

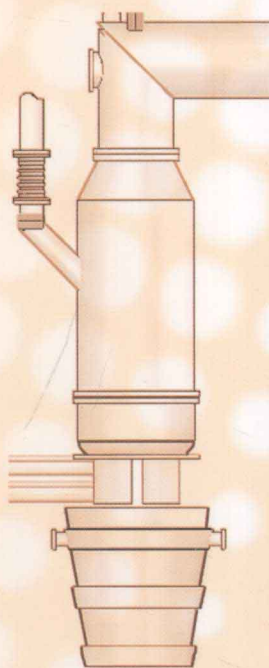


人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐
冶金行业职业教育培训规划教材

转炉钢水的炉外精炼技术

ZHUANLU GANGSHUI DE LUWAI JINGLIAN JISHU

主 编 俞海明
副主编 黄星武 徐 栋 肖明光
审 稿 黄星武



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐
冶金行业职业教育培训规划教材

转炉钢水的炉外精炼技术

主 编 俞海明
副主编 黄星武 徐 栋 肖明光
审 稿 黄星武

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2011

内 容 提 要

本书为冶金行业职业技能培训教材,根据冶金企业的生产实际和岗位技能要求编写,并经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室评审通过。

本书介绍了转炉钢水炉外精炼常用方法,精炼过程中使用的耐火材料基础知识及其在精炼过程中的使用与维护,结合各种炉外精炼手段,介绍了冶炼过程中脱硫、脱氧的工艺操作和控制,重点介绍了常见精炼工艺 CAS-OB、LF、RH、VD 等的基本操作工艺和一些常见钢种的冶炼特点。

本书可以作为钢铁企业职工的培训教材,可以作为中高职院校的教材或者学生熟悉和了解现场的参考书,也可以作为工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

转炉钢水的炉外精炼技术/俞海明主编. —北京:冶金工业出版社,2011. 8

冶金行业职业教育培训规划教材

ISBN 978-7-5024-5650-4

I. ①转… II. ①俞… III. ①钢水—炉外精炼—技术培训—教材 IV. ①TF769

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 155880 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbbs@cnmip.com.cn

责任编辑 刘小峰 常国平 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 王贺兰 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5650-4

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2011 年 8 月第 1 版,2011 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;26.75 印张;709 千字;407 页

59.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱:tougao@cnmip.com.cn

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(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

