

世纪之交话无缝

——《无缝钢管百年史话》(续释12-1)

摘要: 自19世纪曼内斯曼发明斜轧穿孔工艺以来,无缝钢管生产技术已经过100余年的发展,先后出现了周期轧管技术、顶管技术、连轧管技术、自动轧管技术、狄塞尔轧管技术、三辊轧管技术、挤压管技术等,目前是各种生产工艺并存,轧管设备不断改进以及新的轧管工艺涌现的状况。简要回顾了各种生产工艺的发展情况,比较了现有的轧管工艺的技术经济特点和世纪之交无缝钢管生产技术发展值得思索的问题。

关键词: 无缝钢管; 发展; 回顾

中图分类号: T-0.9; TG335 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2311(2004)03-0054-05

1 无缝钢管生产工艺的过去、现在与将来^(A1)

1.1 无缝钢管生产工艺发展过程的历史回顾

1.1.1 生产工艺技术发展的3个阶段

自从曼内斯曼兄弟发明斜轧穿孔工艺以来,至今已有一百余年时间,在这段时间里,无缝钢管生产工艺技术的发展经历了以下3个阶段。

(1) 从19世纪80年代至20世纪30年代的近半个世纪里,先后出现了周期轧管机(1892年)、顶管机(1899年)、连续轧管机(1901年)、自动轧管机(1903年)、狄塞尔轧管机(1932年)、三辊轧管机(1937年)和挤压机等7种钢管生产工艺,这些工艺均经工业生产实践检验,越来越成熟,并逐渐定型。当时得到广泛应用的是自动轧管机和周期轧管机;而顶管机和三辊轧管机应用不多,因而其所生产的钢管只占很小的比例;连续轧管机和狄塞尔轧管机却几乎没有什么发展。

(2) 从20世纪40年代至80年代初约40年的时间里,全浮动芯棒连轧管工艺得到很大的发展,这可以美国的2个连轧管厂和德国的2套连轧管机组的投产为佐证。意大利达尔明贝尔加莫钢管厂MPM轧管机(1978年)和日本八幡厂半浮动芯棒连轧管机的投产(1983年),标志着连轧管工艺发展到了3种连轧工艺并存的新阶段。在这一期间,无缝钢管生产工艺的发展还表现在:顶管工艺发展成为CPE工艺,张力减径技术的广泛应用,连铸圆坯成功地用于轧管等。

(3) 自20世纪80年代初至90年代末的10多年时间里,三辊轧管机和狄塞尔轧管机都有了改进,出现了新型的三辊轧管机和Accu Roll轧管机。此外,还出现了三辊行星轧管机(1982年)、CPS工

艺(1989年)和PQP工艺(1993年)。应该指出,锥辊式穿孔机的复出是这一阶段的一大突破,它将对未来无缝管生产技术的发展产生巨大的影响。

1.1.2 生产工艺发展的回顾

对这100多年无缝钢管生产工艺发展历史的回顾,有助于弄清各种生产工艺的兴衰,这种“兴”与“衰”,除了有历史背景条件的影响外,最根本的是工艺本身所固有的长处和短处在技术发展历史长河中的显露。这种回顾对于立足当前,展望未来不无裨益。现从以下四方面进一步对上述发展过程加以追述。

(1) 曼内斯曼兄弟发明斜轧穿孔机后原想通过实心坯穿孔一次成管,但经过多次试验失败后才在二重式轧机上进行了将空心坯套在芯棒上加以延伸的试验,这种方法生产的钢管长度不大于4~4.5 m,而且质量很差,由此导致了曼氏兄弟于1892年发明周期轧管机。当时的周期轧管机采用人工喂料,因芯棒很重,喂料很费力气,生产效率很低。当早期在曼内斯曼公司工作,并参加过早期钢管生产的斯蒂弗尔工程师(瑞士人)移居美国时,美国钢管界正在探索用空心坯快速延伸的工艺。由于斯蒂弗尔的努力,第1台自动轧管机于1903年11月在美国Greenville诞生,所生产管子的最大外径为102~140 mm。在美国发展自动轧管机的同时,德国也从完全不同的途径研究了另一种轧管工艺,即在原已存在的艾哈德水压冲孔工艺的基础上,采用环式孔型对冲孔杯状体进行延伸,这就是顶管工艺。因此,从1886年发明斜轧穿孔机后,在将近20年的时间内出现了3种可用于工业生产的轧管工艺。

