限动芯棒连轧管技术的发展及大直径机组的建设(中)

杜厚益
(攀钢集团成都钢铁有限责任公司，四川 成都 610066)

摘 要：简述了限动芯棒连轧管机（MPM）的发明和发展，以及世界各国建设限动芯棒连轧管机组的概况。对目前世界上已建成投产的3套大直径连轧管机组，即意大利达尔明公司的Φ340mm（14in）连轧管机组、俄罗斯伏尔加钢管厂的Φ426mm（16in）连轧管机组、日本住友金属工业公司和歌山厂的Φ426mm（16in）连轧管机组的设备组成、生产工艺流程、生产工具、生产情况、产品品种以及存在的技术问题等分别进行了系统的介绍。

关键词：大直径限动芯棒连轧管机组；发展；建设
中图分类号：TG335.13；TG335.71 **文献标识码**：B **文章编号**：1001-2311 (2003) 03-0001-11

Development of MPM Technology and Construction of Large-sized MPMs (Part Ⅱ)

Du Houyi
(Pangang Group Chengdu I & S Co., Ltd., Chengdu 610066, China)

Abstract: Briefed in the paper are the invention and development of the MPM as well as the situations concerning construction of such kind of pipe mill throughout the world. Also detailed here are the worldwide currently-operated three large-sized MPMs, i.e., the Φ340mm (14in) MPM of Dalmine, Italy, the Φ426mm (16in) MPM of Volzhsky Pipe Plant, Russia and the Φ426mm (16in) MPM of Sumitomo Metals' Wakayama Pipe Plant, Japan, covering such aspects as equipment configuration, manufacturing process flow, operational tooling, operation situation, product mix and existing technical problems.

Key words: Large-sized MPM; Development; Construction

3.2 伏尔加钢管厂Φ426mm限动芯棒连轧管机组

伏尔加钢管厂的Φ426mm限动芯棒连轧管机组是前苏联政府为了促进苏联钢管工业现代化于1987年从意大利皮安蒂公司引进的，并配套引进了电炉炼钢和连铸设备，总共耗资约9.7亿美元，合同规定的建设工期为39个月，于1990年建成投产。在引进Φ426mm限动芯棒连轧管机组前，前苏联钢管界曾就引进限动芯棒连轧管机组的设备构成进行过大讨论，但由于在前苏联的政治经济体制下，技术官员大都比较保守，因此在Φ426mm限动芯棒连轧管机组中仍采用当时认为技术上较为成熟的推轧穿孔机（PPM）和延伸机，而没有采用技术经济指标更为先进的斜轧穿孔机。伏尔加钢管厂建设Φ426mm限动芯棒连轧管机组采用意大利皮安蒂公司以交钥匙工程总承包的方式进行，机组设备由世界上的40余家公司供货。由于供货厂家多，相互衔接脱节，加之操作及管理工作均不适应等原因，使得该套机组在安装调试和建成投产后经常出现各种设备故障，导致其作业率较低，投产至今已12年，但仍未达到设计产量。

3.2.1 电炉炼钢和连铸设备

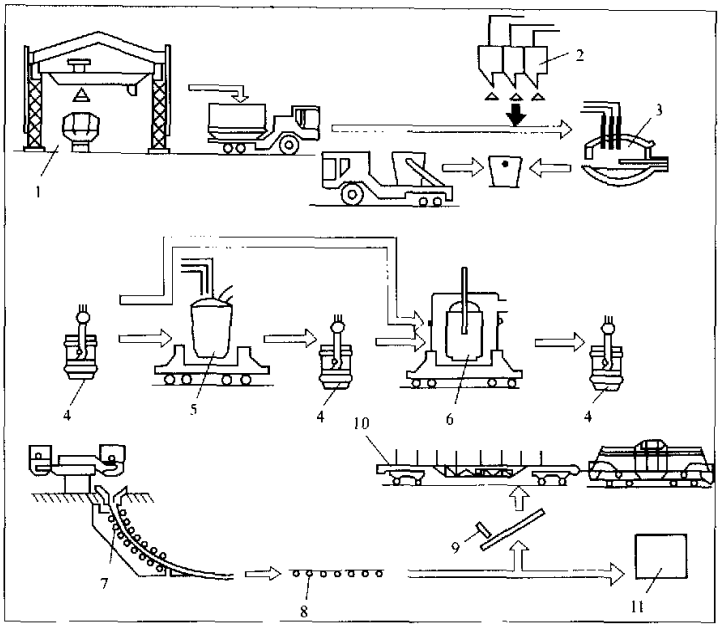
伏尔加钢管厂电炉炼钢车间共有7跨厂房，装备有150t高功率电弧炉2座、LF钢包精炼炉2座、VOD钢包精炼炉1座和三机四流弧形连铸机1套。该

杜厚益（1952-），男，四川乐山人，研究员，长期从事冶金科技情报和俄语口笔译工作，曾多次对俄罗斯、乌克兰等独联体国家的钢铁工业进行考察，2002年经国家留学基金委员会批准，享受中外政府互换奖学金，拟以访问学者身份赴俄罗斯做1年的冶金情报课题研究工作。

万方数据

车间为全连铸作业，可年产边长240~360mm的优质方坯84万t、直径156~410mm的圆坯21万t，管坯长度为3.5~12m。方坯供连轧管机组轧管，圆坯供其他轧管机组轧管。

150t高功率电弧炉由意大利Tagliaferri公司制造，变压器功率为110MVA，电极直径为610mm或650mm；LF钢包精炼炉的变压器功率为22MVA，由德国德马克公司制造；VOD真空精炼炉也由德国德马克公司制造，其真空室中的残余压力不超过100Pa；三机四流弧形连铸机的弧形半径为14m，由因西公司制造。伏尔加钢管厂电炉炼钢车间的生产工艺流程见图4。



1—废钢间 2—添加料箱 3—电弧炉 4—钢包 5—LF钢包精炼炉 6—VOD真空精炼炉
7—弧形连铸机 8—冷床 9—探伤和车削设备 10—圆管坯输送设备 11—质量检查和火焰清理设备

