

Φ273 mm 限动芯棒连轧管机组工艺设备特征

肖松良

(衡阳华菱钢管(集团)有限公司, 湖南 衡阳 421001)

摘要: 概述了 Φ273 mm 限动芯棒连轧管机组的生产能力、产品规格及品种、工艺选型、生产工艺流程以及锥形辊穿孔、5 机架限动芯棒连轧管、12 机架微张力定(减)径等主要工序的工艺和装备特点及其技术性能参数; 着重介绍了该机组最先进的物料跟踪系统、在线检测质量保证系统、穿孔机工艺辅助设计系统、连轧自动辊缝控制系统、连轧工艺监控系统、微张力定(减)径机工艺辅助设计系统等工艺控制技术。可供国内同类无缝钢管机组的建设借鉴。

关键词: Φ273 mm 限动芯棒连轧管机组; 工艺设备; 技术参数; 工艺控制技术; 特点

中图分类号: TG335.71 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2311(2006)05-0037-06

Process Equipment Features of Φ273 mm MPM Plant

Xiao Songliang

(Hengyang Hualing Steel Tube (Group) Co., Ltd., Hengyang 421001, China)

Abstract: Briefed in the article are all the main aspects of the Φ273 mm MPM plant, including the capacity, product mix, process types, manufacturing process flow and the processes and equipment features/technical data of the main operation units, i.e., the cone type piercing mill, the 5-stand MPM and the 12-stand slight stretch sizing (reducing) mill. Also detailed are the state-of-art process control techniques as employed for the plant, i.e., the material tracking system, the on-line quality assurance system, the computer-aided rolling technology application system for the cone type piercer mill, the MPM roll gap auto-control system, the MPM process supervision system, and the computer-aided rolling technology application system for the slight stretch sizing (reducing) mill. The information as provided by the author is worth using as reference for construction of similar domestic mills.

Key words: Φ273 mm MPM plant; Process equipment; Technical data; Process control techniques; Features

0 前言

衡阳华菱钢管(集团)有限公司 Φ273 mm 连轧管机组是 2003 年国家发展和改革委员会批准投建的第三批国家重点技术改造“双高一优”项目,是湖南省“十五”期间十大标志性工程。2003 年 4 月动工兴建, 2005 年 2 月 24 日该机组全线热负荷试车成功。

Φ273 mm 连轧管机组设计规模为年产热轧无缝钢管 50 万 t, 生产的钢管规格为 Φ133~340 mm×5~40 mm, 产品主要品种是管线管、输送流体

用管、结构用管、石油套管管体、油井管接箍料、高压锅炉用管、低中压锅炉用管、液压支柱管、化肥生产设备用高压无缝钢管等。

Φ273 mm 连轧管机组采用带导盘锥形辊穿孔+5 机架限动芯棒连轧+12 机架微张力定(减)径生产工艺, 主要设备从德国 SMS Meer 公司引进, 电机及电气控制由 ABB 公司提供。

Φ273 mm 连轧管机组配备了世界上最先进的穿孔机工艺辅助设计系统(CARTA-CPM)、连轧工艺监控系统(PSS)、连轧自动辊缝控制系统(HCCS)、微张力定(减)径机工艺辅助设计系统(CARTA-SM)、物料跟踪系统(MTS)和在线检测质量保证系统(QAS)等工艺控制技术。

