

现代钢铁 工业技术

板·坯·连·铸

熊毅刚 主编

冶金工业出版社

现代钢铁工业技术

板 坯 连 铸

重庆钢铁设计研究院 熊毅刚 主编

冶金工业出版社

(京)新登字 036 号

内 容 简 介

本书以上海宝山钢铁总厂为例,着重介绍了现代大型板坯连铸的设计、工艺、维护技术。书中除重点讲述实用技术外,还比较深入地讨论了连续铸钢的设计原则和理论计算方法,介绍了近年来发展起来的新工艺、新设备。

本书共十六章,内容包括连铸生产工艺、机型选择、理论计算、电气控制、仪表、计算机、连铸用设备的维护、连铸用耐火材料等,可供从事连铸设计、科研、生产的工程技术人员阅读,也可供大专院校师生参考。

现代钢铁工业技术

板 坯 连 铸

重庆钢铁设计研究院 熊毅刚 主编

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街高祝院北巷 39 号)

新华书店总店科技发行所经销

北京云浩印制厂印刷

*

787×1092 1/16; 33 印张; 字数 789 千字
1994 年 12 月第一版 1994 年 12 月第一次印刷

印数 00,001~1600 册

ISBN 7-5024-1336-7

TF·309 定价 40.50 元

序

由于连续铸钢具有收得率高,质量好,能耗低,劳力省的优点,因而已越来越引起人们的重视,并为钢铁企业广泛采用。主要产钢国的连铸比不断升高,全连铸工厂和全连铸企业不断出现,以连续铸钢取代模铸—开坯的趋势日益明显。我国自改革开放以来,随着钢铁工业的发展,连续铸钢也有较大发展,截至1990年已建成连续铸钢设备能力2500万t,占炼钢能力的36%。

我国连续铸钢起步较早,发展过程大致可分成三个阶段:第一阶段为国内探索试制阶段,在这一阶段里我们依靠自力更生建设了一批连铸设备,包括小方坯和小板坯连续铸钢设备,这些设备经过改造,有的还在使用,因此我们同发达国家相比,起步并不算晚。第二阶段为引进消化阶段,改革开放以来,根据钢铁工业发展和各企业自身发展的需要,陆续引进了一些现代化的连续铸钢设备,也购买了一些国外淘汰的二手设备,方坯、板坯、圆坯、各种形式的连续铸钢设备相继投产,同时相应改造了炼钢工艺设备,提高了炼钢工作水平。第三阶段是通过消化引进设备的技术,或通过国外合作设计,合作制造,提高自己的设计制造水平,从而以我为主自行设计制造连续铸钢设备。

经过以上三个阶段的发展,我国连续铸钢的装备水平和工艺技术都有很大提高,特别在消化引进后大量仿制和自行设计制造的连续铸钢设备大量增加,近年来又推行以连铸为中心,组织炼钢生产和炼钢工艺的改进,使连续铸钢工艺也日益发展,达产的连续铸钢设备日益增加。

上海宝山钢铁总厂连续铸钢设备的引进,使我国炼钢工业有了一个新的发展。例如,宝钢的在线调宽直弧型板坯连续铸钢设备采用了国际上连续铸钢的最新成果,具有当代第一流的先进装备和工艺水平。该设备的建设和调试都非常顺利,投产后1个月即达到设计指标,所产板坯的无缺陷率达到90%以上,产品质量达到国际水准。

承担宝钢总体设计的重庆钢铁设计研究院同时也承担了上海宝山钢铁总厂连续铸钢设备的引进技术谈判与合作设计工作,经历了从国外考察、技术交流、引进谈判、国外联合设计、设计联络、现场服务等的全过程,积累并占有了大量的文献资料,吸取了较丰富的实际经验。该院在总结国内外板坯连铸工艺、连铸设备与自动控制技术的基础上,重点结合宝钢板坯连续铸钢系统设计、制造、建设和生产的实际情况编写了《现代钢铁工业技术 板坯连铸》一书,系统地介绍了现代大型板坯连铸机的设计、生产、维护技术,内容全面、取材翔实、深入浅出,可供钢铁冶金界的工程技术人员及大专院校师生阅读参考。我相信,这本书的编辑出版,对进一步提高连续铸钢装备的设计、生产水平和我国连续铸钢技术的进步将会起到推动作用。我愿借此机会,向从事连续铸钢工作的科研、设计、制造、生产的工程技术人员为我国连续铸钢生产建设的迅速发展所作的努力,表示感谢;并希望他们在为实现我国现代化建设第二步战略目标的奋斗中为钢铁工业的进步和发展作出更大贡献。



前 言

上海宝山钢铁总厂(以下简称宝钢)连铸设备是我国也是世界上装备水平最高、技术最新、功能最全的现代化设备之一。它由两台双流板坯铸机组成,可浇铸厚 210~250mm,宽 900~1930mm 的板坯,设计年产量为 400 万 t,设备总重 2.8 万 t,装机电容量 33522kW。整个生产过程由 5 台 PFU-1500 计算机控制,厂房面积约 70000m²。设备是从日本引进的。

