

CCC'97

发展中国家连铸会议论文

选 集



中国金属学会连铸分会

CCC'97

发展中国家连铸会议论文

选 集



中国金属学会连铸分会

前 言

中国金属学会主持召开的第二届发展中国家连续铸钢国际学术会议（CCC'97）于1997年10月28日在湖北省武汉市举行。

进入90年代以来，连铸基础理论研究的新进展、新技术和新设备的开发，以及计算机自动化控制技术的广泛应用，有力地推动连铸技术的进步。高效连铸、连铸坯热送热装直接轧制、薄板坯连铸连轧、带钢连铸、电磁连铸以及各种近终形连铸等新技术的研制和工业化应用，标志着连铸技术发展进入一个新的阶段。它推动钢铁工业结构调整，工艺优化的进展，引起各国钢铁界的普遍关注和重视。

同时，中国的连铸技术发展也取得令人瞩目的成绩。1990年连铸坯产量 $1480.7 \times 10^4 \text{ t/a}$ ，连铸比为22.3%。1996年连铸坯产量 $5377.0 \times 10^4 \text{ t/a}$ ，连铸比为53.0%。连铸坯产量增加了3.6倍，连铸比提高30.7个百分点。在连铸坯产量迅速增长的同时，品种质量、连铸新技术及其相关技术同样有了很大发展，取得了可喜的成绩。中国冶金工业部预定2000年钢产量为 $12000 \times 10^4 \text{ t/a}$ ，连铸比为70%~80%。中国连铸技术进入一个以优质高效为主要特征的高速发展时期。

这次会议是一次重要的国际连铸会议。来自世界20个国家和地区的专家学者出席了本次会议。会上宣读了75篇学术论文，反映了当代国际连铸技术的最新发展。

这次会议为国际钢铁界专家学者、钢铁厂、科研院所、设备制造厂家和工程公司提供交流技术、学术研讨的良好机会，增进了解、增进友谊、为连铸技术的发展作出积极的贡献。

我们对出席会议的专家学者和论文作者表示衷心的感谢，对武汉钢铁（集团）公司以及支持本次会议的单位和个人表示衷心感谢。我们将部分论文译成中文以供国内连铸工作者参阅和交流。

CCC'97 第二届发展中国家国际
连铸会议学术委员会
1998.12.

目 录

一、特邀报告

1. 中国加快发展连铸的途径 中国 . 殷瑞钰等 (1)
2. 日本连铸技术的最新进展 日本, Kyoji Nakanishi (7)
3. 控制铸态的显微结构浇铸近终形板材的关键问题 瑞士 . M. M. Wolf (12)
4. 不锈钢连铸的冶金和工艺技术 德国 . H. - U. Lindenberg 等 (24)
5. CSP 生产工艺及它的热带钢质量 德国 . F. - P. Pleschiu - tschnigg 等 (35)
6. ISP 薄板坯连铸连轧技术的现状和发展趋势 德国 . J. Schönbek 等 (54)

二、钢水准备和中间罐冶金

1. 在板坯浇铸中先进的中间罐冶金 瑞士 . M. M. Wolf (64)
2. 连铸中间包钢水清洁度的研究 中国 . 张立峰等 (72)
3. 中间包等离子加热应用研究 中国 . 彭国仲等 (77)
4. 连铸中间包中喂稀土丝的冶金效果 中国 . 索进平等 (81)

三、连铸实践、产品质量和理论研究

1. 福山厂六号板坯连铸机的中碳钢高速连铸技术 日本 . Hiroshi Murakami 等 (86)
2. 宝钢连铸热坯热送热装工艺的进步 中国 . 张清朗等 (91)
3. 用于大方坯连铸机的轻压下技术在韩国浦项钢厂的发展
..... 韩国 . Seong - rin Kang 等 (95)
4. 合金钢大、小方坯连铸的最新发展 瑞士 . M. M. Wolf (100)
5. 小方坯连铸采用铸轧工艺对铸坯质量的改进 德国 . T. El. Gammal 等 (106)
6. 高质量高生产能力连铸的新工艺技术 日本 . Masakazu Fujioka 等 (110)
7. 板坯连铸机—现代技术和设备设计思想 德国 . D. Letzel 等 (119)
8. 1Cr18Ni9Ti 不锈钢连铸生产和技术 中国 . 郭家祺等 (133)
9. 生产大方坯和工字梁坯连铸机的新发展 德国 . R. Hoffmann 等 (138)
10. 气隙补偿式高拉速方坯连铸结晶器研究 中国 . 陶金明等 (147)
11. 住友金属和歌山厂一台圆坯连铸机的建设 日本 . Masato Aoki 等 (157)
12. 武钢第三炼钢厂投产半年全连铸生产实践 中国 . 余志祥等 (164)
13. 攀钢双流板坯连铸机工艺特点 中国 . 毛敬华等 (171)
14. 连铸小方坯轧制弹簧扁钢的质量控制 中国 . 宛 农等 (176)
15. 连铸与热轧的同步作业无缺陷的浇铸技术—三菱 No4 连铸机的构造和作业
..... 日本 . Hisao Yamazaki 等 (183)

16. 表面无缺陷不锈钢铸坯的高速连铸工艺——千叶4号连铸机的建设和操作
..... 日本 .Chikashi Tado 等 (191)
17. 高效小方坯连铸机生产专用优质棒材 (SBQ) 瑞士 .B.Rischka 等 (198)
18. 完善冶炼工艺, 实现连铸稀土处理钢的最佳效果——
“八五”武钢连铸稀土处理钢总结 中国 . 曹 伟 (206)
19. 小方坯高速浇注技术 奥地利 .F.Wimmer 等 (214)
20. 国产化大型板坯连铸机在攀枝花钢铁 (集团) 公司顺利投产
..... 中国 . 王中元等 (223)