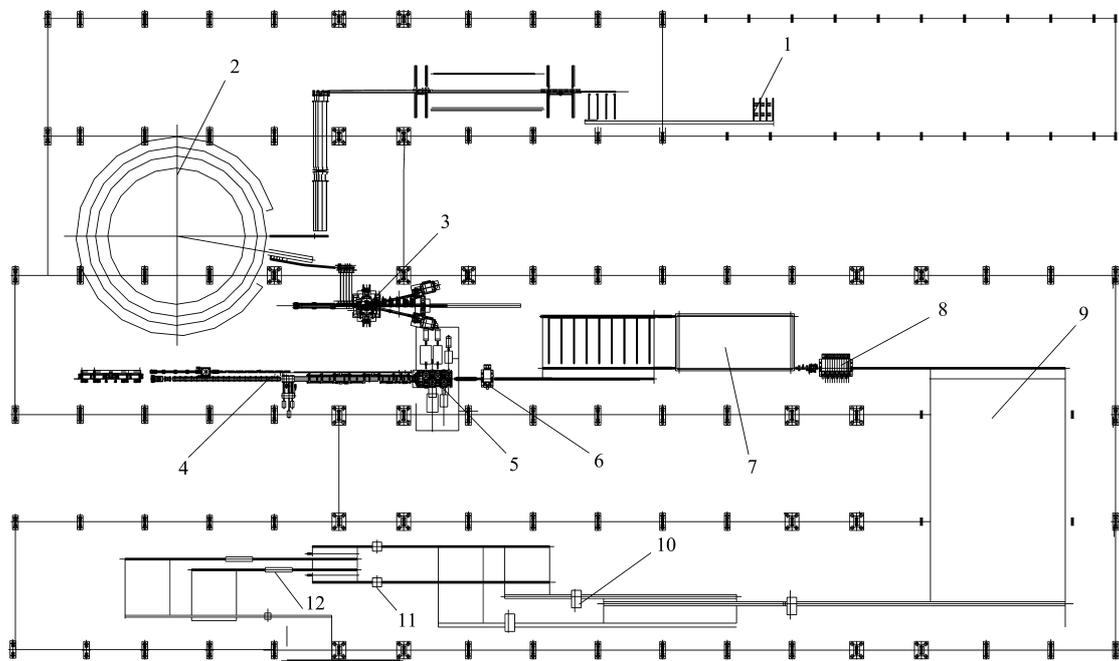
肖松良(1965-), 男, 副总工程师, 硕士, 高级工程师, 从事轧钢技术、工程设计和新产品开发。

1 生产工艺流程

合格的 $\Phi 220, 280, 330$ mm 连铸长圆管坯运到原料仓库, 由冷锯锯成 1.8~4.5 m 的定尺长度, 再逐根称重, 合格管坯由环形加热炉加热到 1 250~1 280 $^{\circ}\text{C}$ 后, 送往穿孔机穿轧成毛管。穿孔后的毛管被送到内表面氧化铁皮吹刷站, 由一喷嘴向毛管内部喷吹氮气和硼砂。吹刷后的毛管送往连轧管机前台, 穿入芯棒, 芯棒限动系统将芯棒前端送至连轧管机间的某预定位置时毛管和芯棒一起进入连轧管机轧制。毛管在进入连轧管机前用高压水对毛管表面进行除鳞。从连轧管机轧出的荒管直接进入 3 机架脱管机上脱管, 脱管后芯棒返回前台, 经冷却、润滑后循环使用。脱管后的荒管, 送往步进

式再加热炉加热到 920~980 $^{\circ}\text{C}$ 后出炉, 经高压水除鳞后送往微张力定(减)径机轧制到成品钢管要求的尺寸, 再在冷床上进行冷却。

钢管经冷却后, 成排送往冷锯切成需要的定尺长度, 再送往六辊式矫直机进行矫直, 矫直后的钢管经吸灰后进行管体无损探伤, 对于有缺陷的钢管进行人工在线修磨、人工探伤、切管; 对于无缺陷的合格钢管经测长、称重、人工最终检查, 检查后一般管经喷印标志后进行收集, 存入成品仓库。其他需要进一步加工的石油套管管体、管线管、高压锅炉管等, 收集后存放在中间库内, 然后根据各自不同的加工工序送往相关生产线继续加工。工艺平面布置如图 1 所示。



1 — 管坯上料台架 2 — 环形加热炉 3 — 锥形辊穿孔机 4 — 芯棒循环区 5 — 连轧管机 6 — 脱管机
7 — 再加热炉 8 — 微张力定(减)径机 9 — 冷床 10 — 排管锯 11 — 矫直机 12 — 探伤机