图4 伏尔加钢管厂电炉炼钢车间生产工艺流程

3.2.2 限动芯棒连轧管车间

伏尔加钢管厂限动芯棒连轧管车间占地面积约14.4万m^2，生产设备总重量约2.56万t。按照设计该车间可年产Φ159~426mm的优质无缝钢管72万t，并有增加到80万t的生产能力。到目前为止，该车间仍是世界上产品直径最大，设计年产量最高的限动芯棒连轧管生产车间[4]。该限动芯棒连轧管车间的主要设备如下。

(1)加热炉

加热炉为步进式，炉长30m，加热能力200t/h，两段式加热，管坯加热温度1 240~1 280℃。加热后的长方坯采用2MPa的高压水除鳞，随后用Φ2 500mm圆盘锯将300mm×300mm、360mm×360mm长方坯锯成2~3节，供推轧穿孔机（PPM）穿孔。

(2)推轧穿孔机（PPM）

推轧穿孔机由因西公司制造。穿孔机的轧辊直径为1 450mm，穿孔压力为4 116kN，穿孔速度为0.2~0.5m/s，主电机功率为1 100kW×2，顶杆电机功率为500kW，后台顶杆推力为2 695~3 528kN，前台顶杆推力为4 900~6 615kN。出口导向段共有8段，每段4个辊子，电机功率为170kW×8，每小时可穿管40~60支。冲头成分（质量分数）为C≤0.40%、Cr≤5.0%、Mo≤1.0%、V≤1.0%、Si≤1.0%。不同规格的坯料，其穿孔工艺参数不同。240mm×240mm管坯的穿孔工艺参数为：Φ284mm×142mm（内径）×1 992~4 900mm，L/D≤35，μ=1.2；300mm×300mm管坯的穿孔工艺参数为：Φ358mm×177.5mm（内径）×2 367~4 910mm，L/D≤27.7，

万方数据

μ=1.2；360mm×360mm管坯的穿孔工艺参数为：Φ436mm×226mm（内径）×1 705~5 600mm，L/D≤24.8，μ=1.1。

在伏尔加钢管厂连轧管机组的投产初期，该PPM穿孔机存在下列缺陷：①顶杆易弯曲，只有顶杆直径在222mm以上时，才可避免弯曲；②穿40Cr和Mn钢坯(360mm×360mm)时咬入较困难；③孔型过充满时，在方坯的4个角部会产生过分延伸，形成皱皮、飞边、端部不齐等缺陷。

(3)延伸机

延伸机由因西公司制造，为二辊立式，导板侧向布置。主要参数为：轧辊直径950~1 300mm，送进角5°~13°，轧制压力4 900~5 586kN，延伸速度0.3~1.0m/s，电机功率4 700kW×2(转速65/160 r/min)。顶头材料为20Cr2Ni4A钢。在延伸大直径管时，该机扩径作用很大，毛管尺寸不能准确控制，管端也不平整。伏尔加钢管厂连轧管机组的几种典型延伸工艺参数见表4。

表4 伏尔加钢管厂连轧管机组延伸机工艺参数

毛管直径/mm	毛管内径/mm	壁厚/mm	长度/m	延伸系数μ	孔型直径/mm	顶头直径/mm
275	210~173	32.5~51.0	5.40~10.00	2.76	212	159~198
281	232~183	24.5~49.0	5.70~9.96	2.41	235	192~224
339	284~223	27.5~58.0	6.65~10.40	2.76	288	230~272
426	365~303	30.5~61.5	4.91~10.05	2.88	372	318~354
490	435~394	27.5~48.0	6.49~10.40	2.73	444	—

(4)限动芯棒连轧管机

Φ426mm限动芯棒连轧管机由因西公司制造。该连轧管机为7机架二辊式，并在7个机架中插有使荒管能顺利输出的5个三辊式托架。该轧管机可以3~4.5m/s的速度生产长达32m的钢管。在D/S=7.2~49.5的范围内延伸率为2~6，芯棒的限动速度为0.25~1.5m/s，连轧管机主要轧管规格为Φ168~426mm×8~12mm。伏尔加钢管厂7机架限动芯棒连轧管机的机架布置及有关参数见表5和表6。

表5 7机架限动芯棒连轧管机机架布置及有关参数

项 目	机架序号						
	1	2	3	4	5	6	7
机架型式	二辊	二辊	二辊	二辊	二辊	二辊	二辊
输送托架序号	①		②		③	④	⑤
输送托架型式	二辊		三辊		三辊	三辊	三辊
轧辊直径/mm	980	980	980	980	890	890	890
轧辊辊身宽度/mm							
Φ212~288	450	450	450	450	400	400	400
Φ312~444	590	590	590	590	540	540	540
机架间距/mm		1 630	2 040	1 530	1 840	1 840	1 840
电机功率/kW	1 600×2	1 600×2	1 600×2	1 600×2	1 600×1	1 600×1	1 600×1

伏尔加钢管厂限动芯棒连轧管机投产初期存在的不足之处有：①当轧制大直径钢管时，荒管的椭圆度大，且难于被拖出机架；②荒管两端切头较长，前端需切去400mm，后端需切去700~1 000mm；③荒管的壁厚不均度ΔS较大，特别在轧制壁厚11~12mm的荒管时，ΔS达到±12%；④每个机架上设置的液压调整装置均未使用，仍为手工调整；⑤自动化调压系统由于受工作环境影响，也未成功应用[7]。

(5)定径/脱管机

定径/脱管机由因西公司制造，为10机架二辊式，其主要技术参数见表7。

(6)钢管热处理步进式加热炉

钢管淬火加热温度 910~980℃

钢管回火温度 550~720℃

(7)数控管端车丝机

Φ340mm PT-2型，由海德公司制造。

万方数据

表6 7机架限动芯棒连轧管机轧制参数

项 目	参 数
轧制速度/(m·s⁻¹)	3.0~4.5
电机转速/(r·min⁻¹)	300~400
芯棒速度/(m·s⁻¹)	3.0~4.5
芯棒限动速度/(m·s⁻¹)	0.25~1.5
芯棒移动距离/mm	21 850
芯棒超过第一机架的长度/mm	9 640
芯棒限动力/MPa	315
限动电机功率/kW	430×8
限动电机转速/(r·min⁻¹)	440~1430

