

电弧炉—炉外精炼技术

第3辑

冶金部超高功率电弧炉技术开发协调组

中国金属学会《钢铁》编辑部

1991·北京



PDG

电弧炉—炉外精炼技术 第3辑

1991年

编辑 冶金工业部超高功率电弧炉技术开发协调组
中国金属学会《钢铁》杂志编辑部

印刷 冶金工业出版社印刷厂

订购处 北京学院南路76号 钢铁编辑部 邮政编码 100081

主 编 朱文佳 李继宗 辛 超

主任编辑 钱 洁

责任编辑 刘东瀛 赵承平

编 辑 岳满堂 叶桀曾

魏振宇 张之香

参加编辑工作的还有姜嘉秀、杨文曦、张凤琴、王楠楠、孟宪章等

前 言

电弧炉和炉外精炼技术是冶金部“七五”规划低合金钢项目中的重要课题。有关钢厂、科研院所和大专院校围绕课题作了大量实验研究工作,并在生产应用中取得了可观的成果。

冶金部科技司领导下的超高功率电弧炉技术开发协调组陆续分辑出版了《电弧炉—炉外精炼技术》文集,及时报道了有关技术的进展情况。

《电弧炉—炉外精炼技术》第3辑基本概括了“七五”期间我国有关电弧炉和炉外精炼技术方面取得的科研和生产技术进步(还有部分译文)。本辑刊载论文55篇,其中,电弧炉工艺技术24篇(含直流电弧炉技术9篇),炉外精炼技术15篇,有关设备与设计13篇,有关耐火材料3篇。

本文集得到冶金部科技司陶晋副司长的大力支持和指导。

超高功率电弧炉技术开发协调组组长单位东北工学院武振廷教授,副组长单位北京科技大学马廷温教授,副组长单位钢铁研究总院李伟立高级工程师给予了技术上的大力协助并进行了审稿。钢铁设计研究总院的胡松山高级工程师也提出了宝贵意见。

中国金属学会钢铁杂志编辑部负责本文集的编辑出版工作。

目 录

一、电弧炉工艺技术

1. 我国电弧炉炼钢现状及90年代的技术发展趋势.....幸 超 (3)
2. 电弧炉配用精料及改善装料操作的节能作用.....马廷温等 (13)
3. 电弧炉熔化数学模型的初步探讨.....马廷温等 (18)
4. 用喷射冶金技术强化电弧炉冶炼工艺的试验研究.....曾新光 (23)
5. 不锈钢用含BaO渣进行脱磷脱硫处理.....张德铭等 (30)
6. 电弧炉供电特点与泡沫渣操作.....阎立懿等 (35)
7. 超高功率电弧炉泡沫渣发泡性能研究.....袁伟霞 郭爱民等 (41)
8. 高功率电弧炉泡沫渣与脱碳脱磷反应.....张孟亭 (48)
9. 电弧炉炼钢降低电耗的有效措施.....王显庭等 (52)
10. 降低电弧炉冶炼电耗的途径.....殷宝言 (56)
11. 电弧炉热平衡与节能途径.....阎立懿等 (60)
12. 现代炼钢电弧炉效率的计算.....阎立懿等 (69)
13. 我国第一台偏心底出钢电弧炉.....殷宝言 (73)
14. 偏心底出钢电弧炉及其熔炼工艺的工业试验.....武振廷 宋学孝 汤永宁等 (79)
15. 高功率电弧炉出钢方式的改进——虹吸出钢技术的开发.....马廷温 宋丽生等 (85)
16. 直流电弧炉及其在我国的发展前景.....武振廷 (91)
17. 直流电弧炉冶炼及底电极温度分布测定试验.....李纯义等 (99)
18. 磁镜式双电极直流电弧炉的研究.....马廷温 方光信等 (106)
19. 世界第一座最大的直流电弧炉.....〔日〕H.Shimizu等 (112)
20. 直流电弧炉.....〔中〕Hua Kai等 (117)
21. 直流电弧炉.....〔苏〕V.S.Malinovsky等 (122)
22. 直流电弧炉在我国应用的可行性.....幸 超 (127)
23. 直流电弧炉和现有电弧炉钢厂的技术改造.....徐行南 (137)
24. 直流电弧炉的发展.....〔日〕Taka-aki Noda等 (146)

二、炉外精炼技术

25. 大连钢厂真空氧氩炉外精炼 (VOD) 技术.....庄亚昆等 (157)
26. 用VOD法精炼电热合金的研究.....庄亚昆等 (164)
27. 钢包吹氩精炼试验总结.....杨洪成 (169)