图 1 $\Phi 273$ mm 连轧管机组工艺平面布置

2 主要工艺设备及性能参数

2.1 锥形辊穿孔机

从 SMS Meer 公司引进, 其工作辊上、下垂直布置, 导盘左右水平布置, 轧辊直径由入口向出口方向逐渐增大, 与穿孔时的金属流动速度逐渐增加相一致, 从而减少了作用在管坯上的周向剪切力, 可穿制高合金钢和壁厚较薄的毛管, 既可为连轧管机提供高质量的毛管, 同时又可改变穿孔、轧管两工序间的延伸分配, 为配置少机架连轧管机创造条

件。与传统的二辊斜轧穿孔机相比, 锥形辊穿孔机具有以下特点:

(1) 穿孔效率高。锥形辊穿孔机穿孔速度快, 穿孔周期短, 产量高, 适合与连轧管机配套使用。

(2) 变形区加长, 变形过程变缓, 能很好地穿轧连铸坯及难变形的金属。由于锥形工作辊及其辗轧角和主动旋转导盘的作用, 改变了金属的变形及运动学条件, 抑制了金属变形过程中的旋转锻造效应^[1]。

(3) 可实现大延伸、大扩径量穿孔。延伸系数可达 4 以上, 扩径量可达 30%, 这有利于减少管坯规格, 扩大产品规格范围。

(4) 采用可靠稳定的长入口导套。1 号抱辊布置紧靠牌坊, 出口侧抱辊采用液压装置, 可减少毛管的单边, 弥补了连轧纠偏能力差的缺点。

(5) 采用整体闭口机架, 刚度大。完善的液压平衡和锁紧机构, 使穿孔机的弹跳值减至最小, 保证调整参数的准确和毛管尺寸的精度。

(6) 工具消耗少, 导盘磨损均匀, 使用寿命长。每 4~6 周更换一次, 提高了穿孔机的作业率。

但这种带导盘的锥形辊穿孔机设备重量大, 一次投资较高。

锥形辊穿孔机技术性能参数如下:

毛管外径	246, 336, 410 mm
轧制力/扭矩	7 500 kN / 1 290 kN·m
轧辊直径	1 250~1 350 mm
送进角/辗轧角	8°~15°/固定 15°
轧制速度	0.6~1.0 m/s
轧辊电机功率	2×5 000 kW
转速	250~365/500 r/min

2.2 连轧管机

Φ273 mm 限动芯棒连轧管机从 SMS Meer 公司引进, 产品质量好, 尺寸精度高, 工具消耗少, 品种范围广^[2], 产量高, 单位产量投资低, 是大直径无缝钢管生产的最佳机型。该连轧管机主要特点如下:

(1) 工艺设计时既考虑了芯棒预穿, 也考虑了在线穿棒, 但芯棒预穿只用于 Φ220 mm 毛管的生产, 其他规格毛管无须芯棒预穿, 以防芯棒与毛管接触时间长, 钢管温降快; 还可减少配备芯棒数量, 减少投资。

(2) 轧机入口侧设置高压水除鳞装置, 可改善钢管表面质量。

(3) 在连轧管机前增设一架空心坯减径机, 其作用是使毛管外径均匀, 并将毛管内径与芯棒间的间隙减至最小, 以提高连轧管机轧制的稳定性, 空减机选用单机架四辊, 其中二辊传动二辊从动, 孔型封闭性较好。

(4) 连轧主机选用限动齿条 45°五机架交叉布置的 MPM 机组。机架 45°交叉布置而不采用 90°水平垂直布置, 主要因为后者占地大, 伞齿轮传动力矩小, 电机维护不方便。机组选用 MPM 工艺而不

