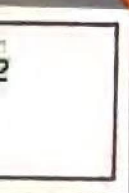




国外管坯连铸



冶金工业出版社

国外管坯连铸

孙启超 陈干鹏 编译

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书系统阐述国外连铸管坯的发展情况,详细介绍了管坯的连续浇铸工艺和用连铸坯生产钢管的实践经验,分析了用连铸坯生产钢管的经济效果。书中对于连铸圆管坯的生产方法,尤其是圆管坯的一般连铸法,及其在轧管领域中的应用作了重点介绍;对于用连铸坯间接轧管、用连铸方坯和连铸空心坯制管也都分别作了介绍。

本书可供从事连铸和轧管的科研、设计和生产人员参考。

· 国 外 管 坯 连 铸

孙启超 陈干鹏 编译

责任编辑 葛志祺

冶 金 工 业 出 版 社 出 版

(北京东城沙滩嵩祝院北巷 39 号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 9 5/8 字数 254 千字

1985年 8 月第一版 1985年 8 月第一次印刷

印数00,001~2,100册

统一书号, 15062·4201 定价2.65元

前 言

连续铸钢是现代钢铁工业的重大新技术之一。这项技术作为一个成熟的坯料生产手段在国内外得到了日益广泛的应用。

随着连铸技术的发展，价廉质优的连铸坯，不仅可以提供给板材、型材和线材轧机生产成品钢材，而且对坯料要求极为严格的无缝钢管轧机，近年来也可以用连铸坯来生产钢管了。

国外针对无缝钢管生产的特点，对如何改进连铸工艺以提高连铸管坯的内外部质量，及如何使轧管工艺适应连铸坯的特点进行了大量卓有成效的工作。因此，目前用连铸坯制管业已达到工业生产的规模。

笔者根据多年来涉猎到的国外书刊、文献和有关出国考察报告的内容编成此书，以期对我国发展连铸管坯的工作有所裨益。

由于水平所限，遗漏和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

本书涉及到的某些德文文献，承蒙朱振明同志不吝赐教，使笔者得益非浅，特此致谢。

编译者

目 录

第一章 概 论	1
第一节 用连铸坯制管的初步探索.....	4
第二节 用由连铸坯加工成的圆管坯轧管.....	5
第三节 用连铸方坯在有压力冲孔机的机组上直接 制管.....	6
第四节 直接轧管用的连铸圆坯.....	7
第五节 适应连铸坯穿孔的新型穿孔机.....	11
第六节 连续浇铸的空心管坯.....	13
第二章 用连铸坯加工成的圆管坯	17
第一节 椭圆形连铸坯轧成的圆管坯.....	18
第二节 连铸板坯轧成初轧坯再轧成的圆管坯.....	22
第三节 连铸方、扁坯轧成的圆管坯.....	31
第三章 圆形管坯的一般连铸法	69
第一节 连铸时圆坯凝固过程的特点.....	72
第二节 圆管坯连铸的实践.....	82
第三节 圆铸坯质量改善方法的探讨.....	117
第四节 一般连铸圆坯在制管上的应用.....	129
第五节 适于连铸圆坯穿孔的三辊穿孔工艺.....	140
第四章 用离心连铸法生产圆管坯	144
第一节 离心连铸法的原理和特点.....	145
第二节 半工业性试验离心连铸装置.....	150
第三节 法国的离心连铸机.....	154
第四节 美国的离心连铸机.....	172
第五节 日本的大型离心连铸机.....	178
第五章 连续铸轧的管坯	197
第一节 苏联的圆管坯连续铸轧工艺.....	197

