

高等学校规划教材
GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

耐火材料

(第2版)

薛群虎 徐维忠 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

高等学校规划教材

耐火材料

(第2版)

薛群虎 徐维忠 主编

北 京
冶金工业出版社
2009

内 容 提 要

本书详细阐述了各种耐火材料的组成、结构、性质及其应用,力求反映耐火材料在各方面的新发展。内容主要包括:耐火材料的组成、性质和检测方法,天然耐火材料和耐火熟料、熔块,氧化硅质耐火材料,硅酸铝质耐火材料,碱性及尖晶石质耐火材料,含碳耐火材料,含锆耐火材料,不定形耐火材料,绝热材料,特种耐火材料和耐火材料的应用等。

本书可作为无机非金属材料专业、硅酸盐工程专业、钢铁冶金专业、热能工程专业的教材,也可供从事耐火材料生产及应用的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

耐火材料/薛群虎,徐维忠主编.—2版.—北京:冶金工业出版社,
2009.9

高等学校规划教材

ISBN 978-7-5024-4802-8

I. 耐… II. ①薛… ②徐… III. 耐火材料—高等学校—教材
IV. TQ175.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 143073 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 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 杨 敏 美术编辑 李 新 版式设计 张 青

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4802-8

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

1992 年 5 月第 1 版,2009 年 9 月第 2 版,2009 年 9 月第 8 次印刷

787mm×1092mm 1/16;15.75 印张;414 千字;234 页;22001-25000 册

35.00 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	定价(元)
物理化学(第3版)(国规教材)	王淑兰 主编	35.00
传热学(本科教材)	任世铮 编著	20.00
热工测量仪表(国规教材)	张 华 等编	38.00
热工实验原理和技术(本科教材)	邢桂菊 等编	25.00
相图分析及应用(本科教材)	陈树江 等编	20.00
冶金原理(本科教材)	韩明荣 主编	40.00
传输原理(本科教材)	朱光俊 主编	42.00
冶金设备(本科教材)	朱 云 主编	49.80
物理化学(高职高专规划教材)	邓基芹 主编	28.00
物理化学实验(高职高专规划教材)	邓基芹 主编	19.00
无机化学(高职高专规划教材)	邓基芹 主编	33.00
无机化学实验(高职高专规划教材)	邓基芹 主编	18.00
无机材料工艺学	宋晓岚 等编著	69.00
耐火材料手册	李红霞 主编	188.00
镁质材料生产与应用	全 跃 主编	160.00
金属陶瓷的制备与应用	刘开琪 等编著	42.00
耐火纤维应用技术	张克铭 编著	30.00
化学热力学与耐火材料	陈肇友 编著	66.00
耐火材料厂工艺设计概论	薛群虎 等主编	35.00
刚玉耐火材料(第2版)	徐平坤 编著	59.00
特种耐火材料实用技术手册	胡宝玉 等编著	70.00
筑炉工程手册	谢朝晖 主编	168.00
非氧化物复合耐火材料	洪彦若 等著	36.00
滑板组成与显微结构	高振昕 等著	99.00
耐火材料新工艺技术	徐平坤 等编著	69.00
无机非金属实验技术	高里存 等编著	28.00
新型耐火材料	侯 谨 等编著	20.00
耐火材料显微结构	高振昕 等编著	88.00
复合不定形耐火材料	王诚训 等编著	21.00
耐火材料技术与应用	王诚训 等编著	20.00
钢铁工业用节能降耗耐火材料	李庭寿 等编著	15.00
工业窑炉用耐火材料手册	刘鳞瑞 等主编	118.00
短流程炼钢用耐火材料	胡世平 等编著	49.50

