

耐火材料

1 耐火材料的种类和性能

1.1 耐火材料的定义和分类

a、定义：凡具有抵抗高温以及在高温下所产生的物理化学作用的材料统称耐火材料。

b、三种分类方法：

1) 按耐火度分类：

A、普通耐火材料 耐火度为 1580~1770℃。

B、高级耐火材料 耐火度为 1770~2000℃。

C、特级耐火材料 耐火度为大于 2000℃。

2) 根据化学矿物组成分类：

A、氧化硅质耐火材料。

B、硅酸铝质耐火材料。

C、氧化镁质耐火材料。

D、铬铁质耐火材料。

E、碳质耐火材料。

F、其它高耐火度制品。

3) 根据耐火材料的化学性质分类：

A、酸性耐火材料

B、碱性耐火材料

C、中性耐火材料

1.2 耐火材料的主要性能

耐火材料的基本特性可以通过它的物理性能和高温使用性能来表示。

A、耐火材料的物理性能：

主要包括体积密度、真比重、气孔率、吸水率、透气性、耐压强度、热膨胀性、导电性及热容量等。这些物理性能的好坏，直接影响着耐火材料的使用性能。

a、气孔率

在耐火制品内，有许多大小不同，形状不一的气孔。

- (1) 和大气相通的气孔称为开口气孔；
- (2) 贯穿耐火制品的气孔称为连通气孔；
- (3) 不和大气相通的气孔称为闭口气孔；

其中气孔率可分为：

若耐火砖块的总体积（包括其中的全部气孔）为 V 、质量为 M 、开口气孔的体积为 V_1 、闭口气孔的体积为 V_2 ，连通气孔的体积为 V_3 ，则：

$$(1) \text{ 真气孔率} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{V} \times 100\%$$

即砖块中全部气孔体积（包括开口、闭口和连通气孔）占整块体积的百分率。

$$(2) \text{ 显气孔率} = \frac{V_1 + V_3}{V} \times 100\%$$

即砖块中外通气孔（包括开口和连通气孔）体积占整块体积的百分率。

$$(3) \text{ 闭口气孔率} = \frac{V_2}{V} \times 100\%$$

即砖块中闭口气孔体积占整块体积的百分率。

b、体积密度（容重）：包括全部气孔在内的 1m^3 砖块体积的质量。

$$\text{体积密度} = \frac{M}{V} \quad (\text{kg/m}^3)$$

c、真比重：不包括气孔在内的单位体积砖块重量与 4℃水的单位体积重量之比。

$$\text{真比重} = \frac{\text{不包括气孔在内的单位体积砖块重量}}{4^\circ\text{C水的单位体积重量}}$$

d、吸水率：是原料中所有开口气孔所吸收的水的质量 M_w 与砖块质量 M 之比值。用下述公式计算：

$$\text{吸水率} = \frac{M_w}{M} \times 100\%$$

e、热膨胀性：

耐火制品受热膨胀，冷后收缩，这种变化属于可逆变化的。耐火制品的热膨胀性能主要取决于其化学—矿物组成和所受的温度。

耐火制品的热膨胀性可用线膨胀系数或体积膨胀系数来表示，也可用线膨胀百分率或体积膨胀百分率表示。

B、耐火材料的使用性能

a、耐火度

1、定义：耐火材料抵抗高温而不变形的性能叫耐火度。

加热时，耐火材料中各种矿物组成之会发生反应，并生成易熔的低熔点结合物而使之软化，故耐火度只是表明耐火材料软化一定程度时的温度。

2、耐火度的测定

测定耐火度时，将耐火材料试样制成一个上底每边为 20 mm，下底每边为 8mm，高 40 mm、截面呈等边三角形的三角锥体。把三角锥体试样和比较用的标准锥体放在一起热。三角锥体在高温作用下则软化而弯倒，当锥的顶点弯倒并触及底板（放置试锥用的时，此时的温度（与标准锥比较）称为

该材料的耐火度，三角锥体软倒情况如下图所示：

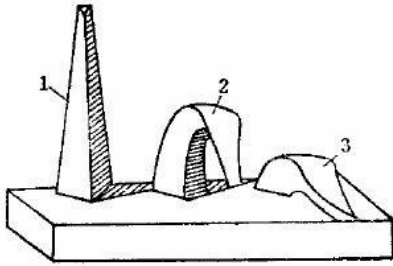


图4-1 三角锥软倒情况

1-三角锥未软倒;2-三角锥顶点与底座接触;3-三角锥软倒过大

应该注意的是：耐火度并不能代表耐火材料的实际使用温度。因为在实际使用时，耐火材料承受一定的机械强度，故实际使用温度比测定的耐火度低。

B、荷重软化温度

耐火材料在常温下的耐压强度很高，但在高温下发生软化，耐压强度也就显著降低一般用荷重软化温度来评定耐火材料的高温结构强度。

1、定义：荷重软化温度就是耐火材料受压发生一定变形量的温度。

2、测定方法：

将待测耐火材料制成高为 50mm，直径为 36mm 圆柱体试样，在 196k Pa 的荷重压力下，按照一定的升温速度加热，测出试样的开始变形温度和压缩 4% 及 40% 的温度作为试样的荷重软化温度。