第二节	美国的方坯连续铸轧机组·····	209
第六章	连续浇铸的方形管坯·····	219
第一节	方形管坯的连续浇铸·····	220
第二节	用连铸方坯在有压力冲孔机的制管机组上 直接制管·····	233
第三节	采用埃特纳—标准型穿孔机的连轧管 机组·····	250
第四节	适于连铸方坯穿孔的压力穿孔工艺·····	251
第七章	空心圆管坯的连续浇铸·····	265
第一节	关于连铸空心坯的最早设想·····	265
第二节	西德浇铸空心坯的设备·····	266
第三节	苏联空心坯连续浇铸的进展·····	268
第四节	美国连铸空心坯的试验·····	280
第五节	奥地利的无芯连铸法·····	282
第八章	用连铸坯生产无缝钢管的经济分析·····	287
第一节	用连铸坯生产钢管的经济效果·····	287
第二节	各种制管机组上用连铸坯生产钢管的技术 经济比较·····	291
参考文献 ·····		298

第一章 概 论

连续铸钢这项新技术，自五十年代初用于工业生产以来，已经取得了巨大的进展，其工艺和设备日臻完善，产品质量日益提高，品种不断增多，因而在国内外得到了相当广泛的应用。据报导，1977年全世界已建成875台连铸机，共2519流，产坯1.21亿吨^[1]。到1979年，连铸坯总产量已超过1.7亿吨，估计至少占当年世界产钢量的五分之一以上^[2]。随着更多的连铸机投入生产，越来越多的轧机采用连铸坯生产成品钢材。过去，连铸坯仅用以轧制板材、型材和线材；近年来随着连铸坯质量的提高，对坯料要求相当严格的无缝钢管也可以用连铸坯来生产了。

采用连铸坯生产无缝钢管有着显而易见的优点，这可以从图1-1所示的钢管生产流程的对比上清楚地看出。

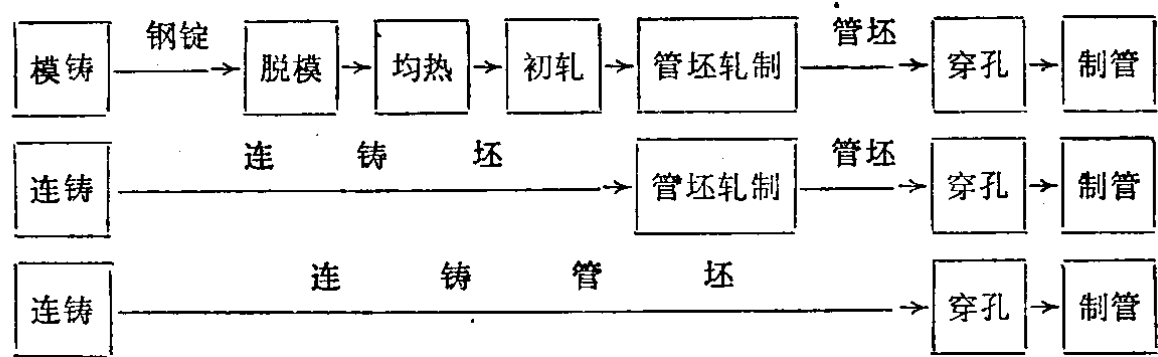


图 1-1 无缝钢管的生产过程

当用传统的方法生产无缝钢管时，制管机组多采用轧坯为原料。由钢锭轧制管坯，生产工序繁杂，成本相当昂贵。而用连铸机直接浇铸出管坯，或者先浇铸出连铸坯进而轧成管坯，都可简化管坯的生产过程，从而也就大大缩短了管坯和钢管的生产周期。用连铸坯生产钢管，由于省去了脱模、均热及初轧等工序和相应的设备，就减少了占地面积和基本建设投资，降低了能耗和生产费用，更重要的是可以提高由钢液到成品的金属收得率和所生产钢管的质量。这样一来，无缝钢管的生产成本必然大幅度降

低。

正是因为用连铸坯制管有着这些毋庸置疑的优点，所以各国争相开展了这方面的研究工作，并且在用连铸坯制造钢管方面取得了一定的进展。不过，目前全世界一年生产的两千多万吨无缝钢管中，由连铸坯生产的比例却不大，其原因何在呢？这要从制取无缝钢管的工艺过程的特点上来分析。