28. 50吨高功率电弧炉—60吨VArD生产轴承钢工艺和冶金质量分析 王 平 易继松等 (174)
29. 60吨VArD精炼过程恒功率控制模型及生产应用 易继松 王 平等 (181)
30. EF—VAD工艺生产渗碳轴承钢质量及经济效益评价 周德光等 (186)
31. LFV—40型精炼炉精炼工艺及设备研究 陆辛度执笔 (191)
32. LFV—40型钢包精炼炉的研究 徐天旺执笔 (205)
33. LFV—40型精炼炉精炼20CrMnTi质量分析 赵栋良执笔 (213)
34. 防注流二次氧化的研究 郭东章 谢广志 (217)
35. 炉外喂线技术 契光林 (224)
36. 喂线工艺在冶炼硼钢中的应用 焦晓渝等 (228)
37. 喂线技术在电弧炉冶炼中应用的可行性研究 陆辛度等 (234)
38. 镁钙精炼汽轮机转子钢的研究 王 恒等 (244)
39. LF钢包炉熔池流动的数学物理模拟研究 马廷温等 (252)

三、设备与设计

40. 电弧炉供电动态无功补偿装置的微机复合控制系统 邹笃镭等 (261)
41. 不对称速变负荷供电的无功补偿和微机控制 邹笃镭等 (268)
42. 国产大截面水冷电缆的正确选用 袁昌宏 (276)
43. DGT溶液浸渍处理石墨电极的研究 李广田 (280)
44. 炼钢电弧炉用石墨电极涂层技术 张淑贤 刘锦绵 葛宁堂等 (286)
45. 电弧炉电极喷淋冷却系统的设计探讨 阎立懿等 (294)
46. 齐钢建成紧凑型电弧炉炼钢车间 马玉希 (298)
47. 无锡钢厂30吨电弧炉的设计与运行 刘运兴 (304)
48. 计算机优化设计无渣出钢法电弧炉 王开力等 (310)
49. 超高功率电弧炉炼钢车间的设计实践 胡松山等 (315)
50. 新型单工位双盖旋转式LF/VD钢包精炼炉 宋华德等 (321)
51. 18吨氩氧精炼炉(AOD炉)的设计实践 张佩莲 (328)
52. 钢包精炼设备的新动向 徐天旺 (334)

四、耐火材料

53. 电弧炉炉底干式捣打料的研制和初步使用试验 张原圣等 (345)
54. 偏心底出钢电弧炉出钢口耐火材料 芮树森 李志刚 郑德生等 (350)
55. LFV—40型钢包精炼炉耐火材料的选择和使用 无锡钢厂 (354)

一、电弧炉工艺技术



1.我国电弧炉炼钢现状及90年代的技术发展趋势

幸 超

(中国冶金技术公司)

近十年来,我国的钢铁工业发展极为迅速,钢产量由1980年的3712万吨增加到1989年的6124万吨,增长近65%。同期,我国电弧炉钢产量由710万吨增加到1275万吨,增长了近80%。电弧炉钢产量的增长速度超过了总钢产量的增长速度。我国的电弧炉冶金企业还承担了大部分高级合金钢的生产任务。电弧炉炼钢已是冶金工业中一支举足轻重的重要力量,为我国的国民经济建设和国防建设作出了突出贡献。在过去的10年里,我国的电弧炉炼钢在广大冶金工作者的共同努力下,在管理水平、装备水平、工艺技术进步方面都取得了长足的进步。这不仅为90年代的炼钢生产提供了可靠的保障,也为90年代电弧炉炼钢技术的进步打下了良好的基础。

1. 电弧炉炼钢的现状

1.1 装备水平

我国电弧炉炼钢厂的装备有以下几个特点。

(1) 炉容量小。我国现有电弧炉1500余座,平均炉容量仅为4 t左右;目前,国内最大的为75 t,最小的在1 t以下。

(2) 电弧炉变压器容量较小,吨钢平均配置功率低。表1是对335座电弧炉的调查结果。从表中可看出我国的电弧炉普遍为供能强度小的低功率电弧炉。

表 1 我国电弧炉的容量及炉子变压器的配置

电弧炉公称容量, t	平均出钢量, t/炉	炉子座数座	实际平均功率, kVA/t	注
≥ 15	34.4	29	342	我国电弧炉的主体
5~14.9	14.7	228	306	
3~4.9	6.5	64	358	
1~2.9	3	10	441	
<1	1.1	3	788	