表7 10机架定径/脱管机主要技术参数

项 目	参 数
轧辊直径/mm	600~750
机架间距/mm	1 355
钢管出口速度/(m·s⁻¹)	2.0~5.5
电机功率/kW	450×10
电机转速/(r·min⁻¹)	400 / 500 / 1 375
传动速比	1: 6.26

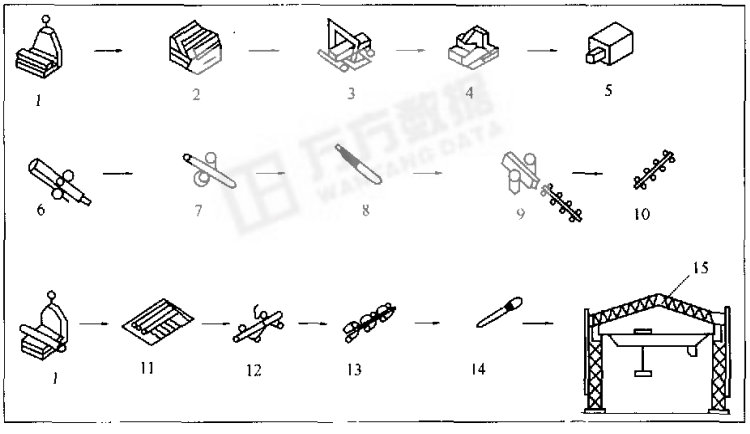
(8)钢管水压试验机

由因西公司和Yamasui公司制造，最大试验压力为125MPa。

3.2.3 限动芯棒连轧管机组工艺流程

管坯从库房经测长称重后送入步进式加热炉中，在炉中管坯呈双排放置，待加热到1 240~1 280℃出炉。出炉后的管坯被热锯锯成2~3节，长度为1.35~4.75m。为了防止第二或第三节管坯冷却，在热锯后设有管坯保温装置。锯切成规定长度的管坯经过高压水除鳞机除鳞后，送至推轧穿孔机穿成杯形坯。推轧穿孔机的顶杆在链式脱棒机上从杯形坯中抽出；经冷却和涂油后继续循环使用，杯形坯则由链式输送机送至斜轧延伸机。该延伸机的轧辊垂直布置，有两个固定导板，使用水冷式顶头，采用轴向抽出顶杆和侧向送出穿孔毛管的方式工作。在延伸机的出口处布置有喷嘴，采用氮气向毛管喷吹抗氧化粉末。

毛管送到连轧管机前台后，在穿入芯棒前用喷嘴喷吹氮气清洁内表面。芯棒采用线外预装方式。轧制前要用高压水除鳞机清除毛管外表面上的氧化铁皮，然后毛管才在7机架限动芯棒连轧管机上开始轧制。轧制完成后，芯棒从二辊式脱棒机脱出，返回到轧管机入口处进行冷却，涂石墨润滑剂，干燥后循环使用。轧制出的荒管经10机架定径机定径，并经测长称重后送冷床冷却。在冷床的一端布置有水槽，以便快速冷却钢管。钢管从冷却槽出来后在切管机上切成定尺长度。轧制线上共有4台切管机，采用钢管固定、刀具旋转的方式工作。此后，钢管在六辊式矫直机上矫直，矫直后的钢管经清除内表面氧化皮后送到两个无损检测工段进行检测、探伤，合格品送到中间仓库，然后根据钢管的用途，分别进行精整、热处理、涂层和检查，成品管送到成品仓库进行包装、发运。连轧管机组采用电子计算机进行过程控制，可实现自动化作业。机组生产工具的更换，轧辊主要零、部件的装卸均实现了机械化[1]。伏尔加钢管厂Φ426mm限动芯棒连轧管机组生产工艺流程见图5。



1—管坯或荒管称重 2—管坯加热 3—高压水除鳞 4—管坯切断 5—管坯再加热 6—推轧穿孔 7—延伸 8—毛管除鳞 9—限动芯棒轧制 10—定径 11—钢管冷却 12—钢管切断 13—钢管冷矫直 14—钢管无损探伤 15—钢管输送到中间仓库

图5 Φ426mm限动芯棒连轧管机组生产工艺流程

万方数据

3.2.4 限动芯棒连轧管机轧辊孔型设计

伏尔加钢管厂 Φ426mm 限动芯棒连轧管机的轧辊有 5 种孔型，它们的形状相同，对管壁压下量的计算方法也相同，轧辊孔型见图 6。

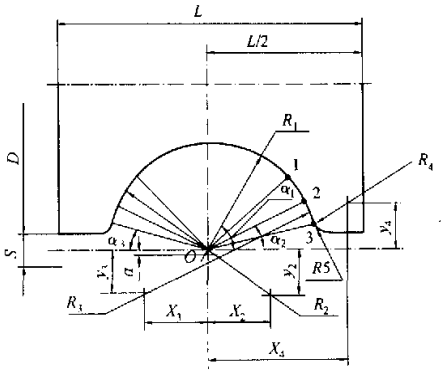


图 6 Φ426mm 限动芯棒连轧管机轧辊孔型

该厂 Φ426mm 限动芯棒连轧管机轧辊孔型的设计方法与俄罗斯国内其他连轧管机所采用的孔型设计方法相类似。Φ444mm 的孔型设计参数列于表8。

3.2.5 限动芯棒连轧管机的生产工具

(1)轧　辊

伏尔加钢管厂Φ426mm限动芯棒连轧管机轧辊的辊身直径为512~930mm；1~4机架轧辊（孔型为Φ212~235mm）的材料为碳素钢；5~7机架轧辊（孔型为Φ288~444mm）的材料为合金生铁。

