

PRACTICAL REFRACTORIES ON THE SYSTEM $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系

实用耐火材料



任国斌 尹汝珊 张海川 迟秀芳等 编
冶金工业出版社

火材料

任国斌 尹汝珊 张海川 迟秀芳等 编

冶金工业出版社

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ 系 实用耐火材料

任国斌 尹汝珊 张海川 迟秀芳 等编



(京) 新登字036号

内 容 简 介

本书系统地介绍了以 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 二元系统相图为界限, 包括两个端元组分在内的计有硅质、粘土质、蜡石质、硅线石质、蓝晶石质、高铝质、莫来石质及刚玉质八种耐火材料的基础理论、原材料性能、生产工艺、产品质量标准及现场使用情况等内容。特别对生产、使用中的实践经验和具体的操作实例作了较为全面的叙述。

为了适应节约能源的需要, 本书还相应介绍了各类轻质隔热耐火材料、耐火纤维材料及绝热板的制造工艺和使用方法。

本书可供大、中型耐火材料厂、乡镇耐火材料企业、矿山以及广大耐火材料用户的管理干部、工程技术人员和技术工人阅读, 也可供大专院校耐火材料专业师生参考。

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系实用耐火材料

任国斌 尹汝珊 张海川 迟秀芳 等编

冶金工业出版社 出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷35号)

河北阜城县印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 13.75 字数 363 千字

1988年9月第一版 1993年7月第二次印刷

印数6791~8790册

ISBN 7-5024-0202-0

TQ·9定价12.00元

序 言

近年来,随着我国冶金、建材、化工及机械等工业的迅速发展,耐火材料工业已不是单一地为钢铁冶炼服务,而是远远扩大了它的应用范围。因此,耐火材料工业在国民经济中所占的地位,日趋显著和重要。据世界各国耐火材料的产量统计,虽然我国耐火材料产量已居世界首位,但是,当前还存在着产品结构不合理和质量不高等主要问题,由此带来耐火原料资源浪费严重、能源消耗比例过大的严重后果。其主要原因之一是广大从事耐火材料专业工作的管理人员、技术人员以及生产工人急需耐火材料专业基础知识的系统学习,特别是对新材质、新工艺的开发和利用等方面有所了解。然而近年来此类专业书籍很缺少。为此,我们《耐火材料》编辑部的同志根据本刊多年来发表的有关文章和其他有关技术资料,编写了这册系统介绍有关 Al_2O_3 - SiO_2 系耐火材料的基础理论、生产技术和新品种、新工艺方面的实用性专业技术书籍。

本书按照 Al_2O_3 - SiO_2 二元系统相图所示的 Al_2O_3 、 SiO_2 含量变化顺序编纂而成。它与传统的分类编排方式有所区别,即在一种材质中分述所属不同用途的各种产品。全书分七章编写,分工如下:第一章徐国英;第二章迟秀芳;第三章张海川;第四章罗晓春;第五章尹汝珊;第六章李荔寅;第七章任国斌。全书审校由尹汝珊和任国斌担任。