(3) 车间狭小, 炉子密度大。我国大部分电弧炉炼钢厂的冶炼车间比较狭小, 厂房高度低, 炉子大部分采用地坑或半高架布置, 而且炉子密度大, 相互影响极为严重。近年来, 随着许多新车间的建设和投产, 上述情况, 有所改善, 但未完全改观。

(4) 废钢处理设备少而落后。目前, 我国大部分电弧炉炼钢厂均没有废钢处理设备。许多厂家对废钢处理要求迫切。

(5) 炉外精炼, 炉外处理设备少。表2是对我国电弧炉钢厂炉外处理设备的初步调

表 2

我国炉外精炼的主要炉型及数量

企业名称	精炼炉类型	吨位×台数	投产时间	注
北京重机厂	ASEA—SKF	100×1	1977	运 行
中原特钢厂	ASEA—SKF	30×1	1977	运 行
大连钢厂	VOD	18×2	1977	运 行
北京钢厂	ASEA—SKF	15/25×1	1979	
抚顺钢厂	VOD/VHD	30/60×1	1981	运 行
上钢五厂	HB—40	40×1	1981	连续正常运行
上海钢研所	VOD	6×1	1983	运 行
重庆特钢厂	VOD	15×1	1983	运 行
太原钢铁公司	AOD	18×1	1983	运 行
上钢三厂	VOD	25×1	1984	运 行
大冶钢厂	VOD	15×1	1985	运 行
	VOD/VHD	65×1	1986	试运行
沈阳冶炼厂	VOD	6×1	1985	运 行
西宁钢厂	VOD	25×1	1986	试运行
长城钢厂	VOD	40×1	1986	试运行
舞阳钢厂	VOD	80×1	1986	安装完
上海重机厂	HB	80×1	1985	运 行
第一重机厂	HB	160×1	1986	试运行
第二重机厂	HR	150×1	1986	试运行
沈阳重机厂	HB	60×1	1987	安装中
陕西钢厂	HB	18×1	1986	试运行
洛阳矿山机器厂	HB	25/60×1		待制造
新疆八一钢厂	HB	15/20×1		待制造
马鞍山钢铁公司	HB	70×1		设计中
成都无缝钢管厂	HB	30×1		设计制造中
天津无缝钢管厂	VOD	160×1		设计制造中
首钢特钢公司	VOD	60×1	1988	运 行
长城钢厂	AOD	18×1	1988	运 行
齐齐哈尔钢厂	HB	40×1	1987	运 行
无锡钢厂	HB	40×1	1988	运 行
江西钢厂	HB	40×1	1987	运 行
太原钢铁公司	DH	30×1		未 用
冶金系统	SL	4?		运 行
抚顺钢厂	钢包喂丝	4	1989	运 行
首钢特钢公司	钢包喂丝	1	1988	运 行
上钢三厂	钢包喂丝	1	1990	运 行
太原钢铁公司	钢包喂丝	1	1990	运 行
重庆特殊钢厂	钢包喂丝	1	1990	运 行
西宁钢厂	钢包喂丝	2	1991	设 计
齐齐哈尔钢厂	钢包喂丝	4	1991	设 计
天津无缝钢管厂	钢包喂丝	1	1991	安 装
新抚钢厂	钢包喂丝	5	1991	安 装
安阳钢铁公司	钢包喂丝	1	1990	运 行
陕西钢厂	钢包喂丝	1	1991	设 计
大冶钢厂	钢包喂丝	2	1991	设 计
成都无缝钢管厂	钢包喂丝	1	1991	设 计
长城特殊钢厂	钢包喂丝	2	1991	设 计

续表 2

企业名称	精炼炉类型	吨位×台数	投产时间	注
无锡钢厂	钢包喂丝	1	1991	设计
本溪钢铁公司	钢包喂丝	1	1991	设计
江西钢厂	钢包喂丝	1	1991	设计
贵阳钢厂	钢包喂丝	1	1991	设计
大连钢厂	钢包喂丝	1	1991	设计
齐齐哈尔第一重机厂	钢包喂丝	1	1991	设计
包头第一机械厂	钢包喂丝	1	1991	设计
包头第二机械厂	钢包喂丝	7	1991	设计

