

高等学校教学用书

连续铸钢



冶金工业出版社

高等学校教学用书

连续铸钢

武汉钢铁学院 陈 雷 主编

冶金工业出版社

(京)新登字 036 号

高等学校教学用书

连续铸钢

武汉钢铁学院 陈雷 主编

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街高碑店北巷 39 号)

新华书店总店科技发行所发行

河北省阜城县印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 12.5 字数 294 千字

1994 年 5 月第一版 1994 年 5 月第一次印刷

印数 1~2400 册

ISBN 7-5024-1427-4

TF·330(课) 定价 8.00 元

前 言

自本世纪50年代连续铸钢开始应用于钢铁生产。由于它具有节能、金属收得率高等突出优点,因而发展迅速,目前已成为现代钢铁工业的重要组成部分。1990年全世界的连铸比已达到64.1%。

近十余年来,在改革开放的大好形势下,我国连铸生产已有较快的发展。1991年和1978年比较,连铸机由21台增加到130台,连铸坯年产量由112.70万吨增加到1883.50万吨,连铸比由3.5%提高到26.53%。预计到1995年我国连铸比将突破30%,按冶金部规划本世纪末连铸比将达到65%。

从钢铁冶金专业的特点出发,本书在突出连铸坯凝固传热的基础上,着重从理论和实践的相结合上阐述连铸的工艺和连铸坯质量问题;对于连铸设备则是从满足连铸工艺要求的角度,讨论其原理、结构和特点。近年来,在连铸领域已发展了许多新技术,因篇幅所限难以将这些新技术分专题介绍,本书只是结合应用将它们分散到各有关部分,而对于连铸发展具有重大影响的连铸坯热送和直接轧制以及薄板坯(带)连铸则分别列为独立的章节予以介绍。对于和连铸发展有密切关系的一些相关技术,除了检测技术和耐火材料单列外,其他相关技术(如保护渣等)则并入有关章节中。

本书共分9章,第1章(绪论)、第5章(连铸坯质量)和第7章(薄板坯(带)连铸)由武汉钢铁学院陈雷编写,第2章(连铸设备)和第8章(连铸过程的检测和自动控制)由华东冶金学院朱本立编写,第3章(连铸坯的凝固传热)和第6章(连铸坯热装和直接轧制)由鞍山钢铁学院余益生编写,第4章(连铸工艺)和第9章(连铸用耐火材料)由包头钢铁学院游慧玲编写。全书由陈雷主编。

本书初稿由北京科技大学蔡开科、东北大学姜永林、武汉钢铁学院严友梅审稿,全书由吴培良审阅。他们提出了不少宝贵意见,谨致以衷心的感谢。

限于编著者水平,书中难免有不少缺点和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

1993年8月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 连续铸钢工艺流程简述	(1)
1.2 连铸和模铸的比较	(1)
1.3 连铸生产正常化应具备的基本条件	(3)
1.4 国外连铸发展的过程和现状	(3)
1.5 我国连铸发展概况	(7)
2 连铸设备	(10)
2.1 连铸机型及特点	(10)
2.2 连铸机的主体设备	(18)
3 连铸坯的凝固传热	(53)
3.1 连铸坯的凝固冷却过程	(53)
3.2 结晶器内坯壳的形成	(54)
3.3 连铸坯凝固过程的热平衡	(56)
3.4 结晶器传热	(57)
3.5 二次冷却区的传热	(64)
3.6 连铸坯凝固传热的数学模型	(69)
4 连铸工艺	(79)
4.1 连铸钢水的准备	(79)
4.2 中间包钢水温度控制	(84)
4.3 拉速的确定和控制	(89)
4.4 铸坯冷却的控制	(93)
4.5 连铸保护渣	(98)
4.6 提高连铸机生产率	(104)
5 连铸坯质量	(110)
5.1 连铸坯的凝固组织	(110)
5.2 判定连铸坯质量的标志及其和连铸工艺过程的关系	(113)
5.3 连铸坯的纯净度	(114)
5.4 连铸坯表面质量	(123)
5.5 连铸坯内部质量	(130)
5.6 形状缺陷	(139)
5.7 最终产品对连铸坯的质量要求	(141)
6 连铸坯热装和直接轧制	(144)
6.1 热装和直接轧制的工艺流程和优点	(144)
6.2 热装和直接轧制技术发展概况	(145)
6.3 实现热装和直接轧制的技术关键	(148)
6.4 热装和连铸连轧中的高温冶金学问题	(153)
7 薄板坯(带)连铸	(154)

7.1	概述	(154)
7.2	改造传统连铸机的结晶器,浇注薄板坯工艺	(155)
7.3	同步结晶器浇注薄板坯工艺	(159)
7.4	带钢及薄带钢连铸工艺	(161)
8	连铸过程的检测和自动控制	(165)
8.1	中间包钢液温度测定	(165)
8.2	结晶器液面控制	(166)
8.3	连铸机漏钢预报装置	(168)
8.4	连铸二次冷却水控制	(169)
8.5	钢包浸入式水口熔渣检测	(170)
8.6	铸坯表面缺陷在线检测	(171)
8.7	辊间距检测方法	(171)
8.8	连铸生产过程计算机控制	(173)
8.9	计算机辅助质量控制系统——连铸专家系统	(174)
9	连铸用耐火材料	(180)
9.1	钢包用耐火材料	(180)
9.2	中间包用耐火材料	(183)
9.3	滑动水口用耐火材料	(186)
9.4	连铸用功能耐火材料	(187)
	主要参考文献	(192)