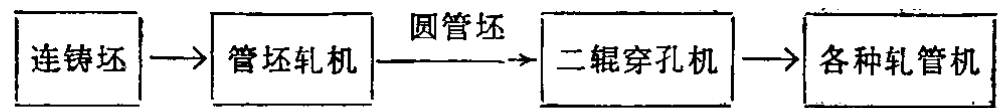
我们知道，无缝钢管的制造过程包括两个主要的变形工序：穿孔和制管。近代工业生产中制管用的设备有：自动轧管机、周期轧管机、连轧管机、顶管机、挤压机、三辊轧管机和狄塞尔轧管机。而各种制管机前面通常配置的穿孔设备则有压力冲孔机^①和曼内斯曼二辊斜轧穿孔机（通常简称二辊穿孔机）。穿孔设备不同，对管坯质量的要求也就有所差别。在压力冲孔机上加工时，管坯中心部分处于压应力状态，故对管坯质量的要求不甚严格，即使是铸态的管坯也能穿出合乎要求的空心坯或杯状坯。所以，配有压力冲孔机的制管机组，能采用钢锭直接生产钢管，若用质量优于钢锭的连铸坯当然更不成问题。而二辊穿孔机就不同了。当管坯在这种设备上穿孔时，其变形过程处于极其复杂的应力状态，经受着交变的拉伸和压缩应力，并且还经受剪切应力，故管坯表面和内部的缺陷——即使是微小的缺陷，都可能在这一过程中被扩大，轻者使制出的钢管不能满足用户的要求，重者则可能使制管过程不能完成。所以，采用二辊穿孔机的轧管机组，对管坯的表面和内部质量都提出了相当严格的要求。为了满足这些要求，过去只能采用轧制的管坯来生产钢管。连续铸钢机生产的坯料，是铸造产品，由于浇铸工艺和设备上的原因，难免具有这样或那样的缺陷，其质量虽然优于钢锭，但要达到轧制坯料同等的质量是困难的。因此，要将连铸坯直接用于配有二辊穿孔机的轧管机组上生产钢管，就困难得多。再者，这样的机组所生产