查。

(6) 除尘装备落后, 生产环境差, 又由于炉容量小, 炉子较多, 除尘及减低噪音比较困难。

(7) 制氧机能力较小, 且多数不具备氩塔、氮气回收装置。还有部分企业没有制氧机。

(8) 除少数炉子外, 大部分电弧炉均没有第二热源装置。

我国电弧炉炼钢厂大部分炉子还是五六十年代的装备, 车间环境较差, 各种仪器、仪表不全, 配套设施不完善。很难按照国际先进工艺组织生产, 各种消耗也比较高。进入80年代以来, 地方电弧炉炼钢厂发展很快, 其装备水平有很大提高, 许多装备已逐步向国际先进水平靠近, 成为我国电弧炉炼钢的一支生力军。另外, 重点企业已把更新装备列入议事日程, 并已部分付诸实施, 目前已有一批新车间建成投产, 为我国90年代电弧炉炼钢技术发展打下了良好的基础。

1.2 工艺状况

我国的电弧炉炼钢工艺技术, 近十年来取得了较大的进步, 各项技术经济指标已获得明显的改善, 取得了一批重大的科技成果, 为90年代的技术进步打下了良好的基础。

近年来, 电弧炉炼钢工艺采用以氧代矿、熔氧结合、单渣法及快白渣冶炼工艺已经非常普遍, 使电弧炉生产效率普遍提高, 冶炼时间明显缩短。采用吹氧助熔并代替矿石氧化后, 电弧炉的冶炼时间由原来的5 h左右降低到3.5 h左右。而且由于氧气的应用, 大多数重点企业都可用电弧炉冶炼出合格的超低碳不锈钢等低碳、超低碳品种。熔氧结合、单渣法及快白渣冶炼工艺的普遍应用使冶炼时间缩短近30 min。上述新工艺的采用, 使吨钢冶炼电耗逐年下降。1988年全国电弧炉炼钢重点企业电耗平均为595 kWh/t, 地方骨干企业为678 kWh/t。

1.3 科研成果

近年来, 全国各企业及研究机构围绕电弧炉冶炼工艺改革, 最佳化操作及各种新型工艺的研究、革新都十分活跃, 先后开发出一大批适合我国国情的科技成果, 应用于生产, 取得了较大的经济效益, 推动了电弧炉炼钢的技术进步。

(1) 三种无渣、少渣出钢方式的开发成功, 将为我国电弧炉—炉外精炼工艺的发展打下良好基础。1987年上钢三厂采用低位出钢方式, 实现了少渣出钢, 并配合适当的炉外处理工艺, 使电弧炉冶炼时间及单位电耗大幅度降低, 拉开了我国电弧炉少渣、无渣出钢。

的序幕。1988年，上钢五厂在公称容量为5 t的电弧炉上，成功地采用了偏心炉底出钢技术，做到无渣出钢。从而使上钢五厂的5 t电弧炉冶炼时间缩短到2 h以内，吨钢冶炼电耗为449 kWh，接近世界先进水平。1989年，大冶钢厂50 t高功率电弧炉采用虹吸式出钢技术，做到基本无渣出钢，在无渣出钢技术基本稳定的情况下，进行了电炉—VOD精炼炉双联冶炼试验，使高碳轴承钢的平均氧含量达13.46 ppm；全炉冶炼时间缩短26 min，降低电耗57~72 kWh/t；三个钢厂的试验都表明，采用无渣，少渣出钢技术，降低了电耗，缩短了冶炼时间，优化了电弧炉—炉外精炼工艺，各种合金收得率明显上升，经济效益显著。上述三个厂都不同程度地将这些技术运用于工业生产之中。图1是两种无渣出钢方式示意图。

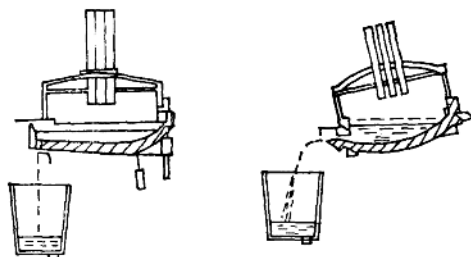


图1 偏心炉底出钢、虹吸出钢示意图
左—偏心炉底出钢 (留钢)；右—虹吸出钢 (留钢)

(2) 电弧炉—连铸—热送轧制短流程生产线试生产成功，显示出良好的发展前景。1988年，无锡县钢铁厂在其34 t电弧炉、150×150mm方坯连铸机、热轧带钢生产线上实现了电弧炉—连铸—热送轧制生产。该车间采用100 %连铸、30~40 %铸坯热送，轧制出热轧窄带钢，使热轧带吨钢油耗下降到30 kg以下。1989年，广州钢铁有限公司的40 t超高功率电弧炉投产，采用全连铸，电弧炉冶炼时间平均为82 min，电极消耗4.2 kg/t，全国领先。西安钢铁厂也采用了全连铸。虽然上述几个厂的短流程生产线尚不完善，但已显示出巨大的优越性，为我国的短流程工艺发展进行了有益的探索。

