



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

钢铁冶金用耐火材料

游杰刚 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

钢铁冶金用耐火材料

主 编 游杰刚

编 委 吴 锋 李心慰 栾 舰 宋欣宇

北 京

冶金工业出版社

2014

内 容 提 要

本书系统地介绍了钢铁冶金生产中所用到的各类耐火材料及其工作环境、侵蚀机理和改进方法,同时介绍了最新的耐火材料技术的发展动向、国家标准和行业标准;并根据实际生产情况和现场操作经验介绍了钢铁冶金用耐火材料生产和使用中需要注意的各种问题,对从事耐火材料专业学习的高校学生和从事耐火材料研究、开发的工程技术人员,具有实际指导意义。

本书为高等院校相关专业的教材,也可供从事耐火材料研究、开发、设计、生产和应用的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢铁冶金用耐火材料/游杰刚主编. —北京:冶金工业出版社, 2014. 6

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6581-0

I. ①钢… II. ①游… III. ①钢铁冶金—耐火材料—高等学校—教材 IV. ①TQ175.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第112619号

出 版 人 谭学余

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 yjcs@cnmip.com.cn

责任编辑 宋 良 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 郑 娟 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6581-0

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京百善印刷厂印刷

2014年6月第1版, 2014年6月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 12.75印张; 307千字; 193页

28.00元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱: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)

前 言

本书是为了与国家“卓越工程师培养计划”相适应，针对钢铁冶金用耐火材料课程专业性强、应用性强的特点，培养具有扎实工程实践能力和工程创新意识的高技术人才，是在总结多年的科研、教学、生产经验并查阅大量文献资料的基础上编写而成的，具有如下特点：

(1) 内容反映了钢铁冶金和耐火材料交叉学科中国内外研究和使用的新技术、新进展，注重交叉学科间的联系。

(2) 注重钢铁冶金过程中耐火材料的性能及损毁情况的介绍，提出相应的改进措施，使得读者能够在工程应用中找到解决问题的方法。

(3) 书中没有过多地介绍专业基础理论知识，在一些重要章节重点介绍了窑炉的砌筑、维护及注意事项，更加贴近生产实际。

书中的内容按绪论、高炉系统、铁水预处理、转炉、电炉、炉外精炼及连铸等生产环节用耐火材料来编写。绪论包括耐火材料与钢铁工业的关系及耐火材料技术的发展方向等内容；高炉系统用耐火材料包括高炉本体、热风炉、焦炉、球团竖炉和烧结机及非高炉炼铁用耐火材料等内容；转炉用耐火材料包括转炉炉衬耐火材料、转炉挡渣出钢技术及转炉炉衬的维护等内容；电炉用耐火材料包括交流电炉和直流电炉用耐火材料。炉外精炼用耐火材料包括炉外精炼基础知识、RH、LF、AOD、VOD、CAS等精炼装置及钢包用耐火材料；连铸用耐火材料包括连铸中间包用耐火材料、连铸功能耐火材料、滑动水口装置用耐火材料等。

本书由辽宁科技大学游杰刚、吴锋、李心慰、栾舰和唐山时创耐火材料公司宋欣宇编写，游杰刚任主编。李心慰编写了第1章和第2章；游杰刚编写了绪论、第3章、第4章；吴锋编写了第5章；游杰刚、栾舰和宋欣宇编写了第6章。

辽宁科技大学陈树江教授、李志坚教授审阅了本书初稿，并提出了很多宝贵意见和建议；辽宁营口青花集团耐火材料有限公司韦华平工程师提供了一些素材，在此一并致谢；书中引用了许多参考文献，在此对文献作者表示谢意。