1 绪 论

1.1 连续铸钢(以下简称连铸)工艺流程简述

连铸是把液态钢用连铸机浇注、冷凝、切割而直接得到铸坯的工艺。它是连接炼钢和轧钢的中间环节,是炼钢生产厂(或车间)的重要组成部分。连铸生产的正常与否,不但影响到炼钢生产任务的完成,而且也影响到轧材的质量和成材率。此外连铸自身的发展,还会带动冶金系统其他行业的发展,它对企业结构和产品结构的简化和优化,有着重要的促进作用。

一台连铸机主要是由盛钢桶运载装置、中间包、中间包车、结晶器、结晶器振动装置、二次冷却装置、拉坯(矫直)装置、切割装置和铸坯运出装置等部分组成的。图 1-1 为带有直线段

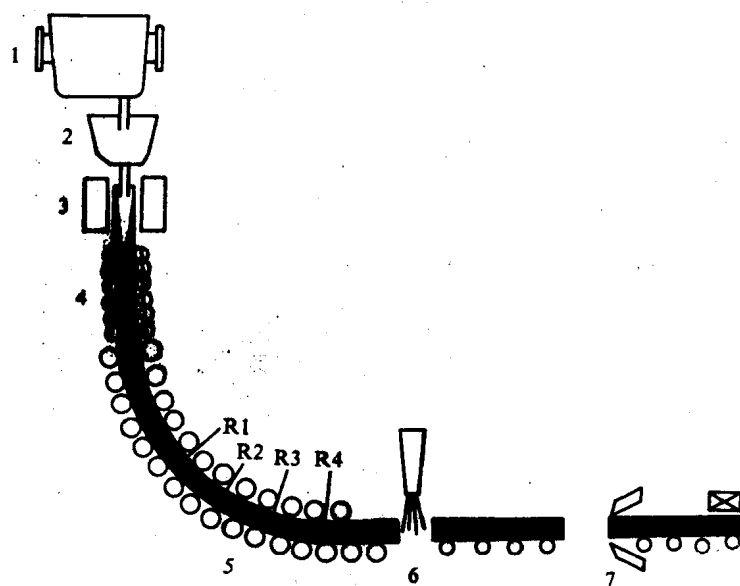


图 1-1 带有直线段多半径弧形连铸机

1—盛钢桶;2—中间包;3—结晶器;4—二次冷却;

5—拉坯装置;6—切割装置;7—运坯和检验装置

段多半径连铸机。浇钢时把装有钢水的盛钢桶,通过盛钢桶运载装置,运送到连铸机上方,经盛钢桶底部的流钢孔把钢水注入到中间包内。打开中间包塞棒(或滑动水口)后,钢水流入到下口用引锭杆头堵塞并能上下振动的结晶器中。钢液沿结晶器周边冷凝成坯壳。当结晶器下端出口处坯壳有一定厚度时,带有液心并和引锭装置连在一起的铸坯在拉坯机驱动下,离开结晶器沿着由弧形排列的夹辊支撑下移。与此同时,铸坯被二次冷却装置进一步冷却并

继续凝固。当引锭装置进入拉矫机后脱去引锭装置,铸坯在全部凝固或带有液心状态下被矫直。随后在水平位置被切割成定尺长度,置放于运坯装置上运送到规定地点。上述整个过程是连续进行的。

1.2 连铸和模铸(钢锭生产)的比较

图 1-2 是模铸工艺流程和连铸工艺流程的比较。可以看出二者的根本差别在于模铸是在间断情况下,把一炉钢水浇注成多根钢锭,脱模之后经初轧机开坯得到钢坯的;而连铸是把一炉(或多炉)钢水连续地注入结晶器,得到无限长的铸坯,经切割后直接生产铸坯的。基

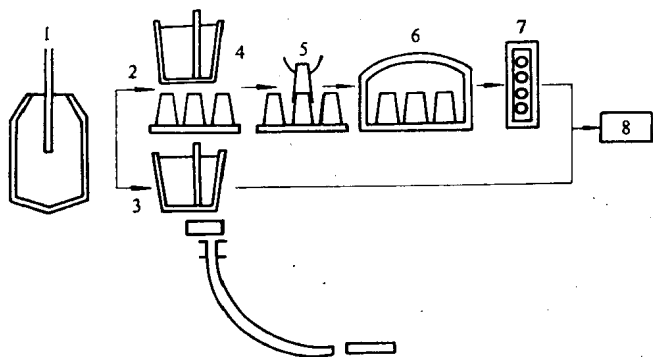


图 1-2 模铸与连铸工序的比较

1—炼钢炉;2—模铸;3—连铸;4—浇注;5—脱模;
6—均热;7—开坯;8—钢坯

于这一根本差别,连铸和模铸比较,就具有许多明显的优越性。

1.2.1 提高综合成材率

采用连铸工艺的直接经济效益,首先是提高综合成材率。通常采用钢锭开坯方式,切头切尾损失为 10~20%,从钢水到成坯的收得率大约为 84~88%;而连铸的切头切尾损失为 1~2%,从钢水到成坯的收得率为 95~96%,即采用连铸可节约金属 10%左右。金属收得率的提高必然导致

综合成材率的提高。一般说来,模铸时综合成材率为 80%左右,而连铸时综合成材率可达 95%以上。据测算连铸比每提高 10%,可使综合成材率提高 0.8~1.5%。

