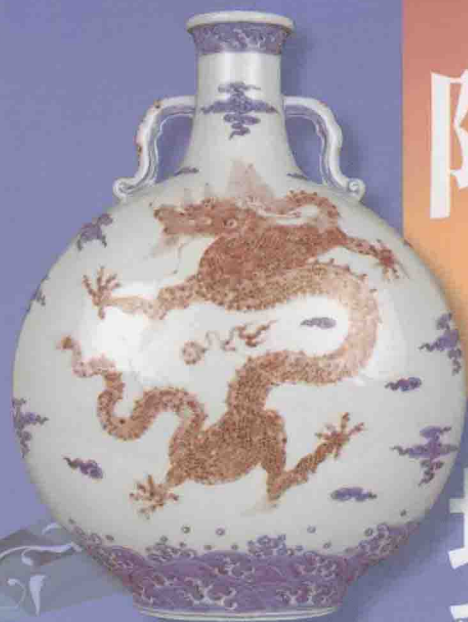


高职高专材料工程技术专业
(陶瓷工艺方向)项目式课程丛书



陶瓷

坯釉料制备技术

TAOCI PIYOULIAO ZHIBEI JISHU

徐利华 主编



中国轻工业出版社

高职
(陶瓷工艺

行业
工书

陶瓷坯釉料制备技术

徐利华	主 编
孙 智	副主编
陆小荣	主 审

图书在版编目 (CIP) 数据

陶瓷坯釉料制备技术/徐利华主编. —北京: 中国轻工业出版社,
2012. 10

(高职高专材料工程技术专业(陶瓷工艺方向)项目式课程丛书)

ISBN 978-7-5019-8995-9

I. ①陶… II. ①徐… III. ①陶釉—原料—制备—高等职业教育—
教材 IV. ①TQ174. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 219226 号

责任编辑: 李建华 责任终审: 劳国强 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 宋振全 责任校对: 杨琳 责任监印: 吴京一

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印刷: 北京君升印刷有限公司

经销: 各地新华书店

版次: 2012 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 14.25

字数: 329 千字

书号: ISBN 978-7-5019-8995-9 定价: 35.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

120729J2X101ZBW

前 言

近年来,我们通过市场调研与人才需求分析,针对陶瓷企业岗位职业能力的要求,遵循职业教育规律,创新人才培养模式,优化人才培养方案,重新构建了材料工程技术专业(陶瓷工艺方向)的课程体系;参照行业职业标准,组织教学内容,以就业为导向,能力培养为目标,组织教师与企业生产一线的工程技术人员一起,编写了高职高专材料工程技术专业(陶瓷工艺方向)项目式课程丛书。本套丛书包括陶瓷原料分析技术、陶瓷坯釉料制备技术、陶瓷成型技术、陶瓷烧成技术、陶瓷装饰技术、陶瓷生产检测技术等。

《陶瓷坯釉料制备技术》一书针对材料工程技术专业(陶瓷工艺方向)职业岗位中核心典型工作任务;培养学生掌握陶瓷坯釉料生产工艺;能承担原料处理、坯釉料制备以及坯釉料技术调试等核心职业能力这一特点,根据高职高专材料工程技术专业(陶瓷工艺方向)新的课程标准而编写。

本教材充分体现了陶瓷原料加工与坯釉料制备技术工作领域的工作任务的项目课程的设计思想,突出职业能力培养的思路。全书共分八个项目,项目设计按陶瓷坯釉料制备的技术岗位梯度展开,即项目一:陶瓷原料选择;项目二:原料的加工处理技术;项目三:注浆坯料的制备技术;项目四:可塑坯料的制备技术;项目五:压制坯料的制备技术;项目六:坯料配方设计;项目七:釉料制备技术;项目八:釉料配方设计。每个项目都包含了不同的知识点和工作任务。项目中所要学习的工作任务可以是交叉与重复的,比如坯料制备中部分内容要穿插到坯料配方等工作任务中。通过不同知识点的学习以及工作任务的执行,更方便高职学生掌握必备的陶瓷坯釉料制备知识。

本教材可以帮助高职高专毕业生在未来职业生涯中从初始低层次的陶瓷坯釉料操作工向更高层次的陶瓷坯体研发、釉料研发等岗位迁移,对提高材料工程技术专业人才培养质量、提升毕业生就业能力与就业质量具有重要意义。

本书内容中,项目七由四川工商职业技术学院孙智编写,其余由无锡工艺职业技术学院徐利华编写。徐利华任主编,孙智任副主编。无锡工艺职业技术学院陆小荣任主审。编写过程中得到了宜兴精陶集团钱国群、宜兴金帆陶瓷有限公司马协初及教研室全体同仁的大量帮助,在此表示衷心的感谢。

本书主要适用于高等职业技术学院材料工程技术(陶瓷工艺方向)专业,也可作为陶瓷相关企业培训教材及坯釉料生产技术人员参考用书。

由于陶瓷工业的不断发展,加之编者水平有限,书中难免还有一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2012年8月