四、近终形连铸

1. 美国 ARMCO MANSFIELD 钢厂的薄板坯浇铸和直接轧制 (Conroll)
装置的设计特点 奥地利 .A.Fick (230)
2. 双辊薄带连铸技术的开发 中国 . 孟繁德等 (241)
3. 浦项小型钢厂现状 韩国 .Rae Kim 等 (246)
4. 采用 Danieli FTSC 技术进行的缺陷敏感钢种的高拉速薄板坯浇铸
..... 意大利 .Andrea Carboni 等 (254)

五、连铸过程控制和自动化

1. 板坯连铸机二冷水控制模型与应用 中国 . 赵家贵等 (265)
2. 连铸生产过程的仪表系统、自动化控制和质量控制
..... 德国 .J.Schwedmann 等 (269)
3. 粘钢漏钢检测系统 德国 .Johannes (271)
4. 专家质量评定 德国 .U.Falkenreck 等 (276)
5. 神经网络漏钢预报系统 中国 . 罗公亮等 (279)
6. 武钢第三炼钢厂连铸机计算机系统和二次冷却控制 中国 . 刘校平 (284)

六、连铸设备改造和维修

1. 板坯连铸机的最新进展 德国 .O.A.Schmidt 等 (291)
2. 罗可普高效连铸系统 中国 . 余希方等 (304)
3. 关于连续矫直 (弯曲) 的理论探讨 中国 . 李宪奎 (306)
4. 中国西北地区第一台板坯连铸机 中国 . 谢东钢等 (312)
5. 方坯连铸机拉矫机拉坯阻力计算 中国 . 姜时荣等 (317)

七、连铸消耗材料及其他

1. 连铸保护渣的渣耗和渣性能选择设计 中国 . 颜慧成等 (326)
2. Sic 及 Ca—Si 在连铸保护渣中的作用特性 中国 . 王 谦等 (332)

— 特邀报告

中国加快发展连铸的途径

殷瑞钰 潘荫华 苏天森
钢铁研究总院 冶金工业部

摘 要

论述了1988年以来,中国连铸生产在贯彻以连铸为中心的生产技术方针,加快连铸科研开发,推动装备国产化和设计规范化,强化人员培训,注意相关技术配套发展等主要措施后,实现连铸生产快速发展的主要经验。明确了继续大力优化和完善连铸生产,推动钢铁生产技术进步的目标和重点工作。

1 前 言

中国对连铸的开发较早,但经历了一段曲折的过程。80年代以前,发展较为缓慢。从1958~1980年,仅建设了25台连铸机,能力为345万t/a,1980年生产连铸坯230万t,连铸比6.18%。1981~1985年也仅新增铸机24台,1985年连铸比10.83%,5年间年增长不足1%。随后经过认真总结经验教训,从战略上决定加速发展连铸。1988年召开第一次全国连铸工作会议,首次提出了发展连铸的生产技术方针,明确了大力发展连铸的战略思想,成为加速发展连铸的转折点。1989年,中国连铸坯年产量首次突破千万t。从1990年开始,中国连铸发展的速度达到了主要产钢国连铸增长最快阶段的水平。1989~1997年间,中国连铸坯产量年均增长626.23万t,高于钢产量年均增长534.78万t的速度,连铸比则年均增长5.09%。1997年连铸坯产量已达6,508万t,连铸比达到60.50%。这一年,连铸坯增长量达1115万t,创历史最高水平,连铸比增加7.23%,均达到了新的高度(图1、表1)。

80年代后期,中国加快发展连铸的途径主要是通过以下措施实现的。

(1) 炼钢厂由原来以炼钢炉为中心组织生产改变为以连铸为中心组织生产,相应确定连铸生产技术方针;

(2) 加快发展连铸有关的科技开发和系统研究;

(3) 推进装备国产化;

(4) 加强各类人员的培训。

2 改变炼钢厂生产的逻辑关系，从以炼钢为中心 转变为以连铸为中心

这是推动连铸生产快速发展的重大技术思路转变，从根本上解决了连铸生产发展过程中，炼钢厂内各工序间功能关系的重新分配与组合问题。不但加速了连铸生产的发展，还消除了模铸对炼钢炉能力的“瓶颈”限制作用，带动了整个炼钢厂的生产。

表 1 中国 1980~1996 年间钢产量、连铸坯产量和连铸比统计

年份	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
钢产量/万 t·a ⁻¹	3712	3560	3716	4002	4348	4679	5221	5628	5943
连铸坯/万 t·a ⁻¹	229.5	254.0	275.0	358.5	460.5	506.9	623.2	724.3	871.9
连铸比/%	6.18	7.13	7.40	8.96	10.59	10.83	11.94	12.87	14.67
年份	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
钢产量/万 t·a ⁻¹	6159	6535	7100	8093	8954	9261	9536	10123	10756
连铸坯/万 t·a ⁻¹	1005.1	1480.7	1883.5	2428.2	3030.5	3654.2	4432.5	5392.9	6508.0
连铸比/%	16.32	22.66	26.53	30.00	33.85	39.46	46.48	53.27	60.50

