

# 斜轧工艺在延伸轧管阶段的进一步应用<sup>(A1)</sup>

—— 《无缝钢管百年史话》(续释 5-2)

**摘要:**介绍了从经典的三辊轧管机到高效率的现代化三辊轧管机的发展过程。重点介绍了高效率的现代化三辊轧管机在产品质量控制、消除管尾端“尾三角”等方面所作的一些工作。

**关键词:**三辊轧管机; 发展过程; 工艺技术; 改进

**中图分类号:** TG333.8 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2311(2002)05-0052-06

## 1 高效率的三辊轧管机

### 1.1 概述

德国曼内斯曼·德马克·米尔厂最早开发的三辊轧管工艺属于经典的三辊轧管工艺<sup>(1)</sup>。随后这一工艺所适用的范围得到了拓宽<sup>(2)</sup>。目前米尔的高效率三辊轧管机被作为无缝钢管轧制的主要延伸手段,可以用来生产薄壁管。三辊轧管技术用于生产无缝钢管已有几十年的历史,轧制薄壁管技术乃是其发展过程中的一大进展<sup>(3)</sup>。这种新的高效率的三辊轧管机具有可以生产薄壁管、一次投资低、生产灵活性好等优点。

新型三辊轧管机的主要技术特征为:最小的轧机长度,轧辊的快速调整,轧辊调整具有高度的准确性和可复制性,快速更换轧辊,芯棒速度可控,自动化的管端控制,计算机辅助的过程控制,计算机控制的过程最佳化。

和过去相比较,米尔的三辊轧管机的新概念更加充分地利用了这一典型工艺过程的优越性,显著地扩大了这一工艺过程的应用范围,可以轧制  $D/S \leq 40$  的管子,也可轧制最小壁厚为 2.5mm 的管子。

由于芯棒喂入是受控的,前进速度很快,因此在减径或张减操作前不需要中间加热,这就节约了再加热炉的投资,降低了生产成本,使生产作业线可以更经济地运行。这种三辊轧管机组的工艺示意如图 1 所示。图 1 中标明的设备组成为:穿孔机、三辊轧管机、减径机或张减机。这种轧管机组的典型生产大纲如表 1 所示。

### 1.2 从经典三辊轧管机到现代化三辊轧管机的发展<sup>(4)</sup>

三辊轧管工艺是将空心坯斜轧成管的轧制过程,它在无缝钢管厂的应用是将经穿孔机穿孔的

空心坯加以延伸,主要设置在具有中、小生产能力的钢管厂<sup>(5)</sup>。其生产大纲包括外径为 25~300mm 的管子,甚至可以更大一些。

三辊轧管机的优点是:

(1)产品质量好,轧制精度高;

(2)对于生产各种不同管径和壁厚的管子来说,可以很快更换规格。

在三辊轧管过程中,空心坯的外表面在工件中心线对称布置的互成 120°的 3 个轧辊所包容的区域内变形,而芯棒则在其内表面限制了它的成型面。空心坯被咬入后,在轧辊的作用下边旋转边前进,在变形区内作螺旋状运动,在连续运动的过程中减径减壁。

斜置的轧辊使空心坯产生轴向前进运动,其喂入角决定了螺旋运动。另一个决定轧辊运动学的变量是轧制角,这是轧机设计时的一个重要参数。

三辊轧管机轧辊辊型设计的主要特征是“辊肩”<sup>(6)</sup>。轧辊对工件施加的直径减缩作用发生在很窄的一个区段内,这意味着工件由于减径所产生的减壁作用相当集中地发生在很短的一段变形区内,并且产生很大的延伸量。3 个轧辊的配置使得沿空心坯的周边有一个很大的接触面积,从而产生很好的变形条件而不需要专用的导板。

和 Diescher 延伸机相比,三辊轧管机的主要工艺特征和优点如下:

(1)由于具有带肩的锥形辊,变形效率高;

(2)咬入条件和夹住条件好;

