无缝钢管生产技术的新进展

兰兴昌[1]，刘卫平[2]
（1. 北京钢铁设计研究总院，北京 100053；2. 天津钢管有限责任公司，天津 300301）

摘 要：无缝钢管生产已逐渐从追求产量向提高质量，扩大品种，降低成本方向发展，其间不断涌现新的设备与工艺。简介了国内外生产技术的发展情况；比较了步进式与环形式管坯加热炉的应用特点；概述了锥形辊穿孔机、少机架限动芯棒连轧管机、PQF连轧管机及半浮/在线脱棒技术、紧凑式轧管技术、张力减径机/定径机的三辊可调技术及快速换辊技术、钢管质量自动控制技术(如连轧管机的HGC控制技术、张力减径机增厚端及壁厚自动控制技术)、钢管在线壁厚检测技术等新工艺、新设备的特征。

关键词：无缝钢管；生产技术；新进展
中图分类号：TG335.71 **文献标识码**：B **文章编号**：1001-2311(2003)05-0001-06

New Development of Seamless Steel Tube Manufacturing Technologies

Lan Xingchang[1], Liu Weiping[2]
(1. Beijing I & S Design and Research General Institute, Beijing 100053, China;
2. Tianjin Steel Tube Co., Ltd., Tianjin 300301, China)

Abstract: The general development trend of seamless steel tube industry has been switched from output enhancement to product quality improvement, product mix expansion and operational cost reduction, resulting in a number of new equipment and technologies. Briefed in the paper are the development of seamless steel tube manufacturing technologies both at home and abroad. Other issues also involved here are a comparison of the application characteristics between the walking beam billet heating furnace and the rotary billet heating furnace, descriptions of the characteristics of such new processes and equipment as cone-type piercer, MINI-MPM, PQF MPM, semi-floating mandrel/on-line mandrel extracting processes, compact tube-rolling process, three-roll adjustment and quick roll change-over of stretch reducing mill and sizing mill, auto-control processes of tube quality (e.g., the HGC control process for MPM and auto-control process of tube end upset and gage of stretch reducing mill) as well as steel tube on-line gage inspection process.

Key words: Seamless steel tube; Manufacturing technology; New development

0 前 言

钢管主要应用于能源开发、交通运输、机械结构、化工、流体输送等领域。近年来，在市场不断萎缩，生产能力过剩，竞争更加激烈的情况下，国内外钢管生产厂不断地开发新技术、新工艺，使得无缝钢管行业从增加产量转到提高产品质量，扩大品种，降低能耗，提高金属收得率等方面上来，使产品具有更大的竞争力。

本文就国内外新建的无缝钢管生产机组采用的新工艺、新设备及其特点择要作相应介绍。

1 管坯加热

近10年来，国内外新建及在建的限动芯棒连轧管机组达10套以上，全部采用连铸圆管坯进行生产。管坯加热设备的主流仍是环形加热炉，但步进

兰兴昌(1964-)，男，黑龙江建三江人，博士，教授级高级工程师，从事轧钢车间工艺设计。

式加热炉也得到一些厂家重视，被应用于20世纪最先进的轧管机组(日本住友和歌山厂的Φ426mm限动芯棒连轧管机组)。

环形炉是无缝钢管生产机组最普遍采用的加热设备，以定尺管坯加热为主。冷态倍尺管坯首先在圆盘冷锯机上锯切成要求的定尺长度，然后进入环形炉加热。步进式加热炉则以倍尺管坯加热为主，管坯加热后需要在其后设置的热锯机(行星式旋转热锯机)上锯成定尺长度，然后再进行穿孔、轧管。环形炉与步进炉的比较列于表1。

表1 环形炉与步进炉的对比

炉型	厂房面积比/%		炉底单位面积产量比/%	烧损/%	燃耗/%	管坯加热/℃	
	炉区面积	全车间面积				内外温差	温度均匀值差
环形炉	100	100	100	100	100	~30	≤10
步进炉	~60	~95	~160	~80	~95	≤30	≤10(黑印除外)
备注	主厂房面积				含保温炉		