由于书中涉及的内容多、学科广，限于编者的学识和水平，书中不足之处，恳请读者和同行批评指正。

本书由辽宁科技大学学术专著出版基金资助出版。

作者

2014年1月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
耐火材料 (第2版) (本科教材)	薛群虎 等编	35.00
无机非金属材料研究方法 (本科教材)	张 颖 等编	35.00
相图分析及应用 (本科教材)	陈树江 等编	20.00
材料科学基础教程 (本科教材)	王亚男 等编	33.00
能源与环境 (本科国规教材)	冯俊小 主编	35.00
现代冶金工艺学 (钢铁冶金卷) (本科国规教材)	朱苗勇 主编	49.00
钢铁冶金原燃料及辅助材料 (本科教材)	储满生 主编	59.00
材料研究与测试方法	张国栋 编	20.00
镁钙系耐火材料	陈树江 等著	39.00
短流程炼钢用耐火材料	胡世平 等编	49.50
非氧化物复合耐火材料	洪彦若 等著	36.00
复合不定形耐火材料	王诚训 等编	21.00
钢铁工业用节能降耗耐火材料	李庭寿 等编	15.00
刚玉耐火材料 (第2版)	徐平坤 编著	59.00
工业窑炉用耐火材料手册	刘麟瑞 等编	118.00
化学热力学与耐火材料	陈肇友 编著	66.00
滑板组成与显微结构	高振昕 等著	99.00
镁质材料生产与应用	全 跃 主编	160.00
耐火材料手册	李红霞 主编	188.00
耐火纤维应用技术	张克铭 编著	30.00
耐火材料厂工艺设计概论	薛群虎 等编	35.00
耐火材料显微结构	高振昕 等编	88.00
耐火材料技术与应用	王诚训 等编	20.00
耐火材料新工艺技术	徐平坤 等编	69.00
特种耐火材料实用技术手册	胡宝玉 等编	70.00
特殊炉窑用耐火材料	侯 谨 等编	22.00
无机非金属材料实验技术	高里存 等编	28.00
无机材料工艺学	宋晓岚 等编	69.00
新型耐火材料	侯 谨 等编著	20.00
筑炉工程手册	谢朝晖 主编	168.00

目 录

0 绪论	1
0.1 耐火材料与钢铁工业的关系	1
0.2 钢铁冶金工艺	4
1 炼铁系统用耐火材料	7
1.1 高炉简介	7
1.1.1 高炉本体	7
1.1.2 高炉炼铁所用原料和产品	8
1.1.3 炼铁流程	8
1.2 高炉用耐火材料	9
1.2.1 高炉炉衬用耐火材料	9
1.2.2 高炉炉前用耐火材料	19
1.3 热风炉用耐火材料	31
1.3.1 热风炉基本构造	31
1.3.2 热风炉炉型	32
1.3.3 我国热风炉的发展	33
1.3.4 热风炉用耐火材料的发展	33
1.3.5 热风炉炉衬损毁机理	34
1.3.6 热风炉用耐火材料的性能要求	34
1.3.7 热风炉使用的主要耐火材料	36
1.4 焦炉用耐火材料	39
1.4.1 焦炉炭化室用耐火材料	39
1.4.2 焦炉炉头和炉门用耐火材料	39
1.4.3 焦炉炭化室底部用耐火材料	40
1.4.4 蓄热室用耐火材料	40
1.4.5 焦炉小烟道用耐火材料	40
1.4.6 焦炉用不定形耐火材料	41
1.5 球团竖炉和烧结机用耐火材料	41
1.5.1 球团竖炉用耐火材料	41
1.5.2 烧结机用耐火材料	41
1.6 非高炉炼铁用耐火材料	42
1.6.1 直接还原法用耐火材料	42

1.6.2 熔融还原炉用耐火材料	42
1.6.3 COREX 熔融气化炉用耐火材料	44
2 铁水预处理用耐火材料	46
2.1 铁水预处理简介	46
2.1.1 铁水预处理的目的是	46
2.1.2 铁水预处理工艺方法	47
2.1.3 KR 法与喷吹法在铁水预脱硫中的应用	48
2.2 铁水预处理用耐火材料	49
2.2.1 铁水预处理剂	49
2.2.2 铁水预处理对耐火材料的作用与要求	50
2.2.3 鱼雷式铁水罐用耐火材料	51
2.2.4 铁水包用耐火材料	54
2.2.5 喷枪用耐火材料	55
2.2.6 铁水搅拌器用耐火材料	57
2.2.7 混铁炉用耐火材料	58
3 转炉炼钢用耐火材料	60
3.1 转炉炼钢简介	60
3.2 转炉 (converter) 简介	61
3.3 转炉用耐火材料的发展	62
3.3.1 转炉工作衬砖各部分的性能要求及耐火材料	63
3.3.2 转炉用镁炭砖 (magnesia carbon brick)	64
3.3.3 转炉永久层用镁砖	67
3.3.4 转炉用不定形耐火材料	68
3.3.5 氧枪	68
3.3.6 挡渣出钢	70
3.4 转炉炉衬维修技术	72
3.4.1 转炉炉衬的侵蚀原因	73
3.4.2 转炉溅渣护炉技术	74
3.4.3 炼钢转炉炉衬修补	78
3.4.4 转炉出钢口修补	80
3.5 转炉的使用寿命和影响因素	80
4 电炉炼钢用耐火材料	82
4.1 电炉炼钢简介	82
4.2 电炉结构	82
4.3 电炉用耐火材料	83
4.3.1 电炉用耐火材料的发展	83