① “压力冲孔机”过去习惯上多称为压力穿孔机，本书中改称压力冲孔机，以别于“压力穿孔机”（P.P.M.）。——编译者

的钢管却正好又占无缝钢管产量的大部分。以上两点，就是用连铸坯生产的钢管所占比例不大的原因。

为了克服连铸坯制管所面临的上述困难，以求更多地用连铸

间接制管



直接制管

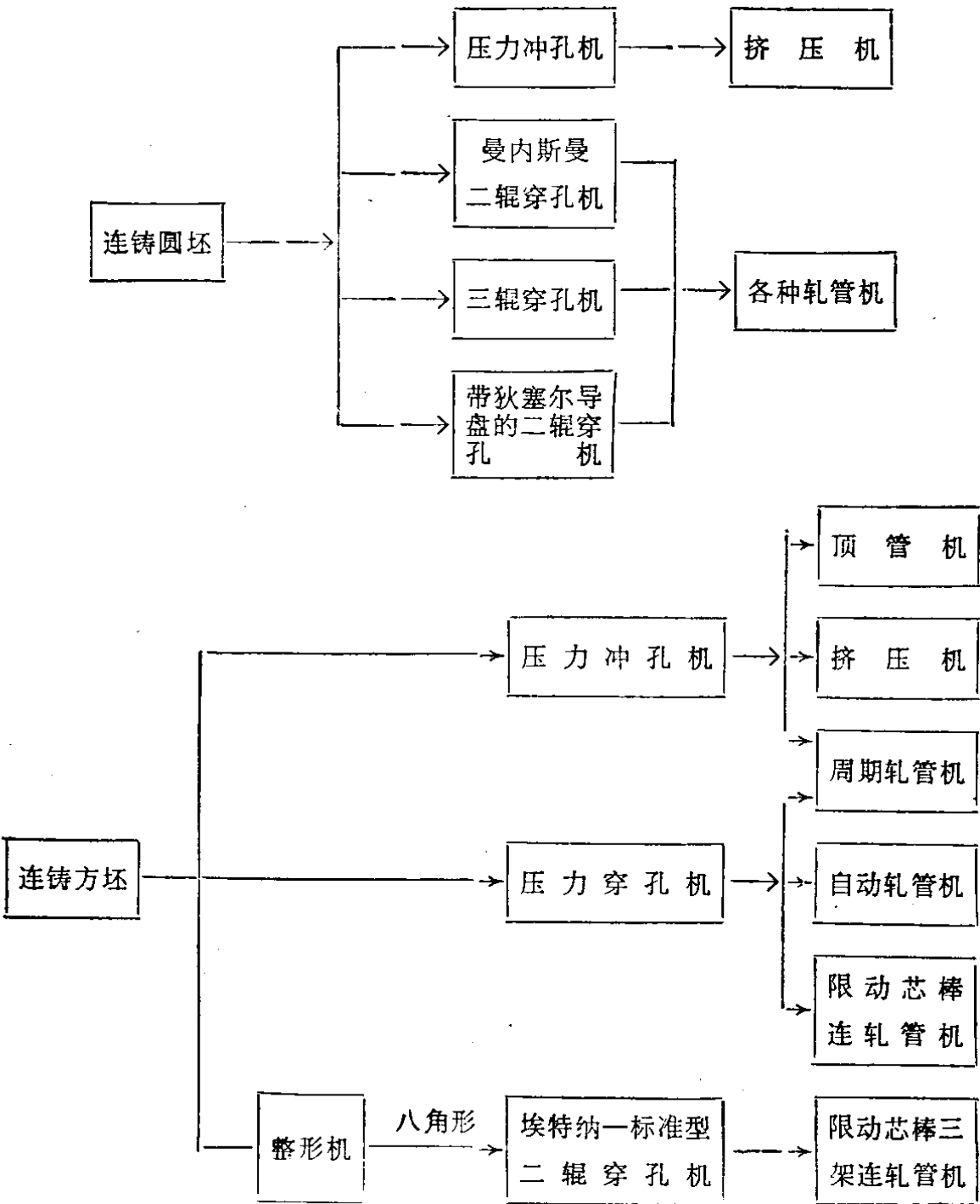


图 1-2 用连铸坯生产钢管的各种工艺流程

坯制造出合格的无缝钢管，就必须从两方面着手：即在浇铸管坯时应力求改善其质量，以满足轧管的严格要求；而在制取钢管的过程中，则务必使加工工艺适应连铸坯的特点。各国从事连铸和轧管的科研及生产人员所作的大量试验研究工作，正是围绕这些课题来进行的。经过多年的探索和实践，终于取得了预期的结果，目前国外已能按图1-2所示的各种工艺流程用连铸坯生产钢管了。

现将各国在用连铸机生产管坯和用连铸坯制管方面的发展情况、已经取得的成果、目前达到的水平、以及今后的发展趋势概述如后。

第一节 用连铸坯制管的初步探索

连续铸钢技术发展初期，人们就已经注意到用连铸法制取管坯的问题了。这一期间的工作，大都是在实验室内或在工厂内进行试探性的研究，主要着眼于提高连铸坯的质量，使其满足制管的要求，并探讨在现有轧管机组上用连铸材料制造钢管的可能性。例如，苏联中央黑色冶金科学研究所(ЦНИИЧМ) 1944年就半连续浇铸过直径100~280毫米的圆坯^[3]。又如，日本住友金属工业公司钢管制造研究所于1947年就用含碳0.15~0.20%的碳素钢，半连续浇铸成直径为90和125毫米的铸坯，并用此铸坯成功地制出了无缝钢管；西德曼内斯曼公司(Mannesmann AG)胡金根厂也在连铸机上浇铸过供生产钢管用的管坯；五十年代初，法国曾浇铸过50×80和80×105毫米等的椭圆坯用来制造钢管^[4]；日本还用对边距离为90毫米的正六边形连铸坯和直径为115毫米的圆形连铸坯进行过试验^[4]；英国钢管投资公司(Tube Investments Ltd.)于1956年就开始进行用连铸坯轧管的试验，并于1964年兴建了布赖尔利·希尔实验室专门从事这方面的研究^[5]；到六十年代，美国琼斯-劳克林钢铁公司(Jones & Laughlin Steel Corp.)又用108×222毫米的椭圆形连铸坯和229毫米方形连铸坯试轧过高强度石油套管^[6]。此时，东德也在使用连铸方坯进行