炉型	加热型式	配套设备	投资比/%			适用范围	
			炉体设备	炉区设备	工程投资	生产能力	管坯尺寸
环形炉	定尺坯加热	圆盘冷锯机3台	100	100	100	小、中、大	定尺长度范围大、外径规格少(3种以下)
步进炉	倍尺坯加热	回转热锯1台、保温炉或保温罩1座	~120	~110	~101	大	定尺长度范围小、外径规格多(3种以上)
备注	包括配套设备 设备费+建安费						

注：以生产50万t管的Φ426mm机组为依据进行比较。

采用步进炉加热圆管坯可以有效避免环形炉中管坯定位难的问题，同时由于步进炉占地面积小，可以使炼钢连铸设备和轧管机之间紧凑布置，为连铸管坯热送热装创造了条件。如日本住友和歌山厂Φ426mm限动芯棒连轧管机组，在工艺布置上使圆坯连铸机和连轧管机组连接，采用步进式加热炉对管坯进行倍尺加热并用行星式旋转热锯将管坯切成定尺，具备了连铸管坯热送热装的条件。

2 穿 孔

随着双支撑式锥形辊穿孔技术的逐渐成熟，近10年来国内外新建的连轧管机组几乎全部采用锥形辊穿孔机，其他热轧管机组（如顶管机组、Accu Roll机组等）也开始大量采用锥形辊穿孔机。

锥形辊穿孔机[1]的优点主要表现在：

(1)轧辊直径向出口方向逐渐加大，与变形区内金属流动速度逐渐增大相一致，减少了管坯的周向切应力，减少了毛管内外表面缺陷和金属扭曲；

(2)采用大的喂入角和辗轧角，增大了变形程度，可使延伸系数高达6，穿孔速度达1.5m/s，穿孔效率达90%，扩径率达40%；

(3)穿孔变形大，可减小后部轧管工序的轧件变形量。

正是由于锥形辊穿孔机有上述突出优点，尽管其设备重量及装机容量较常规二辊穿孔机高20%~30%，仍得到大多数新建机组的应用，并促使少机架限动芯棒连轧管机(MINI-MPM)得到大力发展，也使Assel轧管机、Accu Roll轧管机生产更薄更长的钢管成为可能。

3 轧 管

1990年以来，世界上新建无缝钢管生产机组主要为限动芯棒连轧管机（MPM）、Accu Roll轧管机、CPE顶管机及新式Assel轧管机，其中限动芯棒连轧管机组在数量上最多，分布地域也更广，而其他型式的轧管机组则主要在发展中国家。

近年来，国内外轧管机的发展有以下重要特征。

3.1 少机架限动芯棒连轧管机组的发展

少机架限动芯棒连轧管机组(MINI-MPM)的发展是在连铸管坯质量提高、锥形辊穿孔技术取得重大进步的前提下实现的。MINI-MPM是在确保限动芯棒轧制优点的条件下，将通常采用的7~8架连轧管机减少2~3架。这一技术的基础是合理改变金属变形分配，也就是将连轧管机承担的纵向大延伸向横向变形的穿孔机上转移。

MINI-MPM限动芯棒连轧管机较典型的技术改进有：

(1)减少机架数量。机架数量的减少使得设备重量显著减少，电机容量减小，机组建设投资大幅降低；

(2)采用液压压下装置。采用液压压下可以实现辊缝的动态调整，提高了钢管尺寸精度，改善了表面质量；

(3)机架平立布置。将机架由45° 倾斜交叉布置改为平立交叉布置，主传动电机等设备布置在机架同一侧，可以减少土建工程及管线敷设费用，使连轧机结构更为合理；

(4)采用快速换辊装置。在更换产品规格时，过去用轧辊和机架整体更换的办法，换辊时间长(约1.5h)，备用机架多。采用新装置换辊时，只需更换轴承座和轧辊，而机架固定不动，更换全套轧辊只需15min，无需成套备用机架。

第1套少机架限动芯棒连轧管机组是1992年在南非托沙厂的CPS机组改造中获得成功的，其后日本住友和歌山厂Φ426mm机组和我国包钢Φ180mm机组均采用了少机架限动芯棒连轧管机组。