采用 PQF 工艺, 主要因为后者设备笨重, 投资增加 25%~30%, 大规格 PQF 工艺尚不成熟。

(5) MPM 连轧管机选用了已趋成熟的液压辊缝控制(HGC)技术。它可以提高产品质量, 提高金属收得率, 减少投资, 降低介质消耗; 可以改进工艺和操作, 减少故障, 降低成本。HGC 技术和机械压下、小行程液压控制相比具有如下优点:

①带负荷高速执行位置调整, 动态性能好。

②位置精度高, 重复性好。

③可用于力的测量和控制。

④可保护过载, 防止轧卡, 减少停机。

⑤可小打开辊缝, 实现紧急状态干预。

⑥故障报警后, 可保证当根钢管轧完, 再停机检修。

⑦与在线检测质量管理体系(QAS)相连, 可以实现外径、壁厚闭环控制(如温度、轧制力、来料尺寸变化)。可补偿工模具的磨损, 可实现两端轧尖, 减少切头尾损失。

⑧可设定冲击补偿, 消除钢管咬入时动态速降及峰值压力。

(6) 脱管机采用最新结构的三辊 3 机架 9 电机单独传动, 结构紧凑, 机架更换方便。缩短了工艺流程, 提高了终轧温度, 并且在脱管的同时也起到一定延伸和定径的作用。利用脱管机可直接生产部分极限规格钢管。

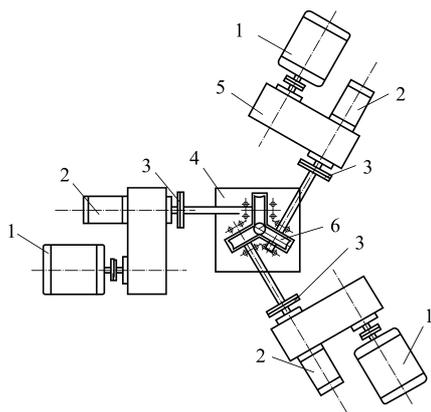
连轧管机技术性能参数如下:

荒管外径	200, 281, 350 mm
轧辊直径	550~890 mm
最大轧制速度	4.25 m/s
最大轧制扭矩	120 kN·m
轧辊电机功率	10 900 kW
转速	60~600/1 200 r/min

2.3 微张力定(减)径机

12 机架 SM670A12 型微张力定(减)径机从 SMS Meer 公司引进。该机机架设计为三辊式矩形结构, 采用的是一种新型传动方式, 即每一个工作机架中 3 个轧辊分别由 3 台交流变频电机通过 3 台齿轮减速箱单独外传动(图 2), 共计 36 台。这种新型的单辊外传动微张力定(减)径机在国际上尚属首次, 与传统的内传动相比具有如下特点:

(1) 结构简单, 设备维修方便。与单独直流电机传动相比, 不仅吸收了直流电机单独传动的优点, 功率大, 解决了主传动通过伞齿轮的过渡来驱



1—电机 2—联轴器离合油缸 3—联轴器
4—机架 5—减速箱 6—轧辊

图2 SM670A12型微张力定(减)径机传动示意

动轧辊的问题,而且传动链更短,设备更简单,转动惯量更小,进一步提高了调速系统的灵敏度,减小了动态速降恢复的时间,转速控制精确。调速范围广,适用于各种钢管产品的调速需要。容易获得大的轧制功率,适于高速轧制和大直径钢管的生产。用交流变频电机替代了直流电机,使电机维护变得更加方便。在电气控制方面采用ABB公司的直接转矩控制(DTC)技术的变频器和速度数字闭环反馈控制技术,使得单独传动动态速降大的缺点得到比较满意的解决,能够满足工艺要求。

(2) 轧辊传动采用外传动方式,即机架中的轧辊传动从机架外部单个传动,机架内只装3只轧辊和支承轧辊的轴承,运行成本低,机架准备简单。有利于缩小机架间距和提高机架强度。缩小机架间距则意味着减小成品管切头、切尾的损失,提高成材率。传动机架内部结构简单,无螺旋伞齿轮,因而机架的换辊、拆装和维护比较方便,能适应微张力定(减)径机频繁换辊的需要;同时还能保证轧辊的装配精度,减少备用工作机架的制造工作量和装配工作量。

