

CCC' 93

发展中国家连铸会议论文

译 文 集



中国金属学会

CCC' 93

发展中国家连铸会议论文

译文集

中国金属学会

前 言

中国金属学会主持召开的发展中国家连续铸钢国际学术会议(CCC' 93)于1993年9月14—18日在北京举行。

连续铸钢是国际钢铁工业界发展最快和最重要的技术之一。它对钢铁工业提高产量、改善质量、节约能源和增加经济效益有重大作用。越来越多的国家在钢生产中采用连铸技术给予极大的关注。

80年代以来,连铸技术在中国得到迅速发展。1980年钢产量3700万吨,连铸比6.2%,1990年钢产量增加到8000万吨,连铸比达30%。中国冶金工业部预定2000年钢产量达到一亿吨,连铸比将达到60%。

这次会议是在北京最好的季节召开的,来自世界22个国家和地区的专家学者出席了这次重要的国际连铸学术会议,会上宣读了89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的专家学者、连铸设备制造厂家、工程公司和科研院所提供交流技术、交换观点和经验的良好机会,并为连铸技术的发展作出贡献。

我们对出席会议的专家学者和提供论文的作者表示衷心感谢,对支持和赞助本次会议的单位和个人表示衷心感谢。

CCC' 93 发展中国家国际连铸会议学术委员会

1993.9 北京

目 录

I、连铸生产中的主要经验和成就

1. 连续铸钢在中国的发展和展望..... 中国 殷瑞钰(1)
2. 连铸技术的历史发展及其对发展中国家钢铁工业的影响
..... 瑞士 Manfred M. Wolf(5)
3. 增加连铸生产能力的关键技术问题 日本 T. EMI(17)
4. 浦项厂连铸技术的发展 韩国 Y. H. Chung 等(29)
5. 武钢全连铸生产的回顾与展望 中国 杨焕祥等(40)
6. 首钢两台八流小方坯连铸机提高生产率的实践 中国 史宸兴等(50)
7. 发展中国家的特殊钢小方坯连铸 瑞士 Manfred M. Wolf(55)
8. 神户制钢的高性能连铸机及其操作特性 日本 Tadashi Saito 等(64)
9. 采用 HDR 和 HCR 过程及其设备的板坯连续浇铸 德国 E. H. Becker(74)
10. 台湾钢铁工业在连铸方面最近的发展趋势..... 台湾 付传汉(85)
11. AISI321 连铸工艺的研究 中国 王邦庆等(91)
12. 天津钢厂超低头板坯连铸机的生产实践..... 中国 曾小平等(99)
13. 满足特种钢需求的水平连铸机 美国 R. Heard 等(104)
14. 生产钢棉用棒线材钢的发展 阿根廷 Victor Pagliano 等(110)
15. 平炉配连铸及生产硬线钢的实践 中国 王志道等(115)
16. 舞阳钢铁公司大型板坯连铸机的建成与投产 中国 陈彦刚等(121)
17. 棒材产品接近成品形状的浇铸..... 德国 Joachim von Schnakenburg 等(130)
18. 在方坯连铸机上采用保护套管和定径水口浇注特殊钢的实践
..... 印度 P. K. Ghosh(138)
19. 浸入式水口和保护渣浇铸 120mm 方坯的实践 中国 马智明等(147)

II、连铸产品质量和理论研究

1. 小方坯连铸结晶器形状、传热及结晶器与坯壳间的相互作用
..... 加拿大 I. V. Samarasekera(152)
2. 用新型 SSCT 试验测试钢凝固时的高温机械性能 夏光明等(165)
3. 含钛不锈钢连铸坯夹杂物行为的研究..... 中国 刘新华等(176)
4. 用图象分析仪定量分析连铸坯宏观偏析 比利时 C. Dumortier 等(182)
5. 连铸小方坯坯壳不均匀性与临界断面研究..... 中国 王素志等(189)
6. 改善板坯铸坯质量方法的新发展 德国 H. -E. Wiemer 等(198)
7. 连铸板坯表面纵裂的模式识别分析..... 中国 许 立等(207)

8. 改善圆坯的氧化物纯洁度的操作方法 德国 K. Wünnenberg 等(214)
9. 连铸机内钢水对凝壳生长的影响 日本 Hideaki Takatani 等(223)
10. 水平连铸 20 号钢管坯表面折皱缺陷的研究 中国 宋 实等(228)
11. 连铸板坯质量用硫印分级 印度 B. N. Jha(235)
12. 高应变速率下碳钢连铸板坯热塑性的研究 日本 Chihiro Nagasaki 等(244)

