

斜轧扩径工艺的最新应用^(A1)

——《无缝钢管百年史话》(续释9)

摘要:在钢管热扩径工艺中,斜轧热扩径是一种既古老又成熟的工艺,介绍了斜轧扩径工艺的过程,斜轧扩径机结构特点,斜轧扩径时管子金属的流动和变形特点,管子质量。并较详细介绍了意大利Dalmine钢管厂(公司)在增设 $\Phi 711\text{mm}$ 斜轧扩径机所实施的生产重组情况。同时也介绍了世界上现有的几台拉拔式扩径机的情况。

关键词:扩径工艺;斜轧扩径机;拉拔式扩径机;产品质量;生产重组

中图分类号: TG335.11 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2311(2003)06-0053-07

1 斜轧扩径工艺的工艺过程、设计及应用

钢管斜轧热扩径工艺是一种既古老又成熟的工艺⁽¹⁾。最近,该工艺在意大利Dalmine钢管厂⁽²⁾(以下简称Dalmine公司)的 $\Phi 711\text{mm}$ (28in)斜轧扩径机的设置中得到了翻新,已经过两年成功地运行。本文将从以下三方面对这一工艺进行评述。即

- (1) 所采用的工艺及设计;
- (2) 在新建钢管厂或老厂改造时采用这一工艺的可能性;
- (3) 这种热扩管的质量及其市场竞争力。

1.1 斜轧扩径工艺

1.1.1 工艺过程

斜轧扩径由以下变形阶段所组成:

(1) 经加热至适当温度的扩径管坯,在去除氧化铁皮后,以螺旋状回转的运动方式被喂入扩径机。管坯在两个锥形辊和顶头之间进行扩径轧制。顶头支持在顶杆上。在扩径过程中,直径扩大,壁厚减小,延伸率接近于1(图1)。

(2) 扩径后的管子经过均整机轧制,对管子施以很小的变形量以改善表面质量。

(3) 均正后管子的变形过程结束,如有必要,管子经加热后在定径机上进行轧制以获得最终尺寸。

在扩径过程中,通过顶头的喷射孔向母体管内壁喷射液体以对其内表面除鳞和润滑,这样,由于与氧化物集结而形成的有关缺陷得以消除,内表面质量得以改善。由于顶头的磨损减小,其寿命得以延长。

通过对 $\Phi 711\text{mm}$ 斜轧扩径机的观察,该斜轧扩径管径机的主要优点是:采用很少几种尺寸的母体管

(如1~2种)即可获得覆盖范围很广的成品管尺寸,同时更换工具所需时间对工艺过程的运行经济性不产生实质性影响(因仅采用为数有限的几种形状的轧辊与导板,使所需工具储备少,易于管理;对于每一种成品直径和壁厚只采用一种尺寸的顶头,可以很迅速地加以更换)。

1.1.2 扩径机结构

斜轧扩径机是设有2个锥形辊的斜轧机,轧辊轴位于2个错开的水平面并具有很大的轧辊倾角。由于轧辊倾角的存在,每个轧辊都是悬臂式安装的。为了提高设备刚性,要求对轧机进行专门设计。图2为安装在轴上的轧辊的有限单元网络。

轧制时顶头和顶杆是相连接的,但可以很迅速地装拆。轧完每一根管子后都需卸下顶头,以便对顶头进行冷却和涂石墨润滑剂。顶杆位于轧机的后台,因此轧制时,它是承受压力的。为了避免轧制时因顶杆弯曲、压缩而产生的不稳定性,要求轧机后台设计合理。

顶杆采用液压小舱定位。液压小舱也可以在轧制过程中调正顶头位置,这使控制系统得以对因顶杆弹性和热膨胀而产生的长度变化进行补偿,从而保证产品质量的恒定性。轧制时管子受到上下导板的夹持,由于延伸量很小,所以导板对变形量几乎不起作用。

1.1.3 斜轧扩径时的金属流动和工具设计准则

为了使管子变形最佳化,对工具设计及轧机调正作了如下研究:

(1) 扩径机入口处先设计一段减径带,在这一区域内管子减径而不减壁,此时工件(管子)处于

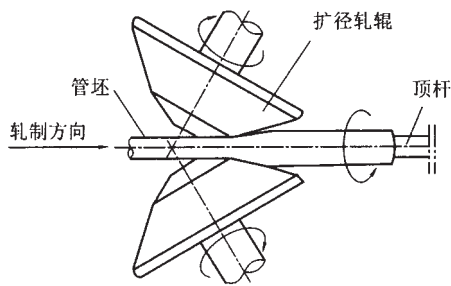


图1 斜轧扩径机轧制过程示意

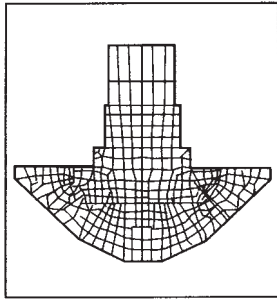


图2 轧辊及辊轴的有限单元网络

2个轧辊间，管子截面具有所要求的椭圆形。

(2) 管子的大量变形发生在扩径带，在这一区域管子扩径，壁厚减薄。

(3) 精轧带的作用是保证产品的表面质量和尺寸精度，管子在没有明显减壁的情况下可使壁厚更趋均匀和消除螺旋道，管子变圆。

采用专用的模块，用计算机设计包括轧辊、顶头和导板等工具。

轧辊辊形应满足如下要求⁽³⁾：①延伸率接近于1，因此主要是靠金属纤维横向延伸产生的变形以产生扩径减壁效应；②管子的角速度恒定，因此从入口端到出口端轧辊和管子间的传递比是定值，由此，扭转和切向变形减至最小，表面质量改善，能耗减少，这一条件只有采用锥形轧辊才能满足；③为了减小管子上产生的应力，必须对管子的椭圆状加以限制，但为了避免过分包紧顶头，需要一定程度的椭圆度。

与一定壁厚范围相对应的一种管径设计一种顶头，其形状确定原则是：①进入曳入带（即2个轧辊间距离最小的那一段）后顶头就和管子相接触；②为了限制在管子上产生的应力，扩径减壁必须以适当的减壁量（率）发生在足够长的一段区间内；③顶头的最后部分必须具有平滑效应，并使管壁均

匀一致。

每一管径具有一组导板，因其不参与变形，所以导板形状的设计纯从几何学角度出发。

1.1.4 扩径机的整定与过程控制

扩径机的调整依靠在线的软件包，基于少数基础数据（管径、钢种、温度等），用计算机对整个轧制线所需的调整参数进行计算。此外，这一软件包也对轧制时的动力参数（如力能、电流、电机功率等）进行估算。

轧制时数据存储系统对整个轧线的最主要的工艺和操作参数进行测量、显示和记录，这有利于提高产品质量和轧机效率。这是因为数据存储系统测得的实际值和由调整数模计算所得的预期值两者通过比较，控制系统或操作者就可以立即对差异加以调整。此外，每一根热扩管的主要数据均给以存储，以用于进一步的工艺操作分析和改进实际操作。

斜轧扩径机的一个主要特点是：产品质量稳定，壁厚保持不变。这是由于液压小舱可以对轧机由于轧制时顶头位移而造成的任何长度尺寸变异进行补偿。

轧制时顶头位置发生变异的原因如下。

(1) 顶杆的弹性压缩。这是由于轧制时作用在顶头上的压力而造成的，如不加以补偿，它将使顶头向轧机轧出端移动，以致成品管壁厚变厚。顶杆的弹性模数是已知的，而由液压小舱可以测得压缩力的大小，故这一不良效应可以由液压小舱相应的位移而予以补偿。

(2) 顶杆的热膨胀。这是由于扩径管的加热效应造成的，它将使管子内径产生纵向差异；另外，由于顶杆的热膨胀，它将使顶头向轧机轧入端移动，从而使管壁平均厚度小于要求值。

(3) 由于受热而产生的顶头热膨胀，顶头直径变大，管子壁厚变薄，其影响特别明显。应用移动液压小舱的办法以补偿顶头、顶杆的热膨胀，先由热—机械数模算出所要求的液压小舱的运动规律，其计算的依据是有限差值法。它根据轧机的实际操作对顶头位移量进行数字模拟并加以放大，而由液压小舱控制系统进行实时补偿。