(3) 采用了轧辊快速拆装技术,机架壳体为整体球墨铸铁件,比常规剖分式的机架具有更大的刚度;轧辊内嵌花键套,轧辊和轴通过花键联接,拆装比较方便,且时间很短;花键套和轧辊轴重复使用,降低了生产成本。

(4) 这种外传动一次性投资较内传动要大得多,控制上较内传动要复杂得多;对设备防尘、防水要求较高;设备维修时,外传动必须在线,并且在机架下布置的设备维修不方便,有故障必须停

机,会影响生产,而内传动的维修可在机架上进行,不影响生产。

微张力定(减)径机技术参数如下:

成品管规格	Φ133~340 mm×5~40 mm
轧制力/力矩(max)	80 kN/1 910 N·m
机架间距	650 mm
轧辊名义直径	670 mm
电机功率	135~800 kW
电机转速	400~1 600 r/min

3 先进的工艺控制技术

该机组主轧区基础自动化采用ABB公司的ADVANT CONTROLLER400系列PLC控制系统,与从SMS Meer公司引进的QAS、MTS、CARTA-CPM、HCCS、PSS、CARTA-SM等构成最先进的工艺控制技术。

3.1 在线检测质量保证系统(QAS)

在线检测的具体内容有:管坯称重,环形炉出口测温,穿孔后测径测长,芯棒润滑前测温,连轧入口测温,连轧后测厚、测长、测温、测径,步进炉出口测温,微张力定(减)径后测厚、测长、测温。

管坯称重的目的是控制来料超重,实现物料按支跟踪。管坯和钢管测温采用红外测温仪,目的是监测来料或出料温度是否符合工艺要求,指导炉子加热优化,确保所轧钢管的质量和性能。芯棒测温采用红外线测温仪,目的是检测芯棒温度是否在规定的范围内,保证芯棒润滑满足工艺要求,提高芯棒使用寿命。

穿孔后测长测径采用两套2通道立体布置的CCD数码摄像系统,测量的毛管实际外径和长度值传给PLC系统,再结合管坯的重量(取自物料跟踪系统的管坯称重装置)、直径、长度计算出毛管的壁厚。实现穿孔监控。

连轧管机和微张力定(减)径机后各采用1通道Lasus(激光超声)钢管壁厚测量装置测厚,该技术基于激光超声波原理,采用一套大功率激光装置向钢管外表面发射超短脉冲激光束,当激光束碰到钢管表面时,在极短的时间内部分高能激光转化为超声波。超声波在钢管内传播,碰到钢管内表面后被反射回来,反射波由另外一套连续激光装置吸收,根据测量的超声波在钢管内运行的时间即可得到钢管测量点的壁厚精确值。采用该技术的优点是:与以前普遍采用的射线测厚仪、同位素测厚相比,测

量精度高,可带芯棒进行钢管的壁厚测量。测厚仪紧靠轧机出口侧安装,可及时发现壁厚超差、偏心过大或多边形严重等问题,便于自动系统实时壁厚控制。

连轧管机和微张力定(减)径机后激光测长使用激光多普勒原理,通过的钢管由两束激光照亮,评估返回的散射光的频率的变化,对测量的速度进行积分,求出钢管的长度。

连轧管机和微张力定(减)径机后测径,采用2通道 CCD 数码摄像机作为检测器进行无接触测量。测得的数据可以指导连轧优化调整,数据进入物料跟踪系统,实现由连轧管机到微张力定(减)径机钢管尺寸跟踪,为微张力定(减)径机 CARTA 操作提供依据。

3.2 物料跟踪系统(MTS)