冶金行业职业教育培训规划教材

编辑委员会

主 任 张 海 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会
主任, 唐山钢铁集团公司副总经理

曹胜利 冶金工业出版社 社长

副主任 董兆伟 河北工业职业技术学院 院长

鲁启峰 中国职工教育和职业培训协会冶金分会秘书长

中国钢协职业培训中心 副主任

顾 问

北京科技大学 曲 英 王筱留 蔡嗣经 杨 鹏 唐 荻 包燕平

东 北 大 学 翟玉春 陈宝智 王 青 魏德洲 沈峰满 张延安

委 员

首钢集团总公司 王传雪 舒友珍 宝钢集团有限公司 杨敏宏

武汉钢铁集团公司 夏汉明 孙志桥 鞍山钢铁集团公司 尹旭光

唐山钢铁集团公司 罗家宝 武朝锁 本溪钢铁集团公司 刘恩泉

邯鄲钢铁集团公司 尤善晓 石宝伟 江苏沙钢集团公司 巫振佳

太原钢铁集团公司 毋建贞 孟永刚 莱芜钢铁集团公司 刘祖法

包头钢铁集团公司 李金贵 张殿富 江西省冶金集团公司 张朝凌

攀枝花钢铁集团公司 张海威 许志军 韶关钢铁集团公司 李武强

马钢集团公司 唐叶来 王茂龙 宣化钢铁集团公司 尹振奎

济南钢铁集团总公司 李长青 曹 凯 柳州钢铁集团公司 刘红新

安阳钢铁集团公司 魏晓鹏 马学方 杭州钢铁集团公司 汪建辉

华菱湘潭钢铁集团公司 文吉平 李中柱 通化钢铁集团公司 荆鸿麟

涟源钢铁集团公司 毛宝粮 袁超纲 邢台钢铁公司 李同友

南京钢铁联合公司 包维义 陈龙宝 天津钢铁集团公司 张 莹

昆明钢铁集团公司 孔繁工 马淑萍 攀钢集团长城特钢公司 朱云剑

重庆钢铁集团公司 田永明 岳 庆 西林钢铁集团公司 夏宏钢

福建三钢集团公司 卫才清 颜觉民 南昌长力钢铁公司 胡建忠

委 员

宝钢集团上海梅山公司	朱胜才	吴文章	天津钢管集团公司	雷希梅
萍乡钢铁公司	邓 玲	董智萍	江西新余钢铁公司	张 钧
武钢集团鄂城钢铁公司	袁立庆	汪中汝	江苏苏钢集团公司	李海宽
太钢集团临汾钢铁公司	雷振西	张继忠	邯鄹纵横钢铁集团公司	阚永梅
广州钢铁企业集团公司	张乔木	尹 伊	石家庄钢铁公司	金艳娟
承德钢铁集团公司	魏洪如	高 影	济源钢铁集团公司	李全国
首钢迁安钢铁公司	习 今	王 蕾	华菱衡阳钢管集团公司	王美明
淮阴钢铁集团公司	刘 瑾	王灿秀	港陆钢铁公司	曹立国
中国黄金集团夹皮沟矿业公司		贾元新	衡水薄板公司	魏虎平
河北工业职业技术学院	袁建路	李文兴	吉林昊融有色金属公司	张晓满
昆明冶金高等专科学校	卢宇飞	周晓四	津西钢铁公司	王继宗
山西工程职业技术学院	王明海	史学红	鹿泉钢铁公司	杜会武
吉林电子信息职业技术学院	张喜春	陈国山	河北省冶金研究院	彭万树
安徽工业职业技术学院	李庆峰	秦新桥	中国钢协职业培训中心	梁妍琳
山东工业职业学院	王庆义	王庆春	有色金属工业人才中心	宋 凯
安徽冶金科技职业技术学院	郑新民	梁赤民	河北科技大学	冯 捷
中国中钢集团	刘增田	秦光华	冶金职业技能鉴定中心	张志刚

特邀委员

北京中智信达教育科技有限公司	董事长 王建敏
山东星科教育设备集团	董事长 王 继
北京金恒博远冶金技术发展有限公司	董事长 徐肖伟

秘 书

冶金工业出版社 宋 良 (010-64027900, 3bs@cnmip.com.cn)

序

吴溪淳

改革开放以来，我国经济社会发展取得了辉煌成就，冶金工业实现了持续、快速、健康发展，钢产量已连续数年位居世界首位。这期间凝结着冶金行业广大职工的智慧 and 心血，包含着千千万万产业工人的汗水和辛劳。实践证明，人才是兴国之本、富民之基和发展之源，是科技创新、经济发展和社会进步的探索者、实践者和推动者。冶金行业中的高技能人才是推动技术创新、实现科技成果转化不可缺少的重要力量，其数量能否迅速增长、素质能否不断提高，关系到冶金行业核心竞争力的强弱。同时，冶金行业作为国家基础产业，拥有数百万从业人员，其综合素质关系到我国产业工人队伍整体素质，关系到工人阶级自身先进性在新的历史条件下的巩固和发展，直接关系到我国综合国力能否不断增强。

强化职业技能培训工作，提高企业核心竞争力，是国民经济可持续发展的重要保障，党中央和国务院给予了高度重视，明确提出人才立国的发展战略。结合《职业教育法》的颁布实施，职业教育工作已出现长期稳定发展的新局面。作为行业职业教育的基础，教材建设工作也应认真贯彻落实科学发展观，坚持职业教育面向人人、面向社会的发展方向 and 以服务为宗旨、以就业为导向的发展方针，适时扩大编者队伍，优化配置教材选题，不断提高编写质量，为冶金行业的现代化建设打下坚实的基础。

