

冶金过程自动化技术丛书

连铸及炉外精炼 自动化技术

蒋慎言 编著

刘玠 主编

冶金工业出版社

冶金过程自动化技术丛书

连铸及炉外精炼 自动化技术

刘 玠 主编
蒋慎言 编著



北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2006

内 容 提 要

本书为《冶金过程自动化技术丛书》之一,内容包括:炉外精炼工艺概述,炉外精炼检测仪表和专用传感器,炉外精炼的基础自动化,炉外精炼过程控制自动化,典型的炉外精炼自动化系统,连续铸钢技术,连铸机检测仪表,连铸机电气传动控制系统,连铸机计算机控制系统,并列举了连铸自动化系统的几个典型实例。

本书可供从事冶金自动化技术的科研、设计、生产维护人员使用,也可供大专院校自动化专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

连铸及炉外精炼自动化技术/刘玠主编. —北京:冶金工业出版社,2006.8

(冶金过程自动化技术丛书)

ISBN 7-5024-4009-7

I. 连… II. 刘… III. ①连续铸钢—自动化技术 ②炉外精炼—自动化技术 IV. ①TF777-39 ②TF114-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 057542 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 戈 兰 美术编辑 王耀忠

责任校对 符燕蓉 李文彦 责任印制 牛晓波

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2006 年 8 月第 1 版,2006 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 17.75 印张; 422 千字; 266 页; 1—3000 册

52.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者
冶金过程自动化基础	刘 玠 主编
冶金原燃料生产自动化技术	刘 玠 主编
炼铁生产自动化技术	刘 玠 主编
炼钢生产自动化技术	刘 玠 主编
热轧生产自动化技术	刘 玠 主编
冷轧生产自动化技术	刘 玠 主编
冶金企业管理信息化技术	刘 玠 主编
带钢冷连轧计算机控制	孙一康 编著
带钢热连轧的模型与控制	孙一康 编著
钢铁工业自动化·炼钢卷	马竹梧 等编著
电气设备的故障监测与诊断	余道松 编著
连铸过程控制理论与技术	郭 戈 等著
变频器基础及应用(第2版)	原 魁 等编著
钢铁企业过程检测和控制自动化设计手册	中国冶金建设协会 编
冶金工业自动化仪表与控制装置安装通用图册	中国冶金建设协会 编
Visual FoxPro 中 Windows API 调用技术与应用实例	刘安平 等著
薄板坯连铸连轧工艺技术实践	王天义 编著
工业企业电气调整手册(第2版)	刘春华 主编
轧制过程自动化(第2版)	丁修堃 主编
轧制过程自动化基础	郑申白 等编著
高炉炼铁过程优化与智能控制系统	刘祥官 等著
轧制过程的计算机控制系统	赵 刚 等编
氧气顶吹转炉炼钢工艺与设备(第2版)	王雅贞 等编
炉外精炼	高泽平 等编
近终形连铸技术	张小平 等编
转炉炼钢实训	冯 捷 主编
连续铸钢实训	冯 捷 主编
转炉炼钢生产	冯 捷 主编

《冶金过程自动化技术丛书》

编 委 会

主 编 刘 玠

副主编 孙一康 马竹梧 蒋慎言 漆永新

编 委 (以姓氏笔画为序)

马竹梧 王 京 刘 玠 刘文仲

孙一康 杨 荃 杨卫东 杨传福

陈大刚 蒋慎言 童朝南 漆永新

序

建国以来,冶金工业在我国国民经济的发展中一直占据很重要的位置,1949年我国粗钢产量占世界第26位,到1996年粗钢产量为一亿零一百万吨,上升到世界第1位。预计今年钢产量能达到二亿六千万吨左右,稳居世界第1位。根据国家统计局数据,2003年我国冶金工业总产值为4501.74亿元,占整个国内生产总值的4.8%。

统计表明,国民经济增长和钢材需求之间有着非常紧密的关系。2000年我国生产总值增长率为8.0%,钢材需求增长率为8.0%。2002年我国生产总值增长率为7.5%,钢材需求增长率为21.3%。预计今年我国生产总值增长率为7.5%,而钢材需求增长率为13%。据美国《世界钢动态》杂志社的研究,钢材需求受经济增长的影响是:如果经济年增长率为2%,钢材需求通常没有变化,但是如果经济增长为7%,钢材需求可能会上涨10%。这也就是20世纪90年代初期远东地区和中国钢材需求量迅猛上涨的原因。