4.3.2	电炉炉顶用耐火材料	83
4.3.3	电炉炉壁用耐火材料	86
4.3.4	电炉炉底用耐火材料	89
4.3.5	电炉出钢系统用耐火材料	97
4.3.6	电炉炉底吹气搅拌系统用耐火材料	100
5	炉外精炼用耐火材料	102
5.1	钢水炉外精炼概述	102
5.2	炉外精炼的基本作用	102
5.3	炉外精炼用耐火材料基础知识	104
5.3.1	炉外精炼方法与所用耐火材料	104
5.3.2	炉外精炼对耐火材料的作用	105
5.3.3	炉外精炼对耐火材料的要求	106
5.3.4	耐火材料对钢水洁净度的影响	106
5.3.5	炉外精炼选择耐火材料的依据	109
5.3.6	炉外精炼用主要耐火材料	111
5.4	RH 炉用耐火材料	118
5.4.1	RH 炉简介	118
5.4.2	RH 炉的冶金功能	119
5.4.3	RH 精炼法各部分用耐火材料	120
5.4.4	RH 炉用耐火材料的损毁	123
5.4.5	提高 RH 炉衬寿命的途径	125
5.4.6	RH 炉维修用喷补料	126
5.4.7	RH 炉用耐火材料的发展方向	126
5.5	LF 炉用耐火材料	126
5.5.1	LF 精炼炉的特点	127
5.5.2	LF 精炼炉的结构	127
5.5.3	LF 炉的工作条件	127
5.5.4	LF 炉衬的损毁原因	127
5.5.5	LF 炉用耐火材料	128
5.6	CAS/CAS-OB 精炼装置用耐火材料	128
5.6.1	CAS/CAS-OB 法精炼简介	128
5.6.2	CAS/ CAS-OB 精炼法对耐火材料的作用	129
5.6.3	CAS 精炼装置用耐火材料	129
5.7	VOD 炉用耐火材料	130
5.7.1	VOD 炉简介	130
5.7.2	VOD 的基本功能	130
5.7.3	VOD 炉对耐火材料的作用和要求	131
5.7.4	VOD 炉采用的耐火材料	131

5.8 AOD 炉用耐火材料	133
5.8.1 AOD 氩氧脱碳炉简介	133
5.8.2 AOD 炉对耐火材料的作用	134
5.8.3 AOD 炉采用的耐火材料	134
5.8.4 AOD 炉用耐火材料的侵蚀	135
5.9 钢包用耐火材料	136
5.9.1 钢包的结构	136
5.9.2 钢包的冶金功能	136
5.9.3 钢包的功能改变对耐火材料的影响	136
5.9.4 钢包耐火材料的要求	137
5.9.5 钢包工作衬应具备的条件	137
5.9.6 钢包耐火材料损毁	138
5.9.7 钢包用耐火材料的发展	139
5.9.8 钢包用耐火材料现状	144
5.9.9 钢包用不定形耐火材料	144
5.9.10 钢包底吹气透气砖	145
6 连铸用耐火材料	151
6.1 连铸概述	151
6.1.1 连铸机主要设备	151
6.1.2 连铸的优点	151
6.1.3 连铸机的分类	153
6.1.4 连铸用功能耐火材料简述	154
6.2 中间包用耐火材料	154
6.2.1 中间包的冶金功能	154
6.2.2 中间包的类型	155
6.2.3 中间包耐火衬的发展	155
6.2.4 几种中间包工作衬材料的比较	157
6.2.5 中间包干式振动料	159
6.2.6 中间包干式料的施工	161
6.2.7 挡渣墙(堰)	162
6.2.8 中间包防钢水冲击耐火材料	163
6.2.9 中间包气幕挡墙材料	163
6.3 连铸用功能耐火材料	164
6.3.1 整体塞棒(stopper)	165
6.3.2 长水口(shroud)	166
6.3.3 浸入式水口(submerged nozzles)	168
6.3.4 连铸“三大件”生产工艺	172
6.3.5 密封材料	174