(2) 连续轧管机的发展道路是比较曲折的,早

期的几次试验，由于受传动技术的限制均告失败，有一些轧机经短期运行后即被迫停产，这包括：1891年建设的5机架Kellogg连轧管机；1901年建设的12机架Alois连轧管机；1913年建设的7机架Fassel连轧管机^①和1932年建设的21机架Foran连轧管机。Foran所设计的连轧管机，据称在技术上是成功的，失败是由于Globe钢管公司经济上的原因。但是总的说来长芯棒连轧管技术在20世纪前半期没有多大的发展，直到1949年、1950年2套设有张力减径机的单独传动的全浮动芯棒连轧管机组在美国Lorain厂和Gary厂投产后，才算有了长足的进展，至1972年德国牟尔海姆2号连轧管机组投产时，这种轧制工艺才比较完善，所轧钢管质量优良，轧机能力大大提高，在小直径钢管生产领域内占有很大的优势。到1978年达尔明贝尔加莫钢管厂的MPM轧管机投产后，连轧管工艺在较大直径钢管的生产领域内也占有优势。

1983年日本八幡厂的半浮动芯棒连轧管机的投产，开始了3种连轧管工艺并存的时期。采用连轧管工艺的钢管厂竞争能力强，经济效益好，其突出优点是：产量高（年产量50万t以上），产品质量好，能生产的管子品种规格多，管子长，收得率高。这些优点决非其他轧管工艺所能比拟的。

(3) 与连轧管工艺获得巨大发展的同时，各种古老的轧管工艺进入了一个全面翻新的时期，这包括：

a) 单槽自动轧管机和串联布置的自动轧管机

日本四大钢铁公司在1977~1978年间共有4套新型的单槽自动轧管机投产，所生产钢管的最大直径为381, 406 mm。在小直径钢管生产领域内采用串联式布置的自动轧管机是原苏联的做法，所生产钢管的直径为140~250 mm。但经过不到20年的发展，证明这两种做法不能克服自动轧管工艺所固有的缺点，“短顶头轧管”终究不如“长芯棒轧管”，于是这两种改进了的自动轧管工艺未获发展。

b) CPE工艺

CPE工艺的缺点在1974年的顶管工艺学术讨论会上进行了比较全面的论证。为了克服采用这种工艺生产的毛管短、壁厚薄、收得率低等缺点，在古老的顶管工艺中采用斜轧穿孔法代替水压冲孔法，将管坯穿透，然后用专用设备轧成一个可以承受顶推力的杯底。这种方法可以采用较大重量的管坯，生产较长的管子（可达24 m），并提高收得率。但

其收得率仍比其他工艺低。

c) 新型狄塞尔轧管机（Accu Roll轧管机）

狄塞尔轧管机是在狄塞尔穿孔机的基础上发展起来的。最原始的工艺是：将在狄塞尔穿孔机上穿孔后的空心坯，穿入芯棒，在另一台狄塞尔轧管机上轧制成管。从构造上讲两者基本相同，不同点仅在于前后台。

第1台狄塞尔轧管机于1932年在美国Beaver Falls厂投产，由于生产率较低，在20世纪40年代末停产。40多年后，美国Aetna Standard公司采用了一些改进措施，并称Accu Roll轧管机为“下一代的轧管机”，实际上这种工艺的固有缺点如延伸系数小、毛管长度短以及可能出现的内部质量问题依然存在。

d) 新型三辊轧管机

从工艺上讲，新型三辊轧管机并无实质性变化，但由于采用了NEL控制系统，因此可以达到轧薄壁管的目的。德国MDM公司将这种新型三辊轧管机称之为High Performance Assel Mill。该型轧管机所轧管子最大外径可达356 mm，最小壁厚为2.5 mm，径壁比可达40（实际上这是指外径为324~356 mm而言，当外径为139.7~219 mm时，径壁比为35~37）。但不管怎样，对三辊轧管机来说，这确是一大进步。