为了搞好冶金行业的职业技能培训工作，冶金工业出版社在人力资源和社会保障部职业能力建设司和中国钢铁工业协会组织人事部的指导下，同河北工业职业技术学院、昆明冶金高等专科学校、吉林电子信息职业技术学院、山西工程职业技术学院、山东工业职业学院、安徽工业职业技术学院、安徽冶金科技职业技术学院、济钢集团总公司、宝钢集团上海梅山公司、中国职工教育和职业培训协会冶金分会、中国钢协职业培训中心等单位密切协作，联合有关冶金企业和高等院校，编写了这套冶金行业职业教育培训规划教材，并经人力资源和社会保障部职业培训教材工作委员会组织专家评审通过，由人力资源和社会保障部职业能力建设司给予推荐，有关学校、企业的编写人员在时间紧、任

务重的情况下，克服困难，辛勤工作，在相关科研院所的工程技术人员积极参与和大力支持下，出色地完成了前期工作，为冶金行业的职业技能培训工作的顺利进行，打下了坚实的基础。相信这套教材的出版，将为冶金企业生产一线人员理论水平、操作水平和管理水平的进一步提高，企业核心竞争力的不断增强，起到积极的推进作用。

随着近年来冶金行业的高速发展，职业技能培训工作也取得了令人瞩目的成绩，绝大多数企业建立了完善的职工教育培训体系，职工素质不断提高，为我国冶金行业的发展提供了强大的人力资源支持。今后培训工作的重点，应继续注重职业技能培训工作者队伍的建设，丰富教材品种，加强对高技能人才的培养，进一步强化岗前培训，深化企业间、国际间的合作，开辟冶金行业职业技能培训工作的新局面。

展望未来，任重而道远。希望各冶金企业与相关院校、出版部门进一步开拓思路，加强合作，全面提升从业人员的素质，要在冶金企业的职工队伍中培养一批刻苦学习、岗位成才的带头人，培养一批推动技术创新、实现科技成果转化的带头人，培养一批提高生产效率、提升产品质量的带头人；不断创新，不断发展，力争使我国冶金行业职业技能培训工作跨上一个新台阶，为冶金行业持续、稳定、健康发展，做出新的贡献！

前言

本书是按照人力资源和社会保障部的规划,得到冶金工业出版社的支持,参照行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据企业的生产实际和岗位技能要求编写的。书稿经人力资源和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,由人力资源和社会保障部培训就业司推荐作为行业职业技能培训教材。

本书详尽地介绍了炉外精炼用耐火材料的使用与维护,深入浅出地介绍了炉外精炼原理和炉外精炼过程的脱氧、脱硫和钢中夹杂物控制,结合生产实例介绍了转炉钢水的 RH、LF、VD、CAS-OB 精炼工艺的操作方法和操作要点,最后归纳了转炉品种钢的生产要点。

本书可作为钢铁企业职工的培训教材、中高职院校的教材或者学生熟悉和了解现场的参考书,也可以作为工程技术人员的参考资料。

笔者先后供职于不同的炼钢生产线,包括两条不同配置的长流程生产线和两条短流程生产线。其中,3 座 20t 转炉没有精炼工艺,3 座 120t 转炉具有 3 种不同的精炼工艺,还有 1 座 70t 电炉短流程生产合金钢和 1 座 110t 电炉短流程生产板坯。笔者最为深刻的感受就是,转炉钢水的炉外精炼装备,能够极大地缓解转炉操作过程中的压力,降低各类损失,提高系统的抗风险能力,开发出高附加值的钢种,提升企业的竞争力。转炉钢水的炉外精炼技术,由于冶炼的钢种不同,初炼炉的工况不同,所以炉外精炼的关键控制点和电炉钢水的炉外精炼技术相比,既有较多的相同之处,也有很多不同之处,并且炼钢的关键控制,在于炼钢工能够理智地按照炼钢过程的基础知识和概念进行管控。

