

TQ179.32
0122 f

粘土砖瓦人工干燥 技术教材

建材部西安砖瓦研究所
粘土(瓦)砖技术培训班

前 言

本教材是为适应和满足各省举办粘土砖瓦人工干燥技术培训班的需要，满足各地砖瓦厂技术人员、管理干部、工人学习人工干燥有关热工知识和生产技术而编写的。

本教材介绍烧结砖瓦的原料、干燥基本原理、干燥室的结构、干燥制度的确定、干燥生产控制、干燥室的热工测定，干燥室的设计及国外干燥工艺。

本教材由建材部西安砖瓦研究所苏国准编写，并经张坤元、罗韬毅、刘婉芬审阅。

TQ179/1

目

录

第一章 烧结砖瓦的原料

- 第一节 粘土原料..... (1)
- 第二节 页岩..... (22)
- 第三节 煤矸石和粉煤灰..... (23)

第二章 干燥基本原理

- 第一节 空气的干燥性能..... (32)
- 第二节 坯体水分..... (39)
- 第三节 坯体内水分在干燥过程中的移动..... (41)
- 第四节 坯体干燥过程..... (45)

第三章 人工干燥及其设备

- 第一节 干燥室类型及结构..... (60)
- 第二节 干燥室的热源..... (67)
- 第三节 干燥室的通风设备..... (70)
- 第四节 干燥室的附属设备..... (79)

第四章 干燥制度的选择

- 第一节 干燥制度的确定..... (83)
- 第二节 湿空气I—d图及其应用..... (91)

第五章 干燥生产控制

- 第一节 人工干燥开机、停机注意事项及设备的检查和维修..... (105)
- 第二节 实现快速干燥的条件和方法..... (106)
- 第三节 干燥裂纹产生原因及消除方法..... (108)

第六章 人工干燥室的设计和国外的干燥工艺

- 第一节 人工干燥室的设计..... (115)
- 第二节 国外的干燥工艺..... (121)

第七章 人工干燥的测定

- 第一节 温度和湿度的测定..... (132)
- 第二节 坯体干燥性能的测定..... (133)
- 第三节 内燃掺料发热量的测定..... (135)
- 第四节 风量和风压的测定..... (137)
- 第五节 干燥室新投产或改变热工制度和正常生产期间的测定项目..... (141)

第一章 烧结砖瓦的原料

我国目前制造烧结砖瓦的主要传统原料是粘土。除此以外，还利用页岩、煤矸石和粉煤灰制作砖瓦，国外除采用上述原料制作砖瓦外，也有利用泥灰岩、石灰石、铜矿渣等制造砖瓦。

由于不同的制砖原料具有不同的性能，因此所采用的工艺亦不相同。此外，原料的性质对砖瓦制品起着决定性的作用。所以对制砖原料的物理化学性质及矿物组成，有一粗略的了解，是很有必要的。

第一节 粘土原料

粘土是指地壳表层的各种由硅酸盐矿物组成的硅酸盐岩石（主要是长石、花岗岩、斑岩、片麻岩等），长期在水、潮汐、风雨、冰雪等急剧变化的作用下，崩解破裂，成为碎块，这这碎块岩石在冰和大气中碳酸气的作用下，因化学分解而成为粘土。

一、粘土的物理性质

粘土的物理性质包括：粘土的外观颜色、含水率、塑性、收缩、干燥敏感性、颗粒组成和烧结性等。

1、粘土的外观颜色

粘土的颜色，主要与粘土中含有金属氧化物或有机物有关。色样及其深浅根据氧化物的形式和它的含量多少而定。

含氧化铁能使粘土呈玫瑰色、红色或褐色；

含低价铁氧化物能使粘土呈淡兰色或淡绿色；

含氧化锰能使粘土呈淡褐色；

含有机物能使粘土呈淡黄色、灰色、黑色或玫瑰色。

通常粘土的颜色经焙烧后，它并不保留于焙烧后的制品中。

2、粘土的自然含水率

自然状态存在的粘土一般含有一定数量的水。用作砖瓦原料的粘土，由于产地、季节和气候不同，其自然含水率的多少很不一致。粘土中含水率的多少，不但对选用的生产工艺起决定性的作用，而且将直接影响生产工艺的控制。例如对采用人工干燥和一次码烧生产工艺，粘土的自然含水率不得大于成型含水率，否则生产就难以正常进行。根据国外资料的介绍，对采用硬塑挤出成型的一次码烧工艺，粘土的自然含水率不得大于14%（干基）。自然含水率过大，成型坯体水分过高，不但容易引起压裂变形，而且延长干燥时间，降低了制品的产量和质量。

因此，为了决定所应选用的生产工艺，并能正确控制工艺中的补充水量或干燥脱水水量，必须对粘土进行含水率的测定。

3、粘土的可塑性

粘土加适当水分经拌和并捏练后能得到可塑泥料。在外力的作用下，它能任意改变其形状而不发生裂纹。当外力移去后，又能保持已改变了形状，粘土的这种性能叫做可塑性。可塑性是粘土的基本性能，也是主要的工业指标，是粘土能够制成各种砖瓦制品的首要条件。

粘土的可塑性主要取决于粘土颗粒和液体的性质，固相的化学性质、分散度、微粒的含量和形状都影响其可塑性。

如高岭土的可塑性随着颗粒细度的增大而增高。粘土中含有胶体物质（一般指小于0.1微米的颗粒），则可塑性也高。

液体对于固体颗粒的浸润，是产生可塑性必要条件。具有浸润性的液体，对可塑性起决定作用的是它的表面张力和粘度。表面张力和粘度二者的乘积愈大，则可塑性也愈高。

对于同种粘土，可塑性的高低，取决于掺合液体种类的不同和数量的多少。

由上所述，可采用下列措施改善粘土的可塑性：

1）风化或陈化（困泥）

风化是指粘土经阳光、雨水、冰雪冻触溶解等作用，使粘土内部发生分解、崩裂、松散，使粘土的可塑性得到提高。

陈化是指粘土自然熟化，粘土润湿松散，水分借毛细管的作用分布均匀，从而提高了粘土的可塑性。

2）细磨

细磨粘土，对于可塑性有很大的影响，即使是毫无塑性的原料，如果加以细磨，也能使其具有一定程度的可塑性。粘土颗粒经磨细后，由于表面积的增加，粘土中的阳离子交换能力亦增大，促进了每一粘土微粒上水膜的形成，并防止微粒互相聚结，从而提高了粘土的可塑性。