该厂在长期的生产实践中对Φ426mm限动芯棒连轧管机轧辊的不同孔型的磨损情况进行了统计和分析研究，其结果列于表9。

(2)芯　棒

伏尔加钢管厂 Φ426mm 限动芯棒连轧管机的芯棒直径为 159~425mm，总长度为 24m，重量达 20t。芯棒由工作段、延伸段和尾部三部份组成，由螺纹连接。当芯棒直径小于290mm时，采用实心材料制造，其工作段的长度为15.5m；当芯棒直径大于290mm时，采用空心材料制造，其工作段长度为14m，冷却水孔的直径为180mm。芯棒材质为4Cr5MoV1SiA耐热模锻钢，芯棒表面镀铬。芯棒的直径公差为 0~0.3mm。轧管时，芯棒的限动速度为 0.25~1.5m/s，空轧时的限动速度可达 4.5m/s，芯棒的最大限动力为315MPa。

表8　Φ444mm 孔型设计参数

参数	机架序号						
	1	2	3	4	5	6	7
X_4	328.64	302.58	293.44	279.02	277.99	271.40	271.40
Y_4	118.18	80.11	71.96	57.04	56.29	50.30	50.30
X_3	—	93.30	91.95	45.84	38.46	6.07	6.07
Y_3	—	65.33	64.38	0.01	0	9.81	9.81
X_2	143.49	93.30	91.95	91.34	91.05	90.93	90.93
Y_2	110.62	65.33	64.38	63.95	63.75	63.67	63.67
X_1	0	0	0	0	0	0	0
Y_1	5.8	0	0	0	0	0	0
a	5.8	0	0	0	0	0	0
R_4	110	80	72	57	57	50	50
R_3	—	341.75	336.80	183.20	189.05	222.05	222.05
R_2	414.65	341.75	336.80	334.55	333.40	333.0	333.0
R_1	236.95	227.85	224.55	223.05	272.25	222.0	222.0
α_3	17	13	12	11	11	10	10
α_2	—	15.61	15.48	20.06	21.86	26.08	26.08
α_1	35	35	35	35	35	35	35
S	50	50	50	50	50	50	50
L	590	590	590	540	540	540	540
D_{min}	880	880	880	790	790	790	790
D_{max}	930	930	930	840	840	840	840

万方数据

表9 不同规格的轧辊孔型磨损量比较 mm

机架序号	孔型规格	
	Φ212 / Φ235	Φ272 / Φ288 / Φ444
1	0.390 0	0.632 6
2	0.204 3	0.323 2
3	0.106 2	0.171 4
4	0.071 8	0.116 0
5	0.167 3	0.167 3
6	0.093 6	0.093 6
7	0.076 7	0.076 7

注：磨损量以轧管1 000支计算。

意大利皮安蒂公司为伏尔加钢管厂Φ426mm限动芯棒连轧管机设计的芯棒，其使用寿命是在研究了达尔明厂Φ340mm连轧机和美国北极星钢公司Φ273mm限动芯棒连轧管机芯棒使用经验上得出的，设计寿命为轧管3 000~3 800支。但该厂在实际生产中发现，Φ426mm限动芯棒连轧管机芯棒的实际使用寿命远低于设计值。生产实践表明，使用从国外进口的芯棒，仅可轧管900~1 200支，使用俄罗斯生产的芯棒，可轧管420~1 300支[9]。

由于在轧管过程中芯棒要经受反复的加热和冷却，所产生的内应力导致芯棒出现热疲劳和形成热裂纹。为防止此类缺陷的产生，意大利皮安蒂公司规定芯棒表面要镀铬。按照设计的芯棒生产工艺，在芯棒表面镀上厚度为0.4~0.6mm的铬保护层后，在轧制负荷量最大的1~4机架上芯棒应能经受数千次的轧制。但是伏尔加钢管厂在Φ426mm限动芯棒连轧管机工业性生产的过程中确认，仅经过数百次的轧制，芯棒镀铬层就已损坏，见图7。从图7中可以发现，产生在镀铬层上的裂纹已深入到芯棒金属中，并被氧化。在芯棒上出现的早期裂纹与芯棒表面垂直分布，然后随着轧管数量的增加，芯棒裂纹朝与轧制方向相反的方向弯曲、拱起，并同其他裂纹连接而使芯棒金属破碎。在镀铬层没有脱落的部位，芯棒的损坏程度更为严重。由于以三聚磷酸盐为基的芯棒润滑剂具有很强的浸蚀性，对芯棒的腐蚀可以扩展到很深的部位，这些部位也成为最易产生“慧星”状局部缺陷的地方，这种局部缺陷经过数十次轧制就可在芯棒上出现，并逐渐使芯棒达到必须修理的程度。

为了确定芯棒在轧制时所能承受而不致产生破损现象的最大负荷，伏尔加钢管厂在原全苏管材科研所（现乌克兰国立管材科研所）的专用实验设备

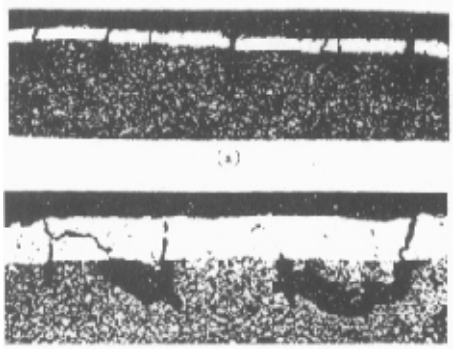


图7 Φ426mm限动芯棒连轧管机用Φ175mm芯棒镀铬层损坏情况（a放大100倍，b放大200倍）

上对Φ426mm限动芯棒连轧管机用的带有镀铬层的4Cr5MoVlSiA钢芯棒进行了整体淬火热处理和轧制实验。实验轧制条件在变形量、轧制温度、工艺润滑等方面与工业性生产类似。在轧制实验过程中发现：在一次轧制负荷量水平处于3.3~4.5W.s/mm²时，芯棒表面没有明显的磨损痕迹；在芯棒负荷量接近4.0W.s/mm²时，在芯棒镀铬层上出现黑斑，这可以视为芯棒产生损坏性磨损的始点。