目 录

项目一 陶瓷原料选择	1
知识点一 可塑性原料	2
知识点二 瘠性原料	21
知识点三 熔剂性原料	25
知识点四 适用于低温快烧的陶瓷原料	34
知识点五 常用化工原料	37
知识点六 陶瓷原料的技术要求	41
思考题	48
项目二 原料的加工处理技术	49
知识点一 原料的预处理	49
知识点二 原料的精选	51
知识点三 颚式破碎机对原料的粗碎	54
知识点四 轮碾机对原料的中碎	58
知识点五 环辊式磨机对原料的细碎	63
知识点六 运输机械运输原料	67
思考题	77
项目三 注浆坯料的制备技术	78
知识点一 选择注浆坯料的工艺流程	78
知识点二 电解质对泥浆的稀释	81
知识点三 球磨机制备坯料泥浆	84
知识点四 泥浆的筛分	91
知识点五 磁选机对泥浆的除铁	96
知识点六 搅拌机搅拌泥浆	100
任务 注浆坯料的制备	104
思考题	105
项目四 可塑坯料的制备技术	106
知识点一 选择可塑坯料的工艺流程	106
知识点二 泥浆泵输送泥浆	110

知识点三 压滤机对泥浆的脱水	116
知识点四 陈腐与练泥	120
任务 可塑坯料的制备	125
思考题	126
项目五 压制坯料的制备技术	128
知识点一 选择压制坯料的工艺流程	128
知识点二 造粒技术与坯料贮存	131
知识点三 喷雾干燥器制备粉料	133
任务 压制坯料的制备	139
思考题	140
项目六 坯料配方设计	141
知识点一 陶瓷的结构及化学组成	141
知识点二 坯料组成的表示方法	145
知识点三 陶瓷坯料的主要类型	147
知识点四 基本项目的计算	155
知识点五 坯料配方计算	158
知识点六 坯料性能计算	163
任务 陶瓷坯料的配方设计	164
思考题	166
项目七 釉料制备技术	168
知识点一 釉的分类及性能	168
知识点二 常用釉料的制备过程	176
知识点三 施釉方法及缺陷控制	179
任务 基础釉料制备	181
思考题	182
项目八 釉料配方设计	183
知识点一 釉用原料	183
知识点二 釉料配方设计原则	187
知识点三 釉料配方计算	193
任务 釉料配方设计	199
思考题	200
附录	201
附录1 我国典型黏土原料的矿物组成表	201

附录2	我国主要黏土原料的化学组成表	202
附录3	普通陶瓷按所用原料及坯体致密程度分类表	205
附录4	标准测温锥的锥号与温度对照表	205
附录5	常用矿物原料数据表	207
附录6	常用化工原料数据表	211
附录7	陶瓷坯釉料配方实例	213
附录8	陶瓷原料准备工国家职业标准（摘要）	216
主要参考文献		220

项目一 陶瓷原料选择

学习目标

熟悉陶瓷常用原料的种类、性能及作用

知识要求

1. 熟悉常用可塑性原料的种类及性能
2. 熟悉常用瘠性原料的种类及性能
3. 熟悉常用熔剂性原料的种类及性能
4. 熟悉可以实行低温快烧陶瓷原料的种类及性能
5. 熟悉在陶瓷生产中常用化工原料的种类及性能
6. 了解陶瓷原料的技术要求

技能要求

1. 能正确选择使用陶瓷原料
2. 能正确写出陶瓷工业常用原料的化学式
3. 能根据原料化学组成, 判断其物理化学性能

陶瓷属于硅酸盐工业, 所用原料大部分取之于天然硅酸盐矿物。硅酸盐矿物种类繁多, 资源蕴藏丰富, 在地壳中分布广泛, 占构成地壳总质量的 $3/4$ 左右。这对陶瓷工业的发展提供了有利的条件。

早期的陶瓷制品, 均是用单一的黏土矿物原料制作的, 后来, 随着陶瓷工艺技术的发展及对制品性能要求的提高, 人们逐渐地在坯料中加入了其他矿物原料, 即除用黏土作为可塑性原料以外, 还适当引入石英作为瘠性原料, 引入长石以及其他含碱金属及碱土金属的矿物作为熔剂原料。

目前, 陶瓷原料的分类尚无统一的方法, 具体地讲, 用于陶瓷坯体的主要原料有可塑性原料、瘠性原料、熔剂性原料三大类。常用的可塑性原料有: 高岭土、木节土、膨润土、瓷土、陶土、紫砂泥等; 瘠性原料主要有: 石英、长石 (长石既是瘠性原料, 也是熔剂性原料)、蛋白石、叶蜡石、黏土煅烧后的熟料、废瓷粉等硬质原料; 熔剂性原料主要有: 长石、滑石以及钙、镁的碳酸盐等能降低陶瓷坯釉料烧成温度的原料。



用于陶瓷釉料的主要原料除与坯体的原料相同之外,还有石灰石、白云石、釉果(适用于制釉的瓷石)、氧化锌等。在低温釉时还广泛使用硼砂、硼酸、氧化铅、铅丹、碳酸钠、碳酸钾等。在颜色釉中要用到着色剂如氧化钴、氧化铜、氧化铬、氧化铁、氧化锰等金属氧化物,以及合成的陶瓷彩料。