着轧制钢管的试验^[7]，继而，苏联新土拉冶金厂(Ново-Тулльский Металлургический завод)进行了圆形、六边形、八边形和矩形连铸管坯的试验^[8]，并浇铸出 270×310 毫米的扁坯，成功地用来轧制钢管^[9,10]……。虽然试验中所采用的铸坯断面各异，轧管机组亦不相同，但总的来看，这些试验有着共同的特点，这就是除圆坯外，都需先将连铸坯轧成圆管坯后再轧成钢管，即连铸坯大都是间接地用于轧管的。这些初步探索所取得的成绩证明，用连铸坯完全可以制造出合乎标准要求的钢管。尽管这期间由于连铸技术水平所限，浇铸出的连铸坯质量尚不太理想，但仍然能制造出合格的钢管。在取得了这样的成果之后，国外一方面进一步在生产设备上扩大这一成果，另一方面则开始了用连铸坯直接制管的研究工作。

第二节 用由连铸坯加工成的圆管坯轧管

在连铸机未能浇铸出合乎轧管要求的连铸圆坯之前，那些配有二辊穿孔机的轧管机组，只好将非圆形连铸坯加工成圆管坯再用于轧管。在这种情况下，连铸坯是间接地用于制造钢管的，其断面形状不受限制。如苏联新土拉冶金厂和加拿大阿尔果马钢铁公司(Algoma Steel Corp. Ltd.)，就是将连铸扁坯轧成圆管坯的^[11,12]，而苏联甚至还进行过把连铸宽板坯先轧成初轧坯进而轧成圆管坯的试验^[13~15]。采用这种方法生产出来的钢管，质量均能满足标准的要求。这种方法的优点是：由于铸机只要浇铸少数几种断面的铸坯便可在管坯轧机上得到多种规格的管坯，连铸机就不必经常更换断面，有利于提高连铸机的效率；因省略了开坯工序，减少了金属消耗等，就降低了钢管的生产成本；因为连铸坯质量比钢锭均匀，所以也就提高了钢管的质量。近年来，随着连铸技术的发展，一些本来有管坯轧机的工厂为了提高成材率，降低能耗，都力求提高连铸比，相继在现有连铸机上浇铸成功大断面的扁坯，或者兴建新的扁坯连铸机来生产大断面的扁坯，并用此连铸扁坯轧成圆管坯供其轧管机组生产钢管。在日本，

这种作法尤为突出。如日本川崎制铁公司水岛厂〔16,17〕、住友金属工业公司和歌山厂〔18,19〕及日本钢管公司扇岛厂〔20,21〕就先后生产出了这样的连铸扁坯,其断面尺寸最大可达 400×560 毫米,能轧成直径350毫米的圆管坯,供大型自动轧管机组生产外径达406毫米的无缝钢管之用。可见,将连铸坯间接地用于生产钢管,对现有钢管生产厂是有意义的。因为可利用原有管坯轧机将连铸坯轧制成圆管坯,即用廉价的连铸坯代替由钢锭轧成的初轧坯,这样既可利用原有设备,又不必用连铸机浇铸多种规格的圆坯,就能满足轧管车间的供坯要求,故这种方法有其可取之处。另外,在熔炼设备容量大的炼钢车间内要浇铸断面小的管坯,就比较困难,而浇铸成大扁坯后再轧成圆管坯,就使这一难题迎刃而解了。例如,日本钢管公司扇岛厂炼钢车间,其转炉容量为250吨,就是用四流立式连铸机来生产 400×520 毫米大型扁坯(该铸机1980年1月实际生产铸坯78716吨),然后轧成管坯的〔21〕。日本这几家工厂陆续改建或兴建大扁坯连铸机正是反映了用大型连铸坯生产管坯的趋势。