磨细粒度一般不小于1毫米，当然小于1毫米更好，但细磨费用增大。

3）调节水分

水分是能够影响可塑性的最重要因素，因此从这一点来看，增加水分是有利的。水分太低，就会使泥料变成半固体状态；水分太高，泥料将成为流动状态。所谓“太湿”至“太干”的范围，就水分而言，也不过在3~4%之间。

水分的分布是否均匀也很重要，分布不均匀也降低粘土的可塑性。

4）加热泥料

加热拌合水对于泥料的可塑性，坯体的干燥和动力消耗都有很大的影响。当水的温度太低时，泥料的流动能力就差，可塑性也就降低，而且机器的动力消耗也有所增加；当水的温度较高时，泥料的流动能力增强，并且有利于干燥，动力消耗亦有显著的降低。

但是在热处理中，如果采用热水，其效果不如用水蒸汽那样好，因蒸汽热处理能使冷凝水以微细的水滴分布于粘土颗粒上，因而对提高粘土的可塑性较用热水的好。

蒸汽热处理一般的最高压力以0.8大气压为宜。

5）真空成型

真空成型能吸收粘土颗粒间的气泡，使各个粘土颗粒更好地相互结合，从而提高粘土的

可塑性。

采用原料加热和真空成型时，可排除多余的蒸汽，并还可以排除小量的冷凝水，从而得到可塑性较高的泥料。

6) 掺加碱性的物质

在粘土中掺合有机物质或无机物质，由于产生离子交换，而达到提高可塑性的目的。

掺合的有机质种类较多，如乳酸、腐植质酸、醋酸、甘油、鞣酸等，其中以鞣酸较为适用，因这种物质得自没食子栎中，是一种废料，价格便宜，提高可塑性的效能亦较好，但因水分不易被排除，而不利于干燥。

掺合的无机物质有矿物酸的盐类，如碳酸钠、硼、苛性钠溶液，水玻璃等。其中以碳酸钠较为适用，但用量过多造成制品起霜。

7) 掺加其它物质

(1) 异质粘土——对塑性较低的瘦粘土可掺入塑性高的粘土，以提高瘦粘土的塑性，但掺合时要注意拌合均匀。

(2) 皂土——属于胶岭石质粘土的一种，含有约5倍于它种粘土的微粒，具有6~20倍的离子交换能力，因而富于胶质，塑性很大。在砖瓦工业中，一般采用低级皂土。并且必须是干燥而磨得很细的皂土。

(3) 胶结物质 掺加胶结物质既可提高粘土的可塑性，又不致影响干燥和焙烧及制品的颜色。对砖瓦工业来说，较为适用的胶结物质是亚硫酸盐废液，这种物质来自纤维素生产时的残渣中，含有大量的树脂，具有很大的胶结能力，只须掺用很小的份量，便能收效。采用亚硫酸盐废液时应注意它的吸水能力，因此用于潮湿的粘土中较为有利。

粘土的塑性高低，用塑性指数表示，粘土呈可塑状态时含水率的变化范围代表着粘土的可塑程度，其值等于液性限度（简称液限、也称流限）与塑性限度（简称塑限）之差。流限和塑限用塑性指数法测定。这里讲的流限，就是粘土呈可塑状态的上限含水率（干基），当粘土中含水率超过流限，粘土就成为流动状态。所谓塑限，就是粘土呈可塑状态时的下限含水率（干基），当粘土中含水率低于塑限时，粘土即成为半固体状态。

按塑性指数大小，可将粘土分为：

高可塑性粘土

塑性指数 > 15

中等可塑性粘土

塑性指数 $7 \sim 15$

低塑性粘土

塑性指数 < 7

中等可塑性粘土适用于制造砖瓦。

4、收缩

粘土在干燥和焙烧时，由于脱水颗粒相互靠拢和产生一系列物理化学变化，导致体积发生变化。因此要获得一定尺寸的砖瓦制品，必须注意粘土的收缩或膨胀特性，测定粘土的收缩或膨胀值，作为制定模具尺寸时的依据，才能保证制品的最终尺寸。

粘土制品的收缩，在脱水干燥时产生的叫干燥收缩，而制品经焙烧后产生的叫烧成收缩。干燥收缩与烧成收缩之和称为总收缩。收缩又有线收缩和体积收缩之分，其值都是制品最初尺寸之百分比。体积收缩约为线收缩的三倍。

干燥收缩：刚成型的坯体，其中含有一定量的水分，在干燥过程中水分蒸发，一方面由

于掺水时颗粒体积发生膨胀，此时因水分蒸发而缩小。另一方面则由于毛细孔水分的蒸发粘土颗粒靠拢，结果坯体尺寸也发生收缩。这种现象叫做空气收缩或称干燥收缩。由于粘土的不同，收缩值也不一样。可塑性高的粘土一般比可塑性低的粘土干燥收缩值大，就是同一粘土，因掺合水的多少不等，收缩值也不一样，掺合水多的收缩值就大，用于制作砖瓦的粘土干燥线收缩一般在3~10%。

干燥后的坯体，在焙烧过程中，因粘土在焙烧时产生一系列物理化学变化，同时粘土中的易熔物熔化生成的玻璃液相填充于颗粒间的间隙中，发生体积变化，称之为烧成收缩。烧成收缩也会由于粘土原料的矿物化学组成不一样，其物理化学反应也不一样，结果收缩值也就不同。砖瓦用粘土的烧成收缩一般在2~6%。其总收缩值在5~15%。

此外，在焙烧中由于粘土含有大量的石英，石英在焙烧时发生晶型转化而体积膨胀，使制品不但不收缩反而膨胀。这种现象称为反收缩。

粘土制品的收缩可按式计算：

$$Y_{\text{干}} = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \times 100 \quad (1-1)$$

$$Y_{\text{烧}} = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100 \quad (1-2)$$

$$Y_{\text{总}} = \frac{L_0 - L_2}{L_0} \times 100 \quad (1-3)$$

式中：

$Y_{\text{干}}$ ——干燥线收缩率(%)；

$Y_{\text{烧}}$ ——烧成线收缩率(%)；

$Y_{\text{总}}$ ——总线收缩率(%)；

L_0 ——刚成型试件两记号间的距离(毫米)；

L_1 ——干燥后试件两记号间的距离(毫米)；

L_2 ——烧成后试件两记号间的距离(毫米)。

5、干燥敏感性

粘土的干燥性能，对于砖瓦生产工艺有着重要的意义。当制定工艺和选用设备前，对所采用的粘土的干燥性能，应有所了解，并以这些参数作为制定工艺和选用设备的依据。

粘土制成坯体后，在干燥过程中体积缩小，收缩是与干燥同时发生的。由于坯体各部位干燥快慢不一致，外部干得快，内部干得慢，收缩也不一致，内部收缩得慢，外部收缩得快。因此坯体内部产生压缩应力，坯体表面产生伸胀应力，如果干燥过程处理不当，坯体表面会出现开裂现象。干燥敏感性就是制品开裂的倾向性，即标志粘土制品在干燥过程中易于开裂的程度。