(3)由于配有 3 个轧辊,空心坯有精确的导围。

在此基础上再加上优化过程控制,可以生产薄壁管,而不产生内外缺陷,甚至可以满足锅炉管的质量要求。

轧辊的辊型设计使得这种轧机所能生产的管子

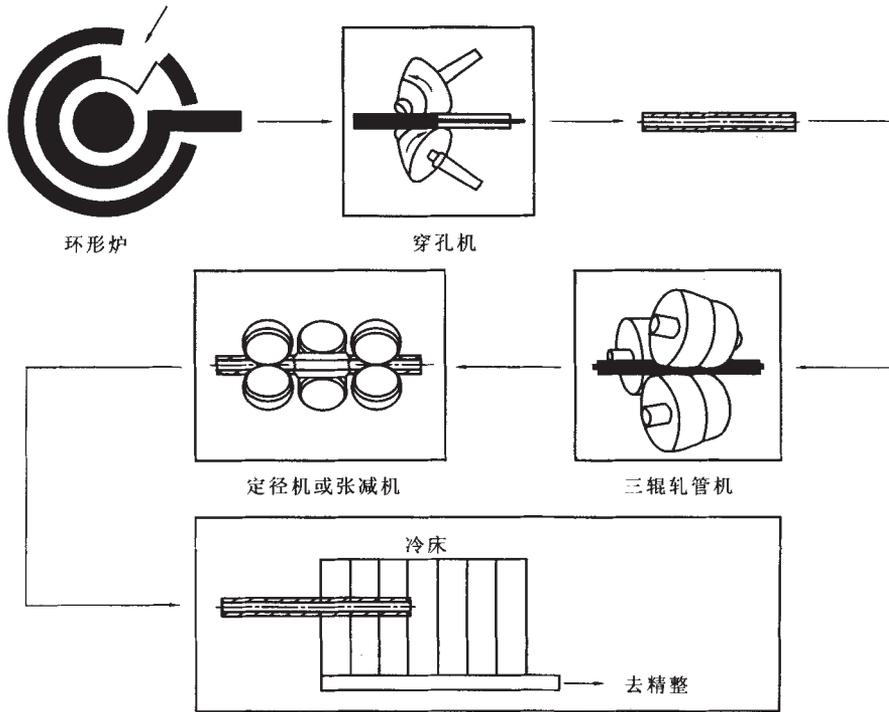


图1 高效率的三辊轧管机组工艺示意

表1 三种规格的三辊轧管机的生产大纲/mm

轧机型号	No	管坯直径	空心坯 $D \times S$	三辊轧机荒管 $D \times S$	成品管 $D \times S$
Assel mill 320	1	70	72.0 × 14.0	56.0 × 8.0	38.0 × 8.80
	2	70	68.3 × 8.5	60.0 × 2.5	48.0 × 2.55
	3	85	88.0 × 8.9	85.0 × 2.85	68.0 × 3.10
	4	100	103.0 × 24.0	85.0 × 18.0	82.9 × 18.00
Assel mill 450	1	110	110.0 × 7.3	119.7 × 3.6	25.0 × 2.5
	2	130	130.9 × 13.3	119.9 × 8.5	68.0 × 10.0
	3	130	133.0 × 8.9	145.0 × 4.4	89.0 × 4.5
	4	130	154.1 × 13.5	144.5 × 10.0	95.0 × 11.0
Assel mill 570	1	110	123.0 × 8.5	118.9 × 4.20	60.3 × 3.91
	2	125	135.0 × 12.5	119.4 × 7.00	60.3 × 7.00
	3	125	139.0 × 14.5	119.8 × 9.00	60.3 × 9.50
	4	125	136.0 × 13.0	119.2 × 7.50	63.5 × 8.00
	5	110	125.3 × 9.3	118.7 × 4.60	114.3 × 4.78
	6	110	129.1 × 10.5	120.0 × 5.20	129.1 × 10.50
	7	150	175.1 × 11.8	178.6 × 6.25	168.3 × 6.35
	8	180	211.0 × 12.8	223.7 × 7.00	219.1 × 7.09
	9	210	235.0 × 18.0	223.4 × 12.5	219.1 × 12.70
	10	230	250.0 × 15.5	251.3 × 10.0	244.5 × 10.00

的尺寸范围很广，对于更换规格来说，要做的仅仅是轧辊的径向调整，有时也可能要调整喂入角，所需的各种工具轧辊数量有限。因此，工具储备和轧制费用低，与其他延伸工艺相比较，三辊轧管机的生产灵活性最佳。

轧机调整的适应性强以及随之而来的产品尺寸灵活易变，可以通过工艺过程自动化来提高生产可靠性和产品质量，为此对工件的主要质量特征如直径、壁厚应使用仪表和控制系统实行在线检测。如果测得的数值和整定值的偏差超出了公差范围，则闭环控制系统可以立即调整轧辊。