这种轧机的核心技术是采用管端自动控制系统（NEL系统），即轧辊液压快速打开装置和轧制过程结束之前的预压法。存在的问题是轧薄壁管时壁厚公差增大。

(4) 连铸圆坯的使用和穿孔、张力减径技术的发展。圆坯连铸技术的成功，一方面促进了斜轧穿孔工艺的发展，使得狄塞尔轧管机在新的条件下复活；另一方面终结了压力穿孔机（PPM）在新建轧管厂中的进一步应用。在无缝钢管生产领域内，以连铸圆坯为原料进行斜轧穿孔几乎已成定局。

随着20世纪50年代张力减径技术的成功，提高了小直径钢管生产的经济性。但为了减少与张力减径机联用的轧管机组的切头损失率，要求进入张力减径机的毛管尽可能长，因此，凡是轧制毛管较短的机组，不宜与张力减径机联用。当前，张力减径技术的发展趋势主要是：采用CEC控制、发展混合传动方式以及工艺过程自动控制。

以上所述基本勾画了无缝钢管生产工艺100多年的发展概况。

1.2 无缝钢管生产工艺的现状

这里所讲的工艺现状有两层含义：①各种生产工艺并存的情况，包括从19世纪就已形成的工艺以及20世纪80~90年代才形成的新工艺；②这些工艺的技术现状、经济指标和所轧钢管的质量状况。

1.2.1 现存工艺的几种情况

就现存工艺而言可归纳为以下4种情况。

(1) 经典的古老工艺，即周期轧管工艺和自动轧管工艺。

(2) 发展了的连轧管工艺，即全浮动芯棒、半浮动芯棒和限动芯棒连轧管工艺以及在限动芯棒连轧管工艺上发展起来的PQP和CHM工艺。

(3) 翻新了的古老工艺，即CPE工艺、新型三辊轧管机和Accu Roll轧管机。

(4) 崭新的轧管工艺。

崭新的轧管工艺这里介绍CPS、三辊行星轧管机、三辊式连轧管机和PQP工艺、少机架连轧管机。

①CPS工艺。南非Tosa钢管厂于1989年进行技术改造，拆除了顶管机，代之以CPS工艺。管坯在轧辊垂直布置的锥辊式穿孔机上穿孔，然后直接进行张力减径轧管。穿孔坯外径为150~190 mm，张力减径后钢管外径为33.4~88.9 mm，最小规格为 $\Phi 33.4 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$ 。也可减径为外径88.9~168.3 mm的钢管。该厂锥辊式穿孔机的延伸系数为4.17~5.5，穿孔坯的径壁比为25~27.5，已接近热轧管。CPS工艺未获成功，故该厂在1993年6月第2次改造时采用了4机架MINI-MPM工艺。

②三辊行星轧管机。三辊行星轧管机的3个轧辊相互间成 120° 布置，并绕轧件旋转，从而使轧件的断面积得到减缩。这种轧机最初用于棒材生产。第1台生产无缝管的三辊行星轧机于1983年在德国Eschweiler投产，其产品规格为：外径70~219 mm，壁厚4.5~6.0 mm。年产量仅6万t。迄今为止，采用这种工艺生产钢管仅此一家。

③三辊式连轧管机和PQP工艺。1993年6月达尔明贝加莫钢管厂新的斜轧扩径机投产，它采用MPM轧管机轧制的母体管，经过扩径（最大扩径率为75%~80%），生产外径为610 mm的钢管。该厂的1台大型周期轧管机被拆除。在当年9月匹兹堡钢管会议上意大利因西公司又推出了PQP（三辊式连轧管机）和VIP（轧辊垂直布置的锥辊式穿孔机，并采用导板）两项新技术。在11月的香港钢管会议上该公司将以上成套新技术称之为PQP工艺，