在伏尔加钢管厂Φ426mm限动芯棒连轧管机投产初期，曾采用瑞士“Лонза”公司生产的ДДП-2石墨润滑剂作为芯棒的工艺润滑材料，并与“СИКИМ”公司生产的抗氧化粉末“Сидеокс”结合使用，使用方法是用压缩氮气将该抗氧化粉末喷入毛管内部。毛管在插入芯棒前，由于氧化铁皮与抗氧化粉末在氮气气流的作用下产生化学反应，从而使毛管内壁得到清洁。近年来，该厂Φ426mm限动芯棒连轧管机芯棒的工艺润滑采用石墨润滑剂和以三聚磷酸盐为基的润滑剂相结合的方式进行。

3.2.6 生产工具的调整

按设计规定，伏尔加钢管厂Φ426mm限动芯棒连轧管机轧制参数的极限值是根据工艺过程数学模型计算的，各参数自动变化的控制和处理是在磁电式仪器中，通过工艺过程自动化控制系统组成部份之一的信息收集和反馈子系统进行的。在掌握Φ426mm限动芯棒连轧管机轧制工艺过程中，伏尔加钢管厂的科技人员和莫斯科钢铁学院的专家们认为，轧管机的实际调整参数与根据数学模型计算的数值不相符合，因此不能保证所轧钢管的质量达到

万方数据

要求，并使轧辊和芯棒产生不均匀磨损，芯棒表面出现缺陷，导致钢管产生质量问题。表10列出了伏尔加钢管厂Φ426mm限动芯棒连轧管机调整后的实际参数值和按设计工艺得出的计算值。

表10 Φ426mm限动芯棒连轧管机的参数对比*（20钢）

钢管规格/mm	调整参数	机架序号 1	2	3	4	5	6	7	壁厚/mm
426×11.0	计算值	539/52.9	542/52.8	539/52.8	509/53.2	500/52.9	438/54.1	508/54.4	11.0
	实际值	585/49.3	585/50.9	465/51.7	470/52.5	430/53.0	405/54.0	420/54.4	11.43
	误差/%	+8.5/-6.8	+7.9/-2.5	-13.7/-2.1	-7.7/-1.3	-14.0/-1.3	-11.6/-0.2	-17.3/0	+3.9
269.9×21.0	计算值	820/34.9	805/35.0	740/32.2	620/27.9	530/28.3	495/17.9	505/17.8	21.0
	实际值								22.35
	误差/%								+6.4
219×6.5	计算值	615/29.7	670/29.0	744/25.0	722/17.5	786/13.3	667/10.4	753/10.9	7.0
	实际值								7.05
	误差/%								+0.7
168×7.1	计算值	623/26.7	696/26.5	812/22.1	812/17.5	840/12.0	760/7.9	796/8.0	7.1
	实际值	603/26.7	675/26.3	792/21.2	817/16.5	830/13.6	747/7.9	792/7.2	7.67
	误差/%	-3.2/-0.7	-3.0/-0.7	-2.5/-4.1	+0.6/-5.7	-1.2/+13.3	-1.7/0	-0.5/-3.8	+8.0

* 斜线左边为轧辊转数（r/min）；斜线右边为轧辊间隙（mm）。

轧制Φ426mm×10 mm钢管时，按设计制度来调整连轧管机生产工具，所得到的钢管实际平均壁厚为11~12 mm。为减小管壁厚度差而改变轧管机生产工具的调整制度，但因各机架上的负荷处于极限而不可行；如出现安全装置多次损坏，精轧机架上的轧辊损坏等。所轧制钢管的实际尺寸为：钢管的平均直径 D_T 426.6 mm，钢管的直径范围 424.0~430.0 mm；钢管的平均壁厚 S_T 11.0~11.6 mm，钢管的壁厚范围 8.8~15.2 mm。

出现这种现象的原因是轧辊孔型和芯棒的磨损以及生产工具的表面状况不良，芯棒润滑情况不佳，毛管和芯棒工作表面上的温度分布不均匀等。轧辊磨损后，改变了孔型形状，使轧件金属有效通过截面的面积发生了变化，导致其变形制度和力能参数偏离了根据数学模型得出的设计值，引起成品管的横向壁厚不均增大。

伏尔加钢管厂采用在轧辊孔型圆周上每隔5°~15°，通过测量样板和轧槽轮廓间13个点的间隙来确定每个机架轧辊孔型的磨损情况。所有的研究工作均在轧制下列规格的钢管时进行：Φ168 mm×10~15mm、Φ219 mm×6~9mm，Φ245 mm×10~13mm，Φ273 mm×20 mm，Φ325 mm×9~12mm，Φ426 mm×10~11mm。轧制每个规格的钢管数量约为3万t。轧辊孔型磨损是根据轧制1 000支荒管后在半个孔型上的平均磨损深度和半个孔型表面上所磨损掉的金属量来评定的。

轧辊孔型磨损性质的变化和磨损程度取决于轧管机的工作特性、轧辊材料及它们在机架中的装配情况。伏尔加钢管厂Φ426 mm限动芯棒连轧管机采用了从第一机架到最后一个机架变形量递减的变形制度。第一机架轧辊孔型磨损大的原因在于变形程度大以及毛管表面上的氧化铁皮在进入轧辊孔型时与孔型的相互作用。研究发现，轧辊孔型磨损的程度从第一到第四机架（钢制轧辊）是递减的，从第五到第七机架（合金铸铁轧辊）是递增的。例如，轧辊孔型平均磨损12mm，所轧制的Φ426 mm×10mm钢管的壁厚不均就将增加3.75倍，它们的几何尺寸开始超出所允许的误差范围。从第二到第七机架轧辊孔型的磨损统计情况来看（见表9），各架轧辊应根据不同的变形速度条件采用不同的轧辊材料。为了保证所轧荒管具有稳定的质量，必须对轧管机的调整参数进行修正，但这种修正应考虑轧辊孔型的磨损情况。