1.2.2 降低能耗

连铸的节能主要体现在因省去开坯工艺的直接节能,以及由于提高成坯率和成材率的间接节能两方面。据有关资料介绍,连铸时因省略开坯工艺,生产一吨钢坯比模铸节能 627~1046kJ,相当于 21.4~35.7kg 标准煤。再加上提高综合成材率的节能,按我国目前能耗水平测算,每吨连铸坯综合节能约 130kg 标准煤。应当指出,随着浇注钢种、铸坯断面和轧制工艺的不同,连铸坯节能的具体效益也有所不同。

1.2.3 连铸产品的均一性、质量好

由于模铸锭凝固时间长,元素偏析显著。特别是钢锭头部和尾部化学成份差别更大。而连铸坯断面比较小、冷却速度大、树枝晶间距小、偏析程度较轻,尤其是沿铸坯长度方向化学

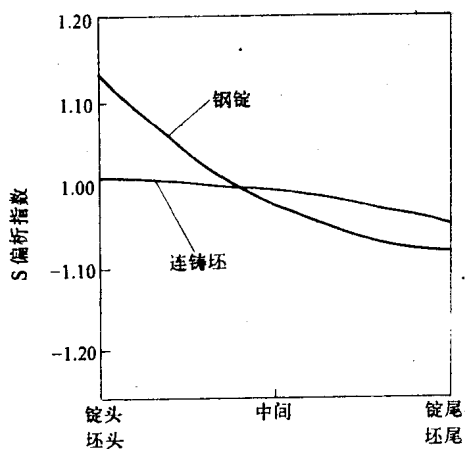


图 1-3 模铸及连铸沿长度方向
钢轨钢中心硫的分布

成份均匀。图 1-3 为模铸锭与连铸坯沿长度方向上钢轨钢中心硫的分布情况。连铸坯轧材的均一性较模铸锭高。随着炼钢工艺的发展,和一系列连铸新技术的应用,目前连铸坯产品质量的各项性能指标,大都优于模铸锭轧材产品。

1.2.4 易于实现机械化自动化

在炼钢生产过程中,模铸是一项劳动强度大、劳动环境恶劣的工序。而连铸由于其自身设备和工艺的特点,则易于实现机械化自动化。近年来,随着科学技术的发展,电子计算机已广泛用于连铸生产的控制,使连铸的这一优越性更加显著。这不但可以使操作者从模铸的繁重体力劳动中解脱出来,而且有利于提高劳动生产率。

除上述一些突出优点外,连铸还有占地面积小、生产周期快、吨坯成本低等优点。因而当连铸在钢铁工业中成功应用之后,整个钢铁工业发生了巨大的变化。一方面铸锭车间、均热炉和初轧机已逐步为连铸机所取代;另一方面连

铸的发展正改变着从炼钢到轧钢的工艺流程。

1.3 连铸生产正常化应具备的基本条件

综合上述,连铸是一种先进的浇钢工艺。但是要充分发挥连铸的优越性,维持连铸机的正常生产,还必须有一些基本前提条件。

1.3.1 完好的设备状态

连铸坯是在边浇注、边凝固、边拉坯的动态情况下形成的。连铸机是在极为恶劣的高温环境中工作的。在此情况下,连铸坯质量的好坏,连铸机生产率的高低,都受到连铸机设备状态的制约。为此在连铸生产中必须处理好设备与生产的关系。加强设备的计划检修和备件的计划管理,建立岗位点检和专检制度,使连铸设备经常处于完好状态,从而能稳定、可靠、正常地运转。这是实现连铸生产正常化的根本保证。

1.3.2 完善的炼钢工艺

连铸和模铸比较,对钢水质量(温度、化学成分等)有更为严格的要求(详见连铸工艺部分)。在一定程度上,钢水质量直接影响到连铸坯质量和连铸机生产率。因而完善炼钢工艺,设置各种不同类型的炉外钢水处理装备,定时定量定品质地向连铸提供合乎要求的钢水,是连铸生产正常化的基础。

1.3.3 科学的管理方法

现代化的连铸生产是由多工序组成的、时间节奏性很强的生产作业线。在这个生产流程中,必须解决好各单元的协调配合问题。为此应有一整套科学的管理方法。诸如强化生产调度指挥系统,建立有效的生产组织网络,处理好炼钢与连铸、连铸与轧钢以及连铸自身各工序、各作业班相互之间的协调关系等。只有如此才能保证连铸生产的连续性和稳定性。世界上连铸生产率很高的日本新日铁大分厂,以准确的 $3 \times 35\text{min}$ 周期工作,即转炉炼钢 35min, RH 脱气 35min,连铸浇注 35min,不允许有任何偏差,就是用科学方法管理连铸的典型。

1.3.4 高水平的人员素质

现代化连铸机是机械、电气、仪表、自动化控制等技术高度密集的设备。钢液的凝固又是极为复杂的相变和传热过程。因而要有效地掌握连铸生产技术,就必须有一支知识面广、操作技术和管理水平高、能适应连铸生产和维修的职工队伍。因而按照连铸工艺要求,坚持不懈地作好职工培训和知识更新工作,提高连铸工作者的素质,是搞好连铸生产的重要条件。

1.3.5 同步发展相关技术

连铸是一项复杂的系统工程。为保证连铸机的高生产率、连铸坯的高质量和低成本;在发展连铸的同时,必须同步发展其他相关技术。这些相关技术包括钢水精炼处理技术;耐火材料技术;保护渣技术;电磁搅拌技术;自动控制与检测技术;水处理技术;液压技术;铸坯保温、热送和清理技术以及连铸坯直接轧制技术等。否则就难以满足连铸生产发展的需要。