从以上的数据中我们可以清楚地看出冶金工业在国民经济中的地位和作用。在中国共产党的正确领导下,经过半个世纪,尤其是改革开放的20多年来的努力奋斗,我国已经成为世界的钢铁大国,但还不是钢铁强国,有许多技术经济指标还落后于技术发达的国家。如我国平均吨钢综合能耗,在1995年为1516 kg/t,2003年降低为778 kg/t,而日本在2003年为658 kg/t。很显然是有差距的,

要缩小这些差距,除了进行产品结构的调整,新工艺流程的研究与开发,建立现代企业管理制度以外,很重要的一条,就是要遵循党的十六大所提出的“以信息化带动工业化,以工业化促进信息化,走新型工业化道路”的伟大战略。

众所周知,自从电子计算机诞生半个世纪以来,尤其是近几年来信息技术和自动化技术的迅猛发展,为提高冶金企业的市场竞争力,缩短技术更新周期与提高企业科学管理水平提供了强有力的手段,也使得冶金企业得以从产业革命的高度来认识信息技术和自动化技术所带来的影响。各冶金企业,谁对信息技术、自动化技术应用得好,谁的产品质量就稳定,谁的竞争优势就增强,谁的市场信誉就提高,谁就能在激烈的市场竞争中生存、发展。因此这种“应用”就成了一种不可阻挡的趋势。

2003年,中国钢铁工业协会信息与自动化推进中心及信息统计部就全国65家主要冶金企业的信息与自动化现状进行了调查,调查的结果表明:

第一,我国整个冶金企业在主要的工序流程上,基本普及了自动化级(L1),今后仍将坚持和普及;

第二,过程控制级(L2)近年也有了一定的发展,但由于受到数学模型的开发及引进数学模型的消化、吸收较为缓慢的制约,过程控制级仍有较大的发展空间,今后应关注控制模型的引进、消化和开发,它是提高产品质量重要的不可替代的环节;

第三,生产管理级(L3)、生产制造执行系统(EMS)尚处于研究阶段,还不足以引起企业领导的足够重视,这一级在冶金企业信息化体系结构中的位置和作用是十分重要的,它是实现控制系统和管理信息系统完美集成的关键。

由此可见,普及、提高基础自动化,大力发展生产过程自动化,重视制造执行系统(EMS)建设,加快企业信息化、自动化的建设进程,早日实现我国冶金企业信息化、自动化及管、控一体化,是“十五”期间乃至今后若干年内提升冶金工业这一传统产业,走新型工业化道路的重要目标和艰巨任务。

为了加速这一重要目标的实现和艰巨任务的完成,我们组织编写了这套《冶金过程自动化技术丛书》。根据冶金工业工艺流程长,

而每一个工序独立性、特殊性又很强,要求掌握的技术很广、很深的特点,为了让读者能各取所需,本套丛书按《冶金过程自动化基础》、《冶金原燃料生产自动化技术》、《炼铁生产自动化技术》、《炼钢生产自动化技术》、《连铸及炉外精炼自动化技术》、《热轧生产自动化技术》、《冷轧生产自动化技术》、《冶金企业管理信息化技术》等8个分册出版,其中《冶金过程自动化基础》是论述研究一些在冶金生产自动化方面共性的问题,具有打好基础的作用,其他各册是根据冶金工序的不同特点编写的。

这套丛书的编著者都是在生产、科研、设计、领导一线长期从事冶金工业信息化及自动化工作的专家,无论是在技术研究的高度上,还是在解决复杂的实际问题方面都具有很丰富的经验,而且掌握的实际案例也很多,因此书中所介绍的内容也是读者感兴趣的,在实际工作中需要的,同时书中所讨论的问题也是当前冶金企业进行大规模技术改造迫切需要解决的问题。

时代的重任,国家的需要,要求我们每一个长期从事冶金企业信息化自动化的工程技术人员,以精湛的技术、刻苦求实的精神,搞好冶金企业的信息化及自动化,无愧于我们这一伟大的时代。相信,这套丛书的出版,会对大家有所帮助。

