

工业窑炉用

耐火材料手册

刘麟瑞 林彬荫 主编

冶金工业出版社



ISBN 7-5024-2730-9



9 787502 427306 >

ISBN 7-5024-2730-9

TQ·111 定价118.00元

工业窑炉用耐火材料手册

刘麟瑞 林彬荫 主编

北 京

冶金工业出版社

2001

内 容 提 要

《工业窑炉用耐火材料手册》介绍了耐火材料基本知识、耐火材料新产品、新技术和新工艺,耐火材料及相关行业的规范性文件和标准资料等。同时又详细介绍了各工业窑炉的分类与构造,工业窑炉各部位的工作环境与选材要求,工业窑炉各部位用耐火材料等。

本《手册》可供冶金、化工、建材和窑业等专业技术人员使用,也可供大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业窑炉用耐火材料手册/刘麟瑞等主编. —北京:
冶金工业出版社, 2001. 6
ISBN 7-5024-2730-9

I. 工… II. 刘… III. 工业窑炉—耐火材料—手册 IV. TQ175.6-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 14783 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 章秀珍 美术编辑 王耀忠 责任校对 符燕蓉 责任印制 李玉山

北京梨园彩印厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2001 年 6 月第 1 版, 2001 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 47.5 印张; 1151 千字; 748 页; 1-3000 册

118.00 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)

前 言

在人类跨入 21 世纪之际,我国钢铁工业和耐火材料工业进入了产业结构调整 and 升级的大发展时期。可以预见,本世纪人们将更加注重技术创新和知识的积累。为了使工业窑炉、耐火材料工作者及时、方便地了解耐火材料科学技术的新发展,我们编写了《工业窑炉用耐火材料手册》一书。全书内容包括:第一篇筑炉用耐火材料:耐火材料的组成、性质;氧化硅质耐火材料;硅铝系耐火材料;碱性耐火材料;含碳耐火材料;特殊耐火材料;不定形耐火材料;隔热耐火材料;第二篇钢铁冶金用炉:高炉用耐火材料;球团竖炉、烧结机用耐火材料;熔融还原炉用耐火材料;炼钢炉用耐火材料;连铸用耐火材料;轧钢、锻造用炉与耐火材料;退火炉及其他炉用耐火材料;第三篇重有色冶金用炉:回转窑;沸腾焙烧炉;反射炉;鼓风机;转炉;连续吹炼炉;电炉;竖罐炼锌蒸馏及精馏炉;新型冶炼炉;第四篇窑炉用耐火材料:玻璃池窑、烧成窑用耐火材料;煅烧、焙烧窑炉用耐火材料;第五篇化学工业用炉:焦炉用耐火材料;石油化工用炉与耐火材料等。

此外,附录中还编入了瓶罐池窑用耐火材料,400~500t/d 浮化玻璃生产线配套用耐火材料等。

本书由刘麟瑞、林彬荫主编,具体编写者(以姓氏笔画为序)如下:

马立科、马春生、王亚枫、王克楨、王慧英、刘宝忠、刘麟瑞、安绍勤、李凤兰、李业博、张吉臣、张振民、何玉林、何凤岐、林彬荫、侯万升、徐惠华、高桂兰、萧治彭、温华洪、彭华。

本钢、齐钢、中国钢铁炉料东北公司、武汉冶金科技大学、洛阳耐火材料研究院和牡丹江耐火材料厂的同志参加了本书的编写工作,因此本书可以说是用户、生产厂家、大专院校和科研部门联袂合作的作品。本书从实用出发,介绍了现行国际标准、国家标准、行业(部)标准、企业标准和一些外国先进标准。书中所用标准力求其新(其中个别 20 世纪 80 年代标准均系新认定的现行标准)。但是,新与旧是相对的,随着工业的发展,技术的进步,标准要相应地修订,也将不断有新标准颁布,请读者注意标准的变化。