美国钢铁公司工程和咨询公司(USS Engineers and Consultants, Inc.) 1979年为我国某厂140毫米连轧管机组所作的报价,就推荐用连铸扁坯经三辊跳跃式轧机加工成圆管坯后轧管,这说明在已有管坯轧机的工厂用连铸坯间接轧管是有利的,即使是新建管坯轧机将连铸扁坯加工成圆管坯后轧管,在技术经济上也是合理的。

第三节 用连铸方坯在有压力冲孔机的机组上直接制管

在制管机组上使用连铸坯的另一种方法,就是直接用连铸管坯制管,这也是使用连铸坯制管的必然趋势。

随着技术的发展,国外不仅已能将连铸的坯料间接地用在各种制管机组上生产钢管,而且直接采用连铸坯制管的机组也日益增多。

当用连铸坯作为管坯时，能否直接制出合格的空心坯，与所用的穿孔设备密切相关。当轧管机组配有压力冲孔机时，要作到这一点不是十分困难的。如前所述，当管坯在压力冲孔机上变形时，其中心部位只承受压应力，故在工业生产中早就在采用钢锭直接冲孔后制造钢管。连铸坯的质量，无论是外表面质量或是内部质量，都比钢锭好得多，那么在这种制管机组上当然能用连铸坯生产钢管。正因为如此，国外首先在有压力冲孔机的机组上实现用连铸坯直接制管。1957年初，尽管当时连铸技术还不十分成熟，加拿大佩奇-赫西钢管公司 (Page-Hersey Tubes Ltd.)，就已经能用阿特拉斯钢铁公司 (Atlas Steels Co. Ltd.) 的连铸坯在顶管机组上成批生产钢管了〔22〕，这就为用连铸坯直接生产钢管开创了先例。1964年苏联与波兰合作，用苏联的连铸方坯，在波兰耶德诺什冶金厂 (Huta Jednosc) 的周期轧管机组上成功地轧出了钢管〔23〕，这就为该机组后来全部采用连铸方坯轧管创造了条件〔24〕。上述两个工厂所用的制管机虽不相同，但所用的穿孔设备都是压力冲孔机。

至于压力冲孔机和挤压机配合的机组，由于两者都有良好的压应力条件，就更有利于采用连铸管坯为原料。1965年，西班牙的一个小厂——图巴塞克斯厂 (Tubacex) 的挤压机组，是世界上第一个采用连铸方形碳素钢坯挤压钢管的生产机组〔25~27〕。而1967年投产的日本神户制钢公司滩滨厂的挤压车间，则是大规模采用连铸方形碳素钢坯挤压钢管的年生产能力达20万吨的挤压管车间〔28〕。

由此可见，采用连铸方坯在配有压力冲孔机的制管机组上大规模生产钢管，业已成为现实。

第四节 直接轧管用的连铸圆坯

配有二辊穿孔机的轧管机组，一般只能采用断面为圆形的坯料。比起压力冲孔机来，二辊穿孔机的生产率高，穿孔比大，操作灵活；但对管坯质量的要求却苛刻得多。因此，配有二辊穿孔

机的轧管机组，要想直接采用连铸坯来生产钢管，管坯的质量就必须满足严格的要求。为了浇铸出合格的圆管坯，国外除在一般的连铸机上作了大量的工作外，还研究出两种新的连铸圆坯的生产方法。现将连铸圆管坯的三种生产方法叙述如下。