主要任务是向 QAS、HCCS、PSS、CARTA 系统传递订单信息,收集这些系统的检测数据并归档保存;从管坯称重设备开始到冷床结束,跟踪物料通过不同工序时的流水号和各种工艺调整数据。在冷床后只跟踪每批钢管的实际支数和总重量数据。若各机组测量的数据与设定的数据不相符,便会报警。

物料跟踪系统主要跟踪内容有:对管坯进行计数,并把数字与轧制批号、流水号、管坯重量对应起来;系统采用先进先出原则跟踪管坯通过加热炉;管坯出炉穿孔以后,管坯的数据记录中将增加环形炉出口管坯温度、穿孔机后毛管直径、长度、壁厚等数据;连轧后荒管的壁厚、直径、长度、温度的实际值将添加到荒管的数据记录中;荒管通过步进炉,出口荒管的实际温度加到荒管的数据中;从微张力定(减)径机后的测量设备中,跟踪系统取得长度、壁厚、直径、温度等参数。

除测量数据之外,如穿孔机、连轧管机、微张力定(减)径机的实际轧制调整值也存储在物料跟踪数据库中,以便作更进一步的分析。

3.3 CARTA-CPM、CARTA-SM 系统

穿孔机工艺辅助设计(CARTA-CPM)系统由3个部分组成:

(1) 孔型设计系统

主要是穿孔机顶头等工模具设计计算模块和存储工模具参数以及工艺参数设定的数据库。计算的轧制力、轧制力矩、轧制速度和电机功率(负荷)的值也能显示。该系统能够根据产品规格计算出所需

的变形工模具参数,并通过储存到相应的数据库为机加工提供工模具的参数设定。

(2) 工模具管理系统

该系统的操作终端布置在机加工车间,通过这个终端,操作员可以访问工模具的数据库。如果需要,工模具加工尺寸也能够输进系统作为文件保存,用作以后的数据分析。

(3) 工艺管理系统

该系统在操作员站上使用,依据所测量的轧件几何尺寸,提供优化的轧机设定。扩展版本增加了工模具设计的诊断和优化功能以便于评估和优化轧件尺寸。

微张力定(减)径机工艺辅助设计(CARTA-SM)系统是一个设计、优化、管理轧辊孔型和轧制过程数据的计算机辅助工具,与 CARTA-CPM 一样由孔型设计系统、工模具管理系统和工艺管理系统3个部分组成。

CARTA-SM 孔型设计系统用来计算轧辊孔型尺寸,计算结果作为设计数据储存在孔型数据库中并提供给机加工工序。

CARTA-SM 机架管理补充了工艺系统到机架加工间的数据交流,有利于机架加工的组织工作。

3.4 连轧自动辊缝控制系统(HCCS)

HCCS 是一个闭环控制系统,提供液压压下丝杆的快速和准确定位。5个机架共有20套液压小舱,每一个液压小舱均有一个单独的液压位置控制器。控制器具有下列功能:

(1) 小舱缸位置控制。比较液压小舱的位置反馈值和位置给定值(从辊缝设定值中计算出),改变伺服阀的输出。

(2) 轧制力的计算。系统将使用安装在液压缸上的压力传感器计算轧制力。

(3) 自动流量增益控制。系统将使用来自压力传感器的轧制力计算补偿伺服阀的开闭。

(4) 同步位置控制。所有液压缸位置的改变将根据轧制中心线同步进行。

(5) 自动辊缝控制。液压缸的位置在轧制过程中将自动地校正,可以实现负荷补偿,毛管头尾部的轧尖及沿钢管长度方向的温度不均补偿,以便得到壁厚均匀的钢管。

(6) 液压小舱位置传感器自动校零。如果电源掉电,则液压缸增量型位置传感器校零程序将被自动执行。

(7) 报警程序。如果检测到控制设备故障,系统将辊缝锁定在当前的实际位置以便完成当前钢管的轧制。为了保护系统,当超过设定的过载值或操作员要求轧机停机时,控制系统立即打开辊缝到安全位置。如果检测轧制力达到限幅,辊缝将少量打开,轧制力达到最大限幅,辊缝迅速打开。