以往我国在引进时大多是只引进设备而未能引进技术,因此自己不能设计,影响了国产化进程。宝钢在引进连铸设备时遵照了国家确定的“由外商负全面的技术和经济责任,引进先进的技术和装备,并与外商进行合作设计、合作制造”的方针,力求使我们通过合作设计、合作制造基本掌握近代大型板坯连铸的设计、制造技术,为我国自行发展大型连铸创造条件。

为此,重庆钢铁设计研究院派出了各专业的技术人员赴日本,参加了 1~2 年的联合设计。这些派出人员在工作过程中通过多方面努力,基本学会了大型板坯连铸的设计技术,并取得了大量的技术资料,完成了预期的“建成并学会”任务。

宝钢连铸工程于 1986 年初开始施工,1989 年 7 月,№.1 连铸机开始热试车,1990 年 3 月该连铸机达到了年产 200 万 t 的生产水平。№.2 连铸机 1989 年 12 月试车,1990 年 7 月达到设计月产量。到 1993 年末,两台连铸机已浇铸出了 X 系列管线钢、耐蚀钢、高压容器钢、深冲钢、电工钢、船板钢等 45 个钢种,铸坯原始无缺陷率达到了 95.3%,合格率为 99.48%,生产正常,设备运行指标全部达到了设计要求。

总的来说,宝钢连铸的特点是产品质量好、铸机效率高。

宝钢连铸采用的新技术属当代世界连铸的最新成就,它的建成投产标志着我国大型板坯连铸技术已进入世界先进行列。

为此,冶金工业部本着“一家引进,全国受益”的精神,委托重庆钢铁设计研究院组织参加过宝钢连铸设备引进谈判和出国联合设计的宝钢及重庆钢铁设计研究院的同志,编写此书,供国内有关人员参考。

本书的编写人员如下:第一章李广厚;第二章康复;第三章麻庆恩;第四章余惠清;第五章熊毅刚、巢芝、麻庆恩、陈本鑫;第六章余惠清;第七章巢芝;第八章孙培慈;第九章巢芝、解永良;第十章朱萍丽、张祝南;第十一章李恩菊;第十二章罗深、陆洪泉;第十三章杨秀华;第十四章王玉明、柴水芳;第十五章余惠清;第十六章史悠复。全书由熊毅刚主编。

本书编写工作由重庆钢铁设计研究院科技处的姚桐林、董振铎具体组织,并得到了院内外有关领导和同志的大力支持,在此一并致以谢意。

编 者

1994 年 7 月

目 录

第一章 大型板坯连铸发展概况	(1)
第一节 国外板坯连铸的发展概况.....	(1)
第二节 国内板坯连铸的发展概况.....	(5)
第二章 连铸工艺及铸坯质量	(9)
第一节 连铸工艺.....	(9)
第二节 铸坯质量控制	(27)
第三章 连铸机的设计	(36)
第一节 连铸机的工艺布置	(36)
第二节 连铸机机型	(49)
第三节 辊列设计及计算	(55)
第四章 钢水预处理	(78)
第一节 连铸对钢水的要求和钢水处理技术	(78)
第二节 KIP-CAS 钢水处理	(79)
第三节 RH-OB 钢水脱气处理.....	(94)
第五章 连铸主要新技术	(101)
第一节 结晶器的在线调宽.....	(101)
第二节 合理的冷却和温度制度.....	(112)
第三节 结晶器漏钢预报.....	(120)
第四节 电磁搅拌.....	(125)
第五节 压缩浇铸.....	(134)
第六节 提高连铸机效率的措施.....	(148)
第七节 快速硫印.....	(151)
第六章 铸坯精整系统	(156)
第一节 铸坯精整区的布置及流程.....	(156)
第二节 精整设备的确定及主要技术性能.....	(160)
第七章 连铸机主要参数的确定和计算	(168)
第一节 连铸机生产能力的计算.....	(168)
第二节 主要工艺参数的确定.....	(171)
第三节 技术经济指标.....	(184)
第八章 连铸机的设备与结构	(187)
第一节 盛钢桶回转台.....	(187)
第二节 中间罐和中间罐车.....	(192)
第三节 结晶器.....	(196)
第四节 结晶器振动装置.....	(200)
第五节 快速更换台.....	(202)