1.4 国外连铸发展的过程和现状

早在十九世纪中期 H. 贝塞麦(H. Bessemer)就提出连续浇注液态金属的设想。随后还有其他人对此项技术进行过研究。但是由于当时科学水平的限制,并未能用于工业生产。直到 1933 年,现代连铸的奠基人——S. 客汉斯(S. Junghans)提出并发展了结晶器振动装置之后,才奠定了连铸在工业上应用的基础。从本世纪 30 年代开始,连铸已成功地用于有色金属

生产。二次世界大战后,苏、美、英、奥等国相继建成一批半工业性的试验设备,进行连铸钢的研究。1950年容汉斯和曼内斯曼(Mannesmann)公司合作,建成世界上第一台能浇注5t钢水的连铸机。

从第一台连铸机问世,迄今已有四十余年的历史了。在此期间,世界范围内连铸的发展,大体上经历了“50年代开始工业应用、60年代稳步发展、70年代迅猛发展、80年代完全成熟”的过程。

1.4.1 50年代工业应用时期

从50年代起,连铸开始用于钢铁工业。在此期间连铸装备水平低,发展速度慢,铸机多为立式单流,铸坯断面小而且主要为方坯。生产规模也较小,盛钢桶容量多为10~20t。到50年代末,世界各地建成的连铸机不到30台。连铸坯产量仅有110t左右,连铸比约为0.34%。值得注意的是1952年容汉斯和曼内斯曼公司组建了连铸共同体(即后来的德马克公司);与此同时奥地利成立了以百录公司(Böhler A. G.)为中心的连铸利益共同体;1954年, I. 罗西(I. Rossi)在瑞士建立了康卡斯特(Concast)连铸公司。这些专门从事连铸技术开发集团的形成,对于后来连铸技术的发展和连铸的推广应用,起了重大的推动作用。

1.4.2 60年代稳步发展时期

60年代以后,连铸进入稳步发展时期。在机型方面,60年代初出现了立弯式连铸机。特别是在1963~1964年期间,曼内斯曼公司相继建成了方坯和板坯弧形连铸机。这种机型由于高度低操作方便并能生产工业上急需的厚板、热轧和冷轧带钢,很快就成为发展连铸的主要机型,对连铸的推广应用,起了很大的作用。在改善铸坯质量方面。这个时期已研制成功了保护渣浇注、浸入式水口、和钢流保护等新技术,这为连铸的发展创造了条件。此外这时由于氧气转炉已用于钢铁生产,原有的模铸工艺已不能满足炼钢的需要,这也促进了连铸的发展。从1965年以后,连铸发展速度显著增快。至60年代末,全世界连铸机已达200余台,年生产铸坯能力达4000万吨以上。还应指出,在此期间已出现了旋转式圆坯铸机、空心圆坯铸机,和工字型断面铸机。在英国的谢尔顿厂(Shelton Iron and steel)实现了全连铸。

1.4.3 70年代以后的迅猛发展时期

70年代,连铸进入迅猛发展时期。世界各主要产钢国家近十余年来粗钢产量、连铸坯产量、和连铸比的变化如图1-4所示。从1975年至1985年的十年间,连铸比由13.5%上升到49.9%,连铸坯年产量由8700万吨增加到3.3亿吨。各类连铸机由70年代初的300余台增加到1400余台。应当特别指出的是从70年代初至今,世界粗钢年产量一直徘徊在7亿吨左右,而连铸坯产量却持续增长。在几个产钢大国中,日本连铸发展最快。不论是生产能力或技术水平都处于领先地位。在1970年日本国连铸比不到10%,到1985年已突破90%。工业发达的美国在70年代连铸发展较慢,连铸比在20%以下,这是因为美国拥有较大的初轧开坯能力,建设连铸机较少。自80年代以后,美国已重视连铸发展,到1990年连铸比已达67.10%。前苏联是研究连铸较早的国家之一,60年代它的连铸生产还处于世界领先地位。但是近20余年来连铸停滞不前,连铸比一直在10%左右,远远低于世界平均水平。这是因为它的炼钢设备以平炉为主,不适应连铸生产的特点,此外它的连铸机立式较多,生产能力低,也影响连铸的发展。

70年代以来,连铸生产技术围绕提高连铸生产率、改善连铸坯质量、降低连铸坯能耗这几个中心课题,已有长足的进展。先后出现了结晶器在线调宽、带升降装置的盛钢桶回转台、

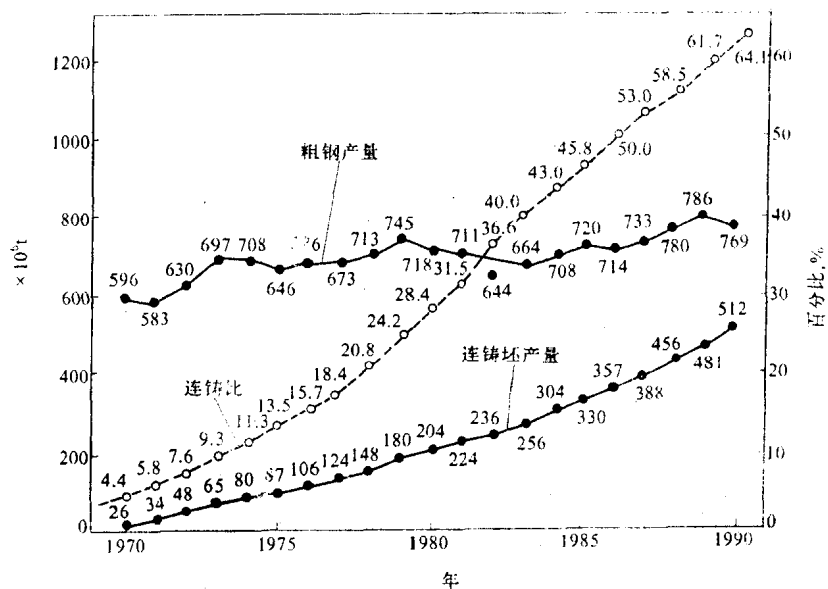


图 1-4 世界粗钢产量和连铸比

多点矫直、压缩浇注、气水冷却、电磁搅拌、无氧化浇注、中间包冶金、上装引锭等一系列新技术新设备。与此同时增大连铸坯断面，提高拉速，增加流数，涌现出一批月产量在 25 万吨以上的大型板坯连铸机和一大批全连铸车间。