第2版前言

《耐火材料》自1992年出版以来多次印刷,深受广大师生及其他读者欢迎。为了反映近年来耐火材料在各方面的发展,编者对该书进行了修订,以补充新的内容。

随着冶金工业技术的快速发展和耐火材料生产技术的进步,各类新型高温炉窑对使用的耐火材料提出了越来越高的经济、环保、寿命等各项性能指标要求,在修订中对该部分内容作了大量补充,如高炉用耐火材料增加了“陶瓷杯”内容,炼钢用耐火材料增加了直流电弧炉、感应炉和炉外精炼用耐火材料等。此外,增加了建材工业用耐火材料的相关内容,对近年来发展起来的悬浮预热和窑外分解技术及新型干法水泥生产用耐火材料,玻璃、陶瓷行业用耐火材料作了详细介绍。

在结构上增编了“天然耐火材料和耐火熟料、熔块”一章,着重介绍了可直接作为耐火材料使用的天然岩石(如硅石、蜡石、蓝晶石族矿物等)、既可作为产品又可作为原料的耐火熟料(如烧结镁砂、烧结氧化铝、板状刚玉等)和耐火熔块(如熔融石英、电熔刚玉等)的结构、性质、特点和应用。这既增加了该书的耐火材料品种,又为介绍后续产品的生产打下了基础,并使该书的结构体系更加完整。

修订中补充完善了许多近年来新开发的耐火材料新品种、实验新方法和新标准的有关内容,如在含碳耐火材料中增加了碳复合耐火材料方面的内容,在特种耐火材料中对相关内容作了修改与补充。特种耐火材料的研究开发,近年来发展较快,主要表现在实验研究向纵深发展,使用数量不断扩大,应用水平日益提高,把新研究开发的成果和大量新的应用实践反映进来,以期跟上耐火材料生产、应用技术的不断发展并使该书内容更臻完善。

《耐火材料(第2版)》由西安建筑科技大学薛群虎和徐维忠担任主编。其中第1章、第2章由薛群虎、徐维忠编写,第3章由薛群虎编写,第6章、第8章由肖国庆、徐维忠编写,第7章由肖国庆、高云琴编写,第9章由武志红、徐维忠

编写,第10章由武志红编写,第5章、第11章由杨晓凤编写,第4章、第12章由高云琴编写。初稿经多次讨论修改,最后由薛群虎统稿,徐维忠审定。

参与修订工作的全体人员对杨慧振教授在原教材中所做的工作深表敬意。

本书在编写过程中得到了西安建筑科技大学材料学院、高温陶瓷研究所、粉体工程研究所、材料科学研究所、建筑材料研究所以及冶金工程学院的支持,各位同仁提供了许多资料,并提出了宝贵意见,在此一并致谢。

由于编者水平所限,不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2008年11月

第 1 版前言

本书是根据冶金工业部和中国有色金属工业总公司 1991 ~ 1995 年教材出版规划的要求,参照热能工程专业和钢铁冶金专业的教学大纲,兼顾两专业的需要编写的。书中以阐述耐火材料的性质为主,全面介绍各种常用耐火材料的组成、结构及与性质的关系,也提及原料及工艺因素对性质的影响和提高产品质量的途径。另外,还重点介绍耐火材料在钢铁和有色金属以及在热能工程中的应用。本书可作为热能工程专业和钢铁冶金专业的教材,在教学中可根据两专业的实际需要,对本书的一些重点内容作适当调整。本书也可作为硅酸盐工程专业的教学参考书,还可供从事耐火材料、钢铁冶金和热能工程的工作者参考。

本书由西安冶金建筑学院徐维忠主编。其中第一、二、五、六、七、八章由徐维忠编写;第三、四、九、十、十一章由昆明工学院杨慧振编写。初稿完成后,经华东冶金学院陆伯之教授、北京科技大学陈鸿复教授和重庆大学缪徵德副教授审查,提出了许多宝贵意见,并召开审稿会讨论,最后由编者根据审查意见修改定稿。本书在编写过程中得到设置热能工程专业和钢铁冶金专业的院校有关同志的支持,还得到西安冶金建筑学院和昆明工学院许多同志的帮助,特在此一并致以深切谢意。