笔者供职的 120t 转炉生产线,3 年来历经了数百起各种各样的常见事故,在事故的处理过程中和职工的培训过程中,笔者深刻认识到,许多基础概念和基础知识,尤其是不同工序的基础知识是现场炼钢工最为迫切需要了解的。为此笔者就此想法和冶金工业出版社做了诚恳的沟通,得到了出版社的支持和鼓励。所以笔者本着提高职工操作技能的单纯目的,着手编写本书。编写过程中,笔者在参考大量文献的基础上,结合生产中出现问题点,耗时 18 个月,终于完成初

稿的编写。期间,考虑到笔者知识的局限,邀请3位长期供职于转炉生产线的黄星武高工,徐栋、肖明光工程师讨论并且编写了部分章节。其中,第5~8章由黄星武完成;第10~12章由徐栋完成;第1、13、14章由肖明光完成。全书完成以后,书稿由黄星武高工在百忙之中进行了审阅,并且提出了宝贵的修改意见。初稿草成后,冶金工业出版社又在内容组织等方面提出了许多具体的修改意见,略去了和笔者另外一本书《电炉钢水的炉外精炼技术》相同的内容,使得全书的内容焕然一新,更具有可读性。本书略去的部分内容,有兴趣的读者可参阅《电炉钢水的炉外精炼技术》(冶金工业出版社2010年出版)一书。在本书的编著过程中,冶金工业出版社的严谨、负责、专业的作风,给笔者以深深的感动,帮助笔者少走了许多的弯路。

本书出版之际,笔者感谢培养我、支持我的亲人、师长和同事,感谢那些激励我的人们,感谢总经理助理袁万能先生给予的鼓励和嘉勉,感谢八钢,感谢参考文献的作者,感谢为本书编写提供资料和帮助的人们!

由于笔者学识所限,书中不足之处,真诚希望读者给予批评指正。

俞海明

2011年6月

目 录

1 转炉钢水的特点和常见的炉外精炼方法概述	1
1.1 转炉钢水的特点	1
1.2 转炉钢水的常见炉外精炼方法的发展简述	2
1.3 转炉钢水炉外精炼的常见工艺设备的选择	4
1.4 各种不同工艺组合的精炼特点	5
1.4.1 LD + 渣洗工艺 + FW(喂丝)工艺	5
1.4.2 LD + CAS-OB 工艺	5
1.4.3 LD + LF 工艺	6
1.4.4 LD + RH 工艺	7
1.4.5 LD + CAS + LF 或者 LD + LF + CAS 双联工艺	8
1.4.6 LD + LF + VD 或者 LD + VD + LF 工艺	9
1.4.7 LD + LF + RH 或者 LD + RH + LF 工艺	10
2 炉外精炼用耐火材料基础知识	11
2.1 耐火材料的基础性质和成分组成	11
2.1.1 耐火材料的矿物组成和化学成分	11
2.1.2 耐火材料的组织结构	13
2.2 耐火材料的性能	14
2.2.1 耐火材料的热学性质	14
2.2.2 耐火材料的高温力学性能	16
2.2.3 耐火材料的高温使用性能	16
2.3 炉外精炼常见耐火材料及其制品	17
2.3.1 尖晶石耐火材料的概念和基本制造流程	17
2.3.2 方镁石的概念和结合方式	19
2.3.3 铝矾土的概念和耐火材料制品	19
2.3.4 镁铬砖、铬镁砖、直接结合砖和化学结合砖	19
2.3.5 镁钙系耐火材料	20
2.3.6 白云石制品	20
2.3.7 黏土质耐火材料	20
2.3.8 高铝质耐火材料	20
2.3.9 刚玉制品	21
2.3.10 镁炭砖	21
2.3.11 镁铝砖	22

