

90年代钢铁工业的发展趋势

——第六届国际钢铁大会文集

中国金属学会《钢铁》编辑部

1991年10月

前 言

1990年10月21~26日在日本名古屋召开了第六届国际钢铁大会,与会代表895人,分别来自33个国家和地区,发表论文372篇,其内容广泛,从钢铁生产工艺的现状、发展趋势到当今正在开发的新技术,及其基础理论和相关技术,从选矿的准备工作到钢产品的优化,从常规操作到人工智能的专家系统。

本译文集根据第六届国际钢铁大会论文录选出73篇摘译编辑,命名《90年代钢铁工业的发展趋势》,从中可以看到:(1)高炉技术的不断发展,进一步发挥了现代化高炉的高产、高效和灵活性的功能。在几个工业发达国家中,人工智能的专家系统正在开发。虽然熔融还原炼铁新工艺已进行了工业性试验,但是数十年内,高炉炼铁仍将占据主导地位。(2)由于复吹转炉工艺的开发,氧气转炉又进入新的发展阶段,转炉复吹配合铁水预处理和新的少渣精炼工艺,不仅提高了钢的质量,扩大了品种,而且可以用锰、铬矿进行熔融还原。转炉炼钢今后的发展方向是发挥分割精炼的特色。(3)超高功率电炉及泡沫渣长弧操作,是交流电弧炉炼钢的主要进步,直流电弧炉的出现对交流电弧炉是一次大挑战。(4)连铸技术正在飞速发展,已有14个国家的连铸比超过90%,全世界平均连铸比已达64.1%。从中间包冶金到连铸机本身及各种离线设施都有了重大的改进,从薄板坯连铸工艺的进步,可见近成品形状的连铸工艺将会很快发展。

本文集可供冶金部门领导、科技管理人员及冶金科技工作者借鉴,在制定冶金科技规划时可供参考。

冶金工业部科技司副司长

陶 晋

编辑说明

第六届国际钢铁大会文集分有基础研究、炼铁、炼钢、相关技术4部分共5册,发表的论文372篇。为使冶金及有关部门的领导、科技人员、教师、管理干部等能了解90年代世界各国钢铁工艺技术的现状和发展动向,以促进我国钢铁工业技术的革新和进步,冶金部科技司委托《钢铁》编辑部选译编辑了《90年代钢铁工业的发展趋势——第六届国际钢铁大会文集》一书。全书按原论文集分为4个部分,译文也依原所在部分编排,此外还特邀参加会议的李继宗等同志撰写了综合性文章。但由于篇幅有限,参考文献省略,文章中文献号仍保留,以便查找。

本书主编为牟慧妍。

本书由陶晋对译文进行了审查,并对编辑工作给予指导。

本书主任编辑为钱洁,责任编辑为岳满堂、赵承平,编辑为朱文佳、魏振宇、张芝香,参加编辑工作的还有张风琴、王楠楠、姜嘉秀、杨文曦、孟宪章等,封面设计为叶渠曾。

中国金属学会《钢铁》编辑部

1991年10月

目 录

当代钢铁生产技术与前景展望	(1)
---------------------	-------

一、基础研究

炼铁、炼钢技术的发展趋势	(7)
炼铁、炼钢的最近趋势和将来的任务	(10)
新兴工业化国家发展钢铁工业的方向	(15)
钢铁工业用探头	(19)
用硫化钠渣脱除铁水中的铜	(24)

二、炼 铁

烧结厂的污染防治与废热回收	(29)
日本炼铁技术的最新发展	(34)
高炉炼铁的未来	(39)
延长鹿岛3号高炉炉龄的实践	(43)
水岛4号高炉喷吹煤粉的实践	(48)
高炉喷吹煤粉量的界限	(54)
高炉风压变化预报专家系统的开发	(59)

三、炼 钢

日本转炉炼钢工艺的发展	(63)
包中铁水快速预处理技术的发展	(68)
复吹转炉中铁水脱磷工艺的发展	(71)
完成全铁水预处理系统和改善BOF精炼操作	(75)
氧气顶吹冶金脱碳的范围	(79)
两座复吹转炉铬矿熔融还原法生产不锈钢新工艺	(83)
用于中间包加热的交流等离子系统的发展	(88)
凝固最后阶段软压缩改善连铸方坯中心偏析	(92)

液相穴末端附近强压缩改善连铸方坯中心偏析	(96) ✓
利用软压缩新技术控制连铸板坯的中心偏析	(100) ✓
采用连续锻压法改善连铸坯中心偏析	(104)
防止连铸钢中偏析的新工艺和工业应用	(108) ✓
索拉克连铸机结晶器先进的液面控制方法和板坯表面质量的改进	(112)
改善连铸—热直轧 (CC-HDR) 工艺产品质量的新技术开发	(118)
加古川钢厂新投产的板坯连铸机	(122) ✓
控制连铸中间包钢流的新型精密控制阀	(126)
优质连铸坯的生产	(131)
水平连铸双向拉坯法的发展	(136)
FIRST-MISS钢厂一台两流小方坯水平连铸机投产	(139)
水平连铸生产不锈钢无缝管用圆坯	(143)
直流电弧炉的发展及技术概况	(148)
日本电弧炉炼钢技术的发展	(154)
电弧炉出钢技术	(160)
洁净钢的理论研究和实践手段	(163)
炉外精炼一次操作时硫、氮、氢和总氧量的减少	(167)
高清洁度轴承钢的生产和钢质量	(172)
汽车用表面硬化优质低合金钢的制造	(178)
预定取向钢的生产	(182)
电渣重熔工艺的最新进展	(186)
电渣重熔工艺新技术	(188)
反应器炼钢工艺的开发	(193)
现代废钢熔炼工艺的比较研究	(197)
特尼电炉厂采用泡沫渣后电炉冶炼操作的改善	(200)