本书虽经几次修改,但由于时间短促和编者的水平有限,缺点和错误在所难免,诚恳希望读者批评指正。

编 者
1991 年 6 月

目 录

1 概论	1
1.1 耐火材料的主要种类	1
1.1.1 按化学、矿物组成分类	2
1.1.2 按制造方法、制品性质、制品形状和尺寸、材料的应用等分类	2
1.2 耐火材料的一般生产过程	3
1.2.1 原料的加工	3
1.2.2 配料	4
1.2.3 泥料的混练	6
1.2.4 成型	6
1.2.5 干燥	6
1.2.6 烧成	7
1.2.7 非烧结制品的生产特点	8
1.3 耐火材料的主要用途和要求	8
1.3.1 耐火材料应用的主要领域	8
1.3.2 对耐火材料的基本要求	8
2 耐火材料的组成、性质和检测方法	10
2.1 耐火材料的化学、矿物组成和结构	10
2.1.1 化学组成	10
2.1.2 矿物组成	12
2.1.3 显微结构	14
2.2 耐火材料的宏观结构	14
2.2.1 耐火材料的宏观结构与气孔	14
2.2.2 耐火材料的气孔率、密度和吸水率	15
2.2.3 耐火材料的透气度	17
2.3 耐火材料的力学性质	18
2.3.1 常温耐压强度	19
2.3.2 高温耐压强度	19
2.3.3 抗折强度	20
2.3.4 蠕变	20
2.3.5 耐火材料的弹性模量	21
2.3.6 耐磨性	22
2.4 耐火材料的热学性质和导电性	22

2.4.1 热膨胀性	22
2.4.2 导热性	24
2.4.3 比热容	26
2.4.4 导温性	27
2.4.5 导电性	27
2.5 耐火材料的使用性质	27
2.5.1 耐火度	27
2.5.2 荷重软化温度	29
2.5.3 高温体积稳定性	31
2.5.4 抗热震性	31
2.5.5 抗渣性	34
2.5.6 耐真空性	39
2.5.7 耐火制品形状规整和尺寸的准确性	40
3 天然耐火材料和耐火熟料、熔块	41
3.1 天然耐火材料	41
3.1.1 硅质岩石	41
3.1.2 蜡石	42
3.1.3 蓝晶石族矿物	43
3.1.4 镁橄榄石	43
3.1.5 锆英石	44
3.1.6 铬铁矿	44
3.2 耐火熟料	45
3.2.1 耐火黏土熟料	45
3.2.2 高铝矾土熟料	47
3.2.3 烧结镁砂	49
3.2.4 烧结氧化铝	51
3.2.5 板状氧化铝	51
3.3 耐火熔块	52
3.3.1 熔融石英	52
3.3.2 电熔镁砂	53
3.3.3 电熔刚玉	53
4 氧化硅质耐火材料	56
4.1 SiO_2 的同素异晶转变	56
4.1.1 不同晶型之间的转变(迟钝型转变)	57
4.1.2 同一晶型亚态之间的转变(快速型转变)	57
4.2 硅砖生产	58
4.2.1 原料	58