三辊轧管工艺的主要优点是产品的尺寸精度高，能消除空心坯横截面的壁厚差异，以致空心坯的壁厚不均程度在下一个变形阶段得以大大改善，其改善的程度取决于输入空心坯的壁厚公差值。

过去三辊轧管机主要用于生产厚壁的机械用管，虽然也有用于生产薄壁管的先例，但需要采用过程控制措施。

过去，轧制参数的优化和重复性方面遇到的困难，促使进一步改进有关的工艺，以提高薄壁管生产中操作的可靠性。

由于斜轧穿孔工艺已发展成为高超的先进工艺，三辊轧管工艺已成为大量吸收其他技术诀窍的课题。当前这些已转化为在实际操作条件下可以运用的获利的技术，而且可以在相当宽的尺寸范围内加以使用。

### 1.3 具有工艺优化和过程控制的先进轧管技术

钢铁工业的结构改进导致现行的某些生产目标的改变，取代日益增长的产量指标的是以下一些概念：在产品尺寸范围宽广、质量优秀和具有很高生产效率的同时，生产要有灵活性，成本要得以降低，这些要求只有通过安装具有先进技术的现代化设备才能满足。

#### 1.3.1 减径延伸的变形过程

在三辊轧管过程中，从空心坯到轧成荒管按孔型设计要经过4个区段(见图2)：轧入段(A)、辊肩区(B)、精整段(C)和轧出段(D)。空心坯在轧入段被曳入并喂进至变形区，厚壁空心坯形状的高度稳定性意味着在轧辊中心效应的作用下管料有效地减径，而对随后的金属料流不产生什么不良影响。与此同时，壁厚略有增加，因此得以消除由穿孔过程所产生的任何不均匀性，对于喂入力和速度来说这一区段是很关键的，也就是说对取决于尺寸

大小的轧机生产率具有影响。

主要的减壁作用发生在辊肩区，这在纵轴方向很短的接触区段为将巨大的减壁力转化为轴向延伸提供了前提条件。随后的精轧区的作用，主要是产生最终壁厚以及和轧机整定相适应的最佳孔型设计将保证管壁的均匀减缩。

最后，工件在轧出区转变为圆管，正确的孔型设计和参数选择将保证在变形时不产生扭曲和良好的产品质量。

#### 1.3.2 过程控制与质量监控

与产品大纲相适应的最佳孔型设计虽然非常重要，但是孔型设计本身却不能保证取得所要求的成品管质量，而这只能由新的质量保证的概念来加以确保。

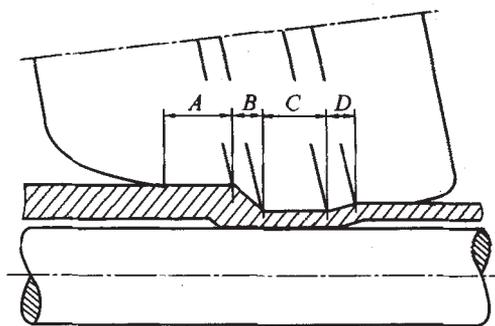


图2 组成轧辊孔型的4个区段

管子生产是一个复杂、多元化的过程，它和许多各自分割的内外因素交织在一起。这些各自分割的因素导致生产的波动，对产品质量产生不良影响，然而这些问题可以通过对关键的参数进行监控而获得解决。

任何与预先确定的整定值的偏离可以在生产过程中进行探测，对探测出的偏离值可采取反方向返回的措施。现代化的轧管机是可控的，采用以下手段能长时间保证稳定的工艺状况：①提高工艺过程的透明度；②对与质量有关的工艺参数进行经常性的监控；③配以合适的装置与传感器。

#### 1.3.3 采用数字模拟技术提高工艺过程的透明度

三辊轧管技术的复杂性以及与之有关的参数的多元性，使得过去所使用的纯粹基于实验的工作法和对塑性机械理论的以分析为主的方法，对提高工艺过程的透明度几乎不起作用，而采用数字模拟的办法并通过因果链的分析，可以有效地显示各种质量特征。