70 年代以来，连铸所以迅猛发展，除了连铸设备和操作技术不断完善的一些内在因素外，还和客观条件有关。资本主义国家多次出现的能源危机，使连铸具有更大的吸引力。转炉复吹技术、超高功率电炉、各种炉外处理钢水技术，以及钢铁工业朝着大型化、高速化、连续化的方向发展，都为连铸的发展创造了条件。

1.4.4 80 年代连铸完全成熟时期

80 年代以来，连铸进入完全成熟的全盛时期。在此期间有以下一些突出的特点。

(1) 在世界范围内连铸比以每年 4% 的速度增长。表 1-1 为 1981 年~1990 年世界各国连铸比增长情况。世界连铸比由 1981 年的 33.8% 上升到 1990 年的 64.1%，这是一个具有重大意义的百分数。它意味着传统的模铸和现代化的连铸平分秋色的局面已被打破，连铸在浇钢领域占统治地位的时代已经到来。从表 1-1 还可以看出，以日本为代表的一些工业发达国家，已接近或基本上实现了全连铸化。以阿根廷、韩国为代表的市场经济国家，也都有较高的连铸比。这一重大技术成就，不仅改变了钢铁工业的生产流程，而且对炼钢轧钢的生产体系，都将产生深远的影响。

(2) 生产高质量铸坯的技术和体制已经确立。80 年代连铸技术的进步，主要表现在对铸坯质量设计和质量控制方面，达到一个新水平。从钢水的纯净化、温度控制、无氧化浇注、初期凝固现象对表面质量的影响；保护渣在高拉速下的行为和作用；结晶器的综合诊断技术；冷却制度的最佳化；铸坯在凝固过程的力学问题；消除和减轻变形应力的措施；控制铸坯凝固组织的手段等一系列冶金现象的研究；直到生产工艺、操作水平和装备水平的不断提高和完善，总结出完整的对铸坯质量控制和管理的技术。使铸坯的不精整率不断提高，直至实现不精整轧制。

表 1-1 1981~1990 年世界连铸比(不包括中国大陆)

单位: %

国家和地区	年份	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
比利时		30.6	33.0	38.4	49.5	60.0	72.4	85.8	88.0	90.0	91.7
丹麦		95.8	96.8	97.4	99.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
法国		51.4	58.5	63.8	66.9	80.6	90.1	93.1	94.0	93.7	94.3
前联邦德国		53.6	61.9	71.8	76.9	79.5	84.6	88.0	88.5	89.8	91.3
爱尔兰		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
意大利		50.8	58.5	68.2	73.3	78.6	84.1	89.9	92.9	94.1	94.8
卢森堡		7.0	19.4	24.1	26.2	28.3	34.6	37.5	34.2	33.5	34.1
荷兰		21.2	31.0	36.0	38.7	39.1	42.7	65.0	35.6	87.1	93.4
葡萄牙		38.2	46.5	42.5	39.7	42.8	44.2	46.0	46.9	51.4	54.6
西班牙		39.5	41.9	45.9	49.4	57.0	61.2	66.7	74.4	86.0	89.0
英国		31.8	39.0	46.6	52.0	54.8	60.5	64.9	70.5	80.2	83.6
欧共体平均		44.6	51.6	58.8	63.7	69.5	75.9	81.3	84.1	87.8	89.6
奥地利		62.4	77.3	87.6	89.0	93.4	94.6	95.7	95.5	95.7	95.9
芬兰		91.9	93.4	93.5	94.2	93.5	94.4	94.0	93.9	94.0	97.8
挪威		16.0	29.6	36.5	51.4	55.6	56.7	53.9	53.4	60.3	92.2
瑞典		66.8	76.0	79.7	79.6	80.6	81.8	83.6	83.0	82.3	85.8
土耳其		48.4	55.7	63.6	72.0	65.7	77.8	79.2	84.6	82.3	82.2
南斯拉夫		43.2	47.4	51.6	51.8	53.5	53.4	54.7	61.9	64.7	70.2
欧共体以外西欧国家平均		59.0	67.1	72.3	75.4	75.0	78.1	79.3	82.2	82.5	85.4
西欧国家平均		46.2	53.6	60.7	65.3	70.3	76.2	81.0	83.8	87.0	89.0
加拿大		32.2	32.8	37.4	38.4	43.6	45.8	49.0	69.3	76.1	76.7
美国		20.3	29.0	32.1	39.6	44.4	55.2	59.8	61.3	64.8	67.1
日本		70.7	78.7	86.3	89.1	91.1	92.7	93.3	93.1	93.5	93.9
澳大利亚		13.0	17.5	24.6	27.0	27.1	27.0	44.5	71.5	80.0	81.5
南非		55.2	51.2	60.0	61.5	64.7	63.9	63.9	69.6	73.4	73.7
西方工业化国家平均		44.4	54.9	60.0	64.5	68.7	73.9	77.2	80.0	82.9	84.5
阿根廷		49.2	51.8	48.6	47.4	62.5	64.9	65.3	68.2	74.0	78.2
巴西		36.4	41.1	44.3	41.3	43.7	46.1	45.5	49.0	53.9	58.5
智利		1.4	0.8	1.3	1.6	1.9	2.7	1.7	1.7	1.6	1.9
墨西哥		31.9	37.9	55.2	54.0	51.0	47.3	54.2	55.9	58.1	60.0
委内瑞拉		62.2	70.0	76.8	72.0	73.6	71.3	77.0	78.7	83.5	85.0
韩国		44.3	51.1	56.6	60.6	63.3	71.1	83.5	88.3	94.1	96.1
中国台湾省		58.5	80.9	84.7	82.8	83.6	88.3	89.6	93.6	93.1	96.1
卡塔尔		98.7	98.6	98.7	98.7	98.7	98.6	98.4	98.7	98.5	98.6
市场经济国家及地区平均		44.1	54.3	59.5	63.3	67.1	71.9	75.3	78.2	81.2	84.2
保加利亚		0.0	0.0	7.0	10.0	9.3	13.6	12.4	15.5	15.5	15.4
捷克和斯洛伐克		1.5	2.5	5.1	7.3	7.7	8.2	8.5	8.7	9.2	11.5
前东德		15.8	17.2	18.1	25.6	33.7	36.5	37.6	39.6	41.0	41.1
匈牙利		35.4	33.6	39.3	46.6	46.6	52.1	55.9	63.2	55.6	55.0
波兰		3.8	4.3	4.0	10.1	10.3	10.6	11.0	11.1	7.7	7.0
罗马尼亚		20.7	22.4	26.0	30.2	29.9	31.9	32.4	31.5	34.2	36.5
前苏联		12.2	12.6	12.4	12.7	13.6	15.0	16.1	16.6	17.3	17.9
东欧国家平均		11.7	12.3	12.6	14.3	15.2	16.6	17.7	18.2	18.5	18.7
世界平均		33.8	39.6	43.0	46.9	49.7	52.4	55.2	58.5	61.2	64.1