此外,陶瓷工业还需要一些辅助材料,主要是石膏和耐火材料,其次是外加剂,如助磨剂、助滤剂、解凝剂(稀释剂)、增塑剂、增强剂等。

知识点一 可塑性原料

可塑性原料在日用陶瓷、建筑卫生陶瓷的坯料配方中用量一般为20%~60%,在土器、陶器和炻瓷中用量还可增多,釉料配方中为3%~10%或更多,是陶瓷工业的主要原料之一。陶瓷坯釉料配方中经常用到高岭土、红黏土、黄黏土、白泥、黑泥、紫木节等,这些都是可塑性原料,由于上述的可塑性原料的主要成分是黏土矿物,通常含量在50%以上,其中最主要的是高岭石、蒙脱石、伊利石和多水高岭石等,它们的颗粒极细,一般在 $2\mu\text{m}$ 以下。同时还伴生有石英、长石、方解石、赤铁矿、磁铁矿、褐铁矿等一些杂质矿物,它们的颗粒大小常在 $2\mu\text{m}$ 以上,可以与黏土矿物区分。此外,有时可能含有少量有机物质和可溶性盐类,因此往往统称为黏土。所以,在陶瓷工业中,黏土成为可塑性原料的代名称。

黏土是一种颜色多样、细分散的含多种水铝硅酸盐矿物的混合物。黏土从外观上看,有白、灰、黄、红、黑等各种颜色;从硬度来说,有的黏土柔软,可在水中散开,有的黏土则呈致密块状;从含砂来讲,有的黏土较多,有的较少或不含砂子。各种黏土的情况千差万别,但在一定程度上它们或多或少都具有可塑性,这种可塑性有利于陶瓷的成型。

黏土在自然界中分布广泛,种类繁多,储量丰富,是一种宝贵的天然资源。其化学成分主要是 SiO_2 、 Al_2O_3 和 H_2O ,也含有少量的 Fe_2O_3 、 FeO 、 TiO_2 、 MnO 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 和 Na_2O 等。黏土除可塑性外,通常还具有较高的耐火度、良好的吸水性、膨胀性和吸附性。

(一) 黏土的成因与分类

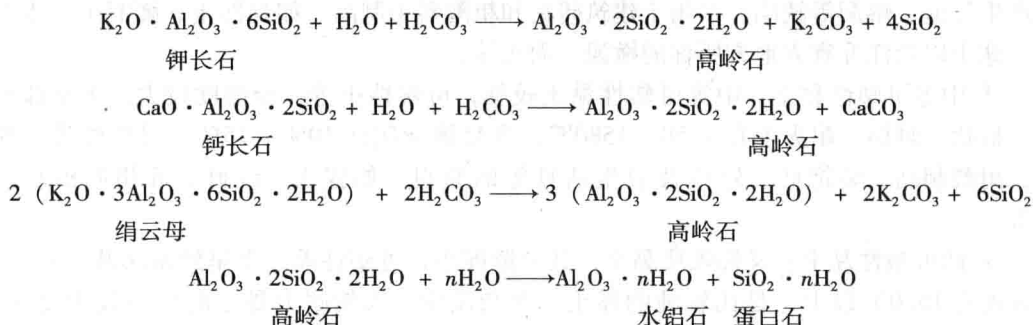
1. 黏土的成因

在自然界中,黏土是由富含长石等铝硅酸盐矿物的岩石如长石、伟晶花岗岩、斑岩、片麻岩等经过漫长地质年代的风化作用或热液蚀变作用而形成的。这类经风化或蚀变作用而生成黏土的岩石统称为黏土的母岩。母岩经风化作用而形成的黏土产于地表或不太深的风化壳以下,母岩经热液蚀变作用而形成的黏土常产于地壳较深处。

风化作用有物理风化、化学风化和生物风化等类型。物理风化作用是由于温度变化、冰冻、水力和风力的破坏而使岩石粉碎成细块和微粒,并给化学风化作用创造了大

的侵袭面积。化学风化作用能使组成岩石的矿物发生质的变化。在大气中的二氧化碳、日光和雨水长时间的共同作用下,有时还加上矿泉、火山喷出的气体,含有腐植酸的地下水的侵蚀,长石类岩石会发生一系列水化和去硅作用,最后形成黏土矿物。

长石及绢云母经风化作用转化为高岭石的反应大致如下:



从上述反应可以看出,反应后生成的基本产物是 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,称为高岭石,主要由它组成的黏土就是高岭土。此外还有可溶性的 K_2CO_3 与难溶性的 CaCO_3 ,以及游离的 SiO_2 。可溶性碳酸盐中, K_2CO_3 易被水冲走, CaCO_3 在富含 CO_2 的水中逐渐溶解后也被水冲走,剩下的 SiO_2 以游离石英状态存在于黏土中。

上述反应的终点矿物是水铝石和蛋白石。但常因受条件的限制,反应往往尚未进行到底,就生成一系列的中间产物,成为各种不同类型的黏土矿物。

母岩不同,风化与蚀变条件不同常形成不同类型的黏土矿物。由火山熔岩或凝灰岩在碱性环境中经热液蚀变则形成蒙脱石类黏土。由白云母经中性或弱碱性条件下风化可形成伊利石类(水云母类)黏土。