6.4 滑动水口系统用耐火材料	174
6.4.1 滑动水口系统分类	175
6.4.2 滑动水口采用的耐火材料	176
6.4.3 滑板的侵蚀机理	179
6.4.4 滑动水口自动开浇	179
6.5 水口和座砖	180
6.5.1 上下水口砖	180
6.5.2 座砖	181
6.6 定径水口 (sizing nozzle)	182
参考文献	185

0 绪 论

0.1 耐火材料与钢铁工业的关系

耐火材料是钢铁工业不可或缺的基础材料之一，没有耐火材料，就不可能进行钢铁冶炼。钢铁工业耐火材料用量占整个耐火材料产量的 70% 左右；同样，没有钢铁工业的发展进步，也就不会有耐火材料工业的发展。耐火材料与钢铁工业的关系主要表现在两个方面：一方面，耐火材料作为盛放钢水的容器是钢铁冶金流程稳定性和经济性的重要保证；另一方面，耐火材料对保障钢水的质量起着非常重要的作用。在钢铁冶炼过程中，如果耐火材料炉衬不停地被钢水溶蚀并进入钢水中，一方面会污染钢水，使钢的质量下降；另一方面炉衬使用寿命降低，给生产效率和生产成本带来极为不利的影响。一个新的冶金工艺技术的出现，需要新型耐火材料支持，如果这种新的耐火材料没有出现，就会阻碍冶金新技术的发展。反之，如果具备了适合新冶金工艺技术的耐火材料，它对冶金工艺的发展也会起到促进的作用。因此，耐火材料是钢铁工业的基础材料而不是冶金辅料。

近年来，随着航天、航空、石油、汽车、国防及微电子等现代技术和工业生产的迅速发展，对钢的强度、韧性、疲劳性能和加工性能的要求也越来越高，对钢的化学成分和组织的均匀性的要求也日益严格，对工程材料的质量提出了越来越高的要求；特别是对钢铁材料中的非金属夹杂物形态和数量，以及有害元素 O、P、S、N、H 等的数量，提出了越来越高的要求。耐火材料作为盛放钢水容器的主体，通常是由多种金属氧化物和（或）非金属氧化物原料经过合适的配比，经过一定的工艺条件制成的。在高温下使用时，它将对钢水的质量产生重要的影响。例如耐火材料中的 SiO_2 和 Cr_2O_3 由于具有较高的氧压，在高温下将发生分解，使用该类耐火材料作炉衬时将有可能使钢水中的氧含量增加，造成钢水的氧指标不合格；同样在冶炼低碳和超低碳钢时，使用含碳耐火材料作炉衬时将会使钢水中的碳含量大大增加，并可能超标；使用磷酸盐和硫酸盐作结合剂的不定形耐火材料在冶金过程中也会使钢水中的磷、硫含量增加，从而影响钢水的质量；耐火材料中的水分、含氢的结合剂在烘烤过程中如果不能排净或去除，也将使钢水中的氢增加，影响钢水的质量；耐火材料作为盛放钢水容器的主体在高温冶炼过程中会不断地发生溶蚀，造成钢中的非金属夹杂增加，也会对钢水的质量产生影响。因此，耐火材料对钢水中的非金属夹杂物和有害元素有重要的影响，对优质钢和洁净钢的生产意义重大。

耐火材料对钢铁工业的经济效益并不单是耐火材料用量减少带来的经济效益，更为重要的是耐火材料数量的减少，使用寿命的提高，保证冶金过程的顺行，减少人力和物力的消耗，提高生产节奏所带来的间接经济效益。

A 钢铁工业对耐火材料的要求

随着国际市场激烈的竞争及铁矿石、焦炭等原料价格的持续上涨以及环境负荷过重等

因素的影响,中国钢铁工业的重点转向发展连续、紧凑和高效率的新一代钢铁冶炼流程。新一代国内钢铁冶炼流程的主要内容为:高效、低成本洁净钢生产技术集成,优化产品结构,生产洁净钢、纯净钢等高附加值的产品;熔融还原炼铁-精炼-近终型连铸紧凑型钢铁冶炼工艺流程;减少对资源的消耗和对环境的负面影响。