4.2.2 硅砖生产的工艺流程	58
4.3 硅砖的性质和使用	59
4.3.1 化学矿物组成	59
4.3.2 真密度和体积密度	59
4.3.3 耐火度	59
4.3.4 荷重软化温度	60
4.3.5 高温体积稳定性	60
4.3.6 抗热震性	60
4.3.7 抗渣性	60
4.4 其他氧化硅质耐火制品	61
4.4.1 高密度高导热性硅砖	61
4.4.2 石英玻璃制品	61
5 硅酸铝质耐火材料	63
5.1 化学组成及相平衡	63
5.1.1 Al_2O_3 - SiO_2 系统状态图	63
5.1.2 杂质对组成的影响	64
5.2 黏土质耐火材料	64
5.2.1 黏土质耐火材料的生产	64
5.2.2 黏土质耐火材料的种类	65
5.2.3 黏土质耐火制品的性质	67
5.3 半硅质耐火材料	68
5.3.1 半硅质耐火材料的生产	69
5.3.2 半硅质耐火材料的性质	69
5.3.3 半硅质耐火材料的用途	69
5.4 高铝质耐火材料	70
5.4.1 高铝制品的生产	70
5.4.2 高铝质耐火材料的性质	70
5.4.3 高铝质耐火材料的种类及应用	71
5.5 硅线石族耐火材料	74
5.6 莫来石质耐火材料	75
5.6.1 烧结莫来石制品	75
5.6.2 熔铸莫来石制品	75
5.6.3 性能与应用	76
5.7 刚玉质耐火材料	77
5.7.1 烧结刚玉耐火材料	77
5.7.2 电熔刚玉耐火材料	78
5.7.3 刚玉质耐火材料的应用	79

6 碱性及尖晶石质耐火材料	80
6.1 镁质耐火材料	80
6.1.1 镁质耐火材料的主晶相	81
6.1.2 镁质耐火材料的结合相	82
6.1.3 各种镁质耐火材料的性质	87
6.1.4 镁质耐火材料的应用	94
6.2 白云石质耐火材料	95
6.2.1 含游离 CaO 的白云石耐火材料	95
6.2.2 稳定性白云石制品	100
6.3 镁橄榄石耐火材料	102
6.3.1 镁橄榄石耐火材料的主要组成	102
6.3.2 镁橄榄石耐火材料的生产特点	103
6.3.3 镁橄榄石耐火材料的性质与应用	103
6.4 尖晶石耐火材料	104
6.4.1 镁铝尖晶石质耐火材料	104
6.4.2 镁铬尖晶石耐火材料	106
7 含碳耐火材料	110
7.1 炭素耐火材料	110
7.1.1 炭砖生产的简要过程	110
7.1.2 炭砖的性质与应用	111
7.1.3 炭糊	111
7.2 石墨耐火制品	111
7.2.1 石墨黏土制品	112
7.2.2 其他石墨耐火制品	112
7.3 碳化硅耐火制品	112
7.3.1 碳化硅	113
7.3.2 碳化硅耐火制品	114
7.4 碳复合耐火材料	118
7.4.1 镁炭砖	119
7.4.2 铝碳质耐火材料	120
7.4.3 铝镁炭砖	121
7.4.4 镁钙炭砖	121
8 含锆质耐火材料	122
8.1 锆英石质耐火材料	122
8.1.1 锆英石	122
8.1.2 纯锆英石耐火制品	123

8.1.3 含锆英石的其他烧结耐火材料	125
8.2 锆质熔铸耐火制品	125
8.2.1 熔铸锆刚玉制品的矿物组成	125
8.2.2 熔铸锆刚玉耐火制品	127
9 不定形耐火材料	130
9.1 浇注耐火材料	131
9.1.1 浇注料用耐火原料	131
9.1.2 浇注料用结合剂	132
9.1.3 浇注料的外加剂	137
9.1.4 浇注料的配制与施工	138
9.1.5 浇注料的性质	140
9.1.6 浇注料的应用	140
9.1.7 新技术耐火浇注料	141
9.2 可塑耐火材料	144
9.2.1 可塑料的性质	145
9.2.2 可塑料的配制和使用	146
9.3 其他不定形耐火材料	146
9.3.1 捣打料	146
9.3.2 喷射耐火材料和投射耐火材料	148
9.3.3 耐火泥	150
10 绝热材料	152
10.1 绝热材料的主要特征和分类	152
10.1.1 绝热材料的主要特征	152
10.1.2 绝热材料的分类	152
10.2 轻质耐火材料的绝热条件	153
10.2.1 常温下轻质耐火材料的绝热条件	153
10.2.2 高温下轻质多相材料的导热性	155
10.2.3 气氛的影响	155
10.2.4 绝热材料的其他性能	156
10.3 多孔轻质耐火制品	158
10.3.1 多孔轻质耐火制品的生产	158
10.3.2 多孔轻质制品的性质	159
10.3.3 多孔绝热材料的应用	165
10.3.4 多孔绝热材料保存时应注意的事项	166
10.4 耐火纤维及其制品	166
10.4.1 耐火纤维的特点	166
10.4.2 耐火纤维的生产方法	167