(8) 与 Level I 自动化系统连接。为了有一个公用的人机接口界面和操作指令,系统同 Level I 自动化系统使用标准通讯系统(如 Ethernet TCP/IP, Profibus, Reflective memory 等)。

3.5 连轧工艺监控系统(PSS)

PSS 能够给管理该区域的操作员、技术人员、维修人员提供技术支持,优化产品质量。PSS 具有如下功能:

(1) 数据采集。PSS 与 HCCS 和 I 级自动化系统相连,可以高速采集所有上传的数据和实际操作值。采样内容包括电机速度、扭矩、电流,芯棒位置,钢管温度,轧辊辊缝,轧制力等工艺数据及物料跟踪情况。

(2) 数据登录。可以实时地显示许多来自设备的重要的信号,并同检查值或先前存储的数据进行比较。数据登录器包括以下功能:

①在线图形显示。在主操作台有一个专用的操作终端,操作员能够在轧制期间实时地看到当前钢管所选择的信号。

②循环归档文件的数据储存。每根钢管收集的数据将自动存到最后轧制钢管的循环归档文件里,开始采集数据的时间和日期以及钢管的 ID 号码也将自动地存储。

③工艺报表。每根钢管相关的数据将自动处理,以便得到一个关于工艺、操作、诊断等方面最重要的数据报表。

④轧机诊断工具。使用报表值,进行工艺分析以便从工艺方面监督产品质量。如果实际参数和希望值相差太远(用设定模块计算),则控制系统自动

地检查这些值并提示操作员。

⑤离线图形显示。与轧制钢管相关的所有存储数据可以在技术终端和维修终端上显示,方便更进一步的分析。

⑥历史技术趋势。为了得到更好的分析,一根接一根钢管的报表数据将被收集并显示在一张简单明了的趋势图里。

(3) 设定计算。计算连轧管机及限动机构等的工艺设定,计算基于通过网络接收的 MTS 和键盘输入的原始数据。主要的输入数据是:产品数据(直径、壁厚、钢号),设备数据(轧辊尺寸、芯棒),工艺参数(在调试时已调好的数学模型参数)等。

(4) 自适应模型。自适应模型在每根钢管经过后运行,数学模型从报表数据中或直接从 Level I 自动化系统的数据库中获得输入数据,然后重新计算出必要的输出数据,并在下一根钢管轧制之前发送数据给 Level I 自动控制系统。自适应模型可以由操作员中止或启用。

4 结 语

新一代 $\Phi 273$ mm 连轧管机组是当今世界上公认的优质、高产、低消耗、多品种的机组,设备成熟、可靠、先进、实用、维护方便。机组的建成为我国大直径无缝钢管生产技术的开发,为衡钢加快产品结构 and 工艺技术结构的调整,增强产品的竞争力,跻身世界生产钢管的最强企业奠定了基础。

5 参 考 文 献

- 1 Leisten T. The cross-roll piercer as a key component in modern seamless tube production[J]. Tube & Pipe Technology, 2001, 14(3): 91~95.
- 2 杜厚益. 限动芯棒连轧管技术的发展及大直径机组的建设(上)[J]. 钢管, 2003, 32(2): 6~12.

(收稿日期: 2005-12-05)

● 信 息

2006 年 1~7 月份俄罗斯钢管产量大幅增长

2006 年 1~7 月份俄罗斯的钢管产量仍保持了大幅增长的态势,总产量达到 431.2 万 t,比 2005 年同期增长了 17.3%,其中:无缝钢管的产量达到 167.3 万 t,同比增长 3.4%;电焊钢管的产量达到 251.7 万 t,同比增长 29.2%;其他焊管的产量为 12.19 万 t,同比增长 12.2%。

(攀钢集团成都钢铁有限责任公司 杜厚益)