由于我们水平有限,且经验不足,加之时间比较仓促,本书在内容和编排上可能会有错误和疏漏之处,恳切期待读者的批评指正。

编 者

2001 年 6 月

目 录

第一篇 筑炉用耐火材料..... (1)	二、粘土砖的技术指标 (37)
第一章 概述..... (1)	三、工业窑炉用粘土砖 (38)
第一节 耐火材料的化学矿物	第五节 高铝质耐火材料 (42)
组成..... (1)	一、高铝质耐火制品的性质 (42)
一、化学组成 (2)	二、高铝砖的技术指标 (43)
二、矿物组成 (3)	三、高铝质耐火材料的发展 (51)
第二节 耐火材料的性质..... (5)	第三章 碱性耐火材料 (55)
一、结构性质 (5)	第一节 镁质耐火材料 (55)
二、热学性质 (7)	一、镁质耐火材料的理论基础 (55)
三、耐火材料的力学性质 (9)	二、镁砖及镁硅砖 (57)
四、耐火材料的使用性能..... (13)	三、镁铝砖 (58)
五、耐火材料的作业性 (20)	四、镁铬砖 (61)
第三节 耐火制品的牌号及	五、镁钙砖 (63)
分型 (23)	六、冶金镁砂 (63)
一、耐火制品的牌号、砖号 (23)	第二节 白云石质耐火材料 (65)
二、耐火制品的分型 (23)	一、白云石砖 (66)
第二章 硅铝系耐火材料 (25)	二、镁白云石砖 (66)
第一节 Al_2O_3 - SiO_2 系耐火材料的	第三节 镁橄榄石质耐火材料 ... (69)
组成 (25)	第四章 含碳耐火材料 (70)
一、 Al_2O_3 - SiO_2 二元系统相图 (25)	第一节 碳质制品 (70)
二、 Al_2O_3 - SiO_2 系耐火材料组成 ... (26)	一、碳砖 (70)
第二节 硅质耐火材料 (29)	二、碳砖的性质 (70)
一、硅砖的一般特性 (29)	三、碳砖的应用 (71)
二、硅砖的技术指标 (29)	四、高炉用碳砖的损毁过程及损毁
三、工业窑炉用硅砖技术条件 (31)	机理..... (71)
第三节 半硅砖 (36)	五、高炉炭块的技术指标..... (72)
第四节 粘土质耐火材料 (36)	第二节 石墨质耐火制品 (73)
一、粘土质制品的性质 (37)	一、石墨粘土制品 (73)

第三节 碳复合耐火材料 …… (76)	第七章 不定形耐火材料 …… (108)
一、碳复合耐火材料的分类及 显微结构特点 …… (76)	第一节 耐火浇注料 …… (108)
二、生产碳复合耐火材料的 炭素原料及结合剂 …… (77)	一、浇注料的特性 …… (108)
三、碳复合耐火材料的生产 和应用 …… (78)	二、浇注料的应用 …… (110)
四、镁钙碳质耐火材料 …… (84)	第二节 耐火可塑料 …… (111)
五、铝碳质耐火材料及应用 …… (86)	一、可塑料的性质 …… (112)
六、铝镁碳砖 …… (90)	二、可塑料的配制和应用 …… (113)
第四节 碳化硅耐火制品 …… (91)	第三节 其他不定形 耐火材料 …… (114)
一、氧化物结合的碳化硅制品 …… (91)	一、捣打料 …… (114)
二、氮化物结合的碳化硅制品 …… (92)	二、喷射料和投射料 …… (116)
三、自结合(再结合)碳化硅 制品 …… (93)	三、耐火泥 …… (118)
四、半碳化硅质制品 …… (94)	第八章 隔热耐火材料 …… (120)
五、碳化硅质制品的用途 …… (94)	第一节 隔热耐火制品 …… (120)
第五章 特殊耐火材料 …… (95)	一、氧化铝空心球砖 …… (121)
第一节 氧化物制品 …… (95)	二、氧化锆空心球砖 …… (122)
一、氧化铝制品 …… (95)	三、氧化铝隔热砖 …… (122)
二、氧化镁制品 …… (96)	四、高铝质隔热砖 …… (122)
三、氧化锆制品 …… (97)	五、莫来石质隔热砖 …… (123)
四、氧化钙制品 …… (98)	六、粘土质隔热砖 …… (124)
第二节 碳化物、氮化物、硅化 物、硼化物、硫化物及 其制品 …… (98)	七、硅藻土隔热砖 …… (125)
一、碳化物 …… (98)	八、硅质隔热砖 …… (126)
二、氮化物制品 …… (99)	九、膨胀蛭石制品 …… (126)
三、硼化物 …… (99)	十、膨胀珍珠岩制品 …… (127)
四、硅化物制品 …… (100)	十一、漂珠砖 …… (127)
五、硫化物 …… (100)	十二、硅钙板 …… (128)
第三节 金属陶瓷 …… (100)	十三、硅质绝热板 …… (129)
第六章 含锆耐火制品 …… (101)	十四、镁质绝热板 …… (130)
一、锆英石原料的性质 …… (101)	第二节 耐火纤维 …… (130)
二、锆英石砖的技术要求 …… (101)	一、耐火纤维的分类 及使用温度 …… (130)
三、锆英石砖的应用 …… (101)	二、耐火纤维的特性 …… (131)
四、AZS熔铸砖 …… (105)	三、耐火纤维制品 …… (133)
五、AZS再烧结电熔砖 …… (106)	第二篇 钢铁冶金炉用耐火材料 …… (136)
六、锆莫来石熔铸砖 …… (107)	第九章 高炉 …… (136)
	第一节 高炉本体 …… (136)
	一、高炉的构造 …… (137)
	二、高炉各部位工作环境 …… (152)