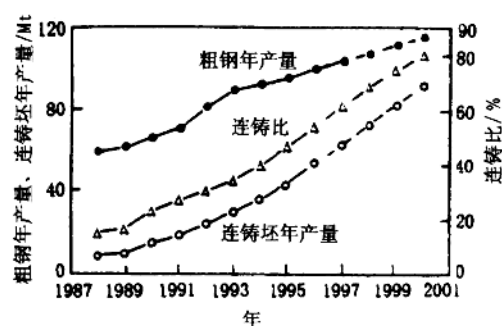


图 1 中国加速发展连铸的过程和趋势预测

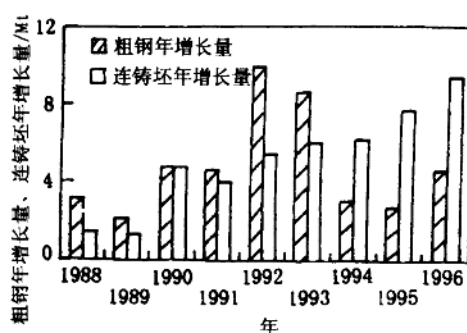


图 2 近 10 年来中国粗钢、连铸坯增长量的变化

在中国钢厂小转炉占多数的特定条件下，加速发展连铸是分阶段逐步进行的，基本上是分三步走。

(1) 实施“以连铸为中心，炼钢为基础，设备为保证”的生产技术方针，重点抓好铸机达产工作，实现连铸生产高速增长的目标。

1988 年以前，由于缺乏对现代炼钢厂的生产必须适应连铸的连续性及其在物流、时间、温度、质量衔接匹配方面严格要求的认识，不少有连铸机的钢厂在生产组织、计划、人员配备、设备维修和相关技术等方面都未把连铸生产放在重要位置上认真对待。相当一部分钢厂只是把连铸机作为模铸能力的补充，没有认真分析和掌握本厂条件下连铸生产的客观规律，因而不少铸机都不能达到设计能力。1990 年以前，铸机不能达产是中国发展

连铸的难题。据 1989 年统计，达产铸机的台数尚不足总台数的 30%，尤其是小方坯铸机达产不足 15%。当时在宏观管理上，提出了已建成的铸机要在 2 年内达产，新建铸机要在 1 年内达到设计能力的要求。随后，有铸机的钢厂也改变了以炼钢炉为中心的生产组织方法，从生产计划安排、炼钢时间节奏、温度和质量上都努力满足连铸机连浇的要求，炼钢炉要为连铸机提供定时、定温、定质量的钢水，起基础作用。同时，严格贯彻关于连铸设备管理的十条规定，把保证设备的设计功能，保证设备维修质量，充分供应备件，提高铸机与备件制造、安装质量等工作做好。因此减少了各类事故。设备起到了保证作用。另外，还大力组织相关技术试验，有的钢厂还从炼钢—轧钢的衔接匹配上，调整了铸坯断面，从经营销售上也适应了连铸生产的特点，使中国铸机在 1993 年基本上解决了达产这个难题。1992 年起还出现了合肥钢厂、马钢二炼钢等一批当年建设、当年投产、当年达产的铸机。铸机生产效率的提高，促进了炼钢炉生产能力的提高。尤其是一批地方企业，长期以来模铸限制炼钢能力的问题得到解决，转炉利用系数提高，有的炼钢厂产量成倍超过了原设计能力。人们对“以连铸为中心，炼钢为基础，设备为保证”的连铸生产技术方针的重要性有了新的认识。从 1989 年起，连铸坯产量的增长成为中国钢产量增长的主要部分。从 1994 年起，连铸坯产量的增长超过了钢产量增长的绝对量，带动了中国钢产量的迅速增长（图 2、表 2）。

(2) 以全连铸生产为方向，协调前后工序，实现炼钢—炉外处理—连铸的组合优化。

在实现铸机达产的基础上，进一步从技术进步导向上强调实现炼钢厂内工序的组合优化问题。通过对炼钢厂内各工序功能分析和中国炼钢厂现状的分析，把组合优化的重点工作放到了大力发展炉外处理技术，使其纳入正常生产规范，实现“在线”运行。

表 2 近 10 年来中国地方中小钢厂连铸比和转炉利用系数的变化

年份	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
连铸比/%	20.57	22.57	41.53	45.67	48.23	54.96	59.45	62.05	71.71	75.24
转炉利用系数/(t·d ⁻¹ ·t ⁻¹)	25.903	26.64	26.64	27.32	30.63	34.39	34.39	36.09	39.83	44.65

在中国，把铁水预处理、钢的二次冶金和中间包冶金通称为炉外处理技术。在现代化炼钢厂内，炉外处理技术不仅要作为提高冶金产品质量、扩大炼钢品种的重要手段，而且还要成为提高生产效率，降低成本，特别是对炼钢—连铸—轧钢实现高温衔接的重要调控手段。

为了促进炉外处理的发展，从生产技术导向上提出了“立足产品，合理选择，系统配套，强调在线”的方针，以宝钢、武钢等已形成组合优化工艺流程的企业为榜样，认真分析各类炉外处理技术的功能，结合不同钢厂产品与工艺流程的具体需要，尤其是连铸生产的要求，选择相应的炉外处理方法，搞好工艺布置，在设计和施工中注意配套需要和相关技术，纳入生产工艺规范，实现“在线”运行。

由于中国钢厂小转炉占大多数，因此首先大力推广了钢包吹氩、喂线等简单有效的技术，同时也开发带有温度补偿功能的钢水精炼技术。发展到今天，吹氩、喂线比已超过 50%，除吹氩喂线以外的钢水真空与非真空精炼比超过 16%，铁水预处理比达到 18% 以

上,中间包冶金技术也有若干的开发与应用,这些措施有效地促使连铸的发展。

由于炼钢—炉外处理—连铸组合优化技术的发展,中国相继出现了一批全连铸炼钢厂。特别是1993年起,全连铸炼钢厂得到迅速发展。历年来全连铸炼钢厂的个数列于表3。

全连铸炼钢厂的发展促使炼钢炉能力的充分发挥。现在,中国具有3座30t转炉的炼钢厂年产钢量都在100~150万t之间。实现全连铸生产的钢厂不仅产量全面提高,而且由于实现全连铸的要求,生产经营管理的全面优化,使得炼钢厂的技术经济指标也有了很大的改善。事实改变了认为实现全连铸后对生产有影响的看法,见表4。