第六节	扇形段	(208)
第七节	扇形段更换装置	(211)
第八节	引锭杆收存装置	(215)
第九节	连铸机本体液压系统	(222)
第九章	中间罐和设备维修	(224)
第一节	中间罐和滑动水口维修系统	(224)
第二节	中间罐数量的确定	(228)
第三节	设备维修及对中	(230)
第四节	结晶器镀层	(253)
第十章	电气传动及控制	(263)
第一节	现代板坯连铸电气设备的现状和发展	(263)
第二节	可编程序控制器在连铸设备上的应用	(269)
第三节	操作监视用 CRT 装置	(284)
第四节	连铸机的全交流传动	(292)
第五节	连铸机的控制	(304)
第六节	精整线的控制	(312)
第十一章	控制计算机系统	(323)
第一节	连铸控制计算机系统的发展概况	(323)
第二节	宝钢连铸控制计算机系统的构成	(338)
第三节	连铸控制计算机的应用功能	(343)
第四节	板坯精整控制计算机的应用功能	(377)
第十二章	仪表及通信系统	(397)
第一节	连铸仪表自动化概述	(397)
第二节	板坯连铸仪表自动化系统的设备构成	(398)
第三节	中间罐重量控制及结晶器内液位自动控制	(415)
第四节	二次冷却控制	(422)
第五节	钢水处理仪表系统	(428)
第六节	通信及工业电视	(432)
第十三章	给排水设施	(446)
第一节	概述	(446)
第二节	用户对用水的要求	(448)
第三节	给排水系统	(450)
第四节	水质控制及水处理系统的选择	(458)
第五节	主要设备及构筑物	(465)
第六节	操作与控制	(479)
第七节	主要技术经济指标	(482)
第十四章	通风、除尘及压缩空气	(483)
第一节	二冷区蒸汽排出系统	(483)
第二节	火焰清理机(MS)排烟除尘系统	(488)

第三节	钢水处理(KIP/CAS)排烟除尘系统	(496)
第四节	压缩空气	(500)
第十五章	耐火材料	(502)
第一节	盛钢桶系列耐火材料	(502)
第二节	中间罐用耐火材料	(508)
第三节	保护浇铸用耐火材料	(511)
第十六章	经济分析	(515)
第一节	概述	(515)
第二节	经济分析	(515)

第一章 大型板坯连铸发展概况

第一节 国外板坯连铸的发展概况

连续铸钢由于与常规生产相比具有生产工序简化,金属收得率提高,能源消耗降低,劳动条件得到改善和连铸坯质量好等优越性,因此是当前钢铁工业中发展最快的技术之一。现在,全世界的连铸比(见表 1-1)和连铸坯产量在不断增长,围绕连铸的新技术、新工艺、新设备在不断开发成功并被加以推广应用。连铸已成为钢铁生产中必不可少的工艺环节,是否发展连铸技术以及技术水平的高低、生产进行得如何已成为衡量各钢铁企业生产、技术、管理水平的标志之一。

表 1-1 1981~1992 年间全世界的连铸比

年	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
连铸比,(%)	33.7	39.6	43.0	46.8	49.7	52.4	55.3	58.8	61.8	64.1	62.9	65.3

世界上主要产钢国及日本的五大钢铁公司的连铸技术和生产水平一直是领先的,他们的连铸比(见表 1-2,1-3)在 70 年代末一般都不超过 50%,到了 80 年代末,日本、意大利、法国、比利时和前联邦德国都已超过或接近 90%,日本的五大钢铁公司 1992 年都在 90%以上。现在世界上已出现了一大批全连铸工厂(车间)。美国的连铸发展也较快,连铸比已接近 80%,但前苏联的连铸比增长得缓慢,还不到 20%。

表 1-2 主要产钢国家的连铸比(单位为%)

国家	日本	意大利	前联邦德国	法国	比利时	英国	美国	前苏联
1989 年	93.5	94.1	89.8	94.2	90.9	80.2	64.6	17.3
1990 年	93.9	94.8	91.3	94.3	91.7	83.6	67.1	17.9
1991 年	94.4	95.1	89.5	95.0	92.2	85.5	75.1	17.7
1992 年	95.4	96.1	92.0	95.2	93.9	87.0	78.9	17.1

表 1-3 日本五大钢铁公司 1991,1992 年的连铸比(单位为%)

公司	新日铁	日本钢管	川崎制铁	住友金属	神户制钢	平均值
1991 年	98.85	98.7	97.7	94.9	—	97.5
1992 年	99.7	98.7	98.5	96.2	93.2	97.26

表 1-4 1992 年连铸坯产量超过 2000 万 t 的国家

国家	日本	美国	德国	意大利	韩国
连铸坯产量,万 t	9356.9	6553.1	3653.4	2394.0	2714.4

在连铸坯产量方面,1976,1984,1988 年全世界就分别突破了 1 亿 t、2 亿 t 和 3 亿 t。日本的连铸坯产量居世界首位,1989 年超过了 1 亿 t,达到了 1.008 亿 t。1992 年世界上连铸坯

产量超过 2000 万 t 的国家有日本、美国、德国、意大利、韩国(见表 1-4)。日本五大钢铁公司 1991、1992 年连铸坯产量见表 1-5。

表 1-5 日本五大钢铁公司 1991、1992 年连铸坯产量(单位为万 t)

公 司	新日铁	日本钢管	川崎制铁	住友金属	神户制钢	合 计
1991 年	2830	1228.8	1065.9	1034.4		6159
1992 年	2502.9	1074.5	985	959.6	535.9	6057.9

板坯连铸在连铸中占有重要地位。从 1954 年世界上最早用于浇铸不锈钢的立式板坯连铸机在加拿大阿特拉斯钢厂建成并应用于工业化生产之后,板坯连铸机在机型、数量、板坯断面规格、产量和品种、质量、工艺及操作、设备和自动化水平方面都在不断进步和逐渐得到完善。