资料来源: 国际钢铁协会。

在此基础上,连铸钢的品种已增加到 500 多个。几乎所有的钢种都可进行连铸。过去认为只能用模铸的高牌号硅钢、高合金钢、高碳钢,现在都可连铸。即使沸腾钢,现在也可以用低硅低铝低碳镇静钢代替。据预测到本世纪末,除了某些大型锻件,大口径无缝钢管和冷镦钢由于特殊原因还必须模铸外,其他各种钢都将使用连铸。

(3)已逐步实现连铸坯热送和直接轧制。80 年代初期,美国和日本的一些连铸工厂,已开始实行铸坯热送。80 年代中期又发展到直接热装和直接轧制。这一新工艺先是在日本发展起来,随后在其他国家也相继实现。由于这一新工艺能够大幅度地降低能耗,缩短生产周

期,因而已成为目前连铸发展的主要方向。

(4)薄板坯(带)连铸正在兴起。80年代以来,接近成品形状(near net shape)的连铸技术已形成一股热潮。利用传统的连铸机,仅改造其结晶器部分用来浇注薄板坯的工艺已取得突破性进展,并进入实用化阶段。其他各种类型的同步结晶器铸机,也都取得不同程度的进展。毫无疑问,由于薄板坯(带)连铸工艺具有许多优越性,它将是90年代连铸技术的主攻方向。

1.5 我国连铸发展概况

我国从50年代开始研究连铸技术。1957~1959期间先后建成三台立式连铸机。1964年在重钢三厂建成一台断面为 $180 \times 1500\text{mm}$ 的板坯弧形连铸机,这是世界上工业应用最早的弧形连铸机之一。随后又在全国各地相继建成连铸机20多台。在我国设计的连铸机上,很早就使用了钩头式永久引锭杆,钳式结构拉矫机,和大型机械液压剪;这些设备在当时都是比较先进的。但是在以后的十余年间,除个别地区外,连铸生产基本上处于停滞状态。到1978年全国用于生产的连铸机只有21台,连铸坯年产量112.70万吨,连铸比3.5%。

1979年以来,国家确定以经济建设为中心,冶金工业部把发展连铸作为重大技术政策,并在总结我国连铸生产经验的基础上,提出“以连铸为中心,炼钢为基础,设备为保证”的生产技术路线。从此我国连铸进入新的发展时期。十余年来取得举世瞩目的成就。

1.5.1 连铸机台数、连铸坯产量、连铸比逐年上升

图1-5为我国十余年来连铸发展概况。1978年和1991年比较,连铸比由3.5%提高到26.53%;已投产的连铸机台数由21台增加到130台(其中合金钢连铸机13台);连铸坯年产量由112.70万吨增加到1883.50万吨。在此期间,我国连铸比提高7.47倍,连铸坯年产量增加16.7倍,连铸机台数增加6.2倍。这一发展速度对于我们这样工业基础薄弱的国家来说,是一个巨大的进步。

1.5.2 机型齐全、铸机布局和产品结构日趋合理

据1992年5月统计资料,我国已投产的连铸机共130台370流。年生产能力2641.0万吨。从现有铸机的机型来看(表1-2)基本上拥有世界上所有连铸机机型。从铸坯断面看(表1-3),小方坯铸机台数最多,这是我国钢铁工业具有三小(小转炉、小电炉、小轧机)的特点所决定的。但是大型板坯连铸机的生产能力最大。