表3 历年来中国全连铸炼钢厂的发展进程

年份	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
全连铸炼钢厂/个	1	1	1	2	3	4	5	9	14	23	37	50	66

表4 武钢二炼钢、上钢三厂2号转炉全连铸前后主要指标对比表

年份	钢厂	钢产量 /万t	连铸比 /%	炉龄/炉	钢铁消耗 量/kg·t ⁻¹	劳动生产 率/t·人 ⁻¹
1984	武钢	144.42	88.42	582	1091.49	481.40
1985	武钢	161.21	99.76	806	1068.31	537.37
1991	武钢	205.55	100	1602	1092.81	692.81
	三厂	101.717	82.23	960.5	1134.59	603.66
1992	武钢	211.57	100	1823	1094.42	703.68
	三厂	111.085	98.82	1137	1126.90	739.90
1993	武钢	232.07	100	2265	1090.40	802.08
	三厂	117.525	100	1205.6	1125.90	877.71
1994	武钢	240.17	100	2861	1089.53	838.38
	三厂	123.522	100	1164.1	1125.66	1086.39
1995	武钢	245.39	100	3447	1089.70	892.49
	三厂	130.295	100	1096.2	1125.11	1295.10

(3)从钢厂结构优化和提高市场竞争力的高度出发,进一步大力发展连铸。把握好投资方向,加大投资力度,在以全连铸为方向,炼钢—炉外处理—连铸组合优化的基础上,积极发展高效连铸、铸坯热装热送、计算机控制和近终形连铸技术。

在实现铸机达产、推进工艺流程组合优化的基础上,不失时机地抓紧发展全连铸生产,提倡转炉炼钢厂到2000年基本实现全连铸,电炉炼钢厂要以全连铸作为改造和建设新生产线时设计的重要目标,逐步淘汰初轧/开坯机。

全连铸炼钢厂的发展有一个进一步优化的问题,要求已经实现全连铸的钢厂进一步提高炼钢操作水平、改善炉外处理技术、发展高效连铸技术、自动控制技术、实现高水平的组合优化,并在温度、质量、时间节奏和物流量、铸坯断面等方面与轧钢机生产衔接匹配。当然,近终形连铸也是重要目标,2000年以前将至少建设3套薄板坯连铸连轧装置

和1套“H”型坯连铸机。

全连铸生产系统、高效连铸技术、连铸自动控制、连铸坯热装热送、近终形连铸连轧这五项重点技术，正在引导中国钢厂的投资和各类技术装备的开发，使连铸系统不断改进，促进钢厂结构优化。

从以炼钢炉为中心转变为以连铸为中心，加速提高连铸比，进而实现全连铸炼钢厂，推进炼钢生产结构优化的战略，是中国加快发展连铸的实践中最重要的措施。并且已经在钢厂结构优化，提高市场竞争力方面取得了很好的效果。

3 加强与连铸有关的科技开发和系统研究， 改进工程设计规范

在发展连铸的过程中，重视从企业生产需要出发，组织新技术的开发。在炼钢技术、炉外处理技术、高效连铸技术、连铸坯热送热装技术、全连铸优化技术上，由国家组织，以企业为主体，组织高等院校、研究院所参加进行了大量的开发研究和工业性试验，其结果在生产中的应用取得了良好的效果。

在系统优化的总体高度上进行研究，协调好连铸机与前后工序之间的衔接匹配是十分重要的。特别要以钢厂结构优化为目标，协调好技术改造和投资方向、投资顺序、投资强度之间的关系。取得良好的市场竞争力是系统研究的重要内容。因此，大力发展连铸技术，不断改进工程设计规范，受到了高度的重视。从1989~1995年，两次制定、修订了“连铸工程设计若干规定”、“连铸工程设计规范”，对炼钢、精炼的基本配置，连铸机工艺与装备的最基本的要求（包括作业率、收得率、生产能力、工艺与装备的基本配置要求等），断面选择原则及与轧钢的衔接匹配等重大问题都作了明确的规定，这对保证铸机迅速达产及连铸技术水平的提高起了很好的作用。

中国连铸的发展进程实际上也是引导投资方向的过程，是调整钢厂（企业）结构的重要入手处。各企业从1989年以来，在连铸高速发展取得的效益中深切体会到发展连铸是增强企业竞争力的有效途径，因此纷纷将投资重点转向连铸及其相关工程。而地方钢铁企业由于对市场、规模的敏感性更强，而且大多生产长材，连铸投资相对较少，生产较容易，因而这几年来一直比大型企业更积极地发展连铸生产技术，不但连铸比始终高于大型企业，而且在诸如高效连铸技术、热送热装技术、近终形连铸技术的开发应用上，更富于开拓精神和勇于承担风险的意识。这种发展上的不平衡已引起了行业和企业的重视。

4 积极推进装备国产化

铸机国产化是中国连铸快速发展的关键之一。由于长材生产比例很大，故连铸机的国产化从小方坯铸机开始，在十多年研究开发与生产的基础上，不断改进设计与制造要求，我国掌握了小方坯铸机设计制造的成套技术，基本满足了国内需要，甚至还有少量出口。近年来，在自主开发高效连铸技术上也有了进展，已在120mm、150mm小方坯铸机的高效化改造中，分别取得了拉速达到4.0m/min和3.0m/min的新成绩。水平连铸机则可完全立足于国内，板坯铸机也已基本上立足于国内设计和制造。到目前为止，中国在生产连铸机共有271套，其中53套为国外引进或合作制造，218套为国产或国产化。一般而