今后一段时期,钢铁工业重点发展的技术是:高炉长寿技术;熔融还原炼铁技术;快速吹氧强化冶炼技术;炉外精炼技术;中厚板坯高效连铸技术;近终形连铸(薄板坯连铸和薄带连铸)技术等。与此同时,对耐火材料的具体要求应该是高品质、长寿命、多功能、对钢液无污染或低污染的新一代耐火材料。具体研究和开发的品种有镁钙砖、低碳镁炭砖、无铬精炼材料、近终形连铸浸入式水口等。

B 节能环保和可持续发展战略对耐火材料工业的新要求

我国工业能源消耗占整个能源耗量的 68.3%,其中主要行业(电力、钢铁、有色、石化、建材、化工、轻工、纺织)单位产品能源消耗平均比发达国家高出 40%,可见与发达国家的差距明显,所以我国的高温工业节能降耗潜力巨大。耐火材料是所有高温工业的重要基础材料,其蓄热、保温、热传导等性能与高温工业的能耗或能源利用率密切相关,因此,发展节能耐火材料是耐火材料行业的重点任务,也是今后发展的主导方向和必须长期坚持的基本原则。

耐火材料行业本身既是资源消耗型企业,也是能源消耗性企业,耐火材料的发展不仅依赖于耐火原料资源,在耐火材料的原料和制品的制备加工过程又需消耗大量的煤炭、石油、电力等重要的能源。而我国目前耐火材料行业的现状是:产业集中度低、规模小、自主创新能力不高,产品技术含量低,大多数为消耗资源的低档产品或出口原料的粗加工产品。同时,大量的用后耐火材料没有得到很好的回收利用。因此今后相当长的一段时期内,耐火材料行业必须与国家的整体发展和产业政策相适应,必须坚持科学发展观和可持续发展战略,做好资源的中长期规划和利用,加强原料的高附加值研究工作,提高资源和能源的利用水平,重视用后耐火材料的再生利用工作,逐步摆脱高投入、高消耗、高排放、不协调、难循环、低效率的传统模式。

C 我国耐火材料工业技术发展空间和方向

国家的宏观经济规划为钢铁行业提供了较大的发展空间,为钢铁工业的持续发展奠定了坚实的基础。由于耐火材料产量的近 70%用于钢铁行业,因此也为耐火材料提供了发展空间,所以钢铁等高温工业的大发展必将带动耐火材料的发展。今后耐火材料的发展方向为:以基础研究和应用基础研究带动原始创新,逐步实现以剖析、跟踪为主到原始创新为主的创新战略,实现技术的跨越式发展;重点围绕高温工业发展急需的关键耐火材料进行持续开发和研究,优先满足高温工业关键耐火材料的发展;加强节能型产品、高效功能化产品、环保型产品的开发;大力开发低能耗和无能耗的产品或生产新工艺,同国家的低碳、低能耗、低排放的政策相适应;提高用后耐火材料的利用率,坚持走可持续发展的道路。

D 耐火材料主要研究领域和内容

a 钢铁工业新工艺新技术发展需要的耐火材料

高炉长寿集成技术研究:发展新一代炉役寿命超过 15 年无需大修、具有较高生产效

率的大型高炉是我国高炉炼铁工艺的主要发展趋势。对高炉而言,炉腰、炉腹及炉缸用耐火材料的性能是决定高炉寿命的关键因素。同时高炉长寿也是一个多因素和技术相互作用集成的综合结果,需要包括耐火材料应用技术、在线修炉补炉技术等在内的系统工程研究,在此基础上取得最佳效果,并提升耐火材料的使用价值。

熔融还原炼铁用耐火材料:由于焦炭资源的短缺、铁矿石价格上涨、焦炉及烧结设备带来的能耗与排放污染,使得熔融还原炼铁技术受到重视并被看做是非常具有发展前途的炼铁工艺,目前熔融还原炼铁技术已取得了工业生产阶段。而非高炉炼铁技术的用氧量大大增加,使耐火材料的消耗量也增加,炉龄远低于高炉,所以加强模拟熔融还原条件下耐火材料的行为、熔损机理的研究,开发适应此类技术的新型高效耐火材料是今后研究的重点。

