定于由工具设计（尺寸和形状）和轧机调整参数（辊间距，导板距，顶头位置等）。譬如，顶头位置向前调整，则说明第Ⅰ区减小；轧辊间距减小，则整个变形区将加长，相应一些区都有所加长；导板间距加大，则横向变形增加，纵向变形减小。因此轧机调整是很重要的，而且是较复杂的。

从上述斜轧穿孔变形过程中我们可归纳出，斜轧穿孔原理主要包括以下几方面：

1) 斜轧过程运动学——研究变形金属和工具相互运动的关系；

2) 咬入条件——包括一次咬入和二次咬入，研究金属被轧辊曳入的条件，实现轧制过程的可能性；

3) 金属变形及流动——研究金属在变形区中的变形和流动规律；

4) 轧制实心圆管坯应力和应变分析——研究孔腔形成的机理（孔腔形成学说）；

5) 斜轧过程的力能参数——研究变形金属和工具之间的作用力关系以及确定生产和设计所需的力能参数。

斜轧穿孔原理的这几项内容分别介绍如下。

二、斜轧穿孔运动学

穿孔机轧辊运动的特点是：轧辊向同一方向旋转，轧辊轴线相对于轧制线倾斜，圆形管坯进入轧辊后靠金属和轧辊之间摩擦力的作用被带动向反向旋转，同时由于轧辊轴线对坯料轴线（轧

制轴线) 有一倾角(前进角), 从而管坯-毛管在旋转的同时沿轴向移动。如此, 在变形区中管坯-毛管表面上每一点都是螺旋运动, 即一面旋转, 一面前进。

在垂直平面内轧制轴线和轧辊轴线的倾角 β 称为前进角, 在水平面内两个轴线一般是相平行的(正常调整情况)。

表示螺旋运动的基本参数是: 切向运动速度, 轴向运动速度和每半转的位移值(即螺距)。

首先来讨论两个轴线相交一点的速度关系。

如果两个轴线相交点上轧辊圆周速度为 W , 则根据图 4-3 W 可分解为两个分量:

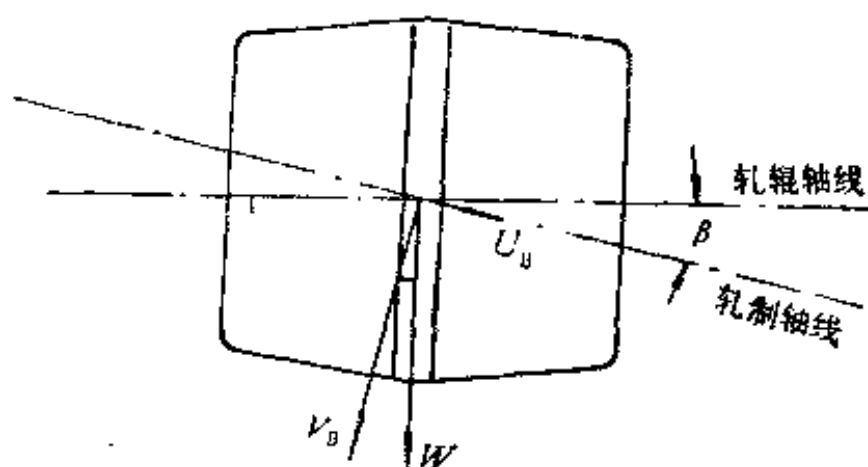


图 4-3 速度分析图

切向旋转速度

$$v_t = W \cos \beta = \frac{\pi D n_b}{60} \cos \beta$$

轴向速度

$$u_a = W \sin \beta = \frac{\pi D n_b}{60} \sin \beta$$

式中 D ——所讨论截面的轧辊直径, 毫米;

n_b ——轧辊转数, 转/分;

β ——前进角。

在轧制过程中, 由于管坯靠轧辊带动运动, 轧辊将相应的速度传给金属, 则

$$v_M = \frac{\pi D n_B \cos \beta}{60} = v_B,$$

同样, $u_B = u_M$

但实际上两者速度并非完全相等, 一般金属运动的速度小于轧辊速度, 即金属和轧辊之间要产生滑动, 可用滑移系数来表示两者速度差。因此, 管坯(金属)的切向旋转速度应等于:

$$v_M = \frac{\pi D n_B \cos \beta \eta_T}{60}$$

轴向前进速度应等于:

$$u_M = \frac{\pi D n_B \sin \beta \eta_o}{60}$$

式中 η_T 、 η_o 分别为切向和轴向滑移系数, 一般二者都小于1。

在生产中最有实际意义的是毛管离开轧辊时的轴向速度, 众所周知, 轴向出口速度愈大, 生产率也愈高。

影响出口轴向滑移系数大小的因素有如下几点:

1) 轧制速度和延伸系数的影响。一般增大延伸系数会引起轴向滑动增加, 也就是轴向滑动系数值减小。

对于轧制速度的影响要做具体分析, 提高穿孔速度, 一个办法是提高轧辊转数, 一个办法是增大前进角。增大轧辊转数导致轴向滑移增加, 而增大前进角则可以降低滑移。图4-4为不同前进角下滑移率 $\left(\frac{u_B - u_M}{u_B} = S\%, \text{称滑移率} \right)$ 的变化规律, 滑移率值愈小表示滑移愈小。由图可以看出, 随着前进角由 $5^\circ \sim 9^\circ$, 滑移率较显著地减小。

2) 管坯直径的影响。轧制的管坯直径愈大, 轴向滑移愈大。

3) 金属和轧辊之间摩擦系数的影响。很自然, 对摩擦系数有影响的因素都会对滑移有直接或间接的影响, 如轧辊表面过于光滑则滑移增加, 有时甚至轧卡。

4) 穿孔温度的影响(同时要考虑穿孔过程中的温升)。穿

轧毛管时稍许降低管坯温度可以提高摩擦系数，使得轴向滑移减小。但实际上降低穿孔温度使得轴向滑移增加，这是因为降低穿孔温度时，顶头阻止金属轴向流动的阻力增加。

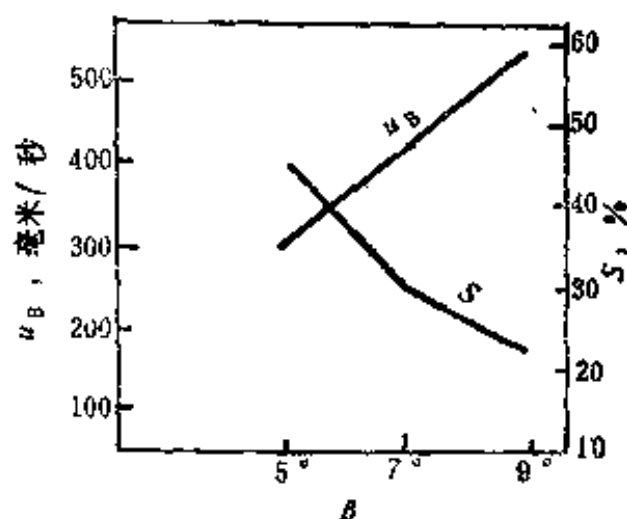


图 4-4 倾角和滑移率的变化

5) 工具设计的影响。一般采用小的轧辊辊面锥角，可减小滑移，这可能是由于变形区加长，增加了轧辊入口锥接触面上的曳入摩擦力和减小了正压力的轴向推力分量。

采用较长的顶头可减小顶头工作区的斜度，从而减小顶头阻力，使得滑移减小。

轧辊直径增大可改善咬入条件，同时使得轧辊入口锥中金属同轧辊接触面积增大，有利于减小滑移。

另外，顶头和导板的材质以及它们磨损后的光滑程度不同，摩擦系数也不同，从而对滑移也有影响。

6) 轧机调整的影响。顶头的位置对滑移的影响是，顶头向前（入口锥方向）调整，则滑移增加，这是由于顶头前压缩量减小，导致接触面积减小，曳入力降低的缘故；相反，顶头向后调，则穿孔速度加快，说明滑移减小。

顶头前压缩量即压缩带压缩量的影响（辊间距）是很清楚的，适当增加压缩量会使滑移减小。

可以这样归纳，凡是增加顶头和导板轴向阻力的因素，都会使滑移增加，凡是增大轧辊曳入摩擦力的因素都会使滑移减小。

此外轧制材料的化学成分，物理、机械性能以及毛管尺寸等对轴向滑移系数都有影响。

根据实际生产和实验测定，两辊穿孔机穿轧毛管的轴向滑移系数（出口）一般在0.5~0.9。实测北京某厂76机组穿轧20号钢管坯时轴向滑移系数在0.63~0.74之间。实际生产中可根据各种影响因素来合理地选取轴向滑移系数 η_0 。

出口的螺距值 t_0 可由下式求出：

$$t_0 = \frac{\pi}{2} \times \frac{\eta_0}{\eta_T} D_0 \tan \beta$$

式中 D_0 ——管子直径；
 β ——前进角；
 η_0 ——轴向滑移系数；
 η_T ——切向滑移系数。

两辊穿孔机使坯料转动的力的平衡条件可用下式表示（顶头摩擦阻力矩的影响很小，可忽略不计）：

$$2(-M_T' + M_T'' - M_P - M_L) = 0$$

式中 M_T' 和 M_T'' ——在切向上前滑区和后滑区的摩擦力矩；
 M_P ——轧辊正压力产生的阻力矩；
 M_L ——来自导板的摩擦阻力矩。

图4-5是坯料旋转时的受力分析。

由上式可明显看出，只有后滑区中的摩擦力矩为带动坯料旋转的力矩，而其他力矩都是阻止坯料旋转的力矩。因此，在切向上存在着较大的后滑区是实现坯料转动的必要条件，否则坯料旋转的条件是不能建立的。

两辊斜轧穿孔变形区中的轴向作用力如图4-6所示。作用在坯料轴向上的力的平衡条件可用下式表示：

$$2(P_{2x} - P_{1x}) + 2T_x - Q + 2(P_{Lx} - T_{Lx}) = 0$$

式中 P_{2x} 、 P_{1x} 为轧辊进出口锥上正压力的轴向分量；

T_x ——轧辊上摩擦力；

P_{Lx} 、 T_{Lx} ——作用导板上正压力和摩擦力轴向分量；

Q ——顶头轴向阻力。

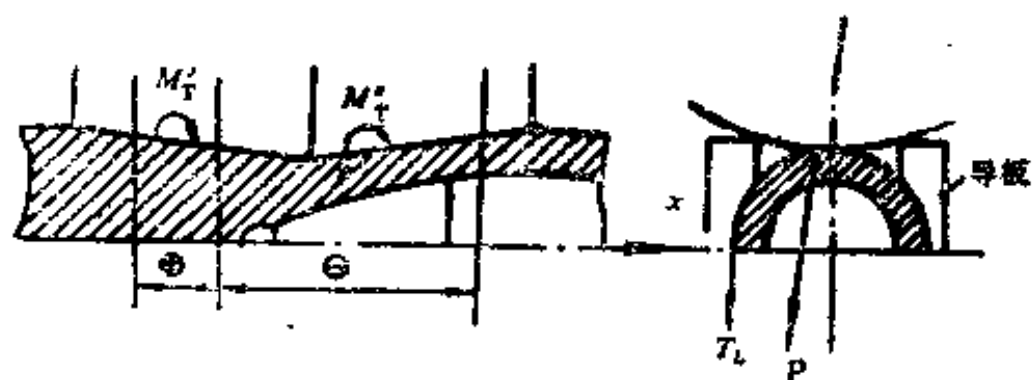


图 4-5 坯料旋转时的受力分析

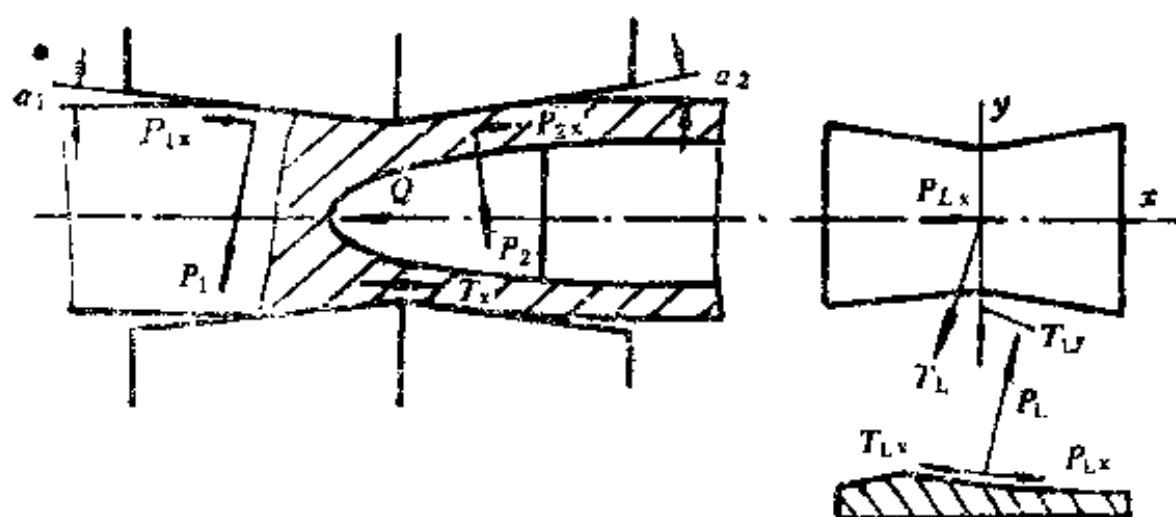


图 4-6 轴向力分析

由上式可以清楚地看出，坯料轴向运动是 T_x 作用的结果，因为 P_{1x} 和 P_{2x} 值很小。其他作用力都是阻止金属轴向移动的。 T_x 要带动坯料轴向移动，则 T_x 的方向必须和金属运动方向相一致。这样，从金属和轧辊速度关系来看，轧辊轴向分速度必须大于金属轴向移动速度，即整个变形区为后滑（轴向滑移系数小于1）。这就是为什么穿孔过程是后滑（或变形区中绝大部分是后滑）的本质规律，因为只有这样，穿孔过程中金属的轴向移动条件才能建立。

当轴向阻力增加时，如果穿孔过程还能建立的话，这时要达到新的力的平衡条件，坯料的轴向移动速度必然降低，其结果是，一方面金属和轧辊之间的滑动增加，导致 T_x 增大，另一方

面由于金属轴向移动速度减小，导致每半转变形量减小，最终导致轴向阻力减小，因而穿孔过程还能继续进行，仅是穿孔速度有所降低。但当 T_1 靠速度调节不能大于轴向阻力时或切向摩擦力矩小于转动阻力矩时穿孔过程则不能进行。如在生产中常出现的轧卡（中卡），原因就在于此。

由以上分析不难得出，斜轧穿孔过程中产生全部后滑的实质，主要是顶头阻力的影响。因此，要使穿孔过程顺利进行并减小金属和工具的滑动，提高穿孔速度，重要的是减小轴向阻力和切向阻力矩，或者增加轴向曳入摩擦力和带动坯料旋转的摩擦力矩。

据此，如果穿孔过程中加一后推力或前拉力，主动驱动顶头，取消导板（如导盘穿孔机，三辊穿孔机），在轧辊入口锥表面上刻痕以及润滑顶头等，都可改变力的平衡条件，有利于建立坯料旋转和轴向移动条件，减少滑动，强化穿孔过程并减少轧卡现象。

三、斜轧穿孔时的咬入条件

斜轧穿孔过程存在着两次咬入，第一次是轧件和轧辊刚接触瞬间由轧辊带动轧件运动而把轧件曳入变形区中，称第一次咬入。当金属进入变形区到和顶头相遇，需要再克服顶头的轴向阻力才能继续进入变形区为第二次咬入。

满足了一次咬入的条件并不见得就能满足二次咬入条件。在生产实践中我们常观察到，二次咬入时由于轴向阻力作用前进运动停止而旋转运动可继续进行，这就是很好的证明。

1. 一次咬入条件

如果能保证坯料旋转和随后的轴向曳入条件，第一次咬入就能实现。

使管坯旋转的条件由下式确定：

$$M_T \geq M_P + M_Q + M_1$$

式中 M_T ——使管坯旋转的总的力矩，在没有附加旋转力矩情况下为轧辊带动管坯的旋转摩擦力矩；

M_p ——由正压力产生的阻止坯料旋转的总力矩，称正压力作用力矩；

M_Q ——由于推料机的外推力而在管坯后端产生的摩擦力矩；

M_i ——管坯旋转的惯性矩（对轴）。

为了确定管坯被轧辊曳入的可能性，首先应研究力的平衡条件，当把管坯喂到斜放而旋转的轧辊中，在管坯上作用有一外推力 P' ，在管坯和轧辊接触点上产生一个垂直轧辊表面的正压力 P 及摩擦力 T 。根据力的平衡条件，在轴向全部力的投影之总和应等于零，即：

$$\frac{1}{2}P' - P_x + T_x = 0$$

式中 P' ——外推力；

P_x ——一个轧辊作用在管坯上的正压力在 x 轴上投影；

T_x ——一个轧辊作用在管坯上的摩擦力在 x 轴上投影。

由式中可看出，为了把金属曳入变形区中必须有足够的 T_x 。正压力则是阻止金属被曳入的，外推力是帮助咬入的。

由于正压力的轴向分量很小，因此实现一次咬入是不困难的。

2. 二次咬入条件

二次咬入时力的平衡条件为：

当没有后推力时（图4-7）

$$2(T_x - P_x) - Q' = 0$$

当有后推力时

$$2(T_x - P_x) - Q' + P' = 0$$

式中 Q' ——顶头鼻部的轴向阻力；

P' ——后推力。

由上式可看出，当没有后推力时二次咬入中又增加了一个顶头阻力 Q' ，因此要满足二次咬入，就必须使：

$$2T_x > Q' + 2P_x$$

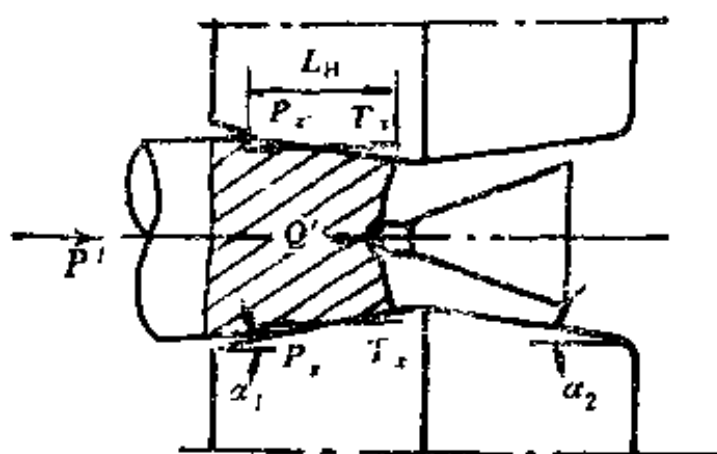


图 4-7 二次咬入的作用力

不难看出 T_x 的大小主要和顶头前压缩量有关，顶头前压缩量愈大，则由一次咬入到二次咬入间金属和轧辊的接触面积也愈大，从而 T_x 增大。

为了保证牢靠地二次咬入，就要有一定的顶头前压缩量，因此，顶头前压下量是个重要的变形参数。

生产中得出，在两辊穿孔机上为了实现二次咬入顶头前压缩量一般不应小于4%。

要保证牢靠地咬入必须有足够大的 T_x ，而应有较小的 P_x 和 Q' 。

为了增大 T_x ，办法之一是减小轧辊入口锥角（同时可减小 P_x ），办法之二是加大顶头前压缩量，办法之三是增大金属和轧辊间摩擦系数。

为了减小顶头鼻部的阻力，办法是减小鼻部的半径以及造成有利于减小 Q' 的顶头前管坯中心的应力状态。

生产证明，正确地调整顶头位置是很重要的，因为当压缩带的压缩量一定时，顶头位置的变化则是顶头前压缩量的变化，生产中当管坯二次咬入不好时常把顶头向后移，道理就在于此。适当加大压缩量，改变轧辊表面状态，采用定心的管坯等办法都是为了增加 T_x ，利于咬入。

由上述力的平衡方程式可以看出，二次咬入条件没有考虑导

板的阻力，这就说明，在咬入区不希望轧件和导板相接触以减小轴向阻力。否则由于增加了导板阻力，二次咬入可能难于实现。

在生产中还会遇到其他一系列的影响二次咬入的因素，应根据不同情况具体分析。但从理论上讲不外乎，凡有利于增大 T_x 的因素都容易二次咬入，凡增大 P_x 和 Q' 的因素都不利于二次咬入。

四、斜轧穿孔时金属的变形和流动

斜轧穿孔过程中存在着两种变形，即基本变形（也可称宏观变形）和附加变形（称不均匀变形）。

基本变形是指外观的形状变化，这种变形是可以直接观察到的，如由实心圆管坯变成空心的毛管，基本变形完全是几何尺寸的变化关系，与材料的性质无关，而且基本变形（尺寸变化）取决于变形区的几何形状（由工具设计和轧机调整所决定）。

附加变形（不均匀变形）指的是材料内部的变形，是直观不到的变形。附加变形是由材料中的内应力引起的，它对希望获得的形状变化没有什么益处，而只能增大材料的变形应力，引起材料产生缺陷。因此，在实际生产中如何减小附加变形是很重要的。

首先来讨论基本变形。

在一个实心的圆形坯料轧成一个空心坯（毛管）的过程中，我们设想把实心坯沿半径方向等分为五份，而穿孔变形后变成了五个环（图4-8）。假如各部分伸长都一样，则各环的断面积减缩率如图4-8, b所示。可以看出，在各部分伸长相同情况下，愈靠近坯料中心的环，壁厚变形也愈大。即内表面壁厚变形（绝对压缩量）较外表面变形大。

每个环都有三个主变形，即延伸变形（伸长），周向变形（直径增加）和径向变形（壁厚的压缩）。

沿变形区长度上各断面三个方向的变形分布如图4-9所示。

按体积不变定律，基本变形可用下式表示：

$$\ln \frac{L_0}{L_z} + \ln \frac{2(D_0 - S_0)}{d_z} + \ln \frac{2S_0}{d_z} = 0$$

式中 L_0 、 L_z ——毛管和坯料的长度；

D_0 、 S_0 ——毛管的外径和壁厚；

d_z ——坯料直径。

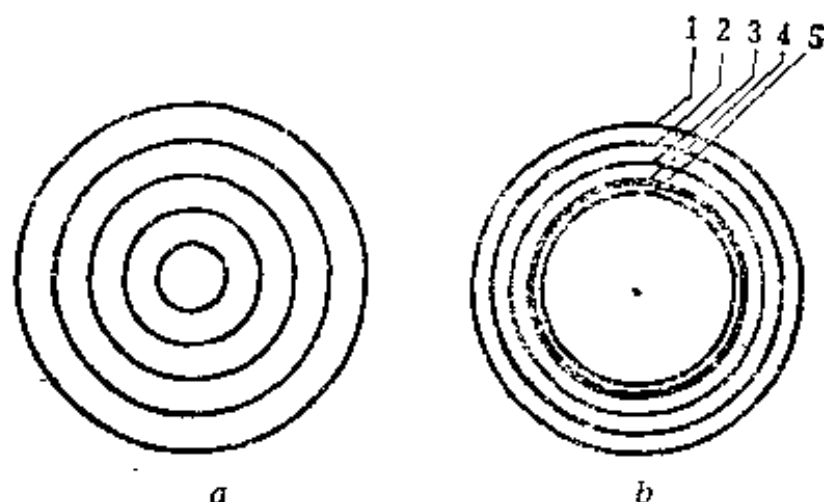


图 4-8 由管坯到毛管的基本变形图

a—管坯；b—毛管

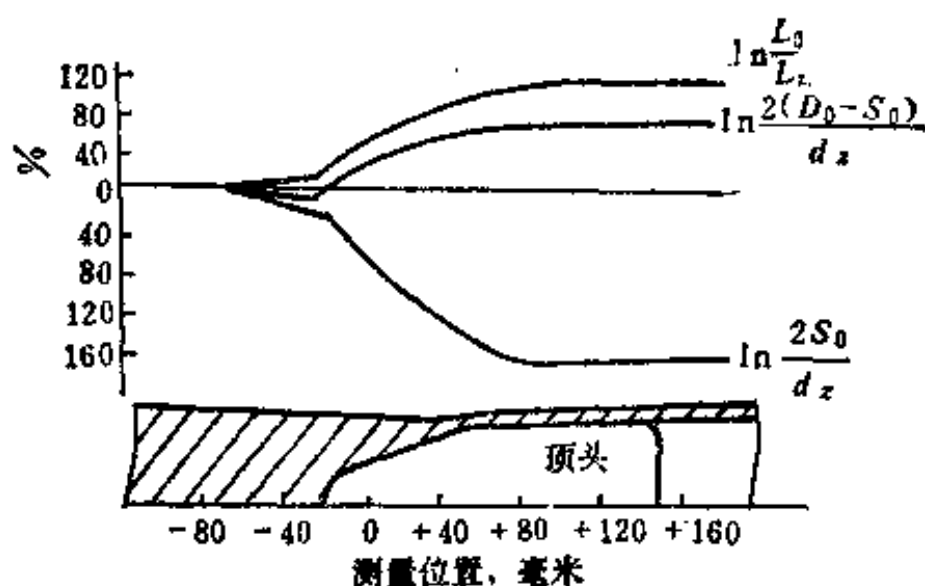


图 4-9 穿孔时主变形沿变形区的分布

此公式是由体积不变定律导出的，即

$$F_z L_z = F_0 L_0$$

式中 F_z 、 F_0 ——分别为坯料和毛管的截面积。

$$\text{则} \quad \frac{L_0}{L_z} = \frac{F_z}{F_0} = \frac{\pi d_z^2/4}{\pi(D_0 - S_0)S_0} = \frac{d_z^2}{4(D_0 - S_0)S_0}$$

$$\text{变换后} \quad \frac{L_0}{L_z} = \frac{\pi d_z}{2\pi(D_0 - S_0)} \times \frac{d_z}{2S_0}$$

式中 $\frac{L_0}{L_z}$ 表示纵向变形, $\frac{\pi d_z}{2\pi(D_0 - S_0)}$ 表示周长变化, $\frac{d_z/2}{S_0}$ 表示壁厚的变化。

两边取对数, 得

$$\ln \frac{L_0}{L_z} + \ln \frac{2(D_0 - S_0)}{d_z} + \ln \frac{2S_0}{d_z} = 0$$

附加变形包括有扭转变形、纵向剪切变形和切向（圆周方向上）剪切变形等。附加变形是由金属各部分（各层）的变形不均匀产生的。附加变形会带来一系列的后果，如使得所需变形能量增加，由于附加变形所引起的附加应力（内应力），容易导致毛管内外表面上和内部产生缺陷等。

附加变形一般从外观上不能直接观察，需采用特殊的试件（坯料）进行研究，从而能够直接观察到金属在变形区中是怎样流动的。

穿孔后的金属内部的实际变形情况如图4-10所示。

由变形区纵剖面图可以清楚地看出，内层金属较外层流动得慢，因而变形时外层金属拉着内层金属而内层金属阻止外层金属作轴向流动，在各层金属之间将产生纵向剪切变形。

纵向剪切变形的产生主要是顶头的轴向阻力造成的，一方面轧辊要带动管材轴向流动，而顶头则要阻止金属轴向流动，最终导致各层金属轴向流动有差异。可是各层金属又是相互联系的一个整体，不能分离（分离了，则说明各层金属间产生了破裂），从而在各层金属间必然要产生附加变形和附加应力，特别是同轧辊和顶头直接接触的表面层金属。由图可以看出，由于附加变形，毛管内外表面层很容易出现缺陷或者使管坯表面原有的缺陷发展

或扩大。

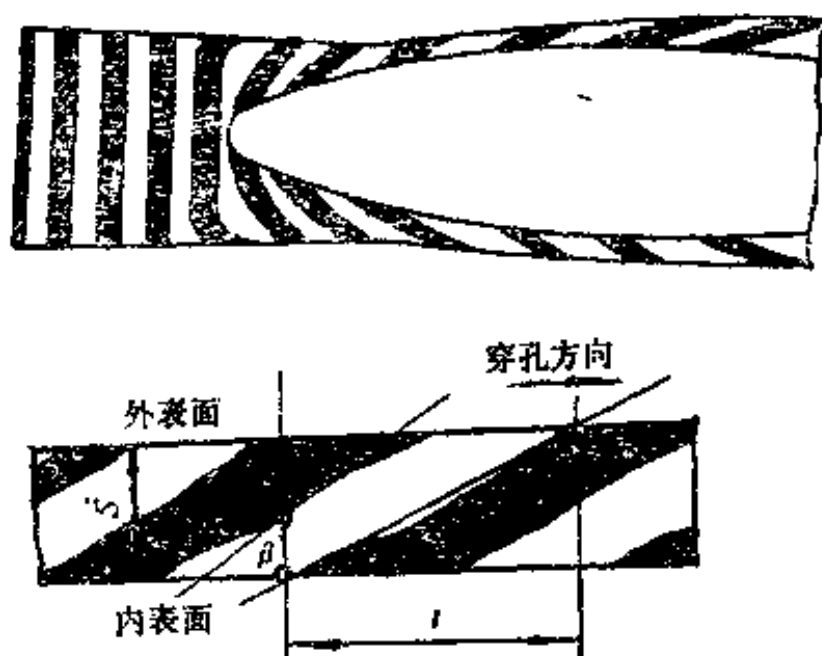


图 4-10 管材纵向剪切变形

由变形区横剖面图(图4-11)可明显看出,在无顶头实心坯轧制阶段,主要是表面变形,其表面层金属在切向的流动方向和轧辊的旋转方向一致。到在顶头上的穿孔阶段,由于顶头的运动速度大于金属的切向流动速度,顶头如同轧辊一样也带动着金属向切向流动,这样与顶头直接接触的内表面金属的切向流动速度大于管壁的中层,原来为直线形的条痕变形后呈C形曲线分布,而且随着管壁变形加大,弯曲程度也加大。这样一来,很明显,在各层金属之间将产生较大剪切变形。

斜轧穿孔过程还产生扭转附加变形,这是在生产实践中常易观察到的现象。譬如当管坯上顺长度方向上有一直线折叠(多由于轧制管坯时出耳子造成),穿孔后直线折叠变成大螺旋形折叠。又如当加热管坯产生阴阳面时,穿孔过程中会发现管坯上的阴阳面在毛管上呈大螺旋形分布。这些现象都是由于扭转变形造成的。

扭转变形是由于管坯和轧辊之间运动、变形相互矛盾引起的。

穿孔变形区中扭转变形的示意图如图4-12所示

由图可以看出,在轧制实心坯阶段扭转变形很小,到在顶头

上轧制阶段扭转变形急剧增加。

各种工艺参数对纵向、切向和扭转附加变形的影响如表 4-1 所示。

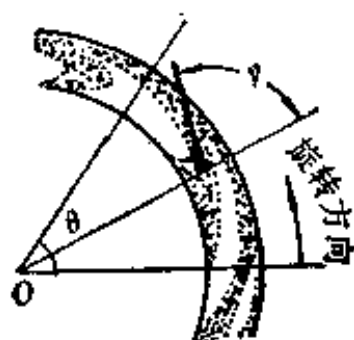


图 4-11 横向剪切变形



图 4-12 扭转变形

五、斜轧实心圆坯的应力及变形状态——孔隙形成机理

我们知道斜轧实心圆坯时常易出现金属中心破裂现象（形成孔隙）。在顶头前过早地形成孔隙，会造成大量的内折叠缺陷，恶化钢管表面质量，甚至成为废品。因此在穿孔工艺中力求避免过早形成孔隙，这是我们确定穿孔工艺制度的前提。孔隙形成归根结底是由金属中的应力状态和变形状态决定的。

1. 斜轧实心圆管坯的应力和变形状态

斜轧实心圆管坯的变形图如图 4-13 所示。

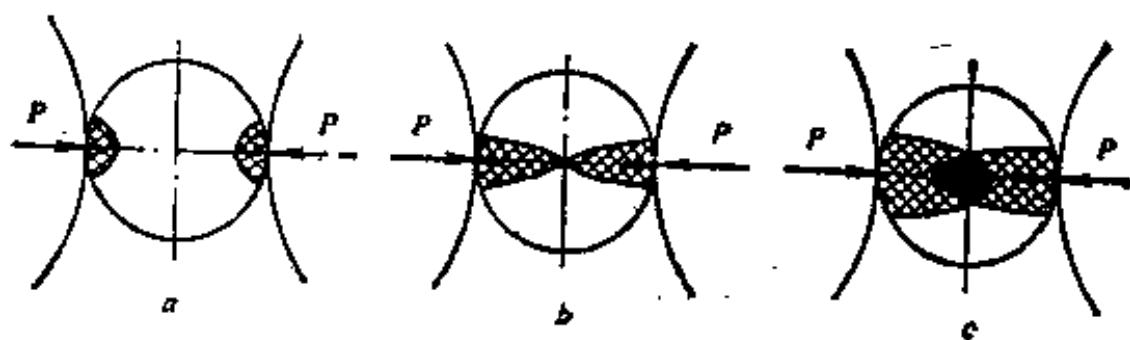


图 4-13 轧制实心圆管坯的塑性区分布

轧制开始时在外力作用下沿外力方向上各单元体受到压应力的作用，在横（切）向上管坯没有受到其他外力的作用，但如果考虑到金属横向、纵向流动时，轧辊和金属之间将产生阻止金属横向、纵向流动的摩擦力，此外在横向上处于轧辊直接作用区内（图 4-13'

表 4-1 各种工艺参数对附加变形的影响

工 艺 参 数		扭转变形 α , 度	纵向剪 变形 β , 度	横向剪 变形 γ , 度	周长变 化率 $\frac{L_2 - L_1}{L_1}, \%$	外径扩 大率 $\frac{d_2 - D_0}{D_0}, \%$	减面率 $\frac{F_2 - F_0}{F_0}, \%$	毛管壁厚 S_0 毫米	椭圆度 长轴/短轴	外径和壁 厚之比 D_0/S_0
轧辊倾斜角	6°	26.3	84.3	79	15	10.5	58	4.8	1.17	10.4
	9°	26.0	84.5	79	15	11.1	56	5.0	1.19	10.0
	12°	20.9	85	80	14	11.1	56	5.2	1.19	9.6
轧辊间距 毫米	37	29.6	85.4	83	16	11.1	60	4.4	1.25	11.4
	38	26.0	84.5	79	15	11.1	56	5.0	1.19	10.0
	39	24.8	83.8	74	13	9.6	52	5.3	1.14	9.3
导板间距 毫米	47	26	84.5	79	15	11.1	56	5.0	1.19	10.0
	52	43.1	84.3	81	20	17.7	55	4.7	1.34	11.2
	57	56.1	84	86	26	23.1	55	4.7	1.43	11.8

续表 4-1

工 艺 参 数		扭转变形 α , 度	纵向剪 变 形 β , 度	横向剪 变 形 γ , 度	周 长 变 化 率 $\frac{L_2 - L_1}{L_1}, \%$	外 径 扩 大 率 $\frac{d_2 - D_0}{D_0}, \%$	减面率 $\frac{F_2 - F_0}{F_0}, \%$	毛管壁厚 S_0 毫 米	椭圆度 长轴/短轴	外径和壁 厚 之 比 D_0/S_0
顶头直径 毫 米	27	0.4	78.8	59	7	3.3	44	7.4	1.08	6.3
	30	10.6	82.8	70	11	6.9	49	6.3	1.13	7.6
	33	26.0	84.5	79	15	11.1	55	5.0	1.19	10.0
顶头位置 毫 米	5	34.3	80.0	82	18	14.0	42	6.5	1.30	7.9
	15	32.3	82.9	80	16	12.5	49	5.6	1.25	9.0
	25	26.0	84.5	79	15	11.1	56	5.0	1.19	10.0
管坯直径 毫 米	40	47.7	82.4	80	19	17.7	55	4.4	1.22	10.7
	45	14	85.0	84	12	8.2	58	4.7	1.33	10.4

a) 的单元体还受到其两侧的间接作用区的挤压应力的作用, 以及由于表面层金属流动时还将受到内层限制外层流动的压应力作用, 该区中金属受三向压应力状态。相反, 在中心区将受到外层给予的拉应力。由图4-14可以明显地看出, 假设在一个圆管坯横断面上画上若干个同心圆环, 外层的圆环由于塑性变形将增大圆周周长(横向扩展), 而内层圆环由于塑性变形较小, 圆周周长增加得较小, 中心部分塑性变形更小, 横向扩展也更小。这样如果各圆环之间不相联系, 则变形后如图4-14所示的情况。但实际上金属是一个整体, 彼此有着紧密的联系, 因此, 外层变形金属必然要拉着内层和中心部分金属横向扩展, 而造成较大拉应力。

在纵向(轴向)同一道理, 外层的变形金属也会对中心部分金属产生一个拉应力。

这样, 在斜轧刚开始, 也就是圆管坯旋转角还很小时, 坯料表面层的应力状态是三向压应力, 而在坯料中心区的应力状态是一向压、两向拉, 即外力方向上为压缩应力, 轴向为拉伸应力, 横向也是拉伸应力。

随着旋转角增加金属塑性区由表面向中心渗透(图4-13, b)。坯料中心塑性区不仅经受拉应力作用, 而且经受切应力作用, 与此同时切应力和横向拉应力又是在不断改变方向(反复应力)和积累, 在这些应力综合作用下有可能产生中心破裂(图4-13, c)。

分析坯料中心破裂机理认为, 拉伸应力对裂缝的形成和发展起着重大作用。我们知道, 金属在塑性变形过程中因滑移、孪晶等变形结果而产生的微小裂缝, 在拉应力作用下会迅速扩展起来, 最终当大量裂缝相连接后面形成中心孔隙。道理很明显, 切应力可以使金属的这一部分和那一部分彼此之间进行滑移, 而在切应力还未超过材料的断裂强度, 也就是还没有把整块切断之前, 金属各个部分之间还存在一定的联系, 而垂直于微裂缝的拉应力使裂缝两侧的金属迅速离开, 加大裂缝的面积, 最后使金属的这一部分和那一部分彼此之间完全失掉联系。至于切应力和正应力的反复不断变换方向的作用, 它在一定程度上削弱金属的强

度，因而也促进中心破裂的发生和发展。

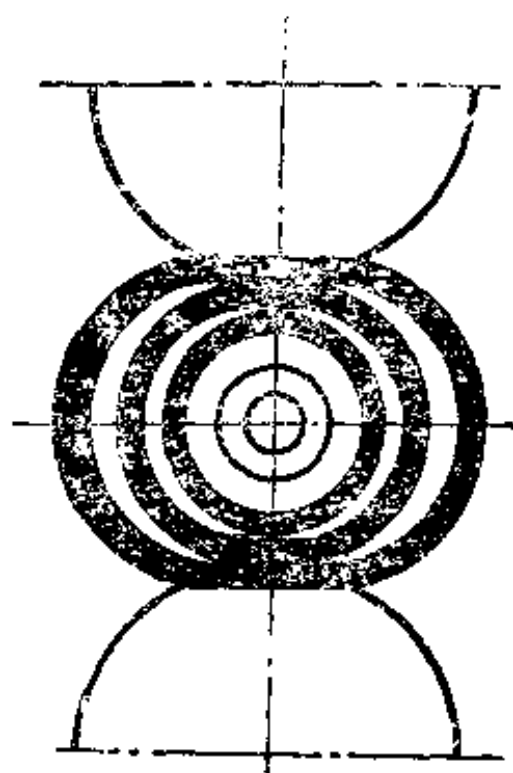


图 4-14 实心坯不均匀变形图示

一句话，切应力（及其引起的变形）造成断裂可能出现的条件，提供了产生断裂的可能性，而拉应力则使这种可能性变为现实。因此切应力是坯料中心破裂的必要条件，而拉应力则是断裂的充分条件。

2、影响孔隙形成的因素

在生产中更为重要的是如何防止过早地形成孔隙，因此，研究各种因素对孔隙形成的影响具有重要的实际意义。

影响管坯中心破裂的决定性因素有如下几个方面：

1) 钢的自然塑性。钢的自然塑性是由钢的化学成分、金属冶炼质量以及金属组织状态决定的，而组织状态又受管坯加热温度和时间的影响。

金属自然塑性决定着金属在塑性变形过程中产生破坏的倾向，但斜轧穿孔常不用自然塑性指标，而是用“穿孔性能”来表示坯料中心产生破坏的倾向。穿孔性能好的钢种则表示在穿孔过程中不易发生金属中心破裂。穿孔性能和钢的塑性有关，一般情况

下塑性愈好则穿孔性能也愈好。

2) 顶头前压缩量。顶头前压缩量愈大则变形不均匀程度也愈大, 导致管坯中心区的切应力和拉应力增加, 从而容易促使孔腔形成。一般用临界压缩量来表示对最大压缩的限制, 压缩量小于临界压缩量则不易或不形成孔腔。

3) 轧件椭圆度。二辊斜轧穿孔中管坯横断面椭圆度愈大, 则不均匀变形程度也愈大。按照体积不变定律可知, 椭圆度愈大(横变形愈大)则纵向变形愈小。横向变形增大将导致管坯中心区的横向拉应力、切应力以及反复应力作用增加。在斜轧穿孔中采取过大的椭圆度对产品质量是不利的, 这是在生产中合理地选择穿孔调整参数必须注意的问题。

生产实践和科学试验确认, 压缩次数增加导致孔腔形成倾向增加。在下列情况下经常导致压缩次数增加: 当提高总的直径压缩量而单位压缩量不变时, 当总压缩量一定而增加变形区长度时(如减小轧辊入口锥角 α_1 和前进角 β 时), 以及金属轴向滑移增加时。

4) 加热制度。关于加热制度对钢的穿孔性能的影响, 主要是在加热时要保证具有良好的加工组织、有较小的热应力以及防止过热和过烧。加热温度和穿孔性能的关系, 应由实验确定(热扭转试验和穿孔性能试验)。至于加热保温时间的影响, 有的试验证明, 适当增加保温时间对穿孔性能有利。

六、斜轧穿孔作用力及力矩

在斜轧穿孔过程中参与金属变形的工具有轧辊、导板和顶头。斜轧穿孔时的作用力, 就是指金属在变形时作用在工具上的力。因此, 穿孔时的作用力不外乎作用轧辊上的力、作用在导板上的力和作用在顶头上的力。

斜轧穿孔的作用力是轧机设计和生产的原始数据, 因而精确地确定其值大小对轧机设计和拟定工艺都是重要问题。

下面介绍经验公式和实测资料。

1. 轧制压力

金属对轧辊的轧制压力由下式确定：

$$P = p_c F$$

式中 P ——轧制压力，牛；

p_c ——平均单位压力，帕；

F ——金属与轧辊的接触面积，米²。

穿孔变形区中作用于轧辊上的力如图4-15所示。

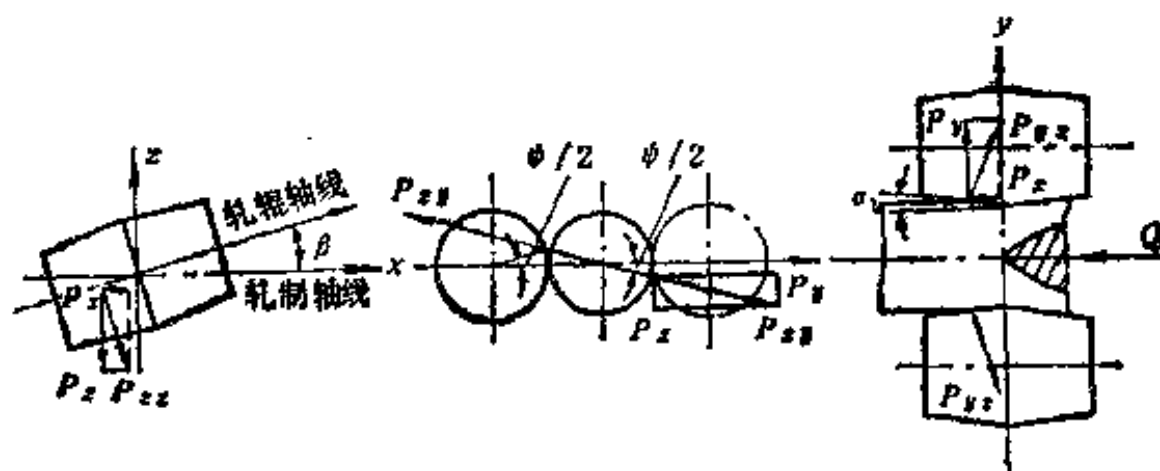


图 4-15 穿孔时的作用力

为了确定斜轧穿孔的轧制压力首先应求出金属同轧辊的接触面积。用下面的经验公式确定中小轧机的接触面积有足够的可靠性：

$$F \approx 54d_z$$

式中 d_z ——坯料直径，毫米。

单位压力可根据我们的实测资料选取，如表4-2所示。根据实测数据回归的轧制压力公式（碳钢）如下：

$$P = 4.9d_z - (78.4 \sim 98.0), \text{ 千牛}$$

2. 轴向力

轴向力可用下面经验公式确定：

$$Q = bP$$

式中 b ——系数，推荐一般取0.3~0.4，温度低、厚壁管和前进角大时取大值。

3. 导板力

根据实测数据得出的导板力 P_L 是：

$$P_L = (0.15 \sim 0.27)P$$

轧件椭圆度小时取大值。

4. 轧制力矩

轧制力矩用下式计算

$$M = [P_r b + (P_t + Q \sin \beta) D_a] / 1000, \text{ 牛} \cdot \text{米}$$

式中 D ——压缩带处轧辊直径, 毫米;

β ——前进角;

Q ——轴向力, 牛;

b ——力臂, 取等于接触面积的平均宽度 (等于 F/L ,

L ——变形区长度, F ——接触面积); 毫米;

P_t ——切向摩擦力, 等于 $P \tan \psi$, 牛;

P_r ——轧制压力, 牛;

ψ ——夹角, 由几何关系得: $\tan \frac{\psi}{2} = b/d'_z$;

d'_z ——压缩带处坯料直径。

上式仅为轧制力矩, 未考虑轴承中的摩擦力矩 M_T 。

5. 电机功率确定

$$N = (M + M_T) \omega \eta = \pi n_0 (M + M_T) / 60 \eta, \text{ 瓦}$$

式中 n_0 ——轧辊转速, 转/分;

η ——机械效率。

小型无缝钢管机组穿孔时的实际测压资料如表 4-2~4-5 所示。

表 4-2 小型机组综合测压数据

编号	钢 种	毛管尺寸 毫 米	单位压力, 兆帕			轧机辊径 毫 米
			最 大	最 小	平 均	
1	30CrMnSiA	$\phi 97 \times 6.5$	120	90	105	500
2	10, 20	$\phi 75 \times 8$	105	60	83	350
3	40	$\phi 78 \times 6.5$	110	65	88	600
4	GCr15	$\phi 101 \times 17$	—	—	142	500
5	1Cr18Ni9Ti	$\phi 83 \times 6.5$	—	—	177	500
6	Cr25Mo3Ti	$\phi 80 \times 6.5$	—	—	145	500

表 4-3 在 75 机组穿孔机上的测压资料

编号	钢 种	毛管尺寸		管坯尺寸		轧机调整					轧制压力 千牛	开轧温度 ℃	电动机 功率 千瓦	注 各
		外径 毫米	壁厚 毫米	直 径 毫米	长 度 毫米	导板距 毫米	顶头直径 毫米	顶头位置 毫米	顶头位置 毫米					
1	1Cr18Ni9	82	6.5	73	500	72	60	19	63	403~494	1180~1210	500~600	两次穿孔	
2	Cr25Mo3Ti	80	6.5	75	800	—	60	39	—	370~380	1100~1120	500~510		
3	30CrMnSiA	96.5	15	90	1100	88	60	24	78	310~340	1120~1250	450~550		
4	LS105	88	9	80	800	77	—	18	68	493~542	1150	800		
5	40	80	7	75	850	72	60	18	62	182~202	1100	320~375		
6	GCr15	101	17	95	—	94	60	27	82.5	450~560	1080~1160	690~900		
7	GCr15	108	13.5	101×17	—	99	74	36	92	250~270	1150	300~350		
8	GCr15	81	11.5	75	—	73.5	50	24	62	280~370	1150~1180	400~500		
9	GCr15	88	9	80	—	78	60	19	67	360~420	1150~1180	500~550		

表 4-4 在 100 机组穿孔机上的测压资料

编号	钢 种	毛管尺寸		管坯尺寸		延伸 系数	压带 压缩量 %	调整参数			顶制压 缩量 %	轧制压力 千牛	轴向力 千牛	轧机负荷 (电流) 安
		直径 毫米	壁厚 毫米	直径 毫米	长度 毫米			导板距 毫米	顶头直径 毫米	顶头位置 毫米				
1	45	78	6.5	80	1350	3.34	17.5	66	61	68.5	7	270~340	80~120	120~140
2	36Mn2Si	78	6.5	80	1350	3.34	17.5	66	61	68.5	7	370	—	—
3	45	94	7	90	1350	3.325	14.4	77	73	63	5.9	460~470	—	—
4	20	94	7	90	1000	3.325	14.4	77	73	63	5.9	310~390	150~170	115~130
5	20	102	10	100	—	2.72	15	85	74	—	6	410~485	110~180	140~180

表 4-5 在114机组穿孔机上的测压资料

编 号	钢 种	毛管尺寸 毫 米	管坯直径，毫米	穿后温度，℃	力 参 数											延 伸 系 数
					轧辊压力，千牛					轴 向 力 千 牛	Q/P	扭 矩，千牛·米				
					南		北		总压力 P			M _南	M _北 /P _南			
					P _入	P _出	P _南	P _北								
														P _入	P _出	
1	20	106×8	100	1240	294	122	416	228	94	302	369/388	183/200	49.9/51.5	32/29	0.076	3.09
2	1Cr18Ni9Ti	106×8	100	1210	504	186	690	408	162	570	630/658	305/340	48.4/51.7	52/49	0.075	3.09
3	17Mn25Al4	106×7.5	100	1210	520	17.3	693	448	155	603	648	339	52.4	50	0.073	3.28
4	GCr15	106×8	100	1160	272	78	350	228	63	296	323/466	181/254	56.2/56.2	23/33	0.066	3.09
5	45	107×21.5	100	1150	275	159	434	298	76	374	403/493	137/117	33.7/23.7	36/36	0.085	1.65
6	40Cr	107×21.5	110	1160	327	211	538	385	137	472	505/515	153/123	31.2/23.7	46/38	0.085	1.65
7	45	119×10.5	113	1185	359	214	573	—	182	—	—/577	255/293	44.8/50.6	52/44	0.090	2.82
8	53Si2Ti	119×8.5	115	1210	319	182	501	—	175	—	—	189	37.7	48	0.096	2.8
9	Cr18Ni12Mo2Ti	119×8.5	115	1180	541	229	770	—	231	—	—	453/420	58.9/51.8	55/61	0.072	3.42
10	Cr18Ni12Mo2Ti	113×8.5	110	1175	554	20.6	760	—	202	—	—/767	448/383	59.0/50.0	54/60	0.072	3.4
11	1Cr18Ni9Ti	113×7.5	110	1170	533	197	73	—	200	—	—/683	372/350	51.0/51.2	—/51	—	3.7
12	Cr23Ni18	113×7.5	110	1190	485	209	694	—	212	—	—	376	54.4	5.3	0.077	3.7

注: 分子表示测量起点值, 分母表示测量终点值。

七、三辊穿孔机的变形原理

1. 变形过程

三辊穿孔机的变形区是由三个旋转的轧辊组成的，其变形过程如同两辊穿孔机。在两辊穿孔机上金属横截面的变形过程是由圆变椭圆再规圆的过程，而三辊穿孔过程则是由圆到圆三角形再规圆的过程。管坯喂入轧辊后由于三个辊子同时压缩管坯，圆形截面逐渐变成圆三角形，进到穿孔段三角形趋势逐渐增大，直到展轧段为止，最终在转圆区中转圆。呈三角形程度主要决定于 D/S 比值，比值愈大呈三角形程度也愈大。这种三角形变形特点常反映在毛管尾端变形，穿孔管坯尾端时由于前进曳入力迅速减小，后滑增大，加上没有外刚端的制约，尾端受到剧烈地横向展轧。当 $D/S > 11$ 时金属很容易挤入辊缝而卡在轧辊中，形成尾三角。因此三辊穿孔机难于穿制薄壁毛管。

三辊穿孔的管坯横截面变形特点是圆三角形，这样横截面椭圆度小，顶头易对准中心。因此三辊穿轧的毛管，壁厚尺寸精度高。这是其他穿孔机无法比拟的。

2. 三辊穿孔机的运动学特点

三辊穿孔机是三个轧辊轧制金属，因而金属同轧辊的接触面积比二辊穿孔机要大得多，也就是轴向曳入力比二辊穿孔机大。加上没有导板的轴向阻力，轴向滑移系数一般比两辊穿孔机要大15~20%。穿孔时间较二辊穿孔缩短20~25%，轴向滑移系数一般在0.75~1.1之间。变形区中存在着前滑区。

3. 三辊穿孔机的咬入条件

三辊穿孔机的一次咬入条件较二辊穿孔机有别。这是由于轴向曳入力大和摩擦旋转力矩大的缘故。对于二次咬入，虽然曳入力 T_z 、摩擦力矩 M_T 也大，但由于在三辊穿孔机上穿孔时顶头鼻部阻力 Q' 较二辊大（应力状态影响），因此二次咬入条件并不一定比二辊好。由于顶头鼻部阻力 Q' 大，穿轧过程对钢温变化、辊面状况以及顶头形状等反应极为敏感。为了保证穿孔过程稳定，一般三辊穿孔机都选用较大的顶头前压缩量，多为8~

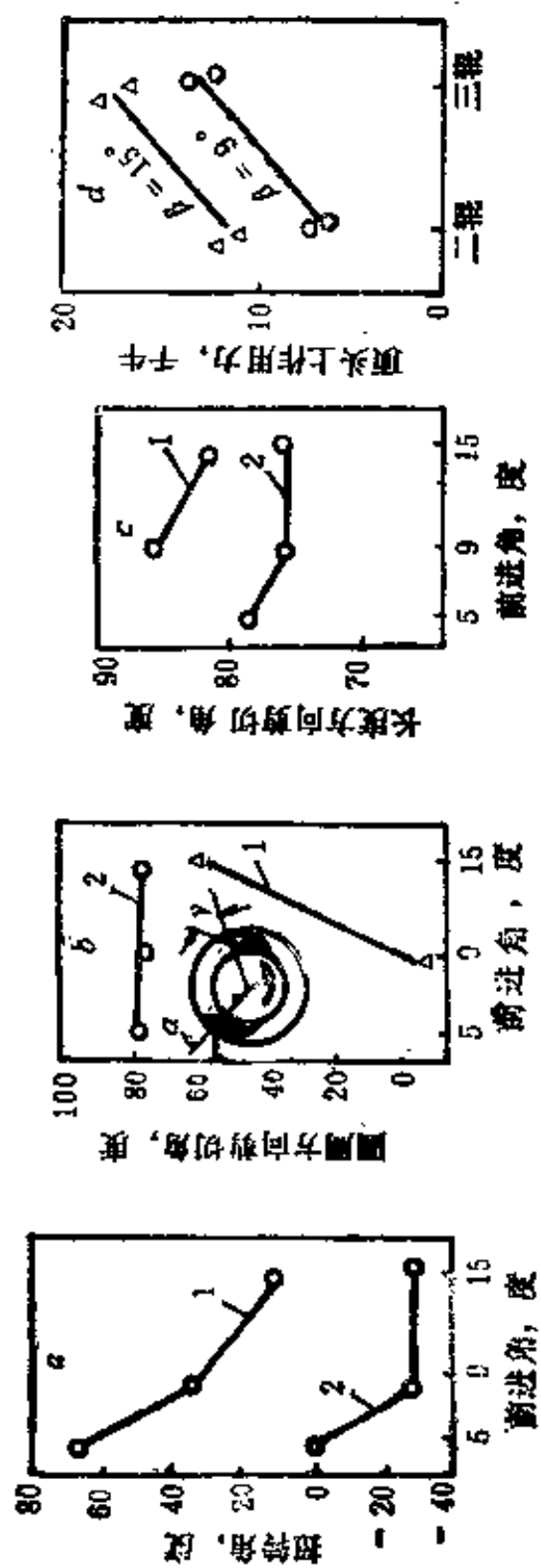


图 4-16 二、三根穿孔机附加变形的比较

1—三根; 2—二根

12%。三辊穿孔机选取较大的顶头前压缩量对毛管质量不会带来影响，这是因为三辊穿孔不易产生孔腔。

4. 三辊穿孔的附加变形

图4-16为二辊穿孔与三辊穿孔时所产生的附加变形的比较。

由图可以看出，三辊穿孔机和二辊穿孔机一样，扭转附加变形随着前进角的增加而减小。但三辊穿孔是正扭转，二辊穿孔是反扭转，且三辊穿孔时的扭转角比二辊大。至于圆周方向上的附加剪切变形，二辊比三辊大。三辊穿孔随着前进角的增加，周向剪切变形显著增大；二辊穿孔时则不明显。纵向（长度方向上）附加剪切变形也是三辊大，且随着前进角的增加而减小。

5. 三辊穿孔机上轧制实心管坯的变形和应力状态分析

实验和实际生产证明，在三辊穿孔上穿孔时不产生管坯中心破裂（形成孔腔），因而用三辊穿孔机穿孔毛管可以获得高的内表面质量，同时对管坯的内部质量也要求不高。这是因为在三辊穿孔机上斜轧实心管坯时金属中心区的变形和应力状态与二辊穿孔有着本质的区别。至于如何分析三辊穿孔不易形成孔腔的机理，由于对三辊穿孔的理论研究较少，目前还没有一种确切的结论，大致有如下看法。

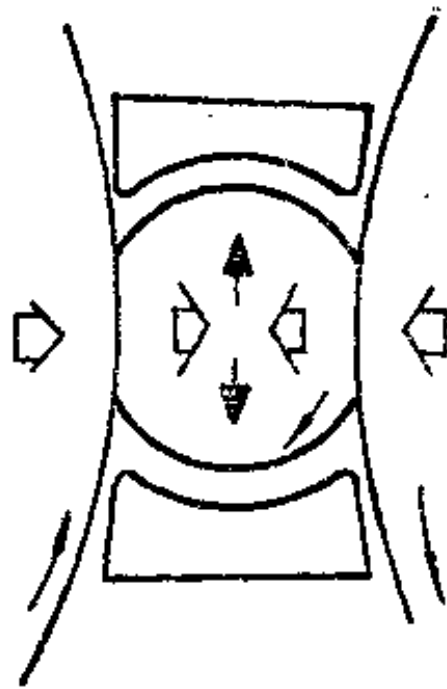


图 4-17 二辊穿孔时的压应力和拉应力交替作用图示

有人认为，在两辊穿孔机上轧制圆管坯时，由于存在着压缩应力和拉应力的交替作用（图4-17），所以容易形成孔腔，而三辊穿孔时仅存在压缩应力，没有拉应力，所以不易形成孔腔。

有的分析认为，二辊穿孔机上穿轧管坯时，管坯中心受外力相互剪切作用，而造成中心破裂，其力学分析图示如图4-18， a 。在轧辊进口锥管坯受轧辊压缩而产生轧制压力 P_1 、 P_2 和轧辊旋转对管坯产生的摩擦力 F_1 和 F_2 ，由于合力 R_1 和 R_2 在理论上应该相等、相互平行且方向相反，合力 R_1 和 R_2 的相互剪切作用，将把管坯中心区连续地撕裂而形成孔腔。而在三辊穿孔情况下合力 R_1 、 R_2 和 R_3 永远不能平行，从而坯料中心不可能产生剪切力，不能形成孔腔（图4-18， b ）。

这两种分析虽然都是粗浅的，但我们可以得到启示：三辊穿孔和两辊穿孔时变形的不同点就在于横向变形有显著的差异。尽管在三辊穿孔机上还可能存在金属横向扩展（横向变形），但由于三个轧辊彼此成 120° 角安放，轧辊从三个方向阻止金属横向流动，所以横向扩展很小，于是由横向扩展引起的横向拉应力也大为减小。在三个轧辊共同压缩下坯料中心径向和横向的基本应力及附加应力组成的实际合成应力显然仍为压应力。这个实际合成应力难于使金属达到屈服条件而产生塑性变形（或很小的塑性变形）。这样，产生管坯中心破裂的必要条件不存在，同时由于横向不存在拉应力，那么中心破裂的充分条件也不具备了。

通过两辊和三辊斜轧变形状态（滑移线分布）实验证明，两辊轧制情况下滑移线发展到管坯的中心，管坯中心区产生强烈的塑性变形，而三辊轧制情况下管坯中心不产生塑性变形（或很小），从而也就不易产生中心破裂。

在108三辊穿孔机上的生产性试验证明，用三辊穿孔时不形成孔腔。即使本身有中心疏松和缩孔的管坯（指圆铸坯），穿孔后也不形成内折形式的缺陷。资料^[11]认为三辊穿孔是在没有孔化（疏松）作用下实现的。

不过，三辊穿孔时金属的破裂可能发生在一个环形区中，这

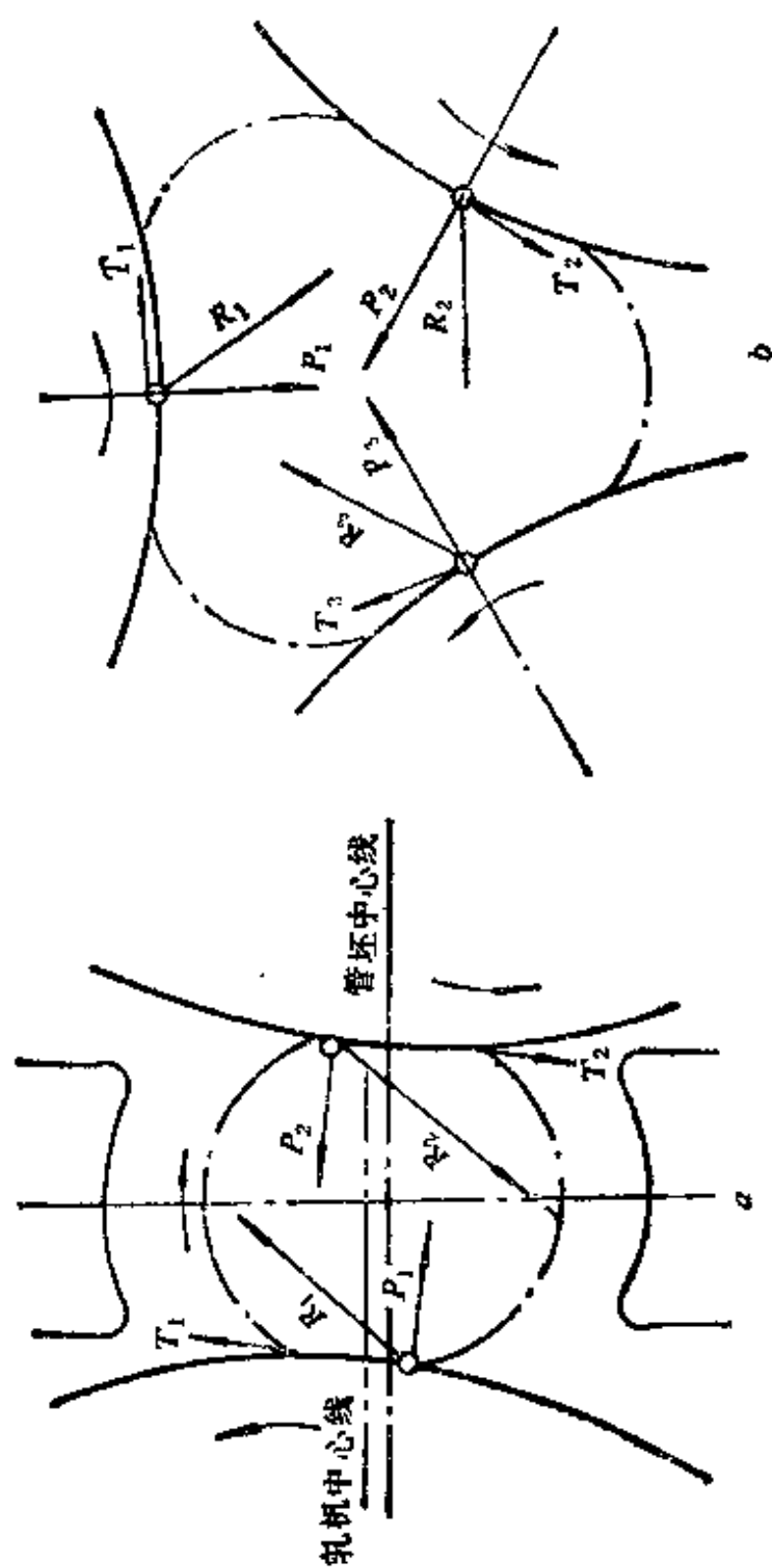


图 4-18 二、三辊穿孔时受力状态的比较

个环形区相当于滑移线最密集区（如图4-19所示）。因此在三辊穿孔机上当压缩量大到一定值时可能产生环形破裂，而造成离层缺陷。

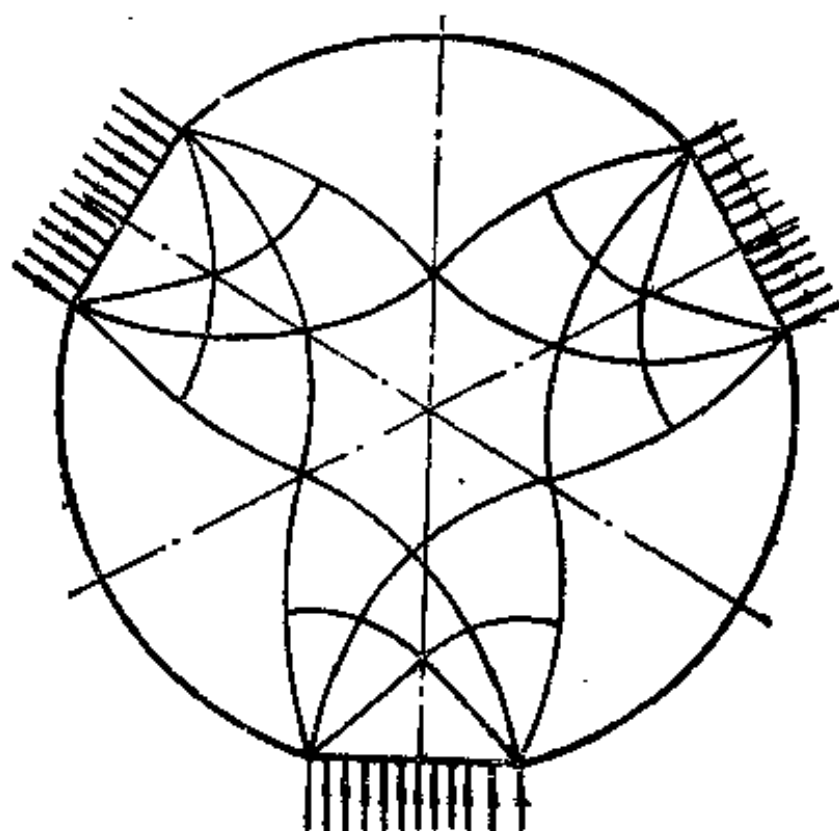


图 4-19 三辊穿孔时的滑移线分布

二辊和三辊穿孔时变形和应力状态的不同点（中心区）在于：1）在三辊轧机上金属变形状态为两向压缩一向延伸；在二辊轧机上变形状态则为一向压缩两向延伸；2）在三辊轧机上应力状态为两向压缩一向拉伸（轴向）；3）在二辊轧机上应力状态则为一向压缩两向拉伸。

八、导盘穿孔机的变形原理

带导盘的穿孔机分为单导盘穿孔机和双导盘穿孔机两种。

双导盘穿孔机的特点在于，采用两个主动旋转的导盘，由两个导盘和两个轧辊构成变形区，从而变形区是对称的。双导盘穿孔机是一种高效能轧机，由于有两个导盘拉着管坯轴向运动，速

度效率较高。轴向滑移系数一般为0.81~0.93。

双导盘穿孔时导盘和轧辊同时参与金属压缩变形,因此应力状态以三向压缩应力为主,同时轧件在变形区中的椭圆度也较小,甚至可以接近1。因此用双导盘穿孔机穿轧毛管时管坯中心不易产生孔腔,提高了毛管内表面质量,扩大了可穿钢种范围并可穿轧连铸坯。顶头在变形区中易对准中心,穿出的毛管壁厚尺寸精度较高,同时由于没有导板刮伤,外表面质量好。双导盘穿孔机的轴向曳入力较大,从而前进咬入条件好,但导盘旋转阻力矩大,对旋转条件不利。

提出单主动导盘斜轧穿孔法的着眼点在于改造旧的曼氏穿孔机,特别是我国为数众多的76机组穿孔机,使它们提高生产水平。因为在旧的曼氏穿孔机上只改造机器上盖即可,投资仅需5万元,而采用三辊穿孔机、双导盘穿孔机、菌式穿孔机是彻底更新设备,投资是单导盘穿孔机的10倍以上。

生产实践证明,单主动导盘斜轧穿孔工艺,在产品产量、质量和可穿钢种的范围上均可和上述三种穿孔工艺相媲美,而且设备结构较简单,且可穿制薄壁毛管。与旧的带双导板的曼氏穿孔机相比,则优点更为明显,如表4-6所示。由表可以看出,单导盘穿孔的各方面技术经济指标比导板穿孔好:穿孔机单机产量提高10%以上;毛管质量得到改善,内折叠缺陷和导板刮伤显著减少;毛管尺寸精度和表面质量好,使冷拔管成品切头尾减小,废品减少,从而提高了成材率;热轧工具消耗(主要是导板消耗)低(一个导盘可使用4个月);降低穿孔电耗等。

下面着重介绍单导盘穿孔法的一些基本理论。

1. 单导盘穿孔法的简单原理

这种穿孔法的原理是:由一个主动旋转的导盘和两个同向旋转的轧辊,加上一个下导板构成一个封闭的变形区。在变形过程中导盘和轧辊给予轧件作用力,而下导板仅起限制横向变形和导向作用。当使用上轧制线时变形特点为三点轧制。导盘主动给予金属径向压缩作用,且由于导盘速度大于轧件的轴向运动速度,导盘

对金属又产生轴向拉力，从而导盘的作用是又拉又轧。由于一个导盘和导板相对应，在导盘方向与导板方向上金属的变形不同，因而变形特点又是不对称轧制。以上变形特点决定了单主动导盘斜轧穿孔工艺的的优点，如导盘对轧件旋转阻力减小（与双导盘相比），加上导盘的拉力作用致使穿孔效率提高，且有利于咬入和防止轧卡。三点轧制加上导盘径向压缩作用，使顶头易对准中心，提高毛管尺寸精度并且可减少形成孔腔的趋势，防止产生内折叠缺陷。变形的不对称性既利于提高金属穿孔性能又可减小顶头阻力（与三辊穿孔相比）。由于变形区是半封闭的，加上导盘的轴向拉曳作用，有利于穿轧薄壁毛管。以上的原理分析已被科学试验和生产实践所证明。

表 4-6 导板穿孔和单导盘穿孔的技术经济指标

穿孔方式	速度效率 η_0	毛管尺寸 毫米		毛管尺寸精度 毫米		穿孔性能	
		外径	壁厚 (最小)	壁厚差	外径差	临界压下 %	椭圆度 系数
导板穿孔	0.65~0.78	77	6	0.5~1	<1	18	1.1~1.23
单导盘穿孔	0.8~0.92	77	3.8	0.3~0.8	<1	22	1.03~1.2

穿孔方式	工具消耗		废品数量 吨/月		冷拔管切尾长度 (平均), 毫米	
	导 盘 个/月	导 板 个/班	内折叠	表面刮伤	切 头	切 尾
导板穿孔		0.5~1	0.39	0.63	350	150
单导盘穿孔	0.187~0.25		0	0	200	100

为了合理地调整变形区尺寸，导盘位置是可调整的。导盘的位置调整有高度调整、侧向调整和轴向调整。

导盘吊架是装在机架上盖上的，这样便于更换。一般应做两个机架上盖，这样可以互换使用，显著地缩短换导盘时间，提高作业率。

导盘的高度调整距离为80毫米，侧向调整距离为 ± 20 毫米，轴向调整距离为 $\pm 10 \sim 15$ 毫米（76机组）。

2. 单主动导盘穿孔机上穿孔的变形特点

(1) 单主动导盘穿孔机上穿制毛管的宏观变形

在 $\phi 76$ 毫米的辊斜轧穿孔机上进行过带单主动导盘和上下导板穿孔的对比试验。图4-20示出了在两种型式穿孔机上轧件在变

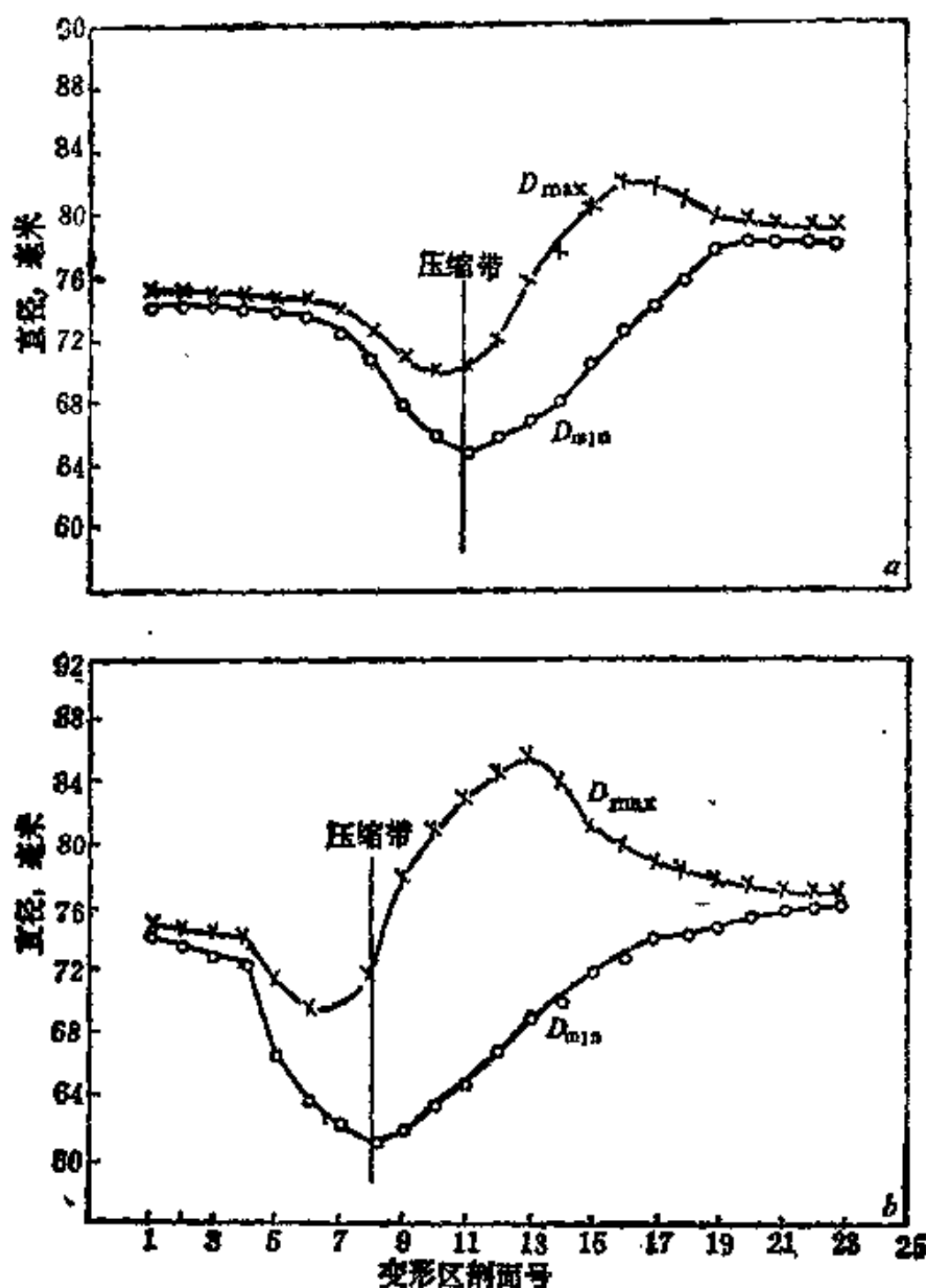


图 4-20 a—单导盘穿孔机；b—双导板穿孔机

形区中的几何尺寸变化规律。由图可以看出，轧件最小外径 $D_{\min}$ 受轧辊间距的控制，在导盘—导板方向上，虽然轧辊间距调整相同，但轧件最大外径 $D_{\max}$ 对两种形式的穿孔机却有较大的不同，在轧辊压缩带前后（即在导盘接触区中）最为明显。可以看出，导盘限制轧件的横变形比导板要大得多，而且导盘对轧件还产生压缩变形，从而穿孔时轧件椭圆度要小得多。

观察 $\phi 40$ 毫米管坯穿孔轧卡试样（图4-21），可发现单导盘穿孔的轧件在变形区中有明显的不对称性，不对称程度，决定于轧制线。采取下轧制线时，不对称性减小，同时导盘限制椭圆度和径向压缩作用也减小。

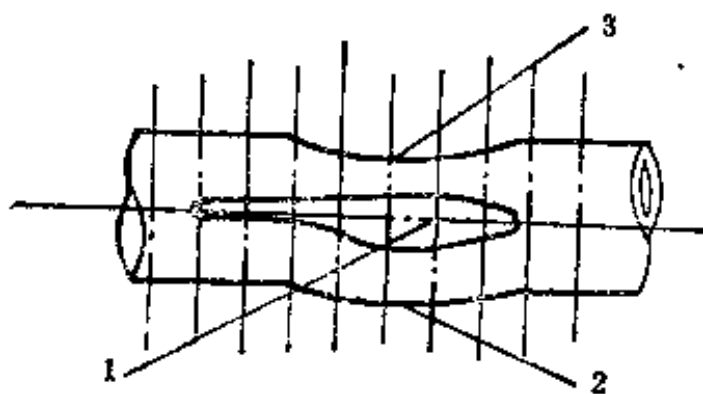


图 4-21 在变形区中变形的不对称性

1—轧辊作用区；2—导板作用区；3—单导盘作用区

导盘作用大时，在顶头前导盘作用区中轧件的椭圆度很小，接近于1，如图4-22所示。

为了进一步证明导盘的径向压缩作用，制作了特殊的同心环试样（图4-23）。同心环试样轧卡后，测量各环之间间隙值。图4-24为沿导盘—导板方向各层间隙的变化。由图中可看出，间隙值沿变形区长度上分布是很不均匀的。在试件未和导盘接触前，层间间隙增大得很显著；和导盘接触后由于导盘径向压缩作用，间隙值显著下降到顶头前降至为零。

图4-25为同心环的椭圆度变化曲线。由图可以看出，轧件和导盘接触前，各同心环的椭圆度随着直径压缩量的增加而增大，到和导盘接触后椭圆度则随着压缩量的增加而减小。这些试验充

分证明了导盘的缩径作用。

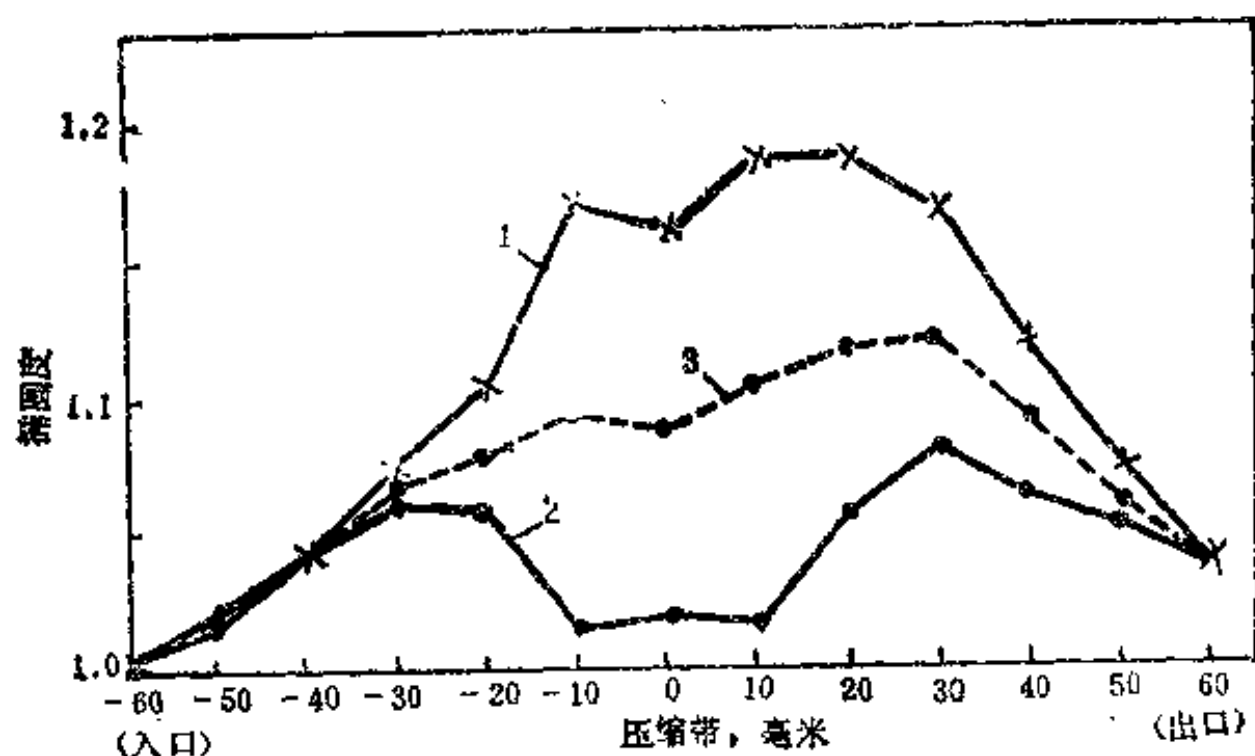


图 4-22 在导盘作用区和导板作用区轧件的椭圆度分布
(顶头 $\phi 28$ 毫米; $\beta = 12^\circ$)

1—导板作用区; 2—导盘作用区; 3—椭圆度平均值

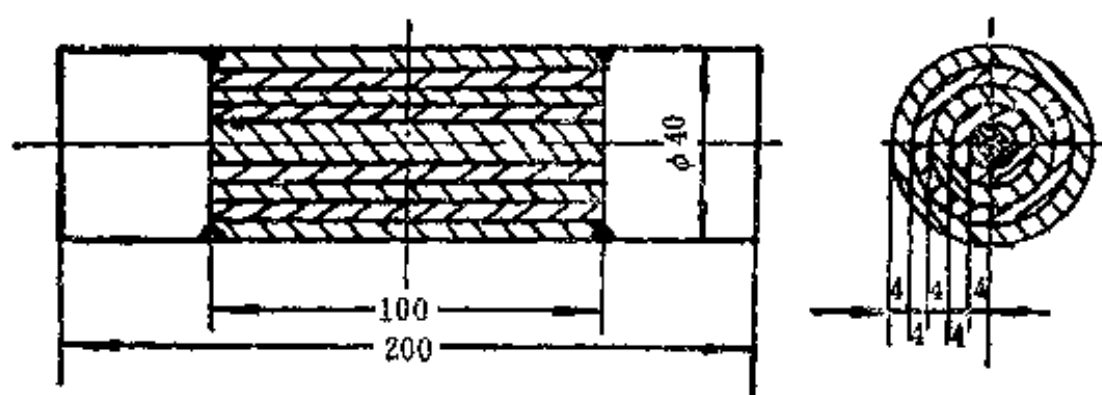


图 4-23 同心环试样

(2) 产生导盘径向压缩的受力分析

单导盘穿孔机以主动旋转的导盘取代了固定不动的上导板, 而且导盘的圆周速度大于轧件的轴向前进速度, 因而导盘对轧件施加了一个曳入摩擦力 T' (见图4-26), 将导盘对轧件的合力 P_e 分解到轧件的轴向和径向。可以看出, 导盘对轧件不仅产生一个积极的轴向曳入力, 而且对轧件将产生一个较大的径向压缩

变形力。轴向曳入力将导致提高轴向滑移系数。

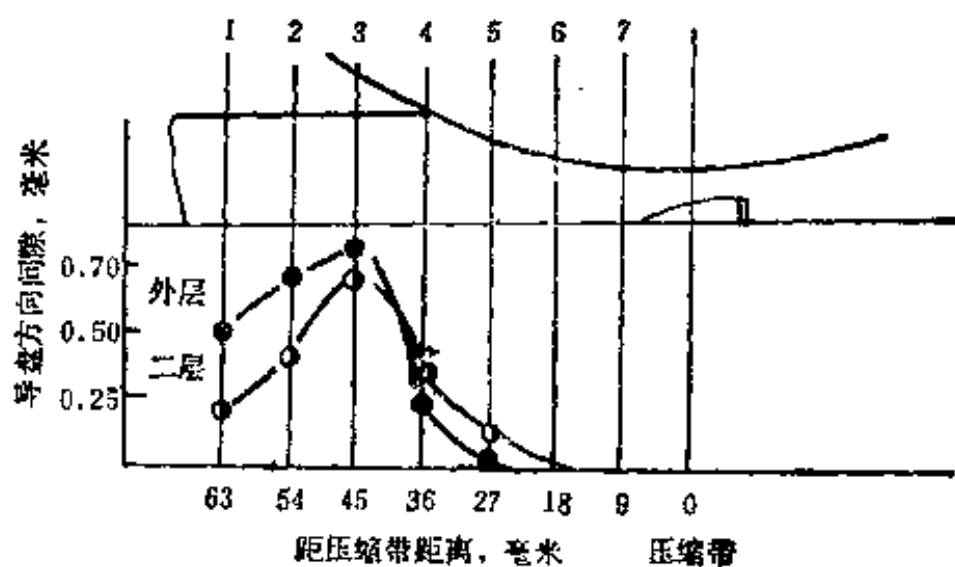


图 4-24 导盘方向上环间间隙的变化

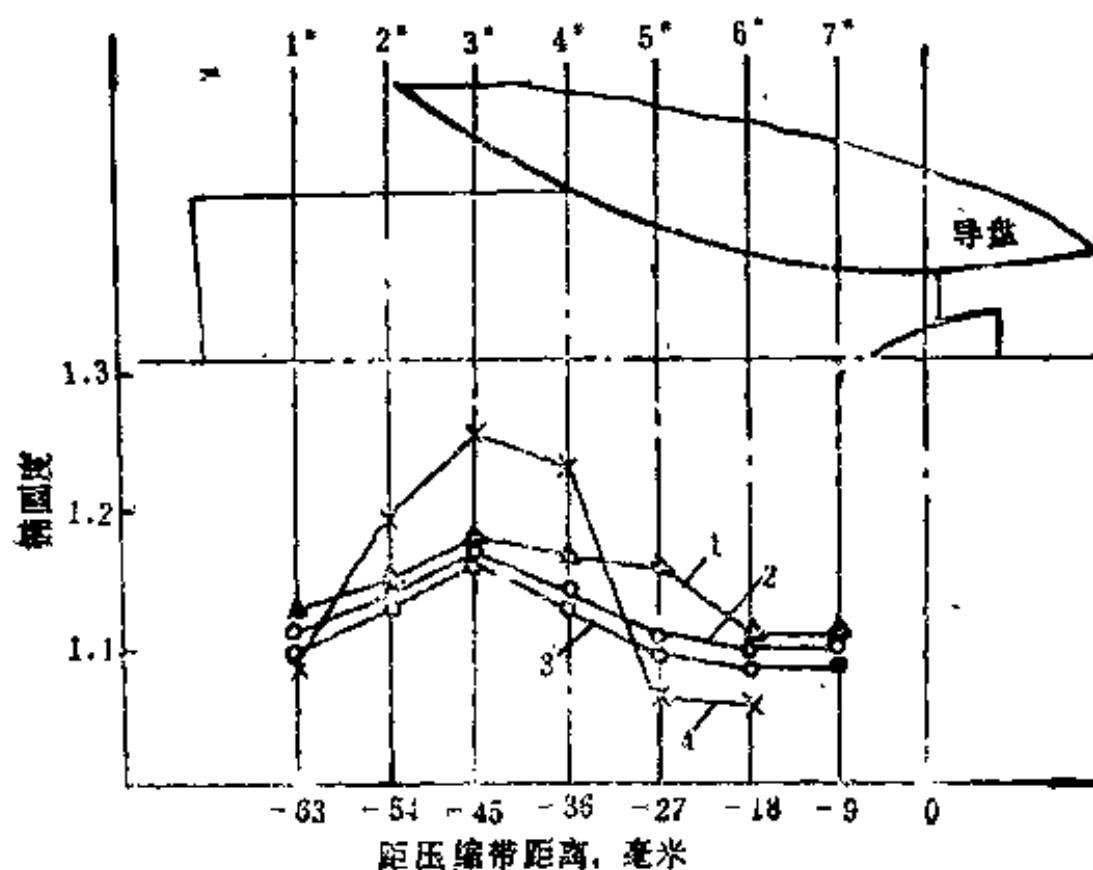


图 4-25 各同心环沿变形区长度上的椭圆度变化

1—三层；2—二层；3—表面层；4—四层

(3) 对孔腔形成的影响

由以上变形和受力分析得出，在带导盘的穿孔机上穿孔圆管

坯时，不易产生孔腔的原因可归纳如下：

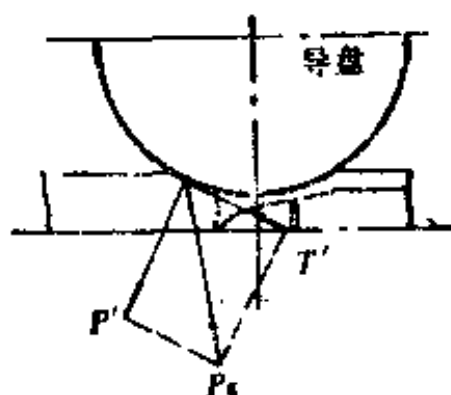


图 4-26 导盘对轧件的径向压缩（轧制）力

1) 导盘对管坯的径向压缩作用，减小了导盘方向上的横向拉应力，甚至在椭圆度很小的情况下，变拉应力为压应力。

2) 导盘压缩金属和导盘的轴向拉力作用，减小了变形区中轧件的椭圆度，从而也减小了横向拉应力。

3) 导盘的曳入作用，减小了轴向滑移，从而减小了顶头前实心管坯的反复压缩次数，导致拉应力积累减小。

实验证明了上述结论。图4-27为轧卡试样剖面的低倍组织。在70~90倍显微镜下和肉眼观察发现，导板穿孔机轧卡试样（图4-27, a）上，于顶头鼻部前2~5毫米处已有大量宏观裂纹产生，其他部位疏松状态也较严重。导盘穿孔机轧卡试样（图4-27, b）仅有一些很轻微的中心疏松出现，未发现裂纹。在正常工艺条件下进行了各种工艺参数和不同钢种的穿孔试验，很少发现内折缺陷。

（4）对轧薄的影响

单导盘穿孔机可以穿制薄壁毛管，其原因是：一方面导盘的轴向拉力有利于金属纵向延伸变形；另一方面由于总摩擦力 T_r 的方向改变，轧薄壁毛管时不易钻入导盘—导板和轧辊间的缝隙中，防止出链带。生产实践证明，单导盘穿孔机可以穿制 $D/S > 20$ 的毛管。

（5）对提高毛管壁厚尺寸精度的影响

带主动导盘的斜轧穿孔机可获得较高壁厚精度的毛管，这也

是由于变形区中轧件椭圆度小，加上导盘对轧件的压缩作用，导致顶头易对准中心，顶头不易上下串动。通过统计资料得出，毛管壁厚不均匀度一般均在11%以下。

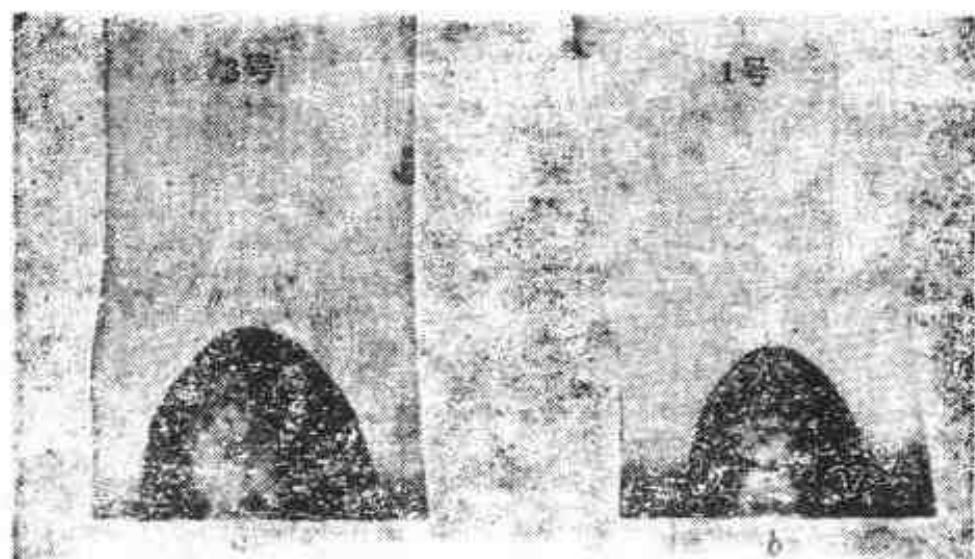


图 4-27 轧卡试样的纵向剖面低倍组织

a—导板穿孔卡样；b—单导盘穿孔卡样

3. 单导盘斜轧穿孔机运动学分析

合理地确定导盘速度成为单主动导盘的穿孔机的关键问题之一，这方面的研究工作还是一个空白。国外在其他型式的导盘轧机上做过一些理论分析和试验研究工作。B.Я.奥斯特连柯认为，在双导盘延伸机上导盘的线速度和轧辊圆周速度的比值 (V_d/V) 应在3~3.6之间。И.Н.波特波夫提出，在单导盘延伸机上这个比值应在3.4左右。西德曼氏公司在双导盘斜轧穿孔机上的试验数据表明，当导盘线速度和轧件轴向出口速度的比值 (V_d/U) 在2.5左右时速度效率达到最高值。由上述数据可以看出，这些速度比值相差可达10倍左右，出入是相当大的。

为了分析和探讨主动导盘和轧件的速度关系，尤其是单导盘线速度和轧件间的速度关系，我们进行了试验研究和理论分析。

(1) 速度分析及导盘对轧件产生的摩擦力

导盘和导板对轧件的作用和摩擦力如图4-28所示。在使用导板情况下，由于导板固定不动，所以总摩擦力 T_R 方向为轧件运动

的相反方向, T_R 为轧件螺旋运动的阻力, T_R 分解到轴向和切向均为阻力。在主动导盘下, 由于导盘的圆周速度大于轧件的轴向速度, 此时 T_R 方向改变, 和导盘和轧辊相对速度的方向相反。

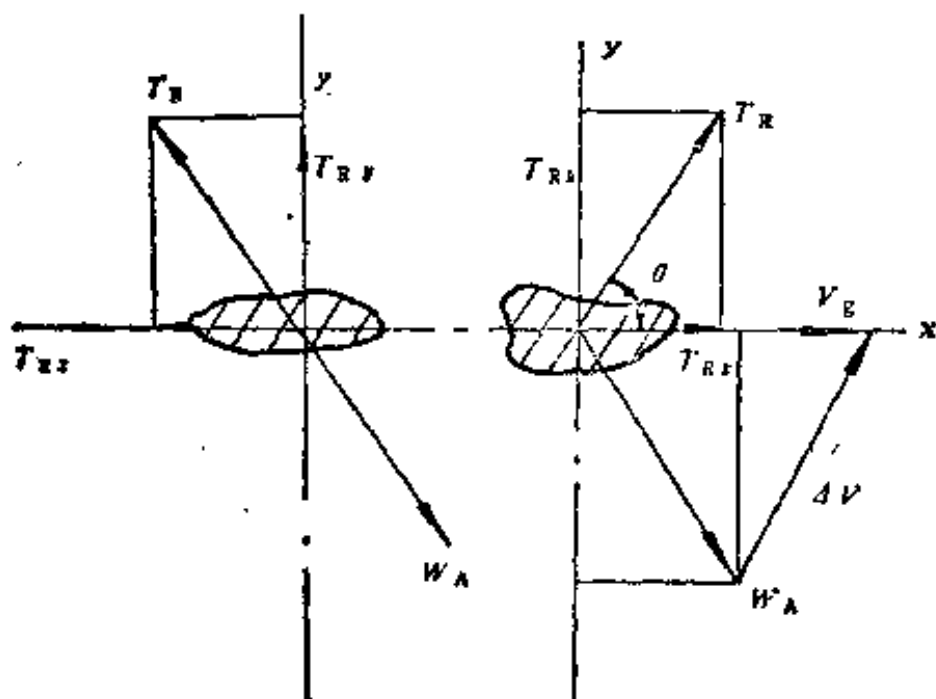


图 4-28 速度分析图

摩擦力的方向角 θ 用下式计算:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{V}{V_R - U}$$

式中 V ——轧件切向旋转速度;

V_R ——导盘圆周速度;

U ——轧件轴向前进速度。

$$\therefore \operatorname{tg} \theta = \frac{\eta_r \operatorname{ctg} \beta}{\eta_o \left(\frac{V_R}{U} - 1 \right)}$$

式中 η_o 、 η_r ——轴向和切向滑移系数。

$$T_{Rx} = P_z f_z \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\operatorname{ctg} \beta \frac{\eta_r}{\eta_o \left(\frac{V_R}{U} - 1 \right)} \right]^2}}$$

式中 P_z ——导盘上的正压力;

f_g ——轧件与导盘间的摩擦系数；

V_g/U ——拉速比；

β ——前进角。

由 T_{Rx} 公式可看出， V_g 值愈大则 T_{Rx} 值愈大。由于 T_{Rx} 为动力，这样 T_{Rx} 愈大则轧件轴向速度值愈大。一些研究者由此而导出相当高的导盘速度是不对的。

(2) 最佳拉速比

生产实验证明，导盘速度对穿孔速度效率（轴向滑移系数）的影响是显著的。随着导盘速度上升轴向滑移系数增加，当增加到一定值后不再增加，曲线呈平滑状态，如图4-29所示。

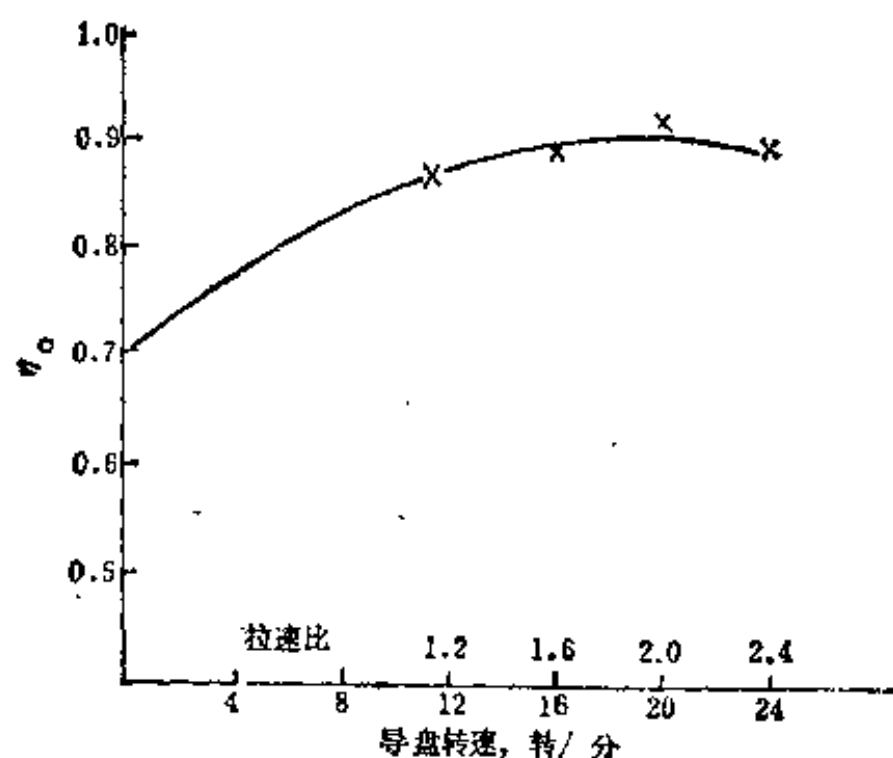


图 4-29 最佳拉速比

实验室试验中拉速比的变形范围是1.21~2.49，对于76机组穿孔机最佳拉速比在2左右。最佳拉速比波动范围不大，这是因为生产中管坯直径相同，倾角固定不变为 8° 以及毛管外径和壁厚变化范围不大。当前进角变化在 $8^\circ \sim 15^\circ$ 间，穿制不同毛管外径和壁厚时最佳拉速比取值范围在1.5~2.2之间。

在工业试验中最佳拉速比情况下与空转导盘（拉速比为1）相比，其 η_0 值提高22%，一般情况下均可提高穿孔速度10~

15%。

存在着最佳拉速比，这是因为当拉速过大时，导盘与轧件相对滑动速度过大，而导致 f_x 下降，从而 T_{Rx} 不再增加，甚至稍有降低。因此选择太高的导盘转速对提高穿孔速度是无用的，相反会造成电耗增加。

4. 单导盘斜轧穿孔的力能参数

(1) 拉速比对力能参数的影响

图4-30示出了拉速比（导盘转速）对主电机功率、轧制压力和轴向力的影响（正常生产规格下）。由图可以看出随着拉速比增加，力能增加，增加到一定值后呈饱和状态。这是由于穿孔速度不再增加了，这和 V_x/U 与 η_0 的变化规律是一致的。

(2) 拉速比对导盘传动扭矩的影响

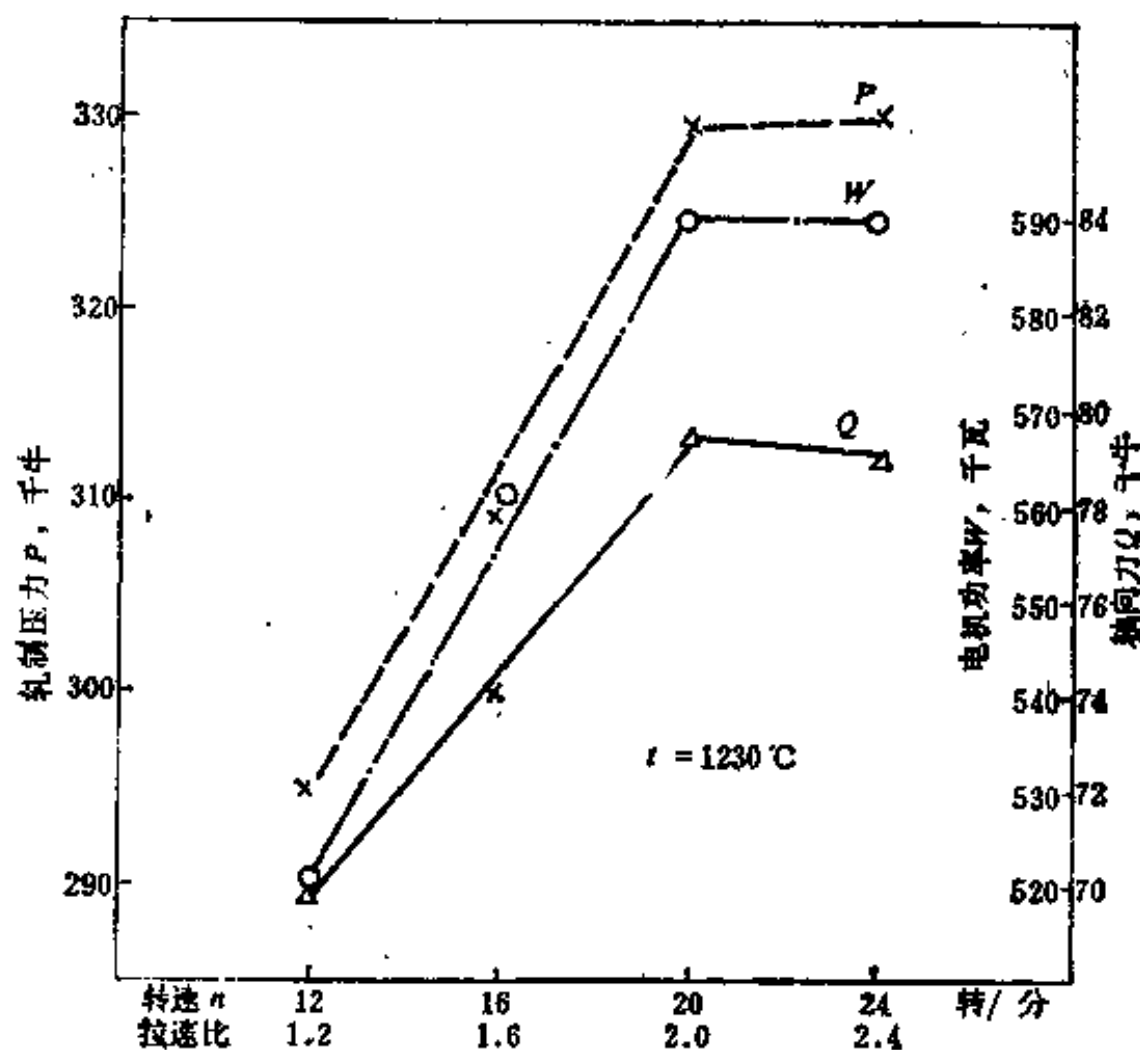


图 4-30 拉速比对轧制压力、轴向力和电机功率的影响

图4-31示出了拉速比和导盘传动扭矩的关系，拉速比加大，则 M_d 增大，而且不存在饱和状态。这说明，取过大的拉速比不会提高穿孔速度，相反导致导盘传动功率增加，能耗增加。因而在生产中确定好最佳拉速比是重要的。应当指出，生产中轧辊直径、导盘直径是变化的，因而为了在最佳拉速比下穿孔，导盘转速要进行调整。

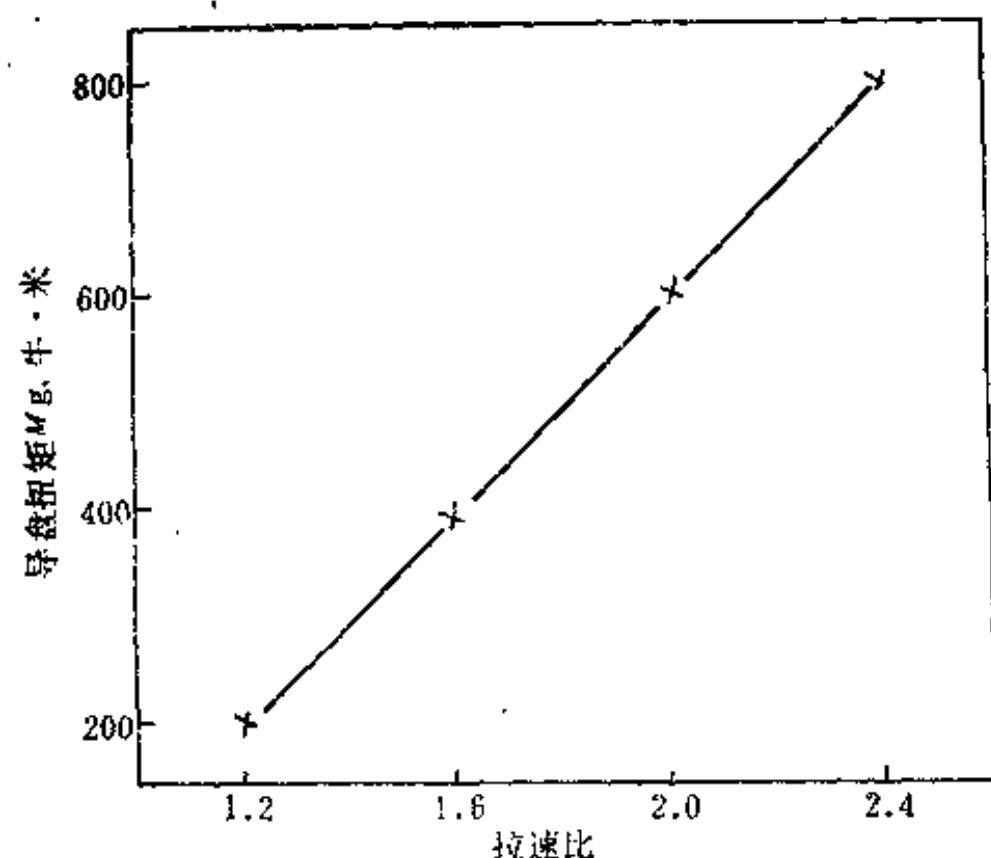


图 4-31 拉速比和导盘扭矩的关系

(3) 温度对力能参数的影响

表4-7示出了穿孔温度对力能参数的影响。

由表可以看出，温度对力能参数的影响是较大的。穿孔后毛管温度低 $80\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，则功率增加约100千瓦左右（平均值），轧制压力增加60千牛（平均值）。

拉速比由1.2增至2.4，功率增加约70千瓦，轧制压力值增加约40千牛，轴向力增加约10千牛。

(4) 导盘穿孔与导板穿孔的轴向力比较

图4-32示出了两种穿孔方式的轴向力比较值。由图可以看出

导盘穿孔时轴向力约高20%。

表 4-7 穿孔温度对力能参数的影响

力能参数	穿孔后毛管温度 为1230℃左右	穿孔后毛管温度 为1150℃左右	备 注
功率, 千瓦	500~700	540~700	导盘转速 12转/分
轧制压力, 千牛	265~315	300~400	毛管尺寸
轴向力, 千牛	65~85	90~110	$\phi 77 \sim 78 \times 6 \sim 6.5$ 毫米

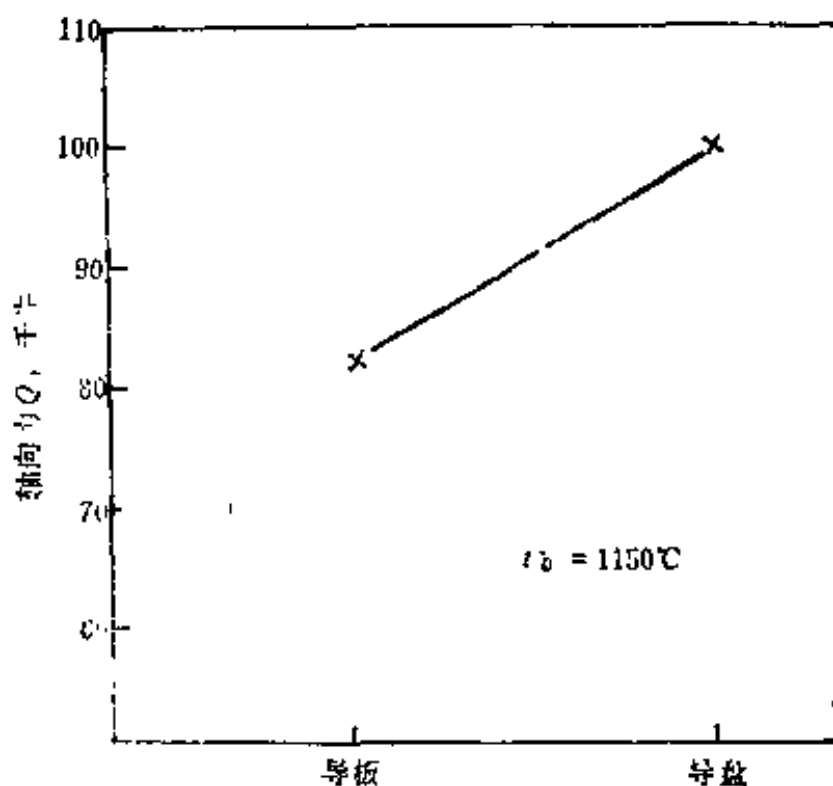


图 4-32 轴向力比较

(5) 其他力能参数

穿孔机轧辊进出口侧轧制压力的比值 (P_1/P_2) 在正常生产条件下一般波动在1.5~1.75。穿薄壁毛管时比值较大, 这是由于顶头位置过分靠前造成的。

正常生产下轧辊传动扭矩一般都在21~25千牛·米。

导盘传动功率一般在1.5~2.5千瓦, 在导盘 12转/分 下轧卡时, 导盘传动功率为14.8千瓦, 传动扭矩约10千牛·米。

金属和轧辊的接触面积如图4-33所示。和轧辊接触面积一般在5000平方毫米左右，平均单位压力（钢10）为60~80兆帕。轧管机轧制压力一般波动在160~200千牛。

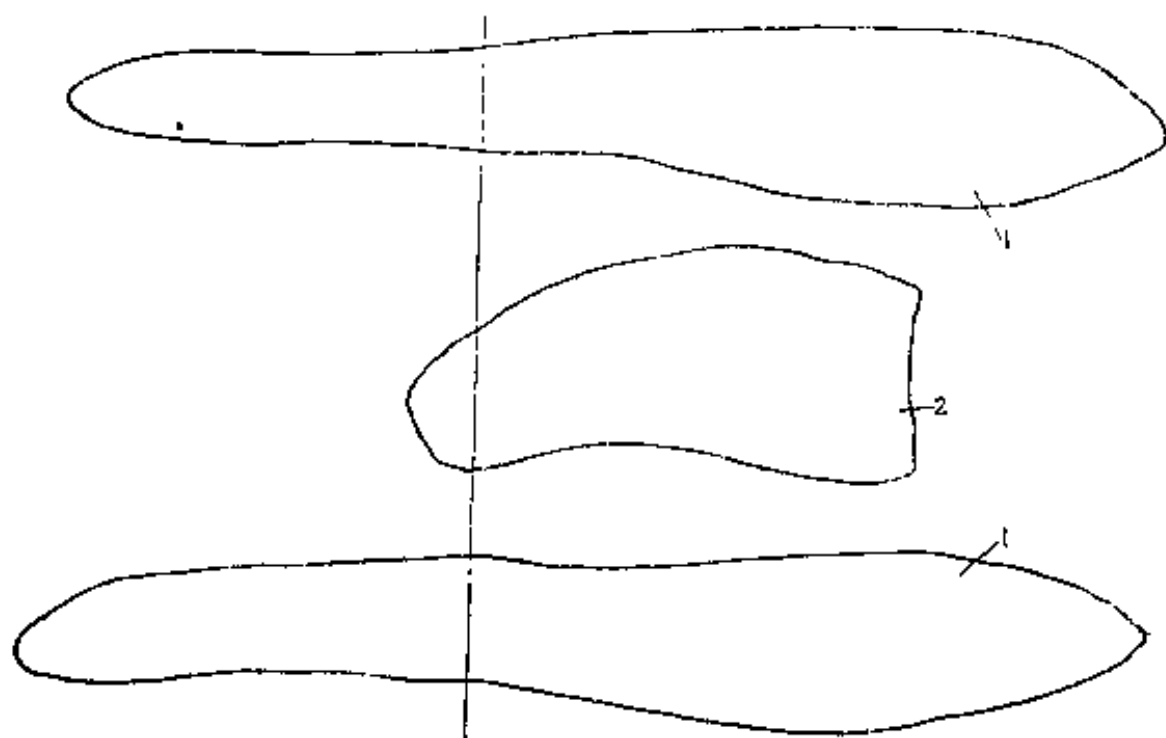


图 4-33 单导盘穿孔时金属与轧辊和导盘的接触面积
1—和轧辊的接触面积；2—和导盘的接触面积

（6）变形量对力能参数的影响

毛管壁厚与力能参数的关系如图4-34所示。由图可以看出随着毛管壁厚减小，轧制压力 P 、主电机功率 W 和扭矩 M 均增加， Q/P 比值却减小。 Q/P 比值减小，说明穿制薄壁毛管时轴向力增加值是比较小的（当然和顶头位置向前调也有关）。

九、菌式（锥形辊）穿孔机的变形原理

菌式穿孔机的轧制过程如图4-35所示。轧辊为锥形辊，在水平面内轧辊轴与轧制轴相交角度为前进角 β ，在垂直平面内轧辊轴与轧制轴构成一个展轧角 γ 。导向工具可用导盘或导板，锥形辊的锥底在出口方向。因此轧辊圆周速度由进口到出口是逐渐增加的，这样的轧辊运动速度和轧件运动速度更为协调，从而可以减小轴向滑移，可以减小周向附加剪切应力，最终使毛管内外表面缺陷显著减少。据苏联资料报导，内外折叠缺陷可减小80%，因