生物风化作用是由一些原始生物残骸,吸收空气中的碳素和氮素,逐渐变成腐殖土,使植物可以在岩石的隙缝中滋长,继续对岩石进行侵蚀。树根又对岩石进行着机械的风化作用,有时地层动物将深层的土翻到表面上来,经空气的作用使一些物质逐渐变细且发生质的变化。

这几种风化作用并不是单独进行,而是常常交错重叠地进行的。

2. 黏土的分类

黏土种类繁多,为了便于研究需对其进行分类,但各学者对黏土的分类意见并不一致。现仅根据其成因、产出状况、工艺性能及主要矿物组成等进行分类。

(1) 按成因分类

① 原生黏土:又称一次黏土或残留黏土,是母岩风化崩解后在原地残留下来的黏土。这类黏土因风化而产生的可溶性盐类溶于水中,被雨水冲走,只剩下黏土矿物和石英砂等,故其质地较纯,耐火度较高,但往往含有母岩杂质(石英、云母、石膏、方解石、黄铁矿等),颗粒较粗,因而可塑性较差。高岭土常为原生黏土。

② 次生黏土:又称二次黏土或沉积黏土,是由风化生成的黏土,经雨水、河流、风力作用而搬运至盆地或湖泊水流缓慢的地方沉积下来而形成的黏土层。由于漂流迁移而沉积下来的黏土颗粒很细,烧结温度较低,可塑性较好,但耐火度较差,而且在漂流



和沉积过程中夹带了有机质和其他杂质。北方的紫木节土属于此类。

(2) 按可塑性分类

① 高可塑性黏土：又称软质黏土、结合黏土，其分散度大，多呈疏松土状或板状、页状，易熔，耐火度在 1350°C 以下，熔剂氧化物含量高，在一般烧成温度下它能使制品产生气泡、熔洞等缺陷，多用于建筑砖瓦和粗陶器等制品。如黏性土、膨润土、木节土、球土以及江苏宜兴地方所称的嫩泥、面头等。

② 中等可塑性黏土：中等可塑性黏土较软，可塑性中等，分散度较大，多呈疏松状、板状，难熔，耐火度在 $1350 \sim 1580^{\circ}\text{C}$ ，含易熔杂质在 $10\% \sim 15\%$ 。可作炆器、陶器、耐酸制品、装饰砖、瓷砖及卫生洁具等的原料。如瓷土、红矸、苏州阳山高岭土等。

③ 低可塑性黏土：又称硬质黏土，其分散度小，可塑性差，多呈致密块状、石状，耐火度在 1580°C 以上，是比较纯的黏土，含杂质少。天然耐火黏土的颜色较为复杂，但灼烧后多呈白色，为细陶瓷、耐火制品、耐酸制品的主要原料。如叶蜡石、焦宝石、碱石、瓷石等。

(3) 按硬度分类

① 软质黏土（如二次黏土）：黏土呈疏松土状，颗粒细，在水中易分散，具有很好的可塑性，如紫木节、蒙脱石黏土、高岭石黏土、水云母黏土等。

② 半软质黏土：黏土呈疏松状、板状，在水中不分散，可塑性中等，如粉砂质黏土、砂质黏土、瓷土等。

③ 硬质黏土：黏土呈致密块状，较坚硬，在水中不分散，可塑性很差，粉碎后有一定的可塑性，如煤矸石、硬页岩、焦宝石等。

(4) 按黏土的组成矿物分类 如前所述，黏土很少是由单一矿物组成，而是一些微细矿物的混合物，其主要矿物是被统称为“黏土矿物”的一些含水铝硅酸盐矿物。根据矿物的结构与组成的不同，陶瓷工业所用黏土中的主要黏土矿物有高岭石类、蒙脱石类、伊利石（水云母）类和水铝英石（水铝石）类等。

(二) 黏土的组成

为了了解、研究和使用的黏土，有必要对黏土的组成有充分的了解，根据使用的需要，黏土的组成可从几个方面来分析，一般可从矿物组成、化学组成和颗粒组成三个方面来进行分析，后两个组成的分析方法简便，易于进行，矿物组成的分析较难，但有利于对黏土的研究。

1. 黏土的矿物组成

黏土是多种微细矿物的混合物，因此黏土中所含的各种微细矿物的种类和数量是决定这种黏土性质的主要因素。为了便于研究黏土的矿物组成，一般将黏土中的矿物根据其性质和数量分成两大类，即黏土矿物和杂质矿物。

黏土矿物是组成黏土的主体，是决定黏土性质的主要成分，黏土矿物的种类和数量是决定黏土类别的主要依据。

在黏土形成过程中，常由于岩石风化未完全，或由于其他因素而混入一些非黏土矿

物和有机物质, 这些物质我们统称之为杂质矿物。这些杂质的种类与含量多少, 常会影响甚至决定黏土的工艺性能。

(1) 黏土中的主要黏土矿物

① 高岭石类: 高岭石类矿物包括高岭石、地开石、珍珠陶土和多水高岭石等。它们的晶体结构基本相同, 只是结构单元的排列稍有不同, 物化性质也有一些差异。

高岭石是一般黏土中常见的黏土矿物。高岭石的矿物实验式为: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 其理论组成为 Al_2O_3 39.53%、 SiO_2 46.51%、 H_2O 13.96%。主要由高岭石组成的较纯净的黏土称为高岭土 (俗称为瓷土), 是陶瓷工业中的主要原料。高岭土首先在我国江西景德镇东部的高岭村发现, 其主要矿物成分是高岭石和多水高岭石。

