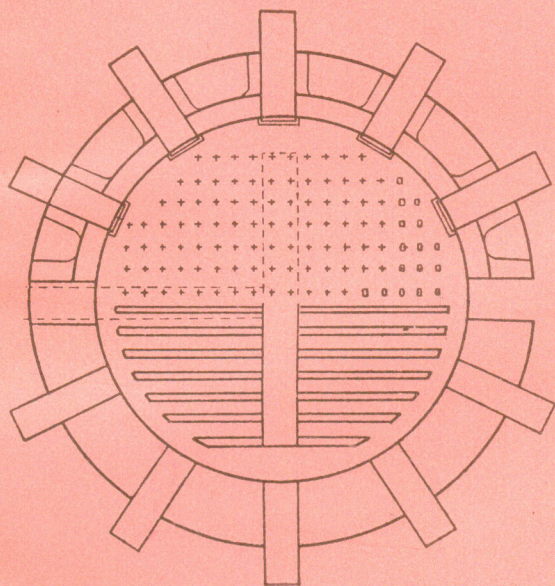


耐火質土的 生产材料

舒仲威編



辽宁人民出版社

粘土質耐火材料的生产

舒 仲 威 編

☆

辽宁人民出版社出版（沈阳市沈阳路二段宫前里2号） 沈阳市书刊出版业营业許可証文出字第1号
沈阳新华印刷厂印刷 辽宁省新华书店发行

787×1092毫米·1½印張·31,000字·印數：1—1,500 1959年7月第1版
1959年7月第1次印刷 統一書號：15090·147 定價(5)0.12元

目 录

前 言

第一章 耐火材料的分类及主要性質	2
一 耐火材料的分类	2
二 耐火材料的主要性能	3
三 粘土質耐火材料的性能 and 特点	5
第二章 制磚原料——耐火粘土的主要化学物理性質	6
一 耐火粘土的分类	6
二 耐火粘土的化学成分	7
三 耐火粘土的主要物理性質	8
四 耐火粘土的加热变化	9
第三章 配 料	9
一 正确的选择耐火粘土	10
二 确定合理的顆粒組成	10
三 确定熟料和粘土的比率	11
四 决定相应的工艺操作	12
五 配料計算	13
第四章 制 料	15
一 粘土煅燒成为熟料	15
二 粘土和熟料的粉碎	16
三 泥料的混合	19

第五章 成型及干燥20

一 成型原理及方法.....20

二 干燥原理及方法.....22

第六章 燒 成.....25

一 窑爐設備.....25

二 装 窑.....30

三 磚坯的加热变化及时速的确定.....31

四 調节抽力和存火時間.....33

五 燃燒室的操作.....34

六 平衡窑温.....37

七 控制廢气成分.....39

八 半煤气化操作.....39

附 录

1. 高爐及热风爐用耐火磚 ($6.5\text{M}^3 \sim 55\text{M}^3$ 小高爐)

2. 塞革三角錐番号及温度

3. 苏联三角錐号数及温度

4. 标准篩規格

5. 美国标准篩規格

前 言

在以鋼为綱全民大搞鋼鐵的群众运动中，耐火材料工业出现了空前大跃进的局面。我国1958年产量比1957年增长了三倍多，远远地把英国抛在后面。我省耐火材料工业也有很大发展，由于县乡大办耐火材料工厂，1958年产量比1957年增加了1.2倍。

为了适应耐火材料工业广大职工学习技术的迫切需要，编写了这本小册子。在编写时注意了以下几个方面：

(1) 全面系统地介绍耐火材料的性能及工艺过程，重点突出配料及烧成两章，因为这两个环节技术较复杂，是生产的关键，正如工人说的那样：“一烧、二料、三操作”。

(2) 理论与实际相结合。每章每节除了阐述基本理论外，还说明操作方法，并结合介绍省内的先进经验。

(3) 从我国现实情况出发。本书介绍的设备都是目前中型厂和洋土结合耐火材料厂采用的，或者是将来有条件采用的，现代化设备介绍的很少。

由于编者理论水平和实际经验都不够丰富，难免有错误之处，请读者批评指正。特别是在本书烧成一章中，我们对一些问题提出了看法和意见。倒焰窑的烧成是一项较复杂的工艺过程，过去各厂很少作专门研究，本书只是抛砖引玉，希望借此引起大家的重视，进一步研究和探讨这些问题。