从连铸钢种看,我国连铸机已能浇注高牌号硅钢、含Ti不锈钢、弹簧钢、碳结构钢、合金结构钢等。1989年重庆特殊钢厂合金钢连铸比达到81.47%,结束了我国长期以来不能连铸合金钢的历史。

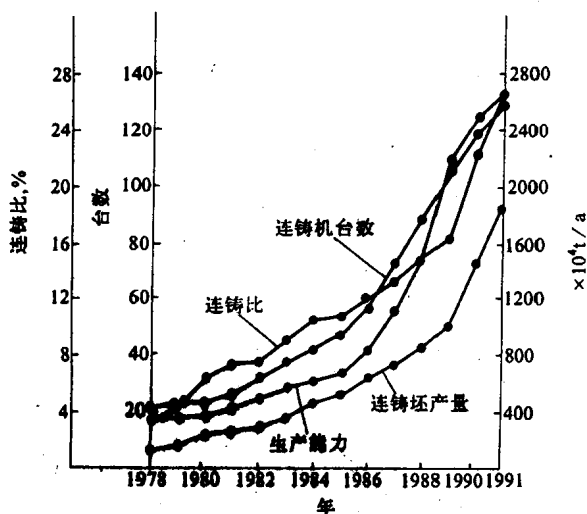


图 1-5 我国十余年来连铸发展概况

表 1-2 我国连铸机机型情况

机 型	全弧型	直弧型	水平	超低头	立 式
台 数	107	8	7	5	3
占总台数%	82.30	6.15	5.38	3.84	2.30

表 1-3 我国连铸机断面分类情况

断 面	板 坯	大方(矩)坯	小方坯	圆 坯
台 数	31	25	67	7
占总台数(%)	23.84	19.23	51.54	5.38
年生产能力(万吨)	1297	293	1028	23
占总生产能力(%)	49.11	11.09	38.92	0.87

在现有的 130 台连铸机中,与转炉配合使用的 96 台,与电炉配合使用的 27 台,与平炉配合使用的 7 台。这些连铸机分布在全国 25 个省市自治区(不包括台湾省)的 70 个企业。目前除少数边远地区外,大都有连铸机在生产。形成了以上海宝山钢铁总厂、武汉钢铁公司、鞍山钢铁公司等企业为代表的板坯连铸系统;以首都钢铁公司、唐山钢铁公司等企业为代表的方坯连铸系统;以太原钢铁公司、上海第三钢铁厂等企业为代表的特钢连铸系统。

1.5.3 引进、消化、移植国产化工作成绩斐然

近十余年来,我国在改造发展原有国产铸机的基础上,先后从国外以多种形式引进与建成各种连铸机 50 余台。在此过程中积极消化移植国外连铸新技术,推进国产化,培养了一支从设计、制造、安装到生产科研的连铸队伍,取得了显著的成就。我国自行设计制造的武汉钢铁公司第二炼钢厂四号板坯连铸机,和南京钢铁厂的超低头连铸机,国产化率都超过 80%。由我国北京钢铁研究总院设计,上海东风机器厂制造的 CB-1 型小方坯连铸机已出口印度尼西亚巴拉瓦加钢厂。该铸机综合了国外新机型的优点,吸收了国内小方坯连铸机的生产经验,结构合理,性能先进,1990 年 4 月建成,经过热试证明设备运转良好。至此我国小方坯连铸机从引进消化移植,走向提高、出口的道路。

1.5.4 连铸新技术逐步推广应用,科研成果不断涌现

近几年来,一些连铸新技术如钢包吹 Ar,中间包使用绝热板,结晶器液面控制,气水喷雾冷却等,已逐步在我国推广应用。一些科研成果不断涌现,如不同系列保护渣和各种类型电磁搅拌装置的研制,新型连铸功能耐火材料的应用;其他如二冷区计算机自控技术,结晶器漏钢预报装置,中间包过滤夹杂物,薄板坯和薄带钢的连铸也都取得阶段性成果。出现了武汉钢铁公司第二炼钢厂和无锡锡兴钢铁公司炼钢厂等已实现全连铸和铸坯热送的先进单位。

上述成果对于我国进一步发展连铸打下了良好的基础。但是我国连铸生产,不论是发展速度或是品种质量和国际水平相比,都还有较大的差距。目前连铸生产中存在的主要问题是还有一部分小方坯连铸机和合金钢连铸机的生产率低;某些连铸机设备状况还不能完全满足连铸发展的需要;连铸的节能优势还没有充分发挥;全连铸和铸坯热送车间很少;直接轧制才刚刚起步;一些相关技术、管理水平和人员素质都有待提高。冶金工业部提出在今后一段时间内,一方面要保持连铸生产适当的发展速度,本世纪末全国连铸比要达到 65%。另一

方面,要全面提高连铸工艺、技术装配、实物质量和相关技术水平。一些有代表性的企业连铸生产线要达到或接近国际先进水平。因此摆在炼钢工作者面前的任务任重而道远。应从我国实际情况出发,同心协力,攻克难关,把我国连铸生产提高到一个新水平。

2 连铸设备

连铸设备必须保证连铸工艺过程的顺利进行。承接一包钢水浇注的全套连铸装置称作一台连铸机。凡是具有独立的拉矫和传动系统,可以单独运行的一组连铸设备,称作为连铸机的一机。由一个钢水包下的一个(个别情况下二个)中间包内的钢水可以同时浇注的铸坯根数(结晶器数)称作连铸机的流数。如果一台连铸机的各流都能单独运行,这台连铸机便称作几机几流连铸机,如双机双流,四机四流,八机八流等等;如果某些流不能单独运行,就需把能够单独运行的机数和每机所带的流数分别注明,如一机双流,二机四流等等。