采用有限单元程序(FEM)可深入地分析三辊轧管工艺,这一程序将所有的几何、物理、结构的非线性特征全都考虑了进去,如图3所示。将数字模拟技术和实验结果结合在一起,可以做到以下几点:①决定工艺过程控制和监控所需的参数;②对于过程控制的参数和所选用的产品质量特征两者之间的函数关系的量化;③对最佳操作点或操作范围的确认。

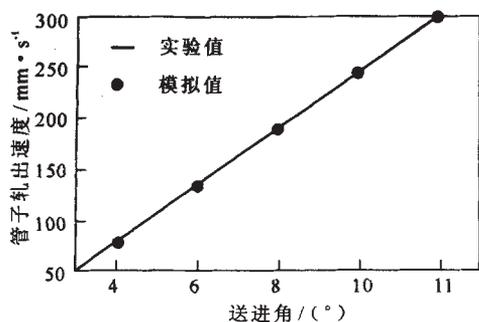


图3 管子轧出速度(实验值与模拟值的比较)

### 1.3.4 管端控制

由于轧入和轧出阶段空心坯形状的稳定性较差,其延伸是在特殊的变形条件下进行的。另外在尾端不存在厚壁空心坯尾随部分的高度稳定效应(上述现象在管子尾端特别明显),直径的增大导致空心坯尾端形成“三角形”或“喇叭状”(7)。所以,在生产  $D/S \geq 12$  的管子时必须采取特殊措施避免在三辊轧管机的机架内和或下游机组内产生管段的破损。

在三辊轧管机发展的历史过程中,为了扩大这一工艺的使用范围,特别是为了生产最薄壁厚的管子,对这一问题采取了许多种解决办法,有如下三个主要发展阶段:

第一阶段是20世纪60年代的特朗斯瓦尔轧管工艺(8)。该工艺可将轧管的范围扩大至  $D/S \leq 16$ ,但需采用专门设计的机架。当管件将轧出时,减小喂入角,以扩大孔型。然而采用这一工艺将会增大切头损失。

第二阶段是20世纪80年代的“Quick lifting”系统(9),即“快速液压抬辊法”。该法可生产  $D/S \leq 35$  的管子,通过轧辊径向快速打开的方法使管壁减薄的程度削弱,从而得以避免管端形成“喇叭口”。采用这种轧辊快速调节系统,管端切损长度可减少到50mm左右。

第三阶段是20世纪80年代末发展起来的NEL系统(10)。采用这种工艺,由于增厚而产生的切头损失几乎降为零,这是因为空心坯后端的减径和减壁分别是在不同的变形过程中发生的,因此,只产生微量的直径增大。采用这一系统可以生产  $D/S \leq 40$  的管子。

### 1.3.5 几种控制芯棒速度的方案

芯棒系统在成本、轧制周期和变形能力等方面对生产过程产生影响。芯棒的运动方式有三种:①芯棒作自由运动;②芯棒喂入是受控的(11);③芯棒抽出是受控的。

方式①的芯棒易于操作,但其缺点是:与成品管长度相比较,芯棒长度较长,而且需要专用的芯棒抽回装置。

相比较而言,方式②的芯棒长度大大缩短,因此轧制比较长的管子时推荐采用这种方式。管料与工具接触时间缩短,有利于不采用再加热而继续轧制薄壁管。采用芯棒速度受控的轧管系统,其设备制造费用也可降低。

轧制厚壁管时必须解决芯棒抽回问题,因此,方式③具有更多的优点。

根据以上所述,为了取得最佳效果,钢管厂可以根据实际应用需要而采取相应的控制芯棒速度的方案。

## 2 注 释

(A1)见《钢管》2002年第4期第56页。

(1)三辊轧管机原仅用于厚壁管的生产,应用这种轧管工艺受到轧件“三角形”形成的限制,而这一倾向在轧制薄壁管时尤为明显。“三角形”的形成使轧件承受交替的弯曲应力,以致产生裂纹,并在轧出端形成“尾三角”,有时造成“后卡”。这种倾向在  $D/S$  值大时特别严重,故经典的普通的三辊轧管机轧制管子以  $D/S = 12$  为限。

(2)新式的三辊轧管机的应用范围有所扩大,可以轧制薄壁管,具体数据如下:

管子外径范围	管子的 $D/S$ 最大值
51 ~ 82.5mm	20 ~ 26
88.9 ~ 133mm	28 ~ 33
139.7 ~ 273mm	34 ~ 39
324 ~ 356mm	40