舒 仲 威

于辽宁省冶金局

第一章 耐火材料的分类及主要性質

耐火材料是修建工业窑爐和火箱的建筑材料，具有耐高溫而不熔化的性質，耐火度在 1580°C 以上。主要用于冶金工业、化学工业、石油工业和电力工业等部門。

一 耐火材料的分类

1. 按耐火度分类

- (1) 普通耐火材料——耐火度在 $1580\sim 1770^{\circ}\text{C}$;
- (2) 高温耐火材料——耐火度在 $1770\sim 2000^{\circ}\text{C}$;
- (3) 特高温耐火材料——耐火度在 2000°C 以上。

2. 按化学性質分类

- (1) 酸性耐火材料——矽磚、熔融石英制品;
- (2) 硷性耐火材料——鎂磚、白云石磚;
- (3) 半酸性耐火材料——半矽磚;
- (4) 中性耐火材料——粘土磚、高鋁磚、鉻磚、鉻鎂磚。

3. 按外形分类

可以分为标准形、普通形、异形和特形四种。

4. 按制造方法分类

可以分为不燒磚、燒結磚和鑄造磚。

二 耐火材料的主要性能

使用耐火材料的工业窑爐的操作温度一般在 $1000\sim 1800^{\circ}\text{C}$ 之間。耐火材料在使用中除受高温的作用外,还受着爐渣、熾热灰分、熔融玻璃等化学和物理作用,同时还受温度剧烈变化,以及在高温下因本身重量或外界負荷所引起的軟化作用。因此,耐火材料应具有一定的物理性能、化学性能和机械性能。

1. 耐火度

耐火度就是耐火材料在使用过程中能抵抗高温而不熔化的性質,是評定質量的重要标志之一。如果耐火度不高,在使用过程中由于長時間受高温作用,磚内部便会产生大量液相,致使全部砌体因熔化而破坏。工业窑爐的作业温度,不应高于砌磚的耐火度。耐火度的高低取决于原料的化学矿物成分、原料的顆粒組成及液相的粘度。几种主要制品的耐火度如下:

矽 磚	$1710\sim 1730^{\circ}\text{C}$	高 鋁 磚	$1800\sim 2000^{\circ}\text{C}$
半矽磚	$1600\sim 1710^{\circ}\text{C}$	鎂 磚	2000°C 以上
粘土磚	$1580\sim 1750^{\circ}\text{C}$	白云石磚	2000°C 以上

2. 荷重軟化温度

荷重軟化温度是耐火材料在高温下的結構强度。一般采用耐火磚在每平方公分 2 公斤靜止負荷作用下,所引起的一定数量的变形温度表示。一般說来,玻璃相少、結晶形成网状結構和氣孔率小的磚,荷重軟化温度較高。几种主要制品的荷重軟化点如下:

粘土磚	1350~1400°C	高鋁磚	1450~1700°C
矽 磚	1620~1670°C	鎂 磚	1550°C以上

3. 常温耐压强度

表示耐火磚的結構强度和承担靜止負荷的能力，对磚抵抗冲击作用和摩擦作用有很大关系。耐压强度取决于制品的密度和燒結程度。

4. 气 孔 率

气孔率与抗渣侵蚀性有很大关系，抗渣侵蚀性主要取决于耐火材料的化学性質（酸性、硷性、中性）。酸性材料抗酸性渣，硷性材料抗硷性渣，粘土磚属于中性材料，提高磚中 Al_2O_3 含量能增加对酸性熔渣和硷性熔渣的侵蚀抵抗性。同样化学性質的材料由于气孔率大，增加磚料与熔渣的接触面积，并使熔渣借助于气孔向磚体内部渗透，抗渣侵蚀性降低。气孔率的大小取决于原料的燒結性能、泥料的顆粒組成和堆集密度，以及制品的燒結程度。