1.1.5 几种应用方式

1) 扩径作业线的平面布置

(1) 离线式布置⁽⁴⁾即扩径作业线布置在主轧机的另一区域。这种情况下母体管是冷态的，有时切成单尺长度后再在步进式炉内加热。这种布置由于

采需要另设1座加热炉而使投资增加，并因加热炉操作而增加加工费用和金属材料烧损消耗。然而这一布置总体效率高，2套轧机的利用率高。

(2)热扩管机和主轧机在线布置⁽⁵⁾。这种方式因可以不设加热炉或采用能力较小的加热炉而设备费用降低，相应还降低了加工费用和提高了收得率。

2)扩径作业线布置中生产母体管的主轧机型式

母体管可在MPM轧机上生产，也可以采用自动轧管机生产，此时母体管是单尺长度，不需中间切断。此外，自动轧管机生产的母体管质量可以通过斜轧扩径而有所改善。

1.2 技术经济因素

每一种无缝钢管生产工艺在它经济地生产管材尺寸范围方面总是有某些限制。这是由于轧机功能的设计和生产成本差异的原因，如大规格轧管机不是设计来生产小规格管材的，因为这种生产不经济。即使被认为是“万能”的轧制工艺如限动芯棒轧管工艺，所设计的轧机也只在产品大纲中的某些品种范围内才具有生产的经济性。它也可以生产有限数量的某些利润较低的产品，但生产这种品种利润较低是由轧管机设计特征所决定的，而不是轧制工艺和产品本身造成的。

无缝钢管轧制工艺的基本变形阶段可以归结为：将经过加热的管坯穿轧成空心坯；将空心坯轧成母体管；将母体管精轧成最终尺寸的热轧成品管。

上述每一个变形阶段所能达到的最大变形量取决于所采用的工艺。为扩大无缝钢管轧制线的管子尺寸范围，设计了附加轧机，以使母体管进一步变形。这些附加轧机是：①定径机，它具有有限的减径量（最大减径量为25%左右），而壁厚略有增加；②张减机，它具有相当大的减径量（最大减径量为80%），同时壁厚可以在一个相当宽的范围内变化；③扩径机⁽⁶⁾，可以产生相当大的扩径量（最大扩径量为75%），同时壁厚减薄。

上述这些轧机使得轧管作业线产品的尺寸范围变宽，并可以和主轧机同时安装，也可以作为二期工程安装，以作为对市场新的需要的一种反应，或当基本尺寸范围内的产品生产能力过剩时，使现有轧制设备的生产能力得以最佳化。

1.2.1 扩径机

无缝钢管扩径可以采用拉拔式扩管机或斜轧式扩径机。过去采用拉拔式扩径机⁽⁷⁾，20世纪60年代

INNSE公司⁽⁸⁾向阿根廷⁽⁹⁾、委内瑞拉⁽¹⁰⁾、中国（成都）⁽¹¹⁾、意大利的一些钢管厂和其他钢管厂提供过拉拔式扩径机，扩径后的最大管径达 $\Phi 915\text{mm}$ （36in）。拉拔式扩径工艺对产品质量和生产成本均产生负面效应，这是由于：加热和扩口后管子输送困难，容易产生壁厚不均现象；需要扩口操作，所以收得率低⁽¹²⁾；工艺过程本身有扩大管体缺陷的缺点；生产率低；工具费用高。

虽然世界上仍有一些拉拔式扩径机在生产，如由INNSE公司供货的中国原成都无缝钢管厂 $\Phi 610\text{mm}$ 拉拔式扩径机⁽¹³⁾，但在发达国家很少把它用于无缝钢管扩径。

虽然斜轧扩径工艺所依据的原理在19世纪就有了发展，但它在钢管厂的实际应用却是20世纪20年代的事，主要是在美国、德国⁽¹⁴⁾和捷克⁽¹⁵⁾。目前只有3台斜轧扩径机仍在生产运行中，即美国Lorain⁽¹⁶⁾USS/Kobe钢管厂的 $\Phi 660\text{mm}$ 斜轧扩径机和捷克Chomutov厂 $\Phi 533\text{mm}$ 和 $\Phi 710\text{mm}$ 斜轧扩径机。近来由于Dalmine公司新设计的 $\Phi 711\text{mm}$ （28in）斜轧扩径机的投产，斜轧扩径工艺得到了更新。

Dalmine公司的 $\Phi 711\text{mm}$ 斜轧扩径机在1993年6月投产，不论从经济效果或从技术性能、产品质量的角度来看这台轧机都是成功的，原因在于：①由于有自适应的计算和调整功能，它有很有效的过程控制的能力，轧机的调整是根据在线的工件尺寸的测量而进行的；②由于对在轧制过程中工件变形有计算机辅助的数字模拟功能，可以优化各种轧制参数，故能耗和工具消耗均降低，而质量得以提高。