四、相关技术

日本高炉专家系统的新进展	(205)
蒂森钢铁公司现代化高炉的控制设施	(212)
炼铁设备的长寿技术	(217)
钢包精炼炉自动操作系统	(224)
连铸结晶器液面控制设备诊断专家系统	(228)

用于连铸的智能机器人系统的开发.....	(232)
连铸过程自动化的多功能智能机器人系统.....	(236)
钢水温度连续测量.....	(239)
转炉内钢水的直接分析.....	(243)
连续精炼法的模拟.....	(246)
寻求全新的钢铁生产工艺的可能性.....	(251)
钢厂生产的优化.....	(255)
矿石输送综合控制系统的开发.....	(260)
过程诊断技术的进展.....	(265)
日本钢铁工业仪表和控制技术的最新动态.....	(269)
钢铁工业中维修策略的新进展.....	(273)
润滑控制技术的发展.....	(277)
电气设备故障查找专家系统的开发.....	(280)
工厂管理中先进的机械状态监测系统.....	(284)
钢铁生产中耐火材料无损测量技术的开发.....	(288)
冶金企业能耗的优化及环境保护.....	(292)
现代电炉车间的生产维修.....	(297)
霍戈文斯钢铁公司高生产率板坯连铸对炼钢的要求	(302)

当代钢铁生产技术与前景展望

赵荣玖

李继宗

(北京钢铁设计研究总院) (冶金工业部)

引言

1973和1979年两次世界范围的能源危机强烈地冲击了钢铁工业,不仅加速了各项与节能和质量有关的技术发展,而且也促使各国相继从以增产钢为主转向节能、降成本、质量高级化、品种多样化方向发展。

80年代大于5000 m³高炉的日产已超过万吨、焦比400 kg/t左右,作业率从十年萧条期的75 %上升到90 %,一代高炉寿命也已超过十年(最高已接近15年)。在操作方面除普遍采用电子计算机进行系统管理外,还引入人工智能系统对高炉进行综合最佳操作和控制,使高炉炼铁技术达到新的水平。

80年代转炉炼钢技术发展尤为迅速。转炉复吹已在世界范围得到应用,一些相关技术的出现、发展,以及与前道工序铁水预处理相结合新工艺流程的诞生,使转炉炼钢正在步入新的发展时期。

电炉方面旨在提高熔化效率的高功率、超高功率电炉的普遍采用,炉体设备的进一步改进,操作技术和自动化水平的提高,各种强化熔炼技术的采用,及与炉外精炼匹配的新工艺,使电炉的生产效率日益提高,电耗、电极消耗有了明显降低。

直流电弧炉的发展预示电炉技术将出现新的重要进展。

铁水预处理和二次精炼技术的进一步发展和广泛采用,使炼钢炉与前后工序综合成一个总体工艺,使冶金炉冶炼效率得以充分发挥,钢质量进一步得到改善。

80年代连铸技术得到高速发展,十年中全世界连铸比的增长几乎翻一番。1990年已达64.1 %,许多国家的连铸比增长一倍以上,已达到和超过90 %。还有少数国家已实现100 %连铸。

由于新技术的有效利用,以及铸机设备的改进,自动化、仪表装备和操作、管理水平的提高,使连铸机生产达到较高水平。

无缺陷铸坯的成功生产,使铸坯热送直接轧制工艺在生产中得到应用。薄板坯连铸的成功,使连铸技术向前迈进一大步,向着铸坯规格接近成品方向发展。

本文扼要介绍当代世界钢铁生产技术的发展及其前景。

1. 高炉炼铁

二次大战后钢铁工业的迅速发展,大型钢铁企业的兴建,使新建高炉的容积日趋增大,出现了4000~5000 m³以上的大型高炉。苏联新建成的最大高炉为5700 m³。

近十年来高炉技术的进步表现在:成熟的工艺理论已用于生产,在炉体设备继续改进的同时,仪表控制水平也明显提高。连续测温、监控铁水Si及传感器监测气流分布等技术和设备已在生产中发挥作用。

80年代高炉生产监控方面最明显的进步是大型荧光显示屏的装设,并结合经验和操作数据编制参数控制系统。诸如川崎 Go-Stop、蒂森 THYBAS、新日铁AGOS等。但是由于实践中受到种种干扰,最终不得不依靠操作者经验来作出决断,于是发展了专家系统(即人工智能),通过模拟一定活动范围专家的知识 and 逻辑推理来解决出现的复杂问题,如预报炉缸变冷,高炉结厚和结厚物脱落及炉子结瘤等。使用专家系统的成功率比人工高25%,可达68%。

高炉喷煤技术虽然早已提出,但是直到60年代初才用于高炉生产。由于尚存一定技术难点,只有美国ARMCO公司和我国首钢高炉一直坚持使用。日本从1981年以后才陆续开始应用,欧洲一些国家也开展较晚。目前高炉喷煤技术已经成为增产节能的重要措施。喷煤量正在日趋增加,法国敦克尔克高炉平均喷煤达143 kg/t,焦比下降到333 kg/t。欧洲先进高炉的喷煤量超过180 kg/t,焦比已降至295 kg/t。现在的喷煤目标是突破200 kg/t。进一步增加喷煤量必需配合富氧,如富氧能达60%,喷煤量可增到410 kg/t,焦比可下降到190 kg/t,在此情况下高炉就可采用冷风操作,可大量简化高炉的辅助设备。