二次精炼用耐火材料和钢包长寿综合技术研究:二次精炼技术在洁净钢甚至高纯净钢冶炼以及冶金生产效率方面起到了越来越重要的作用。为了获得高附加值产品和洁净钢甚至高纯钢,采取了各种不同二次精炼技术。研究适应不同冶金条件和不同品种钢冶炼的耐火材料,研究开发高抗渣侵蚀性材料,高抗热震超低碳镁炭砖、 $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ 、 MgO-CaO -(ZrO_2)碱性材料等,以适应洁净钢、纯净钢冶炼的需要,并配合综合砌炉、套浇、湿式喷补等维修和应用技术,提高钢包的使用寿命。

近终形连铸用高寿命功能耐火材料的研究:功能耐火材料是薄板带等近终形高效连铸技术的关键技术,对近终形连铸工艺及效率有直接的影响。我国的薄板坯连铸技术发展迅速,但是相关的功能耐火材料发展滞后,应开发具有自主知识产权、功能优越、使用寿命大于15h的薄板坯连铸浸入式水口、长水口、整体塞棒的研究,使其寿命达到或超过国际先进水平。

废弃耐火材料再生资源化研究:我国目前用后耐火材料达到300万吨,80%随着钢渣混杂而被废弃,占用了耕地,并形成了污染,再利用率不足20%,而且大多是初级使用。这与国外60%以上的用后耐火材料再利用相比有相当大的差距,因此开展钢铁企业、耐火材料企业、研究单位、大学合作的方式,研究耐火材料的回收、资源化技术和再利用技术,生产高附加值的产品,逐步使我国的用后耐火材料利用率达到国际先进水平。

b 节能型耐火材料

优质高性能不定形耐火材料的研究与开发:不定形耐火材料具有节能、劳动生产效率高、施工方便、适用性强、安全性高等优点。国外发达国家的不定形耐火材料的使用量达到50%以上,而我国仅为30%,特别是在品种结构、新品种开发方面与发达国家差距巨大,因此我国不定形耐火材料的发展空间巨大,所以需要大力开展节能型高性能不定形耐火材料、高性能碱性耐火浇注料、环保形不定形耐火材料和新型结合剂系统的研究开发。

保温功能性耐火材料的研究与开发:研究材料的组成、结构优化设计,实现对材料组织结构的控制,获得具有微气孔结构和梯度组成、性能的耐火材料,提高容器的冶金效果。

c 环保和资源的再生利用

合理利用资源、节约资源是耐火材料行业可持续发展的紧迫任务,因此环保型耐火材料产品和技术是今后发展的一个方向。随着我国城镇化水平的提高,垃圾焚烧炉和熔融炉耐火材料的研究开发将成为耐火材料研究的重要方面;随着人们对环境的重视,今后含铬

耐火材料将会被无铬和低铬耐火材料取代；随着社会对钢材质量和品种的要求越来越高，今后无碳、低碳等环保型耐火材料将会受到越来越多的关注。用后耐火材料不仅占用大量的堆积地，同时污染环境和浪费很多可再生资源，所以用后耐火材料的回收、再利用成套技术的研究与开发也将成为今后研究的重要方向。

d 研究和开发节能降耗先进设备

目前，我国耐火材料产业的机械化、自动化、智能化水平和单位产品的能耗量与世界发达国家相比，还有很大的差距。今后我国耐火材料行业的设备应向机械化、自动化、智能化和降低能耗的方向发展。目前还有相当一部分企业，使用原始的工业窑炉进行生产，存在着能源消耗高、产率低，粉尘、废弃物排放高，操作环境恶劣等不利因素，开发节能型高温窑炉，淘汰落后产能，是当务之急。

e 注重和加强耐火材料应用基础理论研究

基础理论研究是原始创新的基础，对新产品的开发具有指导作用。对耐火材料领域的新技术、新工艺、新方法进行深入的研究，对耐火材料行业技术进步具有推动作用。耐火材料是在高温条件下使用的功能材料，它在服役过程中承受高温渣（固、液、气相夹杂）的物理、化学、热学和力学等行为的影响，因此研究耐火材料在高温下的物理化学变化是揭示材料高温侵蚀损毁机理的重要方法。随着计算机技术的发展，应用计算机技术辅助设计和分析材料的损毁将成为今后的一个研究方向。因此今后研究的主要内容有：研究耐火材料在高温使用过程中的行为；开展耐火材料和钢液、熔渣作用过程的高温模拟试验及机理研究。