10.4.3	耐火纤维的分类及使用温度	167
10.4.4	硅酸铝质耐火纤维	168
10.4.5	耐火纤维的应用	171
11	特种耐火材料	173
11.1	氧化物制品	174
11.1.1	氧化铝制品	175
11.1.2	氧化镁制品	176
11.1.3	氧化锆制品	178
11.1.4	氧化铍制品	178
11.1.5	氧化钙制品	180
11.1.6	氧化钍和氧化铀制品	181
11.2	难熔化合物	181
11.2.1	碳化物制品	181
11.2.2	氮化物制品	183
11.2.3	硅化物制品	184
11.2.4	硼化物制品	184
11.2.5	硫化物制品	185
11.3	金属陶瓷	185
11.4	高温无机涂层	187
12	耐火材料应用	189
12.1	耐火材料的选用	189
12.1.1	冶金炉窑对耐火材料的要求	189
12.1.2	耐火材料在使用中损毁的机理	189
12.1.3	耐火材料选用的原则	190
12.2	炼铁用耐火材料	190
12.2.1	高炉用耐火材料	190
12.2.2	焦炉用耐火材料	194
12.3	炼钢炉用耐火材料	195
12.3.1	炼钢转炉用耐火材料	195
12.3.2	电弧炉用耐火材料	197
12.3.3	感应炉用耐火材料	200
12.4	连铸用耐火材料	202
12.4.1	钢包用耐火材料	203
12.4.2	中间包用耐火材料	203
12.4.3	滑动水口用耐火材料	204
12.4.4	连铸“三大件”	204
12.4.5	定径水口	205

12.5 炉外精炼用耐火材料	205
12.5.1 AOD(氩氧脱碳精炼)炉用耐火材料	206
12.5.2 VOD 精炼钢包用耐火材料	206
12.5.3 LF 精炼钢包用耐火材料	207
12.5.4 ASEA-SKF 精炼钢包用耐火材料	207
12.5.5 RH 真空脱气炉用耐火材料	207
12.5.6 DH 真空脱气炉用耐火材料	208
12.6 轧钢系统用耐火材料	208
12.6.1 均热炉用耐火材料	208
12.6.2 连续加热炉用耐火材料	209
12.7 铜冶炼炉用耐火材料	210
12.7.1 冰铜熔炼炉用耐火材料	210
12.7.2 转炉用耐火材料	213
12.8 铅、锌熔炼炉用耐火材料	214
12.8.1 铅鼓风炉用耐火材料	214
12.8.2 铅锌密闭鼓风炉用耐火材料	215
12.8.3 竖罐炼锌蒸馏炉及精馏炉用耐火材料	216
12.9 锡熔炼炉用耐火材料	218
12.9.1 锡熔炼反射炉用耐火材料	218
12.9.2 澳斯麦特炉用耐火材料	219
12.10 铝工业炉用耐火材料	220
12.10.1 生产氧化铝用耐火材料	220
12.10.2 铝电解槽用耐火材料	221
12.10.3 铝熔炼炉和保温炉用耐火材料	222
12.10.4 铝水罐用耐火材料	223
12.11 蒸汽锅炉用耐火材料	223
12.11.1 普通锅炉用耐火材料	223
12.11.2 发电锅炉用耐火材料	224
12.11.3 循环流化床锅炉用耐火材料	225
12.12 建材工业用耐火材料	226
12.12.1 水泥窑用耐火材料	226
12.12.2 陶瓷工业用耐火材料	227
12.12.3 玻璃窑用耐火材料	228
12.13 热工设备中耐火材料的砌筑、烘烤与加热	228
12.13.1 炉窑砌砖的要求和一般原则	228
12.13.2 热工设备的烘烤与加热	229
12.14 耐火材料的运输与保管	232

