

钢管史话

曼内斯曼兄弟和斜轧穿孔工艺的发明

——《无缝钢管百年史话》(2)

摘 要 简介了曼内斯曼兄弟发明无缝钢管斜轧穿孔工艺的时代背景及其工艺概况。

关键词 曼内斯曼兄弟 发明 斜轧穿孔工艺

1 历史概述

制造无缝钢管的发明来自鲁尔河河谷⁽¹⁾的工业较发达的 Remscheid——生产刀斧、镰刀、锉刀和闻名于世的索林根刀片等产品的中心⁽²⁾。有消息传出,曼内斯曼兄弟 Reinhard Mannesmann 和 Max Mannesmann 发明了一种轧制工艺:使实心圆钢可在若干秒之内变成无缝钢管。但当时的技术界并不信以为真。曼氏兄弟在 1885 年 1 月 27 日提出了这项专利申请(专利号 34617)⁽³⁾。这一工艺在许多有名望的技术专家看来,是违反了物理学的基本定律;认为曼氏兄弟他们发现的工艺过程,其原理和所从事的产品制造是如此的风马牛不相及⁽⁴⁾,并由此构成了一个颇有争议的问题。虽然发明家在发明之后还生活了三四十年,但他们并未就此事发表过声明,这一事实本身就令人难以理解。

两位发明家的祖先是开锻工作坊的⁽⁵⁾,他们也经商,既销售自己作坊的产品,也推销其他厂商的产品。原始创办人的儿子继承了这一家业,于 1802 年取店名为 A. & P. Mannesmann。其后 Arnold 接管了全部产业,改店名为 A. Mannesmann, Arnold 逝世后,由 4 个儿子继续经营该作坊,此后由老二 Reinhard⁽⁶⁾(曼氏兄弟的父亲)接管了这个工厂。该厂的主要产品是锉刀,制造锉刀的大部分工作由各工匠在家中完成。此间,Remscheid 有 1 500 人在各自家中做锉刀开齿活。老 Reinhard 最早认识到有必要将锉刀生产从原料到成品集中完成,并为此采取了相应的措施,如建立技术工人队伍,对工人进

行培训等。可以说,他是大规模生产的先驱。

曼氏兄弟继承了父亲的技术志趣,他们早期就提出了制作“软芯钢”或“复合钢”(表面很硬而内芯软韧——可能是渗碳或表淬的钢件)的发明专利申请,该产品成为 A. Mannesmann 公司的特殊产品,需要量相当大。这一特殊产品与此后发明的斜轧穿孔机有一定的联系。

作为锉刀的生产者,与钢管显然没有太多的联系,而曼氏兄弟却由此发明了生产钢管的崭新工艺——斜轧穿孔,当时对这一问题存在很大的争议。

首先,可以说这一工艺过程相当独特,不同于任何其他金属压延过程。权威人士对这一过程中确切释放的力,以及相互间如何作用以形成管子,存在很大的分歧。

1926 年 12 月, Fritz Kocks 工程学博士⁽⁷⁾在对全德钢铁学会轧钢学组所作的一篇报告中,曾论述了分析穿孔过程的困难:“自从曼内斯曼兄弟发明斜轧穿孔工艺以来,已过去了 40 年,人们或许可以假定当时的技术科学已解决了穿孔工艺的问题,但直至今日,凡是与钢管生产和穿孔工艺有接触的人,都有在现存文献中找不到答案的急待解决的问题,只有对影响穿孔机运行性能的有关因素,采用逐步迫近的方法加以考察,才可能慢慢解决存在于这一复杂过程中的问题。”

1950 年 4 月,某钢管厂一位运行副厂长在一次讨论会上曾说:有一炉钢,因穿孔坯发生折叠而不能轧管,但同一炉钢在一个新建的机组上穿孔却不产生表面缺陷,不需要

表面修磨。若要单独分析这两个不同机组对这炉管坯所产生的影响并不难，但是就他的全部技术本领和知识以及多年的经验，仍不能确切无误地对造成这些结果上差异的因素加以区分。