中国工程院院士 刘阶

2004年仲夏

前 言

近 20 年来,我国钢铁工业得到了飞速发展,一跃成为世界钢铁大国,钢产量连续五年保持世界第一。我国钢铁工业的发展过程有两个显著的特点,其一是传统模铸工艺流程被淘汰,大量采用连铸工艺技术;其二是根据钢种和产品结构的需要,各钢铁企业大量装备了炉外精炼。由于炉外精炼和连铸技术的应用日趋成熟,使我国钢铁工业在提高钢的质量、产量,降低成本,改善劳动条件方面逐渐接近和达到世界先进水平,而连铸和炉外精炼技术的应用除了工艺条件的建立、工艺流程的合理、工艺技术的掌握和正确操作、装备的可行这些重要条件以外,更重要的一条就是要有高水平的自动化技术与其相适应。

由于近年来 IT 技术和计算机技术的迅猛发展,促使炉外精炼和连铸自动化技术得到了很大的提高。为了总结近几年来在连铸和炉外精炼自动化技术领域的实践经验和取得的成果,推动炉外精炼和连铸自动化技术的进一步发展,在刘玠院士的指导下编写了《炉外精炼和连铸自动化技术》一书。本书的意图是让读者有一个完整的概念,所以无论是炉外精炼自动化技术还是连铸自动化技术,编写的内容,不仅包括了常规仪表、特殊仪表、电气传动、基础自动化、过程自动化以及管理自动化等方面内容,还包括了工艺原理装备、

设备、数学模型和先进控制的应用等。

本书主要是根据编者多年从事设计、科研和参与的有关工程、调试所取得的经验并考察和收集了国内外的数据编写成的。本书可供各级领导干部以及大专院校自动化、计算机和工艺专业师生参考。

本书共分 10 章,其中第 4 章由马竹梧、蒋慎言编写,其余均由蒋慎言编写,在编写过程中承蒙刘玠院士的指导以及鞍钢的刘秀娟高级工程师所提供的资料,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,时间紧迫,不妥之处请读者批评指正。

编 者

2005 年 6 月

目 录

第 1 章 炉外精炼工艺概述	1
1.1 RH 循环真空脱气精炼	2
1.1.1 RH 真空精炼的冶金功能	2
1.1.2 RH 真空精炼的主要设备	3
1.1.3 RH 真空精炼钢水循环机理	6
1.2 LF 炉钢包精炼	9
1.2.1 LF 炉的主要设备	9
1.2.2 LF 炉精炼过程顺序	10
1.3 CAS/CAS-OB 钢包精炼	11
1.3.1 CAS/CAS-OB 钢包精炼的冶金功能	12
1.3.2 CAS/CAS-OB 主要设备及精炼过程顺序	13
1.4 其他几种炉外精炼法(包括辅助的精炼措施)	14
1.4.1 钢包吹氩技术	14
1.4.2 喷射冶金精炼技术	14
1.4.3 喂丝精炼技术	14
1.4.4 VOD 炉外精炼法	15
1.4.5 VAD 炉外精炼法	16
1.4.6 AOD 炉精炼法	16
第 2 章 炉外精炼检测仪表和专用传感器	18
2.1 钢水成分分析用检测仪表和专用传感器	18
2.1.1 钢水定碳检测仪表与传感器	18
2.1.2 钢水定氧检测仪表与传感器	19
2.1.3 钢水中氢含量的在线检测	21
2.1.4 钢水中锰含量的在线检测	21
2.2 钢水中全元素的在线检测	22
2.3 脱气槽气体成分分析装置	23
第 3 章 炉外精炼的基础自动化	25
3.1 RH 真空精炼装置基础自动化	25
3.1.1 RH 基础自动化数据采集功能	26
3.1.2 RH 基础自动化自动控制功能	26

3.2	LF-VD 钢包炉真空精炼基础自动化	31
3.3	CAS/CAS-OB 钢包精炼基础自动化	33
3.4	IR-UT 钢包精炼基础自动化	34
3.5	喂丝机自动化	36
3.6	VOD 炉外精炼基础自动化	36
第 4 章	炉外精炼过程控制自动化	38
4.1	炉外精炼过程控制自动化采用的硬件和软件	38
4.2	炉外精炼过程控制自动化级(L2)的功能	38
4.3	炉外精炼过程控制数学模型和人工智能	40
4.3.1	RH 真空精炼数学模型	40
4.3.2	LF 炉外精炼数学模型	47
4.3.3	CAS-OB 精炼数学模型	58
第 5 章	典型的炉外精炼自动化系统	65
5.1	华凌涟钢热轧板厂 LF 炉自动化系统	65
5.1.1	概述	65
5.1.2	自动化系统结构	65
5.1.3	LF 炉智能调节器	65
5.1.4	LF 炉过程自动化系统	66
5.1.5	系统功能	67
5.2	鞍钢第三炼钢厂 ANS-OB 钢水处理装置自动化系统	68
5.2.1	概述	68
5.2.2	ANS-OB 工艺控制要求	68
5.2.3	ANS-OB 的自动化仪表系统	69
5.2.4	ANS-OB 的电气控制系统	71
5.2.5	ANS-OB 的计算机控制管理系统	72
第 6 章	连续铸钢技术	74
6.1	连续铸钢过程简述	74
6.2	连续铸钢的发展	77
6.2.1	连铸的产生和发展	78
6.2.2	现代连铸的发展方向	78
6.3	连铸工艺及设备	79
6.3.1	连铸机的主要工艺参数	79
6.3.2	连铸机的主要设备及作用	84
第 7 章	连铸机检测仪表	106
7.1	常规检测仪表	107
7.1.1	压力检测	107