此它适用于穿制合金含量较高的钢种，有代替管材挤压工艺的趋势。

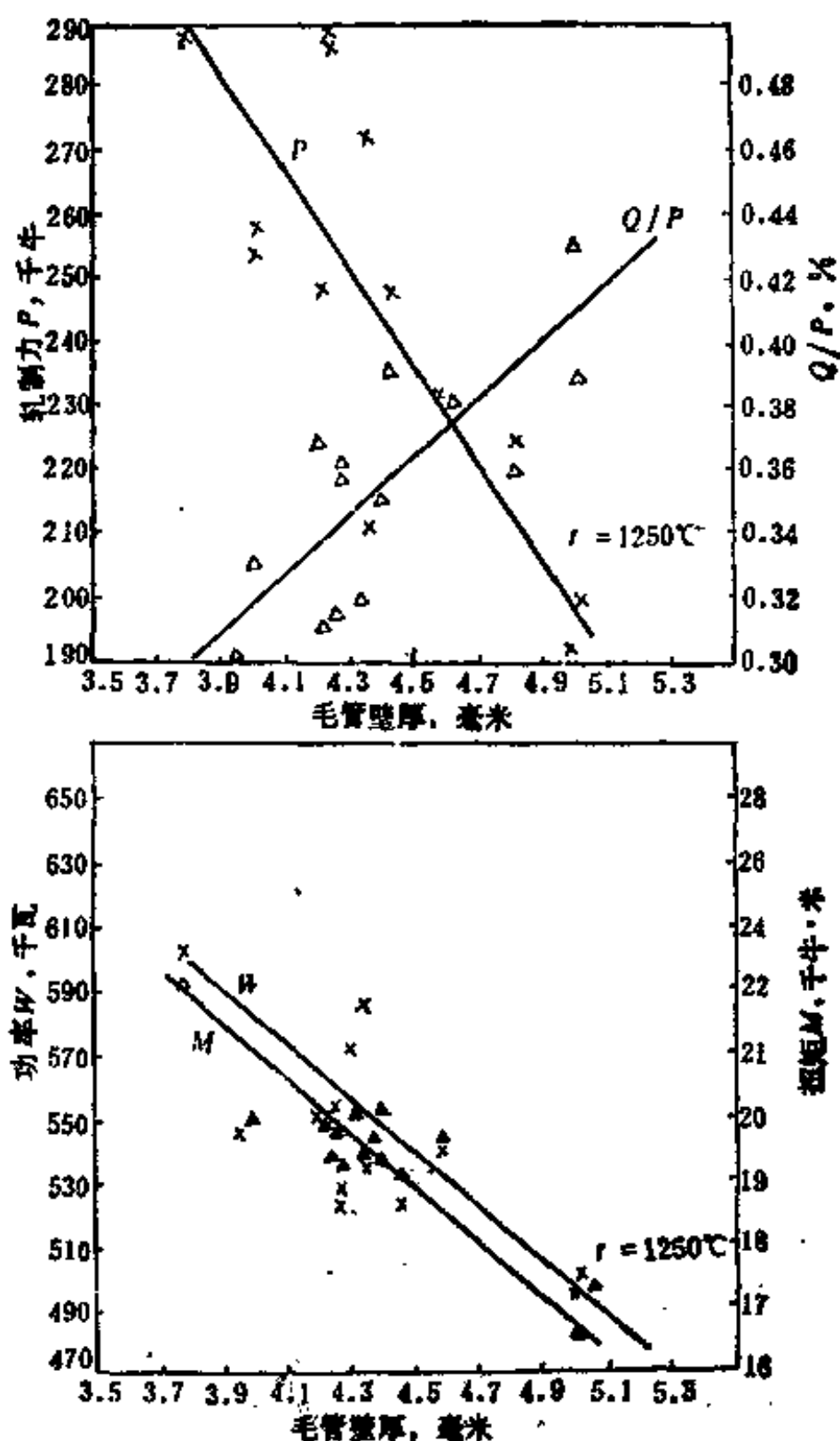


图 4-34 毛管壁厚与力能参数的关系

日本住友金属对菌式穿孔机进行了大量的基础研究，现介绍

如下。

1. 前进角 β 与展轧角 γ 对金属机械性能的影响

图4-36示出了不同前进角和展轧角对金属机械性能的影响。

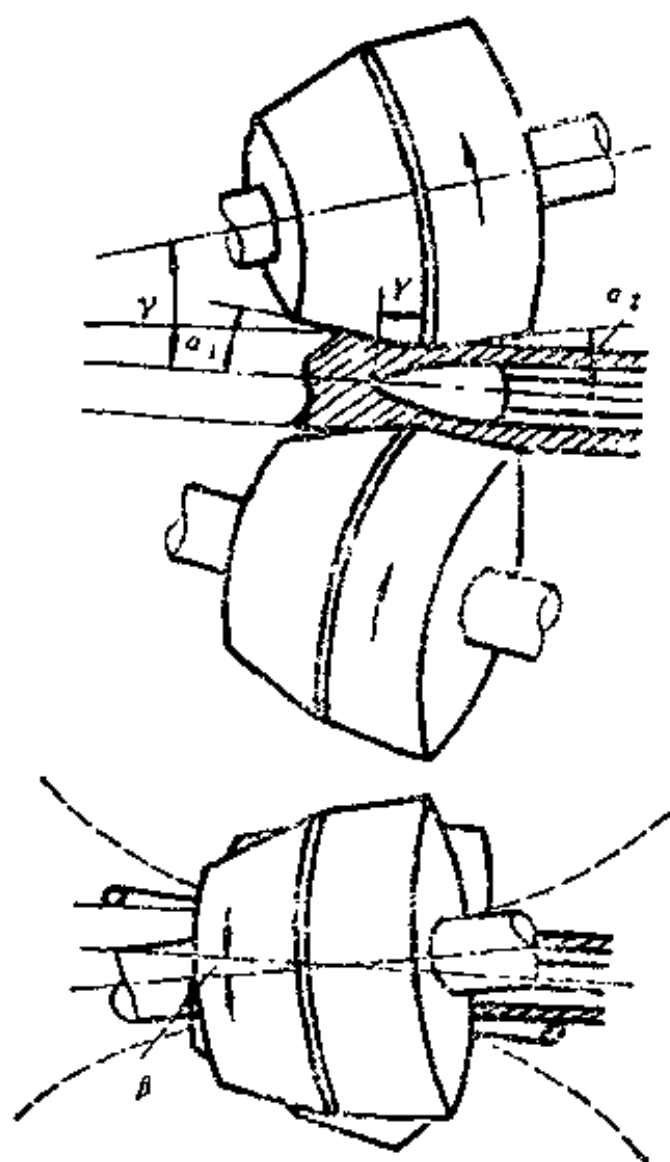


图 4-35 菌式穿孔机的变形区图

由图可以看出， β 角和 γ 角的大小对 σ_b 和 σ_s 没有影响，而对断面收缩率 ψ 和延伸率 φ 则有影响。当采用 $\gamma=10^\circ$ 、 15° 和 $\beta=10^\circ\sim 12^\circ$ 时，穿孔后材料的断面收缩率和延伸率都大于母体；但当采用较小的 γ 和 β 角时机械性能变差，穿孔后材料要脆些，塑性比较差。

2. γ 和 β 角大小对附加变形的影响

γ 和 β 角大小对附加变形的影响如图4-37所示。由图可以看

出，随着 γ 和 β 角增加，周向附加剪切变形减小，在大的 γ 和 β 角下甚至周向附加变形等于零。

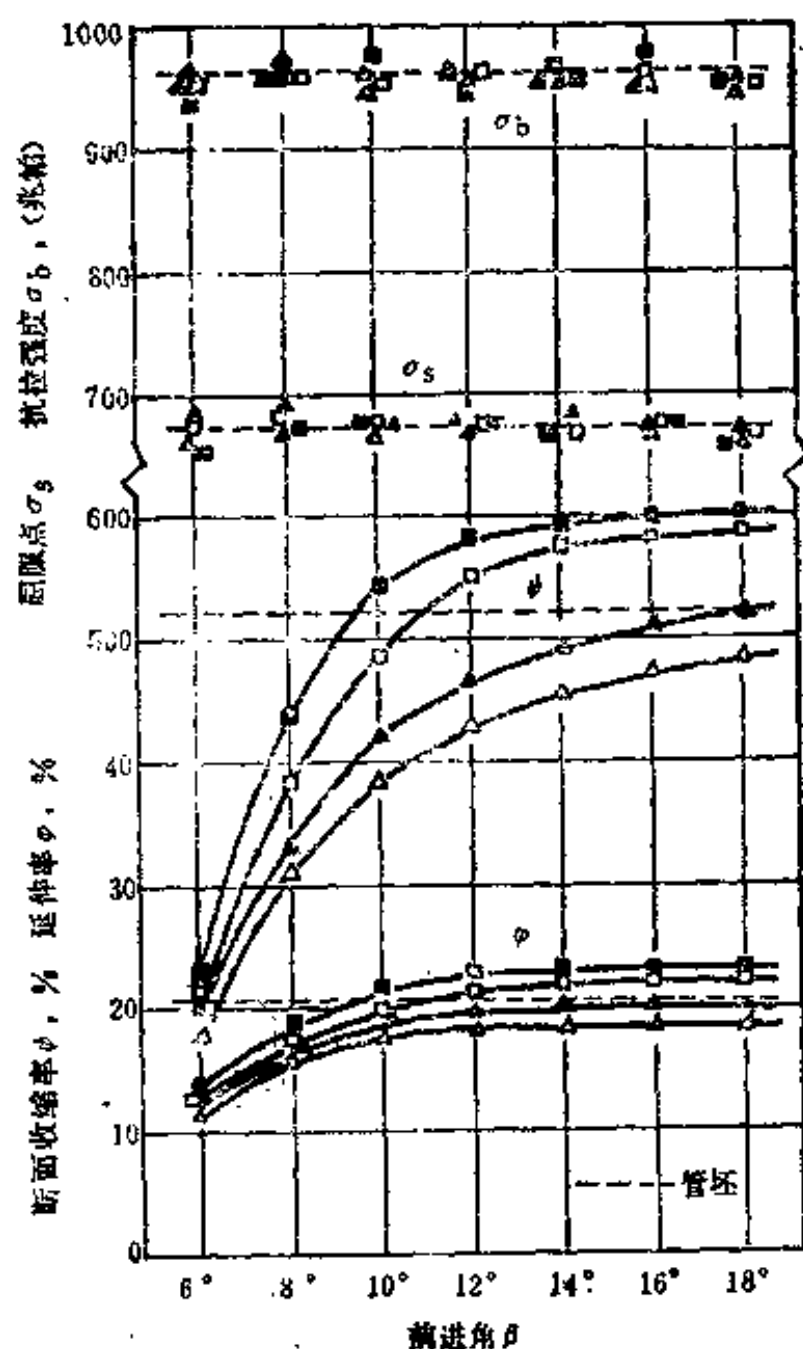


图 4-36 前进角和展轧角对机械性能的影响

在大 γ 角下随着 β 角增加表面扭转剪切变形稍有增加，但增加量不大。在小 γ 角下则有相反趋势。

3. γ 和 β 角对力能参数和穿孔速度的影响

γ 和 β 角对力能参数和穿孔速度的影响如图 4-38 及 4-39 所示。

由图4-38可以看出，随着 β 角增大，穿孔速度加快，而速度效率变化不大。导盘力和轧制力随着 β 角增加稍有增加，而顶头力有较大的增长，而单位体积能耗（千瓦/秒·厘米³）却减小。

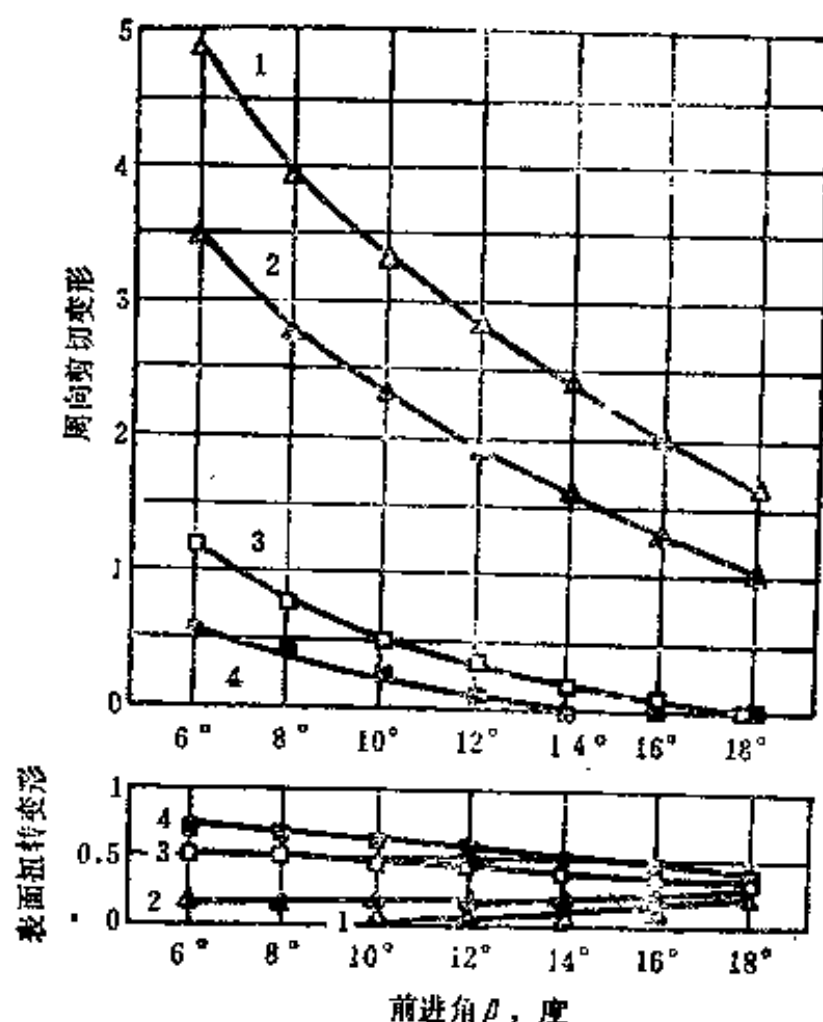


图 4-37 γ 和 β 角对周向剪切变形和扭转变形的影响
扩径率0%；顶头直径50毫米； $\gamma = 1-0^\circ$ ；2- 5° ；3- 10° ；4- 15°

由图4-39可以看出，随着 γ 角增加穿孔速度和速度效率都是增加的，导盘力和轧制力稍有增加，而顶头上作用力增加较显著。

4. 生产中穿制不同高合金钢时动力消耗系数、速度效率和平均工具消耗

钢种对动力消耗系数、速度效率和平均工具消耗的影响如图4-40、图4-41及表4-8所示。图表中所示数据为日本海南钢管厂生产近30万吨钢管的统计数据。所生产的钢种如表4-9所示。

生产证明，用菌式穿孔机穿孔不锈钢管坯时解决了传统的曼

氏穿孔机所存在的问题，如钢管内表面出现折叠缺陷，外表面有导板刮伤以及轧件咬人和抛出不稳定。菌式穿孔机是采取控制轧头尾时的轧速来解决轧件咬人和抛出不稳的，而且速度效率较曼氏穿孔机提高15%。用导盘代替导板后工具消耗大幅度降低（见表4-8），外表面刮伤缺陷消除了。

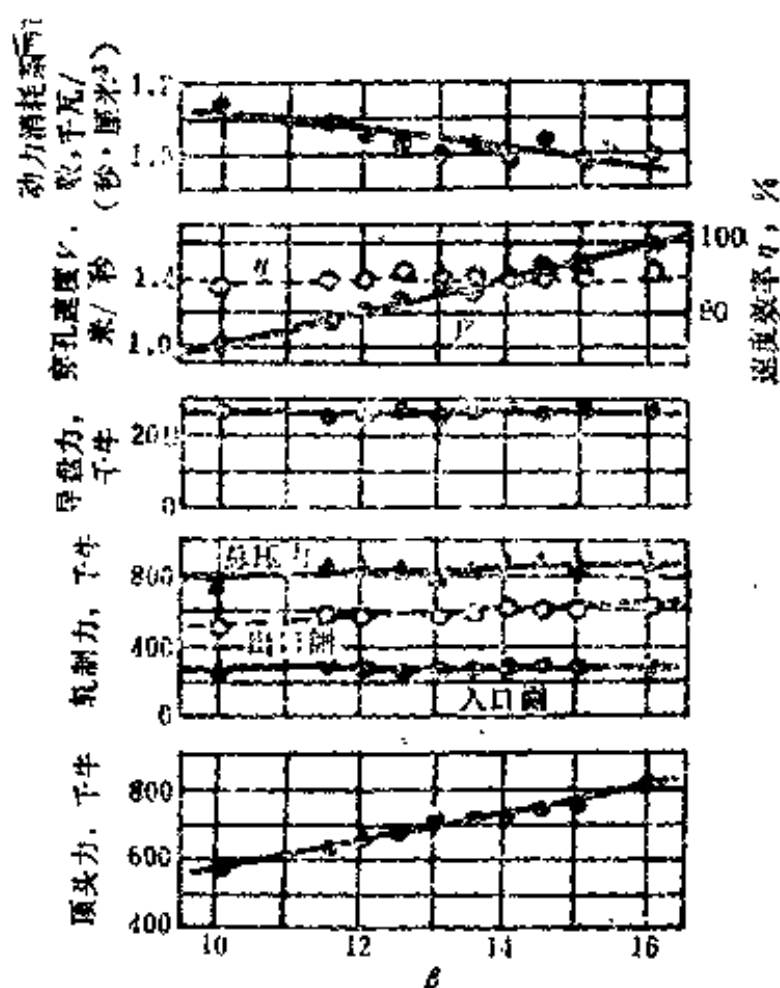


图 4-38 β 角对力能参数和穿孔速度的影响

表 4-8 吨产品导盘和导板消耗的比较

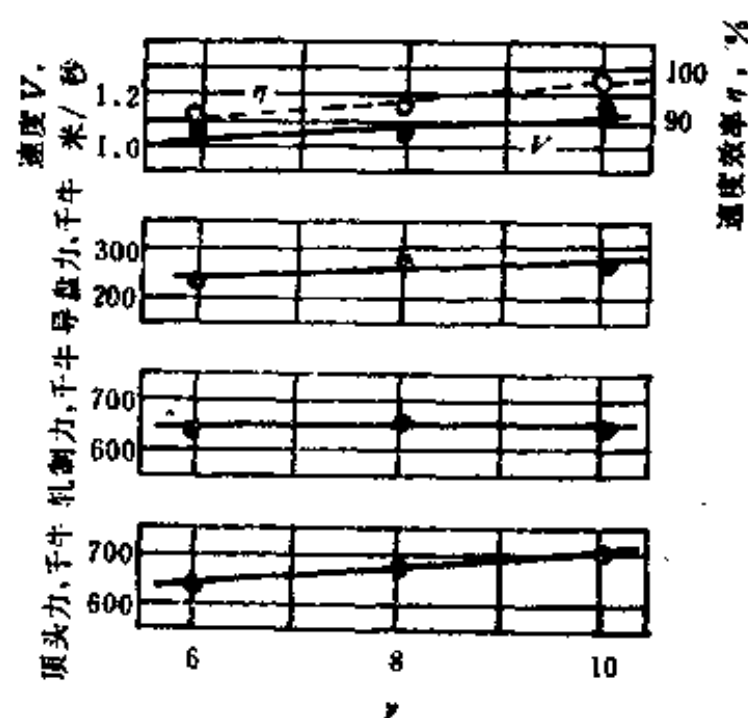
导 板	导 盘
8.5公斤/吨	0.001公斤/吨

现已确认，应用菌式穿孔机在采用大的 γ 和 β 角条件下能够生产一些塑性差的不锈钢和高合金钢管。

5. 穿轧连铸管坯试验

表 4-9 日本海南钢管厂菌式穿孔机穿孔的钢种

钢 种	化 学 成 分	穿孔参数		
		γ 角	β 角	延伸系数
马氏体钢	1. 0.2C-12Cr	15°	10°	3.0
	2. 0.2C-13Cr	15°	10°	3.0
奥氏体钢	3. 19Cr-10Ni	14°	10°	2.8
	4. 18Cr-10Ni-0.5Ti	14°	10°	2.8
	5. 17Cr-13Ni-2Mo	14°	10°	2.8
铁素体钢	6. 12Cr-0.5Ni	14°	10°	2.8
双 相 钢	7. 22Cr-5Ni-3Mo	15°	10°	2.8
	8. 25Cr-7Ni-3Mo	15°	10°	2.8

图 4-39 γ 角对力能参数和穿孔速度的影响

一般用传统的二辊穿孔机穿孔连铸管坯时对中心气孔不能压实，而残存有大量的微裂纹缺陷，裂纹长度约1~2毫米。为了考察菌式穿孔机对中心气孔的压实情况，做了实际穿孔试验。 $\phi 76$ 毫米的管坯是从 $\phi 282$ 毫米管坯中取其中心部位轧成的。试验结果如图4-42所示。从图可以看出， γ 和 β 角对中心气孔的压实

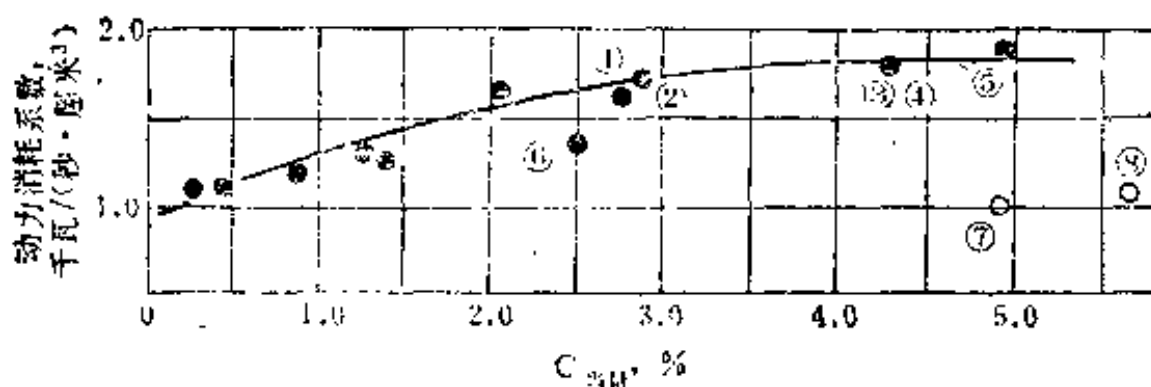


图 4-40 动力消耗系数

$$C_{\text{当量}} = C + \frac{1}{6}Mn + \frac{1}{15}(Cu + Ni) + \frac{1}{5}(Cr + Mo + V)$$

①~⑧—钢种及化学成分，见表4-9

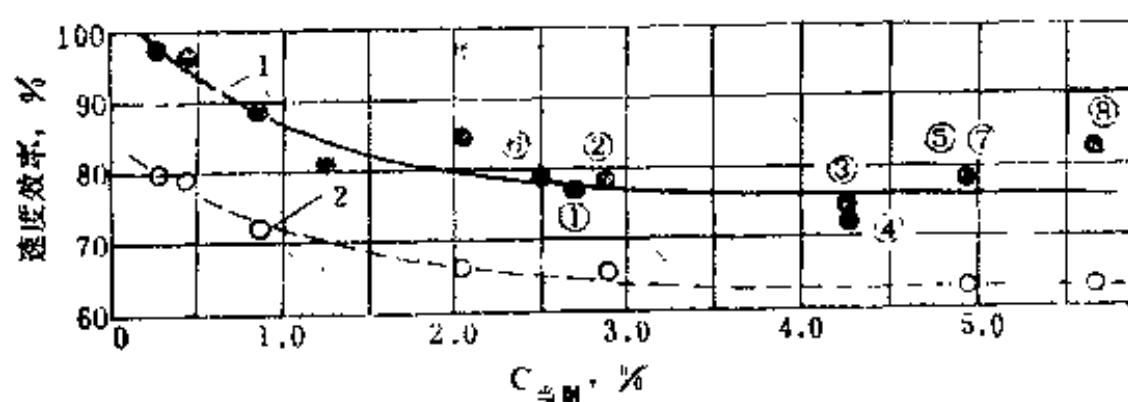


图 4-41 速度效率

1—菌式穿孔机；2—曼氏穿孔机；①~⑧—钢种及化学成分，见表

4-9

有很大影响，当采用较大的 β 和 γ 角时微孔率接近于零。如果加上浇铸电磁搅拌技术，用连铸管坯完全可以生产出无缺陷的无缝钢管来。

6. 不锈钢和高合金钢的穿孔试验

穿孔不锈钢和高合金钢时毛管质量与 β 和 γ 的关系如图4-43及图4-44所示。

众所周知，传统的二辊穿孔机穿孔不锈钢和高合金钢管坯时很容易产生大量缺陷，而且Ni、Cr、Mo和Cb含量愈高，则内部缺陷也愈严重。

在菌式穿孔机上试验证明，除了ST3Cb钢穿孔有些困难之

外，其他钢种都能穿轧。穿轧锻造不锈钢管坯时采用较小 γ 角和较大的 β 角可以穿出高质量的毛管，如果 γ 角和 β 角都小时则会

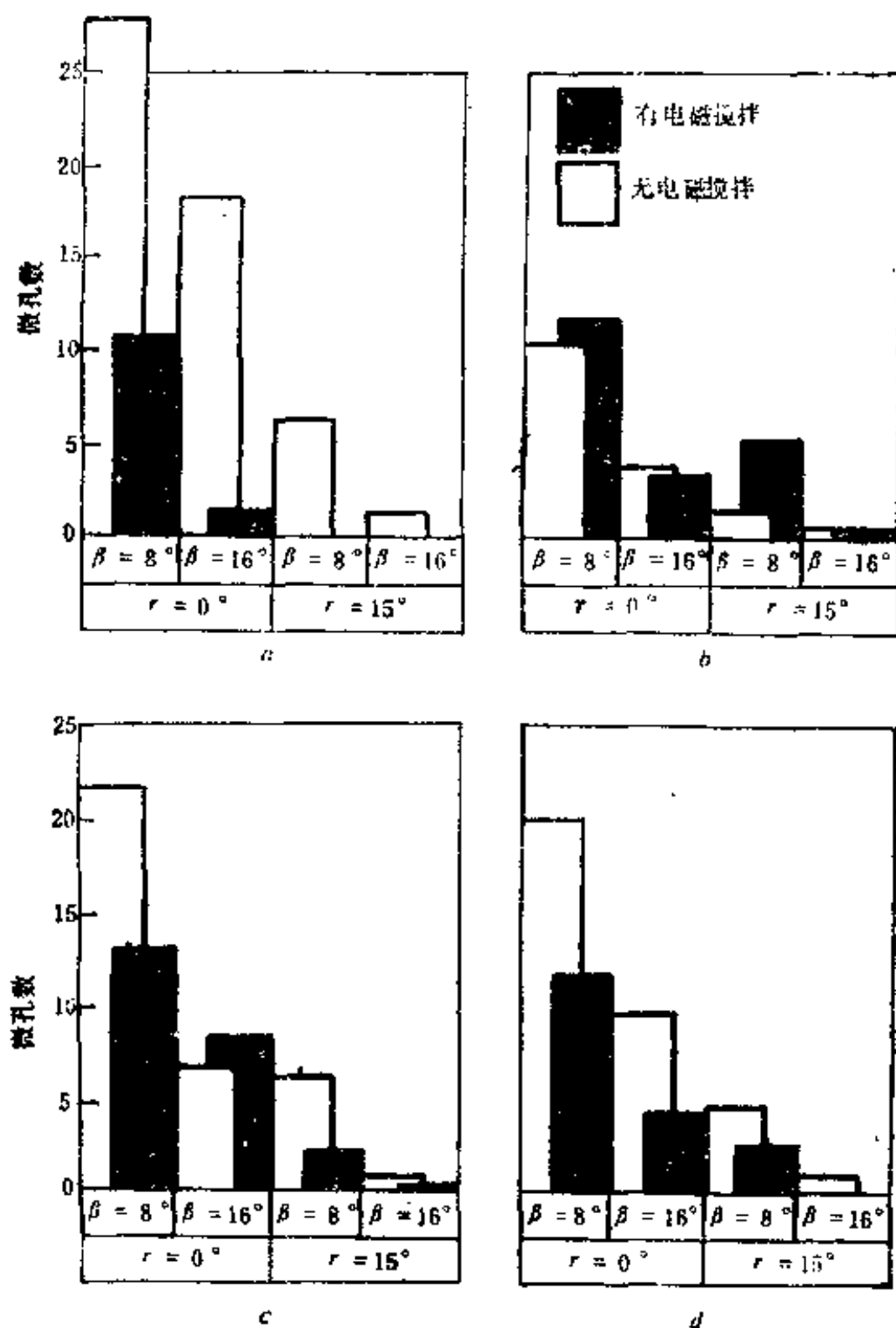


图 4-42 穿轧连铸坯试验

a—H20 (0.2C); b—H50 (0.5C); c—HS3 (0.3C-1.3Mn);

d—平均值

产生内折缺陷。当穿轧铸造坯时容易产生内折缺陷，但当取较大的 γ 和 β 角时则可防止内折缺陷产生。

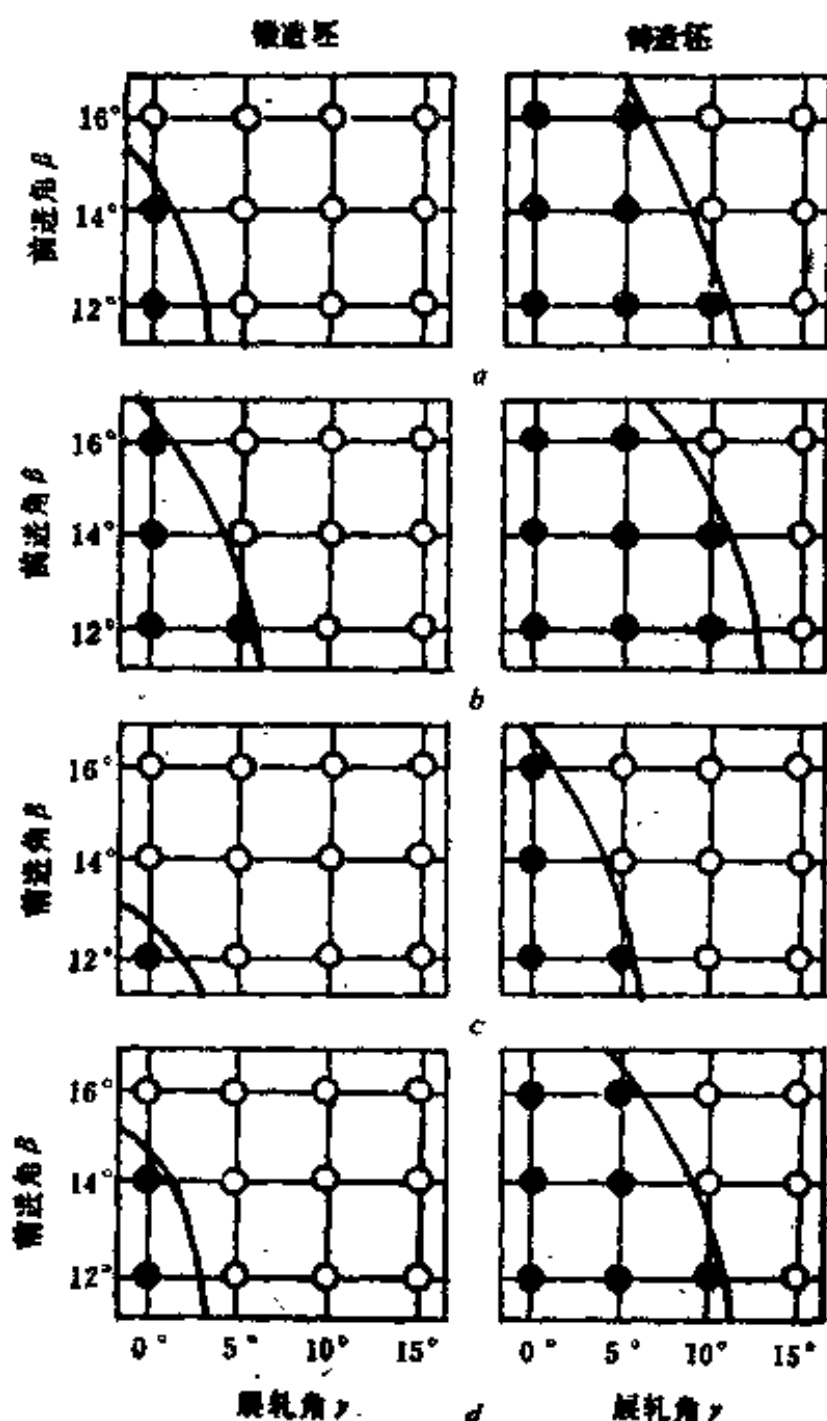


图 4-43 穿轧不锈钢时 γ 和 β 角对内表面缺陷的影响
 a—ST4 (18Cr-8Ni-2.5Mo), b—ST3-Cb(18Cr-8Ni-Cb), c—DP
 3(25Cr-7Ni-3Mo-0.3W-0.5Cu-N), d—HR3 (25Cr-20Ni)

穿轧25Cr-35Ni-3Mo、30Cr-40Ni-3Mo、25Cr-50Ni-6Mo和20Cr-50Ni-9Mo等四个钢种时 γ 和 β 角对毛管质量有明显的

影响。穿轧25Cr-35Ni-3Mo和30Cr-40Ni-3Mo钢时 γ 角应大于 10° ， β 角应大于 14° ，这种条件下不产生内折和高层缺陷。对25Cr-50Ni-6Mo钢 γ 角大于 10° ， β 大于 16° ，或者 $\gamma=15^\circ$ 和 $\beta>15^\circ$ 时都能穿出合格的毛管。

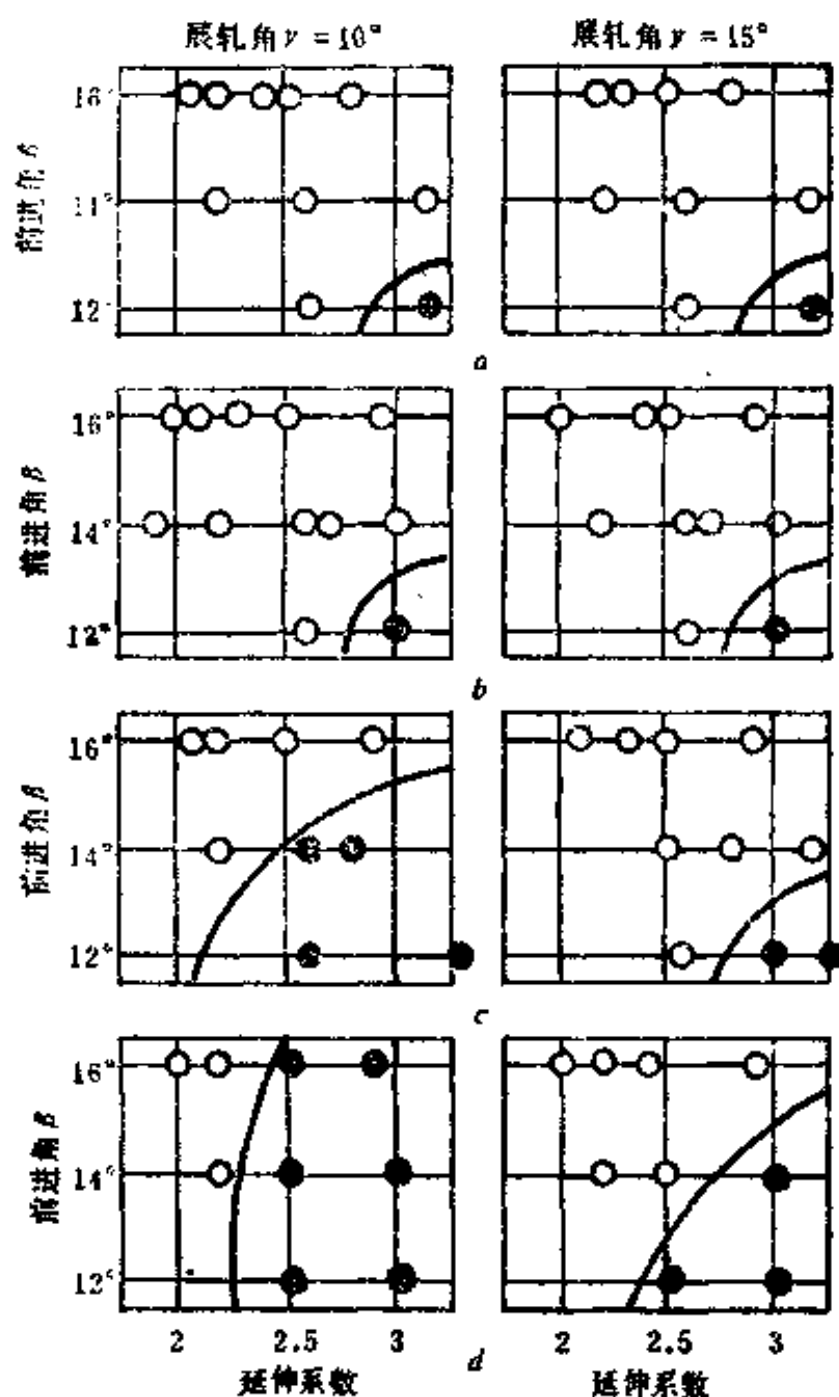


图 4-44 穿轧高合金钢时 γ 和 β 角对内表面质量的影响
 a—25Cr-35Ni-3Mo; b—30Cr-40Ni-3Mo; c—25Cr-50Ni-6Mo;
 d—20Cr-50Ni-9Mo

对于20Cr-50Ni-9Mo钢 γ 角影响更大。当 $\gamma=10^\circ$ 时穿孔相

当困难；当 $\gamma > 15^\circ$ 和 $\beta = 16^\circ$ 时才能穿出合格的毛管。

由以上不难看出，菌式穿孔机很适合于穿制不锈钢、高合金钢以及连铸坯，因此这种穿孔机很有发展前途。

第二节 钢管斜轧延伸、定径和均整原理

早就有人研究用斜轧延伸机来代替纵轧延伸机（如自动轧管机等），这是因为斜轧延伸机可轧出精度较高的钢管，设备较为简单，用一台斜轧延伸机可以代替自动轧管机和均整机。最早是三辊斜轧机研究成功并投入生产，通称阿塞尔轧机。用这种轧机可生产出尺寸精度很高的厚壁钢管，这是其他热轧无缝钢管机组无法生产的。这种轧机主要用来生产壁厚10~50毫米的轴承钢管和机械构造用管以及超高压管。这种轧机也有缺点，如产品范围较窄，不能生产薄壁管，即只能生产 $D/S \geq 11 \sim 12$ 的钢管。难于生产薄壁钢管的原因是：由于变形区由三个轧辊所构成，这样孔型的密闭性较差，特别是轧制钢管头尾时很容易出现头部喇叭口和尾三角形，而且 D/S 愈大，即壁厚愈薄外径愈大则对形成尾三角形的敏感性愈大。为了防止“尾三角”在生产中不得不采取小的前进角，一般为 $2^\circ \sim 4^\circ$ ，使得机组产量显著下降。

为了在三辊斜轧机上轧制薄壁钢管，法国发明了特朗斯瓦尔轧机。这种轧机的特点是回转牌坊可以在轧制过程中回转，到轧制終了前，减小牌坊回转角，一方面减小了前进角，降低了轧制速度，另一方面轧辊脊部内接圆变大，从而使管壁增厚，增加了管子的稳定性，不易出现尾三角形。最近又提出，在轧制即将结束时用抬辊的方式轧制薄壁钢管， D/S 可达30，最小壁厚为3毫米。

在发展三辊轧管机的同时，在国内两辊斜轧延伸机也得到了发展，主要有狄塞尔轧机和带导板的二辊斜轧延伸机。

狄塞尔轧机是用主动旋转的导盘来代替一般二辊斜轧机的导板，目的是为了在延伸机上有较大的减壁量，可轧制薄壁钢管。由于导盘圆周速度要大于轧辊圆周速度的轴向分量。这样，旋转

导盘对钢管必然要产生一个轴向拉力，提高了纵向延伸变形，减小了金属和轧辊之间的滑移，因此可获得薄壁钢管，这种轧机可生产出 D/S 到28（个别到35）的小口径薄壁管，最小壁厚为2.1毫米，最大外径为108毫米，最小外径为58毫米，轧出的钢管质量良好，钢管壁厚不均情况在 $\pm 2.24 \sim 3.1\%$ 范围内。

近来发展该轧机可以轧出14~16米的长管，而且设备投资费用也较低。美国最近提出在狄塞尔延伸机上使用限动芯棒，称ACCU轧机。

我们研究了一种新的两辊斜轧延伸机，特点是采用拉力芯棒和用导板构成封闭的变形区。这种轧机在产品品种上、产量上和产品质量上以及消耗指标上均可和阿塞尔·特朗斯瓦尔、狄塞尔轧机相竞争。

一、二辊斜轧延伸机的变形原理^[12,13]

1. 二辊斜轧延伸机的变形区和变形过程

采用“双减辊型”、导板密封和全浮动芯棒轧制工艺时，由于使用的辊型、导板和芯棒的形状均与以前的传统工具（穿孔机的工具）形状不一样，所以变形过程和变形区有其特点，变形区如图4-45所示。

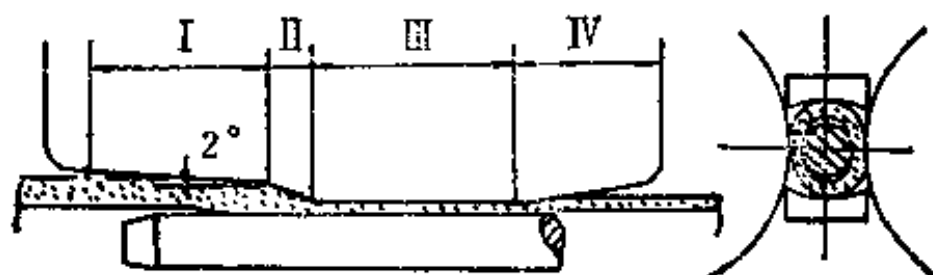


图 4-45 “双减辊型”延伸机的变形区图

由图可以看出，变形区是由轧辊、导板和芯棒组成的一个封闭环形变形区。变形区由四个部分组成，即顺次为准备区(I)、集中变形区(II)、展轧区(III)和转圆区(IV)。毛管被轧辊咬入后，首先进入I区。这时由于管子内径大于芯棒直径，毛管先受到直径压缩（减径）。当直径上的压缩量等于毛管和芯棒总的间隙时，

即毛管内壁和芯棒相接触时，则开始减壁。毛管在Ⅰ区中主要是减径，Ⅰ区的主要作用是建立足够的曳入力和旋转摩擦力矩，克服轧辊脊部(集中变形区Ⅱ)给予的轴向阻力和旋转阻力矩，以实现二次咬入(不轧卡)。因此准备区Ⅰ是实现轧制过程顺利进行的关键因素之一。Ⅱ区称为集中变形区，减壁减径变形主要在此区中完成。此区由于很短，称做集中变形区。“双减辊型”采取集中变形，管子温度高，有利于延伸变形，同时是外壁集中变形，横向扩展变形小，轧件椭圆度小(即四楞形程度减小)，从而使导板阻力减小，轧制过程稳定，工具消耗小。相反，传统工具多采用毛管内壁变形(如两次穿孔)，而且不是集中变形，导致横向扩展变形大，管子在变形中畸变大(四楞程度大)，而给生产带来了一系列问题，如工具磨损(顶头、导板)严重，轧制过程不稳定，内外螺旋纹缺陷多等。

Ⅲ区为展轧区，此区的主要作用是展轧管壁，改善钢管内外表面质量和壁厚精度。在此区中变形量很小，双减辊型的轧辊此区取得较长，用此辊型轧出的钢管，不但内外表面质量好，而且轧出的管子笔直。Ⅳ区为转圆区——出口区。

2. 金属变形和流动

在两辊斜轧延伸变形过程中钢管也存在着两种变形，即宏观变形和附加变形。

宏观变形的基本方程式如下：

$$\text{径向变形} \quad e_1 = \ln \frac{S_0}{S_*}$$

$$\text{纵向变形} \quad e_2 = \ln \frac{F_0}{F_*} = \ln \frac{l_*}{l_0} = \ln \frac{(D_0 - S_0)S_0}{(D_* - S_*)S_*}$$

$$\text{周向变形} \quad e_3 = \ln \frac{D_* - S_*}{D_0 - S_0}$$

式中 D_0 、 D_* 、 S_0 、 S_* 、 l_0 、 l_* 分别为轧前轧后管子的直径、壁厚和长度。

按体积不变定律有

$$\ln \frac{S_0}{S_1} - \ln \frac{l_1}{l_0} \pm \ln \frac{D_1 - S_1}{D_0 - S_0} = 0$$

沿变形区长度三个方向上的变形分布如图4-46。

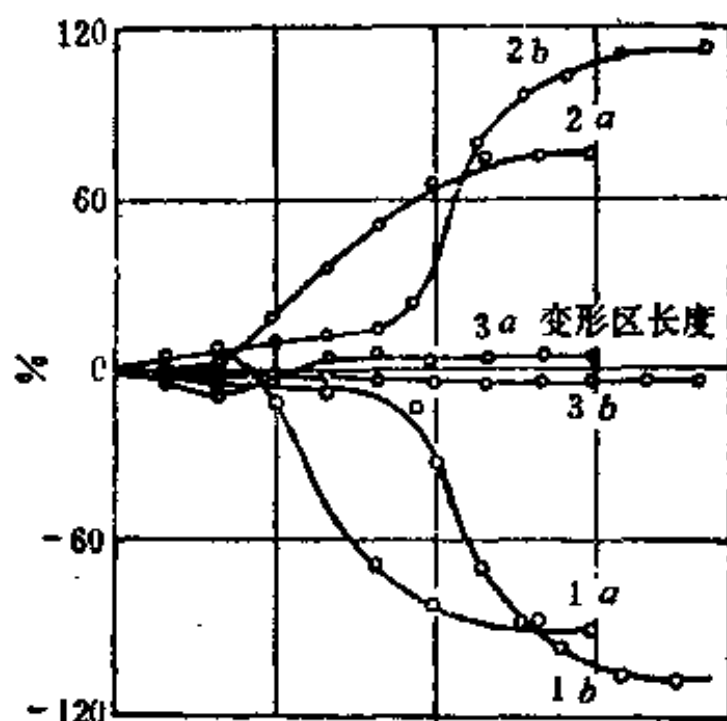


图 4-46 主变形沿变形区的变化

a—桶形辊型，b—双减辊型

$$1-e_1 = \ln \frac{S_0}{S_1}, \quad 2-e_2 = \ln \frac{l_1}{l_0}, \quad 3-e_3 = \ln \frac{D_1 - S_1}{D_0 - S_0}$$

钢管斜轧延伸变形过程中产生的附加变形，如同斜轧穿孔机，存在纵向剪切变形、切向剪切变形和扭转变形等。

为了便于直接观察附加变形分布情况，在我们试验中采用“螺钉法”和“网格法”两种特殊方法对钢试件进行研究。

从使用半浮动芯棒的轧卡试样的纵向和横剖面中（图4-47），我们可以清楚地看到各部分金属流动的情况。

从横剖面图上可以看出：

在空轧准备区（I区），轧件外径受到轧辊压缩产生了不大的弯曲变形，壁厚也同时有微量增加，所以轧件并不产生轴向延伸，只是与轧辊接触的外表层金属有少许与轧辊旋转方向一致的切向流动。

在减壁区（Ⅰ区），由于轧辊脊部剧烈地压缩钢管壁厚，而芯棒直径沿变形区是不变的，所以金属变形主要在轧辊上完成，因而外表层金属发生了很大的纵向和切向流动。此区中芯棒在轧件带动下也开始旋转，同时，半浮动芯棒顺轧制方向移动速度低于轧件前进速度，芯棒阻碍着钢管内表层金属的纵向流动，所以内表层金属沿纵向和切向流动的速度都低于外表层。在内外层金属的带动下，管壁中层的金属也产生了切向和纵向流动，但速度较慢，这就使原来呈圆柱形的螺钉在切向、纵向都发生了微弯曲。

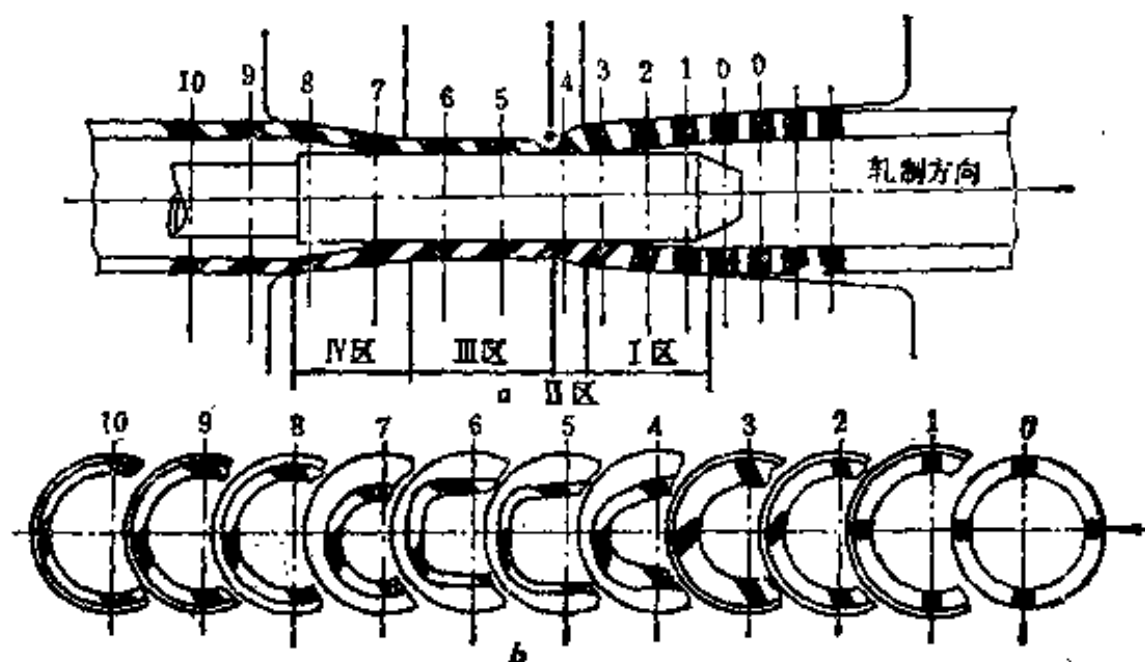


图 4-47 使用半浮动芯棒轧卡的试样剖面

a—纵向剖面；b—横向剖面

展轧区（Ⅱ区）主要起展轧作用。在减壁区中被减薄延伸了的螺钉经展轧后仍然保持着原来的歪斜状态。由于管壁较薄和展轧作用，此区以后的螺钉断面在切向和轴向都近似于平行四边形。

管壁各层金属流动不一致，造成了各层间较大的剪切变形，切线角（ β ）一般在 $45^\circ \sim 50^\circ$ 之间（图4-48）。这个数值要比穿孔机中的 β 值（ $\beta = 78^\circ \sim 85^\circ$ ）低得多。当采用全浮动芯棒和拉力芯棒时， β 角更小，即不均匀变形更小。

除了纵横剪切附加变形外，在斜轧延伸过程中还会产生扭转变形，扭转变形产生的原因是由于运动学因素和金属变形（横变形）的因素造成的。

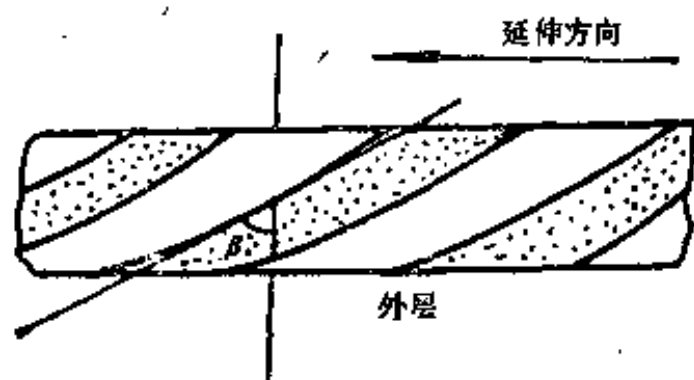


图 4-48 管壁的不均匀变形

在轧制过程中，沿变形区任意横截面 d_x/D_x 的比值始终是变化的（ D_x 、 d_x 指 x 截面上轧辊和轧件的直径），而轧件和轧辊都有着各自的稳定转速，因此，根据运动学的关系，管坯切向分速度应为：

$$V_{Mx} = W_B \cos \beta \eta_{Tx} = \frac{\pi n_B D_r}{60} \cos \beta \eta_{Tx}$$

而 $V_{Mx} = r_x \omega_x$,

所以
$$\omega_x = \frac{\pi n_B \cos \beta \eta_{Tx}}{30} \frac{D_x}{d_x},$$

式中 W_B ——轧辊的圆周速度，毫米/秒；

D_x 、 d_x 、 r_x ——分别是辊径、轧件的直径和半径，毫米；

ω_x ——角速度；

n_B 、 β ——轧辊转速和前进角；

η_{Tx} ——切向滑移系数，在变形区各截面上变化不大；

故令
$$\frac{\pi n_B \cos \beta \eta_T}{60} = C \quad (C \text{ 近似为常量})$$

则
$$\omega_x = C \frac{D_x}{d_x}$$

由此式可以看出，在入口锥和减壁延伸区轧辊直径不断增加，而钢管直径则不断压缩变小，因而钢管旋转角速度（ ω_x ）必

然是不断加快，而且在轧辊背部处辊径是突变的，所以 ω_r 也是突然加大。这样在Ⅰ区和Ⅱ区必然出现顺轧辊旋转方向的正向扭转，图4-49。在轧辊出口区，情况正相反，辊径越来越小，而管径越来越大，则 ω_r 值便越来越小，这又必然造成反向扭转。

此外，由于变形区各处金属变形量差异很大，因而各横截面上金属横向流动的趋势很不一致。例如，在Ⅰ区的直径压缩量与Ⅱ区几乎相等，但是金属在Ⅰ区中由于是空轧减径；扭转变形仅存在于轧件外表面，而且扭转量几乎为零；而在Ⅱ区由于减壁量达到50%以上，扭转变形量达到了最大值。

总之，扭转变形的形成与工具的形状和变形量有着直接的联系。

3. 二辊斜轧延伸机的运动学

斜轧延伸运动学与斜轧穿孔运动学类似。

各种芯棒速度、轧辊轴向速度和轧件轴向速度沿变形区长度的分布如图4-50所示。由图可以看出，在固定、半浮和全浮芯棒下变形区中任一截面金属的轴向流动速度都小于轧辊的轴向分速度，都是后滑。这是由于芯棒以及导板在变形区中给予金属以较大的轴向阻力，阻碍了金属的轴向运动。当采用拉力芯棒时则有前滑区，在前滑区中金属轴向流动速度大于轧辊轴向分速度，这是因为芯棒由阻力变为动力（图4-51）。

在轴向上力的平衡方程式（见图4-51）为：

$$2(P_{4x} - P_{2x} - P_{1x}) + 2(T_{1x} + T_{2x} + T_{3x} + T_{4x}) \\ \pm Q - 2(P_{L1x} - P_{L3x}) - 2(T_{L1x} + T_{L2x} + T_{L3x}) = 0$$

式中 P_{1x} 、 P_{2x} 和 P_{4x} ——轧辊准备区、背部和出口区正压力的轴向分力；

$T_{1x} \sim T_{4x}$ ——对应各区的摩擦力轴向分力；

Q ——芯棒的轴向阻力或动力 ($\frac{Q}{2} = T_0 =$

$P_0 f_0$)；

P_{L1x} 、 P_{L3x} ——导板进、出口锥正压力的轴向分力；

T_{L1z} 、 T_{L2z} 、 T_{L3z} ——导板各段摩擦力的轴向分力。

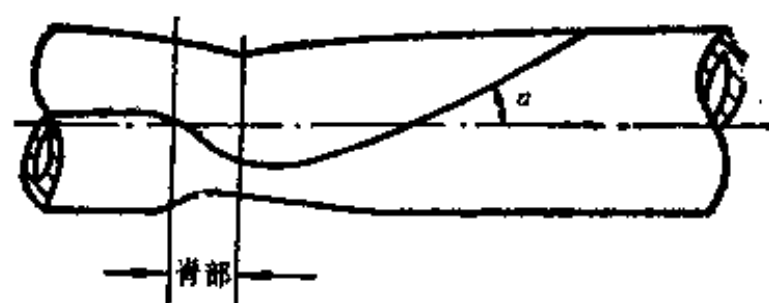


图 4-49 轧件的扭转变形

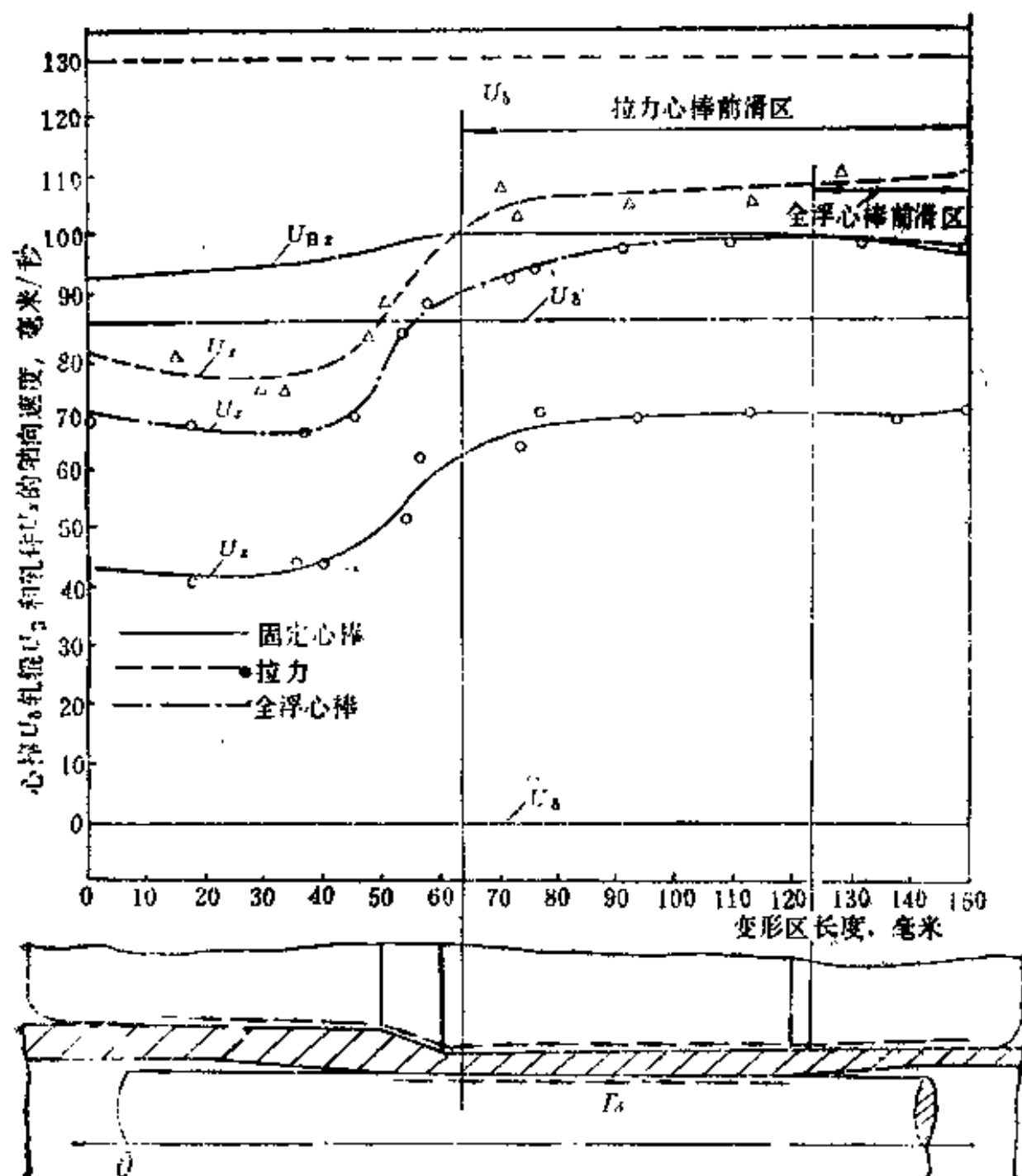


图 4-50 芯棒、轧辊和轧件轴向速度沿变形区的变化

由上式可清楚地看出，非拉力芯棒下带动毛管轴向运动的主要是摩擦力 $T_{1z} \sim T_{4z}$ (T_z) 作用的结果。因为 P_{4z} 很小，可看成和 P_{1z} 大致相等；其他作用力都是阻止金属轴向移动的。 T_z 要带动毛管轴向移动，则 T_z 的方向必须和金属的运动方向一致。这样，从金属和轧辊速度关系来看，轧辊的轴向分速度必须大于金属的轴向流动速度，即整个变形区为后滑。

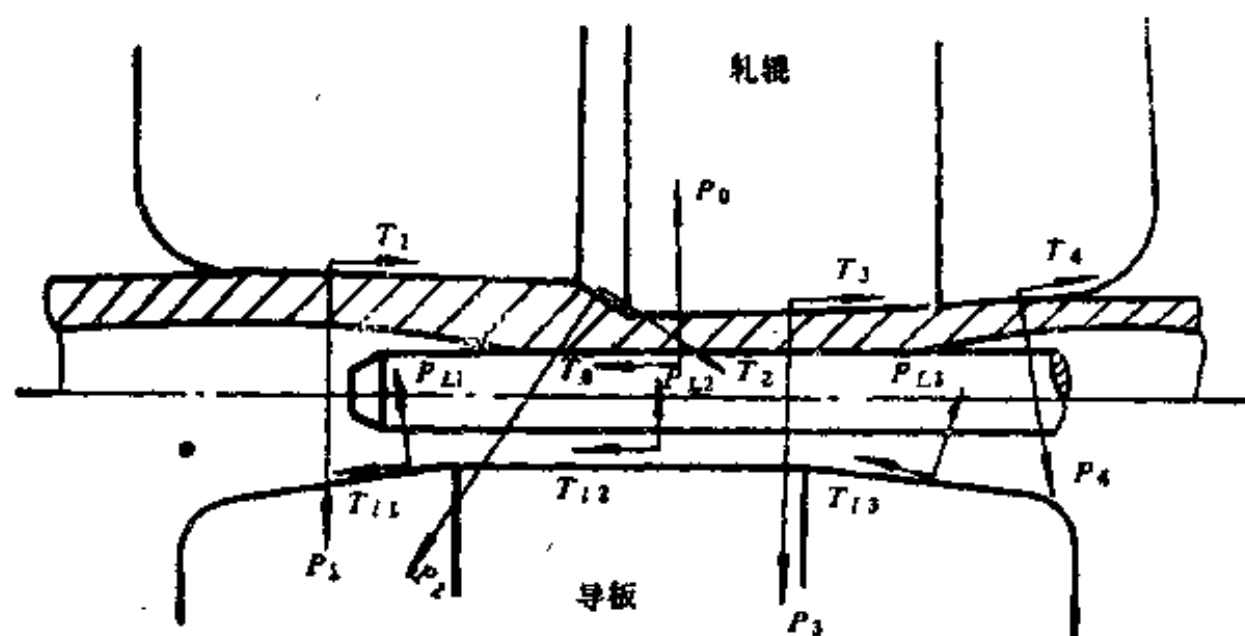


图 4-51 受力分析

当采取拉力芯棒时 Q 为正值，起帮助金属轴向运动的作用，所以出现了前滑区。

4. 二辊斜轧延伸机的咬入条件

在钢管的斜轧延伸过程中也存在两次咬入。第一次咬入和斜轧穿孔相似，第二次咬入则有区别。延伸机的二次咬入要克服来自轧辊脊部的轴向阻力。下面着重讨论二次咬入条件，其中包括旋转条件和曳入条件。

使管子旋转的条件由下式确定：

$$M_T \geq M_P + M_L + M_i$$

式中 M_T ——二次咬入前轧辊带动管子旋转时的摩擦力矩；

M_P ——由正压力产生的阻止管子旋转的摩擦力矩；

M_L ——导板给予管子的阻力矩；

M_I ——管子带动芯棒旋转的惯性矩。

满足上式才能建立二次咬入旋转条件。

应当指出，当采用长芯棒和双减辊型时，由于 M_I 和 M_L 均较大，故当 M_T 不够大时（准备区较短）有时不能建立二次旋转条件。

管子前进条件由下式确定：

$$T_x \geq T_P + T_L + T_s$$

式中 T_x ——二次咬入前轧辊带动管子轴向运动的摩擦力；

T_P ——正压力的轴向分力；

T_L ——导板上的轴向摩擦阻力；

T_s ——芯棒的轴向摩擦阻力和动力。当采用拉力芯棒时 T_s 取负值；当采用全浮动芯棒时 T_s 可以忽略不计。

一般采用全浮动和拉力芯棒时二次咬入时的前进条件无问题。

5. 二辊斜轧延伸机的力能参数

在60机组上实测的力能参数如表4-10所示。力能参数的计算方法详见《钢管塑性变形原理》上册p205~211（李连诗编著，冶金工业出版社，1985）。

二、三辊斜轧延伸机的轧制过程特点

三辊斜轧延伸机的孔型是由三个轧辊组成的，三个轧辊都向同一方向旋转，轧机中心线和轧制线相一致。由轧制线至三个轧辊的距离是相等的。轧辊装在两个轴承座中，而轴承座放在两个圆形机架中，其中一个机架可以转动，另一机架固定不动。旋转机架可绕轧制线转动 $0^\circ \sim 25^\circ$ ，这是为了调整前进角和在轧制过程中调整倾角（特朗斯瓦尔轧机）。

三辊斜轧延伸机所用芯棒为长芯棒，芯棒运动方式一般采用全浮式。

三辊轧管机的变形过程和二辊斜轧延伸机相同。轧辊辊型也由咬入区（入口锥）、脊部、均整区和出口区组成，如图4-52所

表 4-10 轧制 $\phi 53.5 \times 3.5$ 毫米钢管时的力能参数(毛管外径60.5毫米)

延伸系数	操作 方法	钢管出 口速度 米/秒	滑 移 系 数 η_0	轧 压 力 (千 牛)	制 力 P_A/P_H	轧 制 力 矩 千 焦	电 功 率 千 瓦	机 率 千 瓦	芯 棒 电 机 功 率 千 瓦	总功率 千 瓦	能 耗 千焦/米	终 温 ℃	轧 速 度 米/秒	芯 棒 速 度 米/秒	芯 棒 拉 力 千 牛
1.436~ 1.596	拉 力	0.295	0.985	150	0.871	9.4	265								
1.436~ 1.596	全 浮	0.283	0.937	154	0.860	9.9	268			268		1057			
1.436~ 1.596	半 浮	0.286	0.944				287					1083			
1.595~ 1.662	拉 力	0.298	0.981	165	0.798	10.2	279		4.59	283	950	1088		306	15
1.595~ 1.662	全 浮	0.283	0.946	180	0.845	10.9	296			296	1047	1086			
1.67~ 1.75	拉 力	0.310	1.023	180	0.789	11.0	280		4.82	285	918	1082		307	15.7
1.67~ 1.75	全 浮	0.285	0.945	170	0.847	10.1	284			284	994	1071			

示。

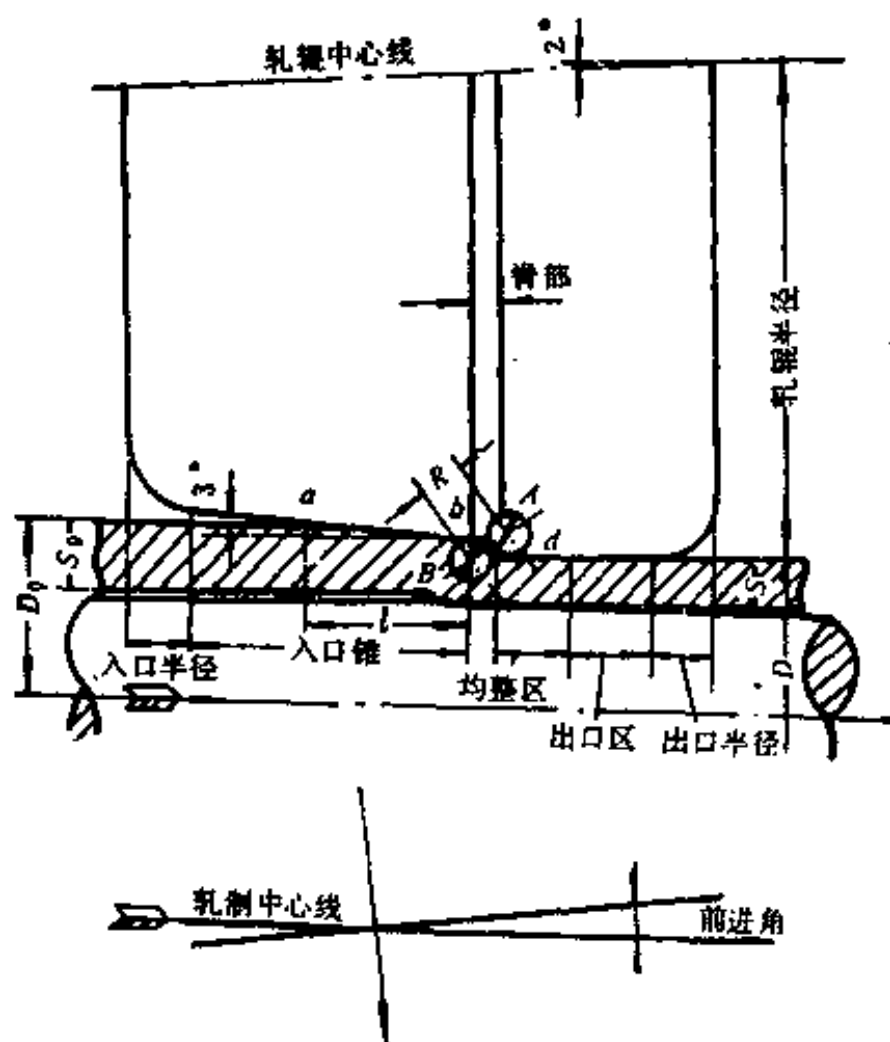


图 4-52 三辊斜轧延伸机的辊型设计

毛管被轧辊一次咬入后，进入入口锥，入口锥锥角 α_1 一般为 3° 。由于毛管内径大于芯棒直径，毛管首先受到直径压下（减径），而当直径上压下量等于毛管内径和芯棒总间隙时减径就停止了。毛管继续向前运动时，壁厚开始受到压下。由一次咬入到脊部前主要是减径区，该区的主要作用是建立足够的曳入摩擦力，克服来自轧辊脊部的轴向阻力，实现二次咬入。有时为了便于实现二次咬入，在入口锥就开始减壁。一般在入口锥壁厚压下量等于 $(0.18 \sim 0.25)h$ ， h 为脊部高度。

毛管到轧辊脊部时，壁厚有较大的压下，延伸变形主要由脊部完成。因为管子内径不变（等于芯棒直径），这时的壁厚压下量也就等于直径压下量。毛管过了轧辊脊部后进入展轧定径区（均整区）。由于这个区中轧辊母线平行于轧制线，该区中的变

形是很小的。展轧定径区的作用是展轧管壁和定径，最后到整圆和出口区。

三辊斜轧延伸机的管子横截面变化是由圆到圆三角形，最后再规圆的过程。三辊轧管机由于变形区不是封闭的（有较大的辊缝存在），在轧制尾端时金属容易钻入辊缝，出现尾三角；因此轧制薄壁管有困难。轧制尾端时采取调小前进角和开辊法，可以在一定程度上克服此缺点，轧制的管子 D/S 可达30。

三辊斜轧延伸机由于是三个轧辊驱动，而且没有轴向阻力以及芯棒运动多为全浮式，因而前进效率比二辊延伸机好，轴向滑移系数（出口）一般在0.61~1.08范围内变化^[14]，有的文献报导在0.559~1.2之间^[15]，有的报导在0.64~1.18之间^[16]。

表4-11为我国108机组实际测定的轴向滑移系数与力能参数的资料。

三辊轧管机的咬入条件较二辊斜轧延伸机为好，因为三个轧辊都是驱动的。金属与三个辊子相接触，接触面积大，从而轴向曳入力较二辊大。润滑剂对力能参数和运动学参数的影响如表4-12所示。

三、二、三辊斜轧定径机的变形特点

钢管外径公差决定于定径方法、定径设备运转情况和精度以及工艺制度等。不过首先决定于定径方法。在纵轧定径机（包括减径机）上，外径的精度可达 $\pm 0.8 \sim 1.0\%$ ；而在斜轧定径机上可以获得高达 $\pm 0.5\%$ 的外径精度。因此，设置斜轧定径机可以显著提高钢管的外径精度。

斜轧定径是无芯棒螺旋轧管过程。斜轧定径机有二辊式和三辊式两种。斜轧定径机的作用是使管子圆化，因而减径量很小，一般取1~2毫米。

斜轧定径由于是无芯棒轧制，因而在定径过程中管壁要加厚，当 $D/S \geq 3.5$ 时，加厚值 m 可按式计算：

$$\frac{S_K}{S_s} = \left(\frac{D_s}{D_K} \right)^m$$

表 4-11 103三辊斜轧延伸机的运动学及力能参数

芯棒运动形式	实测轴向速度 米/秒	轧制时间 秒	轴向位移系数 η_0	芯棒轴向浮动速度 米/秒	轧制力, 千牛		电机功率 千瓦	脱棒力 千牛	轧出钢管尺寸 毫米	
					$\frac{P_A}{P_H}$	$P = P_A + P_H$			外径	壁厚
全浮式	0.365	8.3	1.125	平均 ± 0.586		171	平均 670			
	0.340	7.7	1.083	$+0.564$	1.92	171	675		95.8	10.84
	0.639	7.6	1.087	$+0.550$		210	750			
半浮式	0.461	12.2	0.79	$+0.150$		201	平均 731	—		
	0.459	12.2	0.78	$+0.133$	1.43	171	658	40.7	95.35	10.52
	0.462	12.0	0.78	—		193	675	39.9		
回退式	0.458	12.2	0.77	-0.188		180	平均 606	52.3		
	0.459	12.5	0.78	-0.194	1.44	165	605	48.3	95.12	10.46
	0.445	12.6	0.75	-0.188		190	609	43.7		

毛管 $\phi 115 \times 17$ 毫米, 轧后 $\phi 95.4 \times 10.6$ 毫米, $D/S = 9.12$, $\beta = 8^\circ$, $n = 167$ 转/分;
辊径 $\phi 480$ 毫米; 钢种20, 芯棒直径 $\phi 70$ 毫米; $\mu = 1.85$ 。

轧制条件

表 4-12 润滑剂对力能参数和运动参数的影响

芯棒运 动形式	前 进角 β	润 滑 剂	一个螺上扭矩 万焦耳	轧制压力 千牛			轧制转速 转/分			温度, °C		纯 轧时间, 秒	轴向速度 米/秒		η_0	脱棒机		毛 管尺寸 毫米	轧 管尺寸 毫米
				北 辊	南 辊	下 辊出口端	空 转时	轧 制时	转速降, %	轧 解	轧 后		理 论	实 际		脱 棒力 千牛	功 率 千瓦		
全浮	7	水溶液	1.56	223	183	166	173	160	4	1098	1085	12.6	0.496	0.53	1.06	5.17	6	105 × 1389	× 7
全浮	7	沈脂一号	1.51	218	182	160	176	162.5	7.6	1072	1082	12				2	9.35	105 × 1383	× 7
半浮	8	无	1.42	123	135	117	175	167	5.7			13.1	0.59	0.426	0.722			115 × 1795	× 10
半浮	8	沈脂二号	1.58	188	145	125	175	166	5.2	1168	1150	12.2	0.587	0.46	0.785			115 × 1796	× 10
回退	8	无	1.52	165	142	102	179	169	5.6	1155	1143	16	0.597	0.345	0.577			115 × 1795	× 10
回退	8	沈脂一号	1.63	180	141	121	176	167	5.1	1142	1132	12.4	0.59	0.452	0.765			115 × 1795	× 10
全浮	8	水溶液	1.28	285	156	149	177	166	6.2	1152	1143	7.9	0.587	0.648	1.108			115 × 1795	× 10
回退	7	机油石墨	0.67	163	123	106	155	150	3.2	1140	1110							112 × 2397	× 20
回退	7	沈脂一号	0.6	158	122	113	154	150	2.9	1120	1090	15.7	0.405	0.287	0.617			112 × 2397	× 20

$$m = 2 \left(3.5 \frac{S_k}{D_k} \right)^2$$

式中 D_k 、 S_k ——定径后钢管外径和壁厚，毫米；

D_s 、 S_s ——来料管外径和壁厚，毫米。

斜轧定径机的轧制压力 P 可按如下公式计算：

$$P = A \sigma_n \frac{S_s}{D_s - S_s} (1 + C)$$

式中 A ——轧辊数目，二辊式 $A=2$ ，三辊式 $A=3$ ，

l ——变形区长度， $l = \frac{\Delta D}{2 \tan \alpha_1}$ (α_1 ——轧辊辊面锥角， ΔD ——压下量)；

C ——系数，考虑发生管壁弯曲的外区影响，计算时可取
 $C=3l$ ；

σ_n ——金属流动极限。

变化后得：

$$P = \frac{2A\sigma_n S_s^2}{D_s - S_s} \times \frac{\Delta D}{\tan \alpha_1}$$

斜轧定径机的轴向滑移系数一般取 $\eta_0=1$ 。

四、二辊均整机的变形特点

均整机的变形过程和延伸机的变形过程有着本质的区别，这是由均整机的作用决定的。

均整机的作用并非是要获得大的变形（减壁和减径）来伸长钢管，而是通过少量的变形来改善钢管质量。均整机的主要作用是改善管子内外表面质量，消除来料（自动轧管机）的部分壁厚不均，展轧掉（或部分展轧）来自轧管机的表面缺陷，如直道等。

钢管经过均整后，在几何尺寸方面直径有些增加，管壁微量减小，管长度一般有些缩短。

均整机的变形区如图4-53所示，整个变形区可分为四个区。

I 为减径区，这个区一般很短。

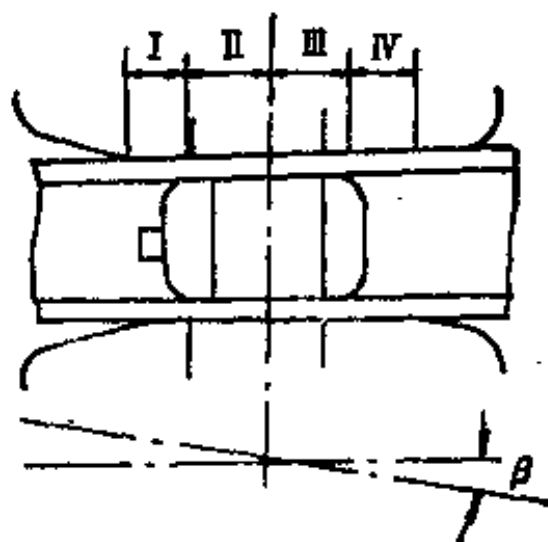


图 4-53 均整机的变形区图

Ⅰ为壁厚压下区。由于均整机顶头略大于来料的内径，因此，钢管首先和顶头圆弧部分相接触，随着金属进入变形区，管壁受到压缩（在顶头圆弧部分上）。到顶头圆柱区，这时虽然顶头母线和轧辊圆柱段母线相平行，但由于轧辊轴线倾斜于轧制轴线，因而顶头和轧辊之间的间隙逐渐减小（到轧制线和轧辊轴线交点为止），因此，在此区内管壁也受到一些压下。

Ⅱ为钢管展轧区，此区中变形很小，主要起精整作用，对改善内外表面质量有一定作用。

Ⅳ为钢管转圆区。

不难看出，管壁的压下主要由Ⅰ区来完成，但由于管壁是不均匀的以及由于螺旋轧制的特点Ⅱ区也起作用。

均整机的滑移系数一般为：

$$\eta_o = 0.7 \sim 0.9;$$

$$\eta_r = 0.5 \sim 0.9$$

前进螺距值可按下式计算〔17〕：

$$S = C \frac{D_n}{D_p} \operatorname{tg} \beta \frac{1}{\mu} \times \frac{\eta_o}{\eta_r}$$

式中 D_n ——进口管子直径，毫米；

D_p ——出口管子直径，毫米；

C ——管子周边，毫米；

β ——前进角，度；

μ ——延伸系数。

表4-13为在均整机上轧制小尺寸钢管时的测压数据，由表中可看出，轧制压力和轴向力均是较小的。

至于均整机上 Q/P 比值，文献[10]介绍在0.35~0.5。均整机上轧管的平均单位压力：

碳钢为 20~40兆帕

合金钢为 30~50兆帕

表 4-13 均整机的测压数据

试 验 者	钢管尺寸，毫米	钢 种	轧制压力，千牛		轴向力，千牛	
			最 大	最 小	最 大	最 小
作 者 布列雅诺夫 奥斯特连柯	$\phi 89 \times 4$	20	88	56	60	40
	$\phi 73 \times 3.75$	45	89	55		
	$\phi 68 \times 3.5 \sim 5$	碳钢	65	20		
	$\phi 89 \times 3.5$	—	9.1	5.8		

第三节 钢管纵轧（圆孔型中轧制）原理

根据被加工的轧件的延伸方向（主要变形方向）和轧辊圆周速度方向的关系，现有轧制方式可分为三种：纵轧，横轧，斜轧。

纵轧的特征是，金属主要流动方向与轧辊圆周速度方向一致。横轧的特征是，金属的主要流动方向（轧件伸长）垂直于轧辊圆周速度方向（如旋轧）。斜轧的特征是，金属的伸长方向与轧辊圆周速度方向构成某个角度。斜轧的特征介于纵轧和横轧之间。

斜轧钢管原理和纵轧（圆孔型中轧制）钢管原理虽然有其共性，但两者又各有其个性。斜轧钢管原理我们已经讨论过，这一节主要是讨论纵轧钢管原理。

纵轧钢管理论所涉及的主要内容和斜轧钢管理论大致相同。

一、圆孔型中的轧管过程和变形过程

在圆孔型中的轧管过程可分为两类：一是带顶头—芯棒轧制，轧制变形区由一个顶头（芯棒）和两个轧辊孔型构成，其纵横剖面如图4-54*f*，所示；一是无芯棒—顶头轧制，轧制变形区仅由两个或三个轧辊的孔型构成（图4-54，*e*）。

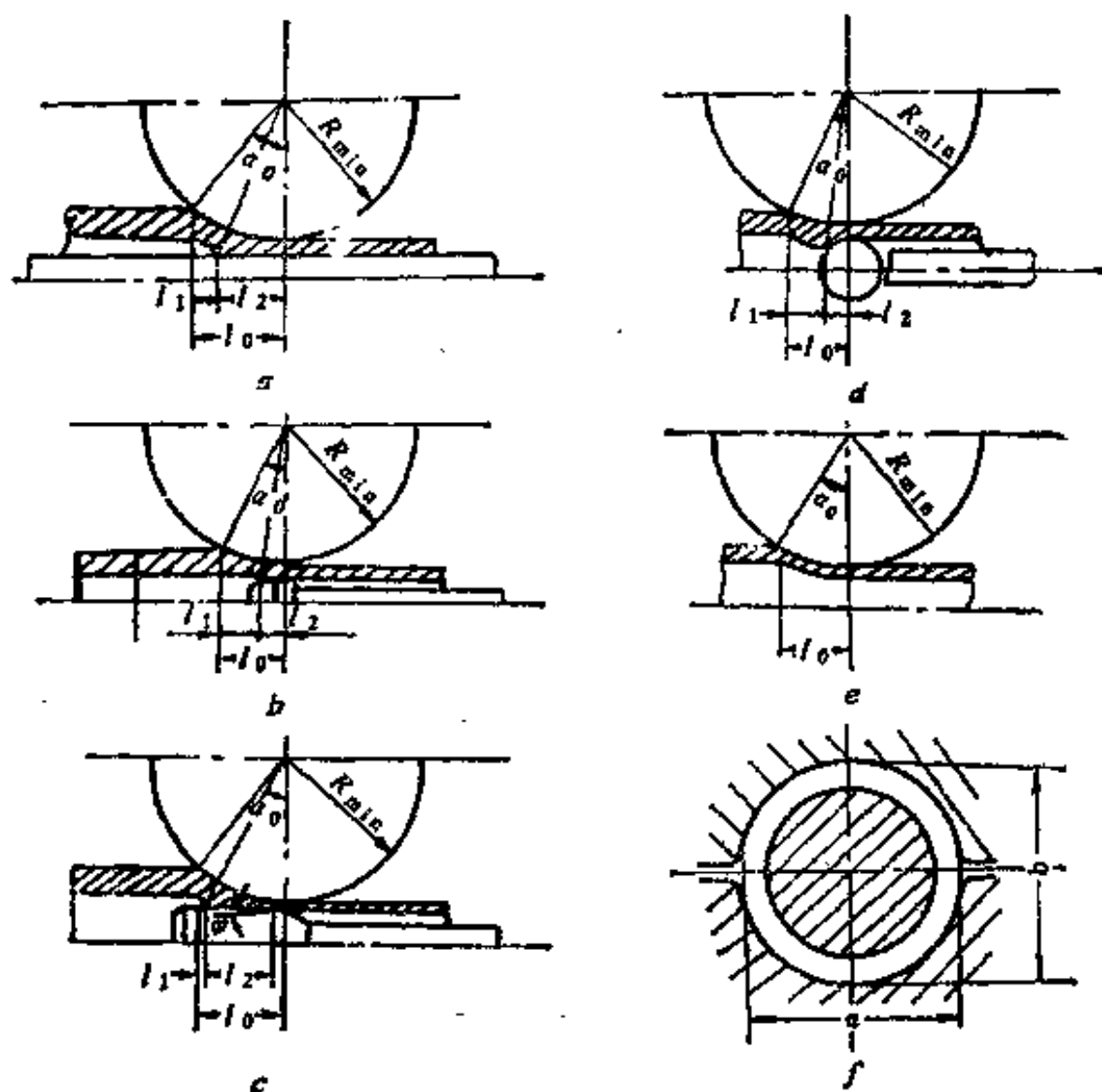


图 4-54 在圆孔型中的轧管过程

a—长芯棒轧制；b—锥形顶头轧制；c—反锥顶头轧制；d—球形顶头轧制；e—无芯棒轧制；f—两个轧辊和芯棒构成的孔型。

在短顶头上轧制为自动轧管机，在长芯棒上轧制为连续轧管机，无顶头—芯棒轧制为定减径机。

在自动轧管机上轧制钢管的示意图如图5-54, *b*、*c*、*d*所示。在自动轧管机上轧制钢管的目的是要获得一定的壁厚(即等于热轧成品管壁厚或直接送去冷拔所需的毛管壁厚)。在轧制过程中一般是外径有少量压缩,而壁厚有较大的压缩。轧制速度一般在1.7~4.5米/秒范围内。延伸系数一般在1.5~2.1之间。

连续轧管机上轧制钢管的示意图如图4-54, *a*所示。连续轧管机为一连轧机,是好多对轧辊同时轧制钢管(一般是7~9架),从而其效率较自动轧管为高。连续轧管机的特点是,变形量大,既减小直径又减小壁厚,延伸系数可达6以上,轧制速度高,钢管从最后一架的出口速度可达4米/秒以上。

定减径机也是连轧机,和连续轧管机的区别在于不带长芯棒轧制。

定径机的作用是要获得规定的钢管外径,因此,钢管在定径机上的变形是很小的,轧制速度也较小。定径机的架数一般为3~7架。

无张力减径机在壁厚变化不大的情况下减小管子的外径,一般壁厚要稍许增加,变形较定径机为大,但每架上的延伸系数一般不超过1.04~1.055范围(或更高些)。无张力减径机架数一般是9~24架。

在带张力减径机上轧管时不但可减小直径,而且可以减小壁厚(或保持壁厚不变),从而变形量较大,外径减小率可达35~40%,延伸系数可达10以上。钢管从最后一架的出口速度可达10~12米/秒(甚至更高)。也属于高效率轧机之一。张力减径机的架数一般在12~24架范围内。带张力减径机和无张力减径机不同点就在于在减径的过程中施加了一个张力。

近来提出用单槽双机架自动轧管机代替老式单机架自动轧管机,引起了人们的重视。这种改造既可提高产量,又可改善产品质量和改善劳动条件。

在76~114机组中主要涉及有自动轧管机和定减径机,因此这章中主要介绍在自动轧管机和定减机上轧制钢管的纵轧基本原

理。

首先来讨论在短顶头上轧管的变形过程。

用推料机将钢管送入轧辊孔型中，管子首先和孔型侧壁 $abcd$ 四点相接触（如图4-55所示）。由于轧辊是旋转的，管子靠和轧辊之间的摩擦力被曳入变形区中（即一次咬入）。当实现一次咬入

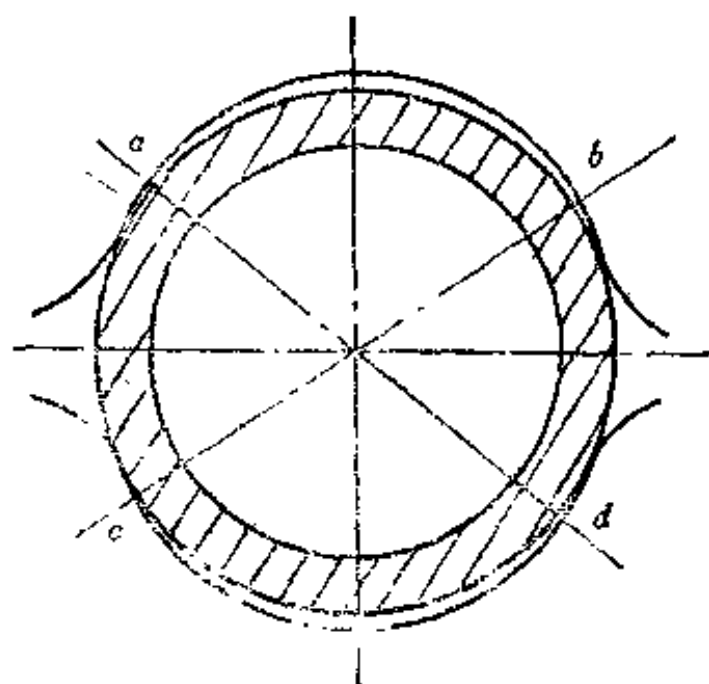


图 4-55 毛管和孔型的开始接触点

后，在两个轧辊作用下（即上下轧辊两个孔槽逐渐靠拢），产生了压扁变形。

压扁变形的实质在于管子横断面面积没有变化，仅仅是管子在压缩方向上高度减小，横向宽度增加，而管子周边几乎不变化。因此压扁实际上是塑性弯曲变形，而不是塑性压缩变形。随着管子逐渐进入变形区，压扁变形将逐渐增大，但同时管子和孔型的接触面积也逐渐增加，直到管子完全和孔型壁相接触（孔型充满），压扁变形就不再产生了。

一开始只产生压扁变形而不产生延伸变形的原因是：在开始咬入时期，由于管子和轧辊接触面积很小，接触摩擦力也很小，

这样纵向延伸变形实际上是产生不了，相反径向压力足可以把管子压扁。因为压扁变形比起延伸变形所需的力要小得多，只有当接触摩擦力增加到一定程度之后纵向延伸变形才能开始。这时孔型侧壁的支持作用增加，不再产生压扁，而金属则被迫产生延伸变形。

在孔型中结束钢管外形压扁之截面位置，取决于多种工艺因素——孔型形状，金属塑性，轧辊直径以及管径对壁厚之比 (D/S)。其中除了孔型形状外， D/S 的影响最大。

管子直径对壁厚之比值愈大，管子外形愈易压扁，在同一孔型形状下管子延伸变形可能性就愈小，这是众所周知的事实，即在同一尺寸之孔型情况下，厚壁管减径比薄壁管减径时延伸大。

有顶头轧制时可以限制压扁变形，压扁变形仅发生在减径区。为了减小压扁变形和增加延伸变形，应该采用这种孔型形状，即管子咬入后应立即尽可能大地和轧辊相接触。到内壁金属和顶头相接触后，则到了壁厚压缩区，在这个区域中主要是压缩壁厚（外径也有些减小），这时主要是延伸变形。

顶头的形状不同，则变形过程也有些差异。在球形顶头上轧管时减径区较大，而壁压缩区较窄（如图4-54，d所示）；而采用反锥形顶头时则减径区较窄，而壁压缩区较宽，同时减径量可大些（图4-54，c）。

当在长芯棒上轧管时，由于毛管内径大于芯棒直径，以利于芯棒插入毛管中，因此变形过程也是由减径区和壁厚压缩区组成的，而变形过程和在短顶头上轧制时大致相同。

定减径的变形过程（无芯棒—顶头轧制）仅存在一个区，即减径区。其变形过程也是首先产生压扁变形，充满孔型，然后是延伸变形和壁加厚变形，这是无张力减径情况。而在有张力减径时有可能仅存在延伸变形（即管壁保持不变），甚至产生壁厚减小变形（即又减径又减壁）。

实际测量在短顶头上轧管时变形区中管子尺寸的变化规律如图4-56所示。

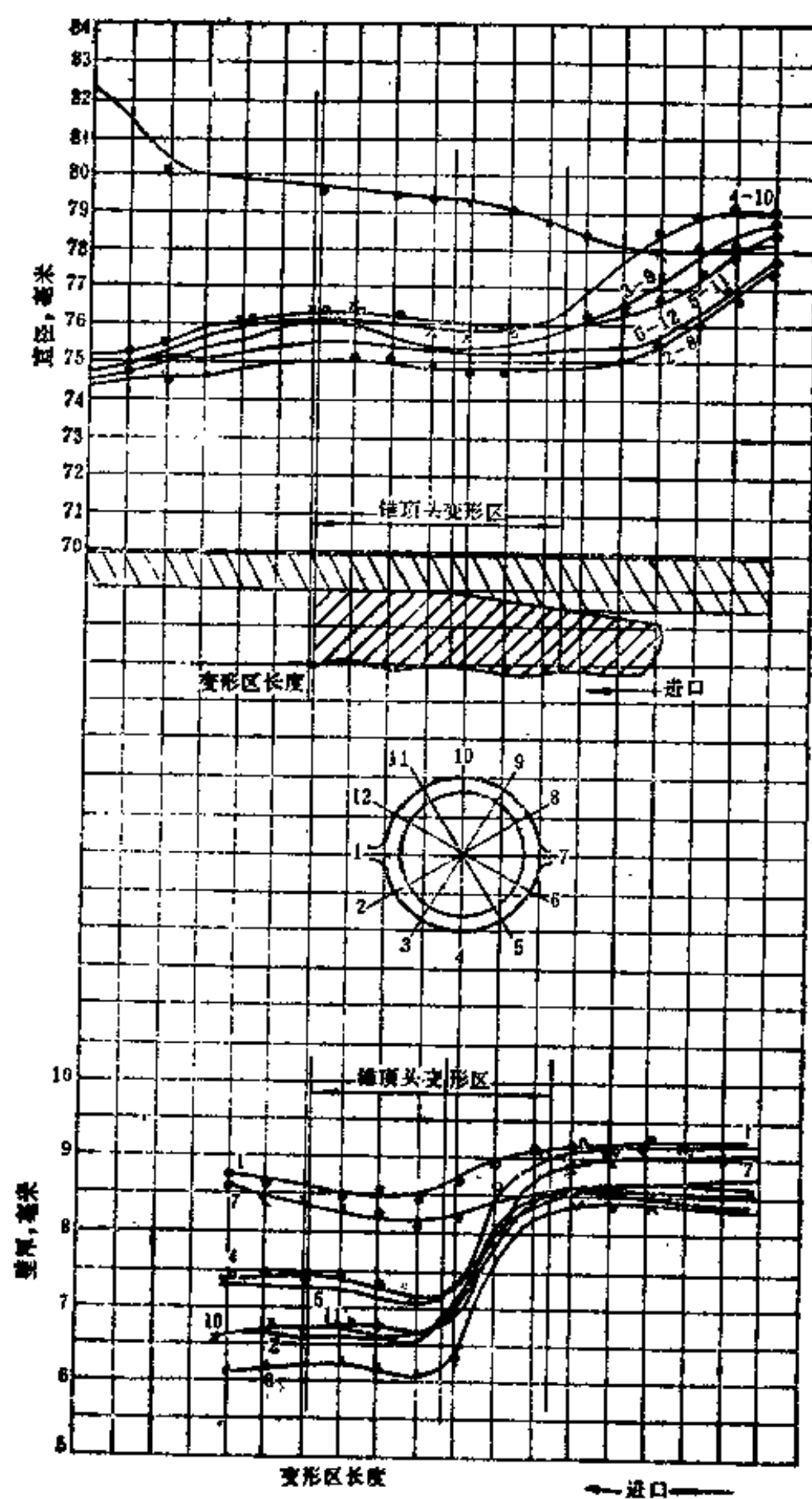


图 4-56 在锥顶头上轧管时沿变形长度上管子尺寸的变化

二、变形区和孔型的几何参数

1. 变形区参数

在短顶头上轧管的变形区参数如图4-57及图4-58所示。

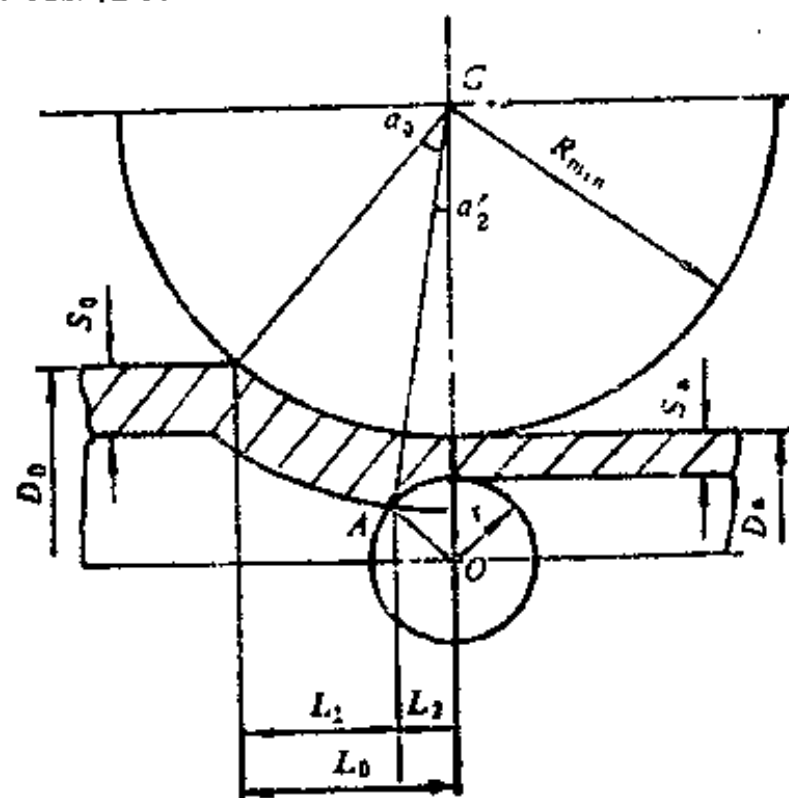


图 4-57 球形顶头几何参数图示

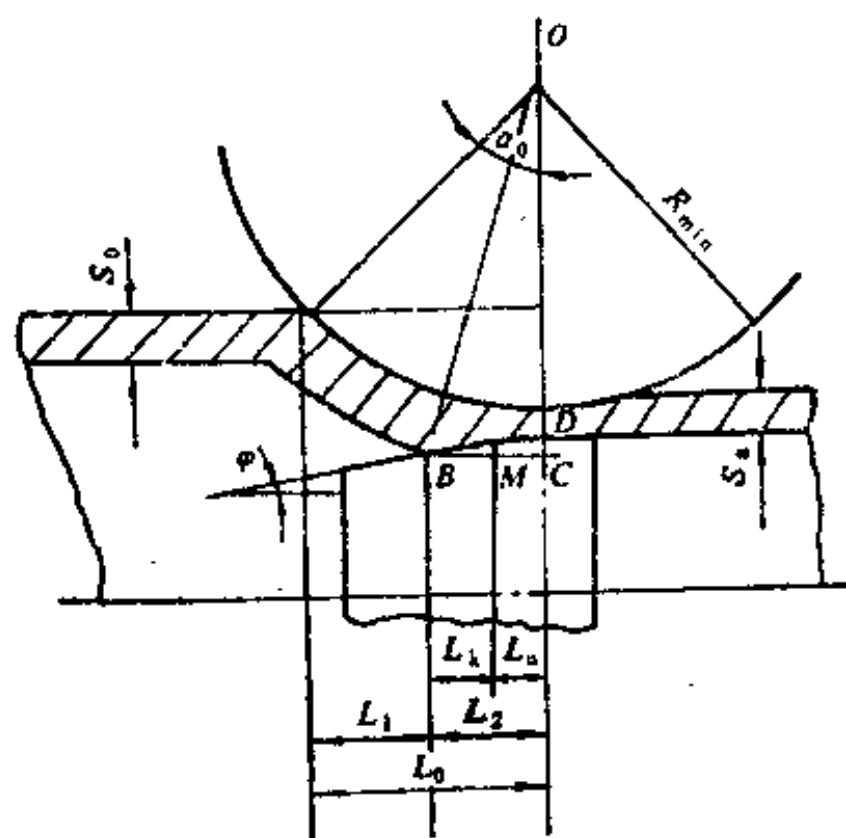


图 4-58 锥形顶头几何参数图示

接触弧的水平投影叫做变形区长度 L_0 ，它是一个重要的几何尺寸参数，由图4-58可知：

$$L_0 = R_{\min} \sin \alpha_0 = R_{\min} \sqrt{1 - \cos^2 \alpha_0}$$

而
$$\cos \alpha_0 = 1 - \frac{D_0 - D_s}{2R_{\min}}$$

$$\therefore L_0 = R_{\min} \sqrt{1 - \left(1 - \frac{D_0 - D_s}{2R_{\min}}\right)^2}$$

$$L_0 = \frac{D_0 - D_s}{2} \sqrt{\frac{4R_{\min}}{D_0 - D_s} - 1}$$

α_0 被通称为咬入角，由下式计算：

$$\alpha_0 = \arccos \left(1 - \frac{D_0 - D_s}{R_{\min}}\right)$$

变形区中减径区长度等于

$$L_1 = L_0 - L_2$$

而 L_2 已知后，则可求出 L_1 。

对于球形顶头 L_2 可按下式决定（图4-57）：

由三角形AOC可得，

$$r^2 = (R_{\min} + S_0)^2 + (R_{\min} + S_s + r)^2 - 2(R_{\min} + S_0)$$

$$\cdot (R_{\min} + S_s + r) \cos \alpha'_2$$

$$\cos \alpha'_2 = \frac{(R_{\min} + S_0)^2 + (R_{\min} + S_s + r)^2 - r^2}{2(R_{\min} + S_0)(R_{\min} + S_s + r)}$$

$$\alpha'_2 = \arccos \frac{(R_{\min} + S_0)^2 + (R_{\min} + S_s + r)^2 - r^2}{2(R_{\min} + S_0)(R_{\min} + S_s + r)}$$

$$\sin \alpha'_2 = \frac{L_2}{R_{\min} + S_0}$$

$$\therefore L_2 = \sin \alpha'_2 (R_{\min} + S_0)$$

将 α'_2 代入此式，即可求出 L_2 。

对于锥形顶头 L_2 可按下式决定（图4-58）：

$$L_2 = L_k + L_v$$

$$DC = KM = L_v \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

式中 φ ——顶头锥形部分的锥角。

由 $\triangle OBC$ 得：

$$L_2^2 = OB^2 - OC^2$$

$$OB = R_{\min} + S_0$$

$$OC = R_{\min} + S_a + L_k \operatorname{tg} \varphi$$

$$L_2^2 = (R_{\min} + S_0)^2 - (R_{\min} + S_a + L_k \operatorname{tg} \varphi)^2$$

$$L_2^2 = (R_{\min} + S_0)^2 - [(R_{\min} + S_a) + (L_2 - L_a) \operatorname{tg} \varphi]^2$$

变换后，

$$L_2 = \cos \varphi \sqrt{(R_{\min} + S_0)^2 - (R_{\min} + S_a - L_a \operatorname{tg} \varphi)^2 \cos^2 \varphi} \\ - 0.5(R_{\min} + S_a - L_a \operatorname{tg} \varphi) \sin 2\varphi$$

式中 L_a ——顶头圆柱带宽度之半。

2. 孔型的几何参数

在芯棒—顶头上和无顶头轧制圆管时使用的孔型如图4-59所示。所用的孔型有：椭圆形孔型（图4-59, a），带圆弧侧边斜度

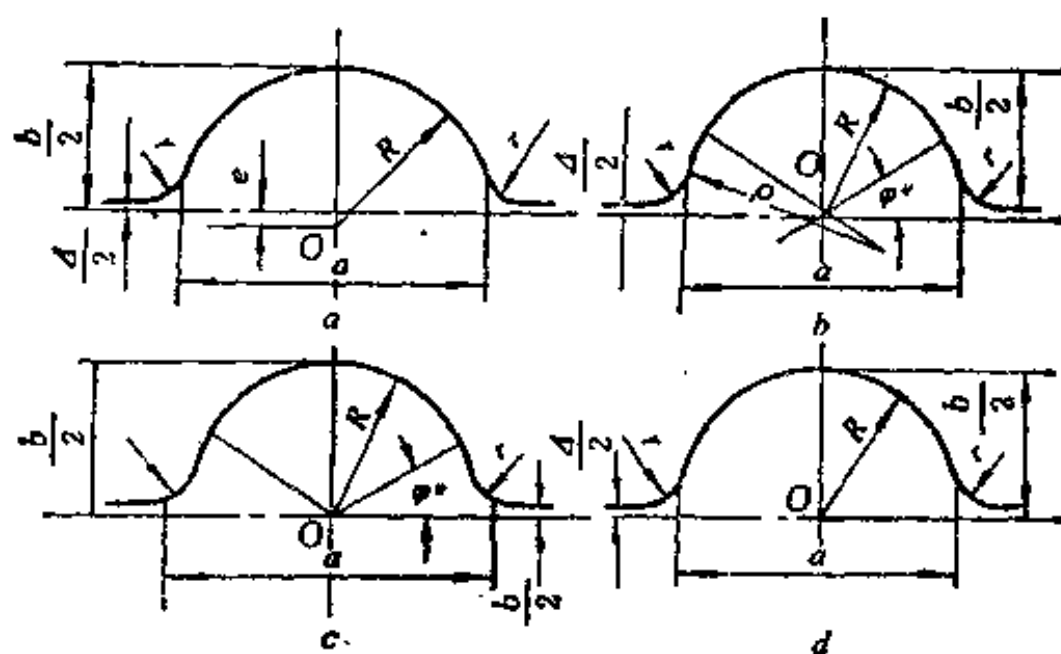


图 4-59 二辊孔型图

的圆孔型（图4-59, b），带直线侧边斜度的圆孔型（图4-59, c）和圆孔型（图4-59, d）。

在三辊轧机上所用的孔型如图4-60所示。各种孔型的几何参数有： Δ ——辊缝； a ——孔型宽度； b ——孔型高度； e ——椭圆孔型偏心距； R ——孔型顶部的半径； ρ ——侧边斜度的半径；

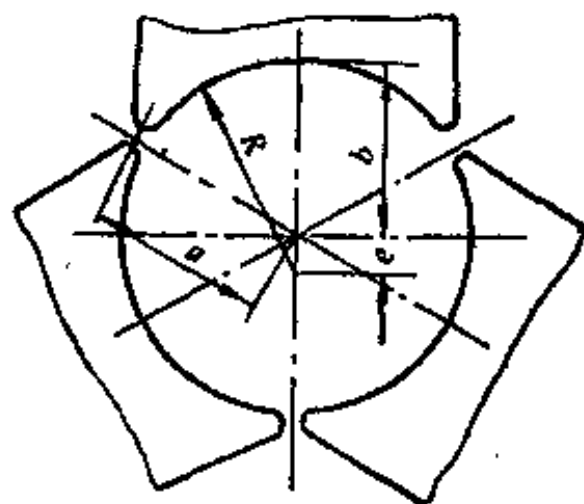


图 4-60 三辊孔型图

r ——圆角半径； φ^* ——侧边斜度的斜角； θ ——孔型椭圆度系数； θ 值愈小，则表示孔型愈窄。

已知孔型宽度 a 和高度 b ，则可确定 e 和 R 和 θ 。

$$e = \frac{a^2 - b^2}{4b} = \frac{b}{4}(\theta^2 - 1)$$

$$R = \frac{a^2 + b^2}{4b} = \frac{b}{4}(\theta^2 + 1)$$

$$\theta = \frac{b}{a}$$

斜边侧度半径

$$\rho = \frac{a^2 + b^2 - 2ab\cos\varphi^*}{4(b - a\cos\varphi^*)}$$

$$\rho = R \left[1 + \frac{\theta^2 - 1}{2(1 - \theta\cos\varphi^*)} \right]$$

由此式可以看出，当孔型椭圆度系数 $\theta = 1/\cos\varphi^*$ 时，则 ρ 变成无穷大，这相当于带直线侧边斜度的圆孔型。

对于三辊轧机：

$$R = \frac{b^2 + a^2 - ba}{2b - a}$$

$$= \frac{b(\theta^2 - \theta + 1)}{2 - \theta}$$

$$e = \frac{a^2 - b^2}{2b - a} = \frac{b(\theta^2 - 1)}{2 - \theta}$$

$$R = b + e$$

三、圆孔型中轧管的咬入条件

分析圆孔型中轧管的咬入条件就是力求把不利于咬入的情况转化为有利于咬入情况。

由于在圆孔型中轧管时变形区中存在减径和管壁压缩两个区，因此咬入条件分为一、二次咬入。一次咬入是指在减径区中管子同轧辊接触瞬间，靠旋转的轧辊和金属之间的摩擦力曳入变形区中，二次咬入是指管子内表面同顶头接触瞬间靠轧辊摩擦力而把管子曳入壁压缩区中，这时要克服顶头的轴向阻力。

第一次咬入条件不决定孔型中是否存在着顶头，而只决定于孔型的形状和尺寸（包括轧辊直径）和喂入孔型中的毛管（管子）的尺寸以及有无外推力。

在自动轧管机上第一次咬入有外推力，而定减径机中第一机架的咬入没有外推力。

在没有外推力的情况下咬入条件可做如下分析（图4-61）。

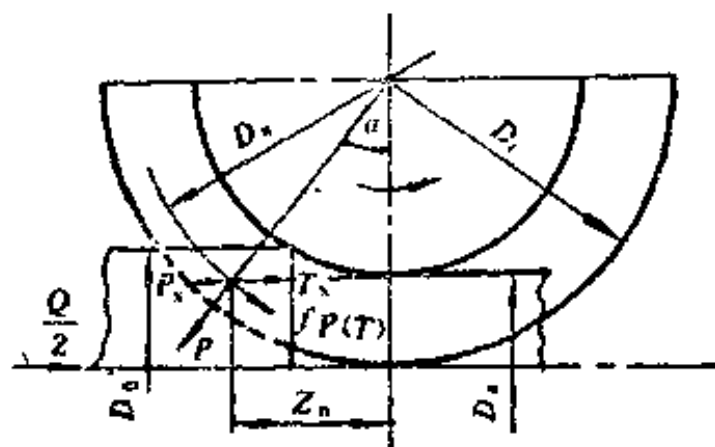


图 4-61 一次咬入时受力分析

由图中受力分析可看出，金属同轧辊孔型侧壁相接触，产生一个垂直压力 P ，由于轧辊旋转而产生一个摩擦力 T 。

要实现咬入则必须具备如下条件：

$$T_x > P_x$$

$$T_i - P_i \geq 0$$

$$T_x = T \cos \alpha$$

$$p_r = p \sin \alpha$$

$$T \cos \alpha - P \sin \alpha \geq 0$$

$$\text{tg } \alpha \leq T/P$$

$$\operatorname{tg} \alpha \leq P_f / P$$

$$\operatorname{tg} \alpha \leq f$$

此式即为一次咬入（没有外推力）的条件。

根据接触点（管子和孔型）几何关系得（公式不再导出）：

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{(D_1 - b \sin \varphi^*)^2 - (D_1 - \sqrt{D_0^2 - b^2 \cos^2 \varphi^*})^2}}{(D_1 - \sqrt{D_0^2 - b^2 \cos^2 \varphi^*})^2}$$

式中 D_1 ——轧辊理想直径；

b ——孔型高；

φ'' ——側邊斜度的斜角；

 D_0 ——来管直径。

分析这些公式得出： D_1 愈大， D_0 愈小； φ^* 角愈大则愈易咬入；同时 f （摩擦系数）值愈大也愈易咬入。

对于小型自动轧管机咬入角 α_0 一般不大于 $14^\circ \sim 18^\circ$, α_0 为孔型顶部的咬入角 ($\alpha_0 < \alpha$), 所以当有外推力时正常情况下实现第一次咬入是毫无问题的。

实现第二次咬入条件的力分析如图4-62所示。

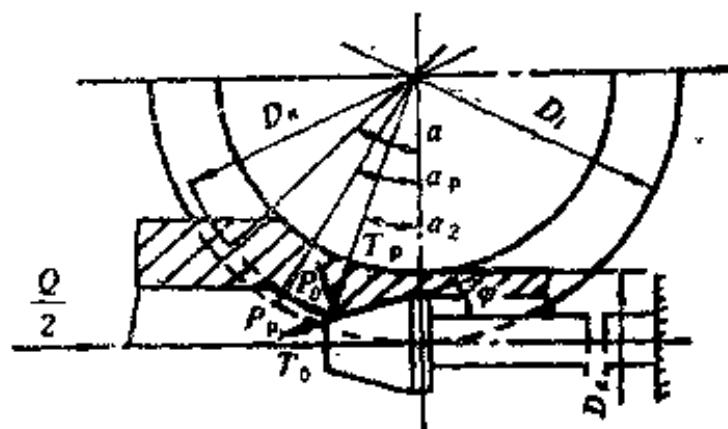


图 4-62 二次咬入受力分析

只有当减径区中轴向曳入力大于顶头的轴向阻力时才能实现二次咬入，即

$$T_{Px} - P_{Px} > P_{ox} + T_{ox}$$

如果有外推力情况为

$$\frac{Q}{2} + T_{Px} - P_{Px} > P_{ox} + T_{ox}$$

由图可以看出，轴向曳入力值主要决定于减径区的大小，而轴向阻力同顶头锥角 φ 有着密切关系。不难看出，减径区愈大则轴向曳入力也愈大，顶头锥角愈小则顶头轴向阻力（即轴向阻力）愈小。

至于球形顶头和锥形顶头对二次咬入的影响，我们必须全面地来分析。球形顶头由于顶头锥角（切线锥角）过大不利于咬入，但采用球形顶头可增加减径区，从而增加了轴向曳入力。生产证明，球形顶头的二次咬入不如锥形顶头。使用球形顶头时减壁量受到限制。

在生产中常遇到的影响咬入的因素有：

1) 毛管直径小时不好咬入，特别在轧制厚壁管时更加明显，这是由于减径区小，轴向曳入力不足以克服顶头的阻力。在生产中一般在轧制前，常将顶头试放在毛管内，如能比较容易地将顶头放入和取出，即认为有一定的减径量，可实现二次咬入，一般毛管内径应比顶头直径大3~5毫米。

2) 送入自动轧管机的毛管温度过低时，不好咬入。这是因为钢温愈低，则金属变形抗力愈高，导致顶头轴向阻力愈大。此时还能引起设备事故（如顶杆弯曲）。

3) 壁厚压下偏大时不好咬入，这种情况下减径区减小，曳入力减小而顶头的阻力却增加。为避免这种现象产生，应该经常检查毛管壁厚，当发现不合适时，必须在穿孔机上减小毛管壁厚。

4) 顶头伸出过前，导致减径区减小，曳入力减小，不好咬入。生产中应该经常检查顶头位置。

5) 轧辊的孔槽被磨光时不好咬入。通常是当轧制一根或数根毛管而发生打滑(由于某种原因)时把孔槽磨光,以后轧制时由于金属和轧辊之间摩擦力减小,钢管咬不入。

产生这种现象可采取停止(关闭)轧辊冷却水,以及减小壁厚压下量,使钢管咬入。轧制数根后孔槽变粗糙些,就好咬入了。

6) 轧辊安装不正或串动都会造成不好咬入。这是因为破坏了正常的变形区形状。

7) 增大金属和轧辊之间摩擦系数有利于咬入,这是在生产中常遇到的问题。如钢辊比铁辊好咬入(通过摩擦系数影响),新辊不好咬入,孔槽磨损太老也不易咬入等。

8) 孔型宽高比的影响。增加孔型宽高比,可增加减径区中钢管和轧辊的接触面积,使之曳入力增加,有利于咬入。但孔型宽高比也不能太大,因为这对钢管质量不利。

9) 毛管端部的几何尺寸和质量对咬入也有影响,这是众所周知的,如弯头、破头、端面不齐等都不好咬入。

在生产中我们还会遇到其他影响咬入的因素,但从理论上讲,凡促使轴向曳入力增加的因素都有利于咬入,凡促使轴向阻力增加的因素都不利于咬入。

在自动轧管机上第二道轧制时,由于管子的几何形状有变化,为一椭圆形,翻转 90° 后,椭圆长轴和轧辊孔型顶部首先接触,这样,第二道的第一次咬入角按下式决定:

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{\sqrt{2\Delta D(D_1 - b)}}{D_1 - D_0'}$$

式中 ΔD ——沿孔型顶部截面上的直径压缩量;

D_0' ——进入孔型中的管子直径(孔型顶部处)。

由受力分析同样得一次咬入条件为

$$\operatorname{tg} \alpha' \leq f$$

式中 f ——摩擦系数。

一般第二道都比第一道取较小的壁厚压下量,对于76机组而言,许多厂都取两道顶头直径相等(或差0.5毫米),从而第二道

的二次咬入比第一道要好咬入一些，一般第一道的二次咬入如能实现，到第二道咬入是无问题的。

对于定减径机和连续轧管机第一架以后各架由于存在着后推力(上一架给予的)，可以改善一、二次咬入条件，第一架如能保证咬入其他各架问题就不大了。

四、圆孔型中轧管的运动学

圆孔型中轧管的运动学就是研究工具和轧件运动的关系。

孔型的形状决定着管子从轧辊中出来的速度，同时还会影响到轧辊孔型的磨损特性。

在圆孔型和椭圆孔型中轧管的运动学特性是沿孔型宽度上轧辊圆周速度不等，在孔型顶部速度最小，在辊缝处速度最大，两者速度差可达20~30%。

首先来确定沿孔型宽度的平均速度

$$V_c = \frac{F}{a} = \frac{\pi n}{60} D_c$$

式中 F ——速度图的面积(图4-63)；

a ——孔型宽度；

D_c ——相当于平均速度一点的轧辊直径。

确定平均速度一点的轧辊直径可用下式计算：

$$D_c = D_1 - \lambda b$$

式中 D_1 ——轧辊理想直径；

b ——孔型高度；

λ ——系数，按图4-64确定。

一般管子从轧辊中的轧出速度 V_k 稍大于轧辊平均圆周速度 V_c 。

管子出口速度对平均速度之比值称为假定的前滑系数：

$$\omega_r = \frac{V_k}{V_c} = \frac{D_k}{D_c}$$

这个系数 ω_r 的大小决定于一系列的工艺因素，如是否有张力和后支持力，变形程度，沿孔型宽度上变形的不均匀性，轧辊

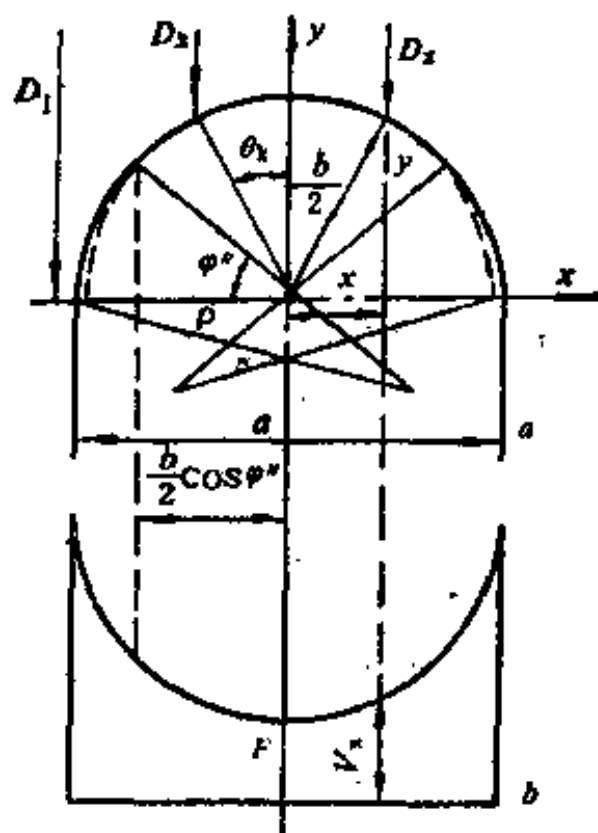


图 4-63 决定工作直径的图示

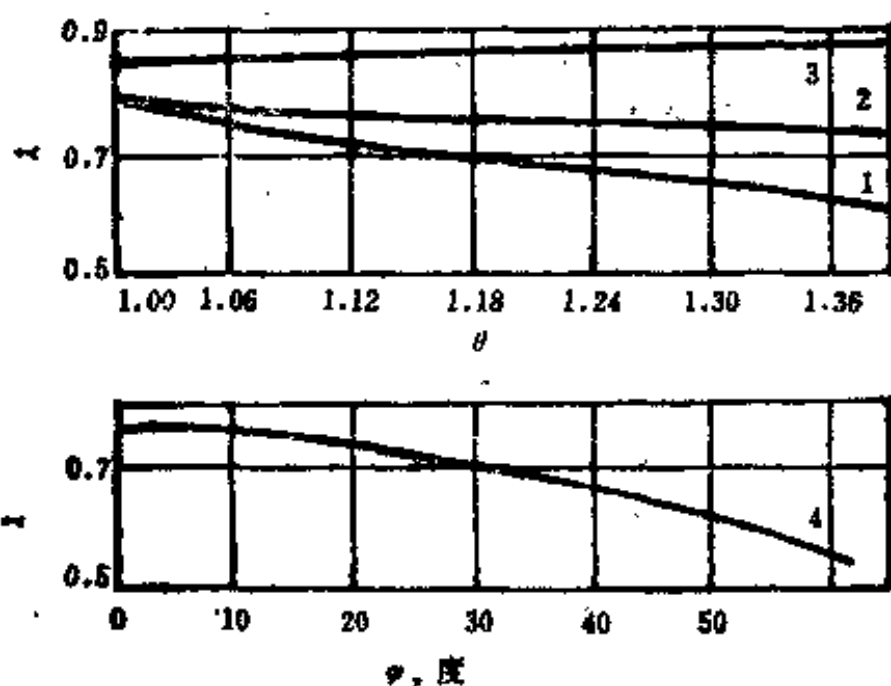


图 4-64 确定 λ 值

1—椭圆形孔； 2—带圆弧侧边斜度的圆孔型； 3—三辊椭圆孔型；
4—带直线侧边斜度的圆孔型

和孔型直径之比，管子壁厚，有无芯棒一顶头，轧辊和芯棒一顶头间的摩擦系数，等等。但是在实际计算时当没有张力或支持力

时，这些因素的影响可以忽略不计，即认为 $\omega_y = 1$ 。

在自动轧管机上轧管时假定的前滑系数非常接近于1，所以可认为 $D_k \approx D_c$ 。

在两辊轧机中一般采用圆和椭圆孔型，椭圆度系数一般在1.05~1.12，由图4-64可查出 λ 近似等于0.75。这样工作直径 D_k 可按下式计算：

$$D_k \approx D_c = D_i - 0.75b$$

我们知道， D_k 相当于管子出口速度一点的直径。

较工作直径 D_k 小的孔型上各点，金属纵向流动速度大于轧辊圆周速度，将会发生前滑现象；相反，较工作直径 D_k 大的孔型上各点，将产生后滑现象。很明显，在圆孔型中轧管的任何情况下管子出口速度大于孔型顶部圆周速度时将产生前滑，而管子出口速度小于侧边斜度处的轧辊圆周速度时将产生后滑。