三、高炉用耐火材料····· (154)	四、真空循环脱气炉····· (270)
第二节 热风炉····· (180)	五、真空提升脱气炉····· (274)
一、热风炉的构造····· (180)	六、钢桶真空电弧加热脱气炉··· (277)
二、热风炉各部位的工作环境··· (186)	七、桶底吹氩炉····· (280)
三、热风炉用耐火材料····· (188)	第四节 混铁炉、混铁车····· (281)
第十章 球团竖炉、烧结机····· (195)	一、混铁炉····· (281)
第一节 球团竖炉····· (195)	二、混铁车····· (285)
一、球团竖炉的构造····· (195)	第五节 盛钢桶····· (289)
二、球团竖炉各部位工作环境··· (195)	一、盛钢桶的构造····· (290)
三、竖炉用耐火材料····· (197)	二、盛钢桶的工作环境····· (290)
第二节 烧结机····· (197)	三、盛钢桶用耐火材料····· (291)
一、烧结机的构造····· (197)	第十三章 连铸····· (300)
二、烧结机各部位的工作环境··· (209)	第一节 盛钢桶用耐火材料····· (300)
三、烧结机系统用耐火材料····· (211)	一、盛钢桶的构造····· (301)
第十一章 熔融还原炉····· (214)	二、盛钢桶的工作环境····· (301)
第一节 熔融还原炉的构造····· (214)	三、盛钢桶用耐火材料····· (301)
一、熔融还原法的分类····· (214)	第二节 长水口用耐火材料····· (314)
二、熔融还原炉的结构····· (214)	一、长水口的构造····· (314)
第二节 熔融还原炉各部位工作 环境····· (220)	二、长水口的工作环境····· (314)
一、预还原炉····· (220)	三、长水口用耐火材料····· (315)
二、终还原炉····· (220)	第三节 中间罐用耐火材料····· (317)
第三节 熔融还原炉对耐火材料 的要求····· (220)	一、中间罐的构造····· (317)
一、熔融还原炉的选材····· (220)	二、中间罐的工作环境····· (318)
二、熔融还原炉用耐火材料····· (220)	三、中间罐用耐火材料····· (319)
第十二章 炼钢炉····· (223)	第四节 浸入式水口 用耐火材料····· (327)
第一节 转炉····· (223)	一、浸入式水口的构造····· (327)
一、转炉的构造····· (225)	二、浸入式水口的工作环境····· (329)
二、转炉各部位的工作环境····· (228)	三、浸入式水口用耐火材料····· (329)
三、转炉用耐火材料····· (231)	第十四章 轧钢、锻造用炉····· (333)
第二节 电炉····· (242)	第一节 均热炉····· (333)
一、电炉的构造····· (243)	一、均热炉的构造····· (333)
二、电炉各部位的工作环境····· (245)	二、均热炉的工作环境 及耐火材料的选择····· (335)
三、电炉用耐火材料····· (247)	第二节 加热炉····· (338)
第三节 炉外精炼炉····· (258)	一、推钢式连续加热炉····· (339)
一、氩氧脱碳炉····· (258)	二、步进式加热炉····· (363)
二、真空吹氧脱碳炉····· (263)	三、转底式加热炉····· (374)
三、钢包炉····· (266)	四、快速加热炉····· (387)

五、感应加热炉	(394)	温度	(476)
第三节 锻造炉	(401)	一、焙烧温度的控制	(476)
一、锻造炉炉型及构造	(401)	二、焙烧温度的选择	(476)
二、锻造炉的工作环境	(406)	第三节 沸腾焙烧炉结构	(477)
三、锻造炉用耐火材料	(407)	一、炉体	(477)
第十五章 退火炉及其他炉	(411)	二、炉体结构和耐火材料	(478)
第一节 退火炉	(411)	三、沸腾焙烧炉外壳保温	
一、冷轧钢板退火炉	(411)	材料与措施	(479)
二、线材退火炉	(416)	第十八章 铜熔炼反射炉	(480)
三、钢管、棒材退火炉	(420)	第一节 铜熔炼反射炉	(480)
四、铸件退火炉	(421)	一、铜精矿熔炼反射炉	(480)
第二节 渗碳炉	(427)	二、熔炼反射炉的构造	(480)
一、渗碳炉的构造	(428)	第二节 铜精炼反射炉	(485)
二、渗碳炉的工作环境	(432)	一、熔炼产物和耐火材料的	
三、渗碳炉用耐火材料	(433)	使用条件	(485)
第三节 热处理炉	(434)	二、炉体结构	(486)
一、热处理工艺要求	(434)	三、铜精炼炉的发展近况	(489)
二、热处理炉分类	(434)	第三节 熔锌反射炉	(490)
三、热处理炉的构造	(435)	一、熔锌反射炉的用途和操作	(490)
四、热处理炉的工作环境	(452)	二、熔锌反射炉的构造	(492)
五、热处理炉用耐火材料	(453)	第四节 锡精矿熔炼反射炉	(492)
第四节 干燥炉	(454)	一、炼锡反射炉的用途	(492)
一、干燥炉的构造	(454)	二、锡精矿熔炼反射炉的构造	(493)
二、干燥炉的工作环境	(460)	三、熔炼产物和耐火材料的工作	
三、干燥炉用耐火材料	(461)	条件	(494)
第五节 冲天炉	(461)	第五节 反射炉主要	
一、冲天炉的构造	(462)	结构参数	(495)
二、冲天炉的工作环境	(466)	一、国内熔炼反射炉主要结构	
三、冲天炉用耐火材料	(466)	参数	(495)
第三篇 重有色金属冶金炉用		二、国内精炼反射炉主要结构	
耐火材料	(472)	参数	(498)
第十六章 回转窑	(472)	第十九章 鼓风炉	(500)
第一节 回转干燥窑	(473)	第一节 铅鼓风炉	(500)
第二节 挥发回转窑	(474)	第二节 铅锌密闭鼓风炉	(501)
第三节 其他各种回转窑	(475)	第三节 铜鼓风炉	(502)
第十七章 沸腾焙烧炉	(476)	第二十章 转炉	(503)
第一节 沸腾焙烧炉的应用	(476)	第一节 冶炼铜镍转炉	(503)
第二节 沸腾焙烧炉的操作		第二节 冶炼金银转炉	(505)
		第二十一章 连续吹炼炉	(507)