言，国产连铸机或国产化连铸机的价格仅为进口连铸机的三分之一甚至是四分之一。国产化当然不是说一定要百分之百的中国制造，在主体设计制造立足国内的前提下，从优化质量、降低成本出发，并不排除择优选择某些国外的部件或设备。在实现国产化的同时，对国际上最先进的连铸技术与装备，只要价格合理，也不排除引进或与外国公司合作。

5 重视各类、各层次人员的培训是中国连铸生产发展取得成果的重要原因

随着连铸生产的发展，特别是全连铸炼钢厂的出现，对钢铁厂职工素质的提高也有了更加迫切的要求。组织了管理人员、岗位人员、技术人员等各层次人员的培训班，包括在岗和上岗前的各类培训、脱产和业余培训、不同方式的经验交流会、专题讲座等，从80年代末期起，举办了20多种培训班，传递炼钢、连铸技术发展动态和基本技术管理知识。

从宏观管理上，为适应连铸生产发展的形势，及时组织出版专门的连铸专业教材，编辑出版了大量最新技术动态为主要内容的继续教育工程丛书，还通过期刊、报纸加强对发展连铸战略思路与技术信息的报道。

这种多层次的培训，使企业职工素质普遍提高，为连铸生产高速增长打好了基础。

6 强化系统工程思想，配套发展相关技术，使连铸生产的持续发展与优化有了良好的基础

70年代到80年代后期，我国发展连铸生产时，对发展相关配套技术的重要性认识不足，在一定程度上影响了连铸水平的提高与经济效益。1988年以后，结合铸机达产和连铸生产的优化，加强了耐火材料、保护渣及各类设备的备品备件等相关技术的开发，有力地推动了连铸生产的发展。目前，适合连铸生产的耐火材料已基本立足于国内，还有相当一部分出口；连铸空心颗粒、预熔和非预熔保护渣都已能生产，并逐渐形成以2~4条先进生产线为主的合理布局。电磁冶金、钢包系统技术、中间包冶金等技术也逐步在生产中得到应用。

7 结 语

发展连铸是中国这样的发展中国家钢铁工业结构优化的重要手段，它已推动了中国钢铁工业朝着淘汰低效率、高消耗、长周期的初轧/开坯万能工厂，促使产品结构向专业化的方向发展。发展连铸的必然结果是深度挖掘转炉、电炉以致于高炉、轧机的生产潜力，带动前后工序衔接的优化重构；推进系统优化，实现大幅度提高生产效率、提高质量、降低成本。工程设计规范化和装备国产化、人员培训等方面的进步，有效地满足了中国发展连铸的各方面需求。

连铸仍是当代钢铁工业发展的最为重要的环节之一，高效连铸、近终形连铸、炼钢—连铸—热连轧的高温热联接等技术的发展仍非常活跃，应继续作为重要的投资方向。

1998年中国钢铁工业的连铸比可达到67%。作为努力目标，2000年中国钢铁工业的连铸比将为80%左右。

日本连铸技术的最新进展

Kyoji Nakanishi (日本)

摘 要

最近 10~15 年,日本现代连铸技术的发展特别强调高质量和高生产率。板坯和大方坯的表面和内部缺陷是裂纹、非金属夹杂、气泡和溶质偏析。为了减少这些缺陷,在生产实践中采用了新的工艺。例如 H—形的中间包、中间包钢液加热、离心钢流中间包、立弯式结晶器、控制钢流结晶器、结晶器中弯月面新控制系统和大方坯最终凝固阶段在线连续锻造等。本文将详细讨论这些技术。

前 言

现在扼要介绍日本连铸技术发展的历史,如图 1 所示,不锈钢生产采用连铸技术比碳钢生产采用连铸技术大约要早 10 年。其结果是 99% 的不锈钢板坯和碳钢板坯采用连铸生产。现在 99.8% 的碳钢带钢和 98% 的碳钢板坯也用连铸工艺生产。

1985~1995 历届专题学术讨论会论文的 32% 是关于连铸技术方面的。这些会议不仅是 ISIJ, 而且也有炼钢、特殊钢、ISIJ 的联合研究学会的电炉委员会,如图 2 所示。在这 32% 的学术论文中,表面和内部质量改进是主要的内容。为了改善板坯和大方坯的表面质量,研究和发展的最初阶段,广泛地研究了保护渣和二次冷却方面的问题。其结果是取得了高浇注速度和高生产率的成效。进而取得了热装轧制(CC—HCR)和直接轧制(HOR)的成果。它对节能非常有效,从而节约成本。为了改善板坯和大方坯质量不稳定状态,采用了电加热中间包钢水的措施。

中心成份偏析和中心疏松是板坯和大方坯的主要内部缺陷。在第二阶段进而消除了这些缺陷。在浇注板坯时采用了轻压下工艺,或从辊距扇形段进行浇注。生产大方坯时则采用了连续锻造工艺。

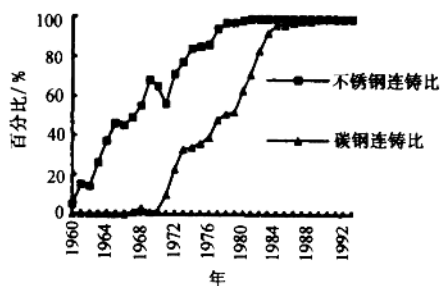


图 1 连铸比的增长

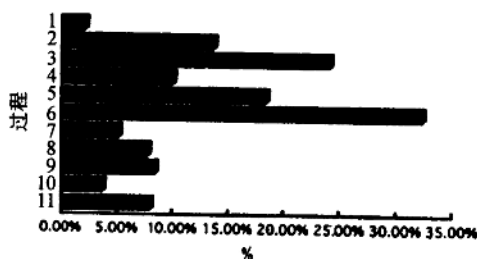


图 2 专题学术讨论会论文

1. 新工艺 2. 耐火材料, 自动化 3. 初次精炼
4. 特殊钢精炼 5. 二次精炼 6. 连续铸钢 7. 内部质量
8. 表面质量 9. 一般质量 10. 生产率 11. 操作