5. 残余綫收縮（或膨脹）

残余綫收縮是耐火材料在高温下的体积固定性。磚在使用过程中由于长期受热，磚坯进一步燒結，体积产生收縮，或結晶轉化完全，体积进一步膨脹，造成爐体裂縫和变形。为了减少残余綫收縮，制品应在足够的温度下燒成。

6. 耐急冷急热性

耐火材料具有在使用过程中，能承受温度急剧变化，而不致

发生裂纹的性能。耐火材料的耐急冷急热性能与制品的大小、厚度及形状等都有关系。提高熟料的含量或增加熟料粗颗粒部分，能够改善耐火材料的耐急冷急热性能。

三 粘土质耐火材料的性能 and 特点

凡是以耐火粘土为主要原料， Al_2O_3 的含量在 30~45 % 的耐火材料，称为粘土质耐火材料。粘土质耐火材料根据耐火度的高低，分为三等：一等不低于 $1730^{\circ}C$ ，二等不低于 $1670^{\circ}C$ ，三等不低于 $1580^{\circ}C$ 。

粘土质耐火材料具有广泛的用途，约占有耐火制品的 70%。这是由于原料资源分布广而丰富，按其性质既能抗酸性渣也能耐硷性渣，并且在某些地方能代替高级耐火材料使用。粘土砖一般用作高炉、平炉、各种轧钢用加热炉、热处理炉和鍋爐的砌筑材料。其次，在电炉、平炉和轉爐炼钢中要消耗大量澆鋼用磚。下面列举几种冶金工业主要粘土砖的技术条件。

表 1

磚 种	物 理 性 質					化学成分 (%)	
	耐火度	荷重軟化溫度	耐 压 强 度	气孔率	殘 綫 收 縮	$Al_2O_3 + TiO_2$	Fe_2O_3
高 爐 磚	>1730	>1400	>300~400	<19~20	$1400^{\circ}C < 0.2$	>44	<1.8
盛鋼桶衬磚	>1710	>1370	>250	<21	$1400^{\circ}C < 0.3$	>40	—
塞头与鑄口磚	>1710	>1370	—	18~23	—	>40	—
座 磚	>1690	—	>100	<23	—	>36	—
袖 磚	>1710	—	—	19~26	$1350^{\circ}C < 0.3$	>40	—
下 鑄 用 磚	>1690	—	—	19~24	$1350^{\circ}C < 0.3$	>36	—
热 风 爐 磚	>1710	>1250	>125	<30	$1350^{\circ}C < 0.4$	—	—
热 风 爐 磚	>1690	>1250	>125	<28	$1350^{\circ}C < 0.4$	—	—

第二章 制磚原料——耐火粘土 的主要化学物理性質

粘土是含水矽酸鋁的化合物,主要矿物成分为高岭石($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),純淨的高岭石,其化学成分为 Al_2O_3 39.5%, SiO_2 46.6%, H_2O 13.9%。任何天然粘土如煅燒后 Al_2O_3 含量不低于30%, 耐火度不低于 1580°C , 都可以用作制造粘土磚的原料。

一 耐火粘土的分类

1. 按外形分

(1) 高鋁粘土——一般为灰色、黑灰色,質地坚硬,比較粗糙,具有魚子狀的顆粒,沒有可塑性。

(2) 硬質粘土——一般为灰色或灰白色,一种較為粗糙,硬度和比重較大;另一种質脆,容易破碎,断口成貝壳狀。

(3) 半硬質粘土——一般为深灰、灰白等色,硬度較小,表面光滑呈油脂光澤,粘性及其可塑性較軟質粘土小。

(4) 軟質粘土——有紫、褐、灰、紫黑等色,見水很快松散,粘性及其可塑性很大。

2. 按化学成分及耐火度分

表 2

类 别	煅 燒 后 含 量			耐 火 度	用 途
	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$	Fe_2O_3	CaO		
1	40~60	<2.5	<0.5	1730	一級粘土磚
2	35~40	<3.0	<0.8	1670	二級粘土磚
3	30~35	<3.5	<1.0	1580	三級粘土磚
4	15~30	<2.5	<0.5	1580	半 矽 磚

