

杜海清 唐绍裘 编著

陶瓷原料 与配方

轻工业出版社。

81.1-3
1-7

陶瓷原料与配方

杜海清 唐绍裘 编著

轻工业出版社

内 容 提 要

本书运用结晶学、矿物学、胶体化学、流变学及陶瓷物理化学的基本原理系统地阐述了陶瓷原料与配方的基本理论与实际问题。此外,从原料与配方的角度出发,简要地介绍了陶瓷生产中的关键工艺及瓷质结构与性能的基本知识。因此,本书可供从事陶瓷生产的有关技术人员及陶瓷院校的师生参考

陶瓷原料与配方

杜海清 唐绍裘 编著

轻工业出版社出版

(北京阜成路8号)

顺义振华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

850×1168毫米 1/32 印张: 15^{2/3}/32 字数: 399 千字

1986年5月 第一版第一次印刷

印数: 1—6,000 定价: 3.90元

统一书号: 15042·1982

序 言

陶瓷工业在我国是历史悠久的古老工业之一。远在七千多年前我们的祖先便创造了彩陶文化，两千多年前又发明了陶车（古称陶钧），从而使制陶技术进入了一个新阶段。随着陶器质量的不断提高，出现了半陶半瓷的炆器。根据历史考证，远在1700年以前（公元三世纪），我国瓷器的生产技术已经达到了成熟的阶段。

陶器的发明与发展，以及由陶器提高到瓷器的历史过程不仅是制造工具与技法的改进，更重要的应该是对天然矿物——陶瓷原料选用有了改进。众所周知，陶器原料过去几乎全部为粘土矿物。由于粘土在地球上的广泛分布，而对制陶粘土的质量要求又不太严格，故陶器制造几乎遍布世界各地。而制瓷原料的技术要求却十分严格。我国最先采用高岭土（习惯上称为陶土或瓷土）作原料，经精选与陶洗后制造瓷器。后来，由于工艺的改进（包括窑炉的改进）与烧成温度的不断提高，瓷器的生产技术日臻完善。我国既是发明瓷器最早的国家，也是使用高岭土最早的国家。“高岭土”这一名称起源于江西景德镇市东郊的高岭村，至今世界各国都在陶瓷科学上作为专有学名而沿用。所以，“高岭土”——“瓷器”——“中国”三者在国际上几乎成了同义语。

古代陶器附属于农业，系农民在农闲时进行的自给性生产。后来，逐渐发展成为手工业和商品生产。直到资本主义萌芽时期，由于农村的自然经济趋于破产，陶瓷器亦随之逐步成为产销集中的地区性生产和资本主义初期的工场生产。由于当时交通运输的落后，古代的陶瓷生产不可能从很远的地方采集原料，而只能是就地取材。因此，各地小作坊就不得不建立在原料基地附近，且随着原料采掘的情况而变迁。我国瓷区遍布全国各省，陶

瓷原料极其丰富，制瓷的历史也非常悠久。可惜的是，以往陶瓷生产多凭经验，缺乏科学指导，较为系统的文字记载也极为难得。即使誉满全球的“瓷都”——景德镇，有关记载瓷业生产的最早文献只有在明代宋应星的“天工开物”中才能见到一点。此后，虽然也陆续有些记载，如清初唐英的“陶冶图说”，以及朱琰的“陶说”等书，但都不详，难以查考。

近百十年来，国外许多学者开始重视对陶瓷原料的分析和研究，并取得了许多可贵成果。这不但对整个陶瓷工业的发展贡献很大，而且对我国陶瓷的生产和研究也有一定影响。然而，由于具体情况的调查受到时间和条件的限制，加上语言和文字的阻碍，致使有些国外学者对我国景德镇原料的见解在某些方面还有待商榷。例如，德国的H·A·Seger、美国的W·H·Earnart等许多创立陶瓷组成三大元（长石、石英、粘土）学说的学者们认为，景德镇瓷土不是伟晶花岗岩经热液作用而形成的长石、石英的混合物。又如，德国的近代陶瓷学者奢则尔认为，“中国自古以来的陶瓷坯釉用原料为高岭土和含有石英，并或多或少夹杂有云母的伟晶花岗岩”。因此，他们得出的结论是，中国各产瓷区所产的陶瓷制品毫无例外地属于软质瓷。显然，上述看法是错误的。实际上，代表我国传统产品的景德镇瓷器不仅坯和釉的配方中历来没有使用长石，而且各种原料的矿物组成鉴定表明，其中也极少有长石存在。