第一节 连续吹炼炉的应用 和优缺点..... (507)	第三节 氧气底吹炼铅转炉..... (537)
第二节 炉体构造..... (507)	一、炉型与工艺 (537)
一、炉底 (507)	二、反应器内衬的设计 (540)
二、炉墙 (507)	第四节 诺兰达炉..... (542)
三、炉顶 (508)	一、诺兰达炉的特点 (543)
四、其他 (508)	二、炉衬寿命及耐火材料选择 ... (544)
第二十二章 电炉..... (509)	三、炉衬砌筑施工 (546)
第一节 铜精矿及镍精矿熔炼 电炉..... (509)	四、升温曲线 (546)
一、熔炼电炉的炉型 (509)	第四篇 窑炉用耐火材料..... (547)
二、炉体结构 (509)	第二十五章 建材工业窑炉..... (547)
第二节 锡精矿熔炼电炉..... (513)	第一节 玻璃池窑..... (547)
一、炼锡电炉的应用 (513)	一、玻璃池窑的分类 (547)
二、炉体构造 (513)	二、玻璃池窑的工作环境 (548)
第三节 贫化电炉及电热 前床..... (515)	三、玻璃池窑用耐火材料 (550)
第四节 感应电炉..... (516)	第二节 坩埚窑..... (557)
第二十三章 竖罐炼锌蒸馏及精 馏炉..... (519)	第三节 水泥烧成窑..... (558)
第一节 竖罐蒸馏炉..... (519)	一、立窑 (558)
第二节 塔式精馏炉..... (521)	二、回转窑 (563)
第三节 塔盘型号..... (522)	第四节 陶瓷烧成窑..... (573)
一、蒸发盘 (522)	一、陶瓷烧成窑分类 (573)
二、回流盘 (522)	二、陶瓷窑用耐火材料 (579)
第四节 供热系统..... (523)	第二十六章 耐火材料烧成窑..... (583)
一、燃烧室 (523)	一、耐火材料烧成窑分类 (583)
二、换热室 (524)	二、耐火材料烧成窑的结构及工作 环境 (584)
第二十四章 新型冶炼炉..... (525)	三、耐火材料烧成窑用 耐火材料 (599)
第一节 闪速炉..... (525)	第二十七章 煨烧、焙烧窑炉..... (603)
一、精矿喷嘴 (525)	第一节 耐火制品用原料煨 烧窑..... (603)
二、反应塔 (527)	一、耐火原料 (603)
三、沉淀池 (527)	二、耐火原料煨烧窑的构造 (607)
四、上升烟道 (528)	三、耐火原料煨烧窑的 工作环境 (619)
五、电热贫化区 (529)	四、耐火原料煨烧窑用 耐火材料 (621)
六、我国闪速炉耐火 材料的选用 (529)	第二节 石灰煨烧窑..... (622)
七、闪速炉的烘炉 (531)	一、石灰煨烧窑的构造 (623)
第二节 白银炉..... (535)	