自熔性烧结矿的使用,使高炉渣量明显减少,产量增加。因而,要求生产低渣量烧结矿的呼声越来越高,以期达到球团矿的效果。使用占40%的块矿,可使高炉总燃料比达到460 kg/t,系数达到2.83 t/(m³·d)。研究合理炉料结构仍是今后改进高炉操作的重要课题。

高炉炼铁目前正受到熔融还原新工艺的挑战。现在许多熔融还原方法中,有两种已经展现出良好的发展前景:一是竖炉型还原炉,二是转炉型还原炉。然而,由于现代高炉所具有的高产量、高效率、高热利用率以及它的巨大灵活性,在可预见的未来仍然不能动摇高炉在炼铁生产中的主导地位。

2. 转炉炼钢

LD法转炉炼钢迄今已有40年历史。以改善LD法熔池动力学条件而出现的转炉复吹法迄今已有十年。目前转炉复吹技术已在世界范围得到了发展。过去十年中,各有特色的复吹方法竞相涌现,与熔池搅拌动力学相关联的各种供气元件结构,及其在炉底上的布置,以及炉底供气气源、供气模式等也都获得很大改善和发展。包括炉底气体控制在内的整个炉子自动化程度的提高,改善炉子热效率的热补偿技术的开发应用,预处理铁水转炉炼钢的成功,以及转炉复吹的相关技术:诸如耐材技术,炉型技术,无倒炉快速出钢技术,元件腐蚀与化渣状况探测技术,以及元件通畅,造蘑菇头保护技术等,促使转炉冶金效果进一步改善,命中目标率大为提高,钢质改善,成本进一步降低。当前转炉炼钢正进入以复吹为中心的新发展时期。

复吹技术的十年进展,在气源上除N₂、O₂和Ar外又开发出CO₂、CO和CaCO₃粉作为搅拌气体。CO₂气对元件腐蚀的不良影响,通过造蘑菇头和采用适宜的供气制度得到了缓解,寿命最高达到3098炉。CO气的冷却效果比Ar好(大1.2倍),对底吹元件无副作用,能起到一定的保护作用。它在钢水中的溶解度很低,因而被认为是唯一代Ar的理想气源。

供气元件技术的发展,不仅使其寿命基本上与炉龄同步,而且解决了供气通畅性问题,能在炉役期内按供气模式供气。砖式元件由弥散、狭缝,发展成直孔。管式元件由套管经环缝发展成多细管,展现出细流分散供气的发展趋势,并且已经开始向多微管透气塞方向统一。

气量大幅度可调,对于发挥复吹效果极为重要。环缝管和多细金属管元件的出现,可实现10倍的调气幅度。高压复吹的出现可实现20倍的调气范围,从而满足了供气模式的需要。

造蘑菇头体是保护元件的重要措施,然而由于凝结物的影响,长期以来元件通畅性成为棘手问题。近年渗氧和导入空气除塞技术的开发,使问题得到了较好的解决。

目前,以日本复吹转炉为例,供气元件一次性寿命可达2000~3000次,通过更换元件和换炉底,炉衬寿命可达5000~8000次。

今后转炉炼钢技术的发展:①探索包括极低碳钢在内的高纯净度钢熔炼工艺及在少渣下吹炼三脱铁水的熔融还原(如对锰、铬、矾的还原)。②强化搅拌,确保热富余度情况下向着既分离冶炼机能,又扩大冶炼机能方向发展,开发灵活铁源技术(熔化废钢、还原铁矿),向着集熔化还原为一体的预想目标发展。新日铁已开发出的“冷铁源新熔炼法”值得注目。

3. 铁水处理

工业规模处理铁水首先是铁水脱S,近来由于对钢的品种质量要求以及经济目的,开始发展铁水的三脱处理(脱Si、P、S)。一些工业先进国家纷纷建起三脱处理铁水系统,日本发展尤为迅速,有的厂如君津、大分等已实现全量铁水处理。西欧、北美也都开始采用,南朝鲜光阳钢厂也采用了铁水的三脱处理。工业中大力发展铁水三脱尚存有争议,引起的最大疑虑是热损失问题,近年此问题已基本得到解决。日本住友金属首先开发以部分氧代替固氧(矿石氧)处理铁水技术,此项措施已在日本得到推广。日本NKK公司的经验表明,通过吹入适量氧气,经处理后的铁水温度一般可保持在1330℃左右,只要兑入转炉温度不低于1275℃,不仅炼钢热量没有问题,而且每炉尚可加入20 kg/t锰矿,如果转炉适当配合双流道氧抢和加煤等热补偿措施,完全可以确保热富余度并可吃一定数量的废钢。

在混铁车内处理铁水是迄今应用最广泛的方式,然而由于其形状不合理、反应效率低及处理倒渣余铁困难等缺点,因此产生了专用炉处理铁水的方法,并已经显现了优越性,在日本已有新建和腾出专用转炉进行铁水处理的情况。

实践证明,专用炉法处理铁水的优点是:反应容器大,形状合理,处理效果好,平稳无喷,成分、温度波动小,渣铁易分离,易实现自动化,可适当放宽铁水Si含量0.3%,能在处理过程吃废钢(250 t炉可吃7%废钢)。