许多研究者已经采用电磁场对中间包中或结晶器中的钢液流进行控制或制动，以减少非金属夹杂、气泡和表面裂纹。在结晶器中钢的流动现象对铸坯的表面质量非常敏感，特别是新月面水平的波动是很有害的，并常导致产生表面缺陷。曾经尝试用先进的控制系统来抑制这些波动。前面提到的新技术将在下面详细讨论。

中间包的新工艺

中间包冶金的关键要求如下：

(1) 借助于上浮的作用，以增强非金属夹杂物的去除；(2) 防止钢液再氧化，(3) 借助于加热设施以调整钢液的温度。

图 3 所示为 H 形中间包，它能用两个钢包同时浇注。中间包中的钢液面水平可以保持足够高度，以避免在更换钢包时炉渣卷入钢液中去。而且钢液从钢包的注入点流至进入结晶器的水口间有足够的流动距离，再配合使用挡渣堰，使钢渣有足够的时间上浮至顶渣中去。

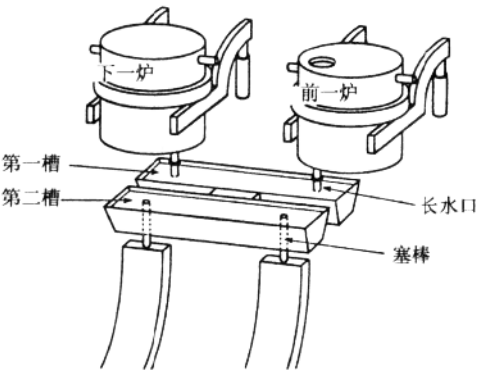


图 3 H 形中间包示意图

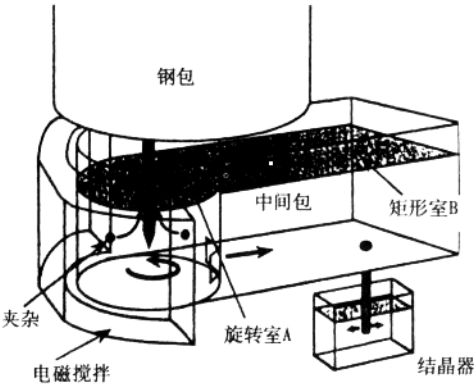


图 4 离心流动中间包

另一项新近开发的能促进中间包中非金属夹杂物分离、有效减少非金属夹杂的新技术是来用电磁力在圆柱形中间包中转动钢水。图 4 为离心流动式中间包的示意图。它有两个室，圆柱形室 A 和矩形室 B。钢液在圆柱形室中旋转。图 5 示出旋转与不旋转所生产的板坯中氧含量的比较。采用旋转法所产的板坯中氧含量大约减少 50%。当更换钢包时，板坯中的氧含量也同样降至不带旋转稳定浇注时的水平。离心流动式中间包对加速脱氧和去除被卷入的钢渣是有效的。

当中间包最初注满钢水时，钢水温度即会降低至质量要求的温度之下。这种温降也会造成水口堵塞的麻烦。因而中间包加热就是一种可取的办法，有两种加热的手段，即感应加热和等离子加热。两种办法都能保证在浇注过程中钢水温度控制在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，图 6 所示为等离子加热保持中间包中钢水温度稳定，中间包加热使人们能加入少量合金元素，以调正钢水成分。

如果中间包能趁热进行修补，并将余渣和余钢倒出，再重复使用，则可望大量节约生

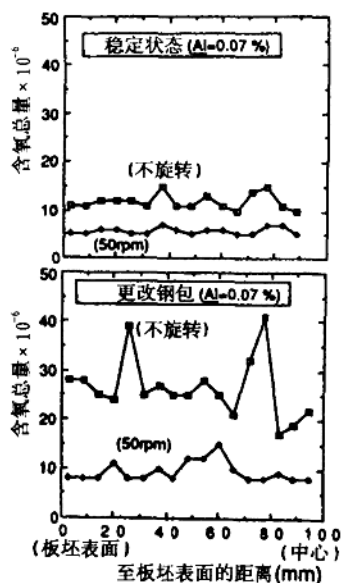


图5 带旋转和不带旋转，钢中总氧含量的比较

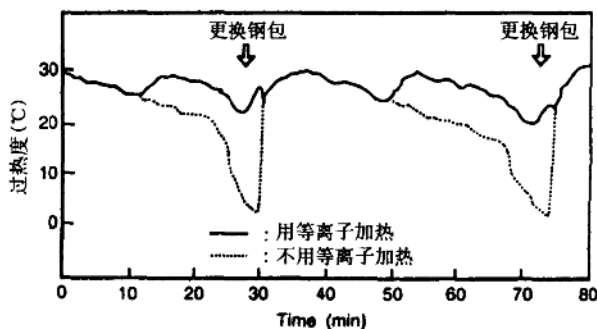


图6 更换钢包时使用等离子加热减少钢水温降的效果

产成本。虽然它的缺点是下一炉钢水会被中间包中残留的前一炉钢渣所污染，这可以采用某些高碱度低粘度的熔剂加以抵消。图7为热中间包重复使用的示例。

水口堵塞是由于脱氧产物或粘结在浸入式水口（通常是用铝质石墨作成）壁上的氧化铝聚集物所造成的。近年来，许多研究者对水口堵塞的机理进行了研究。特别强调了浸入式水口的材料与氧化铝聚集物之间的介面间反应。所得结果是，用氧化铝—氧化钙—石墨取代氧化铝石墨来作水口的材料，使用寿命延长了七倍，而且浇注的板坯中大于 $30\mu\text{m}$ 的夹杂的总密度减少了一半。