本书稿经方正国审阅和修改。张广智也参加了审稿工作。特致谢意。

本书脱稿后,虽然进行了反复订正和删改,但由于编者水平有限,时间仓促,很多有益的意见未能全部包括进来,其中谬误之处实属难免,敬希读者不吝指正。

1987.6.于洛阳

目 录

第一章	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$系耐火材料的组成、结构、性能	1
第一节	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 二元系统相图	1
第二节	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系耐火材料的组成	7
第三节	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系耐火材料的结构	16
第四节	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系耐火材料的性能	23
第二章	硅质耐火材料	39
第一节	硅砖生产的物理化学原理	39
第二节	硅质耐火材料原料	55
第三节	硅砖的生产流程及工艺	66
第四节	致密硅砖的制造	95
第五节	轻质硅砖的制造	102
第六节	硅砖生产中的实践经验	112
第七节	绝热板与硅质连铸中间包绝热板	131
第八节	焦炉用硅质泥浆	139
第九节	硅质耐火材料的使用	143
第三章	粘土质耐火材料	147
第一节	粘土砖生产工艺的物理化学基础	147
第二节	粘土原料及其工艺性质	152
第三节	粘土砖的生产工艺	173
第四节	粘土-石墨制品与半硅砖	216
第五节	粘土火泥	220
第六节	玻璃和炼锌用粘土坩埚的生产	222
第七节	不烧泡沫轻质粘土砖	223
第八节	粉煤灰空心漂珠隔热耐火制品	226
第九节	粘土质耐火材料的使用	234
第四章	蜡石质、硅线石质、蓝晶石质耐火材料	241
第一节	蜡石质耐火材料	241
第二节	硅线石质耐火材料	252

第三节	蓝晶石质耐火材料	257
第五章	高铝质耐火材料	272
第一节	制备高铝制品的物理化学基础	272
第二节	原料	279
第三节	高铝砖的制造工艺	284
第四节	高铝砖的高温力学性能	300
第五节	高铝矾土熟料及高铝砖生产中的一些问题	312
第六节	高铝质透气砖	329
第七节	轻质高铝砖	331
第八节	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ 滑板	333
第九节	高铝质耐火浇注料	335
第十节	高铝质可塑料	340
第十一节	高铝质捣打料	346
第十二节	硅酸铝耐火纤维	348
第十三节	氧化铝耐火纤维	352
第六章	莫来石质耐火材料	360
第一节	煅烧过程中的物理化学变化	360
第二节	合成莫来石原料	364
第三节	莫来石制品及使用	381
第四节	熔铸莫来石制品	385
第五节	多晶莫来石耐火纤维	393
第七章	刚玉质耐火材料	397
第一节	概述	397
第二节	烧结刚玉耐火材料的制造	400
第三节	刚玉熟料耐火材料的制造	413
第四节	电熔刚玉耐火材料	423
第五节	刚玉耐火材料的使用	428
主要参考资料		431

第一章 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ 系耐火材料的 组成、结构、性能

第一节 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ 二元系统相图

一、相图的基本知识

1. 相平衡

相平衡是研究在多相系统中物相的平衡问题，即主要是研究多相系统的状态如何随温度、压力、组分浓度的变化而改变的规律。根据实验结果，可以用几何图形来描述这些平衡状态下的变化关系这种图形就称为相图，或叫做状态图。从相图可以看出，某一组成的系统在指定条件下达到平衡时，该系统中共存在的相的数目和每个相的组成及其相对数量。

相平衡与耐火材料的生产和新材料的研制有密切的关系，因为耐火制品都是由一定配比的料，经高温处理而制成的。它们大多是含有多种晶相和玻璃相的多相系统，而这些制品的性能与所得到的相组成及其含量是有关的。因此，依据相图就可以控制这些变化的过程，使我们有可能通过一定的工艺处理，生产和研制出具有预期性能的制品。

必须指出，相平衡是在平衡条件下研究讨论问题的，也就是说，所研究的对象是完全达到平衡状态的系统。但是富硅的硅酸盐熔体粘度很大，生产过程大多是从低温到高温，因而系统不易达到平衡，同时又受到反应时间的限制，所以在工业生产上系统并未达到真正的平衡。另外工业生产所用的原料不可能很纯，因此实际生产情况与相平衡研究结果是有出入的。虽然两者有出入，但应用相图来分析研究生产中的问题，尤其是对生产研究仍然具有重要的指导意义。

2. 相

系统中物理性质和化学性质都相同且完全均匀的一部分称为

相。相与相之间有分界面。从宏观的角度来看 其分界面处的性质变化是突变 可以用机械的方法把它们分离开。

一个物理性质和化学性质都均匀的相不一定只有一种物质。例如气态物质，由于不同的气体能够以任意比例均匀混合，因而总是呈一相。而对于液体，则视其互溶程度而定，通常可以是一相或两相。对于固态物质的混合物，则有几种物质就有几个相，如在生产高铝砖配料时，将矾土、粘土等混合在一起，表面看起来好象很均匀但实际上仍是几个不同的相。