二 耐火粘土的化学成分

純淨的高岭土 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 煅燒后呈白色, Al_2O_3 46%, SiO_2 54%。粘土中 Al_2O_3 的含量愈高, 耐火度也愈高。 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 MgO 等杂质降低粘土的耐火度。 K_2O 、 Na_2O 本身的熔化温度很低, CaO 、 MgO 本身熔点虽高, 但因其为硷性氧化物, 与粘土中的 SiO_2 作用降低粘土的耐火度, 因此, 二者都是熔剂。 Fe_2O_3 不仅降低耐火度, 并使制品产生熔洞缺陷。各成分熔化温度如下:

SiO_2	1713°C	K_2O	880°C
Al_2O_3	2050°C	Na_2O	810°C
Fe_2O_3	1560°C	CaO	2570°C
TiO_2	1850°C	MgO	2800°C

粘土中的杂质是一种掺杂的物质, 这些杂质的存在影响到粘土的质量, 限制了粘土应用的可能性。杂质中最多的有以下几种矿物: 石英、褐铁矿、硫化铁、碳酸钙、碳酸镁和石膏。有机夹杂物过多, 煅燒后气孔率大也影响使用。兹将省内外几种主要粘土成分列表如下:

表 3

	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	灼减	耐火度
山东焦宝石	43.56	40.15	1.13	1.23	—	—	14.38	1750
山东坊子粘土	58.93	25.38	1.03	1.80	—	—	8.81	1650
唐山烧B	35.34	60.76	1.85	1.31	—	—	0.32	>1800
唐山四节粘土	48.53	33.3	1.61	1.76	0.58	0.08	11.53	1730
平定熟矾土	22.11	71.52	3.31	2.28	0.33	0.19	—	>1800
复州粘土	44.35	36.69	1.04	2.60	0.80	0.24	14.19	>1730

兴城軟質粘土	43.96	36.82	0.49	3.74	0.59	0.66	10.94	1730
兴城硬質粘土	46.95	46.82	—	0.53	0.46	痕迹	7.09	1770
兴城半硬質粘土	48.82	36.62	0.97	1.51	0.59	0.43	9.20	1730
本溪小市熟料	45.83	50.92	—	1.15	0.46	0.15	—	>1750
本溪小市粘土	59.06	31.72	—	1.32	0.35	0.59	7.0	—
本溪田师傅熟料	35.22	63.30	—	1.48	0.09	痕迹	—	—
清原粘土	57.16	29.18	—	3.30	—	—	—	—
吉林水曲柳粘土	59.85	27.37	0.03	1.75	0.42	0.07	10.08	>1710

三 耐火粘土的主要物理性質

1. 可塑性和分散性

凡在机械的外力作用下，能改变它的形状而不破坏其致密性，并在外力取消后依然能保持它的变形，称为粘土的可塑性。这个特点使我们有可能将粘土制成各种形状的产品。粘土的可塑性的大小，决定于粘土的分散性，取决于粘土中小于0.1秒的微粒的数量。細分散的粘土可塑性高，并具有較好的粘結力。

2. 抱水率和空气收縮率

粘土加水后，具有适于塑造而不粘手的性質，这时的含水量称为抱水率。抱水率可用以下两公式計算：

$$\text{绝对抱水率}(\%) = \frac{\text{加水后重量} - \text{干粘土重量}}{\text{干粘土重量}} \times 100$$

$$\text{相对抱水率}(\%) = \frac{\text{加水后重量} - \text{干粘土重量}}{\text{加水后重量}} \times 100$$