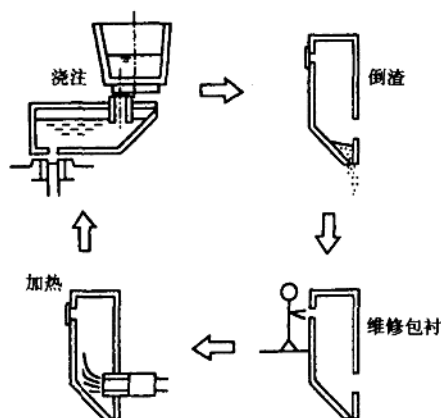


图7 中间包重复使用示意图

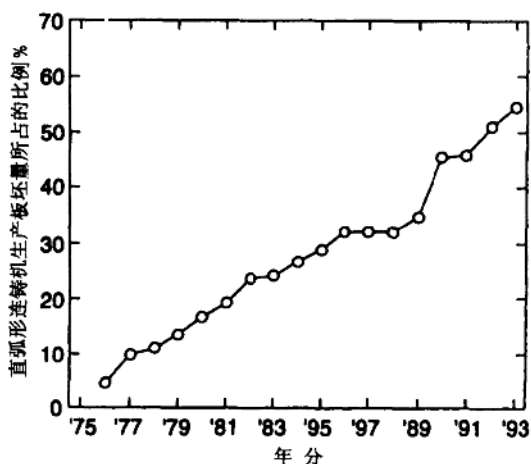


图8 由直弧形连铸机生产板坯量的增加

结晶器采用的新技术

为了适应汽车工业和罐头工业用钢材的严格质量要求，在过去 10 年建设了直弧形连铸机来代替通常的弧形连铸机。因为前者对减少铸坯中的气泡和非金属夹杂有利。如图 8 所示，现在 > 50% 的板坯是由直弧形连铸机生产的。

铸坯表面和内部缺陷是由于结晶器中坯壳夹带氧化铝聚集物、保护渣和为防止水口堵塞而吹入的氩气泡所引起的。从浸入式水口

流入结晶器的钢流，带着非金属夹杂物和气泡，沿着正在凝固中的坯壳面向下流动。很高的钢流速度在新月面产生涡流，会将液态保护渣卷入铸坯中。这种现象在较高注速时是显著的。因此，在高速浇注时，控制浸入式水口喷射的钢流是关键

的工艺。为了达到这一点，对结晶器中的钢流应用电磁力进行了许多研究。

图 9 是新开发的钢流控制结晶器的示意图，位于结晶器两边支撑板中的磁铁芯尽可能地靠近结晶器的铜板，控制钢流结晶器的磁铁芯的上极位于靠近熔池的新月面。下极则在浸入式水口钢流出孔中心下方 300mm 处。磁轭宽度为 1500mm，上下极间距为 450mm。最大电流为 DC1200A，最大电压为 250V。由上极产生的磁场能稳定结晶器的液面波动，并防止保护渣的卷入。下极磁场则控制自浸入式水口流出的钢流。促进氩气泡及固态夹杂物的上浮，并能提高新月面下钢流的温度。控制钢流结晶器对冷轧带钢表面质量的效果如图 10 所示。高速浇注时采用控制钢流结晶器，带钢表面缺陷指数和带钢内部缺陷指数都得到显著降低。

图 11 是在结晶器熔池中使用电磁力的另一种形式。电磁铁设置于新月面水平。沿着结晶器的宽面穿过磁场，像沸腾钢一样，正在凝固的坯壳被旁边流过的钢流洗刷，因而非金属夹杂物被洗掉，图 12 示出其冶金效果。接近铸坯的表面氧化铝聚集物显著地减少。电磁场对中碳钢的铸坯表面纵裂纹的减少也同样有效，因为凝固壳的厚度均匀了。