问题是  $D/S$  值太大时管子质量有劣化倾向。

(3)三辊轧管工艺确是一种可靠的轧管技术,

但存在着只能轧制厚壁管的问题，三辊轧管机 60 余年的发展就是一部采取改进措施轧制薄壁管的

发展史，Dr. Voswinckel 对于所形成的各种改良形式有如下的概括，见表 2。

表 2 几种形式的三辊轧管工艺比较

序号	工艺过程名称或特征	改进措施的内容	轧制管子的 $D/S$ 值	管端切口损失
1	经典式三辊轧管机	—	12	无
2	Transval 三辊轧管机	临轧制完毕时机架回转以调整喂入角或轧辊打开	25	有
3	采用电气办法快速调整轧辊的三辊轧管机	临近轧制完毕时，轧辊打开	15	有
4	采用液压办法快速调整轧辊的三辊轧管机	临近轧制完毕时，轧辊打开	35	有
5	CAM 三辊轧管机	临近轧制完毕时，轧辊打开	40	有
6	高效率三辊轧管机	采用 NEL 调整系统	40	轻微

(4) 根据 Freckmann 先生的一篇文章，将从经典式三辊轧管机到高效能三辊轧管机这一发展过程，以大事记的形式摘要如下：

① 1930 年 Assel 发明三辊轧管机，轧制外径小于 50mm 的薄壁管。

② 二战前在德国杜塞尔多夫市的 Lierenfeld 钢管厂，Mehren 先生等制造了 7 台三辊轧管机。这批轧管机采用浮动芯棒，传动装置放在轧机的轧入端，可生产外径 22~54mm、壁厚 2.5mm 的热轧成品管，但轧薄壁管时出现“三角形”甚至轧卡。为减轻“尾三角”现象，进一步轧好薄壁管，在 Mehren 先生指导下，Lierenfeld 钢管厂进行了在临近轧制完毕时改变喂进角的工艺试验。

③ 二战后 Mehren 先生离德赴法，在 Vallourec 公司 Aulnoye 钢管厂工作，继续进行上述试验，直至 1952 年试制出机架可以回转的三辊轧管机，该机的主要技术特征是采用液压传动以回转机架，但传动装置仍置于轧入端。当时这一轧机被称为 Mehren 轧机。

④ Mehren 先生辞世后，这种轧管机易名为 Transval 轧机，并在 10 年时间内制造了 3 台这种轧机(见表 3)。

表 3 3 台 Transval 轧机特征比较

年份	使用厂名	传动特征
1966	法国 Valti 厂	轧机传动在轧出端
1968	意大利 Falck 厂	轧机传动在轧出端
1975	西班牙 Tubacex 厂	轧机传动在轧入端

以上 3 台 Transval 轧管机只有西班牙 Tubacex 厂的三辊轧管机能生产薄壁管，而厚壁管及轴承管的生产量较小。热轧管的外径为 90mm，减径生产  $\Phi 27 \sim 80$ mm 的管子。

⑤ 1972 年 Demag 厂制造的专门生产轴承管的三辊轧管机在 Krefeld WRG 厂投产，采用液压快速调整轧辊的装置，可以生产薄壁管。

⑥ 在以后的 12 年时间内共有 10 台 Transval 轧管机投产，该种轧管机的一个牌坊是固定的，另一个牌坊可绕轧制线旋转，以调整角度，其最大旋转角可达  $23^\circ$ 。回转牌坊的旋转借助于液压缸，轧机可按以下三种方式工作：

- 简单的倾斜，此时轧机和普通的斜轧机一样。
- “两倾角”工艺，此时轧机可具有“轧制倾角”及终轧时的“减小倾角”。
- “三倾角”工艺，除了轧制尾端时减少倾角外，轧制开始时也改变倾角。

Transval 轧机为 Vallourec 专利。

⑦ 1987 年 MDM 为西班牙 Tubos Reunidos 厂制造的 CAM 三辊轧管机投产，CAM 是 Convergent Assel Mill 的缩写，这种轧机的轧辊采用收敛式布置，可轧  $D/S = 40$  的管子，采用较短的限动芯棒轧制 25m 长的管子，传动装置布置在轧入端，辗轧角可达  $20^\circ$ 。

CAM 三辊轧管机是三辊轧管机发展史中的一个里程碑。以前的三辊轧管机均采用轧辊扩散式布置，传动装置设在轧出端。在扩散式轧辊布置的三辊轧管机中，由于切向金属流动较强，导致轧件管