二、石灰煅烧窑的工作环境 …… (634)	一、一段转化炉类型和结构 …… (686)
三、石灰煅烧窑用耐火材料 …… (634)	二、炉子各部砌筑结构与常
第三节 炭素窑炉 …… (635)	用耐火材料 …… (686)
一、原料煅烧设备类型 …… (635)	三、二段转化炉 …… (695)
二、炭素制品焙烧炉 …… (641)	四、转化炉工作环境 …… (699)
三、石墨化炉 …… (642)	第三节 烃类裂解炉 …… (701)
四、炭素窑炉用耐火材料 …… (645)	一、管式裂解炉炉型和结构 …… (701)
第五篇 化学工业用炉 …… (648)	二、裂解炉衬里结构和
第二十八章 焦炉 …… (648)	耐火材料 …… (708)
第一节 焦炉炉体结构 …… (648)	三、裂解炉的工作环境 …… (711)
第二节 炼焦炉对耐火材料的基	第四节 气化炉 …… (711)
本要求 …… (649)	一、气化炉的结构 …… (712)
第三节 焦炉用主要耐火	二、气化炉衬里结构和
材料 …… (652)	常用耐火材料 …… (714)
一、硅砖 …… (652)	三、气化炉工作环境 …… (721)
二、粘土砖 …… (658)	第五节 废物焚烧炉 …… (721)
三、高铝砖 …… (659)	一、焚烧炉的类型和
四、镁铝砖 …… (660)	结构 …… (722)
五、耐火泥 …… (660)	二、焚烧炉炉衬的选材和结构 …… (729)
六、耐火混凝土 …… (661)	三、废物焚烧炉工作环境
第二十九章 石油化工用炉 …… (665)	和要点 …… (732)
第一节 管式加热炉 …… (665)	附 录 …… (733)
一、管式炉炉衬结构和类型 …… (665)	一、瓶罐池窑配套耐火材料 …… (733)
二、管式炉炉衬结构和	二、400~500t/d 浮法玻璃生产线配
耐火材料 …… (669)	套耐火材料 …… (734)
三、管式加热炉的工作环境 …… (684)	三、耐火材料常用理论数据 …… (736)
第二节 转化炉 …… (685)	参考文献 …… (748)

第一篇

筑炉用耐火材料

耐火材料是服务于高温技术的基础材料，与各种工业窑炉有着极为密切的关系。各种工业窑炉因用途和使用条件不同，对构成其主体的基本材料——耐火材料的要求也就不同。而不同种类的耐火材料也由于化学矿物组成、显微结构的差异和生产工艺的不同，表现出不同的基本特性。所以，在了解和研究工业窑炉筑炉材料的过程中，有必要对耐火材料的基本性质和各种耐火材料的一般特性加以叙述。

第一章 概 述

一般地说，耐火材料是耐火度不低于 1580°C 的无机非金属材料。耐火材料在无荷重时抵抗高温作用的稳定性，即在高温无荷重条件下不熔融软化的性能称为耐火度，它表示耐火材料的基本性能。由于耐火材料主要用作高温窑炉等热工设备的结构材料以及工业用的高温容器和部件，能承受在其中进行的各种物理化学变化及机械作用。因此，它必须具备以下的基本要求：

(1) 为适应高温操作要求，应具有在足够高的温度下而不软化、不熔融的性能；

(2) 能够承受窑炉的荷重和在操作过程中所作用的应力，并在高温下不丧失结构强度、不发生软化变形和坍塌，通常用荷重软化温度来表示；

(3) 在高温下体积稳定，窑炉砌体或浇注体不致因制品的过大膨胀而崩裂，或由于收缩过大而出现裂缝，降低使用寿命。通常用线膨胀系数和重烧收缩（或膨胀）来衡量；

(4) 耐火材料受窑炉的操作条件影响很大，温度急剧变化和受热不均使炉体易于损坏。因此，要求它具有一定的抗热震性；

(5) 耐火材料在使用过程中，常受到液态熔液、气态或固态物质的化学作用，使制品被侵蚀损坏。因此，要求制品具有一定的抵抗侵蚀的能力。

(6) 在使用过程中，耐火材料还常受到高温高速流动的火焰和烟尘的磨蚀、液态金属和熔渣的冲刷侵蚀，以及金属等物料的撞击磨损等。因此，要求它具有足够的强度和耐磨性。

耐火材料的质量取决于其性质，它是评价制品质量的标准。正确合理地选用耐火材料，也是以其性质作为重要依据的。

第一节 耐火材料的化学矿物组成

耐火材料的性质取决于其中的物相组成、分布及各相的特性，即取决于制品的化学矿

物组成。对于既定的原料，即化学组成一定时，可以采取适当的工艺方法，获得具有某种特性的物相组织（如晶型、晶粒大小、分布以及形成固溶体和玻璃相等）和某种组织结构（如致密程度、物料的颗粒大小和分布等），在一定限度由提高制品的工作性质。

一、化学组成

化学组成即耐火材料的化学成分，它是耐火制品的最基本特征之一。耐火材料是非均质体，有主、副成分之分。通常将其基本成分称为主成分，而将其他部分称为副成分。副成分又按有意添加以提高制品某方面性能的成分，或是无意或不得已带入的无益或有害成分，分别称为添加成分及杂质成分。

主成分通常是高熔点耐火氧化物或复合矿物或非氧化物的一种或几种。它是耐火制品的主体，直接决定了耐火制品性能的基础条件。耐火材料按其主成分的化学性质可分为三类（见表 1-1）。