图4-65为实测的自动轧管机前后滑区的分布。

由图可以看出，前滑区并不扩展到整个变形区宽度，靠近辊缝处存在着后滑区。

在自动轧管机上第一道的变化量较第二道大，所以前滑区也较大，这是由于变形量大，在变形区中金属在各个方向上质点速度均增加。

研究钢管直径和辊身直径之比对前滑的影响得出，对于轧制小直径管（ $\phi 76 \sim 114$ 毫米）随着 $\frac{D_n}{D_R}$ 比值的增加前滑降低，换句话说，在轧辊直径一定下随着孔型高度的增加前滑减小，如表4-14所示。

研究无芯棒轧管时各种工艺因素对前滑的影响[18, 19]得出：

- 1) 随着轧制温度的提高前滑减小；
- 2) 在其他条件相同情况下随着管壁厚度的增加前滑增加；
- 3) 在无芯棒轧管时随着压缩量的增加前滑增加，这和有顶头轧制时试验结果是相同的；
- 4) 随着 D/S 比值的增加，前滑区减小。

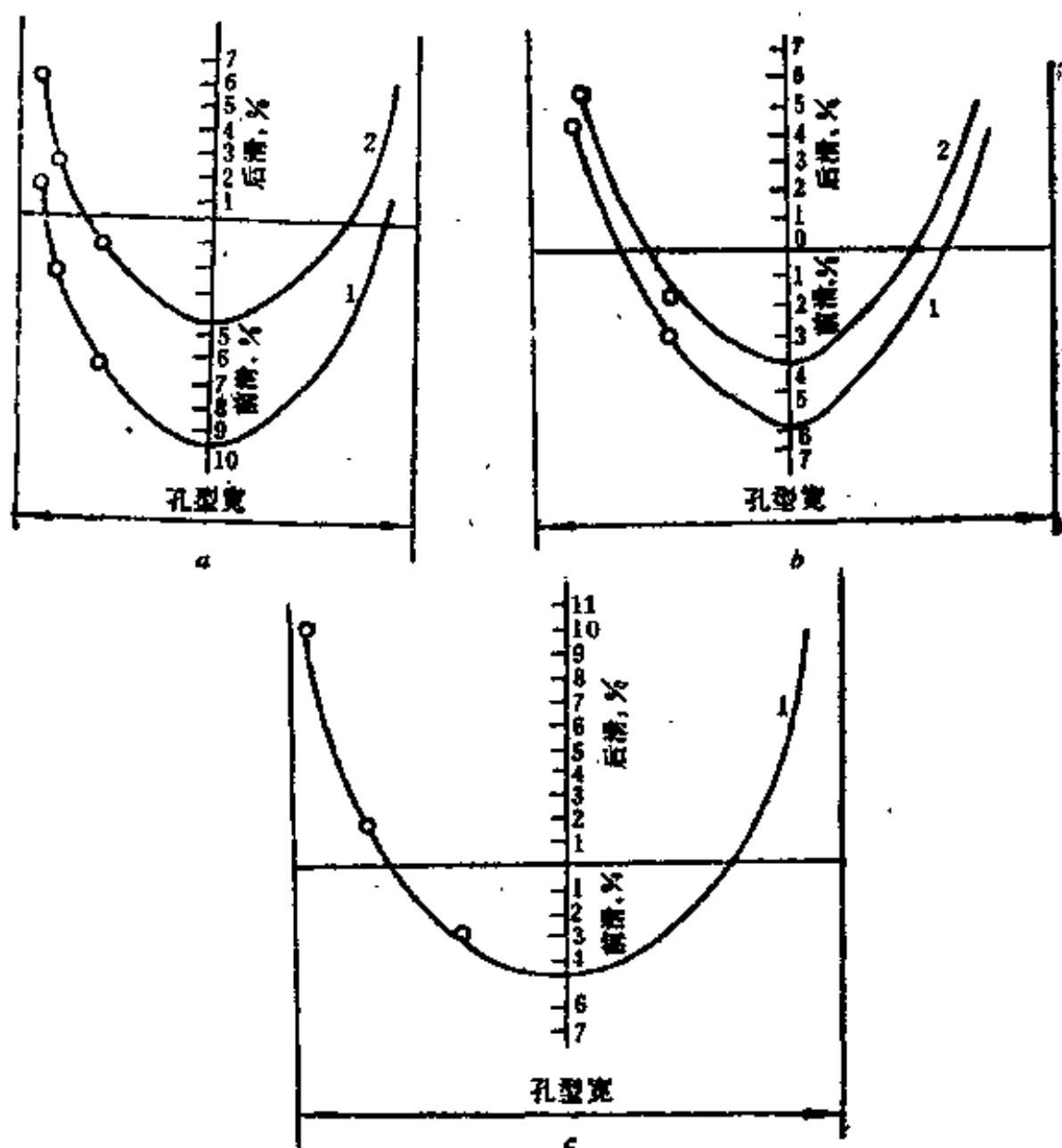


图 4-85 在自动轧管机上轧管时前后滑区的分布
 a— $\phi 83 \times 4$ 毫米钢管； b— $\phi 114 \times 5$ 毫米钢管； c— $\phi 89 \times 4$ 毫米钢管
 1—第一道； 2—第二道

表 4-14 钢管和辊身直径对前滑系数的关系

钢管名义尺寸 毫米	在自动轧管机 上的管子直径 D_s , 毫米	辊身直径 D_R 毫米	$\frac{D_s}{D_R}$	孔型顶部平均 前滑系数
$\phi 76 \times 3.5$	73	532	0.137	1.09
$\phi 76 \times 3.5$	73	538	0.136	1.11
$\phi 83 \times 3.5$	81	509	0.145	1.093
$\phi 83 \times 3.5$	81	538	0.150	1.097
$\phi 89 \times 3.5$	87	517	0.168	1.065
$\phi 102 \times 4.0$	100	538	0.185	1.053
$\phi 114 \times 5$	112	500	0.224	1.04

由以上所述可以看出，影响前滑的因素是较多的，而且在生产中是综合因素的影响，从而较精确地确定前滑值是较困难的。

下面我们讨论连续轧管时的运动学特征。

在连轧机上带芯棒和不带芯棒轧制时，连续生产过程要求各个机架的延伸系数和轧辊的圆周速度协调一致。

决定连轧机工作的基本条件是金属通过每个机架的秒流量体积为一常数：

$$FV_{\text{出}} = \text{常数}$$

式中 F ——从孔型中轧出的钢管截面积；

$V_{\text{出}}$ ——管子从轧辊中出来的速度。

在理想的情况下，连轧机每一对轧辊中单位时间内通过的金属体积是相等的。但实际上这种情况是很少见的，这时各相邻机架之间不发生任何影响。

由于精确地选择所需要的速度和延伸率有困难，并且由于轧辊的不均匀磨损和跳动以及各种工艺因素的变化（如通过对前滑值的影响，而影响出口速度变化），所以要想在所有机架中保持秒流量相等的轧制条件实际上是不可能的。因此，一般情况下每一对轧辊不可能在单位时间内通过相同的金属，这样各相邻机架将彼此发生作用。如果前面的机架（顺轧制方向）通过的金属体积比后面的机架多，这种轧制过程就带有张力。如果前面的机架通过的金属体积比后面的机架少，则这种轧制过程就有推力。

对理想过程的偏差程度可用系数 C 来表示：

$$C_{i+1} = \frac{F_{i+1}V_{i+1} - F_i V_i}{F_{i+1}V_{i+1}}$$

当 $C > 0$ 时，机架间将产生张力（拉钢），而当 $C < 0$ 时则有推力（堆钢），但这并不意味着，带有推力或者张力的轧制违反秒流量体积相等的原则。

在所有机架都充满金属而 $C \approx 0$ 的情况下，每对轧辊在任一瞬间仍都遵守 FV 的实际数值相等的原则。这可通过金属和轧辊间的滑移来达到，即金属的实际速度区别于计算速度。因为在变

形区中管子的截面积和在变形区外（外区域）的管子截面积是变化的。这种变化是轴向张力和推力作用的结果，以及实际的金属秒流量体积和计算的不一致而引起轴向流动阻力变化的结果。

例如，在带张力减径时在轴向张力的作用下将使金属纵向流动阻力减小，这就导致管壁增厚量减小或者甚至使管壁减薄。也就是管子截面积更减小了。在管子截面积进一步减小的同时，管子从孔型中出来的速度也要有所增加，从而可保证相邻机架秒流量体积基本相等。

很自然，当 $C \approx 0$ 时，连续轧机任何一个机架都会影响其余机架的变形条件，但就是在这种相互作用的复杂关系中，连轧过程仍然能够在任一时间中保持秒体积为一常数的条件。

这就说明，连续轧制条件虽然复杂，但当计算的速度和实际的速度有差别（较小的）时连轧过程还能正常进行，这是因为连轧本身存在有自适应、自调整的过程。但当差别较大时必然会造成严重的堆钢和拉钢现象，轻者不能获得所需的钢管尺寸，重者连轧过程不能建立，甚至出现事故。这是因为自适应、自调整过程只有在一定条件下才能实现。

由此不难看出，较为精确地确定各机架管子的出口速度是很重要的。

五、在圆孔型中轧管的变形

1. 圆孔型中轧管的作用力分析

虽然我们在生产中会遇到各种轧管方法，但实际上金属变形都是在轧制工具作用下进行的。因此讨论作用力不外乎是轧制工具给予金属的变形外力（或金属给予工具的反力），同时变形外力和运动学也有着密切联系。我们知道，金属和工具的运动关系决定着摩擦力的方向。在外力的作用下金属内部将产生内应力导致金属产生塑性变形，但金属变形过程中往往产生不均匀变形，从而内应力还包含着由于不均匀变形等所引起的附加应力。

按力学原理，轧制工具给予金属的外力主要是正压力（垂直于工具表面）以及由于相对运动而产生的摩擦力。

如果认为在稳定过程中管子运动是均匀的，也就是说没有加速和减速，那么按静力平衡原则，作用在金属上的所有外力的几何总和应该等于零。

图4-66示出在无芯棒轧管时孔型顶部的受力分析。由于存在着前滑区和后滑区两个区，从而在这两个区中分别作用有 T_{p1} 和 T_{p2} ，而且摩擦力的方向是相反的。如果带张力轧制，还作用有前张力 q_H 和后张力 q_h 。

图4-67示出在短顶头上轧制钢管时的受力分析的示意图。由

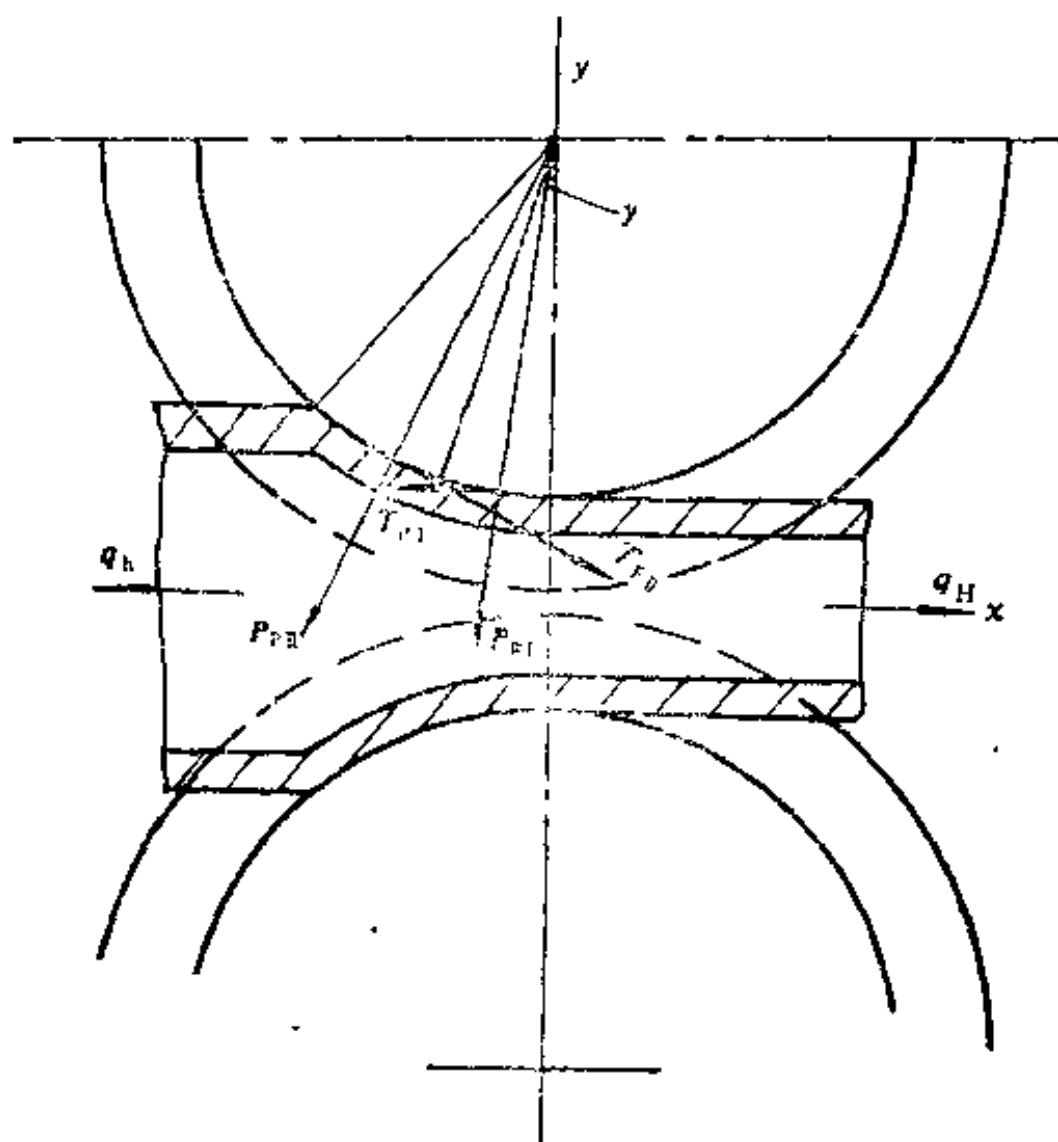


图 4-66 无芯棒轧管时的受力分析

前已知，前滑区一般不出壁厚压缩区，从而在壁厚压缩区中存在有正压力 P_{a1} 和 P_{a2} 以及方向相反的 T_{a1} 和 T_{a2} 。在减径区中仅作用有 P_p 和 T_p 。

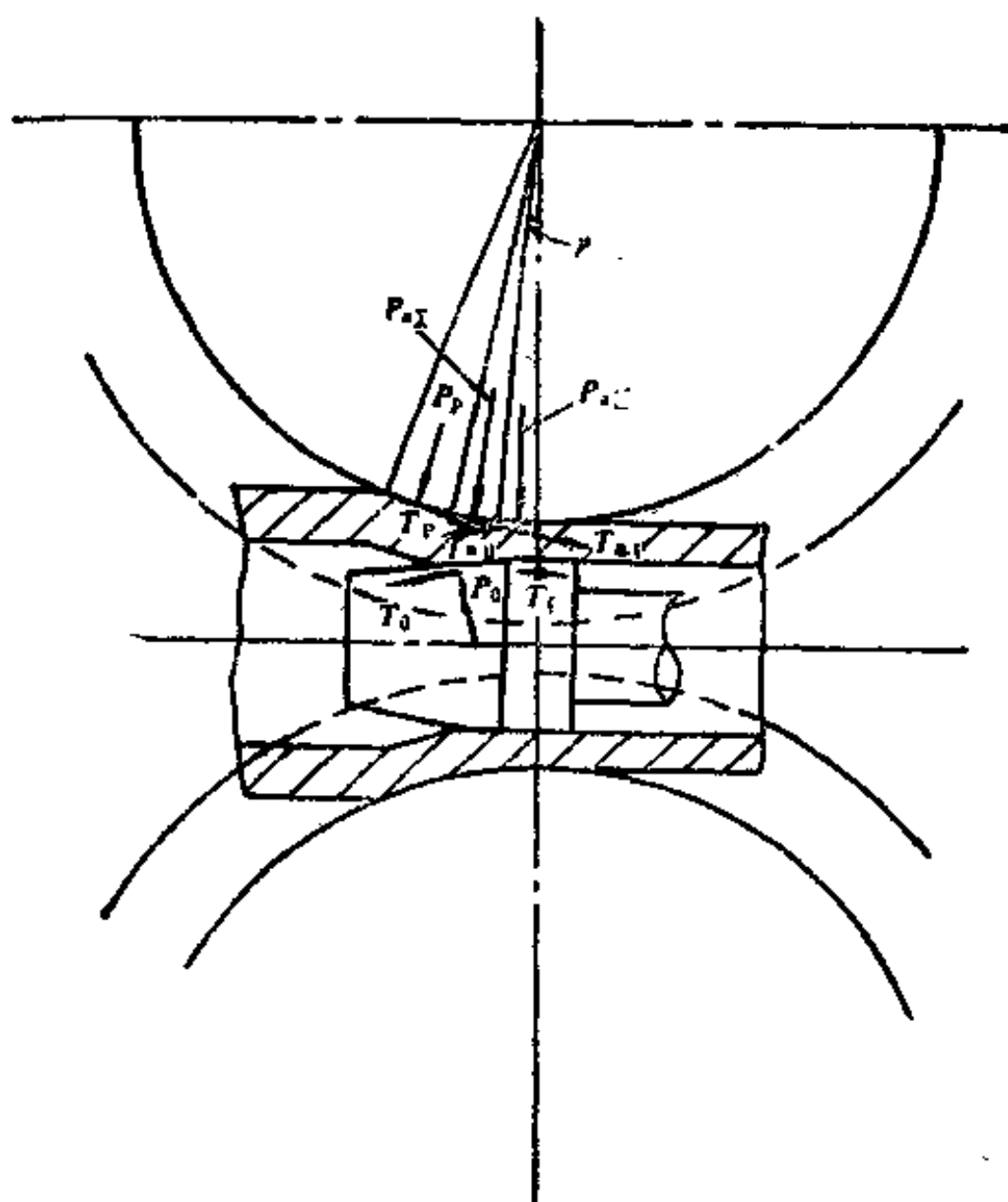


图 4-87 短顶头轧管时的受力分析

上述的受力分析仅就孔型顶部而言，如果要考虑沿孔槽宽度上各部位受力情况就要复杂些，不过不外乎还是两个力——正压力和摩擦力，只是孔槽各部位的滑移情况不同，正压力大小不同，必然导致摩擦力的方向和数值有所变化。

我们更为关心的是，作用在金属上的总压力和总摩擦力，由于孔槽（沿孔槽顶部中心线）是对称的，总压力和总摩擦力应该作用在孔槽顶部。这样对无芯棒轧管时（无张力情况）力的平衡关系应当是：

$$\Sigma x = 0$$

即

$$P_{P1x} + P_{P2x} - T_{P2x} + T_{P1x} = 0$$

而在 y 轴上仅作用有 $P_{1y} + P_{2y} = P_{Fy}$ ，对两个轧辊来说 $\Sigma y = 0$ ，即 $P_{Fy} - P_{Fy} = 0$ ，正压力和摩擦力的大小相等方向相反。

在短顶头上轧管时力的平衡关系是：

在减径区作用有正压力 P_F 和摩擦力 T_F ，很明显，为了实现二次咬入，克服顶头的轴向阻力，摩擦力的方向应该和轧辊旋转方向一致（即把金属曳入变形区）。在壁厚压缩区作用有正压力 P_s （为 P_{s1} 和 P_{s2} 之合力）和摩擦力 T_s （为 T_{s1} 和 T_{s2} 之合力），由于金属是在顶头和轧辊之间进行塑性变形的，而顶头是阻止金属轴向移动的，由此， T_s 的方向应该是和轧辊旋转方向一致。在顶头上作用有正压力 P_0 和摩擦力 T_0 ，这两个力都是阻止金属轴向移动的。此外，对于使用锥形顶头，金属出轧辊中心线后还要克服顶头圆柱带（一半）上的摩擦力 T_f （ T_f 也可包括 T_0 之中）。

在短顶头上轧管时力的平衡方程式为：

$$\underbrace{T_{Fx} - P_{Fx}}_{R_{Fx}} + \underbrace{T_{sx} - P_{sx}}_{R_{sx}} - \underbrace{(T_{0x} + P_{0x})}_{R_{0x}} - T_f = 0$$

而 $P_{sx} + P_{0x} + T_f = Q$ （轴向力）

同样，在 y 轴上对两个轧辊来说各力的分量都是大小相等，方向相反。

下面我们来分析用球形顶头和锥形顶头轧管时受力情况的区别。

通过实际测压得出，轧制同一尺寸毛管时，在其他条件相同情况下使用球形顶头轧管可以减小轧制压力和轴向力，这是因为使用球形顶头轧管可以减小壁厚压缩区的长度，同时 $T_f \approx 0$ 。另外， P_0 和 T_0 值也有所减小，但 P_0 和 T_0 在 x 轴的分量将增加（由于锥角增加）。使用球形顶头轧制时由于减径区加长，因此 P_F 和 T_F 都要增加。可是前面已经指出，减径时所需的变形力要比壁厚压缩时所需的变形力要小得多，从而总起来看最终使用球形顶头轧制时轧制压力和轴向力都将有所减小。

比较有无张力减径钢管时的轧制压力，可明显得出，在带张力减径时，金属对轧辊的轧制压力下降，这是由于应力状态的影

响。在轧件两侧（前后）施加张力，无疑等于增加了拉应力状态程度，使变形容易，变形抗力减小，最终导致轧制压力减小。

2. 在外力作用下圆孔型中钢管的变形

前已指出，在圆孔型中轧管时的变形有三种方式：压扁变形（塑性弯曲），减径变形和壁压缩变形。

压扁变形是变形过程中一个阶段，是在圆孔型中轧制空心物体时产生的特殊现象。压扁变形不是我们追求的目的，但实际上这种变形是不可避免的。

减径变形是指外径受到压缩而减小。减径变形参数可用外径上的相对压缩量 $\frac{\Delta D}{D}$ 表示。在减径变形时外径上被压缩的金属可流向两个方向：一是纵向——延伸（伸长），一是径向——壁加厚（无张力减径情况下）。当带较大的张力减径时甚至壁厚减薄，也就是说，直径上被压缩的金属和壁减薄的金属都流向延伸方向。

通过实际测定得出，在无张力减径时决定壁厚变化的主要因素是减径程度 D/D_0 和管子的几何因素 S_0/D_0 （ D_0 和 S_0 分别为管子的原始直径和壁厚， D 为轧后管子直径）。

图4-68为对于热变形有加工硬化的钢的管壁加厚曲线。

实际生产中应用这一图表时，可先用 S/D 代替 S_0/D_0 ，因为原始壁厚是个未知数。决定了变形程度 D/D_0 后由图中可求出 S/S_0 比值，由此再来决定未知的原始壁厚 S_0 。为了得到比较精确的结果，再用已求出的 S_0 来确定 S_0/D_0 ，并重新求出比较精确的原始壁厚。

分析图中曲线可以看出： $S_0/D_0 < 0.1$ 的情况下在任何减径量下都是壁加厚；而当管子很厚时，即 $S_0/D_0 > 0.35$ 情况下永远是壁减薄；而当 S_0/D_0 在 $0.1 \sim 0.35$ 范围内，管子才依减径量大小而变化（加厚或减薄），同时很明显，当中存在着一个临界变形程度 D'/D_0 ，在此变形程度下管子壁厚保持不变。在这种变形程度下（减径量）金属向管内流动的阻力增加到这种程度，即直径上减小的金属只向纵向流动——延伸。

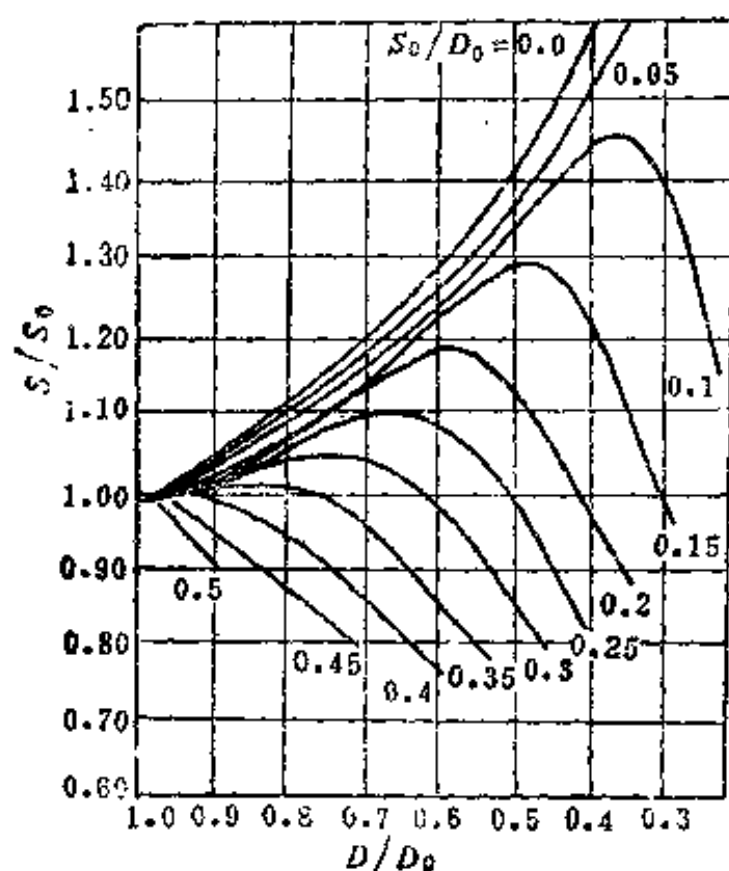


图 4-68 无张力减径时碳钢和合金钢管壁增厚值的确定

在小的减径量下金属的纵向阻力大于金属向内的流动阻力，引起壁加厚，并且在小减径量下随着变形的增加（在一定范围内），壁增厚值也增加，这是因为变形区长度增加而金属纵向流动的阻力也增加。与此同时金属向内的流动阻力也增加，虽然它还小于纵向流动阻力，但增加得比较剧烈。到达某一变形程度，两个方向上金属流动阻力相等，从而在图中曲线上有极大点。再继续增加变形程度时壁增厚的强度减小了，这可解释成，金属向管内流动的阻力增加得比轴向更大些；而且由图可以看出，随着 S_0/D_0 比值的增加，金属横向流动阻力比纵向阻力增加得大，因此壁加厚值较小，甚至可出现壁减薄。

由上所述不难得出，金属是纵向流动还是向管内流动主要决定于各向的金属流动阻力。

一般在生产条件下 S_0/D_0 比值一般都在较小的范围内，同时减径量 $\Delta D/D$ 一般也不超过10%。因此多数情况下无张力减径时都是壁增厚，只有当厚壁管减径时才出现壁厚保持不变或减薄的

情况。

在生产实际中计算壁加厚值时如果用上述图表不够方便，还可用以下经验公式来确定壁增厚值：

壁厚小于15毫米的成品管

$$S_0 = S[1 - 0.0044(D_0 - D)]$$

厚壁管

$$S_0 = S - \frac{D_0 - D}{14.9}$$

这些经验公式都是根据实际资料得出的，但都是在一定条件得到的。因此当原始条件相近似时有一定的可靠性。

由图4-68或经验公式求出的壁增厚值含有平均值的意义。因为实际上壁增厚沿孔型宽度上是不均匀分布的，沿孔型宽度壁增厚的不均匀分布如图4-69所示。

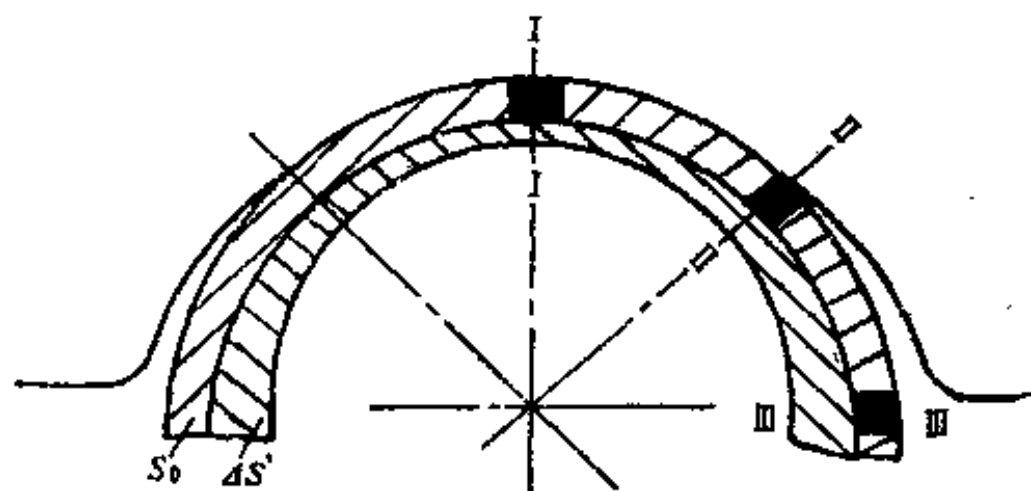


图 4-69 壁增厚的不均匀分布

由图4-69可以看出，在孔型顶部（I—I）壁厚增量最小，在辊缝处最大（III—III），中间部分（II—II）次之。造成壁增厚不均匀分布的原因，有人分析如下。假如由变形区中取出厚度等于无限小的半个圆环并展开（图4-70），则在此半圆环上作用有切向力 τ 、径向力 p 和 p' （可看成单位压力）以及摩擦力 u 。 τ 为主变形力。当此柱体（半圆环展开）在 τ 作用下高度受到压缩时，金属可向两个方向流动：一是延伸，一是壁增厚（类似宽

展)。但在孔槽顶部及其周围部分，由于向外宽展（增厚）受到孔槽壁的限制而不可能，只能向管内流动。在辊缝处由于管子外表面不和孔槽壁接触，金属可向外流动，从而壁厚增值要比孔槽顶部来得大。这是造成壁厚不均匀分布的第一个原因。另外，由于沿孔槽宽度上单位压力分布不均，孔槽顶部（I—I）单位压力最大，辊缝周围（II—II）最小，中间部分（III—III）次之，这样，按最小阻力定律可得出，孔槽顶部的金属将向侧边斜度处（辊缝处）横向流动，从而产生接触摩擦力 T_f 。因此孔槽顶部壁增厚值较小，而且由I—I断面到II—II断面壁增厚值是逐渐增大的。这是造成壁厚不均的第二个原因。

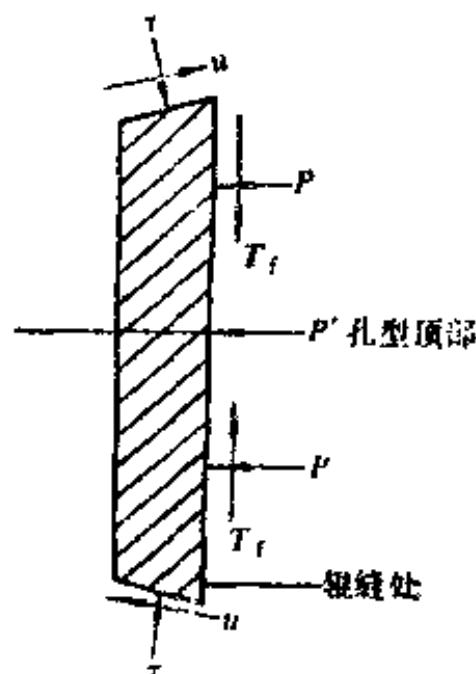


图 4-70 壁增厚分析图示

有人分析认为，造成钢管横向壁厚不均的主要原因是摩擦力的影响。

假如存在着理想的圆孔型，那么单位压力大致可以认为是均匀分布的（如空拔钢管）。但是，在实际使用中的孔型是椭圆孔型，孔型内压缩量根据其所处位置不同而有较大差异，一般在轧辊孔槽顶部最大，而在轧辊辊缝处最小，如图4-71所示。而且，在孔型内产生的单位压力和压缩量大致成正比例。这样，随着压

力而产生的轴向摩擦力（假如摩擦系数为一定值）在孔型顶部最高，在辊缝处最低。

这样，在孔型顶部的摩擦力最大，而且和轧辊转动方向相一致，那么在孔型顶部金属在轴向（纵向）上就流动得多，摩擦力拉着金属向前流动，导致减薄得多（或壁增厚得少）。在辊缝处则相反，从而造成横向壁厚不均。这种分析也有一定的道理。

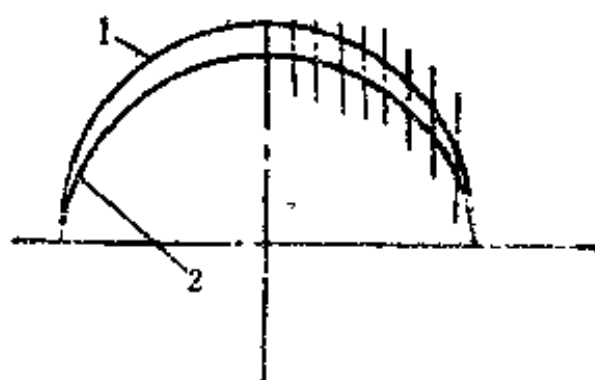


图 4-71 压缩量沿孔型宽度的分布

1—钢管，2—孔型

在生产中常易出现的缺陷，如二辊减径机上的“内方”和三辊减径机上的“内六角”，就是由于横向壁厚不均造成的。图4-72为“内方”缺陷；图4-73为“内六角”缺陷。

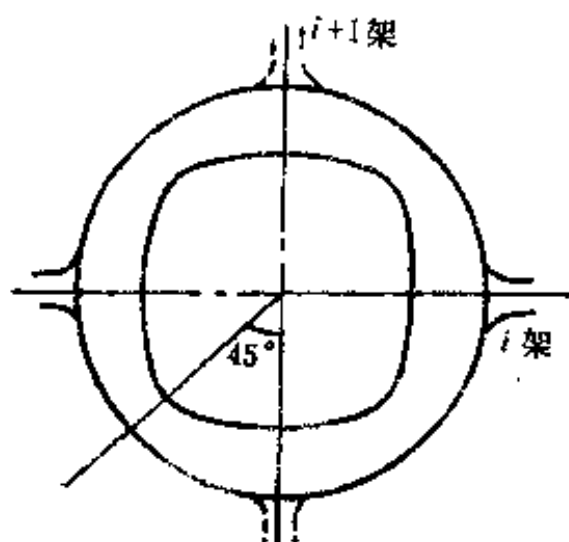


图 4-72 “内方”缺陷

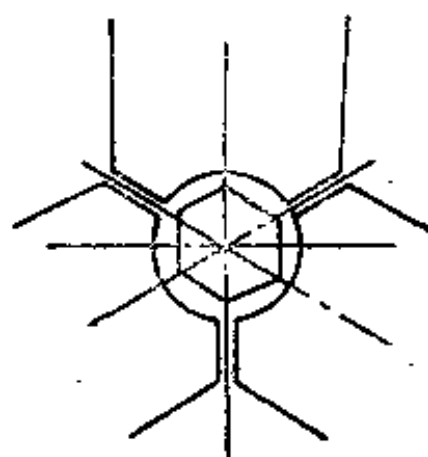


图 4-73 “内六角”缺陷

在无张力两辊减径机上减径时会产生“内方”缺陷，这和各架轧机布置有关。

通过实际测量,沿 $1/4$ 圆周长度上的壁厚分布如图4-74所示。但由于各架轧机是相互垂直布置的,孔型顶部和辊缝处是相互交替的,即前一架为孔型顶部到后一架变成孔型辊缝处,因此通过多架轧机轧制后壁增厚累积如图4-74所示。从图可以看出,在 45° 角处壁增厚 $\Delta S'$ 最小,沿整个圆周有四个最小壁增厚 $\Delta S'$,从而形成“内方”的缺陷。

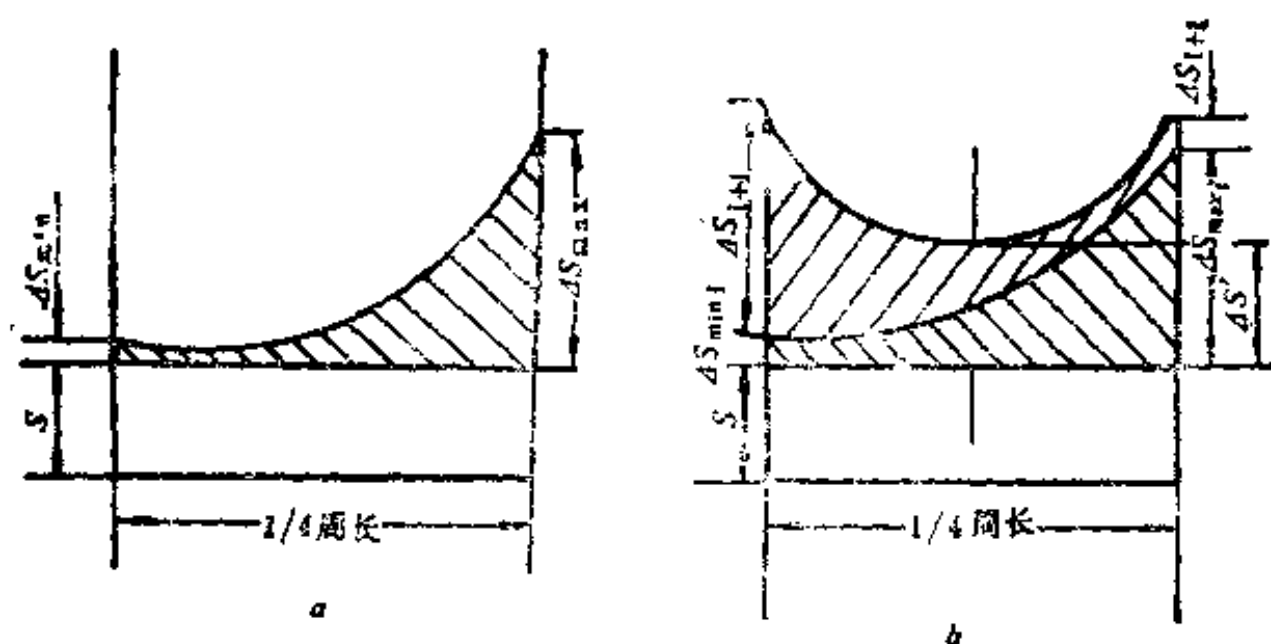


图 4-74 壁增厚沿 $\frac{1}{4}$ 周长的分布

a—一架壁增厚分布; b—两架后壁增厚分布

为了减小无张力减径时的壁厚不均可以采取如下措施:

1) 选取三辊减径机。因为三辊轧机的轧辊刻槽浅,速度差小,同时较两辊轧机沿孔槽宽度上的单位压力(压缩量)分布也较均匀一些,因此壁增厚不均分布也较小些。另外三辊轧机仅容易形成“六角方”内孔,这样“六角方”比“内方”更接近于圆。

2) 在调整减径机时可使钢管在轧制过程中产生小的旋转,在生产中这种方法对减少“内方”缺陷是行之有效的。很明显,管子在轧制过程中作小量的转动,可以错开各架辊缝,从而可以减小横向壁厚不均。

3) 各机架不呈垂直布置,而呈不同角度布置,错开各架辊

缝。但这种方法还未在生产中广泛应用，因为导致减径机的结构设计复杂化。

4) 采取带小张力轧制。带张力减径机可以减小横向壁厚不均，这是因为施加张力后，有利于金属向纵向流动，减小壁增厚。同时带张力可以改变金属和轧辊的滑移条件，从而可以减小摩擦力沿孔型宽度上分布不均的程度，最终导致减小一些壁增厚的不均匀分布。

5) 减小总减径量，从而使总壁增厚量减小。这样也可在一定程度上减小壁厚不均匀分布。

当薄壁管减径时，减径量大小可能会受到孔型中钢管稳定性的限制。如果减径量过大会使钢管产生压皱（参看图4-75）。

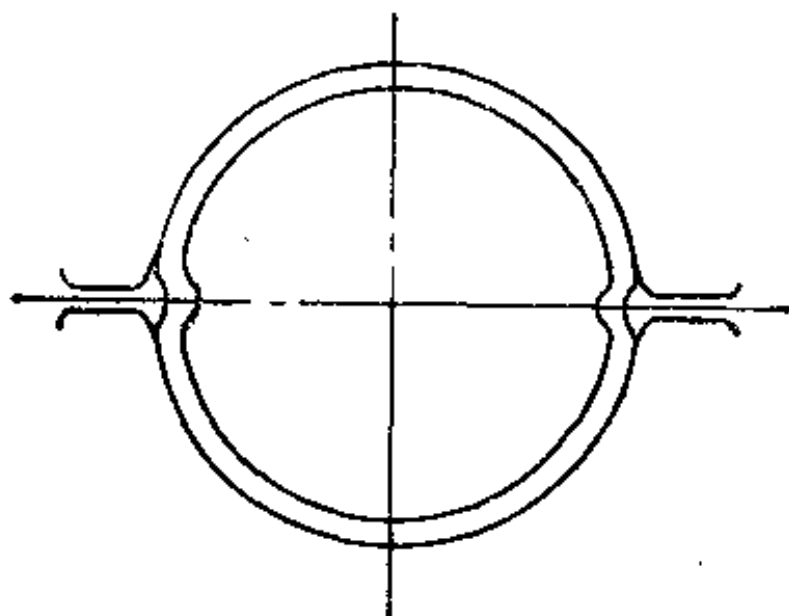


图 4-75 钢管减径时的压皱（轧折）

在无张力减径时，平均减径量通常在3~5%的范围内。

自动轧管机上的壁厚压缩变形要比减径变形简单一些，这是因为顶头和孔型共同形成环形变形区，从而壁厚得到控制，这要比减径过程中的自由变形（壁增厚）容易控制得多。

可是由于孔型存在着侧边斜度，沿钢管断面上的壁厚压缩是不均匀的。在孔型顶部（约 120° ）压缩量最大，因而延伸系数也最大，在侧边斜度处压缩量逐渐减小，直到甚至没有压缩量（如图4-76所示）。而在第二道如取较大变形量时沿断面上变形将更

不均匀。这必然在金属内部造成很大的应力，因而在孔型设计时应注意，使不均匀变形最小，以免钢管产生横裂缺陷。

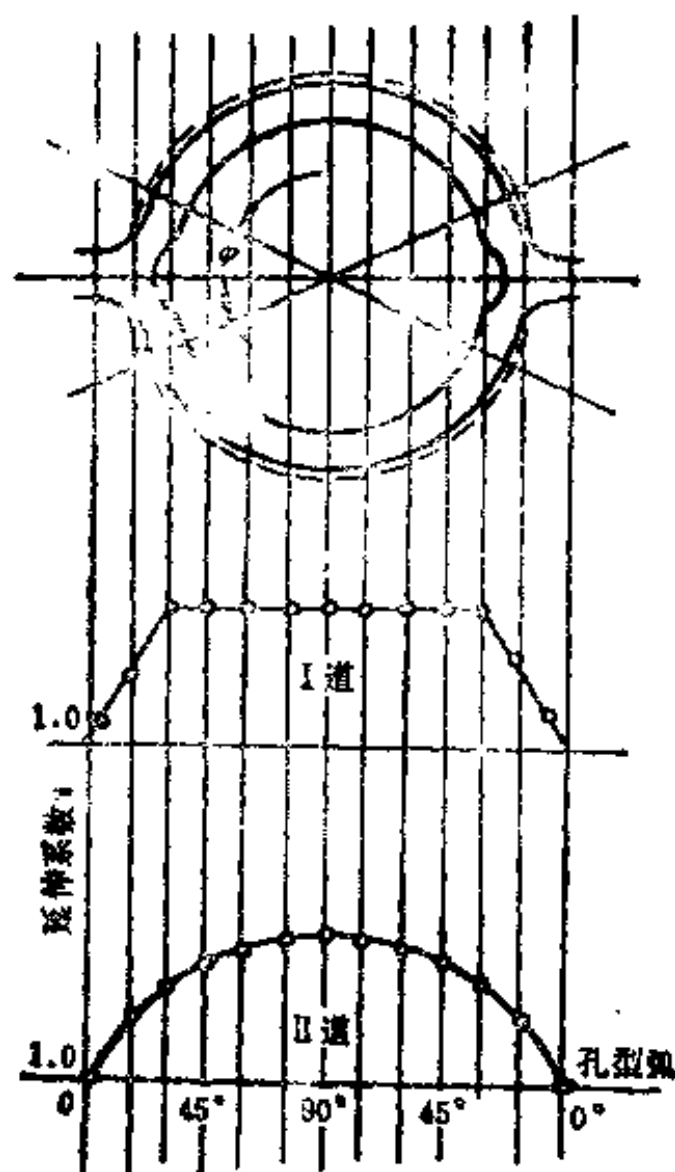


图 4-76 变形量沿孔型宽度的分布

横裂缺陷出现是因为沿钢管断面上变形严重不均匀而引起的。在圆孔型中轧管的应力分布如图4-77所示。在孔型顶部受压缩应力，而在侧边斜度处受拉伸应力。在第二道中由于变形主要集中在孔型顶部，这样，变形更不均匀，因此在第二道中侧边处所受的拉伸应力较第一道大。因为侧边斜度处的金属不受轧辊直接压缩，而只因管子断面受压缩部分的拉伸作用而得到延伸。导致在辊缝处管内产生大的拉应力，当它超过金属强度极限而引起管子横向破裂，特别是第二道温度较低时。当轧制一些高合金

钢。这些钢具有较低的塑性更易出现这种缺陷。因此要合理地选取变形量。

另外金属过热使得塑性降低，生产中也会产生这种缺陷。

为了避免产生过大的不均匀变形，防止缺陷产生，一般孔型设计时孔型宽度不应取得过宽。

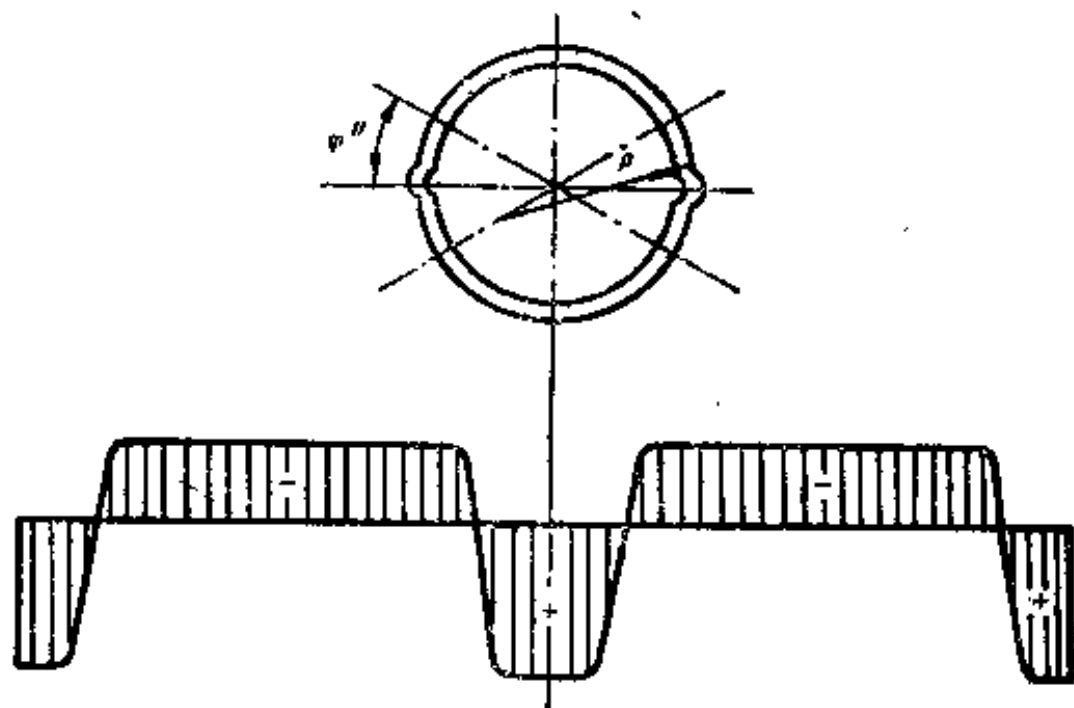


图 4-77 自动轧管机上轧管的内应力分布

六、圆孔型中轧管时的作用力和力矩的确定

1. 自动轧管机轧制压力和轴向力估算

小型自动轧管机的轧制压力（碳素钢）可用以下经验公式进行估算：

管子壁厚为3.5~8毫米时

$$P = 4.5 D_s$$

式中 D_s ——轧管的直径，毫米；

P ——轧制压力，千牛。

管子壁厚大于10毫米时

$$P = 4 D_s$$

当轧制合金钢管时轧制压力将增加。计算时可参考实测数据选取，如表4-15、4-16及4-17所示。

根据实测的资料整理绘制成的曲线如图4-78所示。由图可以

表 4-15 球形顶头与锥形顶头轧管力学参数比较

顶头形状	毛管尺寸 毫米	顶头 直径 毫米	孔型 高度 毫米	钢 种	开轧 温度 °C	轧制压力, 千牛			轴向力, 千牛			备 注	
						咬 入	稳 定	咬 入	稳 定	咬 入	稳 定		
													二道
1	Φ78.5×6.75	64.5	72	20	1100	240	307	215	346	79	56	34	两道顶头直径相等
2	Φ78.5×6.75	64.5	72	20	1090	305	225	272	268	83	43	29	
3	Φ77×6	64.5	72	20	1110	313	261	234	212	64	52	24	
4	Φ78×6	64.5	72	20	1110	320	297	279	272	70	34	29	
5	Φ78×6	64.5	72	20	1130	325	261	280	206	61	29	20	
1	Φ78×6	64.5	72	20	1130	188	179	159	168	55	28	39	两道顶头直径相等
2	Φ78×6	64.5	72	20	1100	268	123	226	109	64	50	6	
3	Φ78×6	64.5	72	20	1100	196	179	160	155	55	37	29	
4	Φ78×6	64.5	72	20	1110	170	185	140	155	55	29	19	
5	Φ78×6	64.5	72	20	1110	210	—	183	119	43	37	6	

表 4-16 114机组轧管机测压数据

序号	规格 毫米	钢 种	第一道			第二道			第三道			第四道
			P 千牛	Q 千牛	t °C	P 千牛	Q 千牛	t °C	P 千牛	Q 千牛	t °C	
1	Φ102×4.5	20	315~382	95~140	1130~1160	371~415	102~140	1020~1070				930°C以下
2	Φ102×4.5	1Cr18Ni9Ti	610~970	250~397	1050~1080	670~886	270~352	980~1030	430~630	120~240		

序号	规格 毫米	钢 种	第 一 道			第 二 道			第 三 道			t °C
			P 千牛	Q 千牛	t °C	P 千牛	Q 千牛	t °C	P 千牛	Q 千牛	t °C	
3	Φ102×4.5	17Mn25Al	520~ 1040	257~500	1020~ 1090	700~ 1120	257~456	900~ 1080	680~ 1460	230~530	930°C以下	
4	Φ102×4.5	GCr15	310~375	110~200	950~ 1100	297~500	100~230	810~990	503	222		
5	Φ102×20	40Cr	97~117	0	1110~ 1160	76~100	18~29	1020~ 1100				930°C以下
6	Φ102×20	45	135~179	0	1100~ 1150	94~110	36~58	1020~ 1100				
7	Φ108×5	20	400~530	126~163	1150~ 1170	377~530	123~173	1060~ 1120	330~415	64~93		
8	Φ108×7	45	390~436	117~140	1130~ 1140	330~406	117~137	1080~ 1120				
9	Φ108×11	35Si2Ti	315~401	—	1150~ 1180	330~400	—	1080~ 1120				
10	Φ108×5.3	1Cr18Ni12Mo2Ti	850~ 1210	320~610	930~ 1040	1040~ 1250	370~490	804~960	880~990	270~390		
11	Φ108×5.3	1Cr18Ni12Mo2Ti	686~962	357~470	1010~ 1070	695~ 1075	290~590	950~ 1000	560~950	100~150		
12	Φ108×4	1Cr18Ni9Ti	950~ 1150	490~530	950~ 1050	830~ 1050	350~330	890~990	880~ 1080	290~455		
13	Φ108×4	Cr23Ni18	670~930	310~430	1050~ 1060	840~820	290~370	950~ 1000	710~860	310~350		
14	Φ108×9.5	40Cr	270~330	100~126	1100~ 1140	290~340	105~140	1050~ 1070				

看出，轧管机上压力的波动范围是较大的。

表 4-17 100机组轧管机测压数据

轧制产品 规格 毫米	钢 种	毛 管 尺 寸	轧 制 表 ， 毫 米				
			延伸 系数 μ	第一道 顶 径	第二道 顶 径	轧槽尺寸	顶杆 尺寸
$\phi 73 \times 3.75$	45	$\phi 78 \times 6.5$	1.79	63.5	65.5	73×79.3	51(57)
$\phi 73 \times 3.75$	36Mn2Si	$\phi 78 \times 6.5$	1.79	63.5	65.5	73×79.3	51(57)
$\phi 89 \times 4$	45	$\phi 94 \times 7$	1.813	78	80	88×94.16	67
$\phi 89 \times 4.5$	20	$\phi 94 \times 7.5$	1.727	78	80	88×94.16	67

轧制产品 规格 毫米	轧制压力, 千牛		轴向力, 千牛		备 注
	一 道	二 道	一 道	二 道	
$\phi 73 \times 3.75$	250~450	—	80~120	50~90	一般第二道轧制压力比 第一道高
$\phi 73 \times 3.75$	450~490	300~420	—	—	—
$\phi 89 \times 4$	350~510	—	140~170	110~120	轧制压力两道近似
$\phi 89 \times 4.5$	270~420	—	100~190	100~140	第二道轧制压力比第一 道高

轧管开始咬入瞬间（和顶头相遇）有较大的冲击负荷，一般冲击负荷与稳定负荷之比值在1.1~1.2之间。

轴向力可用下式估算：

$$Q = KP$$

式中 Q ——轴向力，千牛；

P ——轧制压力，千牛；

K ——系数。

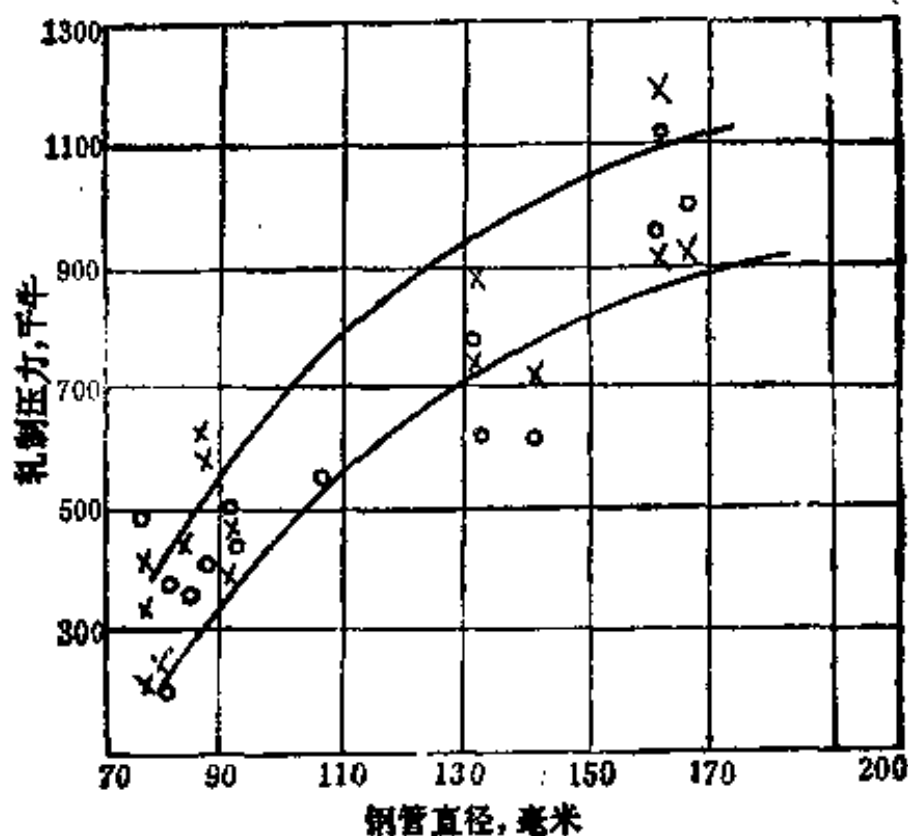


图 4-78 实际测后资料 (自动轧管机)

根据实际测定资料得出, K 系数一般在 $0.25 \sim 0.4$ 范围内波动。轧制厚壁管时取大值。

下面来讨论影响轧制压力和轴向力的因素:

1) 轧制压力和温度的关系。随着温度降低轧制压力和轴向力均增高, 而且对轴向力的影响比轧制压力来得大。因此, 在生产中如何保证正常的轧制温度对于减少设备故障是很重要的。

2) 轧制力和管子壁厚的关系。图4-79表示轧制力和壁厚的关系。由图可以看出, 当壁厚由 5 增到18毫米时, 压力降低10~15%; 当继续增加管壁时则轧制压力反而增高。这是很明显的, 当管壁很薄时, 轧制总压力主要决定于壁压缩区的压力。随着壁厚增加, 相对变形量减小, 从而压缩区中的压力减小, 导致总压力减小。当管壁很厚时, 虽然壁压缩区中的压力减小, 但减径区中压力迅速增大, 从而导致总压力增加。

3) 顶头形状的影响。采用球形顶头可以降低轧制压力, 轴向力也有降低。

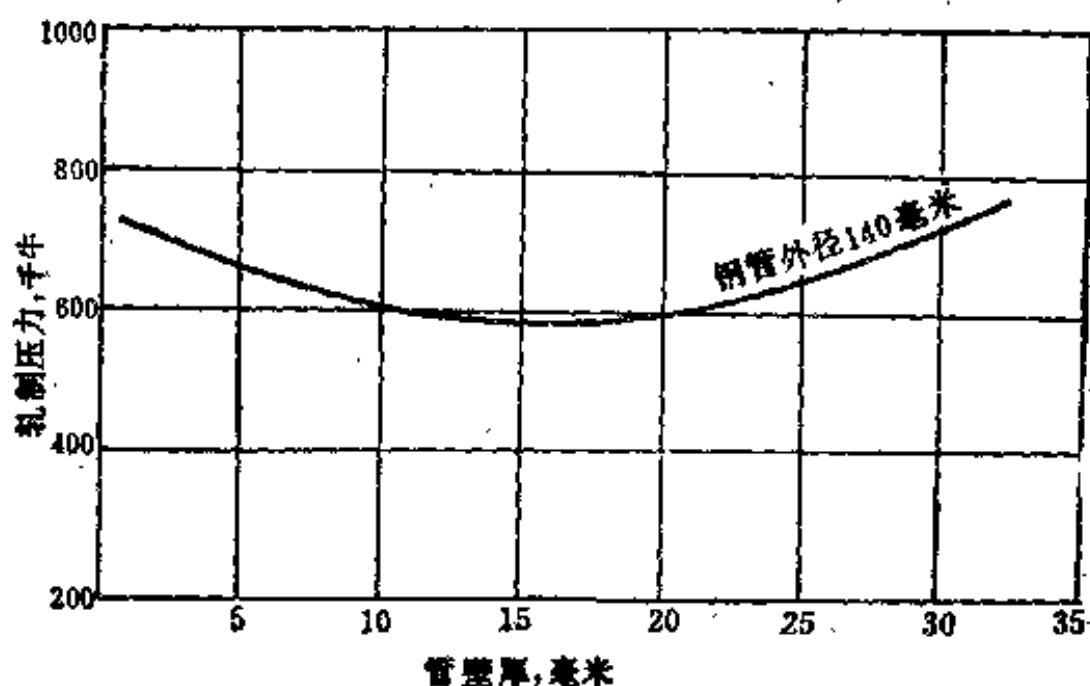


图 4-79 轧制压力和壁厚的关系

4) 钢种的影响。合金钢压力比碳钢压力大, 而轧不锈钢时压力最大, 不锈钢轧制压力比碳钢大 1 倍。

5) 润滑剂的影响。研究各种润滑剂对轧制压力的影响得出, 使用食盐加木炭润滑剂时轧制压力最低 (包括轴向力)。

6) 两道顶头直径差的影响。资料[20]进行了专门试验, 按以下三种方案轧制 $\phi 83 \times 3.5$ 毫米钢管:

第一方案——第一、二道顶头直径分别为72、74毫米。延伸系数分别为1.47和1.31。

第二方案——第一、二道顶头直径分别为73和74毫米。延伸系数分别为1.65和1.17。

第三方案——两道顶头直径相等, 为74毫米。

毛管尺寸为 $\phi 88 \times 7$ 毫米, 孔型高为81毫米, 轧辊直径为525毫米。试验结果如图4-80所示。

由图可以看出, 在相同的毛管温度下轧制压力随着各道管壁压缩量的增加而增加。同时得出, 按第二种方案轧制较为合理, 两道压力分配较为均匀, 压力值也较低。

2. 无张力减径时轧制压力的确定

无张力定减径机的轧制压力按下式确定:

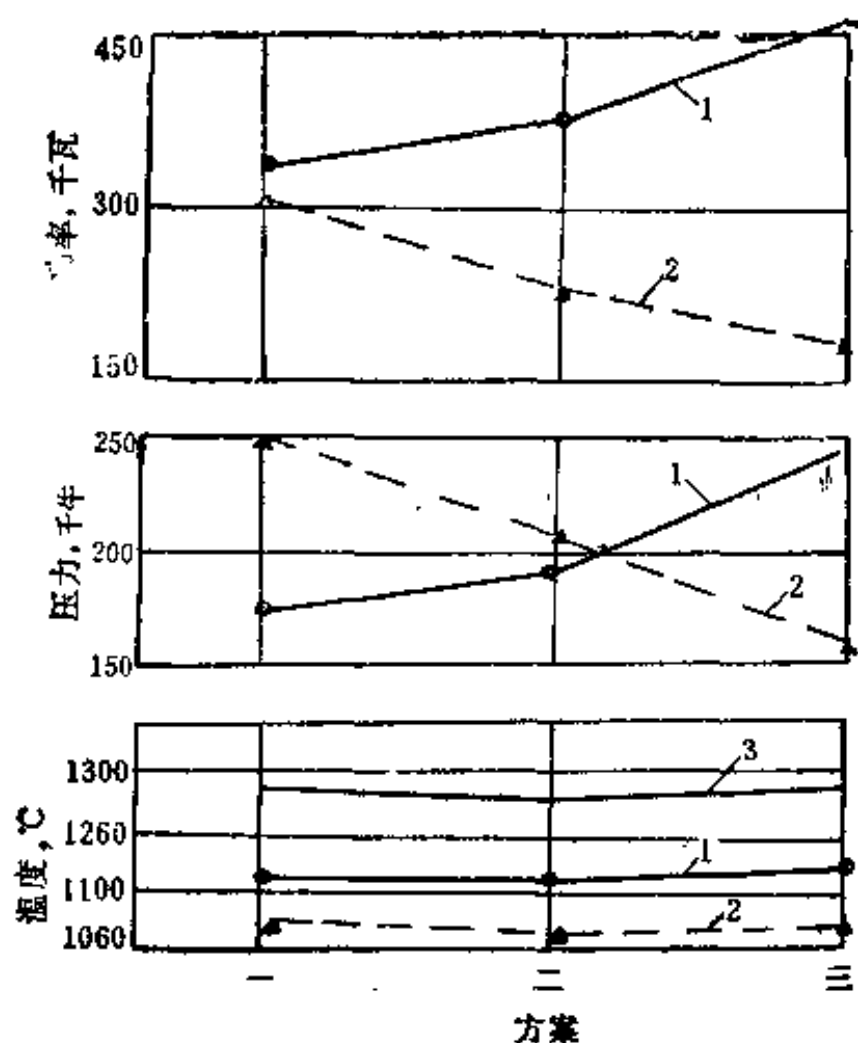


图 4-80 轧制方案对力学参数的影响

1—第一道; 2—第二道; 3—毛管

$$P = pF$$

平均单位压力按下式确定:

$$p = \eta K_t \frac{2S_0}{D_c},$$

式中 K_t ——轧制温度下的变形抗力;

S_0 ——毛管壁厚;

D_c ——管子平均直径;

η ——外区的影响系数, 按下式确定:

$$\eta = 1 + 0.9 \frac{D_c}{L} \sqrt{\frac{S_0}{D_c}}$$

式中 L ——变形区长度。

二辊轧机接触面积按下式确定：

$$F = (0.8 \sim 0.85) a \sqrt{0.5(a_0 - b)[D_{min} - 0.5(a_0 - b)]}$$

式中 a —— 孔型宽度；

b —— 孔型高度；

D_{min} —— 孔型顶部的轧辊直径；

a_0 —— 喂入孔型中的钢管外形高度，等于前个孔型的宽度。

温度和壁厚对无张力定减径时轧制压力的影响[6,10,18]是：温度愈高则轧制压力愈低，壁厚愈薄则轧制压力愈小。资料[6]指出，当壁厚在4.2~7毫米内变动时，轧制压力几乎没有什么变化。这是因为虽然薄壁管压力低，但温度也低，而厚壁管温度高一些，所以综合结果是压力值变化不大。但当壁厚超过12毫米则轧制压力急剧增加。

其他因素，如外径、钢种、变形速度以及轧辊表面状态的影响，与其他轧机对轧制压力的影响性质完全相同，不再赘述。

3. 自动轧管机和无张力定径机轧制力矩的确定

无张力定减径机的轧制力矩可按下式确定：

$$M = P \frac{Z_0}{2}$$

式中 P —— 轧制压力；

Z_0 —— 变形区长度。

小型自动轧管机的轧制力矩按下式大致确定：

$$M = P \frac{l_2}{1.3} + \frac{Q}{2} R_1$$

式中 l_2 —— 壁厚压缩区长度；

R_1 —— 轧辊半径。

第四节 顶管变形原理[21~23]

近代顶管机的代号为CPE，CPE的意思是Cross Roll Piercing and Elongating即斜轧穿孔后顶管延伸。

这种方法的主要优点是：

- 1) 简化了生产工序，用斜轧穿孔机代替了水压冲孔机和延伸机；
- 2) 建设投资费用小；
- 3) 适于生产薄壁管；
- 4) 技术复杂性较低；
- 5) 坯料单重加大，可生产较长的钢管；
- 6) 由于使用斜轧穿孔机，成品管壁厚公差有改善；
- 7) 电耗小。

CPE方法与传统顶管方法的工艺流程简图如图4-81所示。

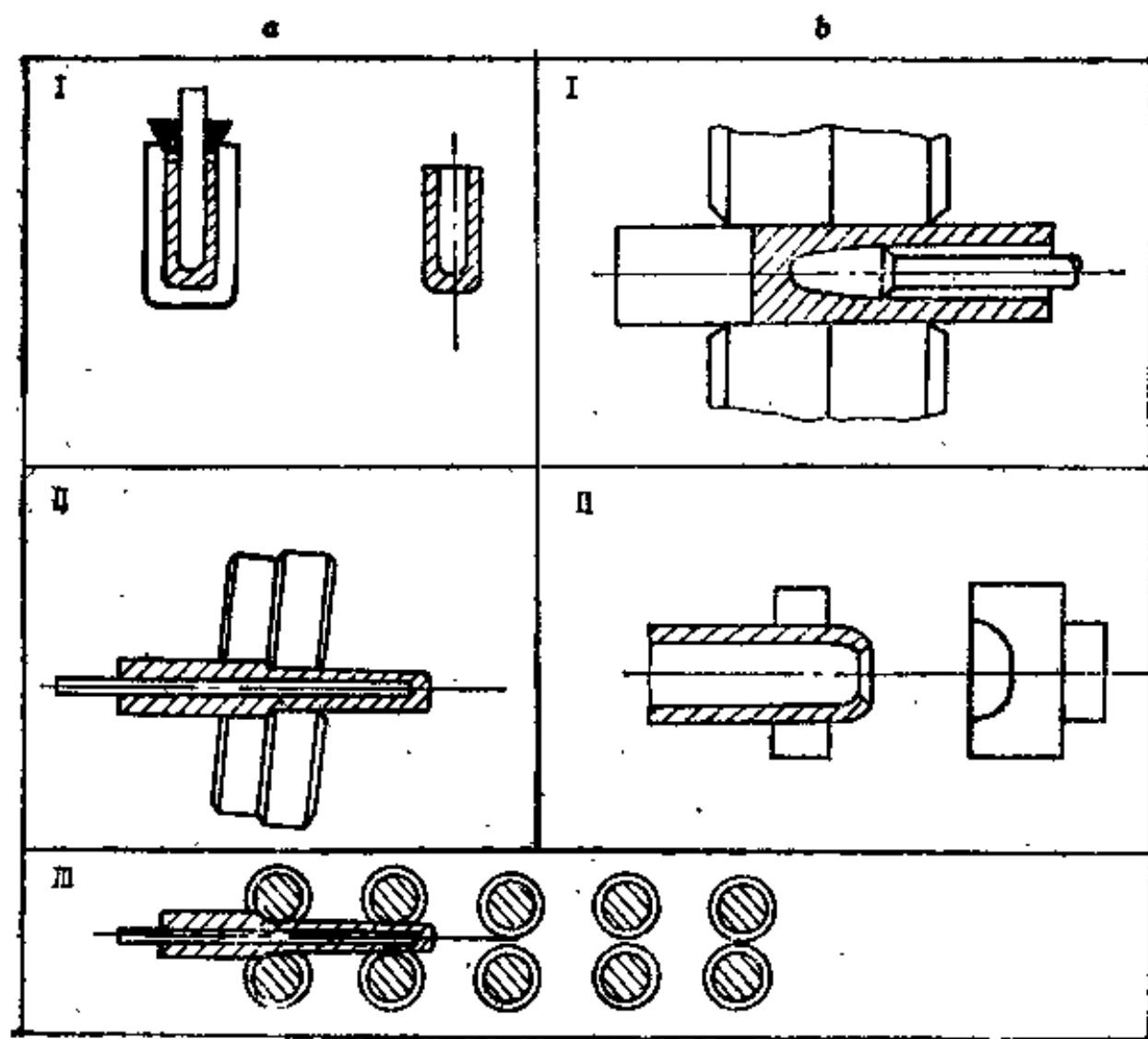


图 4-81 传统顶管方法和CPE法工艺流程图

a—传统顶管方法；b—CPE方法；a, I—压力穿孔机穿孔；a, II—三辊延伸机上延伸；b, I—斜轧穿孔机穿孔；b, II—缩口机缩口；
III—顶管机延伸

顶管机的顶管过程如图4-82所示。

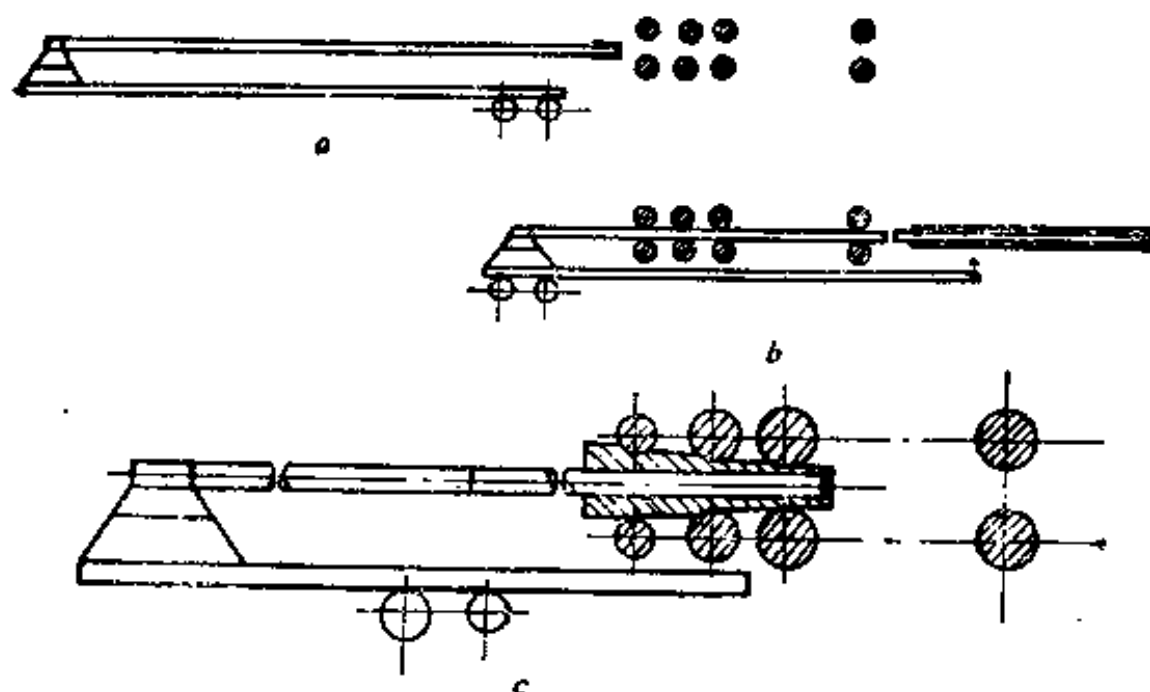


图 4-82 顶管机简图

齿条推杆位置：a—顶管前；b—返回前；c—顶管过程中

一、顶管的变形过程

顶管机的机架一般由三个辊子组成，辊子是不传动的，由顶管变形的摩擦力带动旋转。因此，顶管变形过程是推轧过程。为了展轧辊缝处的金属，辊模在床身上互相交替相差 60° 配置。大多数辊模的辊子是不可调的，称为固定辊模，作为延伸机架。在一个孔型系列中最后的2~3个机架是定径孔型机架，它们的三个轧辊可作径向调整，称为可调辊模，目的是控制成品管的壁厚。

目前在三辊孔型中的断面压缩量一般为20~30%。为了防止在孔型侧壁影响下金属因宽展而进入辊缝形成飞翅，孔型不呈圆形，而做成“椭圆”形。图4-83为两个彼此重叠在一起的孔型配置，中间是芯棒。

取大的道次变形量是可能的，总延伸系数可达15以上，但对顶管机的传动不一定有好处。另外单道次变形量的大小还与毛管壁厚 S_0 和芯棒直径 d_c 的比值有关，在 S_0/d_c 较小例如等于0.04时，单道次减面率最多为25%。

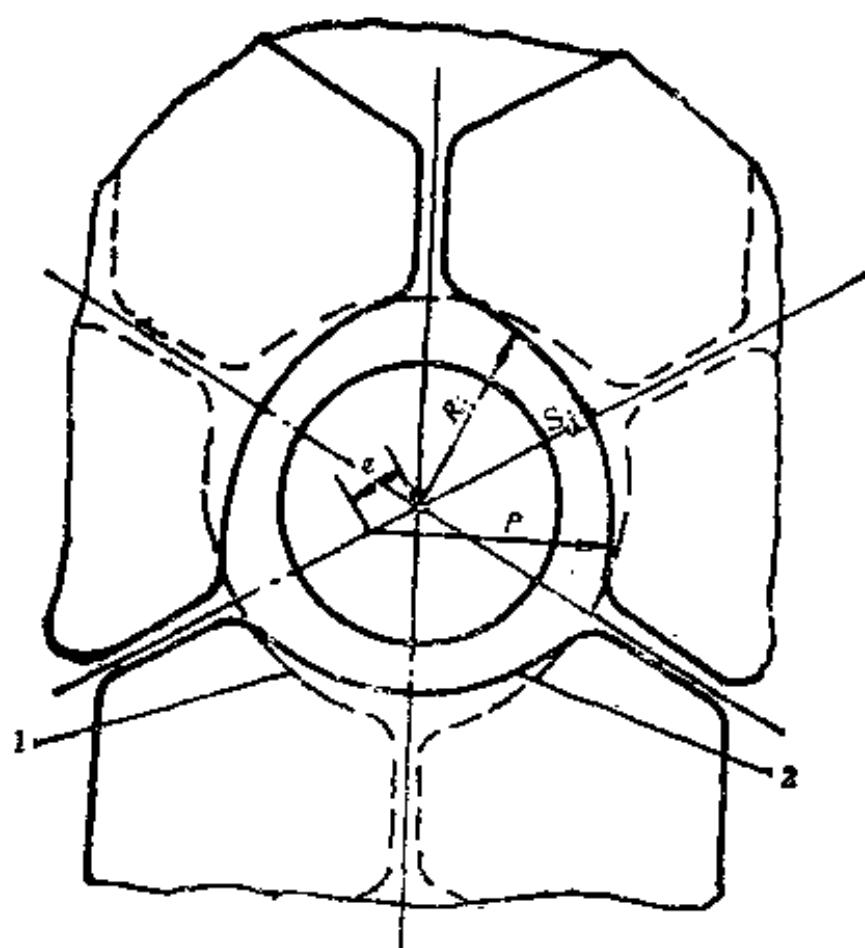


图 4-83 辊式孔型的形状和配置

芯棒直径90毫米；1—孔型3， $\phi 129 \times 17$ 毫米；2—孔型4， $\phi 122 \times 16$ 毫米

图4-84是一个辊模在床身上配置方案的例子。以外径156毫米、壁厚32毫米、长910毫米的冲孔空心坯，轧成外径96毫米、壁厚3毫米、长12米的荒管，总延伸为14.2。采用了12个固定辊模和2个可调辊模。在固定辊模中平均单道次减面率约20%。由图可以看出，同时轧制的辊模数与辊模间距的关系，以水平双线表示管子在咬入下一个辊模瞬时的位置和荒管长度。当荒管咬入第13号辊模时，轧制辊模中的总减面率达最大值71.6%，荒管在6个辊模中同时延伸。这是使用冲孔坯的情况，当采用斜轧穿孔毛管时可以降低顶管机的延伸系数。降低顶管机的变形量对提高产量、改善产品质量以及减小顶管机负荷都有好处。

对于顶管机结构长度来说，床身系数 η 是一个重要参数。床

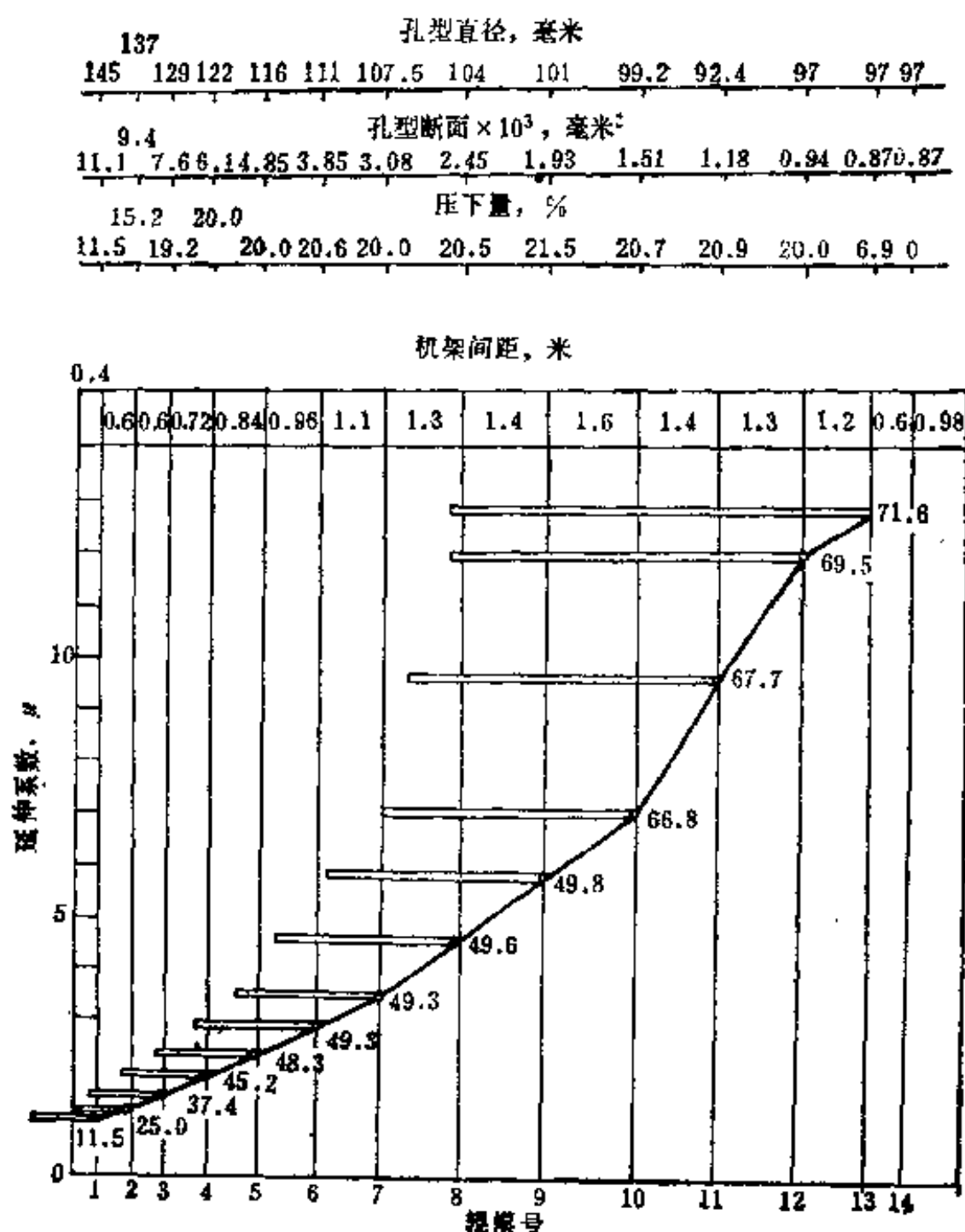


图 4-84 顶管机孔型配置图

芯棒直径 $\phi 90$ 毫米; 毛管规格 $\phi 96 \times 3.0 \times 12000$ 毫米

身系数是总的辊模间距和所生产的毛管长度之比。床身系数 $\eta = 1.133$ 的例子 (参看图4-85) 属于目前一般的操作水平。斜轧穿孔时毛管的长度更长, 这就要求顶管技术更加完善, 可以采用床身系数 $\eta = 1$ 来操作。至于采用 $\eta = 0.9$, 在传统顶管时还有一定困难, 采用CPE方法时, 由于顶管机总延伸系数减少, 是完全可能的。



图 4-85 顶管过程测量波形图

波形1—时间标记；波形2—顶管速度；波形3—电枢电流；波形4—总轴向力；波形5—第一号辊模径向力；波形6—第2号辊模径向力；波形7—第3号辊模径向力；波形8—第4号辊模径向力；波形9—第5号辊模径向力

用顶管方法可以得到的最薄壁厚，除与材料的塑性和变形抗力有关之外，还和芯棒直径有关。极限壁厚由以下经验公式得出：

$$S_{\min} = 0.03d_s$$

在带有长芯棒进行热延伸时，存在着接触摩擦力的影响。当接触摩擦阻力很大时，将使金属进入辊缝并产生很大的飞翅。如摩擦阻力更大，则轧件将产生皱褶，使荒管卡在辊模中，而在出口处将轧件拉断。

为使延伸顺利进行，芯棒的状况具有决定意义，要求芯棒与毛管之间的摩擦状况尽可能均匀，就必须考虑：

- 1) 芯棒的温度，即芯棒与荒管之间的温差；
- 2) 芯棒表面质量及其润滑情况；
- 3) 芯棒本身材料的性质。

芯棒往往承受很高的应力。目前上述三个因素尚未得到妥善的解决。所以在一台顶管机的全部工具费用中，有50%是购买芯棒的费用。芯棒材料采用60MnSi4，工作温度为500℃。顶管过程中芯棒要升温，通过芯棒循环过程来冷却。如按每分钟生产3根钢管计算，则需22~25根芯棒循环使用，不需另加冷却装置。一组芯棒约轧制5个班，即每根芯棒轧制250根钢管左右，芯棒就要重新辗轧。

每次辗轧，芯棒直径约减小0.2毫米，一般在芯棒辗轧机上来回辗轧3~5道，使芯棒直径均一。辗轧温度为900℃，辗轧后水冷到400℃，使芯棒表面有一层氧化膜，这对涂润滑剂有好处。芯棒上涂含磷化物的润滑剂。一般说来一根芯棒经8~10次辗轧，可轧制钢管2000根以上，芯棒消耗约为3.0公斤/吨。

二、顶管负荷试验研究

资料〔24〕曾在顶管机上进行了一系列的试验研究。试验研究的目的是为了得到顶管机最佳变形的孔型和辊模配置方案。试验是在床身系数 $\eta=1.0\sim0.7$ 的条件下，以平均单位减面率为20~30%的孔型系列进行的。当毛管最终壁厚为4毫米，或者再加大延伸使毛管壁厚达3毫米，即在 η 值小于0.75时，顶出的荒管表面质量较差。这是因为在30%的孔型系列时，产生的横向折叠阻碍了金属的纵向流动。由此可得出结论，即令在 η 值较大的情况下，30%的孔型系列也似乎是不可取的。而用20%的孔型系列、 $\eta=0.75$ 的这种配置方案还是可行的。变形负荷增大，可通过增大电机功率来解决。

采用25%的孔型系列、且 $\eta=0.9$ 时，变形的工艺条件达到最佳值。尤其需要指出的是：在这种孔型系列下，由于最初几个孔型的减面率大，毛管在最初几个辊模中就抱紧了芯棒，因而减轻了杯底的负荷。

为了研究变形条件测定了顶推力、轧制压力、电枢电流、顶管速度、芯棒和管子温度等，测定的示波图如图4-85所示。

图4-86是与相关孔型对应的轴向力（顶推力）曲线。轴向力

的大小靠咬入辊模时的负荷增量和轧出辊模时的负荷减量来测量。尽管曲线的波动很大，但还是可以看出曲线的走向。第1个辊模的轴向力较小，是因为空心坯的内径为 $\phi 92$ 毫米，而芯棒直径为 $\phi 90$ 毫米，因此变形量很小，甚至没有，所以需要的力也很小。在25%的孔型系列中，在第2个辊模之后，轴向力不断下降，直到第6个辊模之后，才又开始增大。在20%的孔型系列中，第2个辊模后直到第7个辊模，轴向力总的趋势是下降的（但在第5个辊模处轴向力不稳定），直到第8个辊模后轴向力又开始上升。后面辊模轴向力上升的原因是，由于摩擦力和抱紧力增大，轧件和芯棒之间的流动阻力显著增加。

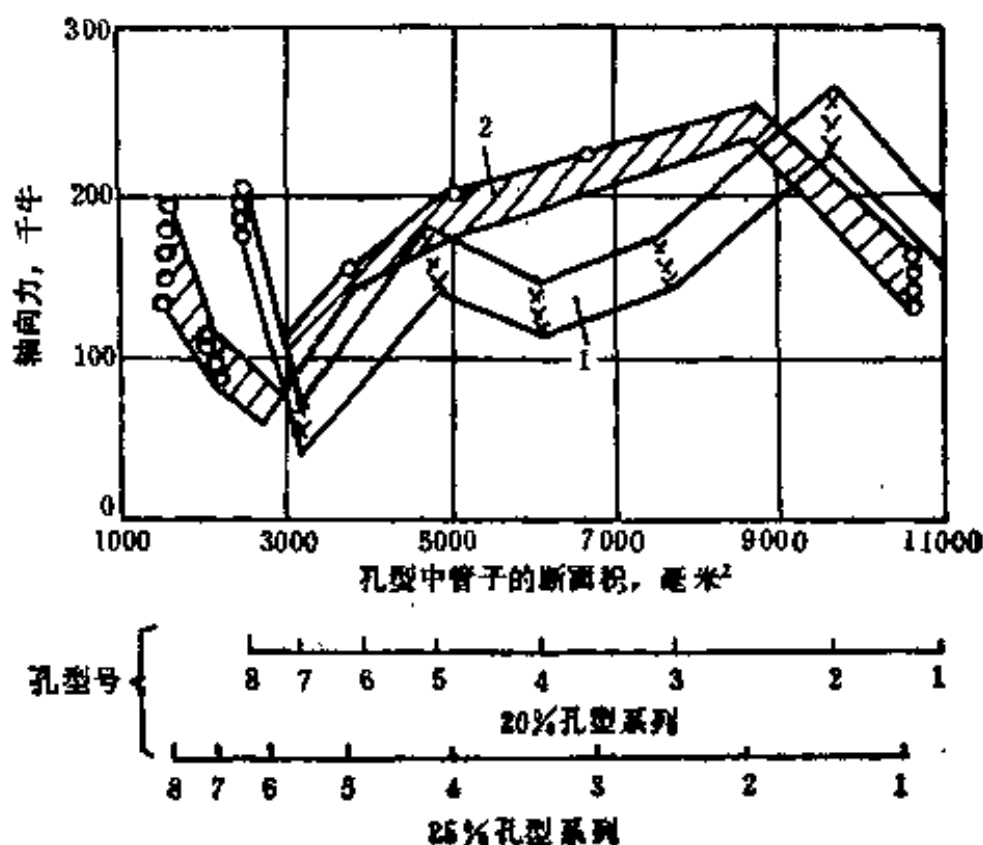


图 4-86 轴向力与管子断面积的关系

1—20%孔型系列；2—25%孔型系列

径向力的变化是突然的，从图4-85可以看出。在管子咬入或轧出辊模时，径向力都发生变化。辊模中的径向力与管壁上产生的纵向拉应力 σ_L 互相影响。按特雷斯加(Tresca)公式

$$\sigma_r \approx K_1 - \sigma_L$$

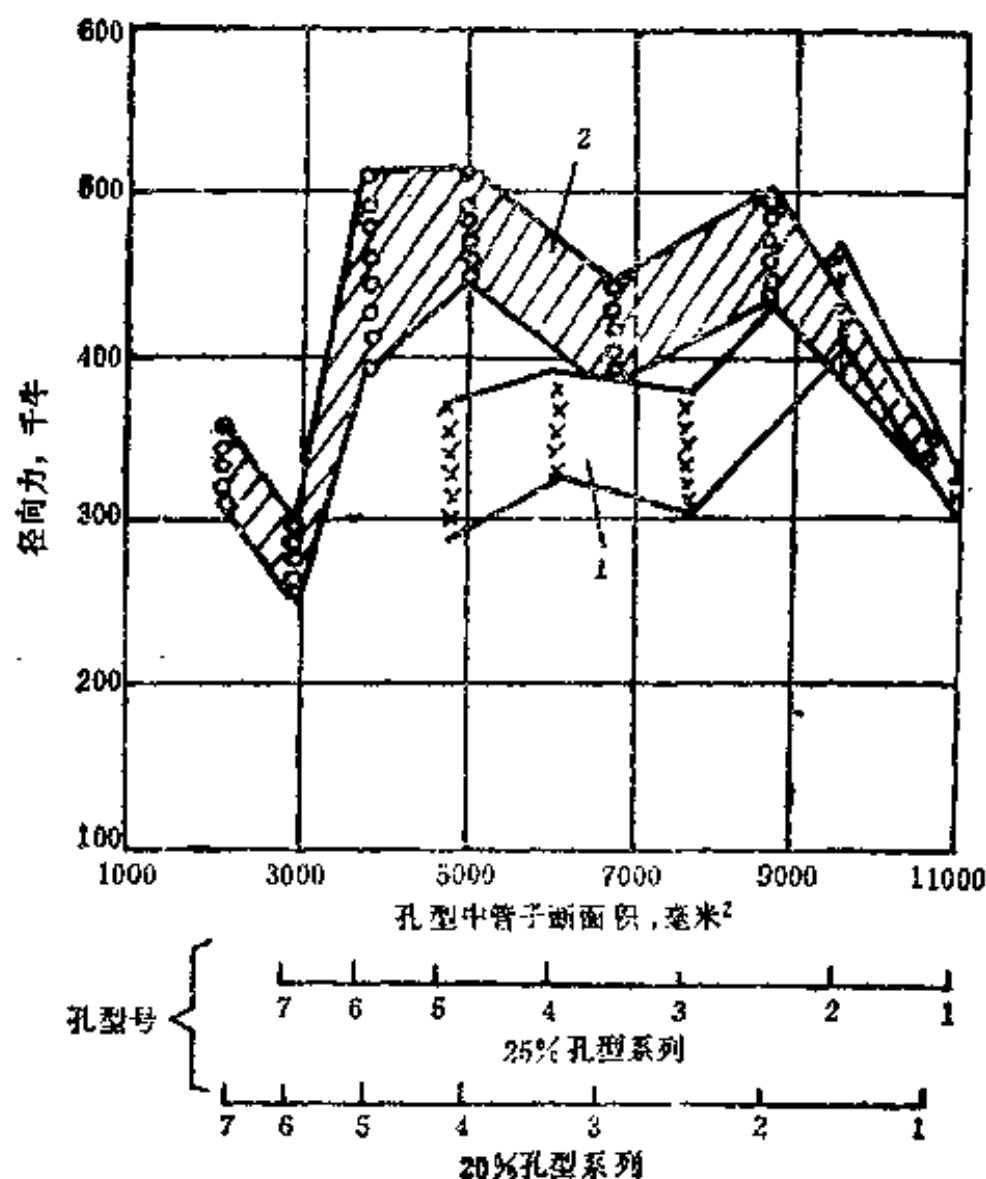


图 4-87 径向力与管子断面的关系

1—20%孔型系列；2—25%孔型系列

可以看出，纵向应力 σ_L 将使径向应力 σ_r 减少，因而径向力也降低。

为了计算，只考虑后面几个同时轧制的辊模中的径向力，算出的数值与具有最大径向应力的变形是吻合的。径向力与管子断面的关系如图4-87。

顶管过程中对最终壁厚3~4毫米的荒管进行的测温情况如下：

荒管内表面温度比外表面高50~70℃。进入顶管机前，冲孔空心坯杯底的温度比管段尾部的温度最多高80℃。在变形过程

中，荒管外表面的温度几乎不变。只有10%左右的荒管温降大于40℃，50%以上的荒管温降不大于20℃，有20%左右的荒管外表面温度上升约20℃。

对芯棒表面测温的结果为：芯棒温度平均升高60~80℃。

下面分析各种因素对力参数的影响。

1) 影响力变化的一些因素。顶管过程中，在毛管纵向会出现向前和向后的拉应力。这些拉应力将使径向力减少，而向后的拉应力影响特别大。一般变形力是由芯棒传到空心坯杯底上的，并经过管壁来传递纵向力。当几个辊模同时处于轧制状态时，辊模经管壁而互相影响。当毛管咬入或脱离某一辊模时改变了纵向拉力，导致与之相关的那些辊模中径向应力也发生了变化。当毛管由某一辊模轧出时，将使随后的几个辊模中的径向应力增加。

由图4-85可以看出，当毛管咬入后面的辊模时，在前面的4个辊模中径向力也发生了变化。这是因为当管子咬入下一个辊模时，前面几个辊模里的速度相应降低，变形抗力相应减少，所以负荷也要减少。

2) 毛管长度对负荷的影响。在顶管过程中，轧件和芯棒之间产生夹紧力和摩擦力。夹紧力是由毛管箍紧在芯棒上产生的。由于轧件必须在芯棒上移动，因此就产生了接触摩擦力，其方向与顶管方向相反。夹紧力的大小与管子壁厚有关，壁厚减薄则夹紧力就减小。此外夹紧力的大小还与夹紧面积或摩擦面积的大小成正比。

顶管机的辊模采用椭圆孔型，每个辊模在辊缝范围内，轧件与芯棒有脱开的可能性。通常辊模在床身上以辊缝相互间隔转60°配置，因此，毛管在前一个辊模中被展轧而箍紧芯棒之处，在下一个辊模中将再次与芯棒脱开。这一过程主要在最初几个辊模中起作用，这样几乎不产生夹紧力。

为了确定在生产长管时，后面几个辊模中夹紧力有多大，以原始长度700毫米和1280毫米的两种毛管作顶管对比试验。将所得到的负荷曲线进行比较，就可看出夹紧力和总负荷增加了多

少。图4-88所示为长的和短的毛管通过辊模时的负荷差。在第3、4辊模中轧制时，顶推力的差值约为25%，在进入第5辊模后，顶推力的差值达到最大，约为42%。

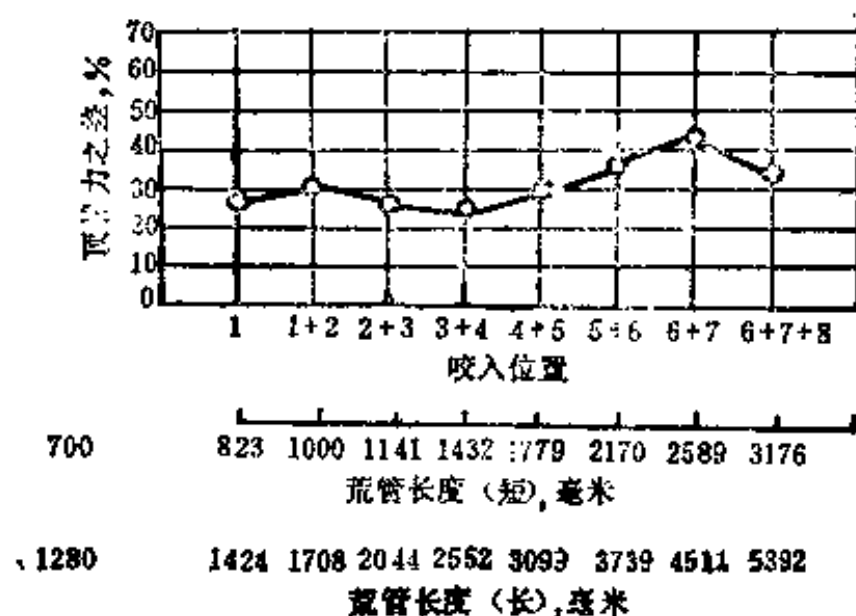


图 4-88 长荒管和短荒管轧制时顶推力之差

从第5辊模开始，才测出了夹紧力的影响。在此之前，顶推力的差值基本上不变，为25%。这是因为在冲孔压力机和三辊延伸机上（指试验条件下），生产长1280毫米的空心坯还有一些困难，使长空心坯进入顶管机时的温度要比短空心坯低80~100℃，才造成了上述负荷值的差异。将顶推力之差的绝对值与荒管长度的绝对值类比，则荒管长度每差1米，顶推力的最大增量为20千牛。因此当荒管长度由12米增加到19米时，顶推力最多增加140千牛。

3) 杯底负荷。杯底负荷与荒管上的纵向拉应力的变化情况相类似。当纵向拉应力由于夹紧力的增大而减少时，杯底负荷也随之减少。将此关系可以写成下列等式：

$$P_i = P_B + fP_r + fP_{KL}$$

式中 P_i ——总轴向力；
 P_B ——杯底上的力；
 fP_r ——辊缝处的摩擦力；
 fP_{KL} ——孔型中的夹紧力。

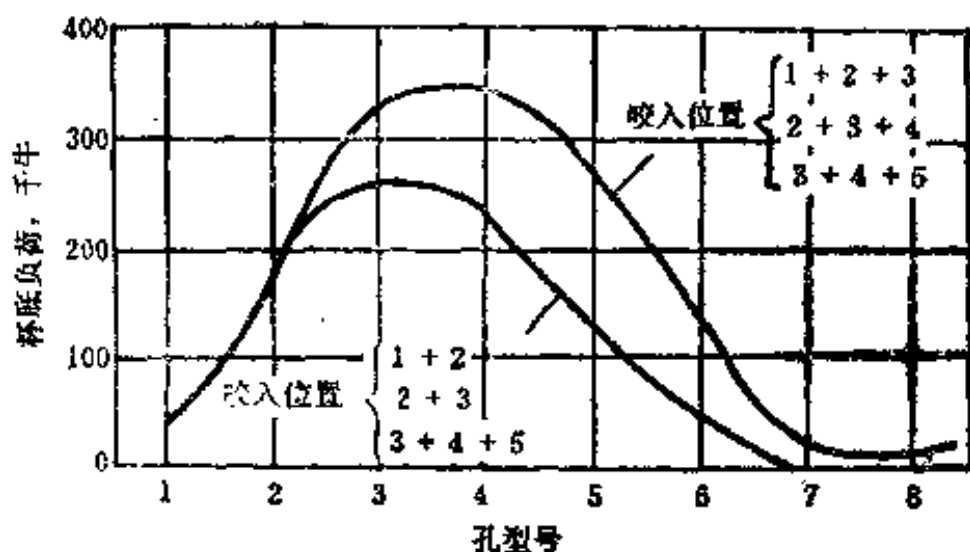


图 4-89 杯底负荷与咬入位置的关系

由试验结果可知，一直到第五号辊模都不存在夹紧力的影响，杯底负荷仅与顶推力和轧辊孔型摩擦力有关。因为顶推力及与之相关的径向力已测出，就可以计算出 P_0 。如取摩擦系数不变，使 $f=0.3$ ，计算结果如图4-89所示。

尽管杯底负荷的绝对值不能直接引用，但仍可以看出这样的趋势，杯底负荷在第3和第4号辊模中达到最大值，随后由于摩擦力和夹紧力的增加而降低。

第五节 无缝钢管轧机的节电^[25]

无缝钢管生产中，电耗是工序能耗的重要组成部分。

钢铁企业中一般轧钢（板、型、线等）占整个企业电耗的10.8%，钢管占2.1%，而钢管所占轧钢产品的比例（重量）一般在10%左右。由此可得出，钢管车间电耗较高，这是由于无缝钢管轧机较多、附属工序设备较多以及生产率较低、产品重量较轻所致。我国无缝钢管轧机的能耗是较高的。各类轧机工序能耗最佳值数据如表4-18所示。

同国外轧制同类产品轧机相比，我国无缝钢管轧机能耗偏高。除燃耗影响外主要是电耗的影响。我国大多数无缝钢管轧机能耗高的原因是生产效率低，开工率不足，空车率较高，电器设

表 4-18 各类钢管轧机的最佳能耗

机 组	100自动轧管机 组（上海）	100狄塞尔机 组（鞍山）	76自动轧管机 组（包括冷 拔）（天津）	冷轧冷拔钢管 机组（包括合 金钢）（鞍山）
工序能耗 公斤标准 煤/吨	237	151	347	425

备及元件较陈旧且效率低以及电机、供电设备与用电设备不匹配等。因此钢管轧机的节电潜力是较大的。

一、影响无缝钢管轧机电耗的因素

1. 轧机形式的影响

图4-90及4-91示出了各种形式钢管轧机单位电耗与延伸系数的关系，钢种为碳钢（0.2%C）。图4-90所示的一组曲线虽然变形温度和速度不尽相同，但仍可看出，具有轴向力的加工方法（如水压冲孔机、挤压机和顶管机）能耗最小，而连轧管机由于轧制速度高、装机容量大，则电耗较高。张力减径机属于连轧机，而且变形温度较低，因而电耗也高。斜轧机由于金属内有很大的切应力，故能耗也较高。此组能耗曲线为纯变形能耗曲线，并未考虑空转能耗和传动效率，也未考虑辅助设备所消耗的能耗。

在无缝钢管机组中考虑辅助操作的能耗后，轧制低碳钢的各设备的能耗情况如下：

工 序	能耗，兆焦/吨
在环形炉中加热圆和方管坯	1828
水压冲孔机冲孔	21.6
斜轧穿孔机穿孔	126
毛管于挤压机前感应加热	1224
圆管坯感应加热	2196
圆管坯挤压机穿孔	115

延伸机延伸水压冲孔的毛管	50.4
顶管机轧管	43.2
自动轧管机轧制斜轧穿孔的毛管	54
皮尔格轧管机轧制斜轧穿孔的毛管	180
皮尔格轧管机和自动轧管机组钢管减径	10.8
皮尔格轧管机和自动轧管机组钢管定径	7.2
LG冷轧管机轧管	196
冷拔钢管	21.6
热轧钢管张力减径前再加热	1080
张力减径机轧管	360

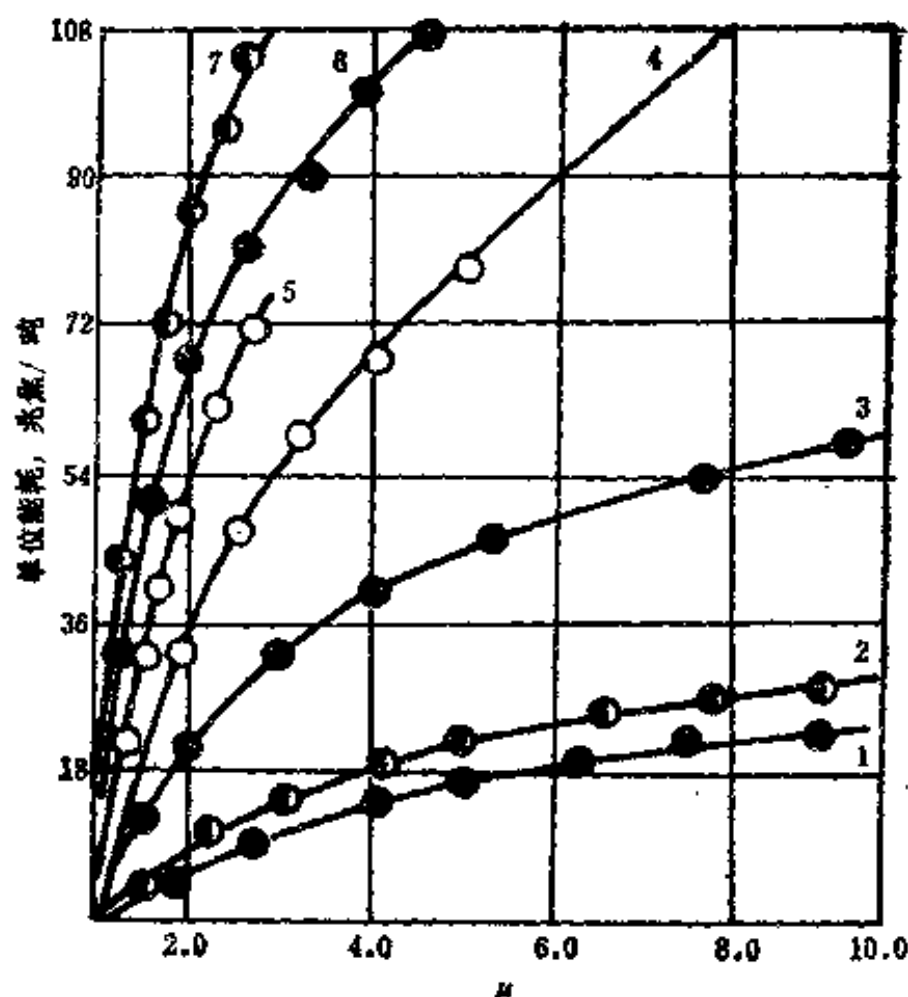


图 4-90 轧机形式与单位能耗的关系

1—水压冲孔机；2—顶管机；3—挤压机；4—皮尔格轧管机；5—自动轧管机；6—斜轧穿孔机；7—张力减径机

2. 工艺过程的影响

生产同为 $\phi 20 \times 2.6$ 毫米的热轧钢管 (St35半镇静钢) 不同

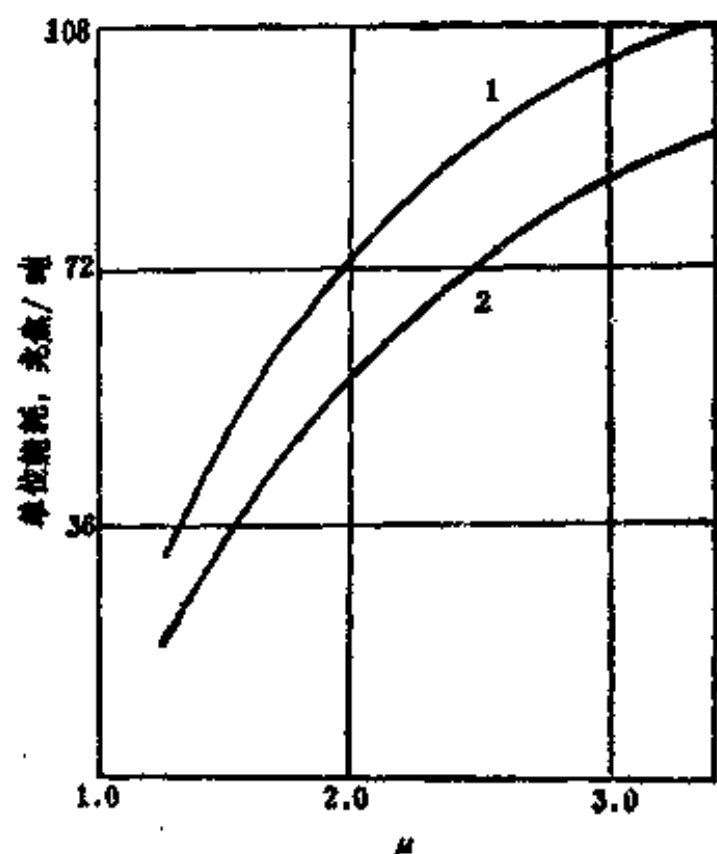


图 4-91 斜轧穿孔机的单位能耗

1—一般穿孔机；2—高效率穿孔机

机组的电耗不同。在顶管机组生产时轧机所用电耗为475兆焦/吨，工艺过程是：环形炉管坯加热→水压冲孔机冲孔→两辊延伸机延伸→顶管机顶管→中间再加热→张力减径机减径。而在自动轧管机组生产时轧机所用电耗为540兆焦/吨，工艺过程是：环形炉管坯加热→斜轧穿孔机穿孔→自动轧管机轧管→中间再加热→张力减径机减径。两种工艺过程的电耗相差65兆焦/吨。

3. 斜轧穿孔工艺参数的影响

斜轧穿孔机的能耗决定于所加工的材料和多种工艺因素。图4-92示出了各种工艺因素的影响。

图4-92a为轧制温度的影响。随着轧制温度的提高电耗降低。曲线1~4为实验轧机穿轧高合金钢管坯的数据，曲线5为St35钢管的生产数据。合金钢管比碳素钢管电耗高，这和金属变形抗力增加趋势相一致。

应当指出，随着变形温度的提高，能耗增加，最终工序能耗

增加。与此同时提高加热温度还会造成烧损增加，因而在保证产品质量前提下应适当降低穿孔温度。据我们在76机组热轧车间试验得出，穿孔温度由1200℃降低到1100℃，可降低工序能耗7公斤标煤/吨材。氧化烧损可降低30%。

随着轧辊转速的提高（图4-92，b），单位能耗降低，这是由于变形温度提高且摩擦系数降低所致。

随着延伸系数的增加，单位能耗明显增加（图4-92，c）。图中曲线1为电机总传动功；曲线2为总变形功；曲线3为轧辊和导辊所消耗的变形功；曲线4为芯棒（顶头）所消耗的功。空转能耗约为7.2~18兆焦/吨。因为由圆管坯穿轧成毛管所需的变形功由轧辊、导向辊、导板和顶头以及导盘等所消耗的功组成。由此不难看出，减少工具所消耗的功对降低电耗有重要意义。采用带双导板的穿孔机，则导板上要消耗很大的摩擦功。采用带导辊的穿孔机，由于滑动摩擦变为滚动摩擦，可显著地降低导向工具上所消耗的功。采用带导盘的穿孔机，由于导盘对金属产生轴向拉力，导盘的作用是又拉又轧，导致穿孔速度效率提高，应力状态改变。据我们试验，单主动导盘穿孔机与导板穿孔机相比，速度效率（轴向滑移系数）可提高10~20%左右。虽然由于轧制速度提高，电机功率有所增加，但由于轧制时间减少，最终可降电耗10%以下。

图4-92，d为穿孔机轧辊倾角和穿孔机轧辊形状的影响。由图可以看出，盘式穿孔机比桶形穿孔机单位电耗低。

轧辊倾角增加，则单位能耗下降，这是由于轧制速度快，轴向滑移减小所致。

图4-92e为主动旋转顶头对单位电耗的影响。由图可以看出，采用主动旋转顶头也可降低单位电耗。

至于斜轧穿孔机的调整参数和顶头尺寸对单位电耗的影响如图4-93和4-94所示。

顶头前压缩量是穿孔工艺重要参数之一。由图4-93可看出，随着顶头前压缩量的增加，单位电耗增加。单位能耗的变化主要

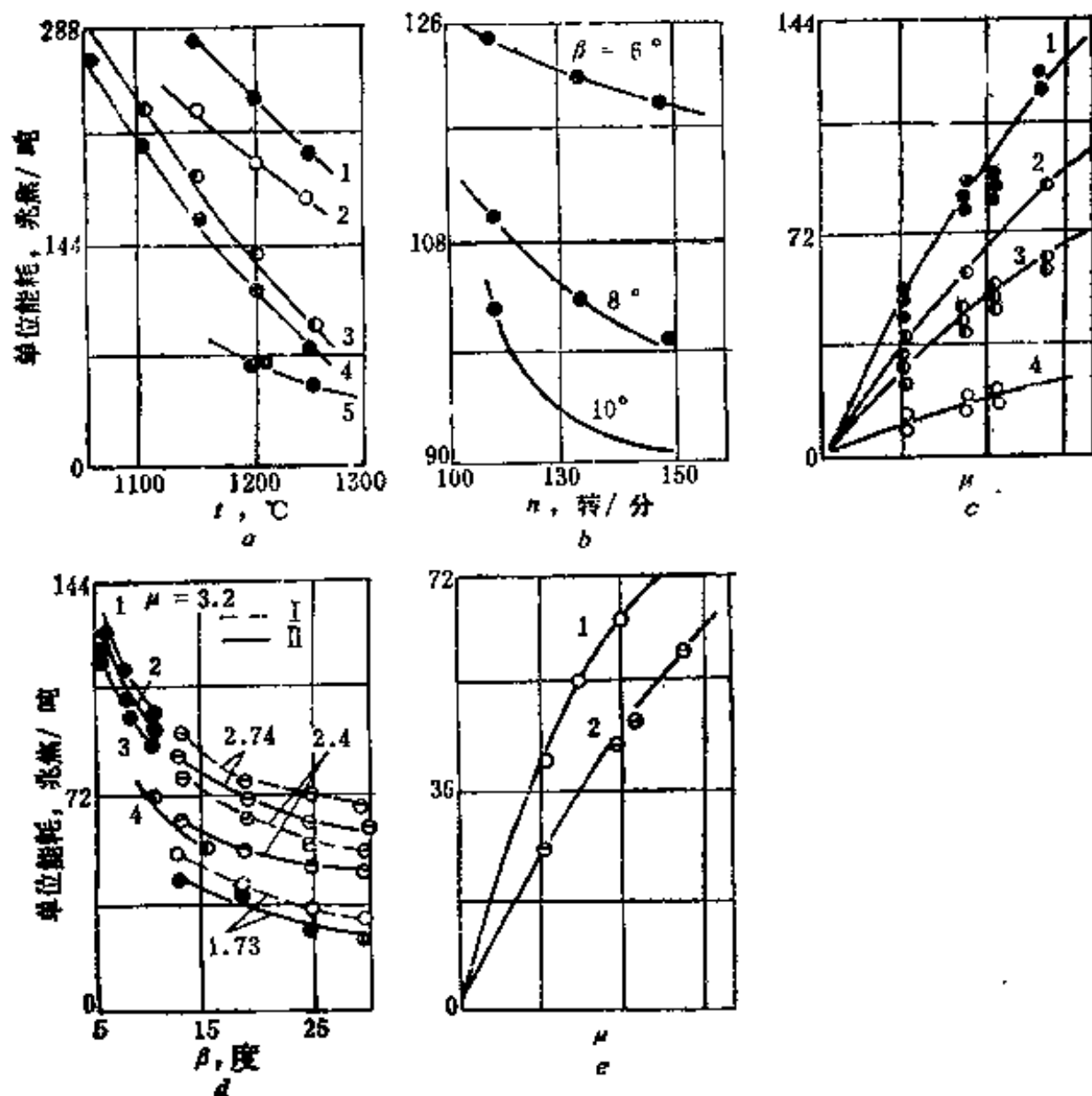


图 4-92 各种工艺参数对斜轧穿孔机单位能耗的影响
 a—轧制温度影响 ($\mu = 2.0$) 1~4 斯蒂菲尔轧机, 坯管尺寸 $\phi 50 \times 7$ 毫米, $\beta = 7^\circ$, 轧辊圆周速度 1.5 米/秒; 1—X10CrNiMoTi18-12; 2—X10CrNiTi18-10; 3—X5CrNiMoTi21-6; 4—X5CrNiTi21-5; 5—曼乃斯曼穿孔机, 坯料直径 204~236 毫米, $\beta = 8^\circ$, 轧辊圆周速度 1.3 米/秒, 钢种 35 号钢; b—轧辊转速 n 的影响; $\mu = 3.2$, 80 斯蒂菲尔轧机, 管坯尺寸 30×1100 毫米, 轧辊直径 600 毫米, 轧制温度 $1230 \sim 1250^\circ\text{C}$; c—延伸系数 μ 的影响; 曼乃斯曼轧机, 坯料直径 204~236 毫米, $\beta = 8^\circ$, 轧辊圆周速度 1.3 米/秒, 轧制温度 $1230 \sim 1260^\circ\text{C}$, 钢种 35 号钢; 1—电机总传动功; 2—总变形功; 3—轧辊和导辊所消耗的变形功; 4—芯棒(顶头)所消耗的功; d—轧辊倾角 β 的影响; 1~3—80 斯蒂菲尔穿孔机, 坯料尺寸 80×100 毫米, 辊径 600 毫米, 轧制温度 $1230 \sim 1260^\circ\text{C}$, 轧辊转速分别为 113 转/分, 136 转/分, 159 转/分; 4—100 斯蒂菲尔轧机, 辊径 850 毫米, 坯料尺寸 $140 \times 1710 \sim 2280$ 毫米; I—桶形斜轧穿孔机; II—盘式斜轧穿孔机; e—顶头主动旋转对单位电耗的影响; 1—斯蒂菲尔斜轧穿孔机; 2—带主动旋转顶头的曼乃斯曼穿孔机