粘土(或坯体)的干燥敏感性用所谓干燥敏感性系数来表示。实际测定时，一般用下式来确定：

$$K = \frac{W_{\text{初}} - W_{\text{临}}}{W_{\text{临}}} \quad (1-4)$$

式中：K——干燥敏感性系数；

$W_{初}$ ——试样初始含水率%（干基）；

$W_{临}$ ——试样临界含水率%（干基）。

而初始含水率和临界含水率为：

$$W_{初} = \frac{G_1 - G_0}{G_0} \times 100 \quad (1-5)$$

$$W_{临} = \frac{G_2 - G_0}{G_0} \times 100 \quad (1-6)$$

将上述两式代入 1—4 得：

$$K = \frac{G_1 - G_2}{G_2 - G_0} \quad (1-7)$$

式中：

G_1 ——试样的初始重量（克）；

G_2 ——干燥收缩停止时试样的重量（克）；

G_0 ——干燥恒重后试样的重量（克）。

对粘土的干燥敏感性可划分为：

干燥敏感性高的粘土 $K > 2$

干燥敏感性一般的粘土 $K \quad 1 \sim 2$

干燥敏感性低的粘土 $K < 1$

6、颗粒组成

粘土中包含着各种大小和形状不同的颗粒，都属于土的颗粒组成部分。粘土的颗粒组成就是土中各种粒径的颗粒或各种粒径范围的粒组的相对比例，通常用占总干土重的百分数表示。

粘土的颗粒组成对制品的成型、干燥及焙烧质量有很大影响，根据不同的制品，应选择适当的颗粒组成的粘土极为重要。

粘土颗粒组成的粒径分级方法较多，过去砖瓦粘土的颗粒组成的粒径分级是按土工上的规定，即：

砂土 > 0.05 毫米

尘土 $0.05 \sim 0.005$ 毫米

粘土 < 0.005 毫米

这种分级方法，往往不能帮助我们判断和分析粘土原料的性能。因此我们采用：

砂粒 > 20 微米

尘粒 $2 \sim 20$ 微米

粘粒 < 2 微米

许多分析结果指出粘土矿物的大小有集中在 2 微米以下的趋势，粘土的化学和物理性质主要取决于粘土矿物微粒的表面活性，而这些粒级的颗粒具有很大的表面活性。现在欧洲一些国家在制作砖瓦粘土上分级的最小粒级都采用 2 微米。同时可以根据 > 20 微米、 $2 \sim 20$