耐火材料的实际使用温度比荷重软化点高：因为一方面材料的实际荷重很少达 196kPa，另一方面耐火材料在炉子中只是单面受热。

表 3-1 某些耐火材料在高温下的结构强度

耐火材料名称	荷重软化开始点温度 t_0 (°C)	荷重软化终止点温度 t_1 (°C)	耐火度 t_2 (°C)	t_2-t_0 (°C)
氧化硅质	1630	1670	1730	100
粘土质	1350	1600	1730	380
氧化镁质	1500	1550	2000	500

由表可以看出：氧化硅质耐火材料的荷重软化温度和耐火度接近，因

此氧化硅质耐火材的高温结构强度高；而粘土质耐火材料的荷重软化温度远比其耐火度低，这是粘土质耐火材料的一个缺点。氧化镁质耐火材料的耐火度虽然很高，但其高温结构强度同样很差，所以实际使用温度仍然低于其耐火度很多。当然，在没有荷重的情况下，其使用温度可以大大提高。

C、热稳定性

1、定义：耐火材料抵抗温度急剧变化而不破裂或剥落的能力称热稳定性或称耐急冷急热性。

2、测定方法：热稳定性的测定方法很多。我国部颁的测定方法是将试样在850℃下加热40分钟后，再置于流动的冷水（10~20℃）中冷却，并反复进行几次，直到其脱落部分的重量达到最初总重量的20%时为止，此时其经受的耐急冷急热次数就作为该材料的温度极度抵抗性指标。对于某些怕水的材料，可以用冷风冷却，但须注明是空气冷却次数。

耐火材料的抵抗温度急变性能，除和它本身的物理性质如膨胀型、导热性、孔隙度等有关外，还与制品的尺寸、形状有关，一般薄的、尺寸不大和形状简单的制品，比厚的、尺寸较大和形状复杂的制品有较好的耐急冷急热性。

D、高温体积稳定性

定义：耐火材料在高温下长期使用时体积发生不可逆变化。

有些体积膨胀叫残存膨胀，有些体积收缩叫残存收缩。

膨胀或收缩的值占原尺寸的百分比，就表示其体积的稳定性。这一变化严重时往往会引起炉子的开裂和倒塌。因此，使用耐火材料时，对这个性能必须十分注意。

E、抗渣性

耐火材料在高温下抵抗炉渣侵蚀的能力称为抗渣性。

影响材料抗渣性的主要因素有：

a、炉渣化学性质

炉渣主要分酸性渣和碱性渣。含酸性较多的耐火材料，对酸性炉渣的抵抗能力强，对碱性炉渣的抵抗能力差。反之，碱性耐火材料如氧化镁质和白云石质耐火材料对碱性渣的抵抗能力强，对酸性渣的抵抗能力差。

b、工作温度

温度在 800~900℃时，炉渣对材料的侵蚀作用不大显著，但温度达到 1200~1400℃以上时，材料的抗渣性就大大降低。

c、耐火材料的致密程度

提高耐火材料的致密度，降低它的气孔率是提高耐火材料抗渣性的主要措施，可以在制砖过程中选择合适的颗粒配比和较高的成型压力。

2 硅酸铝质耐火材料

硅酸铝质耐火材料是由 Al_2O_3 和 SiO_2 及少量杂质所组成，根据其 Al_2O_3 含量不同可分为：

- 1、半硅质耐火材料（含 Al_2O_3 15~30%）
- 2、粘土质耐火材料（含 Al_2O_3 30~46%）
- 3、高铝质耐火材料（含 $\text{Al}_2\text{O}_3 > 40%$ ）

2.1 粘土质耐火材料

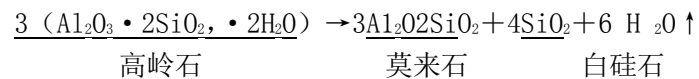
自然界产出的粘土质耐火材料有耐火粘土和高岭土，主要组成为高岭石（ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ），其余部分为 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 MgO 、 TiO_2 及 Fe_2O_3 等