一个系统中所含相的数目，叫做相数。以符号 P 表示，按照相数的不同系统可分为单相系统，二相系统，三相系统……，含有两个相以上的系统为多相系统。

3. 组分、独立组分

组分（或称组元）是指系统中每一个可以单独分离出来的、并能单独存在的化学纯物质。组分的数目叫组分数。独立组分是表示形成平衡系统中各相组成所需要的最少数目的化学纯物质。它的数目称为独立组分数，以符号 C 表示。

若系统中各组分之间有化学反应，则独立组分数少于组分数。一般来说，系统的独立组分数等于组分数减去所进行的独立的化学反应数。

按照独立组分数目的不同，可将系统分为单元系统、二元系统、三元系统等。

4. 自由度

在相平衡系统中可以独立改变的变量（如温度、压力或组分浓度等）称为自由度。这些变量中可以在一定范围内任意改变，而不致引起旧相消失和新相产生的数目，叫做自由度，以符号 F 表示。

按照自由度，可以对系统进行分类，自由度等于零的系统叫做无变量系统，自由度等于1的系统叫做单变量系统，自由度等于2的系统叫做双变量系统。

5. 相律

相律确定了多相平衡系统中系统的自由度数 (F)、独立组分数 (C)、相数 (P) 和对系统的平衡状态能够发生影响的外界因素之间有如下的关系：

$$F = C - P + n$$

式中 n 为能够影响系统的平衡状态的外界因素的数目。一般情况下只考虑温度和压力对系统的平衡状态的影响，即取 n 为 2。则：

$$F = C - P + 2$$

没有气相参加的系统称为“凝聚系统”。有时气体虽然存在，但可以忽略，而只考虑液相与固相参加平衡，这种系统也称为“凝聚系统”。 Al_2O_3 - SiO_2 系统就属于“凝聚系统”。对于凝聚系统而言，一般可以不考虑压力的改变对系统相平衡的影响，即压力可以不作为一个可变因素来考虑，此时相律的表示式为：

$$F = C - P + 1$$

由相律可知，系统的自由度数，在相数一定时随独立组分数的增加而增加，在独立组分数一定时，随着相数的增加而减少。

对于二元凝聚系统而言

$$F = 2 - P + 1 = 3 - P$$

由此可见：二元凝聚系统平衡共存的相数最多为 3，最大自由度数为 2，这两个自由度就是温度 (T) 和浓度 (即组成) 两个因素。

二、 Al_2O_3 - SiO_2 二元系统相图

Al_2O_3 - SiO_2 二元系统相图作为一种基本理论，多少年来在指导 Al_2O_3 - SiO_2 系耐火材料的生产中占有重要地位。

在这个系统中，对所出现的化合物——莫来石是否一致熔融一直存在着分歧。目前实验证明：当试样中含有少量碱金属等杂质时，或者相平衡实验是在非密封条件下，则莫来石 (Al_3Si_2) 均为不一致熔融合合物；当使用高纯原料试样并在密封条件下时，则莫来石 (Al_3Si_2) 为一致熔融合合物，见图 1-1。