7.1.2	流量检测	108
7.1.3	液位检测	111
7.1.4	重量检测	113
7.1.5	温度检测	115
7.1.6	拉速的检测	118
7.2	连铸机过程参数检测仪表或传感器的主要技术指标	120
7.3	连铸机特殊仪表	120
7.3.1	结晶器钢水液位仪	120
7.3.2	钢渣流出检测仪	124
7.3.3	凝固厚度测定仪	124
7.3.4	辊距和辊列偏心度测定仪	125
7.3.5	结晶器开口度与倒锥度检测仪	126
7.3.6	铸坯长度测量仪	127
7.3.7	漏钢预报	128
7.3.8	结晶器振动检测仪	131
7.3.9	非接触式铸坯切割长度检测仪	131
7.3.10	水口开度检测	132
7.3.11	铸坯表面缺陷检测	132
第 8 章	连铸机电气传动控制系统	137
8.1	电气传动控制用的检测器	137
8.2	电气传动装置	140
8.3	电气传动系统的操作方式	140
8.4	连铸机单体设备的电气传动控制	142
8.4.1	钢包回转台电气传动控制	142
8.4.2	中间包电气传动控制	143
8.4.3	引锭小车、链式输送机、引锭杆卷扬电气传动控制	144
8.4.4	结晶器振动电气传动控制	146
8.4.5	结晶器在线调宽电气传动控制	147
8.4.6	夹送辊的电气传动控制	149
8.4.7	火焰切割机的电气传动控制	153
8.4.8	切割区辊道电气传动控制	154
8.4.9	铸坯横移台车电气传动控制	154
8.5	电磁搅拌器	154
8.5.1	电磁搅拌的原理及电气传动装置	155
8.5.2	结晶器电磁搅拌(M-EMS)	156
8.5.3	二次冷却区电磁搅拌(S-EMS)	157
8.5.4	凝固末端电磁搅拌(F-EMS)	157
8.6	电磁制动(EMB)	158
8.7	连铸设备采用交流电气传动应考虑的几个共性问题	159

第 9 章 连铸机计算机控制系统	161
9.1 连铸基础自动化级及其功能	165
9.1.1 中间包钢水液位自动控制	165
9.1.2 连铸开浇自动控制	166
9.1.3 保护渣加入自动控制	167
9.1.4 结晶器钢水液位自动控制	168
9.1.5 结晶器冷却水流量自动控制	174
9.1.6 二次冷却水自动控制	175
9.1.7 铸坯定长切割自动控制	181
9.1.8 电磁搅拌自动控制	183
9.1.9 中间包干燥与烘烤自动控制	184
9.1.10 连铸机水处理自动控制.....	185
9.1.11 连铸过程基础自动化的整体描述.....	195
9.2 连铸生产过程控制级及其功能	198
9.2.1 制造命令、制造标准和作业顺序的安排.....	198
9.2.2 数据的采集与处理	199
9.2.3 生产过程控制	200
9.2.4 数学模型	202
9.3 连铸生产管理级(L3)及其功能	221
9.3.1 炼钢—连铸生产计划管理系统	223
9.3.2 连铸坯热装和直接轧制计算机管理系统	231
第 10 章 连铸自动化系统三个典型实例	235
10.1 鞍钢 2 号方坯连铸自动化系统.....	235
10.1.1 自动化系统结构.....	235
10.1.2 自动化系统功能描述.....	238
10.2 鞍钢 4 号大板坯连铸自动化系统.....	243
10.2.1 概述.....	243
10.2.2 生产工艺流程和设备组成.....	243
10.2.3 基础自动化控制系统(L1)构成	244
10.2.4 基础自动化控制系统的功能	249
10.2.5 连铸过程控制系统(L2)	258
10.3 鞍钢 1 号大板坯连铸三电自动化系统.....	260
10.3.1 自动化系统概述.....	260
10.3.2 仪表过程量测控.....	261
10.3.3 电气传动控制.....	263
10.3.4 过程计算机的功能.....	264
参考文献	266