杂质，含量约为 6~7%。

根据 Al_2O_3 、 SiO_2 和杂质含量的不同，耐火粘土又分为硬质粘土和软质粘土两种。

- (1) 硬质粘土中 Al_2O_3 含量较多，杂质含量较少，耐火度高，但可塑性差；
- (2) 软质粘土则相反， Al_2O_3 含量较少，杂质较多，耐火度较低，但可塑性好。

粘土受热后，首先放出结晶水，继续升高温度，则发生一系列变化而烧结，用化学式可表示为：



粘土加热时产生体积收缩，所以天然产出的耐火粘土必须预先进行煅烧成熟料，以免砖坯在烧成时因体积收缩而产生裂纹。但熟料没有可塑性和粘结性，制砖时必须加入一部分软质粘土做结合剂，这种未经煅烧的粘土叫生料。熟料和生料按一定比例配合。

1、粘土砖的性质

a、耐火度

一般粘土砖的耐火度在 $1580\sim 1730^\circ\text{C}$ 。

b、荷重软化温度

因为粘土砖在较低的温度下出现液相而开始软化，如果受外力就会变形，所以粘土砖的荷重软化温度比耐火度低很多，只有 1350°C 左右。

c、抗渣性

粘土砖是弱酸性的耐火材料，它能抵抗酸性渣的侵蚀，对碱性渣侵蚀作用的抵抗能力则稍差。

d、热稳定性

粘土砖的热膨胀系数小，所以它的热稳定性好。在 850℃时的水冷次数一般为 10~15 次。

e、体积稳定性

粘土砖在高温下出现再结晶现象，使砖的体积缩小。同时产生液相。由于液相表面张力的作用，使固体颗粒相互靠近，气孔率低，使砖的体积缩小，因此粘土砖在高温下有残存收缩的性质。

2、粘土砖用途

粘土砖用途广泛。凡无特殊要求的砖体均可用粘土砖筑、高炉、热风炉、化铁炉、平炉和电炉等温度较低部分使用粘土砖。盛钢桶、浇铸系统用砖、加热炉、热处理炉、燃烧室、烟道、烟囱等均使用粘土砖。粘土砖尤其适用于温度变化较大部位。

2.2 高铝质耐火材料

含 Al_2O_3 在 46% 以上，用刚玉、高铝矾土或硅线石系矿物作原料制成的耐火材料统称为高铝质耐火材料。

1、高铝砖的性质

a、耐火度

高铝砖的耐火度比粘土砖和半硅砖的耐火度都要高，达 1750~1790℃，属于高级耐火材料。

b、荷重软化温度

因为高铝制品中 Al_2O_3 高，杂质量少，形成易熔的玻璃体少，所以荷重软化温度比粘土砖高，但因莫来石结晶未形成网状组织，故荷重软化温度

仍没有硅砖高。

c、抗渣性

高铝砖中 Al_2O_3 较多，接近于中性耐火材料，能抵抗酸性渣和碱性渣的侵蚀，由于其中含有 SiO_2 ，所以抗碱性渣的能力比抗酸性渣的能力弱些。

2、高铝砖的用途

主要用于砌筑高炉、热风炉、电炉炉顶、鼓风机、反射炉、回转窑内衬。此外，高铝砖还广泛地用做平炉蓄热式格子砖、浇注系统用的塞头、水口砖等。但高铝砖价格要比粘土砖高，故用粘土砖能够满足要求的方就不必使用高铝砖。

2.3 半硅质耐火材料

SiO_2 含量大于 65%， Al_2O_3 含量为 15~30%的耐火材料属于半酸性耐火材料或叫半硅砖，其耐火度不应低于 1610℃。

半硅砖的各种性能介于粘土砖和硅砖之间，其特点是：

- (1) 耐火度为 1650~1710℃。
- (2) 热稳定性比粘土砖差，因石英膨胀系数大。
- (3) 荷重软化开始温度为 1350~1450℃，因含有较多的石英，故比一般的粘土砖稍高。
- (4) 体积稳定性好，因为原料中粘土的收缩被 SiO_2 的膨胀所抵消，若含 SiO_2 多则会有残余膨胀产生。
- (5) 抗酸性渣的侵蚀性好。

半硅砖所用原料广泛，价格低，加上具有上述特性，所以使用范围较广，可以代替二、三等粘土砖。常用以砌筑化铁炉内衬，加热炉炉顶和烟

囱等。

3 氧化硅质耐火材料

二氧化硅的熔点高达 1710℃，所以它可以用来制造耐火材料。

硅砖就是一种含 SiO₂ 在 93% 以上的氧化硅质耐火材料。

由于 SiO₂ 在不同温度下有不同的晶型存在，伴随着晶型的变化，还有体积的变化，同时还产生应力，故硅砖的制造技术和使用性能与 SiO₂ 的晶型转变有着密切的关系。