0.2 钢铁冶金工艺

钢铁是目前使用最为广泛的金属材料。铁在地壳中的含量仅次于铝，约占地壳质量的5.1%，居第四位。由于化学性质比较活泼，所以铁在地壳中以化合物的形式存在，人们获得的钢铁材料都是通过一定的冶炼方法或工艺生产出来的。

从矿石或其他原料中提取黑色金属的方法可归结为以下两种：

(1) 火法冶金。它是指在高温下矿石经熔炼与精炼反应及熔化作业使其中的金属和杂质分开，获得较纯金属的过程。整个过程可分为原料准备、冶炼和精炼三个工序。过程所需能源，主要依靠燃料燃烧供给，也有依靠过程中的化学反应热来提供的。

(2) 电冶金。它是利用电能提取和精炼金属的方法。按电能形式可分为两类：

1) 电热冶金：利用电能转变成热能，在高温下提炼金属，本质上与火法冶金相同。

2) 电化学冶金：用电化学反应使金属从含金属盐类的水溶液或熔体中析出。前者称为溶液电解，如铜的电解精炼，可归入湿法冶金；后者称为熔盐电解，如电解铝，可归入火法冶金。

冶金方法基本上是火法和湿法，钢铁冶金主要用火法，而有色金属冶炼则火法和湿法兼用。

钢铁的火法冶炼又可以分为以下三种：

(1) 间接炼钢法。先将铁矿石还原熔化成生铁（高炉炼铁），然后再把生铁装入炼钢炉氧化精炼成钢（主要是转炉或电炉）。这个冶炼过程由高炉炼铁和转炉炼钢两步组成，也称间接炼钢法。由于其工艺成熟，生产率高，成本低，故是现代钢铁冶炼大规模生产的

主要方法。

(2) 直接炼钢法。由铁矿石一步冶炼成钢的方法为直接炼钢法（也称直接炼铁法）。该法不用高炉和昂贵的焦炭，而是将铁矿石放入直接还原炉中，用气体或固体还原剂还原出含碳低（ $<1\%$ ）、含有杂质的半熔融状的海绵铁。这种铁可用来代替废钢作电炉炼钢原料，从而形成了直接还原—电炉串联生产的一种新的钢铁生产工艺。这个流程虽然工序少，避免了发生氧化还原过程，但因铁的回收率低，要求使用高品位的精矿和高质量的一次能源，电耗高，因此一直没有应用于大规模的工业生产，目前只是在某些地区作为典型钢铁生产方法的一种补充形式而存在。

(3) 熔融还原法。将铁矿石在高温熔融状态下用碳把铁氧化物还原成金属铁的非高炉炼铁法。其产品为液态生铁，可用传统的转炉精炼成钢。典型的熔融还原法用非焦煤代替昂贵的焦炭，故工艺简单，投资及成本低，是非高炉炼铁的一个新的技术方法，也是将来钢铁冶金发展的一个方向。

现代钢铁生产过程是将铁矿石在高炉内冶炼成生铁，然后再把铁水炼成钢，再将钢水铸成钢锭或连铸坯，经轧制等塑性变形方法加工成各种用途的钢材。具有上述全过程生产设备的企业，称为钢铁联合企业。由于铁矿石中含有脉石和杂质元素，因此对于品位不高、块料粒度不合理的铁矿石一般不能直接进入高炉进行冶炼。所以在铁矿石开采之后，需要将铁矿石磨细，并经选矿后制备出铁含量较高的精矿粉；同时由于高炉是一个逆向流动（原料和气流相对运动）的反应器，因此为了保证高炉内气流和物料的顺行，要求进入高炉内的矿石必须具有一定的粒度，所以需要对选矿后的精矿粉进行烧结。因此，一个现代化的钢铁联合企业，一般有以下生产环节：采矿、选矿、烧结、高炉炼铁、铁水预处理、转炉炼钢、二次精炼、连铸和轧钢等生产工艺过程（见图 0.1）。另外，随着废钢比例