近年来伏尔加钢管厂同莫斯科钢铁学院合作，对Φ426mm限动芯棒连轧管机生产工具磨损后影响钢管壁厚精度的问题进行了大量的研究和分析。专家们选择Φ168 mm×10mm、Φ219mm×9.0mm、Φ325mm×10mm、Φ426mm×12mm等规格的钢管作

万方数据

为研究对象，采用“Джилердони”公司生产的壁厚检测仪对钢管端部截面上的8个点进行测量，每批受检钢管的数量不少于15支，每个规格所轧钢管的数量约为1万t，并且在轧管时未改变连轧管机的调整参数。表11列出了测量壁厚的统计结果。以轧制Φ168mm×10mm的钢管为例，在轧制初期阶段（采用新工具），钢管壁厚在9.8~10.6mm的范围内；在轧制1 700支钢管后，钢管壁厚在10.1~11.1mm的范围内；在轧制3 300支钢管后，钢管壁厚在10.4~11.3mm的范围内。钢管的横向壁厚不均在轧制初期阶段约为14%，在轧制1 700支钢管后约为20%，在轧制3 300支钢管后约为23%。

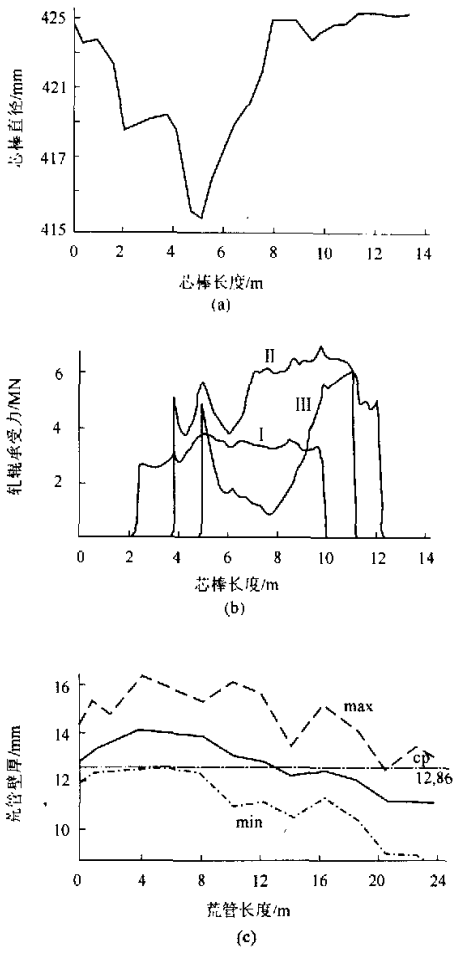
表11 生产工具磨损程度与钢管壁厚不均的变化[10]

钢管规格/mm	轧管数量/支	壁厚/mm			最大壁厚不均*/%
		最小	最大	平均	
426×12	50	10.28	12.71	11.42	21.3/6.0
	400	10.50	13.07	11.72	21.8/4.4
	1 200	10.66	13.18	12.01	21.0/5.5
	3 500	11.00	16.52	12.58	43.7/11.0
325×10	50	9.76	11.69	10.03	19.5/2.9
	500	8.96	11.62	10.12	20.3/4.1
	1 100	9.20	11.29	10.32	22.3/4.7
	2 800	9.65	11.79	10.63	26.2/5.5
219×9	50	7.55	8.65	8.04	11.1/5.7
	1 300	6.95	9.28	8.48	17.8/5.5
	3 200	7.28	10.01	8.53	24.3/8.5
	6 700	7.75	10.26	9.15	24.6/9.4
168×10	70	8.98	10.62	9.70	14.0/6.7
	370	9.00	12.17	10.33	17.0/8.6
	750	8.95	11.76	10.51	21.9/8.1
	1 200	9.57	11.88	10.63	17.0/8.9
	1 700	9.22	11.96	10.64	20.8/4.5
	3 300	10.25	12.48	11.63	22.8/5.9

* 斜线左右分别为横向和纵向壁厚不均。

图8示出了伏尔加钢管厂Φ426mm限动芯棒连轧管机轧制Φ426mm×12mm钢管时芯棒磨损情况的实验研究结果。

从图8中可以看到，Φ425mm的芯棒在距前端5~6m处已磨损到413.5mm；第一机架的轧辊孔型磨损，其顶部的直径已增大9mm，精轧机架的轧辊孔型磨损、其顶部的直径增大1.5mm。研究结果显示，芯棒全长表层上的硬度变化特点与其在工作时



(a) Φ425mm芯棒在全长的磨损情况
(b) 在机架上的力能分布 (c) 钢管全长上的壁厚变化情况

图8 伏尔加钢管厂Φ426mm限动芯棒连轧管机轧制Φ426mm×12mm钢管时芯棒磨损情况

所承受的累积摩擦力的大小是相吻合的。在距芯棒前端5~7m处，其原始硬度的下降最显著（约20%）。正是在此段芯棒上，其在使用过程中出现表层金属软化，由此导致该段磨损增大。该结论与对Φ425mm芯棒在使用过程中几何尺寸变化的研究结果相一致。在获取了Φ426mm限动芯棒连轧管机投产以来大量的实验研究数据的基础上，伏尔加钢管厂和莫斯科钢铁学院的专家们提出了按轧辊孔型磨损程度来修正轧机调整制度的建议：芯棒直径小于370mm时，轧辊孔型径向的磨损不超过3mm；芯棒直径大于370mm时，轧辊孔型径向的

万方数据

磨损不超过5mm。在此条件下，可保证轧制出符合俄罗斯国家标准(ГОСТ8732-1978)和国际标准的钢管，伏尔加钢管厂Φ426mm限动芯棒连轧管机不同孔型所轧钢管的精度情况列于表12。