(3) 电弧炉氧—燃枪开发应用。我国电弧炉变压器功率偏低，熔化时间长，是提高炉子生产力的制约环节。1988年，我国的第一条电弧炉煤氧枪强化助熔示范线在唐山钢铁公司建成，唐钢的5 t电弧炉采用煤氧枪强化助熔以后，每炉钢的冶炼时间缩短近30 min，吨钢电耗下降70~100 kWh。电弧炉三相冷区熔速加快，使吨钢综合能耗降低近5 %。1988年底，抚顺钢厂10 t电弧炉的煤氧枪投入生产运行，吨钢电耗降低70~100 kWh，冶炼时间缩短近40 min。1987年鄂城钢铁厂在电弧炉上使用煤气氧枪进行试验，也取得了同样的效果。第二热源的引用，改变了我国电弧炉炼钢单一能源的供给方式，使供能方式更加合理化，为电弧炉炼钢进一步提高生产力提供了有效的途径。目前，我国有不少厂家正准备应用该项技术。

(4) 电弧炉—炉外精炼双联工艺进一步发挥了炼钢的潜力，使电弧炉炼钢进一步趋于合理化。近几年来，许多电弧炉炼钢厂相继建成了炉外精炼装置，这些装置的应用对钢质量的提高，炼钢工艺的优化发挥了日益重要的作用。大冶钢厂在生产轴承钢时，采用了电炉—VOD精炼炉双联工艺，轴承钢质量居全国先进水平，大大减轻了电弧炉精炼的压

力,现在每年经过双联法生产的钢超过10万吨。太原钢铁公司采用电炉—AOD精炼炉双联工艺生产不锈钢,使铬的回收率达97 %以上,能比较顺利地生产超低碳不锈钢,既优化了冶炼工艺,又保证了连铸的顺利进行,经济效益十分显著。近十年来,各企业还新建了一批钢包喷粉装置,这批装置的应用,提高了炉外脱硫的效率,改善了钢的夹杂物形态,进一步降低了原材料的消耗。然而,我国电弧炉炼钢厂的精炼炉及精炼工艺尚不完善,现有精炼炉也没有发挥出应有的潜力。这与装备、技术及管理工作不相配套有密切关系。

(5) 钢包喂线技术取得重大突破。1988年,先后在首钢、抚顺钢厂、重庆特殊钢厂、上钢三厂等钢厂进行钢包喂线技术试验,1989年先后都投入工业试生产。钢包喂线技术投资少、见效快、操作简单,适合我国特点。各钢厂试用了硅钙线、硼铁线、碳线、铝线、钛线等合金包覆线;各种合金元素收得率普遍提高,而且非常稳定;对钢水成分的微调极有成效。图2是某厂使用的钢包喂线流程图。钢包喂线技术的开发成功,对我国实现

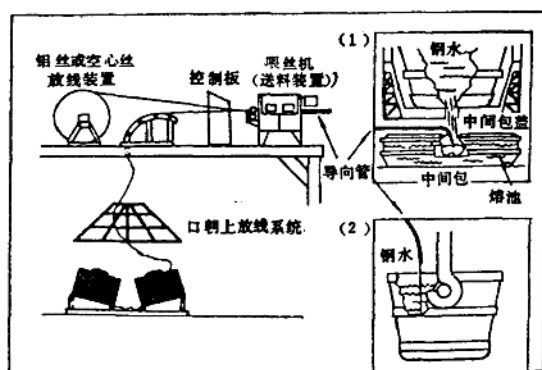


图2 钢包(中间包)喂线示意图

科学化炼钢提供了有利的条件,也为我国的钢包合金微调工作的开展打下了良好基础。

(6) 使用各种金属氧化物直接合金化,可满足炼钢合金化的要求,大幅度降低成本。目前我国大部分电弧炉炼钢重点企业都采用此项技术,每年可代替数万吨铁合金。

此外,全国各企业,大专院校,科研院所共同协作,开发出一大批适用的先进技术。如炉内喷吹、最佳供电控制、电弧炉泡沫渣冶炼、电极涂层等,有力地推动了我国电弧炉炼钢的技术进步。