该工艺以VIP+PQP为核心，精轧部分采用定径机、MD-SRM（混合传动的张力减径机）或NRE（新型斜轧扩径机），其新颖点是三辊式连轧管机采用中直径连轧管为母体管，斜轧扩径生产大直径管。

④少机架连轧管机（CHM）。意大利因西公司于1990年初提出MINI-MPM工艺方案，即在限动芯棒连轧管机上以4~5个机架轧出质量合格的钢管，以达到降低投资，经济生产的目的。该工艺方案于1993年在Tosa厂正式投产。这样，紧凑式轧机以最少的机架数生产质量合格的钢管就构成了一种新工艺。

日本新日铁公司将这种少机架连轧管机称为CHM工艺。在东京制铁所采用3个机架按限动芯棒连轧管工艺进行试验，其目的在于取代该厂的自动轧管机，工艺试验成功后，在进行工业生产时要增加1个机架以便轧圆抽棒。

德国德马克公司从半浮动芯棒连轧管工艺出发，发展这种紧凑式轧管机，用6个机架生产外径为109 mm的管子。实际上这种轧管机组还不够紧凑，但是说明限动芯棒连轧工艺和半浮动芯棒连轧工艺都在保证管子质量的前提下减少机架数，进入中、小直径钢管生产领域。

1.2.2 各轧管工艺的比较

无缝钢管生产工艺的现状，从总体上讲，仍可用“先进性差别很大，多种工艺同时存在，轧机效率、产品质量、生产经济性参差不齐”加以概括。在工业生产竞争剧烈的今天，这种并存的局面只能是一种非稳态，优胜劣汰，势在必行。

(1) 技术经济指标

表1列出了几种轧管工艺的技术经济指标。

从表1可以看出，单位时间内所轧管子长度：长芯棒连轧管机最高，周期轧管机和自动轧管机偏低。从轧管长度来看：除三辊行星轧管机外，长芯棒连轧管机属轧管较长的范围。因此，年产量在50万t以上的轧管厂，都采用连轧管工艺，是因为这种轧机具有高的效率和良好的经济性。

(2) 产品质量

表2列出了几种轧管工艺对产品质量的影响。另外，对毛管壁厚公差的影响还取决于穿孔过程。一般说来，纵轧延伸过程对穿孔坯壁厚偏差既不减小，也不增大；而斜轧延伸过程则具有减小穿孔坯壁厚偏差的作用（三辊行星轧管机除外）。

(3) 经济性

由于长芯棒连轧管机的产量高、质量好，所以

表1 各种轧管工艺的技术经济指标

序号	轧管工艺	主要参数					
		D_{\max}/mm	D/S	$S_{\text{roll}}/\text{mm}$	L_{roll}/m	μ_{\max}	轧制速度/ $(\text{m}\cdot\text{min}^{-1})$
1	全浮动芯棒连轧管机	177.8	3.6~40	3.25	33	4.5	158
2	半浮动芯棒连轧管机	245	3.4~34	3.5	40	4.0	140
3	限动芯棒连轧管机	426(245)	8~45	4.5	36	5.5	120
4	MINI-MPM	168 (245)	3.8~42	5.25(4.5)	30(15)	3.8(2.8)	
5	CPE	245	<40	3.25	24	6	72
6	新型三辊轧管机	245	<40	2.5	25	6	35
7	新型狄塞尔轧管机	245 (273)	4~35	2.5	15	2.5	38
8	三辊行星轧管机	219	35	4.5	100(40)	12	
9	CPS	179.8	27.5 ^①	3.4	40 ^② (10)		
10	自动轧管机	406(114.3)	<34	3.6	16	2.0	45
11	周期轧管机	650	8~40	6	30	15	40