由电机功率 N 和穿孔时间 t_M 决定。顶头长度的影响（见图4-94）是：使用长顶头可以降低单位能耗如表4-19所示。

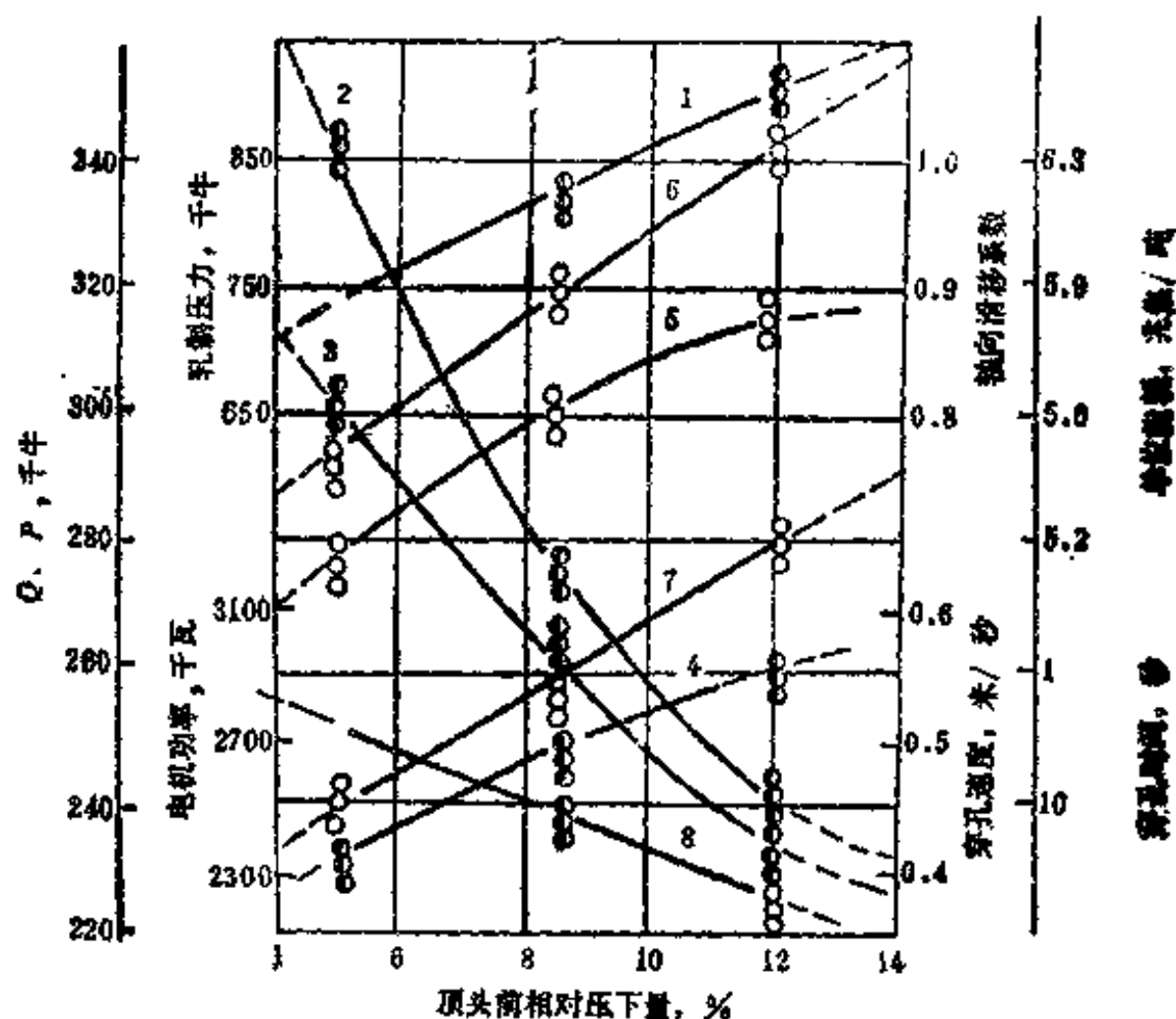


图 4-93 顶头前压缩量与单位能耗的关系

1—轧制压力 P ；2—轴向力；3—导板力；4—电机功率 Q ；5—单位能耗；6—轴向滑移系数；7—穿孔速度；8—穿孔时间（管坯直径150~180毫米）

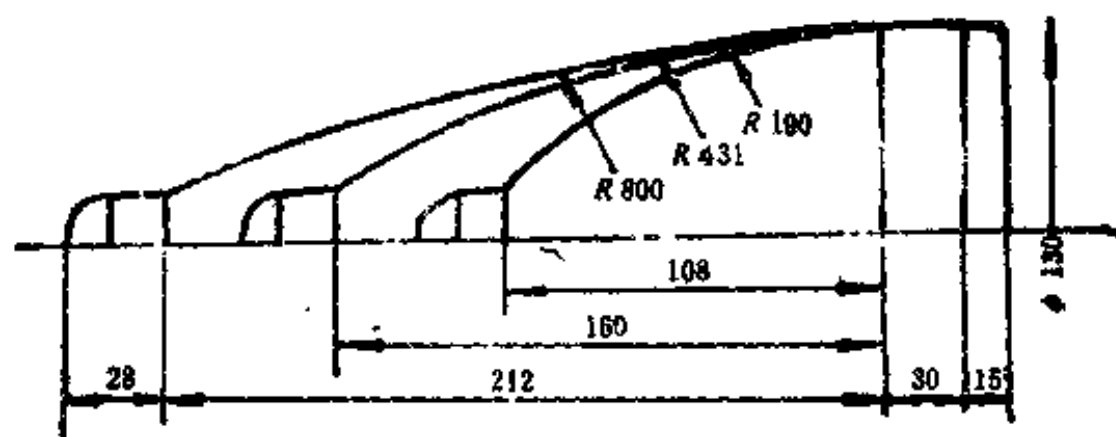


图 4-94 采用的顶头长度

表 4-19 顶头长度与单位能耗的关系

顶头长度	轴向力 千牛	电机功率 千瓦	单位能耗 兆焦/米	轴向滑移 系数	穿孔时间 秒
短的	296	3190	6.3	0.842	10.5
一般的	268	2700	5.6	0.884	9.7
较长的	250	2400	5.3	0.925	9.3

椭圆度系数对穿孔过程也有重要影响，但对单位电耗的影响比较复杂，由许多参数所决定；有时随着椭圆度的增加单位能耗稍有减少，有时却稍有增加。

4. 斜轧轧管机形式及变形参数的影响

图4-95为不同形式斜轧轧管机的单位电耗。由图可以看出，三辊斜轧轧管机较两辊斜轧轧管机单位电耗小。这是由于消除了

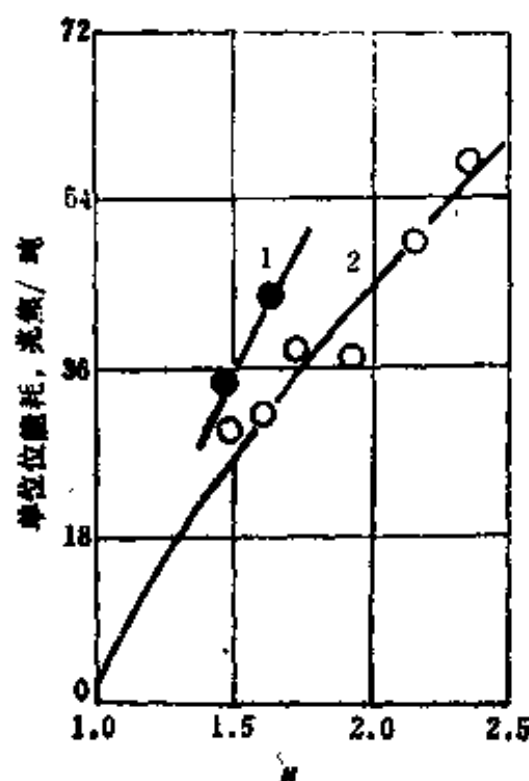


图 4-95 不同斜轧管机的电耗

1—带台阶侧的两辊延伸机；2—阿塞尔三辊轧管机

不旋转的导向工具所消耗的摩擦功。同时三辊轧管机速度效率也较高。据我们试验,采用拉力芯棒两辊斜轧延伸机,由于对变形金属施加前拉力,改变了变形中的应力状态,降低了变形抗力,与此同时速度效率显著提高,可降低单位电耗。与固定芯棒相比,单位电耗可降低19%;与全浮动芯棒相比,单位电耗可降低4%。

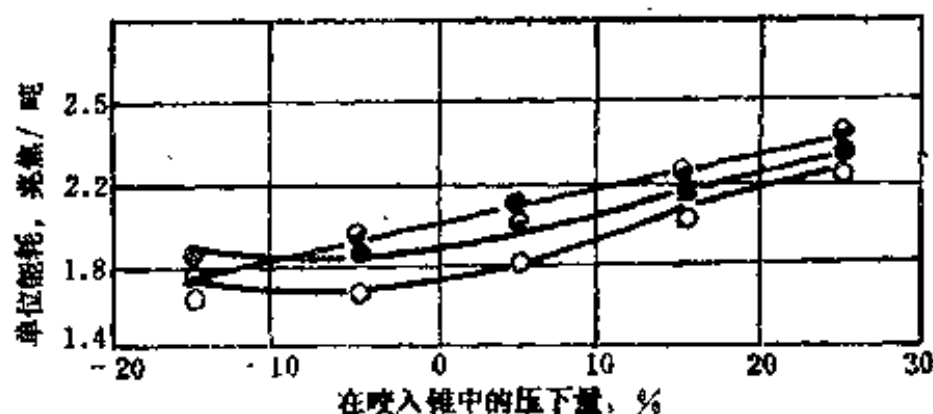


图 4-96 咬入锥中管壁压下量对单位能耗的影响

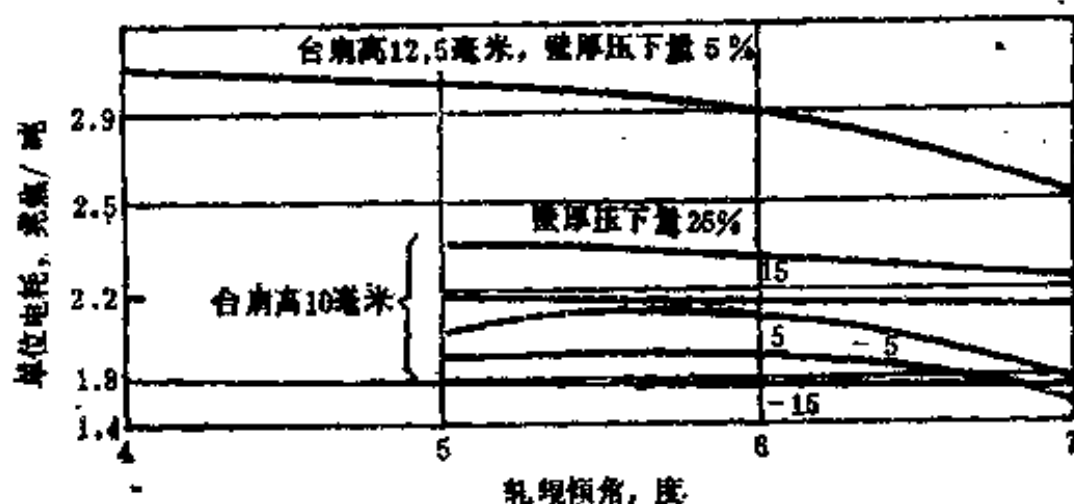


图 4-97 轧辊倾角对单位能耗的影响

阿塞尔三辊轧管机变形参数对单位能耗的影响,如图4-96及4-97所示。图4-96为咬入锥中管壁压下量对单位能耗的影响。图4-97为轧辊倾角对单位能耗的影响。由图可以看出,在轧管机上也是随着轧辊倾角的增加单位能耗降低。这是因为倾角增加,轧制时间减少程度比功率增加程度大,因而在斜轧轧管机上选用大倾角轧制对降低电耗是很有利的,同时还可增加轧机产量。

随着台肩高度的增加,单位电耗增加,这是由于功率和轧制时间同时增加。

5. 金属单重的影响

在同一温度、同一变形速度和延伸条件下，随着变形金属的单重增加，单位能耗下降。图4-98示出了不同轧机的金属重量对单位能耗的影响。由图可以看出，随着单重的增加能耗下降。

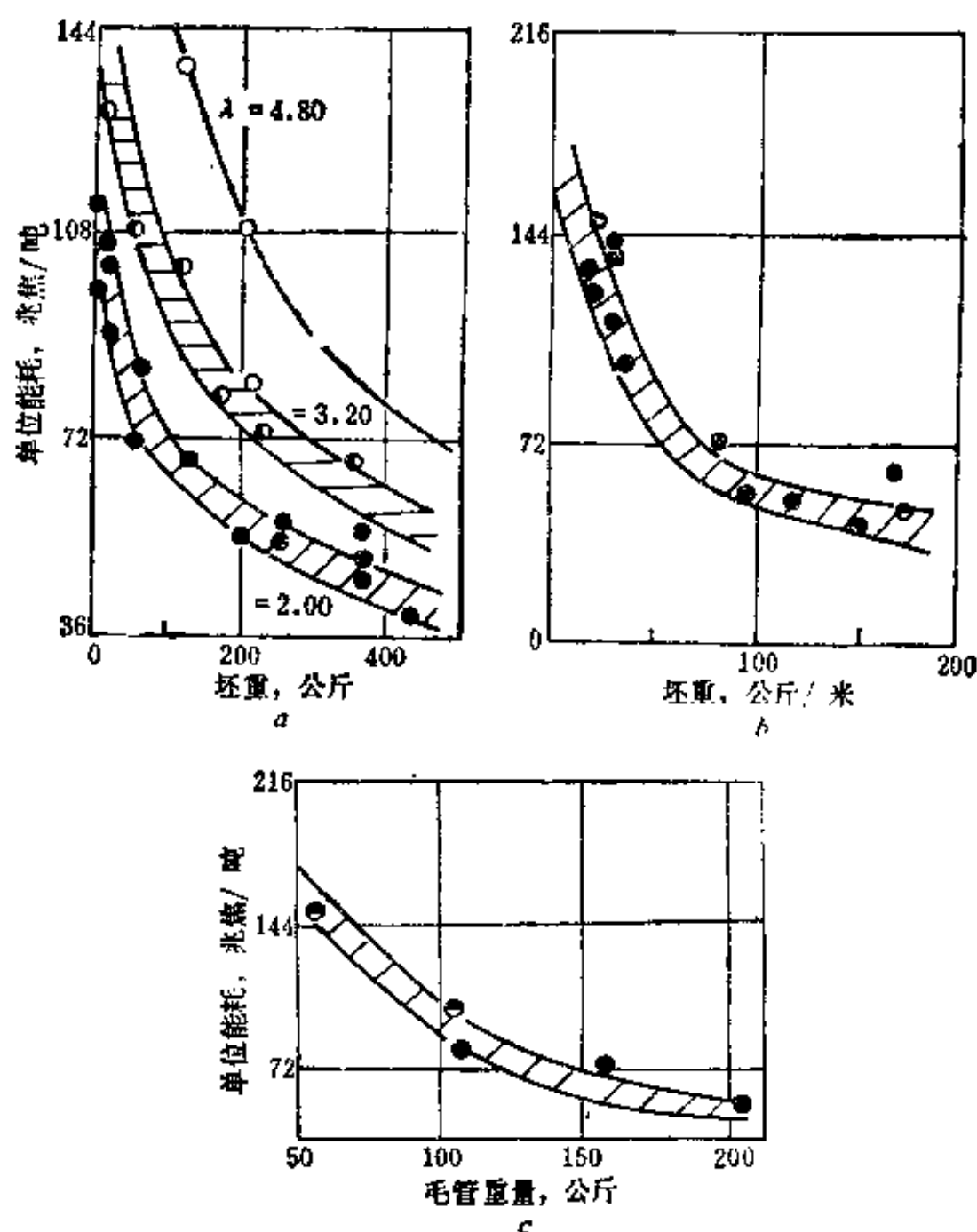


图 4-98. 变形金属重量对单位能耗的影响

a—斯蒂菲尔斜轧机； b—皮尔格轧管机； c—顶管机

6. 小时产量的影响

顶管机的小时产量对单位能耗的影响如图4-99所示。由于计

划或非计划停歇时间的增加,单位能耗增加。这是由于空转负荷功和辅助设备耗能增加所致。因而提高轧机的小时产量是降低能耗的重要措施。在生产中应力求最大限度地减少空车时间。

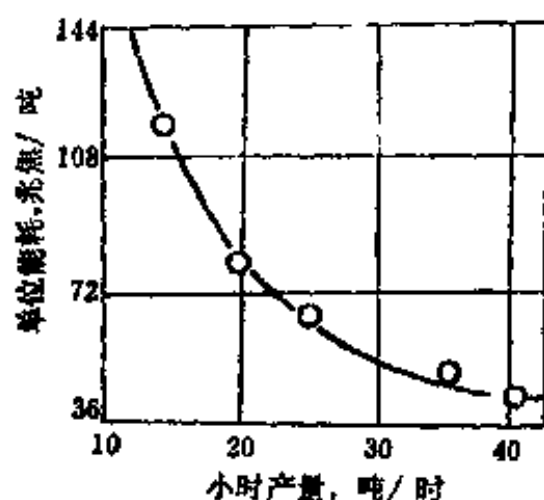


图 4-99 机时产量对单位能耗的影响

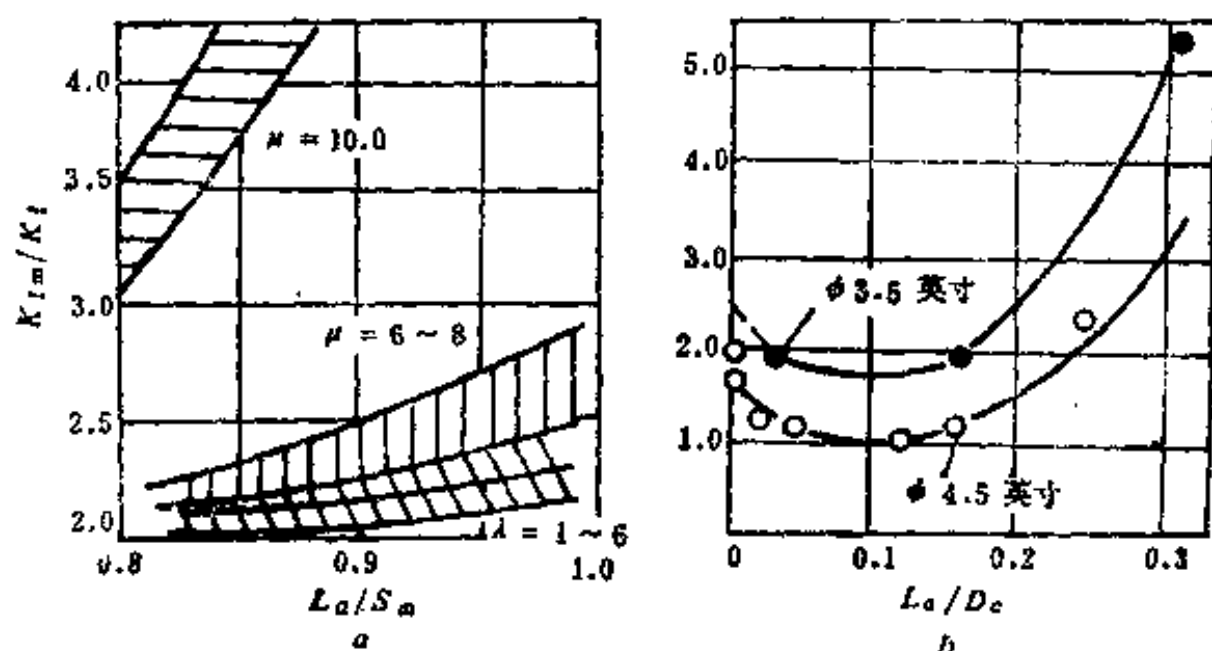


图 4-100 变形区几何尺寸对实际变形抗力 K_{fm} 与理论抗力 K_t 之比的影响

a—皮尔格轧管机上轧管, 钢种35, 毛管直径206~274毫米, 轧后管子直径113~193毫米, 辊径426~480毫米, L_a —压缩区长度,

S_m —平均壁厚;

b—顶管机上顶管, 管子尺寸为 $3\frac{1}{2}$ 和 $4\frac{1}{2}$ 英寸, 钢种St35 (半镇静钢), 轧制温度1130°C, D_c —毛管平均直径

7. 变形区几何尺寸的影响

对于每种轧管方法, 均存在有一个能耗最少的变形区尺寸。这种情况下, 变形效率最高, 外摩擦影响最小, 因而变形抗力最小, 其实验数据如图4-100所示。

二、无缝钢管轧机的电耗计算 (也适用于其他轧机)

确定轧机用电的方法有公式计算法、借用能耗曲线法以及实际生产数据统计法。

利用能耗曲线和统计实际生产数据来确定单位电耗, 方法较可靠也实用, 但需大量的实测资料。

文献[38, 39]提出的公式计算法是理论计算和实际数据相结合的方法, 故有一定的计算精度。

理论的纯变形电耗 (不考虑损失) 按下式计算:

$$W_{\varphi} = K_t \varphi \quad (4-1)$$

式中 K_t ——平均变形抗力;

φ ——总的变形程度。

文献[38]介绍, 根据材料的性能和影响因素建立了变形抗力数学模型。在模型中有一常量 K_{t0} , 工艺参数以函数的形式表示, 其中包括温度参数 t 、变形参数 φ 和变形速度参数 $\dot{\varphi}$ 。变形抗力的数学表达式为

$$K_t = K_{t0} A_1 e^{-m_1 t} A_3 \dot{\varphi}^{m_3} A_2 \int_0^{\varphi} \varphi^{m_2} e^{m_4/\varphi} d\varphi \quad (4-2)$$

将(4-2)式代入(4-1)式则得:

$$W_{\varphi} = K_{t0} A_1 e^{-m_1 t} A_3 \dot{\varphi}^{m_3} A_2 \varphi \int_0^{\varphi} \varphi^{m_2} e^{m_4/\varphi} d\varphi \quad (4-3)$$

(4-3)式也可用下式表示:

$$W_{\varphi} = W_0 K_t K_{\dot{\varphi}} K_{\varphi} \quad (4-4)$$

式中 W_0 ——纯变形功的基本值;

K_t ——温度影响系数;

$K_{\dot{\varphi}}$ ——变形速度影响系数;

K_{φ} ——变形程度影响系数。

对碳素钢，式中的 W_0 可按表4-20选取，系数 K 、 K_ϕ 、 $K_\dot{\phi}$ 可按图4-101选取。

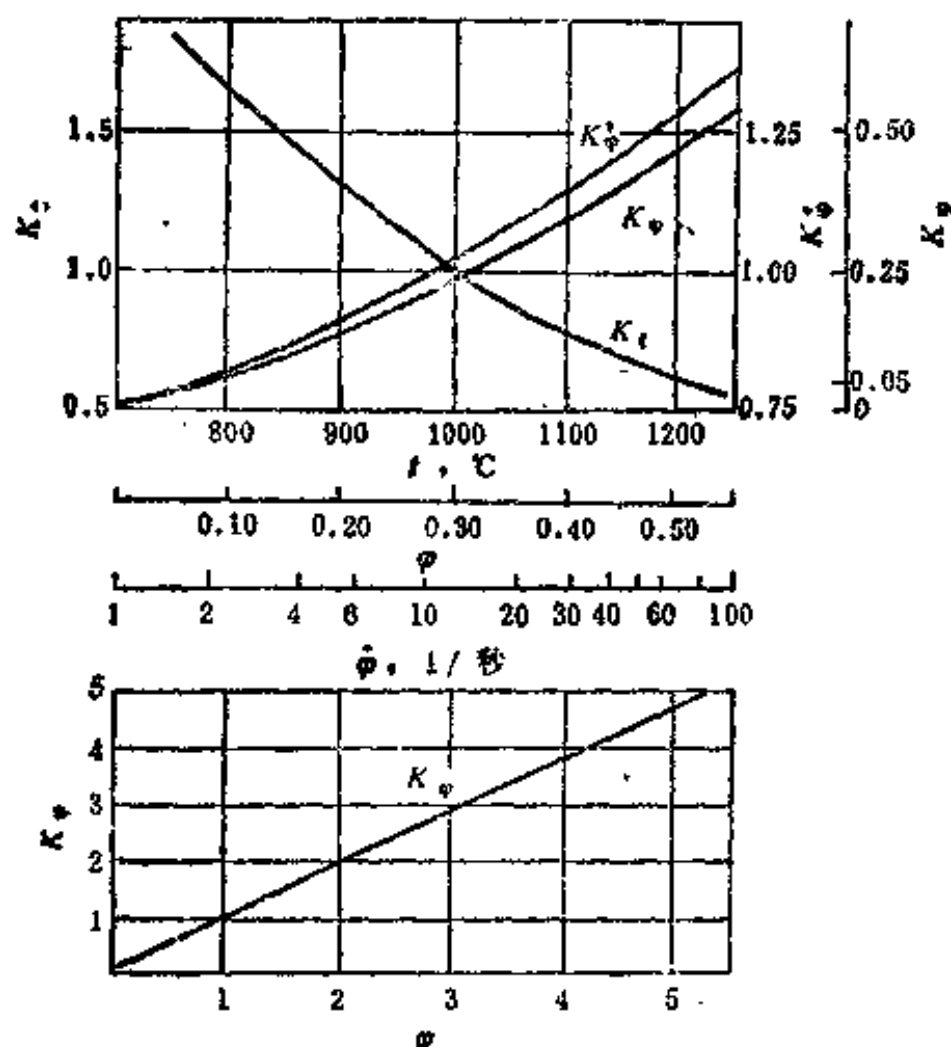


图 4-101 确定理想变形功时系数 K_t 、 K_ϕ 、 $K_{\dot{\phi}}$ 的选取

t —变形温度； ϕ —变形程度； $\dot{\phi}$ —变形速度

实际轧制时的金属变形抗力 K_t 值要高得多，从而实际变形抗力按下式计算：

$$W'_\phi = K_{tm} \phi \quad (4-5)$$

式中 K_{tm} ——实际变形抗力。

理想变形功与实际变形功之比值称变形效率，即

$$\eta_v = K_t / K_{tm} = W_\phi / W'_\phi \quad (4-6)$$

如果 η_v 已知，则可按式4-6确定出实际变形功。

实际变形抗力和单位能耗由理想变形抗力、变形区中摩擦条件以及变形区的几何形状和尺寸决定。在不同的轧制方式下，变形区高度与长度之比值范围是不同的，其中有一个电能消耗最小

的最佳比值范围 (图4-100)。7_v可由图4-100选定。将7_v代入式4-6则可求出实际变形抗力, 从而用式4-5求得实际变形功。

在轧制过程中, 除了变形功以外, 还有其他附加能耗, 其中包括轴承中的摩擦能耗, 电机传动能耗 (减速机、齿轮座中的摩擦能耗) 以及电机本身的能耗。一般用传动效率、电机效率和轴

表 4-20 碳素钢的W₀值

钢 种	W ₀ , 兆焦/吨
C10	13.86
C15	14.65
C22	16.16
C35	15.66
C45	15.37
C60	16.88
C80	16.49
C100	18.07
C115	18.61
C130W2	15.98
M7	11.66
Mu13	12.13
Mb13	12.20
M20	14.58
M26	15.80
M40	16.20
M46	13.75
MK58	13.00
MK73	17.68
St34	11.69
St35hb	12.53
St38u2	14.58
St38b2	13.90
St50	14.90
St60	15.59

注: hb—半镇静钢; u—沸腾钢; b—镇静钢。

承摩擦功来表示。

通过实际测定，当采用胶木轴承时，电机输出的能量用于金属变形的部分仅占50~54%，当采用滚动轴承时可提高到65~68%。

用上述公式计算出的轧制功为轧制一吨坯料时电机所消耗的能量，并未考虑成材率。按吨材计算单位能耗时应除以成材率。

三、无缝钢管轧机附属设备的电耗计算

无缝钢管轧机的附属设备类型繁多，工作状态各异，设备装配水平不同，因而精确地确定附属设备的电耗是较困难的。为了得到实际数据仍需要进行大量的测定工作。但应指出，附属设备所消耗的电能占有较大的比例，因而降低附属设备电耗也是重要的节电措施之一。

实际生产中可以采用估算的方法，且有一定的可靠性。其计算公式如下：

$$W_n = K N_g T$$

式中 W_n ——全部附属设备所消耗的电能；

N_g ——全部附属设备的额定功率， $N_g = \sum_{i=1}^n N_{gi}$ ；

T ——实际工作时间（为计划时间乘作业率）；

K ——系数。

系数 K 考虑了辅助间隙时间、各种产品所耗能的差异、备用电机以及各种附属设备负荷率的不同、装机容量选择不合理等因素。据统计，系数 K 对小型无缝钢管机组一般在0.2~0.25之间。

第五章 热轧工具设计

影响轧管工艺过程的决定性因素之一是轧管机工具的设计。因此工具设计在热轧无缝钢管生产中起着很重要的作用，并在很大程度上决定着管子的质量、金属消耗和电能消耗，同时也对发挥轧管机组的生产能力有很大的影响。这是因为工具形状和尺寸决定着金属变形过程，而各轧机中的合理的变形制度是获得高产、优质产品的技术基础。

工具设计的内容包括有：选择合理的工具形状（断面轮廓）、计算各部分尺寸以及确定工具的材料。工具设计应保证如下的要求：

- 1) 获得几何尺寸符合规定要求、公差小的钢管；
- 2) 钢管内、外表面质量良好；
- 3) 轧制过程稳定，如咬入正常，不轧卡等；
- 4) 轧管机组生产率高；
- 5) 轧制能量消耗少；
- 6) 工具耐磨性高，工具消耗小，成本低。

设计工具时要全面考虑各个因素，譬如确定穿孔机轧辊形状和尺寸时，必须同时确定相应的顶头和导板的形状尺寸。

应该指出，在不同的钢管工厂，往往采用不同形状的工具，这是因为各个工厂具体情况不同（如调整方法、操作经验以及生产的产品不同），同时还因为什么样形状的工具最好，迄今为止还没有一个统一的认识。不过，人们经过不断地实践，已掌握了较为合理的工具形状和尺寸，并能轧出高质量的产品来。

第一节 穿孔机的工具设计

穿孔机是整个轧管机组中最为关键的一个轧机，其工作好坏对成品的质量及整个机组生产率都有决定性的影响。由于管坯穿

孔过程的复杂性，正确地设计穿孔机工具就有着很大的意义。设计的目的在于决定最合理的变形区形状，而变形区是由工作轧辊、上下导板或导盘和顶头构成的。

一、轧辊设计

现用的穿孔机轧辊形状有三种：一种是由两个锥、中间夹一个圆柱带构成的；一种是由三个锥和一个圆柱带构成的；一种是在辊面上刻有浅槽（带脊）的轧辊。这三种轧辊的形状（如图5-1所示）基本一致，这是由于斜轧变形过程决定的。表示轧辊特征的尺寸是最大直径 D_b 和辊面长度 L_b 。

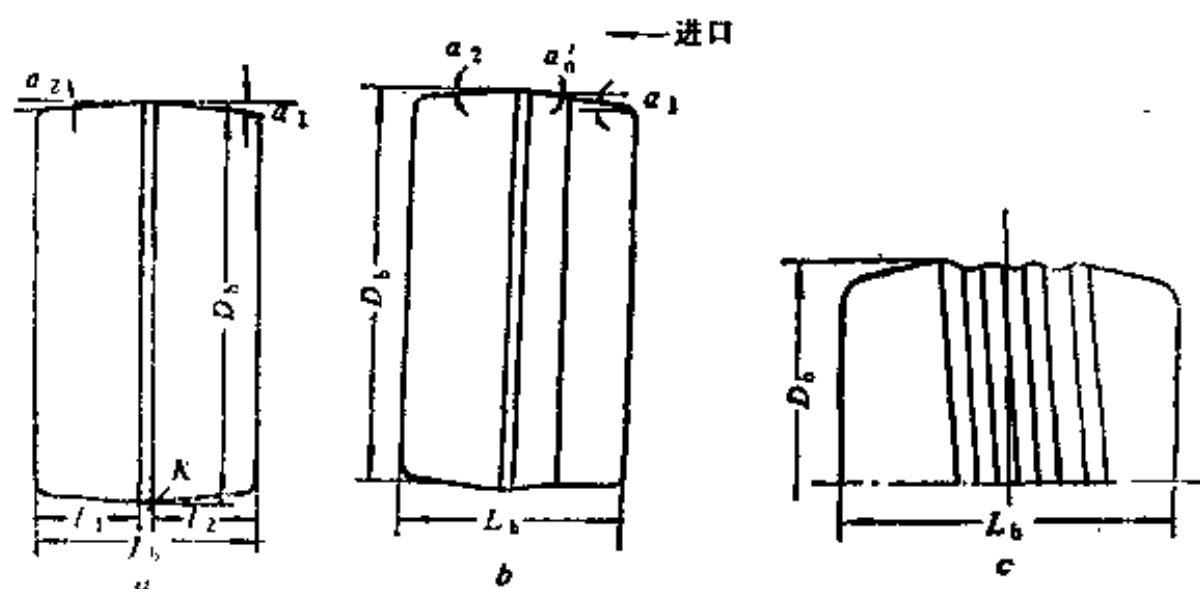


图 5-1 穿孔机轧辊

a—双锥轧辊；b—三锥轧辊；c—带刻槽的轧辊

D_b 由轧机设计所决定。 D_b 的大小主要依轧辊强度、工艺要求等而定。工艺要求包括有：咬入条件，轧制速度，轧制产品规格，电能消耗，轧辊重车次数等。

首先是要保证穿轧毛管尺寸规格的要求，既要考虑穿轧大尺寸毛管，又要考虑穿轧最小尺寸毛管的可能性。如图5-2所示，当 b_n 一定时，用小辊径是可能的，而用大辊径则不可能，因为导板和轧辊相碰了。

D_b 和咬入条件的关系是 D_b 愈大则愈好咬入，即 d_s/D_b 愈小愈有利于咬入。

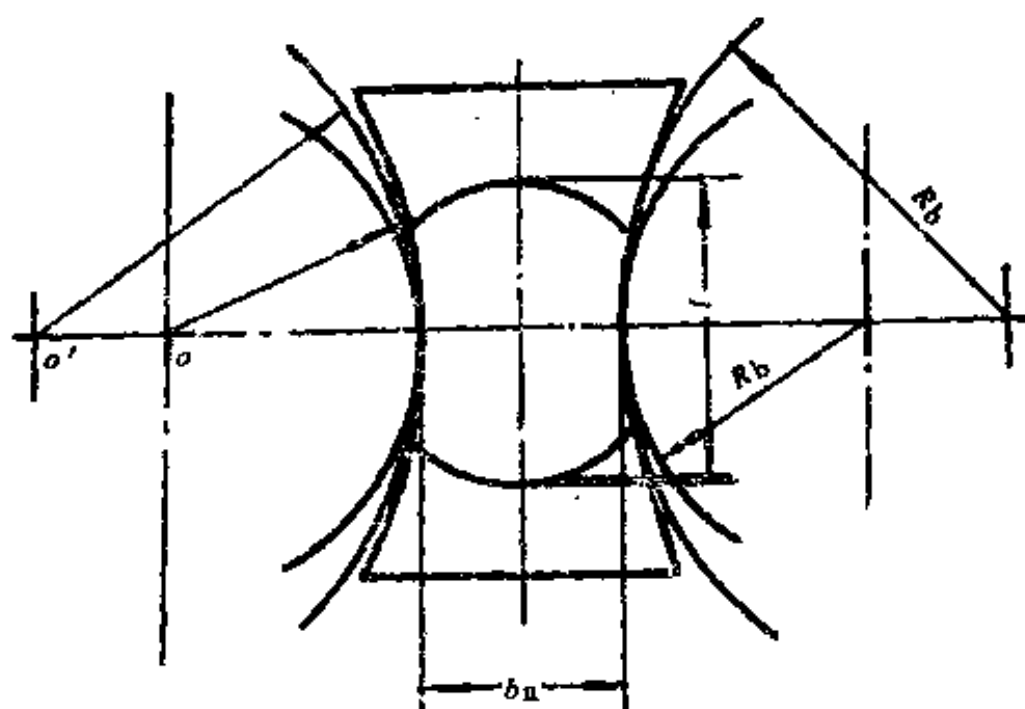


图 5-2 轧辊直径和变形区关系

很显然, D_b 和轧制速度的关系是 D_b 愈大则轧制速度愈大, 产量愈高。

D_b 和重车次数关系是 D_b 大则重车次数多, 轧辊利用率高(在结构允许的条件下)。

D_b 和电能消耗关系是 D_b 大则轧制压力和扭矩增加, 从而电能消耗增加。

最近从国外发展来看, 有增大穿孔机轧辊直径的趋势(增大 150~200 毫米), 这主要是从保证合理的穿孔制度来考虑的(如一次、二次咬入)。但加大轧辊直径必然会导致机架尺寸加大, 设备重量增加。60~100 机组的穿孔机辊径一般在 650~420 毫米。

一般可按下面的经验公式来确定 D_b :

$$D_b = 2.0d_z + 300 \sim 400 \text{ 毫米}$$

式中 d_z ——在该机组上轧制的最大管坯直径, 毫米。

辊身长度 L_b 主要决定于变形区长度的需要, 可由下面近似公式确定:

$$\text{进口锥长度 } L_1 = \frac{d_z - b_n}{2 \tan \alpha_1} = \frac{\Delta d}{2 \tan \alpha_1}$$

$$\text{出口锥长度 } L_2 = \frac{D_0 - b_n}{2 \operatorname{tg} \alpha_2}$$

压缩带宽度 K 一般等于 $10 \sim 20$ 毫米，为两个锥（进出口）的过渡区，则

$$L_b = L_1 + L_2 + K + \Delta L$$

式中 d_n, D_0 ——管坯直径和毛管外径，毫米；

α_1, α_2 ——轧辊进出口锥角，毫米；

ΔL ——附加值。

L_b 和 D_b 的关系可由下式确定：

$$L_b = (0.5 \sim 0.7) D_b$$

在满足轧制各种尺寸毛管前提下，应该尽量取较小的 L_b ，这样既可减小轧辊重量，也可减轻穿孔机的重量。

L_b 的长度和轧辊进出口锥角有着密切关系。 α_1, α_2 愈小，则所需变形区长度愈长，即 L_b 愈长。

根据我们在一个辊径为 350 毫米 ($L_0 = 350$ 毫米) 穿孔机上实际测定得出，当轧制 $\phi 70 \sim 80$ 管坯时，实际的变形区长度在辊面锥角为 $10^\circ 30'$ 情况下约占辊面长度 $25 \sim 31.5\%$ ，而辊面锥角为 $4^\circ 30'$ 时则占 $40 \sim 42.5\%$ 。

轧辊出入口锥的长度通常是相等的、有的工厂采取 $L_2 > L_1$ 的轧辊设计。一般 L_2 比 L_1 大 $30 \sim 50$ 毫米。根据有些资料介绍^[19]，由于增长展轧锥（出口锥）长度，毛管在展轧锥中得到了充分的展轧，可改善毛管质量。实际经验得出，出口锥愈长则获得的毛管质量无论就几何尺寸而言，还是就其表面状态而言都高。入口锥减少 $30 \sim 50$ 毫米，不会影响咬入条件和可保证有足够的穿孔准备。不过有的工厂实践证明并不那么显著，因此 $60 \sim 100$ 机组中两种都有。

现在来讨论如何选择轧辊出入口锥角。出入口锥角是轧辊设计的最重要问题之一，特别是入口锥角 α_1 。

α_1 角愈小，则愈有利于咬入。 α_1 角愈小，则每半转压缩量减小，金属变形分布在一个较长的区域上，变形比较缓和，由此减

小了金属的内应力，避免过早形成“孔腔”，对改善毛管内表面质量有利。但随着 α_1 减小，压缩次数增加，相反容易促使“孔腔”形成。因此两者是相互矛盾的。不过根据实际生产经验，减小入口锥角对提高毛管内表面质量是有利的。近来为了克服压缩次数增加的不利因素，在轧辊入口锥中采用两个锥角（即两个锥），如图5-1b所示。 α_1 取 $1^\circ \sim 3^\circ$ ，这主要决定于改善咬入条件； α'_1 取 $6^\circ \sim 7^\circ$ ，这可使变形区长度缩短，减少反复压缩次数，提高毛管质量。有的厂就是采用这种辊型设计，但取的角度较小，主要从改善咬入条件和减小轧辊重车量来考虑的，其辊型图如图5-3所示。入口锥角 α_1 一般取 $2.5^\circ \sim 4.30^\circ$ 。

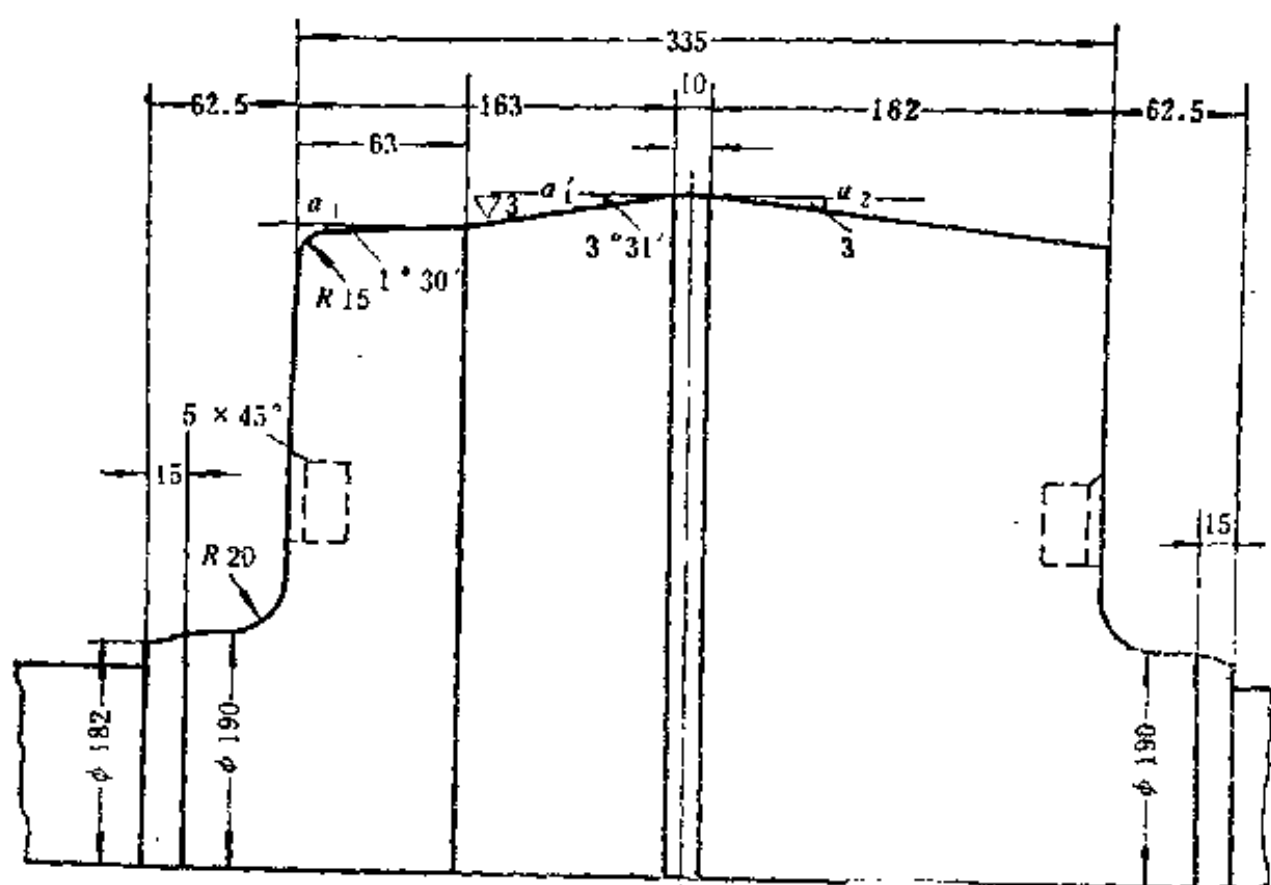


图 5-3 三锥轧辊图

出口锥角 α_2 的大小主要决定于扩径量。当采用小直径管坯轧制大直径毛管时，应选取较大的出口锥角，有些情况下可以采取这种办法来轧制大直径毛管，出口锥角到 10° 以上。但实际生产证明，采用小的出口锥角对毛管质量是有利的，因为随着 α_2 角减小，变形区加长，管壁展轧较充分，从而可改善壁厚均匀度和表

面质量，同时由于扩径量较小，对避免出现毛管外表面缺陷也是有利的。目前一般都采取较小的出口角 $2.5^{\circ}\sim 4.5^{\circ}$ ，最小到 1° 。

根据我们在350毫米穿孔机上的试验证明，采用小的进出口锥角 4.5° 和大的进出口锥角 10.5° 相比，小锥角的轧辊设计对改善毛管量更为显著，毛管表面质量有很大提高，壁厚不均大为减少。但根据我们测压资料可以看出，在小锥角轧辊上穿孔时金属同轧辊接触面积增大得较显著。两种锥角轧辊相比，在小锥角轧辊上穿孔时接触面积增大40~50%，从而使得金属对辊压力增大约14%左右（轧 $\phi 72\times 7$ 毫米的毛管）。

最后来讨论轧辊辊面上带脊的辊型设计。在实际生产中，为了减少斜轧穿孔时的滑移和增加金属的轴向延伸（顶头前），有的工厂把轧辊入口锥做成带脊的辊面，脊的形状可以是环形的或是螺旋形的。很明显，环形脊将造成支承轴向力，因此可减小轴向拉伸应力；而螺旋形脊，除了造成轴向支承力外，还会造成切向支承力，因此可减小切向拉伸应力。

研究证明，在所有情况下，采用带脊的辊型，在脊部都产生比较大的轴向变形，显然，减小了轴向滑移，穿孔速度可提高5~12%。这样，就有利于提高管坯的临界压缩量和降低内折叠缺陷的数量。这都是由于减小了滑移所致。但采用带脊的辊型，轧制压力和轴向力均有所增加。螺旋形脊不好加工；另外弄不好对毛管外表面质量有影响；因而此种辊型应用不普遍。当轧制合金钢时为了改善二次咬入条件，可在入口锥辊面上滚花。

设计好轧辊形状和尺寸之后，在作图时有尖锐棱角处都应当做圆角。

在60~100机组中使用的穿孔机轧辊结构有三种：第一种是整体的；第二种是辊轴和辊身分离的，这样辊轴不会由于辊身报废而废掉，装配时采用“红装”加键（图5-4），而且辊轴要选用较好的材料制成（如合金结构钢40Cr等）；第三种是做成外套和辊心相配合，这是为了充分利用报废的旧轧辊，如图5-5所示。某厂就采取了第三种办法，降低了轧辊的消耗（对整体轧辊面

言), 当由轧辊最大直径 $\phi 518$ 毫米车削到最小直径 $\phi 470$ 毫米不能再用时, 就把直径小于 $\phi 470$ 毫米的废辊, 改制成 $\phi 340$ 毫米辊心, 进行热压配套, 即做一个轴套, 再生使用。轧辊套“红装”时首先把套加热到 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$, 然后用吊车吊起轴心进行装配, 紧配合余量是 0.3 毫米。

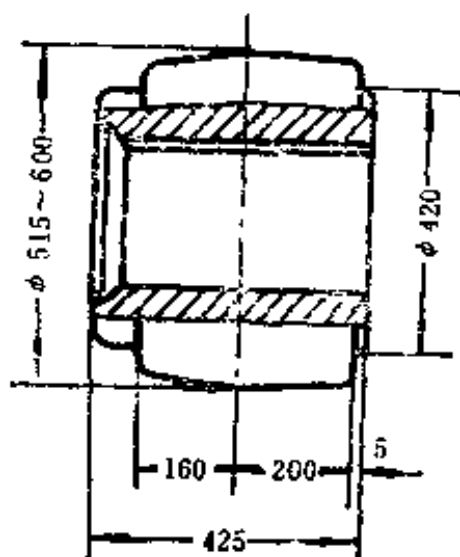


图 5-4 分离轧辊

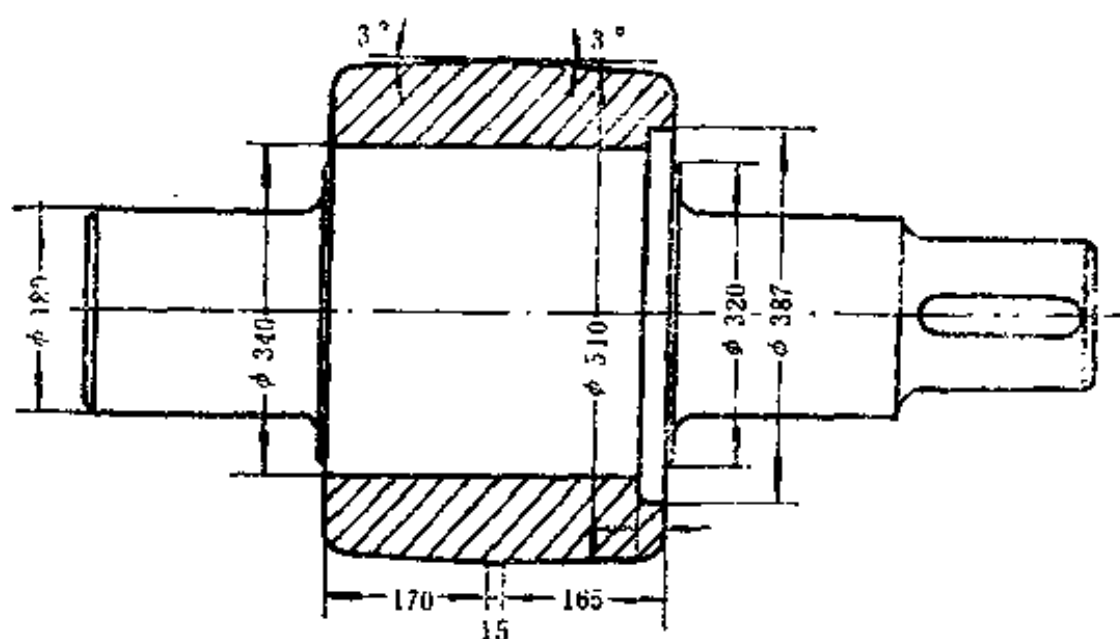


图 5-5 外套和辊心相配的穿孔机轧辊

目前 $60\sim 100$ 机组的穿孔机轧辊多使用 $45\sim 55$ 号铸钢轧辊、 50Mn 铸钢轧辊、 $45\sim 50\text{Cr}$ 铸钢轧辊、 55 号锻钢轧辊等。个别工厂有采用铸铁轧辊的, 但不好咬入, 容易后卡, 可是耐磨性高。选用穿孔机轧辊材料主要决定于咬入条件和轧辊的耐磨性, 一般

铸钢或锻钢轧辊有利于咬入,但耐磨性较差一些,从而轧辊消耗要较高一些。为了满足工艺要求,一般多采用铸钢或锻钢轧辊,实践证明,材质50Mn、45~50Cr以及55号铸钢较好。

有的工厂为了减小轧辊消耗,采取轧辊“堆焊”的方法,提高了轧辊使用率。

三辊穿孔机的轧辊形状和二辊穿孔机完全一样,我国 $\phi 108$ 毫米三辊穿孔机轧辊尺寸和材料如下:

辊径 $\phi 520 \sim 440$ 毫米;辊身长360毫米;压缩带位于辊身中间;进出口锥角不大于 $3^{\circ}30'$;轧辊材质为55号铸钢;辊轴材质为40Cr。

在单主动导盘斜轧穿孔机上,为了提高毛管质量、甩尾顺利和改善咬入条件以及实现大倾角下穿孔(到 15°),轧辊设计采用了三锥辊型(见图5-6)。其特点是中间夹一个 $1^{\circ}30'$ 锥角的中间锥,此锥的作用是增加展轧段长度以及有利于轧辊与导盘弥合良好,减小导盘与轧辊间的缝隙。另外,入口锥减小(为 $2^{\circ}30'$)是为了改善咬入条件。此辊型的缺点是:由于变形区长度加大,接触面积增加,导致穿孔负荷有所增加。实际上当采用较小的前进角时(如 8°),也可使用通用的两锥辊型设计。

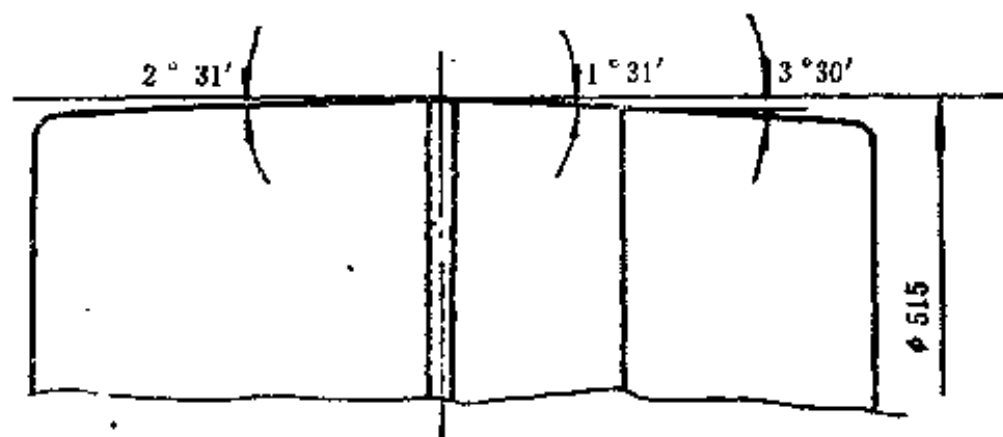


图 5-6 三锥辊型轧辊

菌式穿孔机的轧辊辊型设计与一般穿孔机的设计是相同的,只是由于增加了一个展轧角 γ ,从而确定轧辊直径的方法不同,如

图5-7所示。轧辊出入口直径由展轧角大小和调整范围以及轧机的结构所确定。

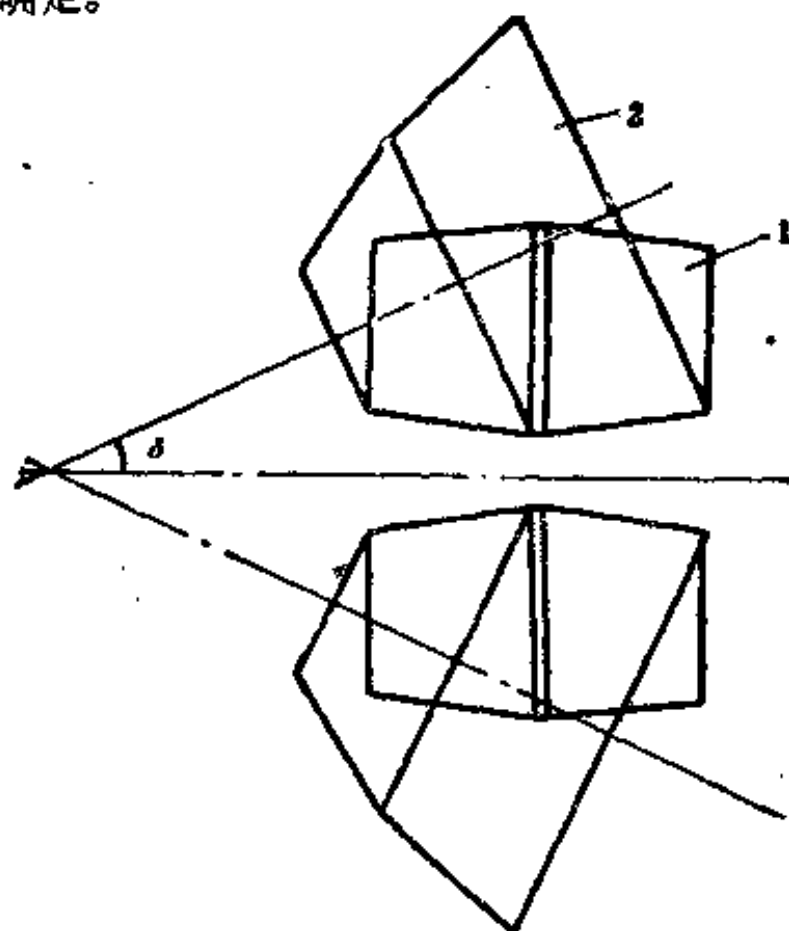


图 5-7 桶形轧辊与锥形轧辊比较

1—桶形轧辊；2—锥形轧辊

二、顶头设计

将实心坯料穿孔成空心毛管，金属变形主要集中在顶头上进行。顶头的形状（和轧辊形状相配合）决定了变形区中金属的分布，同时也在很大程度上影响着工具的耐磨性。因为顶头在高温、高压下工作，从而很容易磨损或鼻部被压堆（常称带帽），如图5-8所示。

图5-8为某厂所设计的水冷顶头（材质3Cr2W8）。由图可以看出，随着穿孔毛管支数不断增加，一方面顶头表面不断磨损，同时鼻部不断被“压堆”，顶头长度不断变短，特别是鼻部和前端磨损更为严重。图中所示情况为正常的顶头使用情况，一个顶头可穿毛管300支以上。

顶头鼻部和工作带前端磨损厉害的原因在于，顶头前端烧热

程度大并承受较大的轴向力。为了克服这种严重磨损，最好的办法是在顶头前端钻孔，加强冷却。这样可显著提高顶头寿命。

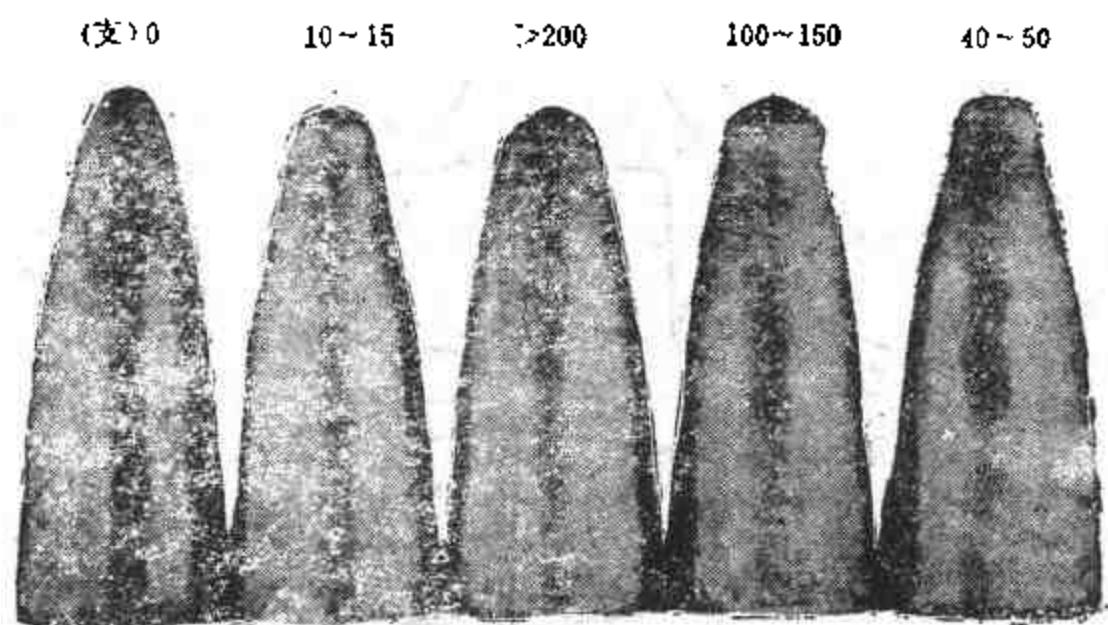


图 5-8 顶头变形和磨损

顶头局部磨损容易导致轴向阻力增加（摩擦力增加），致使轴向滑移增加，最终造成孔腔过早形成，产生内折缺陷。另外，毛管内表面粘顶头金属也是产生内折缺陷的原因（由于顶头过分磨损）。当顶头局部过分磨损而和毛管内表面金属焊合时，容易造成轧卡（多为中卡），特别是当顶头质量不高或穿轧高合金钢管时更容易出现这种现象。应当指出，顶头表面均匀磨损（生产中常称磨光）不但没有坏处相反会带来一些好处，如顶头寿命增加，轴向阻力减小等。从以上所述不难看出，顶头的质量对毛管内表面质量有着很大的影响。

顶头的形状和尺寸以及材质对其他指标如穿孔速度、能量消耗、金属消耗等也有影响。我们知道，穿孔速度慢说明轴向滑移大，生产率低和能量消耗大。特别是顶头长度对金属轴向流动影响很大。顶头长度过短，则对金属轴向流动有很大的阻力，一方面穿孔速度慢，轴向滑移增加，对毛管质量不利，另一方面增加了顶头上每半转的压缩量，偏高的局部压缩量就使得很大的变形集中在顶头不长的部位上，因而导致顶头迅速磨损。这对毛管质

量也不利。短顶头由于轴向阻力大，顶头鼻部容易很快烧热而“压堆”。但顶头也不能过长，过长容易“轧卡”。“轧卡”的原因是，当顶头向前伸时（进口锥方向）使得顶头前压缩量减小，而轴向曳入力减小，造成轧卡。这是前卡。而顶头后移时当轧制到毛管尾端时由于顶头阻力增加而造成后卡。

顶头的长度和轧辊设计很有关系，当取较小进出口锥角时，由于变形区加长，顶头也可以适当加长。

60~100机组的顶头设计，逐渐向加大长度发展。这是明显的，因为长顶头能保证得到优质的毛管，而且顶头寿命也较高；同时也和逐年在减小轧辊进出口锥角有关。

一般认为，在保证不轧卡的前提下尽量加长顶头长度。

顶头的种类和结构十分复杂：按外形来分，有球形顶头、锥形顶头（现已不用）和特殊曲线形状的顶头；按顶头冷却方式来分有内水冷顶头、内外水冷顶头和不水冷顶头；按顶头和顶杆连接方法来分，有自由连接、丝扣连接和斜锥连接等；按水冷内孔来分，有阶梯形、锥形和弧形内孔，孔壁有等壁和不等壁的；按顶头材料来分，有碳素钢顶头、合金钢顶头以及钨基合金顶头等。

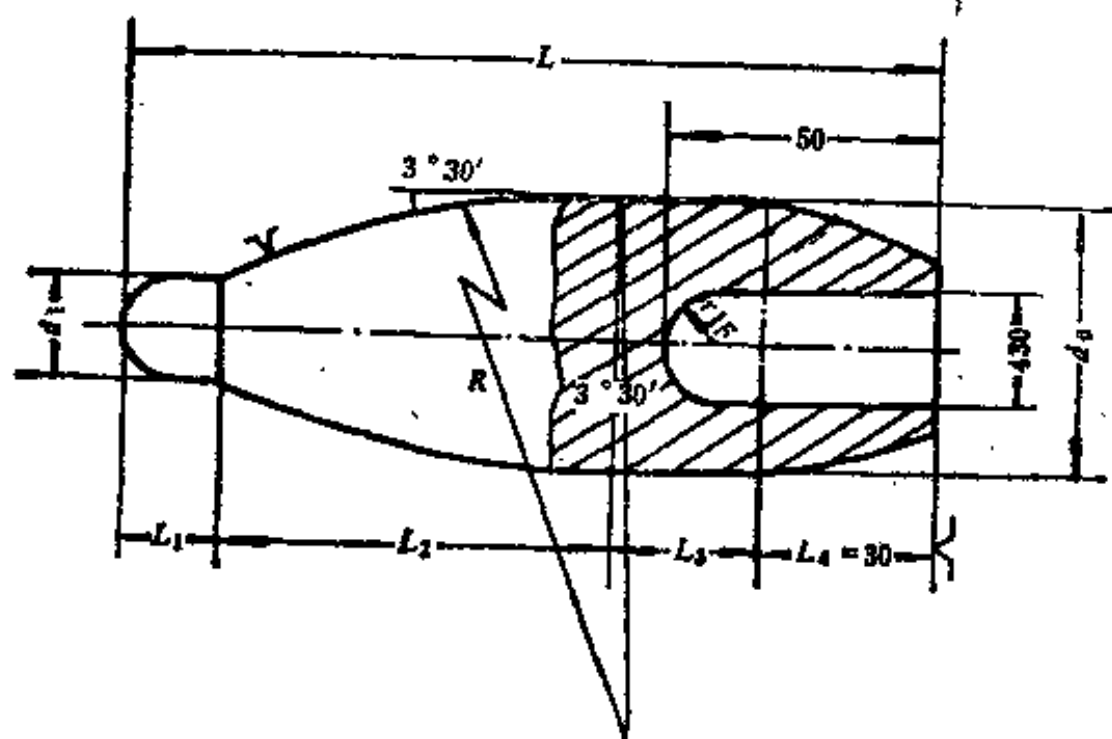


图 5-9 不水冷顶头（上海114机组）

60~100机组所用的顶头形状、冷却方法以及和顶杆连接方法等如图5-9到5-14所示。

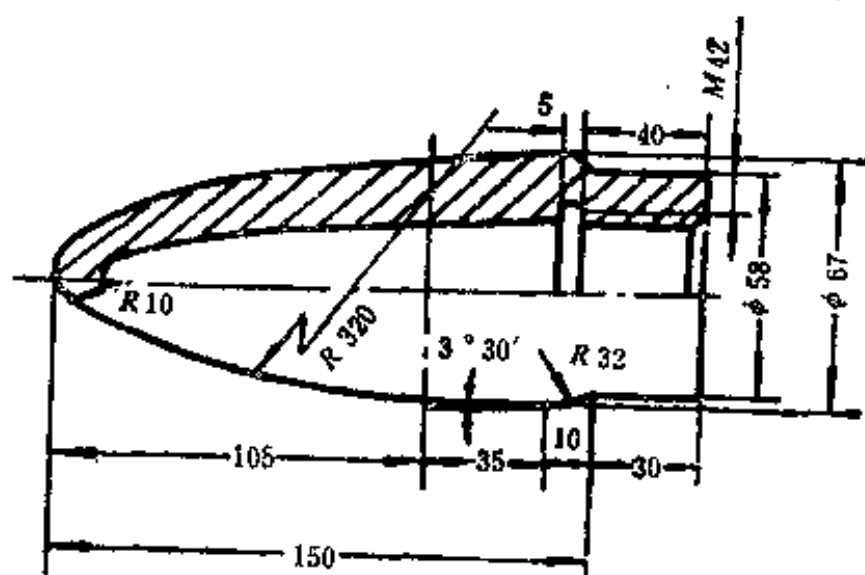


图 5-10 带反锥的水冷顶头

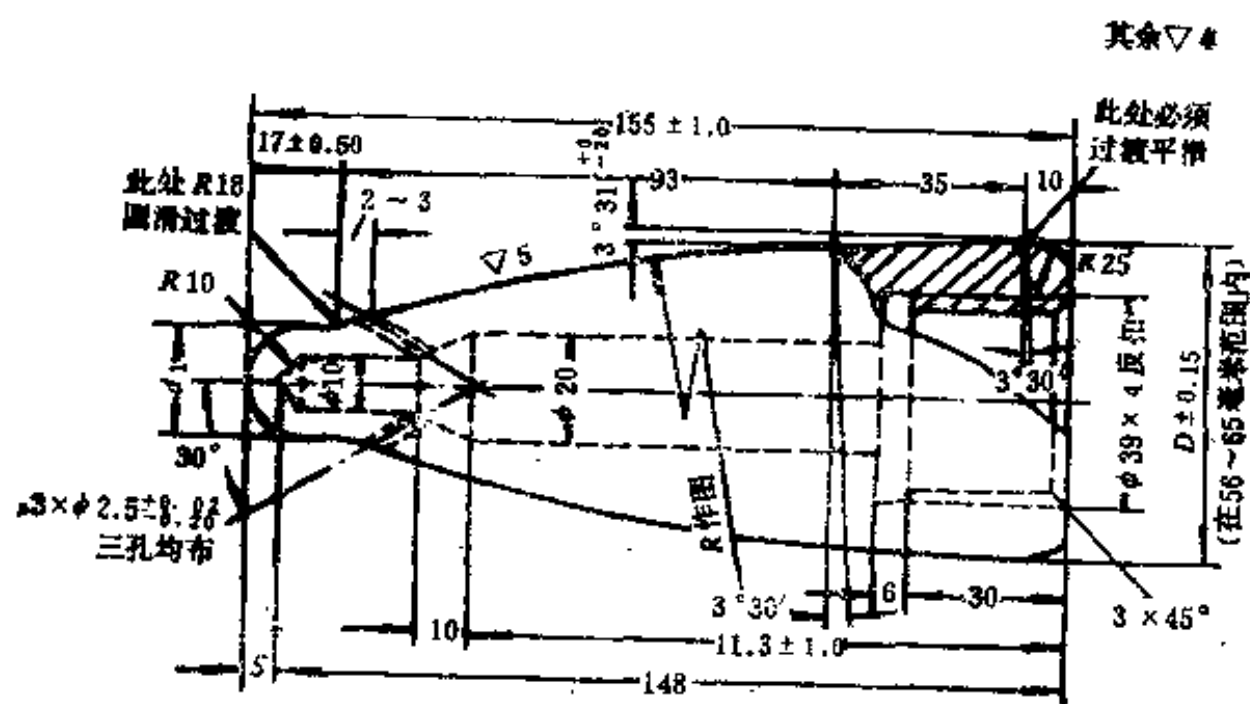


图 5-11 碳钢内外水冷顶头 (安阳)

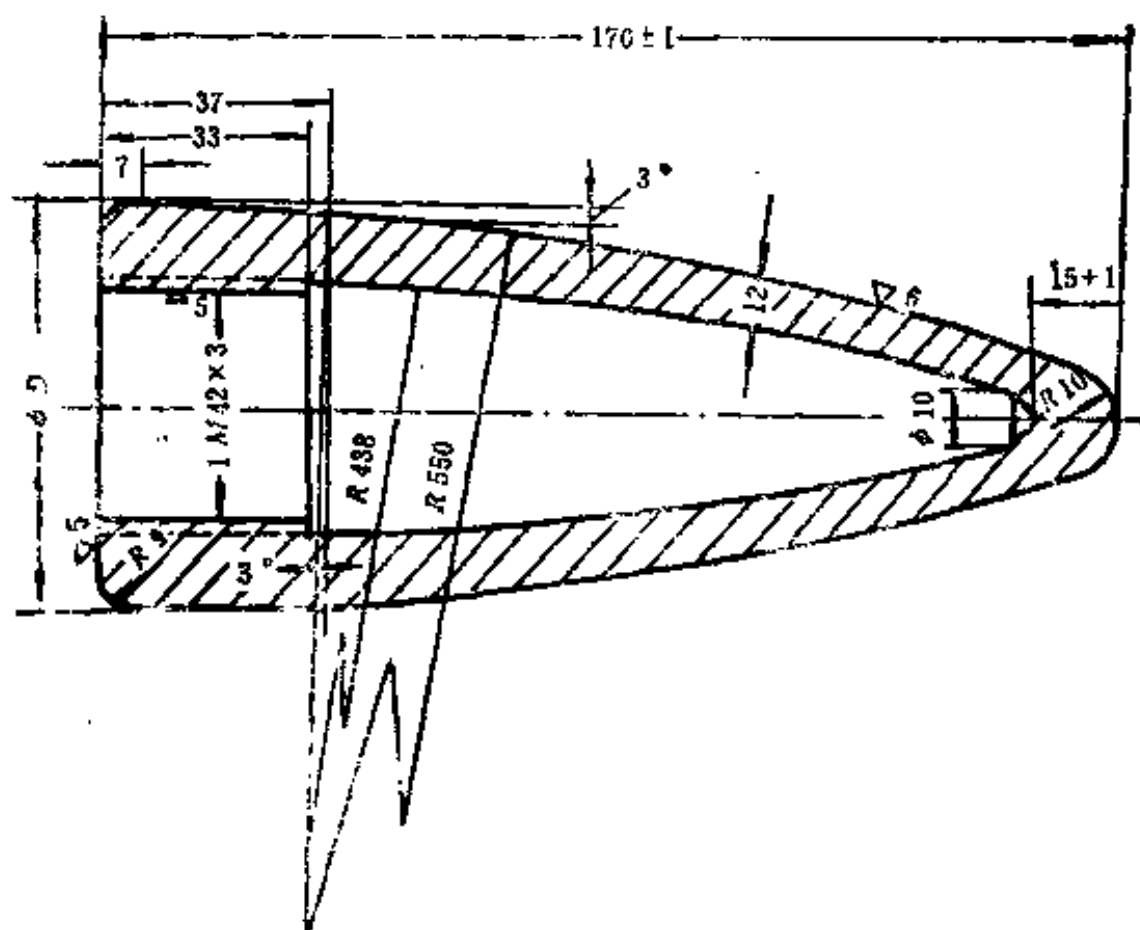


图 5-14 等壁的水冷顶头 (北京)

我国60~100机组广泛采用球形顶头 (图5-15); 特殊曲线形状顶头也曾用过。

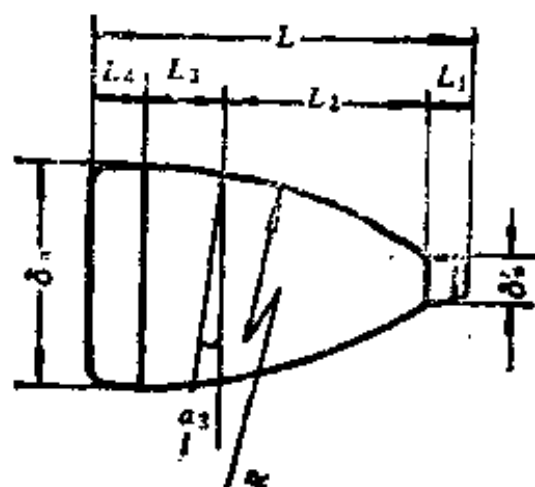


图 5-15 穿孔机球形顶头

顶头的工作表面形状有四个部分组成: 鼻部 (有的不设计鼻部) L_1 , 工作锥 L_2 , 横向展轧锥 L_3 和反锥 L_4 。

顶头鼻部 主要用来改善金属流动过程，使与鼻部紧连着的顶头工作部分不完全同金属接触，使顶头烧热程度减小，并能起散热作用，以便提高顶头耐磨性。

顶头鼻部尺寸一般 $\delta'_n = 20 \sim 30$ 毫米， $L_1 = 17 \sim 26$ 毫米。

另外按理论上讲，顶头鼻部可用来防止管坯中心最初形成的孔腔被暴露，不被氧化，从而防止由于形成孔腔而产生内折缺陷。

由孔腔形成原理可知，管坯中心破裂并非仅在中心一点发生，而是扩大到一定区域，按资料[26]介绍，其区域大小一般为管坯直径的15~25%。因此为了防止内折缺陷产生，推荐鼻部直径等于 $(0.15 \sim 0.25)d_x$ 。这和上述数据是一致的。

顶头鼻部最好用 $r = 0.5\delta'_n$ 的半径作成球形。顶头鼻部的长度 L_1 应该等于 $(0.85 \sim 0.95)\delta'_n$ 。

顶头工作锥 L_2 主要用来完成毛管壁成型，因而金属变形主要在这个锥中完成。如前所述，顶头工作锥有各种形状，锥的母线可以是直线的（锥形顶头）、圆弧的（球形顶头）和特殊曲线的。球形工作表面的顶头得到了广泛应用。选择顶头工作锥球形半径时，要使得球体圆弧和后一部分——展轧锥——圆滑地连接。顶头工作锥长度具有重要意义，正如和顶头长度一样（因为金属变形主要在顶头工作锥上进行），采用较长工作锥的顶头能取得良好的生产指标。这种顶头寿命高，穿出的毛管质量好，穿轧速度快。

以前76机组所设计的顶头工作锥长度较短，一般为 $(1.15 \sim 1.4)\delta_n$ 。目前各厂都加长了，60~100机组一般为 $(1.15 \sim 2)\delta_n$ ，这里的 $\delta_n = 56 \sim 100$ 毫米，大直径的顶头取小值。工作锥的球形半径一般用作图法确定，这样比较方便，但也可根据几何关系导出的公式来计算，确定半径 R 的公式如下（见图5-15）：

$$R = \frac{(\delta'' - \delta'_n)^2 + 4L_2^2}{4[(\delta'' - \delta'_n)\cos\alpha_2 - 2L_2\sin\alpha_2]}$$

式中 δ'' ——和圆锥相接处直径。

当没有鼻部时，顶头尖做小圆弧，并和 R 弧圆滑过渡。

近年来有不少研究者根据沿工作锥上金属变形均匀分布原则，用数学的方法来确定工作锥母线的形状。顶头形状如图5-16所示。

这些特殊曲线形状的顶头，在生产实践中并未得到广泛应用，主要是由于它不能适用于所有规格和品种，但对轧制某些钢种和规格还是有参考价值的。同时，顶头工作面由于在高温高压下工作，容易很快被磨损，这样，顶头工作锥母线形状也就被破坏了。目前关于最合理的顶头形状，还没有肯定的意见，有待进一步研究。



图 5-16 特殊曲线形的顶头

1—工作锥上相邻截面延伸系数不变；2—相对压缩量不变；3—2的改进型

展轧锥 L_3 为一斜锥体（母线为一直线），其作用是使沿毛管长度上有均匀的厚度，展轧锥的母线倾角等于轧辊出口锥角 α_2 ，因而在这个区域上变形是很小的，主要起均匀壁厚作用。为了保证毛管上任一点都能在此区域中受到加工（展轧），该段长度应不小于一个螺距，实际上多取

$$L_3 = (1.2 \sim 1.5)s$$

式中 s ——螺距值。

76~100机组穿孔机顶头的展轧锥长度一般在30~45毫米范围内。

反锥 反锥 L_4 用来防止毛管内表面被擦伤（金属离开顶头时）和保证毛管尾端能自由离开顶头，以及对于和顶杆自由连接的顶头，还能起到平衡顶头前、后端重量的作用。顶头能放置水平，便于顶杆插入顶头后孔中。对于丝扣连接的水冷顶头，反锥

的长度一般在5~10毫米，通常是做一个圆锥。对于不水冷顶头反锥长度较长（平衡重量作用），一般在30~40毫米，并作一个大圆弧（参见图5-9）。但有的水冷顶头也取一段较长的反锥（图5-10），在此处内车丝扣和顶杆连接。好处是顶杆好退，可防止包头，而且丝扣车在这段上可防止受热。否则，由于热胀冷缩作用，丝扣容易松动。

我国76~100机组主要工厂所用穿孔机顶头尺寸如表5-1及5-2所示。

表 5-1 76~100机组球形顶头尺寸（单位：毫米）

机 组	$d_0(d_n)$	R	$d_1(d_n')$	L_1	L_2	L_3	L_4	L
青 岛 76	65	310	—	—	120	27	8	155±1
广 州 76	62	362	—	—	110	30	10	150±1
	61	377	—	—	110	30	10	150±1
	60	393	—	—	110	30	10	150±1
	59	401	—	—	110	30	10	150±1
	58	409	—	—	110	30	10	150±1
	57	428	—	—	110	30	10	150±1
北 京 76		438	—	—	133	30	7	170±1
安 阳 76	56~65	作图	20	17	93	35	10	155±1
鞍 山 100	60	259	22	22	86	32	40	180±1
天 津 76	67	320	—	—	105	35	40	180±1
烟 台 100		470	—	—	130	20	10	160
上 海 76(合金钢 厂)		470	—	—	130	30	10	170
上 海 76	69	546	—	—	135	30	5	170
	79~82	537	—	—	165	30	5	200
		542	—	—				
	70	520	—	—	135	40	5	180

水冷顶头在国内外都得到了广泛发展，我国很早就使用水冷顶头，其形状和水冷方法如图5-17所示。水冷顶头可分为内冷却和内外同时冷却两种。水冷顶头有很多优点：1) 顶头寿命高，根据有的资料介绍，一个水冷顶头可穿1000~2000根毛管；2) 机械化程度高，取消了工人换顶头的繁重劳动；3) 可缩短穿孔的辅助时间。目前，我国76~100机组上几乎全部使用了水冷顶头。使用水冷顶头的缺点是出现“轧卡”等事故时，卸下顶头比较困难，要耽误一些时间。在顶杆上装有二节杆主要是为了便于拆卸，如图5-18所示。



图 5-17 早期水冷顶头

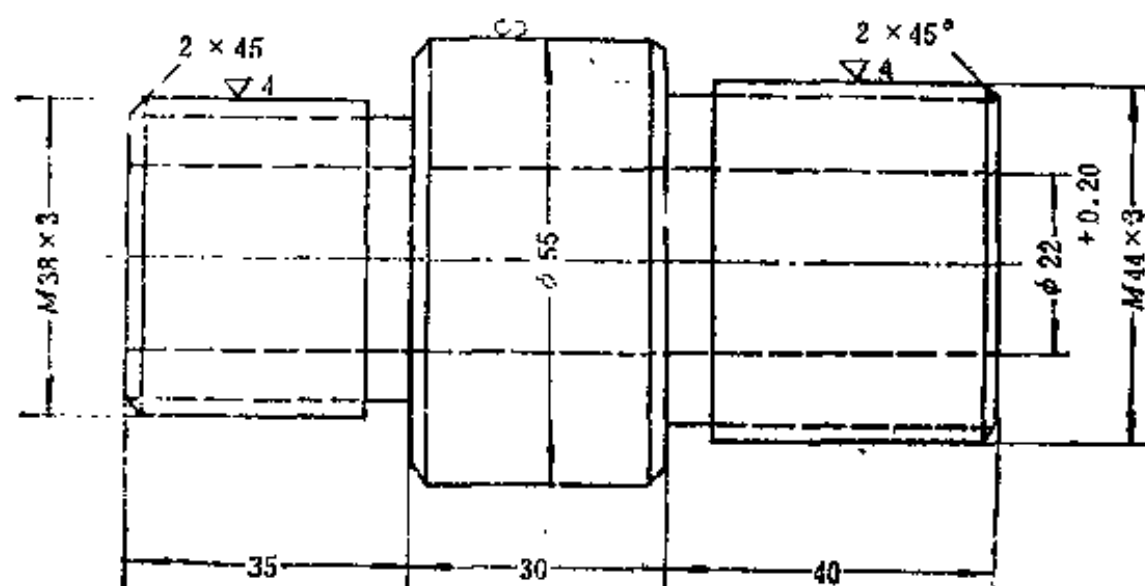


图 5-18 顶杆的二接杆

但有的资料介绍，采用斜锥自由连接的水冷顶头可以克服这一缺点，如图5-19所示。这种顶头在穿孔时有水冷却，穿孔后水门自动关闭，顶头留在变形区内，使用比较方便。

应当特别指出安阳某厂采用的45号钢水冷顶头。该厂生产实践证明，45号钢穿孔水冷顶头使用寿命等各项技术指标超过了

表 5-2 114机组穿孔机顶头尺寸(见图5-9)(单位: 毫米)

$d_0(\delta_0)$	56~58	57~58	59~60	73~74	75~76	77~78	91~92	93~94	95~96
R	339.5	304	277	275	269.5	254.5	272	262	254
d_1		24			26			30	
L_1		20			22			26	
L_2		76			92			106	
L_3		30			36			42	
L_4		30			30			30	
L		156			180			204	

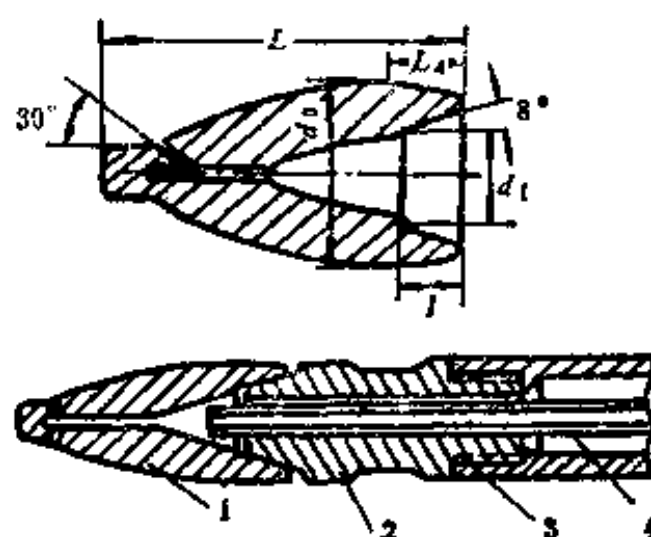


图 5-19 斜锥自由连接的内外水冷顶头

1—顶头; 2—斜锥; 3—顶杆; 4—水管

3Cr2W8V和20Cr2Ni4合金钢穿孔顶头。采用45号钢水冷顶头, 不仅具有经济价值, 而且可大量节约 Cr、Ni、W 等合金元素。在正常情况下平均每个顶头能穿毛管500~600根。用这种顶头不但可以穿碳素钢, 而且可以穿合金钢, 如合结钢、轴承钢 (GC^r15) 以及枪管钢。穿制毛管长度最长到3.8米。

根据安阳某厂的经验, 顶头冷却水压力为0.3~1.0兆帕。顶结构如图5-11所示, 关键在于顶头前半部的合理形状和尺寸。 $d_1(\delta_1)$ 原为 $\phi 24$ 毫米, 逐步改为20毫米。头部前端的厚度 S 是个重要数据, 因为前端首先和管坯接触, 工作条件最差, 顶头不好用主要也就是该部分熔化。为使前端在工作时得到很好地冷却, 因此 S 厚度愈薄愈好, 但是太薄会产生挤透现象, 认为 $S=6\sim 8$ 毫米较为合适。

打水孔是45号钢水冷顶头使用的基础。水孔与顶头轴线的夹角愈小愈好，但是受到钻孔加工的限制。喷水孔的直径可根据冷却水压力适当改变，在保证顶头鼻部不熔化的情况下，为了减少毛管温降，水孔直径愈小愈好。冷却水管一般伸进顶头内孔中70~80毫米。冷却水量控制很重要，使用新顶头时冷却水要放大。当穿过一、二根毛管后，顶头鼻部已形成一层坚硬光滑的氧化铁皮层后，也就不易熔化了，此后冷却水要关小些。

顶头的热处理，关键不是硬度而是表面状态，在表面（尤其是头部）应形成一层牢固的氧化铁皮膜。为了达到这一要求一般热处理工艺如下：

加热温度——840℃；

保温时间——约2小时；

冷却方式——顶头出炉后，淬入冷却水槽中，稍停一下取出，再入水中，反复2~3次后，放入水中连续冷却。

热处理后，顶头表面特征是：在淬火时，顶头外表面的一层氧化铁皮脱落，面内层则没有脱落，而且在铁皮上面分散着一层极微小的类似白霜状的结晶。

有的工厂经验得出，对于水冷顶头，顶头内孔形状也很重要。内孔的形状有两种：一种是由顶头反锥到鼻部壁厚是逐渐减小的，这是因为顶头的烧热程度由反锥到鼻部的逐渐增加的；一种是等壁厚的。顶头的壁厚值和许多因素有关，如冷却水压力和温度、气候（冬或夏）、顶头的材料以及工艺制度和调整方法等。

有的厂认为，由于夏季水温高（到30℃），壁厚应该薄一些，而冬天应该厚一些。有的厂经验是，如果壁厚太薄，冷却快，容易爆裂。壁厚太厚顶头表面易很快被磨损（咬毛）。

至于内孔形状有的是从容易加工出发的，如做成阶梯形内孔。有的厂认为，内孔钻孔的交接处，由于厚薄不一常易裂。有的工厂采用模锻顶头，不需加工内孔和外表面，很值得推广。

加外水冷（钻喷水孔）的水冷顶头冷却效果要好一些，但由

于喷水会造成操作条件较差。

现国内常用的顶头材质如表5-3所示。

表 5-3 常用的顶头材质

钢 号	化 学 成 分	热处理制度 要求	机组工厂
3Cr2W8 3Cr2W8V	C0.3~0.4%, Mn0.2~0.4%Si≤0.35% Cr2.2~2.7, W7.9~9%V0.2~0.5%	获得较致密 的氧化膜	60~100机 组水冷顶头
镍铬铸钢 20CrNi3A	C0.15~0.25%, Cr1.2~1.5%, Ni3~3.5%, Mn0.2~0.6%, Si0.2~ 0.5%P, S≤0.5%	获得较致密 的氧化膜	114机组不 水冷顶头
MTZ 钼基合金	Mo基体, Ti0.5%, Zr0.08~0.1% C0.02~0.03%	—	76~114机组 穿轧不锈钢等

钼基合金顶头在我国使用较早。我国工厂、科研单位对这一技术很早就进行了研究，并取得了显著成就，对生产不锈钢管等起了巨大作用。

钼基合金顶头主要用于穿轧不锈钢、高温合金(H30, H36)等毛管，因为它们具有高的变形抗力，穿轧时单位压力很大，别种顶头寿命很低，小直径的顶头尤其明显。由于顶头烧热得很快，顶头磨损得也很快。过去用3Cr2W18材质顶头来穿轧不锈钢毛管寿命很低，一般穿一根毛管就报废了；经过喷涂（镀铬），也只能穿1~2根毛管。由于顶头磨损严重，经常发生“轧卡”，即使不发生轧卡，在穿轧到毛管尾部时顶头磨损处的尖锐边缘将刮伤毛管内表面而产生缺陷。此外，随着顶头的前端磨损及其长度的减小，顶头前压缩量增加以及滑移增加，很容易产生管坯中心破裂（孔隙），导致内折缺陷大量产生，使得成材率降低。在实际生产中穿轧不锈钢管时，内折叠多半发生在毛管后端，原因之一就是由于顶头磨损。

根据国外资料介绍，用钼基合金顶头可穿1Cr18Ni9Ti（坯长1.76米）毛管100~270根。而我国某厂使用钼基合金顶头寿命达204支，最高达319支；粉末冶金钼基合金顶头平均寿命可达

508根，毛管总平均合格率为99.26%，经济效果也较好，如表5-4所示。

表 5-4 使用钼基合金顶头的经济效果

顶头材质	消耗量 个/月	寿命比较 (穿轧1Cr18 Ni9Ti)	顶头成本 元/个	班产量	顶头加工 车床
3Cr2W8 钼基合金 顶 头	4000	1	30~37	3.5	10台
	20	204	600	8	2台

铸态钼基合金顶头的制造很简单，即将熔好的铸锭切去头尾，在车床上用硬质合金车刀切削成型，再用砂纸抛光即成。

使用钼基合金顶头穿轧毛管时应注意如下的工艺要求：

1) 钼基合金具有高的的高温强度，低温塑性较差，其脆性转变温度在室温以上（高于400℃）。因铸态钼基合金没有再结晶温度限制，适用于高温连续作业。实践证明，钼基合金顶头在850~950℃下使用效果最好，具有足够的强度又不易产生脆性开裂。因此穿孔前要把顶头预热到850~950℃（在管坯加热炉中），在穿孔时要防止与穿孔机冷却水接触，以免冷热作用引起顶头龟裂。顶头的预热制度如图5-20所示。

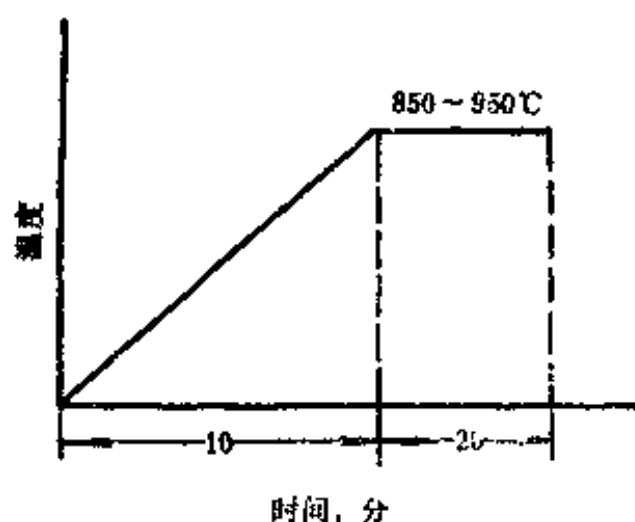


图 5-20 钼基合金顶头的预热制度

2) 停穿后顶头应放在还原气氛中缓慢冷却。操作时应防止摔碰和划伤顶头。

3) 预热后的顶头在穿孔时要涂上一层玻璃粉, 在每次穿孔后都要涂一次。玻璃粉在顶头表面上形成一层均匀的玻璃膜起到良好的润滑作用, 并减少顶头的氧化。同时由于有玻璃膜存在也可以防止顶头有裂纹处的氧化, 防止裂纹扩大。

试验证明, 不用玻璃粉润滑时顶头表面容易粘钢, 毛管质量差。另外, 在穿孔过程中使用玻璃润滑剂还可减小穿孔时的轴向力和滑移, 如表5-5所示。

表 5-5 润滑剂的影响

顶头材质	润滑剂号	最大轴向力 千牛	纯穿孔时间 秒/米	测定次数
20CrNi3A	—	169	5.5	4
	1	153	4.7	1
钼基合金	1	139	6.9	6
	3	129	5.8	2
	4	132	6.2	4
	5	129	6.7	1
	6	123	5.4	4

注: 车76机组上的试验结果。

现使用的玻璃润滑剂M-I成分和性能如表5-6所示。玻璃润滑剂一般是加入定心孔内, 从而定心孔要深, 一般为25毫米或者直接撒粘在顶头表面上。

表 5-6 玻璃润滑剂M-I的成分

S.O ₂	Na ₂ O	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	粒度, 目	软化点, °C	粘度, 帕·秒
45	12	30	5	8	200	450	40

为了避免产生缺陷, 使用钼基合金顶头要注意以下问题:

1) 避免顶头表面上产生裂纹, 否则会造成毛管内壁缺陷。为此, 一是不要与水接触; 二是顶头温度不低于 800°C, 否则极易产生低温裂纹。

2) 顶头变形。顶头在穿轧到一定数量后, 顶头肩部逐渐变

瘦成凹形，导致毛管内壁产生螺旋纹缺陷。这是由于温度过高，加快了钼基合金顶头的氧化，磨损厉害。这样，就要降低管坯加热温度。

3) 毛管内壁产生局部细裂纹或尾部大裂纹。这是由于毛管温度过高造成的。因为钼基合金顶头在高温下使用，穿轧毛管时温升比水冷顶头大得多(某厂后者为 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，前者为 $80\sim 100^{\circ}\text{C}$)，由于内壁温升过高造成晶粒长大，过热而产生裂纹。特别是毛管尾部裂纹尤甚，因为尾部管壁温度较高。另外和穿孔速度也有关，因为速度愈快，则温升愈高。为此，用钼基合金顶头要降低管坯加热温度，用水冷顶头时管坯出炉温度为 $1170\sim 1210^{\circ}\text{C}$ ，而用钼基合金顶头时为 $1080\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 。

4) 毛管内壁麻坑缺陷。这主要是由于顶头温度过低，表面上玻璃润滑剂凝成块而造成的。另外，润滑剂用量太少或顶管粘钢也易造成麻坑缺陷。

据衡阳某厂的研究表明，三辊穿孔机的顶头虽然和两辊穿孔机的相似，但对其质量要求更严格。这是由于三辊穿孔顶头所受的轴向力比二辊的大；此外，有三个轧辊同时作用在顶头上，加上顶头和金属(毛管内径)的间隙小，作用在顶头上的正压力也

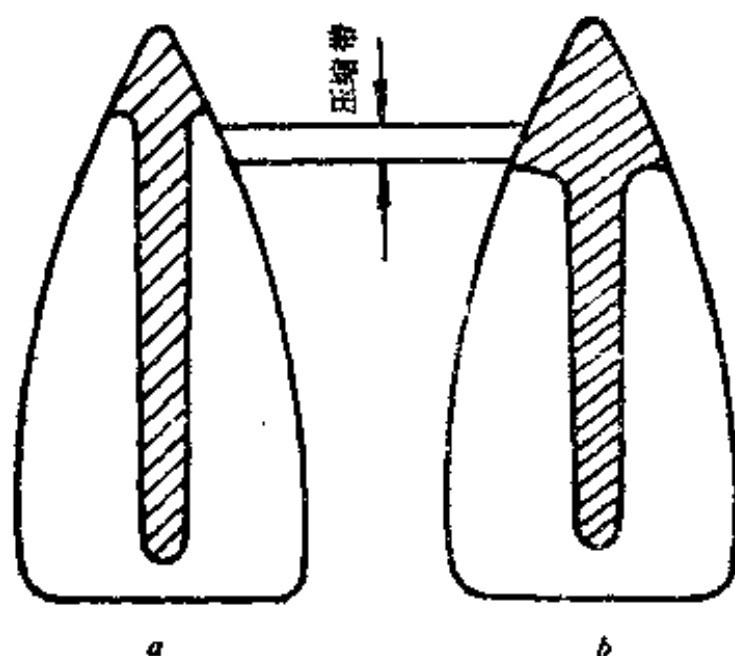


图 5-21 顶头与金属接触面积图

a—二辊；b—三辊

较大。图5-21为两辊穿孔和三辊穿孔时顶头同金属的接触面积示意图。由图中可以看出，三辊穿孔时顶头前部的受力面积不仅大，而且受力条件较二辊要恶劣得多。顶头上的条形接触面积在二辊穿孔时有两个，而在三辊穿孔时则有三个。这都造成了顶头不仅受较大的轴向力，而且受较大的正压力。所以三辊穿孔机的顶头损耗大于二辊穿孔机。因此，三辊穿孔时的顶头更需要选择较好的材质。

双导盘穿孔机有同样的问题，即由于顶头前压缩应力状态的影响，轴向力较大。为此，三辊穿孔机和双导盘穿孔机设计的顶头长度较一般穿孔机短。

单导盘穿孔机和菌式穿孔机（带导板的）的顶头设计同一般二辊穿孔机的顶头设计没有区别。

三、导板和导盘设计

导板和导盘是穿孔机的重要工具之一，它的作用是和轧辊一起构成一个封闭的孔型，以保证获得较大的延伸系数和得到薄壁的毛管。在1903年以前，穿孔机上都使用导辊，这时在穿孔机上只能轧制厚壁毛管，因而穿孔时的延伸系数也较小。在76~100机组带双导板的穿孔机上可穿出壁厚为4.5毫米的毛管，采用单导盘时可穿出3.8毫米的毛管。

导板的形状如图5-22所示。导板的入口锥主要起管坯导向作用，并使管坯中心对准穿孔中心线。当管坯和上下导板相接触时管坯的椭圆度受到限制，一方面可防止“孔腔”过早形成，同时促使金属纵向延伸。导板的出口锥起限制毛管横变形的作用，促进纵变形，并可控制毛管外径。

导板形状和尺寸的设计必须满足穿孔的变形过程的要求。一般穿孔机的变形区是对称的，因此，上下导板形状和尺寸是相同的。

导板的设计包括确定如下内容：导板宽度，导板纵断面形状和尺寸以及各横截面形状和尺寸。

穿轧毛管的尺寸不同，则变形区尺寸也不同，因此导板尺寸

也不同；即使管坯直径相同而压缩量不同时，导板宽度也应该有所变化。在实际生产中为了减少导板的尺寸规格，便于制造和管理，都按穿轧最小壁厚毛管的情况来设计导板尺寸（外径相同或相近似时）。这是因为穿轧薄壁毛管时管坯压缩量取得最大，而且要求导板和轧辊间隙最小。如果间隙大了很容易刮伤毛管，甚至出现“链带”事故（把毛管刮破）。轧制薄壁毛管的导板完全适用于轧制厚壁毛管，虽然这时导板和轧辊间隙要大些，但由于厚壁毛管的壁较厚是不会有危险的（如出“链带”等）。

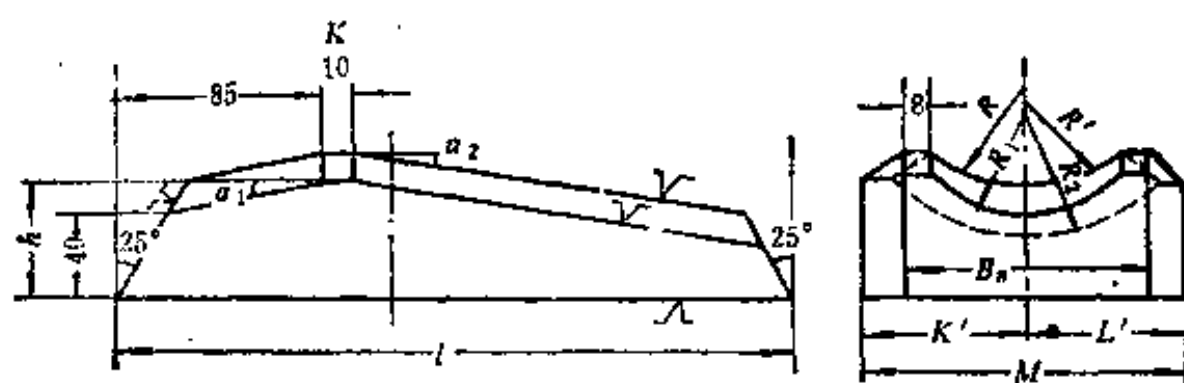


图 5-22 导板形状（114机组）

导板的纵断面（中心剖面）由入口锥、出口锥和压缩带三个部分组成。

60~100机组穿孔机所用导板的纵断面形状主要有图 5-23 所示的几种。

由图示的几种导板形状可以看出，它们的共同点在于都由入口锥、压缩带和出口锥组成。*a*型的特点是压缩带较宽（宽直线段或为 1° 的斜面）；*b*型的特点是压缩带较窄；*c*型的特点是入口锥由大圆弧构成，没有直线段的压缩带（也可看成有圆弧过渡）；*d*型是介乎*b*和*c*的中间状态。四种类型导板的压缩带都不在导板的中间，而移向入口，移动值为20~30（个别达50）毫米。此移动值是指导板压缩带相对于轧辊压缩带向入口方向的移动量。导板压缩带移向入口的目的在于：1）减小管坯在顶头上开始展轧时的椭圆度；2）轧辊压缩带和导板压缩带互相错开可减小导板摩擦阻力，从而可以减小滑移和能量消耗以及提高导板

的耐磨性。

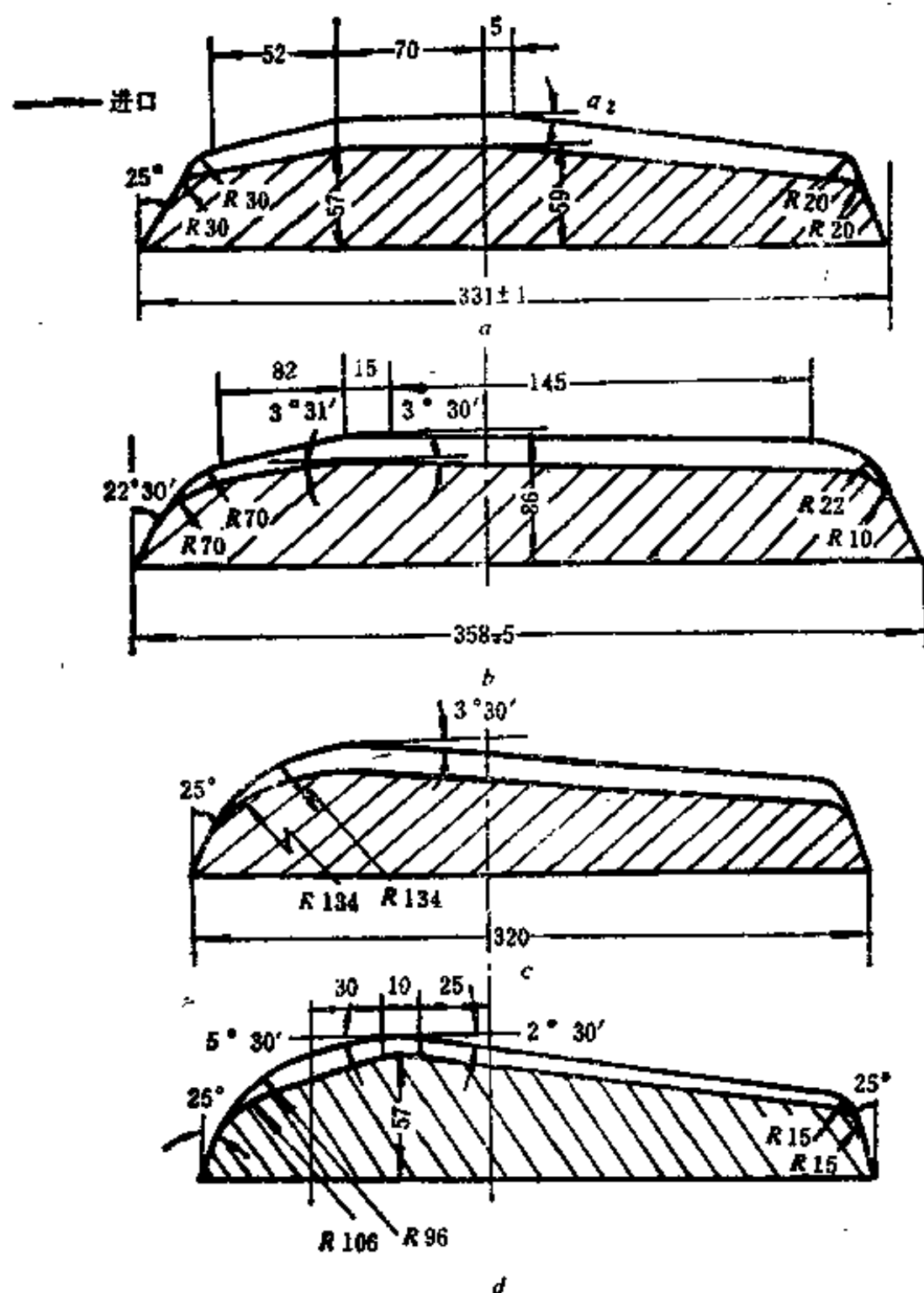


图 5-23 导板的纵断面（中心剖面）形状

a—宽直线段（广州）b—窄直线段，常用型（烟台）；

c—入口锥为大圆弧（上海），d—入口锥由大圆弧和斜锥面构成（北京）

目前，常用的导板纵断面形状为 *b* 型；但其他类型导板的应用，各厂也取得了好经验。导板纵断面的尺寸包括：导板的长度 *l*，

导板的高度 h ，入口和出口锥角 α_1 、 α_2 ，压缩带的宽度 K （如图5-22）。

导板的长度主要决定于变形区长度。76~100机组的导板长度一般在300~360毫米范围内，通常是320毫米左右。导板的高度 h 决定于强度要求和轧机的结构。76~100机组导板的 h 一般等于50~80毫米，一般认为取薄一点好，可减轻导板重量和节约金属。

压缩带宽度一般在10~40毫米范围内。

入口锥角 α_1 一般等于轧辊入口锥角，或比轧辊入口锥角大 $1^\circ \sim 2^\circ$ 。76~100机组穿孔机导板的入口锥角，根据轧辊入口锥角的大小，一般波动在 $3^\circ \sim 5.5^\circ$ 。出口锥角 α_2 取等于轧辊出口锥角，或比轧辊出口锥角小 $0.5 \sim 1^\circ$ ，波动在 $2^\circ \sim 3.5^\circ$ 。

导板进出口锥角也可通过计算求出（见图5-24）。导板进口锥角 α_1 按下式求出：

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{0.5(d_z - L)}{L_A - n - N}$$

式中 L ——压缩带处导板间距；

L_A ——入口锥处变形区长度；

n ——从轧辊开始咬入管坯到管坯与导板开始接触间的距离；

N ——导板压缩带相对于轧辊压缩带的位移值。

导板出口锥角 α_2 按下式求出：

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{(D_0 + C - L) \operatorname{tg} \alpha'_2}{\delta_n + 2S_0 - b + 2N \operatorname{tg} \alpha'_2}$$

式中 D_0 ——毛管直径；

α'_2 ——轧辊出口锥角；

δ_n ——顶头直径；

b ——轧辊压缩带处间距；

S_0 ——毛管壁厚；

C ——导板槽深。

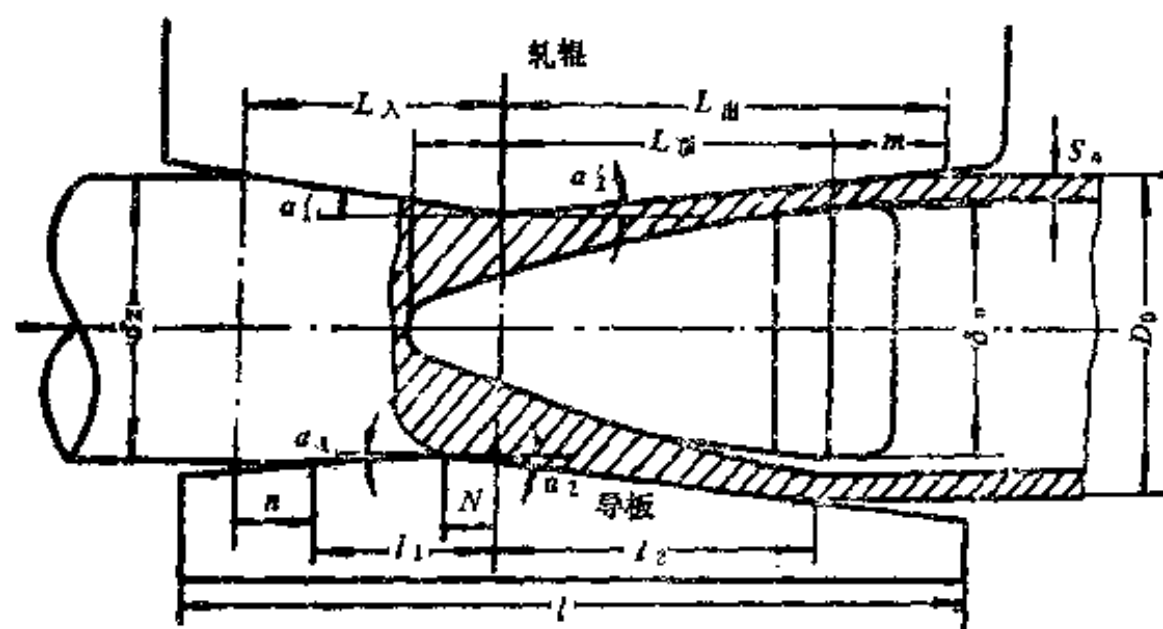


图 5-24 决定导板尺寸图

不管是选用实际数据或用计算方法来确定 α_1 、 α_2 都应当满足变形过程的要求，即入口锥角 α_1 应保证管坯被轧辊咬入后，前进一定距离后再和导板接触，这样才能保证管坯顺利通过（不轧卡，容易咬入）。

出口锥角 α_2 应保证毛管先离开顶头和导板，最后离开轧辊。

由于变形区形状较为复杂，从而导板宽度应根据变形区几何

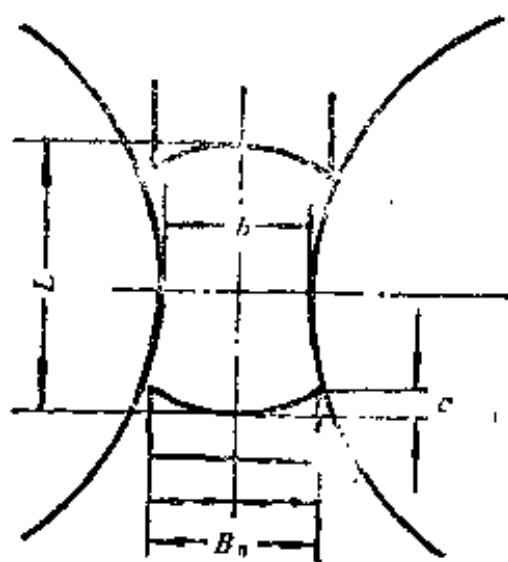


图 5-25 决定导板宽度（压缩带处）

关系来计算（这里的公式不推导）。首先来确定压缩带处的导板宽度（图5-25）：

$$B_n = D + b - \sqrt{D^2 - (L - 2C)^2}$$

导板入口锥的宽度（图5-26）：

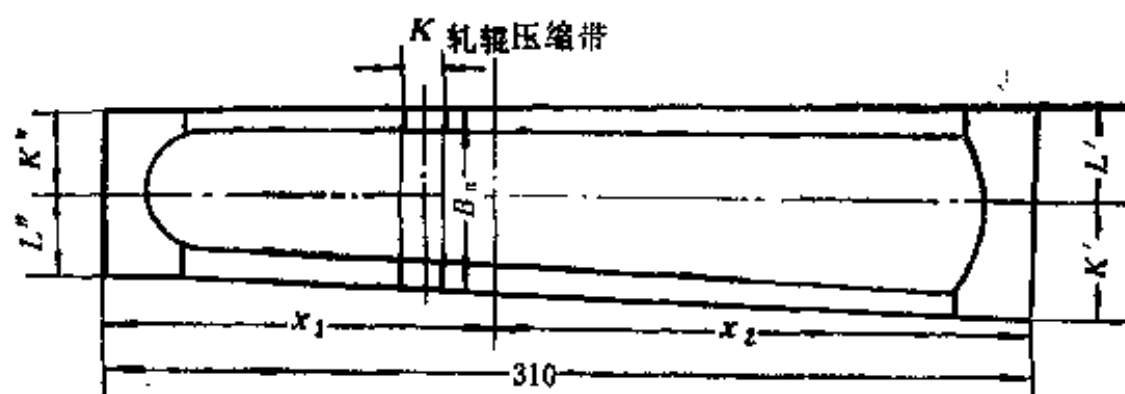


图 5-26 决定导板宽度

$$L' = \frac{1}{2} (D + b - \sqrt{(D - x_1 \operatorname{tg} \alpha'_1)^2 - (L_1 - 2C_1 - 2x_1 \operatorname{tg} \beta)^2}),$$

$$K' = \frac{1}{2} (D + b - \sqrt{(D - x_1 \operatorname{tg} \alpha'_1)^2 - (L_1 - 2C_1 + 2x_1 \operatorname{tg} \beta)^2})$$

出口方向导板的宽度：

$$L' = \frac{1}{2} (D + b - \sqrt{(D - x_2 \operatorname{tg} \alpha'_2)^2 - (L_2 - 2C_2 - 2x_2 \operatorname{tg} \beta)^2}),$$

$$K' = \frac{1}{2} (D + b - \sqrt{(D - x_2 \operatorname{tg} \alpha'_2)^2 - (L_2 - 2C_2 + 2x_2 \operatorname{tg} \beta)^2})$$

以上式中：

D ——压缩带处轧辊直径；

b ——压缩带处轧辊间距；

L, L_1, L_2 ——压缩带、入口和出口处导板间距；

C, C_1, C_2 ——压缩带、入口和出口处导板槽深；

x_1, x_2 ——压缩带到导板两端的距离；

α'_1, α'_2 ——轧辊入口锥和出口锥锥角；

β ——前进角。

实际上导板入口锥宽度 K' 和 L' 可取相等, 因为其值相差很小, 同时考虑到在入口锥主要是轧制实心管坯, 没有出“链带”的危险, 如114机组的设计就是这样。另外, 对于60~100机组穿孔机导板而言, 导板出口锥宽度 L' 和 K' 之数值差不超过5毫米, 有的厂采取 $L'=K'$, 这样导板形状是对称的。

导板横截面尺寸和形状是根据横向展轧时金属流动情况来设计的, 因此导板槽深是很重要的参数(图5-27)。知道导板宽度和槽深 C 值则决定了槽沟的半径 R 。很明显, C 值愈小, 则说明槽愈浅; 而 R 值愈大, 槽弧曲率愈小。

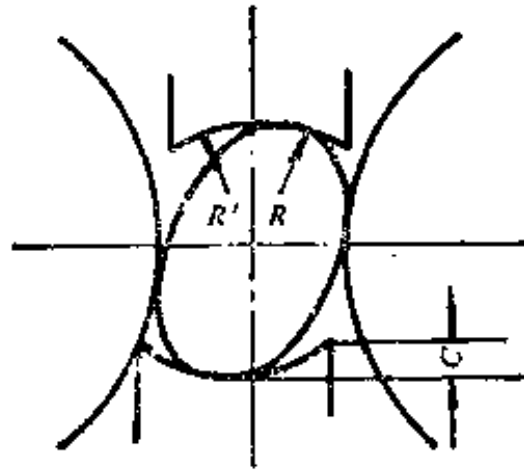


图 5-27 坯料横截面和导板接触图

76~100机组穿孔机导板的 C 值一般取6~10毫米(压缩带处)。

半径 R 可按下式求出:

$$R = \frac{4C^2 + (B_n - 2n')^2}{8C}$$

式中 B_n ——导板宽;

n' ——导板边宽, 一般取6~10毫米。

但是用一个半径 R 描绘的导板工作表面, 其磨损是不均匀的。为使导板工作表面形状接近于自然磨损的形状, 往往用两个半径 R 和 R' 来制做(图5-27)。76~100机组穿孔机导板的 R 和 R' 相差7~15毫米(个别厂还大), 主要根据经验来决定。有的厂

也有采用单一 R 的导板。

我国76~100机组常用的导板尺寸如表5-7所示, 114机组常用的导板尺寸如表5-8所示。导板的其他尺寸和形状由作图法确

表 5-7 76-100机组常用导板尺寸(单位:毫米)

工 厂	B_0	K'	L'	R	R'	R_1	R_2	n	h
天津	72	45	50	72	44	78	106	10	—
青岛	63	42	45	75	60	80	105	6~9	—
广州	61	43	41	64	57	78	88	5~8~10	—
北京	62	45	39	60	(单一 R)	91	108	8	57
上海	62	42	36	60	(单一 R)	—	—	6.5~8	57
	100	64.5	57.5	58	—	—	154	8	65

表 5-8 114机组常用导板尺寸(单位:毫米)

表示符号	实 际 数 据											参 看 图 5-22
B_0	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	
K'	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	
L'	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	
M	82	86	90	94	98	102	106	110	114	118	122	
R	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	
R'	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	
R_1	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	
R_2	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	

注: 导板长310毫米; 进出口锥角 $3^\circ 30'$; 压缩带宽10毫米; 厚50毫米; 入口锥长85毫米。

定。

导板所用的材质为高碳高铬钢，化学成分如表5-9。

表 5-9 导板钢的化学成分，%

用 途	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
轧碳钢管，常用的	1.2~1.8	0.2~0.6	0.2~0.6	14~17.5	1.5~1.9	≤ 0.05	≤ 0.05
鞍山的	1.7~2.0	0.3~0.6	0.6~1.2	24~28	2.8~3.2		
轧合金钢管，常用的	1.8~2.0	0.3~0.6	0.3~0.6	30~40	4~6	≤ 0.05	≤ 0.05
鞍山的	1.9~2.1	0.3~0.6	1.5~2.0	28~31	4.5~5.5		
轧合金钢和碳钢管 (北京)	1.8~2.2	0.3~0.6	0.86~ 1.5	31~36	2~3	≤ 0.05	≤ 0.05