耐火粘土制成的坯体，经过干燥后，它的体积能够縮小，体积变化的比率称为收縮率。根据收縮率可判断粘土的可塑性，粘土的可塑性愈大，其收縮率也愈大。

3. 燒結性和燒結間隔

粘土經過适当的溫度煅燒，具有最大的密度和最小的孔隙，通常以吸水率小於2%為標準，这时的溫度稱為燒結溫度。粘土的燒結性，主要取決於易熔物的數量和粘土的分散性。試樣燒結的主要標志是：（1）形成致密塊；（2）顏色顯著地改變，並呈現開始玻璃化時的淡色光澤；（3）氣孔率顯著降低。

粘土的燒結溫度和變形溫度之間的間隔叫做燒結間隔。燒結間隔寬的粘土在燒成時易於掌握，不致因窯室溫度差和止火不當等原因產生變形。

四 耐火粘土的加熱變化

耐火粘土的主要礦物為高嶺土，高嶺土在加熱試驗下性質改變如下：

（1）在 $500\sim 580^{\circ}\text{C}$ 的溫度下起吸熱變化，分離出結合水；

（2）在 $950\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 的溫度下起放熱變化，分解成游离的氧化鋁和氧化矽，以及生成 γ ——氧化鋁；

（3）在 $1230\sim 1280^{\circ}\text{C}$ 的溫度下起放熱變化，游离的氧化鋁和氧化矽形成新的礦物——謨來石。 $(3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2)$ 。

第三章 配 料

耐火磚的配料是一項很複雜的技術工作。配料工作包括選擇原料的品種，確定各種原料的配合比率。配方不僅直接決定

產品質量，而且與制料、成型、干燥和燒成等一系列加工過程有着密切的關係。在確定配方時既要考慮提高產品質量，同時還要注意合理利用粘土資源，降低產品成本。

一 正確的選擇耐火粘土

選擇粘土的種類和確定各種粘土的配合比率時，要注意以下幾點：（1）保證達到制品的化學成分；（2）保證達到制品規定的物理指標；（3）有良好的操作性能，如可塑性、燒結性、燒結間隔等；（4）合理利用粘土資源。

軟質粘土應選擇含有機夾雜物少、低溫燒結的粘土。有機夾雜物多、難燒結的粘土，不能制得高強度、低氣孔率的磚。軟質粘土應接近熟料的耐火度，其化學成分最好在以下範圍： Al_2O_3 不小于30~35%，RO 不大于4~6%，其中 Fe_2O_3 不大于2~3%。

熟料的煅燒溫度最好超過制品的燒成溫度，使原料達到完整燒結，吸水率小于2~5%。煅燒不良的熟料，在燒成和使用中繼續收縮，造成產品裂紋和強度下降。熟料中 Al_2O_3 含量不小于45~50%，RO 不大于4~6%，其中 Fe_2O_3 不大于2~3%。

二 確定合理的顆粒組成

在粘土磚生產中最有效的變動因素是熟料的顆粒成分，調整熟料的顆粒成分即可改變磚的性質。增加細顆粒成分能制出致密而堅固的磚，提高抗渣侵蝕性。增加粗顆粒，能提高制品的耐溫度急變抵抗性。在一般粘土磚中，熟料顆粒的密度不起

決定作用，因含有大量軟質粘土（40~50%），破壞了熟料顆粒的排列。

適當增加細顆粒，對改善產品質量有一定作用。採取細顆粒配方有以下優點：（1）坯料粒度分布均勻；（2）磚的邊角整齊，表面致密，不會產生細小裂紋；（3）適當增加細顆粒，可提高磚的耐壓強度和荷重軟化溫度；（4）可顯著地提高磚的抗渣侵蝕性能。但在增加細顆粒的同時，要把大、中、小三種顆粒看成是互相聯繫的整體，從而確定大、中、小顆粒應占的比率範圍。單純增加細顆粒也不能達到預期效果，正如試驗證明：完全用細顆粒或粗顆粒製造的磚，其氣孔率並無顯著差別。顆粒組成還必須和磚的種類聯繫起來考察，如大型磚和標、普型磚就不能用同一的顆粒。一般說來，隨着磚型增大應適當加大顆粒尺寸，增加大顆粒的比率。