注：①穿轧后；②精轧后。

表2 几种轧管工艺的工艺性缺点比较

工艺名称	工艺性缺点	影响
CPE	形成杯底	降低收得率
自动轧管	固定顶头轧制	影响内表面质量、毛管太短
狄塞尔轧管	轧件承受交变弯曲载荷	产生发裂、影响品种范围
CPS	延伸变形在无内工具的条件下进行	无法控制内表面质量

具有较强的竞争能力。但所需的一次性投资亦大，若按吨管所需的投资计算，其还是具有可比性的。

1.2.3 轧管工艺的发展趋势

在上一个世纪之交，无缝钢管生产逐渐成为钢铁工业的一个重要分支，又经过20世纪的发展，7种轧管工艺的形成和连轧管工艺的长足进展以及在20世纪80年代几种经典轧管工艺的翻新，由此形成多种工艺并存的局面。这样一种“推陈出新、重新组合”的趋势已基本终结，这可作如下理解。

(1) 各种穿孔工艺诸如曼内斯曼穿孔工艺、斯蒂弗尔穿孔工艺以及压力穿孔工艺和锥形式穿孔工艺相比较均已逊色，故在变形第一阶段已无别的工艺可供选择。

(2) 几乎所有的可以翻新的古老工艺均已翻新，如出自顶管工艺的CPE工艺，出自三辊轧管工艺的高效能三辊轧管工艺，出自狄塞尔轧管工艺的Accu Roll轧管工艺。继全浮动芯棒连轧管工艺之后，又出现了半浮动芯棒及限动芯棒连轧管工艺，因此，“推陈出新”已见底。

(3) 在变形的第三阶段（精轧阶段），张力减径技术的进一步发展，特别是在传动系统方面突破了过去“单独传动、集中传动”的框框，出现了混合传动的张力减径机，斜轧扩径工艺也更新为NRE工艺。所有这些构成了PQP、CPS工艺的基础。

1.3 世纪之交展望无缝钢管生产工艺的发展⁽²⁾

在世纪之交展望无缝钢管生产工艺发展时，有以下几个值得思索的问题：目前这种多种工艺并存的局面还会持续多久，哪些工艺还有发展前途，哪些工艺将被淘汰，对此，提出如下看法。

(1) 某些比较古老的工艺如在大直径管生产领域中的周期轧管工艺和自动轧管工艺将会被MPM（或PQF）+NRE的工艺所取代。在小直径管生产领域中的自动轧管机组将会被长芯棒连轧管机所取代，这几乎已成定论。

(2) 长芯棒连轧管工艺将进一步发展，其方向可能是：每个机架内的轧辊数朝3个轧辊方向发展；整个轧管机组朝紧凑式方向发展，即减少机架架数，进一步发挥MINI-MPM在小直径管生产领域内的优势；在连轧管工艺领域，其支类可能会有所简化，从长远来讲，不会总是3种工艺并存⁽³⁾。

(3) CPE工艺、新三辊轧管工艺和新狄塞尔轧管工艺可能会共存一段不太长的时间，因为目前这些工艺适合小产量、低投资的要求，但什么时候受到紧凑式连轧管机的影响尚需拭目以待。新三辊轧管机能否真正做到兼顾厚壁和薄壁管生产，尚待验证。

(4) 对无缝钢管生产来说，真正的突破是“两

阶段轧管工艺”。CPS工艺在Tosa厂的应用不算成功，但这种崭新的工艺可能还会有进一步的发展。另一个办法是采用连铸空心坯以实现“两阶段轧管工艺”。连铸空心坯这一技术比薄板连铸要老一些，但迄今未结硕果，它的成功将使现有轧管工艺发生很大的变化。

(5) 三辊行星轧管机前途未卜。自从美国Hunt厂采用这种工艺失败后，迄今在钢管生产领域内应用这一工艺的仅德国ESW钢管厂一家，这种工艺能否发展成为一项常规的钢管生产工艺，似乎否定的要多一些。