参考文献	233
------------	-----

1 概 论

耐火材料一般是指主要由无机非金属材料构成的且耐火度不低于1580℃的材料和制品。耐火度是指材料在高温作用下达到特定软化变形程度时的温度,它标志材料抵抗高温作用的性能。

耐火材料是为高温技术服务的基础材料。它与高温技术尤其是高温冶炼工业的发展有密切关系,相互依存,互为促进,共同发展。在一定条件下,耐火材料的质量品种对高温技术的发展起着关键作用。

在钢铁冶炼一百多年的发展过程中,每一次重大演变都有赖于耐火材料新品种的开发。碱性空气转炉应用成功的关键之一是由于开发了白云石质耐火材料;平炉应用成功的一个重要因素是具有高荷重软化温度的硅砖的问世;耐急冷急热的镁铬砖的发明促进了全碱性平炉的发展。近年来,钢铁冶炼新技术,如大型高炉高风温热风炉、复吹氧气转炉、铁水预处理和炉外精炼、连续铸钢等,都无例外地有赖于优质高效耐火材料的开发。另外,耐火材料在节能方面也作出了重要贡献,如各种优质隔热耐火材料、陶瓷换热器、无水冷滑轨、陶瓷喷射管和高温涂料等的开发,都在高温节能技术方面发挥了重要作用。现代冶炼技术的发展和节约能源的形势,既对耐火材料提出了更严格的要求,又必须借助于新品种优质耐火材料的成功及发展。其他高温技术的发展也同样需要开发相应的优质耐火材料。因此,从事高温技术的工作者,必须十分重视耐火材料的技术开发,使它能与钢铁冶炼和其他高温技术同步发展,并力求先行一步。

我国耐火原料资源丰富,品种多,储量大,品位高。高铝矾土和菱镁矿蕴藏量大,品质优良,世界著名;耐火黏土、硅石、白云石和石墨等储量多,分布广,品质好;叶蜡石、硅线石、橄榄石和锆英石等储量也多;隔热耐火材料的各种原料,各地都有储藏。另外,我国漫长的海岸线和内陆湖泊均蕴藏有大量的镁质原料资源。近年来,在提高耐火原料质量和人工合成原料方面,又取得了较为显著的成就。

我国不仅有发展各种优质耐火材料的资源优势,还有生产耐火材料的悠久历史。新中国成立以来,随着科学技术和工业水平的提高,为了适应金属冶炼和其他高温技术工业以及热能工程的需求,我国耐火材料工业有了重大的发展。新建了许多优质耐火材料生产厂和有关机构;开发出许多优质耐火材料新品种;2006年全国30个省市自治区1505家企业生产各类耐火材料总量已达3243万t,多年稳居世界第一生产大国。其中国内消耗总量占总产量的60%~70%,出口量占总产量的30%~40%。国内消耗部分钢铁冶金工业消耗量约占60%~70%。

今后,我国耐火材料的发展应依靠科学技术的进步和整体工业水平的提高,加强生产技术的管理,以材料的质量和品种为中心,继续提高原料质量,发展合成原料,改进生产装备,全面提高产品质量和改善性能,积极开发优质新品种,合理利用和提高耐火材料使用寿命,进一步降低消耗,保证和促进高温技术工业和热能工程以及国民经济的发展。

1.1 耐火材料的主要种类

耐火材料的种类很多,为了便于研究、生产和选用,通常按其共性与特性划分类别。其中按材料的化学、矿物组成分类是一种常用的基本分类方法。也常按材料的制造方法、材料的性质、材料的形状尺寸、材料的应用等来分类。