2.3.12	叶蜡石砖	22
2.3.13	镁铬砖	22
2.3.14	莫来石质耐火材料	22
2.3.15	锆基耐火材料	23
2.3.16	不定形耐火材料	23
2.3.17	隔热耐火材料	24
2.4	耐火材料对炼钢以及钢水洁净度的影响	24
2.4.1	镁钙耐火材料对钢水洁净度的影响	25
2.4.2	耐火材料与钢水中氧含量的关系	28
2.4.3	炉衬耐火材料成分影响钢液真空条件下脱氧的动力学	31
2.4.4	耐火材料与钢中氢含量的关系	32
2.4.5	炉衬耐火材料对钢液脱氮的影响	33
2.4.6	耐火材料及结合剂对钢中磷含量的影响和相互关系	33
2.4.7	含碳耐火材料对钢液的增碳作用分析	34
2.5	耐火材料对钢液脱氧的影响	39
2.5.1	耐火材料脱氧净化钢水的作用原理	39
2.5.2	耐火材料对钢中夹杂物含量的影响	40
2.5.3	钢包釉面的形成机理和钢包使用次数对钢液夹杂物数量的影响	40
2.6	炉外精炼过程钢渣对耐火材料的侵蚀	41
2.6.1	耐火材料的抗渣性	41
2.6.2	钢液对耐火材料的化学侵蚀机理	52
2.6.3	钢液对耐火材料的物理侵蚀过程	54
2.6.4	钢渣对耐火材料的侵蚀	55
2.6.5	低碳镁炭质耐火材料的抗氧化性	56
2.6.6	耐火材料的抗真空性能	58
2.6.7	真空条件下熔渣对镁铬砖的侵蚀机理	61
3	转炉钢水炉外精炼过程中耐火材料的使用和维护	63
3.1	钢包壳体钢结构材料和内衬耐火材料的发展	63
3.1.1	钢包壳体钢结构材料的介绍	63
3.1.2	我国钢包内衬耐火材料的发展情况和回顾	63
3.2	钢包内衬耐火材料的选择	70
3.2.1	钢包内衬耐火材料的选择原则	70
3.2.2	LF 钢包耐火材料的侵蚀损坏机理和选用原则	73
3.2.3	LF-VD 的钢包耐火材料的侵蚀机理和选用原则	76
3.2.4	RH 钢包材质的选用原则	77
3.2.5	CAS-OB 钢包用耐火材料的选用原则	87
3.3	钢包的砌筑与装配	88
3.3.1	钢包的砌筑	88

3.3.2 钢包的装配	89
3.3.3 钢包耐火材料各个组成部分的简要分析	90
3.3.4 钢包滑动水口	98
3.3.5 滑动水口的开浇引流	103
3.3.6 钢包滑动水口系统的装配	108
3.3.7 不定形耐火材料整体浇注钢包	110
3.4 钢包粘渣现象	111
3.5 降低钢包耐火材料消耗的途径	114
3.5.1 降低钢包在炉外精炼使用过程中耐火材料消耗的途径	114
3.5.2 提高炉外精炼过程中钢包使用寿命的常见方法	115
3.5.3 钢包的喷补	116
3.6 炉外精炼用耐火材料的发展动向	117
3.6.1 直接结合镁铬砖的发展动向	117
3.6.2 镁钙砖的发展动向	118
3.6.3 镁炭砖与镁钙炭砖发展动向	118
3.6.4 炉外精炼用无铬或低铬尖晶石砖发展情况	118
3.6.5 关于镁阿隆(MgAlON)结合镁质耐火材料在炉外精炼炉上应用的展望	119
4 钢包的热态基础知识简介	120
4.1 钢包的烘烤	120
4.1.1 普通钢包烘烤器的特点	120
4.1.2 蓄热式钢包烘烤器的原理和特点	120
4.1.3 蓄热式钢包烘烤器的优点简介	121
4.1.4 蓄热式钢包烘烤器的系统组成和设备简介	122
4.1.5 常见钢包的养护性烘烤特点	123
4.1.6 钢包烘烤过程中的温度分布特点	124
4.1.7 钢包烘烤过程中的特点	127
4.2 钢包的热态变化	127
4.2.1 出钢过程中钢包热态变化的过程	127
4.2.2 钢包吹氩过程中热能变化的基本过程	128
4.2.3 钢水在钢包内传热的基本形式	129
4.2.4 钢水在钢包静置状态的温度特点	130
4.2.5 钢包在浇铸状态下的流场特点	130
4.2.6 钢包浇铸以后包衬的温度变化	131
4.3 炼钢厂钢包温降规律的简介和减少钢包降温的手段	131
4.3.1 炼钢厂钢包温度管控的重要性和关键环节	132
4.3.2 钢包降低热能散失的途径	132
4.3.3 钢包到中间包的温降	133
4.3.4 钢包的运行管理	134