一、一般连铸法

众所周知，圆坯的连续浇铸，比起方坯和矩形坯来，困难要大得多，但由于圆坯在轧管生产中的重要性，故如何铸出质量合格的圆坯，便自然地吸引了各国连铸工作者的注意力。自五十年代开始，奥地利伯勒尔兄弟公司(Gebrüder Böhler & Co. AG)卡普芬贝克研究实验室^[29]和英国钢管投资公司布赖尔利·希尔实验室^[5,30]进行了连铸圆坯的工业性试验，先后成功地浇铸出直径150毫米的圆形管坯。到六十年代初，新日本制铁公司光厂已能用连铸轴承钢圆坯在挤压机组上生产钢管^[31,32]。随后，苏联新土拉冶金厂对直径275~365毫米的圆坯连铸的凝固过程进行了详细的研究^[33]。至于西德埃施魏勒矿业联合公司(Eschweiler Bergwerks-Verein)冶炼部奥厄厂，则于1965年投产了一台以生产管坯为主的弧形连铸机。据1970年的报导^[34~36]，这台生产设备每个工作日可将车间生产的375吨钢全部连铸成圆坯，以供周期轧管机组生产钢管之用。这就标志着连铸圆管坯进入了工业生产阶段。自此，国外专门用于生产圆管坯的连铸机不断增加。1971~1974年期间，意大利的几家钢管厂共建成了5台圆管坯连铸机，其中建于斯台凡纳-安东尼奥南方钢铁公司(Siderurgica Meridionale Stafana Antonio S. p. A.)的一台，年生产能力为25万吨。接着，1976年达尔明公司(Dalmine S. p. A.)建成了一台四流立式连铸机，可生产直径为320毫米的管坯。1977年，阿根廷达尔明-锡德卡公司(Dalmine Siderca S. A. I. C.)建成一台四流弧形连铸机来生产圆管坯，其年生产能力达30万吨。迄今，连铸圆管坯年产量最高的是西德曼内斯曼公司胡金根厂，该厂50吨氧气顶吹转炉车间的两台四流立式管坯连铸机，是1973年由板坯连铸机改造而成的，1978年圆坯的实际产量已超过45万吨。此

外,胡金根厂在220吨转炉车间兴建了一台六流弧形连铸机,用以浇铸直径175~220毫米的圆坯。该机已于1982年1月投产,设计年产量为100万吨。

由此可见,制管用圆坯能够用各种连铸机来生产,既能在立式连铸机上浇铸,又可以在弧形连铸机上生产,甚至还可以在水平连铸机上获得。采用以上各种型式的连铸机浇铸的圆坯,质量均能充分满足直接用于制造钢管的要求。

二、离心连铸法

当用一般连铸工艺浇铸的圆坯还不能顺利地制管时,国外就开始寻求获得优质圆坯的新途径。法国民用离心技术研究所(S. C. E. C.—Société Civil d'Etudes de Centrifugation)在五十年代初研究出一种离心连铸法。这种把离心浇铸和连续浇铸相结合的方法,是利用结晶器旋转时产生的离心力对结晶中的钢液施加影响,以求达到改善圆坯质量的目的。为此,该所在安菲冶金公司(Société Métallurgique d'Imphy)的半工业性离心连铸试验装置上,进行了广泛的试验。试验证明,离心连铸的圆坯,外表和内部质量都极为优异,比轧制圆坯有过之而无不及,表面勿须进行任何清理便可用来制造钢管。正是由于这种离心连铸法技术经济上的优点,1969年法国瓦卢雷公司(Vallourec S. A.)的子公司昂赞钢公司(Société des Aciéries d'Anzin)与克勒索—卢瓦尔公司(Creusot-Loire S. A.)的子公司德卡斯维尔钢和冶金公司(Société des Aciéries et Usines Métallurgiques de Decazeville)相继安装了这种连铸机,即第一代的离心连铸机,这些设备投入工业生产后浇铸了大量用以制造无缝钢管的管坯。随着这种方法由试验过渡到生产,其工艺和设备均有所改进,这样便出现了第二代离心连铸机,因而其他国家也先后从法国引进这一技术。日本钢管公司京滨厂引进的离心连铸机,是1973年1月动工兴建的,1974年3月安装完毕并开始运转^[37~42]。1973年美国密执安无缝管公司(Michigan Seamless Tube Co.)引进的一台双流机组,于1974年投产^[43~46]。另外,法国昂赞钢公司在其圣索夫厂的新电炉炼钢车

间内安装的一台铸机，也于 1975 年投入生产〔43〕。在这些已经投产的离心连铸机中，最大的是日本钢管公司的设备，它可浇铸直径达 240 毫米的圆管坯，到 1977 年 11 月，这台四流设备的月产量已超过 3.8 万吨〔42〕。