Dr Bernard Planner 1943 年 12 月 16 日发表在《Iron Age》⁽⁸⁾上的文章称：在各个领域有许多发明的曼氏兄弟有一个设想，即对经过加热的圆钢，用斜轧的方法加以精整、轧制，以使其内部产生孔隙。以前这一现象是在偶然的状态下发生的，但他们关于圆钢斜轧穿孔的发明却不是一件偶然的事情，而是他们长期预期的结果。这一成果的产生，当时的轧钢工程师们认为是不可能的。

“发明家不能令人满意地解释孔隙形成的原因，这丝毫不能贬低这一发明的价值。后来关于孔隙的形成产生了许多互相矛盾的理论”⁽⁹⁾。

W·C·Chancellor, National Tube Co. 的车间主任，1924 年 10 月在《Railway Review》杂志上载文⁽¹⁰⁾称：原设计斜辊式矫直机，对被矫直的工件施以相当大的压力以达到矫直的目的，由此而产生现代的穿孔机。该机的设计者 M annesmann 发现，在这样的矫直机上，经过矫直的有些圆棒中出现孔隙。起初，人们认为这是由于炼钢过程中生成的缩孔而造成的，进一步观察才发现，产生在圆棒中心的这一缺陷，实际上是由于矫直辊的特殊作用而诱发的破裂。曼氏兄弟根据这一发现而研制了曼内斯曼辊式穿孔机，从原理上讲，这是至今尚在使用的斜轧穿孔机中最普通的一种形式。

《Iron Age》1907 年 8 月 29 日的一篇文章称：适度地锤打圆钢坯，有时会出现细小的中心断裂，这是多年来锻工师傅普遍知道的事情。以此为线索，曼内斯曼兄弟经过一年多的试验，最终发明了著名的斜轧穿孔工艺和无缝管轧制。这一发明的思路是：先发现重打或模锻时并不出现这种中心断裂的缺

陷，只有当锻锤不断锤打在圆柱体边缘时才会出现，因此，可以认为沿周边不断地在相对的方向快速地施加压力，才会出现中心断裂这一效应。

1899 年 2 月《Journal of the Association of Engineering Societies》登载了 H·S·Wilson 的一篇论文⁽¹¹⁾，文章说：曼氏兄弟的斜轧穿孔工艺，利用了圆棒最薄弱之点在于中心这一现象和事实，但他们并没有发明这一工艺过程而仅仅是发现了它；想设计 1 台对圆钢进行冷轧的轧机，通过适当地设置轧辊，轧出非常直的圆钢。……由于圆钢原料相当不规则，因此产生了进行热加工的想法，以省去退火工序，并减少经过精细加工的双曲线辊的磨损。……通过轧制以减小现有的圆钢的直径，并考察了每道次可能实现的减径量。最终发现，在轧制第一道次后，圆钢中心产生了一个通孔，这就是所谓的“曼内斯曼工艺”。

1890 年 4 月 Prof Reuleaux⁽¹²⁾在柏林全德工程师协会所作的报告⁽¹³⁾中，对“曼内斯曼工艺”这一发明持肯定的态度，并否定了对于发明的缘起，说是“在无意识活动中偶然产生的”⁽¹⁴⁾这种观点，并引用歌德的话“什么是发明？这是连续不断寻求的结果”对发明的缘起作注。

对于曼氏兄弟发现斜轧穿孔的原理是偶然的，还是他们为探究纯理论的概念所作的一系列实验的结果，读者可从大量的资料中找到佐证，以下援引的资料可供参考。

据资料查证，曼氏家族对研究无缝钢管的制作方法确实是感兴趣的。如前所述，老 Reinhard 在掌管锻造业务时，其第一道业务指令是“一体化”。以坩埚钢作为制造锉刀的原料已使用了 80 年之久，这些钢材是以长条圆钢的形式由英国进口的。圆钢抛光是类似 Dyson 于 1862 年取得专利那样的机器上进行冷轧的，经营业务的彻底“一体化”，意味着建造自己的炼钢炉以及冷轧设备。当这