采用斜轧扩径这一久为人知的早已成熟的工艺技术可以取得良好的操作效果和产品质量。

1.2.2 对市场的考虑

对无缝钢管市场加以考察可以发现斜轧扩径的应用有其特殊领域。

(1)就直径小于 244mm （9 5/8in）的管材而言，这一市场不应加以考虑，因为世界上有许多轧管机均可以低成本优质地直接生产这一尺寸范围内的管子，换言之，附加的轧制费用对于采用扩径工艺生产的无缝钢管的竞争力是不利的。

(2)就直径为 $425\sim 762\text{mm}$ （16 3/4~30in）的管材而言，这一尺寸范围最适宜于应用斜轧扩径机⁽¹⁷⁾。为了弄清这一点，可以考察一下，不采用扩径工艺的下列其他生产工艺：①自动轧管机组所生产的管子最大管径为 425mm （16 3/4in）。对于目前存在

的2台 $\Phi 425\text{mm}$ (16 3/4in) MPM轧管机亦如此(即已投产的Volzhskij和CIS的2台),日本住友的 $\Phi 425\text{mm}$ (16 3/4in) MPM轧管机正在建设中。②采用Ehrhardt工艺生产,这仅用于小批量生产的特殊用途的特厚壁管。③周期轧管机过去完全可以生产这一尺寸范围的管子,现世界上仍有许多周期轧管机在生产,和斜轧扩径工艺相比,周期轧管工艺不能被认为是生产这一尺寸范围内管子的恰当的工艺,因为:从质量角度来讲,斜轧扩径工艺可以达到更佳尺寸公差和更低的缺陷率;从与成本有关的因素考虑,周期轧管工艺效率低,成材率亦低;此外,在这一尺寸范围内周期轧管机采用钢锭为原料,而斜轧扩径机的母体管可以用较廉价的连铸圆坯。

这些就是导致Dalmine公司花费一大笔投资,将原来在周期轧管机上生产的这一尺寸范围内的管子,采用在MPM轧机上生产母体管,由新安装的斜轧扩径机来生产。

和无缝钢管相比较,在这一尺寸范围内焊管是很有竞争力的,特别是薄壁的碳钢或低合金钢钢管,但应该指出:在这一尺寸范围内采用UO成型工艺⁽¹⁸⁾生产,这不仅在工艺设备方面而且在焊缝探伤设备方面均需要很大的投资;由于焊缝本身是机械冶金方面的非连续性,所以焊管的机械性能的均匀性较差,且和无缝钢管相比较,抗腐蚀的能力亦较差;UO成型的工艺适用于大批量生产标准管,灵活性差,所需的原料也只能由少数几个制造厂生产供货;生产成本在很大程度上受按标准要求的检验程序的影响,成本比较高。由此可见在 $\Phi 425\sim 762\text{mm}$ 这一尺寸范围内的管子,很有利于无缝扩径管。

(3)就直径为244~425mm (9 5/8~16 3/4in)的管材而言,虽然世界上有很多的轧管机可以直接生产这一尺寸范围内的管子,而可省去与扩径工艺有关的加工费用。但值得考虑的是:安装斜轧扩径机可以扩大现有轧机生产的管子尺寸范围,特别是当轧机有剩余生产能力时;若母体管质量良好,则斜轧扩径机可以维持原来的质量水平;若母体管质量较差,则斜轧扩径机可以提高质量。

1.3 结论

安设斜轧扩径机可以扩大原有主轧机所生产的管子的尺寸范围,并可以提高产品质量,增加生产灵活性。

斜轧扩径机可以与主轧管机一样在线布置或离

线布置,视所要求的生产能力和轧制母体管的工艺特点而定。

斜轧扩径机对于改善母体管的尺寸精度,特别是壁厚不均很有效,但对表面质量没有不良影响。

对于采用古老工艺,不能生产优质管的现存的轧制线而言,增设斜轧扩径机,效果很好。对于在MPM轧机上生产的母体管而言,增设斜轧扩径机扩大了产品的尺寸范围,并对生产能力,降低成本和提高设备利用率均有良好效果。

由于斜轧扩径机易于操作,生产灵活性强,要覆盖整个扩径管的尺寸范围只需要几种尺寸的母体管,而且轧制过程完全自动化,因此生产利润高,即使对于小批量生产也能快速交货并有利可图。