III、钢水准备和中间包冶金

1. 连铸用钢包热循环传热物理数学模型及应用 中国 李顶宜等(252)
2. 在 LD 氧气转炉冶炼的低碳钢中非金属夹杂物的成因及特点
..... 埃及 Mamdouh M. Eissa 等(265)
3. 中间包等离子加热的冶金及操作反应 美国 D. Cheek 等(271)
4. 二次冶金的优化控制——高质量连铸生产的主要要求
..... 德国 Johann-H. Schruoff 等(276)
5. 钢液浇注过程中汇流旋涡形成机理 中国 伊炳希等(281)
6. 板坯连铸机中间包钢液三维流场研究 中国 朱本立等(291)
7. 连铸中间包钢水连续测温 中国 王魁汉等(299)
8. 钢水从钢包到结晶器过程中液流和钢的净化 澳大利亚 Q. L. He 等(305)

IV、连铸新工艺

1. I. S. P. 薄板坯连铸连轧工艺 德国 F. -P. Pleschuitschnigg 等(314)
2. 近终形状连铸 紧凑式带钢生产技术——经验和展望
..... 德国 W. Hennig 等(327)
3. 连铸薄板坯轧制的技术进步 以色列 Y. Urin 等(339)
4. 新德里薄板坯连铸机 意大利 G. Coassin 等(343)
5. 接近成品形状连铸技术——奥钢联现状报道 奥地利 K. L. Schwaha 等(350)
6. 由曼内斯曼德马克和 MEFOS 联合发展的直接生产热带钢的工作
..... 德国 U. Urlau 等(361)
7. 生产薄钢板用的薄带坯双辊式连铸机的开发 韩国 Young, K. Shin 等(369)
8. 合金钢薄带的铸造 中国 廖荣松等(376)
9. 大方坯和工字形异型坯连铸 德国 R. Hoffmann 等(382)
10. CBP 钢梁连铸连轧生产——近终形钢梁坯浇铸和钢梁连铸连轧生产的最新进展
..... 德国 G. Flemming 等(387)

V、检测系统和过程控制

1. 在意大利 Cremona 的 Arvedi 安装的用于热带钢生产的第一家薄板坯

- 连铸连轧厂的自动化系统和自动化功能 德国 G. K. Uetz(400)
2. 用于热直接轧制工艺过程的连铸板坯温度控制 韩国 S. E. Kang 等(409)
3. 保证板坯质量的铸机最佳检测装置 法国 B. Debiesme 等(418)
4. 连铸的粘结性漏钢及其预报 中国 张跃萍等(427)
5. EAR——一种用于分析生产过程的异常状态分析和纪录系统
..... 德国 K. Brabandt 等(437)
6. 连铸二次冷却计算机动态控制 英国 G. S. Jiang 等(446)
7. 专家质量评估系统 德国 U. Falkenreck 等(456)
8. 芬兰劳塔鲁基 Reahe 钢厂的连铸机自动化 芬兰 Markus Jauhola 等(463)
9. 车间过程数据在连铸质量预测模型中的应用
..... 澳大利亚 Kee Chye Teh 等(472)
10. 塔塔钢厂方坯连铸机的一次和二次冷却评价
..... 印度 Amit Chatterjee 等(480)
11. 方坯连铸过程中诊断质量问题的专家系统参谋 印度 Ashok Kumar 等(488)
12. 差热分析在设计、质量管理和建立预熔与混合的结晶器保护渣
工作参数中的应用 巴西 O. D. C Afrango 等(496)
13. 方坯连铸凝固的数值模拟及应用 中国 陈登福等(500)
14. 特殊钢方坯连铸机结晶器钢水液位自动控制系统 中国 龙厚富等(508)

VI、主机制造、维修和改造

1. 中国连铸装备水平的现状与发展 中国 赵 兵等(514)
2. 现代化板坯连铸机的设计思想 奥地利 A. Knaus 等(521)
3. 吴厂(Kure)1号连铸机改建和高碳钢连铸技术 日本 Junji Ikeda 等(529)
4. 新的连铸设备与技术在美国中兴钢厂的应用 中国 李 平等(539)
5. 大同制钢株式会社知多厂立式圆坯连铸机的结构
..... 日本 Kazuomi Ohashi 等(546)
6. 结晶器振动同步控制模型的研究 中国 李宪奎等(554)
7. 连铸液压的新进展 中国 黄人豪等(562)
8. 连铸机诊断的应用 美国 Birchel S. Brown 等(566)
9. 连杆式钢包回转台结构强度分析 中国 李慧剑等(570)
10. 维修服务中的一种新型合同关系 澳大利亚 Ian Wilson 等(578)
11. 连铸板坯鼓肚的力学行为与其对拉坯阻力影响的研究 中国 高建祖(585)
12. 喷淋水冷结晶器的研究制造和应用 中国 刘 新等(592)
13. 斯特尔科铰接钢包盖系统钢包最佳操作的一个关键
..... 加拿大 I. G. Thompson 等(598)
14. 小方坯连铸机结晶器的设计与研究 中国 蔡书阡等(608)
15. 小方坯连铸机结晶器的研究、设计与应用 中国 曹远锋等(614)