些措施完成后, 他们发现生产坩埚钢的能力大于生产锉刀的需要量, 因此他们为这些优质钢寻找新的市场, 与德国军火生产部门进行了联系, 产生了制造枪管的想法。

《德国陆、海军年鉴》(1890年8月)有关资料指出“两位发明家的父亲想不用圆钢钻孔的办法, 而是用轧制铸钢空心坯的办法来生产无缝钢管进而制作来福枪枪管。这一办法倒退了30年, 且未获成功, 从此这一任务被视作家庭遗产而传给了他的儿子 Reinhard Mannesmann 和 Max Mannesmann。

老 Reinhard 曾想采用直接(还原)过程, 不用高炉就将铁矿石变成钢, 并随即铸成厚壁管, 但这项试验没有成功。以后, 他总是以此告诫儿子们, 并满怀希望地告诉他们“你们总有一天要解决制造无缝钢管这个问题。”

前已述及, 曼氏兄弟的第一项发明即“软芯钢”或“复合钢”。在锻造这些产品时, 发现渗碳的外表面层分布不均匀, 为了消除这一现象, 曼氏兄弟想通过轧制使渗碳圆棒直径减缩, 从而使渗碳表面沿圆周方向和纵向均匀分布。为此, 于1884年设计了1台三辊轧机对圆棒进行斜轧。这台轧机的轧辊布置是轧辊与工作的轴线互为倾斜, 但因工件的中心破裂, 使该项试验未能成功。当他们在注意到上述缺陷的同时, 也得出了“通过斜轧实心圆钢可以制成无缝钢管”的结论。

以上所援引的资料可以说明, 曼氏兄弟的心思确实与制造无缝钢管是休戚相关的。由于他们发现圆钢斜轧时所出现的现象, 由此进入实验阶段, 这是大有可能的。但是在观察到圆钢斜轧时所出现的结果之前, 他们对这一过程是否拥有理论概念, 对可能取得的成果是否心中有数, 这就不清楚了。

可以肯定地说, 在曼氏兄弟之前, 许多人对斜轧过程观察到了相同的现象, 但却没有着手去做。如 Babcock & Wilcox 公司的 Geo. H. Babcock 先生于1887年3月曾宣

过一篇论述斜轧穿孔工艺的论文⁽¹⁵⁾, Mr. William Hewitt 等人在讨论时作了发言, 这篇文章及其讨论登载在 ASME 会刊上(1886~1887, Vol. 8), 以下几位先生在讨论时的发言可以说是最好的佐证。

(1) Mr. William Hewitt 说: 我对这件事特别感兴趣, 约12年前我做了一项试验, 设计了1台某些方面和曼氏兄弟的斜轧机相类似的设备, 想用一道次使直径为 25.4mm (1") 的圆棒或圆钢减缩到成品直径为 5.08mm (1/4")。所有的圆棒顶端都有一个深深的锥状坑或孔穴, 我认为如果这一试验继续做下去, 可能会轧出管子来。但是我对管子生产并不很感兴趣, 而这台设备作为轧尖设备用, 运行也不稳定, 我就将它废弃了。……我父亲在早于我之前, 曾做过关于轧制铆钉的试验, 但铆钉的端部都有一个特别的锥状坑或孔穴, 因而便停止了试验。

(2) Mr. Wm. Kent 说: 在宾州 McKeesport 的 National Tube Works 经常使用旋转的双曲线辊, 5年前我在英格兰 Coatbridge 的 A & J Stewart 钢管厂看到过。这项发明权属于 Matheson, 后来才属于 National Tube Works, 这一工艺本来是用于管材精整的, 后来才被发现是制造钢管的工艺方法。

(3) Bond 先生讲到 Pulley Co Medart 关于斜辊矫直机的专利。

(4) Mr. J. F Wilcox 说: 类似于 Bond 先生所讲的1台设备, 在1878~1879年由匹兹堡的 Seaman 先生获得专利, 现已在 Ohio 的 Akron 广泛用于热轧轴类产品, 轧辊是锥状的而不是双曲线体。