一、板坯连铸机机型

在 50 年代出现了立式板坯连铸机之后,为了降低设备高度和便于出坯,60 年代研制出了对铸坯在完全凝固后进行弯曲矫直而立弯式板坯连铸机,浇铸的板坯最大尺寸为 200×1500mm。但采用这种型式的连铸机由于钢水静压力大而容易出现铸坯质量问题,同时设备仍然较高,于是就出现了能弥补这些缺点的弧形板坯连铸机。1964 年在前联邦德国迪林根厂建成了一台能浇铸 250×1600mm 板坯的弧形连铸机。以后为了进一步降低设备高度,还曾制造了几台多点矫直的椭圆型板坯连铸机,但这种机型明显存在着非金属夹杂易在内弧聚集的缺点,因此为保证连铸坯的质量,势必对钢水的纯净度要求很高。为了生产质量要求严格的高级钢,在 70 年代又开发出了在直结晶器下面带 2m 多直线段,对带液芯的连铸坯进行多点弯曲和多点矫直的垂直弯曲型板坯连铸机。1974 年日本川崎制铁千叶厂建成的 №.2 板坯连铸机就属于这种机型。目前在国外的连铸机型中弧形板坯连铸机仍居主导地位,其数量占全部连铸机的 60%以上。虽然垂直弯曲型板坯连铸机设备复杂一点,但使用它对生产质量要求严格的高级钢有利。至于椭圆型板坯连铸机,它主要适用于厂房比较低矮又难以改造的情形。

二、板坯连铸机台数

全世界板坯连铸机的数量增长情况见表 1-6。

表 1-6 全世界的板坯连铸机台数

截止年份	1970	1975	1980	1985	1986	1987
拥有台数	45	114	195	328	338	348

1988 年以后,板坯连铸机增加较快,估计目前全世界拥有约 390 台板坯连铸机。

三、板坯断面

据国际钢铁协会 1985 年的调查结果,板坯厚度在 176~275mm 范围内的占 90~95%,除不锈钢以外的板坯平均厚度为 224~225mm。目前最厚的板坯已达 350mm。板坯宽度在 950~2200mm 范围内的占 90%,一般的板坯平均宽度为 1560mm,现在最宽的已达 2642mm。部分大型板坯连铸机及板坯断面尺寸见表 1-7。

表 1-7 部分大型板坯连铸机及板坯断面尺寸

序号	公司(厂)及机组号	投产年份	断面尺寸,mm
1	加拿大悉尼№.1机	1975	305×2133
2	意大利丹尼尔	1975	300×2200
3	日本川崎水岛№.6机	1976	310×2500
4	日本新日铁大分№.4、№.5机	1976	300×2200
5	日本钢管扇岛№.1机	1976	300×2300
6	美国国家钢公司大湖厂№.1机	1978	241×2642
7	前联邦德国蒂森公司布鲁克豪森№.1机	1979	250×2600
8	前联邦德国蒂森公司奥克韦尔特№.2机	1980	300×2400
9	前联邦德国派涅-萨尔茨吉特	1981	300×2600
10	美国国家钢公司格里厂	1991	305×2540

表 1-8 日本新日铁公司板坯连铸机板坯产量(单位为万 t/月)

年份	机组号	产量	年份	机组号	产量
1971	名古屋№.1	6.4	1979	名古屋№.1	26.4
1972	君津№.1	10.5	1980	八幡№.1	26.7
1973	大分№.1	16.2	1981	大分№.1	28.6
1974~1975	大分№.1	17.7	1982~1985	大分№.5	31.3
1976~1978	大分№.5	25.2	1986~1987	大分№.4	36.0

四、单台板坯连铸机产量

日本新日铁公司板坯连铸机板坯产量增长情况见表 1-8。单台板坯连铸机月产量在 70 年代就超过了 25 万 t,估计目前世界上有 20 余台板坯连铸机月产量在 20 万 t 以上。日本新日铁大分厂的№.4、№.5 板坯连铸机月产量均突破了 30 万 t。日本住友金属鹿岛№.3 板坯连铸机年产量已达 300 万 t,大分厂№.4 板坯连铸机从 1989 年 3 月到 1990 年 2 月连续 12 个月的月产量都超过了 30 万 t,并且在此期间还创造了年产 360 万 t 的世界记录。

五、板坯的品种、质量

早期的板坯连铸机生产的品种比较单一,多为一般用途的普通碳素钢板和低合金钢板用板坯,并且生产过程中也曾出现过内外裂纹、杂夹、中心偏析和疏松等铸坯缺陷,从而给生产质量要求严格和有特殊用途钢板用钢带来了一定困难。为满足需要,进一步提高板坯质量,拓宽品种,国外陆续开发和采用了下列新技术。