铁水预处理技术历经20余年的演进,迄今不仅已经成熟,并正迈向新的水平。今后的发展:一是充分、最大限度地发挥处理效果,二是与转炉冶炼组成最佳新工艺(目前已有诸如ORP、ORP-M、SARP及OLTPS等工艺)。今后的努力目标和发展方向是大力普及和发展铁水预处理,实行分割精炼,最大限度地发挥分割特色。

4. 电炉炼钢

近年电炉设备及工艺有了很大进步。炉子向着大型化、超高功率方向发展。已经基本不再建设30 t以下的电炉,最大电炉容量已超过400 t。变压器吨钢电功率配备水平明显提高,普通功率电炉已比较少见,正在生产的电炉均为高功率(HP)和超高功率(UHP),目前有些电炉的电功率配备已达800~1000 kVA/t。由于采用造泡沫渣、高电压、低电流、中长弧或长弧操作,使电炉生产能力进一步发挥,熔化时间一般只有90 min,先进的只有70 min,100 t容量电炉小时生产能力已达80~90 t。

由于炉容大型化和电功率的加大,以及广泛采用水冷炉盖、炉壁、电极,氧-燃喷枪,废钢预热,第4孔除尘,第5孔连续上料,计算机自动控制,炉底出钢等技术,变传统熔化、精炼、还原多机型为单一高速熔化型,使熔化时间、生产率、电能电极消耗明显减少,成本降低。

电炉偏心炉底出钢技术为德国曼内斯曼首先开发,目前已得到大力推广采用。其优点主要是钢流短、温降少、不易下渣,有利于二次精炼及降低铁合金消耗。

1982年德国SMS公司首先采用12 t/9 MVA直流电弧炉(DCEAF),不久法国SME钢厂建成投产世界第一座75 t的UHP·DCEAF直流电弧炉,美国Nucor公司引进该技术将原有30 t交流电弧炉改成直流,取得出钢-出钢24 min,电极消耗1.58 kg/t的好成绩。

1989年8月东京制铁公司的九州钢厂投入100亿日元资金,把两座60 t电弧炉改造成130 t直流电弧炉,1989年8月末投产,操作一直比较顺利。这座直流电弧炉作为100 t以上的大型直流电弧炉,在世界上是首次。

根据实际生产结果,直流与交流电弧炉相比较,具有电极消耗低、电耗低、耐材消耗降低及电网闪炼减半等功效。在降低成本方面,直流电弧炉吨钢成本可降低3000日元,有明显的经济效益。

新建DC炉一次性设备投资比AC炉大(约为AC炉的135%,未考虑AC炉的动态补偿装置),电器设备所占的空间也比AC炉大。另外,大于150 t容量的DC炉,顶部电极的直径或支数还有待继续探讨或试验。DC炉的关键部分——炉底电极的型式和寿命,以及电弧偏转问题,也须进一步研究解决。因此可以认为,DC炉还有待进一步发展、完善才能加以全面地评价。

5. 二次精炼

目前发达国家都以生产高清洁钢为目标,以更经济的制造工艺、提高收得率及改善全程的生产效率作为发展方向。在此背景下,为减轻炼钢炉冶炼负担和提高品种质量及配合连浇的需要,处于炼钢与浇铸之间的二次精炼技术得到了快速发展、应用和普及。

近年RH装置已有较大改进,不仅设备本身进步很大,而且正向高效多功能方向发展。真空室吹氧RH-OB法,真空室喷粉RH-PB法以及顶枪吹氧RH-KTB法相继出现,特别是顶枪吹氧的采用,不仅促进脱碳,而且可以通过烧Al和二次燃烧加热钢水。

喷粉喂线技术近年也有新进展,钢包喷粉的载气量得到进一步减少,从而消除钢水裸露吸氮并减少温降和提高粉剂利用率。喂线设备已由单线发展成多线(3线或4线),可同时喂入数种不同的粉剂,并且已经出现边包线边喂线的包线-喂线机。目前两种设备孰好之争很大,未来谁取代谁尚属难定。

炉外钢水加热的重要性众所周知,不仅可以降低熔炼炉出钢温度,减少回炉再炼钢水,而且极有利于连铸操作的配合,在实际生产中已经得到广泛应用。

钢水加热方法现在多采用电弧加热(LF炉),此外还有氧焰加热、等离子加热以及近年刚发展的吹氧Al热(或Si热)法(即CaS-OB和IR-UT法)。

作为二次精炼重要工具的钢水包,由于细长、钢水深,受传热速度限制,提高加热速度比较困难,目前电弧加热钢水升温速度不超过4 °C/min。氩气等离子弧加热的升温速度也不够快,最大升速也不超过4 °C/min。等离子弧加热可在超长加热(如2 h)情况下保持钢水成分不变,并且增N₂量也极微。

初炼炉与炉外精炼配合可把元素含量降低到如下水平: C=10 ppm、P=25 ppm、S=3 ppm、N=15 ppm、H=1 ppm、O=5 ppm。

面对日益提高钢质和初炼炉生产高效化,以及连铸、连浇对钢水的苛刻要求,二次精炼技术必将得到进一步发展和普及,未来将向进一步高效化和多功能方向发展。

6. 连铸生产

过去十年连铸技术飞速发展,连铸比迅速增加,全世界已经有14个国家的连铸比超过90%,有23个国家超过80%,全世界平均连铸比已由1981年的33.8%猛增到1991年的64.1%。主要国家近十年连铸比变化见表1。