VII、连铸相关技术和消耗材料

1. 中国连续铸钢电磁搅拌技术的研究与发展..... 中国 毛 斌等(622)
 2. 多功能电磁搅拌器的研究和开发..... 中国 邢文彬等(630)
 3. 电磁搅拌技术在硅钢、专用钢连铸生产中的研究与应用 中国 李开煜等(635)
 4. 连铸中防止吸收氮、氧的耐火材料制品和流量控制的特点
..... 瑞士 Karl Rietmann 等(643)
 5. 高速连铸结晶器保护渣的发展 韩国 I. R. Lee 等(650)
 6. 浸入式水口抗结渣材料的发展..... 日本 Hisatake Okumura 等(659)
 7. 新型结晶器保护渣在浦项厂的研究 韩国 S. H. Chang 等(664)
 8. 高碱性高玻璃化连铸保护渣的研究..... 中国 王 谦等(672)
 9. 连铸保护渣熔化温度的确定..... 中国 吴夜明等(679)
 10. 光阳钢厂的结晶器保护渣自动喂料系统 韩国 Y. R. Min 等(683)
 11. 节能型气雾喷嘴的研制与应用 中国 叶有余等(690)
- 附:译后记 (696)
- 北京发展中国家连铸会议报告 瑞士 Manfred M. Wolf(697)

I 连铸生产中的主要经验和成就

连续铸钢在中国的发展和展望

殷 瑞 钰
冶金工业部 中国

连铸在发展钢铁工业中的作用

连续铸钢自 60 年代以来不断完善并随着一系列工艺技术的配套,使连铸技术在世界范围内得到广泛的应用和迅速的发展。连续铸钢的功能已经大大超越了传统模铸的功能,而成为兼有高效凝固器、优化成型器、冶金器和节能器综合功能的工序。连铸作为一项重大的工艺技术,它是钢厂工艺流程中衔接冶炼和压力加工的中心环节,连铸的发展特别是全连铸工厂的出现,彻底地取代了模铸和初轧工艺,使得以初轧机为支撑的“万能工厂”失去了市场竞争能力。连铸对于钢厂降低成本、提高效率、提高质量、提高成材率、降低能耗的作用是它得以迅速发展的直接动力。连续铸钢对钢铁企业的产品结构专业化,工艺、装备结构的优化以及由此引起的钢厂结构的优化起到了巨大的推动作用。

从对不同层次的产品质量要求出发,通过铁水预处理、强化炼钢和钢的二次冶金为连铸提供定温、定时、定品质的钢水,保证了连铸生产的正常进行,提高了炼钢生产的效率,为最终得到高质量的产品创造了条件。

连铸技术的不断发展和相应装备的日臻完善,保证了连铸工艺的先进性和稳定性;保证了连铸生产品种的需要和高质量的要求;保证了连铸设备运行的安全和操作人员的人身安全;保证了连铸生产的高效率和经济效益。

全连铸生产体制使钢厂在产品结构、工艺流程、技术装备及总图运输等方面都发生了巨大的变化。从工艺技术上讲,建立在炼钢——钢的二次冶金——连铸组合优化基础上的全连铸生产体制已经成为现代钢铁工业生产的重要标志之一。

中国连续铸钢的发展过程和现状

中国早在 50 年代末就开始发展连续铸钢技术,进入 80 年代后我们采取了自己研制开

发和引进国际先进技术相结合的方法使连铸技术得到了较快的发展,自 1981 年至 1990 年共建连铸机 96 台,设备能力 2153 万吨,使连铸技术相继在中小钢厂和大型联合企业得到推广应用。1988 年在总结多年发展连铸生产建设经验的基础上,提出了以“连铸为中心,炼钢为基础,设备为保证”的生产技术指导方针,对连铸技术的发展起到了很好的推动作用。1992 年中国大陆钢产量达到 8093 万吨,其中连铸坯 2428 万吨,连铸比 30%,与 1988 年相比,连铸坯产量增长了 1556 万吨,连铸比增长了 15 个百分点以上。从 1988 年到 1992 年平均年增近 4 个百分点,1990 年的增长曾达到 6 个百分点。几年来连铸设备能力有了明显的增长,到 1992 年底,共有连铸机 147 台,设备能力达到 3077.5 万吨,其中板坯连铸机 34 台,设备能力 1412 万吨,占设备总能力的 45.88%;大方坯、圆坯连铸机 33 台,设备能力 446.5 万吨,占设备总能力的 14.51%;小方坯、圆坯连铸机 80 台,设备能力 1219 万吨,占设备总能力的 39.61%。

随着炼钢、钢的二次冶金和连铸技术的发展,我们进一步提出“推进以全连铸为方向,以发展炼钢——钢的二次冶金——连铸组合优化技术为重点,加速钢铁工业的发展。”早在 1984 年,年产近 200 万吨钢的武汉钢铁公司第二炼钢厂就在中国大陆率先实现了全连铸生产,近十年来该厂在工艺技术和生产管理等方面都取得了丰富的经验,各项技术经济指标都有了较大的提高。到 1992 年底,中国大陆已有 10 个炼钢车间实现了全连铸生产,其中既有中、小型转炉的炼钢车间,也有电炉炼钢车间。同时连铸坯的热送热装技术也在宝钢、武钢等一些企业得到应用。目前我们正在开发薄板坯、薄带坯连铸技术。