微米、 <2 微米的三级各占的百分数，按德国威克来氏的三角图形（图 1—1）分类，是进行鉴别粘土能否制作砖瓦的标志之一。

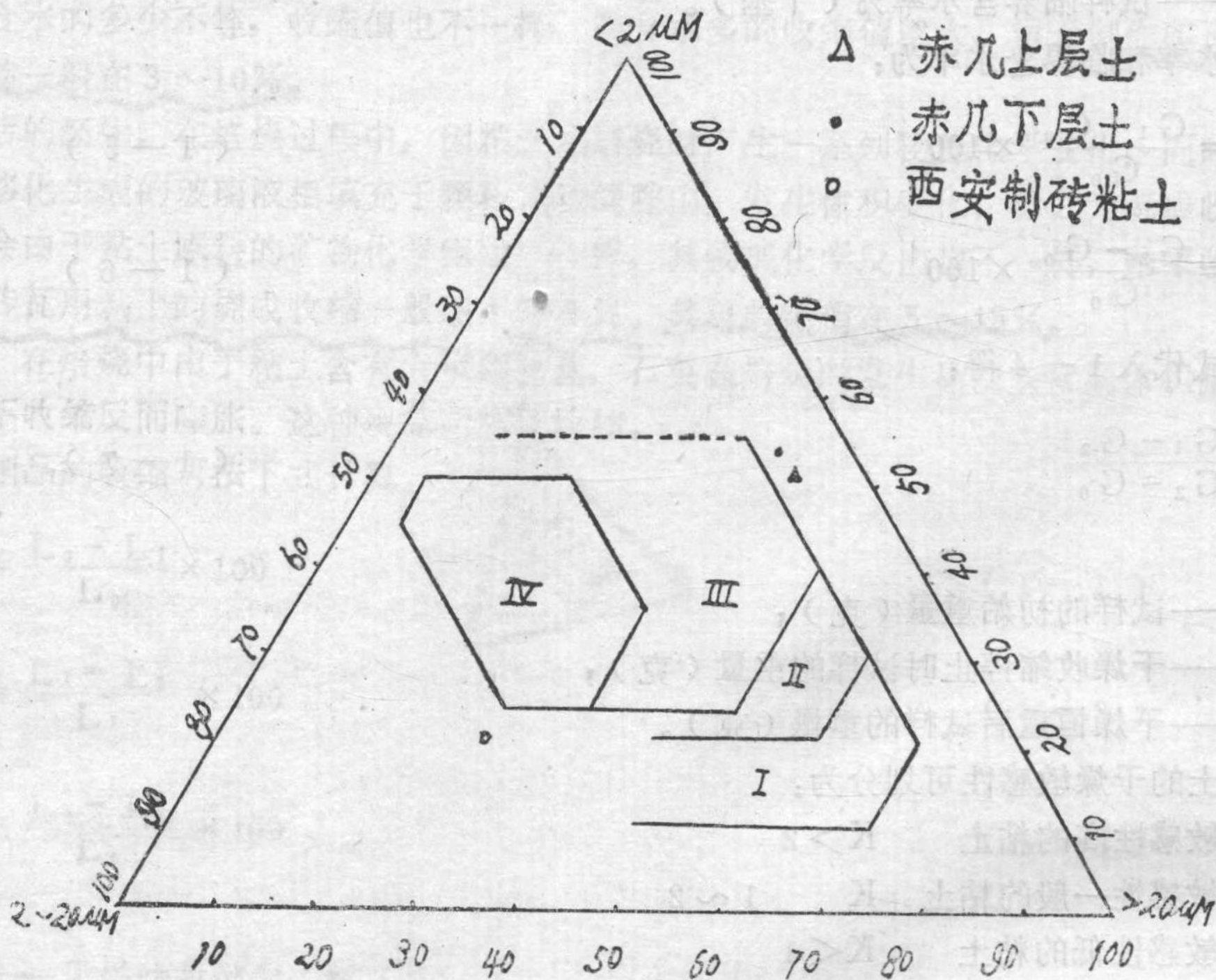


图 (1—1) 威克来三角图

I—实心砖 II—多孔砖 III—瓦和空心制品 IV—薄壁大型楼板砖和空心制品

如对赤道几内亚砖厂——安贡粘土矿区及西安制砖粘土的颗粒分析，其结果列于表 1—1。

表 1—1

产地 \ 粒径	>20 微米	$2 \sim 20$ 微米	<2 微米
赤几上层土	42	7	51
赤几中层土	39	7	54
赤几下层土	39	7	54
西安制砖粘土	27	53	20

根据表内数据，从威克来三角图中找出对应的组成点，说明赤道几内亚砖厂每层粘土的颗粒组成均超出威克来标定的做砖瓦范围。这是由于该种土中缺少 $2 \sim 20$ 微米级的尘土，而在大于 20 微米的颗粒中，大于 0.1 毫米的游离二氧化硅又占 19.4% 。所以粘土粒度级配太差，加之粘土中作为助熔剂的 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 NaO 含量太小，总量仅为 1.47% ，而

400~600 °C石英 和三氧化二铁晶 体的转化，引起试件体积的急剧变化，致使用这种粘土制作的4 × 4 × 4 厘米的试块，经960~1200 °C范围的各种温度焙烧后，试件严重网裂，结构疏松，抗压强度只有23.6~64.4公斤/厘米²。

7、烧结性

粘土坯体在焙烧过程中，随着温度不断提高，粒土中易熔物质开始熔融，坯体内的气孔率逐渐降低，密度愈来愈大。

所谓密度是指坯体被粒土颗粒填充的饱满程度。因此密度 可用坯体在 绝对致密 状态下（即不包括气孔在内）的体积V_a与坯体所占有的体积v₁（即包括气体在内）的比值表示。

由于比重是指不包括孔隙的单位体积的重量、即

$\gamma = \frac{G}{V_a}$ （克/厘米³）；容量是指包括气孔在内的单位体积的重量，

即 $\gamma_{容} = \frac{G}{V_1}$ （克/厘米₃。）

所以密度：

$\rho = \frac{V_a}{V_1} = \frac{\gamma_{容}}{\gamma}$ (1-8)

即等于坯体的容重与比重的比值。若用百分数表示，则坯体密度为：

$\rho = \frac{\gamma_{容}}{\gamma} \times 100$ (1-9)

式中：

- ρ——坯体密度（%）；
- γ_容——坯体容重（克/厘米³）；
- γ——坯体比重（克/厘米³）。

孔隙率是指坯体中气孔体积占坯体体积（包括气孔）的百分数。因此，从数量来说，气孔率W_气加上密度等于1 或100%，即

$W_{气} = 1 - \frac{\gamma_{容}}{\gamma}$ (1-10)

或

$W_{气} = \frac{\gamma - \gamma_{容}}{\gamma} \times 100$ (1-11)

式中：

- W_气——坯体的气孔率（%）
- γ——坯体的比重（克/厘米³）；
- γ_容——坯体的容重（克/厘米³）。

坯体的密度与气孔率直接影响粘土制品的强度、吸水性、透水性、热传导性、抗冻性等 这些重要性能。

对粘土原料物理性能的要求范围见表1—2。

粘土原料物理性能的要求范围

表 1—2

基本性能		要 求 范 围			
项 目	要求程度	普通砖	承重空心砖	平 瓦	薄 壁 制 品
颗粒组成(%)	<0.005mm	15~30 10~50	同 左 "	>30 >20	同 左 "
	0.005~0.05mm	45~60 40~80	" "	30~70 30~70	" "
	>0.05mm	5~25 2~28	" "	<10 <20	" "
塑 性 指 数	适 宜 允 许	9~13 7~17	" "	15~17 11~27	" "
干燥线收缩(%)	适 宜 允 许	3~8	"	5~12	"
焙烧线收缩(%)	适 宜 允 许	2~5	"	4~8	"
干燥敏感性系数	适 宜 允 许	<1 <2	" "	<1.5 <2	" "
烧成温度(°C)	适 宜 允 许	950~1050	"	同 左	"
烧结温度范围(°C)	适 宜 允 许	>50	"	"	"

二、粘土的化学成分

粘土的化学成分，对粘土制品的性能具有间接影响，并在一定程度上可以反映制品的某些性能。

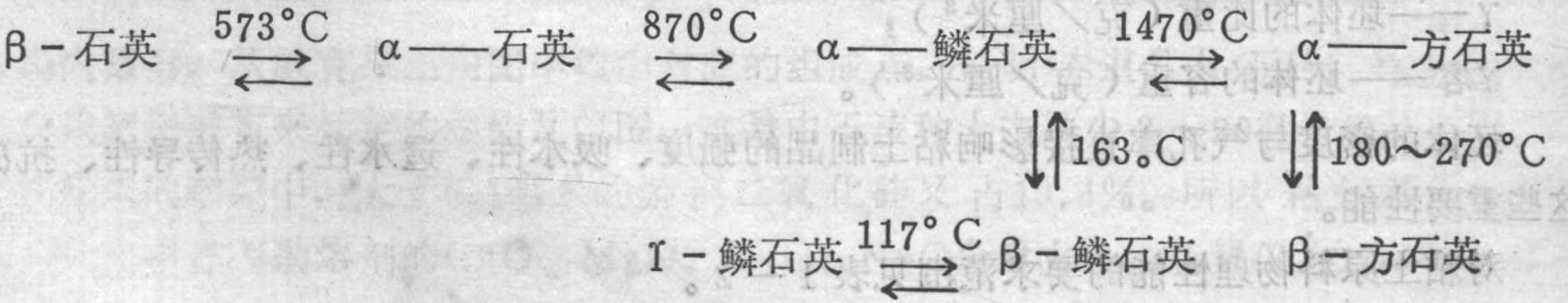
1、二氧化硅(SiO₂)