表1 主要国家十年连铸比变化

国 名	连 铸 比, %	
	1981年	1990年
法 国	51.4	94.3
英 国	31.8	83.6
德 国	53.6	91.3
美 国	20.3	67.1
日 本	70.7	93.9
奥 地 利	62.4	95.9
意 大 利	50.8	94.8
比 利 时	30.6	91.7

连铸机本身的进步也很突出,围绕改善铸坯质量、提高拉速和连浇率、铸坯热轧热送、设备在线快速更换、维修管理以及自动化控制等都有很可观的进展。

中间包容量进一步加大、形状改进、挡墙的设置以及等离子枪加热、新型开闭器的开发,使中间包冶金有了新的发展。

针对小方坯铸机容易拉漏的特点,采取了二冷导向一段开出、刚性引锭无铸坯导向、设置活动挡墙再线恢复浇铸以及多级结晶器、喷淋结晶器等新的措施。

十年来,随着各项新技术的采用,使大板坯连铸机的铸速不断增加,已由过去的0.6~1.0 m/min增加到2 m/min以上。

为解决液芯弯曲易在固液面处发生裂纹问题,先后出现了“压缩浇铸”、“渐近弯曲”和最近广为采用的“多点矫直”以及“连续矫直”等技术。

近年铸坯热送和热坯直接轧制技术有了很大发展,生产无缺陷铸坯的技术已经发展成熟,广泛用于实际生产中。该技术的主要内容可归结为如下几点:①进一步提高钢水清洁度;②改善坯壳在弯月面处的凝固行为,以减少氧化铝在该处的富集;③适当的二次冷却宽度和新型气水雾化喷嘴的采用;④良好的机内保温,减少散热,并在坯边设置加热器,以及减少热送散热措施等。

大型板坯连铸机的自动化水平日趋提高,近年所投产的板坯连铸机均配备计算机过程控制和质量判断系统。在仪表和电控上设置带智能的屏幕显示、PCC可编程序控制器及交流调速控制。微机群分散控制各区设备,上位机统一控制各微机以实现自动浇铸、设备监视、质量判断及生产管理等功能。

现行发展的板坯连铸机机型主要有两种,一为直弧型,一为超低头型(弧形),两种在相互竞争之中。由于超低头型取消液相多点弯曲段,因而高度低,设备也轻。但是由于钢水清洁度的限制以及日益增长的铸坯质量要求,在当前情况下直弧形连铸机仍占据着相当的优势。

连铸技术的不断发展,以致出现了有可能将钢水浇成接近最终成品规格的趋势。薄板坯的出现以及各种圆形坯、异形坯的发展集中体现了这一趋向。

薄板坯连铸机可直接生产20~80 mm厚的铸坯,拉速可达6 m/min。目前全世界已建成5套机组(包括原有铸机改造),生产出的薄板坯内部质量经检验无裂纹,为细晶粒组织,轧制出的带钢质量也符合要求,唯一问题是表面质量不稳定,有待进一步改进。

未来的连铸发展将令人十分鼓舞,连铸比一定会进一步增加,并且必然最终过渡到100%。生产高温无缺陷铸坯技术将会进一步完善,热送直接轧制的比例必定会大幅度增加

并最终也达100 %。将钢水铸成只需最少量轧制就能生产出成品，即发展接近最终成品的连铸技术，将成为今后重要的发展目标。

结语

由于高炉炼铁技术的不断发展，进一步发挥出现代高炉的高产、高效和高灵活性的特点，虽然面对熔融还原的挑战，仍能保持领先的主导地位。

转炉复吹技术的出现、发展及在工业中的广为应用，使出现40年之久的LD转炉又重返青春，进入新的发展时期。转炉复吹与前步铁水处理工序相结合，发展新的少渣精炼工艺，不仅提高钢质，改善指标，而且可以进行锰、铬矿的熔融还原。确保热富余度，增添还原机能，充分发挥分割精炼的特色，是今后的重要发展方向。

铁水预处理技术的重大进步，使得长期以来所倡导的精料和分段炼钢的构想成为现实。气态氧的采用、炉内法处理铁水技术的发展以及各项热补偿技术的开发，使铁水“三脱”有了较为广阔的应用前景。

采用超高功率电炉及造泡沫渣长电弧操作，是近年交流电弧炉炼钢的主要改进方面，配合炉体冷却结构的改进以及氧-燃烧嘴、废钢预热的采用，使电炉炼钢发展到新的水平。直流电弧炉的出现及其所具有的一系列优点，无疑是对交流电弧炉的重要挑战，将会得到进一步发展和普及。

炉外精炼技术承上启下，不论对初炼炉和连铸都极为重要。各项真空喷吹、加热技术都得到了进一步发展，预计在生产中将会得到更为广泛的采用和普及。

连铸技术发展之快、普及之迅速实属罕见。从中间包冶金到连铸机本身设备以及各种离线设施均都有了重要改进。操作技术、维修管理技术也推向新的水平。生产高温无缺陷铸坯、铸坯热送直接轧制、薄板坯连铸的出现和正式用于生产，是近年连铸技术突破性的进展。浇铸尺寸接近成品的连铸技术将会进一步发展，其意义不亚于当年连铸代替模铸，堪称浇铸技术的第二次革命。