中国在连铸设备设计、工程设计以及设备制造方面也取得了长足的进步。目前在小方坯连铸机的设计方面,在结合发展中国家国情的同时,博采众长,形成了独特的风格,并已具有出口工艺技术和设备的能力。迄今为止我们已制造了 24 台板坯连铸机、27 台大方坯连铸机和 57 台小方坯连铸机。其中包括成功地为舞阳钢铁公司和攀枝花钢铁公司设计和制造的大型板坯连铸机。

连铸技术的展望

连续铸钢技术在进入 80 年代后,在世界范围内取得了突飞猛进的发展,到 1991 年多数工业发达国家的连铸比均在 80% 以上。1973 年以来,在世界钢铁市场不景气,开工率不足的情况下,国际上对连铸的投资强度却增加了,不少国家的钢厂已基本上实现了全连铸。在今后的十年中连铸比将继续增加,连铸技术将向更深的层次和更高的水平发展。

薄板坯、薄带坯连铸技术以及异型坯的连铸技术的研究和开发引起了广泛的注意,目前薄板坯连铸技术已达到工业化的程度,预计在今后十年中将有更大的发展。

近年来,无缺陷铸坯的生产技术已发展成熟,使连铸机和热轧机之间的高温热连接工艺也有了相当大的发展。同时,连铸坯的分段温控技术也有了发展。为进一步节约能源、提高生产效率创造了有利条件。今后十年连铸坯的热送、直接热装炉和直接轧制的比例将会有明显的增长。

今年十年中,连铸坯的高速浇铸技术将进一步得到发展,大型板坯连铸机的拉速将从目前的 2m/min 提高到 3—3.5m/min,使连铸连轧技术向更高效率的水平发展。

大型板坯连铸机的自动化水平日趋提高,近年来投产的大型板坯连铸机都配备了计算机过程控制和质量判定系统,预计今后连铸机的过程控制系统将会得到更广泛的应用。虽然连铸机的结构及辅助设备变得愈来愈复杂,但由于自动化程度愈来愈高,使得连铸生产变得更加安全可靠。

中国钢铁工业要进一步大力发展连续铸钢

到 2000 年我们将要生产 1 亿吨钢,同时,连铸比将达到 60%。为此,当前迫切的问题是不失时机地抓住九十年代的有利条件,切切实实地以全连铸为方向,发展炼钢—钢的二次冶金—连铸“三位一体”的组合优化技术,加快钢铁工业上新台阶。在发展连铸方面,我们将向如下目标努力:

- 到 2000 年,80%的转炉钢厂将实现全连铸;
- 到 2000 年,新增加的 2000 万吨钢的生产能力将绝大多数是全连铸生产体制;
- 到 2000 年,随着电炉厂的技术改造,大力发展电炉钢包括特殊钢的连铸,届时主要特殊钢企业的连铸比将达到 40%以上;
- 到 2000 年,连铸产品结构将更加合理,连铸坯的质量将有明显的提高,有相当数量的钢厂生产无缺陷铸坯,并实现连铸机与热轧机的高温热连接;
- 到 2000 年,在中国大陆将建成 2 条或更多条薄板坯连铸连轧的生产线,并将实现连铸坯的直接轧制;
- 到 2000 年,中国将努力使连铸机的设计和制造水平接近或达到先进国家的水平。

我们相信,在今后的七、八年的时间里,经过努力,中国的连续铸钢技术将有一个大的发展,将会出现一个新的局面。

附表一：

中国大陆粗钢产量与连铸坯产量情况表

年份	粗钢产量	连铸坯产量	连铸比	粗钢产量比上年增长		连铸坯产量比上年增长	
	(万吨)	(万吨)	(%)	(万吨)	(%)	(万吨)	(%)
1978	3178	112.7	3.55	804	33.87	28.0	33.06
1979	3448	150.4	4.36	270	8.50	37.7	33.45
1980	3712	229.7	6.19	264	7.66	79.3	52.73
1981	3560	254.0	7.13	-152	-4.09	24.3	10.58
1982	3716	275.0	7.40	156	4.38	21.0	8.27
1983	4002	358.5	8.96	286	7.70	83.5	30.36
1984	4348	460.5	10.59	346	8.65	102.0	28.45
1985	4679	506.9	10.83	331	7.61	46.4	10.08
1986	5221	623.2	11.94	542	11.58	116.3	22.94
1987	5628	724.3	12.87	407	7.80	101.1	15.22
1988	5943	871.9	14.67	315	5.60	147.6	20.38
1989	6159	1005.1	16.32	216	3.63	133.2	15.28
1990	6635	1480.7	22.32	476	7.73	475.6	47.32
1991	7100	1883.5	26.53	465	7.01	402.8	27.20
1992	8093	2428.2	30.00	993	13.99	544.7	28.92