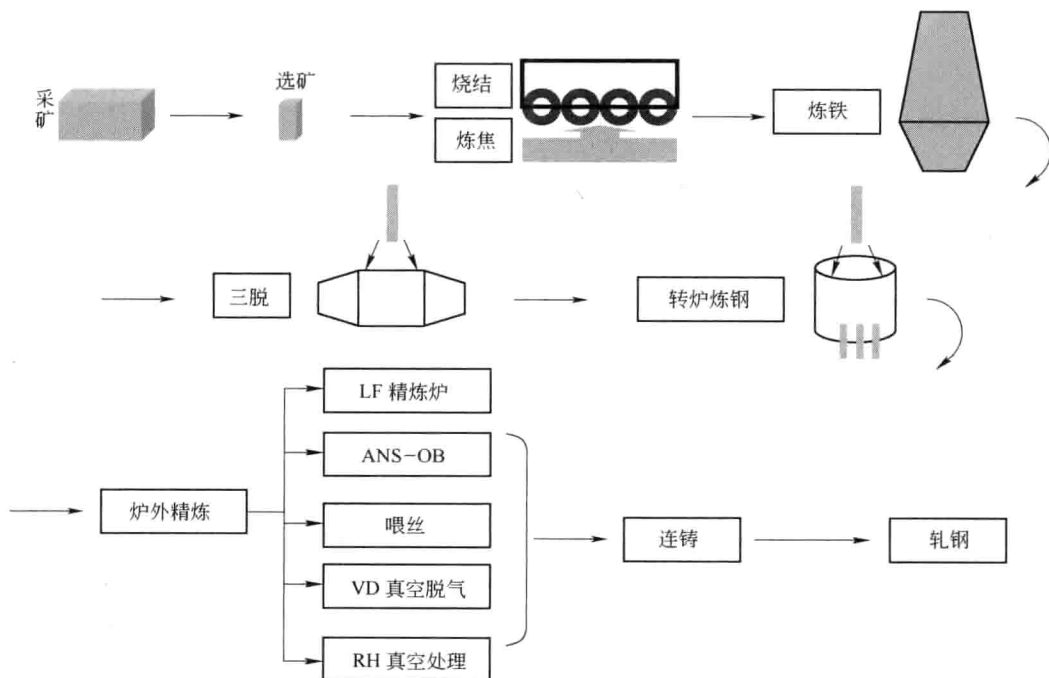


图 0.1 长流程钢铁冶金工艺示意图

的增加也出现了以废钢为主要原料,采用电炉融化后,经精炼炉二次精炼,进行连铸成坯,再轧制的生产工艺过程。后一工序对比前一工序具有生产流程短、工艺布置紧凑、生产周期短、生产效率高,但是生产品种比较单一的特点。目前我国后一工序(电炉)产钢量大约为 30%,所以我国仍然是以高炉/转炉炼钢为主的国家。由于前一工序的流程较长,因此也称为长流程炼钢;后一工序相对前一工序少了原料的加工处理,因此也称为短流程炼钢(见图 0.2)。

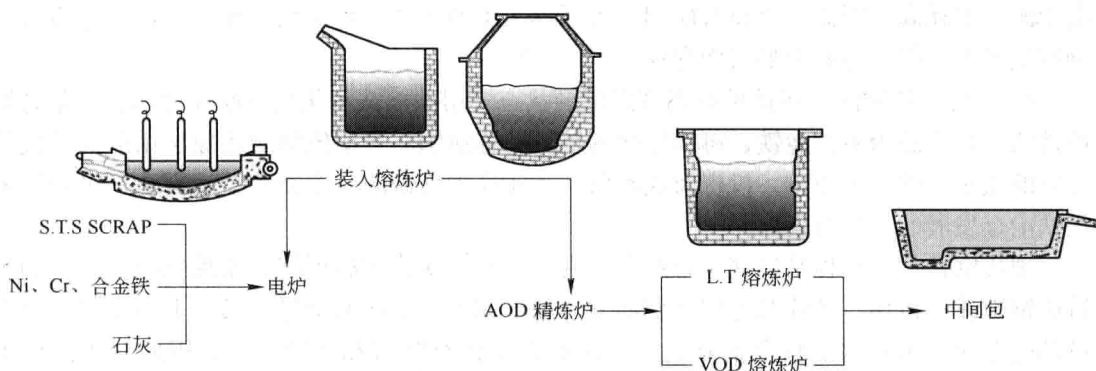


图 0.2 短流程钢铁冶金工艺示意图

在上述钢铁生产的环节中,采矿和选矿不涉及高温反应,所以在采矿和选矿中不涉及耐火材料的应用,而在以后的生产环节中,均有高温反应的发生,因此都需要使用耐火材料。所以本书将按钢铁冶金生产工艺过程分别介绍各生产环节中的窑炉所用耐火材料。