在 Al_2O_3 - SiO_2 二元系统相图中，纵坐标表示温度，横坐标

表示组成。

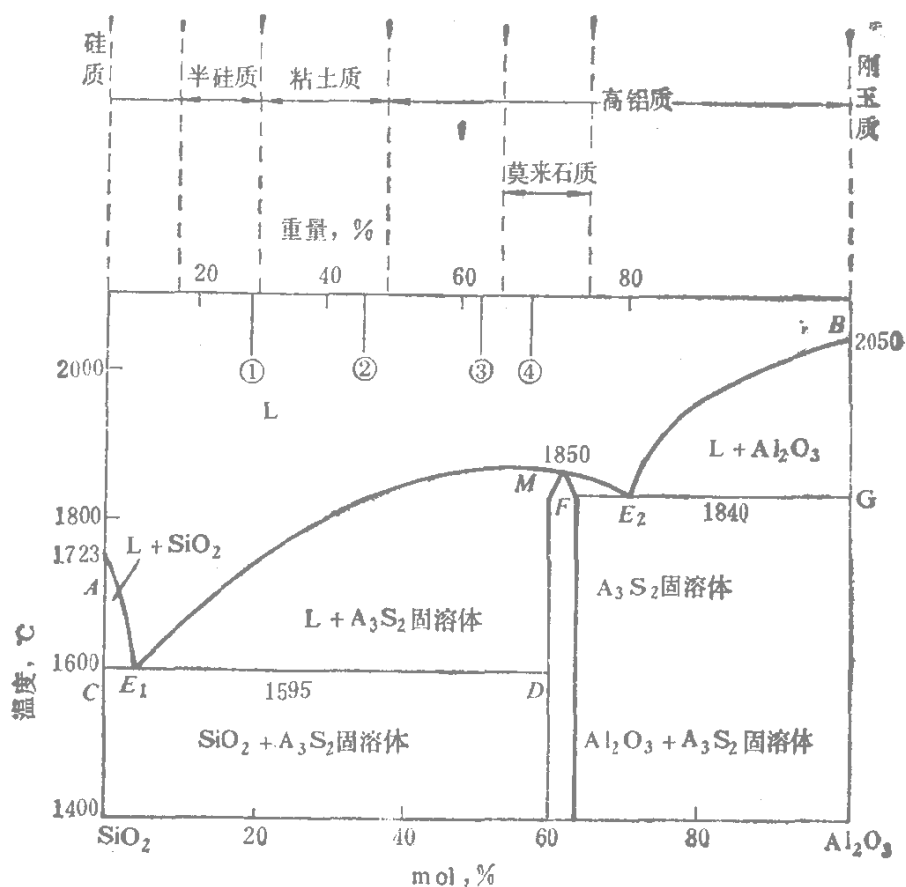


图 1-1 Al_2O_3 - SiO_2 二元系统相图

1—脱水叶蜡石； 2—脱水高岭石； 3—硅线石族
矿物； 4—蓝晶石加热物

相图由液相线 AE_1 、 ME_1 、 ME_2 、 BE_2 及各固相线 CD 、 FG 所划分的七个区域组成。其中 A 、 B 、 M 分别为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 A_3S_2 的熔点（或凝固点）， E_1 、 E_2 为低共熔点，是一个二元无变量点。

组成为 N 的熔体的平衡冷却结晶过程见图 1-2。

图 1-2 中固液相组成的变化如下：在温度降到 T_h 以前，系统为双变量。这说明在系统组成已确定的情况下，改变系统的温度不会出现新相。由于系统的组成已定，故系统的状态线只能沿着

等组成线 NN' 变化。当熔体温度下降到 T_h 时，晶相 SiO_2 开始析出。因 SiO_2 析出，液相的组成将发生变化。此时 $P=2$, $F=1$ ，系统变为单变量系统，即随着温度的下降，液相组成沿着 AE_1 线向 E_1 方向移动，也就是说向液相中 Al_2O_3 含量增加的方向变化。当温度达到 T_{E_1} 时，液相组成达到 E_1 点，此时同时向晶相 SiO_2 和 $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ 饱和。且按组成 E_1 点的 SiO_2 和 $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ 的比同时析出 SiO_2 晶体和 $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ，此时 $P=3$, $F=0$ ，系统为无变量系统，温度维持在 T_{E_1} 不变，液相组成点始终在 E_1 点不变。随着低共熔过程的不断进行，液相量逐渐减少，固相组成则从纯 SiO_2 点向 N 点变化。当最后一滴液体消失时，固相组成达到 N 点，结晶过程结束。结晶产物为 SiO_2 和 A_3S_2 两个晶相。系统变为单变量，温度又可继续下降。