表 1-1 按耐火材料的化学性质分类

类别	高温耐侵蚀性能	主成分	所属耐火材料
酸性耐火材料	对酸性物质侵蚀抵抗性强	SiO ₂ 、ZrO ₂ 等四价氧化物 (RO ₂)	硅石质、粘土质耐火材料
中性耐火材料	对酸性、碱性物质有相近的抗侵蚀性	Al ₂ O ₃ 、Cr ₂ O ₃ 等三价氧化物 (R ₂ O ₃)，SiC、C 等原子键结晶矿物	高铝质、铬质、碳质等耐火材料
碱性耐火材料	对碱性物质侵蚀抵抗性强	MgO、CaO 等二价氧化物 (RO)	镁质、白云石质等耐火材料

添加成分往往是为弥补主成分在使用性能或生产性能以及作业性能某方面的不足而使用的，常被称为结合剂、矿化剂、稳定剂、烧结剂、减水剂、抗水化剂、抗氧化剂、促凝剂、膨胀剂等，添加成分种类繁多，是当前耐火材料行业研究的重点对象。它们的共同特点是：加入量很少；能明显地改变耐火制品的某种功能或特性；对该制品的主性能无严重影响。

杂质成分则是指由于原料纯度有限而被带入或生产过程中混入的对耐火制品性能具有不良影响的部分。一般说来，K₂O、Na₂O 及 FeO 或 Fe₂O₃ 都是耐火材料中的有害杂质成分。此外，碱性耐火材料 (RO 为主成分的) 中的酸性氧化物 (RO₂) 及酸性耐火材料中的碱性氧化物都被视为有害杂质，它们在高温下具有强烈的熔剂作用。这种作用使得共熔液相生成温度降低，生成的液相量增加，而且随着温度升高液相量增长的速度加快，从而严重影响了耐火制品的高温性能。

通过化学成分分析的数据，按所含成分的种类和数量，可以判断制品或原料的纯度以及制品的化学特性。表 1-2 列出了几种常见的耐火氧化物的熔点，由这些氧化物又能复合成很多耐火矿物。图 1-1 及表 1-3 示出了常见的耐火材料氧化物及主要矿物。耐火材料常用非氧化物如图 1-2 所示。几种氧化物的熔点见表 1-4。

表 1-2 常用氧化物熔点

氧化物	熔点/℃	氧化物	熔点/℃
SiO ₂	1725	Al ₂ O ₃	2050
MgO	2800	CaO	2570
Cr ₂ O ₃	2435	ZrO ₂	2690

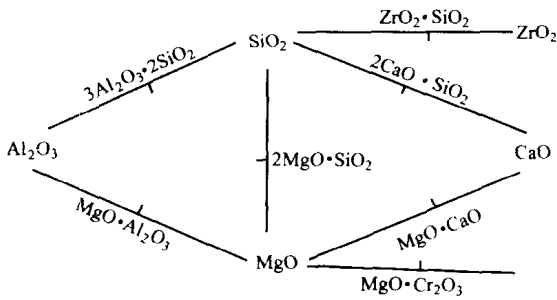


图 1-1 常见耐火氧化物及其复合成的主要耐火矿物示意图

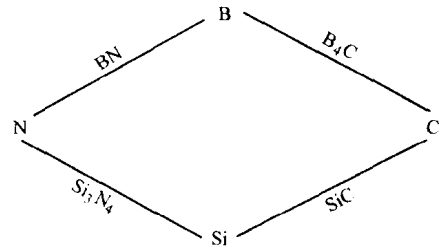


图 1-2 常见非氧化物耐火材料组合示意图

表 1-3 主要耐火复合矿物的熔点

矿物名称	化学组成	熔点/℃
莫来石	$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1810
镁铝尖晶石	$MgO \cdot Al_2O_3$	2135
镁铬尖晶石	$MgO \cdot Cr_2O_3$	2180
锆英石	$ZrO_2 \cdot SiO_2$	2500
正硅酸钙	$2CaO \cdot SiO_2$	2130
镁橄榄石	$2MgO \cdot SiO_2$	1890
白云石	$MgO-CaO$	(低共熔点) 2300

表 1-4 耐火材料常用非氧化物的熔点

名称	化学组成	熔点/℃
氮化硼	BN	3000
碳化硼	B_4C	2350
碳化硅	SiC	2700
氮化硅	Si_3N_4	2170
石墨	C	3700

二、矿物组成

耐火制品是矿物组成体。制品的性质是其组成矿物和微观结构的综合反映。因此，在分析制品的组成对其性质的影响时，单纯从化学组成出发分析考察问题是不够全面的，应进一步观察其化学矿物组成。耐火材料在其化学成分固定的条件下，由于成分分布的均匀性和加工工艺的不同，使制品组成中的矿物种类、数量、晶粒大小、结合状态的不同，这种微观结构的不同，造成制品的性能差异。例如， SiO_2 含量相同的硅质制品，因 SiO_2 在不同工艺条件下可形成结构和性质不同的两种矿物——鳞石英和方石英，使制品的某些性质会有差别。即使制品的矿物组成一定，但随矿相的晶粒大小、形状和分布情况的不同，亦