(5) Crimstone 博士说: Sweet 教授谈到, 他的一个熟人制造了1台采用小型轧辊的轴类产品矫直机, 但并不成功, 一不小心就会在轴里轧出一个孔。

以上介绍了应用 Dyson 斜轧原理的种种形式, 有成功的, 有失败的, 失败之例在于轧制过程中出现的反作用力损坏了工件。

可以说, 技术界数以百计的人进行了相同的试验, 也观察到了类似的现象。这一原理或迟或早地会成为试验研究的课题, 曼内斯曼兄弟正是着手进行了这项试验研究工作。

据当时的报导, 曼氏兄弟的第一项专利(34617号), 是在成功地穿制第一根管子前18个月提出申请的。他们对斜轧穿孔工艺实现可能性的估计是偏于乐观的, 但他们叙述穿孔过程中出现的一些作用却很有先见之明。可以认为, 两位发明家确实很详尽地研究了这一工艺过程, 并取得了理论性的结论。

当时, Reuleaux 教授是科技界的领袖和带头人, 也是曼氏家族的亲近朋友, 多次出现在曼氏兄弟的试验现场。在1890年4月16日的报告中, 他将第一根穿孔坯诞生的日期定为1886年8月21日深夜至8月22日凌晨2时30分。所有试验都是在夜间进行的, 一是为了保密, 二是不干扰工厂白天的生产。同样为了保密, 第一个专利是以曼氏兄弟的表兄 Kogel (他在技术界不太出名) 的名字申请的。在 Kogel 提出专利申请的同一天(1885年元月27日), Haddon 律师以 Reinhard 和 Max Mannesmann 的名义在英国申请了第1167号专利。

曼氏兄弟有三个错误的概念⁽¹⁶⁾。其中第一点与基本理论有关, 即不用穿孔顶头也可以穿轧管子。他们相信管坯外层表面的轴向运动比慢速运动的中心部分快, 起初采用顶头仅在于减缓中心部分的运动, 穿孔顶头曾被称作“后支持杆”。曾有人评论“轧辊抓住金属的外层表面, 并使之以螺旋线状向前运动, 把它拉离以慢速向前运动的中心部分。”1890年 Prof Reuleaux 在其文章的小结中称“似乎是圆管坯的表皮从顶头上拉过去, 从而使管坯变成空心坯。”这一论点曾占据上风, 直到他们自己的一项实验反驳了它。在这项试验中, 他们将管坯端部制成锥状, 以使此端部不承受轧辊的作用, 然后将管坯加热, 并从轧机中轧出, 结果是两头封住的空心圆柱

体。

第二点, 他们认为, 尺寸和表面质量适合市场销售的管子, 可以由斜轧机直接生产。为实现此目标, 便花费了不少资金和时间, 设计出了盘式、锥状的各种形状的轧辊, 进行了各种调正试验和速度试验。最后得出结论: 穿孔坯还要经过一道延伸工序才能轧成管子。

对第三点错误概念, 他们也付出了不少的代价, 即斜轧对管坯的外层金属纤维施以扭转这一现象, 过去曾被视作优点。在早期的专利申请中, 他们曾声言此点为其所专有, 当这一点成为他们专利中的薄弱环节时, 曾为此遭受巨大的损失。

2 注释

(1) 鲁尔河是莱茵河的一大支流, 鲁尔河流域通常称为鲁尔区, 是德国主要的煤矿和工业区。其中, 工业城市 Düsseldorf 和 Mülheim 对无缝钢管工业来说最为重要。1893年德奥曼内斯曼钢管公司的总部即设在 Düsseldorf。

(2) Remscheid 离 Düsseldorf 仅约40km, 工业较发达, 以生产工具、仪器等产品闻名于世。18世纪上半叶开始生产锉刀, 19世纪40年代就已生产坩锅钢, 并有采用蒸汽动力的现代化铸钢厂。

(3) 可称为无缝钢管生产鼻祖的34617号专利的标题是“斜轧工艺以及与之有关的轧机”。这一专利说明书附有斜轧穿孔机的结构简图。

Auguste Elbers 博士在传记《Reinhard Mannesmann》中对曼氏两兄弟关于无缝钢管的发明作了如下理论分析: 当一个圆柱形物体或圆棒从两个相反方向承受相等的压力时, 这些压力在圆棒的中心相遇, 互相抵消。假如承压的圆棒围绕其轴线旋转, 从理论上讲, 在其中心必然要产生孔隙, 因此在这种状态下, 假如炽热的铁棒或圆坯同时被推向