3.2 三辊可调式限动芯棒连轧管机的开发

三辊可调式限动芯棒连轧管机(PQF)是意大利INNSE公司为克服二辊连轧管机的固有局限性而研制开发的。PQF连轧管机由4~7架三辊可调式机架组成，所有机架均沿轴向布置在1个刚性圆筒中。机架的3个轧辊均为传动，采用限动芯棒方式轧制。其主要特点是[2]：

(1)采用三辊孔型轧制。三辊孔型各点间线速度差小，金属横向流动少，变形更加均匀，改善了钢管表面质量，提高了壁厚精度；三辊封闭孔型轧制，使金属处于更高的压应力状态，减少了缺陷的产生，提高了轧制薄壁、高钢级钢管及难变形钢管的能力，轧制钢管的径壁比可达58；三辊轧制使得单位轧制压力分布均匀，压力峰值低，提高了轧辊及芯棒寿命，同时也为控制轧制创造了条件；另外由于三辊轧制变形均匀，减少了荒管尾端鳍状的产生，提高了金属收得率及轧制流畅程度。

(2)辊缝可调。由于3个轧辊可同时或单独调整，允许有较大的辊缝开口调节范围，且不影响钢管壁厚的同心度，因此可以采用相同直径的芯棒来轧制更多厚度规格的钢管，减少了芯棒规格、穿孔毛管规格和顶头规格，使机组生产灵活性增加，不但可实现少规格、大批量生产，也适于多品种、多规格、小批量轧制。

(3)每个轧辊均设有单独的液压压下装置，可以更加有效地使用自动控制模型，更加精确地控制钢管壁厚同心度，还可对进入张力减径机前的荒管两端适当轧薄，以减少张力减径机后钢管两端增厚带来的金属损失。

(4)机架间距缩短，可减少芯棒长度和建设费用。三辊孔型轧制及机架的紧凑式设计，使得钢管沿横断面及全长方向上温度分布更加均匀，轧制过程温度损失更少，金属流动更稳定，便于实现在线常化、在线淬火等工艺。

PQF轧管机的开发使无缝钢管连轧工艺迈上了一个新台阶，天津钢管有限责任公司近期新建的Φ168mm机组即采用PQF轧管机。

3.3 半浮/在线脱棒技术的开发

连轧管机组按照芯棒从钢管中脱离方式的不同，分为浮动芯棒连轧管机组、限动芯棒连轧管机组和半浮动芯棒连轧管机组三种。浮动芯棒生产方式近年来基本不再应用，而限动芯棒方式由于生产节奏时间长，生产小口径无缝钢管时产量偏低，因此主要应用于大中口径无缝钢管的生产。但由于限动芯棒连轧管机生产的钢管尺寸精度要高于半浮动芯棒，为保留限动芯棒轧制尺寸精度高的优点，同时解决其轧制小规格无缝钢管生产能力低的弱点，意大利INNSE公司开发出了“半浮/在线脱棒”技术，即在连轧管机轧制过程中芯棒保持限动状态，当轧制结束钢管尾部离开轧机末架机架后，芯棒停止运动(芯棒头部位于末架机架与脱管机之间)，钢管在脱管机内继续前进，最终与芯棒完全脱离，然后芯棒限动系统松开芯棒，芯棒前行并通过脱管机，在脱管机后台拨出轧制线并进入芯棒循环系统。显然，这种方式的轧制状态与限动芯棒连轧管机完全相同，但由于节省了芯棒回退时间，轧制周期时间大为缩短，使其生产能力达到半浮动芯棒的水平，而钢管尺寸精度则较半浮动芯棒要高。

值得注意的是，半浮/在线脱棒技术只有在采用轧辊快开式脱管机才得以实现，因为只有脱管机轧辊在打开的状态下，芯棒才能顺利通过。否则会出现芯棒毁坏脱管机轧辊的现象。

3.4 MINI-MILL轧管技术的开发

近年来，紧凑式轧机概念在轧钢各类型生产车间得到开发应用，无缝钢管生产亦不例外。除我国

试验了穿轧组合生产技术外，SMS Meer公司亦开发出轧管机组的MINI-MILL概念型轧机(亦称3RCM组合式轧管机)[3]，均可实现在1个设备上完成2个工序的变形任务。两者的不同点只在于，我国开发的技术是在特殊形状顶头及轧辊组成的孔腔中，管坯一次变形即完成穿孔及轧管2个变形任务，而SMS Meer公司的技术则是首先管坯正向通过轧机完成穿孔，然后轧件反向运行，进入该轧机进行轧管，即仍维持2个变形道次。