大颗粒的SiO₂多时，将增加制品的耐火度，提高烧成温度，起到瘦化剂的作用。这种大颗粒(SiO₂)要进行晶格变化，必然降低制品的力学强度，特别是抗折强度。

小颗粒SiO₂增多时，制品塑性增加，同时在焙烧时多熔于液相中，使制品结构均匀密实，当SiO₂含量大于75%时经验证明是不利的，超过80%含量时，焙烧后制品不但不收缩，反而会增大。这是由于晶格转化，可使制品体积增加16~17%。SiO₂含量小于50%时，则制品的抗冻性能差。

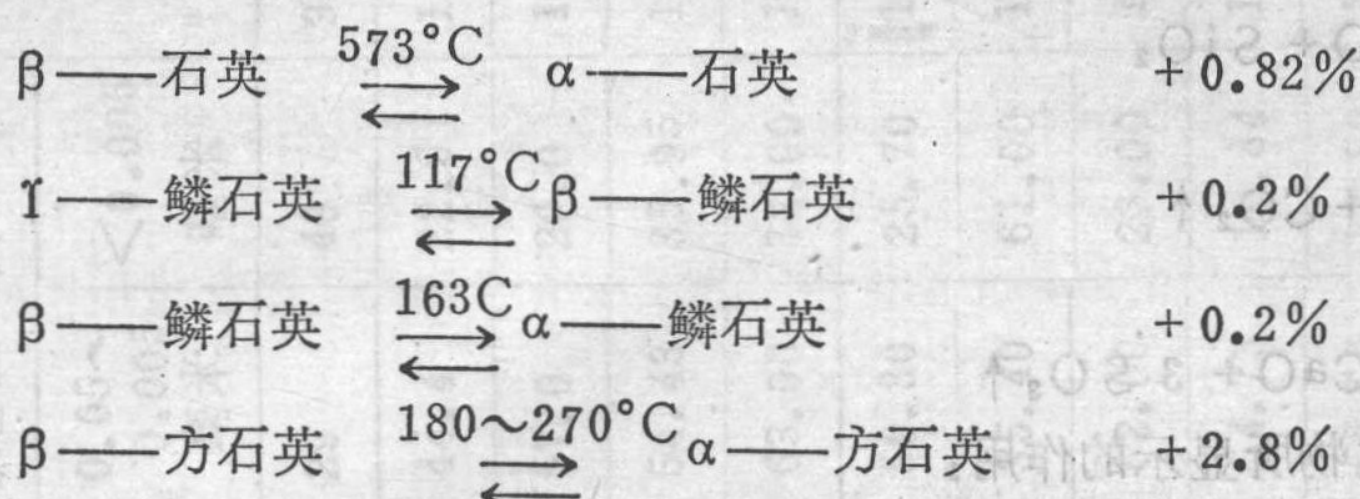
所以SiO₂在粘土砖瓦制品中的作用：

- 1) 起瘦化作用； 2) 在焙烧中会进行多晶转化； 3) 毛细管作用大，烧成收缩小。

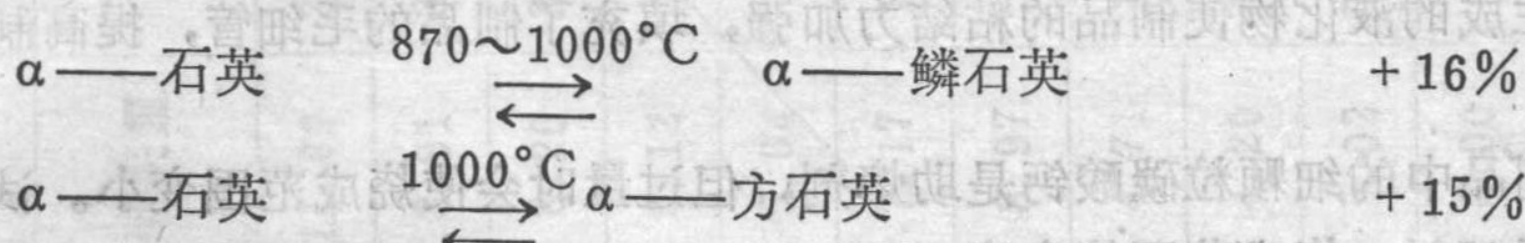


上述的转化可分成两类：

第一类是可逆的快速转化，并伴随着比较小的体积效应。



第二类是在主要组成之间的慢转化，与此同时其内部晶格有很大的改变，并且有较大的体积变化。



2、三氧化二铝 (Al_2O_3)

Al_2O_3 在 CaO 的作用下，于 1400°C 生成低共熔点熔融物 CA 和 C_{12}A_7 ，因此 Al_2O_3 在 CaO 的作用下具有中等程度的熔点， Al_2O_3 的含量增多时将增加制品的烧成温度。对砖瓦粘土来说， Al_2O_3 的含量要求在 $15\sim 20\%$ ，含量低于 10% 时焙烧的制品力学强度低，但含量高于 20% 时，虽然制品力学强度高，但烧成温度也高，燃料消耗大，制品抗冻性能差。

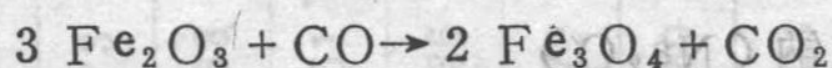
3、三氧化二铁 (Fe_2O_3)

铁的氧化物在制品中的作用：

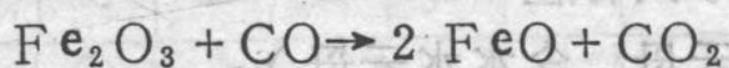
1) 是一种着色剂，造成制品颜色的变化。当窑内呈氧化气氛时，制品中的铁以高价铁的形式存在，制品呈红色，窑内呈还原气氛时，制品中的氧化铁被还原成氧化亚铁，制品呈黑色或青兰色。

2) 在氧化气氛中，不降低制品的耐火度，而在还原气氛中，三氧化二铁可成为一种强有力的助熔剂，降低了制品的耐火度。

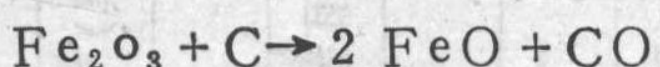
3) 颗粒大的氧化物，在制品焙烧中会出现铁斑（黑色斑点），使制品外表不美观。三氧化二铁的含量以 $4\sim 10\%$ 为宜。