多水高岭石的结构与高岭石结构相似, 因我国四川叙永县盛产以这种矿物为主的黏土, 该土已被世界公认为典型多水高岭石, 故又定名为叙永石。多水高岭石不单独使用, 只与高岭土共用。

高岭土中高岭石类黏土矿物含量越多, 杂质越少, 其化学组成越接近高岭石的理论组成。纯度越高的高岭土其耐火度越高, 烧后越洁白; 莫来石晶体发育越多, 从而机械强度、热稳定性、化学稳定性越好。但其分散度较小, 可塑性较差。反之, 杂质越多, 耐火度越低, 烧后不够洁白; 莫来石晶体较少, 但可能其分散度较大, 可塑性较好。

我国高岭土资源丰富。江苏苏州阳西产的苏州土、陕西的上店土、山西的大同土、湖南的界牌土、江西的星子土等都是高岭石为主要矿物的高岭土。

② 蒙脱石类: 蒙脱石类矿物又名微晶高岭石、胶岭石。由于其种类繁多, 化学组成变化也相当复杂。矿物实验式一般表示为 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (n 通常大于 2)。以蒙脱石为主要矿物的黏土有膨润土、漂白土等。

蒙脱石容易碎裂, 故其颗粒极细, 可塑性好, 干燥强度大, 但干燥收缩大。蒙脱石的特性是能够吸收大量的水, 体积膨胀。以蒙脱石为主要成分的膨润土吸水后体积可膨胀 20~30 倍, 这就是膨润土的名称由来。膨润土的可塑性大, 因此常被用作陶瓷生产中的增塑剂。当在坯料中掺用适量的膨润土时, 可显著增加坯料的可塑性与干燥强度, 从而可减少其他塑性黏土的用量而增大高岭土的用量, 以提高制品白度。

由于蒙脱石中的 Al_2O_3 含量较低, 又吸附了其他阳离子, 杂质较多, 故烧结温度较低, 烧后色泽较差。在陶瓷坯料中膨润土使用量不宜过多, 一般在 5% 左右。釉浆中可掺用少量膨润土作为悬浮剂。膨润土的另一特性, 是具有较强的胶凝性和触变厚化性。因而不能用于注浆泥料, 因为它能使泥浆在模型中过早凝固。

由于矿物晶格内离子置换时离子种类与置换量的不同, 蒙脱石类矿物包括蒙脱石、拜来石 (贝得石)、绿脱石 (绿高岭石) 和皂石等四种。蒙脱石矿物的产地在我国分布很广。辽宁黑山膨润土、江苏祖堂山泥、浙江宁海黏土都是以蒙脱石为主要矿物的黏土。

③ 水云母类: 水云母 (又称伊利石) 类矿物是白云母经强烈的化学风化作用转变为蒙脱石或高岭石的中间产物, 其组成成分与白云母相似, 具有黏土性质, 是南方瓷石中的主要黏土矿物之一。

水云母类矿物的基本结构虽与蒙脱石相仿, 但因其无膨胀性, 且其结晶也比蒙脱石



粗, 因此可塑性较差、干燥强度小, 而干燥收缩较小, 烧结温度比高岭石低。

我国含水云母类矿物的黏土产地较多。河北邢台章村土由伊利石和少量石英、钠长石、白云母等矿物组成; 我国南方各地区生产传统细瓷的主要原料瓷石(如安徽祁门, 江西景德镇南港、三宝蓬、余干, 湖南马颈坳, 福建德化, 山东淄博大昆仑, 江苏苏州等地所产。), 即由石英和绢云母(白云母的一种, 兼有长石和黏土的作用, 能单独成瓷。)及少量其他矿物所组成; 湖南醴陵默然塘泥为水云母类黏土, 它含有少量杆状高岭石和游离石英。

④ 水铝英石类: 水铝英石是一种非晶质的含水硅酸铝, 它的结构可能是由硅氧四面体和金属离子配位八面体任意排列而成。水铝英石的组成变动无常, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 的摩尔比为 0.4~8。水铝英石在自然界并不多见, 往往少量地包含在其他黏土中, 在水中能形成胶凝层, 包围在其他黏土颗粒上, 从而提高黏土的可塑性。

(2) 黏土中的杂质矿物

① 石英及母岩残渣: 石英经常是长石的共生矿物, 在风化后常保存其原有形态, 特别在一次黏土中游离石英是常见的杂质之一, 其他未风化的母岩残渣还有长石和云母等。这些杂质一般以较粗的颗粒混在黏土中, 对黏土的可塑性和干燥后强度产生不良影响。工厂多采用淘洗法(或用水力旋流器)将黏土中的粗颗粒杂质除去。对于含石英较多的黏土, 若在原料细碎和配方上采取措施, 也可不经淘洗, 直接配料, 这样可提高原料的利用率, 降低生产成本。