三、连续铸轧法

除了用离心连铸法以外，国外还在研究用连铸连轧法制取优质圆管坯。在连续铸轧机组上，先浇铸出断面较大的铸坯，随后铸坯在热状态下予以压缩，以获得小断面的方、圆坯料。与生产同样断面的连铸机相比，连续铸轧机组的生产率高，产品质量好，铸机结构简单，操作稳定。鉴于这些优点，有的厂家都在试用此法制取管坯。比如，苏联全苏冶金机械科学研究所(ВНИИМЕТМАШ)建造的试验性管坯连续铸轧机组就是一例〔47〕。在这台装置上先铸出三瓣梅花形的铸坯，然后经铸机后的四机架三辊式连轧机生产出直径 75 毫米以下的圆坯，供轧管之用。连铸坯经以 2.5 的压缩比压缩后，中心致密度大为改善，中心与周边上的性能差异也得以消除。这样得到的管坯，质量是令人满意的；用它轧成的钢管，能符合标准的要求。据认为，在工业生产条件下，这种管坯的成本比钢锭制得的要低 13%〔47〕。在此试验的基础上，该研究所又设计了能生产直径 150 毫米圆坯的连续铸轧机组。有一套这样的四流机组安装在苏联北方钢管厂(Северский трубный завод)，它是四流弧形连铸装置与四线五机架连轧机相配合的工业性机组，先浇铸出尺寸为 190 毫米的三瓣梅花形铸坯，铸坯经五机架的三辊式连轧机轧成直径 150 毫米的圆管坯，随后用液压飞剪切成 4.5~12 米的定长。当使用 1.1 米/分的拉速生产时，该机组的生产能力为 25 万吨/年〔48〕。

如上所述的三种方法，均能提供质量不亚于轧坯的圆管坯，对配有二辊穿孔机的轧管机组来说，这些管坯完全能满足穿孔时的严格要求。故这三种方法均不失为生产圆管坯的行之有效的的手段。

第五节 适应连铸坯穿孔的新型穿孔机

为了适应铸造管坯中心强度较低的特点，国外还在钢管轧制工艺和设备上进行了新的探索，成功地研制出适于加工连铸坯的三辊斜轧穿孔机、压力穿孔机和带狄塞尔导盘的二辊斜轧穿孔机。

一、三辊斜轧穿孔机

三辊斜轧穿孔机是英国钢管投资公司根据连铸坯的特点首先研究出来的。在这种穿孔机上穿孔时，由于不存在二辊斜轧穿孔机上产生的交变的拉伸和压缩应力状态，也没有剪切应力的作用，在圆坯中心部分只产生压应力，穿孔过程中不形成孔腔，故用中心致密度较差的连铸坯，也可以得到高质量的空心坯。

这家公司的第一台试验性三辊穿孔机，于1960年在沃尔索耳制成^[49]。在这台试验设备上进行了大量连铸坯的穿孔试验，取得的结果是令人满意的。后来，于1965年在该公司德斯福德厂的三辊轧管机组上安装了一台工业性三辊穿孔机，以替换原来的二辊穿孔机^[49]。1967年，在这家公司的温斯菲尔德厂的25~127毫米连轧管机组上配置了一台世界上最大的三辊穿孔机，这样，该机组就成了世界上第一个采用三辊穿孔工艺的新型连轧管机组。这套配有三辊穿孔机的现代化连轧管机组的年生产能力为10万吨，若能大量供应连铸圆坯，它将以连铸圆坯为原料^[50]。

二、压力穿孔机

压力穿孔机(P.P. M.)^①是为了使连铸方坯能穿轧出内外表面良好的空心坯而研制出来的一种设备。这是一种压力冲孔和辊式纵轧相结合的穿孔方法，经西德蒂森钢管公司^② (Thyssen Röhrenwerke AG)、意大利达尔明公司和新日本制铁公司的工业试验证明，这种穿孔方法完全可以用于大规模工业生产。用这种高效

① P.P.M.为Press-Piercing Mill之缩写。

② 后并入曼内斯曼公司。