表12 不同孔型所轧钢管的精度

孔型尺寸/mm	钢管名义尺寸/mm	$D_{平均}$/mm	$\triangle D$/mm	$(\triangle D/D)_{最大}$/%	$S_{平均}$/mm	$\triangle S$/mm	$(\triangle S/S)_{最大}$/%
212	168×10.3	168.05	1.1	0.58	10.64	1.33	12.5
235	219.1×8.1	219.80	1.2	0.42	8.05	1.20	12.3
288	273.1×20	272.60	1.6	0.58	20.10	2.20	11.3
372	325×10	325.20	0.9	0.30	10.90	2.10	16.5
444	426×10	426.10	1.1	0.26	10.20	1.60	15.9

3.2.7 限动芯棒连轧管机组所生产的钢管品种

伏尔加钢管厂Φ426mm限动芯棒连轧管机组可生产Φ159~426mm的一般用途管、机械用管、油气输送管、石油套管等，石油套管是该机组最主要的产品之一。

近年来伏尔加钢管厂加强了对生产高质量石油套管的技术开发工作，特别是对提高石油套管管端外径精度的研究，开发出一种新的矫直方法，保证了包括端部在内的钢管全长的矫直质量。该厂对Φ426mm限动芯棒连轧管机组中所配置的英国造"布朗克斯"六辊式斜辊矫直机中间位置的一个矫直辊的辊形作了改进，使其凹度比另外5个形状和尺寸均相同的矫直辊更大一些。对钢管矫直时所施加的弹性塑性变形就是利用该矫直辊与相邻的矫直辊组成的孔型来完成的。为避免滑动，凹度更大的矫直辊与矫直机的传动系统是断开的，在矫直过程中呈空转。采用上述措施矫直出的钢管，其端部外径公差符合标准规定的负公差范围，为车削出高质量的螺纹创造了条件。这样既保证了石油套管的质量符合标准规定，又降低了生产石油套管的金属消耗。伏尔加钢管厂在按API 5CT标准生产Φ244.5mm的N80级石油套管时采用了新的矫直工艺，即钢管先经过良好的热处理（淬火和高温回火），然后再进行矫直，矫直时利用钢管回火后的余热（500~600℃）。由于在较高的温度下钢管金属的强度下降，此时只需用较小的力就可使钢管产生形变。按新矫直工艺处理的钢管，对其端部的挠度检测后证实，管端挠度超过标准规定的钢管数量显著下降[11]。

表13、14分别列出了伏尔加钢管厂所生产的油气输送管、石油套管的产品规格、品种、强度级别及所执行的标准。

表13 伏尔加钢管厂油气输送管生产执行标准（规格、钢种、强度级别）

执行标准	直径/mm	钢 号	强度级别
API 5L	168.3~323.9	-	B、X42~X70
ТУ 14-3-1128-82	57~325	20、09Mn2Si、10Mn2Si	I、II、III
ТУ 14-3-1618-89	57~426	20、13MnV、16MnA、09Mn2Si	K42、K48
ТУ 14-3-1963-95	57~168* 168~325	20、12 MnV	I、II
ТУ 14-3-1971-97	57~168* 168~426	20W	K48
ТУ 14 -3-1972-97	57~168* 168~426	06Cr1、06Cr1V	K42、K52
ТУ 14-3-156-37-97	57~168* 168~426	20V (W)、06Cr1、06Cr1V	K42、K48、K52
ГОСТ 8732	57~426	10、20、35、45、09Mn2Si、30CrMnSiA、15Cr5Mo	А、Б、В、Г
ТУ 14-3-1760-91	168~426	10、20、35、45、09Mn2Si、30CrMnSiA、15Cr5Mo	—

* 该品种可按用户要求生产。

表14 石油套管生产执行标准（强度级别、丝扣类型）

执行标准	强度级别	螺纹类型*
ГОСТ 632-1980（石油套管和接手）	Д、К、Е、Л、М、Р	ОТТМ、ОТТГ
API 5CT	J55、K55、N80、L80、C90、C95、T95、P110	梯形

* 可按用户要求的螺纹类型车丝。

万方数据

3.2.8 伏尔加钢管厂部分钢管产品的出厂价

为了比较我国无缝钢管生产企业与伏尔加钢管厂相同产品的价格差异，表15列出了伏尔加钢管厂部分热轧无缝钢管产品的最新出厂价格。

表15 伏尔加钢管厂热轧无缝钢管价格表（2002年7月1日起执行，1美元折合31.1卢布）

品 种	钢管规格/mm	执行标准	钢种及强度级别	吨管价格/卢布	
				增值税后	增值税前
一般用途管	57~194×9~50	ГОСТ 8732~1978、23270-89	10~60、Д	12 010	10 008
			09Mn2Si、10Mn2、20Mn、15Cr~45Cr、33CrSi~38CrSi、18CrMnTi~25CrMnTi、17Mn1Si	13 825	11 521
			30CrMnSiA~35CrMnSiA	14 650	12 208
	203~245×20~50	ГОСТ 8732-78、23270-89	10~60、Д	12 465	10 388
			09Mn2C、10Mn2、20Mn、15Cr~45Cr、33CrSi~38CrSi、18CrMnTi~25CrMnTi、17Mn1Si	14 280	11 900
			30CrMnSiA~35CrMnSiA	14 650	12 208
石油输送管	168~325×8~26	ГОСТ 8732-78	10~60	13 600	11 333
	168~325×8~26		09Mn2Si、40Cr	15 640	13 033
	339.426×12~26		10~60	14 390	11 992
	339.426×12~26		09Mn2Si、40Cr	16 550	13 792
天然气集输系统用管	168~325×8~28	ТУ 14-3-1128-82	20	16 995	14 163
	339~426×12~28		20	19 265	16 054
	168~325×8~28		09Mn2Si	20 395	16 996
	339~426×12~28		09Mn2Si	23 795	19 829
	168~325×8~14	ТУ 14-3-1618-89	13MnVN、09Mn2Si、16MnA	21 530	17 942
	426×12~28		13MnVN、09Mn2Si、16MnA	23 795	19 829
抗硫化氢腐蚀用管	159~325×8~22	ТУ 14-3-1963-95	20、12MnV	28 325	23 604
耐蚀管	168~426×8~28	ТУ 14-3-1972-97	06Cr1	23 795	19 829
	168~426×8~28	ТУ 14-3-1971-97	20W	23 795	19 829
	168~426×8~28	ТУ 14-156-37-97	20V(W)	25 155	20 963
石油套管	168~324×7~16.5	ГОСТ 632-80	Д（ОТТМ）	22 660	18 883
			Е（ОТТМ）	24 360	20 300
			Л（ОТТМ）	26 060	21 717
			М（ОТТМ）	27 760	23 133
			Д（БТС）	24 930	20 775
			Д（ОТТГ）	27 195	22 663
			Е（ОТТГ）	29 235	24 363
			Л（ОТТГ）	31 275	26 063
			М（ОТТГ）	33 315	27 763
石油套管	168.3~339.7×8.94~15.11	API 5CT BTC	J55、K55	24 930	20 775
			N80、L80	26 970	22 475
			C95	27 875	23 229
			P110	28 895	24 079