1. 未凝固板坯的矫直

1965 年奥尔森发明了带液相的铸坯逐渐弯曲矫直的技术,解决了高速浇铸时带液相板坯一点矫直时引起的内裂问题。提高了高速浇铸时的铸坯质量。

2. 扇形段辊列及驱动方式

板坯连铸机扇形段相邻两个辊子之间的板坯鼓肚变形是造成板坯中心偏析和内裂的主要原因,为了防止板坯鼓肚变形,国外采用了分节辊以减小辊子直径,缩小辊距。

为了分散拉坯时板坯内部承受的拉应力,在扇形段内配置了一定数量的驱动辊,采用多辊驱动方式拉坯。

为防止辊子错位时给板坯施加不均匀外力而导致板坯产生内裂,国外还开发出了辊子离线和在线对中、调整装置以及辊子开口度检测装置。

为了减少中心偏析和疏松,国外采用了辊子开口度逐渐收缩和在凝固终点前对板坯实施轻压下的技术。

3. 利用计算机控制二次冷却

板坯出现内外裂纹等缺陷与二次冷却关系极大,采用计算机根据浇铸过程中的钢种、规格、钢水温度、拉速等参数适时地进行动态控制,求出达到所定温度曲线的不同区域的比水量,并采用宽向控制技术防止板坯边角温度过低,获得无缺陷高温板坯。

4. 电磁搅拌

电磁搅拌可以改善板坯凝固组织,增加等轴晶率,减少中心偏析。

5. 保护浇铸

早期的连铸机浇铸时钢水暴露在大气中,这样钢水就会被二次氧化,增加了夹杂。为此,国外采用了对从盛钢桶到结晶器的钢水实行全密封保护的浇铸技术,即在盛钢桶、中间罐、结晶器中加保温隔热渣料,在它们之间采用浸入式水口或气体保护箱。

6. 钢水净化及二次精炼

钢水质量是板坯质量的基础,为了向连铸机提供高质量钢水,具有挡渣出钢和对钢水吹氩、喷粉、喂丝、合金化、微调成分、真空脱气,以及对钢水加热等各种功能的二次精炼技术都已得到了普遍应用。

7. 采用垂直弯曲型机型

这种机型采用直结晶器和垂直导辊段,使用它有利于大型夹杂物的上浮,同时还可以避免弧形连铸机夹杂物偏内弧聚集。

正因为采用了这些有利于提高铸坯质量的技术措施,所以板坯连铸机现在不仅能生产深冲用的冷轧钢板,还能生产深冲深拉罐头用的镀锡钢板,管线、高强度钢(约 $60\text{kg}/\text{mm}^2$)、耐层状剥落用钢板、锅炉和压力容器用钢板等连铸板坯。日本的厚板用连铸板坯数量早已超过了 80%,可以说因为质量问题而不能连铸的钢种已经是极个别的了。

六、工艺操作水平

1. 拉速

拉速是衡量板坯连铸机生产水平的主要参数之一。早期的板坯连铸机因为装备水平不高,操作水平较低,拉速一般在 $1\text{m}/\text{min}$ 左右。从 70 年代起拉速有明显提高,到了 70 年代中期,浇厚板用的 250mm 厚板坯的拉速就提高到了 $1.8\text{m}/\text{min}$ 。日本钢管公司福山厂一直在提高拉速方面作出努力,在世界上也处于领先地位。如 15 年前该厂 No. 2 板坯连铸机拉速就达到了 $2\text{m}/\text{min}$ 。该厂 No. 5 板坯连铸机是世界上目前少有的高拉速板坯连铸机,浇 220mm 厚板坯的拉速达 $3\text{m}/\text{min}$ 。为了实现 $3\text{m}/\text{min}$ 的拉速,该厂采取了下列技术:

(1) 使用低粘性、低软化点的结晶器保护渣,增大保护渣的消耗量。在拉速为 $3\text{m}/\text{min}$ 时;保护渣的消耗可以达到 $0.3\text{kg}/\text{m}^2$ 以上,从而减少了结晶器的内摩擦力。

(2) 采用电液伺服型结晶器振动方式,振动为上升时间比下降时间短的非正弦振动,增大保护渣消耗量,减少结晶器内摩擦力。

(3)将结晶器铜板温度控制在 350℃以内,采取强制冷却,保持结晶器宽度方向上冷却均匀。

(4)对结晶器下部采用能对薄壳进行面支撑并能进行充分冷却的冷却格栅支撑方式。

(5)采用结晶器钢液面自动控制装置。

(6)设定并控制合适的二次冷却强度。

2. 多炉连浇

国外部分板坯连铸机多炉连浇记录如表 1-9 所示。

表 1-9 国外部分板坯连铸机多炉连浇记录

序号	公司及连铸机	创记录时间	连浇时间,h/次	连浇炉数,炉/次	连浇板坯量,t/次
1	美国钢公司大湖厂№.1机	1979年11月	156.2	212	49 936
2	英钢联波特·塔尔伯特厂	1987年		300	100 200
3	美国钢公司格里厂№.2机	1988年1月		329	
4	日本日新制钢吴厂№.2机	1989年1月	199.06	345	63 530
5	日本川崎水岛二炼№.5机	1991年8~9月	822	927	

日本川崎水岛二炼№.5板坯连铸机为实现高水平多炉连浇,除了在连铸机装备水平、设备维护管理和工艺操作方面予以保证外,还采取了以下专门技术:

(1)快速改变结晶器宽度,最快变更速度为 100mm/min,最大变更量为 300mm。同时在热轧工序用定宽压力机,使连铸机与热轧生产完全同步,不致于由于两者不匹配而停浇。

(2)改进结晶器铜板冷却技术,从而大大延长结晶器寿命,这样就不致于因更换结晶器而停浇。

(3)采用在连浇过程中的浸入式水口更换技术,这样就不致于因浸入式水口损坏又不能重新更换而停浇。

(4)采用在连浇过程中改变钢种的技术,即采用在改变钢种时加铁攀、继续多炉连浇的技术。

七、检测和自动化

板坯连铸机有结晶器钢液面自动控制、漏钢预报、二次冷却自动控制、辊子开口度测量、自动测温、自动浇铸、自动调整结晶器宽度和锥度、自动切断铸坯、测量铸坯长度及最佳定尺切割控制、自动打印或喷印等 20 多项检测和自动控制项目。采用这些检测和自动控制措施将使连铸机操作稳定可靠,操作条件得到改善,劳动力使用量减少,金属收得率、铸坯质量和生产率均得到提高。

把计算机运用到板坯连铸中以后,进一步提高了自动化水平和控制精度,如自动切断铸坯可以使定尺精度达到±5mm,结晶器内钢液面控制精度达到±1.5mm,中间罐钢水重量控制精度达到±100kg。同时只有用计算机对炼钢、连铸和热轧进行管理才能实现直轧和热装。

第二节 国内板坯连铸的发展概况

我国第一台用于工业生产的弧形板坯连铸机 1964 年在重庆钢铁公司第三炼钢厂建成,并成功地生产了 180×875mm,180×1200mm,110×600mm 的板坯,试浇了 180×1500mm

板坯。以后经过 20 多年的不断努力,到 1992 年底,我国已建成投产了 146 台连铸机,形成了年产 3119 万 t 连铸坯的设计能力。连铸机的建成投产时间及新增设备生产能力见表 1-10。

表 1-10 我国连铸机建成投产时间及新增设备的生产能力

建成投产时间	建成投产的连铸机台数	新增设备生产能力,万 t/a
1958~1980 年	25	397
1981~1985 年	23	273
1986 年	11	164
1987 年	15	279
1988 年	16	331.5
1989 年	22	754.5
1990 年~1992 年	34	671
合 计	146	3119

1993 年新热试和投产的连铸机约 30 台,拆除旧铸机 3 台。在已建成的 146 台连铸机中,按铸坯断面形状划分,其构成如表 1-11 所示。目前我国板坯连铸机的设备设计能力已超过 1500 万 t/年,几乎占全国整个连铸设备生产能力的一半。1992 年全国共生产连铸坯 2432 万 t,连铸比为 30.4%;1993 年全国共生产连铸坯 3066 万 t,连铸比为 34.5%。

表 1-11 按铸坯断面形状划分的连铸机数量及生产能力

断面形状	台数	产量,t/a
板坯	34	1022.8
矩形坯	14	233.6
方坯	4	49.6
小方坯	79	830.6
大方坯	6	118.0
圆坯	2	11.4
圆坯、方坯(水平机)	7	5.4
合 计	146	2271.4

我国板坯连铸技术的发展过程大致经历了三个阶段,基本形成了三个不同层次的板坯连铸技术水平。

第一阶段为我国自行设计、制造板坯连铸机阶段。继 1964 年重庆钢铁公司第三炼钢厂弧形板坯连铸机建成投产之后,国家科委紧接着在 1965 年组织设计了 1 台特大型板坯(最大尺寸为 300×2100mm)弧形连铸机,该铸机于 1967 年 12 月在重庆钢铁公司第二炼钢厂建成投产。从 70 年代起,天津、上海、济南、安阳、邯郸、柳州等地的钢铁企业又建设了一批向 2300mm 中板轧钢机供厚度为 150~180mm、宽度为 750~1050mm 板坯的连铸机。这个阶段的连铸机主要是靠国内自己设计、制造、建设的,具有一定的独创性,在某些方面还处于当时的世界先进水平。如 1964 年 6 月 24 日投产的板坯弧形连铸机不仅是国内第一台,也是世界上第一台工业生产型弧形连铸机,它比前联邦德国迪林根厂的连铸机还早 5 天投产,可以

说弧形连铸机起源于我国。到目前为止,由于与立式、立弯式连铸机相比弧形连铸机设备高度低,工程造价较低,设备安装维护都比较方便,因而得到了广泛应用,是主流机型。板坯、矩形坯兼用弧型连铸机也属我国首创。此外,在连铸机设备结构方面,像板坯剪切机、多级结晶器(原称防漏板)、活脱引锭头、钳式拉矫机等也是我们独创的。当然不可否认,在这个阶段建设的连铸机设备比较简陋,电气控制和仪表检测装备水平不高,自动化水平较低。尤其是在保证板坯质量、满足生产品种要求和提高连铸机作业率方面的装备很不完整,所以这批连铸机的年产量大多在 20 万 t 以下,品种较为单一,板坯质量也有待提高。