国内外其他瓷区以长石、石英、高岭土（粘土）为制瓷的主要原料，然而景德镇却不同，它历来是以高岭土和瓷石作坯，以釉石和釉灰配釉。因此，景德镇瓷器的主要原料为瓷石、釉石、釉灰和高岭土。从历代景德镇瓷器的坯釉成份分析可以看出，制瓷历史的变迁仅仅是高岭土配入量由少到多的变化，以及原料产地的变动，而并没有原料矿物类型的变化。

粘土、长石和石英早就成了欧洲各国陶瓷传统配方的主要原料。欧洲的制瓷工艺和技法也是在我国影响下形成的。当时欧洲

的陶瓷学术界对自然科学，特别是物理、化学和矿物岩石学的研究仍处于初级阶段，因此，不可能用准确的科学方法来分析和解释我国的陶瓷原料与坯釉的化学组成。

欧洲陶瓷工业的发展可分为两个阶段：首先是由天然无机物所形成的助熔剂（烧成时能明显降低瓷坯的玻化温度）、可塑性原料（赋予成型工艺所要求的成型性能）及非可塑性原料（形成玻璃相骨架）所配成的坯料；其后，又不用天然原料，而以人工合成的原料配制成坯料。前者制成的瓷器称为传统陶瓷制品，而后者则称为新型工业陶瓷制品。

按照欧洲的习惯，陶瓷器是陶瓷工业制品的一部份。陶瓷制品的范围极广，包括建筑用的陶瓷制品（砖、瓦、面砖等），冶炼金属用的耐火材料制品，电力工业用的瓷绝缘体（长石瓷及滑石瓷等），化学化工用的器皿（化学瓷、缸器），卫生瓷（土器及瓷化卫生瓷）及下水管，人们生活必需的茶具、餐具（长石质瓷、软瓷、炻器）等。通常人们所说的陶瓷制品一般仅指茶具、餐具之类日用制品而言。严格说来，陶瓷制品应该是与粘土处理方法相同，经成形、干燥和烧成这三道主要工序而制成的制品。

从字源上看，“陶”字是在小丘上有形如烧成用的窑。因此，陶就是烧成物的意思。“瓷”是指质硬而致密的器物，一种比陶器更坚硬的制品。两者简单的区别方法是，当用手指敲击时，发音清脆者为瓷，混浊者为陶。“器”字从汉字字源上看，是在多数的皿上盛以犬肉的意思。其本意是皿，故“器”字也可以指工业制品。所以，广义的陶瓷不仅单指餐具、花瓶等类容器，而且还包括土陶管、面砖、工业用瓷等。过去，陶瓷以天然原料为主。今天，则由于其用途已扩展到各个领域，所用原料已有较大变化。例如，铝氧制品等氧化物陶瓷、铁氧体及钛酸钡之类电子陶瓷、碳化物等类新型陶瓷几乎全不使用传统的天然原料制造。虽然如此，传统的陶瓷制品仍然大量生产并受到广泛的使用，因为它们的热稳定性能好，耐高温与腐蚀，为电与热的不良导体或良导体。

不仅如此，施釉制品还具有美观、耐用的优点。若采用色料，则可成为长久不变的艺术珍品。

与其他制品一样，陶瓷制品有所长，也有其所短。例如，它不象金属制品那样可以敲击，延展，弯曲；也不象塑料那样具有弹性。一旦成瓷以后其形状就难以改变，再加工性能也较差。

与其它工业部门相比，历史悠久的陶瓷工业却发展较慢，其主要原因可归纳如下：陶瓷工业所用的原料与金属及塑料等工业用原料不同，很难实现机械化生产；陶瓷工厂所生产的产品种类繁多；与新发展的工业相比，技术人员较少。从历史上看，直到十九世纪末，陶瓷方面的科学文献仍然很少。此外，其配方与制作方法不仅各国对外多秘而不宣，而且国内各厂之间也相互保密。不仅如此，即使知道了配方，也因为所用原料的特性会随产地变化，故不易仿制成功。还有，陶瓷制品在成型之后须经烧成，由于烧成温度及窑内气氛的不同，常会得到意想不到的结果。

现代工业的发展随时都在向陶瓷工业提出新的要求。在这种新的形势下，新型工业陶瓷得到了巨大发展。广大陶瓷工作者为了适应这一新的形势，正在不断扩大原料的种类，突破传统的配方范围，以便能制造出具有预期性能的新制品。不仅如此，今后还将更广泛地利用岩矿直接进行化学加工，以期获得新的陶瓷原料。