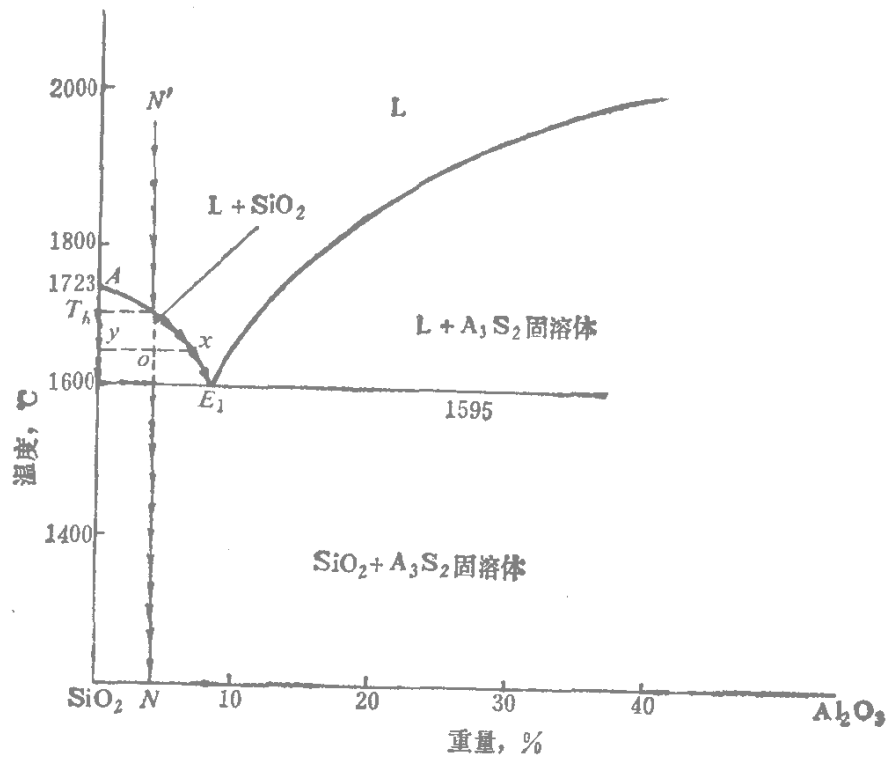


图 1-2 熔体的平衡冷却析晶过程

若是加热过程，则与上述过程相反。当系统温度升高到 T_{E_1} 时才出现液相，组成为 E_1 。因 $P=3$, $F=0$ ，系统为无变量系统，所以系统温度维持在 T_{E_1} 不变， SiO_2 和 A_3S_2 两晶相量不断减少，

EE_1 组成点的液相量不断增加。在莫来石 (A_3S_2) 晶相全部消失后, 系统变为单变量, 温度才能继续上升, 此时 SiO_2 晶相的量继续减少, 液相组成沿 AE_1 向 A 点变化。当温度达到 T_A 时, SiO_2 晶相消失, 全部融为熔体。

上述情况说明: 利用相图可确定固定组成的系统的开始析晶和析晶结束 (出现液相和液相消失) 的温度、平衡时的存在相及相的组成。各相的相对数量则可由杠杆规则求得。

在杠杆规则中, 从一个相界到系统总组成点的距离除以该相界到第二相界的距离就是存在的第二个相的百分率。例如, 在图 1-2 中, O 点各相的相对数量为:

$$\text{液相量} = \frac{YO}{XY} \times 100\%$$

$$\text{固相量} = \frac{OX}{XY} \times 100\%$$

$$\frac{\text{液相量}}{\text{固相量}} = \frac{YO}{OX}$$

杠杆规则不但适用于一相分为两相的情况, 同样也适合两相合为一相的情况。甚至在任何多相系统中, 都可以利用杠杆规则。根据杠杆规则, 利用已知条件可计算平衡共存的各相的相对数量及百分含量。

从图 1-1 看, SiO_2 和 Al_2O_3 生成了稳定的化合物 $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ 。当加热化合物到熔点时, 其液相组成与化合物晶相组成相同, 故称同成分熔融和一致熔融。而 $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ 则为一致熔融化合物。其重量组成大约在 72% Al_2O_3 和 28% SiO_2 处。