4.3.5 钢厂使用钢包数量的合理控制	135
4.3.6 冷钢包的控制	135
4.4 钢包覆盖剂	136
4.4.1 钢包覆盖剂简介	136
4.4.2 新型钢包覆盖剂的成分和性能	138
4.4.3 新型钢包覆盖剂的作用机理	139
5 炉外精炼原理与手段	141
5.1 真空精炼原理	141
5.1.1 钢液脱气的基础常识	141
5.1.2 真空脱气的原理	143
5.1.3 真空脱气的热力学	144
5.1.4 真空脱气动力学	144
5.1.5 炉气和原材料中的水分对钢液氢含量的影响	145
5.1.6 VD、RH 精炼原理与冶金功能的特点	145
5.2 氩气(氮气)在炉外精炼过程中的作用	146
5.2.1 氩气的性质和钢包吹氩的基础知识	146
5.2.2 氩气净化钢液的原理	152
5.2.3 氩气在精炼过程中对钢液流场特征的影响因素	158
5.2.4 冶炼过程中不同吹氩量对渣面的影响分析	163
5.3 造渣	167
5.3.1 钢渣的作用	167
5.3.2 渣量的控制	168
5.3.3 炉渣成分的选择和控制	168
5.3.4 白渣的基础知识	175
5.3.5 钢渣的改质	177
5.4 喂丝	183
5.4.1 喂丝的作用和钢液(铁液)喂丝处理的特点	183
5.4.2 炼钢常用包芯线的工艺要求	183
5.4.3 不同组分钙线的使用特点	185
5.4.4 喂丝过程对丝线的主要要求和操作要点	187
5.4.5 喂丝过程中常见的故障和处理	188
5.4.6 喂丝点位置的确定	188
5.4.7 喂丝深度和速度的计算	188
6 炉外精炼过程的脱氧	190
6.1 氧在钢液中的溶解及其危害	190
6.2 钢液脱氧原理	190
6.3 脱氧反应的热力学和动力学	193