附表二

中国大陆连铸机生产能力

年 份	连铸机台数	连铸机生产能力(万吨)	板坯连铸机		大方坯连铸机		小方坯连铸机	
			台数	能力(万吨)	台数	能力(万吨)	台数	能力(万吨)
1978	19	332.0	7	210	8	95	4	27
1980	24	385.0	9	240	11	118	4	27
1985	47	659.0	14	279	16	162	17	218
1986	58	823.0	14	279	18	198.5	26	345.5
1987	73	1104.5	15	304	21	265	37	535.5
1988	89	1426.0	21	464	22	271	46	691
1989	110	2127.0	27	1027	23	281	60	864
1990	120	2495.0	30	1282	26	310	64	903
1991	130	2638.0	31	1297	26	310	73	1031
1992	147	3077.5	34	1412	33	446.5	80	1219

注：1. 大方坯、小方坯连铸机中分别包括大圆坯、小圆坯连铸机

2. 小方坯连铸机指断面 $\leq 150 \times 150\text{mm}$

连铸技术的历史发展及其对 发展中国家钢铁工业的影响

Manfred M. wolf
Wolftechnology, 瑞士

摘 要

当今,连铸发展的特点就在于她作为一种成功的技术正在由工业化国家向发展中国家转移。特别是在出现了弧形结晶器铸机之后,由于收到了经济上和产品质量上的很多好处,因此,许多国家和地区的连铸比都达到了很高的水平。除了这种经济方面的成就之外,这种技术上的交往还增强了国际间的相互了解和友好关系。

前 言

本次会议的主题是连铸,而且标以发展中国家的连铸。标题本身或许就考虑到了引起人们的兴趣,因为连铸方法本身固有的高技术要求似乎是与发展中国家的有限条件和基础不相适应。因此,本文将研究这种表面看起来的矛盾是否能代表发展中国家的实际情况。

表 1 经济活动的特点

国家类型	主要经济活动	主要产品
(A) 发展中国家	农业、手工业和“轻工业”(纺织、陶瓷等)	食物和其它维持生命的商品
(B) 工业化国家	重工业(资本密集型)和服务行业	机、电产品和“豪华”型商品

作为讨论的基础,让我们首先将发展中国家与工业化国家的特点做一比较,见表 1。这份主要经济活动和产品的概况表说明,与工业化国家资本密集型生产相反,发展中国家的经济活动更多的是劳动密集型生产。这可以提供广泛的就业机会,而这对于工业化国家来说现在变得越来越困难。此外,发展中国家产品的产值比较高,这是由于这些产品也是工业化国家消费的主要对象。另一方面,工业化国家的状况是与其具有较高的教育和文化水准有关,这就形成了朝着人的个性化发展的趋势,即自我的意愿往往高于集体的利益。所谓“发展中(developing)”一词意味着由表 1 中的(A)向(B)的必然的不可逆转的趋势。

钢在两种经济活动体系中都是一种基本的材料。因此,钢的单位消费量就成了衡量经济状况的突出标志。如图 1 所示,钢的单位消耗量是与国民生产总值有关的。在由发展中国家向工业化国家转变的过程中,钢的单位消耗量起初是随国民生产总值的增长而急剧增加,但随后又逐渐降低,这是工业化在经济发展的特点。原因是高附加值制造业的发展降低了对钢消耗量的依赖关系。

关于单位资本的粗钢绝对消耗量,国际钢铁协会的钢铁统计给出的典型平均数是:发展中国家为 50 千克,而工业化国家为 400 千克。这里指的发展中国家情况是就拉丁美洲、非洲(除南非之外)和中东以及亚洲(除日本、新加坡、韩国和台湾)的一些国家和地区的总的情况而言的。因此,本评述将按这个定义并主要指上述地区的。

古代的炼铁

从今天的观点看,我们可以惊奇地发现,最早炼铁和大多数先前成功地从事铜冶炼的中心正是现在发展中国家所在的地区:

- 炼铁的最早发源地是在中东,那里陨石铁的加工可以追溯到公元前 2500 年以前,而真正开始化铁还要归于公元前约 1500 年亚洲的海迪斯,由该地区向外传播了很多高水平的铁器制造技术,即早期的武器如非洲的努比安长矛和著名的大马士革剑的制造;
- 同时期公元前 500 年到公元 200 年的中国战国时期和汉朝时期,主要从事于铸铁的生产;
- 在印度,从公元前 200 年到公元 600 年的古勃塔时期流行过锻造注钢的加工以生产大型铁器,如著名的德里铁柱、重量在 6 吨以上。

图 2 表示几种上面所述成就的实例。

而在拉丁美洲,其炼铁仅始于公元 16 世纪,而且技术是依靠外来的传入。当地的文化曾仅仅满足于他们的熔炼和加工金、银和铜的技艺,但却忽视了在这个地区大部分国家都蕴藏着充足的铁矿。