莫来石是粘土质耐火材料的重要组成部分, 它与方石英之间的低共熔物在 1590°C 下出现, 其重量组成大约为 Al_2O_3 9% 和 SiO_2 91%。从图中还可看出, 在 A_3S_2 晶格中尚溶入一些 Al_2O_3 , 形成 A_3S_2 固溶体, 其固溶范围约在 Al_2O_3 为 72~78% 之间。

Al_2O_3 - SiO_2 系统中, 全部液相线的温度都较高, 这对许多耐火材料生产都有指导意义。例如, 在硅砖生产中, 当 Al_2O_3

含量在0~5.5%时（即在 E_1 点左边），液相线极陡，只要 Al_2O_3 含量稍有增加，出现液相的温度就会剧烈下降。

在 E_1 点与莫来石熔点之间的一段液相线上，靠近 E_1 点的液相线较陡，而靠近莫来石端的液相线则很平坦，说明当温度变化时，液相量有两种不同的变化。例如一种普通粘土砖含有40% Al_2O_3 ，从相图看出，当升温到1595℃时，按杠杆规则计算结果，最多可产生50%左右的液相。直到1700℃以前液相量约为60%，增加不多。但在1700℃以后，其液相线很平坦，随温度升高液相迅速增多，这就使粘土砖软化而不能安全使用。

从图中还可看出，粘土砖的主要矿物组成是石英和莫来石。当生产粘土砖时，如增加原料中的 Al_2O_3 含量，即配料点向右移动，可以提高粘土砖的质量。

第二节 Al_2O_3 - SiO_2 系耐火材料的组成

一、 Al_2O_3 - SiO_2 系耐火材料的种类

Al_2O_3 - SiO_2 系耐火材料主要有硅质、硅酸铝质、刚玉质三大类。

硅质耐火材料是指含 SiO_2 93%以上的耐火材料，是酸性耐火材料的主要品种，主要产品为烧成硅砖，也有散状材料。

硅砖主要由鳞石英、方石英、残存石英和玻璃相组成。采用硅石作原料，制造时在配料中外加少量石灰和铁鳞作矿化剂，以促进坯体中石英转化为鳞石英。一般在还原气氛下经1350~1430℃缓慢烧成，在烧成升温阶段，坯体内的石英首先由低温型向高温型转化，随后向方石英和鳞石英转化。冷却时方石英和鳞石英也由其高温型向低温型转化。硅砖生产中的晶型转化也使其真比重由2.65左右按石英转化程度的不同而降到2.23~2.42，同时伴有体积膨胀。硅砖属酸性耐火材料，抗酸性渣的能力较强，它的高温强度较好，荷重软化温度接近其耐火度，一般为1620~1660℃，具有高温下长期使用不变形的优点。硅砖在600℃以上一般无晶型转化，膨胀系数也较小，耐热震性也较高；而600℃

以下正好相反。它主要用于砌筑焦炉，也用于各种玻璃、陶瓷、耐火材料的热工窑炉的拱顶和其他承重部位；在热风炉的高温承重部位也用，不宜在 600°C 以下且温度波动大的热工设备中使用。

硅酸铝质耐火材料的主要成分为 Al_2O_3 和 SiO_2 ，还含有少量起熔剂作用的杂质成分，如 TiO_2 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 R_2O 等。通常按 Al_2O_3 含量的多少分为半硅质（ Al_2O_3 15~30%），粘土质（ Al_2O_3 30~48%）、高铝质（ $\text{Al}_2\text{O}_3 > 48\%$ ）三类。

半硅质耐火制品有半硅砖、蜡石砖。

半硅砖可用天然硅质粘土和叶蜡石作原料，也可用石英和粘土配制而成。适宜用作玻璃窑、盛钢桶、加热炉、均热炉、化铁炉、平炉蓄热室和碳化炉等的内衬。蜡石砖又称叶蜡石砖，以蜡石为原料制成。由于蜡石的灼减和烧成收缩小，可以不经煅烧直接用于制砖。产品主要用作盛钢桶内衬。