2.1 连铸机型及特点

连铸机型直接影响铸坯的产量、质量、基本建设投资和生产成本。所以,世界各国都非常重视对连铸机型的研究。从 50 年代连铸工业化开始,40 多年来,连铸机型的发展经历了一个由立式、立弯式到弧型的演变过程。

2.1.1 连铸机型分类

连铸机可以按多种方法来分类:

(1) 按铸坯运行的轨迹(或者说按铸机结构的外形)可把连铸机分为立式、立弯式、多点弯曲的立弯式、直结晶器的弧型、弧型、多半径弧型(椭圆形)和水平型等。图 2-1 表示这几种用于工业生产的连铸机型简图。近年来,随着连铸技术的发展,又开展了轮式连铸机的研究。

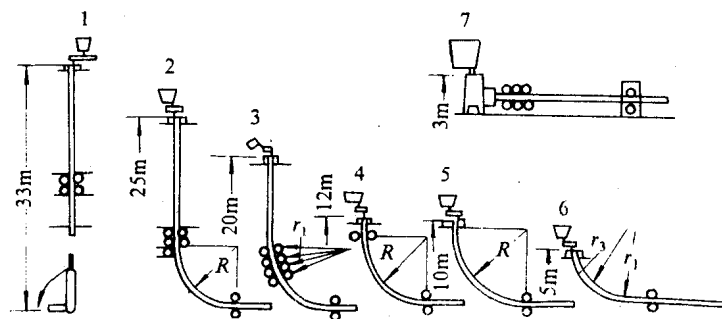


图 2-1 连铸机型简图

1—立式;2—立弯式;3—直结晶器多点弯曲;4—直结晶器弧型;5—弧型;
6—多半径弧型(椭圆形);7—水平式

(2) 按铸坯断面的大小和形状可分为板坯、大方坯、小方坯、方—板坯复合式连铸机、圆坯、异形坯和薄板坯连铸机等。各种机型所能浇注的铸坯断面尺寸列于表 2-1。

(3) 按铸坯所承受的钢水静压头,即铸机垂直高度 H 与铸坯厚度 D 比值的大小,可将连铸机分为高头型、标准头型、低头型和超低头型四种。各种机型的分类特征见表 2-2。

表 2-1 各种机型浇注的铸坯断面(mm×mm)

机 型	最大断面	最小断面	经常浇注断面
板坯	300×2640 310×2500	130×250	180×700~300×200
大方坯	600×600	200×200	250×250~450×450 240×280~400×560
小方坯	160×160	55×55	90×90~150×150
圆坯	φ450	φ100	φ200~φ300
异形坯	工字型 460×460×120 中空坯 φ450/φ100	椭圆型 120×140	

表 2-2 各种机型按钢水静压头分类特征

机 型	H/D	结晶器型式	铸机型式
高 头	>50	直型	立式或立弯式
标准头	40~50	直型或弧型	带直线段的弧型或弧型
低头	20~40	弧型	弧型或椭圆型
超低头	<20	弧 型	椭圆型

随着炼钢和炉外精炼技术的提高,浇注前及浇注过程中对钢水纯净度的有效控制,低头和超低头连铸机的采用逐渐增多。

据 1988 年 1 月统计,全世界连铸机总台数为 1396 台。其中板坯连铸机 347 台,占 24.86%;大方坯连铸机 353 台,占 25.3%;小方坯连铸机 696 台,占 49.9%。按连铸坯的年产量算,板坯占 54%,大方坯占 16%,小方坯占 30%。各种机型所占的比例是:立式为 15%,弧型为 62%,多点弯曲弧型 10%,直结晶器弧型 6%,椭圆型 6%,其它如水平连铸机,轮式连铸机和旋转式连铸机占 1%。近年来新建的板坯、大方坯连铸机数量增多,小方坯连铸机相对减少。

2.1.2 各种连铸机的特点

(1) 立式连铸机。立式连铸机结构如图 2-2 所示。它的主要设备有结晶器、二冷段和全凝固铸坯的剪切等均设置在同一垂直方向上。从连铸工艺上看,因垂直段很长,有利于钢水中夹杂物的上浮,铸坯各方向冷却条件较均匀,成分和夹杂物偏析较小。并且铸坯在整个凝固过程中不受弯曲、矫直等变形作用,即使裂纹敏感性高的钢种也能较顺利地连铸。但缺点是铸机设备高,钢水静压力大,设备较笨重,维修也不方便,安装立式连铸机需要很高的厂房或地坑,基建费用亦高。

(2) 立弯式连铸机。立弯式连铸机是铸机机型演变过程中的一种过渡机型。它具有立式连铸机垂直浇注和凝固的特点,在结晶器下方一定距离,即在铸坯全凝固或接近全凝固时定点进行弯曲,把铸坯顶弯 90 度,最后定点矫直,使铸坯沿水平方向出坯。这种铸机既具有立式铸机夹杂物上浮条件好的优点,又比立式连铸机高度低,为它高度的四分之三,而且水平出坯,铸坯定尺长度不受限制,铸坯的运送也较方便。

立弯式只适用于浇注断面较小的铸坯,对于大断面铸坯来说,冶金长度很长,立弯式连铸机在降低设备高度方面的优点已不明显。这种铸机的铸坯在顶弯和矫直点内部应力较大,