1.4 电弧炉炼钢的外部及配套条件

(1) 能源情况

能源是冶金工业的生命;我国钢铁工业每年要消耗近9000万吨标准煤,约占全国总能耗的3 %左右。而电弧炉炼钢系统(冶金系统)每年大约消耗能源300万吨标准煤,占钢铁工业总能耗的3 %左右。电力在电弧炉炼钢企业的能源结构中,占有很大的比例;据调查,电力占电弧炉炼钢工序能耗的80 %,煤气占15 %,其余为天然气、煤和重油。近十年来,我国的电力每年增长7 %左右,低于国民经济的发展速度。到1989年,电力的供需矛盾已十分突出。1989年我国电弧炉炼钢受到电力供应的严重影响,很多钢厂电力供应只有50 %。过去很少受电力影响的贵阳钢厂、西宁钢厂,限电已超过30 %。由于电力不足

和计划外拉电频繁,使电弧炉钢厂很难组织生产,作业率急剧下降、电耗等能源、原材料消耗上升,吨钢经济效益降低。这是我国电弧炉钢厂共同面临的严重困难。

(2) 原材料情况

由于国内的各种特殊情况,电弧炉炼钢的重要原料——废钢增大量很少,加上转炉多吃废钢和冷装平炉的存在,电弧炉用废钢量逐步下降,缺口严重。社会废钢中的轻薄料增多,锈蚀严重,各种有害元素含量如Cu、S、P等不断上升;量少,质次,价格高是普遍存在的问题。

石灰质量存在问题,目前很多企业使用的石灰生烧率很高,粉料多,受潮也较为普遍。

由于受炭素厂本身的条件及原料限制,石墨电极大部分质量较差,经常出现断电极事故,表面氧化也比较严重。

我国耐火材料生产厂家较多,但质量不好,加上电弧炉及钢包砌筑方面的问题,使耐火材料消耗远高于国外。目前很多企业的电弧炉炉龄只有40~50次,严重影响了电弧炉生产率。

总之,电弧炉炼钢的原材料质次、量少、消耗严重是普遍存在的问题。

2. 电弧炉炼钢与国外先进水平的差距

2.1 装备落后,电弧炉容量小,吨钢功率低,设备老化严重。我国大部分电弧炉建于五六十年代,各种相关及配套设施极不完善。现在全国的电弧炉平均炉容量只有4 t左右,除

表 3 日本电弧炉的设置情况(至1984年12月)

公称炉容量 t		设 置 或 变 压 器 增 容 年 份							
		1959年以前		1960~1969年		1970~1979年		80年代以后	
		台 数	变压器 平均容量 MVA	台 数	变压器 平均容量 MVA	台 数	变压器 平均容量 MVA	台 数	变压器 平均容量 MVA
<12		73	—	60	—	29	—	5	—
15~25		11	—	21	—	19	—	5	—
30~40		2	15	19	16	25	23	8	35
60		0	—	11	21	28	32	4	45
90		0	—	7	36	9	46	5	48
120		0	—	2	32	7	62	0	—
200		0	—	1	50	2	72	0	—

公称 炉容量 t	1984年末					与辅助设备的组合 (电弧炉台数)					注
	台数	变压器 平均容量 MVA	变压器容量的区分			助燃	废 预	钢 熟	二 次 精 炼 炉	连铸	
			RP	HP	UHP						
<12	167	—	—	—	—	3	2	16	2	HP的范围, MVA	
15~25	56	—	—	—	—	8	4	16	20	30 t 15~19	
30~40	51	22.4	10	13	31	24	29	17	35	40 t 18~23	
60	43	30.4	10	10	23	24	12	18	31	50 t 21~27	
90	21	45.7	1	4	16	12	6	13	16	60 t 24~32	
120	9	55.7	1	3	5	6	4	16	5	70 t 26~35	
200	3	64.7	0	1	2	3	0	0	3	80 t 28~38	
										90 t 32~43	
										100 t 34~45	
										120 t 38~52	
										140 t 40~54	

广州钢铁厂的一座40 t电弧炉配置的变压器功率较高外, 全国没有超高功率电炉; 很多炉子是炉身开式, 地坑布置; 加料(合金料)基本采用开盖加入; 水冷电缆少, 短网结构也很不合理。就炉子装备水平来说我国已比发达国家落后二十年以上。表3是日本至1984年末的炉子设置情况。