粘土质耐火材料主要由莫来石（25~50%）、玻璃相（25~60%）和方石英及石英（最高可达30%）所组成。通常以硬质粘土为原料，预先煅烧成熟料，然后配以软质粘土，以半干法或可塑法成型，经 $1300\sim 1400^{\circ}\text{C}$ 烧成制品。也可以加少量的水玻璃、水泥等结合剂制成不烧制品和不定形材料。它是高炉、热风炉、加热炉、动力锅炉、石灰窑、回转窑、玻璃窑、陶瓷和耐火材料烧成窑中常用的耐火材料。

高铝质耐火材料的矿物组成为刚玉、莫来石和玻璃相，其含量取决于 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 比以及杂质的种类和数量，可按 Al_2O_3 含量（或 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 比）划分等级。原料为高铝矾土和硅线石类天然矿石，也有掺加电熔刚玉、烧结氧化铝、合成莫来石的，以及用氧化铝与粘土按不同比例煅烧的熟料。它多用烧结法生产。但产品还有熔铸砖、熔粒砖、不烧砖和不定形耐火材料。

高铝砖在习惯上根据制品中 Al_2O_3 含量划分：Ⅰ等（ $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 75\%$ ）、Ⅱ等（ Al_2O_3 60~75%）和Ⅲ等（ Al_2O_3 48~60%）三个等级。用相应级别的高铝矾土熟料和适量粘土（以泥浆形式加入

与粘土熟料共同混合)，经成型后用烧结法制备。为避免二次莫来石化膨胀效应，Ⅰ、Ⅱ等砖应少加粘土或用生矾土作结合剂，Ⅲ等砖可多加粘土。Ⅰ、Ⅱ等砖在 $1500\sim 1600^{\circ}\text{C}$ 、Ⅲ等砖在 $1450\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 烧成。高铝砖广泛用于钢铁工业，有色金属工业和其他工业。

不烧高铝砖常用烧结良好的各级矾土熟料加少量结合剂（如：水玻璃、磷酸、磷酸铝、硫酸铝以及铝酸盐水泥等）制成泥料，经高压成型制成。这种生产工艺简单，产品合格率高，使用性能接近相同材质的烧结制品。它广泛用作塞头砖、水口砖或用于砌筑盛钢桶内衬、电炉炉盖等。

硅线石砖是以硅线石族矿物为主要原料制成的高铝质耐火材料。此种制品中 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 比近于1，主要矿物为莫来石以及一定量的玻璃相和方石英。硅线石族原料中的硅线石和红柱石在煅烧过程中体积稳定性好，不需预烧即可用于制砖；蓝晶石在 1300°C 左右形成莫来石和方石英时体积膨胀约1%。此种高铝制品中的 Al_2O_3 和 SiO_2 等化学组成分布均匀，各种矿物晶体互相交错，结构均一。

莫来石砖是以莫来石为主晶相的高铝质耐火材料， Al_2O_3 含量一般在65~75%。矿物组成除莫来石外，其中铝含量较低者还含有少量玻璃相和方石英；含 Al_2O_3 较高者还含有少量刚玉，多以高铝矾土熟料为主要原料，再加少量粘土或生矾土作结合剂，经成型和烧成制得。Ⅱ等高铝砖中含 Al_2O_3 较高的即属此种制品。按莫来石成分配料用熔铸法制成的，称为熔铸莫来石制品。制品的高温性能取决于 Al_2O_3 的含量（即莫来石和少量刚玉的含量）和莫来石晶相与玻璃相分布的均匀性。

刚玉砖是指 Al_2O_3 含量 $\geq 90\%$ ，以刚玉为主要物相的耐火材料。用烧结 Al_2O_3 或电熔刚玉作原料，或 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 比高的矾土熟料与烧结氧化铝配合，采用烧结法制成。也可用磷酸或其他化学结合剂制成不烧刚玉砖。