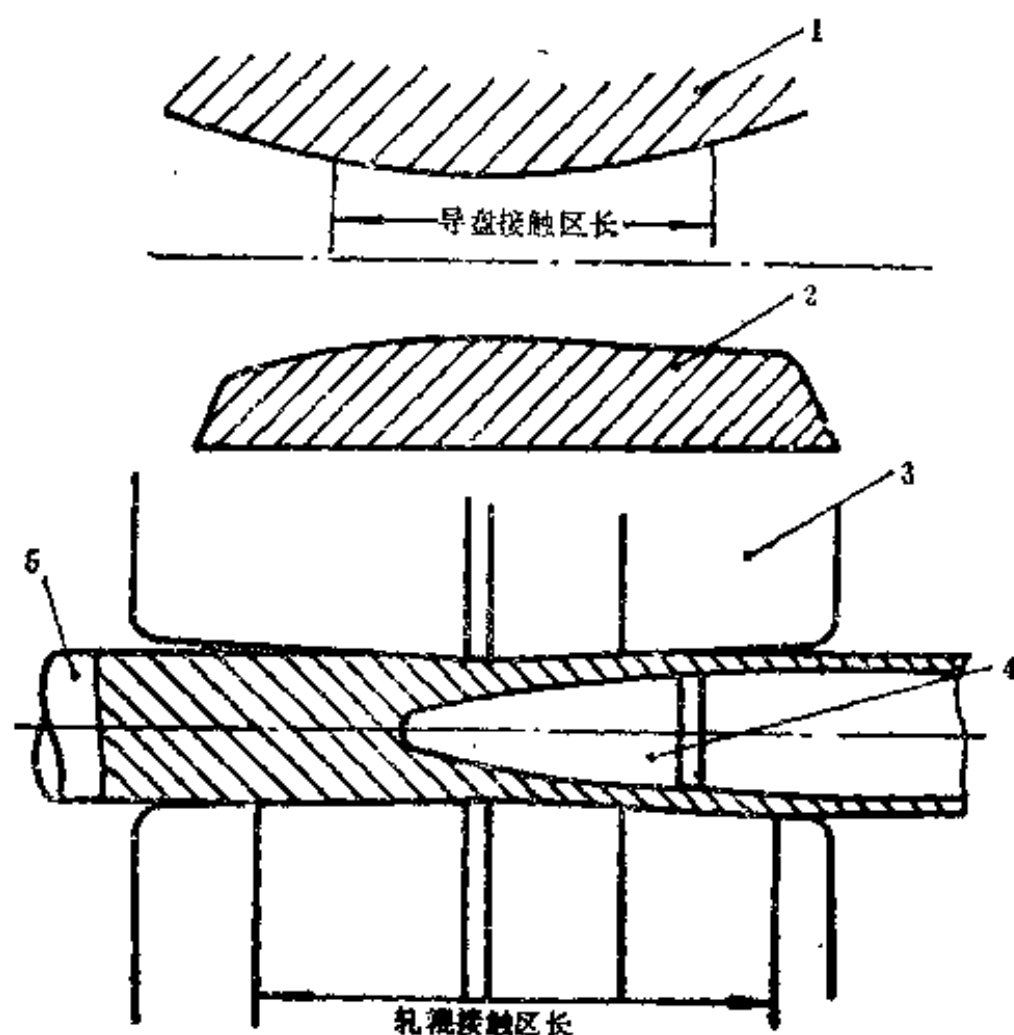


图 5-28 导盘直径的确定

1—导盘；2—下导板；3—轧辊；4—顶头；5—管坯

导板的金属材质根据其工作条件要求选择，应具有高的抗磨性，并有足够的强度，因为穿孔时导板要受到相当大的压力。轧合金管的导板更应有高的耐磨性。

导板是铸成的，铸出的导板要磨光和热处理。

导盘的设计包括确定直径、宽度和导盘的孔型设计。

确定导盘直径和位置的原则是：既要保证顺利咬入和甩尾，又要防止穿轧薄壁管时金属钻入导盘与轧辊之间的缝隙。一般用作图法确定，如图5-28。管坯咬入后转1~2转和导盘接触，轧到毛管尾端时毛管应先脱离导盘然后再脱离轧辊，相差距离为1螺距左右。导盘直径决定于变形区长度，影响变形区长度的因素均影响导盘直径。根据作图法确定出76机组穿孔机导盘直径为900毫米，重车后允许最小直径为800毫米。

导盘的孔型用双半径圆弧构成，如图5-29。这种孔型形状既利于金属流动和减小旋转阻力，又可提高导盘寿命。

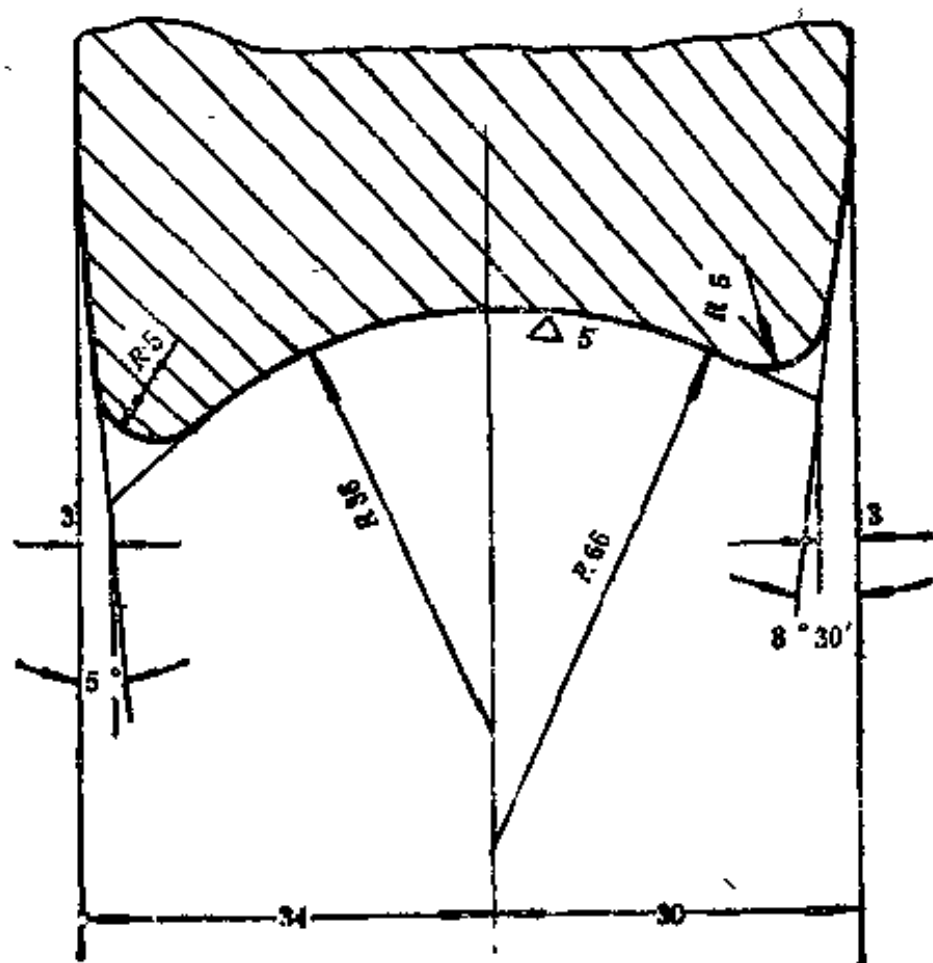


图 5-29 导盘孔型的确定

导盘的宽度如同导板的宽度，按穿轧薄壁毛管时设计，穿孔厚薄毛管时允许一边与轧辊有较大的间隙存在。

单导盘穿孔机所用的下导板形状和尺寸如图5-30所示。

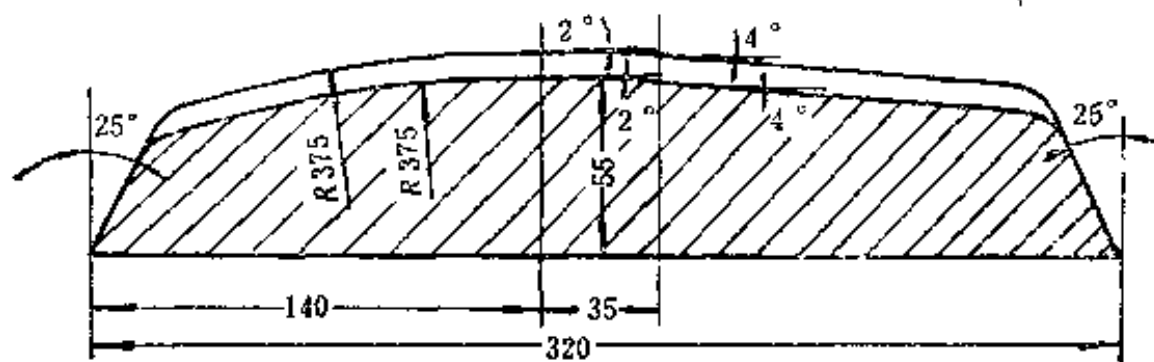


图 5-30 单导盘穿孔机的下导板

导盘所用的材质，如同导板，一般为了节省贵重材料，多做成组合导盘。

第二节 自动轧管机的工具设计

轧管机也是整个机组中关键设备之一。轧管机的工具设计包括轧辊、回送辊、顶头等设计。

一、轧辊及回送辊设计

表示轧辊特征的尺寸是理想直径 D_i 和辊身长度 L_0 ，决定轧辊特征尺寸的主要依据是咬入条件、轧制速度、轧辊转速、轧辊使用期限（再车削次数），轧机结构和重量以及最大可能的孔型配置数目。根据实际生产经验， D_i 和最大钢管直径的关系可用下式表示：

$$D_i = 2D_T + (300 \sim 350) \text{ 毫米}$$

76~114机组实际使用的轧辊长度在800~1275毫米之间（见表5-10）。

在自动轧管机上轧制钢管所用的孔型有四种类型：椭圆形孔型，带直线侧边斜度的圆孔型，带圆弧侧边斜度的圆孔型和六角孔型。前两种孔型的优点是，可取较大的延伸系数，但缺点是壁厚不均严重，故现已基本上不采用。后两种孔型目前被广泛应

表 5-10 76~114机组的轧辊长度

机 组	轧辊长度 L_0 , 毫米
76机组	800, 1200
100机组	800, 1200
114机组	1275

用, 而且根据国内外生产经验, 带圆弧侧边斜度的孔型取侧边斜角 φ'' 为 30° 、半径 R 等于钢管直径之半为最合理的孔型形状。侧边斜度的圆弧一般用 $\rho = (1.5 \sim 2) R$ 来描绘而成。 ρ 的大小决定了孔型的宽度 B (图5-31)。

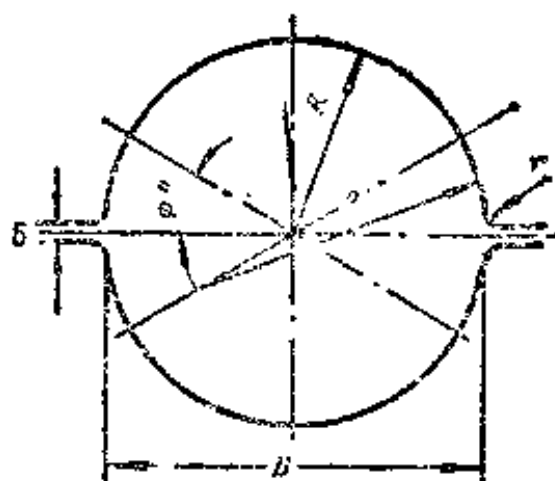


图 5-31 轧管的孔型

钢管在具有圆弧侧边斜度圆孔型中一般轧制两道(有时轧三道)。为了获得更精确的钢管断面, 最好采用没有侧边斜度的孔型, 但这种孔型是不可能咬入毛管的。而孔型侧边斜度主要作用就是保证轧辊正常地咬入毛管, 并保证金属有宽展的余地, 防止出耳子或楞子以及刮伤钢管。因此, 以上两项保证都由孔型宽度所决定, 工厂中孔型的轴比常用 B/D_0 来表示(D_0 为孔型高度)。孔型的轴比愈大, 愈有利于咬入和避免出耳子。但轴比愈小, 不均匀变形减小, 壁厚不均匀性也减小。同时由于沿孔型宽度上不均匀变形减小, 产生横向拉裂废品的机会也减小了。这两者是相互矛盾的因素。一般当延伸系数主要集中在第一道时(如两道顶

头直径相同——76组球顶头情况), 第二道延伸系数很小, 主要起均壁作用, 因此可取较小的轴比。但当第二道也取较大的延伸系数时, 应该取较大的轴比, 因为第二道钢管温度较低, 轴比小时, 由于温度低, 宽展大, 很容易出耳子。

选取孔型轴比同钢管壁厚有着密切的关系:

对于薄壁钢管 $B/D_0 = 1.03 \sim 1.04$;

对于厚壁钢管 $B/D_0 = 1.05 \sim 1.07$ 。

这是因为轧制薄壁钢管比轧制厚壁管时来料毛管直径要小些, 这时也能保证牢靠咬入, 同时可保证壁厚均匀性。我们知道, 一般 $B = D_0$ (D_0 ——毛管直径), 则 D_0 愈小, 那么 B 也愈小。

表 5-11 114机组轧管机轧辊和回送辊孔型尺寸, 毫米

类别	孔型 数目	孔 型 尺 寸				孔型间距	备 注
		D_0	B	R	ρ		
轧 辊	7	68	72.76	34	68	150	$r = 12$
	7	73	78.11	36.5	73	150	
	7	74	79.18	37	74	150	
	7	82	87.74	41	82	150	
	7	88	94.16	44	88	150	
	6	94	100.58	47	94	180	
	6	100	107	50	100	180	
	6	106	113.42	53	106	180	
	6	112	119.84	56	112	180	
回 送 辊	7	68	76.84	34	68	150	辊身长度 1200
	7	73	82.49	36.5	73	150	
	7	74	85.88	37	74	150	
	7	82	92.66	41	82	150	
	7	88	99.44	44	88	150	
	6	94	106.22	47	94	180	
	6	100	113	50	100	180	
	6	106	119.78	53	106	180	
	6	112	126.56	56	112	180	

实际上一般多在同一孔型中既轧薄壁管又轧较厚壁管（为了减少孔型数量）。轧厚壁管时用轧薄壁管的孔型，只要把辊缝抬高一些即可。

76~100机组轧管机的孔型轴比多取在1.05~1.07范围内。各厂的实际数据如表5-11至5-14所示。

表 5-12 大连100机组轧管机轧辊和回送辊孔型尺寸，毫米

类别	轧辊孔型 规格	孔 型 参 数						
		D_a	B	R	ρ	r	S	φ° ,度
轧 辊	$\phi 75$	75	82.25	37.5	75	12	6	30
	$\phi 80$	80	85.6	40	80	12	6	30
	$\phi 90$	90	96.3	45	90	12	6	30
	$\phi 100$	100	107	50	100	12	6	30
	$\phi 105$	105	113	52.5	105	12	6	30
	$\phi 110$	110	117.7	55	110	12	6	30
回 送 辊	$\phi 75$	75	84.75	37.5	75	120	20	40
	$\phi 80$	80	90.4	40	80	120	20	40
	$\phi 90$	90	101.7	45	90	120	20	40
	$\phi 100$	100	113.0	50	100	120	20	40
	$\phi 105$	105	118.65	52.5	105	120	20	40
	$\phi 110$	110	124.3	55	110	120	20	40

表 5-13 烟台100机组轧管机轧辊孔型尺寸，毫米

轧制规格	孔 型 尺 寸					
	D_a	B	R	ρ	S	r
$\phi 108$	110	117	55	100.81	8	12
$\phi 102$	105	112	52.5	99.96	8	12
$\phi 98$	100	105	50	78.26	7	12
$\phi 88$	90	95	45	74.83	6	10
$\phi 83$	85	90	42.5	73.51	6	10
$\phi 75$	75	80	37.5	71.40	5	8
$\phi 72$	72	76	36	59.46	5	8

表 5-14 76机组轧管机轧辊孔型尺寸, 毫米

工 厂	轧 辊 孔 型 尺 寸						备 注
	D_a	B	R	ρ	S	r	
天 津	72	78	36	82	6	15	$B/D_a = 1.08$
	76	82.5	38	93	6	17	$B/D_a = 1.085$
北 京	73	77.5	36.5	64	5	13	
	75	80	37.5	70	5	15	
	88	93	44	77	5	15	
广 州	72	76.4	36	72	5	15	

选择孔型轴比和轧制的钢种也有关, 如轧制不锈钢管时, 宽展大, 从而要求孔型有较大的轴比, 或者是减小变形量。

孔型宽度和测边斜度圆弧半径的关系可用下式求出:

$$\rho = \frac{R^2 + 0.25B^2 - D_a R \cos \varphi^\circ}{2R - D_a \cos \varphi^\circ}$$

宽展的余地除了和孔型宽度有关外, 和辊缝处圆角 r 也有关系, r 值愈大, 则宽展余地也愈大。对于76~100机组来说, r 值一般取8~17毫米, 多数在10~15毫米范围内。

为了补偿轧辊弹性变形和孔型磨损后仍能使用以及为了调整钢管壁厚压缩量, 辊缝是必要的, 辊缝一般为5~8毫米。

轧辊孔型设计好后, 要在辊身长度上配置孔型。对于生产热轧钢管车间来说, 孔型的合理配置是很重要的。为了避免过多地增加换辊次数, 孔型配置要和生产计划相适应。一般在定货数量中占最多的钢管规格的孔型, 应在轧辊上车得最多。同时, 为了在一个时期内可轧制各种尺寸的钢管, 应配制不同尺寸的孔型。对76机组而言, 由于轧管机上钢管规格单一或数量很少, 规格和数量之间的矛盾就不突出了。通常, 各种尺寸的孔型在轧辊上的配置原则是, 大尺寸孔型多放在轧辊边缘, 小尺寸孔型多放在辊身中间, 这是从轧辊强度来考虑的。孔型在轧辊上配制如图5-32所示。辊环的宽度主要根据强度、导卫装置安装、操作、轧机前后

台构造等因素决定。实际上各厂前后台结构已定，即孔型中心线间距 a 已定，那么辊环宽度一般在40~80毫米范围内（个别的到120毫米）。

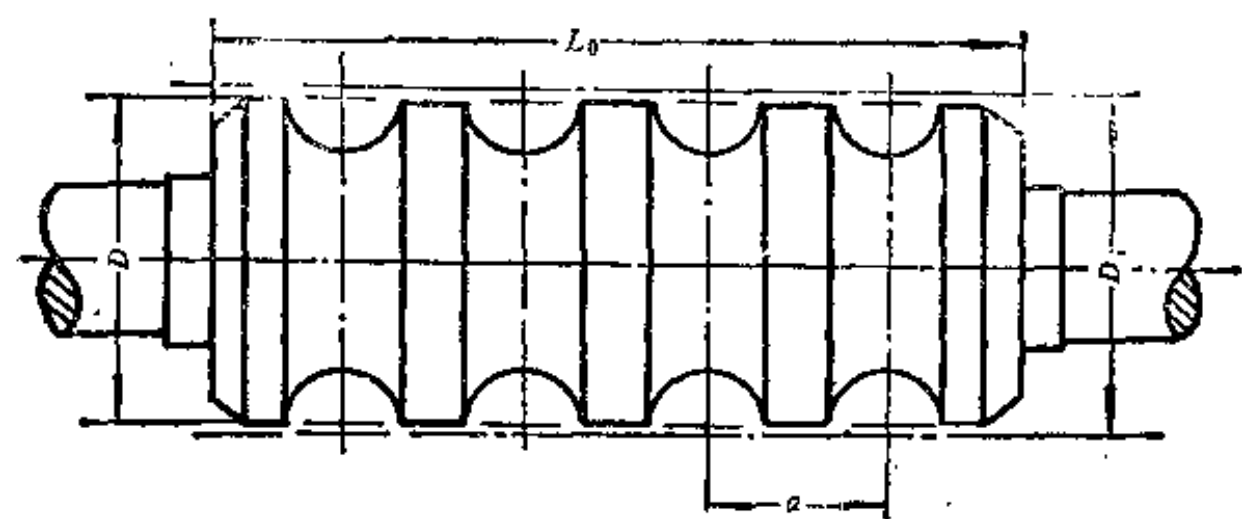


图 5-32 孔型配辊图

76~100机组轧管机轧辊辊身长，配置孔型数目和孔型中心距关系如表5-15所示。

表 5-15 孔型数目与孔型中心距的关系

机 组	辊身长 毫 米	配置孔型数目	孔型间距 a 毫 米	工 厂
76	1200	8	134 (到边缘131)	北 京 (有的厂排9孔)
76	800	4	134 (到边缘199)	上 海
100	1200	6	200 (到边缘100)	大 连
100	800	4	200 (到边缘100)	烟 台
114	1275	7	150	
		6	180	

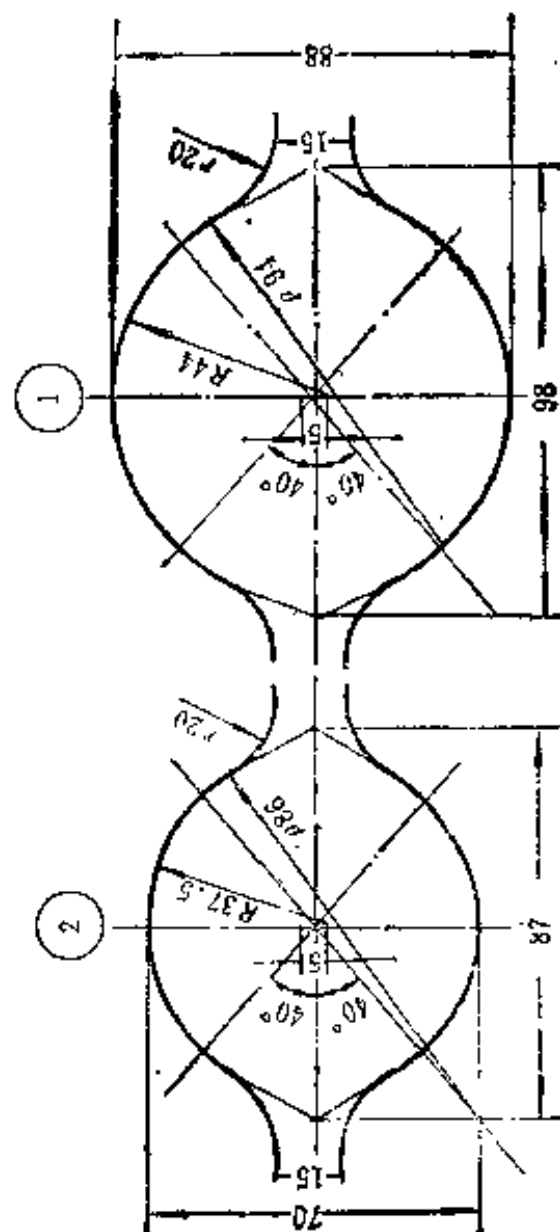
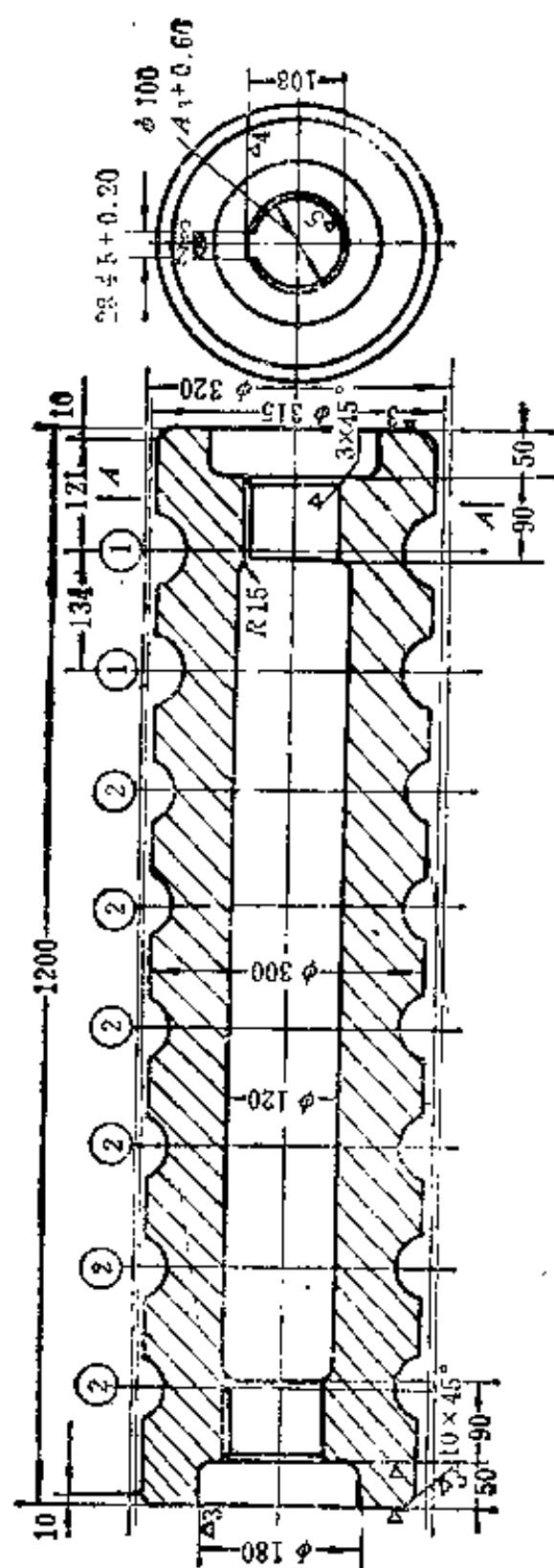


图 5-33 回送辊孔型及配辊

回送辊的孔型设计和配辊，同轧管机的轧辊类似，配置孔型数目和中心线间距同轧管机轧辊完全相同。回送辊的孔型设计特点是：取大的 φ' 、大的辊缝以及大的 ρ 和 r （有的设计取 ρ 等于轧辊孔型的 ρ 值）。这是考虑到：为了顺利回送钢管，应保证钢管和回送辊有一定的接触面积，但又不把钢管挟扁。侧边斜角 φ' 一般取 $40^\circ \sim 42^\circ$ ，多为 40° 。辊缝取 $15 \sim 30$ 毫米。 $\rho = (2 \sim 2.15)R$ 。 r 取20毫米以上。图5-33为76机组轧管机回送辊孔型设计和配辊图。

从长远来看，自动轧管机的发展方向是采用单槽自动轧管机，这样孔型配置就简单了。

近年来发展了六角形孔型设计，这种孔型的优点是可减小壁厚和改善咬入条件。六角形孔型的几何参数有（见图5-34）：椭圆度 ξ ，限制宽展系数 τ ，孔型周长 ρ' ，钢管截面积 A ，内切圆半径 R 以及 H 、 h 值。 H 、 h 与 R 的关系如下：

$$H = r_1 / R$$

$$h = r_2 / \xi R$$

其物理意义表示六角的程度。

在图5-34，b所示的 $\Delta O'OC$ 中

$$r_1^2 = (r_1 - R)^2 + \overline{OC}^2 - 2(r_1 - R)\overline{OC}\cos(90^\circ + \alpha)$$

式中 $\alpha = 60^\circ$ ，则有：

$$\overline{OC} = \frac{-\sqrt{3}(H-1)R \pm R\sqrt{3(H-1)^2 - 4(1-2H)}}{2}$$

负值无意义，取

$$\overline{OC} = \frac{-\sqrt{3}(H-1)R + R\sqrt{3H^2 + 2H - 1}}{2}$$

椭圆度：

$$\xi = \frac{a}{b} = \frac{\overline{OC}}{R} = -\frac{\sqrt{3}}{2}(H-1) + \frac{1}{2}\sqrt{3H^2 + 2H - 1}$$

在图5-34，a所示的 $\Delta O'OM$ 中

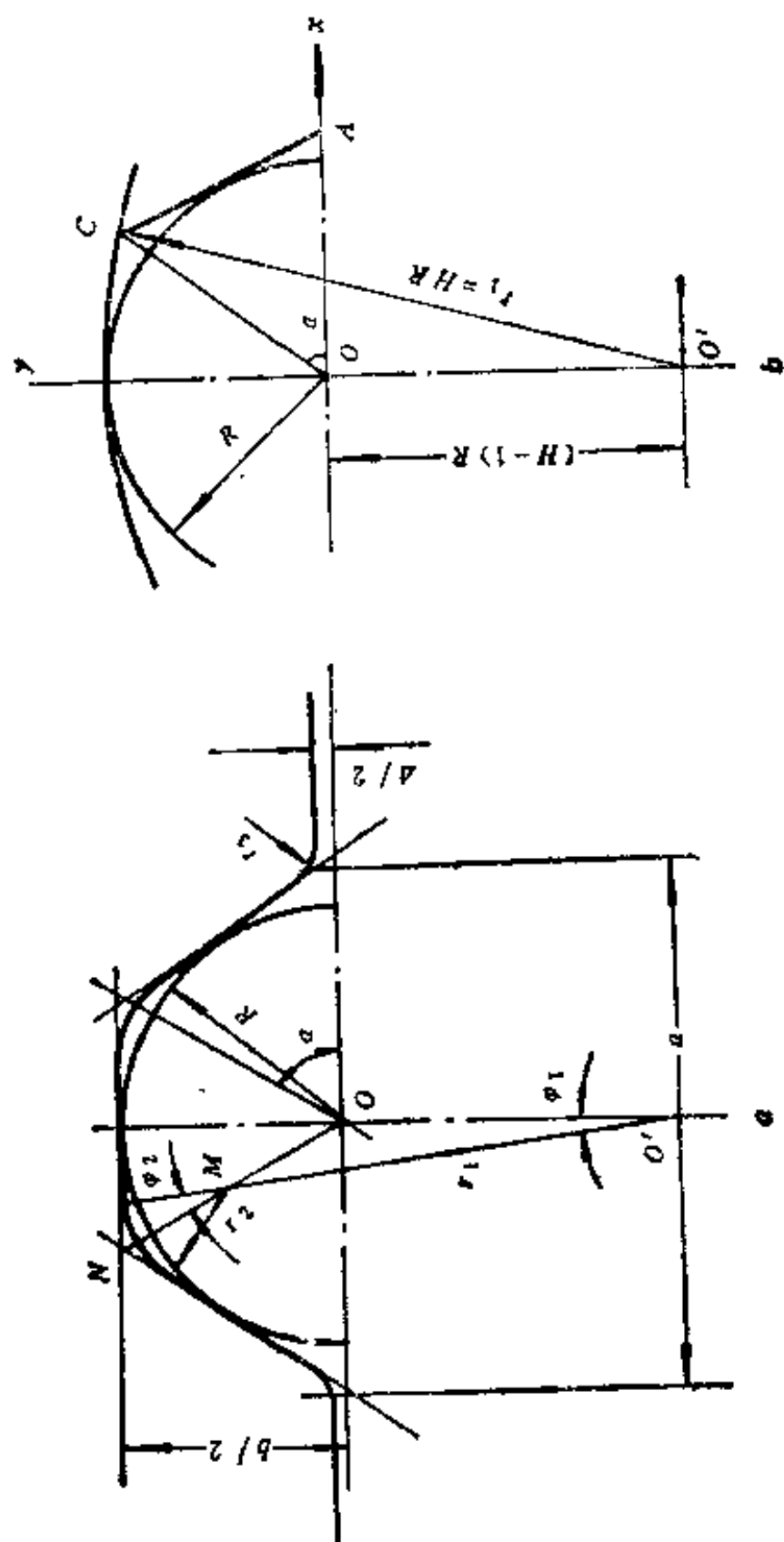


图 5-34 六角形孔型

$$\frac{OM}{\sin \varphi_1} = \frac{r_1 - r_2}{\sin 150^\circ} = 2(HR - h\xi R)$$

$$\therefore OM = 2(HR - h\xi R) \sin \varphi_1$$

$$ON = OM + MN = 2(HR - h\xi R) \sin \varphi_1 + h\xi R$$

限制宽展系数 τ :

$$\tau = \frac{ON}{R} = h\xi + 2(H - h\xi) \sin \varphi_1$$

同样在 $\triangle O'OM$ 中:

$$\frac{r_1 - R}{\sin \varphi_2} = \frac{r_1 - r_2}{\sin 150^\circ} = 2(HR - h\xi R)$$

$$\therefore \sin \varphi_2 = \frac{H - 1}{2(H - h\xi)}$$

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{H - 1}{2(H - h\xi)}$$

$$\varphi_1 = 30^\circ - \varphi_2$$

$$\rho_1 = \frac{\pi}{180^\circ} HR(30^\circ - \varphi_2) + \frac{\pi}{180^\circ} h\xi R \varphi_2$$

$$= \frac{\pi}{180^\circ} R \left[30^\circ H - (H - h\xi) \arcsin \frac{H - 1}{2(H - h\xi)} \right]$$

孔型周长 ρ' :

$$\rho' = 12\rho_1 = 0.209 R \left[30^\circ H - (H - h\xi) \arcsin \frac{H - 1}{2(H - h\xi)} \right]$$

设当量直径 d_s , 则

$$d_s = \frac{\rho'}{\pi}$$

$$= \frac{0.209R}{\pi} \left[30^\circ H - (H - h\xi) \arcsin \frac{H - 1}{2(H - h\xi)} \right]$$

内切圆半径 R :

$$R = \frac{d_s}{0.067 \left[30^\circ H - (H - h\xi) \arcsin \frac{H-1}{2(H-h\xi)} \right]}$$

钢管截面积 A :

$$A = \eta \left(\frac{\pi}{4} d_k^2 - \frac{\pi}{4} \delta^2 \right)$$

式中 η ——计算孔型充满的修正系数，一般在0.94~1.03之间；
 δ ——顶头直径。

将 d_k 代入，则：

$$A = 0.785 \eta \left\{ 0.067 R \left[30^\circ H - (H - h\xi) \arcsin \frac{H-1}{2(H-h\xi)} \right] \right\}^2 - 0.785 \delta^2$$

H 在1和 ∞ 之间， $H=1$ 相当于圆， $H=\infty$ 相当于六角形， h 一般等于0.4~0.6。

我国76~100机组的轧辊材质是：

轧辊——无限冷硬铸铁，球墨铸铁等；

回送辊——50号锻钢（并经退火处理），球墨铸铁等。

轧辊材质采用无限冷硬铸铁，主要是要提高孔槽耐磨性，改善钢管表面质量，而咬入也不受影响。

从提高轧辊使用寿命的观点出发，浇铸轧辊时轧辊上最好预先带有孔型，而后再在车床上精车各部尺寸。但是由于一年中钢管品种规格变化较大，如果采用这种浇铸方法，必然会增加铸造困难和增加轧辊的备品数量，故实际生产中都是铸造平辊，然后再车孔型。这样，由于车去了铸铁的白口层，自然要降低轧辊的寿命。

对于生产单一规格的机组（如76机组供冷拔坯），浇铸带槽轧辊是值得考虑的。轧辊毛坯进厂后，一般是先车成平辊（包括轧辊其他部位要求尺寸），如图5-35所示，然后再车孔型。

二、轧管机顶头设计

到目前为止76~100机组上使用两种形状的顶头：球形的和

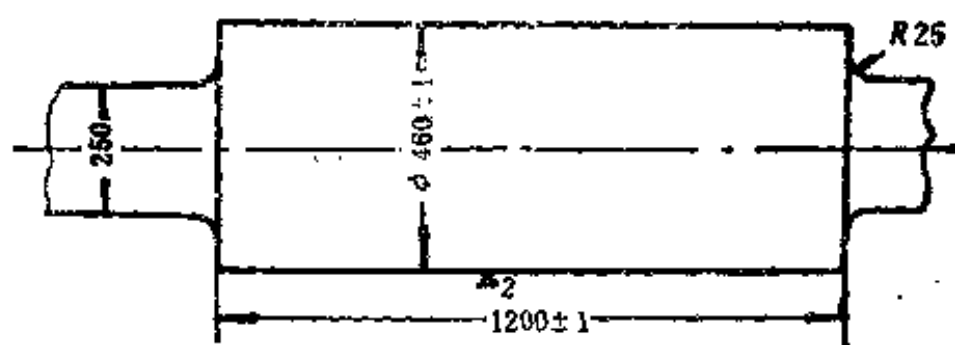


图 5-35 平辊

锥形的。国外也曾用过半球形顶头。

球形顶头是我国研制成功的，它具有一系列优点：

1) 实现了自动轧管机操作的机械化和自动化，显著减轻（或根本消除了）工人的繁重劳动强度，并保证了安全生产，节省了劳动力；

2) 由于顶头的受力面增多，延长了顶头寿命，显著地降低了顶头消耗，节约了合金材料。根据初步统计，在76机组上使用球形顶头比锥形顶头降低顶头消耗80~90%，因而降低了钢管的成本；

3) 加工制造也较方便；

4) 由于顶头受力面多，轧制压力小，顶头表面较光滑，从而有利于提高钢管内表面质量。

其缺点是减壁量受到限制，不能太大。

球形顶头的设计很简单，球的直径 D 根据轧制表决定（图5-36）

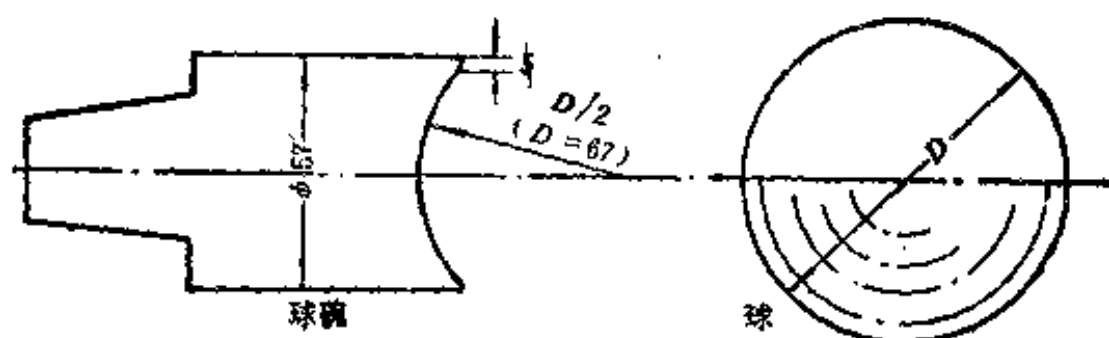


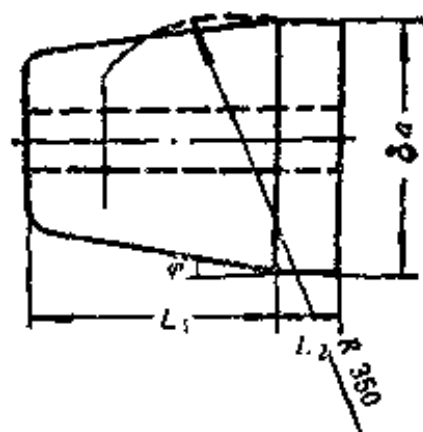
图 5-36 球和球碗设计

球碗圆弧 R 等于 $D/2$ 。并在边缘作小圆角过渡。球碗的直径

Technical drawing of a mechanical part, likely a pump housing, showing a cross-section with dimensions. The part has a total width of 110 and a central bore with a diameter of 57. The bore is divided into sections with diameters of 22, 24.6, and 40. The part has a flange with a thickness of 27 and a base with a thickness of 10. The drawing includes a hatched area indicating a specific material or section.

球的加工在簡易磨床上进行。加工后表面光洁度可达到 $\nabla 3 \sim \nabla 4$ ，球的椭圆度应小于0.1毫米。

顶头的圆锥部分用来在孔型和顶头所形成的间隙中逐渐压缩管壁。圆柱带用来最终校准管壁，并用来较容易地调整顶头在变形区的位置。孔型和顶头圆柱带之间的间隙决定了轧制后的钢管壁厚。



287

圆锥部分长度 L_1 可用下式计算:

$$L_1 = \Delta S / \operatorname{tg} \varphi$$

式中 φ ——顶头锥角;

ΔS ——最大允许的壁厚压缩量。

一般为了顶头容易进入毛管中, 实际的 L_1 长度较计算的为长。

76~100机组轧管机锥形顶头 L_1 长度波动在45~57毫米范围内, 大值用于大直径顶头。 L_2 一般取20毫米左右, 过宽的 L_2 没有好处, 使得金属对辊压力和顶头的摩擦阻力增加, 但过窄又不容易调整。

斜角 φ 一般在 $8^\circ \sim 12^\circ$ 范围内。大的锥角的缺点是不利于咬入, 造成轧制困难, 并容易出现内刮伤。小锥角的缺点是, 由于顶头同金属接触面积增加, 顶头阻力增长, 顶头很容易地被磨损。日本工厂取得都较小为 4° , 我国目前76~100机组多用 $7^\circ \sim 10^\circ$ 。 R 、 r 多由经验决定。某些工厂轧管机锥形顶头的实际数据如表5-16所示。

表 5-16 轧管机锥形顶头的尺寸, 毫米

机 组	D	l	l_1	l_2	φ	R	r
76 (广州)	60~66	55	38	17	7°	—	10
78	70	68	45	23	8°		
100	65~70	70	50	20	$8^\circ 30'$		
114	56~80	70	50	20	7°	30	20
	81~100	80	57	23	7°	40	20

常用轧管机顶头材质为高铬合金铸钢 (和穿孔机导板材质基本相同), 几个厂常用顶头的化学成分如表5-17所示。

关于球形顶头化学成分对球的质量影响, 北京某厂进行过研究并指出, 以前使用的圆球曾一度出现剥裂和断裂现象, 严重影响使用寿命, 通过金相组织观察得出, 主要是由于化学成分不当造成的。

表 5-17 轧管机顶头的化学成分, %

机 组	形状	C	Mn	Si	Cr	Ni	S、P
114和100	锥形	1.2~1.8	0.2~0.6	0.2~0.6	14~17.5	1.5~1.9	≤0.05
76 (青岛)	球形	1.8~2.2	0.3~0.6	0.8~1.5	30~40	3~6	≤0.035
76 (北京)	球形	a 1.8~2.2	0.3~0.6	0.85~1.5	31~36	4~5	≤0.05
		b 1.8~1.95	0.25~0.6	1.0~1.5	28~31	4.5~5.5	≤0.05

通过对圆球铸态组织分析得出, 组织由共晶碳化物和奥氏体组成 (表5-17中的a种钢)。剥裂的圆球组织中共晶碳化物占65%, 奥氏体组织占35%。因此剥裂、断裂的原因在于共晶碳化物多, 奥氏体少。而碳和铬是形成碳化物的元素, 所以有意识地降低碳和铬的含量, 适当增加镍的含量, 有利于减少共晶碳化物和增加奥氏体, 调整后的成分如表5-17中的b种钢。b种成分的球组织, 共晶碳化物占50%, 奥氏体占50%。该成分的球顶头的实际使用效果良好, 剥裂和断裂现象基本上消除了, 显著延长了使用寿命。

此外, 钢中夹杂和气体的含量, 也是影响球质量原因之一, 钢干净, 可保证铸成的圆球组织致密、无气孔或少气孔。

第三节 斜轧延伸机的工具设计

一、三辊轧管机的工具设计

三辊轧管机的工具设计包括轧辊和芯棒的设计。一般小型轧管机轧辊形状如图5-39所示。轧辊直径一般较两辊机小, 这是因为由三个辊子承受轧制压力。辊身长度取决于变形区所需长度, 计算方法如同穿孔机。沿长度上辊型可分为四个区: 入口咬入区、脊部、展轧区和出口区。

入口咬入区长度一般波动在75~150毫米, 在此区中应建立足够的曳入摩擦力和摩擦力矩, 以克服来自脊部的阻力和阻力矩。

三辊轧管机所使用的芯棒为长芯棒，芯棒直径由轧制表确定。芯棒直径35~56毫米时用实心芯棒，材质为轴承钢；大于56毫米时用空心芯棒，材质为50CrNi或65Mn等。

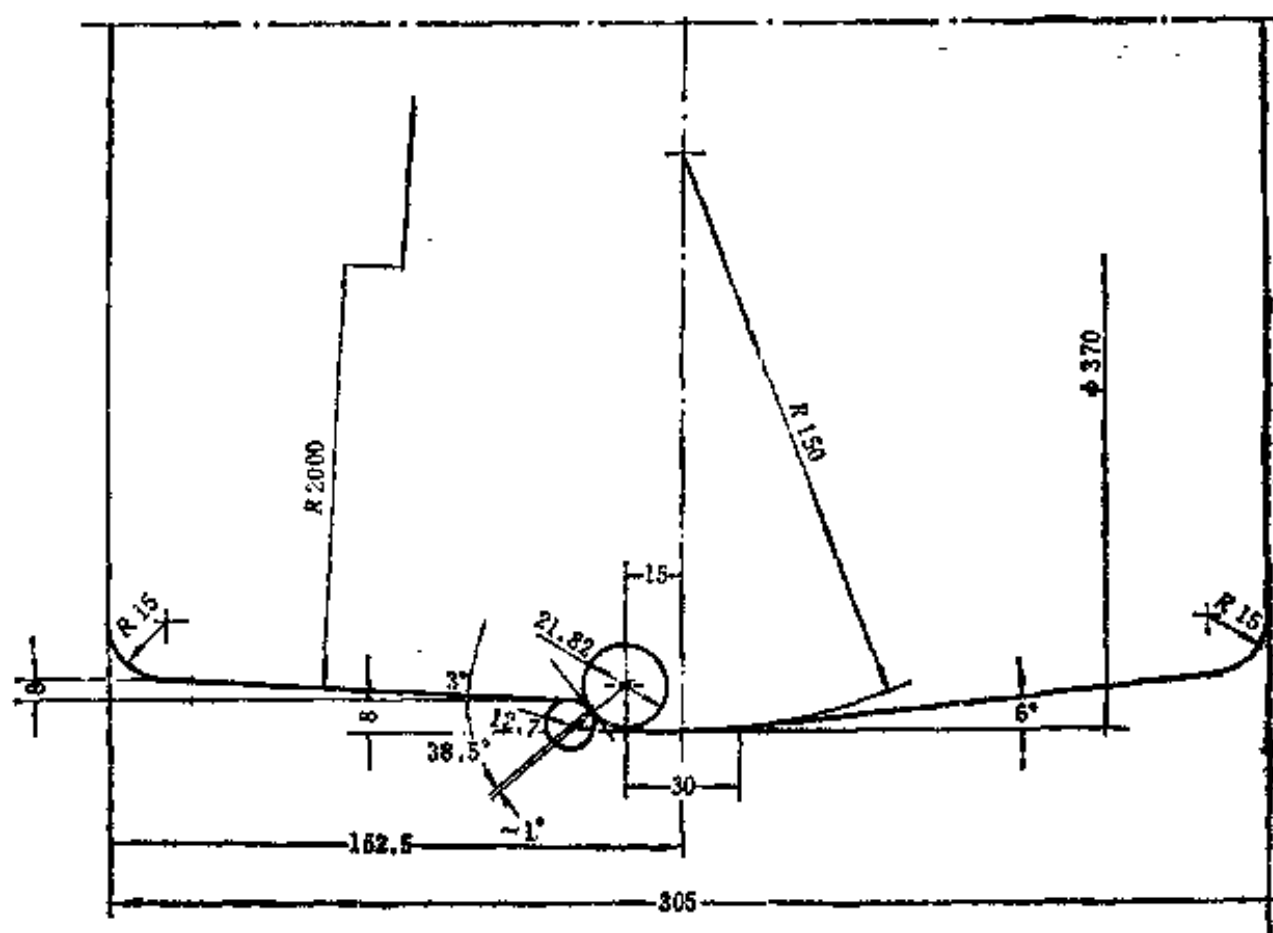


图 5-39 三辊轧管机轧辊设计

二、二辊延伸机的工具设计

小型带导板的两辊斜轧延伸机的工具设计包括轧辊、导板和芯棒的设计。轧辊的形状和三辊轧管机的轧辊相似。采用这种辊型的目的是为了减径又减壁，为冷拔提供合理的坯料。轧辊变形区由入口咬入锥、脊部、圆柱展轧段和出口锥构成，见图5-40。

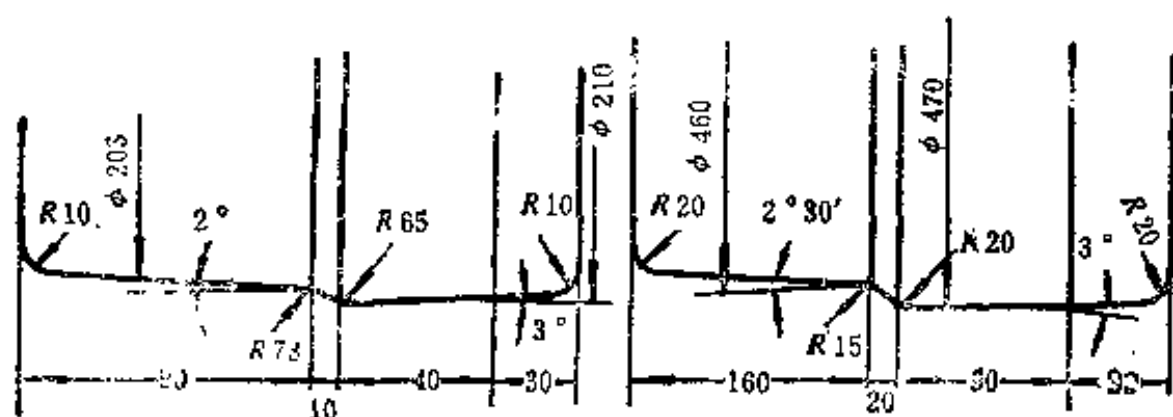


图 5-40 带导板两辊延伸机的轧辊设计

咬入锥的作用同样是为了建立足够的曳入摩擦力和旋转摩擦力矩。咬入锥的长度占整个辊身长度的45%左右。入口锥角一般取 2° ，取较小的入口锥角是为了增加入口锥的变形区长度。轧辊脊部高度一般取3~5毫米，脊宽一般取10~20毫米。展轧段长度一般取等于辊身长度的 $\frac{1}{4}$ 。取较长的展轧段是为了改善荒管的内

壁质量；缺点则是轧制负荷增加。因此在用全浮动芯棒和拉力芯棒轧制时由于轧制速度快，负荷高，应取较短的展轧段——30毫米左右。出口锥的锥角一般取 3° 。

两辊延伸机轧辊直径比三辊延伸机的大，对于小型机可按下面的经验公式选取：

$$D = 3D_a + (300 \sim 350)$$

式中 D ——轧辊最大直径，毫米；

D_a ——轧后荒管直径，毫米。

辊身长度可按变形区尺寸确定。

当采用两辊穿孔机和两辊延伸机生产工艺时，为了轧辊有共用性，一般延伸机轧辊比穿孔机轧辊的直径稍大，辊身长度相等。延伸机轧辊经重车报废后，可用于穿孔机，这样可减少工具费用和备辊数量。

延伸机的轧辊材质同穿孔机。

— 10 —

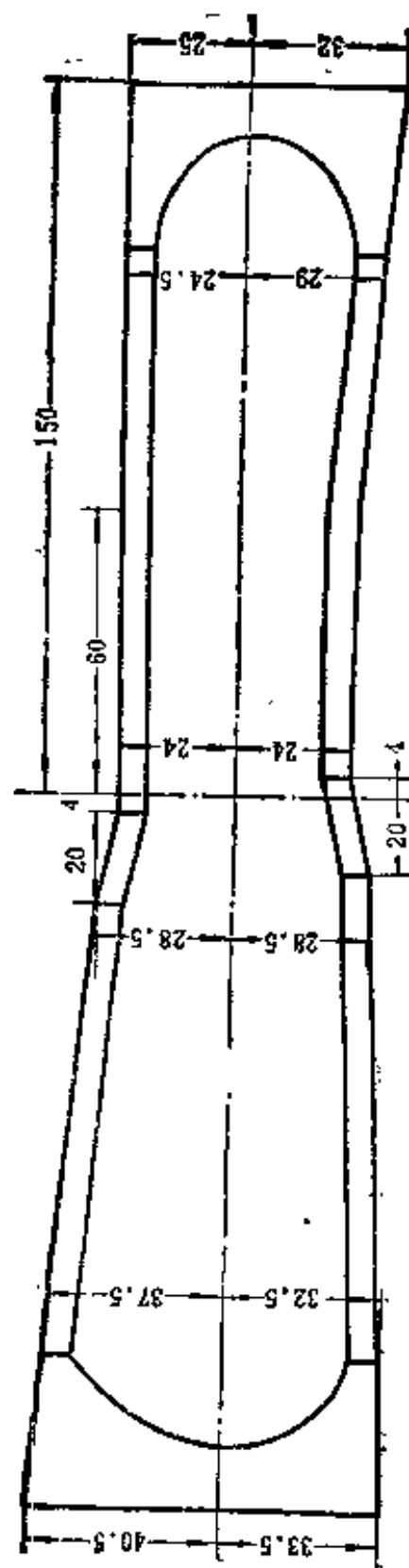
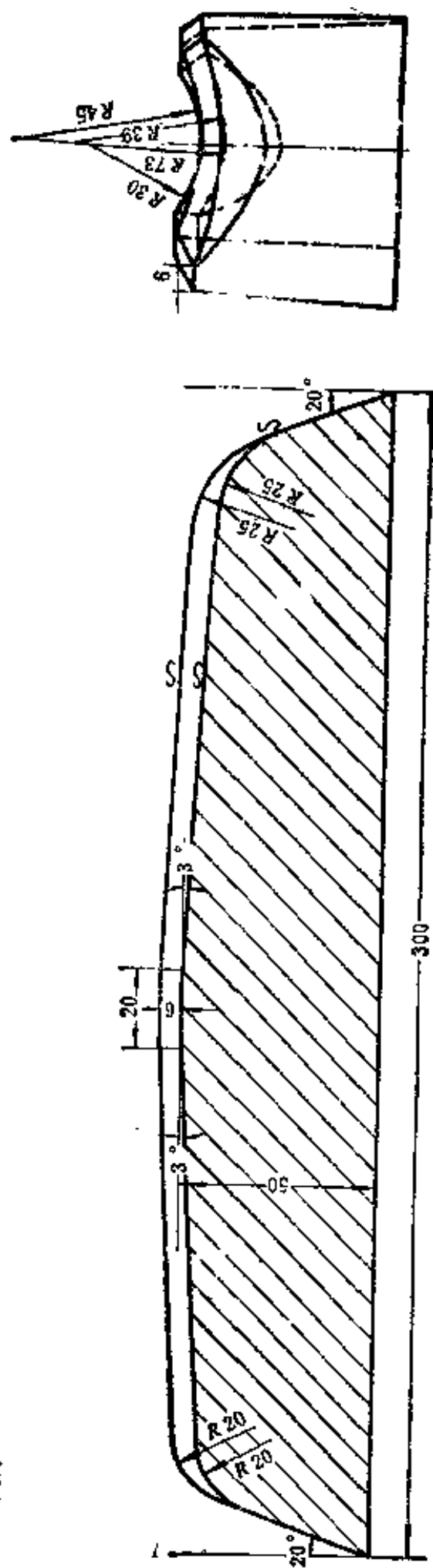


图 5-41 带导板的两辊延伸机导板图

芯棒为圆柱形，芯棒直径由轧制表确定。使用半浮动芯棒时芯棒材质为3Cr2W8V，加内水冷。当使用长芯棒时一般为实心芯棒，可用45号钢的轧制圆钢，不进行加工。这样可以显著降低芯棒的费用。循环芯棒采取自然冷却，非循环芯棒应喷水冷却。

导板设计如同穿孔机，其形状比穿孔机稍复杂些，如图5-41，这是由辊型所决定的。

导板压缩带的宽展比穿孔机导板的宽，一般为20毫米左右。

狄塞尔两辊延伸机所用的辊型为桶形辊，和穿孔机相似，即轧辊变形区由入口锥、压缩带和出口锥组成，只是取较宽的压缩带。入口锥角一般取 2° ，出口锥角取 3° 。半浮芯棒的狄塞尔轧机（ACCU轧机）的轧辊形状是：入口锥分两段，入口锥角分别为 $4^\circ\sim 5^\circ$ 和 $2^\circ\sim 3^\circ$ ；展轧段为一直线或一圆弧，其长度100毫米左右；最后为出口锥。

100狄塞尔轧机使用的导盘如图2-8所示。

第四节 均整机的工具设计

均整机的作用是消除壁厚不均，改善内外表面质量。因此，均整过程的变形是较小的，对工具设计的要求不如以上轧机那样严格。均整机的工具设计包括轧辊、顶头和导板的设计。

76~100机组均整机轧辊的设计基本上有三种，即圆柱形轧辊设计（100~114机组）、锥形轧辊设计（76机组）和柱锥形轧辊设计（100机组），如图5-42所示。

圆柱形轧辊设计有三个区域：用圆弧描绘出的咬入区 l_1 ，圆柱形区 l_2 （主要在此区域内横向展轧钢管）和轧辊出口锥区（此区域的作用是使钢管由轧机中自由出来）。

圆锥形轧辊设计类似于穿孔机轧辊，由两个圆锥组成。轧辊压缩带一般向进口方向移动一个距离。

锥形轧辊设计的咬入情况好一些。圆柱形的轧辊设计，一般为了好咬入，轧辊应在入口方向相互靠拢（即倾斜放置）。柱锥形轧辊设计介于两者之间。

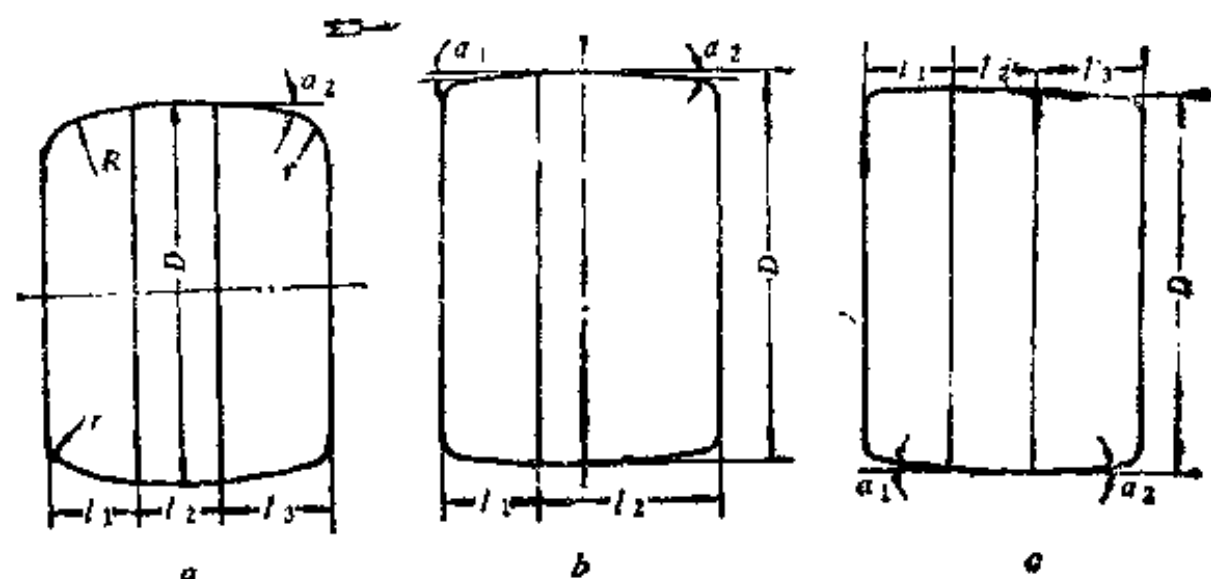


图 5-42 均整机的轧辊设计
a—圆柱形；b—圆锥形；c—柱锥形

76~100机组均整机的轧辊尺寸范围是： $D=400\sim500$ 毫米， $l=340\sim350$ 毫米。典型厂采用的均整机轧辊尺寸如表5-18所示。

表 5-18 均整机的轧辊尺寸，毫米

轧辊形状	D	l	l_1	l_2	l_3	R	r	α_1	α_2
圆柱形	420~460	340	115	70	155	300	20	—	$1^\circ30'$
柱锥形	500	350	110	60	175	—	—	2°	$1^\circ30'$
锥形	500	350	135	215	—	—	15	2°	$1^\circ30'$

轧辊进口锥角 α_1 一般为 2° ，出口锥角 α_2 为 $1^\circ30'$ 。

为了在均整过程中将钢管压向下导板，一般两个轧辊直径车得不一样大，相差1.5~2毫米。三辊均整机常用锥形辊型。

常用均整机的轧辊材质为冷硬铸铁，化学成分如表5-19所示。也有采用55Mn铸钢轧辊的。

均整机选用轧辊材质不是从强度出发，而是从轧辊耐磨性和咬入条件考虑的。

和轧辊设计相配合，顶头设计也有三种形式，即圆柱形顶头、圆锥形顶头和柱锥形顶头，如图5-43至5-45所示

表 5-19 均整机冷硬铸铁轧辊的化学成分, %

机 组	C	Mn	Si	Cr		Mo	V	S	P
114	3~3.7	0.3~1.3	0.35~0.7	—	—	—	—	≤0.12	≤0.5
76 A	3.6	0.6	0.6~1.0	0.4~0.8	0.6~1.2	—	—	≤0.14	≤0.36
B	2.63	0.61	1.6	0.48	0.55	0.34	0.14	≤0.07	≤0.15

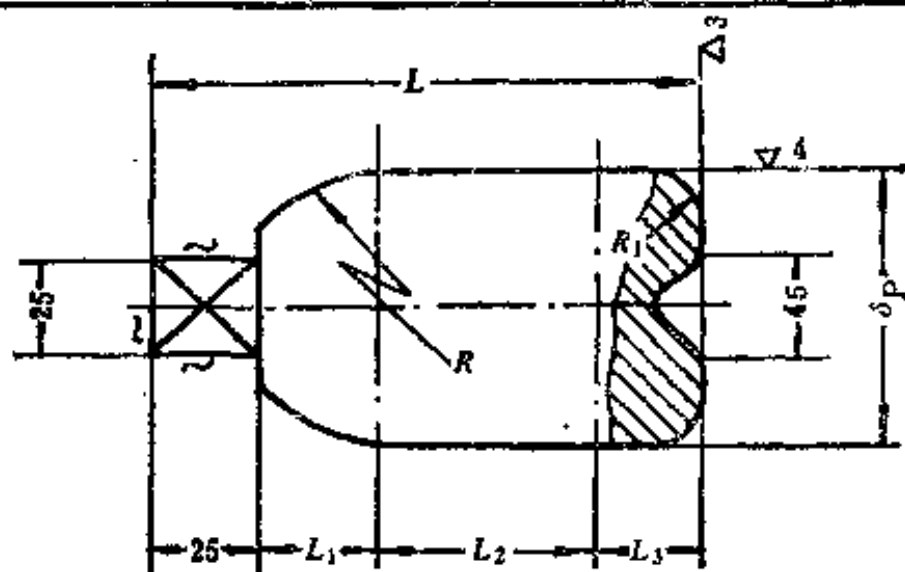


图 5-43 圆柱形顶头

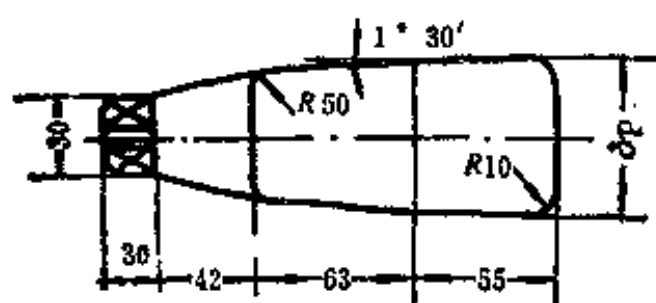


图 5-44 柱锥形顶头

圆柱形顶头由三个区域组成，每个区域都和轧辊的区域相对应。顶头的尺寸如表5-20所示。

· 锥形顶头同样由三个区域组成，而钢管的展轧一均整主要在锥形区中完成，所以锥形区要长得多。76机组均整机所用顶头尺寸如图5-45所示。由图可以看出，顶头的锥角为 $1^{\circ}30'$ ，等于轧辊出口锥角。

柱锥形顶头是烟台100机组所用的顶头，它和柱锥形轧辊相

配合，尺寸如图5-44所示。顶头直径 $\phi 66.5 \sim 70$ 毫米。

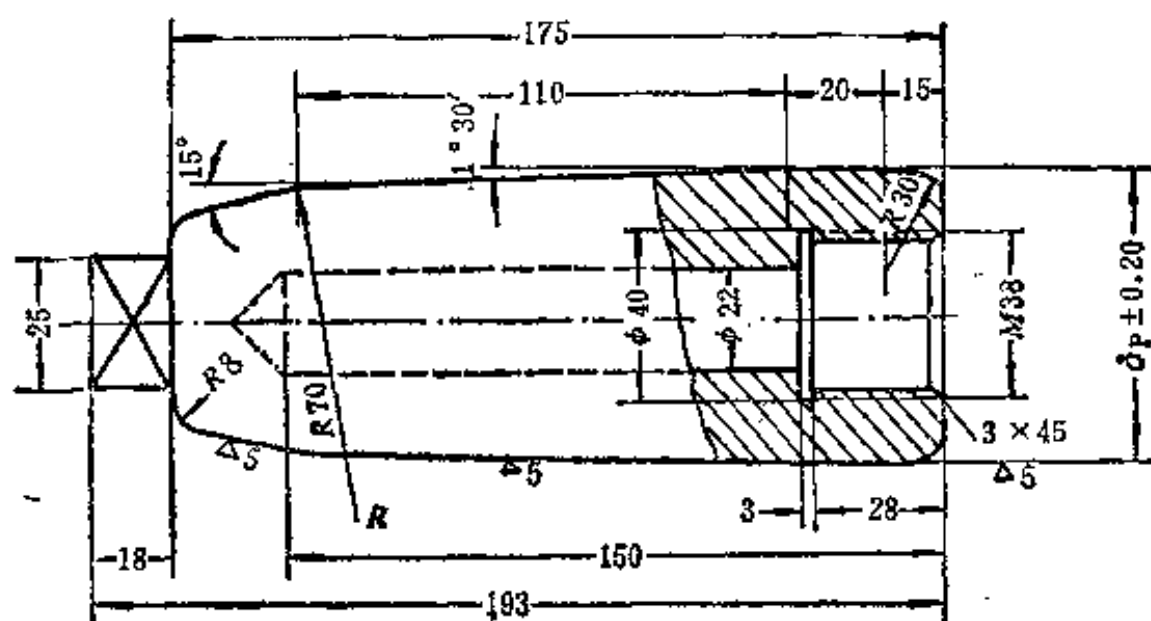


图 5-45 圆锥形顶头

表 5-20 圆柱形顶头的尺寸，毫米

机 组	D	l	l_1	l_2	l_3	R	R_1
114	60~84	150	35	70	20	70	80
	84~105	170	50	70	25	85	90

由均整机轧辊和顶头设计可以看出，不管哪种设计方法，都要配合均整的变形过程，以达到展轧内外表面并减小钢管的壁厚不均。

均整机的顶头材质，各厂很不相同。现列出几种顶头材质和化学成分：

114机组所用材质为合金铸铁，化学成分为：

3.2~3.8% C, 1.5~2.5% Si, 0.6~1.0% Mn, 0.4~0.8% Cr, <0.1% S, <0.2% P;

100机组（烟台）用的钢号为3Cr2W8；

76机组用的钢号为35CrMo。

76~100机组均整机所用的导板形状有两种。一种是导板的工作表面做成平面的形状（100~114机组），如图5-46所示。导

板的工作表面长度应大于变形区之长度，一般取 L_2 近似等于 $0.45L$ （ L 辊身长度）。这种导板形状用于圆柱形和柱锥形轧辊设计。另一种是导板的工作表面做成圆弧形，并带一定的斜度，这种形状的导板用于锥形轧辊设计，如图5-47所示。

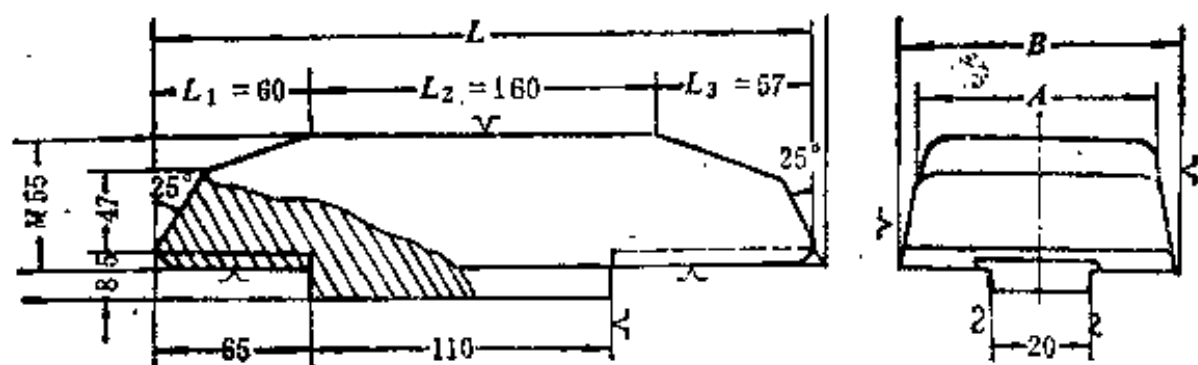


图 5-46 均整机平面形导板

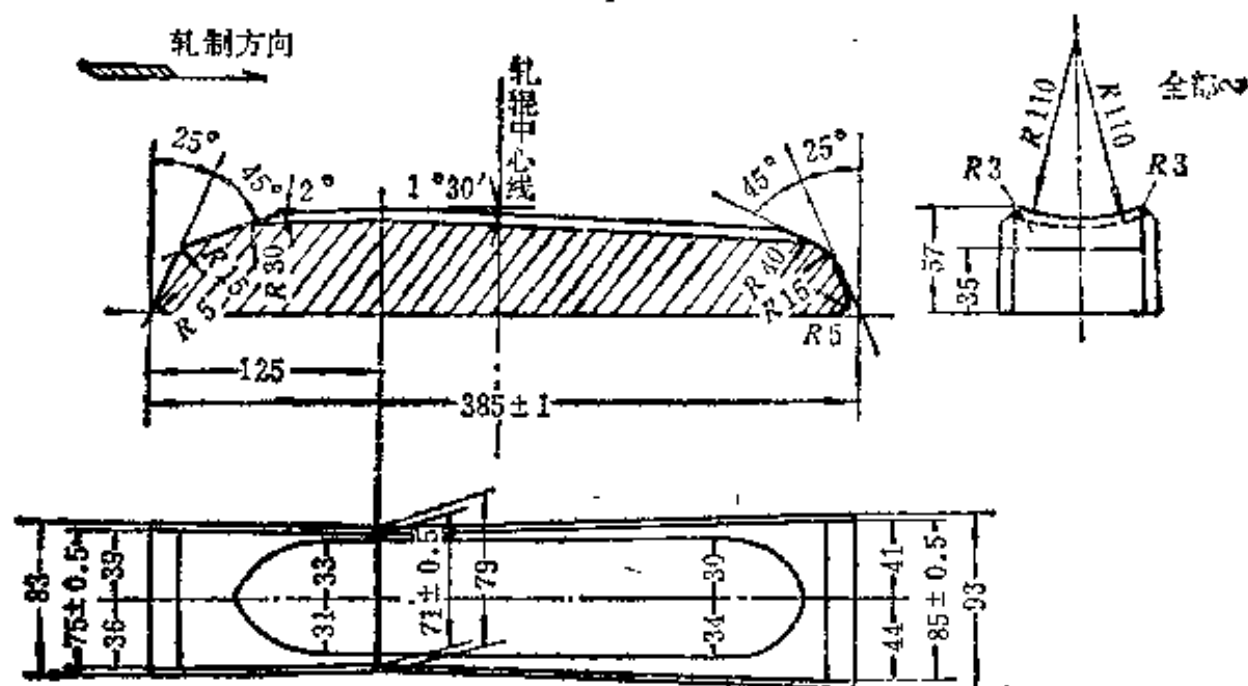


图 5-47 均整机圆弧形导板

导板的厚度，根据强度和轧机结构来决定，一般在50毫米左右，导板的宽度计算同两辊穿孔机。

为了使轧制过程稳定，均整机和轧制中心线要比轧机中心线低5毫米左右，因此在计算导板宽度时应考虑这个下移值。因为均整时具有下压力，所以上导板不起多大作用，仅当做导向工具，也不易磨损。

平面形的导板尺寸如表5-21所示。弧形导板的尺寸如图5-47所示。

表 5-21 平面形导板的尺寸, 毫米

机 组	导板长 L	导板平面段长 L ₁	导 板 宽 A
114	277	160	68, 72, 80, 85, 92, 98, 104, 110
100	320	160	

注: $B = A + 10$, 参看图5-46。

均整机导板所用材质和化学成分如表5-22所示。

表 5-22 均整机的导板材质和化学成分

机组	材 质	化 学 成 分 , %							
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P
114	合金铸钢	1.2~1.8	0.2~0.6	0.2~0.6	14~17.5	—	—	≤0.05	≤0.05
100	CMn32-52								
76	合金铸铁	3.2~3.8	0.6~1.0	1.5~2.1	0.5~0.9	—	0.2~0.5		<0.1

穿孔机、轧管机和均整机所用顶杆的尺寸由轧制表所规定。60~100机组顶杆所用的材质有Cr5Mo、50号钢和50Cr等, 多由厚壁钢管制成。

第五节 定减径机及矫直机的工具设计

一、定径机的孔型设计

76~100机组常用的定径机轧辊尺寸如表5-23。

定径机常用带偏心距的椭圆孔型, 如图5-48,a所示。定径机孔型的偏心距愈往后面机架愈小, 最后一架为零。有时也用带圆弧侧边斜度的圆孔型, 如图5-48,b所示。此时各架的侧边斜角 φ° 由第一架为 25° , 逐渐减小至 $10^\circ \sim 15^\circ$ (最后一架)。这种孔型没有突出的优点, 因此不常采用。

表 5-23 定径机的轧辊尺寸

机 组	架 数	轧 辊 尺 寸， 毫 米	
		直 径	辊 身 长
114	7	340~380	200
100 (烟台)	5	300~380	200
100 (大连)	5	380	200
100 (西宁)	5	340~380	200

设计定径机孔型的方法和减径机相同，将在下面叙述。某些工厂的实际孔型设计如表5-24所示。

二、无张力减径机的孔型设计和轧制表编制

无张力减径机也广泛使用图5-48, a所示的孔型。

为了确定孔型尺寸必须首先计算轧制表。在无张力减径机上变形量的分配（即直径相对压下量分配）一般都采取均匀分配的办法，除了第一架和最后两架外，其余机架的减径量取相等。为了便于咬入和考虑来料外径波动，第一架取平均减径量之一半。为了保证减径后管子直径公差，成品机架不给压下量，而成品前机架也取平均减径量之一半。

令各机架中的相对减径量为：

$$\delta_1, \delta_2, \delta_3 \cdots \delta_{n-1}, \delta_n$$

设平均相对减径量为 δ ，则

$$\delta_1 = \frac{1}{2}\delta, \delta_2 = \delta, \delta_3 = \delta \cdots \delta_{n-2} = \delta, \delta_{n-1} = \frac{1}{2}\delta, \delta_n = 0$$

任一架中的相对减径量为

$$\delta_i = \frac{d_{i-1} - d_i}{d_{i-1}} 100\%$$

式中 i ——机架的顺序号；

d_i ——孔型的平均直径，等于 $\frac{B_i + A_i}{2}$ （ B_i —孔型宽；

A_i ——孔型高）。

表 5-24 100机组定径机的孔型设计, 毫米

工 厂	产 品 规 格	架 次	平均直径 d_c	孔型高 A	孔型宽 B	孔高压下 ΔA	宽底值 ΔB	孔型半径 R	偏心距 c	r	Δ	B/A	压 缩 量 (直径)%
烟 台	89	1	94.06	90.77	97.35	2.35	0.47	48.79	3.41	10	5	1.072	0.98
		2	92.19	88.94	95.45	4.68	0.94	47.84	3.37	8	4	1.072	1.98
		3	90.36	87.21	93.51	4.58	0.92	46.87	3.26	8	4	1.072	1.98
		4	89.46	89.46	89.46	2.25	0.45	44.73	0	6	3	1	1
		5	89.46	89.46	89.46	0	0	44.73	0	6	2	1	0
	102	1	110.58	106.7	113.86	5.18	1.94	57.04	3.59	10	5	1.065	1.44
		2	107.08	103.3	113.86	10.56	3.96	55.57	3.92	8	4	1.073	2.99
		3	103.88	100.62	107.14	10.24	3.84	53.67	3.36	8	4	1.065	2.99
		4	102.40	102.40	102.40	4.74	1.78	51.20	0	6	3	1	1.42
		5	102.40	102.40	102.40	0	0	51.21	0	6	2	1	0
	108	1	114.9	112.12	117.68	4.0	1.6	58.91	2.85	10	5	1.049	0.95
		2	112.41	109.71	115.11	7.97	2.99	57.62	2.77	8	4	1.049	2.17
		3	109.97	103.30	112.64	7.81	2.93	56.39	2.74	8	4	1.049	2.17
		4	108.54	108.54	108.54	4.10	1.24	54.27	0	6	3	1	1.3
		5	108.54	108.54	108.54	0	0	54.27	0	6	2	1	0
	83	1	88.87	87.18	90.56	2.83	0.51	45.32	1.73	10	5	1.039	1.25
		2	86.65	85	88.30	5.58	1.12	44.18	1.68	8	4	1.039	2.49
		3	84.47	83.86	86.08	5.43	1.09	43.07	1.64	8	4	1.039	2.51

续表 5-24

工 厂	产 品 规 格	架 次	平均直径 d_c	孔型高 A	孔型宽 B	孔高压下 ΔA	宽展值 ΔB	孔型半径 R	偏心距 e	r	Δ	B/A	压 缩 量 (直径)%
烟 台	83	4	83.40	83.40	83.40	2.28	0.54	41.7	0	6	3	1	1.26
		5	83.40	83.40	83.40	0	0	41.7	0	6	2	1	0
大 连	89	1	96	94	98			44	2.0	8	5	1.043	
		2	94	92	96	6	2	48	2.0	8	5	1.043	2.08
		3	91.25	90.1	93.4	5.8	1.4	46.7	1.65	8	4	1.037	2.39
		4	90.3	90	90.6	3.4	0.5	45.3	0.3	6	3	1.007	1.58
		5	90.1	90.1	90.1	0.5	0.1	45.05	0	6	3	1	0.22
	102	1	108.3	106.3	110.3			55.15	2.0	8	5	1.038	
		2	106.5	104.5	108.5	5.8	2.2	54.25	2.0	8	5	1.036	1.66
		3	104.5	103.2	105.8	5.3	1.3	52.8	1.3	8	4	1.026	1.88
		4	103.4	103.1	103.7	2.7	0.5	51.85	0.3	6	3	1.006	1.05
		5	103.2	103.2	103.2	0.5	0.1	51.6	0	6	3	1	0.19
	108	1	116	113.9	118.1	3.2	2	59.05	2.1	8	5	1.04	1.125
		2	113.5	110.6	116.4	7.5	2.5	58.2	2.9	8	5	1.03	2.25
		3	111	108.9	113.1	7.5	2.5	56.55	2.1	8	4	1.029	2.25
		4	109.6	109.3	109.9	1.07	1.0	54.95	0.3	6	4	1.005	1.125
		5	109.4	109.4	109.4	0.5	0.1	54.7	0	6	3	1	0.18

注：参看图5-48。

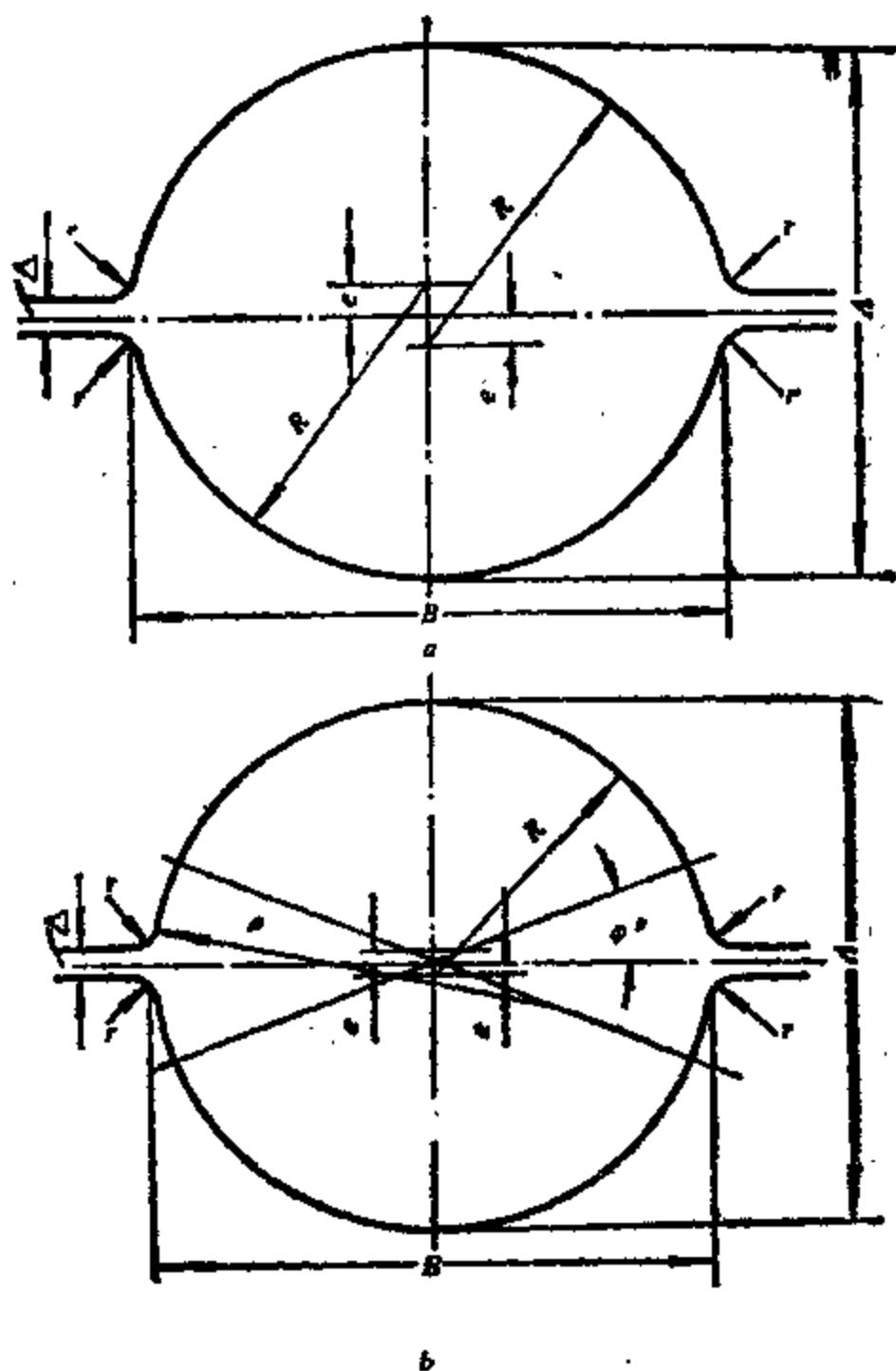


图 5-48 定径机孔型
a—椭圆孔型；b—圆孔型

$$d_i = d_{i-1} \left(1 - \frac{\delta_i}{100} \right)$$

利用此式和所确定的平均减径量，可写出一系列的等式：

$$d_1 = d_0 \left(1 - 0.5 \frac{\delta}{100} \right) \approx d_0 \left(1 - \frac{\delta}{100} \right)^{0.5}$$

$$\begin{aligned}
 d_2 &= d_1 \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) = d_0 \left(1 - \frac{\delta}{100}\right)^{1.5} \\
 &\vdots \\
 d_{n-2} &= \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) d_{n-1} \approx d_0 \left(1 - \frac{\delta}{100}\right)^{n-2.5} \\
 d_{n-1} &= d_{n-1} \left(1 - 0.5 \frac{\delta}{100}\right) \approx d_{n-2} \left(1 - \frac{\delta}{100}\right)^{0.5} \\
 d_{n-1} &= d_0 \left(1 - \frac{\delta}{100}\right)^{n-2} \\
 d_n &= d_{n-1} = d_0 \left(1 - \frac{\delta}{100}\right)^{n-2}
 \end{aligned}$$

式中 d_0 ——来料直径。

由以上各式可求出平均减径量为：

$$\delta = \left(1 - \sqrt[n-2]{\frac{d_n}{d_0}}\right) 100\%$$

式中 d_n ——减径后热钢管的直径；

n ——工作机架数目。

已知 δ ，则可确定孔型平均直径 d_i 。

在确定孔型宽度时应考虑宽展量（轮廓压扁），一般按国内经验选取：

$$\Delta B_i = (0.3 \sim 0.5) \Delta A_i$$

式中 ΔA_i ——高度上的直径压下量。

ΔA_i 由下式确定：

$$\Delta A_i = B_{i-1} - A_i \quad (\text{前架孔型宽度减去该架孔型高度})$$

同理 $\Delta B_i = B_i - A_{i-1}$ （该架孔型宽度减去前架孔型高度）

$$\Delta B_i = \Delta A_i - (0.5 \sim 0.7) \Delta A_i$$

$$\therefore \Delta A_i = \frac{\Delta A_i - \Delta B_i}{0.5 \sim 0.7}$$

$$\Delta A_i = \frac{(B_{i-1} - A_i) - (B_i - A_{i-1})}{0.5 \sim 0.7}$$

$$\Delta A_i = \frac{(B_{i-1} + A_{i-1}) - (A_i + B_i)}{0.5 \sim 0.7}$$

$$\Delta A_i = \frac{2d_{i-1} - 2d_i}{0.5 \sim 0.7}$$

故
$$\Delta A_i = (2.86 \sim 4)(d_{i-1} - d_i)$$

由此式可以确定出孔型尺寸:

$$A_i = B_{i-1} - (2.86 \sim 4)(d_{i-1} - d_i)$$

$$B_i = 2d_i - A_i$$

在已知 A_i 和 B_i 情况下, 利用几何关系便可以求出孔型半径 R 和偏心距 e 。

$$e_i = \frac{B_i^2 - A_i^2}{4A_i}$$

$$R = \frac{A_i}{2} + e$$

下面来说明无张力减径时平均减径量的选择。无张力减径机的平均减径量通常在3~5%范围内。当减径薄壁管时一般选小值, 以免产生轧折缺陷。

总减径量的大小主要受钢管内径精确度的限制。总减径量太大容易产生内方缺陷。总减径量一般在40~45%范围内, 减径厚壁管时减小到20~30%。取大的总减径量(即大管减径)可以提高生产率, 但将降低钢管质量。

确定无张力减径机各架轧辊的转数是轧制表内容之一。按秒体积相等原则:

$$F_1 V_1 = F_2 V_2 = \dots F_n V_n$$

$$\frac{F_0}{F_1} = \mu_1, \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{V_2}{V_1} = \mu_2 \dots \frac{F_{n-1}}{F_n} = \frac{V_n}{V_{n-1}} = \mu_n$$

确定各架速度时, 必须首先求出各架的延伸系数。

计算延伸系数时要先确定各架壁增厚量, 设总壁增厚量 ΔS , 并认为壁增厚量与管子周边减小量成正比, $\Delta S / \Delta \rho = \sigma$ 。

总的周边减小量为:

$$\Delta\rho = \rho_0 - \rho_n = \pi(d_0 - d_n)$$

式中 ρ_0 和 ρ_n ——减径前后热状态下管子的周长。

如果各架平均周边减小量为 $\Delta\rho_i$ ，则

$$\Delta\rho_i = \pi(d_{i-1} - d_i)$$

$$\Delta S_i = \sigma \Delta\rho_i$$

$$\therefore \Delta S_i = \frac{\Delta S}{\Delta\rho} \Delta\rho_i$$

$$\Delta S_i = \Delta S \frac{d_{i-1} - d_i}{d_0 - d_n}$$

任一架中管壁厚度为

$$S_i = S_{i+1} + \Delta S_i = S_{i-1} + \Delta S \frac{d_{i-1} - d_i}{d_0 - d_n}$$

式中 ΔS (总壁加厚量) 用本书第四章公式计算。

对任一架减径机的延伸系数为

$$\mu_i = \frac{F_{i-1}}{F_i} = \frac{(d_{i-1} - S_{i-1})S_{i-1}}{(d_{i-1} - d_i)S_i}$$

集体传动和单独传动的轧机，确定轧辊转速的方法不同。集体传动时各架轧辊转速是已知的，而一般是靠改变轧辊直径的办法（允许条件下）来保证秒体积相等的原则。单独传动时一般轧辊直径是已知的，而是利用调整轧辊转速来保证各架秒体积相等。

一般都是用同一套孔型又轧制薄壁管又轧制厚壁管。轧制厚壁管时存在着一些推力，而轧薄壁管时则有些张力。壁厚在某一数值下的钢管轧制时既无张力又无推力（自然轧制）。这样，在轧机上轧制全部壁厚的管子都是在同自然轧制相差很小的情况下进行的。

为了决定直径，可按下式计算：

$$D_{Ki+1} = \frac{D_{Ki} n_i \mu_{i+1}}{(1-C) n_{i+1}}$$

式中 n_i 和 n_{i+1} ——相邻两架轧辊转速；

D_{K_i} 、 $D_{K_{i+1}}$ ——相邻两架轧辊工作直径；

μ_{i+1} ——延伸系数；

C ——推力系数，等于 $-(0.002 \sim 0.004)$ 。

给出某个机架中的辊身直径 D_{bi} 以后，就可按下式来求出工作直径：

$$D_{bi} = D_{K_i} + 0.75 A_i - \Delta_i$$

$$D_{K_i} = D_{bi} - 0.75 A_i + \Delta_i$$

式中 Δ_i ——辊缝，一般取1.5~5毫米，精轧和精轧前孔取小值。

当单独传动每个轧辊时，一般辊身直径大致是相等的，可利用下式确定各架轧辊转速：

$$n_i = \frac{D_{K_{i+1}} n_{i+1}}{D_{K_i} \mu_{i+1}}$$

最后一架轧辊转速由轧机出口速度而定，一般是给定的。

表5-25为100机组无张力减径机孔型设计的实际数据。以上计算方法是对一般钢种而言，对不锈钢宽展值要取大些。定减径机所用的轧辊材质为特殊铸铁，其化学成分(%)如下：

C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
---	----	----	----	----	---	---

2.7~3.17	≤0.88	≤1.56	≤0.52	≤0.9	≤0.08	≤0.09
----------	-------	-------	-------	------	-------	-------

三、矫直机的轧辊设计

76~100机组热轧钢管常用的矫直机为七辊矫直机，矫直机的轧辊尺寸见本书第一章。矫直机的轧辊形状为双曲线形轧辊，设计时可用下式计算（图5-49）：

$$R_x = \sqrt{l_x^2 \sin^2 \beta + (R_0 + r)^2} - r$$

式中 R_x ——任一截面的辊子半径；

l_x ——由辊子中心到所求截面之距离；

β ——前进角；

R_0 ——辊子的最小半径；

r ——管子半径。

表 5-25 无张力减径和定径轧制表及孔型设计 (单位: 毫米)

孔系	架次 N_d	孔高 A	孔宽 B	孔型半径 R	半径中心距, e	圆角半径 r	辊缝 Δ	平均直径 d_c	压下量		孔高压下 ΔA	导卫 d	电机转速 转/分
									毫米	%			
第一孔型系 ($\phi 83$ ~ $\phi 57$) 定减联用	1	79.3	84.1	42.05	2.4	7	5	81.7	1.3	1.6	3.7	95	785
	2	77.1	81.7	40.85	2.3	7	5	79.4	2.3	2.78	7.0	95	800
	3	75.0	79.4	39.70	2.2	7	5	77.2	2.3	2.78	6.7	90	815
	4	73.0	77.2	38.60	2.1	7	5	75.1	2.1	2.78	6.4	90	830
	5	71.0	75.0	37.50	2.0	7	5	73.0	2.1	2.78	6.2	85	845
	6	69.1	72.9	36.45	1.9	6	4	71.0	2.0	2.78	5.9	85	865
	7	67.1	70.7	35.35	1.8	6	4	68.9	2.1	2.78	5.8	85	880
	8	65.3	68.7	34.35	1.7	6	4	67.0	1.9	2.76	5.4	80	895
	9	63.6	66.8	33.40	1.6	6	4	65.2	1.8	2.76	5.1	80	910
	10	61.9	64.9	32.45	1.5	6	4	63.4	1.8	2.76	4.9	75	930

续表 5-25

孔 系	架 次 №	孔 高 A	孔 宽 B	孔型半径 R	半径中心 距, e	圆角半径 r	螺 纹 Δ	平均直径 d_c	压 下 量		孔高压下 ΔA	导 卫 d	电机转速 转/分
									毫米	%			
第一孔型系 ($\phi 83 \sim \phi 57$) 定减联用	11	60.3	63.1	31.55	1.4	5	3	61.7	1.7	2.76	4.4	75	950
	12	58.7	61.3	30.05	1.3	5	3	60.0	1.7	2.76	4.4	70	985
	13	57.1	59.5	29.75	1.2	5	3	58.3	1.7	2.76	4.2	70	985
	14	57.6	57.6	28.8	0	4	3	57.6	0.7	1.12	1.9	65	1000
	15	57.6	57.6	28.8	0	4	3	57.6	0	0	0	65	1000

上 接 第 11 架

$\phi 60$	12 _a	60.6	60.6	30.3	0	4	3	60.6	1.1	1.78	2.6	70	955
	13 _a	60.6	60.6	30.3	0	4	3	60.6	0	0	0	70	955

上 接 第 9 架

$\phi 63.5$	10 _b	64.2	64.2	32.1	0	4	3	64.2	1.0	1.63	2.6	75	915
	11 _b	64.2	64.2	32.1	0	4	3	64.2	0	0	0	75	915

上 接 第 9 架

$\phi 63.5$	10 _c	64.7	64.7	32.35	0	4	3	64.7	0.5	0.77	2.1	75	915
	11 _c	64.7	64.7	32.35	0	4	3	64.7	0	0	0	75	915

续表 5-25

孔系	架次 №	孔高 A	孔宽 B	孔型半径 R	半径中心 距, e	圆角半径 r	螺 纹 Δ	平均直径 d_c	压 下 量		孔高压下 ΔA	导 卫 d	电机转速 转/分
									毫米	%			
第 二 孔 型 系 ($\phi 102$ } ($\phi 88$) 减 径	1	97.36	103.64	51.82	3.14	7	5	100.5	1.5	1.495	4.64	115	795
	2	94.44	100.56	50.28	3.06	7	5	97.5	3.0	2.99	9.2	110	803
	3	91.53	97.62	48.81	3.02	7	5	94.6	2.9	2.99	8.98	110	815
	4	88.86	94.74	47.37	2.94	7	5	91.8	2.8	2.99	8.76	105	830
	5	86.20	92.00	46.0	2.90	7	5	89.1	2.7	2.99	8.54	105	840
	6	83.56	89.32	44.66	2.8	6	4	86.44	2.66	2.99	8.44	100	860
	7	81.0	86.00	43.30	2.80	6	4	83.6	2.64	2.99	8.32	100	875
	8	78.60	84.00	42.0	2.70	6	4	81.3	2.5	2.99	8.0	95	890
	9	76.26	81.54	40.77	2.64	6	4	78.9	2.4	2.99	7.74	95	905
	10	74.10	78.98	39.49	2.44	6	4	76.54	2.36	2.99	7.44	90	920

续表 5-25

孔系	架次 N_b	孔高 A	孔宽 B	孔型半径 R	半径中心 距, e	圆角半径 r	螺 纹 Δ	平均直径 d_c	压 下 量		孔高压下 ΔA	导 卫 d	电机转速 转/分
									毫米	%			
第二孔型系 ($\phi 102$ $\phi 68$) 减 径	11	71.9	76.50	38.25	2.30	5	3	74.3	2.34	2.99	7.06	90	940
	12	69.8	74.16	37.08	2.18	5	3	71.98	2.22	2.99	6.70	85	960
	13	67.7	71.90	35.95	2.10	5	3	69.8	2.18	2.99	6.48	85	980
	14	68.7	68.7	34.35	0	4	2	68.7	1.10	1.495	3.2	80	1000
	15	68.7	68.7	34.35	0	4	2	68.7	0	0	0	80	1000
上 接 第 12 架													
$\phi 70$	13a	70.8	70.8	35.40	0	4	2	70.8	1.18	1.88	3.36	80	970
	14a	70.8	70.8	35.40	0	4	2	70.8	0	0	0	80	970
上 接 第 11 架													
$\phi 73$	12b	73.8	73.8	36.9	0	5	3	73.8	0.4	0.54	2.7	85	950
	13b	73.8	73.8	36.9	0	5	3	73.8	0	0	0	85	950
上 接 第 9 架													
$\phi 76$	10c	75.50	79.70	39.85	2	5	3	77.6	1.30	1.15	6.04	90	915
	11c	77.0	77.0	38.5	0	5	3	77.0	0.6	0.78	2.70	90	920
	12c	77.0	77.0	38.5	0	5	3	77.0	0	0	0	90	920

续表 5-25

孔系	架次 N_d	孔高 A	孔宽 B	孔型半径 R	半径中心 距, e	圆角半径 r	键 Δ	平均直径 d_0	压下量		孔高压下 ΔA	导引 d	电机转速 n 转/分
									毫米	%			
上 接 第 8 架													
$\phi 80$	9 _J	80.8	80.8	40.4	0	5	3	80.8	0.5	0.615	3.0	90	900
	10 _J	80.8	80.8	40.4	0	5	3	80.8	0	0	0	90	900
$\phi 83$	1	91.3	97.3	48.65	3.0	7	5	94.3	1.7	1.8	4.7	110	
	2	89.0	94.4	47.20	2.7	7	5	91.7	2.6	2.7	8.3	105	
	3	86.9	91.7	45.85	2.4	7	5	89.3	2.4	2.68	7.5	105	
	4	84.9	89.1	44.55	2.1	6	5	87.0	2.3	2.62	6.8	100	
(定径)	5	82.8	86.8	43.40	2.0	6	4	84.8	2.2	2.50	6.3	100	
	6	83.9	83.9	41.95	0	5	4	83.9	0.9	1.0	2.9	95	
	7	83.9	83.9	41.95	0	5	4	83.9	0	0	0	95	

续表 5-25

孔系	架次 N_d	孔高 A	孔宽 B	孔型半径 R	半径中心 距, e	圆角半径 r	键宽 Δ	平均直径 d_c	压下量		孔高压下 ΔA	导卫 d	电机转速 转/分
									毫米	%			
$\phi 89$	1	97.5	103.5	51.75	3.0	7	5	100.5	1.5	1.5	4.5	115	
	2	94.9	100.7	50.35	2.9	7	5	97.8	2.7	2.7	8.6	110	
	3	92.7	97.9	48.95	2.6	7	5	95.3	2.5	2.5	8.0	110	
	4	90.5	95.5	47.75	2.5	7	5	93.0	2.3	2.4	7.4	105	
	5	88.3	93.0	46.50	2.1	6	4	90.9	2.1	2.3	6.7	105	
	6	89.9	89.9	44.95	0	6	4	89.9	1.0	1.0	3.1	100	
	7	89.9	89.9	44.95	0	6	4	89.9	0	0	0	100	
上 接 第 4 架													
$\phi 91$	5 σ	92.0	92.0	46	0	6	4	92.0	1.0	1.0	3.5	100	
	6 σ	92.0	92.0	46	0	6	4	92.0	0	0	0	100	

注: 当更换定规格时应确保各架辊径相等。

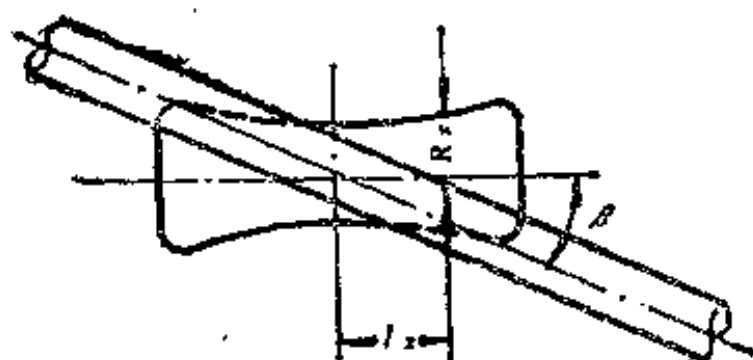


图 5-49 矫直机轧辊

一般依最大前进角 β 和最大管子直径来设计辊型。国内许多研究者研究了矫直辊的精确解，设计时请参考有关文献。

矫直机轧辊材质常用合金铸铁，硬度 $HB=500\sim550$ ，其化学成分如下：

C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
2.8~3.3	0.9	1~1.5	1~1.5	2.5~3	≤ 0.02	0.03

第六章 轧制表编制

轧制表是轧制钢管的工艺过程基础。轧制表中规定着轧制每种尺寸钢管所必需的一切数据，即：1) 所轧制的钢管尺寸；2) 原始的管坯尺寸；3) 轧机间的变形量分配；4) 轧制工具尺寸(和选择所使用的工具)；5) 每台轧机上所轧出的管子尺寸；6) 轧机的调整数据；7) 轧制工艺参数等。

由此不难看出，轧制表在很大程度上决定了钢管生产工艺(指变形机组)，从而整个机组的生产率、成品钢管质量、工具寿命和消耗、能量消耗以及其他的生产技术指标，都和轧制表编制得好坏有关。

轧制表编制应从实际出发，这样，在编制轧制表之前，应首先研究生产和设备情况，诸如，轧机的结构特点和强度，轧机的刚度，工具设计及尺寸，原料尺寸规格以及所轧钢种的性能等。轧制碳钢钢管和轧制某些合金钢钢管时轧制表的编制有很大的不同。

如在老76机组中由于轧管机传动设备强度较薄弱以及使用球形顶头等，轧管机上的变形量不能取得过大，壁厚压下量一般在1.5毫米左右。而有的100机组，由于使用锥形顶头变形量可取得大些。又如要考虑原料供应的可能，如用 $\phi 85$ 和 $\phi 90$ 毫米管坯均可轧制 $\phi 89 \times 4$ 毫米的热轧钢管，一般是有哪种规格原料就用哪种。又如应考虑现有的工具和备件，往往是用相近似的工具，也可轧出所要求的钢管尺寸来。总之，编制轧制表是较灵活的，但是编制轧制表的灵活性是有限度的。

由于轧制表实践性较强并有一定的灵活性，因此没有适合任何情况的轧制表。但是经过人们长期的实践，不断总结经验，确定了编制合理的轧制表的规律性，这就是通常所说的编制轧制表的原则。

编制轧制表的总的原则是实现稳产、优质、多品种和低消耗，而在具体技术问题上应处理好以下几方面的问题：

1) 要合理地分配变形量，使得穿孔机和轧管机（顶管机）负担均衡，生产能力平衡；

2) 要尽量用最少的工具完成轧制计划，同时希望管坯尺寸种类少些；

3) 要合理地选择各轧机的工艺参数，保证产品质量。穿孔机的延伸系数一般在1.3~5.7范围内，压缩带处的压缩量一般在10~17%范围内，多数在15%左右，顶头前压缩量在4~9%范围内，合金钢一般取小值。在轧管机上的延伸系数，76机组自动轧管机一般不超过1.5；100机组一般不超过2。斜轧延伸机一般不超过3，而顶管机的延伸系数就大多了，可达15。均整机的变形量是较小的，减壁量一般在0.2~0.5毫米，高的可到1~1.5毫米（如三辊均整机）。管子长度一般是缩短1~6%，当取较大的减壁量时也可能增长。在定径机上一般应取很小的变形量，每架的直径压缩量不应大于3.5%。斜轧定径机的直径压缩量多取1~2毫米。

4) 要合理地选择管坯尺寸。管坯直径应根据毛管外径来选择，一般管坯直径应接近或等于毛管外径。

若选用管坯直径过小，则相对压缩量就要减小，这样金属同轧辊的接触面积减小，使滑移增加，产量降低。同时为了获得较大的毛管外径导板距要加大，导致轧件椭圆度增加，对产品质量不利。另外顶头位置要后移，有时容易产生后卡。

若选用管坯直径过大，则相对压缩量就要增加，导致变形区长度和接触面积增加以及延伸系数增加，使得轧机负荷增加。同时为了获得所需的毛管外径，导板距应减小，容易造成轧件转不动而轧卡和加速导板磨损。另外顶头位置要前移，可能影响二次咬入。因此，管坯直径选择是否恰当，直接影响钢管的质量、产量、电力和工具消耗。一般管坯直径与毛管外径之差在±(5~10%)范围内。穿薄壁管时多采取扩径轧制，穿厚壁管则反之。生产实践证明，采用大直径管坯有利于提高生产率，但使用过大

直径的管坯会影响毛管的质量。

5) 要了解各种钢种的特性 (特别是合金钢) 以及工艺过程和变形制度对其机械性能和物理化学性能、工艺性能的影响, 以便获得高性能的产品。

第一节 自动轧管机组轧制表编制

轧制表的计算方法有两种: 1) 按逆轧制顺序计算; 2) 按顺轧制顺序计算。

前一种方法是以冷状态下成品管尺寸为计算原始数据, 从后往前推算, 来计算各轧机的管子尺寸、调整参数等。这种方法只有在全部工具、孔型和所用原料都未确定或已有轧制表要重新修定时才能应用。后一种方法是管坯尺寸已定, 但只有工具和孔型未定的情况下才能使用。一般现厂条件下, 工具、孔型和管坯尺寸都已确定, 并用已知的条件来计算轧制表, 从而限制的条件是较多的, 多是进行局部计算和确定调整参数以及选用已有的工具和孔型。

不管哪种计算方法, 思考方法和计算内容大体是相同的。为了便于较系统地掌握计算方法, 首先介绍第一种方法。

为计算轧制表, 采用下列符号:

d_1 —管坯直径;

D_0 —毛管外径;

d_0 —毛管内径;

S_0 —毛管壁厚;

δ_n —穿孔机顶头直径;

D_s —自动轧管机后管子外径;

d_s —自动轧管机后管子内径;

S_s —自动轧管机后管子壁厚;

δ_{n1} 、 δ_{n2} 、 δ_{n3} —自动轧管机第一、第二、第三道顶头直径;

D_p —均整后管子外径;

d_p —均整后管子内径;

S_p —均整后管子壁厚;
 D_k —定径后管子外径;
 S_k —定径后管子壁厚;
 D —成品管外径;
 d —成品管内径;
 S —成品管壁厚;
 ΔD_k —定径机上总减径量;
 k_p —均整的扩径量;
 ξ_p —均整的顶头比轧管后管子内径所大的数值;
 Δ_p —均整扩展值;
 δ_r —均整顶头直径;
 ξ_* —穿孔后毛管内径比轧管机第一道顶头直径所大的数值;
 A —自动轧管机孔型高;
 Δ_s —自动轧管机的减壁量;
 K_n —穿孔的扩径量;
 L —穿孔机导板间距;
 b —穿孔机轧辊间距;
 u_0 —穿孔机顶头前压缩量;
 u —穿孔机压缩带处压缩量;
 μ_p —均整机的延伸系数;
 μ_n —轧管机的延伸系数;
 μ_* —穿孔机的延伸系数;
 μ_x —总延伸系数。

一、各轧机后管子尺寸、主要工具及管坯尺寸的确定

1. 热状态下成品管尺寸

(1) 外径 D'

$$D' = D(1 + \alpha t)$$

式中 α ——钢的热膨胀系数;

t ——定径后钢管温度与周围大气温度之差。

一般定径后的温度为700~900℃,有时厚壁管可达900~1000℃,因此

$$1 + \alpha t \approx 1.01 \sim 1.015$$

轧制厚壁管时取大值。

定径后管子外径决定于定径机最后一架的孔型尺寸,这样

$$D' = D_k = (1.01 \sim 1.015)D$$

(2) 壁厚 S_k

定径后的管子壁厚应等于成品管壁厚(不考虑热膨胀的影响,因其值很小)。

(3) 断面积

$$F_k = \pi(D_k - S_k)S_k$$

2. 均整后钢管尺寸

(1) 外径 D_p

定径机中的减径量一般取得不大,因为定径机的作用主要是要满足技术条件所要求的外径尺寸(满足直径公差和椭圆度的要求)。如果做为半成品(如供冷拔坯料),为了较多地减小外径也可取较大的减径量,但由于是空心物体轧制,减径量过大容易产生轧折,特别是大直径薄壁管,每架减径量一般不应超过3.5%,轧制热轧成品管时一般为1~2%。除了考虑轧折和钢管精度外选取减径量还应考虑设备能力(如定径很厚管子时)。轧很厚的管子时如不能定径则由均整机空心轧制(不放顶头)以控制直径公差。这样,五架定径机的总减径量为3~9%,绝对值5~12毫米;七架定径机的总减径量为5~15%,绝对值7~19毫米。

为了保证定径后外径不小于成品管外径,因此均整机后管子最小外径要大于定径机最后一架的孔型高。为了便于咬入和防止轧折,均整后的管子外径不大于定径机第一架孔型直,即:

$$D_p = D_k + \Delta D_k$$

(2) 壁厚 S_p

对于五架定径机而言,当总减径量取得较小且钢管壁厚小于15毫米时,定径过程中壁增厚值较小,此增厚值可与均整过程中

壁减薄值相抵消(当均整机取较小的减壁量时), 为了简化计算, 可认为

$$S_p = S_k = S_a$$

对于七架以上的定径机, 如果总减径量取得较大或管壁较厚, 这时定径中壁增厚值要大于均整中壁减薄值, 不能相互抵消, 即

$$S_p = S_a - \Delta S_p + \Delta S_k \quad (\Delta S_k > \Delta S_p)$$

这种情况下, 为了得到一定的成品管壁厚, 要求轧管机轧出的壁厚要薄一些, 即 $S_k < S_a$ 。

3. 轧管机后钢管尺寸

(1) 外径 D_s

$$D_s = D_p - K_p$$

式中 K_p ——均整机的绝对扩径量。

由本书第四章可知, 均整过程为斜轧钢管过程, 钢管在均整机上的变形主要是扩径变形, 通过少量的减壁和长度微量缩短来增加直径。均整的扩径量和钢管尺寸、轧制温度、钢种、工具设计以及设备能力都有关。目前还未找出合适的计算公式确定 K_p , 一般多根据实际数据选择。表6-1列出的各厂数据可供选择。

由表6-1可以看出, 壁愈薄、外径愈大, K_p 也愈大, 也可以说 D/S 比值愈大则 K_p 值也愈大, 但波动范围是较小的, 因此容易确定。

均整机的扩径量由两部分组成:

$$K_p = \xi_p + \Delta_p$$

式中 ξ_p ——均整顶头比轧管后管子内径所大的数值;

Δ_p ——均整的扩展值。

$$\xi_p = d_s - \delta_p$$

ξ_p 值一般取2~4毫米。当均整机能力大时可取大值, 当均整不锈钢等合金钢管时取小值, 一般为1毫米。 ξ_p 值和钢管壁厚的关系, 有的是均整薄壁管时取大值, 有的则相反。

(2) 轧管机后管子壁厚

一般可认为

$$S_s = S_p = S_k$$

但当均整减壁和定径增壁不能抵消时，按下式计算：

$$S_s = S_k + \Delta S_p - \Delta S_k$$

表 6-1 某些机组的均整扩径量数据，毫米

机 组	管 壁 厚	扩 径 量 K_p			备 注
		管 外 径			
		70~89	95~102	108~114	
114	<6	4~6	5~7	6~8	
	6~8	3~5	4~5	4~6	
	>8		3~4	3~5	
100 (大连)	4~12	5	7	8	
100 (烟台)	<6	4~5	4~5	5~6	
	6~8	4	4	5	
	>8	2~3	3	3	
76	4~7	4~5			
140 (鞍山)		4~8			
日 本		5~8(11)			外径76~114
英 国	3~11	3.5~7			外径70~118
苏 联	4~7			4~7	
	8~15			3~5	
	16~25			1~3	

均整机的减壁量主要由消除内直道缺陷所决定，如果轧管产生的内直道缺陷少和浅则可取较小的减壁量。一般减壁量为0.2~0.5毫米，大时可达1.5毫米。

(3) 均整机的延伸系数 μ_p

$$\mu_p = \frac{(D_s - S_s)S_s}{(D_p - S_p)S_p}$$

一般 $\mu_p < 1$ ，但有的情况下 $\mu_p > 1$ 。统计日本某些工厂均整壁厚和减壁量的关系以及减壁量与扩径量的关系，如图6-1和图6-2所示。

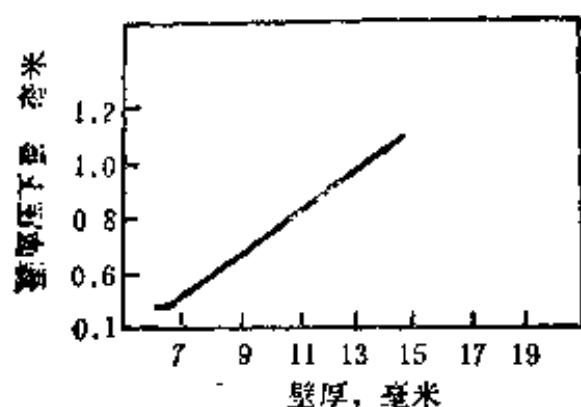


图 6-1 均整管壁厚与壁厚压下量的关系

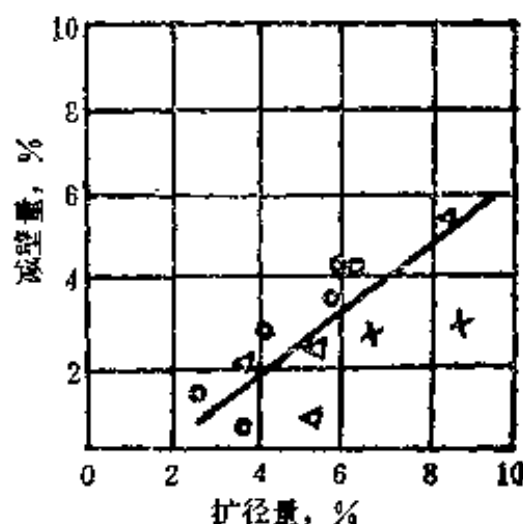


图 6-2 均整减壁量与扩径量的关系

4. 毛管尺寸

(1) 毛管壁厚

$$S_0 = S_s + \Delta_s$$

自动轧管机的主要变形是减壁，也就是把穿孔后的厚壁毛管经过轧管变成薄壁的荒管，且轧出的荒管壁厚等于成品管壁厚或接近成品管壁厚(无减径机情况下)。

轧管机的总减壁量 Δ_s 的大小主要取决于设备能力(强度、动力)、咬入条件、荒管质量以及产量等，同时和穿孔与轧管之间的变形合理分配有关。

对于76~100机组总减壁量一般在1.5~4毫米，76机组由于设备能力不足和使用球形顶头一般都取较小的减壁量， Δ_s 在1.5毫米左右。100机组一般减壁量取得较大， $\Delta_s = 2 \sim 4$ 毫米，个别到4.5毫米。实现大的减壁量主要由两道顶头直径差来决定以及和轧制中轧辊是否压下有关。100机组两道顶头直径差一般在2~3毫米，有时为了改善内表面质量，两道顶头直径差取1毫米。而76机组多是两道顶头直径相等，第二道主要起均壁作用。

壁厚压下量与轧出荒管的壁厚关系是：随着钢管壁厚的增加而增加，如图6-3所示。国内100机组多取图中曲线带的下限。表6-2为日本某些工厂的数据，可参考。

表 6-2 日本某些工厂壁厚压下量与轧出荒管壁厚的数据

轧管后荒管壁厚，毫米	管壁压下量 Δs ，毫米
4以下	2.8
4.1~8	3.2
8.1~12	3.6
12.1以上	4

图和表中所示的数据为一般规律，但由于各厂条件不完全相同，如76机组，有的并不完全符合上述规律，计算时应结合具体情况加以运用。

在轧管机上取一定的变形量还起到部分消除穿孔时形成的螺旋性壁厚不均和内外螺纹的作用，因而变形量也不能太小。

图6-4为日本某些工厂轧管时的减面率和轧出管的 D_s/S_s 的关系，供参考。

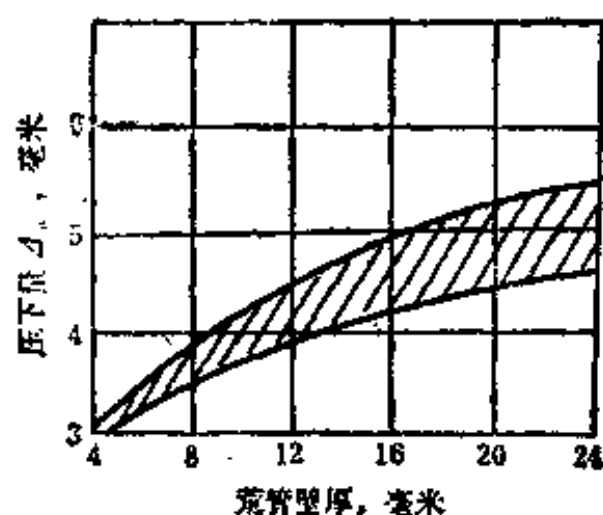


图 6-3 轧管后荒管壁厚与减壁量的关系

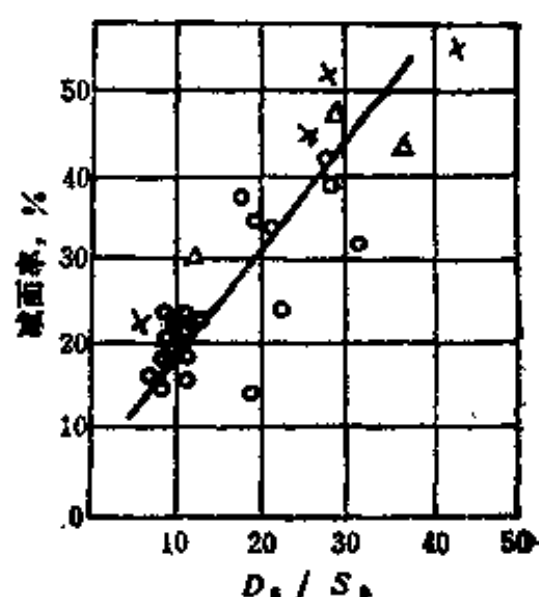


图 6-4 减面率与轧出管的 D_s/S_s 关系

(2) 毛管内径

为了使穿孔后毛管顺利地轧管机轧辊咬入实现轧管过程，一般毛管内径应比第一道顶头直径大，其值范围在2~4毫米，个别情况下到1毫米。薄壁管取小值，厚壁管取大值，可写成下式：

$$d_0 = \delta_{a1} + \xi_s$$

(3) 毛管外径

$$D_0 = d_0 + 2S_0$$

自动轧管机孔型一般按薄壁管计算，用抬高辊缝办法来适应厚壁管轧制。

进轧管机的毛管外径一般取等于轧管机孔型宽度或稍小于孔型宽度，但有时也可取比孔型宽度大1~2毫米。此种情况下可用抬高辊缝或利用孔型侧壁之圆角将毛管端部揉皱一些，实现顺利咬入。

自动轧管机的减径量一般为3~9毫米，相对值为3.5~8%。

确定毛管外径也可用下式计算：

$$D_0 = d_0 + 2S_0 = \delta_{a1} + \xi_s + 2(S_s + \Delta_s)$$

(4) 自动轧管机的延伸系数

$$\mu_s = \frac{(D_0 - S_0)S_0}{(D_s - S_s)S_s}$$

延伸系数与减壁量成正比。减壁量愈大，则延伸系数也愈大。前已叙述，76机组一般 $\mu_s \leq 1.5$ ，100机组在1.3~2.2之间，一般都小于2。

5. 穿孔机变形参数

(1) 穿孔机延伸系数

$$\mu_0 = \frac{K d_i^2}{4(D_0 - S_0)S_0}$$

式中 K ——管坯烧损系数，一般在0.97~0.99之间，斜底炉加热取大值，环形炉取小值。

(2) 穿孔机顶头直径

$$\delta_n = d_0 - K_n$$

毛管内径 d_0 永远大于穿孔机顶头直径 δ_0 ，这是由斜轧变形特点决定的，因为轧件在变形区中变形时呈椭圆形或圆三角形（三辊穿孔）。

K_n 值的大小和许多因素有关，如毛管壁厚、管坯直径、温度、钢种以及轧机调整等，而主要是毛管壁厚、导板间距和管坯直径的影响。毛管壁愈薄，则扩径量（绝对值）愈大；管坯直径愈大则扩径量愈大；导板距愈大则扩径量也愈大。某些工厂的实际扩径量值如表6-3所示。