② 碳酸盐及硫酸盐类: 黏土中常含有较多的钙质、镁质不纯物, 常以碳酸盐、硫酸盐等形式存在, 如方解石 CaCO_3 、石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、白云石 $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ 等。如果这些矿物是以微细的颗粒均匀分布于黏土中, 其影响不大。如以粗颗粒存在, 则往往对产品的烧成产生不良的影响, 导致产品的炸裂和出现熔洞。

黏土中如含有钾、钠、钙、镁、铁的硫酸盐, 能使制品表面形成一层白霜, 其中以 Na_2SO_4 最为严重。这是由于坯体在干燥时, 可溶性盐随水分的蒸发而在坯体表面析出所致。解决的办法是可在黏土中加入磨细的毒重石 BaCO_3 或可溶性的氟化钡 BaF_2 。

③ 铁和钛的化合物: 黏土中的铁常以赤铁矿 Fe_2O_3 、磁铁矿 Fe_3O_4 、黄铁矿 FeS_2 、褐铁矿 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 等形式存在。铁也是许多铝硅酸盐矿物的一种成分, 如黑云母、角闪石等都是含铁硅酸盐矿物。铁的化合物都能使坯体呈色, 特别是黄铁矿, 因其硬度大, 不易粉碎, 其颗粒在烧成时会使坯体形成黑色斑点(烧成后颗粒可膨胀 15 倍以上)。

钛常以金红石、锐钛矿和板钛矿(TiO_2)等形式存在于黏土中。钛与铁的化合物共存时, 在还原焰中烧成呈灰色, 在氧化焰中烧成呈浅黄或象牙色。

④ 有机杂质: 很多黏土中含有一定数量的有机质, 故多呈灰色, 甚至黑色。有机质是因植物残渣沉积起来与黏土共生的结果。有机质多, 可增加黏土的可塑性, 但过多会造成产品表面的针孔和气泡。

我国陶瓷工业常用的几种黏土的矿物组成举例列于附录 1。

2. 化学组成

黏土原料大部分由两种以上的黏土矿物组成, 并或多或少含有一些杂质, 因此它们的化学组成根据所含矿物与杂质的种类和多少而不相同。但有一点是共同的, 它们都含

水铝硅酸盐,因而主要成分都是 SiO_2 、 Al_2O_3 和结晶水。黏土的化学组成可以通过传统的化学分析法或近代的仪器分析法获得。分析项目主要包括 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 及I.L等九项,其他微量成分对陶瓷生产实际意义不大,一般不进行分析。其中I.L称灼烧减量(也称烧失量),它是指黏土矿物在加热过程中化合水的排除,碳酸盐、硫酸盐的分解和有机物的挥发等物理化学变化所引起的重量减轻。当黏土比较纯净,杂质含量少时,I.L可近似地作为化合水的量。

化学分析数据在生产上有着重要的意义,它可以帮助我们获得许多有价值的启示,如在一定程度上对烧成色泽和烧结程度作出初步判断,初步估计黏土的矿物组成和工艺性能,为确定这种黏土能不能用、如何配料以及为配料计算提供必要的依据。大抵如下:

(1) 化学组成可以作为鉴定黏土的矿物组成的参考 如果分析数据中只有 SiO_2 、 Al_2O_3 和 H_2O 三项,而 Al_2O_3 的含量接近39.5%,同时没有或很少有其他氧化物,则可认为它是比较纯的高岭石。当黏土的化学组成中碱性杂质较多时,则主要矿物可能是蒙脱石类或伊利石类。若化学组成以摩尔比来表示,当 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 或 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 的摩尔比在2左右时可能是高岭石和多水高岭石;在3左右时可能是富硅高岭土、伊利石或拜来石;在4左右时可能是蒙脱石、叶蜡石。

(2) 可以推断黏土煅烧后的呈色 分析结果中 Fe_2O_3 、 TiO_2 的含量高低,可作烧后色泽判断的依据(表1-1)。如在还原气氛下烧成,由于有部分 Fe_2O_3 被还原成为 FeO ,则呈色一般为青、蓝灰到蓝黑色,这时的 Fe_2O_3 也和碱金属、碱土金属氧化物一样,起着熔剂的作用,会降低黏土的耐火度。

表1-1 Fe_2O_3 在氧化焰中烧成时的呈色

Fe_2O_3 含量/%	呈色	适于制造的品种	Fe_2O_3 含量/%	呈色	适于制造的品种
<0.8	白色	细瓷、白炆器、细陶器	4.2	黄色	炆器、陶器
0.8	灰白色	一般细瓷、白炆器	5.5	浅红色	炆器、陶器
1.3	黄白色	普通瓷、炆器	8.5	紫红色	普通陶器、粗陶器
2.7	浅黄色	炆器、陶器	10.0	暗红色	粗陶器