3.1 二氧化硅的结晶转变

二氧化硅在不同温度下的结晶状态（同素异晶体）有下列几种：

- (1) α — 石英，β — 石英；
- (2) α — 鳞石英，β — 鳞石英，γ — 鳞石英；
- (3) α — 白硅石，β — 白硅石。

以上 α 是指较高温度的结晶形态，β 和 γ 是指较低温度下的结晶形态。

SiO₂ 的各种同素异晶体在不同温度下会发生转变，这种转变按其本质的不同可分为下列两类：

1、迟钝型转变

这是由一种结晶构造过渡到另一种新的结晶构造。这种转变是从结晶的边缘开始的，极其缓慢地发展到结晶中心，所以需要很长的时间且在一定温度范围下才能完成。

迟钝型转变一般只向着一个方向进行。

SiO₂ 结晶的迟钝型转变有：

- (1) α - 石英 $\xrightarrow{1000-1450^{\circ}\text{C}}$ α - 白硅石
- (2) α - 石英 $\xrightarrow{1200-1460^{\circ}\text{C}}$ α - 鳞石英
- (3) α - 石硅石 $\xrightarrow{1400-1450^{\circ}\text{C}}$ α - 鳞石英
- (4) α - 鳞石英 $\xrightarrow{>1470^{\circ}\text{C}}$ α - 石硅石

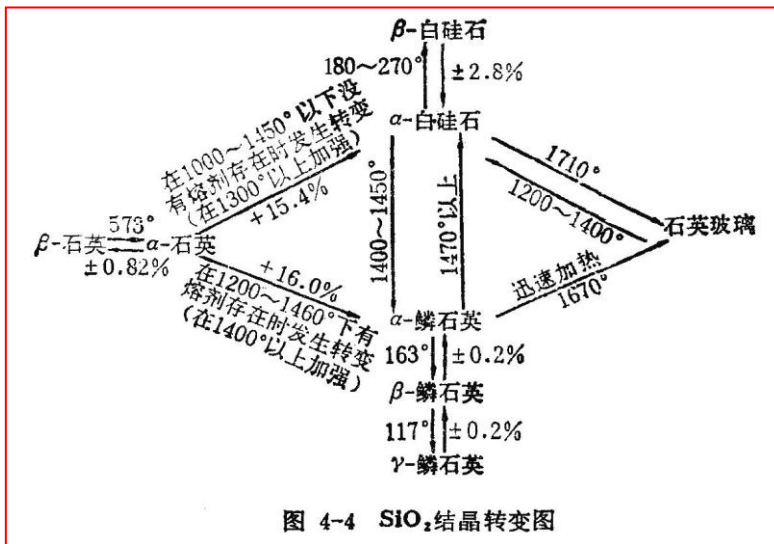
2、高低型转变

这种转变不是由结晶表面逐渐向中心发展，而是整个结晶同时转变。

在转变时结晶内部结构变化较小，所以转变是可逆的。属于这类转变的有：

- (1) β - 石英 $\xleftarrow{573^{\circ}\text{C}}$ α - 石英
- (2) β - 白硅石 $\xleftarrow{180-270^{\circ}\text{C}}$ α - 白硅石
- (3) γ - 鳞石英 $\xleftarrow{117^{\circ}\text{C}}$ β - 鳞石英
- (4) β - 鳞石英 $\xleftarrow{163^{\circ}\text{C}}$ α - 鳞石英

硅砖在烧成过程中所进行的各种结晶转变可用图 4-4 表示。



由上图可以看出，当加热到 573°C 时，砖坯中的 β - 石英就迅速转变为 α - 石英，这时体积膨胀 0.82%。温度继续升高，当砖内缺乏低熔点的液相（熔剂）时，在 1000~1450°C 范围内 α - 石英会缓慢地转化为 α - 白

硅石，但若在 1400~1450℃停留很长时间， α -白硅石就会转变为 α -鳞石英。当砖内有低熔点液相出现时， α -石英能于 1200~1460℃经过半稳定型的 α -白硅石转变为 α -鳞石英。当温度大于 1470℃时， α -鳞石英有转变为 α -白硅石；当温度高于 1710℃时， α -白硅石熔化为石英玻璃。

α -石英转变为 α -白硅石时，体积膨胀为 15.4%，转变为 α -鳞石英时体积膨胀为 16%，故硅砖烧成时有很大的体积膨胀。在硅砖烧成温度下（1450℃）砖内的矿物结晶有： α -鳞石英， α -白硅石，未经转变的 α -石英及少许石英玻璃。