或拉向前进, 则其结果必然是形成孔隙, 从而生成管子。为了将这些结论证诸于实际结果, 他俩与弟弟 Alfred 和 Carl 一起进行了一年的实验, 终于发明了斜轧工艺。

有人说发明无缝钢管起源于一个非常偶然的事情: 有一次吃早餐时, Reinhard 完全沉入了深思, 同时在两个手指间搓动一小块面包, 从而联想到了生产无缝钢管的方法。无缝钢管的发明为当时科技界所不信, 专利局在决定是否授予许可证前, 曾派遣了一个小组予以考察。这一发明引起了全世界工业技术界人士的兴趣, 当 Reinhard 消除了这一工艺的一些早期缺陷并和 Max 一起完善了所谓周期轧管工艺后, 这就可能轧制较长的薄壁管, 从此开始了无缝钢管在世界范围内胜利的进程。

Max Mannesmann 和哥哥 Reinhard 合作, 发明了“软芯钢”。他们发现, 这种软芯钢的外层淬硬表面具有不同的深度, 于是便设计了三辊的斜轧机, 想通过对软芯的圆钢进行轧制, 以使外表层淬硬表面具有比较均匀的层深。这些实验导致斜轧原理的发现, 从而有斜轧穿孔工艺的发明, 得以在圆棒的中部产生纵向的孔, 在历史上成功地产生了制造无缝钢管的实际的方法。

(4) 史实表明, 在 18 世纪工业史上锉刀与无缝钢管生产确实有了交点: 曼氏兄弟将锉刀的原料(锻制圆棒)放在均整机上精整矫直时, 发现圆棒中心出现疏松, 形成孔隙。他俩把孔隙的成因归之于斜轧, 便通过实验以证实用斜轧法生产无缝钢管的可能性, 其后的实验即在于验证圆棒斜轧时出现孔隙的机理。

(5) 曼内斯曼的曾祖父于 18 世纪 60 年代由 Westfalen 迁往 Remscheid, 于 1775 年开设锻工作坊。

(6) Reinhard Mannesmann (1814~ 1894 年) 与发明斜轧穿孔工艺的 Reinhard Mannesmann 同名, 德文中在老 Reinhard 后加上

D. A. 或 Sr 以示区别。他酷爱工程技术, 将先进的英国工业技术引进锉刀生产中, 是德国第一个拥有自己的钢厂和蒸汽动力设备的锉刀工厂厂主。他勤于思考如何生产无缝钢管的问题, 对儿子们的思路有所启发。

(7) Fritz Kocks 博士是 20 世纪 20 年代德国的轧钢技术权威, 对无缝钢管生产工艺有很深的造诣, 对斜轧穿孔工艺和周期轧管工艺理论均有专著, 曾获得 3 项关于轧管机的专利。此论文是专门论述穿孔工艺的。

(8) Planner 博士在《管材及制管工业的发展》这篇针对美国钢管工业实际状况的论文中, 论述了早期穿孔机的型式、曼内斯曼穿孔工艺和周期轧管工艺的发展, 以及采用碳化钨的模子对管材进行冷拔等问题; 但对诸如孔隙形成的原因等未作深入的探讨。

(9) 关于孔隙形成问题, 原书作者提出了两点: 曼氏兄弟对孔隙形成的原因没有作出过令人满意的解释; 关于孔隙形成有许多互相矛盾的理论。这差不多已是斜轧穿孔工艺发明后 65 年的事情。又过了近 25 年, 中国的一位学者有如下一段话: 虽然用斜轧穿孔法生产无缝钢管已有约 90 年的历史, 但至今关于孔隙形成机理的解释仍很不成熟, 说法很不一致, 对于这一过程本质的了解可以说是初步的, 这就说明斜轧理论的发展远远落后于生产的发展。这一方面固然是由于工艺过程本身的复杂性和实验验证的难处理性; 另一方面从穿孔过程的实际应用来说, 根据一些实用性的结论, 已完全可以确定轧管工艺与对穿孔质量有影响的基本因素的定量关系, 这也就足够了。