炼铁、炼钢技术的发展趋势

〔英国〕 F. Fitzgerald

（英国钢铁公司Swinden实验室）

钢是技术性很强的国际性工业产品。用户对钢性能的需求越来越复杂。今后几年发达国家钢的生产能力仍会超过需求，因而各个钢厂之间及钢和其他材料之间的竞争将会很激烈。由于研制和开发了汽车工业应用的塑料和复合材料而对钢的应用提出挑战；在饮料罐头市场，铝、塑料和玻璃已成为钢的竞争者。此外，各国的钢厂必须严格遵守环境法规。为满足用户对特殊产品的质量要求，钢厂必须推广全面质量管理。将来，这趋势还会继续下去。

关于钢的技术条件，过去20年近海石油工业要求钢能经受住海洋环境的操作条件。对于极严格要求的海洋钢，要求具备优良的全厚韧性、可焊性和表面质量；要求硫含量低于0.002%，残余硫化物和氧化物要改性，以便减少使用中的开裂倾向性。对输送酸性气体的管线钢，还要求磷、碳和锰含量都低。过去30年，为了满足对管线钢不断提高的韧性要求，规定硫含量的发展情况如图1所示。用户的要求迫使钢厂必须生产残余元素含量非常低的钢（图2）。

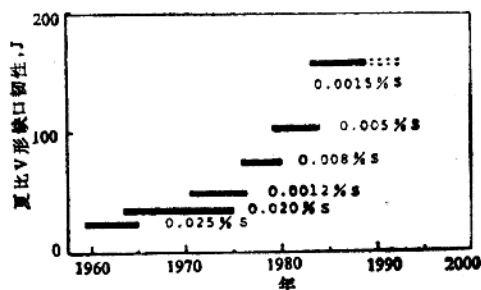


图1 对管线钢冲击韧性要求的发展情况

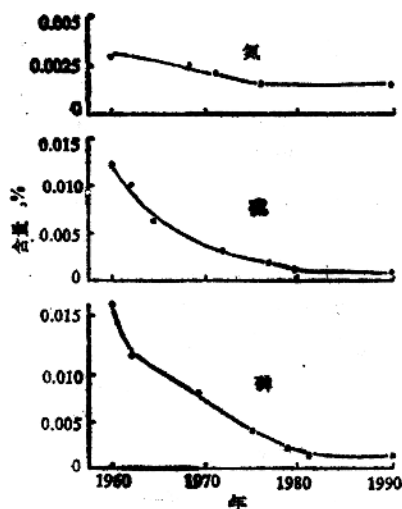


图2 各年代所达到的世界最低的钢中氮、硫和磷含量的变化

最近莫里逊评论了结构钢规格的发展。结构钢不要求严格控制硫或磷，但要求良好的焊接性能（低的碳当量值，CEV）及最低的强度水平。微合金化，尤其是铌微合金化及在板材加工方面的其他改进，已使CEV逐渐降低。50钢的规范已经达到了最佳性能。为了提高焊件

整体性和韧性，将来还可能适度降低硫和磷含量（最低限度约0.004 %S和0.01 %P），但基本的技术条件未必能有重大变化。

在包装工业方面，镀锡薄板正面临铝、塑料和玻璃的严重挑战。饮料工业用的拼合罐，主要问题是镀锡薄板的宏观非金属夹杂物。在罐壁和焊边处的受力部位存在宏观非金属夹杂物，会导致罐开裂。英国钢铁公司采用连铸，使宏观非金属夹杂物减少2万倍。但是今后10年，将要求以更快的速度和更少的流水线停车次数生产更薄、更大的罐。这就要求广泛地改进技术条件，提高成形能力，更好地控制表面织构。为了保持镀锡薄板在制罐市场的竞争形势，非金属夹杂物总量还需要再降低20倍。

莫里逊研究了用户对钢纯净度的要求，认为虽然将钢中氮含量降到0.003 %以下的理论还不充分，但有些钢厂已定出目标要把它降到比这还要低得多的水平。这样的钢很容易找到用户。

钢的总成本主要是能源和劳工成本。国际钢铁协会对能源进行了研究，提供了一种比较不同工厂的能耗的方法，并且提出了许多节能技术和装置。尽管这些节能技术和装置在发达国家得到了实现，但是还没普遍采用。预计不久会迅速采用。环境和成本的压力将迫使各企业和团体协同组合，建立分区供热系统，联合供热和发电以及共同进行化学制品的生产，以便减少国家的总体能源需要。

在发达国家里，通过精减车间和其他操作人员的数目降低了劳工成本。但是许多发达国家的年青人对钢铁工业职业不感兴趣，因此劳动力缺乏，例如，目前英国钢铁企业很难招到大学毕业生。况且人口统计数据表明，发达国家的人口已经老化。到2000年依赖性人口比例（每百人中14岁以下和65岁以上老人所占比例）将由50增加到53，到2025年将达到60。幸亏，在单位成本大大降低的情况下计算机功率迅速增大，提供了更有效的管理手段。1992年将出现每秒为1.5亿条指令的计算机，而单位计算机功率的成本将下降到1/10。同时后备存储器和通信网络的容量将大大增长。随着主机的增大，将出现小型、微型和专用性的袖珍式计算机。它们将对钢厂的操作和控制产生巨大的影响。英国钢铁公司的Scunthorpe厂开始利用在线存储器的袖珍式电子数据收集器，并能将数据输入工厂的计算机进行分析。集成系统的发展使钢厂全部操作的控制获得了巨大进展。许多氧气转炉炼钢厂目前均配备有辅助设备来改进终点控制，提高了产品质量和一致性，并降低了成本。冶炼车间已经有了智能系统并取得了不同程度的成功。它使车间的运行处于连续监督之中，并提出采取必要行动的建议，以便实现和保持最佳的操作。