现代的炼钢

大规模炼钢业是于 1850 年左右由于推出亨利·贝塞麦的“气体”炼钢法开始的,之后又出现了威廉·西门子的“平炉法”(英国),前者曾被瑞典的高兰·弗莱德里克 and 美国的威廉·凯利所支持;而后者则由法国的皮尔莱和埃米尔·马丁进一步开发。气体炼钢法的进一步发展当是 1876 年英国人悉尼·吉尔克里斯特·托马斯推出的碱性“托马斯法”和 1952 年奥地利炼钢工作者推出的“LD-法”。而作为现代小钢厂基础的电炉炼钢法是在 1900 年由法国鲍尔·亥罗特最先开创的。

图 3 表示上述各种现代炼钢法的发展情况。

在某些发展中国家地区,平炉依然占很大比例,这是因为把平炉改为电弧炉经常受到电力不足和缺乏废钢供应的限制。因此,某些天然气资源充足的发展中国家对采用直接还原铁代替废钢饶有兴趣(见表 I)。一般来说,最经济的方式是开发用资源丰富的低质煤来“熔融还原”铁砂。

在液体钢水的加工方面,现代炼钢技术由于发展了精炼技术(也叫二次冶金)和连铸技术而在生产率和产品质量两方面都获得了很大的改进。而且,连铸操作的好坏与精炼操作的有效与否有很大关系,尤其是钢水浇注性能的控制与钢水温度及夹杂物含量有关。图 4 给出了世界连铸产量的发展状况,连铸占粗钢总产量的比例为 64.4%;若用最终产品的产量来

比则约占总量的 71.7% (以上均引自国际钢铁协会 1992 年的统计资料)。

表Ⅱ 海绵铁的年产量(百万吨/年)

	1979	1985 (84~86 平均)	1989	1995	2000	1985~1995 增长率(%)	1985~2000 增长率(%)
工业化国家	2.47	1.53	2.24	4.00	4.00	+10.1	+6.5
发展中国家	4.37	8.82	11.89	14.00	20.00	+4.7	+5.5
西方世界总计	6.84	10.35	14.13	18.00	24.00	+5.7	+5.8
计划经济国总计		0.51	1.67	2.00	2.00	+14.6	+9.5
世界总计	6.84	10.86	15.80	20.00	26.00	+6.3	+6.0

连铸如此惊人的发展就连连铸技术的先驱——德国的谢夫里德·容汉斯和美国的艾尔文·罗西也是未曾想到过的。这两位 在 1937 年就共同开始把连铸推向工业化生产,他们采用结晶器振动技术和立式连铸机来生产黄铜。

发展中国家的连铸发展状况

由上述数据明显可见,从 1970 年开始,钢产量中的连铸比实现了巨大增长。在那之前发展中国家中就有许多开拓性的开发活动(见表Ⅲ)。和工业化国家一样,采用连铸技术的突破性增长主要是和连铸机由立式向立弯式转化有关,后者是 1956 年英国人哈里德开发的。但真正更为有效的采用还是始于六十年代初期当弧形结晶器铸机出现以后,弧形铸机的开创应当归功于中国、德国、原苏联和瑞士的开拓者。

表Ⅲ 发展中国家中的开拓性铸机

年份	国家	公司/厂	流数	断面(mm)	型式
1957	中国	上海钢铁研究所	1×1	75×180	立 式
1958	中国	重庆第三钢厂	1×2	175×250	立 式
1960	中国	唐山钢厂	1×2	140×140	立 式
1961	巴西	里奥·格兰斯公司	1×2	90×90	立 式
	墨西哥	奇华华制公司	2×1	50×50	立弯式
1964	墨西哥	埃卡特佩克钢公司	2×1	75×75	立弯式
	中国	重庆第三钢厂	1×1	2000×1700	弧 形
1965	中国	首都钢铁公司	1×2	123×123	直弧形
	印度	加那拉钢公司	1×1	76×76	立弯式
	印度	穆坎德钢公司	1×3	80×80	弧 形
	中国	上海第三钢厂	2×4	145×275	弧 形
	突尼斯	埃尔夫拉德钢厂	2×2	65×65	弧 形
	哥伦比亚	阿加沙钢公司	1×2	76×76	弧 形
1966	秘 鲁	秘鲁黑色冶金公司	1×4	50×60	弧 形
1967	中国	重庆第三钢厂	1×4	250×250	弧 形
	阿根廷	黑色冶金公司	1×4	100×100	弧 形
1968	墨西哥	瓜达拉哈拉黑色冶金公司	1×2	115×115	立弯式
	巴西	德迪民冶金公司	1×3	75×75	弧 形
1969	智利	阿扎厂	1×1	75×75	弧 形
	墨西哥	伊尔萨公司	2×4	80×80	弧 形
	泰 国	泰国钢铁公司	1×3	75×75	弧 形