第 1 章 炉外精炼工艺概述

炉外精炼是把转炉、平炉或电炉中所炼的钢水移到另一个容器中(主要是钢水包)进行精炼的过程,也叫“二次炼钢或钢包精炼”。

炉外精炼把传统的炼钢分成两步,第一步叫初炼,在氧化性气氛下进行炉料的熔化、脱磷、脱碳和主合金化;第二步叫精炼:在真空、惰性气氛或可控气氛下进行脱氧、脱硫、去除夹杂、夹杂物变性、微调成分、控制钢水温度等。20 世纪 60 年代以来,各种炉外精炼方法相继出现。目前全世界这一技术已经得到了飞速发展。

炉外精炼在现代化的钢铁生产流程中已成为一个不可缺少的环节,尤其炉外精炼与连铸相结合,是保证连铸生产顺行,扩大连铸品种,提高铸坯质量的重要手段。

在炼钢生产过程中,采用转炉(或电炉)—炉外精炼—连铸已成为钢厂技术改造的普遍模式。

各种炉外精炼方法的工艺各不相同,其共同的特点是:有一个理想的精炼气氛,如真空、惰性气体或还原性气体;采用电磁力、吹惰性气体搅拌钢水;为补偿精炼过程中的钢水温度降损失,采用电弧、等离子、化学法等加热方法。

与连铸相匹配的钢包精炼,在于提高铸坯质量和保证连铸工艺的稳定性。选择合适的炉外精炼方法是连铸钢水准备,提供合格质量钢水的重要手段,为此结合产品质量要求选择钢包精炼设备应满足以下基本要求:

- (1) 调节钢水温度,达到连铸所要求的浇注温度范围;
- (2) 提高钢水清洁度,特别是减少钢中大型夹杂物的含量;
- (3) 降低钢中气体含量(如氢、氮含量 $H < 2 \times 10^{-6}$);
- (4) 降低钢中有害杂质(如硫、磷)含量;
- (5) 使钢水中温度和成分均匀化,并微调成分使成品钢的化学成分范围非常窄;
- (6) 改变钢中夹杂物的形态和组成,改善钢水的流动性;
- (7) 减轻炼钢炉的冶炼负荷,缩短冶炼周期,提高生产率;
- (8) 钢包精炼炉成为炼钢炉和连铸机之间的一个“缓冲器”平衡两者之间的生产节奏,有利于提高连铸机的生产率。

究竟采用哪种炉外精炼法,取决于工厂条件和对产品质量的要求,以建立不同的生产工艺流程。

(1) 对于与电炉或超高功率电炉相匹配的连铸机,选择钢包精炼时,应满足合金比高的产品质量要求,如不锈钢采用电炉-AOD 炉-连铸;电炉-VOD 炉-连铸工艺。

(2) 对于与大型转炉相匹配的板坯、大方坯、圆坯连铸机,要求提供优质钢水,生产无缺陷铸坯,如采用转炉-RH-连铸,转炉-RH + KIP-连铸工艺。在生产超低碳钢(碳小于 0.0015%)或超低硫钢(硫小于 0.001%)时,可采用 LF 炉与真空处理并用工艺,以达到最佳

效果。考虑到节省投资也可采用 CAS-OB 精炼炉工艺。

(3) 对于与小型转炉相配合以生产普碳钢为主的小方坯、矩形坯连铸机,一般采用钢包吹氩或钢包喂丝技术,基本上能满足连铸工艺和铸坯质量的要求。

70 年代以后世界各国钢铁企业,各种不同功能的炉外精炼单独或组合而成另一种新的装置得到了蓬勃发展。目前炉外精炼有多种形式,得到广泛应用的有循环真空处理(如 RH, RH-OB 法)、提升真空处理(DH 法)、合金微调及温度处理(CAS, CAS-OB 法)、LF 钢包精炼炉、真空吹氩脱氧(VD 法)、真空吹氧脱碳精炼炉(VOD 法)、钢包喷粉(KIP, TN, SL 法等)喂丝法,氩氧精炼炉(AOD 法)等。