最后是经济效益问题。经济效益取决于管理和市场，但最根本点取决于工艺的先进性和与此密切相关的产品的竞争能力，这在伯明翰钢管会议上有所反映。伯明翰钢管会议的主题为“欧洲钢管工业的生存和未来”⁽⁴⁾。会议从“生产合理化、关闭、兼并是欧洲钢管工业界过去4年的主要情景”出发，将市场、经济效益和生产工艺联系起来，重点研究了以下几个问题。

- ①面对21世纪，欧洲钢管工业大方向是什么；
- ②欧洲哪一些钢管厂能在世界市场中生存下去；
- ③市场究竟需要哪些钢管产品；
- ④如何取得好的价格水平以便在世界钢管市场上竞争；

⑤钢管厂应采用什么样的生产工艺才能达到产品质量好、效益好的目的。

2 注 释

(A1) 此文原载于《宝钢技术》1995年第6期。

(1) 以往所见到的文献均称之为Fassel连轧管机，但Dr.Pfeiffer在第三届国际轧钢会议的报告中讲到这段历史时称：Alois曾是曼内斯曼公司的设计师。根据《曼内斯曼（公司）100年》一书，该设计师名字的正式拼写法为Aloys Fassel，因此分别建于1901和1913的两台轧管机均应称为Fassel连管轧机，在此予以更正。

(2) 展望只能是讲大趋势，而且需要有较长的时间区段才能验证。在上一个世纪之交谁能预见到无缝钢管生产工艺技术会发展到今天这种状况。但是，不管怎样，总有一个基本点，那就是“进化”、“发展”。从这个角度来讲，三步轧管工艺变为二步轧管工艺预计会有突破。至于液压成型（Hydroforming）制管工艺和两步轧管工艺相比，后者要成熟一些。究竟在什么范围内可以应用这一技术，那是继续研究开发的问题。在1997年6月举行的北美钢管会议上有4~5篇论文论述Hydroforming（Hydrostatic Stretch-forming），这就足以证明液压成型制造法已不完全是“纸上谈兵”，这种制造工艺可以说完全脱离了曼内斯曼轧管法这一传统工艺。

(3) 长芯棒连轧管工艺的生命力会不会像上一个世纪之交出现的周期轧管工艺和自动轧管工艺那样，仅活了几十年就衰老了。这要看在钢管生产工艺的发展方面有没有真正的突破，是不是有短流程工艺出现。在这里所讲的只是一种常规看法，可能只能管20~30年。

(4) 伯明翰钢管会议提出以下9个主要问题。①当我们走向21世纪时，欧洲钢管制造工业的走向是什么；②欧洲哪些国家能成为世界（钢管）市场的幸存者；③哪些产品是需要的；④我们如何取得钢管产品的良好价格以便在世界市场上竞争；⑤为了维持产品标准和利润水平，钢管制造商应采用什么工艺；⑥中欧和东欧哪些国家会成为主要的钢管制造商；⑦欧洲如何与亚洲竞争；⑧欧洲哪些高附加值的钢管产品能够成为支撑世界市场的力量；⑨为了扩展市场需要采用哪些生产方式和管理方法。

上述问题，可以说在会议上并没有解决多少，“欧洲钢管工业的生存与未来”这一严肃的问题依然如故地存在着。对亚洲以及中国的钢管厂比较敏感的是第7个问题，当然，我们对这句话的理解是：中国的钢管厂如何在与欧洲的钢管厂的竞争中占上风。

（待 续）

金如崧译注

● 信 息

大连富地机械制造有限公司排辊成型直接成方机组试车成功

大连富地机械制造有限公司采用国际先进成型技术（CFS成型专利）承制的300 mm×300 mm×10.5 mm排辊成型直接成方机组于2004年6月2日在该公司一次试车成功。该公司承制的世界上第1套500 mm×500 mm×20 mm直接成方机组也将于近期试运行。

（大连富地机械制造有限公司 李作辉）