(3) 可以估计黏土的耐火度 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 MgO 等碱金属和碱土金属氧化物具有助熔作用,在分析结果中,如果这类氧化物的含量高,可以判定该黏土易于烧结,烧结温度低。如果 Al_2O_3 含量高,而同时 K_2O 等碱性成分含量又低,则可判断这种黏土比较耐火,烧结温度高。根据黏土的化学组成,还可以用经验公式来估算其耐火度。

(4) 可以估计黏土的成型性能 如分析数据中 SiO_2 含量很高,说明其中除黏土矿物外,还夹杂有游离石英,这种黏土的可塑性不会太好,但干燥收缩小。如果在高岭石类黏土中烧失量高于14%、在叶蜡石黏土中烧失量高于5%、在多水高岭石和蒙脱石类黏土中烧失量高于20%、在瓷石中烧失量高于8%,则说明黏土中所含的有机物或碳酸盐过多,这种黏土的可塑性较好,但烧成收缩较大,在配料和生产工艺上要



加以考虑。

(5) 可以推断黏土在烧结过程中产生膨胀或气泡的可能性。黏土中的 Na_2O 和 K_2O ，一般存在于云母、长石和伊利石矿物中，也有可能以钠、钾的硫酸盐存在。当以云母状态存在时，它的结构水要在较高温度下 (1000°C 以上) 排出，这是引起黏土膨胀的一个原因。

黏土中的 CaO 、 MgO 往往是以碳酸盐或硫酸盐的形式存在，如含量多，在煅烧时会有大量 CO_2 、 SO_3 等气体排出，操作不当时容易引起针孔和气泡。

对评价一种制造粗陶器的低级黏土来说，它们的化学分析数据意义不大，重要的是它们的工艺性能。我国陶瓷工业常用黏土的化学组成列于附录 2。

3. 颗粒组成

颗粒组成是指黏土中含有不同大小颗粒的质量分数。黏土的颗粒组成包括两部分：一部分为黏土矿物细颗粒（一般 $< 2\mu\text{m}$ ）；另一部分为非可塑性的夹杂物，如砂粒及页岩，它们的颗粒大小不一（可在 $2\mu\text{m}$ 之上），粗细颗粒均有。硬质黏土经过粉碎后的颗粒组成与粉碎工艺操作有关。

不同黏土矿物颗粒细度不同，蒙脱石颗粒均比高岭石颗粒小。黏土颗粒的大小，将直接影响其可塑性、泥浆的黏度、吸附性、成型性能、干燥性能及烧成性能。黏土的细颗粒越多，则其可塑性越好，干燥强度越高，烧成时易于烧结，烧后气孔率小，机械强度高，有利于提高成品的白度与半透明度。但也不是越细越好，在坯体中最希望的情况是既要磨细，也要在细粒中仍有一定的级比，即仍有大小的差别，不要过于平均，这样才能获得最大的堆积密度。在生产实践中过分延长研磨时间，反而会降低可塑性，这就是因为颗粒细度虽很小，可是粗细过于均匀。这样不仅生产效率降低，成本增加，而且制品收缩大，容易变形。表 1-2 是黏土质点的大小对其物理性质的影响。

表 1-2

黏土质点的大小对其物理性质的影响

质点平均直径 / μm	100g 颗粒的表面积 / cm^2	干燥收缩 /%	干燥状态下的强度 / (kg/cm^2)	相对可塑性
8.50	13×10^4	0.0	4.6	无
2.20	392×10^4	0.0	14.0	无
1.10	794×10^4	0.6	47.0	4.40
0.55	1750×10^4	7.8	64.0	6.30
0.45	2710×10^4	10.0	130.0	7.60
0.28	3880×10^4	23.0	296.0	8.20
0.14	7100×10^4	30.5	458.0	10.20

测定黏土颗粒组成的方法很多，生产上常用的方法是筛分析 (0.06mm 以上) 和沉降分析法 ($1 \sim 50\mu\text{m}$)，此外还可采用离心法或显微镜法来测定颗粒大小。测定的结果，一般粗颗粒是石英、长石、云母及其他非可塑性杂质，细颗粒中绝大部分是黏土矿物及

少量（如赤铁矿）杂质矿物，两者的比率可大概推测该黏土所属的矿物类型。

（三）黏土的工艺性能

黏土原料的工艺性质主要取决于黏土的矿物、化学和颗粒组成，其矿物组成是基本因素。如膨润土主要是蒙脱石矿物，其细颗粒含量较多，表现出黏性强，成型水分高，收缩大，烧结温度低等特性。苏州高岭土由于其含有大量杆状结构外形的高岭石，因而可塑性低，干燥气孔率高，干燥强度低，烧成收缩大，泥浆流动时的含水量多，且呈强烈触变性等特性。而紫木节土，由于其黏土矿物高岭石的结晶程度较差，颗粒细，含有有机质较多，所以可塑性及泥浆性能良好。