红 色 青兰色



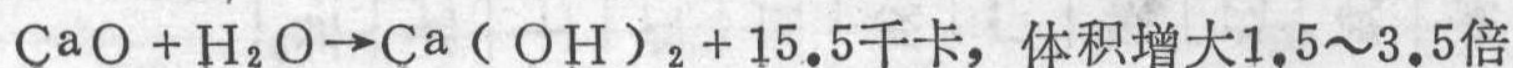
红 色 青兰色



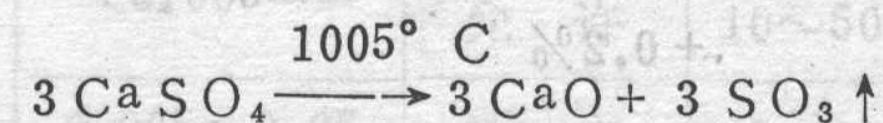
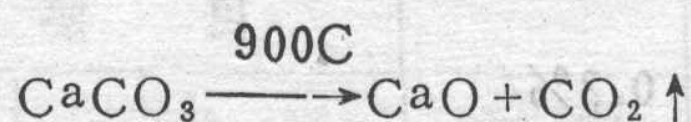
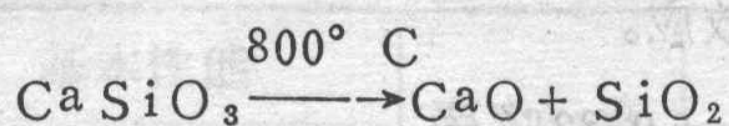
红 色 青兰色

4、氧化钙 (CaO)

CaO 在粘土砖瓦中是一种助熔剂，但它的含量不宜超过 10% ，含量过高将缩小粘土的烧成温度范围，给焙烧造成困难，并且大于1毫米的颗粒应尽量减少，以免制品炸裂。



在砖瓦半成品中没有CaO，而是硫酸钙，碳酸钙，硅酸钙在高温中分解出来的。



粘土制品中各种钙化物所显示的作用：

- 1) 在700°C左右使含铁制品呈现奶油色或浅黄色，起漂白作用。
- 2) 与氧化铝和氧化硅在加热形成低融点的液态化合物，可以降低制品的耐火度。
- 3) 焙烧中生成的液化物使制品的粘结力加强，填充了制品的毛细管，提高制品的抗渗性和耐腐蚀性。

4) 存在于制品中的细颗粒碳酸钙是助熔剂，但过量时会使烧成范围变小。试验证明，当氧化钙含量大于15%，烧成范围缩小为25°C。

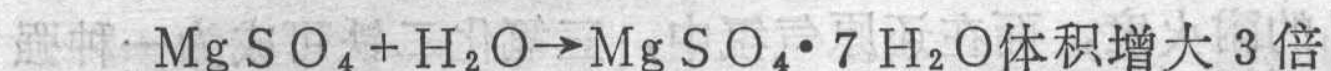
5) 制品中的硫酸钙遇水可生成可溶性硫酸盐，可溶性盐析出，水分蒸发后留在制品表面的结晶体为白霜，而体内白霜可使制品结构破坏，这是在结晶时体积膨胀的缘故。

6) 制品中的氧化钙如在烧成前还未与其它物质化合，出窑后吸收空气中的水分，发生膨胀使制品炸裂。

5、氧化镁 (MgO)

MgO在粘土制品中起助熔剂作用，并能降低制品的耐火度，但不如钙化物那样明显。由于粘土中含量较少，所以在焙烧时反应较慢。

MgO来源于菱镁矿 (MgCO₃)、白云石 [MgCa(CO₃)₂]、硫酸镁 (MgSO₄)，而MgSO₄是很有害的，由于白霜会对制品破坏，其它的镁化物危害不大，在加热时不致产生破坏，而会产生各种液相使制品更加致密。



MgO的含量一般不宜超过3%，因制品在焙烧过程中，氧化镁与三氧化硫反应生成硫酸镁，制品中的硫酸镁吸收空气中的水分形成泻利盐 (MgSO₄·7H₂O)，会使制品膨胀开裂。

6、氧化钾 (K₂O) 和氧化钠 (Na₂O)

1) 粘土中的钾钠化合物以下列形式存在

- ① 硅酸盐或硅铝酸盐 (如长石、云母、含水水云母)；
- ② 可溶盐 (K₂SO₄、Na₂SO₄、NaCl)；
- ③ 粘土矿物晶体表面吸附的阳离子。

2) 钾、钠化合物的主要作用是降低制品的耐火度或玻化温度，它们与氧化铝和氧化硅在低温下 (700°C) 化合，而起助熔剂的作用。

由于钾、钠化合物易于形成液相，它赋予制品以强度和不渗透性能。

3) 钾、钠的可溶性盐对粘土的塑性具有重要影响，它将提高粘土的塑性，并降低成型含水率。

我国几个砖瓦厂原料土的性能

表1—3

厂名	化 学 成 分 (%)				颗粒分级含量 (%)				塑性指数		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	烧失量	>0.05毫米		0.05~0.005毫米	<0.005毫米
兰州沙井驿砖瓦厂	55.48	11.95	5.26	8.90	2.49		11.89	22	29	49	9
北京南湖渠砖瓦厂(黑土)	58.73	13.85	4.63	7.84	2.10		8.81	33	44.4	22.6	11.8
上海大中砖瓦厂	62.63	15.59	5.25	4.17	2.34		8.20	23	57.0	20.0	17
江苏昆山红光砖瓦厂	68.51	16.25	4.61	0.75	1.39	0.40	5.12	9.62	54.43	35.95	19
南京新宁砖瓦厂	67.36	15.36	5.59	2.40	0.47		5.64	5.00	63.00	32.00	15.6
成都市第一砖瓦厂	63.79	16.15	8.85	0.78	0.80		7.17	14.50	59.30	25.70	19
广州市南岗砖瓦厂	56.80	23.04	7.74	0.26	1.00		8.97	3.70	35.40	61.00	15.4
陕西省实验砖瓦厂	66.04	14.63	6.05	2.71	1.56		4.71	15.00	62.00	23.00	14
辽宁省丹东市砖瓦厂	67.20	14.30	7.80	1.60	0.40		4.20	15.43	64.73	19.84	15.56
武汉市第八砖瓦厂	68.53	12.53	6.32	1.36	1.34		5.02	11.50	55.00	33.50	15
南宁市五一砖瓦厂	59.42	25.05	3.23	0.51	1.04		8.00	6.00	29.00	65.00	31
湖南常德县山土(瓦)	68.24	12.56	7.45	0.91	0.91		5.43	13.00	51.00	36.00	16
河北石家庄获砖鹿厂	64.60	11.33	7.30	5.25	2.43		8.31	19.00	61.00	20.00	8.5