环境法规是下一个10年对钢铁企业提出的最重要的要求。已经讨论对CO₂和其他排放物征收税款的可能性，从而可能对钢铁企业的成本结构产生广泛的影响。这方面需要国际合作，各个国家单独行动将严重损害其工业基础，因此在许多情况下不容易做到。只要核工业能保证安全，采用以直接还原和核能为基础的钢铁工艺路线可能是解决环境污染的最好办法。

钢是100 %可以再循环利用的，并且用磁力方法很容易从混杂的废料中回收。废钢的再循环利用已成为十分发达的不可忽视的资源，1989年世界钢产量大约38 %是由废钢生产的。镀锡薄板罐头盒可以循环利用来炼钢，锡可以利用电解法回收；但是，汽车和其他消耗品则需要仔细地重新设计才能将使用过的许多材料分离出来加以循环利用。在贵金属元素不损失或者不污染环境的前提下，回收金属和有机涂层结构钢、复合钢的技术尚待研究。在炼钢之前也可用电解法预处理去除镀锌层。目前正在研究用等离子熔炼炼钢粉尘来回收金属，但是

将来的情况难以断定，锌无论如何不可能以金属形式回收。有机涂层钢的生产很大程度上取决于不污染环境的漆和塑料层的配方，水基的或者无溶剂的涂层很可能得到发展。

在钢的浇铸和加工方面，其发展趋势是连铸、近终成形浇铸和把酸洗线和冷轧机连接起来，以提高效率。炼铁的各工序保持不变，由于二次冶金方法的应用，炼钢的工序增多，随之耐火材料消耗增加，能耗增加，环境污染的可能性增大。现代大型高炉的炉龄约为12年，日产铁为 2.2 t/m^3 ；预计下个世纪上述数值可分别提高到15年和 3.0 t/m^3 。

炼焦受环境污染、成本和焦煤短缺的制约。西欧炼焦技术开发中心正在研制的Jumbo炼焦炉可能使环境污染明显减少。高炉可喷吹煤粉代替焦炭和降低能耗。目前喷吹煤粉比一般为 180 kg/t 铁水，预计将来可达到 250 kg/t 铁水。Corex法试图在炼铁中完全不用焦炭，但能否成功，尚待结论。南非钢铁公司的Pretoria厂是第一家使用Corex工艺的工厂，设计能力为日产1000 t铁。英国钢铁公司在日产铁1000 t的高炉上进行了氧-煤粉喷吹试验。利用风口吹氧的方法试验了 $\leq 400 \text{ kg/t}$ 铁水的煤粉喷吹比。Teesside实验厂的半工业性试验高炉证明，喷吹 400 kg/t 铁水的煤粉和采用 150 kg/t 铁水的焦炭是可以实现的。英国钢铁公司等提出的CBF法以及不用焦炭和炼焦炉，在炼铁和炼钢之间形成一定的连续性。竖炉生产的预还原铁经过冶炼，然后在熔融气化炉中部分地精炼，第二室内钢和渣分离，熔炼炉的煤气进入竖炉用来还原矿石。

Scunthorpe厂正在进行用水冷法提高氧气转炉炉嘴寿命的研究，以降低耐火材料消耗。为了改善工作环境，英国钢铁公司采用“鼓形罩”将氧气转炉和电炉完全封闭，同时减少了噪音。世界上几乎所有大型钢铁公司都在研究带钢（1~5 mm厚）或薄板坯（30~60 mm厚）的近终成形浇铸。Nucor公司年产80万吨、宽度1300 mm的大型工业品级冷轧薄板的研究对小型钢厂很有意义。但是要达到常规的表面和内部质量，技术上还存在着许多先天的困难。如果产量不高，这种方法还可以考虑。带钢直接浇铸大大降低了加工成本，因为完全取消了加热炉、初轧机和热带钢轧机。铸态表面质量甚至比薄板坯浇铸的更严重。克服表面质量问题尚需大量的研究，但是或许在下个世纪初，薄带钢浇铸将会成为可能。它对工业的影响比用连铸法的影响更大，而且将对扁平产品的不锈钢工业产生广泛的影响。在薄板产品领域，防腐涂层可望迅速扩大，已有许多工厂投产，还有的正在建造和计划中。问题在于所要求的涂层成分各不相同，而且需要研制出金属涂层的回收方法以及不污染环境的金属和有机涂层的生产工艺。在厚板生产方面，利用低合金钢和控制水冷获得所要求性能的技术已经开发，但没有广泛应用。目前此技术正应用于钢轨和重型梁之类形状复杂的长产品生产上。到本世纪末使用低合金钢并采用控制水冷技术，将会在整个重型产品系列生产中得到开发利用。它还将有助于长产品的形状和尺寸完善性的提高。

黄桂煌 译

耿文范 校

炼铁、炼钢的最近趋势和将来的任务

〔日本〕 Yasuhiro Yagi

（川崎钢铁公司）

以日本钢铁工业为例,根据经济状况和粗钢产量将战后的钢铁工业历史分成三个时期,以历史为背景叙述了每个时期钢铁技术的发展。并讨论了当今的问题和下一代的技术。

自1970年在东京召开第一次国际钢铁协会会议以来,钢铁工业在生产环境和技术方面均发生了许多变化。本文重点论述炼铁和炼钢的最近趋势和将来的任务,特别是前道工序。并通过例子说明战后日本钢铁联合企业的发展。