2.2 工艺落后。冶炼工艺基本采用熔化、氧化、还原三期操作, 冶炼时间长, 能耗及原材料消耗高, 炉子生产率低。目前我国电弧炉平均冶炼时间为180~240 min左右, 吨钢电耗及原材料消耗比国际先进水平高80~130%, 生产率低50%以上。由于废钢质量较差, 废钢处理水平低, 加上炉外精炼手段不完善, 炉子的冶炼负担较重。现阶段国外已把电弧炉视为熔化设备; 废钢处理、废钢预热等原料加工手段完备; 炉外精炼(包括钢水精炼、成分微调, 温度控制等)能力强, 各个工序分工明确; 并在炉子上采用超高功率供电、氧-燃枪助熔、留钢留渣操作、强化吹氧、炉内喷粉等新工艺, 使每炉钢的冶炼时间缩短在80 min以内。能完成一台电弧炉配一台连铸机实行多炉(10炉以上)连浇, 基本实现连铸热送和直轧工艺。就目前国际先进水平而言, 电弧炉炼钢工艺已经发展到高效、低耗、低成本的水平, 在各种炼钢工艺的竞争中具有巨大的生命力。

2.3 各种原材料、能源消耗及外部条件比发达国家有较大的差距。我国的各种原材料及能源比较紧张, 企业对原料等重要生产物资的选择权利较小, 经常等料和计划内外限电, 使企业的正常生产机制受到制约, 限制了企业生产效率的发挥。而国际市场上废钢等重要原材料供应平稳, 能源供应稳定, 有利于实现科学化炼钢及生产规范化。

我国与国外先进的电弧炉炼钢厂相比, 差距是多方面的, 在管理、技术、装备及全员劳动生产率等诸方面都非常明显。笔者从我国的实际出发, 参照国外技术发展的道路和发展方向, 谈谈对我国电弧炉炼钢技术发展趋势的看法。

3. 90年代我国电弧炉炼钢技术发展的趋势及建议

我国电弧炉炼钢技术发展的总趋势是逐步向国际先进水平靠拢, 最终的模式将是目前风行世界的高效短流程生产线。高效短流程生产线综合了电弧炉技术的优势, 极大地发挥了电弧炉冶炼的特长, 投入低, 产出高, 符合现代技术趋势。

3.1 发展超高功率电弧炉及配套技术将是90年代我国电弧炉技术的主体

3.1.1 电弧炉炼钢将逐步实现超高功率化

电弧炉变压器超高功率化是现代化电弧炉炼钢的主要标志。由于超高功率电弧炉有明显的技术和经济优势(图6), 在90年代中我国新建和扩建的电弧炉炼钢企业将新建一批超高功率电弧炉。预计到90年代末, 我国将建设10~20座公称容量50 t以上的超高功率电弧炉。围绕着这些电弧炉的建设和技术配套工作将是我国90年代电弧炉炼钢技术发展的核心。可以预计, 这部分电弧炉的投产势必推动和加速我国电弧炉炼钢技术的进步。

3.1.2 电弧炉冶炼工艺改革势在必行

90年代我国的电弧炉炼钢厂将在多方面进行工艺改革。

(1) 扩大电弧炉吹氧量, 在熔化期、氧化期采用富氧操作, 加快废钢熔化, 缩短氧化期以达到提高炉子生产率、降低冶炼电耗的目的(图3)。

(2) 电弧炉改短弧操作为长弧操作, 以便使传入熔池的热量最大, 在熔池逐渐形成后, 运用泡沫渣埋弧冶炼。有研究表明, 约86%的电功率消耗于电弧辐射, 而电弧总辐射能的86%中, 1/3消耗于炉壁、炉盖。如果电弧长度的一半或者全部浸入渣中, 则电弧

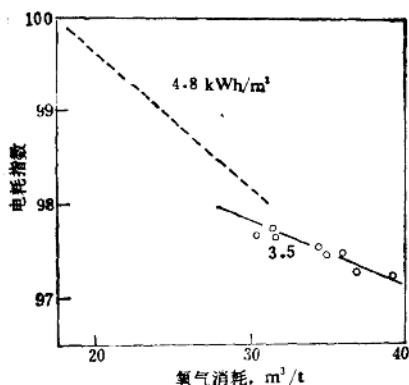


图 3 氧气消耗与电耗的关系

炉炼钢厂的普遍注意。90年代,我国将有近十个电弧炉炼钢企业采用废钢预热技术,废钢处理技术也将广为应用。从而进一步优化电弧炉炼钢工艺,使冶炼工艺节电30~50 kWh/t。

(5) 电弧炉熔炼过程中将引入第二热源强化供能。我国大部分电弧炉是低功率的,加强单位时间内的能量供给,解决炉内冷区的同步熔化问题,将有利于冶炼工艺优化。应用氧—燃枪的经验表明,对缩短冶炼时间,降低电耗和提高生产率有明显效果。我国应用的经验,可缩短冶炼时间30 min,降低冶炼电耗70~100 kWh/t。表4是国外某厂使用氧—燃枪前后的效果对比。