将已经烧成的硅砖冷却下来，这时砖中的 SiO_2 结晶不是沿着原来的途径变化，而是发生各晶体的高低型转变。最后变为 γ -鳞石英， β -白硅石， β -石英和石英玻璃。在使用过程中，硅砖中的 SiO_2 结晶首先按高低型转变，而在高温长期使用时，砖中的 α -鳞石英将转化为 α -白硅石。

从以上 SiO_2 晶型转变来看，**氧化硅质耐火材料最大的特点是在晶型变化的同时还伴随有体积的变化**。现以烧成后的硅砖在使用时的情况来看， β -白硅石转变为 α -白硅石时体积膨胀 2.8%，较之 β -鳞石英时大得多，故产生较大的应力，有时会发生破裂。若硅砖内还含有没有来得及转变的 β -石英，则在高温下会继续进行迟钝型的转变，这时体积膨胀会更大。

由于上述原因，故一般希望烧成后硅砖中的鳞石英愈多愈好，白硅石次之，残存石英愈少愈好。

3.2 硅砖的性质及用途

1、硅砖的性能

- (1) 硅砖属于酸性耐火材料，故对酸性渣侵蚀的抵抗能力强，对碱性渣侵蚀的抵抗能力弱。
- (2) 耐火度较一般粘土砖高，达 1710~1730℃。
- (3) 荷重软化温度高，几乎接近其耐火度，一般都在 1620℃以上，这是硅砖的最大优点。
- (4) 热稳定性差，水冷次数只有 1~2 次，这主要是因为有高低型晶体转变的缘故，所以硅砖不宜用于温度有急变之处。
- (5) 体积稳定性差，加热时产生体积膨胀，故砌砖时必须注意留出适当的膨胀缝。此外，硅砖在低温下体积变化更大，所以烘烤炉子时，低温下（600℃以下）升温应缓慢。
- (6) 硅砖的真比重一般情况下其变化范围为 2.33~2.42，以小为好，真比重小，说明石英晶型转变完全，使用过程的残余膨胀就小。

2、硅砖的用途

硅砖是酸性冶炼设备的主要砌筑材料，也是炼焦炉、铜熔炼炉等不可缺少的筑炉材料。由于硅砖的荷重软化温度高，因而也可用在碱性平炉和电炉炉顶上，甚至蓄热室上层格子砖也可用它来砌筑。

使用硅砖时应注意下列事项：

- (1) 硅砖在 200~300℃和 578℃时由于高低型晶型转变，体积骤然膨胀，故在烘炉时在 600℃以下升温不宜太快，否则有破裂的危险。在冷却至 600℃以下时应避免剧烈的温度变化。
- (2) 尽量避免和碱性炉渣接触。

4 氧化镁质及其它碱性耐火材料

4.1 镁石质耐火材料

含氧化镁(MgO)在80~95%以上的耐火材料,属于镁石质耐火材料(主要是镁砖)。

1、镁砖的主要性能

a、耐火度

因为方镁石(MgO)结晶的熔点很高,可达2800℃,故镁砖的耐火度在一般耐火砖中是最高的,通常在2000℃以上。

b、高温结构强度

镁砖的高温强度不好,荷重开始软化温度在1500~1550℃之间,比耐火度低500℃以上。

c、抗渣性

镁砖属于碱性耐火材料,对于CaO、FeO等碱性熔渣的抵抗能力很强,故通常用做碱性熔炼炉的砌筑材料,但对于酸渣的抵抗力则很差。镁砖不能与酸性耐火材料相接触,它们在1500℃以上就相互起化学反应而被侵蚀。因此,镁砖不能和硅砖等混砌。

d、热稳定性

镁砖的热稳定性很差,只能承受水冷2~8次,这是它的很大缺点。

e、体积稳定性

镁砖的热膨胀系数大,在20~1500℃之间的线膨胀系数为 14.3×10^{-6} ,故砌砖过程中,应留足够的膨胀缝。

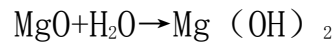
f、导热性

镁砖的导热能力约为粘土砖的几倍。故镁砖砌筑的炉体外层,一般应

有足够的隔热层，以减少散热损失。不过镁砖的导热性随温度升高而下降。

g、水化性

煅烧不够的氧化镁与水作用，产生以下反应：



这称为水化反应。由于此反应，体积膨胀达 77.7%，使镁砖遭受严重破坏，产生裂纹或崩落。镁砖在储存过程中必须注意防潮。

2、镁砖的应用。

镁砖在冶金工业中应用很广。炼钢工业中可用来砌筑碱性平炉炉底和炉墙，顶吹转炉炉衬，电弧炉炉墙、炉底，均热炉和加热炉炉底，混铁炉内衬。有色冶金工业中用以砌筑铜、镍、铅鼓风炉炉缸、前床，精炼铜反射炉，矿石电炉内衬等。