万方数据

3.2.9 伏尔加钢管厂近年来的钢管年产量

伏尔加钢管厂是前苏联众多钢管生产企业中生产设备最为现代化的大型钢管生产企业，除有Φ426mm限动芯棒连轧管车间外，还有挤压管车间、三辊轧管车间、螺旋焊管车间。

挤压管车间建于1987年，设计年产量为17万t，有两条挤压管生产线，分别配置有挤压力为55MN和20MN的卧式挤压管机各1台，采用挤压或挤压+减径工艺生产直径42~245mm、壁厚2.5~30mm的碳素钢、合金钢和耐蚀钢无缝钢管，挤压用管坯直径为150~350mm。该挤压管车间的主要设备和生产工艺分别从德国、法国和英国引进。

三辊轧管车间建于1980年，装有1套由乌克兰国家冶金工厂设计院、前全苏管材科研所和莫斯科电钢重机厂联合设计制造的Φ200mm三辊轧管机组，该机组最大的特点是两台轧管机并列布置，年生产能力可达38万t，可生产Φ58~200mm、壁厚5~45mm、长1~10m的碳素钢管和合金钢轴承管。

螺旋焊管车间建于1969年，拥有10台Φ530~1 420mm和1台Φ1 420~2 540mm螺旋焊管机，主要生产大口径天然气输送管。车间设备主要由捷克的维特科维兹冶金厂按乌克兰国家冶金工厂设计院和前全苏管材科研所提出的技术任务书设计制造。车间总面积为34万m^2，具有年产Φ530~1 420mm×4~14mm螺旋焊管80万t和Φ1 420~2 540mm×12~25mm螺旋焊管20万t的能力。

1991年前苏联解体后，俄罗斯持续不断的政治经济危机给俄罗斯的钢管工业带来了严重的冲击，伏尔加钢管厂的钢管产量也开始大幅度下降，1996年该厂的钢管产销量陷入建厂以来的最低谷，年钢管发运量仅12.9万t，此后该厂的钢管发运量开始逐年大幅回升，2001年已达到51.7万t。伏尔加钢管厂目前是俄罗斯最大的钢管生产集团——钢管冶金公司的主要成员，该厂已制定出2001~2010年的生产发展战略规划，其第一阶段的任务是到2003年底前，争取将实际钢管生产能力达到设计水平的70%，从而使钢管总产量达到100万t以上，炼钢实际生产能力达到设计水平的69%，产品的销售值达到150亿卢布。为顺利实现第一阶段的战略发展任务，作为俄罗斯钢管生产设备最先进的大型钢管厂，伏尔加钢管厂还将在此期间投资17亿卢布对钢管生产设备进行现代化技术改造，以保持和加强产品的竞争力。不过从该厂公布的2002年钢管发运量数据来看，该厂要在2003年将钢管产量提高到100万t以上几乎是不可能的，除非大口径螺旋焊管的产销量大幅增长。

笔者1992年7月随原成都无缝钢管厂代表团赴俄罗斯伏尔加钢管厂考察时，该厂Φ426mm限动芯棒连轧管机组的生产还不正常，机组作业率处于较低的水平，当时该厂有关负责人介绍，1991年Φ426mm限动芯棒连轧管机组的钢管产量为23万t，1992年上半年仅为10万t。由于伏尔加钢管厂近年来未对外公布Φ426mm限动芯棒连轧管机组的年产量，因此笔者只能根据该厂近几年来的钢管发运量（见表16）推测出Φ426mm限动芯棒连轧管机组的大致年产量。伏尔加钢管厂挤压管机组和电焊管机组近年来的订货量均不太大，因此在扣除上述机组和Φ200mm三辊轧管机组的钢管年产量后，估计近年来伏尔加钢管厂Φ426mm限动芯棒连轧管机组的年产量应在20~30万t之间，约为该机组设计年产量的30%~40%。伏尔加钢管厂Φ426mm限动芯棒连轧管机组自投产后，年产量远未达到设计值，这既有设备、生产工艺、工具诸方面的原因，也与该机组生不逢时，在苏联解体和俄罗斯政治、经济危机不断，俄罗斯国民经济对钢管的需求量急剧下降时建成投产有关。

表16 伏尔加钢管厂近年来的钢管发运量

年 份	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
产量/万t	12.90	21.54	24.07	39.24	41.02	51.7	53.18

据俄罗斯钢管冶金公司伏尔加钢管厂最新公布的资料，该厂2002年突破2项历史纪录：一是电炉炼钢车间的钢产量首次突破50万t，达到50.5万t，比2001年的钢产量增长了10%；二是Φ426mm限动芯棒连轧管车间所生产的石油天然气工业用管数量大幅度增长，全年向用户发运石油输送管、石油套管、天然气集输管的数量首次达到20万t，比2001年增长了27.3%。2002年伏尔加钢管厂全年共向用户发运钢管53.18万t，比2001年增长了2.8%。

（待 续）

（收稿日期：2002-10-28）

万方数据