会对制品性质有着显著的影响。

耐火材料的矿物组成一般分为主晶相和基质相两大类。

主晶相是指构成制品结构的主体且熔点较高的晶相。制品中的主晶相依其平衡体系的组分和其相对含量而异，主晶相的性质、数量和其间的结合状态直接决定着制品的性质。常见耐火制品的主晶相见表 1-5。

表 1-5 常见耐火制品的主要成分及其主晶相

制品类别	主要化学成分	主晶相	主成分含量/%
硅砖	SiO ₂	鳞石英、方石英	SiO ₂ >93
半硅砖	SiO ₂ Al ₂ O ₃	莫来石、方石英	SiO ₂ >65
粘土砖	SiO ₂ Al ₂ O ₃	莫来石、方石英	Al ₂ O ₃ >30
Ⅲ等高铝砖	Al ₂ O ₃ SiO ₂	莫来石、方石英	Al ₂ O ₃ 48~60
Ⅱ等高铝砖	Al ₂ O ₃ SiO ₂	莫来石、方石英	Al ₂ O ₃ 60~75
Ⅰ等高铝砖	Al ₂ O ₃ SiO ₂	莫来石、刚玉	Al ₂ O ₃ >75
莫来石砖	Al ₂ O ₃ SiO ₂	莫来石	Al ₂ O ₃ 70~78
刚玉砖	Al ₂ O ₃ SiO ₂	刚玉、莫来石	Al ₂ O ₃ >90
电熔刚玉砖	Al ₂ O ₃	刚玉	Al ₂ O ₃ ≥98
铝镁砖	Al ₂ O ₃ MgO	刚玉(或莫来石)、镁铝尖晶石	Al ₂ O ₃ >70 MgO: 8~10
镁砖	MgO	方镁石	MgO>87
镁硅砖	MgO、SiO ₂	方镁石、镁橄榄石	MgO>82 SiO ₂ : 5~10
镁铝砖	MgO、Al ₂ O ₃	方镁石、镁铝尖晶石	MgO>80 Al ₂ O ₃ : 5~10
镁铬砖	MgO、Cr ₂ O ₃	方镁石、镁铬尖晶石	MgO>40 Cr ₂ O ₃ : 5~18
铬镁砖	MgO、Cr ₂ O ₃	镁铬尖晶石、方镁石	MgO: 25~55 Cr ₂ O ₃ : 20~35
镁橄榄石砖	MgO、SiO ₂	镁橄榄石、方镁石	MgO: 55~65 SiO ₂ : 20~35
镁钙砖	MgO、CaO	方镁石、硅酸二钙	MgO>80 CaO>8
镁白云石砖	MgO、CaO	方镁石、氧化钙	MgO>74 CaO>20
白云石砖	CaO、MgO	氧化钙、方镁石	CaO>45 MgO>35
锆刚玉砖	Al ₂ O ₃ 、ZrO ₂ 、SiO ₂	刚玉、莫来石、斜锆石	
锆莫来石砖	Al ₂ O ₃ 、SiO ₂ 、ZrO ₂	莫来石、锆英石	
锆英石砖	ZrO ₂ 、SiO ₂	锆英石	
镁碳砖	MgO、C	方镁石、无定形碳(或石墨)	
铝碳砖	Al ₂ O ₃ 、C	刚玉、莫来石、无定形碳(或石墨)	

基质是耐火材料制品的主晶相之间填充的结晶矿物或玻璃相，其数量不大，但成分结构复杂，作用明显，往往对制品的某些性质有着决定性的影响，而制品在使用时也常常首先从基质部分开始损坏。

绝大多数耐火制品(除少数特殊耐火制品外)，按其主晶相和基质相的成分可以分为两类：

(1) 含有晶相和玻璃相的多成分耐火制品，它的基质为玻璃相，如粘土砖、硅砖等；

(2) 仅含晶相的多成分制品，基质多为细微的结晶体。镁砖、铬镁砖等碱性耐火材料。

耐火制品的显微组织结构有两种类型，如图 1-3 所示。一种是由硅酸盐（硅酸盐晶体矿物或玻璃体）结合物胶结晶体的结构类型（图 1-3 中 a），另一种是由晶体颗粒直接交错结合成结晶（图 1-3 中 b）。

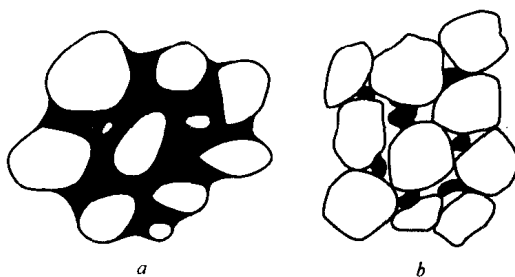


图 1-3 耐火制品的显微组织结构

鉴定并研究耐火材料的原料、制品以及使用后砖块的矿物组成和显微结构，有非常重要的意义，特别是对于硅砖中鳞石英和方石英的转变，高铝砖中莫来石晶粒的发育，镁砖中方镁石晶粒大小、形状、分布特征等。对使用过程中受熔渣侵蚀的砖块进行显微鉴定更能提供改进质量的方向。