4.2 镁铝砖、镁铬砖和镁碳砖

1、镁铝砖

镁铝砖是采用含钙少的煅烧镁砂 ($\text{MgO} > 90\%$, $\text{CaO} < 2.2\%$) 作原料，加入约 8% 的工业氧化铝粉，以亚硫酸纸浆废液做结合剂，在 1580°C 的高温下烧成的制品。

镁铝砖的矿相组成是以方镁石为主晶，镁铝尖晶石 ($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) 为基质。后者代替镁砖中的钙镁橄榄石，成为方镁石的结合剂。

镁铝砖与镁砖比较，具有以下特点：

- (1) 镁铝砖的耐急冷急热性好，可承受水冷 20~25 次，甚至更高。
- (2) 由于镁铝尖晶石本身的熔点较高，故镁铝砖的高温结构强度比镁砖有所改善，达到 $1520 \sim 1580^\circ\text{C}$ ，甚至更高。

镁铝砖具有以上优良性能，故在我国已广泛用做炼钢平炉，炼铜反射炉等高温熔炼炉炉顶的砌筑材料，取得了延长炉子寿命的效果。大型平炉可达 300 炉左右，中小型平炉在 1000 炉以上。

2、镁铬砖

镁铬砖是加铬铁矿于烧结镁砂中做为原料制成的含 $\text{Cr}_2\text{O}_3 \geq 8\%$ 的耐火制品，其主要矿相组成为方镁石和含铬尖晶石 ($\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$)。

镁铬砖对碱性熔渣的侵蚀有一定的抵抗能力，高温下的体积稳定性好，在 1500°C 时重烧线收缩很小。主要缺点是铬尖晶石吸收氧化铁后，使砖的组织改变，引起“暴胀”，加速砖的损坏。

镁铬砖常用来砌筑炼铜炉、电炉、回转窑及平炉的某些部位。

3、铬质耐火砖

含 Cr_2O_3 量较高 (30%以上)，而 MgO 量较少 ($10 \sim 30\%$) 的耐火砖为铬质耐火砖。

它的主要特性是属于中性耐火材料，因为 Cr_2O_3 属于中性氧化物，故对碱性熔渣和酸性熔渣都有良好的抵抗能力。铬砖有时用来砌筑在酸性耐火砖和碱性耐火砖交界的地方，以免酸性耐火砖与碱性耐火砖之间在高温下起反应。

4、镁碳砖

镁碳砖是采用高纯度镁砂、电熔镁砂、石墨粉为原料，以中温沥青为结合剂，高压成型而制成。

镁碳砖在我国是近几年来发展起来的一种新型高级耐火材料。该制品具有热稳定性好，荷重软化温度与高温抗折强度高，抗碱性渣侵蚀能力强的

特点。

镁碳砖是当前炼钢炉采用的主要耐火材料之一，它主要用于转炉、电炉的渣线部位其炉衬及炉外精炼的钢包等。由于其性能比镁砖和焦油白云石砖好，故用在炼钢炉上炉龄寿命可大大提高。

4.3 白云石质耐火材料

白云石质耐火材料是以白云石为主要材料制成的，含 CaO 在 40% 以上，MgO 大于 30%的耐火制品。

白云石的化学组成为 $MgCO_3 \cdot CaCO_3$ ，必须经过高温 ($1500 \sim 1600^\circ C$) 煅烧，才能使用。

煅烧后的白云石熟料，主要矿相组成为方镁石 (MgO) 以及 $\alpha - CaO$ 晶型。熟料破碎至一定粒度，通常称为冶金白云石砂，可做制砖原料。

1、焦油白云石砖

焦油白云石砖是以冶金白云石作原料，加入焦油或沥青 (约 7~10%) 作结合剂，经过捣打而成的。一般不经过烧成工序，可直接使用。

这种砖在高温使用过程中，作为粘结剂的焦油和沥青进行分解，放出挥发份，残留固定碳。后者不仅存在于白云石颗粒之间，而且渗入颗粒的毛细孔中，组成完整的固定碳网，将白云石颗粒联结成高强度的整体。此外，固定碳的化学稳定性好，有助于整个耐火制品抗渣能力的提高。