作为这种发展的杰出例子是一台可以浇注四流大方坯或一流大板坯的弧形结晶器方板坯兼用铸机,它是由中国北京科技大学徐宝陞教授设计的(如图 5 所示)。表 IV 中大多数工厂都是采用电弧炉炼钢与连铸机相配合,而图 6 表示的是弧形小方坯铸机与小型碱性氧气转炉相配合的例子。

从最初的技术开发开始,连铸技术从工业化国家向发展中国家地区的转移在推行连铸技术上曾起着非常重要的作用。因此,不仅引进大量的设备,而且设备供货者还提供充分的课堂和实际操作培训以及投产支持和开工后的技术服务。此外,连铸辅助相关材料和设备供货者的努力,如浇注用耐火材料和浇注用保护渣、水处理和液压、电气、仪表和检测元件、电磁搅拌装置、计算机等等对技术转移都是很重要的。另外,通过供货商的技术讲座以及召开国际会议,就象本次会议这样,也有效地促进了连铸技术不断现代化。

因此,现在发展中国家和地区经常达到的技术水平总表现出工业化国家的技术特征。尤其在方坯连铸方面更为突出,如沙特阿拉伯哈迪德的三台六流小方坯连铸机、1992 年创下年产 186.6 万吨的新纪录,即每流年产量已达到 10 万吨/年(见图 7)。此外,中国首钢的两台八流小方坯连铸机 1992 年产坯达到 141 万吨,即每流产坯 9 万吨/年(见图 8)。

图 9 表示的是印度沙尔比拉厂的生产钢轨钢的大方坯铸机,可以算作制造具有较高质量要求的长条形产品的例子。这种趋势从委内瑞拉希德吐尔厂生产特殊钢棒材用坯的例子来看也是明显的。表 IV 列出用热成型铁(HBI)作原料、出钢后在钢包炉内精炼,然后从钢包到结晶器实行全保护浇注的流程钢的化学成分。显然,这种生产流程可以使钢中残留元素降到很低的水平。

表 IV 委内瑞拉希德吐尔厂 150mm 方坯成分(%)

成分	电炉	钢包炉	铸坯
C	0.074	0.620	0.628
Mn	0.033	0.764	0.724
S	0.013	0.010	0.006
P	0.007	0.009	0.009
Si	0.008	0.261	0.221
Cr	0.034	0.731	0.724
Ni	0.034	0.036	0.033
Mo	0.008	0.012	0.010
Sn	0.003	0.006	0.003
Cu	0.072	0.067	0.063
V	<0.002	<0.002	<0.002
Al	0.114	0.008	0.003

板坯连铸的发展不象方坯那样,这是因为总的来讲,扁形产品在发展中国家和地区内的消耗与长条形产品相比还不那么高。但是,对特殊钢扁形产品不断增长的需求,例如不锈钢,首先在巴西的阿塞希希塔厂的不锈钢板坯连铸就是一个突出的例子(见图 10)。而对低碳板材钢的一个实际例子就是宝钢二期工程中建设起来的现代化的板坯连铸机(见图 11)。

发展中国家和地区连铸比和连铸设备的总体情况示于表 V 内。由表可见,在好多发展中国家的生产百分之百依赖于连铸技术,这似乎证实了在给定条件下连铸技术确实有充分的优势。图 12 列出连铸产量位于发展中国家前十名的 1992 年实际生产数据。显然,中国是最

多的,其连铸产量正好相当于所有发展中国家连铸产量总和的三分之一;这是1970年以来坚持在钢铁工业中投资计划的结果。但是,中国的连铸比仍然是比较低的,而作为第二、三位的巴西和墨西哥现在正显示出未来投资的巨大潜力。事实上,如果不考虑前三个国家,那么其余发展中国家的平均连铸比为84%,也就是说,它完全可以同许多工业化国家相比。

表 V 1992年发展中国家粗钢产量(百万吨/年),连铸比和连铸设备状况(综合各种资料)