1. 在变化的经济环境中炼钢技术的变化

粗钢产量发展的趋势从1950年到现在可分成三个时期。这些时期的差别决定钢铁工业增长的内外经济因素。

1.1 高速增长时期的技术(1951~1972)

从50年代中期至1973年第一次石油危机的20年期间,日本国民生产总值的年增长率超过10%。同期,日本的粗钢产量由1950年的不到4百万吨增加到1970年的9千万吨,约20倍。

该时期的炼钢技术发生了革命性的变化。除继续积极引进和改进欧洲和美国发明的设备和技术外,并在生产效率和操作规模上达到了新的水平。例如,出现了4000 m³以上、日产铁超过1万吨的大型高炉。采取了高压、高温操作,采用大风量的热风制度和喷吹多种燃料以稳定生产。

在炼钢方面,碱性氧气转炉完全取代了平炉,1955年引进了连铸。大规模生产的需要推动了炼钢技术的发展。但是,高速增长的代价是污染。这已成为日本钢铁工业的一个重大问题,特别是在炼焦和烧结之类的前道工序中。

1.2 减少产量时期的技术(1973~1986)

作为工业化国家,日本1973年的粗钢产量达到了1亿2千万吨的顶峰,由于受第一次石油危机的严重打击,钢产量从此长时间地下降(图1)。

因此,日本的钢铁工业致力于减少各种能源的消耗。不再扩大生产规模和设备,而是能源、储备、效率和过程连续化、同步。

节能技术以及连铸比的提高(1975年就超过90%),使吨钢能耗减少20%。作为新的炼钢技术,引进了第一座大型底吹转炉,以后又发展了顶底复合吹炼技术。

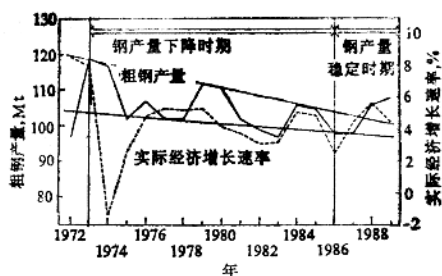


图1 日本粗钢产量和经济增长率的进展
(1972~1989)

由于电子学的迅猛发展,日本钢铁工业使用的过程计算机的数目由1977年的556台增加到1986年的1090台,从而保证了过程连续化和同步的进展。计算机还支持了高炉人工智能(AI)和灵活生产系统(FMS)的初期发展。

70年代,钢铁工业投入大量资金解决污染问题。1987年在污染控制设备方面总投资1.34万亿日元。

由于目前钢产量达到人均600 t/a,日本钢铁工业渡过了从第一次石油危机到日元汇率危机的14个困难年头,证明它是90年代钢铁工业重新振兴的一个不可缺少的时期。从综合治理的观点来看,这14年是日本钢铁工业显示巨大潜能的一个重要机会,并再次证明长期寻求的加强公司和人民之间的凝聚力是何等重要。

1.3 产量稳定时期(1987~)

1987年是粗钢产量不再滑坡的转折点。目前粗钢产量将稳定在1.05亿吨的水平。

1987年日本的人均国民生产总值上升到283万日元,日本人民把重点转向了个人的需要。钢铁工业面临钢产量的长期衰退,决定采取生产高级钢维持总收入。即由结构材料变为功能材料。但是,高级钢是为了满足市场的多种需要并且小批量生产。如何做到成本可以接受而又能适应消费者的预定要求,从技术观点来看,这是个棘手的问题。

在任何情况下都必须继续实行日元汇率危机期间所制定的合理化计划,即要大幅度削减劳动力和生产设备。例如,生产的集中使日本运行高炉的数目由1977年的60座减少到1988年的37座。而且必须依靠现有设备提高生产率,要有灵活、动态制造能力的设备。理想的设备应该是多功能的,运转费用低廉,并且容易启动和关闭。

2. 现在和将来的钢铁生产技术

2.1 焦炭问题

如上所述,在前步工艺过程中投资不当会造成各种困难,特别是焦炭供应紧张。为此提出三种办法。

第一是高炉喷吹煤粉(PCI)降低焦比,喷吹比约为40 kg/t。日本约60%的高炉采用了此项技术(图2)。

按焦炉使用寿命约35年计算,不久会有大量焦炉关闭(图3)。至2000年,焦炭短缺将使煤粉的喷吹比提高到约85 kg/t。

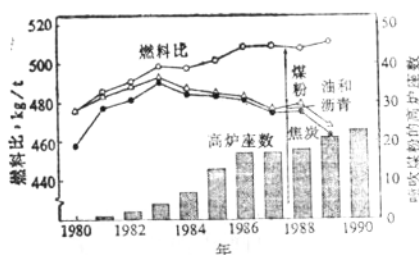


图2 燃料比和喷吹煤粉的高炉数(日本)

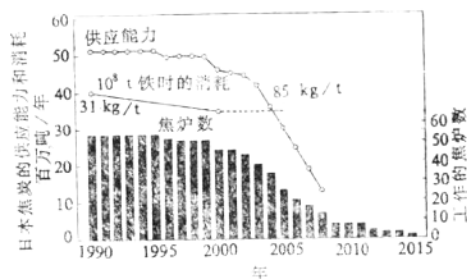


图3 工作焦炉座数和焦炭生产能力的预测(日本)

第二是用连续成形炼焦法取代室式炼焦炉。该法在设备和运转费用方面均比一般的炼焦