另外，德国KOCKS公司开发出另一种型式的紧凑式轧机。其特点是：轧管机采用新型四辊行星式轧管机(可轧出长达50m的荒管)，其后紧凑布置张力减径机及回转式飞锯。这种配置由于轧管机与张力减径机的轧制是连续进行的，该工艺生产线无需设置再加热设备。同时张力减径机轧出的超长钢管立即由飞锯定尺分段，无需设置大型宽冷床。另外轧管机轧出的荒管长度达50m，使得钢管经张力减径机的端部增厚损失降至最小。

显然，采用紧凑式轧管技术及设备可大幅度降低投资，特别适用于小型钢管企业的建设。

4 张力减径机/定径机的新技术

4.1 三辊单独可调式定径机(FQS)的开发

该技术是在每个轧辊位置上各设1套液压压下装置，可根据不同的条件对3个轧辊进行单独调整，以实现钢管外径的精确控制以及沿圆周上对椭圆度进行的调整，还可沿钢管长度上进行在线动态压下调整，以消除因钢管沿长度方向上的温度不均造成的外径偏差。该技术是意大利INNSE公司开发的，已成功应用于日本住友和歌山厂新建的Φ426mm连轧管机组中。其优势如下：

(1)由于机架内的3个轧辊均可单独动态调整，因此可以补偿在轧制过程中轧辊的磨损，以及钢管沿长度上的温度不均，使产品尺寸精度大大提高(外径公差可由 0.50%提高到 0.25%以内)；另外还可使许多钢种进入定径机前不需在再加热炉中加热或均热，提高了金属收得率，降低了生产成本；

(2)由于轧辊辊缝可调，简化了机组管理，减少了换辊频次，提高了定径机的设备利用率，同时也提高了轧辊的使用寿命(2倍以上)；

(3)由于轧辊辊缝可调，可以使用相同的轧辊孔型生产出不同外径规格的钢管，降低了轧辊备件数量。在新建三辊可调式定径机组时，可以减少机架数量，降低投资额；

(4)轧辊车削可以采用普通CNC车床，每个轧辊可单独加工，无需设置专用的孔型加工机床同时加工3个轧辊。

4.2 三辊同步可调式张力减径机/定径机的开发

采用该技术可以根据轧制钢管外径的变化，在一定范围内对轧辊辊缝进行调整，另外还可以根据轧辊磨损情况，对辊缝进行调整补偿，以保证必要的钢管外径尺寸精度。三辊可调式机架的开发，可以大幅度地减少备用轧辊及机架的数量、减少轧辊消耗、提高设备利用率以及提高设备的灵活性。

德国SMS Meer公司及KOCKS公司[4,5]均开发出各自的三辊同步可调式张力减径机/定径机。其工作原理都是将轧辊轴装于偏心轴套之内，通过现场手动或远程电动控制3根偏心轴套同步旋转，带动轧辊辊缝同心调整。只是两者带动偏心套旋转的执行机构有所不同。该技术只能在空载条件下实现，即轧辊辊缝调整在轧制间隙时间内完成，不能进行动态调整。据悉天津钢管有限责任公司向SMS Meer公司订购了三辊可调式定径机机架，将在年底投入使用。

4.3 轧辊快速拆装技术

常规张力减径机轧辊的拆装比较复杂费时，当需要对轧辊孔型重新加工时，普遍采用在孔型加工机床上对机架内的3个轧辊同时加工的方式。这样需要配备昂贵的专用孔型加工机床(1台需要上百万美元)以及设置大量的备用机架。为此德国KOCKS及SMS Meer公司各开发出了新式张力减径机轧辊组件，使得轧辊更换快速方便。这样在每次机架更换下来后，可以将轧辊快速拆卸，然后对轧辊进行逐个加工，用普通CNC机床即可满足加工要求。由于采用了轧辊快速拆装技术，并保证其安装精度，使得张力减径机备用机架数量大大减少(减少2/3~3/4，即当采用24架张力减径机时，备用机架数可减少150架以上)。