国 家	粗钢产量 (百万吨/年)	连铸比 %	小方坯机 (台/流)	大方坯机 (台/流)	板坯机 (台/流)	总 计 (台/流)
东亚:						
中 国	80.2	30	74/254	42/136	33/40	149/430
印度尼西亚	3.1	97	18/59	1/4	3/3	22/66
马来西亚	1.2	80	7/33	2/8	—	9/41
蒙 古	0.01	100	1/3	—	—	1/3
朝 鲜	5.0	25	1/3	—	3/6	4/9
菲律宾	0.6	70	10/28	1/2	—	11/30
泰 国	1.2	100	12/35	—	—	12/35
越 南	0.15	20	1/2	—	—	1/2
小 计	91.5	34	124/417	46/150	39/49	209/616
拉丁美洲:						
阿根廷	2.7	82	2/3	6/28	1/2	9/39
巴 西	23.9	58	23/71	5/18	11/17	39/166
智 利	1.0	10	1/2	—	1/1	2/3
哥伦比亚	0.7	49	7/19	—	—	7/19
哥斯达黎加	0.01	100	1/2	—	—	1/2
古 巴	0.4	40	4/16	—	1/1	5/17
多米尼加	0.08	100	2/2	—	—	2/2
厄瓜多尔	0.02	100	1/2	—	—	1/2
萨尔瓦多	0.03	100	2/6	—	—	2/6
危地马拉	0.02	100	1/2	—	—	1/2
洪都拉斯	0.01	100	1/1	—	—	1/1
墨西哥	8.4	64	29/85	1/5	6/11	36/101
巴拉圭	0.09	100	2/4	—	—	2/4
秘 鲁	0.3	40	3/8	1/3	—	4/11
特立尼达	0.5	100	2/8	—	—	2/8
乌拉圭	0.05	94	3/5	—	—	3/5
危内瑞拉	3.4	98	9/38	1/4	3/6	13/48
小 计	41.6	63	93/280	14/58	23/38	130/376
中亚:						
孟加拉	0.12	20	1/2	—	—	1/2
緬 甸	0.02	100	2/4	—	—	2/4
印 度	18.1	16	53/125	59/142	15/15	127/282
伊 朗	2.9	100	1/4	13/66	7/14	21/84
伊拉克	0.3	100	2/12	1/2	—	3/14
巴基斯坦	1.2	80	6/20	1/4	2/4	9/28
斯里兰卡	0.02	100	1/4	—	—	1/4
小 计	22.7	32	66/171	74/214	24/33	164/418
中东和非洲:						
阿尔及利亚	1.3	90	5/19	1/2	5/8	11/29

埃及	2.5	96	7/24	3/18	4/7	14/49
加纳	0.2	100	2/5	—	—	2/5
以色列	0.14	100	3/10	—	—	3/10
约旦	0.03	100	1/2	—	—	1/2
肯尼亚	0.01	100	1/2	—	—	1/2
利比亚	0.8	100	1/2	3/16	2/2	6/20
莫桑比克	0.01	100	1/2	—	—	1/2
尼日利亚	0.2	40	3/18	4/14	—	7/32
卡塔尔	0.6	100	2/8	—	—	2/8
沙特阿拉伯	0.9	100	3/18	—	—	3/18
叙利亚	0.02	100	2/4	—	—	2/4
坦桑尼亚	0.01	100	1/2	—	—	1/2
突尼斯	0.2	100	3/6	—	—	3/6
联合酋长国	0.05	100	3/5	—	—	3/5
津巴布韦	0.5	18	1/2	—	—	1/2
小计	8.5	91	39/129	11/50	11/17	61/196
发展中国家	164.3	44	322/997	145/472	97/137	564/1606
工业化国家	549.7	70	364/1411	282/1107	290/449	936/2967
世界总计	714.0	64	686/2408	427/1579	387/586	1500/4573

一个共同的问题是,发展中国家连铸机的生产率低,即每台铸机的年产量仅为 13 万吨,而工业化国家为 41 万吨/年·台。当然,后者与拥有很多的板坯连铸机有关。但另一个原因是发展中国家铸机操作一般都缺少钢包炉作为炼钢和连铸之间的缓冲器有关。有了钢包炉能有效地实施连炉浇铸。另外,铸机操作好坏还在很大程度上依赖于铸机的预防性维修的实施,在这方面使发展中国家进一步改善操作条件留有更多的余地。象工业化国家的情况一样,还要不断实施铸机的现代化改造,特别是对浇铸高质量产品时必须要有更高水平的设备和检测仪表。

近终形连铸的发展

就生产长条形产品来说,浇铸小方坯已经达到了所谓近终形浇铸的基本目标。如表 III 所示,早期小方坯铸机很多都是以生产很小断面的方坯为特征的,很少有超过 100mm 方的以便与当时轧机能力相适应。后来线材和棒材轧机取得了很大进展,卷重高达 3 吨,这样方坯尺寸大多在 130—180mm 方。断面扩大使得有可能由散开式浇注(指定径水口加油作为结晶器润滑剂的浇注方式)向浸入式保护浇注(流量可以控制的加上保护渣作润滑剂的浇注方式)转变,从而促进了高质量长形产品的近终形浇铸技术的发展。这种新的技术肯定会增加生产成本,但是这种增加可由产品具有较高的附加值得到补偿。

在扁形材生产中,通常采用的板坯铸机和热带轧机的工艺,以经济上受到热带轧机过高的投资成本的严重限制,而且板坯铸机也是投资昂贵的项目。如果将目前中国、巴西和墨西哥的铸锭产量 5600 万吨、1000 万吨和 300 万吨/年都转为板坯连铸,按比较保守的吨钢投资率 50 美元/吨计,则将需要 35 亿美元的投资。当然如果这样改造的话,即使能力不增加但收得率却可提高 10% 以上。