下面就介绍几种比较典型的炉外精炼工艺流程。

1.1 RH 循环真空脱气精炼

通常在炼钢工业上使用两种真空循环脱气法,单连通管法或称 DH 工艺及双连通管法或称为 RH 工艺。现代的单连通管 DH 的脱气设备如图 1-1 所示。

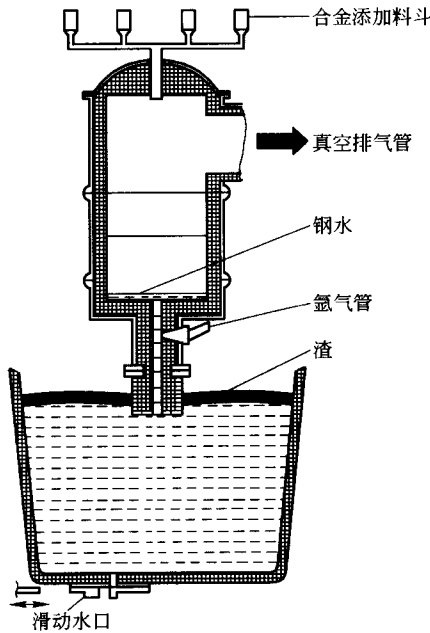


图 1-1 单连通管 DH 的脱气设备

因为 DH 法目前各钢铁企业使用的比较少,所以下面着重介绍一下 RH 法。

RH 法是由德国鲁尔钢(Ruhrstahl)公司和真空泵厂家赫拉乌斯(Heraeus)公司共同设计的。根据铅和汞做的模拟实验,确认了技术可能性之后,继而在鲁尔钢公司进行 100t 钢包的工业化实验,并确定为 DH 法。

1.1.1 RH 真空精炼的冶金功能

早期的 RH 真空精炼是以脱钢水中的氢为主要目的而发展起来的,随着 RH 真空精炼

的实践和 RH 真空精炼技术的发展,它的冶金功能得到了充分的发展,扩展到了十余项冶金功能,如图 1-2 和表 1-1 所示。

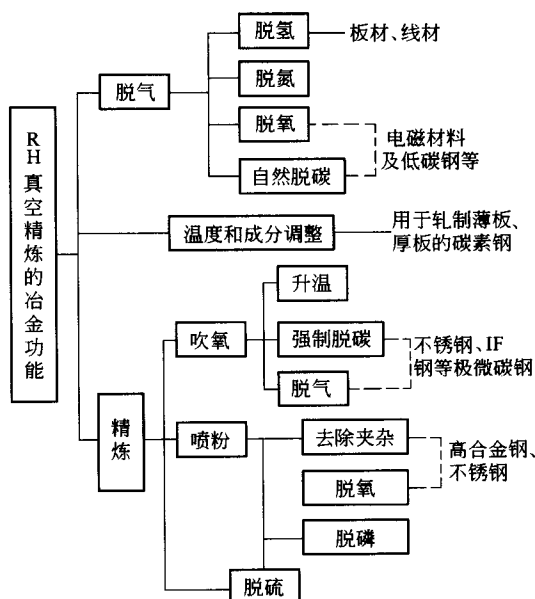


图 1-2 RH 真空精炼冶金功能图

表 1-1 RH 真空精炼冶金功能表

类别	元素	达到水平	技术措施
降低有害元素	[H]	<0.0001%	增加环流速度
	[C]	<0.0015%	增大环流氩气量
	T[O]	钢材内<0.001%	和 LF 法配合
	N	脱氮率≤20%	大氩气流量,确保真空度
	S	≤0.001%	RH-PB, CaO-CaF ₂ 渣剂
添加	Ca	0.001%~0.002% (收得率 16%)	添加钙合金
成分控制	C	±0.01%	RH-TOP(综合控制)
	Mn	±0.015%	二次投入合金
	Si	±0.015%	二次投入合金
	Al	$\alpha = 0.00015\%$	RH 轻处理
	N	±0.0005%	以 N ₂ 代 Ar 作环流气体
温度	升温速度	4℃/min	RH-OB, Al 放热

注: α 为钢水中的含量。

1.1.2 RH 真空精炼的主要设备

RH 真空精炼的设备主要有:

(1) RH 真空室。RH 真空室是 RH 真空精炼冶金反应的熔池,冶金化学反应主要在