第二阶段的标志为武汉钢铁公司第二炼钢厂从国外引进 3 台板坯连铸机。这 3 台板坯连铸机代表了国外 70 年代的水平,当时在许多方面给人耳目一新的感觉。比如采用盛钢桶回转台,尽管不带升降装置,但也取代了国内传统的盛钢桶座架或吊车浇钢方式,这无疑为多炉连浇提供了方便;采用组合式调宽结晶器,可以按 50mm 进级调整生产的板坯宽度;用 Co60 检测结晶器内钢液面位置,从而实现了浇钢自动操作;扇形段上下框架用液压缸夹紧,减少了变换辊缝厚度的工作量和时间;用辊缝检测仪随时检查二冷段辊缝,以保证板坯质量。采用多辊拉坯矫直机和定距块,分散拉矫辊对板坯施加的正压力,同时可以防止板坯受压过负荷,从而起到保证板坯内部质量的作用;结晶器及“O”段检修移到线外,缩短了检修时停机时间;用斜桥式引锭杆存放装置代替国内较为简陋的引锭杆存放机构;采用转盘把 3 台连铸机生产的板坯转 90°后集中送往后面的板坯快冷装置;为及时清理板坯缺陷,采用了板坯喷淋式快速冷却机和火焰清理机等。由于引进的机械设备,尤其是液压、润滑设备可靠程度高,电气和仪表系统先进,总的装备水平明显高于国内原有的铸机,因此在 1978 年投产后较快地发挥了作用。特别值得指出的是,由于这 3 台板坯连铸机为连铸生产提供了设备保证,再加上武汉钢铁公司第二炼钢厂采用了铁水预处理、转炉复合吹炼及钢水 RH 处理等诸多技术,为连铸机定时、定量、定质提供钢水,因此武钢在 1985 年就实现了全连铸,从而成为我国第一座大型全连铸生产工厂。近几年该厂的各项指标都一直处于国内领先地位,并且还因地制宜地开发了板坯热送技术。

第三阶段则以宝钢引进两台现代化大型板坯连铸机为标志,这次引进使我国板坯连铸技术达到了国际 80 年代的水平。除宝钢外,鞍山钢铁公司也同期引进了一台现代化大型板坯连铸机。这 3 台板坯连铸机都是双机双流,单台连铸机年生产能力为 150~200 万 t。它们的使用确保了板坯品种、质量,提高了连铸机作业率,实现了无缺陷板坯热送,使不同规格高温坯的生产装备先进、配套完整。以宝钢连铸为例,它的诸多技术在国内均属首次使用。如采用了垂直弯曲机型;实现钢水无氧化保护浇铸;采用大容量中间罐(钢水容量 65t);采用 900mm 长结晶器;采用含 Cr、Zr 的结晶器铜板;结晶器铜板内腔镀 Cr、Ni;在结晶器铜板内埋入热电偶进行拉漏预报;采用小振幅高频率结晶器振动装置;用涡流式结晶器钢液面进行自动控制;采用小辊径、小辊距的密排辊列;采用多点矫直和压缩铸造等高拉速相关技术;采用上装引锭杆把两次连浇之间的准备时间缩短到 40min;结晶器宽度在浇铸过程中可调;设备整体更换,进行离线检修;扇形段辊子表面堆焊防腐材料;二冷喷嘴及部分水管采用不锈钢。在生产无缺陷铸坯方面,采用钢水净化处理技术;采用电磁搅拌技术;采用扇形段辊缝检测及管理保证铸坯内部质量的技术。在实现板坯热送热装方面,除采用生产无缺陷铸坯的技术外,还采用了计算机进行铸坯质量管理和判断;进行热板坯在线目视检查;进行板坯在线切割试样和快速硫印检查;进行在线板坯四面火焰清理等。宝钢连铸还采用了二次弱

冷却及控制铸坯凝固终点、板坯复热及保温等生产高温坯的技术。在电气、仪表自动化和计算机运用方面,宝钢连铸由过程计算机和基础自动化构成了高水平的自动控制系统,再加上连铸过程计算机又与炼钢过程计算机及热轧生产管理计算机相衔接,从而最终构成了管理机、过程机和基础自动化三级自动控制系统,这种系统是典型的信息处理集中、控制功能分散(分散到由多台电气 PLC 和仪表 DCS 进行)的集散型系统。

宝钢的两台现代化大型板坯连铸设备分别在 1989 年 7 月和 12 月投产,№.1 机到 1989 年底生产出了优质板坯 30.2 万 t,到 1989 年 12 月,以普碳钢为主要代表的无缺陷铸坯比率达 90%。宝钢还试浇了螺旋焊管钢(APIX-70)。到 1990 年 3 月,№.1 连铸机的产量、质量、能耗均基本上达到了设计指标。浇铸收得率在 95%以上,平均连浇 3.89 炉,拉速已达到 1.4m/min。1993 年两台连铸机共生产 420.62 万 t 板坯。在消化、移植宝钢连铸技术的基础上,国内第一台基本国产化的大型双流板坯连铸机已在攀枝花钢铁公司建成。