6.3.1 脱氧反应的热力学条件	193
6.3.2 脱氧反应的动力学	193
6.4 单一元素的脱氧反应	195
6.4.1 锰的脱氧反应	195
6.4.2 硅的脱氧反应	196
6.4.3 铝的脱氧反应	196
6.4.4 碱金属的脱氧	199
6.5 复合脱氧	202
6.5.1 复合脱氧的发展过程	202
6.5.2 复合脱氧的优点	202
6.5.3 含钡合金的复合脱氧	205
6.5.4 硅锰合金的复合脱氧	207
6.5.5 其他常见复合脱氧剂	208
6.5.6 钢液脱氧工艺对脱氧剂的要求	210
6.5.7 复合脱氧剂的选择	210
6.5.8 脱氧剂用量计算	213
6.6 扩散脱氧过程中的还原反应	214
6.6.1 SiO_2 的还原	214
6.6.2 MnO 的还原	215
6.6.3 不同脱氧剂对相互之间的还原影响	215
6.7 钢液的真空脱氧	215
6.7.1 钢液真空脱氧的特点	215
6.7.2 碳脱氧的热力学和动力学	216
7 炉外精炼过程中钢液的脱硫	219
7.1 脱硫的热力学分析	219
7.2 脱硫的动力学分析	220
7.3 脱硫反应的一些基础知识	221
7.3.1 钢渣的硫容量	221
7.3.2 渣钢间硫的分配系数	221
7.3.3 渣指数对硫分配系数的影响	221
7.3.4 脱硫反应以后脱硫产物的存在形式	222
7.4 渣中各个组元含量对脱硫反应的影响	222
7.4.1 CaF_2 含量对脱硫的影响	222
7.4.2 Al_2O_3 含量对脱硫的影响	223
7.4.3 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 对脱硫的影响	223
7.4.4 B_2O_3 含量对脱硫的影响	223
7.4.5 二元碱度 $R(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ 对渣钢间硫分配系数 L_s 的影响	223
7.4.6 BaO 含量对钢渣脱硫的影响	224

7.4.7 MgO 含量对硫分配系数 L_s 的影响	224
7.5 渣中 FeO + MnO 含量对硫分配系数的影响	224
7.6 钢中脱氧元素对脱硫反应的影响	225
7.6.1 钢水中硅脱硫的机理	225
7.6.2 铝的脱硫反应	226
7.6.3 碳的脱硫反应	226
7.6.4 钙系脱硫剂脱硫渣中硅、碳的脱硫产物	226
7.6.5 镁的脱硫反应和脱硫产物	227
7.7 钢水中初始硫含量对精炼炉脱硫反应的影响	227
7.8 温度对脱硫的影响	228
7.9 专用脱硫剂和渣量的控制	228
7.9.1 预熔精炼渣的脱硫效果	228
7.9.2 硅镇静钢的脱硫	229
7.9.3 渣量的控制	229
7.10 转炉钢水精炼过程中脱硫的关键控制环节	229
7.10.1 转炉钢水炉外精炼过程中脱硫关键环节的简述	229
7.10.2 CAS 工艺的脱硫	230
7.10.3 LF 工艺的脱硫	230
7.10.4 VD 和 RH 工艺的顶渣脱硫	231
8 钢中非金属夹杂物控制	232
8.1 钢中非金属夹杂物的来源	232
8.1.1 钢中的内生非金属夹杂物和外来非金属夹杂物的定义	232
8.1.2 非金属夹杂物的来源和特点简介	232
8.2 钢中非金属夹杂物的组成	233
8.2.1 简单氧化物夹杂物	233
8.2.2 复杂氧化物夹杂物	233
8.2.3 固溶体夹杂物	234
8.2.4 硅酸盐夹杂物	235
8.2.5 硫化物夹杂物	236
8.2.6 氮化物夹杂物	236
8.3 钢中非金属夹杂物的变形	237
8.3.1 夹杂物的形貌和变形能力	237
8.3.2 钢中夹杂物按照变形能力的分类	239
8.3.3 夹杂物变形能力对钢材制品性能的影响	240
8.4 不同阶段生成的钢中非金属夹杂物的基本特点	241
8.4.1 按不同阶段生成夹杂物的分类	241
8.4.2 热力学和动力学条件对夹杂物产生的影响	242
8.5 钢中非金属夹杂物去除的机理和途径	243