表 6-3 某些工厂的扩径量数据，毫米

机 组	毛管尺寸		K_n	机 组	毛管尺寸		K_n
	外 径	壁 厚			外 径	壁 厚	
114	70~83		5~6				
	95~102		6~8	上海 76	76~100	5.5~19	4~6
	108~114		8~9	天津 76	78~92	6~14	4~6
大连 100	96~114	6.5~14	4~7	青岛 76			5左右
烟台 100	90~114	6~15	4~7	日 本	76~114	7~22.5	3~9
上海 76 (合金钢)	78~92	7~16	1~3	苏 联	80~120	7~24	4~8
大冶 76 (合金钢)	76~95	6~15	1~4				

由表可以看出，为了保证毛管的质量，穿轧合金钢毛管时取较小的扩径量，且有些合金钢（如不锈钢）横向扩径是较大的，在生产中要加以很好控制。

图6-5为扩径量与毛管外径和壁厚的关系。

（3）管坯直径的选择

毛管尺寸确定后，则可算出管坯直径。前已叙述，管坯直径用下式确定：

$$d_s = \pm (5 \sim 10) \% D_0$$

二、各轧机的调整参数计算

各轧机的调整参数应能保证各轧机所轧出的钢管符合轧制表

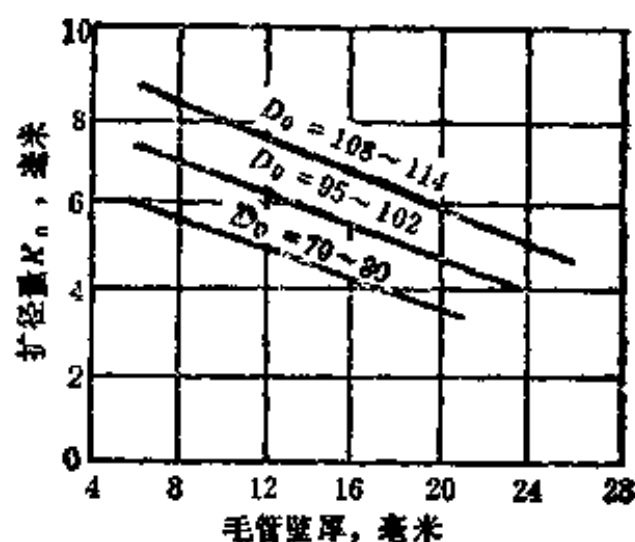


图 6-5 毛管壁厚和外径与扩径量的关系

规定的尺寸。调整参数是工人调整轧机和选择工具的依据，至今这些参数大多采取经验公式确定。

1. 穿孔机调整参数计算

(1) 轧辊间距 b

计算轧辊压缩带处的轧辊间距有两种方法：

一是根据经验和理论选定的相对压缩量 $u\%$ ，由此求出 b ：

$$b = \left(1 - \frac{u}{100}\right) d_z$$

二是根据选定的顶头前压缩量来计算 b ，因为顶头前压缩量大小关系着咬入条件、毛管质量(是否容易形成孔腔)、滑移等。从而用这种方法来确定 b 更为合理。已知顶头前压缩量，通过几何关系可求出 b ，见图6-6；

$$u_0 = \frac{d_z - b_0}{d_z}$$

式中 b_0 ——顶头前处辊间距。

$$b_0 = b + (y - 0.5K)2 \operatorname{tg} \alpha_1$$

如果忽略轧辊轴线倾斜的影响，虽然会带来一些误差，但是误差很小，这样

$$u_0 = \frac{d_z - [b + (y - 0.5K)2 \operatorname{tg} \alpha_1]}{d_z}$$

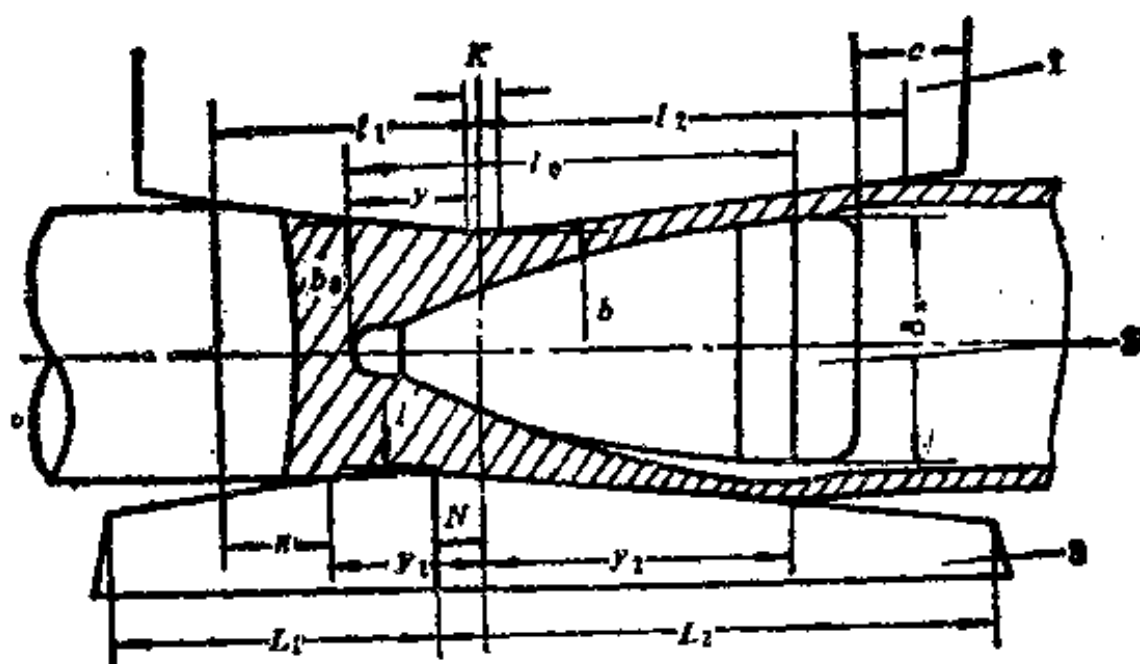


图 6-6 穿孔机变形区的几何参数

1—轧辊；2—顶头；3—导板

令顶头工作部分长度为 l_0 ，顶头伸出量为 y ，则

$$y = l_0 - 0.5K - (0.5\delta_0 + S_0 - 0.5b) \frac{1}{\tan \alpha_2}$$

把 y 代入上式，变换后得：

$$b = (1 - u_0) \frac{d_2 \tan \alpha_2}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2} + (\delta_0 + 2S_0) \frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2} - 2(l_0 - K) \frac{\tan \alpha_1 \tan \alpha_2}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2}$$

用此公式计算出的 b 值应列入轧制表中。

测量轧辊间距要精确且应掌握轧辊的弹跳值和磨损值。

(2) 顶头位置 y

顶头位置与辊间距有着密切的关系， y 值增加，顶头前压缩量减小；相反， y 值减小。为了得到一定的顶头前压缩量应减小辊间距。

顶头位置和毛管质量、咬入条件、轴向滑移、穿孔速度、轧

卡和毛管尺寸都有关。这些内容在本书第四章已做介绍。现厂中的实际数据见表6-4。

表 6-4 顶 头 位 置

机 组	顶头位置, 毫米	备 注
76	薄 壁 管 50~65	实际上顶头位置 不是固定不变的
	厚 壁 管 30~45	
100	薄 壁 管 50~70	
	厚 壁 管 35~45	
114	薄 壁 管 70~90	
	厚 壁 管 50~70	

现厂实践经验证明, 为了保证毛管质量, 在顺利实现咬入和不轧卡的条件下顶头伸出量大一些有好处。

为了尽快而正确地调整顶头位置, 现厂一般都是利用由顶头尾部到轧辊端部之距离 C (见图6-6), 来算出顶头伸出量 y , 因为直接测量顶头伸出量较为困难。

$$C = l_2 - (\delta_2 + 2S_0 - b) \frac{1}{2 \operatorname{tg} \alpha_2} - l_3$$

式中 l_2 ——轧辊出口锥长度;

l_3 ——顶头反锥长度。

这样,

$$y = l_3 + l_0 + C - l_2$$

实际调整时只要把顶杆打上测量 C 值, 则可方便地确定顶头伸出量 y , $l_0 + l_3$ 为顶头的实际长度。

把轧辊和顶头调整好后, 再调整导板(盘)间距。轧辊间距和顶头位置决定了毛管壁厚, 而导板间距在较大程度上决定着毛管外径。当然调整轧辊间距和顶头位置也可部分地改变毛管外径, 但生产中多用导板(盘)间距来控制毛管外径。

(3) 导板间距

导板间距和轧辊间距之比值决定着轧件在变形中的椭圆度。椭圆度如同顶头前压缩量对穿孔过程有很大的影响，已在本书第四章中讨论过。

椭圆度系数 l/b 一般在1.05~1.15之间，穿轧合金钢时取小值，导盘穿孔机取小值。

已知椭圆度系数，则可求出导(盘)板间距。

(4) 前进角

76~100机组穿孔机，前进角多数不能调整，固定为 8° 。适当增大前进角利多弊少。前进角增加对提高穿孔速度和改善毛管质量均有好处。国外生产中常用的前进角一般都在 $10\sim13^\circ$ 。因此增加前进角是个方向，特别是使用导盘穿孔机更应采用大的前进角。不利点是穿孔负荷增加，如轧制压力、轴向力、扭矩和功率均增大。因而穿轧合金钢管和极厚壁毛管时受顶杆刚度限制，前进角不能过大。76机组受现有设备和动力条件限制，增大前进角是有困难的，但应是改造方向之一。

2. 自动轧管机

自动轧管机除按轧制表要求调整好孔型高度和使轧辊平行、孔型不错位外，无其他调整参数。顶头位置的调整以咬入和不轧卡为前提。一般轧制表中不列出顶头位置数据。

3. 均整机

(1) 轧辊间距

轧辊间距一般可按下式确定：

$$b_p = \delta_p + 2S_p$$

或

$$b_p = A + \xi_p$$

(2) 导板间距

一般取：

$$l_p = 2D_p \div b_p$$

因均整机的导板只起引导钢管和支持顶头的作用，一般没有控制外径的作用，故对导板间距大小的精度要求不很严。但为了

使钢管一般沿下导板移动(因两轧辊直径不相等,而压向下导板),应使轧制中心线比轧机中心线低5~10毫米。

(3) 顶头位置 y_p

y_p 值只要和轧辊相互位置适当即可。因为为了保证轧辊均匀磨损,在生产中根据工具使用和磨损情况,顶头位置要做适当地前后移动。

三、轧制表参数的校验

在计算轧制表时必须校验计算结果的实用性,除了校验计算值是否符合轧制表计算原则外,还应校验:

- 1) 各轧机延伸系数是否合适;
- 2) 各变形参数是否在允许的范围内;
- 3) 毛管和荒管外径是否合适

$$D_{\text{毛}} \leq B$$

$$D_p < B_k$$

式中 B 、 B_k ——分别为轧管机和定径机第一架孔型宽度。

四、可换部件的选择

1. 穿孔机

顶杆直径应小于顶头直径,其差值范围在2~12毫米(个别到1毫米)。

导板宽度应略小于轧辊间距。

推料头一般有几个长度规格,根据不同的管坯长度进行选择(有的轧机不能更换)。

入口导管内径应比管坯直径大15~20毫米,入口导管的作用是使管坯对准中心线和防止穿孔时管坯甩动过大(有的轧机没有)。

下导板垫:为保证在轧制过程中轧件对准轧制线,要用下导板垫来调整下导板的位置。

出口导槽内径应比毛管直径大20~30毫米,有的轧机没有。水冷顶头的连接杆直径一般等于顶杆直径。

2. 轧管机

顶杆直径应比第一道顶头直径小4~16毫米, 76机组为4~8毫米, 100机组为5~16毫米。

入口导槽内径应比孔型宽度大5~20毫米, 后台中间导管内径应比孔型宽度大30~40毫米。

3. 均整机

顶杆直径一般比顶头直径小4~15毫米。

导板垫厚度和下导板厚度之和应保证轧制中心线较轧机中心线低5~10毫米。

入口导管的内径应比荒管直径大20~30毫米。

出口导槽之内径应比均整后的管径大25~35毫米。

4. 无张力定减径机

入口导管内径应比来料直径大10~20毫米。

机架间中间导管内径应比管料直径大10~20毫米。

出口导管内径应比定减径后的管径大8~15毫米。

以上所列的可换部件尺寸是大致的数据, 各厂都有自己的可换部件尺寸规格, 应结合现厂实际进行选择。

五、现厂计算轧制表的方法和程序

根据成品管尺寸和技术条件, 现厂在下达轧制任务的同时, 也决定了定减径机和轧管机的孔型尺寸, 而且还规定了管坯尺寸, 因而现厂计算轧制表的方法和程序较为简单, 现列出某厂的一个实例如下。

该厂轧管机孔型系列如表6-5所示。

表 6-5 轧管机孔型系列, 毫米

钢管直径	70	75	76	83	89	102	108	114	121
轧槽高度, A	70	73	76	82	88(90)	100	106	112	118

这样,

$$\delta_{a1} = A - 2S_a = A - 2S_b$$

$$\delta_{a2} = \delta_{a1} - (1 \sim 2) \text{毫米}$$

$$d_a = \delta_{a2}$$

穿孔机毛管尺寸为:

$$d_0 = \delta_{a2} + (1 \sim 2) \text{毫米}$$

$$S_0 = S_a + A_a$$

$$D_0 = d_0 + 2S_0$$

并验算 D_0 是否小于或等于轧管机孔型宽度 B 和 $\mu_a < 2.2$, 以及验算 D_0 是否满足下式要求:

$$D_0 = \pm (5 \sim 10) \% d_a$$

穿孔机顶头直径按式

$$\delta_a = d_0 - K_a$$

确定, 并相应计算调整参数。

均整机的尺寸为:

$$D_p = A + K_p$$

$$\delta_p = \delta_{a2} + \xi_p$$

$$S_p = S_a = S_b$$

此时校验 D_p 要大于定径机最后一架的孔型高度, 而要小于定径机第一架的孔型宽度。

调整参数的计算方法同上。

我们已经指出, 轧制表是轧制工艺的基础, 而轧机调整是关键。虽然轧制表中规定的实际数据都是来自实际经验和正确的计算, 但很难说完全符合实际情况, 且情况是在不断变化的, 这就需要靠轧机调整来弥补不足, 因此工人的操作和调整经验是非常宝贵的。

各工厂的轧制表列于表6-6~11中, 可供设计轧制表时参考。

表 6-6 大连100机组碳钢和合金

成品管		管坯直径	穿 孔 机												
尺 寸			毛管尺寸			延伸系数	压下量		距 离		顶头直径	顶头压下量%	顶头位置	顶杆位置	顶杆直径
外径	壁厚		外径	内径	壁厚		%	绝对	轧辊	导板					
89	4	90	96	83	6.5	3.48	15.5	14	76	85	77	8	58	265	63
89	4.5	90	96	83	6.5	3.48	15.5	14	76	85	77	8	58	265	63
89	5	90	96	82	7	3.25	14.4	13	77	85	77	7.5	58	255	63
89	5.5	90	96	80	8	2.87	15.5	14	76	85	75	8	58	265	63
89	6	90	96	80	8	2.87	15.5	14	76	85	75	8	58	265	63
89	6.5	90	96	78	9	2.58	15.5	14	76	85	73	8	58	265	63
89	7	90	96	78	9	2.58	15.5	14	76	85	73	8	58	265	63
89	7.5	90	96	76	10	2.36	15.5	14	76	85	71	8	58	265	57
89	8	90	96	76	10	2.36	15.5	14	76	85	71	8	58	265	57
89	8.5	90	96	74	11	2.16	15.5	14	76	85	69	8	58	265	57
89	9	90	96	74	11	2.16	15.5	14	76	85	69	8	58	265	57
89	9.5	90	95	71	12	2.03	15.5	14	76	85	67	8	53	260	57
89	10	90	95	71	12	2.03	15.5	14	76	85	67	8	53	260	57
89	11	90	95	69	13	1.9	15.5	14	76	85	65	8	53	260	54
89	12	90	95	67	14	1.79	15.5	14	76	85	63	8	48	255	54
102	4	100	105	92	6.5	4.23	16	16	84	93	85	8.92	58	265	70
102	4.5	100	105	92	6.5	4.23	16	16	84	93	85	8.92	58	265	70
102	5	100	105	91	7	3.64	15	15	85	93	85	7.92	58	265	70
102	5.5	100	105	89	8	2.91	15	15	85	93	83	7.92	58	265	70
102	6	100	105	89	8	2.91	15	15	85	93	83	7.92	58	265	70
102	6.5	100	105	87	9	2.89	15	15	85	93	81	7.92	58	265	70
102	7	100	105	87	9	2.89	15	15	85	93	81	7.92	58	265	70

结构钢热轧钢管轧制表(单位:毫米)

轧 管 机							均 整 机						定(减)径机	
钢管尺寸			延伸系数	顶头直径		顶杆直径	钢管尺寸		距 离		顶头直径	顶杆直径	第一架轧辊孔型宽度	热状态钢管直径
孔型直径	内径	壁厚		1道	2道		外径	壁厚	轧辊	导板				
90	82	4	1.67	81	82	67	95	4	92	100	84	70	96	90.1
90	81	4.5	1.51	80	81	67	95	4.5	92	100	83	70	96	90.1
90	80	5	1.47	79	80	67	95	5	92	100	82	70	96	90.1
90	79	5.5	1.43	78	79	67	95	5.5	92	100	81	70	96	90.1
90	78	6	1.39	77	78	67	95	6	92	100	80	70	96	90.1
90	77	6.5	1.44	76	77	67	95	6.5	92	100	79	70	96	90.1
90	76	7	1.34	75	76	63	95	7	92	100	78	67	96	90.1
90	75	7.5	1.39	74	75	63	95	7.5	92	100	77	67	96	90.1
90	74	8	1.31	73	74	63	95	8	93	100	77	67	96	90.1
90	73	8.5	1.35	72	73	63	95	8.5	93	100	76	63	96	90.1
90	72	9	1.28	71	72	60	95	9	93	100	75	63	96	90.1
90	71	9.5	1.31	70	71	60	95	9.5	93	100	74	63	96	90.1
90	70	10	1.25	69	70	57	95	10	93	100	73	63	96	90.1
90	68	11	1.22	67	68	57	95	11	93	100	71	60	96	90.1
90	66	12	1.21	65	66	57	95	12	93	100	69	60	96	90.1
100	92	4	1.67	91	92	76	107	4	102	110	94	76	108.3	103.2
100	91	4.5	1.49	90	91	76	107	4.5	102	110	93	76	108.3	103.2
100	90	5	1.44	89	90	76	107	5	102	110	92	76	108.3	103.2
100	89	5.5	1.49	88	89	76	107	5.5	102	110	91	76	108.3	103.2
100	88	6	1.37	87	88	76	107	6	102	110	90	76	108.3	103.2
100	87	6.5	1.42	86	87	76	107	6.5	102	110	89	76	108.3	103.2
100	86	7	1.33	85	86	76	107	7	102	110	88	76	108.3	103.2

成品管		管坯直径	穿 孔 机												
尺 寸			毛管尺寸			延伸系数	压下量		距 离		顶头直径	顶头压下量 %	顶头位置	顶杆位置	顶杆直径
外径	壁厚		外径	内径	壁厚		%	绝对	轧辊	导板					
102	7.5	100	105	85	10	2.63	15	15	85	93	79	7.92	58	265	70
102	8	100	105	85	10	2.63	15	15	85	93	79	7.92	58	265	70
102	8.5	100	105	83	11	2.42	15	15	85	93	77	7.92	58	260	63
102	9	100	105	83	11	2.42	15	15	85	93	77	7.92	58	260	63
102	9.5	100	105	81	12	2.24	15	15	85	93	75	8.55	53	260	63
102	10	100	105	81	12	2.24	15	15	85	93	75	8.55	53	260	63
102	11	100	104	78	13	2.12	15	15	85	93	73	8.55	53	260	60
102	12	100	104	76	14	1.98	15	15	85	93	71	8.55	53	260	60
108	4	110	115	102	6.5	4.25	14.5	16	94	104	95	7.55	63	270	83
108	4.5	110	115	102	6.5	4.25	14.5	16	94	104	95	7.55	63	270	83
108	5	110	115	101	7	3.98	13.7	15	95	104	95	6.65	63	270	83
108	5.5	110	114	98	8	3.55	13.7	15	95	104	93	6.65	63	270	83
108	6	110	114	98	8	3.55	13.7	15	95	104	93	6.65	63	270	83
108	6.5	110	114	95	9	3.18	13.7	15	95	104	91	6.65	63	270	83
108	7	110	114	96	9	3.18	13.7	15	95	104	91	6.65	63	270	83
108	7.5	110	114	94	10	2.9	13.7	15	95	104	89	6.65	63	270	83
108	8	110	114	94	10	2.9	13.7	15	95	104	89	6.65	63	270	76
108	8.5	110	114	92	11	2.66	13.7	15	95	103	87	6.65	58	265	76
108	9	110	114	92	11	2.66	13.7	15	95	103	87	6.65	58	265	76
108	9.5	110	113	89	12	2.48	13.7	15	95	103	85	6.65	58	265	76
108	10	110	113	89	12	2.48	13.7	15	95	103	85	6.65	58	265	76
108	11	110	113	87	13	2.32	13.7	15	95	103	83	6.65	58	265	70
108	12	110	113	85	14	2.18	13.7	15	95	103	81	6.65	58	265	70

续表6-6

轧 管 机							均 整 机						定 (减) 径机	
钢管尺寸			延伸系数	顶头直径		顶杆直径	钢管尺寸		距 离		顶头直径	顶杆直径	第一架轧辊孔型宽度	热状态钢管直径
孔型直径	内径	壁厚		1道	2道		外径	壁厚	轧辊	导板				
100	85	7.5	1.26	84	85	76	107	7.5	102	110	87	76	108.3	103.2
100	84	8	1.29	83	84	70	107	8	103	110	87	76	108.3	103.2
100	83	8.5	1.33	82	83	70	107	8.5	103	110	86	76	108.3	103.2
100	82	9	1.26	81	82	70	107	9	103	110	85	76	108.3	103.2
100	81	9.5	1.30	80	81	70	107	9.5	103	110	84	70	108.3	103.2
100	80	10	1.24	79	80	70	107	10	103	110	83	70	108.3	103.2
100	78	11	1.21	77	78	67	107	11	103	110	81	70	108.3	103.2
100	76	12	1.19	75	76	67	107	12	103	110	79	70	108.3	103.2
107	99	4	1.71	98	99		115	4	109	120	101	83	118.1	109.4
107	98	4.5	1.53	97	98		115	4.5	109	120	100	83	118.1	109.4
107	97	5	1.48	96	97		115	5	109	120	99	83	118.1	109.4
107	96	5.5	1.52	95	96		115	5.5	109	120	98	83	118.1	109.4
107	95	6	1.40	94	95		115	6	109	120	97	83	118.1	109.4
107	94	6.5	1.44	93	94		115	6.5	109	120	96	83	118.1	109.4
107	93	7	1.35	92	93		115	7	109	120	95	83	118.1	109.4
107	92	7.5	1.39	91	92		115	7.5	109	120	94	83	118.1	109.4
107	91	8	1.31	90	91	83	115	8	110	120	94	83	118.1	109.4
107	90	8.5	1.35	89	90	76	115	8.5	110	120	93	83	118.1	109.4
107	89	9	1.28	88	89	76	115	9	110	120	92	83	118.1	109.4
107	88	9.5	1.31	87	88	76	115	9.5	110	120	91	76	118.1	109.4
107	87	10	1.25	86	87	76	115	10	110	120	90	76	118.1	109.4
107	85	11	1.23	84	85	76	115	11	110	120	88	76	118.1	109.4
107	83	12	1.22	82	83	70	115	12	110	120	86	76	118.1	109.4

表 6-7 大连100机组不锈钢和膨胀合金热轧毛管冷拔料轧制表(单位:毫米)

成品管尺寸			管坯直径		穿孔机										轧管机							
外径	壁厚	毛管尺寸		延伸系数	压下量		距离		顶头直径	顶头压下量	顶头位置	顶杆位置	顶杆直径	钢管尺寸		延伸系数	顶头直径					
		外径	内径		壁厚	%	绝对	对轧辊导板						孔型直径	内径		壁厚	1道	2道	3道		
75	4	75	81	68	6.5	2.90	17.3	13	62	70	63	8.9	53	260	54	75	67	4	1.7	66	67	57
75	4.5	75	81	68	6.5	2.90	17.3	13	62	70	63	8.9	53	260	54	75	66	4.5	1.53	65	66	57
75	5	75	81	67	7	2.72	16	12	63	69	63	7.4	53	260	54	75	65	5	1.48	64	65	54
75	6	75	81	65	8	2.41	16	12	63	69	63	7.4	53	260	54	75	63	6	1.41	62	63	51
75	7	75	81	63	9	2.17	16	12	63	69	59	7.4	53	260	54	75	61	7	1.36	60	61	51
80	4	80	85	72	6.5	3.14	17.5	14	66	74	67	9.45	53	260	63	80	72	4	1.68	71	72	60
80	4.5	80	85	72	6.5	3.14	17.5	14	66	74	67	9.45	53	260	63	80	71	4.5	1.50	70	71	60
80	5	80	85	71	7	2.94	15.3	13	67	74	67	9.45	53	260	60	80	70	5	1.46	69	70	60
80	6	80	85	69	8	2.60	16.3	13	67	74	63	9.45	53	260	60	80	68	6	1.38	67	68	57
80	7	80	85	67	9	2.34	16.3	13	67	74	61	9.45	53	260	57	80	66	7	1.34	65	66	57
80	8	80	85	65	10	2.13	16.3	13	67	73	61	8.2	53	260	57	80	64	8	1.31	63	64	54
80	9	80	85	63	11	1.96	16.3	13	67	73	59	8.2	53	260	54	80	62	9	1.28	61	62	51
80	10	80	85	61	12	1.83	16.3	13	67	73	57	8.2	53	260	54	80	60	10	1.25	59	60	51

续表 6-7

成品管			穿孔机										轧管机										
尺寸	管坯直径		毛管尺寸		延伸系数	压下量		距离		顶头直径	顶头压下量 %	顶头位置	顶杆位置	顶杆直径	钢管尺寸			延伸系数	顶头直径				
	外径	壁厚	外径	内径		壁厚	%	绝对	轧辊导板						孔型直径	内径	壁厚		1道	2道	3道		
90	90	5	95	81	7	3.28	15.6	14	76	84	77	7.7	58	265	70	90	80	5	1.45	79	80	80	70
90	90	6	95	79	8	2.91	15.6	14	76	84	75	7.7	58	265	70	90	78	6	1.38	77	78	78	67
90	90	7	95	77	9	2.61	15.6	14	76	84	73	7.7	58	265	70	90	76	7	1.33	75	76	76	67
90	90	8	95	75	10	2.38	14.5	13	77	84	71	6.0	63	270	67	90	74	8	1.30	73	74	74	63
90	90	9	95	73	11	2.20	14.5	13	77	84	69	6.0	63	270	67	90	72	9	1.27	71	72	72	63
90	90	10	95	71	12	2.01	14.5	13	77	84	67	6.0	63	270	63	90	70	10	1.24	69	70	70	60
90	90	11	95	69	13	1.91	14.5	13	77	84	65	6.0	63	270	63	90	68	11	1.23	67	68	68	57
90	90	12	95	67	14	1.79	14.5	13	77	84	63	6.0	63	270	60	90	66	12	1.11	65	66	66	57

注：1.穿孔时用钼基合金顶头；2.穿孔 $\phi 90$ 毫米以上碳钢和合金结构钢荒管（冷拔料）时，轧制表同表6-6。

表 6-8 烟台100机组

品 种	管 坯 直 径	穿 孔				
		外 径	壁 厚	辊间距	导板间距	顶头直径
冷 拔 料	80	88	5	68	84	66
	80	87	6	69	85	67
	80	87	6.5	69	84~85	66~67
	80	87	7	68~69	84~85	66~67
	80	87	7.5	68~69	84~85	65~66
	80	87	8	68~69	84~85	65~66
	80	87	10	68~70	84~85	50~51
热 轧 管	90	90	6	74~75	88~89	71~72
	90	90	7	74~75	88~89	69~70
	90	90	12	76~77	88~89	59~60
	90	90	16	76.5~77.5	88~89	53~54
	90	94	5.5	77~78	92~93	76~77
	90	94	6	77~78	92~93	75~76
	90	94	12	76~77	92~93	63~64
	90	94	16	77~78	92~93	56~57
	110	110	5.5	95~96	108~109	91~92
	110	110	6	95~96	108~109	90~91
	110	110	12	95~96	108~109	79~80
	110	110	15	96~97	108~109	73~74
	110	114	5.5	97~98	112~113	94~95
	110	114	6.5	97~98	112~113	93~94
	110	114	8	97~98	112~113	90~91
	110	114	12	97~98	112~113	83~84
	110	114	15	97~98	112~113	77~78
冷 拔 料	75	75	5	62~63	72~73	59~60
	75	75	5.5	62~63	72~73	59~60
	75	76	7	62~63	72~73	56~57
	75	76	8	63~64	72~73	54~55
	75	79	5.5	63~64	75~76	60~61
	75	79	8	63~64	75~76	57~58
	75	79	10	63~64	76~77	54~55

轧制表(单位:毫米)

机				轧 管 · 机			
顶头 伸出量	扩径量	延伸系数	顶杆直径	外 径	壁 厚	孔 型	
						高 度	宽 度
45~55	7~9	3.95	60	83	3.5	83	87
40~50	8~9	3.28	60	83	4	83	87
34~45	7~9	3.95	60	83	4.5	83	87
45~55	7~8	2.85	60	83	5	83	87
40~50	6~7	2.68	60	83	5.5	83	87
35~45	5~6	2.52	60	83	6	83	87
35~40	3~4	1.4	48	83	14	83	87
	6~9	4.03	68	85	4	85	89
	6~7	3.5	64	85	5	85	89
	6~7	2.16	54	85	10.1	85	89
	4~5	1.72	51	85	14.1	85	89
	5~6	4.20	68	90	3.5	90	95.4
	6~7	3.9	68	90	4.1	90	95.4
	6~7	2.08	57	90	10.1	90	95.4
	5~6	1.62	54	91	14.1	90	95.4
	7~8	5.29	80	105	3.5		
	7~8	4.84	80	105	4.1		
	5~6	2.55	75	105	10.1		
	5~6	2.1	68	105	13.1		
	8~9	5.03	80	110	3.6	110	116.6
	6~7	4.37	80	110	4.6	110	116.6
	7~8	3.54	80	110	8.1	110	116.6
	6~7	2.47	75	111	10.1	110	116.6
	6~7	2.01	68	110	13.1	110	116.6
50~55	5~6	4	57	72	3.5	72	76
50~55	4~5	3.88	57	72	4	72	76
40~50	5~6	2.92	54	72	5	72	76
40~50	5~6	2.58	51~54	72	6	72	76
50~55	7~8	3.5	57	75	4	76	79
40~45	5~6	2.47	57	75	6	76	79
40~45	4~5	2.04	51	75	8	76	79

品 种	轧 管 机					均		
	顶 头 直 径			顶杆 直径	延伸系数	外 径	壁 厚	辊间距
	1道	2道	3道					
冷 拔 料	75	75.5	76	64	1.54			
	74	74.5	75	64	1.46			
	73	73.5	74	64	1.44			
	72	72.5	73	64	1.40			
	71	71.5	72	64	1.37			
	70	70.5	71	64				
	54	54.5	55	48	1.17			
热 轧 管	76	76.5	77	68	1.52	89	3.9	78~80
	74	74.5	75	64	1.42	89	4.9	79~80
	64	64.5	65	57	1.24	88	10	81~82
	56	56.5	57	51	1.18	88	14	82~83
	82	82.5	83	75	1.59	95	3.4	85~86
	81	81.5	82	75	1.47	95	3.9	86~87
	70	70.5	71	60	1.19	95	9.9	85~86
	62	62.5	63	57	1.17	93	14	86~89
	97	97.5	98	85	1.65	109	3.4	99~100
	96	96.5	97	85	1.5	109	4	99~100
	84	84.5	85	75	1.24	107	10	99~100
	78	78.5	79	68	1.19	107	13	99~100
	102	102.5	103	90	1.55	115	3.5	104~105
	100	100.5	101	90	1.42	115	4.5	103~104
	97	97.5	98	90	1.35	115	5.9	103~104
	90	90.5	91	75	1.21	112	9.9	104~105
	83	83.5	84	75	1.17	112	13	104~105
冷 拔 料	64	64.5	65	57	1.45			
	63	63.5	64	57	1.40			
	61	61.5	62	54	1.44			
	59	59.5	60	51~54	1.37			
	66	66.5	67	57	1.44			
	62	62.5	63	54	1.37			
	58	58.5	59	54	1.29			

续表 6-8

整 机						定 径 机		
导板间距	顶头直径	顶头伸出量	扩径量	顶杆 直径	延伸 系数	外径	壁厚	终轧温度 ℃
						83	4	850~750
						83	5	850~750
						83	14	850
91~92	77~78	40~50	4~5	68	0.99	83	4	850~750
91~92	75~76	40~50	4~5	68	0.98	82	5	
89~90	64~65	30~40	3~4	60	0.97	83	10	
89~90	56~57	35~40	2~3	51	0.97	83	14	
97~98	83~84	50~60	5~6	75	0.98	89	3.5	
97~98	71~72	35~40	4~5	60	0.97	89	4	
97~98	71~72	35~40	4~5	60	0.97	89	10	
94~95	61~62	35~40	2~3	57		89	14	
110~111	98~99	45~55	4~5	90		102	3.5	
110~111	—	—	—	—		102	4	
110~111	84~85	40~50	—	—		102	10	
109~110	77~78	35~40	2~3	68		102	13	
116~117	103~104	50~55	5~6	90		108	3.5	
116~117	100~101	50~55	5~6	90		108	4.5	
116~117	97~98	40~45	5~6	90		108	6	
113~114	89~90	35~40	2~3	80		108	10	
113~114	82~83	35~40	2~3	70		—	—	

表 6-9 114机组热轧钢

成 品 规 格	管 坯 直 径	穿 孔 机															
		毛管尺寸			延 伸 系 数	压 下 量		距 离		顶 头 直 径	顶 头 压 下 量 %	顶 头 位 置	顶 杆 位 置	顶 杆 直 径	导 板 宽 度	导 板 垫 厚	
		外 径	内 径	壁 厚		%	绝 对	轧 辊	导 板								
83×5	100	106	90	8	3.09	15	15	85	100	81	7.68	60	72	76	84	30	
83×5.5	100	106	89	8.5	2.92	15	15	85	100	80	7.68	60	72	76	84	30	
83×6	100	106	88	9	2.78	15	15	85	100	79	7.68	60	72	76	84	30	
83×6.5	100	106	88	9	2.78	15	15	85	100	79	7.68	60	72	76	84	30	
83×7	100	106	87	9.5	2.64	15	15	85	100	78	8.66	52	72	76	84	30	
83×7.5	100	106	86	10	2.53	15	15	85	100	77	8.66	52	72	76	84	30	
83×8	110	109	87	11	2.72	14.5	16	94	105	80	4.18	92	104	76	92	28	
83×8.5	110	109	86	11.5	2.61	14.5	16	94	105	79	4.18	92	104	76	92	28	
83×9	110	109	85	12	2.52	14.5	16	94	105	78	5.18	84	104	73	92	28	
83×9.5	110	109	84	12.5	2.44	14.5	16	94	105	77	5.18	84	104	73	92	28	
83×10	110	109	83	13	2.35	14.5	16	94	105	76	5.18	84	104	73	92	28	
83×11	110	109	82	13.5	2.27	14.5	16	94	105	75	5.18	84	104	73	92	28	
83×12	110	109	80	14.5	2.14	14.5	16	94	105	73	5.18	84	104	67	92	28	
83×13	110	109	78	15.5	2.02	14.5	16	94	105	71	6.08	76	104	67	92	28	
83×14	110	109	76	16.5	1.92	14.5	16	94	105	69	6.08	76	104	67	92	28	
83×15	110	109	74	17.5	1.83	14.5	16	94	105	67	6.08	76	104	63	92	28	
83×16	110	109	72	18.5	1.75	14.5	16	94	105	65	7.0	68	104	63	92	28	
83×17	110	109	70	19.5	1.68	14.5	16	94	105	63	7.0	68	104	60	92	28	
83×18	110	109	68	20.5	1.61	14.5	16	94	105	61	7.0	68	104	60	92	28	
83×19	110	109	66	21.5	1.56	14.5	16	94	105	59	7.9	60	104	57	92	28	
83×20	110	109	64	22.5	1.51	14.5	16	94	105	57	7.9	60	104	51	92	28	
89×5	100	106	90	8.0	3.09	15	15	85	100	81	7.68	60	72	76	84	30	
89×5.5	100	106	89	8.5	2.92	15	15	85	100	80	7.68	60	72	76	84	30	
89×6	100	106	88	9	2.78	15	15	85	100	79	7.68	60	72	76	84	30	

管轧制表(单位:毫米)

轧管机							均整机								总 延 伸 系 数
钢管尺寸			延 伸 系 数	顶头直径		顶 杆 直 径	钢管尺寸			距 离		顶 头 直 径	顶 杆 直 径	导 板 宽 度	
轧 槽 高	内 径	壁 厚		1	2		外 径	内 径	壁 厚	轧 辊	导 板				
				道	道										
100	91	4.5	5.62	89	91	76	107	98	4.5	102	112	93	83	104	6.22
100	90.2	4.9	5.19	88	90	76	107	97.2	4.9	102	112	92	83	104	5.69
100	89.2	5.4	4.75	87	89	76	107	96.2	5.4	102	112	91	83	104	5.25
100	88.4	5.8	4.22	86	88	76	107	95.4	5.8	102	112	90	83	104	4.88
100	87.4	6.3	3.92	85	87	76	107	94.4	6.3	102	112	89	83	104	4.56
100	86.6	6.7	3.87	84	87	76	107	93.6	6.7	102	112	89	83	104	4.28
102	87.6	7.2	4.30	85	88	76	107	92.6	7.2	105	109	91	76	104	4.89
102	86.8	7.6	4.07	84	87	76	107	91.8	7.6	105	109	90	76	104	4.63
102	85.8	8.1	3.86	83	86	76	107	90.8	8.1	105	109	89	76	104	4.40
102	85	8.5	3.71	82	85	73	107	90	8.5	105	109	88	76	104	4.20
102	84	9	3.5	81	84	73	107	89	9.0	105	109	87	76	104	4.02
102	82.2	9.9	3.2	80	82	70	107	87.2	9.9	105	109	85	76	104	3.70
102	80.4	10.8	2.97	78	80	70	107	85.4	10.8	105	109	83	73	104	3.44
102	78.6	11.7	2.77	76	79	67	107	83.6	11.7	105	109	82	73	104	3.22
102	76.8	12.6	2.59	74	77	67	107	81.8	12.6	105	109	80	70	104	3.04
102	75	13.5	2.45	72	75	63	107	80	13.5	105	108	78	70	104	2.88
102	73	14.5	2.31	70	73	63	106	77	14.5	105	107	76	63	104	2.74
102	71	15.5	2.18	68	71	60	106	75	15.5	105	107	74	63	104	2.64
102	69	16.5	2.08	66	69	60	106	73	16.5	105	107	72	60	104	2.51
102	67	17.5	1.98	64	67	54	106	71	17.5	105	107	70	60	104	2.41
102	65	18.5	1.90	62	65	54	106	69	18.5	105	107	68	57	104	2.33
100	90.8	4.6	5.53	89	91	76	107	97.8	4.6	102	112	93	83	104	5.77
100	89.8	5.1	4.99	88	90	76	107	96.8	5.1	102	112	92	83	104	5.28
100	89	5.5	4.67	87	89	76	107	96	5.5	102	112	91	83	104	4.87

成 品 规 格	管 坯 直 径	穿 孔 机															
		毛管尺寸			延 伸 系 数	压 下 量		距 离		顶 头 直 径	顶 头 前 下 量 %	顶 头 位 置	顶 杆 位 置	顶 杆 直 径	导 板 宽 度	导 板 厚 度	
		外 径	内 径	壁 厚		%	绝 对	轧 辊	导 板								
89×6.5	100	106	87	9.5	2.64	15	15	85	100	78	8.66	52	72	76	84	30	
89×7	100	106	86	10	2.53	15	15	85	100	77	8.66	52	72	76	84	30	
89×7.5	100	106	85	10.5	2.42	15	15	85	100	76	8.66	52	72	73	84	30	
89×8	110	109	86	11.5	2.61	14.5	16	94	105	79	4.18	92	104	73	92	28	
89×8.5	110	109	85	12	2.52	14.5	16	94	105	78	5.18	84	104	73	92	28	
89×9	110	109	85	12	2.52	14.5	16	94	105	78	5.18	84	104	73	92	28	
89×9.5	110	109	84	12.5	2.44	14.5	16	94	105	77	5.18	84	104	73	92	28	
89×10	110	109	83	13	2.35	14.5	16	94	105	76	5.18	84	104	73	92	28	
89×11	110	109	81	14	2.21	14.5	16	94	105	74	5.18	84	104	70	92	28	
89×12	110	109	79	15	2.08	14.5	16	94	105	72	6.08	76	104	70	92	28	
89×13	110	109	77	16	1.97	14.5	16	94	105	70	6.08	76	104	67	92	28	
89×14	110	109	75	17	1.87	14.5	16	94	105	68	6.08	76	104	67	92	28	
89×15	110	109	73	18	1.79	14.5	16	94	105	66	7.0	68	104	63	92	28	
89×16	110	109	71	19	1.71	14.5	16	94	105	64	7.0	68	104	63	92	28	
89×17	110	109	69	20	1.65	14.5	16	94	105	62	7.0	68	104	60	92	28	
89×18	110	109	67	21	1.59	14.5	16	94	105	61	7.0	68	104	57	92	28	
89×19	110	109	65	22	1.53	14.5	16	94	105	59	7.9	60	104	57	92	28	
89×20	110	109	63	23	1.48	14.5	16	94	105	57	7.9	60	104	51	92	28	
95×4	100	106	91	7.5	3.28	15	15	85	100	82	7.68	60	72	76	84	30	
95×4.5	100	106	90	8	3.09	15	15	85	100	81	7.68	60	72	76	84	30	
95×5	100	106	89	8.5	2.92	15	15	85	100	80	7.68	60	72	76	84	30	
95×5.5	100	106	88	9	2.78	15	15	85	100	79	7.68	60	72	76	84	30	
95×6	100	106	87	9.5	2.64	15	15	85	100	78	8.66	52	72	73	84	30	
95×6.5	100	106	86	10	2.53	15	15	85	100	77	8.66	52	72	73	84	30	

续表6-9

轧 管 机							均 整 机								总 延 伸 系 数
钢管尺寸			延 伸 系 数	顶头直径		顶 杆 直 径	钢管尺寸			距 离		顶 头 直 径	顶 杆 直 径	导 板 宽 度	
轧 槽 高	内 径	壁 厚		1 道	2 道		外 径	内 径	壁 厚	轧 辊	导 板				
100	88	6	4.28	86	88	76	107	95	6	102	112	90	83	104	4.52
100	87	6.5	4.0	85	87	76	107	94	6.5	102	112	89	83	104	4.22
100	86.2	6.9	3.78	83	86	76	107	93.2	6.9	102	112	88	83	104	3.97
102	87.2	7.4	4.18	84	87	76	107	92.2	7.4	105	109	90	76	104	4.53
102	86.2	7.9	3.96	83	86	76	107	91.2	7.9	105	109	89	76	104	4.28
102	85.4	8.3	3.78	83	85	76	107	90.4	8.3	105	109	88	76	104	4.19
102	84.4	8.8	3.59	82	84	73	107	89.4	8.8	105	109	87	76	104	3.88
102	83.6	9.2	3.43	81	84	73	107	88.8	9.2	105	109	87	76	104	3.71
102	81.6	10.2	3.14	79	82	70	107	86.6	10.2	105	109	85	76	104	3.42
102	79.8	11.1	2.91	77	80	70	107	84.8	11.1	105	109	83	73	104	3.18
102	78	12	2.70	75	78	67	107	83	12	105	109	81	73	104	2.97
102	76	13	2.47	73	76	67	107	81	13	105	109	79	70	104	2.79
102	74	14	2.36	71	74	60	107	79	14	105	109	77	70	104	2.64
102	72	15	2.24	69	72	60	106	76	15	105	107	75	63	104	2.51
102	70	16	2.13	67	70	60	106	74	16	105	107	73	63	104	2.40
102	68	17	2.04	65	68	54	106	72	17	105	107	71	60	104	2.30
102	66	18	1.93	63	66	54	106	70	18	105	107	69	60	104	2.20
102	64	19	1.85	61	64	54	106	68	19	105	107	67	57	104	2.13
100	92	4	6.32	90	92	76	107	99	4	102	112	94	83	104	6.65
100	91	4.5	5.64	89	91	76	107	98	4.5	102	112	93	83	104	5.95
100	90	5	5.11	88	90	76	107	97	5	102	112	92	83	104	5.40
100	89	5.5	4.66	87	89	76	107	96	5.5	102	112	91	83	104	4.93
100	88	6	4.29	86	88	76	107	95	6	102	112	90	83	104	4.53
100	87	6.5	4	84	87	76	107	94	6.5	102	112	89	83	104	4.22

成 品 规 格	管 坯 直 径	穿 孔 机														
		毛管尺寸			延 伸 系 数	压 下 量		距 离		顶 头 直 径	顶 头 前 压 下 %	顶 头 位 置	顶 杆 位 置	顶 杆 直 径	导 板 宽 度	导 板 垫 厚
		外 径	内 径	壁 厚		%	绝 对	轧 辊	导 板							
95×7	100	106	85	10.5	2.42	15	15	85	100	76	8.66	52	72	73	84	30
95×7.5	100	106	84	11	2.32	15	15	85	100	75	8.66	52	72	73	84	30
95×8	110	109	85	12	2.52	14.5	16	94	105	78	5.18	84	104	73	92	28
95×8.5	110	109	84	12.5	2.44	14.5	16	94	105	77	5.18	84	104	73	92	28
95×9	110	109	83	13	2.35	14.5	16	94	105	76	5.18	84	104	73	92	28
95×9.5	110	109	82	13.5	2.27	14.5	16	94	105	75	5.18	84	104	73	92	28
95×10	110	109	81	14	2.21	14.5	16	94	105	74	5.18	84	104	70	92	28
95×11	110	109	79	15	2.08	14.5	16	94	105	72	6.08	76	104	70	92	28
95×12	110	109	77	16	1.97	14.5	16	94	105	70	6.08	76	104	67	92	28
95×13	110	109	75	17	1.87	14.5	16	94	105	68	6.08	76	104	67	92	28
95×14	110	109	73	18	1.79	14.5	16	94	105	66	7.0	68	104	63	92	28
95×15	110	109	71	19	1.71	14.5	16	94	105	64	7.0	68	104	63	92	28
95×16	110	109	69	20	1.65	14.5	16	94	105	62	7.0	68	104	60	92	28
95×17	110	109	67	21	1.59	14.5	16	94	105	61	7.0	68	104	57	92	28
95×18	110	109	65	22	1.53	14.5	16	94	105	59	7.9	60	104	57	92	28
95×19	110	109	63	23	1.48	14.5	16	94	105	57	7.9	60	104	51	92	28
95×20	110	109	61	24	1.44	14.5	16	94	105	55	7.9	60	104	51	92	28
102×4 ^①	100	106	91	7.5	3.28	15	15	85	100	82	7.68	60	72	76	84	30
102×4.5	100	106	90	8	3.09	15	15	85	100	81	7.68	60	72	76	84	30
102×5	100	106	89	8.5	2.29	15	15	85	100	80	7.68	60	72	76	84	30
102×5.5	100	106	88	9.0	2.78	15	15	85	100	79	7.68	60	72	76	84	30
102×6	100	106	87	9.5	2.64	15	15	85	100	78	8.66	52	72	73	84	30
102×6.5	100	106	86	10	2.53	15	15	85	100	77	8.66	52	72	73	84	30
102×7	100	106	85	10.5	2.42	15	15	85	100	76	8.66	52	72	73	84	30

续表6-9

轧管机							均整机								总 延 伸 系 数
钢管尺寸			延 伸 系 数	顶头直径		顶 杆 直 径	钢管尺寸			距 离		顶 头 直 径	顶 杆 直 径	导 板 宽 度	
轧 槽 高	内 径	壁 厚		1 道	2 道		外 径	内 径	壁 厚	轧 棍	导 板				
100	86	7	3.72	83	86	73	107	93	7	102	112	88	76	104	3.94
100	85	7.5	3.5	82	85	73	107	92	7.5	102	112	87	76	104	3.70
102	86	8	3.92	83	86	73	107	91	8	105	109	89	76	104	4.21
102	85	8.5	3.68	82	85	73	107	90	8.5	105	109	88	76	104	3.98
102	84	9	3.50	81	84	73	107	89	9	105	109	87	76	104	3.78
102	83	9.5	3.34	80	83	73	107	88	9.5	105	109	86	76	104	3.60
102	82	10	3.14	79	82	70	107	87	10	105	109	85	76	104	3.44
102	80	11	2.93	77	80	70	107	85	11	105	109	83	73	104	3.16
102	78	12	2.72	75	78	67	107	83	12	105	109	81	73	104	2.94
102	76	13	2.52	73	76	67	107	81	13	105	109	79	70	104	2.74
102	74	14	2.35	71	74	63	107	79	14	105	109	77	70	104	2.58
102	72	15	2.24	69	72	63	107	77	15	105	109	75	63	104	2.44
102	70	16	2.13	67	70	60	106	74	16	105	107	73	63	104	2.32
102	68	17	2.05	65	68	60	106	72	17	105	107	71	60	104	2.20
102	66	18	1.94	63	66	54	106	70	18	105	107	69	60	104	2.12
102	64	19	1.85	61	64	54	106	68	19	105	107	67	60	104	2.03
102	62	20	1.79	59	62	51	106	66	20	105	107	67	60	104	1.45
100	92	4	6.32	90	92	76	107	99	4	102	112	94	83	104	6.18
100	91	4.5	5.64	89	91	76	107	98	4.5	102	112	93	83	104	6.53
100	90	5	5.11	88	90	76	107	97	5	102	112	92	83	104	6.0
100	89	5.5	4.68	87	89	76	107	96	5.5	102	112	91	83	104	4.57
100	88	6	4.29	86	88	76	107	95	6	102	112	90	83	104	4.20
100	87	6.5	4.0	84	87	76	107	94	6.5	102	112	89	83	104	3.90
100	86	7.0	3.72	83	86	76	107	93	7	102	112	88	76	104	3.64

成 品 规 格	管 场 直 径	穿 管 机														
		毛管尺寸			延 伸 系 数	压 下 量		距 离		顶 头 直 径	顶 头 前 压 下 %	顶 头 位 置	顶 杆 位 置	顶 杆 直 径	导 板 宽 度	导 板 垫 厚
		外 径	内 径	壁 厚		%	绝 对	轧 辊	导 板							
102×7.5	100	106	84	11	2.32	15	15	85	100	75	8.66	52	72	73	84	30
102×8	110	109	85	12	2.52	14.5	16	94	105	78	5.18	84	104	73	92	28
102×8.5	110	109	84	12.5	2.44	14.5	16	94	105	77	5.18	84	104	73	92	28
102×9.0	110	109	83	13	2.35	14.5	16	94	105	76	5.18	84	104	73	92	28
102×9.5	110	109	82	13.5	2.27	14.5	16	94	105	75	5.18	84	104	73	92	28
102×10	110	109	81	14	2.21	14.5	16	94	105	74	5.18	84	104	70	92	28
102×11	110	109	79	15	2.08	14.5	16	94	105	72	6.08	76	104	70	92	28
102×12	110	109	77	16	1.97	14.5	16	94	105	70	6.08	76	104	67	92	28
102×13	110	109	75	17	1.87	14.5	16	94	105	68	6.08	76	104	67	92	28
102×14	110	109	73	18	1.79	14.5	16	94	105	66	7.0	68	104	63	92	28
102×15	110	109	71	19	1.71	14.5	16	94	105	64	7.0	68	104	63	92	28
102×16	110	109	69	20	1.65	14.5	16	94	105	62	7.0	68	104	60	92	28
102×17	110	109	67	21	1.59	14.5	16	94	105	61	7.0	68	104	57	92	28
102×18	110	109	65	22	1.53	14.5	16	94	105	59	7.9	60	104	57	92	28
102×19	110	109	63	23	1.48	14.5	16	94	105	57	7.9	60	104	51	92	28
102×20	110	109	61	24	1.44	14.5	16	94	105	55	7.9	60	104	51	92	28
76×5	100	106	91	7.5	3.28	15	15	85	100	82	7.68	60	72	76	84	30
76×5.5	100	106	90	8	3.09	15	15	85	100	81	7.68	60	72	76	84	30
76×6	100	106	89	8.5	2.92	15	15	85	100	80	7.68	60	72	76	84	30
76×6.5	100	106	88	9	2.78	15	15	85	100	79	7.68	60	72	76	84	30
76×7	100	106	87	9.5	2.64	15	15	85	100	78	8.66	52	72	76	84	30
76×7.5	100	106	86	10	2.53	15	15	85	100	77	8.66	52	72	76	84	30
76×8	110	109	88	10.5	2.84	14.5	16	94	105	81	4.18	92	104	76	92	28
76×8.5	110	109	87	11	2.72	14.5	16	94	105	80	4.18	92	104	76	92	28

表6-9

轧管机							均整机								总延伸系数
钢管尺寸			延伸系数	顶头直径		顶杆直径	钢管尺寸			距 离		顶头直径	顶杆直径	导板宽度	
轧槽高	内 径	壁 厚		1道	2道		外 径	内 径	壁 厚	轧 辊	导 板				
100	85	7.5	3.5	82	85	73	107	92	7.5	102	112	87	76	104	3.42
102	86	8	3.92	83	86	73	107	91	8	106	109	89	76	104	3.92
102	85	8.5	3.68	82	85	73	107	90	8.5	105	109	88	76	104	3.68
102	84	9.0	3.5	81	84	73	107	89	9	105	109	87	76	104	3.50
102	83	9.5	3.34	80	83	73	107	88	9.5	105	109	86	76	104	3.34
102	82	10	3.14	79	82	70	107	87	10	105	109	85	76	104	3.14
102	80	11	2.93	77	80	70	107	85	11	105	109	83	73	104	2.93
102	78	12	2.72	75	78	67	107	83	12	105	109	81	73	104	2.72
102	76	13	2.52	73	76	67	107	81	13	105	109	79	70	104	2.52
102	74	14	2.35	71	74	63	107	78	14	105	109	77	70	104	2.35
102	72	15	2.24	69	72	63	107	77	15	105	109	75	63	104	2.24
102	70	16	2.13	67	70	60	106	74	16	105	107	73	63	104	2.13
102	68	17	2.05	65	68	60	106	72	17	105	107	71	60	104	2.05
102	66	18	1.94	63	66	54	106	70	18	105	107	69	60	104	1.94
102	64	19	1.85	61	64	54	106	68	19	105	107	61	57	104	1.85
102	62	20	1.79	59	62	51	106	66	20	105	107	65	57	104	1.79
100	91.4	4.3	5.87	89	91	76	107	98.4	4.3	102	112	93	83	104	6.83
100	90.4	4.8	5.31	88	90	76	107	97.4	4.8	102	112	92	83	104	6.25
100	89.6	5.2	4.9	88	90	76	107	96.6	5.2	102	112	92	83	104	5.77
100	88.6	5.7	4.5	87	89	76	107	95.6	5.7	102	112	91	83	104	5.37
100	87.8	6.1	4.2	86	88	76	107	94.8	6.1	102	112	90	83	104	5.02
100	89	6.5	4.0	85	87	76	107	94	6.5	102	112	89	83	104	4.72
102	88	7	4.4	86	88	76	107	93	7	106	109	91	76	104	5.39
102	87.2	7.4	4.2	85	87	76	107	92.2	7.4	105	109	90	76	104	5.11

成 品 规 格	管 坯 直 径	穿 孔 机															
		毛管尺寸			延 伸 系 数	压 下 量		距 离		顶 头 直 径	顶 头 前 压 下 %	顶 头 位 置	顶 杆 位 置	顶 杆 直 径	导 板 宽 度	导 板 厚	
		外 径	内 径	壁 厚		%	绝 对	轧 辊	导 板								
76×9	110	109	86	11.5	2.61	14.5	16	94	105	79	4.18	92	104	76	92	28	
76×9.5	110	109	85	12	2.52	14.5	16	94	105	78	5.18	84	104	73	92	28	
76×10	110	109	84	12.5	2.44	14.5	16	94	105	77	5.18	84	104	73	92	28	
76×11	110	109	82	13.5	2.27	14.5	16	94	105	75	5.18	84	104	73	92	28	
76×12	110	109	81	14	2.21	14.5	16	94	105	74	5.18	84	104	70	92	28	
76×13	110	109	79	15	2.08	14.5	16	94	105	72	6.08	76	104	70	92	28	
76×14	110	109	77	16	1.97	14.5	16	94	105	70	6.08	76	104	67	92	28	
76×15	110	109	75	17	1.87	14.5	16	94	105	68	6.08	76	104	67	92	28	
76×16	110	109	73	18	1.79	14.5	16	94	105	66	7.0	68	104	63	92	28	
76×17	110	109	71	19	1.71	14.5	16	94	105	64	7.0	68	104	63	92	28	
76×18	110	109	69	20	1.65	14.5	16	94	105	62	7.0	68	104	60	92	28	
76×19	110	109	67	21	1.59	14.5	16	94	105	61	7.0	68	104	57	92	28	
76×20	110	109	65	22	1.53	14.5	16	94	105	59	7.0	60	104	57	92	28	

① $\phi 102$ 毫米、壁厚 > 8 毫米的钢管采用 $\phi 110$ 毫米坯料，并用 102 毫米边槽轧

② $\phi 76$ 毫米钢管是减径后的产品。

续表6-9

轧管机						均整机									总 延 伸 系 数
钢管尺寸			延 伸 系 数	顶头直径		顶 杆 直 径	钢管尺寸			距 离		顶 头 直 径	顶 杆 直 径	导 板 宽 度	
轧 槽 高	内 径	壁 厚		1 道	2 道		外 径	内 径	壁 厚	轧 辊	导 板				
102	86.4	7.8	4.0	84	86	76	107	91.4	7.8	105	109	89	76	104	4.87
102	85.4	8.3	3.8	83	85	78	107	90.4	8.3	105	109	88	76	104	4.84
102	84.6	8.7	3.6	82	85	73	107	89.6	8.7	105	109	88	76	104	4.46
102	82.8	9.6	3.3	80	82	70	107	87.8	9.6	105	109	86	76	104	4.10
102	81.2	10.4	3.1	79	81	70	107	86.2	10.4	105	109	84	78	104	3.82
102	79.4	11.3	2.9	77	79	67	107	84.4	11.3	105	109	82	73	104	3.58
102	77.6	12.2	2.7	75	78	67	107	82.9	12.2	105	109	81	70	104	3.38
102	75.8	13.1	2.5	73	76	63	107	80.8	13.1	105	109	79	70	104	3.20
102	73.8	14.1	2.4	71	74	63	106	77.8	14.1	105	107	77	68	104	3.06
102	71.8	15.1	2.2	69	72	60	106	75.8	15.1	105	107	75	63	104	2.93
102	69.8	16.1	2.1	67	70	60	106	73.8	16.1	105	107	73	60	104	2.81
102	67.8	17.1	2.0	65	68	54	106	71.8	17.1	105	107	71	60	104	2.76
102	65.8	18.1	1.93	63	66	54	106	69.8	18.1	105	107	69	57	104	2.62

制。

表 6-10 日本、美国小型热轧钢

国家工厂		成品管尺寸	原料尺寸	穿			
				外径	壁厚	前进角	辊间距
日本	N-1 工厂	114.3×5.2	115	122	8.6	9	99
		114×18	112	125	22.1	8	107
		114×4.0	113	122	8.0	9	101
		114.3×20	113	119	22.5	8	102
		88.9×3.5	—	—	—	—	—
	S-1 工厂	88.9×15	—	—	—	—	—
		114.3×4.5	115	112	7.5	8	99
		114.3×7.0	115	112	10	8	100
		114×3.8	110	116	7.4	9	92
	Y-1 工厂	114×11.4	110	116	14	9	94
		114×18.4	—	—	—	—	—
		76×3.7	—	—	—	—	—
		76×9.7	—	—	—	—	—
美国 某厂		69.9	76.2	6.3			
		76.2	76.2	8.7			
		76.2	82.6	7.1			
		82.6	88.9	8.7			
		82.6	88.9	8			
		88.9	88.9	9.5			
		82.6	88.5	8			
		101.6	98.5	10.2			
	127	126.8	15.9				

管机组轧制表(单位:毫米)

孔 机						轧 管 机			
顶头 直径	导板 间距	延伸系数	压缩 量%	顶头 伸出值	扩径量	毛管尺寸	轧后直径	轧后 壁厚	轧后 长度 米
92	120	3.5	16	70	7	—	117	5.4	10.4
73	127	1.7	15	55	3	—	117	18.1	6.5
101	121	3.42	12	50	9	—	112	4	13.5
67	121	1.44	11	30	6	—	112	20	6.9
—	—	—	—	—	—	98×6	90	3.5	11.8
—	—	—	—	—	—	98×18	90	15	7.6
98	122	3.77	16	53	7	—	—	—	—
95	122	2.87	15	48	7	—	—	—	—
94	116	3.88	18	60	6	—	112	3.7	10.7
82	116	2.08	13	45	6	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	116×21	112	18.5	3.45
—	—	—	—	—	—	88×6	83	3.5	9.9
—	—	—	—	—	—	88×12	83	9.5	5.1
							69.8	2.8	11
							69.8	4.75	10.35
							79.4	2.9	12.6
							82.5	4.9	10.15
							82.5	4	14.45
							82.5	5.4	13.8
							82.5	3.8	15.3
							85.5	5.9	15
							117.5	9.3	13

国家工厂		轧							
		外径压下 量%	压下量绝 对值	壁厚压下量		减面 率%	内径变化	孔型高	轧制 道次
				%	绝对				
日本	N-1 工厂	4.1	5	37.2	3.2	23.6	-1.4	116	2
		6.4	8	13.6	3.0	21.3	0	116	2
		7.4	9	50	4	52.2	+2	112	2
		5.9	7	11.1	2.5	15.3	+1	112	2
		8.2	8	41.6	2.5	45.2	+3	90	2
	S-1 工厂	8.2	8	16.7	3	21.9	+3	90	2
		—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—
		3.4	4	47.2	3.3	47.5	-2.6	112	2
	Y-1 工厂	—	—	—	—	—	—	—	—
		3.4	4	11.9	2.5	13.3	-10	112	2
		5.7	5	41.6	2.5	43.2	0	83	2
		6.7	5	20.8	2.5	23.4	0	83	2
美国某厂									

国家工厂		均								
		均后尺寸		外径增大		壁厚压下		辊间距	轧辊平行度	顶头直径
		外径	壁厚	绝对	%	绝对	%			
日本	N-1 工厂	125	5.2	8	6.8	0.2	3.7	117	1°	108
		122	17.6	5	4.3	0.5	2.8	117	1°	84
		121	3.8	9	8	0.2	5.0	113	4.5/1000	106
		118	19.5	6	5.4	0.5	2.5	114	2.5/1000	74
		98	3.4	8	8.9	0.1	2.9	91	4.5/1000	85
	S-1 工厂	96	14.6	6	6.7	0.4	2.7	92	2.5/1000	63
		123	4.0	11	9.8	0.5	12.5	112	4毫米	104
		120	6.4	8	7.1	0.6	8.6	113	4毫米	100
		118	3.6	6	5.4	0.1	2.7	110	0	104
	Y-1 工厂	118	18.4	6	5.4	0.1	0.5	110	0	75
		88	3.4	5	6	0.1	2.9	81	0	76
		88	9.4	5	6	0.1	1.1	81	0	75
	英国某厂	76.2	2.6							
		76.2	4.6							
		85.5	2.8							
		89	3.9							
		89	3.9							
		89	5.1							
		89.5	3.4							
		89.5	5.7							
		121	11.3							

续表6-10

整 机						定 径 机									
顶头 位置	导板 间距	轧制线下 移值	导管直径		顶杆 直径	均整后 管长	外径	壁厚	长度 米	架数					
			入口	出口											
80	132	-6	152	153	96										
80	132	-6	152	153	77										
90	125	+1.5	145	145	85										
90	122	0	145	145	65										
90	105	+4	115	115	65										
90	100	+1.5	115	115	55										
125	130	-3	150	150	89										
125	130	-3	150	150	89										
50	125	+3	140	140	80										
50	125	+3	140	140	70										
35	95	+2	110	110	65										
35	95	+2	110	110	60										
					10.5										
					9.76										
					12.2										
					13.52										
					13.52										
					13.3										
					14.6										
					14.64	76.2	3.8	15.75	7						
					12.75	76.2	6.4	15.75	7						
					12.75	101.6	12.1	15.75	7						

续表6-10

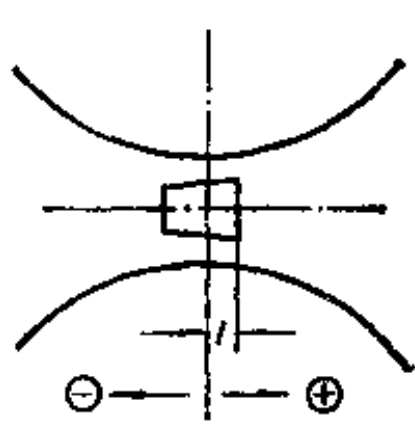
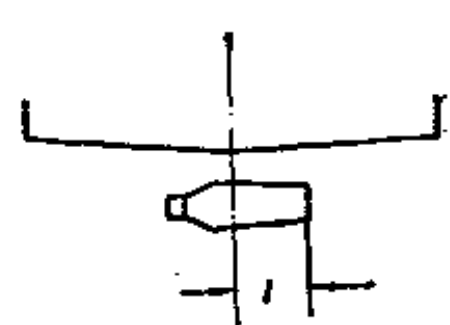
国家工厂		减 径 机				备 注
		外径	壁厚	长度	架数	
日本	N-1 工厂					1. 表中所列数据为大轧机轧小尺寸管情况; 2. 轧管机顶头位置如图 
	S-1 工厂					
	Y-1 工厂					
美国 某 厂		38	3.8	15.9	20	3. 均整机顶头位置如图 
		38	6.4	15.9	20	
		50.8	3.8	15.9	20	
		50.8	6.4	15.9	20	
		63.5	4.8	15.9	20	
		63.5	6.4	15.9	20	

表 6-11 75 机组轧制表 (单位: 毫米)

工 厂	管坯 直径	穿						孔				机				轧管机				备 注
		毛管 外径	壁厚	辊间距	导板距	顶头伸出量	顶头直径	顶杆直径	压缩量 %	延伸系数	钢管直径	壁厚	顶头直径	ϕ_m	ϕ_n	顶杆直径	延伸系数			
天 津	$\phi 85$	88~90	6	72~73	80~81	50~60	72	63	16	3.57	84	4.5	74	74.5	74.5	63	1.41	毛管		
	$\phi 85$	88~90	6.5	72~73	80~81	50~60	71	63	16	3.33	84	5	73	73.5	73.5	63	1.37	长到		
	$\phi 85$	88~90	7	73~74	81~82	50~60	70	63	15	3.12	84	5.5	72	72.5	72.5	63	1.35	3.6米,		
	$\phi 85$	90	11	74~75	82~83	50~60	63	63	14	2.08								轧管长		
	$\phi 85$	90	12	74~75	82~83	50~60	62	63	14	1.93								到6米		
	$\phi 85$	91	13	74~75	82~83	50~60	61	63	14	1.73										
	$\phi 85$	92	14	74~75	82~83	50~60	60	63	14	1.65										
	$\phi 75$	78±2	8~6.5	63~64	70~74	40~50	60	57	12		73±4	4~4.5	63.5	64.5	64.5	57				
$\phi 75$	80~82	9	66~67	77	50~60	59	57	12	2.14~2.2	76	7	61	61.5	61.5	57	1.36				
上 海 (合金钢, 只穿孔)	$\phi 75$	78	7	64	70	70	60	57	12~14	—								顶头		
	$\phi 80$	82	7	68	74	65	66	63										前压端		
	$\phi 80$	82	10	68	74	65	60	57										量4~8		
	$\phi 85$	87	7	74	80	67	70	63										%		
	$\phi 85$	87	14	74	80	60	58	—												
	$\phi 90$	92	10	75	86	63	66	63												
	$\phi 90$	92	16	78	86	55	58	—												

续表6-11

工 厂	管坯 直 径	穿 孔					机 管 机					备 注				
		毛管 外径	壁厚	辊间距	导板距	顶头伸出 量	顶头直 径	顶杆直 径	压 缩 %	*延伸系数	钢管 直径		壁厚	顶头直 径 ϕ_a	ϕ_a	顶杆延伸 系数
青 岛	$\phi 75$	77	5.5	61~62	72	50~70 (一般 60)	61	57	—	—	73	4	66	66	—	螺距 2~3毫 米, 导 板距5 ~6毫 米, 轧 管机螺 距0.5 毫米
	$\phi 75$	76~80	4~8	59~68	71~75	60~45.5	58~66	—	—	—	—	—	—	—	—	—
济 南	$\phi 75$	78~79	6~6.5	56~57	67~70	40	—	—	—	—	73	4~3.5	63	66	56	—
大 冶 (合 金 钢, 只 穿 孔)	$\phi 75$	76	6~7	60	70	50~56	62~60	—	16(5.5)	2.36~3.3	—	—	—	—	—	—
	$\phi 75$	78	8	61	71	54~50	60	—	—	2.5	—	—	—	—	—	—
	$\phi 80$	87	13~14	73	76	35~40	58	—	14.5(5.5)	2.5	—	—	—	—	—	—
	$\phi 80$	82	10	65	75	45~50	58	—	15	2.22	—	—	—	—	—	—
	$\phi 85$	89	14	70	79~80	30~35	57	—	—	2.06	—	—	—	—	—	—
	$\phi 85$	86	12	70	80	30~35	60	—	—	2.03	—	—	—	—	—	—
	$\phi 80$	93	9.5~ 10	75	88	55	68	—	—	2.2	—	—	—	—	—	—
	$\phi 90$	91	14	74	85	50~55	68	—	14.43	1.88	—	—	—	—	—	—
	$\phi 95$	95	15	76	89	50~55	62	—	14.75	1.88	—	—	—	—	—	—
	$\phi 95$	95	15	76	89	50~55	62	—	—	—	—	—	—	—	—	—

续表0-11

工 厂	管坯 直径	穿					孔				机				轧 管 机				备 注
		毛管 外径	壁厚	辊间距	导板距	顶头伸 出量	顶头 直径	顶杆 直径	压 缩 %	延伸系数	钢管 直径	壁厚	顶头直 径 d_1	d_2	顶杆延伸 系数				
大冶 (合金钢, 只穿孔)	$\phi 110$	105	24	90	107	35	53			—									
	$\phi 120$	126	11	99.5	113	48	97			2.2									
	$\phi 130$	135	13	111	123	46~48	105			2.2									
	$\phi 130$	136	15	112	123	50	97			2.12									
	$\phi 130$	140	16	114	125	50	97			2.0									
	$\phi 60$	64	4.5	50	55~56	52	51		16.7(7.2)	3.4									
	$\phi 75$	73	9	59	73	35	50			—									
	$\phi 130$	129	15	110	120	60	90			2.6									
上 海	$\phi 75$	76	5.5	63	75	55	60	57	16	3.7	72	4	64	64	57	1.40			
		76	6	63	75	55	59	57	16	3.4	72.5	4.5	63	63	57	1.35			
		76	6.5	63	75	55	58	57	16	3.16	73	5	62	62	67	1.31			
		76	7	64	76	50	58	57	14.7	2.87	73	5.5	61	61	54	1.30			
		77	7.5	64	76	50	57	55	14.7	2.70	73	6	60	60	54	1.29			
		77	8	64	76	50	56	55	14.7	2.54	73	6.5	59	59	54	1.27			
	$\phi 80$	81	5.5	67	80	60	65	63	16	3.85	77	4	69	69	61	1.42			

续表8-11

工 厂	管坯 直径	穿					孔				机				轧 管 机					备 注
		毛管 外径	壁厚	辊间距	导板距	顶头伸出量	顶头直径	顶杆直径	压 缩 量 %	延伸系数	钢管 直径	壁厚	顶头直 径 d_0	d_0, d_1	顶杆 直径	延伸 系数				
上	$\phi 80$	81	6	67	80	60	63	16	3.6	77.5	4.5	68	68		62	1.35				
		81	6.5	67	80	60	63	16	3.26	78	5	67	67		62	1.34				
		82	7	68	81	55	63	15	3.125	78	5.5	66	66		60	1.31				
		82	7.5	68	81	50	62	15	2.86	78	6	65	65		60	1.29				
		82	8	68	81	50	61	15	2.70	78	6.5	64	64		60	1.27				
海	$\phi 90$	80	8.5	68	81	50	59	15	2.58											
		80	9	68	81	45	58	15	2.5											
		92	5.5	76	90	65	75	15.6	4.26	88	4	80	80		68	1.41				
		92	6	76	90	60	75	15.6	3.92	88.5	4.5	79	79		68	1.36				
		92	6.5	76	90	65	73	15.6	3.64	89	5	78	78		68	1.34				
		92	7	76	90	60	73	15.6	3.40	89	5.5	77	77		68	1.30				
		92	7.5	77	90	55	71	14.4	3.20	89	6	76	76		68	1.27				
		92	8	77	90	55	71	14.4	3.00	89	6.5	75	75		68	1.25				
		92	8.5	77	91	65	69	14.4	2.85	89	7	74	74		68	1.24				
		92	9	77	91	55	69	14.4	2.70	89	7.5	74	74		68	1.22				

续表6-11

工 厂	管坯 直径	穿 孔 机					轧 管 机					备 注					
		毛管 外径	壁厚	侧间距	导板距	顶头伸 出量	顶头直 径	顶杆 直径	压 缩 量 %	延伸系数	钢管 直径		壁厚	顶头直 径 d_0	d_n	顶杆 直径	延伸 系数
上	$\phi 90$	93	9.5	77	91	55	67	63	14.4	2.58	89	8	73	73	68	1.21	
		90	10	77	91	55	65	63	14.4	2.47							
		90	10.5	77	91	50	65	63	14.4	2.38							
		90	11	77	91	55	63	60	14.4	2.28							
		90	11.5	77	91	50	63	60	14.4	2.17							
	$\phi 100$	90	12	77	91	55	61	57	14.4	2.12							
		90	12.5	77	91	50	61	57	14.4	2.05							
		100	7	86	100	55	82	68	13	3.82							
		100	9	86	100	55	78	68	13	3.65							
		100	11	86	100	55	74	66	13	2.55							
海	100	13	86	100	55	70	63	13	2.20								
	100	15	87	100	50	66	63	13	1.96								
	100	17	87	100	50	62	57	13	1.77								
	100	19	87	100	50	58	57	13	1.62								

第二节 斜轧轧管机的轧制表编制

一、二辊斜轧轧管机的轧制表编制

在两辊斜轧轧管机上既可减径轧制又可等径轧制，这决定于采用何种轧辊辊型，采用双减辊型可以实现减径轧制，而采用桶形辊型则不能减径轧制。小型无缝钢管机多为供冷拔坯料，因而多采用减径轧制。下面重点介绍双减辊型下轧制表的编制。

变形参数和调整参数（见图6-7）有压缩量、减壁量和减径量。

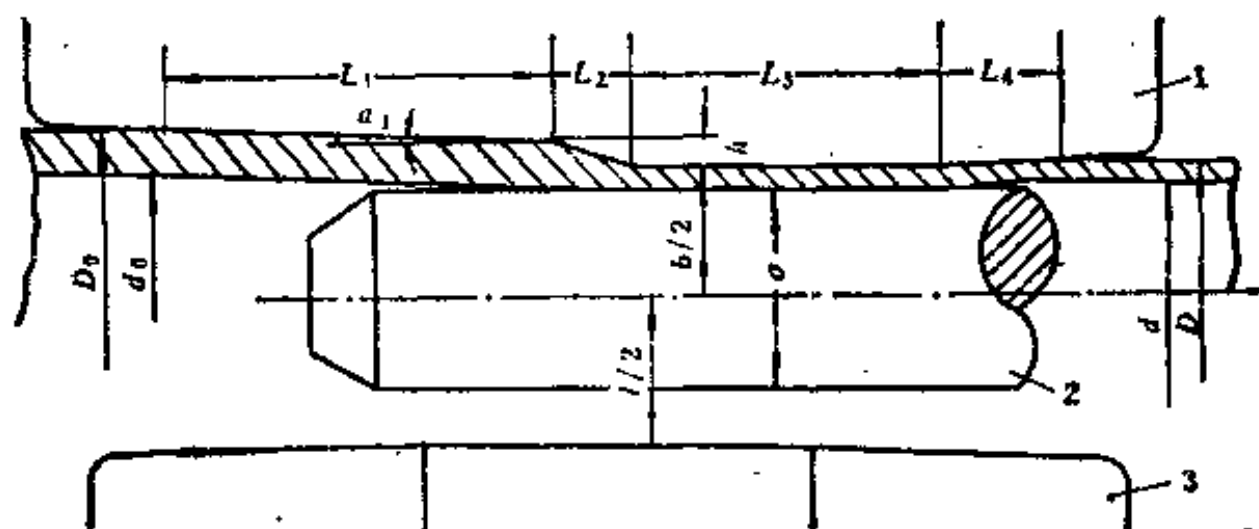


图 6-7 两辊斜轧轧管机的调整参数

1—轧辊；2—芯棒；3—导板

1. 压缩量

绝对压缩量 $D_0 - b$, 毫米

相对压缩量 $\frac{D_0 - b}{D_0} \times 100\%$

压缩量主要由所轧成品管的壁厚和直径决定，但它和轧辊背部高度 h 、准备区长度 L_1 、毛管外径和壁厚以及前进角等有关，列式如下：

成品管热尺寸壁厚为

$$S = \frac{b - \delta}{2}$$

式中 b ——轧辊间距;

δ ——芯棒直径。

所轧出的外径为

$$D = \delta + K_s + 2S$$

式中 K_s ——扩径量。

准备区长度 L_1 为

$$L_1 = \frac{D_0 - b - 2h}{2 \operatorname{tg} \alpha_1}$$

式中 α_1 ——轧辊入口锥的锥角。

由上述公式可以看出, 采取减径轧制还是等径轧制主要决定于辊间距 b 和芯棒直径 δ 。一般选取芯棒大, 则 b 也大 (壁厚不变条件下), 因此轧出的管子外径也大, 但准备区长度将减小 (D_0 一定条件下)。如果在芯棒直径不变的情况下轧出的厚壁管外径大, 轧出的薄壁管外径小, 因为前者辊间距大, 后者小。

根据轧出的荒管尺寸和调整参数又可确定毛管 (来料) 的合理尺寸:

$$D_0 = 2L_1 \operatorname{tg} \alpha_1 + b + 2h$$

$$2S_0 = D_0 - b + 2S - \Delta$$

式中 Δ ——毛管内径和芯棒直径之差。

由这两个公式可导出压缩量公式为:

$$D_0 - b = 2(L_1 \operatorname{tg} \alpha_1 + h)$$

$$D_0 - b = 2(S_0 - S) + \Delta$$

联立解此两式得:

$$h = (S_0 - S) - L_1 \operatorname{tg} \alpha_1 + \frac{\Delta}{2}$$

当 $L_1 \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\Delta}{2}$, 即在轧辊脊部前结束减径时

$$h = S_0 - S = \Delta S$$

分析上述公式可看出压缩量大小决定着减径量，而和 δ 及 h 共同决定着减壁量。

辊间距 b 按以下四式综合确定：

$$b = 2S + \delta$$

$$b = D_0 - 2L_1 \operatorname{tg} \alpha_1 - 2h$$

$$b = D_0 - 2(S_0 - S) - \Delta$$

$$b = D - K_s$$

扩径量 K_s 主要决定于导板距，其值对于小型机组为3~12毫米。

Δ 值决定于准备区长度、入口锥角 α_1 以及轧制方式。对于小型机组 Δ 值波动在1~15毫米，多数在2~7毫米。固定芯棒可取小值。

h 、 α_1 和 L_1 由工具设计确定。

对于小型机组：

绝对压缩量在6~22毫米内；

相对压缩量在10~40%之间。

2. 减壁量

$$S_0 - S = h + L_1 \operatorname{tg} \alpha_1 - \frac{\Delta}{2}$$

$$S_0 - S = \frac{D_0 - b}{2} - \frac{\Delta}{2}$$

当 $\Delta \rightarrow 0$ 时，

$$S_0 - S = \frac{D - b}{2} = h + L_1 \operatorname{tg} \alpha_1$$

这种情况表示轧辊一咬入毛管即进行减壁，这是难于实现的。当

$\frac{\Delta}{2} > L_1 \operatorname{tg} \alpha_1$ 时， $\Delta S < h$ 。当 $\frac{\Delta}{2} < L_1 \operatorname{tg} \alpha_1$ 时，在准备区就开始

减壁了。在固定芯棒和半浮芯棒上轧制时这种情况是存在的，且在脊部前有一定的减壁量，对实现二次咬入是有利的。在全浮芯

棒下 Δ 值过小,则难于插入芯棒。多数情况是 $L_1 \operatorname{tg} \alpha_1 \sim \frac{\Delta}{2}$ 。

小型无缝钢管机组两辊斜轧轧管机的减壁量一般在20~70%。

3. 减径量

绝对值 $D_0 - D = \Delta D$

$$D_0 - D = 2L_1 \operatorname{tg} \alpha_1 + 2h - K_*$$

$$D_0 - D = 2(S_0 - S) + \Delta - K_*$$

相对值 $\frac{D_0 - D}{D} \times 100\%$

当等径轧制时

$$D_0 - D = 0$$

即

$$2L_1 \operatorname{tg} \alpha_1 + 2h - K_* = 0$$

$$2(S_0 - S) + \Delta - K_* = 0$$

$$\therefore K_* = 2\Delta S + \Delta$$

由此式可以看出,当减壁量很小、 Δ 值小以及 K_* 值大时,则容易实现等径轧制。

生产中实用的轧制表如表6-12所示。

二、三辊斜轧轧管机的轧制表编制

$\phi 100$ 机组三辊轧管机主要用来生产中、厚壁高精度热轧钢管, $\phi 76$ 机组选用三辊轧管机主要为了生产薄壁高精度管,供冷拔坯料。因此轧制表编制不完全相同,选用实际数据时波动范围也较大。现仅介绍资料〔10,11,27〕提出的编制轧制表方法,选用实际数据时可参考表6-13~15。

1. 确定定径机后管子的热尺寸

$$D_k = (1.01 \sim 1.013) D$$

$$d_k = (1.01 \sim 1.013) d$$

由于管子冷却时产生的壁减薄和在定径机中定径时产生的壁加厚都很小，可以不予考虑，所以

$$S = S_k = S_s$$

应当注意的是轧制轴承管时壁厚只有正公差。

表 6-12 半浮芯棒下两辊斜轧延伸机轧制表 单位：毫米

机 组	钢 种	管坯 直径	毛管尺寸		调 整 参 数			钢管尺寸	
			直径	壁厚	b	l	芯棒 直径 ϕ	直 径	壁 厚
76/76	普 碳 钢	76	75	6	58.6	76.5	55.5	70	1.4
					57.5	76.6	54	68	2
					57.5	74	53	66	2.5
					61	75.5	54	68	3.5
					62	76	54	69	4
60/76	普 碳 钢	60	60.3	5.15	46	57	40	49.7	3
			60.4	4.9	43	57	39	49.6	3.1
			60	5	42.4	57.4	38	51.2	2.55

机 组	变 形 参 数								D/S	椭圆 度 ϵ
	压 下 量		减 径 量		减 壁 量		μ	K_n		
	绝对	相对 %	绝对	相对 %	绝 对	相对, %				
76/76	16.4	21	5	6.7	4.6	77	4.33	11.7	50	1.3
	17.5	22	7	9.3	4	66	3.13	10	35	1.33
	17.5	22	10	13.3	3.6	55	2.84	7	26	1.27
	14	18.7	7	9.3	2.5	42	2.24	7	19.4	1.24
	13	17.3	6	8	2	33	1.57	7	17.25	1.23
60/76	14.3	23.4	10.6	17.6	2.15	4.17	2.07	3.7	16.6	1.24
	17.4	29	10.9	18.1	1.8	36.8	1.9	4.3	16	1.33
	22	35	8.8	14.7	2.45	49.0	2.21	8.1	20	1.37

2. 确定轧管机的管子尺寸

在定径机中为了获得高精度的外径尺寸，一般都取较小的减径量。斜轧定径机总减径量一般在1~3毫米，纵轧定径机稍大。

设减径机时总减径量一般在15~22%，取得再大，将会显著降低成品管内径的尺寸精度。

$$D_s = D_k + \Delta D_k$$

式中 ΔD_k ——在定径机中的减径量。

$$d_s = d + \Delta D_k$$

在小型三辊轧管机上轧制薄壁管时扩径量 K_s 一般在4~13毫米，因而芯棒直径为

$$\phi_s = d_s - K_s$$

当轧制中厚壁管时推荐按以下经验式确定 K_s 值：

$$K_s = 0.03(d_s + S_s)$$

108机组轧制壁厚大于10毫米钢管时扩径量一般为1.5~3毫米。

3. 确定穿孔机的毛管尺寸

$$D_0 = D_s + \Delta D_s$$

式中 ΔD_s ——减径量。

小型机组的减径量一般在10~25毫米之内。

在三辊轧管机上减壁量按下式确定：

$$\Delta S_s = (0.8 \sim 1.25)h$$

式中 h ——轧辊脊部高。

$$\therefore S_0 = S_s + (0.8 \sim 1.25)h$$

减壁量实际值通常在3~9.5毫米，我国108机组减壁量通常为3.5~6毫米。延伸系数一般在1.7~3.3。

4. 管坯直径的确定

$$d_s = D_0 \pm (0 \sim 5) \text{毫米}。$$

表 6-13 $\phi 108$ 三瓣穿孔、

序 号	成 品 规 格				总延伸 系 数 μ_s	管坯 直径 d_s 毫米	穿 孔 机			
	外径 D 毫米	壁厚 S 毫米	内径 d 毫米	$\frac{D}{S}$			毛 管 规 格			穿孔 延伸 系数
							外径 D_s 毫米	壁厚 S_s 毫米	$\frac{D_s}{S_s}$	
1	114	10	94	11.4	3.68	125	128	14.5	8.83	2.33
2		11	92	10.36	3.38	125	128	15	8.53	2.26
3		12	90	9.5	3.13	125	128	15.5	8.23	2.2
4		13	88	8.77	2.92	125	127	16.5	7.7	2.1
5		14	86	8.1	2.73	125	127	17.6	7.23	2
6	110	16	84	7.6	2.58	125	127	18.5	6.86	1.91
7		10	90	11	3.53	120	122	14.5	8.41	2.26
8		11	88	10	3.24	120	122	14.5	8.41	2.26
9		12	86	9.17	3.26	125	127	17.5	7.23	2
10		14	82	7.86	2.85	125	127	18.5	6.86	1.91
11	108	10	88	10.8	3.60	120	122	14.5	8.41	2.26
12		12	84	9	3.32	125	127	17.5	7.23	2
13		14	80	7.7	2.91	125	127	19	6.68	1.87
14		16	76	6.75	2.60	125	124	20	6.2	1.84
15		105	10	85	10.5	3.71	120	122	15.5	7.87
16	102	12	81	8.75	3.16	120	120	16.5	7.27	2.07
17		14	77	7.5	3.00	125	125	19.5	6.41	1.86
18		10	82	10.2	3.83	120	121	16	7.56	2.1
19		11	80	9.27	3.52	120	120	16.5	7.27	2.07
20		12	78	8.5	3.27	120	120	16.5	7.27	2.07
21	100	14	74	7.29	3.11	125	124	20	6.2	1.84
22		16	70	6.38	2.78	125	124	21	5.9	1.77
23		10	80	10	3.92	120	120	16.5	7.27	2.07
24		11	78	9.09	3.6	120	120	16.5	7.27	2.07
25		12	76	8.33	3.34	120	119	17.5	6.8	1.99
26	95	14	72	7.14	2.93	120	119	18.5	6.43	1.9
27		15	70	6.67	2.77	120	118	20	5.90	1.84
28		9	77	10.56	3.83	110	110	13.5	8.15	2.28
29		10	75	9.5	4.15	120	118	16.5	7.15	2.1
30		11	73	8.64	3.82	120	118	16.5	7.15	2.11
31		12	71	7.92	3.54	120	118	16.5	7.15	2.11
32		13	69	7.31	3.31	120	118	17.5	6.74	2.01
33		14	67	6.79	3.11	120	118	18.5	6.74	1.92
34		15	65	6.33	2.94	120	118	20	5.9	1.84

轧管机超试生产轧制表

调整参数及工具									
喉径 毫米	前 进 角	顶头 伸出 量 毫米	压缩带 处压缩 量 %	顶头前 压缩量 %	顶 头 $\phi \times l$ 毫米	顶杆 直径 毫米	入口 导套 内径 毫米	出口 导套 内径 毫米	顶杆 导套 内径 毫米
109	8°	45	12.8	9.13	$\phi 95 \times 175$	83	148	135	93
109	8°	45	12.8	9.13	$\phi 94 \times 175$	83	148	135	93
110	8°	45	12	8.1	$\phi 93 \times 175$	83	148	135	93
110	8°	40	12	8.25	$\phi 91 \times 175$	83	148	135	93
110	8°	40	12	8.25	$\phi 90 \times 175$	83	148	135	93
110	8°	40	12	8.25	$\phi 88 \times 170$	83	148	135	93
105	8°	45	12.5	8.4	$\phi 90 \times 175$	83	135	135	93
105	8°	40	12.5	8.55	$\phi 90 \times 175$	83	135	135	93
110	8°	45	12	8.1	$\phi 90 \times 175$	83	148	135	93
110	8°	45	12	8.1	$\phi 88 \times 170$	83	148	135	93
105	8°	45	12.5	8.4	$\phi 90 \times 175$	83	135	135	93
110	8°	45	12	8.1	$\phi 90 \times 175$	83	148	135	93
110	8°	45	12	8.1	$\phi 87 \times 170$	83	148	135	93
110	8°	45	12	8.1	$\phi 82 \times 155$	76	148	135	93
105	8°	45	12.5	8.4	$\phi 88 \times 170$	83	135	135	93
105	8°	40	12.5	8.45	$\phi 85 \times 165$	76	135	135	93
110	8°	45	12	8.1	$\phi 84 \times 165$	76	148	135	93
104	8°	45	13.3	9.25	$\phi 86 \times 165$	76	135	135	93
105	8°	45	12.5	8.4	$\phi 84 \times 165$	76	135	135	93
105	8°	45	12.5	8.4	$\phi 84 \times 165$	76	135	135	93
110	8°	45	12	8.1	$\phi 82 \times 155$	76	148	135	93
110	8°	45	12	8.1	$\phi 80 \times 155$	76	148	135	93
105	8°	45	12.5	8.4	$\phi 84 \times 165$	76	135	135	93
105	8°	45	12.5	8.4	$\phi 84 \times 165$	76	135	135	93
105	8°	45	12.5	8.4	$\phi 82 \times 155$	76	135	135	93
105	8°	45	12.5	8.4	$\phi 80 \times 155$	76	135	135	93
105	8°	45	12.5	8.4	$\phi 76 \times 150$	70	135	135	93
95	8°	45	13.6	9.2	$\phi 80 \times 155$	76	135	120	93
104	8°	45	13.3	9.25	$\phi 82 \times 155$	76	135	135	93
104	8°	45	13.3	9.25	$\phi 82 \times 155$	76	135	135	93
104	8°	45	13.3	9.25	$\phi 82 \times 155$	76	135	135	93
104	8°	45	13.3	9.25	$\phi 80 \times 155$	76	135	135	93
104	8°	45	13.3	9.25	$\phi 78 \times 155$	70	135	135	93
104	8°	45	13.3	9.25	$\phi 76 \times 155$	70	135	135	76

序 号	轧 管 机 调 整 参 数							
	轧管延 伸系数	喉 径	前 进 角	电机转速	芯 棒	轧 辊	减径量	减壁量
	μ_a	毫米		转/分	直 径	辊 径	ΔD	ΔS
1	1.58	110	5°~6°	350~400	91	480	18	4.5
2	1.50	110	6°~6°30'	350~400	89	480	18	4
3	1.43	111.5	6°30'~7°	380~430	88.5	480	16.5	3.5
4	1.39	111.5	6°30'~7°	380~430	86	480	15.5	3.5
5	1.37	111.5	7°~7°30'	400~450	85	480	15.5	3.5
6	1.35	112	5°~6°	400~450	83	480	15	3.5
7	1.56	108	5°~8°	350~400	87	480	16	4.5
8	1.43	107	6°30'~7°	350~400	86	480	15	3.5
9	1.63	107	7°~7°30'	380~430	84	480	20	5.5
10	1.49	108	6°30'~6°	400~450	81	480	19	4.5
11	1.59	104.5	6°30'~7°	380~430	85	480	17.5	4.5
12	1.66	105	7°~7°30'	380~430	82	480	22	5.5
13	1.56	106	7°30'~8°	400~450	79	480	21	5
14	1.41	107	7°30'~8°	400~450	76	480	19	4
15	1.74	102.5	5°~6°	380~430	83	480	19.5	5.5
16	1.53	103.5	6°30'~7°	380~430	80	480	16.5	4.5
17	1.61	103.5	7°30'~8°	400~450	76.5	480	21.5	5.5
18	1.82	99.5	5°30'~6°	380~430	80	480	21.5	6
19	1.7	99.5	6°~6°30'	380~430	78	480	20.5	5.5
20	1.58	100	6°30'~7°	400~450	77	480	20	4.5
21	1.69	100.5	7°~7°30'	400~450	73.5	480	23.5	6
22	1.57	101	7°30'~8°	400~450	70	480	23	5
23	1.89	97.5	5°30'~6°	380~430	78	480	22.5	6.5
24	1.74	98	6°~6°30'	380~430	76	480	22.5	5.5
25	1.68	98.5	6°30'~7°	400~450	74.5	480	21	5.5
26	1.54	99	7°~7°30'	400~450	71.5	480	20.5	4.5
27	1.54	92	7°30'~8°	400~450	70	480	19	5
28	1.68	92.5	5°30'~6°	380~430	74.5	480	18	4.5
29	1.97	93	6°~6°30'	380~430	73	480	25.5	6.5
30	1.81	92.5	6°30'~7°	400~450	71.5	480	25	5.5
31	1.63	93.5	7°~7°30'	400~450	70	480	24.5	4.5
32	1.65	93.5	7°~7°30'	400~450	68	480	24.5	4.5
33	1.62	94	7°30'~8°	400~450	67	480	24.0	4.5
34	1.80	94	7°30'~8°	400~450	65	480	24	5

续表 6-13

及 工 具 毫 米								代 用
夹送辊	浮动	推管	推管	挡	出 口	轧 制	润 滑 方 式	管 坯
规 格	横 梁	车 导	车 推	料	导 筒	形 式		直 径
	导 套	套	头	器	内 径			毫 米
120	98	98	98	98	148	全浮	溶液	125 120
120	92	92	98	92	148	全浮	溶液	
120	92	92	98	92	148	全浮	溶液	
120	92	92	92	92	148	全浮	溶液	
120	92	92	92	92	148	全浮	溶液	
120	92	92	92	92	148	全浮	溶液	
120	92	92	92	92	148	全浮	溶液	
110	92	92	92	92	148	全浮	溶液	
110	92	92	92	92	148	全浮	溶液	
110	82	82	82	82	148	全浮	溶液	
110	92	92	82	92	128	全浮	溶液	120
110	92	92	92	92	128	全浮	溶液	
110	82	82	82	82	128	全浮	溶液	
110	82	82	82	82	128	全浮	溶液	
110	82	82	82	82	128	全浮	溶液	
110	82	82	82	82	128	全浮	溶液	
110	82	82	82	82	128	全浮	溶液	
110	82	82	82	82	128	全浮	溶液	
110	82	82	82	82	128	全浮	溶液	
110	82	82	82	82	128	全浮	溶液	
110	72	72	72	72	128	全浮	溶液	115 110~115 110~115 110~115
110	82	82	82	82	128	全浮	溶液	
100	82	82	82	82	128	全浮	溶液	
100	82	82	82	82	128	全浮	溶液	
100	82	82	82	82	128	全浮	溶液	
100	72	72	72	72	128	全回	溶液+石墨+机油	115 115 115 115
100	82	82	82	82	128	全浮	溶液	
100	82	82	82	82	128	全浮	溶液	
100	82	82	82	82	128	全浮	溶液	
100	72	72	72	72	128	全回	溶液+石墨+机油	
100	72	72	72	72	128	全回	溶液+石墨+机油	
100	72	72	72	72	128	全回	溶液+石墨+机油	
100	72	72	72	72	128	全回	溶液+石墨+机油	

序 号	成 品 规 格				总延伸 系 数 μ_{Σ}	管坯 直径 d_z 毫米	穿 孔 机			
	外径 D 毫米	壁厚 S 毫米	内径 d 毫米	$\frac{D}{S}$			毛 管 规 格			穿孔 延伸 系数
							外径 D_0 毫米	壁厚 S_0 毫米	$\frac{D_0}{S_0}$	
35	91	16	63	5.94	2.79	120	117	20.5	5.71	1.78
36		8	75	11.38	4.46	110	110	13.4	8.15	2.28
37		10	61	9.10	3.65	110	109	14.5	7.52	2.16
38		12	67	7.58	3.13	110	108	16	6.75	2.01
39	89	8	73	11.13	3.17	105	104	13	8	2.28
40		9	71	9.89	3.75	105	104	13	8	2.28
41		10	69	8.90	3.75	110	108	15	7.2	2.13
42		11	67	8.09	3.40	110	108	16	6.75	2.01
43		12	65	7.42	3.21	110	108	16	6.75	2.01
44		13	63	6.85	3.00	110	107	17.5	6.11	1.89
45	87	14	61	6.36	2.82	110	107	17.5	6.11	1.89
46		15	59	5.93	2.67	110	106	19.5	5.43	1.76
47		16	57	5.56	2.54	110	106	19.5	5.43	1.76
48		7	73	12.43	4.37	100	102	11.5	8.87	2.35
49		85	8	69	10.63	3.98	100	100	13	8.17
50	83	10	65	8.50	3.27	100	99	13.5	7	2.12
51		12	61	7.08	3.33	110	108	18	8	1.83
52		7	69	11.86	4.60	100	100	13	7.69	2.17
53		8	67	10.38	4.08	100	100	13	7.69	2.17
54		9	65	9.22	3.68	100	99	13.5	7.33	2.12
55	80	10	63	8.30	3.36	100	99	13.5	7.33	2.12
56		11	61	7.55	3.41	105	103	15.5	6.65	1.99
57		12	59	6.92	3.17	105	103	15.5	6.65	1.99
58		13	57	6.38	2.97	105	102	17.5	5.83	1.83
59		7	66	11.43	4.33	95	94	12	7.83	2.25
60	77	9	62	8.89	3.83	100	99	13.5	7.33	2.12
61		11.5	57	6.96	3.42	105	102	17.5	5.83	1.83
62		10	57	7.70	3.66	100	98	15.5	6.32	1.92
63		7	62	10.86	4.58	95	93	12.5	7.44	2.20
64		8	60	8.5	4.06	95	93	12.5	7.44	2.20
65	76	9	58	8.44	4.06	100	97	15	6.47	1.99
66		10	58	7.60	3.71	100	97	15	6.47	1.99
67		11.5	53	6.61	3.30	100	98	15.5	6.32	1.92

续表 6-13

调整参数及工具									
喉径 毫米	前 进 角	顶头 伸出 量 毫米	压缩带 处压缩 量 u %	顶头前 压缩量 u_0 %	顶 头 $\phi \times l$ 毫米	顶杆 直径 毫米	入口 导套 内径 毫米	出口 导套 内径 毫米	顶杆 导套 内径 毫米
104	80	45	13.3	9.25	$\phi 74 \times 150$	70	135	135	78
95	80	45	13.6	9.2	$\phi 80 \times 155$	76	135	120	93
95	80	45	13.6	9.2	$\phi 78 \times 155$	70	135	120	78
95	80	45	13.6	9.2	$\phi 74 \times 150$	70	135	120	78
91	80	45	13.3	8.7	$\phi 76 \times 155$	70	120	120	78
91	80	45	13.3	8.7	$\phi 76 \times 155$	70	120	120	78
95	80	45	13.6	9.2	$\phi 78 \times 155$	70	135	120	78
95	80	45	13.6	9.2	$\phi 74 \times 150$	70	135	120	78
95	80	45	13.6	9.2	$\phi 74 \times 150$	70	135	120	78
95	80	45	13.6	9.2	$\phi 70 \times 140$	65	135	120	78
95	80	45	13.6	9.2	$\phi 70 \times 140$	65	135	120	78
95	80	45	13.6	9.2	$\phi 65 \times 130$	60	135	120	69
95	80	45	13.6	9.2	$\phi 65 \times 130$	60	135	120	69
87	80	45	13	8.1	$\phi 74 \times 155$	70	120	120	78
87	80	45	13	8.1	$\phi 72 \times 140$	65	120	120	78
87	80	45	13	8.1	$\phi 70 \times 140$	63	120	120	69
95	80	45	13.6	9.2	$\phi 70 \times 140$	65	135	120	78
87	80	45	13	8.1	$\phi 72 \times 140$	65	120	120	78
87	80	45	13	8.1	$\phi 72 \times 140$	65	120	120	78
87	80	40	13	8.25	$\phi 70 \times 140$	65	120	120	78
87	80	40	13	8.25	$\phi 70 \times 140$	65	120	120	78
91	80	40	13.3	8.85	$\phi 70 \times 140$	65	120	120	78
91	80	40	13.3	8.85	$\phi 70 \times 140$	65	120	120	78
91	80	40	13.3	8.85	$\phi 65 \times 130$	60	120	120	69
83	80	45	12.6	7.48	$\phi 68 \times 140$	63	120	120	69
87	80	40	13	8.25	$\phi 70 \times 140$	65	120	120	78
91	80	40	13.3	8.85	$\phi 65 \times 130$	60	120	120	69
87	80	45	13	8.1	$\phi 65 \times 130$	60	120	120	64
83	80	45	12.6	7.48	$\phi 65 \times 130$	60	120	120	69
83	80	45	12.6	7.48	$\phi 65 \times 130$	60	120	120	69
86	80	50	14	7.49	$\phi 65 \times 130$	60	120	120	69
86	80	50	14	7.49	$\phi 65 \times 130$	60	120	120	69
87	80	45	13	8.1	$\phi 65 \times 130$	60	120	120	69

序 号	轧 管 机 调 整 参 数							
	轧管延 伸系数	喉 径	前 进 角	电机转速	芯 棒	轧 辊	减径量	减壁量
	μ_s	毫米		转/分	直 径	辊 径	ΔD	ΔS
35	1.56	94.0	7°30'~8°	400~450	63	480	24	4.5
36	1.96	87.0	7°30'~8°	350~400	71.5	480	23	5.5
37	1.69	88.5	5°~6°	380~430	69	480	20.5	4.5
38	1.55	89.5	6°30'~7°	400~450	66	480	18.5	4
39	1.83	85.5	5°~6°	350~400	70	480	18.5	5
40	1.64	86.5	6°~6°30'	380~430	69	480	17.5	4
41	1.76	87.5	6°30'~7°	400~450	68	480	20.5	5
42	1.72	87.5	6°30'~7°	400~450	66	480	20.5	5
43	1.60	87.5	7°30'~8°	400~450	64	480	20.5	4
44	1.59	88	7°30'~8°	400~450	63	480	19	4.5
45	1.49	88	7°30'~8°	400~450	61	480	19	3.5
46	1.52	88	5°~6°	400~450	59	480	18	4.5
47	1.44	88	5°30'~6°	400~450	57	480	18	3.5
48	1.86	83	6°30'~7°	350~400	69	480	19	4.5
49	1.83	81.5	7°~7°30'	350~400	66	470	18.5	5
50	1.54	83.5	5°~6°	400~450	64	480	14.5	3.5
51	1.85	83.5	5°30'~6°	400~450	60	480	24.5	6
52	1.12	78.5	6°~6°30'	350~400	55	455	21.5	6
53	1.88	79.5	6°30'~7°	350~400	64	460	20.5	5
54	1.73	80.5	6°30'~7°	380~430	63	465	18.5	4.5
55	1.58	81.5	7°~7°30'	400~450	62	470	17.5	3.5
56	1.71	81.5	7°30'~8°	400~450	60	470	21.5	4.5
57	1.59	82.5	5°~6°	400~450	59	475	21.5	3.5
58	1.62	82.5	6°30'~7°	400~450	57	475	20.5	4
59	1.92	76.5	7°~7°30'	350~400	63	435	17.5	6
60	1.81	77.5	7°~7°30'	400~450	60	445	21.5	4.5
61	1.87	79.0	5°30'~6°	400~450	57	455	23	6
62	1.91	75.5	6°~6°30'	400~450	56	430	22.5	5.5
63	2.08	72.5	5°30'~6°	380~430	59	415	20.5	5.5
64	1.84	73.5	6°~6°30'	380~430	58	420	19.5	4.5
65	2.04	74.5	6°30'~7°	400~450	57	425	22.5	6
66	1.86	74.5	7°~7°	400~450	55	430	22.5	5
67	1.72	75.5	7°30'~8°	400~450	53	430	22.9	4

续表 6-13

及 工 具 毫 米								代 用
夹 芯 辊	浮 动	推 管	推 管	挡	出 口	轧 制	润 滑 方 式	管 坯
规 格	横 梁	车 导	车 推	料	导 筒	形 式		直 径
	导 套	套	头	器	内 径			毫 米
100	72	72	72	72	128	回	石 墨 + 机 油 溶 液 液 液 液	115
90	82	82	82	82	107	全 浮		
90	82	82	82	82	107	全 浮		
90	82	82	82	82	107	全 浮		
90	82	82	82	82	107	全 浮		110
90	82	82	82	82	107	全 浮	溶 液 液 液 液	110
90	82	82	82	82	107	全 浮		
90	82	82	82	82	107	全 浮		
90	82	82	82	82	107	全 浮		
90	82	82	82	82	107	全 浮		
90	82	82	82	82	107	回	石 墨 + 机 油 石 墨 + 机 油 石 墨 + 机 油	115
90	62	62	62	62	107	回		115
90	62	62	62	62	107	回		115
90	72	72	72	72	107	全 浮		
90	72	72	72	72	107	全 浮		
90	72	72	72	72	107	全 浮	溶 液 液 液 液	105
90	62	62	62	62	107	全 浮		105
90	72	72	72	72	107	全 浮		95
90	72	72	72	72	107	全 浮		95
90	72	72	72	72	107	全 浮		
90	72	72	72	72	107	全 浮	溶 液 液 液 液 石 墨 + 机 油	105
90	62	62	62	62	107	全 浮		110
90	62	62	62	62	107	全 浮		110
90	62	62	62	62	107	回		110
80	72	72	72	72	107	全 浮		100
80	62	62	62	62	107	全 浮	溶 液 液 液 液	95
80	62	62	62	62	107	全 浮		100
80	62	62	62	62	94	全 浮		
80	62	62	62	62	94	全 浮		100
80	62	62	62	62	94	全 浮		100
80	62	62	62	62	94	全 浮	溶 液 液 液	
80	62	62	62	62	94	全 浮		
80	62	62	62	62	94	全 浮		

表 8-14 三辊轧管机组轧制轴承钢管的轧制表(单位: 毫米)

剥皮后钢管尺寸		热轧管尺寸		管坯	总延伸	穿孔机		
直 径	壁 厚	直 径	壁 厚	直 径	系 数	毛 管 径	毛 管 厚	辊 间 距
70.5	8.8	72	10	105	4.31	98	19	89
72.2	7.0	73.8	8.5	100	4.39	100	18	87
75.3	11.1	77	12.8	105	3.25	103	22	90
78.2	10.1	79.8	11.7	105	3.35	106	21	91
78.2	12.7	79.8	14.4	115	3.41	111	26	100
82.9	9.9	84.5	11.5	115	3.82	115	23	100
82.9	12.4	84.5	14.2	120	3.50	116	26	104
85.7	7.6	87.3	9.2	116	4.45	113	18	98
85.9	11.4	87.5	12.8	120	3.85	119	25	105

穿 孔 机			轧 管 机				定 径 后
导 板 间 距	顶 头 直 径	延伸系数	钢管直径	台 高 扁 度	芯 直 棒 径	延伸系数	钢管直径
95	58	1.83	74	8	52	2.35	73
93	58	1.69	75.5	8	56	2.60	74
96	58	1.52	79	8	52	2.14	78
97	68	1.52	82	8	56	2.22	80.5
106	58	1.47	82	10	52	2.32	80.8
106	64	1.53	86.5	10	62	2.50	85.5
110	58	1.50	86.5	10	56	2.33	85.5
104	72	1.89	89.5	8	70	2.35	88
111	64	1.50	89.5	10	62	2.44	88.5

表 6-15 克雷弗尔德滚珠轴承钢管公司在阿瑟尔轧管机上轧制薄壁管的试验资料 (单位: 毫米)

管坯尺寸		穿 管 尺 寸										调 整 参 数			
直 径	长 度	长 度 米	外 径	内 径	壁 厚	导板间距	辊间距	前进角 度	顶头位置	轧辊转速 转/分	电机转速 转/分				
102	1025	2.4	98	71.5	13.25	104	91	7	71	164	480				
102	1015	2.63	96	72	12	104	91	7	74	164	480				
102	1005	2.85	96.6	75	10.8	104	91	7	77	164	480				
102	1017	—	96.6	—	—	104	91	7	77	164	480				
102	887	—	96.9	—	—	104	91	7	77	164	480				

阿 塞 尔 轧 管 机													
荒 管		尺 寸		调 整		参 数							
外 径	内 径	壁 厚	长 度, 米	切头长度	喉 径	牌坊转角 度	芯棒直径	电机转速 转/分					
82	69	6.5	4.9	390	77	10	65	400					
84	75.5	4.26	7.72	—	72	13	65	400					
87.5	80.7	3.42	7.2	910	705	13	65	400					
87	80.5	3.25	—	—	70.5	13	65	400					
85	79.7	2.65	—	—	68.0	9	65	400					

注: 表中未注明的单位为毫米。

第三节 顶管机的孔型设计及轧制表编制

顶管机的辊模通常由3个、4个或6个不传动的辊子组成。选择几辊辊模主要考虑以下各点：

- 1) 延伸性如何，即应有较大的延伸系数；
- 2) 沿孔型宽度上压下的不均匀性；
- 3) 管子在孔型中的稳定性；
- 4) 辊子和导卫装置设计的困难程度。

由于使用三辊辊模时荒管在孔型中宽展余量较大，可以有较大的单架减面率（即延伸性较大），但在三辊辊模中金属变形在孔型中间最大，沿孔型宽度逐渐减小，到辊缝处最小，所以压下量分布很不均匀。四辊和六辊辊模，由于辊子增多，形成圆孔型趋势增加，从而变形不均匀性减小；但荒管在孔型中的稳定性却降低了。实践证明，荒管在三辊式孔型中的稳定性最好，并能顺利地进入下一架辊模中，而不需要在床身上靠近辊模处设置大量的导辊，基本上免去了导卫装置。另外辊子数目愈多，结构愈复杂。所以目前顶管机大多采用三辊式辊模。下面介绍三辊式顶管机的轧制表及孔型设计。

一、各架的变形量分配

变形量分配是确定每架辊模中的延伸系数，并确定所需的辊模个数 N 。

如工作辊模中的平均延伸系数为 μ 。（当采用减面率为25%的孔型系列 $\mu_c = 1.33$ ）。由于来料毛管内径大于芯棒直径，所以第一、二架主要是减径变形，变形量是较小的，取：

$$\mu_1 \mu_2 = \mu_c$$

设毛管在第一、二架辊模中的相对断面减缩率分别为 G_1 和 G_2 ，且系数 $K_F = G_1/G_2$ 。

第一架的延伸系数按下式确定：

$$\mu_1 = 0.5 \mu_c \left[\sqrt{\left(\frac{1}{K_F} - 1 \right)^2 + \frac{4}{\mu_c K_F}} - \frac{1}{K_F} + 1 \right]$$

則 $\mu_2 = \mu_c / \mu_1$ 。

对于第三架至直 $n-2$ 架

$$\mu_3 = A\mu_c$$

$$\mu_{n-1} = A_{n-1}\mu_c$$

式中 A ——小于1或等于1的系数，依钢种和规格不同来确定
(文献中未给出实际数据)。

在成品前孔和成品孔中也取较小的延伸系数

$$\mu_{n-1}\mu_n = B\mu_c$$

式中 B ——小于1的系数，考虑轧制终了时温度降低、金属塑性降低和变形抗力增加，应减小变形量。

如在成品前孔和成品孔的减面率分别为 G_{n-1} 和 G_n ，且系数 $K_k = G_n / G_{n-1}$ ，成品孔的延伸系数用下式确定：

$$\mu_n = 0.5\mu_c B \left[\sqrt{\left(\frac{1}{K_k} - 1 \right)^2 + \frac{4}{BK_k\mu_c}} - \frac{1}{K_k} + 1 \right]$$

而

$$\mu_{n-1} = \mu_c / \mu_n$$

各架的延伸系数按上述方法确定，而总延伸系数为：

$$\mu_z = \frac{(D_0 - S_0)S_0}{(D_n - S_n)S_n}$$

所需辊模个数为：

$$N \approx \frac{\ln \mu_z}{\ln \mu_c} + (2 \sim 3)$$

在已知各辊模中的荒管尺寸 D_i 、 S_i 、 F_i 时，实际的对数变形分量为：

$$\text{轴向(延伸)变形} \quad \varphi_{1i} = \ln \mu_i = \ln (F_{i-1} / F_i)$$

$$\text{切向变形} \quad \varphi_{2i} = -\ln [(D_{i-1} - S_{i-1}) / (D_i - S_i)]$$

$$\text{径向变形} \quad \varphi_{3i} = -\ln (S_{i-1} / S_i)$$

图6-3为沿顶管机床身上纵向配置的各个辊模中实际变形量的分配实例。图中 a 为每个辊模的实际变形量分配，图中 b 为累积变形量。

在确定了每个辊模的变形量分配后，则按下述条件来确定辊

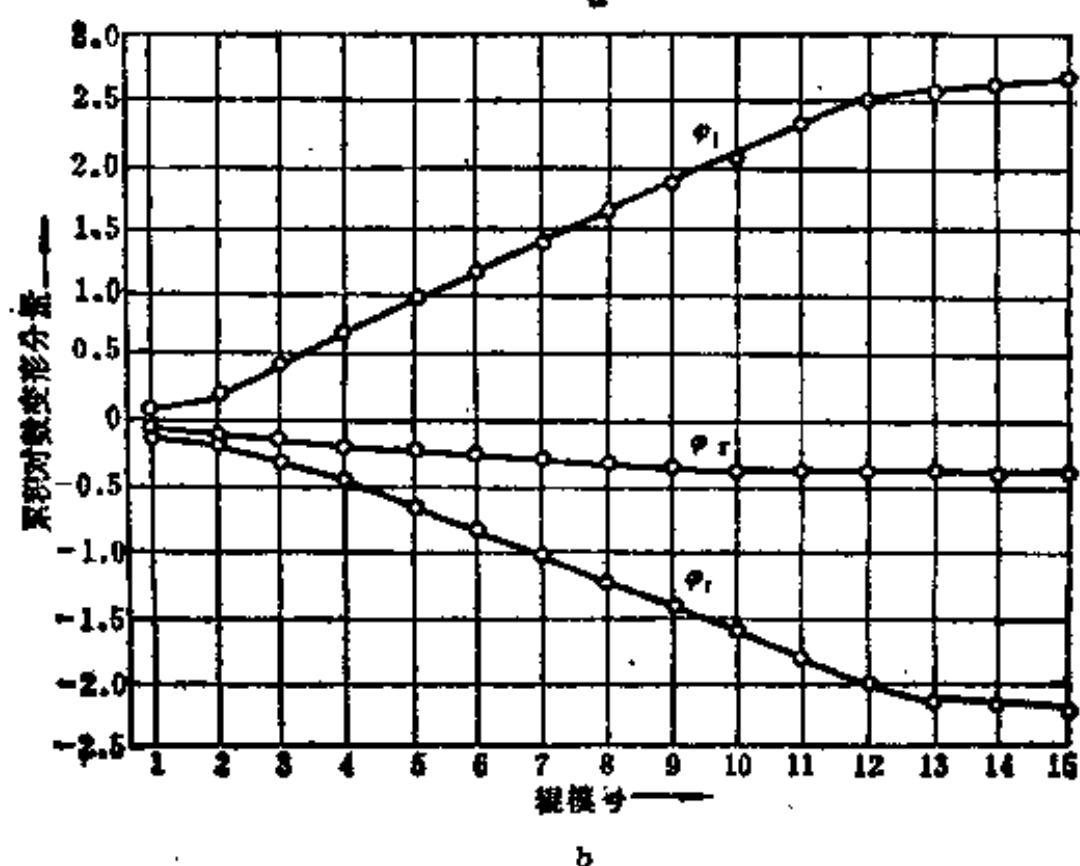
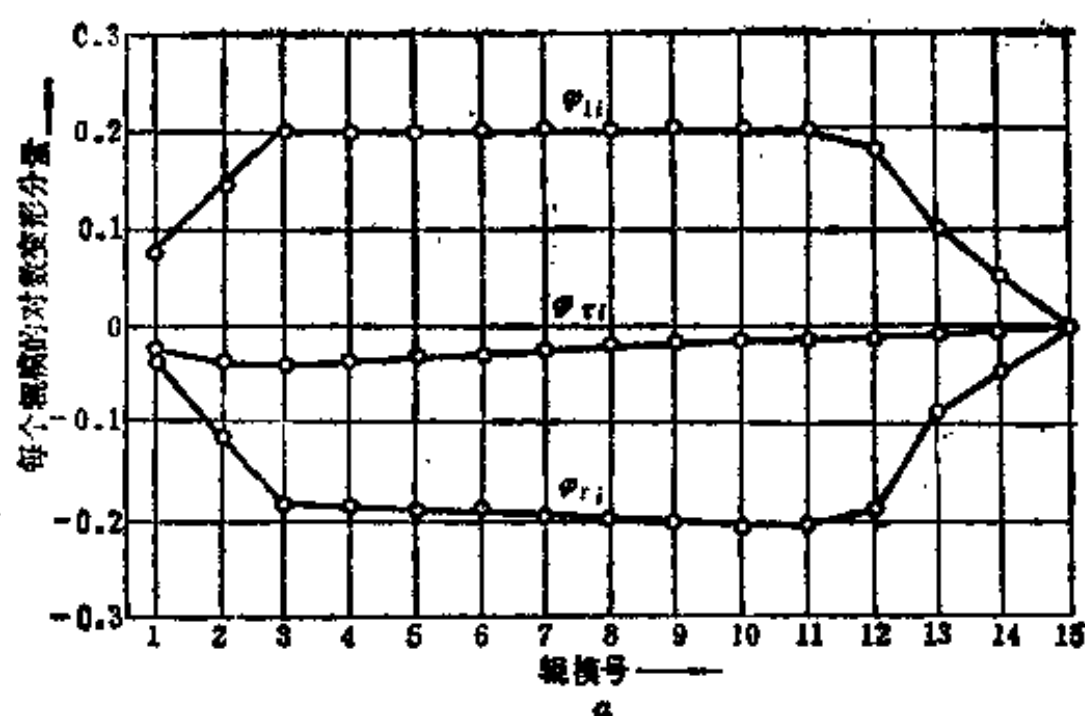