就管径(可以生产非标准口径的管材)、壁厚、钢种和数量而言,斜轧扩径生产灵活,即使订货数量不多,也能很方便地经济地进行生产,此外母体管的原料通常是连铸坯。

对原有的轧管机增设斜轧扩径机可以有两大好处,一是将产品尺寸范围扩大至大口径管领域;二是提高原有主轧机的产量,这是因为斜轧扩径机所需的母体管壁厚要相对地厚一些。

若母体管质量较好,如在MPM轧机上生产的管子,斜轧扩径机并不降低母体管的尺寸精度和表面质量。若主轧机不能保证令人满意的质量水平,则随后的斜轧扩径工艺可以提高管子的尺寸精度(指壁厚公差和壁厚不均)和表面质量。

2 Dalmine公司的生产重组⁽¹⁹⁾

由于Dalmine公司 $\Phi 711\text{mm}$ 斜轧扩径机的安装投产,古老的斜轧扩径工艺有了新的发展。

由于INNSE和Dalmine公司联合开发的斜轧扩径工艺采用很少几种尺寸的母体管就可将其扩为范围很宽的不同直径壁厚的管子,扩径时壁厚减薄,稍有延伸,尺寸精度和表面质量均有所提高。

这样,所生产的无缝钢管能具有所要求的冶金组织,碳钢和低合金钢管的材质均匀一致,质量可以和优质焊管抗衡,本节论述的是新轧机第一年所取得的成果。

斜轧扩径工艺扩大了原来轧机的产品尺寸范围,并且质量明显提高,成本降低。这种轧机的生产灵活性使轧管生产能获利润,即使小批量订货。

2.1 Dalmine公司的生产重组

斜轧扩径项目是整个Dalmine公司生产总体改

组计划的一部分,这一生产重组的目标是:①恢复总体效益,特别是结构性效益;②在国内钢管生产改组的前提下对各个作业线的商业运作进行重组;③加强销售分配网络的工作。

在重组计划开始执行前一年即1987年,Dalmine公司的2个炼钢厂和3个轧管厂共生产钢44.8万t,钢管52.8万t。在离轧管厂250公里处的另一个工厂设有油井管生产作业线(热处理和车丝)。

1993年生产重组计划完成时,通过以下措施,强化了新的生产系统,这包括:并入生产机械结构的钢管厂,油井管加工作业线移入轧管厂,同时将主要生产线改组成“炼钢—MPM轧管—斜轧扩径”。这条生产线还包括精整作业线。年生产 $\Phi 114\sim 622\text{mm}$ 的钢管55万t。

2.2 生产改组前的基本情况

在1987年公司设有MPM轧管和周期轧管2条轧制线。MPM轧管车间生产 $\Phi 114\sim 356\text{mm}$ (4 1/2~14in)的管子,年产量为33.7万t,周期轧管车间生产 $\Phi 244\sim 711\text{mm}$ (9 5/8~28in)的管子,年产量为8.7万t。炼钢厂设有45t的炼钢炉,用于生产周期轧管机用的钢锭;90t电炉和连铸机生产MPM轧管机用的连铸坯。上述两种产品(即圆坯和钢锭)年产量为44.8万t。因此需要购入相当数量的圆坯以补充钢产量的不足,并向小直径钢管厂供料。生产改组前钢管公司的竞争能力的情况如下:炼钢厂由于生产率低,竞争能力很差;MPM轧管厂对于直径大于179mm的管子来说生产率是很高的,但设备利用率低于70%;周期轧管厂,对大直径钢管的生产来说,生产能力是足够的,但由于采用钢锭,原材料成本高,工艺陈旧,质量水平低下。

根据上述情况为了提高竞争能力,生产系统重组的总目标是:提高MPM轧管厂的设备利用率;由于扩径管坯单重提高,使MPM轧机按新的产品大纲提高其产量水平;用连铸圆坯取代钢锭。

其具体做法是:①对炼钢厂而言,45t炼钢炉停产,为了提高管坯自给能力要提高炼钢能力,以提供本厂所需的全部连铸圆坯。②对于 $\Phi 406\text{mm}$ (16in)以上钢管的生产而言,拆除周期轧管机,设置扩管机和均整机,其母体管由MPM轧机生产。

减少投资费用的办法是:

充分利用空地、已加盖的面积和服务区域的面积;充分利用周期轧管车间的热处理精整和无损探伤设备,将其用在轧制线平面布置内;在基本建设

及新厂起动期间周期轧管机继续生产,减少停产损失,维持市场供应。

2.3 生产重组后的一些情况⁽²⁰⁾

设计、基建阶段共花14个月,投产初期的生产情况是:6个月达到设计能力的70%,9个月达到设计能力的90%,正式投产时间为1994年12月31日。

对于某一种相同规格的管子,生产一根管子的时间由395s降到110s,扩径机的生产能力受加热炉加热能力(40t/h)的限制,对周期轧管机来说,这一限制是不存在的,因为对于上述相同规格的管子来说,周期轧管机的生产能力仅21t/h。

和高生产能力一起引人注意的是寻找快速更换工具的技术方案,只有这样才能提高生产灵活性,甚至实现小批量订货生产。

由于扩径作业线的操作高度自动化,工具更换简便及设备台数少,因此一个班只需11个操作工,而过去在周期轧管车间一个班则需18个操作工。

就从炼钢生产到轧管生产的整个生产过程而言,新的生产工艺可以节能9%。

扩径作业线的特点之一是诸如顶头、导板等工具比较简单,而对全部管子外径的范围只用一种形状的导板和轧辊。此外,工具重车只需用简单的加工机床,而且由于冷却、润滑好,工具磨损减少。和周期轧管机比较,扩径生产所需工具库存少,其价格约为周期轧管的1/3,而就工具单耗而言约为周期轧管的1/2。

若用两种生产工艺轧制相同尺寸的管子,则扩径壁厚公差能减小30%,壁厚不均能减小50%。

扩径机变形周期短,变形是在一个狭窄的温度范围内进行,而轧制过程的自动控制系统能对整个轧制线作热循环调整。因此,可以对微观组织进行控制,这对提高抗张强度和韧性等物理性能是有利的,并促进产品的各向同性。在相同的条件下抗张强度可提高5%,韧性可提高30%。

由于连铸生产过程的可靠性和连铸圆坯缺陷的不断减少,这对缩短轧制时间,降低生产成本及精整操作各方面均有利,新的工艺过程可以减少50%的技术废品和质量废品。

3 注 释

(A1)在1995年3月举行的费城国际钢管会议上INNSE和Dalmine两公司联合宣读了关于斜轧扩径工艺及其应用实例的论文,接着INNSE公司又在

1996年第1期的“Tube & Pipe Technology”杂志上发表题为“Quality Improvement and Production Flexibility Obtained Through Hot Rotary Expansion of Tubes”一文，其内容主要是讲斜轧扩径工艺技术，故将这篇文章列为本章的第1篇，费城会议论文内容包括Dalmine公司采用这一工艺对钢管生产进行改组的概况和斜轧扩径工艺两部分，因此删除其与第1篇文章内容重复部分而采用其应用实例部分的内容作为本章的第2篇，文章标题是根据实际内容后修改的。

(1)钢管热扩径主要有斜轧扩径和拉拔扩径两种方法，从它的发展历史来看首先得到发展的是斜轧扩径，然后才是拉拔式扩径，美国和德国在同一时期即1925~1933年间通过不同的途径发展了钢管斜轧扩径机，而拉拔式钢管热扩径机是1936年在Dalmine公司投产的。后来Dalmine公司又增设了可扩径生产最大直径为925mm的拉拔式扩径机，因此，可以说意大利将这一工艺发展到更为完善的状态。

由此可见，热扩径工艺的发展已有70余年的历史了，真可称之为“Long-time known process”（原文中用语）。

根据Dalmine公司新的斜轧扩径机投产的经验，INNSE公司将这种工艺正式称作NRE工艺。

(2)Dalmine公司1906年建于意大利米兰，职工人数约13 800人，这次改组前，钢管生产能力约为150wt，其中无缝钢管90wt，焊管60wt。

该公司共有以下5个厂，即：

①Bergamo钢管厂，设有MPM轧管机组，可生产最大外径为355.6mm钢管；小型连轧管机组，可生产最大外径为89mm钢管；大型周期轧管机组，可生产最大外径为600mm钢管；扩管机组，可生产最大外径为925mm的钢管。