8.5.1	夹杂物的去除机理	243
8.5.2	夹杂物去除的途径	244
8.5.3	夹杂物吸附长大的过程	246
8.5.4	吹氩条件对夹杂物去除的影响	246
8.6	钢中非金属夹杂物的控制	247
8.6.1	转炉的终点成分、温度控制和留碳操作对非金属夹杂物的影响	247
8.6.2	脱氧工艺的选择	248
8.6.3	炉外精炼控制手段	248
8.7	钢包耐火材料、顶渣成分对夹杂物形成的影响	253
8.7.1	钢包耐火材料成分对夹杂物的影响	253
8.7.2	渣中 CaF_2 和 MgO 的影响	253
8.7.3	顶渣渣系成分对夹杂物组成的影响	254
9	钙处理技术	255
9.1	连铸水口结瘤与钙处理	255
9.1.1	连铸浸入式水口材质的选择	255
9.1.2	铝镇静钢和硅铝镇静钢浇铸过程中的水口结瘤的敏感部位	255
9.1.3	水口结瘤物的成分	256
9.1.4	钙处理的应用背景	259
9.1.5	钙处理的效果	260
9.2	钙处理原理	261
9.2.1	钙处理的基本知识和钙铝酸盐的变性	261
9.2.2	钙处理过程的热力学分析	263
9.2.3	钙处理过程中 S-Al 的动态平衡	264
9.2.4	S-Ca 平衡曲线	265
9.2.5	钢渣的脱氧对钢液钙处理的影响	267
9.3	钙处理工艺	269
9.3.1	钙处理过程中钙的回收率	269
9.3.2	喂丝速度的控制	269
9.3.3	喂丝过程中钢液沸腾的现象原因	271
9.3.4	钙回收率的影响因素	271
9.3.5	钙处理过程中吹氩的流量控制	271
9.3.6	喂丝钙处理的时间把握和喂丝以后钢液停留时间的控制	271
9.4	钙处理操作	272
9.4.1	钢液钙处理的实际操作	272
9.4.2	铝镇静钢的钙处理基本特点	272
9.4.3	钢液钙处理的实例	274
9.4.4	硅镇静钢的钙处理	276
9.4.5	硅铝镇静钢的钙处理和 20CrMnTiH 钙处理的操作要点	279

9.5 钡合金、镁合金和稀土合金处理	281
9.5.1 含钡合金处理钢液	281
9.5.2 含镁合金处理钢液	284
9.5.3 稀土合金处理钢液	287
9.6 合成渣处理钢液	292
9.6.1 合成渣的概念	292
9.6.2 合成渣的生产方法	293
9.6.3 合成渣的基本特点	293
9.6.4 合成渣去除夹杂物的原理	294
9.6.5 合成渣的脱氧作用	294
10 RH 精炼技术	299
10.1 RH 精炼原理与冶金功能的特点	299
10.1.1 RH 工艺的发展简介	300
10.1.2 RH-OB 工艺	300
10.1.3 RH-KTB(或 RH-TOB、RH-OTB)	301
10.1.4 RH-MFB	301
10.2 RH 精炼常用参数和操作基础	301
10.2.1 环流量的控制	302
10.2.2 环流气体吹入量和环流管直径的关系	302
10.2.3 脱气时间的控制	302
10.2.4 循环次数的控制	303
10.2.5 钢水提升高度	303
10.2.6 钢水在 RH 真空过程的循环速率	304
10.2.7 RH 钢水循环一次的时间	304
10.2.8 RH 钢液运动的流场和混匀时间的计算	304
10.2.9 RH 浸渍管上吹气孔堵塞对钢液循环流量的影响	305
10.3 RH 真空处理冶金功能的描述和定义	305
10.3.1 RH 的脱氧	305
10.3.2 RH 的脱氢	306
10.3.3 RH 的脱氮	306
10.3.4 RH 的脱碳	307
10.3.5 RH 用氧技术	312
10.3.6 RH 温度控制	315
10.3.7 RH 的合金化过程分析	317
10.3.8 RH 过程夹杂物的去除特点	318
10.4 RH 处理模式	319
10.4.1 RH 操作过程中的先行加碳操作	320
10.4.2 先行顶枪脱碳模式	320