图 6-8 对数变形量分配图

模间距:

- 1) 需要配置的辊模数和床身长度;
- 2) 在最初几个辊模中, 顶推力基本上由杯底承受且受杯底

承载能力的限制。特别是CPE工艺中由于杯底承载弱，更应考虑。另外，当采用预穿芯棒时在最初几个辊模中齿条可能是在加速状态运行，因此顶推力还受电动机能力的限制。因此在开始阶段同时轧制的辊模数一般为1~2个，最多3个；

3) 在工作辊模中主要考虑同时在几个辊模中轧制的顶推力大小，另外同时轧制的总减面率最大不超过70%。

二、孔型设计

孔型的椭圆度系数：

$$e = \frac{a}{b} = \frac{1}{(1-\rho)^q}$$

式中 a ——孔型长半轴；

b ——孔型短半轴；

ρ ——减径量， $\rho = \frac{D_{i-1} - D_i}{D_{i-1}}$ ；

q ——考虑轧件宽展的幂指数，取决于辊模中的辊子数目和金属的塑性，按表6-16选取。

表 6-16 q 值的确定

钢 种	辊 子 数 目		
	三 辊	四 辊	六 辊
碳钢和低合金钢	1.23	1.1	1.02
高合金钢和不锈钢	2.4	1.85	1.2

孔型各尺寸的确定：

$$a = d_c \frac{f_d e}{1 + e}$$

$$b = d_c \frac{f_d}{1 + e}$$

$$d_c = (a + b) \frac{1}{f_d}$$

$$f_d = \frac{2+e-e^2}{e^2-e+1} \times \frac{0.673387}{\sqrt{0.866(\beta - \sin \beta) + \sin^2 \frac{\beta}{2}}}$$

式中 d_c ——荒管在孔型中的平均直径；

f_d ——考虑荒管断面情况的修正系数。

孔型的其他几何参数计算公式如下（参见图6-9）：

$$C = d_c \frac{\sqrt{3} e f_d}{1+e}$$

$$E = d_c \frac{f_d(e-1)}{2-e}$$

$$R = d_c f_d \frac{e^2-e+1}{2+e-e^2}$$

$$D_{mls} = D_{id} - d_c \frac{2f_d}{1+e}$$

$$D_b = D_{id} - d_c \frac{f_d e}{1+e}$$

$$\beta = \frac{2}{3}\pi - 2\arcsin\left[\frac{0.866(e^2-1)}{e^2-e+1}\right]$$

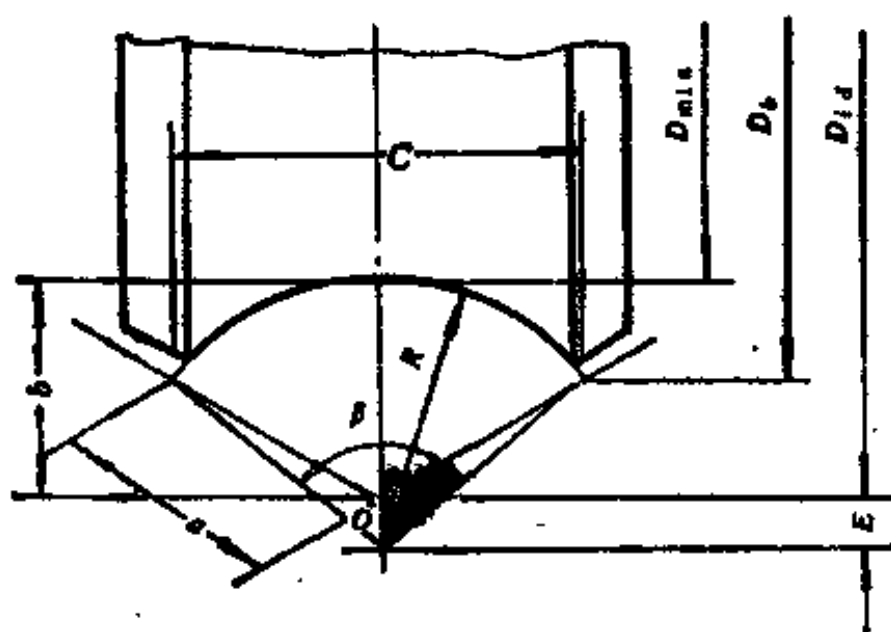


图 6-9 轧辊孔型尺寸

轧辊孔型的总面积

$$F_w = 3R^2 \left[\frac{\beta - \sin \beta}{2} + \frac{1}{\sqrt{3}} \sin^2 \frac{\beta}{2} \right]$$

在荒管已箍紧芯棒情况下，荒管在孔型中的断面积为：

$$F_i = F_w - F_c = 3R^2 \left[\frac{\beta - \sin \beta}{2} + \frac{1}{\sqrt{3}} \sin^2 \frac{\beta}{2} \right] - \frac{\pi}{4} \delta_c^2$$

式中 δ_c —— 芯棒直径。

第七章 钢管的质量控制和轧制缺陷

对钢管质量的要求包括有：尺寸精确度，内外表面质量（光洁）和机械性能。有些钢管还附加有其他特殊要求，来保证特殊的使用条件（如不锈钢管的抗腐蚀性要求，轴承钢管或高压锅炉管的显微组织要求等等）。对各种钢管的质量要求都规定在国家标准和部标准中。

钢管的机械性能首先决定于钢种以及钢管的热处理，当然有些情况下轧制钢管的温度制度和变形制度对钢管工艺性能和机械性能也有影响。

钢管的内外表面质量主要由原料表面质量和内部组织和钢管的生产工艺决定。钢管外表面质量和管坯表面质量及修磨有着密切关系。管坯表面质量差（有缺陷），最终会反映在成品钢管上，使得钢管表面质量下降。钢管外表面上的缺陷有时是在制管过程中造成的。钢管内表面缺陷或是由钢质带来的或是制管工艺不当造成的。

钢管几何精确度主要由制管工艺和制管设备决定。

第一节 钢管尺寸精度的控制

钢管几何尺寸精确度，由外径和壁厚公差决定，而内径公差一般是不规定的。虽然在很多情况下内径精确度比外径精确度更有重要意义，但是因为在热轧钢管生产中没有定内径的设备，目前内径精确度的问题尚无法解决。不过一般情况下可认为内径实际的和相对的精确度是外径和壁厚精确度的函数。

在轧制薄壁管($D/S > 15 \sim 18$)情况下，内径的精确度要比外径精确度低25~33%。而轧制厚壁管时（尤其是通过减径）内径的精确度显著下降，而且壁厚愈大，则下降的程度也愈大。如本书第四章所指出的，钢管减径时，内径容易出现“内方”和“六角

表 7-1 热轧钢管常用技术条件的尺寸公差表

标准名称	标准号	外径 毫米	允许偏差		壁厚 毫米	允许偏差		备 注
			普通级	高级		普通级	高级	
无缝钢管	YB231—70	≤ 57	$\pm 1.5\%$		所有壁厚	$\pm 15\%$		通常长度3~12.5米
		≤ 159	$+1.25\%$ -1.0%	$\pm 1.0\%$	3.5~20	$+12.5\%$ -15%	$\pm 12.5\%$	
锅炉用 无缝钢管	YB232—70	≤ 159	$\pm 1.0\%$		所有壁厚	$+12.5\%$ -15%		根据要求,壁厚可按 $+17.5\%$ 生产,长度同 YB231—70
石油裂化 用管	YB237—70							外径和壁厚的允许偏差 按YB231—70规定
高压锅炉 无缝钢管	YB239—70	≤ 159	$\pm 1.0\%$		3.5~20	$+15\%$ -10%		长度4~12.5米
不锈钢 无缝钢管	YB804—70	≤ 140	$\pm 1.5\%$	$\pm 1.25\%$	$>10\sim 20$	$\pm 20\%$	$\pm 15\%$	通常长度1.5~10米
					≤ 10	$\pm 15\%$	$\pm 12.5\%$	
热轧管半 成品 供冷拔料 (转移标准)		所有尺寸	$\pm 1.5\%$		≤ 7	$\pm 0.5\text{毫米}$		
					>7	$+12\%$ -10%		

形”等。但对多数钢管而言，重要的是外径和壁厚公差。国家标准中对各类热轧钢管的尺寸公差要求，如表7-1所示（部分标准）。

一、外径精度

钢管的外径公差决定于定径方法、定径设备的运转情况和精度、定径工艺制度等。

定径方法是决定外径公差的首要因素。纵轧定径的（包括减径）钢管，外径的精确度可到 $\pm 0.8 \sim 1\%$ ，而斜轧定径的可以得到高的外径精确度，到 $\pm 0.5\%$ 。

工艺制度对外径的精确度的影响主要决定于定径机的轧制温度和温度的稳定性。轧制温度高，轧后钢管收缩量大，往往容易超出外径负偏差；相反，轧制温度低可能超出正偏差，而成为次品。因此根据定径钢管的尺寸规格、钢种、以及温度情况和工具磨损情况要不断调整轧机。

此外，外径超公差还和轧辊孔型车削精度、各架变形量的分配以及调整有关。

如果轧辊孔型车削不规整（特别是精轧孔），那么轧出的钢管外径也不规整，这是很明显的。轧辊同心度不好时（有偏心），会造成钢管外径或大或小（沿长度上）。

变形量分配不均，例如前几架过分地压下，而精轧等于空转，则轧出的钢管呈椭圆形，有可能椭圆长轴超正偏差或短轴超负偏差，等等。

沿钢管长度上温度分布不均同样对外径精确度有影响，当在定径前不进行再加热时，轧制薄壁管时的头尾温度差可能很大。

对于成品钢管外径公差除了考虑定径机外，还应该考虑在钢管冷矫直时外径可能有变化。根据试验研究^[28]得出，大多数情况下在2-2-2-1矫直机上冷矫直钢管时外径有些减小；但外径的变化，最大不超过0.2%，被矫直钢管的尺寸和矫直机的调整对钢管外径变化有重要影响。图7-1为实际试验资料。图中曲线1、2表示矫直中心线和第二对轧辊中心线差值即下移值小，而压下

量（为原管外径和轧辊间距之差）大的情况；曲线3表示下移值大的情况。

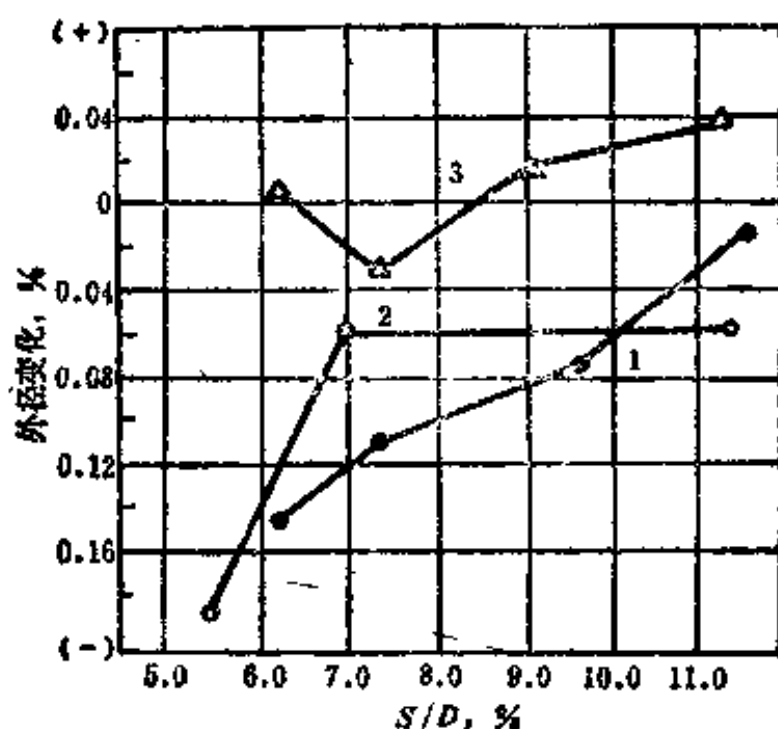


图 7-1 矫直过程中钢管外径的变化

由图可以看出，下移量大时钢管外径有增大的倾向，下移量小而压下量大时钢管外径则减小。钢管外径的变化同 S/D 的关系，规律性不强；可以认为，在 $S/D > 7$ 情况下，随着 S/D 的增加外径减小量减小。

至于76机组生产的半成品管，对外径公差的要求并不严格。

二、横向壁厚精度

钢管壁厚的精确度决定于壁厚的不均程度以及实际壁厚同名义壁厚之差。每一截面上最大壁厚和最小壁厚之差比平均壁厚（或名义壁厚），称横向壁厚不均，即

$$(S_{\max} - S_{\min}) / S_{\text{名义}} = P \times 100\%$$

横向壁厚不均是衡量钢管几何精确度的主要指标，特别是对于生产热轧成品钢管更为重要。我们知道，76机组主要是生产冷拔钢管坯，如果冷拔空拔道次较多时有均壁作用，从而对原管壁厚不均的要求可降低，而对热轧成品管则不然。

沿钢管长度上不同截面中的平均壁厚差为纵向壁厚不均。

实际壁厚和名义壁厚之差，这个数值表示生产出的钢管是否接近规定的名义壁厚值。这点主要决定于轧管机的调整。在生产中只要勤检查钢管壁厚，及时调整轧管机，是不难解决的。譬如工具和孔型磨损了如不进行调整，管壁必然增厚，如果顶头尺寸用错了，不是壁厚就是壁薄。其次温度条件也有很大的影响。在生产中关键的是温度要稳定，温度稳定壁厚偏差就小，这就要求穿孔机和轧管机密切配合，协调一致。

对于无张力减径机来说，重要的是要正确地计算和调整速度制度；不然，产生大的张力或推力，就会对钢管壁厚有很大影响。

下面着重讨论横向壁厚不均。横向壁厚不均的产生原因较复杂，同时影响因素较多，因此研究横向壁厚不均理论上和实践上都有重要意义。

横向壁厚不均差不多和整个工艺过程都有关，如定心、加热、穿孔、轧管、均整、减径等。

研究壁厚不均的方法，一是由实际的生产统计资料来探索钢管壁厚不均的规律，一是进行科学试验（在实验室或现厂条件下）。而前一种方法更有实际意义。我们曾对我国114和140自动

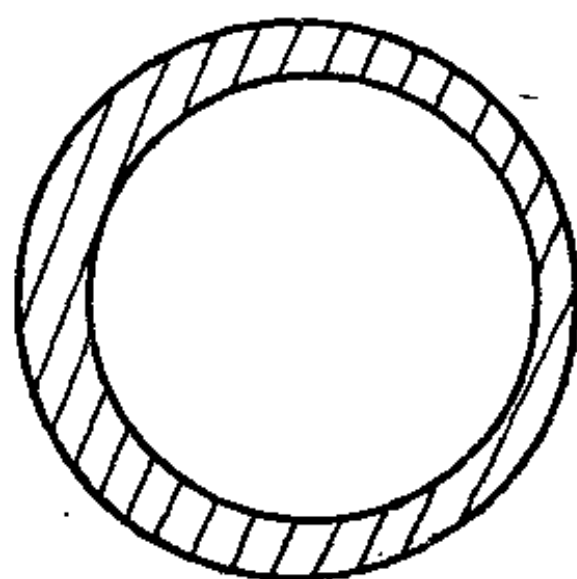


图 7-2 偏心性壁厚不均

轧管机组和133顶管机组的钢管壁厚不均情况进行了统计,并得到了一些科学数据〔29〕。

统计数据是根据三个机组质量检查站每班在定径(或减径)后取样所测定的端部壁厚记录而整理的。根据这些生产实际资料按不同品种、规格和年度求出具有各种相对壁厚不均的钢管数量,然后求所占百分比,作出曲线图

应当说明的是,所统计的数据是综合因素影响的结果。但通过对各种条件的具体分析也能得到主要的影响因素。

在穿孔机上产生偏心性壁厚不均(如图7-2所示),而在自动轧管机上产生对称性壁厚不均。根据这两个特点我们可以分析如下。

1. 钢管几何尺寸对相对壁厚不均的影响

钢管壁愈厚,具有较小的相对壁厚不均的钢管数量所占的比例愈高,也就是说相对壁厚不均减小,但绝对壁厚不均增加,如图7-3所示。根据统计数据得出,当壁厚在9毫米以上时,在140机组上生产的厚壁管,全部钢管的壁厚不均都小于0.15,而在

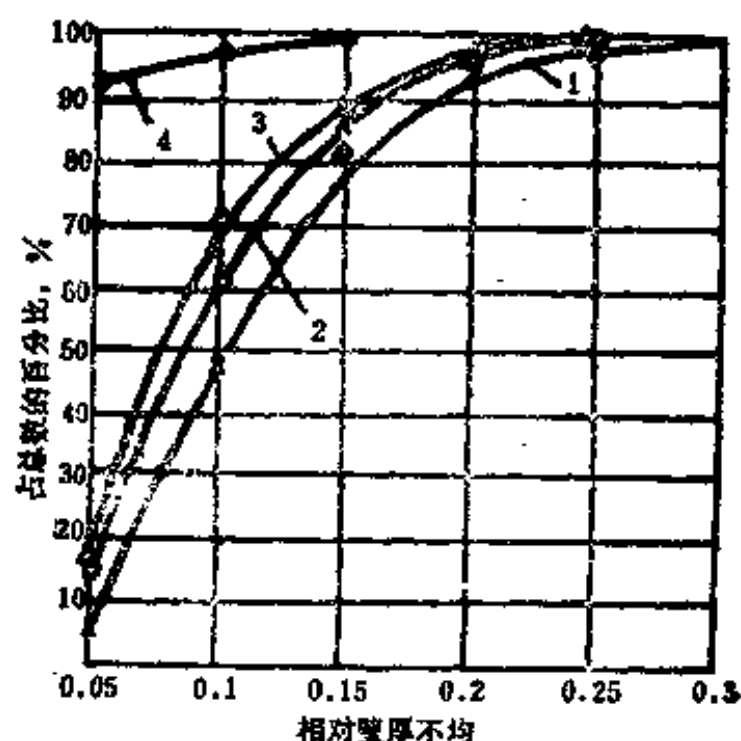


图 7-3 钢管壁厚和相对壁厚不均的关系 (140机组)

1—76×3.5毫米; 2—76×4毫米; 3—76×6毫米; 4—76×9~14毫米

114机组上相对壁厚不均小于0.15的钢管所占比例也达到了85%。这是因为虽然绝对壁厚不均增加，但除以壁厚的相对值却下降。

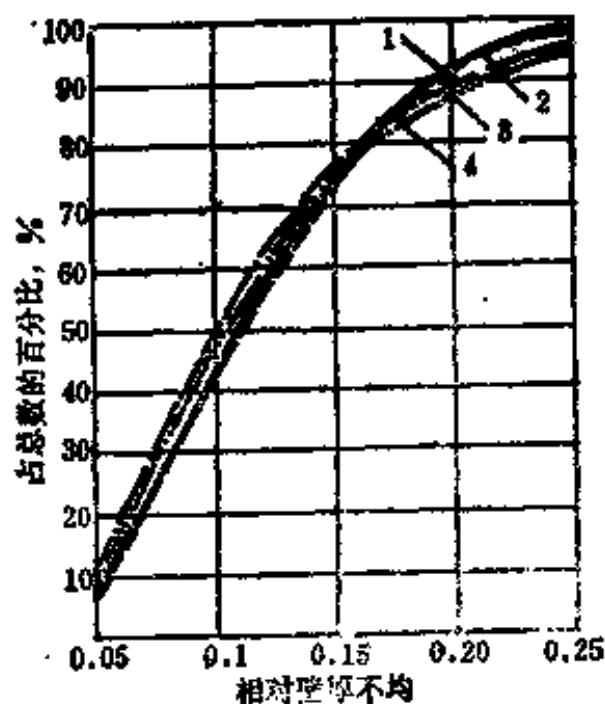


图 7-4 钢管外径和相对壁厚不均的关系(114机组)

1—102×4毫米；2—89×4毫米；3—83×4毫米；4—76×4毫米

钢管外径和相对壁厚不均的关系如图7-4所示。由图可以看出，在钢管外径波动范围不大的情况下影响是很小的。

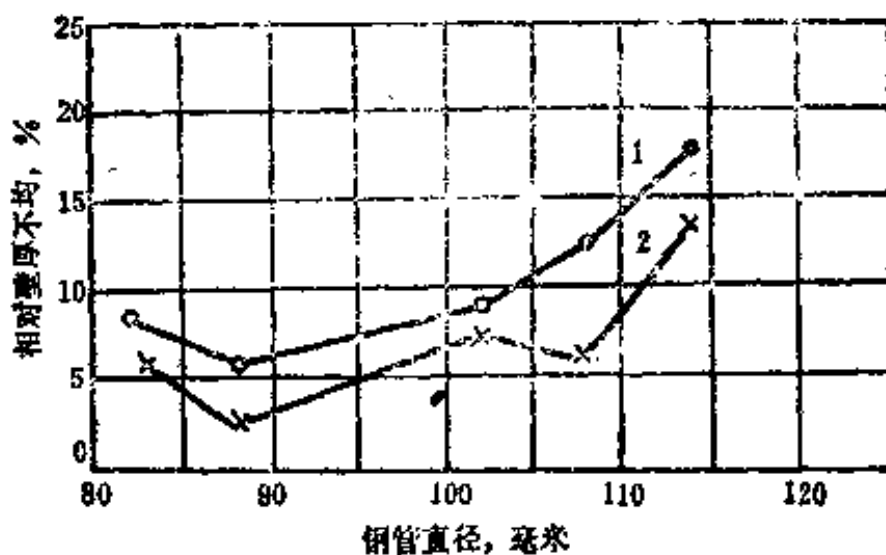


图 7-5 钢管外径和相对壁厚不均的关系⁽²⁰⁾

1—壁厚 4 毫米；2—壁厚 5 毫米

有的资料^[20]指出,轧制大直径管时相对壁厚不均增加,如图7-5所示。实际上,按图7-5中的数据,钢管外径在83~102毫米时也是没有明显的影响,和上述统计数据是一致的。

钢管长度定尺和不定尺对相对壁厚不均的影响如图7-6所示。由图可知,定尺钢管较不定尺钢管的相对壁厚不均情况为好,这可能和操作有关,因为轧制定尺料,不管加热炉、穿孔机和轧管机均较易控制。

2. 变形制度(轧制表)对相对壁厚不均的影响

图7-7为某机组不同年份轧制的钢管相对壁厚不均的统计数据。由图可以看出,1957年钢管相对壁厚不均较59、60年要好一些。分析历年来轧制表的变化可以看出,主要是采取了如下的一些措施使轧制表(变形制度)受到了影响。59、60年在自动轧管机上采用比57年大1~2毫米的毛管外径,从而实行了大压下。另外,加大第二道的延伸系数,两道顶头直径差由1~2毫米增加到3毫米。还采取了“大管减径”等措施。应当指出,采取以上措施虽然使钢管壁厚不均有所增加,但生产率有了显著提高。

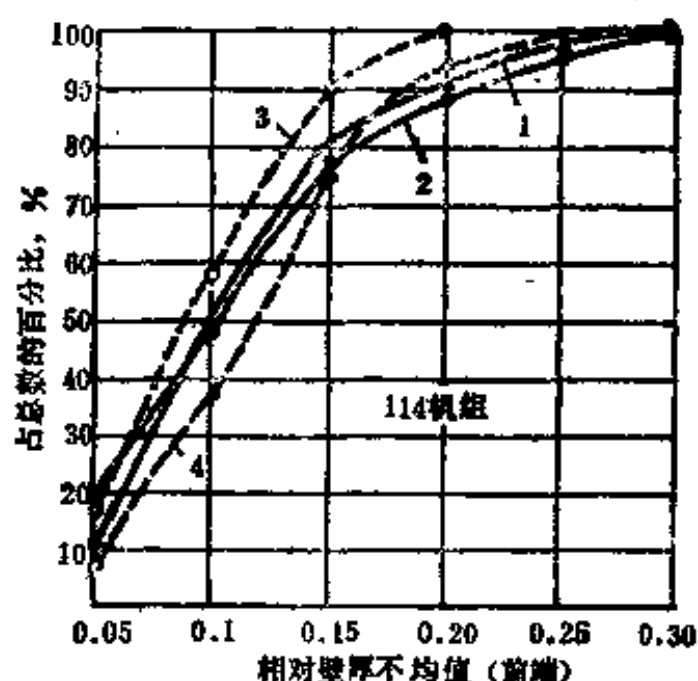


图 7-6 定尺管和不定尺管对相对壁厚不均的影响(114机组)

φ76×4毫米: 1—定尺; 2—不定尺; φ76×5毫米: 3—定尺; 4—不定尺

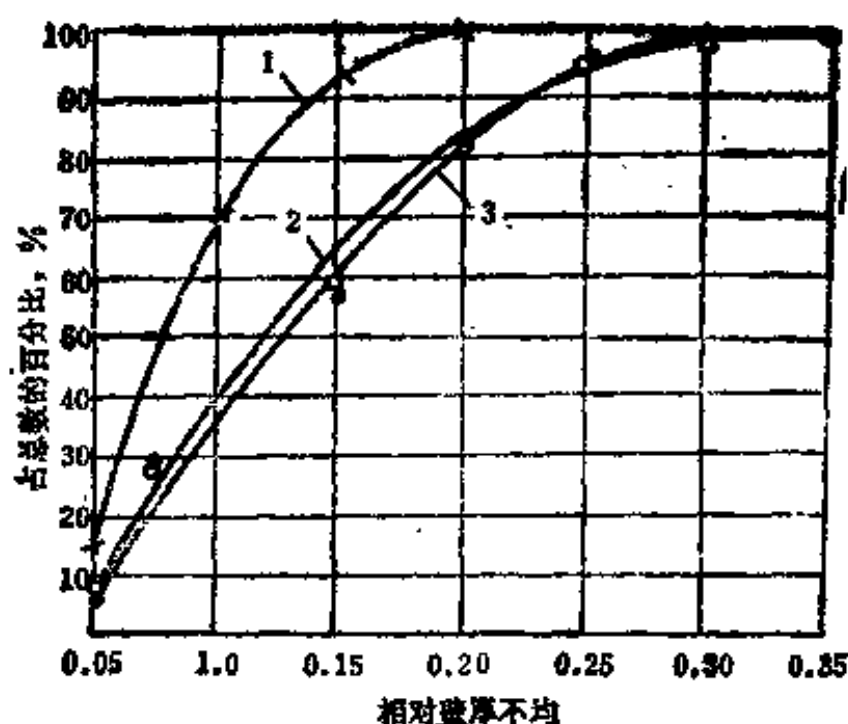


图 7-7 变形制度对相对壁厚不均的影响 (73×5.5毫米管后端)

1—1957年, 2—1959年, 3—1960年

在自动轧管机上采取大压下和增大第二道延伸系数 (即总延伸系数) 导致在自动轧管机上对称性的壁厚不均增加, 这点已被许多试验者证明〔6,20,30〕。

3. 钢管前后端壁厚不均

由114自动轧管机组统计资料 (图7-8) 得出, 在轧制同一规格薄壁钢管时前后端壁厚不均相差很小。可以认为, 资料〔6〕得出的在自动轧管机组上轧制薄壁管时前端壁厚不均大于后端的结论是没有普遍性的, 它可能只适用于轧制较厚壁的钢管。

4. 两辊穿孔机的顶杆固定装置对钢管壁厚不均的影响

顶杆固定装置对钢管壁厚不均的影响, 如图7-9所示。用盖瓦固定顶杆和用定心辊固定有很大差别。采用定心辊固定顶杆能显著地改善壁厚不均情况, 这是由于用定心辊固定顶杆增加了顶杆的刚度, 减少了顶杆弯曲, 从而增加了顶头在变形区中运动的“稳定性”。这些实际资料充分说明了顶杆固定和调整的重要性。从而, 设计良好的固定顶杆装置, 对提高钢管几何尺寸 (壁厚) 精度有重要的意义。

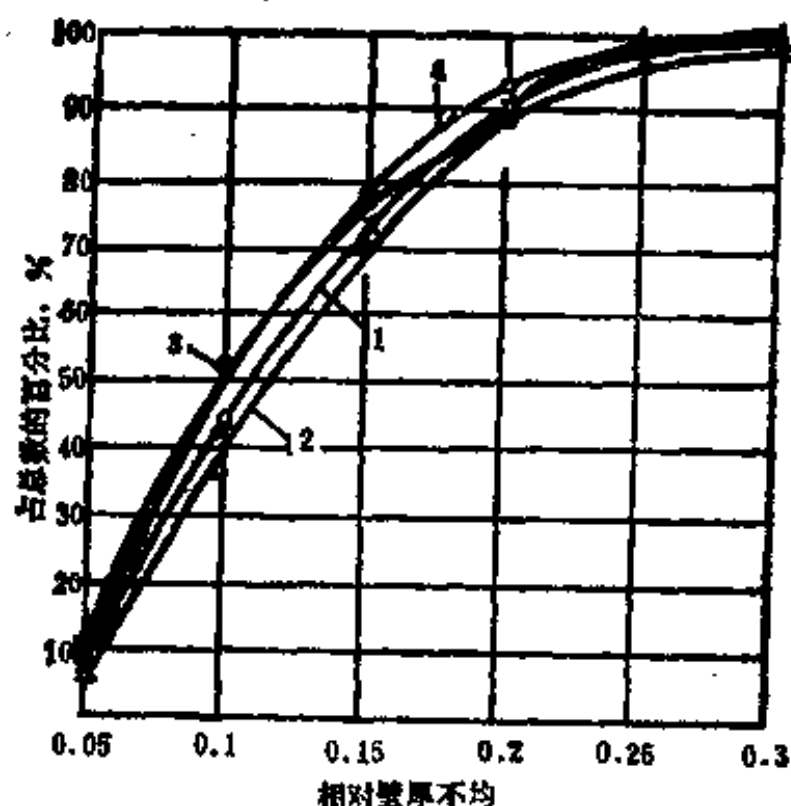


图 7-8 钢管前后端的壁厚不均 (114机组)

1—120×4毫米, 前端; 2—120×4毫米, 后端; 3—76×4毫米, 前端; 4—76×4毫米, 后端

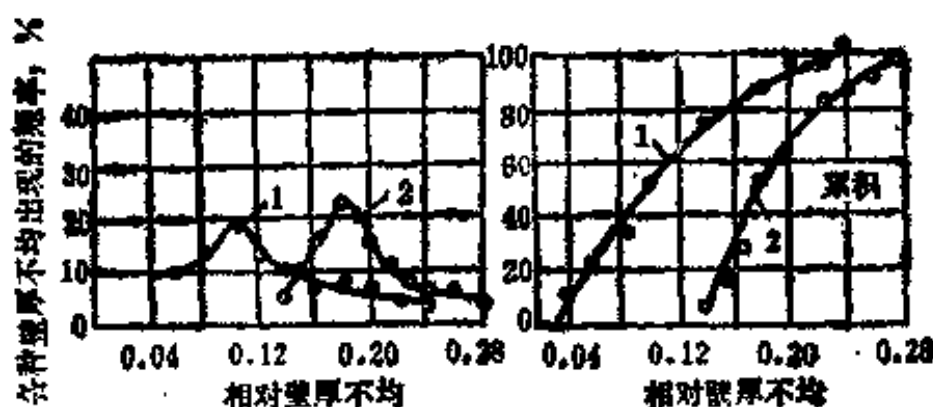


图 7-9 顶杆固定方式对相对壁厚不均的影响

1—定心辊; 2—盖瓦

5. 管坯定心和不定心

不少资料指出, 小尺寸的管坯可以不定心。这对于轧制薄壁管以及轧制供冷拔坯料的半成品管是有一定道理的。因为薄壁管变形大, 而对于冷拔坯来说, 一般钢管头部 (或尾部) 成为冷拔

时的锤头部分，从而头尾壁厚不均影响金属消耗的意义就不大了。定心是减小钢管前端壁厚不均最有效的方法。通常，毛管前端长300毫米一段的壁厚不均特别明显，因而如果采取热定心，可以在生产热轧成品钢管时防止钢管头部壁厚超公差；如果头部壁厚超公差，就不得不增加切头长度，这样就增加了金属消耗。

6. 管坯加热的影响

管坯加热不均很容易造成横向壁厚不均（偏心的），这是很明显的。如果管坯温度一面低一面高，则毛管低温面壁厚，高温面壁薄。资料〔6〕介绍，某工厂曾试验过，如果管坯一面冷却厉害，则平均壁厚不均由原来5%增加到15~20%，特别是加热不均对厚壁管影响更大。

7. 工具精确度的影响

工具尺寸不精确，如顶头芯棒椭圆形、穿孔机顶头后孔偏心等，必然会造成壁厚不均。又如使用过度磨损（不均匀磨损）的孔型也会增加壁厚不均，等等。总之，凡是变形区正确的几何形状遭到破坏时，壁厚不均都会加剧。

8. 轧机调整的影响

（1）穿孔机的调整

前端壁厚不均可以通过观察毛管前端是否齐平来判断。造成前端壁厚不均的一种原因是咬入不良，顶头鼻部不能对准管坯中心，这时应适当加大顶头前压缩量 $u_0\%$ ；另一种原因是穿孔前顶头的中心线与顶杆中心线不重合，穿孔时顶头不能对准管坯中心，尤其在穿厚壁毛管时更为严重；但随着穿孔过程的进行，顶头能自动找正，从而仅造成前端壁厚不均。

全长性壁厚不均可以通过观察毛管上是否出现大螺紋来判断。全长性壁厚不均是调整不当造成的，主要有工具安装不当或工具磨损使轧制线不正，另外还有两个轧辊倾角不一致、定心辊调整不当、顶杆剧烈抖动、工具没有紧固好以及加热不均等。

这时要重新调整，使顶杆中心线和轧机中心线一致，工具安

装要对称，轧制线要正。磨损的工具要及时更换。

后端壁厚不均的造成原因有：过早地打开定心辊，轧辊转速过高，顶头位置过前，轴向力大（轧合金钢、轧厚壁管时）或管坯温度低，顶杆弯曲厉害，终轧前管坯尾端甩动厉害。

导板间距的影响，资料〔31〕进行了专门的试验。试验是在小穿孔机上进行的，管坯直径30~50毫米，毛管直径30~60毫米。试验得出，不同的导板距（即椭圆度）对壁厚不均的影响如图7-10所示。

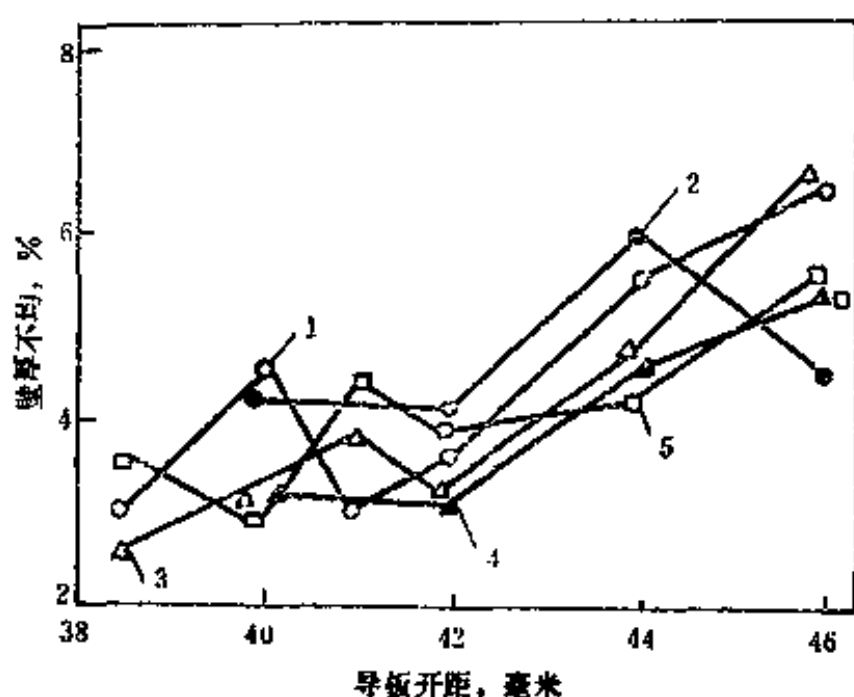


图 7-10 导板距与壁厚不均的关系

顶头位置比轧制中心线高出：1—0毫米；2—1毫米；3—2毫米；
4—3毫米；5—4毫米

由图可以看出，随着导板距的增加，壁厚不均增加。这是因为保持穿孔中心线要靠导板起限制作用，导板间距大，则说明顶头在上下位置上变化大，即顶头不稳定，最终导致毛管壁厚不均增加。导板距为40毫米时，壁厚不均为3.6%；而导板距增大到46毫米时，壁厚不均增加到6.0%。由此不难看出，在实际生产中控制较小的导板距对减小毛管壁厚不均是有好处的。

（2）轧管机的调整

由于轧管机调整不良造成的壁厚不均是严重的，主要有两个

方面：其一是两个轧辊不平行，从而造成孔型一边辊缝大一边辊缝小，于是两边壁厚不同。其二是上下轧辊轴线不在同一垂直面上，且轴线相交。这种轴线相交容易造成钢管扭转，这样，孔型辊缝带给钢管的凸棱不成直线，翻钢困难，故容易造成壁厚不均加剧。

此外，孔型错位、翻钢不正等都容易造成壁厚不均加剧。

9. 穿孔机形式的影响

三辊穿孔机和带导盘穿孔机可以穿出高精度的毛管来，主要原因是顶头在变形区中的位置稳定，也就是轧件椭圆度很小，顶头在变形区中易对中，从而壁厚不均较小。

10. 自动轧管机孔型形状和两道变形量分配对壁厚不均的影响

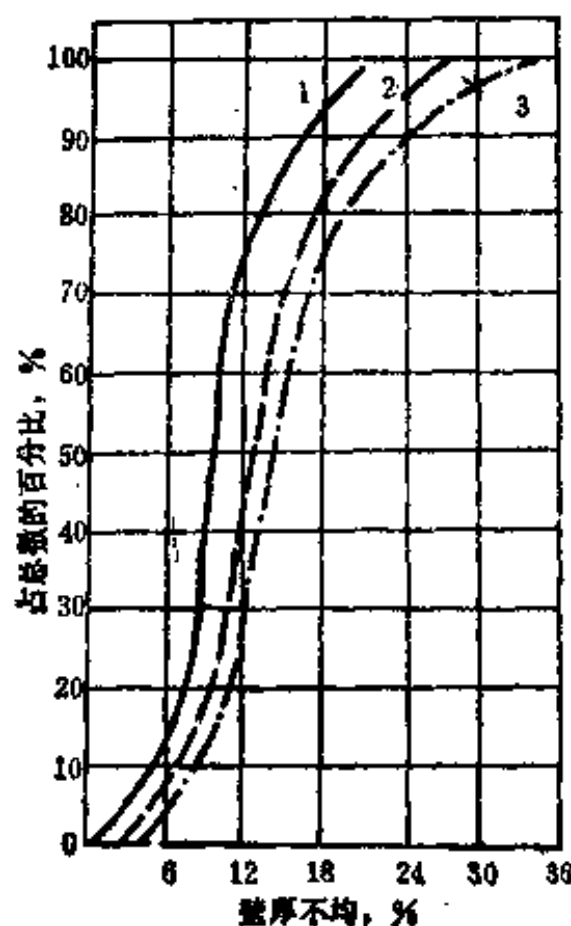


图 7-11 孔型宽高比对壁厚不均的影响

$\frac{B}{A}$: 1—1.04; 2—1.06; 3—1.02

资料〔20〕进行了孔型形状对壁厚不均影响的试验，结果（图7-11）得出：一般来说，孔型轴比 B/A 愈大，则壁厚不均也大；但当孔型轴比很小时壁厚不均也增加，这是因为孔型过窄时第一道轧制时容易出耳子，而这个耳子在第二道轧制不能完全消除时使得壁厚不均增加。因此推荐孔型轴比取1.04~1.05，而现厂多取1.07。

关于轧管机各道延伸系数分配的影响，试验得出，在总延伸一定的情况下，两道顶头直径差愈大则壁厚不均也愈大，如图7-12所示。在两道顶头直径相等的情况下钢管壁厚不均最小，第二道仅起均壁作用，如76机组的情况。

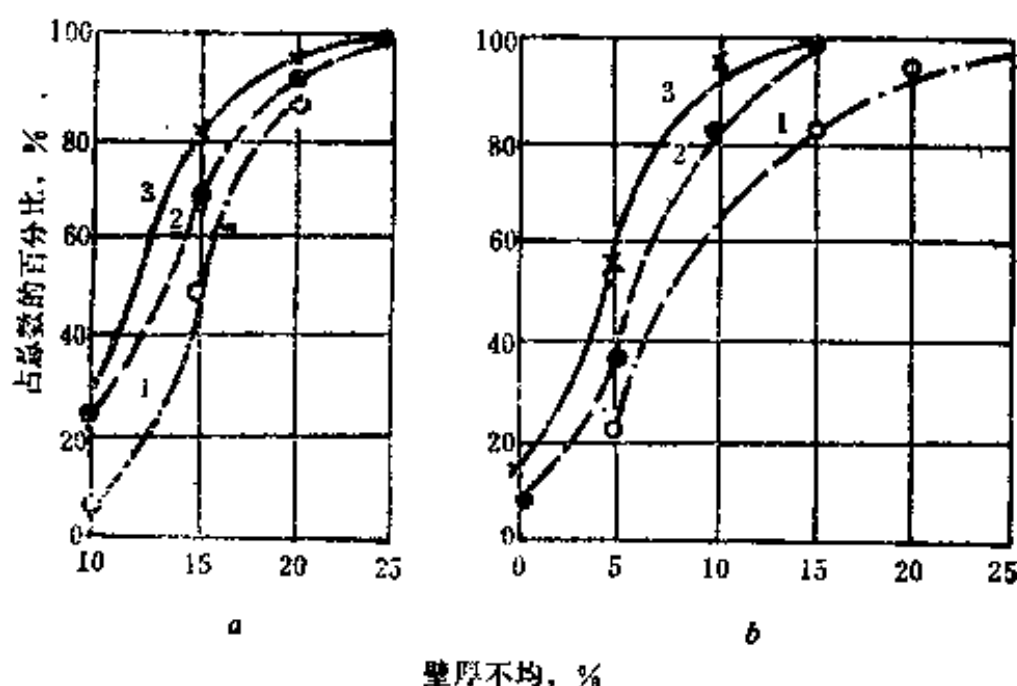


图 7-12 轧管机各道变形量分配对壁厚不均的影响
a—管子前端；b—管子尾部；轧制钢管尺寸 $\phi 83 \sim 102$ ， $S = 3.5 \sim 4.0$ 毫米
两道顶头直径差：1—2毫米；2—1毫米；3—0毫米

11. 均整机对壁厚不均的影响

均整机可以部分地消除钢管横向壁厚不均。根据资料〔8〕介绍，轧管机出来的钢管，如果具有0.6~0.9毫米的绝对壁厚不均，经均整后可减小到0.4~0.5毫米。

根据广州某厂的试验得出：未经均整的冷拔管料绝对壁厚不

均通常在0.5~0.6毫米，经均整后减小到0.2~0.3毫米，同时还减小了钢管的椭圆度。一般均整后的钢管椭圆度不超过0.5毫米。

(长短轴之差)，而轧管后的钢管椭圆度可达1~1.5毫米。因此，在76机组中设置均整机对提高冷拔管料的几何尺寸精确度是有利的；但也存在一些其他问题，本书第二章中已叙述过，不再重复。

12. 减径机对壁厚不均的影响

减径造成壁厚不均的原理已在本书第四章讨论过。一般来讲，无张力减径机的减径量愈大，壁厚不均也愈大，而稍带张力就可以减小钢管横向壁厚不均。

总结各轧机对钢管壁厚不均的影响如图7-13所示。由图7-13可看出，在自动轧管机上轧管后增加了钢管的壁厚不均（比毛管）值。如毛管中最大壁厚不均值到25%的只占20%，而轧管第一道后壁厚不均值增至60%。但轧第二道后钢管壁厚不均值显著下降，壁厚不均值在22~24%的钢管已占钢管总数的94%。经过

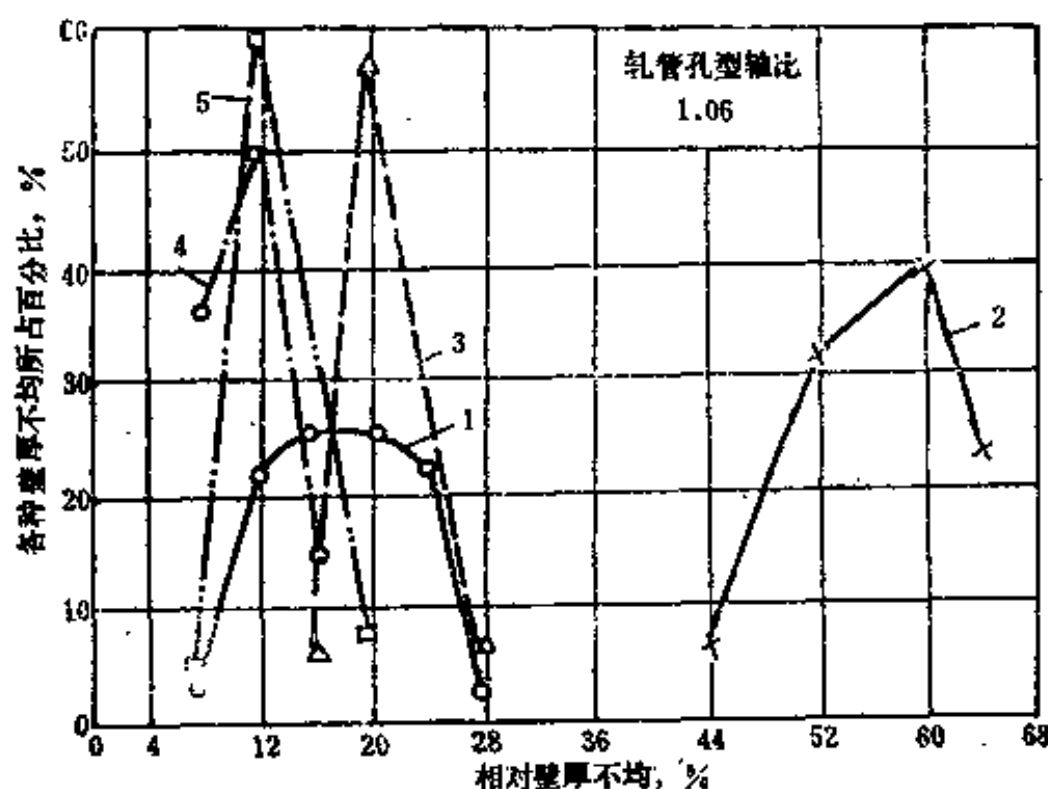


图 7-13 各轧机上壁厚不均的表现情况

1—毛管；2—自动轧管第一道；3—自动轧管第二道；4—均整后；
5—成品管

均整后钢管壁厚不均值继续降低到12~14%。最后经过定径机壁厚不均值又有所增加。

由此不难看出，当穿孔过程较为正常时（即偏心性壁厚不均较小时），决定成品钢管壁厚不均值的主要是轧管机（特别是第二道）和均整机。

由此也不难看出，选用斜轧轧管机来代替自动轧管机，是改善钢管壁厚精度的根本措施。斜轧轧管机可以较显著地改善毛管壁厚不均，如图7-14所示。

至于顶管机的钢管壁厚精度，编者根据我国133顶管机组实际数据资料（见图7-15）统计得出，壁厚不均小于15%的钢管约占全部钢管的80%左右，比自动轧管机稍差，而且管子后端壁厚精度比前端好。造成顶管机壁厚精度差的主要原因在于使用冲孔工艺，在冲孔时冲孔坯内孔很容易冲偏。

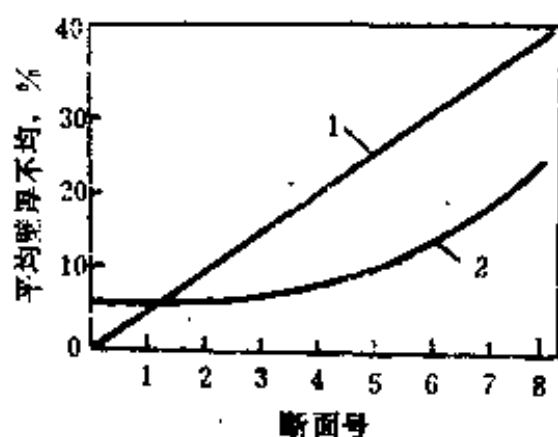


图 7-11 三辊轧管机对毛管壁厚不均的改善

1—毛管；2—荒管

三、纵向壁厚精度

纵向壁厚不均主要因沿毛管长度上温度不均造成的。毛管前端冷却快，当毛管前端先送入轧管机（轧头）时，则由于温度低变形抗力大，轧机弹跳大导致钢管前端壁厚大，特别是轧制长管时，有时纵向壁厚不均可达0.4~0.6毫米。毛管长度上的温度不均给控制钢管壁厚公差造成很大困难。

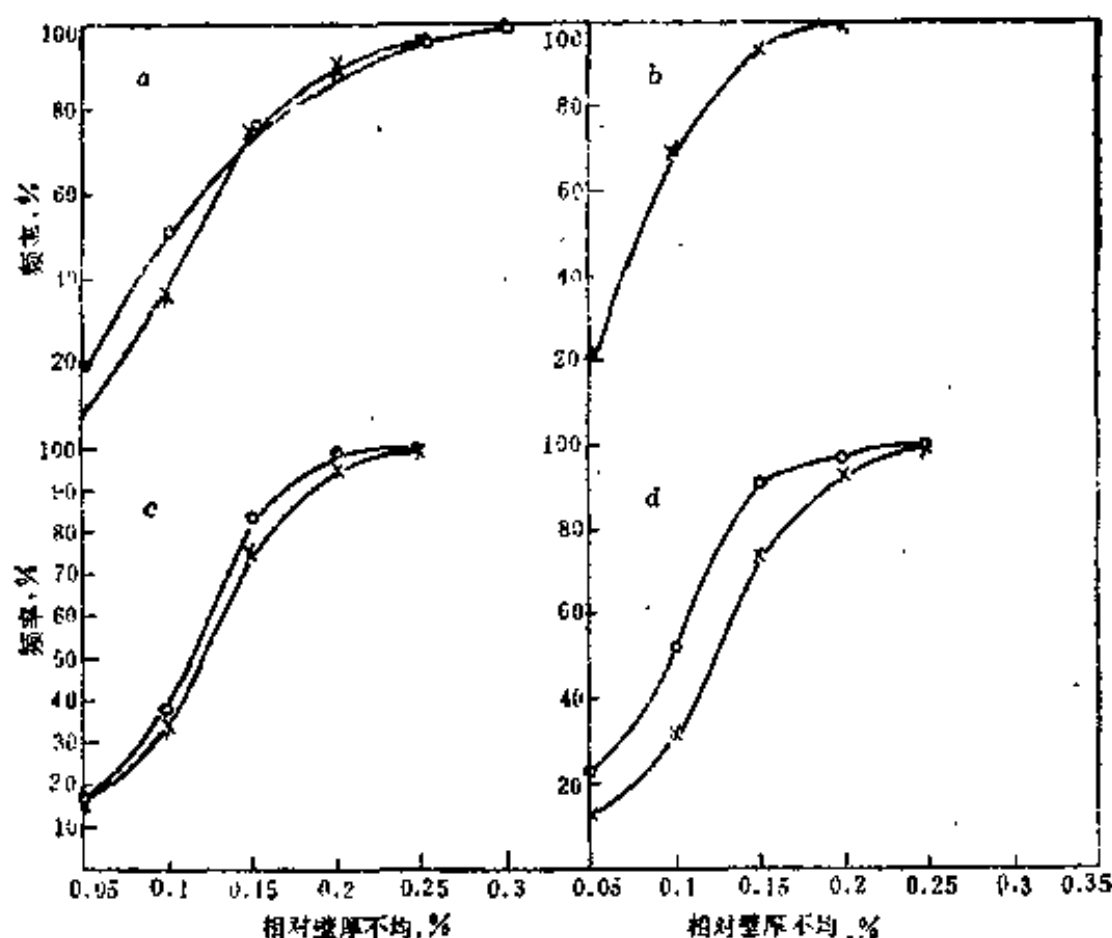


图 7-15 133顶管机组钢管壁厚不均的统计数据

×—前端；○—后端

钢管尺寸，毫米：a—63.5×4；b—108×6；c—57×4；d—108×4

我国76机组不少车间采取轧尾的办法，从而改善了管子的纵向壁厚不均。随着100机组成品管长度的加大，这个问题必然会更加突出。

在国外有采取在轧制过程中自动调整轧辊辊缝的办法，来减小钢管的纵向壁厚不均。

减小成品钢管的壁厚不均和切管也有关。一般钢管两端（头尾）壁厚不均严重，如果在精整切管中切头长度大，容易把壁厚不均值大的部分切掉，满足于成品几何尺寸公差的要求。但如果切得太长金属消耗必然增加。一般切管方法是先少切，检查不合格时再切。这样虽然增加了切管机的负荷，但降低了金属消耗还是合算的。

四、钢管弯曲度

保证成品钢管具有较小的弯曲度主要由矫直机来完成。所以为了消除钢管弯曲，所有钢管都要经过冷矫直。

钢管弯曲是由于轧机调整不当、轧制时残留的残余应力以及由于沿管子截面和长度上冷却不均等原因造成的。因此，不可能从轧机直接得到很直的管子，只有通过冷矫直管子的弯曲度才能满足技术条件的规定。

矫直的基本道理就是使管子进行弹塑性弯曲，由大的弯曲度变为小的弯曲度，因此钢管在矫直机内必须受到反复弯曲。而钢管反复弯曲的程度主要由矫直机的调整所决定。

影响矫直质量的因素很多，如原管的弯曲度，钢管尺寸和材料，矫直机型式，调整参数等。76~100机组所用的矫直机多为2-2-2-1七辊矫直机，现就这种型式矫直机对矫直质量的影响讨论如下。

资料〔31〕做了一些影响矫直质量的生产性试验。试验的矫直机为4½英寸2-2-2-1七辊矫直机，矫直钢管规格为 $\phi 38 \sim 114$

表 7-2 矫直机的技术性能和试验参数

技术性能和试验参数	数	据
型 式	2-2-2-1	
矫直钢管尺寸	外径38~114毫米 壁厚3.2~10毫米 长度4~18米	
辊子调整角	23°~33°	
辊子转速	92~276转/分	
电动机	55千瓦（直流）	
压下量 Δd	试验取1.5毫米	
下移量 h	10.5毫米	
弯曲量 h	3毫米	
原管弯曲度	小:0.295~0.635毫米/米;中:0.65~0.688毫米/米; 大:0.9~2.27毫米/米	
辊子倾角	No.1 上30°40' 下28°30'	No.2 28°40' 29°50'
	No.3 29°40' 29°30'	
试验钢管	0.12%碳素钢管, $\phi 60.5$ 毫米, $S = 3.2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11$ 毫米 (共9种)	

毫米, $S=3.2\sim 10$ 毫米。矫直机的技术性能和试验参数如表7-2所示。

矫直机型式、尺寸和调整参数如图7-16所示。

对矫直质量——直度——的影响因素和试验结论如下:

1) 原管有小弯曲度和中弯曲度时对残留弯曲没有明显差别, 而原管有大弯曲度时则残留弯曲也大, 如图7-17所示。这是因为原管弯曲大, 则弹性恢复量也大。要获得大的永久变形, 则需加大外负荷 (即压力)。压力大小靠改变 h 、 h' 和 Δd 来达到。

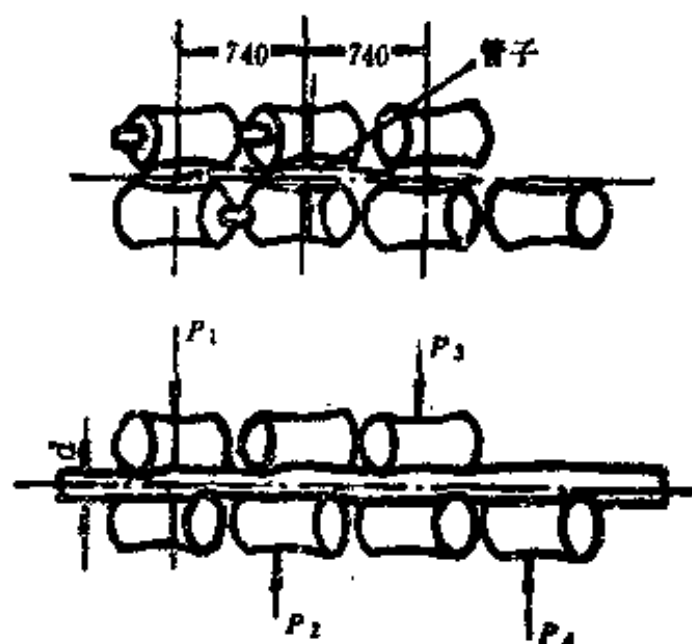


图 7-16 2-2-2-1 矫直机型式

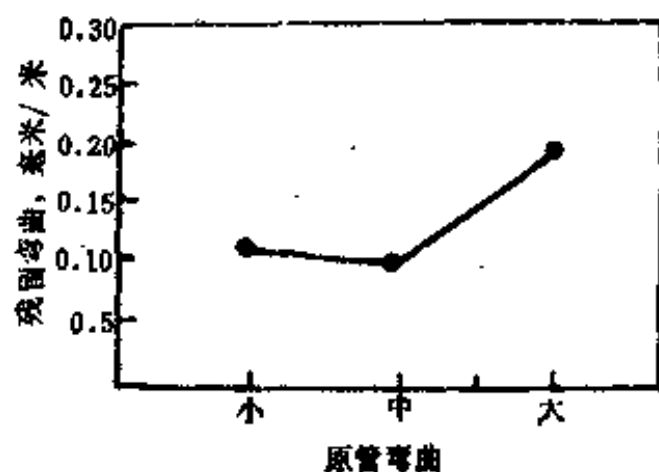


图 7-17 原管弯曲对残留弯曲的影响

2) 管壁厚度的影响如图7-18的试验数据。由图可以看出, S/D 在9~10% (壁厚6~7毫米) 范围内矫直效果最好, 而左右偏离这一范围时效果都不好, 这是因为管子尺寸不同, 弹性回复量也不同 (如图7-19), 一定的调整参数只适合于一定尺寸的钢管。

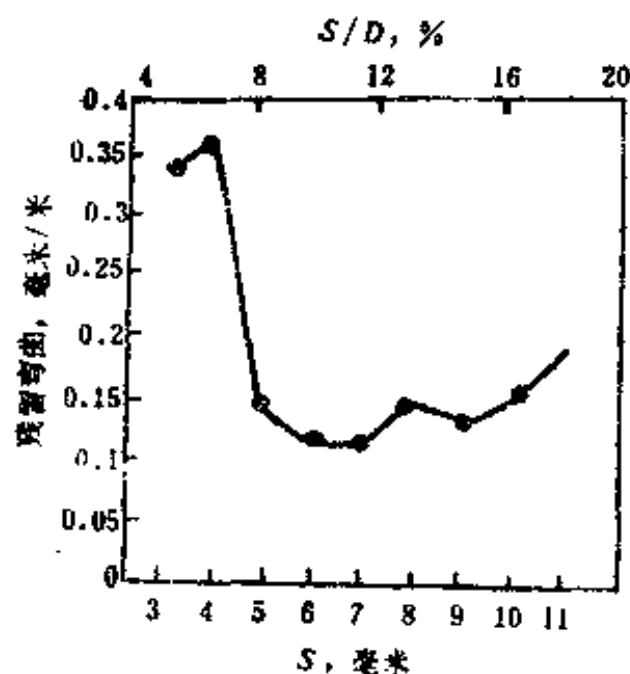


图 7-18 钢管壁厚对矫直效果的影响

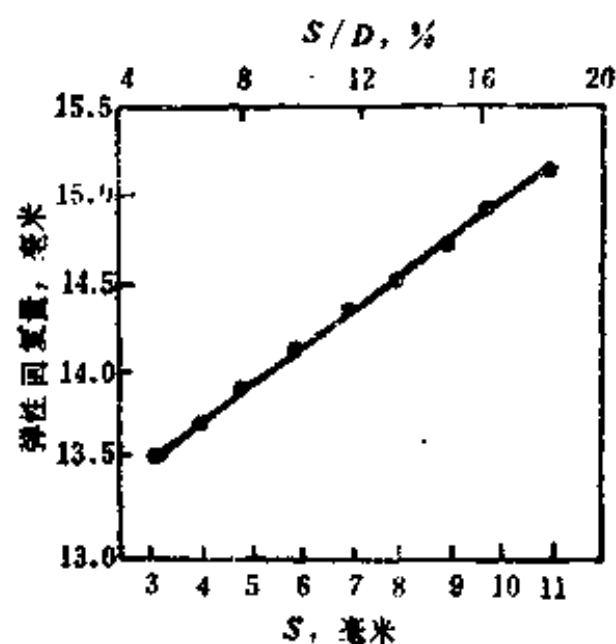
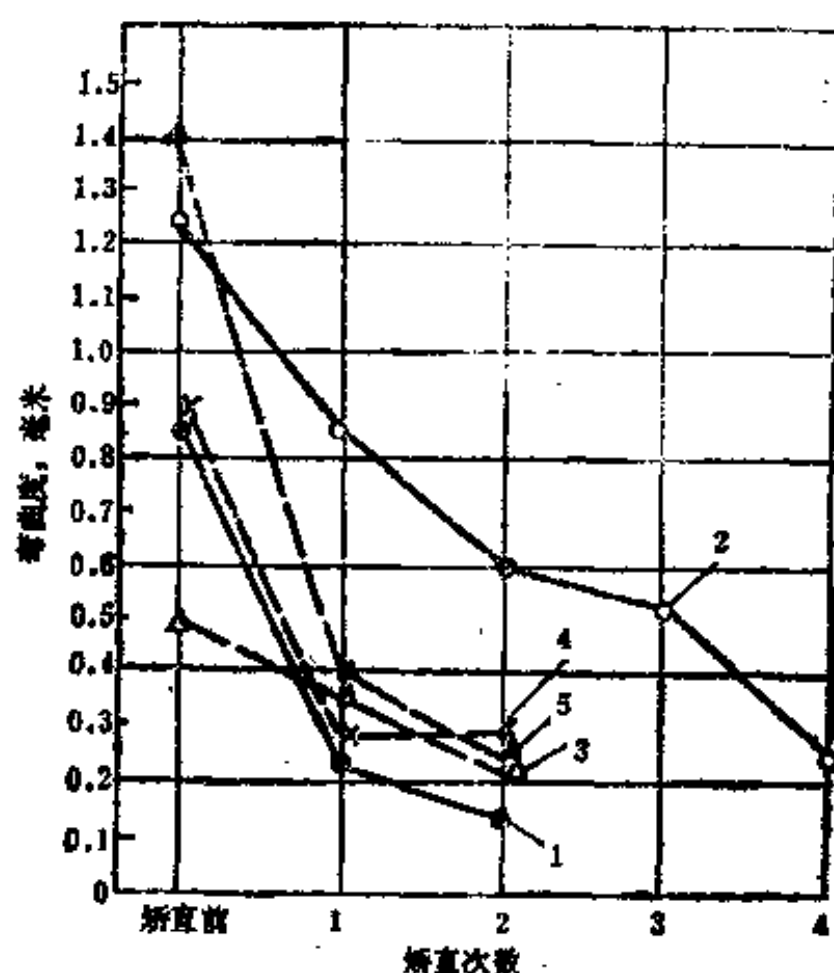


图 7-19 S/D 与弹性回复量的关系
($D = 60.5$ 毫米, $L = 1480$ 毫米, $\sigma_s = 3.4$ 兆帕)

3) 下移量 h 的影响范围一般为7.5~13.5毫米。一般随着下移量的增大(在一定尺寸范围内), 残留弯曲减小。这是因为下移量增加, 矫直作用加大的缘故。对碳素钢取较大的下移量时, 效果较好。

资料[32]在此型式矫直机上继续进行了试验, 试验钢管直径为50.8、76.2和114毫米, S/D 为5、7和10%, 钢种为碳素钢和含1%Mo和2%Cr的合金钢。该试验主要试验调整参数对矫直质量的影响, 试验结果如图7-20所示。



曲线	调整参数
1	最大压下量 Δd_{max}
2	不同的下移量 h
3	最小压下量 Δd_{min}
4	最大弯曲量 h'
5	辊子倾角

图 7-20 各种调整参数和矫直次数对矫直质量的影响

4) 压下量的影响。一般压下量愈大, 则矫直作用也愈大, 特别是对Cr-Mo合金钢效果更大。因此对这类钢, 在机械能力和钢管矫直时的加工硬化允许下, 应取较大的压下量。

5) 弯曲量 h' 的影响。由图7-20可以看出, h' 值对矫直也是起作用的。 h' 值的大小由2号上辊和4号下辊的调整决定。

6) 辊子倾角的影响。一般要求辊子的倾角调整得能保证管子充分地 and 辊身接触。

7) 矫直次数对矫直质量的影响是, 次数愈多, 则矫直质量愈高。

第二节 钢管内表面的质量控制

钢管内表面出现缺陷, 常常给生产带来很大麻烦, 不仅可能造成大量废品, 而且内表面缺陷的修整是十分困难的。在各种轧机上产生内表面缺陷的情况如下。

一、穿孔机产生的内表面缺陷

1. 钢管内折叠和内裂纹

钢管内折叠和内裂纹是最常见的缺陷形式。内折叠和内裂纹, 可能沿钢管全长分布, 或仅位于两端或在一部分长度上。轧制合金钢管时, 内折特别容易产生, 轧制一般碳素钢管有时也出现。

形成内折缺陷的原因可能有以下几种:

1) 由于形成孔隙, 直接或间接影响孔隙过早形成的因素都会导致内折缺陷产生。这些因素包括有原料质量, 钢种及加工性能, 加热制度, 穿孔变形制度, 轧机调整, 工具设计及磨损状况, 等等。关于影响孔隙形成的因素及孔隙形成原理在本书第四章已讨论过, 不再重复。

内折缺陷可能是原料质量不好造成的, 如大的中心疏松、非金属夹杂物集聚、不足的压缩比和残余的铸造组织, 都会使金属塑性降低, 容易产生管坯中心破裂(孔隙), 而形成内折等缺陷。

内折缺陷也可能是穿孔条件本身造成的, 如顶头前(或压缩

带)压缩量过大,而在顶头前形成孔腔。克服办法是适当减小压缩量和增加顶头伸出量;但过多减小顶头前压缩量将使二次咬入变坏,轴向滑移增加,从而压缩次数增加,也可能出现孔腔,特别是在毛管前端。另外,降低摩擦系数的因素都会导致轴向滑移增加,因而都会促成内折,如轧辊工作表面被磨光,在管坯表面上形成摩擦系数低的氧化铁皮等。最后,过大的椭圆度、顶头磨损、轴向阻力增加等等都是促使孔腔形成的因素。

内表面缺陷也可能是加热条件造成的,譬如,钢过热、严重加热不均或温度过低,都导致金属穿孔性能变坏,容易造成内折和裂纹缺陷。

内折缺陷还和轧机调整不正确有关,因为这时良好的穿孔制度遭到了破坏。

2)定心孔不良造成的内折称为定心内折。定心内折发生在毛管前端,这部分在本书第二章中已讨论过。

3)由于穿孔机顶头磨损及表面熔化,毛管内壁粘金属而造成内折。

4)因穿孔展轧段变形不均匀而产生内裂纹,或者内裂纹继续加工而成内折。

内折在内壁上的分布形状多呈螺旋形、半螺旋形或无规则分布的锯齿状。内裂纹一般规律性不强,这是由穿孔变形特点及运动学特点决定的,但根据穿孔延伸系数和扭转变形的大小以及后步工序的再加工(如轧管、定减径、冷轧冷拔等),缺陷分布形式有可能改变,如成直线形等。

三辊穿孔机、带导盘穿孔机、菌式穿孔机一般不易形成内折缺陷,但三辊穿孔机有时会出现环状离层缺陷。

2. 内割伤(或称严重的内裂纹)

内割伤是由顶头设计不合理及连接顶头的连接杆上有尖棱的凸起,或焊有金属瘤等物,而把毛管内表面刮伤造成的。顶头设计不合理,如反锥部分圆角太小和边缘尖锐,也会刮伤毛管内表面。如果使用的顶头展轧段锥角和轧辊出口锥角不符以及顶头

质量不好或顶头表面有缺陷，也会导致内表面刮伤。轧机调整不正确会加剧这种缺陷的产生。

这种缺陷为螺旋形（连续和不连续的）。

内刮伤有时也在均整机上出现，形成原因相同。

轻微圆滑的内刮伤可以通过以后的变形而消除（如轧管、冷拔）；严重的有时不能消除，而残留在成品管上造成废品。

二、轧管机产生的内表面缺陷

1. 内直道

内直道是在自动轧管机上常易出现的缺陷，也是较难解决的问题。多数情况下，直道是轻微的，不至于使钢管变为废品；但有时较深，轧制航空用管以及合金钢管时，这种缺陷会带来很大危害，必须给予注意。

产生内直道缺陷的原因是，轧管顶头表面上有凹凸缺陷，如烧化的氧化铁皮焊在顶头上以及顶头磨损和顶头形状畸变等，把钢管内表面刮伤。由于纵轧的特点，刮伤是直线形的，因此，称内直道。

内直道主要在减壁区产生。内直道的深度一般在0.2毫米左右。

影响内直道产生的因素有：

1) 轧制温度的影响。轧制温度高、轧制压力小和顶头磨损小，从而内直道缺陷也减少。但轧制温度太高，顶头表面容易烧化而粘金属和铁皮，促使内直道缺陷增加。一般轧制温度在1050℃左右为好。

2) 变形量的影响。一般变形量大，内直道缺陷增多。当总延伸系数一定时，加大第一道次延伸系数，减小第二道延伸系数，可以减小内直道缺陷。因此，应该使 $\mu_1 > \mu_2$ ，而且第二道变形可以消除第一道变形时产生的内直道；但在辊缝处的直道不能消除，因为在这里顶头不和金属接触。

3) 润滑剂的影响。为了减小钢管与顶头之间的摩擦系数，在送入轧管机之前向毛管内撒入润滑剂，可以减小内直道缺陷（或

减小内直道深度)。当不用润滑剂时,缺陷的数量和深度都会增加。

现使用的润滑剂有:石墨加食盐(7:3);碳酸钠或碳酸钠加石墨(定径机3:7,减径机5:5);木炭加食盐(7:3);食盐、矿物油和石墨混合物等。76~100机组多用食盐或食盐加锯屑。

4) 顶头的形状。使用球形顶头可减小内直道缺陷,这是因为球顶头加工面多,减壁区窄,轧制力小,顶头上不易粘金属和铁皮。

5) 轧制的钢种。变形抗力高的钢种,由于轧制压力大,易造成内直道缺陷。

6) 顶头的表面状态。主要决定于热处理,顶头表面应有一定的硬度和无裂纹。

均整机的作用之一是通过展轧管壁部分地消除轧管后的内直道。一般浅的内直道可以通过展轧消除,而深的内直道则不能消除,这是因为壁厚减小受到限制,尖锐的内直道取再大的压缩量也难消除,如图7-21所示。

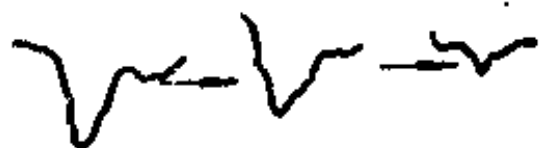


图 7-21 内直道消除的过程

在均整机上影响内直道消除的因素有:

1) 壁厚压缩量。分析均整的轧卡试样得出,壁厚压缩量和扩径量都是在中途达到最大值,中途过后壁厚有些恢复,而扩径量也有所减小。消除内直道主要在壁厚压缩量最大时起作用。一般深度在0.2毫米的内直道能够消除掉(图7-22)。扩径量和壁厚压缩量的关系如图7-23所示。扩径量愈大,则壁厚压缩也愈大。

2) 轧制温度。一般轧制温度高,金属变形抗力小,压缩量大,内直道容易消除。

3) 轧辊及顶头形状。资料[6]试验得出, 在均整机上钢管被咬入后就急剧减小壁厚, 对消除内直道缺陷是有利的。

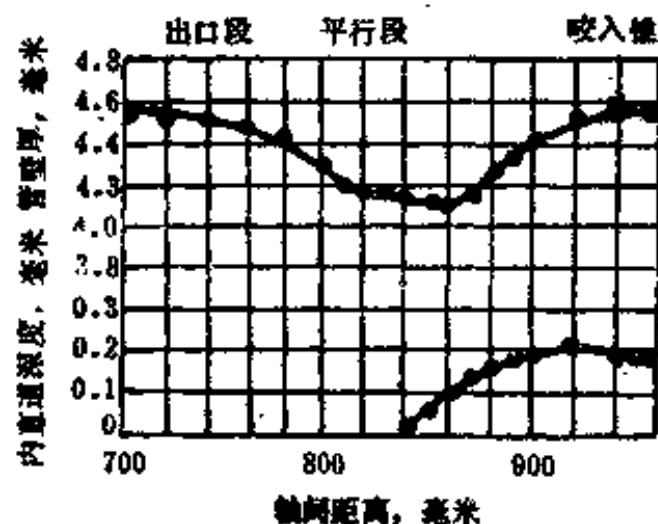


图 7-22 均整过程壁厚变化及内直道消除

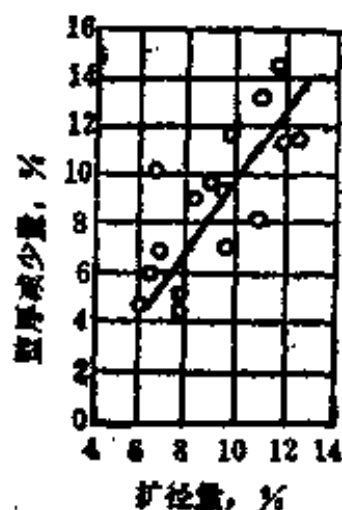


图 7-23 在均整机上扩径量和壁厚压缩量的关系

4) 轧辊位置的调整。试验[6]得出, 在轧辊入口处两轧辊相靠拢 (即入口处轧辊间距小于出口处间距), 比两个轧辊轴线平行放置较容易消除内直道, 而轧辊平行放置又比在轧辊出口处两个轧辊相靠拢时容易消除内直道。

5) 顶头的直径。顶头直径大, 扩径量大, 压缩量大, 则内直道消除得好。

一般0.2毫米深的内直道, 如果壁厚压缩量在0.4毫米以上都可消除, 但深宽比大的内直道不易消除。对于薄壁管来说壁厚压缩量应大些。

2. 内螺纹

内螺纹是斜轧轧管机常易出现的缺陷，形式有全长性的和局部性的。内螺纹缺陷是钢管每半转变形所留下的痕迹。当采用固定芯棒和半浮芯棒时，有时内螺纹缺陷因芯棒磨损而产生。斜轧轧管机内螺纹缺陷正如自动轧管机内直道缺陷一样，也是难于避免的，重要的是应把它们减少到最低程度。

内螺纹形成的原因，一般认为应从以下几方面去分析：

1) 芯棒的表面状态，如芯棒磨损、变形、粘金属和氧化铁皮等。因为芯棒参与变形，芯棒表面的缺陷必然反映在管子内壁上，特别是使用固定芯棒和半浮芯棒更为明显；

2) 辊型设计中展轧段的长度是否足够。展轧段的作用就是均壁，如在此区中充分展轧管壁内螺纹是可以消除的。但在展轧段中承受较大变形量时也易产生内螺纹缺陷；

3) 芯棒运动状态。使用拉力芯棒与全浮芯棒时内螺纹较少和较轻，特别是采用拉力心棒时由于芯棒与管子内表面有较大的相对滑动，并且芯棒的轴向运动速度大于金属的轴向运动速度，从而有消除内螺纹的作用，轧出管子内表面很光滑，甚至看不到内螺纹的痕迹。采用固定芯棒和半浮芯棒时，由于芯棒是固定在顶杆上，因而芯棒-顶杆系统的跳动促使内螺纹产生。另外，芯棒在变形区中跳动厉害，也容易产生内螺纹缺陷；

4) 使用固定芯棒和半浮芯棒时，毛管内表面形成的二次氧化铁皮当轧制时在芯棒变形区堆积而被压入管壁，脱落后会留下螺旋痕迹（或称麻坑）；

5) 要合理地选择工艺参数，一般延伸系数大、轧制温度低、前进角大、轧辊转速高等都容易产生较重的内螺纹缺陷。

实际测定两辊斜轧延伸机的内螺纹深度一般均小于0.1毫米（固定芯棒除外）。国外报导三辊斜轧延伸机内螺纹高度一般在0.025~0.25毫米范围内。

3. 内麻坑

内麻坑是顶管机常易出现的内表面缺陷。产生这种缺陷的原

因有：芯棒磨损严重没有及时更换；冲孔坯内氧化铁皮没有消除干净。

三、均整机产生的内表面缺陷

内螺纹也是均整过程中常易出现的内表面缺陷。如有的车间某一时期有内螺纹缺陷的钢管约占全部钢管数量的2.2~2.5%，因此研究内螺纹缺陷形成的原因是有一定意义的。根据作者的试验^[33]，初步可以认为，内螺纹的形成原因应从均整变形特点、顶头运动状态以及工具形状等方面去研究。

我们曾试验过不同的顶头形状对内螺纹的产生影响；顶头形状如图7-24所示。

采用1号和2号形状的顶头是为了揭示顶头局部磨损及其部位对出现内螺纹的影响。采用3号形状的顶头是为了揭示顶头形状对内螺纹的影响。4号顶头为生产所用的正常的新顶头。5号是均整机顶头，后孔做成呈5°的歪斜，用以揭示顶杆弯曲对内螺纹的影响。6号也是均整机顶头，后孔做成偏心的，偏心距为5毫米，用以揭示轧制中心线与顶杆中心线不一致（轧机调整）对内螺纹形成的影响。

试验结果证明：1号和4号顶头不产生内螺纹，5号和6号顶头只产生局部内螺纹，但比较轻，多在头尾部。2号和3号顶头产生较深的内螺纹，而且是全长性的；但两种螺纹的形状不同：前者为单一螺纹；后者为轻重交替的螺纹。两种螺纹之螺距相同，波动在10~11毫米，并和外表面螺纹螺距大小相仿（10~13毫米），这就说明螺纹是钢管每半转变形所留下的痕迹。实践证明，壁厚压缩量大时容易产生内螺纹。因此，产生螺旋纹是均整（斜轧）变形特点决定的。由图7-22可以看出，在均整变形过程中壁厚变化是由厚变薄，再由薄变厚，即存在着壁厚恢复现象。于是壁厚压缩量大，则壁厚恢复量也大。一方面恢复变形螺旋痕迹大，另一方面也说明壁厚压缩区后面的展轧区短，不能继续把恢复的螺旋痕迹（螺纹）展轧掉。资料^[6]在分析轧卡的试件中也同样得出，壁厚恢复量大时容易产生内螺纹缺陷，壁厚恢复量小时则不易产

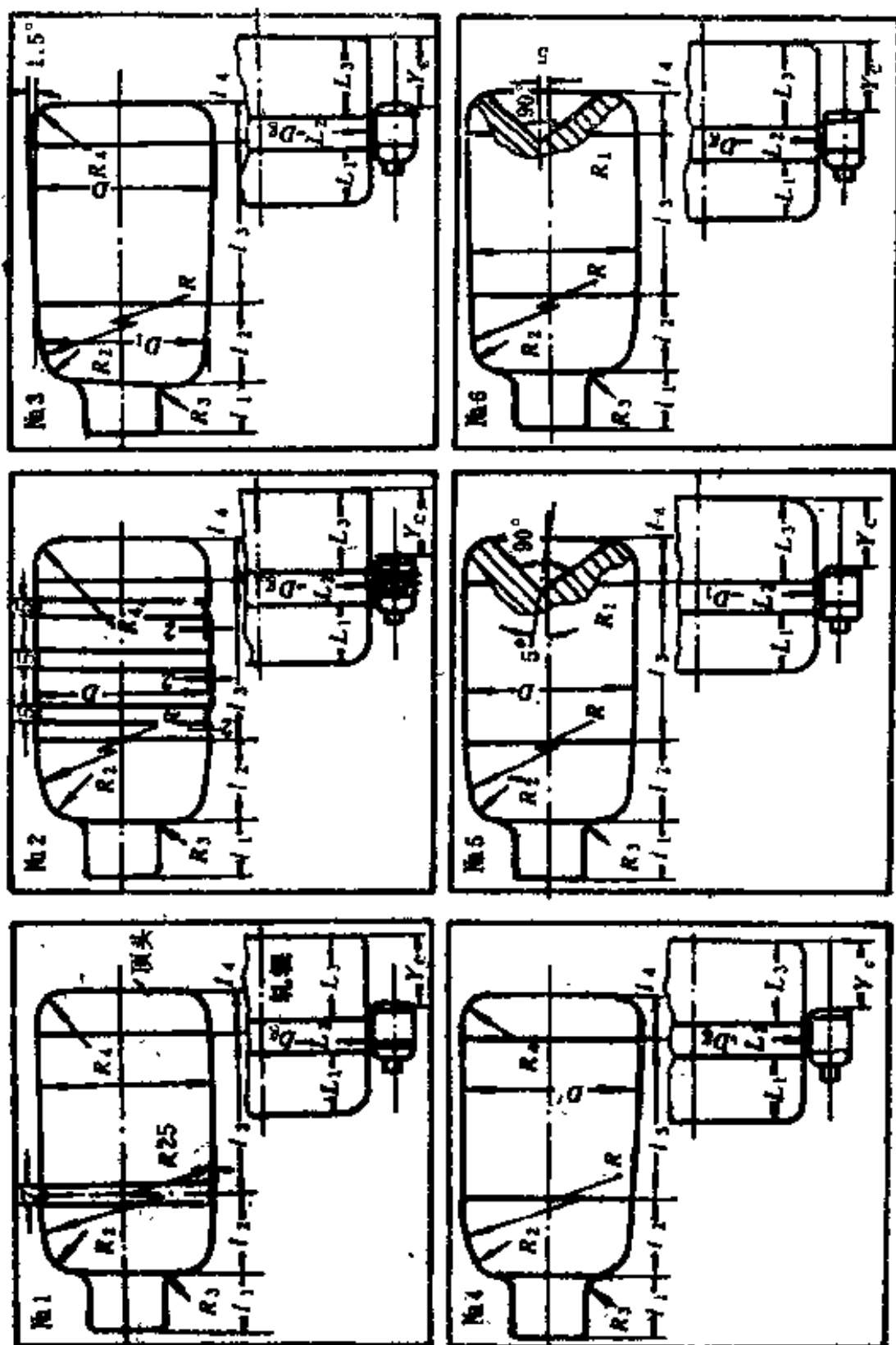


图 7-24 试验用的各种顶头形状和尺寸
 注：顶头直径 $D = 68$ 毫米；摆径 $D_B = 420$ 毫米；顶头位置 $Y_C = 130$ 毫米
 $L_1 = 122$ 毫米； $L_2 = 48$ 毫米； $L_3 = 170$ 毫米；
 $l_1 = 20$ 毫米； $l_2 = 30$ 毫米； $l_3 = 60$ 毫米； $l_4 = 15$ 毫米

生内螺纹缺陷。使用3号顶头产生内螺纹的原因就在于，锥形顶头和圆形轧辊相配，不能保证充分地展轧管壁（展轧区很小）。使用2号顶头所产生的内螺纹是不常见的。因此，在工具设计上要考虑有充足的展轧区。此外，顶头位置不能调整得过前（应当适当将顶头后移），不然也易出现内螺纹缺陷。图7-25示出顶头位置对壁厚恢复量的影响（对内螺纹的影响）。

由1号顶头的试验得出，顶头圆弧段对内螺纹缺陷的产生无关紧要。但顶头尾部圆弧很重要，如果圆角太小则容易产生内螺纹，这是由于尖锐的楞角容易刮伤内表面而造成螺纹。

采用5号和6号顶头轧制时，出现有内螺纹缺陷，这是因为顶头的运动不稳定。

定、减径机一般不会产生内表面缺陷，因为轧件在定、减径

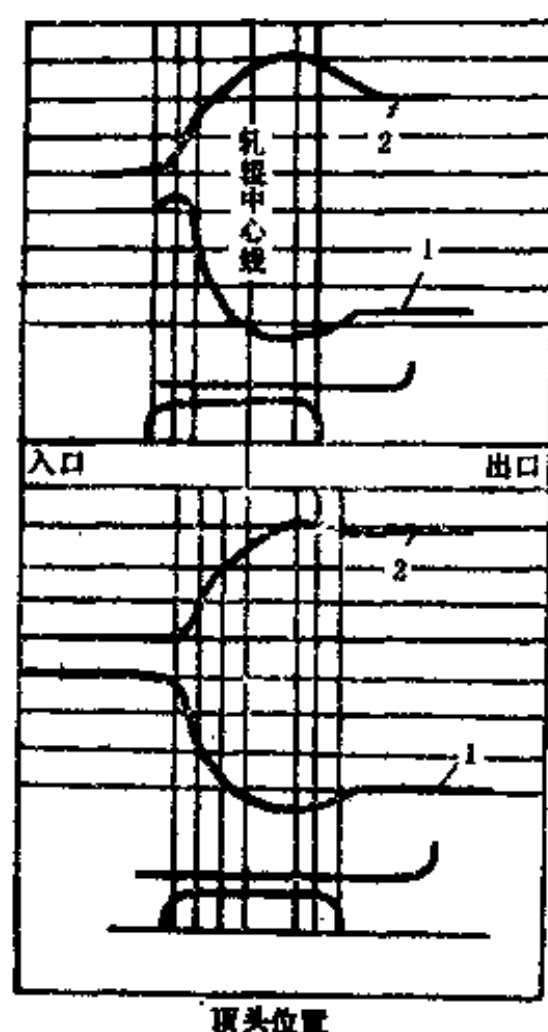


图 7-25 顶头位置对壁厚恢复量的影响

1—壁厚在变形区中变化；2—外径在变形区中变化

机上空心轧制。有时减径后钢管内表面出现缺陷，这是由前面变形轧机造成的。只不过缺陷通过减径变形而充分暴露而已。但采用斜轧减径机减径厚壁管时，如果减径量取得过大，则内表面会出现折皱缺陷。

第三节 钢管外表面的质量控制

外表面缺陷主要是两种原因造成的：一是管坯表面上有缺陷；二是各种机械因素（轧制本身）。另外在轧制中由于变形不均而造成表面金属破裂，继续加工而形成表面缺陷（折叠），也是原因之一。

钢管外表面折叠、发裂一般是由钢质不良造成的，当然和钢锭或连铸坯到管坯的轧制也有关。如在轧制管坯时金属过充满孔型出耳子，经下道次轧制，很容易造成直线形折叠。由于炼钢的原因，在铸锭上存在有裂纹、结疤、发裂，或钢锭和钢坯存在修整缺陷（修整深度大而宽度窄，以及存在有尖锐边缘时），经过轧制这些缺陷不但不能消除，而且或多或少会有所发展。

由于从铸锭到管坯的轧制是纵轧过程，因此在管坯上的缺陷多为直线形的（视由锭到管坯延伸系数大小而定）或近似直线形的。通过斜轧穿孔缘于冶金（或开坯）的缺陷多呈螺旋分布，而且螺距比较大，这是因为穿孔过程存在着扭转变形。对于厚壁钢管或三辊穿孔，由于扭转变形很小，缺陷也可能呈直线形的。掌握这一特点很重要，它便于我们判断缺陷产生原因。

机械因素的原因，都是在轧制过程中发生的。机械因素是指变形工具的作用结果。要判断是由哪种原因造成的缺陷，应掌握工具的运动学特点和塑性变形时的几何现象。钢管生产中工具的运动学特点有斜轧过程的螺旋运动（穿孔机、斜轧轧管机、均整机），从而由于工具作用而带给钢管表面的缺陷形式应呈螺旋分布。如因导板磨损或导板上焊上金属而造成的毛管或荒管上深的刮伤，必然按螺旋线分布，而且螺距比较小（与扭转螺距相比），一般应等于运动学前进螺距值，缺陷的方向应和轧辊旋转方向相

一致。

又如穿孔机和斜轧延伸机轧辊表面局部严重磨损或有掉肉、砂眼等，这时在毛管或荒管表面上形成的缺陷也呈螺旋分布，而且缺陷之间距和轧辊圆周周长一致。如果没有规律性可能是从导板上掉下的金属块被压入毛管中，造成凹坑、压痕等。又如导盘局部磨损严重而刮伤毛管或荒管外表面所造成的缺陷，也呈螺旋分布，但不是连续的、周期性的。

在纵轧过程中钢管呈直线运动，轧辊作圆周运动（轧管、定减径），这样，如果轧辊上粘有金属（或凹坑等），反映在钢管表面上的缺陷应该有规律性，各个缺陷形状大致相似，并且各缺陷之间距大致相等，并近似等于轧辊的圆周周长（应考虑前滑的影响），假如规律性不强，这可能是由于压入氧化铁皮而造成的压痕（凹坑）缺陷。

又如轧管机和顶管机的孔槽错位或变形量大会造成楞子缺陷，而这种缺陷也是轧辊造成的，是直线形缺陷。在定减径机上孔型错位会造成“青线”的缺陷。这种缺陷有对称的和不对称的，有的象指甲状压印，这决定于有几架孔型错位及其错位程度。双青线必然是对称的。

又如在定减径机轧辊上粘金属也会造成凹坑缺陷，但各缺陷之间距要小得多，这是因为轧辊直径比轧管机辊径小。如果没有规律性可能是由于钢管在再加热炉中加热时表面粘有氧化铁皮或耐火材料渣，通过轧制后产生的“结疤”或“凹坑”缺陷。

此外，判断缺陷时还要研究塑性变形的几何现象。缺陷的部位和形状通过塑性变形（金属流动）要发生变化。譬如缺陷之间距随着延伸变形加大，而距离加大。变化后的距离应等于原距离乘以延伸系数。另外，如果原缺陷形状为圆形，延伸变形后呈长椭圆形，延伸系数很大时（如反映在小口径冷拔管上），可能变成细条形或线条形，这是对纵轧而言。对斜轧过程来说，由于存在轧横向扩展和扭转变形，原直线形缺陷变形后会变成螺旋形缺陷，而且缺陷长度增大（视延伸系数而定）。总之，判断缺陷产

生和变化要和金属的宏观流动（几何现象）紧密联系起来。

钢管外表面缺陷主要有以下几种：

1) 外折叠。形成原因有：原料质量不良，机械刮伤，变形过程中产生的金属表面破裂。

2) 表面压痕（凹坑、结疤）。形成原因是：工具表面粘金属，钢管表面粘异物，孔型中留有金属块或其他异物。

3) 耳子、楞子和青线。形成原因是：使用的工具不合理，调整不当，孔型不对称或来料尺寸不当，诸如轧槽错位，两边辊缝不等；压缩量过大，孔型窄，宽展量过大等。

4) 外擦伤。形成原因是外界物（如进出口导卫装置等）把钢管表面擦伤。

5) 麻点（面）。主要是工具磨损和氧化铁皮造成的。

第四节 轧制的中间废品

一、金属破裂

金属破裂有外部破裂和内部破裂两种。特别危险的是金属内部破裂，因为缺陷不在表面不易发现。最常见的内部破裂是分层（或环形破裂）。产生这种缺陷的原因，主要是金属质量差。分层缺陷常常发生在非金属夹杂物集聚的地方，另外也会因金属过热以及斜轧穿孔和轧管中的不均匀变形而造成。

金属外部破裂，一般都是废品，在各轧机上都可能出现，如穿孔机上毛管前端裂开、链带、穿破等；自动轧管机上毛管横裂、轧破（裂口）；斜轧延伸机上轧破和撕裂；均整机上撕破；减径机上钢管割破等。造成这些废品的原因不外乎以下几种：1) 金属塑性差或质量低；2) 工具将金属割破；3) 破坏了正常的变形区而轧破；4) 不均匀变形引起的破裂，或者造成金属塑性下降而产生的金属破裂等。这种废品的产生原因是容易判断的。

二、轧卡

轧卡的物理概念是指由于某种原因而不能建立或不能继续建立轧制过程，金属被卡在变形区中，对斜轧机和单架纵轧机来说，

轧卡可分为前卡、中卡和后卡，常见的是前卡和后卡。对连轧机来说（如定减径和顶管机），轧卡指的是堆拉钢、杯底顶破（顶管机）和轧折（定减径机）等。

1. 穿孔机上的轧卡

在穿孔机上产生轧卡的原因有：

1) 如果管坯只旋转不前进，这是由于轴向阻力过大，只建立了旋转条件，而建立不起曳入条件。一般应增加顶头前压缩量和压缩带处的压缩量来增加曳入摩擦力或减小轴向阻力。

2) 如果管坯既不旋转又不前进，则表示旋转条件和曳入条件均不能建立，主要原因有：顶头位置太前或太后；轧辊磨损严重；导板距太大或太小；轧辊转速太高或前进角过大；轧制线与入口嘴子产生偏斜；轧制中心线偏移太大；推料不当；压缩量太大；轧件椭圆度太大；轧辊不平行；导板错位或磨损严重；顶头鼻部熔化或破裂；管坯端部质量差（如压扁度和切斜度过大）；管坯加热温度过低或过高（如过热）。

中卡多发生在负荷太大电机掉闸、顶头鼻部熔化以及定心辊没及时打开等情况下。

2. 自动轧管机上的轧卡

自动轧管机产生轧卡的原因主要有：来料毛管外径大；壁厚；内径小；减壁量过大或延伸系数过大；顶杆位置过前或过后；毛管端部破裂；端部温度过高或过低；新轧辊轧槽摩擦系数小；轧辊冷却不良；顶头磨损严重和润滑不好；推料过猛；上、下辊调整不当等。

3. 斜轧轧管机（长芯棒下）上的轧卡

斜轧轧管机上产生轧卡的原因有：压缩量过大或延伸系数过大；来料外径小，减径区不足；毛管端部破裂；毛管端部温度过高或过低；轧辊严重磨损，摩擦系数小；导板（导盘）间距过大或过小（两辊延伸机）；三辊轧管机出现大的尾三角；轧辊调整不当；轧辊倾角和展轧角不一致，变形区不对称等。

4. 顶管机上的轧卡

顶管机上产生的中间轧废主要有：杯底被顶破和出大耳子。
轧制合金钢时有时会产生金属破裂而造成中间轧卡。

5. 定减径机上的轧卡

定减径机产生的中间轧废主要有：轧折和“手风琴”。轧折的特征是沿纵向局部或通长呈现外凹内凸的皱折。产生轧折的原因有：来料外径大，在第一架中金属没有宽展余地，而被挤到辊缝中出耳子，在下一架轧制时形成轧折；定减径机各架压下量分配不当，中间机架形成轧折；孔型严重错位或各架轧制中心线不一致；孔型设计时宽展系数选择不当等。

“手风琴”废品的特征是：在定径过程中钢管被挤成手风琴形状。产生的原因有：管子被卡在导板上；管子破头卡在导板或孔型里；堆钢严重等。

6. 矫直机上的轧卡

矫直机产生的中间废品主要是矫凹，缺陷特征是钢管表面呈螺旋形凹入，严重的将成为废品。产生的原因有：矫直辊角度调整不当；压下量过大；辊子磨损严重，表面起棱太尖。

第五节 钢管机械性能的控制

讨论轧制工艺对钢管机械性能的影响，首先要了解热轧时金属的组织变化。这部分内容应在金属学和压力加工原理中讨论，这里不再详细叙述。对于我国小型热轧钢管生产来说，这方面的研究工作做得较少。为了提高钢管的机械性能，大都依靠选用合适的钢种以及通过钢管热处理来达到。例如现在大量发展的高强度石油钢管，就是利用廉价的碳钢和低合金钢经过热处理而获得高强度的。高强度钢管一般都通过淬火加回火获得，其强度极限可达770~1000兆帕。这种方法可显著降低钢管成本和节约合金元素。但也不应忽视热轧工艺制度对产品性能的影响。现仅就发展趋势简单介绍如下。

一、热加工变形过程中的“硬化”和“软化”矛盾及其作用

在热加工过程中，在金属内部通常同时产生两种矛盾的过

程,即加工硬化过程和软化过程(恢复和再结晶)。第一个过程为不带热的过程,在任何温度下都在进行着。第二个过程为带热过程,通常温度愈高,再结晶速度愈快,再结晶有可能进行得更完全。

我们知道,加工硬化依变形程度的增加而增加,塑性则随着加工硬化的增加而降低,变形抗力则随着硬化的增加而提高。通常,金属塑性降低、变形抗力提高的现象称为加工硬化。

恢复及结晶和加工硬化正好相反,加工硬化的消除从而使金属塑性提高,变形抗力降低。要了解热轧时金属组织的变化,应首先弄清这两个矛盾过程。

由压力加工原理中已知,金属在塑性变形过程中的加工硬化具有下述特征:

1) 晶粒形状改变。原来近似于球形的晶粒,随着变形的发展而变成纤维状,通称纤维组织,有些夹杂物也随着变形的发展而沿变形方向被拉长;

2) 晶粒的方向发生变化,而形成了方向性组织;

3) 产生了残余应力;

4) 产生晶粒内部及晶粒界面的破坏;

5) 机械性能及物理化学性质发生变化(如变形抗力提高、塑性降低、导热性、导电性等物理性质改变,晶格歪扭使金属抗蚀性降低等)。

完全再结晶可消除加工硬化所引起的一切特征: 1) 使拉长的晶粒变为等轴球形晶粒; 2) 消除纤维组织及方向性; 3) 消除残余应力; 4) 恢复晶内及晶间的破坏; 5) 再结晶可加强扩散过程,使化学成分不均匀变得较为均匀等。

总之,通过再结晶可以恢复金属原来的性质,此外形变和再结晶相配合还可改善金属组织及性质。如何控制好形变和再结晶正是我们要讨论的问题。这点首先决定于工艺制度(变形制度、温度制度和速度制度)。

采取适当的变形量和终轧温度来控制再结晶后的晶粒度(晶粒尺寸),可以提高钢管的机械性能。但如果是不完全的热作变

形，就会使金属内一部分呈再结晶组织，而另一部分呈非再结晶组织（即保留一部分加工硬化组织），造成组织不均匀，从而不但降低金属的加工性能，而且还会降低钢管的机械性能。这类问题是在生产中常会遇到的。

例如用均整后的钢管作为冷拔坯料，虽然钢管的几何尺寸精确度和表面质量都有所改善，对冷拔有利，但实际上这样的钢管并不好拔。这就是因为钢管经过均整机时，终轧温度太低，属不完全热作变形，金属组织中存在着加工硬化和残余应力，从而导致钢管塑性降低，变形抗力增高，不利于冷加工变形，这时，往往不得不将荒管退火后再送去冷拔。

据资料〔34〕进行的生产性试验表明，轧管机的终轧温度由700~800℃提高到950~980℃，由于完全消除了残余应力（内应力）和较好地发展再结晶，钢管的机械性能得到了改善。试验结果如表7-3所示。

表 7-3 终轧温度对钢管机械性能的影响

钢 号	终轧温度 ℃	机 械 性 能			
		σ_b , 兆帕	σ_s , 兆帕	σ_s / σ_b	δ , %
36Mn2Si	700~800	745	500	0.67	16
	950~980	785	500	0.64	20
45	700~800	657	373	0.57	20
	950~980	696	402	0.58	20
10	700~800	412	216	0.52	28
	950~980	431	216	0.52	29

在老工艺制度中轧管机各道都取较大的压缩量，终轧温度在700~800℃，结果，组织中保持一定程度的加工硬化组织。在新工艺制度中轧制条件和随后的冷却条件能促使更深地发展再结晶过程，可以完全消除变形过程中造成的应力。通过金相组织观察，新工艺制度下，新晶粒迅速增长，特别是10号钢，而45号和

36Mn2Si钢晶粒差别不大，这是由于大量的珠光体起阻挡层作用以及其他组织成分夹杂物对再结晶过程阻止作用的结果。

新工艺制度中钢管强度极限的提高，很明显，还和合理地分配各道变形量（如保证比较高的显微组织均匀性，非金属夹杂物均匀分布）以及完全消除了内应力有关。

如我国某厂通过定径机生产的锅炉钢管，压扁工艺试验常不易合格，这是终轧温度低和加工硬化导致钢管塑性降低造成的。钢管通过减径机后，由于进行了再加热，消除了加工硬化，塑性有很大提高，从而减径机轧出的锅炉管压扁试验完全合格，提高了钢管的机械性能。又如我国某厂生产地质管时，为了提高钢管的强度性能（ σ_b ），在减径机组的出口处安装一个喷水环，冷却钢管，效果很好。

我们知道，再结晶晶粒尺寸决定于温度、变形程度和速度，一般由再结晶图所决定。而晶粒尺寸和金属的机械性能有着密切的关系，一般来说，晶粒尺寸细小则金属的机械性能高，特别是对冲击韧性影响更大。此外，细小晶粒的金属组织对其他力学性质，如延伸率、断面收缩率、强度极限等都有好的影响。

二、控制析出相

通过形变控制第二相（如碳化物等）析出物的分布和形状，这在热轧无缝钢管生产中也经常碰到。例如热轧轴承钢钢管时，GCr15是过共析钢，轧后要析出碳化物（第二相），而析出粗的碳化物网是不允许的。因此拟定工艺制度时必须考虑这一点。

选择穿孔温度制度时，必须要考虑到终轧温度，因为过共析轴承钢很可能在成品管上出现不允许的网状碳化物。在轧管机上轧制終了温度愈高，管子轧后冷却速度愈慢，则网状碳化物析出的可能性及其数量就愈大。因此，厚壁管轧制后会出现大量网状碳化物，而壁厚较薄的管子则没有或很少。网状碳化物要靠正火消除。为了完全避免碳化物的析出，从工艺制度上采取的措施之一就是增加自动轧管机的轧制道次，借以降低终轧温度，并轧后快速冷却。一般冷却速度在50~70℃/分。通用的方法是在冷床

上装置鼓风机吹风（或加水喷雾）。当终轧温度在 900°C 并迅速冷却时，在成品管上则不形成网状碳化物。当生产壁很厚的管子时，此种方法仍不能保证完全没有网状碳化物。

在三辊式轧管机上轧制轴承钢管时一般终轧温度较高，约在 $1000\sim 1050^{\circ}\text{C}$ ，而定径时变形量很小并不影响晶粒的大小。从这样高的终轧温度缓慢冷却下来的钢管，只能得到粗晶粒的组织 and 连续的网状碳化物，而这种组织又只能靠正火得到纠正。有的厂为了避免正火（省略这一工序），在三辊轧管机后强制快速冷却钢管，而后定径前经再加热炉给钢管加热。管子从 $1000\sim 1050^{\circ}\text{C}$ 快速冷却至低于 A_1 的温度（GCr15钢的这一温度为 $743\sim 745^{\circ}\text{C}$ ），结果细化了晶粒。管子定径前的再加热和定径后的快速冷却都可以消除网状碳化物。

我国114机组生产轴承钢管时，轧管后的温度在 $950\sim 980^{\circ}\text{C}$ ，均整后的温度大于 920°C ，然后送入再加热炉，由再加热炉控制开始冷却温度，钢管减径后的温度在 $850\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，最后以 $50\sim 70^{\circ}\text{C}/\text{分}$ 冷却速度快速冷却。上述工艺制度完全消除了碳化物网的析出，提高了轴承钢管的质量。

三、控制轧制

控制轧制（即加工热处理）是很有发展前途的一种提高钢管机械性能的方法，目前主要用于石油高强度管。这种方法工艺简便，但效果显著。加工热处理方法的关键在于控制好轧制温度和变形量以及轧后的冷却速度。

钢管的控制轧制与传统的轧制方法类似，可按钢管在轧制时所处的温度和相条件的不同，分为高温控制轧制、低温控制轧制和等温控制轧制。

高温控制轧制是指把钢加热到奥氏体化温度，冷却至再结晶温度以上，但低于 $A_1+100\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，在该温度范围内进行变形，急冷至室温，后再进行回火或时效的轧制过程。

低温控制轧制也是把钢加热到奥氏体化温度，但冷却至再结晶温度以下的介稳奥氏体区域进行轧制，急冷至室温，然后再进

行回火或时效。

等温控制轧制是指把钢加热到奥氏体化温度，冷却到介稳定奥氏体温度区，在奥氏体—珠光体的转变过程中进行变形，结果形成了铁素体母体带有弥散的碳化物颗粒的组织，代替了通常的珠光体组织。

控制轧制时变形量一般不超过30%，超过30~40%的变形量就不大起作用了。

对于热轧钢管生产来说，采用等温和高温控制轧制是最方便的。热轧钢管出定径机的温度一般在850℃以上，出均整机的温度一般在900℃以上，此时钢还处于奥氏体状态，如果在定径机或均整机后装置一台喷水淬火装置，就能把形变和淬火紧密地结合在一起，实现控制轧制。应该指出，控制轧制不同于一般的余热淬火。

苏联某厂曾做过用36Mn2Si钢（0.38%C，1.65%Mn，0.58%Si）生产石油管的加工热处理试验，管坯直径为90毫米，成品钢管尺寸为76×3.5毫米，轧制延续时间为90秒，钢管从均整机到定径机的时间为15秒，定径机的直径压缩量为12%。轧后立即切下管子一端，并于840℃在水中淬火，从轧制到淬火之间时间平均为25~30秒。对于加工热处理来说，这种实验并不理想，因为管子在定径机上变形量不大，加上终轧到淬火中间停留的时间又较长（25~30秒），这样使形变热处理的强化效果有所降低。试验证明，形变量愈大，变形后停留的时间愈短，形变热处理的效果也愈好。在上述试验中，毫无疑问，管子在淬火前就已经产生了再结晶。虽然如此，经形变热处理并在低温回火后管子的强度性能还是大大提高了，塑性和冲击韧性也有所提高。

通过处理，36Mn2Si的 $\sigma_b=2000\sim 2200$ 兆帕， $\sigma_{0.2}=1700\sim 1900$ 兆帕， $\delta=8\sim 9.5\%$ ， $\psi=46\sim 48\%$ ， $A_K=31\sim 78$ 焦。

美国国家钢管公司采用的方法是，热轧出来的钢管（均整后），先进入再加热炉中进行均热，等沿管子全长均热后，通过定径机，定径机的直径压缩量约为5%，然后管子在冷床上空冷。

表7-4为碳钢钢管经控制轧制后的机械性能。表7-5为38Mn2Si钢管经不同热处理的性能。由表可以看出，加工热处理的效果最好。

表 7-4 碳钢钢管控制轧制后的机械性能

机 械 性 能	轧 制 后	形变热处理
强度极限，兆帕	745	794
屈服点，兆帕	441	657
相对延伸率，%	265	235

表 7-5 38Mn2Si钢管不同热处理后的机械性能

热处理方法	机 械 性 能				
	σ_b 兆帕	σ_s 兆帕	δ , %	ψ , %	A_k 焦
轧 后	716~804	47.6~48.4	16~20	—	—
正 火	706~785	490~510	20~24	—	—
普通加热调质	990	932	18	57	78
快速加热调质	1118~1177	1030~1079	11~13	47~58	47~78
感应加热调质	1196~1243	1079~1118	10~14	45~48	—
高温形变热处理	~2010	1618	9	50	71

控制轧制实际上是由轧制工艺制度控制的，一是控制好终轧温度，一是控制好变形量。

经控制轧制的石油钢管，也存在一些问题。一是沿整根管子性能不均。一般认为，钢管通过均整机时一面旋转一面前进，有利于冷却均匀，因而均整能保证钢管的全长性能一致。二是钢管在淬火过程中因加热或冷却不均产生断面尺寸变化，而且在管子内部产生残余应力，进而使管子弯曲和断面变形。

断面尺寸的变化主要指钢管椭圆度的增加。钢管椭圆度的增加与管子壁厚、壁厚不均、淬火前的加热温度等都有关。随着壁厚的增加钢管断面的刚度也增加，椭圆度的增加会有所减小。随着钢管椭圆度的增加，钢管承压强度降低，并且丝扣的质量也不好，而且往往由于椭圆度的影响钢管在车丝时报废。

为了减小管子椭圆度，一般采取冷定径。

四、余热正火

余热正火主要用于12CrMoV锅炉钢管。12CrMoV锅炉管的常规工艺是，轧制后要进行960~980℃正火和730~760℃高温回火。余热正火则是取消正火时的再加热，而是利用钢管的余热进行。这样既简化了工艺，又节约了能源。试验证明，终轧温度大于960℃情况下经过余热正火的钢管，各种性能均可和原工艺相媲美。

五、轧后直接淬火（DQ法）

直接淬火是指利用热加工的余热在线淬火，而传统淬火则要求再奥氏体化。直接淬火同传统方法相比，具有如下优点：

1) 提高了热处理的生产能力；2) 扩大了可淬火的最大管壁厚度。DQ法的高淬火强度使厚壁管能够达到所需的淬硬性；3) 节约能源。

日本住友公司根据试验得出：对于0.25~1.38%Mn-B钢，回火阻抗比传统法高，抗拉强度约提高50兆帕；对于低碳钢，用DQ法同样可以得到良好的淬硬性，0.1%C-1.1%Mn-0.05%V钢的 σ_b 和 σ_s 大约提高70兆帕；此外，对Ti-B和Mo-Ti-B钢，除了可获得高强度外还可获得高切口韧性。

六、冷矫直对钢管机械性能的影响

冷矫直过程对钢管机械性能的影响不如热轧变形那么大，因为变形量较小。

资料〔28〕和〔32〕从生产性试验中大致得到如下规律（试验条件见本章“弯曲度”部分）：

1) 冷矫直对钢管强度极限的影响很小；
2) 冷矫直对屈服点的影响，和钢管壁厚有关，钢管壁厚6毫米以下时，屈服点上升，而壁厚大于6毫米时冷矫直使得金属屈服点下降，如图7-26所示；

3) 对延伸率的影响是，钢管通过冷矫直后，钢的延伸率有所下降，而且管壁愈薄下降的程度也愈大，如图7-27所示。同时

和矫直速度有关，速度快，钢的延伸率减得少。

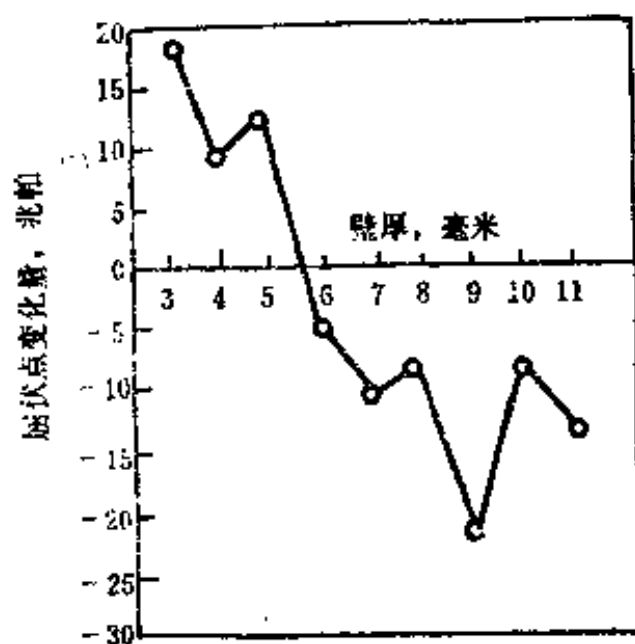


图 7-26 屈服点的变化与 S/D 的关系

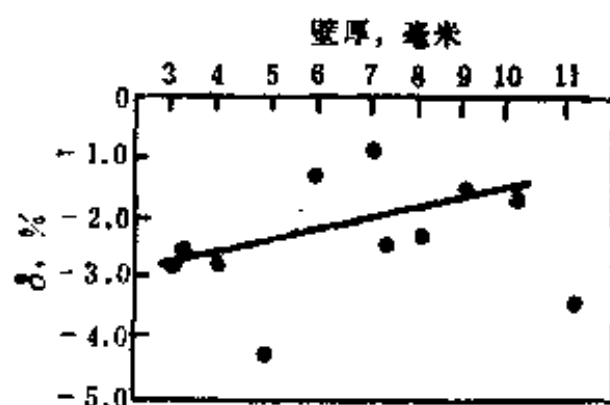


图 7-27 延伸率的变化与壁厚的关系

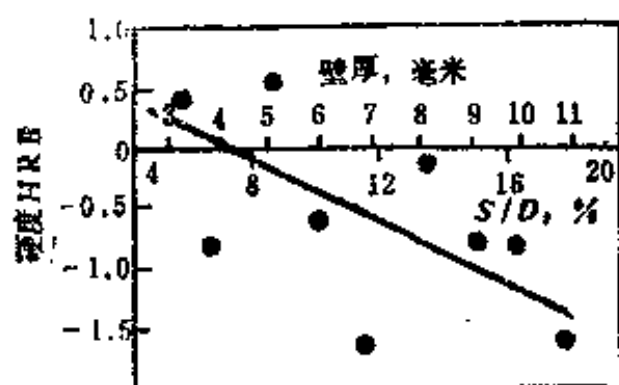


图 7-28 硬度变化和壁厚的关系

4) 对钢管硬度的影响, 有试验得出: 矫直薄壁管(4毫米以下) 硬度稍有增加, 但大多数情况下都是硬度有些降低, 如图7-28所示。矫直过程中存在着加工硬化, 不硬化反而软化可能是反复弯曲作用的结果。

有的资料^[28]得出, 硬度随着矫直次数的增加而增加, 矫直一道HRB增加1.5~2.0, 矫直4道增2.5~5.0。

第六节 钢管的成品检查

成品钢管精整后送往检查部门进行产品质量检查, 这是保证出厂钢管质量的重要措施。检查标准和内容由国家标准和部标准或技术条件规定, 这里不再介绍。

成品钢管的检查可以是抽查性的(部分的)和全部的。抽查性检查一般是确定钢管的机械性能、内部组织和化学成分等。钢管除在一批中抽样检查外, 有些重要用途的钢管有时也要进行全部检查。此外, 热轧钢管根据标准要求还要进行压扁、弯曲、卷边和扩口等工艺试验以及水压试验。

钢管内外表面质量每根都要用肉眼或特殊仪器进行检查。当然最简单的检查方法是人工肉眼检查, 但需占用大批人力而且劳动程度繁重, 容易出差错, 也不易实现机械化和自动化。采用无损探伤检查方法既省人力又可靠, 可以实现机械化和自动化, 因此获得了广泛发展。我国不少76~100机组装置了各种无损探伤检查设备, 这部分内容在本书第二篇中介绍。

钢管几何尺寸的检查, 过去也多用人工检查, 近年来广泛采用了自动测量仪器, 如测厚仪、光脉冲测径仪等。这些测定钢管尺寸的仪器, 不但能用于成品管的检查, 而且还可以放在工艺线上做为监视测量, 这就便于在轧制过程中有效地、及时地控制钢管尺寸公差, 从而提高钢管几何尺寸的精度并降低尺寸超差的次品。

第八章 小型无缝钢管机组 的生产效率

评价生产效率的指标，除了产品质量和品种外，最主要的指标是生产率、成材率和工序能耗。

我国优越的社会主义制度充分发挥了广大群众的干劲、智慧和创造性，这是建设四个现代化国家的立足点，但物质条件也是主要因素，因为只有先进的装备水平和工艺才能获得高的生产效率。60~100小型无缝钢管机组为了进一步提高生产效率必将进行技术改造。

第一节 产量分析

一、轧制图表及生产图表

生产热轧钢管的过程系由一系列的工序组成，而且每个工序的设备运转（如轧机等）都有一系列的操作。每个设备生产一根钢管所需的时间称为一个周期。在简单的操作过程中，后一个周期需在前一个周期结束后方才开始，而在复杂的过程中往往是后一个周期开始于前个周期结束之前，它们是在周期重叠情况下进行的，60~100机组的轧制过程大多属于后者。

两个相接的周期间的时间称为节奏时间，而后一周开始于前一周结束之间的一段时间称为重叠时间。如在穿孔机上把管坯送入轧辊的喂钢时间和回送顶杆的时间相互重叠等。重叠时间愈长，工作节奏时间愈短，生产率也愈高。

对全部工艺过程来说，有许多工序和设备，这就存在着工序间和各个设备之间的生产能力平衡问题。如果整个工艺过程分为许多个环节，每一个环节都表现为一套的操作，这些操作可能和其他环节的操作平行地（同时）进行。对于60~100机组，操作

环节可以分成加热炉、穿孔机、轧管机、均整机、定减径机、再加热炉以及矫直机等。这些环节都在一个连续生产线上。各个环节中最长的工作周期是整个机组的薄弱环节。薄弱环节的时间决定着整个机组的节奏，也就是在很大程度上决定着整个机组的生产率。

一般整个机组的生产能力都以主轧机（如穿孔机和轧管机）的生产能力来表示。这是因为在设备配套设计时考虑到主轧机的生产能力通常都小于辅助设备的生产能力，这样主轧机生产能力的提高可不受限制。现有的人提出，为了节能，降低加热炉能耗，应以加热炉的生产能力来表示机组的生产能力。

实际上，车间（机组）的生产薄弱环节有时在辅助设备上。造成这种情况的原因，一是原设计不合理；二是随着主设备潜力的不断挖掘，轧机产量大幅度地增长，一些辅助设备变成了薄弱环节，限制了生产能力的进一步发挥，这种情况是常见的。各设备间的能力平衡总是相对的，它随着产品的变更而变化，又随着时间的推移而变化。由平衡到不平衡再到平衡往往是生产客观发展的规律，因此，应不断解决不平衡的问题。

各环节的周期、节奏时间、重叠时间、机组的薄弱环节、设备间的不平衡问题以及一根钢管在连续生产线上所耗的总时间都能反映在一张图表上，这个图表称为生产图表。如果只反映轧机本身的称为轧制图表。生产图表或轧制图表是产量分析的基础资料，图8-1为某76机组的轧制图表，由图可以看出，穿孔机是机组的薄弱环节。