焦油白云石的主要特性：

a、水化性

白云石砖的水化性比镁砖更厉害，CaO 与 H_2O 起作用，化合成 $Ca(OH)_2$ ，体积膨胀一倍，使砖遭到破坏。白云石原料虽经高温煅烧，水化性有所降

低，但由于砖中有大量游离的 CaO ，若在空气中放置太久，则不可避免会吸收空气中水份，而逐渐被水化。因此，应尽快使用。

b、其它性质

焦油白云石砖也是碱性耐火材料，对碱性渣的抵抗能力强，而对酸性渣的抵抗能力差，荷重软化开始温度同样比较低，只有 $1500\sim 1570^\circ\text{C}$ 。

焦油白云石砖的耐急冷急热性比普通镁砖好得多，可达风冷 20 次。这与结合剂(固定碳)具有好的热稳定性有关。

使用不烧结的焦油白云石砖时，由于焦油或沥青在低温下加热即软化，故烘炉时在 500°C 下不能停留时间过长，以防止砖软化变形。

2、稳定性白云石砖

为克服 CaO 水化这一缺点，可在制砖配料中加入 SiO_2 的硅石粉，硅藻土等物料，砖坯经煅烧后， CaO 与 SiO_2 结合成稳定性化合物： $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 和 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 。 CaO 不处于游离状态，故不再与水起反应。这样的砖，称为稳定性白云石砖。

5 其他耐火材料、散状耐火材料和隔热材料

5.1 碳质耐火材料

碳质耐火材料是用碳及其化合物制成的。包括碳质制品、石墨粘土质制品、碳化硅制品等。

含碳耐火材料具有下列特性：

- (1) 耐火度高，因为碳实际上是不熔化的物质，在 3500°C 时升华；
- (2) 碳质制品是中性耐火材料，具有很好的抗渣性；
- (3) 高的导热性和导电性；

- (4) 热膨胀系数小，热稳定性好；
- (5) 高温强度高，耐磨性好；
- (6) 碳和石墨在氧化气氛中会燃烧，碳化硅在高温下也慢慢发生氧化作用，这是含碳耐火材料的主要缺点。

1、碳质制品

冶金工业所使用的碳质制品主要是碳砖。目前碳砖用以砌筑高炉风口以下的炉缸和炉底部位，也用来做铝电解槽的内衬。

2、石墨质制品

石墨是碳的一种结晶形态，常见的石墨质耐火制品，有熔炼金属的石墨坩埚及铸钢用的石墨塞头砖等，此外还可做成电极使用。

石墨制品是以石墨为原料，用软质粘土做结合剂，成型后在还原气氛中烧成的。

石墨制品的特性，基本与碳砖相同。石墨质制品的导热能力比碳砖更高。同时由于石墨晶型的抗氧化能力较强，加之石墨颗粒周围有粘土构成的保护膜，故石墨制品的抗氧化能力比碳砖强得多，可做成坩埚直接在高温火焰中使用。不过石墨制品的耐火度较碳砖低，一般在 2000℃ 上下。这是因结合剂（耐火粘土）的耐火度低的缘故。

3、碳化硅质制品

碳化硅是纯石英砂和焦炭，在 2000~2200℃ 的高温下，于特殊电炉内烧成的。

碳化硅耐火制品是以碳化硅为原料，加入耐火粘土、石英等做结合剂，或不加结合剂（靠本身再结晶而结合）所制成的。

以粘土结合的碳化硅制品，其耐火度约 1800℃，荷重软化开始温度界于 1620~1640℃之间。碳化硅制品在较高温度下才易被氧化，抗氧化能力比碳砖强的多。

碳化硅制品的导热能力也较好，用来制做炼锌蒸馏竖罐，换热器元件等。碳化硅同样有一定的导电能力，常制成电阻发热元件。此外，碳化硅耐火制品价格昂贵，因而限制了它的使用范围。

5.2 散状耐火材料

传统的筑炉方式是耐火砖作为主体的，散状料（如耐火泥）只是作为砌砖的泥浆、砖缝填料或补炉料。但近二十年来，国内外散状耐火材料有了很大发展，出现了各种耐火混凝土（浇注料）、耐火可塑料及多种捣打料、喷涂料。