轧辊安装时，轧辊由机架轴向侧面装入，通过液压预紧连杆夹紧2个法兰来夹紧轧辊辊环，然后用安全螺母锁紧。轧辊拆卸则将液压预紧杆放松，即可将轧辊沿机架侧面拿出。采用这种方式更换轧辊非常方便，且时间很短。

5 节能新技术

无缝钢管生产工艺复杂，工序多，生产能耗

大。为尽可能节约能源，降低消耗，近年来国内外新建机组主要采取的节能技术有：

(1)用连铸管坯代替轧制管坯；

(2)采用新型环形加热炉和隔热材料；

(3)定径时取消再加热工序，张力减径时采用低能耗再加热；

(4)采用在线常化以及在线直接淬火再回火工艺，取消淬火加热炉；开发低温轧制及热机轧制技术。

(5)开发连铸管坯热送热装技术。

6 钢管质量自动控制新技术

近年来，为满足用户对无缝钢管质量越来越严格的要求，对钢管质量自动控制系统(特别是壁厚自动控制系统)进行了新的研发，取得了一些新成果。

6.1 连轧管机的HGC控制系统的开发

连轧管机采用液压压下技术，开发出HGC控制系统。该系统采用高分辨率的位置传感器及压力传感器进行反馈控制，可以进行轧辊的位置闭环控制以实现高精度的辊缝调整，以控制荒管的壁厚精度。其控制模型主要包括：辊缝液压位置控制、轧制力能参数计算、自动流量增溢控制、液压压下系统位置同步控制、冲击设定补偿（减少轧件进入轧辊孔型的冲击引起的壁厚偏差）、伺服阀零位漂移调整、位置传感器自动调零等功能。

此外，对许多原有的连轧管机进行了改造，主要加强了对连轧管机生产工艺过程的调控管理，对整个生产线进行完全的监控，以改善产品质量以及优化整个机组设备的使用。

6.2 张力减径机工艺系统自动控制技术的开发

6.2.1 工艺计划

其主要功能包括孔型系统的编制、数据库管理、金属流动状态及机架载荷计算、工艺参数设定、头尾增厚端控制功能的设定、壁厚控制功能的设定等。

6.2.2 工艺控制

(1)钢管头尾增厚端控制(CEC)：通过动态调整各机架轧辊线速度来减少头尾增厚端长度，可以缩短头尾增厚端长度达50%。

(2)钢管平均壁厚控制(WTCA)：根据来料的壁厚偏差测量结果，通过各机架静态轧辊线速度的设定来增大或减小张力减径机的延伸系数，以保证得到要求的目标平均壁厚精度。

(3)钢管局部壁厚控制(WTCL)：根据来料荒管沿长度方向上各点的壁厚与平均壁厚的偏差值，通过动态调整轧辊线速度来保证该处的壁厚精度。

(4)过程及控制参数的记录和读取。

6.2.3 孔型计划

将轧制工艺要求的张力减径机孔型设计与轧辊间机架加工机床之间建立起直接联系，并对其进行指导。开发的新型孔型可以有效地控制钢管内多边形的产生。

6.2.4 机架管理

将工艺设计、轧辊间及张力减径机之间建立起直接联系，并对轧辊加工的合理化、系统化及组织系统进行管理。

另外对于FQS三辊可调定径机，还开发了液压AGC自动辊缝控制功能、自动伺服阀流量增溢补偿功能、伺服阀漂移补偿功能、动态响应恒定化功能等，可以实现钢管外径的在线实时控制。

7 钢管在线壁厚检测新技术

要实现钢管质量的自动控制，需要在生产线各主要环节设置必要的检测装置，对外径、壁厚、温度、轧制压力等各种工艺参数进行测定监控，并输送给自动控制系统，进行适时调控。

钢管壁厚参数对于以提高产品质量、降低成本为目标的自动化控制系统来说是一个关键的参数，随着轧管生产线自动控制系统的普遍应用，特别是连轧管机液压AGC技术的采用以及张力减径机工艺管理控制系统的应用，钢管壁厚的在线测量显得越来越重要。在线热态壁厚测量以前普遍采用射线测厚仪、同位素测厚仪等，但均存在不足，如无法带芯棒测量，难于得到测量点的绝对壁厚值等。