一般决定整个机组生产率的主轧机中，薄弱环节有时是穿孔机，如顶管机组，有时是轧管机，如斜轧轧管机组，因此应具体问题具体分析。

二、生产率计算

生产率计算包括小时产量计算、综合小时产量计算和年生产量计算。

任一轧机的道次能力可用下式确定：

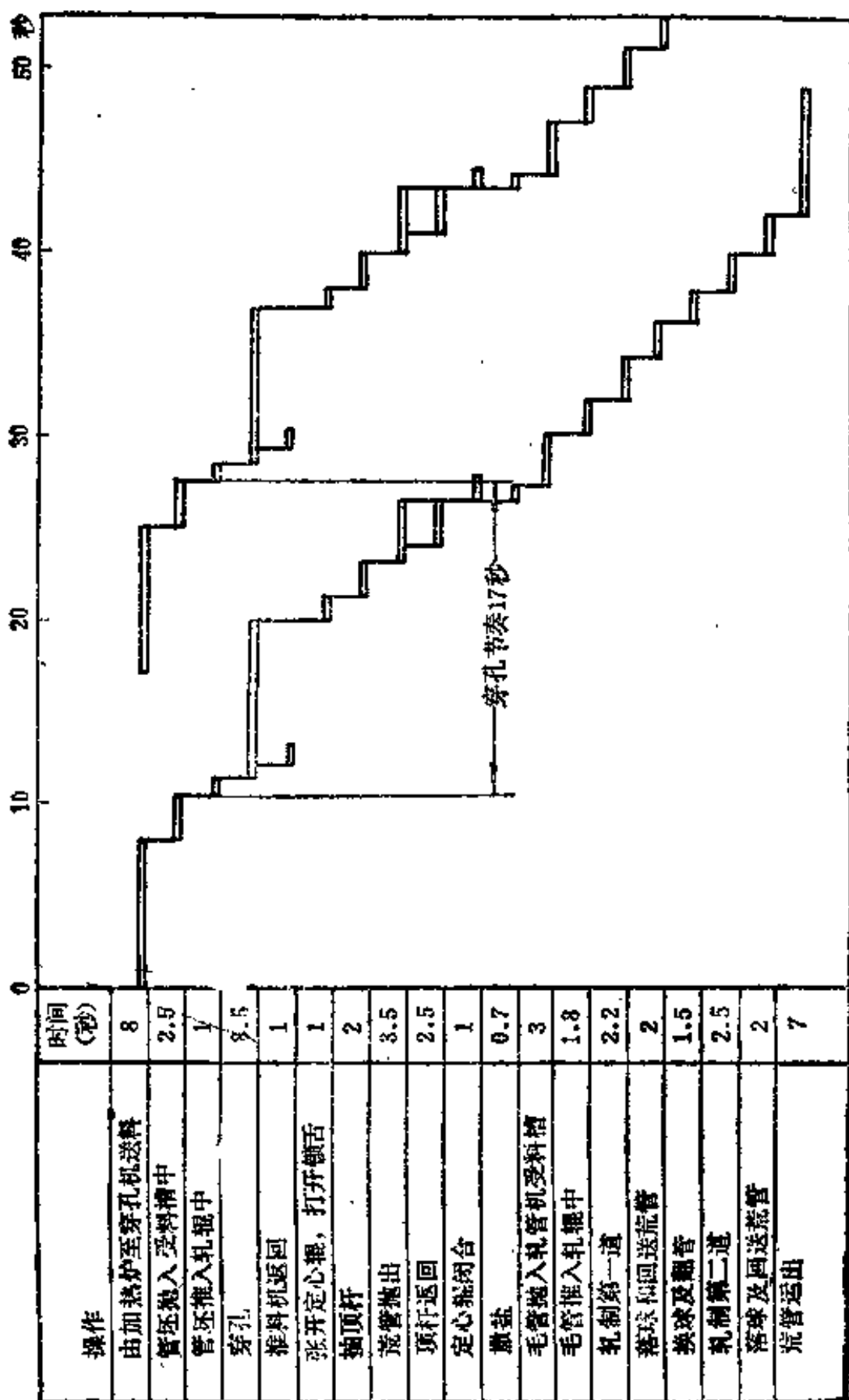


图 8-1 在某76机组上轧制 $\phi 75 \times 4.5$ 毫米钢管的轧制图表

注: 坯料长1米

$$q = \frac{3600}{T}$$

式中 q ——轧机道次能力，根/时；

T ——轧机的工作节奏时间，秒。

轧机工作的节奏时间一般用轧制图表来表示（如图8-1）。节奏时间由工作时间和辅助时间组成。各类轧机的工作时间由计算公式确定。下面列出计算各类轧机工作时间 T_M 的公式。

1) 斜轧机

$$T_M = \frac{L_x + L_g}{\eta_0 \frac{\pi D n}{60} \sin \beta}$$

式中 L_x ——毛管或荒管的长度，米；

L_g ——变形区长度，米；

η_0 ——轴向滑移系数；

D ——轧辊直径，米；

n ——轧辊转速，转/分；

β ——前进角，度。

2) 自动轧管机

$$T_M = \frac{L_0(\mu_1 + \mu_1\mu_2)}{\frac{\pi D_K n}{60}} = 19.1 \frac{L_0(\mu_1 + \mu_1\mu_2)}{D_K n}$$

式中 L_0 ——毛管长度，米；

μ_1 、 μ_2 ——第一道和第二道延伸系数；

D_K ——轧管机的轧辊工作直径，米；

n ——轧辊转速，转/分。

3) 顶管机

$$T_M = \frac{L_h}{v}$$

式中 L_h ——顶杆向前运动的行程，米；

v ——齿条向前运动的速度，米/秒。

顶管机的辅助时间还决定于齿条向后运动的行程和速度。

4) 定减径机

$$T_M = \frac{L}{\frac{\pi D_K n}{60}}$$

式中 L ——轧后管子长度，米；

D_K ——定减径机最后一架的轧辊工作直径，米；

n ——定减径机最后一架的轧辊转速，转/分。

定减径机的辅助时间是很少的，一般在1~3秒内（两根之间的间歇时间）

5) 矫直机

$$T_M = \frac{19.1}{D_c n \eta_0 \sin \beta} (L_T + C + 0.75 L_b)$$

式中 L_T ——管子长度，米；

C ——传动辊的间距，米；

L_b ——辊身长度，米；

η_0 ——滑动系数，可取0.85~0.94；

0.75——系数；

n ——传动辊的转速，转/分；

β ——辊子中心线对矫直中心线的倾角，度；

D_c ——传动辊的平均直径，米。

冷矫直机的辅助时间为3~7秒。

由上述公式可以看出，工作时间 T_M 主要决定于各轧机的速度制度，如轧辊转数、工作直径、前进角和滑移系数等。

至于复杂操作的辅助时间多由测定数据来确定。由于无缝钢管轧机基本上已实现机械化，因此辅助操作时间长短取决于操纵工操作的熟练程度。辅助操作时间波动范围较大，一般都取每一操作测定时间的平均值来计算轧机生产率。

决定节奏时间长短除了辅助和工作时间外，还受重叠时间影响，因为有些操作可以重叠进行。

节奏时间确定之后即可计算出各轧机的生产能力，而各轧机中节奏时间最长的，为薄弱环节。按此计算出的小时产量则代表整个机组的小时产量。

小时产量 q_i （吨/时）可由下式计算：

$$q_i = \frac{3600 G_i}{K_i T_i}$$

式中 G_i ——管坯重量，吨；

K_i ——金属消耗系数，包切头尾、剥皮、烧损、废品等金属损失；

T_i ——薄弱环节的节奏时间，秒。

按上述公式只能计算出单一规格品种的小时产量，而一个车间要生产许多品种规格，需确定平均小时产量（非实物量）。平均小时产量可按下式确定：

$$q_c = \frac{q_0}{\alpha_1 \eta_1 + \alpha_2 \eta_2 + \dots + \alpha_n \eta_n} = \frac{q_0}{\sum \alpha_i \eta_i}$$

式中 q_0 ——基本品种规格的小时产量；

q_c ——平均小时产量；

α_i ——各种品种规格所占的比例；

η_i ——换算系数（或称轧制困难程度系数）

$$\eta_i = \frac{q_0}{q_i}$$

q_i ——某一品种的小时产量。

$\eta_i < 1$ 说明某一品种规格的小时产量大于基本品种规格的小时产量； $\eta_i > 1$ 则反之。 η_i 多由生产实际数据确定，各厂的换算系数也不完全相同。表8-1为某100机组的换算系数（按班计算）。

平均小时产量求出后，则可计算出机组可能的年产量，则

$$N = q_c T_0$$

T_0 为年工作时间，由下式确定：

$$T_0 = (365 - C_1 - C_2 - C_3) \left(1 - \frac{W}{100}\right) \times 24, \text{ 时}$$

式中 C_1 ——休息天数；

C_2 ——计划检修天数；

C_3 ——机组大中修天数；

W ——设备停歇时间，包括换辊、轧新产品、换工具、临时小修、交接班等、停歇时间可取7.5~15%。

表 8-1 某100机组接班产量计算的换算系数 η_i

钢管规格 毫 米	班 产 量		管 坯			换算系数 η_i
	吨/班	根/班	单 重	管坯直径	管坯长度	
$\phi 76 \times 6 \sim 8$	110	1259	87.5	100	1430	1.1
$\phi 83 \times 4 \sim 5$	160	1507	66.6	85	1500	1
$\phi 89 \times 6$	113.2	1750	64.5	90	1300	1.13
$\phi 102 \times 4 \sim 5$	113	1494	75.7	100	1250	1.13
$\phi 102 \times 11$	130.2	1015	128	100	2100	1.3
$\phi 108 \times 4 \sim 5$	120.1	1423	84.3	110	1130	1.2
$\phi 114 \times 5$	130	1180	110	115	1350	1.3

注：此表适用于碳素钢和低合金钢，轴承钢和30CrMnSiA的产量减20%。

三、小型无缝钢管机组的增产措施

1) 对于大多数机组而言，当前提高生产效率的重点应放在提高日历作业率和轧机有效作业率上。日历作业率一般应达到80%以上，轧机有效作业率应达到85%以上。

2) 进一步减少薄弱环节的节奏时间，使设备间达到基本平衡。同时，应提高辅助设备的负荷率，按下式计算：

$$A_i \% = \frac{\text{某设备的工作节奏时间}}{\text{薄弱环节(轧机)的节奏时间}}$$

3) 增加管坯单重（包括增加直径或长度），轧制长管；

4) 降低金属消耗，提高成材率；

5) 实现自动化（如微型计算机控制等），减少定员，提高劳动生产率等。

第二节 降低金属消耗

金属消耗系数是无缝钢管生产中一项重要的技术经济指标。金属消耗损失的费用在钢管成本中占有较大的比例。目前小型无缝钢管机组金属消耗较高（即成材率较低），有先天性的原因，如所能轧制的钢管长度较短；有技术和设备的原因，如产品尺寸精度不高，废品率较高；也有管理不善的原因。

降低金属消耗提高成材率是小型无缝钢管机组赶上水平先进的大型机组的努力方向之一。设想76机组（生产碳素钢管为主）的成材率达到85%以上，100机组（生产碳素热轧钢管为主）的成材率达到92%以上是完全可能的。只有达到这种水平小型机组才有可能和大型机组相竞争。

无缝钢管生产中的金属消耗分为两类。一类是有形的，如中间轧废、成品废品、切头尾、切除有缺陷的管段、中间或成品取样检查以及冷定心和剪切料头等金属损失。一类是无形的，如加热炉和热处理炉的烧损、酸洗溶解损失、修理管坯和成品管表面缺陷等损失。

小型无缝钢管机组进一步降低金属消耗的措施有如下各点：

1) 通过技术改造在76~100机组上轧制长管，热轧成品管长度一般应大于10米；76机组生产供冷拔用坯的长度也应相应加长，特别是应减小壁厚到3~3.5毫米，这样不但可以减少相对切头尾量，而且还可减小冷拔过程中的其他金属消耗（如退火烧损和酸洗溶解等）；

2) 提高产品尺寸精度，特别是应减小管子的壁厚不均，以减少切头尾的长度；

3) 提高技术水平和改善设备装备水平，减少中间轧废；

4) 改善加热设备和工艺，降低烧损，如用环形炉、步进炉代替管坯斜底加热炉和荒管室状再加热炉等，适当降低开轧温度以及采取少氧化和无氧化热处理工艺等；

5) 加强管理，减少金属的浪费。

第三节 节 约 能 源

节约能源具有十分重要的战略意义，因而能源消耗是评价无缝钢管车间生产效益的重要指标。

在节能工作中贯彻执行国家的能源政策（包括技术政策）是出发点，抓好节能管理是关键，坚持技术进步，不断对工艺和设备进行改造是根本。

考核无缝钢管车间（厂）能耗指标有二，即工序单耗（某一车间生产一吨材所耗的能源）和全工序单耗（由锭或连铸坯为起点到最终生产每吨轧材全工序所消耗的能源）。其计算公式如下：

$$\text{工序单耗} = \frac{\text{燃料消耗} + \text{电力等动力消耗} - \text{余热回收外销}}{\text{车间成品材产量}},$$

公斤标煤/吨；

全工序单耗 =

$$\frac{\sum_{i=1}^n \text{燃料消耗} + \sum_{i=1}^{n'} \text{电力等动力消耗} - \text{余热回收外销}}{\text{最终成品材产量}},$$

公斤标煤/吨

工序单耗主要决定于本车间的燃耗和电耗；而全工序能耗主要决定于供坯工艺。生产管坯的加热次数和轧制次数愈少，则全工序能耗愈低，因而为了减少全工序能耗应大力发展连铸坯（特别是连铸圆坯），淘汰多次加热和多次开坯的落后工艺。

下面着重讨论降低60~100机组工序能耗的方向，关于具体节约燃料和电力的措施已在本书第三章和第四章讨论过，不再重覆。

一、60~100机组节能潜力

多数60~100机组工序能耗偏高，个别车间（厂）甚至很高，造成能源大量浪费。据调查某76机组工序能耗（包括冷、热工段能耗）情况如表8-2所示。

该厂三年内共降低工序能耗363.8公斤标煤/吨，其中燃耗降

表 8-2 某76机组工序能耗

年份	燃 耗 公斤标煤/吨	电 耗 千瓦·时/吨	蒸汽消耗 公斤标煤/吨	水 耗 公斤标煤/吨	能耗所占 比例, %	工序能耗 公斤标煤/吨
81年	533.5	272.9	82.0	1.45	73	731.6
82年	363.6	276.9	73.1	1.05	66	550.4
83年	266.3	256.3	57.0	0.95	62.5	427.8
84年	200.9	250.1	65.0	0.77	54.5	367.7

低了332.6公斤标煤/吨, 电力消耗降低31.2公斤标煤/吨。工序能耗降低了约一半, 现已达到冶金部制定的有关节能规定中的特等工序指标。由此看出小型机组节能潜力之巨大。

图8-2为该机组历年的燃耗变化; 图8-3为历年的电耗变化。

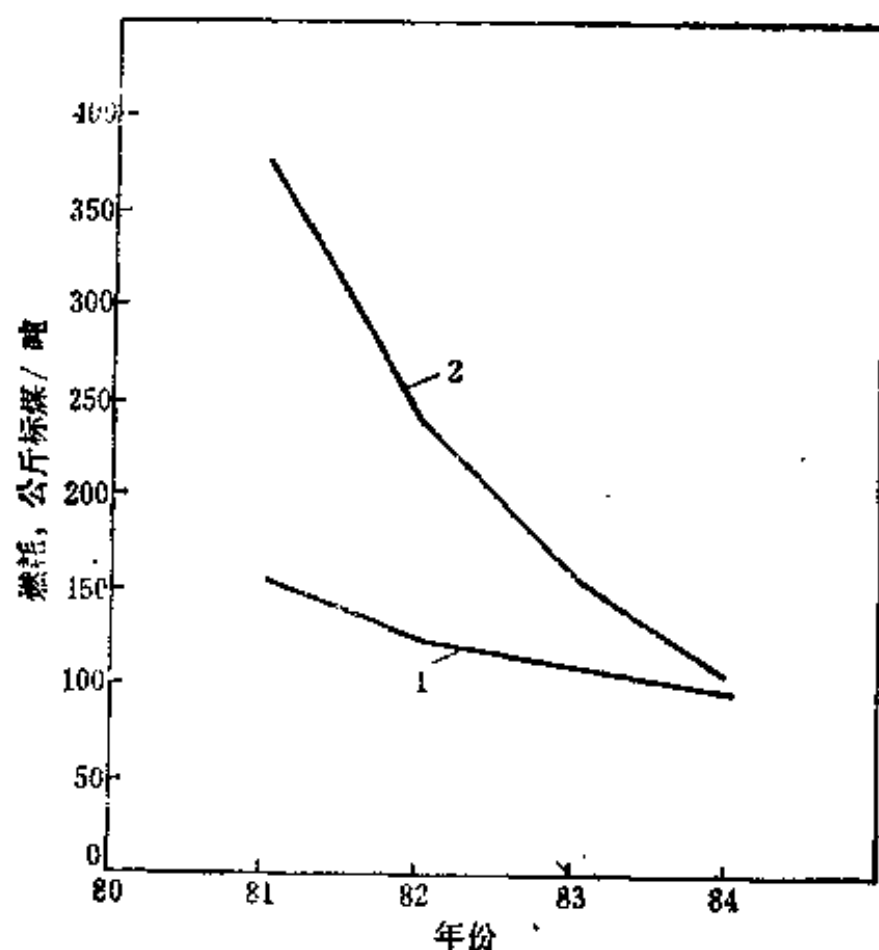


图 8-2 燃耗变化图

1—热轧; 2—冷拔

从图表可以看出, 小型无缝钢管车间节能的重点在于降低加热炉和热处理炉的燃耗, 因为燃耗要占工序能耗的70%左右。当

前节约冷拔工序的能耗更为重要，因为冷拔工序的耗能比热轧工序的要高得多。

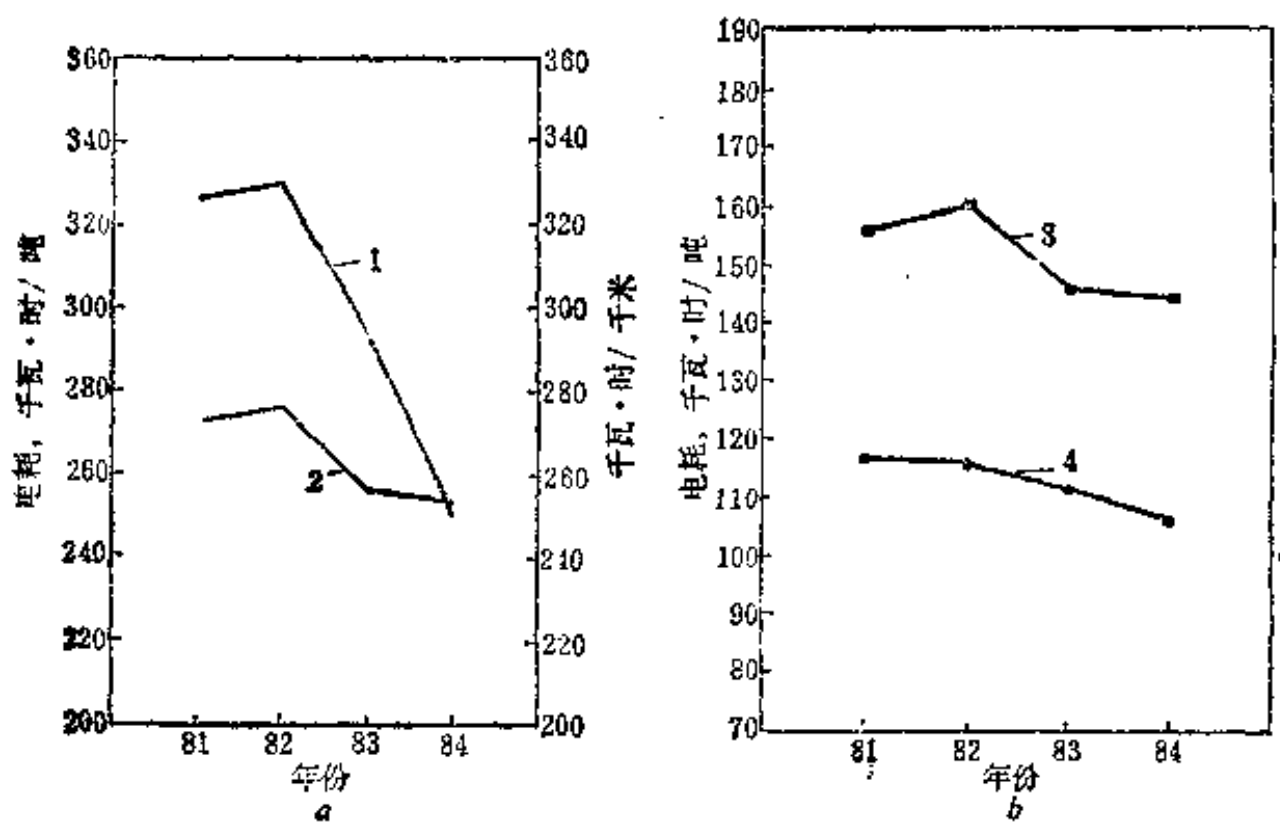


图 8-3 电耗变化图

a—冷拔电耗；b—冷拔和热轧电耗

1—千米产品电耗；2—吨产品电耗；3—冷拔；4—热轧

据调查，某100狄塞尔热轧机组工序能耗情况如表8-3所示。

表 8-3 某100狄塞尔热轧机组的工序能耗
(单位，公斤标煤/吨)

燃 耗	电 耗	蒸汽、水消耗	能耗所占比，%	工序能耗
113	39	2	73	154

由表中数据可看出，该机组也达到了特等工序指标。而大多数100机组工序能耗一般在250公斤标煤/吨左右，可见热轧机组节能潜力也很大。

由上述两个机组工序能耗情况可得出，小型无缝钢管机组的

能源消耗同大型现代化机组不相上下，甚至有可能超过大型机组的水平。

二、小型无缝钢管机组的节能方向

小型无缝钢管机组的节能方向有以下几点：

1) 挖掘设备潜力、搞好正常生产是小型无缝钢管车间节能的基础，产量低、作业率低、质量差、原材料消耗高必然造成能源大量浪费。当前对不少工厂来说，节能就是要抓好均衡生产，充分发挥设备能力。

2) 改造能耗大的设备，重点在于改造加热管坯的斜底炉、水冷辊的退火炉以及冷拔打头炉等，大幅度地降低能耗；改造陈旧的冷拔机节约电耗。

3) 改革工艺，60~76机组应为冷拔提供薄壁的坯料，减少冷拔道次和循环周期，节约能耗。小型热轧钢管机组应轧制长度大的钢管和多轧小口径管，充分利用轧件的潜热。广泛采用控制轧制和直接淬火工艺代替热处理，节约能源，提高钢材性能。

4) 广泛采用节能新工艺和新技术，如滚模拔制、超声波振动拔制、降低开轧温度等。

5) 提高作业率，减少停歇时间，从而减少加热炉空烧率和设备空运转率。

6) 提高成材率。

7) 注意节约蒸汽、水、压缩空气、氧等消耗。充分利用燃气和轧件的余热。

8) 做好广义节能。以上所述的节能方向均指狭义节能，而降低车间其他消耗，如轧辊及工具消耗、润滑油消耗、耐火材料消耗、备品备件消耗以及运输等能源的消耗为广义节能。因为生产这些物质也需要消耗大量的能源，而且这方面的节能潜力也是很大的。

第九章 特殊的合金钢管生产

从整个热轧钢管生产工艺过程来看，碳素钢管（低合金钢管）和特殊的合金钢管在轧制工序上没有什么明显区别。而区别大的主要表现在准备工序和精整工序上。但是如果把相同工序的具体要求加以比较的话，就会发现它们彼此之间是有区别的，甚至区别还比较大。这是由于钢中加入特殊合金元素改变了钢的性能（包括加工性能），加上对成品质量的要求也不同，生产中必然出现特殊性，因此需要研究这些特殊性。特殊的合金钢管生产工艺比碳素钢（包括低合金钢）钢管生产工艺要复杂，这就更有利于我们全面地掌握钢管生产的工艺问题。

第一节 不锈钢耐热钢管的生产

在空气、水、碱、酸以及其他介质中具有抗腐蚀能力的钢称为不锈钢，而专门用于抗酸浸蚀的钢则称为耐酸钢，在高温下具有足够的机械性能而且也有抗腐蚀能力的钢称为耐热钢。

要把不锈钢、耐热钢及耐酸钢在用途上截然分开是难的，例如1Cr18Ni9Ti不锈钢在500~600℃具有耐热性，同时也具有抗酸能力。这种钢还具有无磁和不生锈特性，也具有良好的机械性能和工艺性能，因此1Cr18Ni9Ti不锈钢管被广泛地应用于各种工业部门和国防部门中。

这些钢中的合金元素依具体工作条件而定，按照不锈钢的成分和组织特点，用于钢管生产的可分为下列三类：

1) 马氏体型不锈钢，含有12~18%Cr及0.1~0.4%C（个别达1.0%），可淬水成马氏体（如3Cr13，4Cr13，Cr18等）和半马氏体（含有铁素体，如1Cr13，2Cr13等）。

2) 铁素体型不锈钢，含有17~30%Cr及微量的碳，组织基本为铁素体（如Cr25，Cr27，Cr28，Cr25Ti等）。

3) 奥氏体型不锈钢, 含有 12~30%Cr、6~12%Ni 以及 Mn 等, 含碳量 $\leq 0.2\%$, 组织基本为奥氏体 (如 0Cr18Ni9, 1Cr18Ni9, 1Cr18Ni9Ti, Cr18Ni10Ti 等)。

一、不锈钢的化学成分及高温下的组织

在不锈钢中加入的主要合金元素为铬和镍。在低碳的铁基体内加入适当的 Cr、Ni 合金元素, 显著地提高了钢的耐蚀性和高温强度。另外加入一些其他元素 (Mo, Si, Al, Mn, Ti 等) 也是为了提高这些性能。

Cr 的加入量大于 10~12% 称为不锈钢, 因为 Cr 含量高于 12% 才有显著耐蚀效果。Cr 大于 18% 成为奥氏体后有高的化学稳定性。加 Cr 也有不利的影响, 使得 α 区扩大和 γ 区缩小 (如图 9-1 所示)。 α 相存在, γ 区缩小将使钢成为两相组织, 使抗蚀能力降低, 塑性变坏, 为此常加入适量 Ni 来扩大 γ 区。Ni 是扩大 γ 区的元素, 如图 9-2 所示。

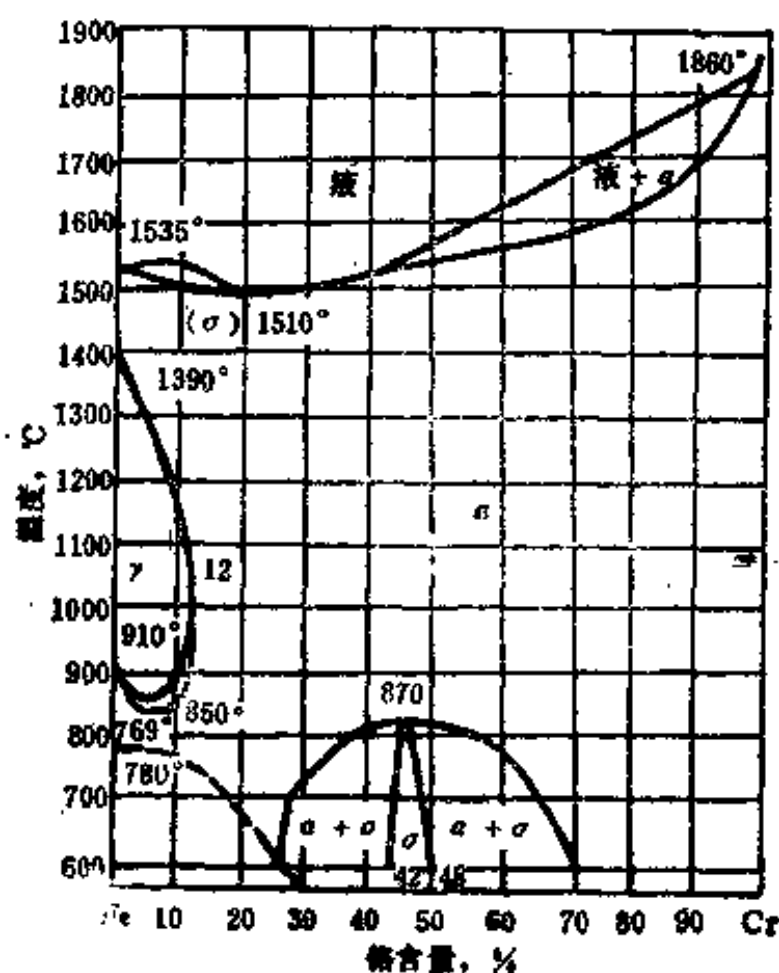


图 9-1 铁铬相图

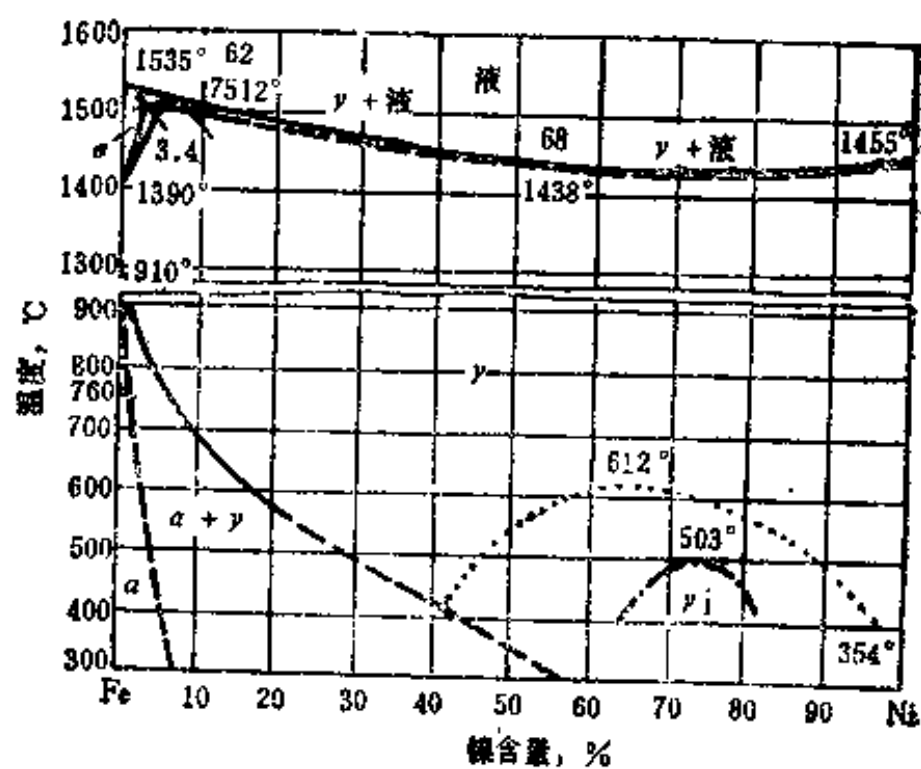


图 9-2 铁镍相图

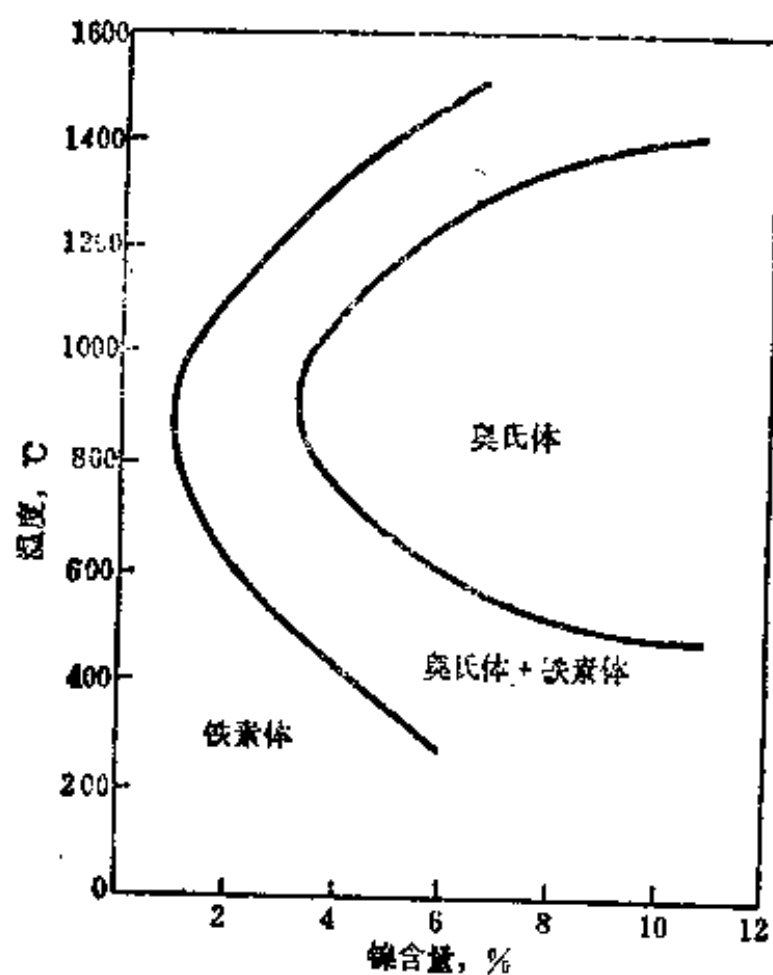


图 9-3 镍对含18%Cr钢的组织影响

此外，Cr还能提高钢的临界点，降低晶粒长大的倾向，提高钢的强度和韧性。

加Ni促使高温下的组织呈一单相的奥氏体组织，有助于提高钢的塑性及耐蚀性，低温时呈现奥氏体和铁素体组织（缓慢冷却），如图9-3所示。

在常温下为了得到单一的奥氏体组织，将钢加热至高温，用迅速冷却的办法，越过奥氏体内碳的饱和线而达SK线（见图9-4），使碳化物来不及析出，保持奥氏体过饱和固溶体，不出现碳化物。此种操作称为固溶处理。

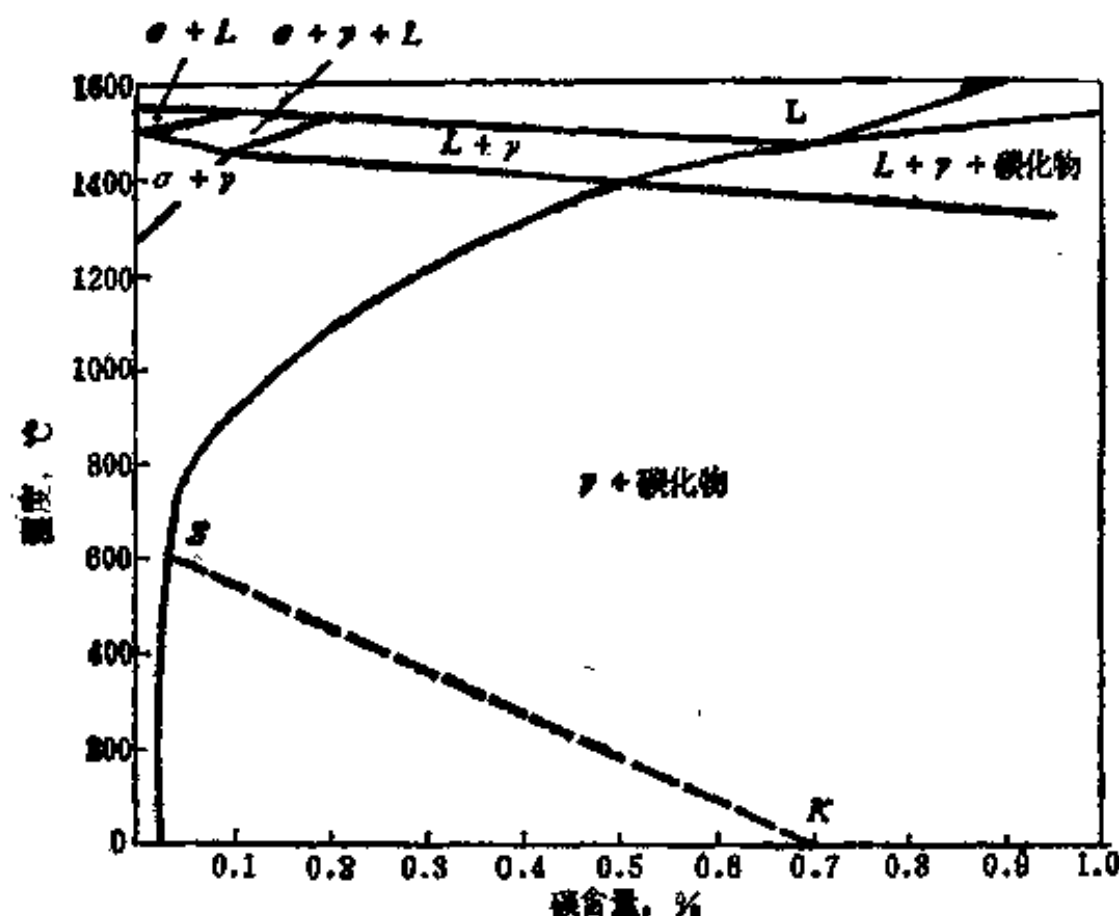


图 9-4 18-8(Cr18%, Ni8%)型铬镍钢的状态图

加Ti是为了防止晶间腐蚀现象。因为Ti与C的亲合力大于Cr和C的亲合力，所以加Ti后Ti可以与C结合，占有C，而不使C夺取固溶体中的Cr，且TiC较稳定，从而可防止晶间腐蚀。

Ti和Cr一样，也是扩大 α 区、缩小 γ 区的元素，因此，Ti的加入量应适当。

C在不锈钢中应愈少愈好，一般都小于0.2%，C含量增加会破坏钝化膜稳定，造成微电池，导致抗蚀能力降低，也会形成 σ 相（FeCr），降低钢的塑性。

由以上可知，在不锈钢中高温下的组织主要是 α 相和 γ 相，也可能存在着其他相，如各种形式的碳化物和金属间化合物（FeCr）如 σ 相。 σ 相在温度高于820℃时溶解于铬 α 相中。

钢中的组织对不锈钢的穿孔性能（加工性能）有很大影响。因此，根据钢的化学成分事先来判断高温下的钢中组织是很重要的。为了达到此目的，我们可以借助于图9-5。图中的横坐标列出铬的等价值，等于 $(Cr + Mo + 1.5Si + 0.5Nb)\%$ ；纵坐标列出Ni的等价值，等于 $(Ni + 30C + 0.5Mn)\%$ 。

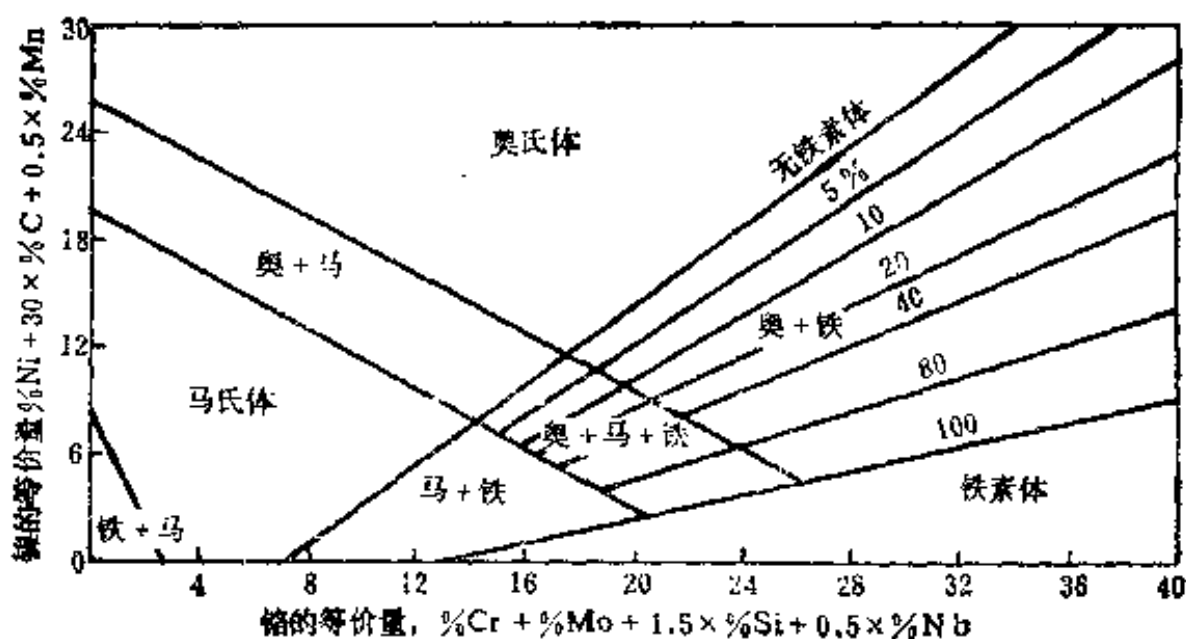


图 9-5 判断不锈钢组织的状态图

从等价值的式中可以看出，对于形成 γ 相，C是Ni的30倍；对于形成 α 相；Si是Cr的1.5倍。

如果给出钢的化学成分，则可以由图中查出钢的组织。如某不锈钢成分为0.1%C、2.0%Mn、0.75%Si、19.5%Cr、0.6%Ni和0.8%Nb，这时镍的等价值是 $Ni + 30C + 0.5Mn = 0.6 + 30 \times 0.1 + 0.5 \times 2.0 = 13.6$ ，铬的等价值是 $Cr + Mo + 1.5Si + 0.5Nb = 19.5 + 1.5 \times 0.75 + 0.5 \times 0.8 = 21.025$

由图中查出，钢的组织中是奥氏体和少量的铁素体，即奥氏体-铁素体不锈钢。查其他不锈钢钢号的组织方法相同。

二、不锈钢的工艺性质

1. 穿孔性能（加工性能）

（1）马氏体钢

马氏体不锈钢（如3Cr13、4Cr13钢）在高温下（一定的温度范围内）为单一的奥氏体组织，所以穿孔没有困难。当存在双相组织时穿孔性能（加工性能）有所降低。因此要合理地选择加热温度，在该温度范围内不存在双相组织。3Cr13、4Cr13的加热温度一般在1130~1160℃（中心温度），入炉温度应小于900℃。终轧温度应高于临界点转变温度，低碳的不低于850℃，高碳的不超过925℃。

（2）铁素体钢

铁素体钢为单一相组织，没有临界转变点（即相变）。因此加热时间长和温度高时晶粒长大严重，导致钢的塑性显著下降。图9-6示出铁素钢和奥氏体钢晶粒长大的曲线。由图可以看出，铁素体钢在温度大于600℃时晶粒即开始迅速增长，因此加热温度不能过高，一般取1000~1060℃。铁素体钢在这个温度范围内，具有较好的加工（穿孔）性能。

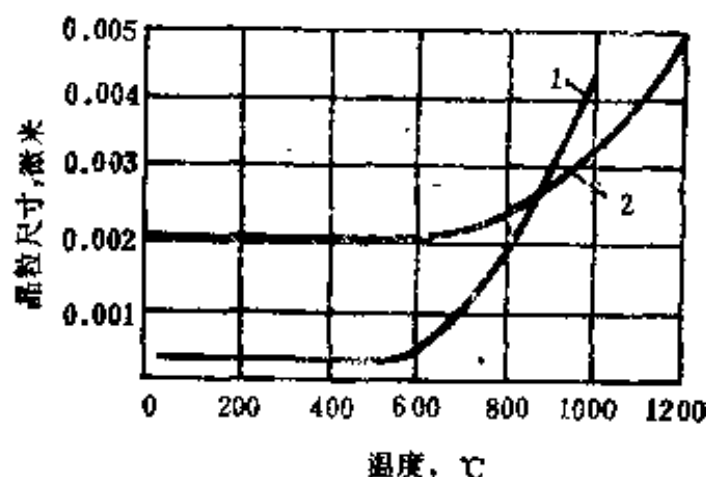


图 9-6 晶粒尺寸和温度的关系

1—铁素体钢；2—奥氏体钢

(3) 铁素体-奥氏体钢

这类钢有双相组织，穿孔性能主要决定于 γ 相数量， γ 相愈少，则加工性能愈好。在双相组织的不锈钢中（如多余 γ 相，或多余 α 相），铁素体的屈服极限小于奥氏体，而且铁素体和奥氏体变形情况也不同，再加上再结晶速度不同，奥氏体加工硬化要快于铁素体。

不同性质的两相组织在一起变形时，由于变形抗力不同，必然产生很大的不均匀变形，导致形成很大的内应力，当内应力超过金属强度时则产生金属破坏。在穿轧不锈钢管时常易出现内折缺陷，原因之一就是存在双相组织，导致金属塑性降低。因此，对奥氏体钢要控制 α 相，对铁素体钢要控制 γ 相，这一般要靠调节钢的化学成分来实现。

多余的 α 或 γ 相对金属塑性的影响，可用图 9-7（示意图）表示。如果把单一奥氏体和单一铁素体的塑性做为100%，那么随着 α 或 γ 相的增多而塑性降低（以百分数表示）。特别是两种相成分各占约一半时塑性最低。一般要求残余 α 相或 γ 相不超过20%，这时金属塑性（穿孔性能）还较好。

(4) 奥氏体-铁素体钢

在奥氏体钢中同样随着 α 相的增多，而塑性降低（如图9-7）。但经研究，钢中 α 相含量和加热温度有比较复杂的关系。例如，对于1Cr18Ni9不锈钢在加热温度为1100~1200℃时 α 相的含量较少，当温度超过1200℃后 α 相开始增加，到1250℃以上 α 相增加更多。这样对于奥氏体-铁素体不锈钢来说最好是在1100~1150℃进行穿孔。这个温度范围和某些厂（如大冶厂，上海厂），的实际数据是相符的，但有的工厂温度取得高达1200℃（中心温度1150~1170℃），超过1200℃钢的穿孔性能显然会降低，容易产生穿孔缺陷。温度低于980℃和长期保温有可能出现第三相 σ 相， σ 相也会降低钢的塑性。因此，奥氏体-铁素体钢一般终轧温度不低于950~925℃。

奥氏体不锈钢中（如1Cr18Ni9Ti） α 相的含量级别被规定在有

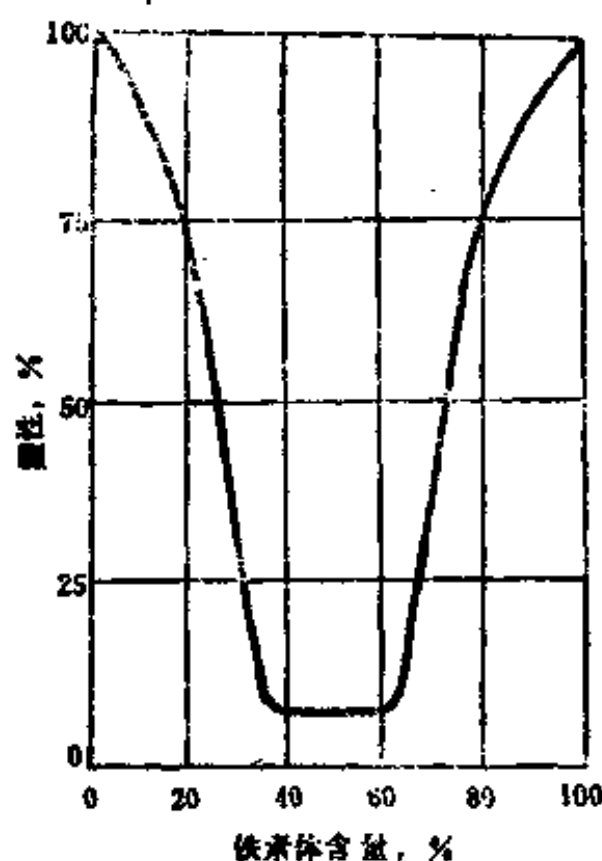


图 9-7 金属的塑性和多余相的关系

关标准中，一般分五级，各级的 α 相数量如下：

级别	1	2	3	4	5
α 相数量, %	< 5	5~12	12~20	20~30	>35

对奥氏体不锈钢 (1Cr18Ni9Ti) 管坯，规定 α 相不应超过 3 级，即 α 相数量不超过 20%。

α 相数量主要由冶炼化学成分决定，首先是铬镍含量之比。一般为了减少 α 相，Cr/Ni 之比不大于 1.8。另外还决定于形成铁素体的合金元素含量，如 Ti, Si, Al。

析出 α 相多少还和加热温度有关（如上所述），另外 α 相沿管坯断面可能分布不均匀，这都是应该注意的。

从高温机械性能试验也证明，双相组织的 1Cr18Ni9Ti 不锈钢的塑性比单一奥氏体组织的 1Cr18NiTi 不锈钢的塑性低，如表 9-1 所示。

除上述的 α 相外，在奥氏体不锈钢中还存在其他的残余相，如各种形式的碳化物、金属间化合物等。这些多余相对不锈钢的加工性能(塑性)都有影响，而影响程度决定于它们的数量及状

表 9-1 单相和双相不锈钢的高温机械性能

组 织	温度, °C	机 械 性 能	
		σ , %	ψ , %
单 相	1280	60	61
双 相	1280	49	65
单 相	1250	65	78
双 相	1250	49	69
单 相	1200	62	71
双 相	1200	30	57

态。一般多余相含量少的钢, 塑性较高, 特别是加热时多余相呈网状分布在晶粒边界上, 将显著恶化金属的加工性能。碳化物对奥氏体钢的加工性能的影响不完全相同。一种情况是碳化物从奥氏体中析出, 降低钢的加工性能; 另一种是相反的情况, 碳化物溶解在奥氏体中降低钢的加工性能。这一点从理论上尚未得到充分说明。

2. 不同温度下的机械性能

表9-2列出几种不锈钢不同温度下的强度极限, 并和15号钢加以对比。

表 9-2 几种不锈钢不同温度下的强度极限

钢 号	σ_b , 兆帕 (不同温度下, °C)						
	20	700	800	900	1000	1100	1200
15钢	430	55	50	45	27	23	13
1Cr18Ni9Ti①	540	—	180	88	54	27	17
1Cr18Ni9	650	21	120	69	38	30	15
1Cr18Ni9Ti②	620	—	155	83	43	28	17
Cr23Ni18	695	26.5	135	90	44	51	28
1Cr13	580	65	33	26	36	21	11
Cr17	590	85	40	21	20	13	8
Cr28	530	75	25	18	10	8	8

① α 相0.5级; ② α 相5级。

3. 变形抗力

一般来说铬镍不锈钢都具有较高的变形抗力，如1Cr18Ni9Ti在高温下加工硬化严重，而且再结晶速度较慢，从而变形抗力迅速增加，一般变形抗力比低碳钢大1.6倍。有的实测资料证明，在轧管时不锈钢的轧制压力比低碳钢高1倍^[35]。因此在轧制不锈钢管时为了保证设备安全，必须要掌握这一特性。同时还应掌握好温度制度，不应取过大的变形量（如轧管减壁量）。而铁素体或半铁素体的低碳耐热钢有和碳钢相同的变形抗力，且有足够的塑性，所以轧管时没有多大困难。

4. 宽展

不锈钢的宽展（横变形）较大，马氏体不锈钢为低碳钢的1.3倍；奥氏体不锈钢为1.35~1.5倍；铁素体不锈钢为1.55~1.6倍（参考数据）。因此，在穿孔时要控制横变形，应取较小的椭圆度（及取小的导板距），这对提高毛管质量是有利的。

在轧管时孔型椭圆度要大，一般取较小的变形量，以免出耳朵，两道顶头直径差多为1毫米（个别2毫米）。

在无张力减径时不锈钢管壁增厚较严重（宽展），而且，减径的孔型椭圆度要大。

5. 对应力的敏感性

（1）铁素体钢

铁素体钢具有低温脆性，轧后晶粒组织愈粗大，则脆性愈严重，有些钢（如Cr25和Cr25Ti）的低温脆性还可能是因存在 σ 相引起的。这就给冷加工（如冷矫直等）带来了困难。

（2）马氏体不锈钢

马氏体钢对裂纹的敏感性较大。裂纹是由于温度应力（热应力）、组织应力和其他应力（如残余应力）造成的。为了克服热应力和组织应力的影响，轧后冷却速度不能过快，一般采取堆冷；为了克服变形残余应力的影响，终轧温度不应过低。

（3）奥氏体不锈钢

此钢对裂纹敏感性很小。

6. 导热性

不锈钢的导热性一般都较低，特别是较低温度时。图9-8示出了铬钢和铬镍钢的导热率与20号钢的比较。由图可以看出，随着温度的提高不锈钢的导热率增加，而碳素钢则正相反。

线膨胀系数如图9-9所示。不锈钢的线膨胀系数也比碳钢大，且随着温度的升高而差值减小。不锈钢的冷热尺寸变化较显著。为保证加热质量（如不产生加热裂纹等）在加热不锈钢管坯时应根据导热率和线膨胀系数的变化规律，采取低温（ $<800^{\circ}\text{C}$ ）慢速加热和高温快速加热。

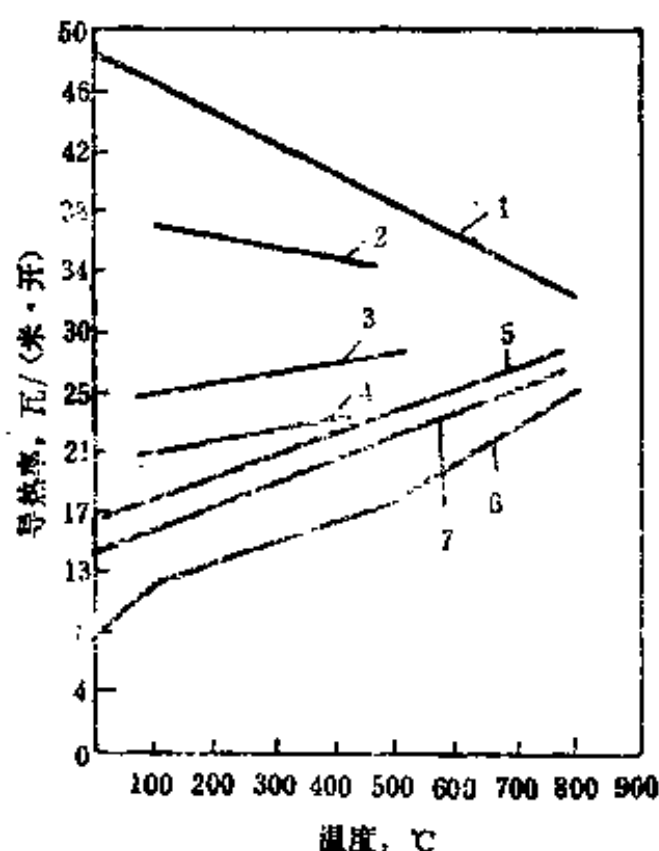


图 9-8 铬钢和铬镍钢的导热率与温度的关系

1—20号钢；2—5.2Cr；3—12Cr；4—28Cr；5—18Cr9Ni；6—25Cr20Mo；7—镍铬合金50-20

7. 抗氧化性

由于不锈钢加热时具有抗氧化性能，氧化铁皮是较少的。

8. 黏结倾向

铁素体、铁素体-奥氏体和奥氏体不锈钢容易黏辊，使得钢管表面质量降低。热轧成品轧机（如定径机）用铸铁辊可以减少

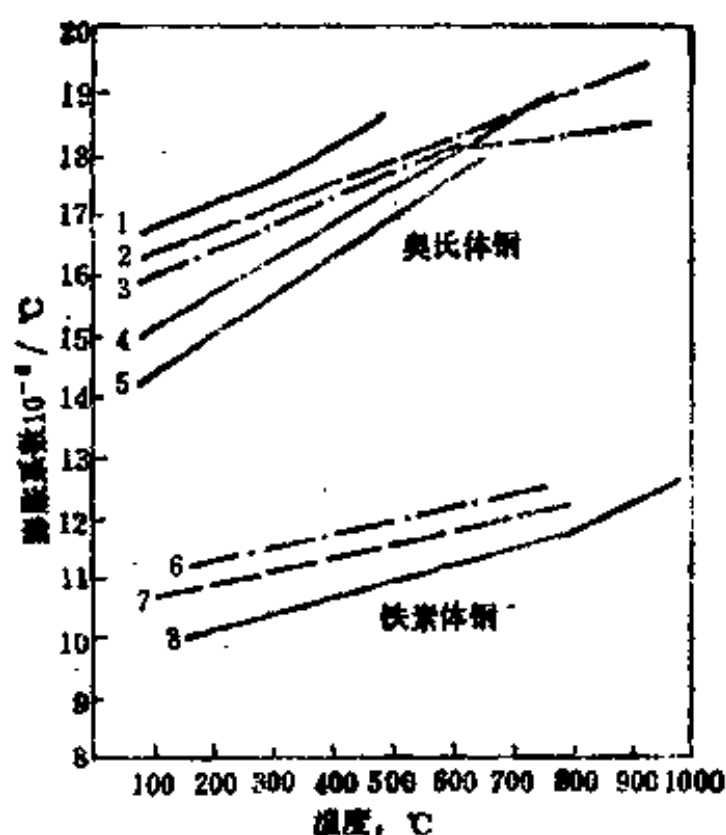


图 9-9 线膨胀系数与温度的关系

1—1Cr18Ni9; 2—1Cr18Ni9Ti; 3—Cr25Ni20Si; 4—Cr25Ni12;
5—Cr25Ni20; 6—Cr5Mo; 7—Cr17; 8—Cr27

黏辊现象；另外合理地使用冷却水冷却轧辊也很重要。

9. 穿孔时的滑移系数和能量消耗

不锈钢穿孔时的功率消耗和能量消耗的实际数据如表 9-3 所示。由表可以看出，穿孔不锈钢时的功率高于碳素钢，而穿孔耐热钢时的功率较碳素钢稍低，但能量消耗高，这是由于穿孔这类钢时滑移系数很小（即滑移很大）。穿孔不锈钢时的轴向滑移与碳钢相比约增大10%左右，而穿孔耐热钢时由于金属与轧辊间摩擦系数显著减小，轴向滑移增加50~80%。

表 9-3 不锈钢穿孔时的功率消耗和能量消耗

钢 号	穿孔时功率消耗 %	能量消耗 %	备 注
10	100	100	不锈钢和碳钢的穿孔 温度为1200~1210°C， 耐热钢为1060~ 1080°C
1Cr18Ni9	144	146	
Cr18Ni12Mo2Ti	170	209	
Cr25Ti	91	153	
Cr17	99	177	

穿孔和轧制不锈钢耐热钢时应注意咬入情况和防止轧卡。要设法增加轧辊和金属间的摩擦系数。

三、不锈钢钢管的生产工艺

以生产1Cr18Ni9Ti不锈钢热轧钢管为例（生产冷拔坯较简单），由图9-10可以看出，不锈钢钢管的生产流程较碳钢要复杂些，特别是管坯准备和精整工序较多较全。

1. 不锈钢管的技术条件

不锈钢管应符合以下技术要求：

- 1) 化学成分应符合有关国家标准；
- 2) 钢管热处理（固溶处理）后的机械性能应符合下表规定：

抗拉强度 σ_b ，兆帕	延伸率 δ_5 ，%
≥ 550	≥ 40

- 3) 钢管经B法晶间腐蚀试验符合要求；
- 4) 钢管经扩口试验，扩口处应无裂纹、裂口；
- 5) 其他见有关标准。

2. 管坯

76~100机组所用的不锈钢管坯多由电弧炉冶炼，有锻坯和轧坯两种。

管坯应进行以下各项检验： α 相鉴定，低倍组织和高倍组织，塔形车削，化学成分，几何尺寸公差，表面质量。

管坯尺寸公差如下：

管坯直径	直径公差	椭圆度	弯曲度	长度
$\phi 75 \sim 110$ 毫米	$\begin{matrix} +2 \\ -1 \end{matrix}$ 毫米	$\begin{matrix} < +1.7 \\ -0.7 \end{matrix}$ 毫米	5~6毫米/米	> 2 米

管坯表面质量要求是：表面不得有严重的折叠、裂纹、结疤、夹杂等缺陷；对要经剥皮的管坯而言允许有深度不大于2毫米的缺陷存在。

管坯的内部质量要求见表9-4和9-5。

对 α 相和晶粒度的规定是：奥氏体钢的 α 相 ≤ 3 级，晶粒度

5~8级。

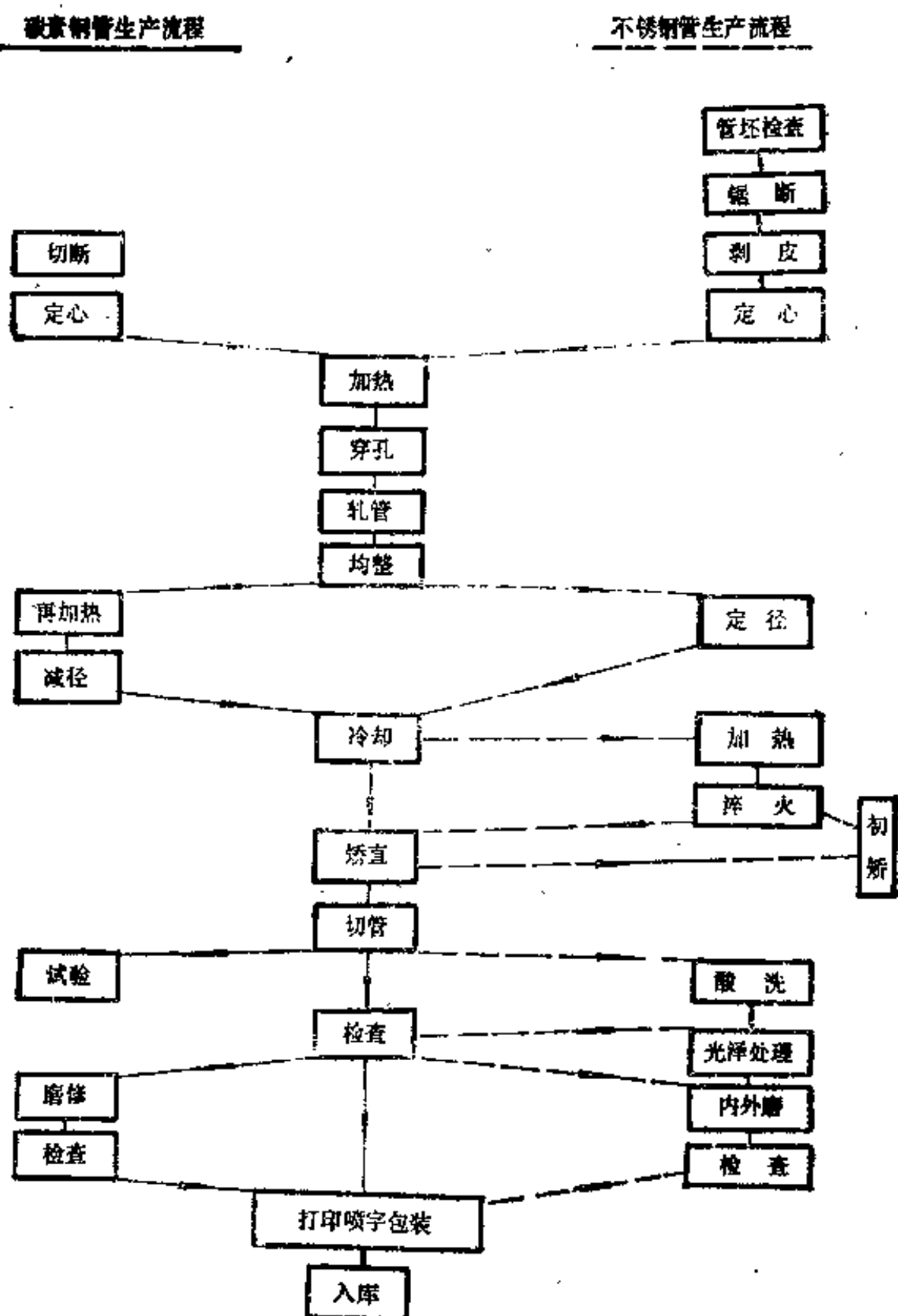


图 9-10 碳素钢和不锈钢 (1Cr18Ni9Ti) 钢管的生产
工艺流程比较

表 9-4 管坯的低倍组织检验要求

钢 种	硫 ≤级	中心疏松 ≤级	偏 析 ≤级	皮下气泡 ≤级	翻皮、白点、 裂纹和残余缩孔
1Cr18Ni9Ti	1	1	2	0	不允许存在
其他不锈钢	1.5	1.5	2	0	
30CrMnSiA	1.5	1.5	1.5	0.5	
其他合金结构钢	2	2	2.5		
GCr15	1	1	1	0.5	
其他滚珠钢	1	1.5	2	0.5	

表 9-5 管坯的高倍组织检验要求

钢 种	氧化物 ≤级	硫化物 ≤级	氧化物+硫化物 ≤级		氮化物 ≤级
1Cr18Ni9Ti	1.5	1		—	4
其他不锈钢	2.5	2		4	4
30CrMnSiA	2	1.5		3	4
其他合金结构钢	3	2		4	
			碳化物≤级	三者之和≤级	点状≤级
GCr15	1.5	1.5	1	3.5	1
其他滚珠钢	2.5	2.5	1.5	5	3

塔形车削检验规定见表9-6。

表 9-6 管坯塔形车削检验要求

钢 种	发纹总数	发纹最大长度 ≤毫米	发纹总长度 ≤毫米	每个阶梯上的 发纹数 ≤条	每个阶梯上的 发纹总长 ≤毫米
1Cr18Ni9Ti	4	4	12	2	7
30CrMnSiA					
其他碳素结构钢 和合金结构钢	5	6	25	3	10

对合金钢管坯做严格的检查，一是为了保证最终产品的质量，二是为了保证热轧时金属有良好的加工性能，因为特殊合金钢价格昂贵，如果钢质不良会造成大量的废品。管坯存在着经加热不能去除（氧化烧掉）而残留在表面上的严重缺陷时，经过塑性变形缺陷将扩大和加深，给最终产品造成大量缺陷。

要求管坯的几何尺寸尽可能精确，也是为了减少轧制废品，如管坯直径过小或椭圆度、弯曲度过大将恶化穿孔咬入条件，直径过大则增加穿孔时的压缩量，容易导致孔腔形成等缺陷。

管坯冶炼和浇注条件对加工性能的影响主要是夹杂物含量、气体含量、表面裂纹以及低倍组织（缩孔、中心疏松）等，如本书第二章所述。

3. 管坯截断、剥皮和定心

普通钢的管坯多用剪切机切断。对于不锈钢管坯由于剪切断面质量要求高（如保证穿孔时咬入顺利、内折缺陷少、两端部壁厚不均小等），剪切机不能满足要求，一般多采用锯机锯断。60~100机组所用的锯机有砂轮锯、弓形锯和圆盘锯等。

此外，不锈钢因强度较高、硬化现象严重，用剪机剪切也有困难。对强度极限较高的钢种如30CrMnSiA, GCr15等，在剪机上剪切时容易在剪切端面产生剪切裂纹（深到20~30毫米），这就容易造成毛管端部破裂。这类钢也多用锯切或经预热后再剪切。这类钢也有用火焰切割的，但切割端面质量较差，金属消耗大。

不锈钢管坯一般都要经剥皮处理，以去除表面缺陷。但有的工厂对非航空用的不锈钢管坯则不剥皮而用砂轮研磨。表面缺陷一般是在浇注钢锭时产生的。1Cr18Ni9Ti钢中加入了钛元素，钛和氧、氮有较大的结合力，在浇注钢水时，钛与空气中氧和氮接触，形成稳定的氧化钛和氮化钛，在钢水温度降低时来不及逸出便造成钢锭的表面缺陷。

另外由于不锈钢导热性差和线膨胀系数大，所以冷热尺寸变化大，再加上塑性较差，表面易出现裂纹。管坯上的裂纹通过剥皮处理去除后可以较大地提高成品率。剥皮量一般在5~10毫米（按直径算）。剥皮可在专用车床上进行。

不锈钢管坯都需要定心。管坯定心利于咬入，可减小顶头前压缩量和毛管前端壁厚不均。有的厂对小直径管坯不定心（供冷拔料的）。

4. 不锈钢管坯的加热

管坯加热是不锈钢管生产的关键工序之一，它直接影响后道工序的正常进行，也影响着成品质量。加热质量的好坏在很大程度上决定于加热制度与加热操作。

加热制度是指出炉温度、加热速度和对加热质量的要求。

（1）出炉温度

碳钢的出炉温度一般可由相图确定，低于铁碳平衡图固相线 $100\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。对过热敏感性大、且在穿孔过程中有较高温升（用铝基顶头温升更大）的合金钢（特别是高合金钢），它们的出炉温度不能简单地由相图确定，而多由热扭转试验和小穿孔试验确定。

不锈钢的出炉温度，应考虑以下几个因素：内部组织状态（如防止晶粒过大， α 相较少），穿孔过程中的温升值，穿孔工具的使用，由加热炉到穿孔机的温降（特别是小断面管坯），终轧温度以及加工温度范围较窄等。综合各项因素考虑的结果是：用水冷顶头时出炉温度一般不超过 1200°C （中心温度），用铝基顶头时一般不超过 1100°C 。各厂的实际资料见本书第三章。

过去不少资料指出， $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ 不锈钢的加工温度范围很窄，这种说法不一定确切。根据76~100机组实际生产证明，不锈钢也具有较宽的加工温度范围。

确定开轧温度也应照顾到终轧温度。从奥氏体不锈钢的相图（图9-4）可以看出，当温度 $800\sim 850^{\circ}\text{C}$ 时含 $\text{C}\leq 0.1\%$ 的钢就有铬的碳化物（ CrC ）开始析出；碳化物析出使钢变脆，塑性降低。同时，在 $900\sim 950^{\circ}\text{C}$ 缓慢冷却还会产生具有脆性的 σ 相，它在 α 与 γ 固溶体内溶解有限，析出时主要沿晶界分布，使钢塑性下降。但在热加工过程中钢在临界温度范围内持续的时间很短， σ 相来不及析出，所以在热加工的条件下， σ 相的影响不大。

（2）加热速度

基于不锈钢导热性和塑性随温度变化的特点，不锈钢管坯最好采用三段式加热（图9-11）。图中1段为管坯原始温度；2段为低温慢速加热段，在炉外烘烤和在炉内预热段慢速加热。慢速

加热的加热时间要充分，预热温度到 850°C 以上。3段为加热段。此时为了防止晶粒长大和提高炉子生产率，充分利用高温时钢的较大的导热性和塑性，采取快速加热。4段为均热段。短时间内均热，可使管坯内外温度一致。

现厂实际生产中一般多是控制炉尾温度和预热段加热时间以及分批进炉。一般规定炉尾温度不大于 $750\sim 860^{\circ}\text{C}$ (76机组)，预热时间 $45\sim 60$ 分钟。

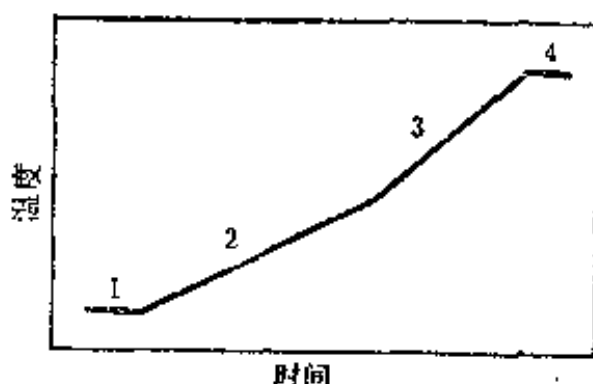


图 9-11 不锈钢管坯的理论加热曲线

(3) 加热操作

不锈钢管坯对加热的质量要求较高，表面要光洁，严防增碳和加热不均匀等。奥氏体不锈钢一般含碳量较低，高温下处于还原性气氛中会出现渗碳的倾向，而使耐蚀性降低，使加工性能变坏。因此，奥氏体不锈钢最好在氧化气氛中加热。另外需将管坯表面油迹擦净，并采用较大的空气过剩系数。

加热过程中应当经常检查温度情况，在斜底炉中加热时翻钢操作力求迅速并准确地翻转 180° ，加热时要严防火焰直接喷射管坯。要防止产生阴阳面和端部温度偏高现象，并应使管坯沿长度和断面上加热均匀。

在高温段不要停留时间太长，停轧30分以内时可将炉温降低，当停轧时间再长，应将管坯出炉。管坯出炉后1Cr13、2Cr13要堆冷，3Cr13和4Cr13要缓冷，奥氏体不锈钢需淬水。

5. 不锈钢管坯的穿孔

穿孔工序是生产不锈钢管特别是在一般二辊穿孔机上生产时的关键工序，因为不锈钢管很多缺陷是在穿孔过程中造成的。

为了保证毛管质量首先要合理地选择穿孔的变形参数。

高合金钢穿孔的主要困难就在于低的穿孔性能，临界压缩量较小，顶头前压缩量一般在4~7%范围内，但压缩量过小会造成穿孔过程不稳定，如咬入不良、滑移增加、前卡等。为了克服这些问题，管坯要定心，且定心孔的深度较其他钢种要大。

顶头前压缩量过大，容易形成孔腔而产生内折缺陷。椭圆度系数取较小的值有利于提高毛管质量（如减小拉伸应力），可以限制横变形（不锈钢扩径量大）。但椭圆度系数过小也不行，会造成轧件旋转困难而轧卡；另外导板磨损厉害，也易造成外表面缺陷。因此穿轧不锈钢管时应经常检查导板磨损情况并及时更换。椭圆度系数一般在1.07~1.08范围内。

许多研究者^[36]认为，奥氏体不锈钢塑性低、抗力大，穿孔时需采用较小的延伸系数，特别是对大直径管坯穿孔。我国76~100机组的生产实践证明，这种观点不完全符合实际情况。我国穿轧不锈钢管都采取一次穿孔，最大延伸系数到4，采用大的延伸系数既提高了产品质量又提高了产量，降低了消耗。一次穿孔条件下有的厂热轧半成品管（供冷轧冷拔坯料）的成品率达到99.5%以上。

不锈钢管坯的直径，一般选得比毛管直径小5~10%，因为不锈钢穿孔时扩径量大。管坯长度主要受顶头质量的限制。穿轧不锈钢时由于顶头上的单位压力大，发热严重，顶头容易很快被磨损。如果管坯太长顶头磨损更厉害，有时一个顶头连一根管坯都穿不过就轧卡。即使顶头不被轧卡。在穿到毛管尾端时顶头磨损处的尖锐楞角很容易把毛管内表面刮伤并粘金属，产生内表面缺陷。同时随着顶头的磨损的压堆，顶头长度减小，导致顶头前压缩量增加，也容易产生内折缺陷。76~100机组用一般顶头（30CrNi3A）时，管坯长度达1.4米，而76机组一般都较短，只有1米左右。采用钼基顶头可增加管坯长度，有的资料介绍可

到1.8米，甚至更长些。

不锈钢和耐热钢穿孔时，一般都使用最低的轧辊转速。我国不少工厂实践证明，低的轧辊转速有利于低塑性难变形的金属穿孔。高合金钢穿孔时选用较低的转速不但有利于提高毛管质量，而且可以减小穿孔机负荷、减小滑移和改善咬入。当然，产量会相对降低些。

增大轧辊倾角（前进角）对耐热钢穿孔是有利的，因为这类钢在穿孔过程中表现出有较大的滑移。增加前进角会使曳入力增加，有利于减小滑移。对不锈钢来说，由于具有高的变形抗力，增加前进角主要受电机负荷和顶杆强度的限制。据资料[10]介绍， $\phi 85$ 毫米不锈钢管坯穿孔时，前进角到 11.5° ， $\phi 105$ 毫米时，前进角到 11° 。

为了提高不锈钢管的质量和增加经济效益，不锈钢管的穿孔最好选用新型穿孔机，如菌式穿孔机、导盘穿孔机、三辊穿孔机，详见本书第四章。

6. 不锈钢管的轧制

不锈钢的塑性随着温度下降而变坏，变形抗力随温度下降而猛增，轧制时的宽展较大，并应保证一定的终轧温度。因此，不锈钢管的轧制都采取高温快轧，并在有足够塑性和较小变形抗力的温度下（大约 1050°C ）完成，见图9-12。

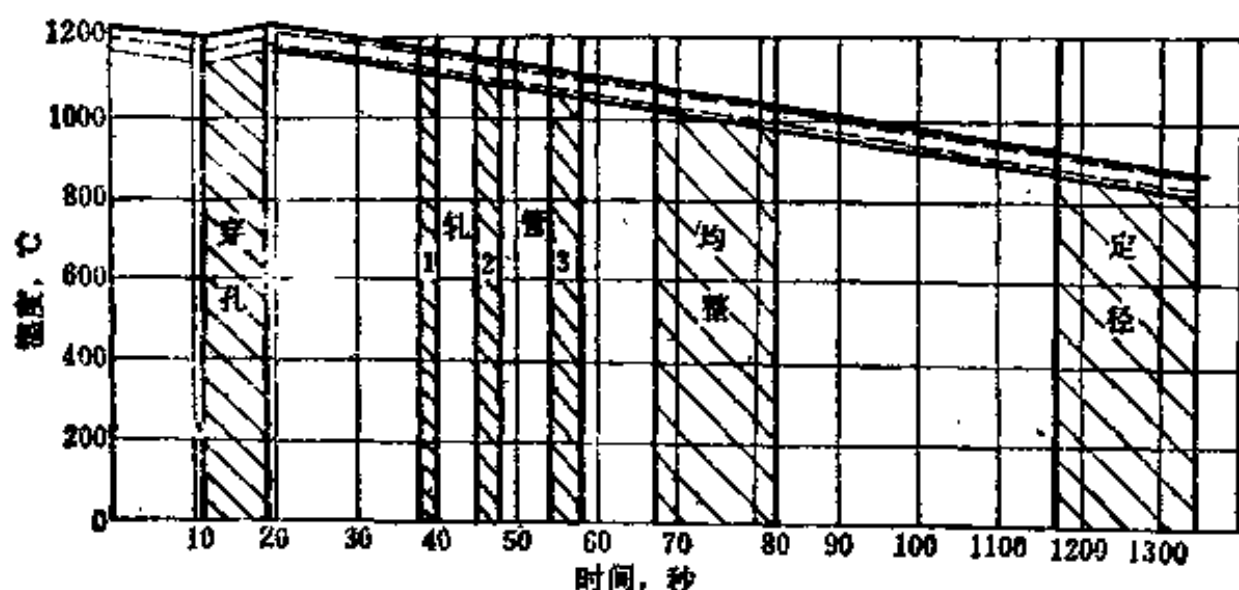


图 9-12 不锈钢管在各轧机上轧制时的温降
实线—1Cr18Ni9Ti, 虚线—Cr23Ni18

轧管的减壁量一般要取小一些，这是为了保证咬入可靠和减轻设备负荷，两道顶头差为1~2毫米。有的为了减小各道变形量轧三道，多数是轧两道。

为了减小温降、改善管子内表面的质量，轧制时要关小轧辊冷却水，轧毕打开冷却水快速冷却轧辊，但应防止正冲轧槽。换轧不锈钢管时一般都是先用碳钢试轧。

对于耐热钢，为了细化晶粒，轧管机上的轧制温度一般取得较低。

7. 不锈钢管的均整

不锈钢管的均整应快速完成；均整时关小冷却水，保证温度。另外，扩径量要小；轧管后管子的内径应比均整机顶头直径小1毫米。扩径量大容易卡钢和不咬入。

8. 不锈钢管的定减径

不锈钢管一般都经过定径，定径时的终轧温度应在800~900℃。不锈钢管定径时要注意防止轧辊粘金属，否则很容易在管子表面上造成压痕。

金属粘结在轧辊上也容易发生在钢管减径机中。

不锈钢管一般不经过减径（无张力减径机），这是因为减径时壁增厚量大。这样，在轧管机上需轧制更薄的管子是有困难的。小口径厚壁管也可经过减径。有的厂减径时，钢管先经过修磨，然后经再加热才减径。这样可保证减径管的质量。

9. 不锈钢管的精整

（1）淬水（固溶处理）

定径后的热管直接入再加热炉加热到1050℃，然后淬水。也可将管子冷却后重新加热（如电接触加热）淬水。不锈钢管需要固溶处理，这是不锈钢管精整特点之一。

固溶处理的目的是有三：

1）由于从高温下快冷，越过奥氏体的碳饱和曲线而达SK线，碳化物来不及析出，得到单一的奥氏体组织，可以提高抗腐蚀性能和塑性。

2) 减弱奥氏体钢的晶间腐蚀倾向性, 这是因为再加热时可把析出的碳化物重新溶解于固溶体内, 同时也可减小各处 Cr 浓度的差异 (由于高温下的扩散作用)。

3) 奥氏体不锈钢经水淬还有助于破坏致密的表面氧化铁皮。

水淬工艺中要严防增碳, 普遍的和局部的增碳都会降低抗晶间腐蚀的性能, 而且会给后步冷加工工序造成困难, 所以用火焰炉加热时应给予充分注意。

在电接触加热床上加热, 可防止增碳, 且加热质量好, 加热均匀; 但耗电大, 劳动强度大。

水淬制度是把钢管加热到 $1050 \sim 1100^{\circ}\text{C}$, 然后在低于 40°C 的水中快速冷却。某厂在加热炉中的加热工艺制度如表 9-7 所示。某厂电接触加热的工艺制度如表 9-8 所示。

表 9-7 不锈钢固溶处理的加热制度 (在加热炉中)

钢管规格 毫米	钢管入炉温度 $^{\circ}\text{C}$	炉膛温度 $^{\circ}\text{C}$	加热时间 分	出炉支数	出炉后温度 $^{\circ}\text{C}$	备 注
$\phi 76 \times 4$	800	1060	30~45	12~15	1030	出炉后保温 8~10 分; 壁厚小于 7 毫米时取下限; 壁厚大于 7 毫米时取上限
$\phi 76 \times 7$	}	}	45~55	9~12	}	
$\phi 95 \times 11 \sim 15$	850	1100	55~70	7~9	1080	

表 9-8 电接触加热的固溶处理制度

钢 种	加热时间	加热温度 $^{\circ}\text{C}$	冷却水温度 $^{\circ}\text{C}$
1Cr18Ni9Ti	视 管 壁 厚薄而不同	1100~1050	<40
Cr23Ni18		1100~1200	<40

水淬后钢管要取样检查 σ_b 、 σ_s 和晶间腐蚀, 不合格者要重新水淬。

(2) 矫直

由于经过水淬及搬运，有些管子弯曲度可能很大，弯曲度大于50毫米/米者需经过压力矫直机粗矫，然后再送到辊式矫直机精矫。由于不锈钢强度高、硬化严重，矫直力很大，这是矫直时应注意的。

(3) 切管

切管时尽可能采用大刀具，润滑冷却液要直对车刀，以求良好的散热条件，防止局部过热。

由于不锈钢的强度大，切削时的能量消耗大，比切削同体积软钢要多耗50%左右能量。因此，应选用大号切管机，采取低转速、大进刀量并加断屑器。

(4) 酸洗

不锈钢管因使用场合重要、条件恶劣，对表面质量的要求是很高的。为了易于发现和检查表面缺陷，钢管需经过酸洗处理，酸洗后进行光泽处理，使表面光泽，提高钢管的耐蚀性。

某厂不锈钢管酸洗和光泽处理的参数列于表9-9中。

表 9-9 不锈钢管的酸洗和光泽处理参数

工序	名称	溶 液	温 度 ℃	时 间 分	作 用
1	酸洗	23% H_2SO_4	55~60	30~60	去氧化铁皮
2	水洗	水	20	5~7	清洗
3	中和	0.5%NaOH在1米 ³ 水中加35公斤	20~30	5~7	中和余酸
4	光泽	$NaNO_2$ 和25公斤 $HNO_3 + H_2SO_4$	50~55	30~45	光泽表面
5	水洗	水	20	5~7	清洗
6	光泽	同工序4	18~20	30分	同工序4
7	清洗	水	20	5~7	清洗
8	干燥	干燥炉	100~200	12~20	去除水分

(5) 检查和修磨

不锈钢管检查按标准要求进行。为了检查出内部缺陷一般都应采用无损探伤仪器检查，如超声波探伤仪等。

修磨是指研磨抛光内外表面，有的厂抛光可达▽4，修磨主

要是为了去除表面微小缺陷，同时经过抛光可以提高钢管抗蚀性。

10. 不锈钢半成品管热轧生产

76机组生产热轧半成品管（供冷加工坯料）的工艺流程要简单一些，其流程如下：

管坯验收→锯断→剥皮→加热→穿孔（或继续进行轧管）→水淬→毛管检验入库。

如果利用余热打头，打头后要水淬，其制度如表9-10。

如果是再加热后打头，有的是打头前水淬（穿孔毛管），有的是打头后水淬。

表 9-10 打头的工艺制度

钢 号	打头温度, °C	停打温度, °C	冷却方式	备 注
1Cr18Ni9Ti	1000~1050	>850	水淬	有的用套管加热
1Cr13, 2Cr13	1100~1130	>800	空冷	

第二节 轴承钢管的生产

制造滚动轴承套圈用的轴承钢管广泛应用三辊轧管机生产。用钢管代替圆坯来生产轴承套，不但节约了金属，而且为滚珠轴承厂提供了采用高效率的专用自动机床加工线的可能性。这就大大地提高了轴承厂的生产能力、减少所需的机床数量并减少工具消耗，从而降低了轴承的成本。

据资料[37]介绍，三辊轧管机（阿塞尔轧机）轧出钢管的尺寸精度高，壁厚公差为±3.5%（ $S/D=0.1\sim0.28$ ， $D=50.8\sim101.6$ 毫米），同时外径公差和椭圆度也都很小。

在自动轧管机上轧出的热轧钢管的尺寸公差是： $D^{+1.5}_{-0.5}\%$ ， $S^{+1.5}_{-0.5}\%$ ，热轧半成品管的尺寸公差是： $D^{+1.5}_{-0.5}\%$ ， $S^{+1.5}_{-0.5}\%$ 。轴承厂要求的钢管尺寸公差则是： $D^{+0.5}_{-0.5}\%$ 、 $S^{+0.5}_{-0.5}\%$ 。

一、轴承钢的化学成分及高温下的组织

我国生产的轴承钢分为两类，一为铬轴承钢，一为无铬轴承钢，其钢号为GCr15、GMnMoV、GSiMnV和GSiMnMoV等。

GCr15轴承钢化学成分如表9-11所示。无铬轴承钢与铬轴承钢基本性能的比较如表9-12所示。铬轴承钢与无铬轴承钢的高温机械性能如表9-13所示。

表 9-11 GCr15轴承钢的化学成分

钢 号	化 学 成 分 ， %					
	C	Mn	Si	Cr	S	P
GCr15	0.95	0.2	0.15	1.30	≤ 0.02	≤ 0.027
	1.05	0.4	0.35	1.65		

下面以GCr15为例讨论轴承钢的有关问题。

GCr15轴承钢为特殊的过共析钢。按主要元素来看，GCr15轴承钢为铁-碳-铬三元合金。但在含碳1%和含铬低于3%时，GCr15与普通高碳钢没有不同，其组织为铁素体和渗碳体，不产生其他新相。钢中多余的相是铁的碳化物（渗碳体）和铬的碳化物以及复杂的碳化物 $(Fe, Cr)_3C$ 。含铬量为1.6%时，Fe-Cr-C三元相图的一个切面如图9-13所示。此二元相图表明了铬的影响，与铁碳相图比较，铬的影响（与我们讨论的问题有关的影响）有以下两点。

1) 固相线稍有降低；

2) 奥氏体中溶解极限曲线以及共析点移向低碳方向，同时随着碳在 γ 铁中溶解极限曲线向左移动，固相线降低，而 γ 区缩小了。

由图可以看出，含碳量到1.1%的轴承钢，当加热到800℃时为单一奥氏体组织。随着温度的提高，铁和铬的碳化物溶解度增加（溶解于奥氏体中）。

在热轧过程中，金属冷却时有大量碳化物从固溶体中析出。

表 9-12 铬轴承钢与无铬轴承钢的技术性能

钢 号	临界点, °C			弹性模数 兆帕	比重 克/厘米 ³	熔点 °C	膨胀系数 $\times 10^{-6}$, °C ⁻¹			屈服 强度 兆帕	抗拉 强度 兆帕	延伸率 %	断面 收缩率 %	硬 度	冲击功 焦	退火温度 °C
	A _{c1}	A _{c2}	A _{cm}	A _{cm}	A _{cm}	A _{cm}	20~ 100°C	100~ 200°C	200~ 300°C							
GSiMnV	755	780	705	680	210000	7.78	1387~ 1395	—	10.12	11.9	440	720	25.5	50.4	—	770
GSiMnVR	745	785	705	680	218500	7.78	1391~ 1398	—	9.11	11.43	440	720	25.5	50.5	—	770
GSiMnMoV	740	800	727	681	210500	—	—	—	12.77	13.03	440	690	23.2	54.1	204	770
GMnMoV	743	873	698	677	—	—	—	—	—	—	475	720	21.0	44.3	203	780
GMnMoVR	742	887	702	682	—	—	—	7.72	12.39	14.99	460	715	22.0	47.5	201	780
GCr15	760	900	707	695	212000	7.81	1395~ 1403	14	15.1	15.5	355~ 390	595~ 675	20.5~ 27	40~ 58.9	—	760~ 780

表 9-13 铬轴承钢与无铬轴承钢的高温机械性能

温度 °C	机械性能			钢 号		
				GSiMnV	GSiMnMoV	GCr15
880	σ_b , 兆帕			64.9	71.7	63.2
	ψ , %			78.8	86.6	79.4
	δ , %			97.2	77	73
900	σ_b , 兆帕			52.5	64.1	51.7
	ψ , %			83.3	82.6	68
	δ , %			88.4	80.70	66.7
950	σ_b , 兆帕			41.6	54.0	38.2
	ψ , %			85.8	92	85.7
	δ , %			80.70	83.3	61.80

这种碳化物在变形过程中随着金属变形而向延伸方向伸长，形成所谓带状组织。这种带状组织将降低钢的强度。当终轧温度在800~900℃时，碳化物析出最严重，而且是沿晶粒边界析出，通称网状碳化物。网状碳化物的析出程度（碳化物尺寸）主要决定于终轧温度和轧后冷却速度。终轧温度愈高、轧后冷却速度愈慢，则析出的网状碳化物愈粗。

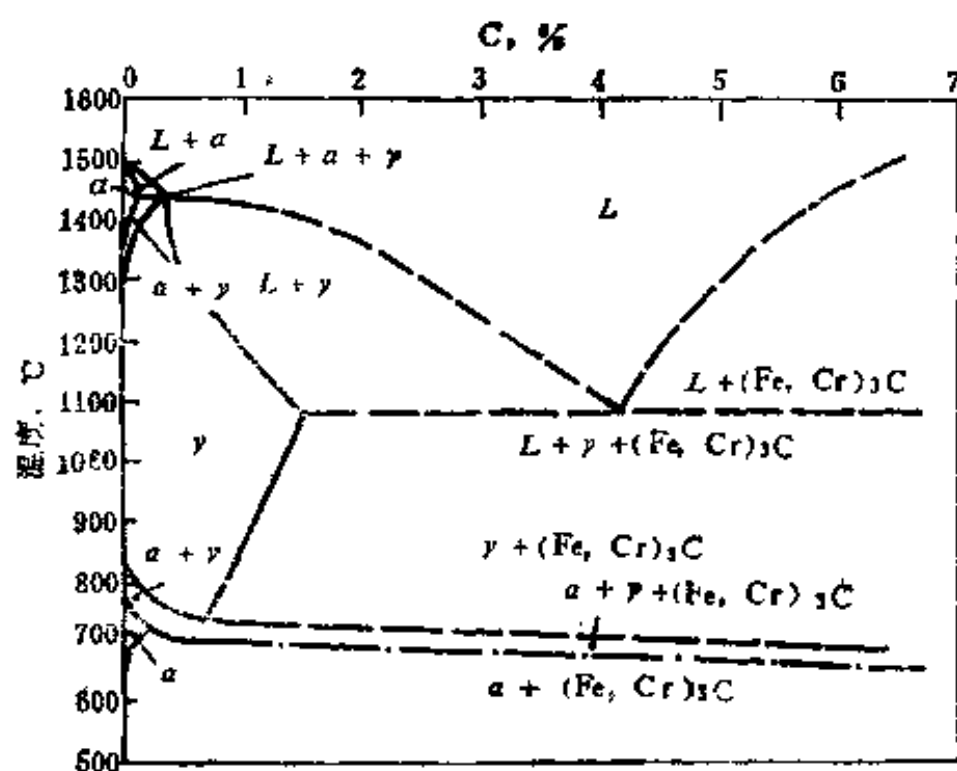


图 9-13 含铬1.6%的铁碳相图

GCr15钢退火后成为单一的珠光体组织。

碳化物夹杂在不高的温度下呈脆性，因此变形时很容易产生显微裂纹，这是应该注意的。

二、轴承钢的加工性能

1. 塑性（穿孔性能）

轴承钢在高温下具有良好的塑性和穿孔性能，只要是加热温度正常，轴承钢穿孔不会有什么困难，变形参数可按45号钢选取。

2. 导热率

铬钢与低碳钢相比有较小的导热率，（单位，瓦/(米·开)），

实际数据如下:

	100°C时	800°C时	900°C时
铁(纯铁)	54.75	38.45	33.85
钢1%C, 0.5%Cr	40.98	35.94	32.60
1.2%Cr	40	35.11	31.35
2.0%Cr	39.7	34.27	31.35

3. 机械性能

图9-14示出了GCr15和3号钢不同温度下的强度极限。由图可以看出,低温下GCr15钢的强度极限比碳钢高得多,而到1000°C以上时两者相差就很小了。

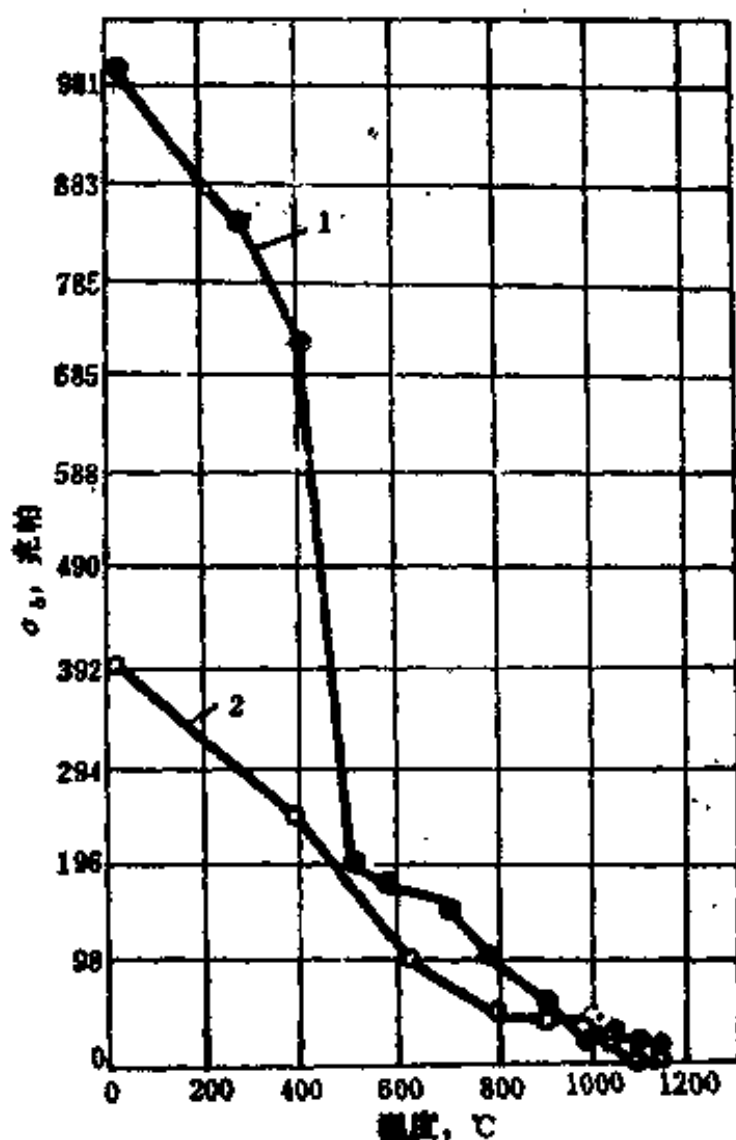


图 9-14 GCr15和3号钢的高温机械性能
1—GCr15; 2—3号钢

4. 变形抗力

GCr15轴承钢具有较高的变形抗力，特别是温度愈低则变形抗力愈高，且对温度的敏感性较大。这是轴承钢管轧制时必须注意的特点，如严防轧冷钢。生产轴承钢管有时受定径机和矫直机能力的限制，这是因为轴承钢管壁厚，加上低温下变形抗力高，使得轧制力和矫直力显著增加。

5. 宽展

轴承钢的宽展比低碳钢稍大一些，约大10~20%；但轴承钢的宽展在温度885~1195℃的范围内变化很小，这就给生产控制金属横变形带来了方便。

三、轴承钢管的生产流程

76~100机组的生产热轧轴承钢管的工艺流程如图9-18所示。由图可以看出，轴承钢管的生产流程和碳素钢管的生产流程没有多大区别，主要不同是精整工序，轴承钢管的生产流程中多了球化退火热处理工序。

四、轴承钢管的生产工艺问题（以100机组为例）

1. 管坯

轴承钢可用各种冶炼方法熔炼（平炉、电炉、氧气转炉）。对于要求严格的品种，为了去除有害夹杂，有的要进行电渣重溶。轴承钢管坯一般都是轧坯，也可以是锻坯。

2. 管坯剪断和定心

经退火处理的管坯可以剪断；管坯若未经退火处理，剪切时易出现裂纹。如果仅仅为了剪切的需要，而要求管坯以退火状态交货是不合理的，因为管坯剪断后还需送去加热和轧制。管坯现多用锯切和氧气切割。用氧气切割虽然简单易行，但生产率低，金属损失大，端部不易切平，有熔渣粘结使冷定心困难，且劳动条件差。

我国某厂采取预热办法（加热100~200℃）在1000吨剪断机上剪切轴承钢获得成功。

对于生产轴承钢管，管坯定心是必要的，因为轴承钢管多为

厚壁管，通过定心可以显著减小毛管前端的壁厚不均。

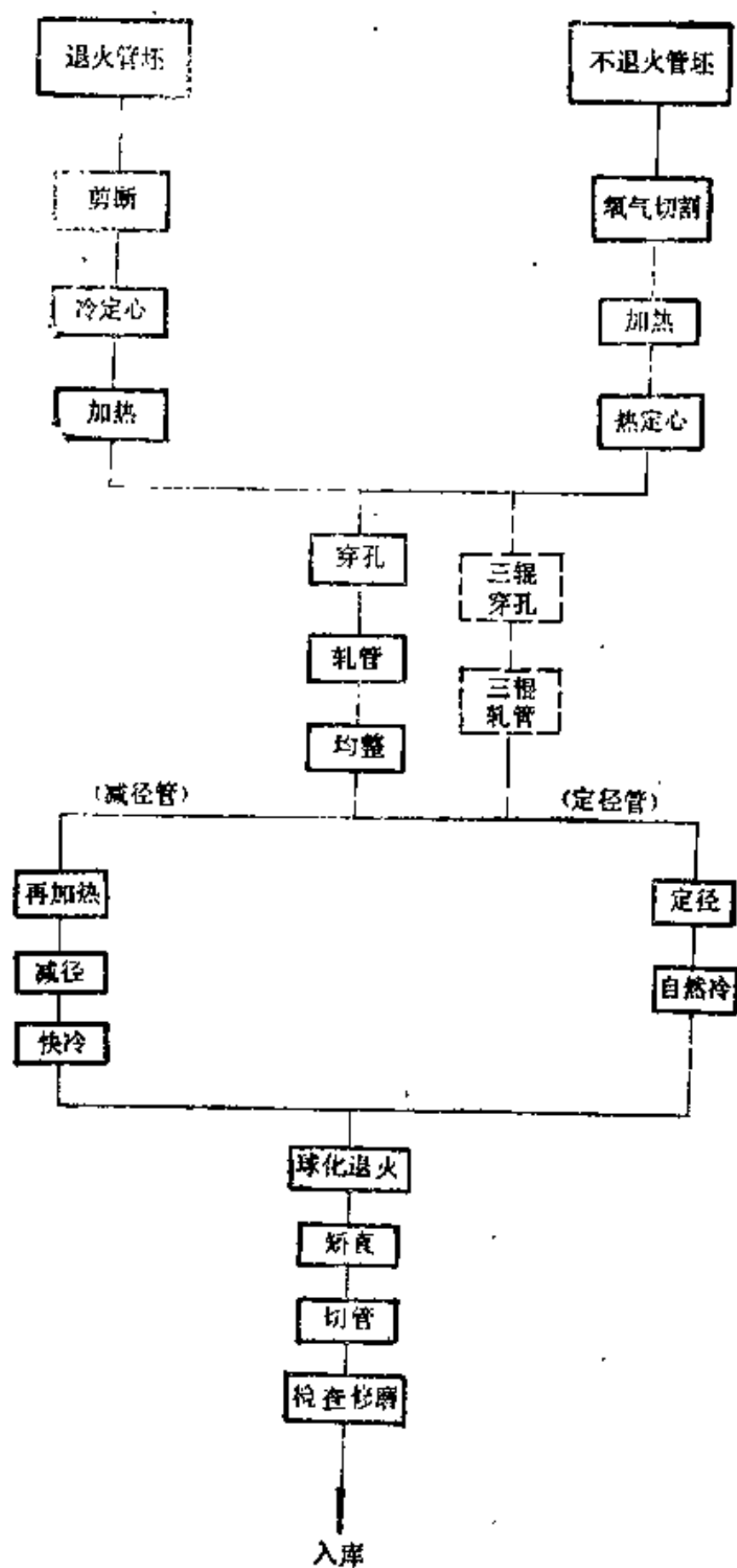


图 9-15 轴承钢管的生产流程图

3. 管坯加热

管坯加热是轴承钢管生产中必须十分重视的问题。轴承钢是高碳低合金钢，导热性比较低，因此低温段的加热速度要慢些。

轴承钢对晶粒长大、过热过烧十分敏感，因此高温段的停留时间不应过长，温度不能过高，否则易产生环形疏松、高层和内折缺陷。因此，有的厂规定高温段（ $>900^{\circ}\text{C}$ ）的加热时间不超过20分钟，当出现停轧时，炉温要立即降到 900°C 以下。

从理论上分析，轴承钢管坯的加热延续时间还取决于溶解碳化物所必需的时间。当加热太快而碳化物未完全溶解时在成品管上将会出现碳化物不均匀性（偏析）；不过对于小尺寸管坯这个问题并不突出。

加热温度要严格控制，合适的穿孔温度为 $1080\sim 1150^{\circ}\text{C}$ 。当温度超过 $1150\sim 1180^{\circ}\text{C}$ 时常易出现钢的过热，钢的塑性降低，因而容易出现穿孔缺陷。但温度太低则变形抗力增加，导致轧制压力、轴向力和电机功率增加。一般轧较薄管时，温度取上限，穿厚壁管时取下限。

加热温度高和加热时间长还会使钢脱碳，这也是轴承钢管技术条件所不允许的。

确定加热温度时还要考虑终轧温度的要求。

在加热操作上要防止“白头”（管坯端部加热温度过高），加热要均匀。有的厂认为，在加热轴承钢管坯时要有意地造成管坯表面温度高于中心温度 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，因在穿孔时的变形热能使中心温度上升约 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。采用这种加热方法可以减少内折缺陷（非水冷顶头）。

各厂常用的加热制度如表9-14所示。由表可以看出，新轴承钢的加热温度比GCr15要低一些。

4. 轴承钢管的轧制

（1）变形参数的选取

轴承钢管轧制表的编制与中碳钢与低合金钢相同；

1）穿孔时管坯直径的压缩量在 $14\sim 16\%$ ；

表 9-14 结束钢管的加热制度

机 组	钢 种	加热温度 ℃	加热温度 (穿孔后温度) ℃	加热时间, 分		加热速度 分/厘米	备 注
				管坯直径, 毫米			
				85~90	100~115		
114 机 组	GCr15 新轴承钢	<800	(1120~1160)	80	90	7.8~9.4	非水冷顶头
100 机 组	GCr15	<800	(1100~1140)	80	90	7.8~9.4	
76 机 组 (1)	GCr15		(1060~1100)	90	90		
76 机 组 (2)	GCr15 新轴承钢	<800	1130~1170	60			只穿孔, 水冷顶头
76 机 组 (3)	GCr15 新轴承钢	<800	1060~1100	60~80			同上
76 机 组 (4)	GCr15		1100~1150	—			
76 机 组 (5)	GCr15		<1150	—			
76 机 组 (6)	GCr15		1140±10	60			穿孔, 轧管

2) 轧管一般轧两道, 有时为了提高管子的尺寸精度轧三道, 总减壁量一般为3毫米;

3) 均整机的扩径量取得小些。当均整管壁很厚的管子时, 不加顶头, 空轧定径;

4) 定径机的压下量一般取得也较小。

(2) 轧制轴承钢管的主要特点

轴承钢变形抗力大, 穿孔温度低, 轧管温度低, 因而轧机负荷较大, 且尺寸精度要求严格, 因此, 要精心操作及时调整轧机保证产品质量。

5. 消除GCr15轴承钢管网状碳化物的措施

轴承钢管热轧后应具有有良好的显微组织, 即细片层状珠光体且无网状碳化物析出, 才能为轴承钢管球化退火后获得细粒状珠光体创造条件。无铬轴承钢在通常热轧条件下, 一般可以得到合格的网状碳化物级别。由于GCr15轴承钢管热轧后冷却到850~900℃时开始有大量碳化物析出并呈网状分布, 所以终轧温度应控制在850℃以上。在100机组上, 将均整后的热管送去再加热, 以控制开始冷却温度。

据100机组试验, GCr15轴承钢管轧后快冷时在每分钟50~70℃的冷却速度下网状碳化物的级别是合格的, 其试验数据如表9-15所示。

表 9-15 GCr15轴承钢管轧后快冷的试验数据

钢管规格 毫米	出减径机温度 ℃	快速冷却到 的温度, ℃	实测快冷时间 分—秒	冷却速度 ℃/分	网状组织级别
63.5×10	870	750	2—10	56	1.5
	850	750	1—40	60	1.0
	850	750	1—35	63.3	1.5
	860	750	1—40	66.4	1.5
	880	750	2—0	65	1.5
	870	750	1—50	65.5	1

采取自然冷却时网状碳化物级别一般都在3级以上。

为了达到快速冷却，一般在冷床上和冷床输入辊道处设置风机和喷雾装置。

6. 球化退火

轴承钢管球化退火的目的是降低硬度、消除内应力和改善组织，以便于切削加工和钢管矫直，并为轴承套圈进一步调质处理创造良好的组织条件。

轴承钢管退火后，要求显微组织为均匀的球状珠光体，其级别为2~5级。GCr15轴承钢管的硬度要求为 $HB=179\sim 207$ ，无铬轴承钢管为 $HB<217$ 。

7. 钢管精整

经退火并检验合格的轴承钢管需进行矫直和切管等工序。

由于轴承钢屈服极限较高，又是中、厚壁管，再加上退火后有的钢管弯曲大，矫直是比较难的。弯曲度大的钢管先要在压力矫直机上粗矫，然后再送入辊式矫直机精矫。

退火后的轴承钢管的管头切断可在切管机上进行，也可用砂轮片锯切。由于轴承钢钢质硬和管壁厚，在切管机上切头，生产率较低。不少工厂采用砂轮片锯切，生产率虽高，但砂轮片消耗大，成本高。

8. 钢管检验

检验一般分三步进行：

1) 在定减机后进行中间取样检查，测定钢管壁厚和外径。发现壁厚和外径超公差时及时通知热轧机组调整轧机。对GCr15轴承钢管还需取样检查网状碳化物级别；

2) 轴承钢管球化退火后取样检查，包括硬度、断口、低倍、金相组织（球化组织、网状碳化物、带状碳化物）、非金属夹杂物（氧化物、硫化物、碳化物液析、点状不变形夹杂物）以及脱碳层的检查。合格者才能进行精整；

3) 成品轴承管逐根检查，测定钢管尺寸，检查内外表面质量，并根据质量情况评级和判废。

至于生产热轧半成品管（冷拔坯）的工艺较为简单，一般通过穿孔、轧管，然后堆冷，再送往冷加工车间。

第三节 其他合金钢管的生产

一、高压锅炉管的生产

高压锅炉管的钢种有碳钢、珠光体合金钢以及高合金铁素体和奥氏体钢。碳钢可用平炉、电炉和吹氧转炉冶炼。合金钢和高合金钢多用电炉冶炼。

锅炉用的耐热钢管是在高压和高温条件下工作的，材料在高温下长期工作时将产生蠕变，塑性和韧性下降，原始组织改变，产生腐蚀等。因而作为锅炉用的耐热钢应具备：1）足够的高温强度；2）足够高的塑性变形能力；3）最小的时效倾向和热脆性；4）足够的抗腐蚀稳定性；5）良好的工艺性能。

珠光体类的耐热钢有钼钢、铬钼钢和铬钼钒钢，它们能在475~570℃温度下工作。这类钢主要缺点是抗氧化和抗腐蚀能力不足，一般认为使用的最高温度为570~575℃。

马氏体类钢是在570~625℃温度下使用的钢，是以简单的12%Cr型马氏体不锈钢为基础，加入Mo、W、V、Ni等碳化物形成元素而成的。奥氏体类钢有两种：镍铬型和铬锰型。前者最高使用温度为600~700℃，后者为625℃（如Cr18Ni12Ti的最高工作温度为650℃，甚至到800℃）。温度再高（>700℃）则要用高温合金，主要是镍基合金。

我国研制的15Cr2MoWVBA（102）钢种，也属于珠光体型热强钢，但他的主要性能指标要优于12Cr1MoVA和12Cr2MoVSiB，持久强度 $\sigma_{620}^{0.1\%} > 88.3$ 兆帕， $\sigma_{620}^{0.2\%} > 49$ 兆帕，抗氧化性在620℃下氧化增重 < 0.05 克/米²·时。

此外，Π-11（12Cr1MoVSiTiB）钢种工作温度达600~620℃，也有较高的性能，也属于珠光体类钢。

102和Π-11钢热轧钢管生产与12Cr1MoV钢没有什么大的区别，主要特点有：

管坯 要剥皮，剥皮量一般在5毫米左右（有的厂不剥皮）。

管坯切断 钢质较硬，多用氧气切割或锯切。

加热 导热性比碳钢低，因此要控制炉尾温度，加热速度稍慢些，加热温度为1120~1180℃，穿孔温度为1100~1160℃。

轧制 这类钢一般穿孔性能良好，因此变形参数可按中碳钢或合金钢（如30CrMnSiA）选取。图9-16为Π-11钢的热扭转试验曲线。由图可以看出，在温度为1000~1100℃区间有良好的塑性和低的变形抗力。实际生产中反映，穿孔温度还可高些，到1150℃，这样可降低变形抗力。

轧后热处理 这类钢轧后要进行正火和回火。热处理制度如表9-16所示。有的厂对于这类钢的热轧钢管采取热轧+回火热处理制度，是较先进的（见本书第七章）。

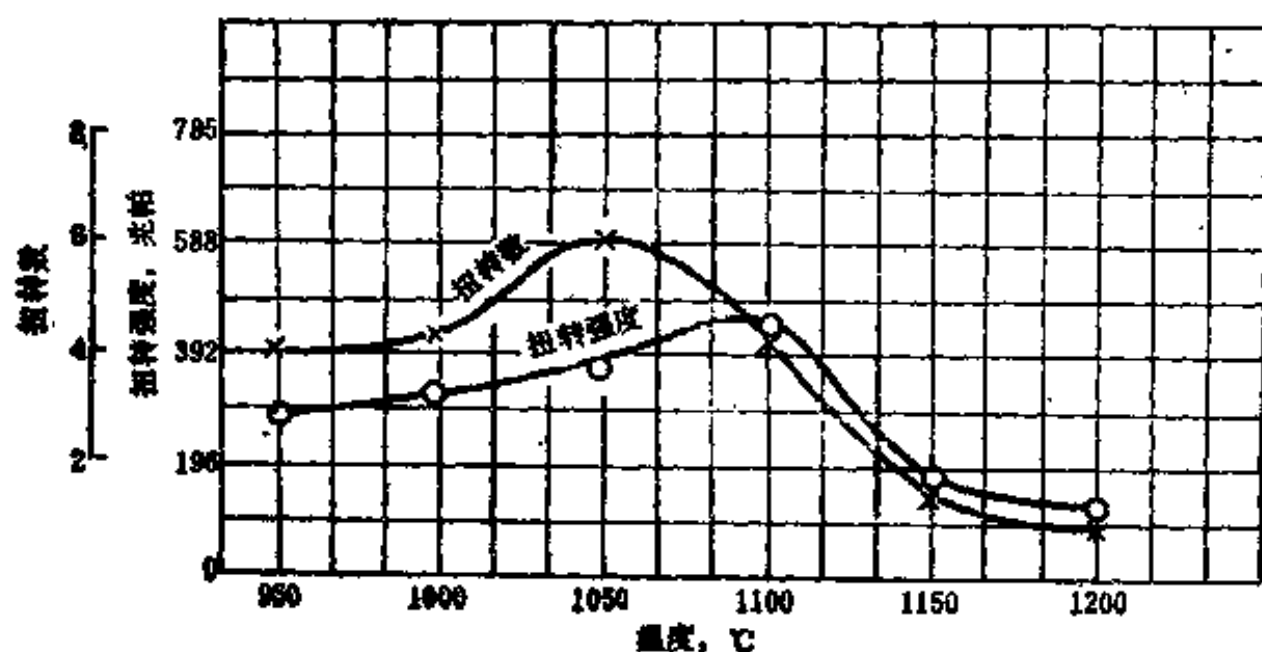


图 9-16 Π-11钢热扭转试验曲线

回火 回火温度为730~740℃；保温时间，薄壁管为2小时，厚壁管为2.5~3小时；12Cr1MoVA钢，取740~750℃回火温度，保温时间稍长些。

对钢管几何尺寸的要求 长度应尽可能长，有利于减少焊口数量。为了保证良好的对口焊接，对管子公差要求较严。

二、精密合金管的生产

表 9-16 珠光体型热强钢的热处理制度

钢 种	正火, 温度, °C	回火温度, °C
II-11	1060~1090	710~760(5小时)
102	990~1030	750~780
12Cr1MoV	950~980	720~750
12Cr2MoVSiB	950~980	750~780
15CrMo	930~960	680~730

一定热膨胀系数的合金称精密合金。其特性是, 在某个温度范围内热膨胀系数不变。最有代表性的是4J29, 叫做可伐合金(Ni29Co18)。可伐合金热膨胀系数较大, 为 $4.5 \sim 6.5 \times 10^{-6}$, 但在很宽的温度范围内(-60到+420°C)保持线膨胀系数几乎不变。它被广泛应用于电真空工业和半导体晶体管工业中, 用来制造电子管、整流管、高频发射管、X射线管、晶体管以及真空系统中玻璃和金属封接的部件等。

4J29合金的化学成分如表9-17所示。

表 9-17 4J29合金的化学成分

C	P	S	Mn	Si	Ni	Co	Fe
≤0.03	≤0.02	≤0.02	≤0.4	≤0.3	28.5~29.5	16.8~17.8	余

由于可伐合金钢管的几何尺寸公差和表面质量要求较高, 而且多为薄壁管, 因此多是以冷轧和冷拔钢管交货, 热轧主要是生产供冷加工用的坯料。

可伐合金钢管的热轧工艺特点是:

管坯 应进行剥皮处理。

加热制度 加热制度如表9-18所示。可伐合金为铁-镍合金。硫对镍的塑性影响很大。镍与硫容易形成低熔点的硫化物, 造成钢的热脆性。因此, 加热时要防止硫渗入管坯中。另外加热时间不要太长, 时间太长容易造成氧化严重。可伐合金导热性良

好。

轧制制度 可伐合金在1100~1250℃范围内塑性很高，穿孔性能良好，但温度超过1270℃开始过烧，塑性显著下降。因此穿孔可伐合金没有什么困难。可伐合金穿孔或穿孔和轧管后在空气中冷却，检验入库，然后送至冷加工车间继续加工。

表 9-18 可伐合金管坯的加热制度

机 组	钢 号	预热 温度 ℃	加热温度 ℃	总加热时间, 分				均热 时间 分	穿孔后 温度, °C
				管坯直径, 毫米					
				φ75~ 80	φ90	φ100	φ110		
100机组	4J29, 4J32, 4J34, 4J36, 4J42	≤800	1100±10	60~90	≥90	≥120	≥180	20~30	1150~ 1180
76机组			1080~1120 (铝基合金顶 头) 1150 (水冷顶 头)	70~75				10~15	

参 考 文 献

- [1] S. O. Evans, *Iron Steel Eng.*, 45(1968), №3, 93.
- [2] A. Duennewald, *Iron Steel Eng.*, 37(1960), №12, 123.
- [3] 北京钢铁设计研究总院轧钢科, 轧钢文集, 第九号, (1973), 未发表著作。
- [4] D. Hancke, *Iron Steel Eng.*, 39(1962), №5, 139.
- [5] 冶金部轴承钢调查小组, 上海钢管厂无缝车间简介, (1971), 未发表著作。
- [6] 原田芳ほか, 鉄と鋼, 50(1964), №7, 993.
- [7] A. H. Оклей, *Сталь*, (1966), №1, 61.
- [8] Н. И. 柯尔涅耶夫, 金属压力加工物理化学理论基础, 国防出版社, 1965.
- [9] 北京钢铁设计研究总院, 关于管坯生产及管坯质量情况调查, 1972, 未发表著作。
- [10] Ф. А. Данилов и др., Горячая прокатка и прессование тр-

уб, Металлургия, Москва, 1972.

[11] 太原重型机器厂等, $\phi 108$ 三辊穿孔机、三辊轧管机中间试验研究报告, 1979, 未发表著作.

[12] 李连诗, 钢铁, 15(1980), №7, 22.

[13] 李连诗等, 钢铁, 17(1982), №4, 32.

[14] И. М. Павлов, Изв., ВУЗ (Черн. Металлургия), (1961), №3, 91.

[15] О. А. Пляцковский, Сталь, (1968), №10, 937.

[16] П. Т. Тетерин, Сталь, (1957), №12, 1102.

[17] Н. В. Розов, Производство Труб, Металлургия, Москва, 1974.

[18] А. А. Шевченко, Непрерывная прокатка труб, Металлургия, Москва, 1954.

[19] 広瀬五男, 塑性と加工, (1969), №10, 412.

[20] А. И. Чекимарев, Основы прокатки труб в круглых калибрах, Металлургия, Москва, 1962.

[21] Z. Polck, Bänder Bleche Rohre, 24(1983), №4, 81.

[22] Ibid, 24(1983), №5, 113.

[23] Ibid, 24(1983), №6, 161.

[24] W. Dobrucki, J. Iron Steel Inst., 200(1962), №2, 105.

[25] 李连诗, 钢铁, 21(1986), №1, 58.

[26] И. А. Фомичев, Косая прокатка, Металлургия, Москва, 1963.

[27] 周庆杰, 三辊轧管技术出国考察报告, 1985, 未发表著作.

[28] 三瀬真作, 鉄と鋼, 49(1963), №3, 488.

[29] 李连诗, 钢铁, (1965), №1, 48.

[30] 卢于途, 北京钢铁学院学报, (1958), №6, 30.

[31] Anon., 塑性と加工, 4(1963), №27, 267.

[32] 三瀬真作, 塑性と加工, 5(1964), №41, 367.

[33] 李连诗, 在均整机上钢管内表面形成内螺纹缺陷的初步研究, 1964, 未发表著作.

[34] И. С. Жордания и др., С Таль, (1968), №3, 258.

[35] 佐藤謙三ほか, 鉄と鋼, 44(1958), №3, 386.

[36] Ф. А. Данилов, 热轧钢管生产 (下册), 冶金工业出版社, 北京, 1958.

[37] Anon, Iron Steel Eng., 48(1971), №8, 110.

[38] M. Spitte¹, Автореф. дис. Файнберг (ГДР), Горная академия, 1980.

[39] Ibid, Сталь, (1983), №10, 47.

[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 上册

作者=

页数= 4 9 0

S S 号= 1 0 2 8 6 2 3 0

出版日期=