第二节 耐火材料的性质

耐火材料的性质主要是指其结构性质、热学性质、力学性质、使用性质和作业性质。

一、结构性质

耐火材料宏观组织结构是由固态物质和气态孔隙共同组成的非均质体。气孔的存在，使制品在高温条件下对外界侵蚀的抵抗能力大大降低，并直接影响了耐火材料的气孔率、吸水率、体积密度、透气度等指标。

(一) 气孔率

耐火材料中的气孔可分为三大类（图 1-4）：

- (1) 闭口气孔：浸渍时不被液体填充的气孔；
- (2) 开口气孔：浸渍时能被液体填充的气孔；
- (3) 贯通气孔：贯通制品的两面、能为流体所通过。

由于开口气孔和贯通气孔占总气孔体积的绝大部分，而且对制品的使用性能影响最大，因此在耐火材料的检测标准中，以显气孔率，即多孔体中所有开口气孔的体积与其总体积之比值。

其计算公式如下：

$$P_s = \frac{m_3 - m_1}{m_3 - m_2} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中， m_1 为干燥试样的质量，g； m_2 为饱和试样的表观质量，g； m_3 为饱和试样在空气中的质量，g； P_s 为制品的显气孔率，%。

(二) 吸水率

吸水率是指多孔体中所有开口气孔所吸收的水的质量与其干燥材料的质量之比值。在生产实际中常用来鉴定原料煅烧质量，原料煅烧得愈好，吸水率数值愈低。

吸水率的计算公式如下：

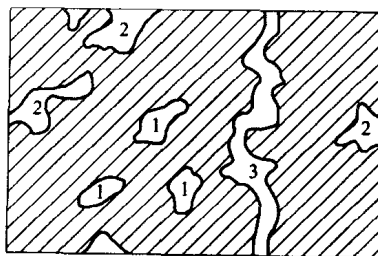


图 1-4 耐火制品中气孔类型

- 1—闭口气孔，2—开口气孔，
3—贯通气孔

$$W_a = \frac{m_3 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中, m_1 为干燥试样的质量, g; m_3 为饱和试样在空气中的质量, g; W_a 为耐火材料的吸水率, %。

(三) 体积密度

体积密度是指多孔材料的质量与总体积之比值, 用 g/cm^3 表示。总体积是指多孔体中固体材料、开口气孔及闭口气孔的体积总和, 用 cm^3 表示。

体积密度的计算公式如下:

$$D_b = \frac{m_1 \cdot D_L}{m_3 - m_2} \quad (1-3)$$

式中, m_1 为干燥试样的质量, g; m_2 为饱和试样的表观质量, g; m_3 为饱和试样在空气中的质量, g; D_L 为在试验温度下, 浸渍液体的密度, g/cm^3 ; D_b 为耐火制品的体积密度, g/cm^3 。

体积密度直观地反映出了制品的致密程度, 它是耐火材料致密制品质量水平的重要衡量指标。

(四) 真密度

真密度是指多孔体材料的质量与其真体积之比值。真体积是指多孔体中固体材料的体积。

真密度计算公式如下:

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 + m_3 - m_2} \times \rho_1 \quad (1-4)$$

式中, m_1 为试样的干燥质量, g; m_2 为装有试样和选用液体的比重瓶质量, g; m_3 为装有选用液体的比重瓶质量, g; ρ_1 为所选用液体在试验温度下的密度, g/cm^3 ; ρ 为试样真密度, g/cm^3 。

耐火制品的真密度指标, 可以反映材质的成分纯度或晶型转变的程度、比例等, 由此亦可以推知在使用中可能产生的变化。

(五) 透气度

透气度是耐火制品允许气体在压差下通过的性能。透气度主要是由贯通气孔的大小、数量和结构决定的。某些制品, 如用于隔离火焰或高温气体的制品, 要求具有很低的透气度; 而有些制品, 如吹氩浸入式水口透气内壁等一系列专用透气耐火制品, 则又必须具有一定的透气度。

对耐火制品透气度的试验方法, 中国标准 (GB/T 3000—1982) 规定, 测定直径 50mm, 高 50mm 的圆柱体试样, 在三个不同压差下, 流过试样两端面气体的流量。按下式计算试样的透气度:

$$K = 2.16 \times 10^3 \eta \cdot \frac{h}{d^2} \cdot \frac{Q}{\Delta p} \cdot \frac{2p_1}{p_1 + p_2} \quad (1-5)$$

式中, K 为试样的透气度, μm^2 ; η 为试验温度下气体的动力粘度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; h 为试样高度, mm; d 为试样直径, mm; Q 为气体的体积流量, L/min; Δp 为试样两端气体的压差, Pa; $\Delta p = p_1 - p_2$; p_1 为气体进入试样端的绝对压力, Pa; p_2 为气体逸出试样端的绝对压力, Pa, p_2 等于大气压力。