1. 可塑性

黏土与适量的水混练后形成泥团，这种泥团在外力作用下产生变形但不开裂，当外力去除以后，仍然保持其形状不变。黏土的这种性质称为可塑性。

黏土达到可塑状态时包含有固体和液体两种形态，因此，黏土具有可塑性的必要条件是液体存在，同时，黏土可塑性也和液体的种类、性质、数量有关。

影响黏土可塑性的主要因素有：黏土颗粒的分散度、黏土颗粒的形状、水的用量等。颗粒越小，分散程度越大，比表面积越大，可塑性就越好。如黏土中含有胶体物质，则可塑性大大提高。薄片状颗粒比棱角形颗粒易于结合和相对滑动，故有较好的可塑性。黏土与水之间，必须按照一定的数量比例配合，才能产生良好的可塑性。水量不够，可塑性体现不出来或不完全，水量过多则变为泥浆又失去可塑性。各种黏土的可塑水量，可通过实验测定。

黏土可塑性太差不易成型，可塑性太强则调和水多，其结合性好，但干燥收缩大，易引起变形和开裂。实际生产中，为了获得成型性能良好的坯料，除了选择适当的黏土外，还常将黏土原矿淘洗以除去非可塑性矿物组成；多次练泥，陈腐处理；加入适当的胶体物质〔如：糊精、胶体 SiO_2 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、羟甲基纤维素（CMC）等，但在日用陶瓷中不用此法〕或强可塑性原料的。若要降低黏土的可塑性以减少收缩，可加入减黏原料，如熟瓷粉、石英、瘠性黏土等；或将部分黏土预烧作为熟料使用。

黏土可塑性的常用测定方法有可塑性指标和可塑性指数两种：可塑性指标是可塑性的直接测定方法，它表示黏土成型性能的好坏。测定时用可塑性指标测定仪进行，它是利用一定大小的泥球在受力情况下所产生的变形大小与变形力的乘积来表示黏土的可塑性的。

$$S = (D - H) P$$

式中 S ——黏土的可塑性指标， $\text{kg} \cdot \text{cm}$ ；

D ——试验前泥球的直径， cm ；

H ——泥球受压后产生裂纹时的高度， cm ；

P ——泥球出现裂纹时的负荷， kg 。

一般规定，可塑性指标低于 2.4 的为瘠性原料，2.4 ~ 3.6 之间的为中等可塑性黏土，高于 3.6 的为高可塑性黏土。

可塑性指数表示黏土在呈可塑状态时的含水率变化范围。



$$W = W_{\text{液}} - W_{\text{塑}}$$

式中 W ——黏土的可塑性指数；

$W_{\text{液}}$ ——黏土呈可塑性时的最高含水率；

$W_{\text{塑}}$ ——黏土呈可塑性时的最低含水率。

非可塑性土的可塑性指数 $< 1\%$ ，低可塑性土的可塑性指数在 $1\% \sim 7\%$ ，中等可塑性土的可塑性指数在 $7\% \sim 15\%$ ，高可塑性土的可塑性指数 $> 15\%$ 。

2. 结合性

在实际生产中，黏土的结合性更具有现实的意义。黏土的结合性是指黏土能黏结一定细度的瘠性物料形成可塑泥团，并有一定干燥强度的性能。通常可塑性好的黏土结合性也好。

结合能力的测定是在黏土中加入标准石英砂（标准石英砂的颗粒组成：0.25 ~ 0.15mm 为 70%，0.15 ~ 0.09mm 为 30%），以其能保持可塑泥团时的最高加砂量来表示，见表 1-3。加入的砂量越多，说明这种黏土的结合能力越强。

表 1-3

黏土的结合性

单位：%

分 类	仍能保持可塑泥团的最高加砂量	分 类	仍能保持可塑泥团的最高加砂量
结合黏土	50	非可塑黏土	20
可塑黏土	20 ~ 50	石状黏土	不能形成可塑泥团

3. 触变性

黏土泥浆或可塑泥团受到振动或搅拌时，黏度会降低而流动性增加，静置后又逐渐恢复原状。此外，泥料放置一段时间后，在维持原有水分的情况下也会出现变稠和固化现象。这种性质统称为触变性。

黏土泥浆的触变性以厚化度（也称稠化度）来表示。泥浆的厚化度是泥浆放置 30min 和 30s 后其相对黏度之比，即：

$$\text{泥浆厚化度} = \frac{t_{30\text{min}}}{t_{30\text{s}}}$$

式中 $t_{30\text{min}}$ ——100mL 泥浆放置 30min 后，由恩氏黏度计中流出的时间；

$t_{30\text{s}}$ ——100mL 泥浆放置 30s 后，由恩氏黏度计中流出的时间。

生产中希望泥料有一定触变性。泥料触变性过小时，成型后生坯的强度不够，影响脱模与修坯的质量。而触变性过大的泥浆在管道输送过程中会带来不便，注浆成型时回浆困难，成型后生坯也易变形。

黏土的触变性主要取决于黏土的矿物组成、颗粒大小与形状、含水量、使用电解质种类与数量、泥料（包括泥浆）的温度等。黏土颗粒越细，活性边表面越多，形状越不对称，越易呈触变性。球状颗粒不易显示触变性。泥浆的触变性与含水量有关，含水量大的泥浆，不易形成触变结构，反之易呈触变现象。

泥浆的厚化度可以调节。厚化度大的泥浆，可加入一定量的解凝剂（如腐植酸钠、水玻璃等），厚化度太小的泥浆可加入少量絮凝剂（如 NH_4Cl 等）或增加塑性原料的