表 4

使用氧—燃枪的电弧炉技术经济指标比较

56吨电弧炉	25 MVA		德 国
	安装烧嘴之前	3个可伸缩式水冷烧嘴	3个固定式非水冷烧嘴
装炉量, t	45	56	56
变压器额定容量, MVA	15	25	25
熔化时间, min	105	60	50
电耗, kWh/t	490	420	370
熔化用耗氧量, m³/t	—	22	30
天然气耗量, m³/t	—	8	13
生产率, t/h	16.4	32.6	38.5 (提高18%)

3.1.3 炉外精炼, 钢包冶金是炼钢厂提高钢水质量, 提高生产力和降低消耗的有效手段, 是现代化炼钢技术中必不可少的一个重要环节。90年代, 我国的电弧炉钢厂的炉外精炼技术将得到较快的发展, 并在提高钢水质量、向连铸提供温度、成分合格的钢水, 提高电弧炉生产能力方面发挥重大作用。

3.1.4 连铸技术将在我国的电弧炉钢厂中得到全面发展。由于连铸技术在提高成坯率、节约能源等方面的巨大优势, 其在炼钢工艺中将逐步取代(某些特殊需求除外)模铸。在90年代, 我国将加速连铸技术的发展, 逐步提高连铸比。并在连铸软件技术上展开广泛的研究, 扩大连铸钢种, 进一步解放电弧炉的生产力。

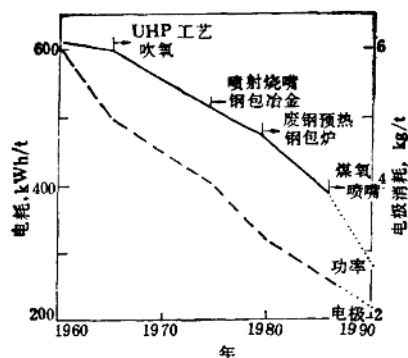


图 4 1965年以来电弧炉工艺的主要发展措施对单位电耗和电极消耗的影响

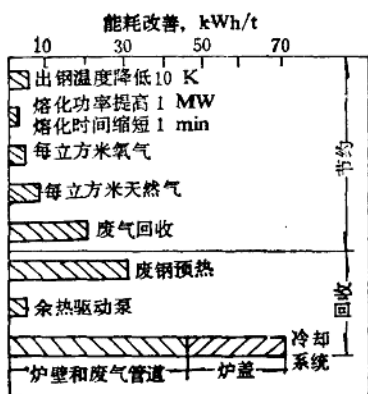


图 5 电弧炉炼钢降低单位能耗和回收能量的措施

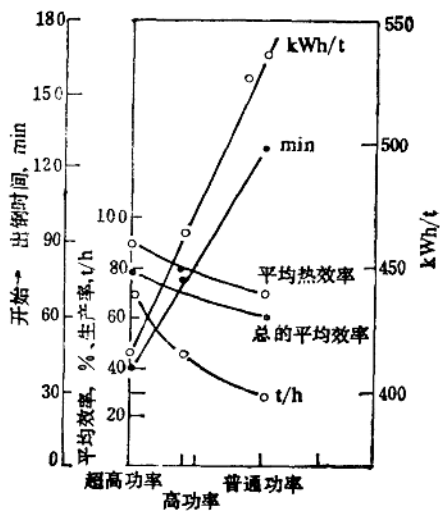


图 6 变压器功率与炼钢时间和单位电耗的关系

3.1.5 90年代,我国将建成一条(或几条)电弧炉短流程生产线,并具有90年代的国际先进水平。

薄板坯连铸技术的发展,为采用电弧炉短流程生产线生产短线产品——板坯,提供了一条经济节能的途径。可以预计,到90年代末,我国将有电弧炉—炉外精炼—薄板坯连铸—直接轧制生产线投产。电弧炉短流程生产线的开发将彻底改变我国目前电弧炉炼钢的落后局面,使之进入一个系统、高效、科学化生产的新时期。

3.2 对90年代我国电弧炉炼钢技术发展的几点建议

3.2.1 加快电弧炉配套技术的开发,使我国的电弧炉炼钢向高效率、低能耗的方向发展。

认真抓好配套技术,打破传统的冶炼工艺,是加速电弧炉技术发展的关键。图4是各