粘土磚的顆粒組成要兩頭大、中間小，即大顆粒和小顆粒多，中顆粒少。顆粒組成如下：一般磚2.5~0.5mm的大顆粒占35~40%，0.5~0.088mm的中顆粒占15~20%，小於0.088mm的細粉占25~30%。高致密的磚2~0.5mm的大顆粒占35~45%，0.5~0.088的中顆粒不超過10~15%，小於0.088mm的細粉占45~55%。

三 確定熟料和粘土的比率

熟料是粘土煅燒後的產物，一般用硬質粘土（ Al_2O_3 含量較高的）作原料，如沒有合適的硬質粘土，也可以用耐火度高、燒結性能良好的軟質粘土煅燒成熟料。熟料是粘土磚的主要構成部分，在磚坯中起骨架作用。同時熟料還具有增加制品強度

和密度，調節泥料可塑性（具有減粘作用），使之便于操作，減少制品在干燥和燒成中的收縮及由此產生的廢品的性質。增加熟料的比率能提高制品質量，但成本也要相應地增加，因此要根據磚的用途和質量要求來決定。生產質量要求嚴格的磚，應採取多熟料配方，這是因為：（1）粘土用量相對減少，就相對減少磚內的雜質，提高耐火度和荷重軟化溫度；（2）增加堆集密度，降低氣孔率，提高抗渣侵蝕性；（3）干燥和燒成過程收縮小；（4）提高抗溫度急變抵抗性能，減少重燒收縮。

軟質粘土在磚坯中起到筋和肉的作用，在成型時具有粘結熟料顆粒的作用。在燒成時軟質粘土產生部分液相，填充熟料間的孔隙，使制品達到完整燒結。在低熟料配方中，為了減少粘力和收縮，可加部分硬質粘土。

熟料、硬質粘土和軟質粘土的配合比率如下表：

表 4

	熟料 (%)	硬質粘土 (%)	軟質粘土 (%)
高質量的磚	80~70	0~10	10~20
質量較好的磚	70~60	10~20	20~30
一般磚	60~50	10~30	20~30

四 決定相應的工藝操作

前面已經說過，配方與制料、成型、干燥和燒成等一系列加工過程有着密切的關係，因此，當配方確定後，就要決定相應的工藝操作。

（1）粉碎過篩——根據泥料的顆粒組成選擇篩網，確定

过篩方法。

(2) 水分——熟料多需要的水分少，煨燒不良的熟料吸水率大，水分要适当增加。

(3) 成型压力——熟料多、水分少的泥料，成型要求較大的压力；反之，熟料少、水分大的泥料，成型要求的压力較小。

(4) 干燥速度——熟料多的磚坯水分易于排出，干燥速度較快。

(5) 燒成速度——多熟料的磚坯干燥和燒結时收縮較小，低温和高温升温速度可加快。

(6) 止火温度——結合粘土的燒結温度低，止火温度可降低；反之，难燒結的粘土，要提高止火温度。

五 配 料 計 算

1. 按制品的化学成分确定配料

在RO小于规定的时候，只計算 SiO_2 和 Al_2O_3 两成分（按煨燒后重量为100計算）。

假設有兩種原料：熟料的 Al_2O_3 为60%， SiO_2 量为40%；軟質粘土的 Al_2O_3 为40%， SiO_2 为60%。現要制得 Al_2O_3 含量为48%、 SiO_2 为52%的制品，求各种原料应占的比率。

設熟料为x，軟質粘土为Y，則可用下式求出：

$$60x + 40Y = 48 \dots\dots\dots (1)$$

$$40x + 60Y = 52 \dots\dots\dots (2)$$

解此方程式，則

$$x = 0.40$$