浸入式水口内壁上粘附的氧化物偶尔也会剥

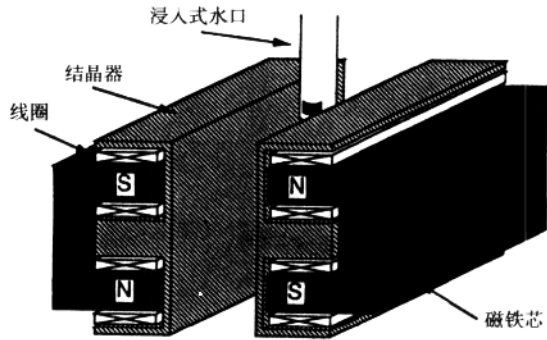


图 9 控制钢流结晶器示意图

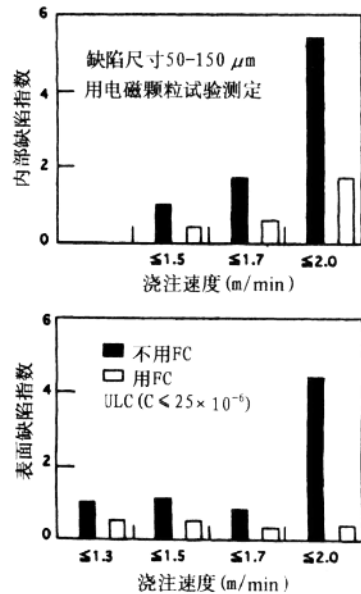


图 10 FC 结晶器对带钢表面质量和内部质量的影响

落，这会导致突然增加流入结晶器的钢流的速度。较高的浇注速度会产生铸坯鼓肚的危险，

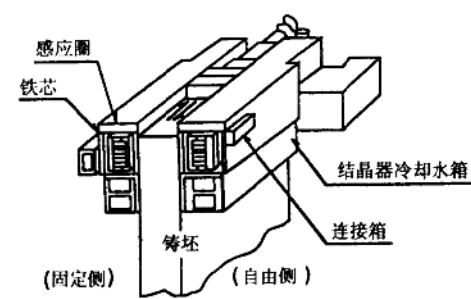


图 11 结晶器熔池中采用电磁场的另一种形式

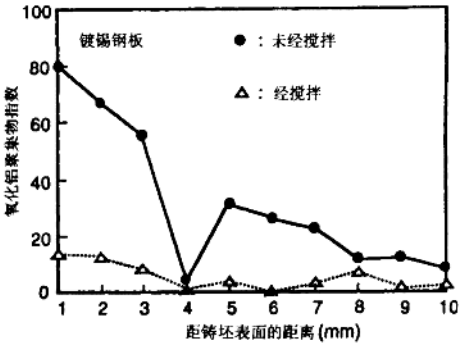


图 12 经结晶器电磁搅拌浇注的铸坯其表面下氧化铝聚集物减少

险。它会严重影响新月面水平的波动。1990 年以来,对改善新月面水平的准确控制作了许多试验工作。一种基于 H_{∞} 的同时控制理论的方法,代替自适应的或传统的控制理论,提供了适当的控制新月面水平波动的方法,如表 1 所示。

表 1 用 H_{∞} 和用自适应控制系统新月面水平变化的比较

情况	控制方法	H_{∞} 控制		自适应控制	
		平均	超过 10mm 的概率	平均	超过 10mm 的概率
弱冷		7.5mm	5.8%	11.1mm	55.5%
强冷		7.5mm	0%	5.7mm	1.7%

降低中心线偏析的新工艺

连铸板坯经常要经过溶解处理,以便减少中心线偏析。特别是用于高阻力的管线钢防止所谓的 HIC (氢诱发裂纹),为了免除溶解处理,其对策是减少或消除中心线偏析。一个办法是在板坯凝固的最冷阶段进行轻压下。为此,用夹紧辊或步进梁作为工具。近来,在最后凝固阶段更大的压缩,如锻造法已经用于大方坯的生产。在铸坯中心富含 C, S, P 的残面钢液被向上挤压到大容量的液芯中。因而浓度被稀释。大方坯中心邻近地区的疏松被重锻造所消除。连续锻造工艺用一对与连铸机拉速同步的砧子。

图 13 是连续锻造的示意图。连续锻造的冶金效果示于图 14。S45C 钢锻造前和锻造后经过酸洗的宏观结构比较。连续锻造还能消除经常在滚珠轴承钢丝芯部检测到的硬度的尖锐峰值。(此图中未表示)。此外,连续锻造还免除了生产大的直径的特殊钢棒材。

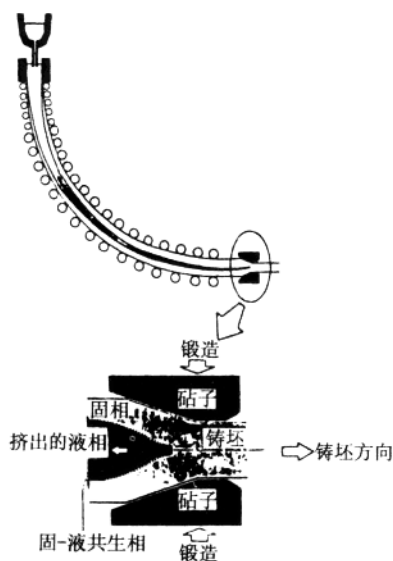


图 13 连续锻造示意图

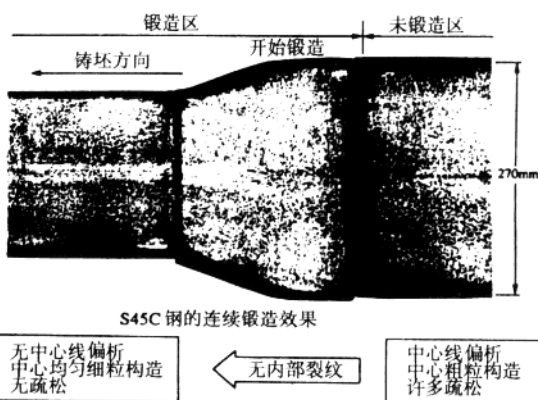


图 14 锻造前和锻造后酸洗的宏观结构比较

总 结

如上所述，在连铸工艺的发展方面我们已取得了很大进展。由于本文篇幅有限，作者不可能详细叙述近期取得的其它方面的重要工艺成果。例如能大量节约人力的自动化技术，当异钢种进行连续浇注时，加入一些冷却剂到结晶器中，迅速在铸坯头部产生凝固壳的连铸技术，以及在浇注过程中铸坯宽度自动改变技术的改进等。KAWASAKI 的其它与会者将提供其它论文作为补充。

参考文献（略）

周 曙译

控制铸态的显微结构浇铸近终形 板材的关键问题

献给徐宝升教授

by

Manfred M. Wolf

Wolflechnology

Dolderstrasse 40 CH - 8032 Zurich

Switzerland

摘 要

由于发展中国家板钢产品消耗的增长。新的近终形产品的浇铸技术，例如薄板坯以及