由武汉钢铁公司、宝钢、鞍山钢铁公司、首都钢铁公司引进的板坯连铸机和消化移植引进技术后建设的攀枝花钢铁公司、舞阳钢铁厂、重庆钢铁公司和武汉钢铁公司的板坯连铸机代表了国内目前连铸的最高水平,它们已在或即将在连铸生产中发挥重要作用。这 10 余台大型板坯连铸机的生产能力和规格见表 1-12。

表 1-12 国内大型板坯连铸机生产能力和规格

厂名	台数	流数	生产能力,万 t/a	板坯规格,mm	
				厚度	宽度
宝钢	2	4	400	210~250	900~1930
首都钢铁公司	1	2	120	180~230	900~2030
鞍山钢铁公司	1	2	200	200~230	900~1550
武汉钢铁公司	3	3	150	170~230	700~1550
武汉钢铁公司	1	1	50	170~250	700~1600
攀枝花钢铁公司	1	2	100	200	700~1350
舞阳钢铁厂	1	1	60	250	1930
重庆钢铁公司	1	1	50	150~240	1050~1400

目前我国板坯连铸在发展过程中存在的主要问题是:板坯连铸占的比重还不小;在品种、质量方面,尤其是合金钢板坯的品种还需进一步开发;热送热装还要进一步推广和提高水平。

第二章 连铸工艺及铸坯质量

第一节 连铸工艺

一、板坯连铸工艺流程

现代化的宝钢板坯连铸工艺流程为：转炉→盛钢桶→钢水处理(RA, KIP, CAS)→回转台→中间罐→结晶器→铸坯导向装置→切割→去毛刺→喷印→精整→热轧，见图 2-1。

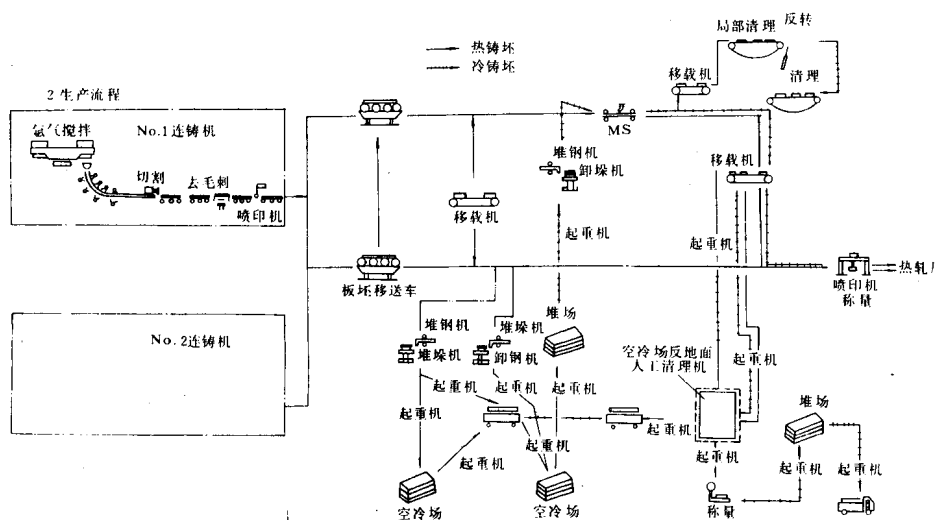


图 2-1 工艺流程示意图

转炉炼出来的钢水倒入盛钢桶,用起重机运送到钢水处理场,按不同的钢种进行各种处理。

处理后的钢水,用起重机吊至回转台,回转到浇注位置(即中间罐的上方),人工接上氩气和压缩空气的配管、称量装置用配线、滑动水口控制用配线。通过盛钢桶底部的透气砖向钢水吹氩,以使盛钢桶内钢水温度均匀,促进钢水内杂物上浮。

上述操作完毕后,用长水口把持装置将长水口与盛钢桶滑动水口连接在一起,打开盛钢桶滑动水口,使钢水注入中间罐,待中间罐内钢水液面达到要求时,打开中间罐模拟塞棒,同时用中间罐滑动水口控制注流,使中间罐内钢水按一定速度注入到结晶器中。

注入到结晶器中的钢水被已经密封在结晶器下口的引锭头挡住,经结晶器内冷却水的冷却,周围的钢水凝固成坯壳,之后,启动拉坯辊,通过引锭杆将铸坯徐徐拉出。此时铸机内的铸坯内部仍是熔融的钢水,在整个诱导装置内,用装在夹送辊间的喷嘴向板坯表面喷水,以保证铸坯在出连铸机前完全凝固。

当铸坯尾部出连铸机时,用脱引锭装置使引锭杆与铸坯分离,引锭杆被引锭杆卷扬装置收容到操作平台上的引锭杆小车上,以备下次浇铸时再用。而铸坯则继续由辊道向前输送。铸坯在切割辊道上被按定尺切割,切割后的板坯在去毛刺辊道上用去毛刺装置去除其两端