二、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系耐火材料的化学、矿物组成

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系耐火材料是由多种不同的化学成分及不同结构的矿物组成的非均质体。其化学组成、组织结构以及所形成的各种矿物的结晶形状、大小、数量及分布情况差别较大。这些差别会直接影响制品的基本性能，因此掌握其本质须从以下三方面来认识：

- 1) 材料的化学组成是何种成分；
- 2) 它们的矿物组成（相组成）是以何种结合状态存在；
- 3) 材料的微观组织结构是以何种集合状态构成。

1. 化学组成

化学组成是构成耐火材料的基础。通常将耐火材料的化学组成按各个成分的含量多少和其作用分成为两部分，即占绝对多量的主成分和占少量的副成分。副成分是原料中伴随的夹杂成分和工艺制造中特加的添加成分（加入物）。

（ 1 ）主成分

主成分是构成耐火主体的成分，也是决定制品特性的基础。如果知道化学组成中的主成分就容易知道其中的耐火主体。

除使用特殊原料制成的耐火材料主成分接近100%外，使用天然原料制成的硅酸铝质耐火材料不可避免地要混入一定数量的夹杂物，因而耐火材料的质量规定中都规定了主成分的最低值。

材料的成分即使都在规定值以上，其杂质成分的种类、数量以及制品的组织结构等仍极大地影响着制品的性能。例如硅砖生产中杂质铝含量超过1%时，虽然主成分含量（ SiO_2 ）在规定值以上，仍会使制品的性能变坏。因此规定制品的主成分仅是保证制品质量的措施之一，单凭这一点是不够的。

（ 2 ）副成分

在硅酸铝质耐火材料制品中，除主成分外，通常还含有少量的杂质成分。近年来，随着工业生产的不断发展，对耐火材料的使用要求越来越高，因而对制品中的杂质成分的限制也越来越严。

材料中的杂质成分大部分在高温下起着熔剂作用，严重地降低了制品的耐火性能，因而通常将其视为有害成分。所以在实际

生产中应该避免超过规定的限度。至于对材料中杂质成分的熔剂作用的发生机理则有两种看法：

- 1) 由于化学反应生成低熔性液相；
- 2) 其产物虽不一定是低熔融性的，但在相同温度下生成的液相量较多。

Al_2O_3 - SiO_2 系统中杂质氧化物的影响见表1-1。

从表1-1中可知，杂质成分中 R_2O 的危害最大。即使其数量很低 ($<1\%$)，也能使制品在 1000°C 左右生成共熔液相，明显地降低制品的耐火性和高温结构强度。在使用过程中含碱成分的熔渣或含碱的气体均对硅酸铝质制品有严重的熔蚀作用。

从表1-1中还可看出，共熔液相生成温度愈低，液相生成量就愈多，且随温度升高，增长速度也愈快，杂质成分的熔剂作用也愈强，因而对制品耐火性能的影响也愈大。

耐火制品（原料）中杂质成分的作用除上述的外，还具有降低制品（原料）的烧成温度，促进制品（原料）烧结的作用，不过应该注意的是同时也会使制品的某些性能降低。

在硅酸铝耐火制品的制造过程中，为了促进材质的高温变化和降低烧结温度，有时加入少量的添加成分（加入物）。按其目的和作用可分为：1) 矿化剂；2) 稳定剂；3) 烧结剂等。这些成分也都包括在制品的化学组成中。

在分析化学组成时一般主要分析其中的灼减、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 等含量。特殊制品和原料则根据要求加以分析。耐火原料灼减表征着原料内加热分解的去气产物（如 CO_2 ）和有机物质的多少，从而可以据此判定在加热过程中原料的体积收缩，决定在生产中是否需要预烧，以保证制品的体积稳定。

2. 矿物组成

耐火制品是矿物组成体，其性质是组成矿物性质的综合反映。因此在考虑制品的组成对其性质的影响时，应考虑到制品的矿物组成，而不是单纯的化学组成。硅酸铝耐火材料的矿物组成取决