4)大部份含碱金属 (K、Na) 的矿物是不具有塑性的, 因而能降低湿坯和干 坯的坯体强度, 降低粘土的干燥收缩, 并使制品易于进行干燥。

7、有机物

砖瓦粘土中有机物含量在2.5~14%, 它存在于粘土制品中造成焙烧热损失 和制品孔隙率增加, 使制品结构松散, 因此要求砖瓦粘土中有机物含量越少越好。

现介绍我国几个粘土砖瓦厂的原料土的性能 (表 1 — 3) 和几个国家常用制砖粘土化学组成范围 (表 1 — 4)。

某些国家制砖粘土化学组成范围 表 1 — 4

化学 成分 % 国 名	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	TiO ₂	烧 失 量
中国黄土 (161个试样)	55~78	11~17	3~8	2 ~ 12	0.5~3					2.5~14
英国制砖粘土	55~70	11~24	3~11	0.2~11	0.4~7	1.5~4	0.1~1	0.1~2.3	0.5~2	0.1~1.0
美国制砖粘土	57~71	13~21	4~7	0.3~0.6	0.1~1.5	2~3	0.6~0.8			
德国制砖粘土	49~71	15~28	0.4~2.5	0~1.2	0.1~1.4	0~2			0.9~1.6	4.7~11
苏联制砖粘土	42~85	5~25	2~10	0.5~15	0.5~5	2~5		0.1~2		

三、粘土中的矿物

制砖粘土是由粘土物质和杂质组成的。而粘土物质可能由单一粘土矿物或多种粘土矿物的混合物组成。粘土中粘土矿物的种类, 粘土矿物和杂质含量的比例决定粘土的性能。然而至今人们还常常借助化学分析来估价粘土的工艺性能, 并作为设计生产工艺的依据, 但往往出现反常的情况, 制品的产量和质量不符合设计的要求, 说明依靠化学分析的方法并不完全可靠。例如: 人们经常把三氧化二铝的含量看作是可塑性的尺度。但有些粘土原料并非这样。如 K、B 两种制砖原料的化学组成及矿物组成列于表 1 — 5、1 — 6 中。

从表 1 — 5 看出, 泥料 K 的 Al₂O₃ 高, 似乎 K 的塑性高于 B , 但试验 证明 B 的 可塑性较 K 的好, 为什么会这样? 矿物分析解答了这一问题。表 1 — 6 的数据表明 K 中的粘土矿物含量 (绢云母——伊利石 + 绿泥石) 比 B (高岭石——耐火土 + 绢云母——伊 利石 + 绿泥石 + 蒙脱石) 要少 30% 以上, 而化学分析中, K 的 Al₂O₃ 含量较高是由于存在 较多长石 (20%) 的缘故, 但泥料 K 含可塑的粘土矿物量少, 含瘠性料多, 因而可塑性较泥料 B 差。

泥料 K、B 的化学组成 (%) 表 1 — 5

泥 料	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	烧 失 量
K	52.28	17.89	5.82	8.78	2.98	2.06	1.18	0.92	8.08
B	70.20	13.13	4.32	0.51	1.41	2.02	0.29	1.04	7.03

泥料K、B的矿物组成（%）

表 1—6

泥 料	高岭土 ——耐 火土	绢云母 ——伊 利石	绿泥石	蒙脱石	石 英	长 石	方解石	白云石	角闪石	辉 石	无 定 形 物
K	/	15	10	/	35	20	5	3	5	5	2
B	10	15	8	4	42	10	/	/	/	/	11

又如 S、H 两种制瓦泥料，其化学组成列于表 1—7、1—8 中。从表中的数据看出，两种原料的熔剂部分（CaO、MgO、K₂O、Na₂O 之和）有些差别，但 Al₂O₃ 的含量几乎一样，而推测两种泥料具有大致相同数量的矿物，所以制品的抗冻性能相接近，但矿物分析的结果却不是这样。H 泥料含 43% 的粘土矿物，比 S 泥料多一倍，而 S 含长石三倍于 H。实际上泥料 H 适合于生产高抗冻性能的粘土瓦，而用泥料 S 制造的瓦则是不抗冻的。

泥料 S、H 的化学组成（%）

表 1—7

泥 料	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	烧 失 量
S	58.40	14.99	6.12	3.76	3.22	3.59	1.28	1.14	7.50
H	65.70	14.94	6.53	0.29	1.29	1.70	0.75	1.41	7.39

泥料 S、H 的矿物组成（%）

表 1—8

泥 料	高岭石 一 耐 火 土	绢云母 + 伊 利 石	绿泥石	蒙脱石	石 英	长 石	方解石	白云石 + 铁白 云 石	赤铁矿 + 针铁 矿	黄铁砂 + 菱铁 矿	无 定 形 物
S	5	10	5	/	40	15	3	5	/	/	17
H	20	15	5	3	45	5	/	/	3	3	/

因此，我们应从矿物组成来估价粘土的工艺性质，并作为设计粘土砖瓦生产工艺的依据。现简单介绍一下粘土矿物的结晶构造。

1、砖瓦粘土中的粘土矿物

粘土一般主要是由极细小的结晶颗粒所组成，这些结晶颗粒又是由一种或数种粘土矿物所组成。粘土矿物主要是水化硅酸铝，有些粘土中有镁或铁替换全部或部分铝，并有碱金属或碱土金属作为主要成分而存在。有些粘土是由单纯的粘土矿物组成，但大多数制砖瓦粘土则是数种粘土矿物和若干非粘土矿物的混合物。