1.1.1 按化学、矿物组成分类

按化学、矿物组成的不同,耐火材料主要有以下几类:

(1)氧化硅质耐火材料。是以 SiO_2 为主要成分的耐火材料,主要的品种有各种硅砖和石英玻璃制品。

(2)硅酸铝质耐火材料。是以 Al_2O_3 和 SiO_2 为基本化学组成的耐火材料。根据制品中 Al_2O_3 和 SiO_2 含量分为三类:半硅质耐火材料、黏土质耐火材料和高铝质耐火材料。高铝质耐火材料又分为三等,即 I 等高铝、II 等高铝和 III 等高铝制品。

硅酸铝质耐火材料亦可按矿物组成命名分类,如莫来石制品、刚玉莫来石制品;还可按所用原料命名分类,如硅线石制品、红柱石制品、蓝晶石制品。

(3)刚玉质耐火材料。是以 Al_2O_3 为基本化学组成、以刚玉相为主晶相的耐火材料。

(4)镁质耐火材料。是以 MgO 为主要成分和以方镁石为主要矿物构成的耐火材料,依其次要的化学和矿物组成的不同有以下品种:镁砖、镁铝砖、镁硅砖、镁钙砖、镁铬砖、镁炭砖和镁白云石砖。此外,还有冶金镁砂。

(5)白云石质耐火材料。是一类以氧化钙 ($w(\text{CaO}) = 40\% \sim 60\%$) 和氧化镁 ($w(\text{MgO}) = 30\% \sim 42\%$) 为主要成分的耐火材料。其主要品种有:焦油白云石砖、烧成油浸白云石砖、烧成油浸半稳定性白云石砖、烧成稳定性白云石砖、轻烧油浸白云石砖和冶金白云石砂。

(6)橄榄石质耐火材料。是一种 $w(\text{MgO}) = 35\% \sim 62\%$, MgO/SiO_2 (质量比) 波动于 $0.95 \sim 2.00$, 由镁橄榄石为主要矿物组成的耐火材料。

(7)尖晶石质耐火材料。是一类主要由尖晶石组成的耐火材料。主要品种有由铬尖晶石构成的铬质制品 ($w(\text{Cr}_2\text{O}_3) \geq 30\%$), 由铬尖晶石、方镁石构成的铬镁质制品 ($w(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 18\% \sim 30\%$, $w(\text{MgO}) = 25\% \sim 55\%$) 和由镁铝尖晶石构成的制品。

(8)含碳质耐火材料。这类材料中均含有一定数量的碳或碳化物。主要品种有由无定形碳构成的炭砖或炭块;由石墨构成的石墨制品;由碳化硅构成的碳化硅制品;由碳纤维及碳纤维与树脂或其他炭素材料复合为整体构成的材料。

(9)含锆质耐火材料。这类材料中均含有一定数量的氧化锆。常用的品种有以锆英石为主要成分的锆英石质制品,以氧化锆和刚玉或莫来石构成的锆刚玉和锆莫来石制品,以及以氧化锆为主要组成的纯氧化锆制品。

(10)特殊耐火材料。是一类由较纯的难熔的氧化物、碳化物、硅化物和硼化物以及金属陶瓷构成的耐火材料。

前三类耐火材料是指 Al_2O_3 - SiO_2 二元系所包含的全部耐火材料品种。

1.1.2 按制造方法、制品性质、制品形状和尺寸、材料的应用等分类

1.1.2.1 按耐火材料的制造方法分类

除天然矿石切割加工外,人造制品常根据其成型特点分为定形制品和不定形材料。依热处理方式不同分为不烧制品、烧成制品和熔铸制品。其中定形烧成制品长期以来一直是生产与使用最普遍的耐火材料。但是,近年来,不定形耐火材料得到了快速发展。