对孔隙形成理论的研究可分为以下三个阶段:

a 早期德国学者的研究: 约在 1888~ 1927 年这 40 年, 以 E. Siebel 为代表, 即所谓孔隙形成理论中的“切应力学说派”的代表。

b 中期前苏联学者的研究: 约在 1936~ 1966 年这 30 年, . . . 叶明扬宁科, . . . 伏

米切夫, A. Ф. 里索奇金和 B. C. 斯米尔诺夫等学者都对孔腔形成的机理进行过研究, 尤以 B. C. 斯米尔诺夫为代表, 即所谓“正应力学说派”。

c 晚期的研究: 60 年代后, 较多地出现在研究生论文中, 但总体缺乏实验数据, 难成一家之说。

关于斜轧穿孔时孔腔形成的原因, 除认为中心破裂(孔腔形成)是由于切应力作用的结果(切应力学说)和认为是因为拉应力的作用(正应力学说)之外, 60 年代的研究则认为中心破裂是由于中心部分金属受交变的切应力和很大的拉伸应力作用的结果(综合应力学说)。

由此可见, 斜轧穿孔工艺发明后经过 100 多年, 前后几十位学者的研究, 还没能彻底弄清孔腔形成的机理。

(10) Chancellor 在西宾州工程师协会上发表的《无缝钢管的制造》一文, 对曼内斯曼工艺过程进行了评述, 并对热轧管和冷拔管的生产作了介绍。该文同年摘要发表在《煤铁贸易评论》及《铁路评论》杂志上。

(11) Wilson 这篇题为《无缝管材的生产》重点讨论了适用于无缝钢管生产的管坯钢种及质量要求。

(12) Franz Reuleaux 教授 (1829~ 1905 年) 是世界著名的运动学理论的奠基者, 曼氏两兄弟的老师, 曾竭尽全力支持两兄弟的发明, 促其成功。早在 1890 年就著文评述曼内斯曼轧管工艺, 肯定这一发明的巨大成功。他对早期钢管厂的筹建起了很大作用。他就斜轧穿孔工艺向 Werner Von Siemens 作了

技术性介绍, 并向他展示了管子(穿孔坯)的样品。Werner Von Siemens 后来成为曼内斯曼钢管公司监事会主席。曼氏兄弟是通过 Franz Reuleaux 教授结识 Siemens 的。

(13) Prof Reuleaux 在全德工程师协会上的《论曼内斯曼工艺》报告 (1890 年 4 月 16 日)。19 世纪 90 年代, 无缝钢管生产技术在工业界已占有相当突出的地位。

(14) “发明家是在无意识举止中偶然产生这一想法的”是指“沉思时两指搓动面包块而联想到生产无缝钢管”这一小故事。

(15) George H Babcock 于 1887 年 6 月 3 日在 ASME 会上作的《从圆钢生产管材的新工艺》报告, 即在第一根穿孔坯轧出约 9 个月对该工艺作的介绍。

(16) 原书称曼氏兄弟有三个概念性错误。历史地来看, 关于“错误”是因受历史条件的限制, 对技术问题来说, 即是受当时技术条件的限制。认识问题有一个过程, 如“用不用顶头”的问题只是在斜轧穿孔工艺发明及稍后一段时间内存在的, 最多只有 1~ 2 年时间 (Bous, Komotou 钢管厂分别在 1887, 1888 年建成, 那时斜轧穿孔工艺就有顶头穿孔了)。而“穿孔- 延伸”二步轧管问题, 也最多只有 6 年的过程 (到 1892 年周期轧管机出现)。

曼氏兄弟真正的失误之点, 是将扭转变形作为优点列入专利申请。在后来的专利之争中, 曼氏兄弟败诉的根本原因即在于此。

(待 续)

金如崧译注

勘误 ——《无缝钢管百年史话》连载简介中: “Werner Von Siemens” (第 3 行) 应为“美国 Commonwealth”; “Tesa” 钢管厂为“Tosa” 钢管厂。注释: “他曾奋战” 应为“他父亲曾奋战”; “Summerill Tube Co. ” 中 e 应为 ing。

——《无缝钢管百年史话》(1): “Dross Rolling” 中 D 应为 C; “Srooksbank” 中 S 应为 B。