1、耐火混凝土

耐火混凝土的使用温度在 900℃以上，甚至可达 1600~1800℃。

根据所用胶结料的不同，耐火混凝土可分为硅酸盐水泥耐火混凝土、铝酸盐水泥耐火混凝土、水玻璃耐火混凝土、磷酸盐耐火混凝土、镁质耐火混凝土等，此外还有轻质耐火混凝土。

A、硅酸盐水泥耐火混凝土

B、铝酸盐耐火混凝土

C、水玻璃耐火混凝土

耐火混凝土可以直接浇灌在热工设备上的模板内，捣固以后经过一定养护即可。也可做成混凝土预制块，然后用来砌炉子。

2、耐火可塑料

耐火可塑料的用途很广，除用于加热炉炉底水管包扎外，还应用于均热炉炉口和烟道拱顶，加热炉炉顶，烧嘴砖，以及炼钢厂的盛钢桶、保温帽等部位。这种耐火材料具有以下一些优点：

- (1) 耐火度高
- (2) 热稳定性好
- (3) 绝热性能好
- (4) 抗渣性好
- (5) 抗震性能及耐磨性能好
- (6) 整体性好 整个砌体严密无缝。

3、捣打料

捣打料与耐火混凝土不同，不采用水硬性的水泥等胶结料。用做捣打料结合剂的有水玻璃、耐火粘土等无机物，也可用焦油、沥青等有机物。配料以后，用人工或气锤捣实打紧，再经高温烧结而成。

捣打料可代替耐火砖用来捣筑冶金炉的某些部位，也可捣筑整个炉子。目前，高炉部分炉衬、电炉炉底、冰铜熔炼反射炉炉底以及感应电炉整个炉体，皆广泛使用捣打料捣筑而成。捣筑而成的炉体具有无砖缝，坚固致密，不易渗漏金属，抗侵蚀能力强等优点。实践证明：使用寿命比砖砌的长。

4、喷补料

现代平炉、转炉、电炉等高温炉，普遍采用高温喷补炉墙的方法，为延长炉子寿命，提高生产能力，提供了极其有利的措施。喷补料由耐火骨料及胶结料所组成。耐火骨料的组成根据耐火砖的种类以及炉内温度等条

件选定。胶结料用水玻璃或聚磷酸盐等。料配好以后，依靠压缩空气喷枪喷于炉壁上，在高温下喷补料烧结于被损坏的炉壁上，与原来的砖砌体合成整体。

5、耐火泥

火泥是用来填充于砖缝之间的细粉状耐火材料，火泥加水或水玻璃等粘结剂。调制成泥浆叫耐火胶泥，用以粘结耐火砖块。

砖缝是炉子砌体的薄弱环节，容易被熔融炉渣浸入而腐蚀耐火砖。因此，要求填充砖缝的火泥具有有良好的粘结性能，有较好的致密性（不产生裂缝），并具有与耐火砖近似的高温性能。

6、耐火涂料

耐火涂料覆盖于炉子砌砖体内表面，提高砌砖体抗渣能力等高温性能，有助于延长炉体的使用寿命。耐火涂料是在常温下涂于砌砖体表面，在高温使用过程中与砌砖体烧结在一起。

5.3 隔热材料

为了减少炉子热损失，提高炉子热效率，减低燃料消耗量以及改善车间劳动条件，炉子砌体外层一般用隔热材料砌筑。隔热材料的导热率必须很低，气孔率必然高，体积密度也就小。

根据使用温度不同，隔热材料可分为三类：

- (1) 高温隔热材料：1200℃以上
- (2) 中温隔热材料：900~1200℃
- (3) 低温隔热材料：900℃以下

1、高温隔热材料

各种轻质耐火材料都可做为高温隔热材料。如轻质粘土砖、轻质硅砖、轻质高铝砖以及轻质耐火混凝土等。

陶瓷纤维是近年来被广泛应用的一种新型高温隔热材料。它是以高铝矾土或高岭土为主要原料在 2000~2200℃ 的高温下熔化后,用高速空气或蒸汽流喷吹制成。它具有重量轻、耐高温、热稳定性好、导热系数小、热容量小和耐震动的特点。

2、中温隔热材料

工作温度 900~1200℃ 的隔热材料有硅藻土砖、密度很小的轻质粘土砖、珍珠岩和蛭石等。

3、低温隔热材料

低温隔热材料常用石棉,矿渣棉等材料。

5.4 耐火材料的选用

耐火材料的正确选用,对炉子工作具有极重要意义,能够延长炉子的寿命、提高炉子的生产率,降低生产成本等。相反,如果选择不好,会使炉子过早损坏而经常停产,降低作业时间和产量,增加耐火材料的消耗和生产成本。

选择耐火材料时,应注意下述原则:

- (1) 满足工作条件中的主要要求
- (2) 经济上的合理性

总之,选择耐火材料,不仅技术上应该是合理的,而且经济上也必须是合算的,应本着就地取材,充分合理利用国家经济资源,能用低一级的材料,就不要用高一级的,当地有能满足要求的就不用外地的。