1.1.2.2 按制品性质分类

评价耐火材料质量的高低主要以其性质优劣为据,故耐火材料也常以其性质不同划分类别。

其中依其耐火度的高低分为三类:普通耐火制品,耐火度 $1580 \sim 1770^\circ\text{C}$;高级耐火制品,耐火度 $1770 \sim 2000^\circ\text{C}$;特级耐火制品,耐火度 2000°C 以上。

依其化学性质可分为酸性耐火材料、中性耐火材料和碱性耐火材料。酸性耐火材料是指以 R^{+} 离子构成的氧化物为主成分的耐火材料,如 SiO_2 、 ZrO_2 等;中性耐火材料是指以 R^{3+} 离子构成的氧化物或单质为主成分的耐火材料,如 Cr_2O_3 、 Al_2O_3 、C 等;碱性耐火材料是指以 R^{2+} 离子构成的氧化物为主成分的耐火材料,如 CaO 、 MgO 等。

耐火材料按化学性质分类具有实际应用价值。一般来说在热工设备设计选材时,尽量避免酸性耐火材料与碱性耐火材料在高温下直接接触使用,或者采用中性材料将酸性耐火材料与碱性耐火材料隔开使用。尽量选择耐火材料使用环境的化学性质与耐火材料的化学性质相同。

依其密度或导热性可分为重质耐火材料和轻质耐火材料或隔热耐火材料。其他如依抗蠕变性、抗热震性、耐磨性和抗渣性等都可划分为若干类别。

1.1.2.3 按制品形状和尺寸分类

耐火材料按制品形状和尺寸可分为标准砖、异型砖、特异型砖等制品。在同材质制品中,标型、异型、特异型砖生产所用原料、工艺、产品理化性能指标完全一致。形状复杂或尺寸大的异型、特异型制品,适应炉窑上使用的需要,但制品生产较困难,因而售价较高。

按照不同的形状和尺寸,耐火产品有不同的砖号,每种砖号的形状和尺寸是确定的。在热工设计选定砖号后,订货时只需向制造商提供砖号,不需要再提供砖型尺寸图。如需订购与规定的砖号和形状不相符,自行设计的形状和尺寸的耐火材料,订货时必须提供相应的砖型尺寸图。

1.1.2.4 依其应用分类

耐火材料依其应用可分为焦炉用耐火材料、高炉用耐火材料、炼钢炉用耐火材料、连铸用耐火材料、有色金属冶炼用耐火材料、水泥窑用耐火材料、玻璃窑用耐火材料等。

依应用分类,每类耐火材料又有不同的产品牌号。每种牌号的产品理化性能指标要求是确定的。如玻璃窑用硅砖,按理化指标分为 BG-96、BG-95、BG-94 三种牌号。每种牌号对应有不同理化指标和外形尺寸要求,用户可根据要求选取。

牌号可作为生产商向用户交货验收的依据。如果某牌号满足用户要求,用户订货时只需提供牌号即可,不再罗列理化指标要求。如用户订货除满足牌号理化指标和外形尺寸要求外,还要其他特殊要求,需在订货合同中注明。

1.2 耐火材料的一般生产过程

耐火材料的品种和质量取决于耐火材料的原料和其生产工艺。在原料确定的情况下,耐火材料的生产工艺方法与制度是否正确与合理,对耐火制品的质量影响极大。耐火材料的特定性能的控制,必须通过特定的工艺手段来实现。因此,耐火材料的生产者必须精于此道;使用者欲能正确选用具有某一特性的耐火材料,使其物尽其用,也必须对耐火材料的生产工艺有所了解。

定形烧成耐火制品的一般生产工艺流程如下:

原料的加工→配料→混练→成型→干燥→烧成→拣选→成品。

1.2.1 原料的加工

原料的质量是耐火材料质量的基本保证。要发展优质高效的耐火制品,必须有纯净的、质量均一和性质稳定的原料。因此,选取适宜作为耐火材料原料的天然矿石,开采后必须再经过加工。

原料的加工主要包括原料的精选提纯、均化或合成;原料的干燥和煅烧;原料的破粉碎和分级。