根据亚斯目特归纳，砖瓦原料中常见的粘土矿物有：

1) 高岭石组 由一层硅氧四面体和一层铝氧八面体构成。这一组的矿物有：珍珠陶土、地开石、高岭石、“耐火土”矿物、多水高岭石、叶蛇纹石、纤维蛇纹石、弹性绿泥

石、鲕绿泥石等。高岭石的晶层结构示于图1—2中，高岭石各层的电荷分配：

6	O^{--}	12^{-}
4	Si^{4+}	16^{+}
4	$O^{--} + 2(OH)^{-}$	10^{-} (四面体和八面体晶体共有)
4	Al^{3+}	12^{+}
6	$(OH)^{-}$	6^{-}

构造单位中的电荷是平衡的。构造式是 $Al_4(OH)_8(Si_4O_{10})$ ，理论组成： SiO_2 46.54%， Al_2O_3 39.5%， H_2O 13.96%。

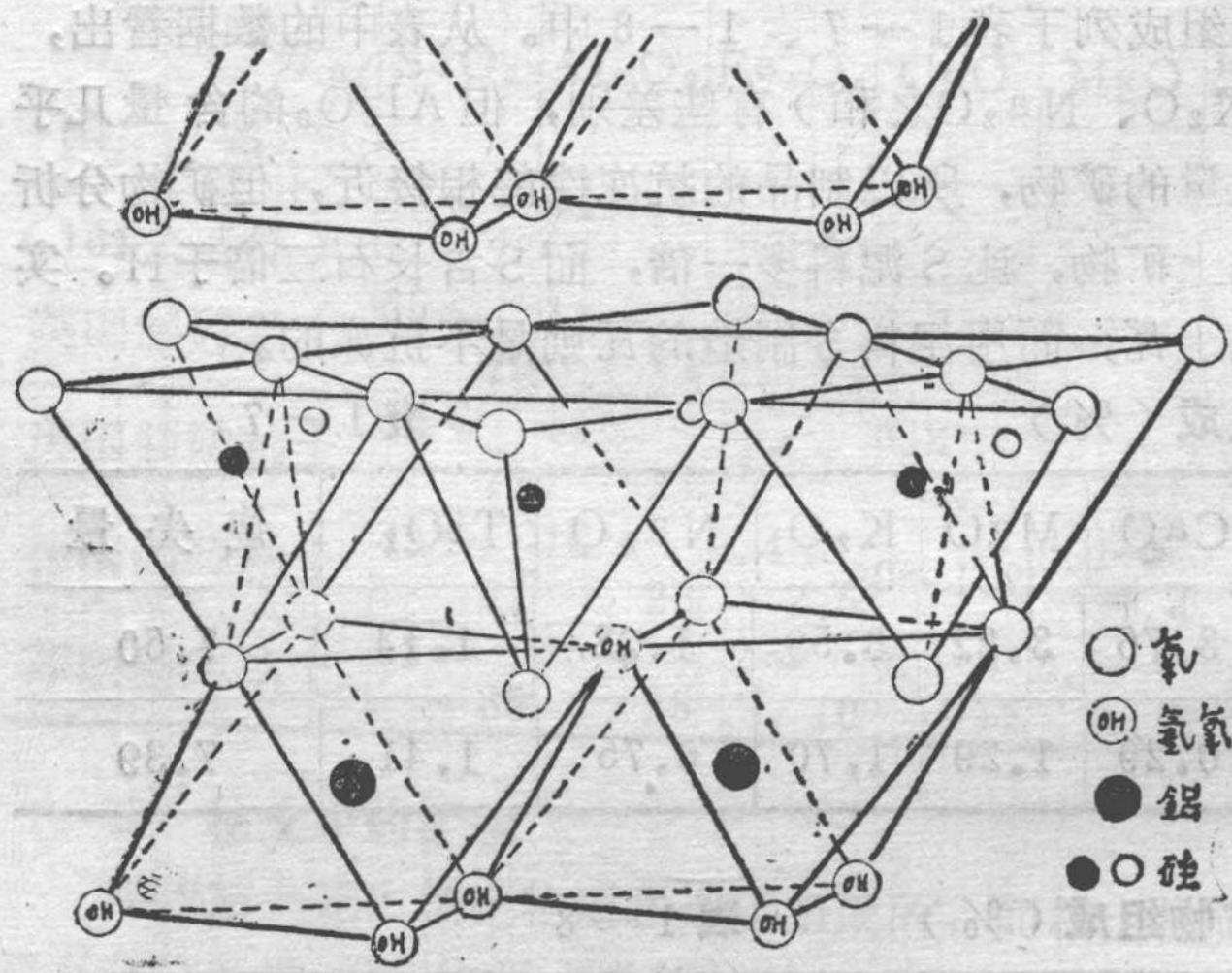


图1—2 高岭石晶层构造示意

2) 蒙脱石组 由两层硅氧四面体和中间一层二八面体或三八面体构成。这一组的矿物有：蒙脱石、贝得石、囊脱石、锂蒙脱石、皂石、锌蒙脱石、绿坡垓石等。蒙脱石的构造示于图1—3中。蒙脱石的理论电荷分配：

6	O^{--}	12^{-}
4	Si^{4+}	16^{+}
4	$O^{--} + 2(OH)^{-}$	10^{-} (四面体和八面体晶层共有)
4	Al^{3+}	12^{+}
4	$O^{--} + 2(OH)^{-}$	10^{-} (四面体和八面体晶层共有)
4	Si^{4+}	16^{+}
6	O^{--}	12^{-}

层间 H_2O 或其它极性分子。理论构造式是 $(HO)_4 Si_8 Al_4 O_{20} \cdot H_2O$ (层间水)，当没有间层分子时的理论组成为 SiO_2 66.7%， Al_2O_3 28.3%， H_2O 5%。

3) 水云母组 由两层硅氧四面体和中间一层二八面体或三八面体构成。这一组的矿物有：氯钙石、蛭石、水白云母、水黑云母、海绿石、绿磷石、伊利石等。白云母的构造示于图1—4中。结晶良好的云母晶层中电荷的分配：

6	O^{--}	12^{-}
3	$Si^{4+} \cdot Al^{3+}$	15^{+}
4	$O^{--} + 2(OH)^{-}$	10^{-}
4	Al^{3+} (二八面体) 或 $6R$ (三八面体, $R = Mg^{2+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Li^{+}, Ti^{3+}$)	12^{+}
4	$O^{--} + 2(OH)^{-}$	10^{-}
3	$Si^{4+} \cdot Al^{3+}$	15^{+}
6	O^{--}	12^{-}
K^{+}		1^{+}