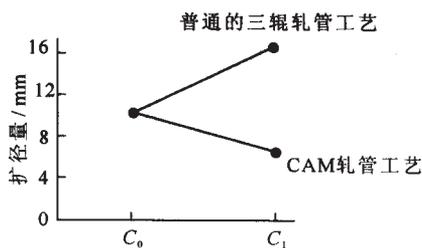
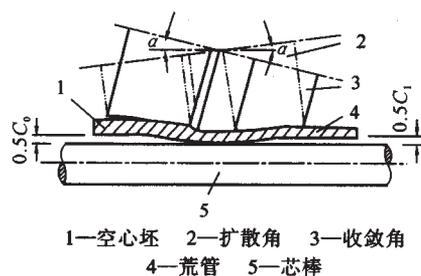


图4 荒管扩径量与轧辊倾斜角的关系

料外扩，而在收敛式轧辊布置的三辊轧管机(CAM)中，变形区中的金属流动加速，轴向拉伸的加强有利于防止管料的外扩，在 Krefeld WRG 厂的试验证实这种外扩量可减少 40%，如图 4 所示。

⑧ MDM 采用 NEL 轧辊调节系统的高效能三辊轧管机才得以在 20 世纪 80 年代末问世。

(5) 老三辊轧管机的产量通常低于 10 万 t/a，而新的 CAM 三辊轧管机当生产最大外径为 245mm、最大管长达 25m 的管子时，产量可达 15~20 万 t/a。故 Shefferings 先生在题为“具有中、小生产能力的无缝钢管生产方法”一文中，将 CPE、CPD(德国式的狄塞尔轧机)和 CAM 三种工艺列入中、小产量轧机的范围内。

(6) 三辊轧管机辊型的一大特点是“辊肩”的存在。“辊肩”在这种轧机中对轧件的变形具有重要作用，它使减壁量在轧辊和芯棒之间平均分配。

(7) “三角形”是由于轧辊和工件间受压表面的形状而形成的，它对轴向金属流动形成比切向流动大的阻力，使轧辊间的变形金属呈“小口袋”状，以致构成“三角形”。

(8) Transval 轧机中采用机架回转的办法迅速改变喂入角，以便在轧制过程快结束时，喂入角减小，防止管子后端出现“尾三角”。

(9) Quick Lifting 系统亦称做 Quick Open 系统，即在管子后端快离开轧辊之前提升轧辊，不

轧制管子的后端，防止尾端出现“三角形”，快速抬辊共有两种办法：一是平台法；二是先旋转一个角度，然后再倾斜上抬。再者，从使轧辊打开所使用的能源的角度，可分为电气快速调整轧辊法和液压快速调整轧辊法，而以后者为佳。

(10) NEL Process 即 “No End Loss” Process 之意，如图 5 所示。

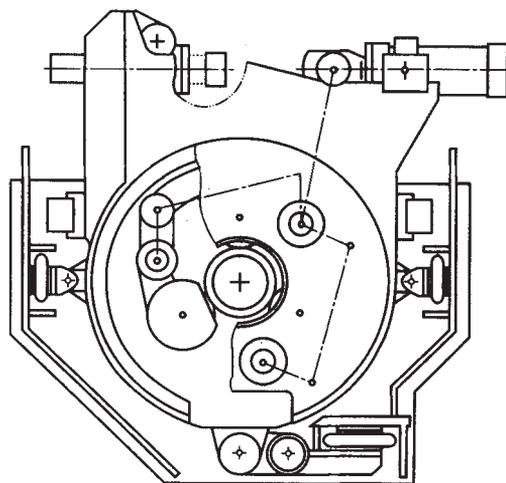


图5 NEL系统示意

(11) 采用限动芯棒并控制喂入速度，则芯棒长度缩短，接近空心坯长度，工作段长度一般小于 3m。

(待 续)

金如崧译注

## ● 信 息

### 希腊新上 1 台焊管机

希腊 S. A. Sidenor Steel Products Manufacturing Company 投入使用 1 台焊管机，用来生产  $\Phi 60.3 \sim 193\text{mm} \times 2.0 \sim 8.0\text{mm}$  的管子，年产量 14 万 t。

(攀钢集团成都钢铁有限责任公司 曾 适)