近年来开发的激光诱发超声波检测技术在热态壁厚测量方面是一大进步。该技术基于激光超声波原理：采用1套大功率激光装置向钢管外表面发射超短脉冲激光束，当激光束接触到钢管表面时，在极短的时间内部分高能量激光转化为超声波。超声波在钢管内传播，碰到钢管内表面后被反射回来，反射波由另外的1套连续激光装置接收，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：测量精度高，可以带芯棒进行钢管的壁厚测量，因此测厚仪可以设置在距离主变形设备很近的地方，可及时发

现出现的壁厚超差、偏心度过大或多边形严重等问题，便于自动化系统的实时壁厚控制以及工具磨损情况的跟踪。还可以可靠地对高达1 000℃以上的热态钢管进行壁厚测量。

8 结　语

近年来，世界范围内新建的无缝钢管生产机组数量在不断减少，但无缝钢管生产技术却仍有许多新的发展。综合来看，为适应不断提高的市场要求，无缝钢管生产新技术的开发主要针对如下两个主要目标而做了大量的工作：

(1)以节能为目标而进行的工艺改进。如采用倍尺加热的步进式加热炉、采用在线热处理等新技术。

(2)以提高产品质量为目标而开发的新工艺、新设备及新技术。如采用锥形辊穿孔机、PQF连轧管机、三辊可调式定径机等新设备，开发先进的质量自动控制技术和先进的检测仪表等。

9 参考文献

1 T.Leisten. The cross-roll piercer as a key component in modern seamless tube production [J]. Tube & Pipe Technology, May/June 2001, 14(3): 91~95.

2 Peter Thieven. 在两辊和三辊连轧工艺中使用有限元比较计算方法[J]. 国际冶金设备和技术, 2002, (2): 42~44.

3 Hans Joachim Pehle. 新型三辊组合式轧管机——3RCM的工艺特点[J]. 钢管, 2003, 32(2): 57~54.

4 Gerhard Kulessa. 降低成本、改善质量和推动钢管生产进化的KOCKS三辊张力减径机组[J]. 国际冶金设备和技术, 2002, (2): 30~40.

5 D Pfeiffer. Economical and precise rolling of seamless tube using a stretch reducing mill in combination with a precision sizing mill [J]. Tube & Pipe Technology, May/June 2000, 13(2): 65~68.

(收稿日期：2002-10-21)
(修定日期：2003-06-17)

《中国钢管50年》出版

征订启事

由中国金属学会轧钢学会钢管学术委员会组织编辑，四川科学技术出版社出版的大型史料性专业工具书——《中国钢管50年》将于年内正式出版发行。

《中国钢管50年》由中国工程院院士殷国茂任主编，全书约170万字，内容翔实，包括中央和国家领导人为钢管界的题词及亲临钢管企业单位的照片以及总论、无缝钢管卷和附录三大部分。总论部分概述了我国钢管(无缝·焊接)的生产、工艺设备、科研、教学的发展历程及主要无缝钢管厂家的简况。无缝钢管卷涵盖生产、工艺、科研、发展历程和产品品种质量、工艺设备及特殊专用管材以及典型生产工艺设备布置、发展战略探讨等各章节内容。附录较为详细地介绍了我国主要无缝钢管生产、科研、设计、教学及设备制造单位的基本概况。

《中国钢管50年》是中国钢管界50年来的开篇巨著，内容全面，数据可靠，信息周全。将为钢管界及相关单位的生产、科研、设计、教学、经营、管理提供有益的借鉴，是不可多得的钢管史记及专业书籍。

《中国钢管50年》为正式出版书本，大16开，装帧印刷精美，按工本费售价。

凡需订购者，请速与《钢管》杂志社联系。

联系人：陈　莉
地址：成都市牛市口《钢管》杂志社　邮政编码：610066
电话：028-84553136　84408096　传真：028-84553136
E-mial：csstggzz@sina.com　csstggzz@mail.sc.cninfo.net

《中国钢管50年》编辑委员会