②Massa钢管厂，共有2个车间：周期轧管车间，设有 $\Phi 194\text{mm}$ 和 $\Phi 356\text{mm}$ 周期轧管机各1套；管加工车间，年生产能力为23wt，其中套管19wt，钻杆1.5wt，油管2.5wt。

③Costa Volpino钢管厂，设有 $\Phi 203\text{mm}$ 周期轧管机，生产直径为95~219mm的钢管；30.38MN挤压机组，生产 $\Phi 48\sim 219\text{mm}$ 的钢管；冷轧冷拔车间。

④Piombino钢管厂，设有1号连续炉焊管机组，生产 $\Phi 9.5\sim 64\text{mm}$ ($3/8\sim 2\ 1/2\text{in}$) 焊管；2号连续炉焊管机组，生产 $\Phi 9.5\sim 38\text{mm}$ ($3/8\sim 1\ 1/2\text{in}$) 焊管。

⑤电焊钢管厂，设在塔里安奴雅塔。

(3)1930年Gruber在“Mittelungen K-W Institute”上著文论述斜轧扩径机轧辊辊型设计，文中首先提出扩径机辊型设计的3个基本准则，即：“始终接触”准则（即轧辊和在变形区中的钢管必须在整个变形区内经常保持互相接触的2个旋转体）；“无扭曲轧制”准则（即必须消除轧件表面层在变形区中的扭转）；“喂入速度恒定”准则（即钢管轴向速度应保持恒定）。

但上述条件不可能同时满足，适当的孔型设计只能近似地满足上述条件，这就是使用和双曲线体渐近的锥面体形状的轧辊（Cone-shaped roll），这和此处提出的三项基本准则，其原理上是一样的，但深度有所不同。

(4)由于新型的钢管厂采用多种精轧手段生产各种规格的钢管，故INNSE公司建议：当采用斜轧扩径机生产外径大于340mm ($13\ 3/8\text{in}$) 的管子时，以采用off-line(离线)的平面布置为宜。

(5)对采用斜轧扩径工艺的新建的钢管厂来说，只要可供利用的面积和第三变形阶段的具体情况允许，应尽可能采用In-Line(在线)平面布置。

(6)在无缝钢管生产中通常将定、减径（包括张力减径）纳入第三变形阶段。当前INNSE公司将第三变形阶段称为母体管的精轧，从母体管（即由轧管机轧出的管子）的管径减缩、基本不变和管径扩大三个方面将张减、定径、扩径并列为第三变形阶段的3种精轧方式，并给出NRE工艺的基本参数，即：延伸系数 $\mu=1.1$ ；扩径量 $\Delta D=75\%\sim 80\%$ 。

(7)采用拉拔式扩径，其拉拔式扩径机组是由管端加热炉、端部扩径机（扩口机）、再加热炉、扩径机、氧气切割机及随后的精正设备所组成。

(8)INNSE公司属Italimpianti集团，由Innocenti和Santeustacehio两厂合并而成，根据1995年9月Fintecna和Technit、Mannesmann Demag签订的合同，INNSE公司由Mannesmann Demag公司接管，继续从事管材设备、板材设备和连铸设备的生产制造，仍沿用原公司名称。

(9)阿根廷的Dalmine Safta钢管公司分别在1948年和1958年上了3台中型周期轧管机，生产 $\Phi 80\sim 177.8\text{mm}$ 的管子，并于1953年上了减径机以生产小直径管，最后于1963年安设了拉拔式扩径机以生产 $\Phi 305\text{mm}$ (12in) 的管子。

(10)委内瑞拉钢铁公司共有4套无缝轧管机组，

即：顶管机组生产 $\Phi 12.7\sim 140\text{mm}$ ($1/2\sim 5\ 1/2\text{in}$)的管子；二机架中型周期轧管机生产 $\Phi 60\sim 177\text{mm}$ ($2\ 3/8\sim 7\text{in}$)的管子；二机架大型周期轧管机生产 $\Phi 168\sim 406\text{mm}$ ($6\ 5/8\sim 16\text{in}$)的管子；拉拔式热扩径机生产直径为 610mm (24in)的管子，小时产量为 25t 。

(11)原成都无缝钢管厂的拉拔式热扩径机组是由INNOCENTI公司供货的，供货合同于1965年6月签字，1968年12月30日正式建成，首次试轧成功，扩制的大直径无缝钢管的规格为 $\Phi 426\text{mm}\times 8\text{mm}$ ，1969年1月30日正式投产。

(12)扩口 (Belling) 工序如下：管端加热后通过斜篦条进入管端扩口机前辊道，它将已加热的一端运往扩口机，固定钢管一端之后，扩口压力机将一凸模强行插入已加热的管端，使管端形成一环形带或称喇叭口 (如图3所示)。扩口后管端直径应等于或大于扩径后钢管的直径，但最多不得超过 $100\sim 150\text{mm}$ ，而扩口长度为 $300\sim 500\text{mm}$ 。

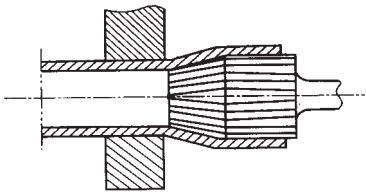


图3 拉拔扩径的喇叭口图示

(13)原成都无缝钢管厂的热扩径机组已近而立之年了，正如文中所说还在生产，这一方面是由于市场的缘故，因为就是这一机组将我国生产的无缝钢管的最大直径扩大至 630mm (拉拔式热扩径机组的总扩径量可达 45%)，成为周期轧管机轧制大直径、薄壁钢管的一种较完善的装置；另一方面也是由于它在技术经济方面具有一定优点的原因，如生产灵活性大，可生产异型管，质量可满足一般管的要求。其主要缺点是：金属消耗较大，约为 1.1 ，在直径扩大的同时，原来存在于母体内的缺陷也有扩大的趋势。

(14)德国Rahl厂的斜轧扩径机于1933年投产，扩径前的钢管外径为 $600\sim 620\text{mm}$ ，扩径后直径达 $1\ 500\text{mm}$ 。

(15)捷克Chomotov钢管厂建于1888年，是世界上最古老的钢管厂之一，共设有大、中、小周期轧管机组4套。该厂的斜轧扩径机于1928年投产，

可将钢管外径由 330mm 扩至 545mm ，年生产能力为 10万t 。

(16)美国Lorain厂的斜轧扩径机于1930年投产，可将外径由 355mm 扩至 660mm ，年产量为 15万t 。

(17)文中所定应用新的斜轧扩径工艺的最佳尺寸范围为 $\Phi 425\sim 762\text{mm}$ ($16\ 3/4\sim 30\text{in}$)，无疑是以 $\Phi 425\text{mm}$ MPM机组为基础的，即以该机组生产的未经定径的外径为 431.8mm 的钢管为母体管。但从市场的角度来看，焊管还是具有竞争能力的，要做具体的可行性研究后才能确定采用NRE工艺是否可行。

(18)UO成型的直缝焊管机组的主要设备是U压力机和O压力机，钢板在U压力机上成型时上模先压下，使钢板弯曲，然后两侧的压辊同时压向成型的U型管筒，以得到所要求的形状，接着，将U形管筒送入O压力机，该压力机带有主液压缸和辅助缸各10余个，使之由U形成为O形，然后即可开始焊接工序，但这种工艺主要是生产直径较大的管子如 $\Phi 1\ 000\sim 1\ 400\text{mm}$ 的焊管，而 $\Phi 431.8\sim 711.2\text{mm}$ 这一直径范围内真正有竞争力的还是电焊管机组。现代电焊管机组可以生产最大直径为 610mm 管子，而上述直径范围有 $2/3$ 是与电焊管机组相重叠的，再就是薄板连铸的潜在威胁，将使无缝管生产处于更为不利的位置。

(19)1995年4月举行的伯明翰钢管会议，针对钢管工业不景气的现象而提出“重组钢管生产”(Restructuring)的问题，会上提出的“Restructuring”有以下含义：国际间钢管厂的兼并和跨国联合；一国之内组成跨集团的钢管公司；一个钢管公司或钢管厂内生产的改组，包括组织和技术两个方面，Dalmine公司在1988~1993年进行的生产重组即属于以上的第3类，目的在于维持传统市场，其主要内容为：拆除大型周期轧管机，增设斜轧扩径机；将钢管生产的重心置于MPM轧管机组；油井管生产中心由Massa搬至Bergamo。

(20)经过生产重组后Dalmine公司的产品结构如下：不锈钢管 (Costa Volpino厂参加DMV国际不锈钢管公司)；结构管；石油用管；管线管；氧气瓶管；轴承管；冷拔管。

其中两大台柱是结构用管和石油用管(OCTG)。

(待续)

金如崧译注