显然，在实现祖国“四化”宏伟目标的征途上，我国的陶瓷工业无论是在科学技术方面，还是在原料配方、制品类型及生产工艺与设备等方面都应有所创新。当今世界各国都已先后突破传统陶瓷的生产范围，向新的生产领域进军的形势下，我国陶瓷科学工作者肩负着实现陶瓷工业现代化的重任，我们相信，只要我们善于总结传统的生产经验，又能迎头赶上世界陶瓷生产先进各国的技术水平，并有所创新和发展，拥有古老传统生产经验的我国陶瓷工业，将会以新的姿态出现于世界，为人类物质文明作出更大

的贡献。

本书的绪论及原料部分由杜海清执笔，坯釉配方部分由唐绍裘负责编写。由于编者水平有限，书中难免有不当与错误之处，敬请读者指正。

编著者

目 录

第一篇 陶瓷原料

第一章 陶瓷原料的矿物与岩石学基础	(1)
第一节 矿物的一般性质	(2)
一、状态(2) 二、硬度(3) 三、颜色(4) 四、条痕(5) 五、光泽(5) 六、解理(6) 七、比重(7) 八、断口(8) 九、磁性(8)	
第二节 矿物结晶学原理	(9)
一、晶体、品质与非晶质(9) 二、晶体的形成(9) 三、晶面、晶棱、隅角及面角(9) 四、面角不变定律(10) 五、晶轴与晶系(11) 六、晶体的结构(14)	
第三节 地壳成份与岩石分类	(17)
一、地壳成份(17) 二、岩石的分类(18)	
第四节 火成岩	(19)
一、火成岩的产状(19) 二、火成岩的成份(21) 三、火成岩的石理(21) 四、火成岩的构造(22) 五、火成岩的种类(23)	
第五节 沉积岩	(24)
一、沉积岩的形成(24) 二、沉积岩的石理(24) 三、沉积岩的构造(25) 四、沉积岩的成份(25) 五、沉积岩的特征(26) 六、各种沉积岩(26)	
第六节 变质岩	(27)
一、变质岩的成因(27) 二、变质作用的种类(27) 三、变质岩的构造(28) 四、变质岩的成份(28) 五、变质岩的种类(29)	
第二章 陶瓷原料概论	(31)

第一节 陶瓷原料的分类.....	(31)
第二节 我国陶瓷原料分布的概况.....	(34)
一、概述(34) 二、我国陶瓷原料的分布(35)	
第三节 陶瓷原料的合理使用.....	(45)
一、陶瓷原料的来源与处理(45) 二、陶瓷原料的开采与加工现状(46) 三、我国陶瓷原料的合理使用问题(47)	
第三章 粘土矿物学	(49)
第一节 粘土的形成.....	(49)
一、风化作用(50) 二、机械侵蚀作用(51) 三、化学分解作用(51) 四、有机酸的腐蚀作用(52) 五、蒸汽与热水的作用(52)	
第二节 粘土的产状.....	(53)
一、粘土的产出状态(53) 二、粘土堆积层的第二期变化(55)	
第三节 粘土的分类.....	(61)
一、根据粘土的成因(61) 二、根据粘土的纯度(62) 三、根据粘土原矿的性状(62) 四、根据粘土的产状与用途(62)	
第四节 粘土的探矿与开采.....	(64)
一、粘土的探矿(64) 二、粘土矿的开采(65)	
第四章 粘土的组成与性能	(66)
第一节 粘土的组成.....	(66)
一、粘土的化学组成(66) 二、粘土的矿物组成(68) 三、粘土的颗粒组成(71) 四、粘土的结构式(72)	
第二节 各种粘土的性能.....	(74)
一、高岭土(74) 二、瓷石(95) 三、球状粘土(103) 四、耐火粘土(108) 五、炆器粘土(116) 六、低级粘土(119) 七、膨润土(123) 八、漂白土(127) 九、合成粘土(127)	
附表：1.几种粘土的矿物组成(128)	
2.几种粘土的主要工艺性能(130)	

第五章 粘土-水系统	(134)
第一节 粘土-水系统的特性	(134)
一、胶体(134) 二、阳离子交换(145) 三、阴离子交换(151)	
四、粘土的絮凝和反絮凝(152) 五、粘土的物理吸附(155)	
六、层间化合物(161) 七、氢粘土和pH滴定曲线(161)	
第二节 粘土-水系统的流变学	(164)
一、研究流变学的重要性(164) 二、粘性定义(164) 三、	
粘度的测量(166) 四、非牛顿型流动(168)	
第三节 可塑性	(179)
一、可塑性理论(179) 二、粘土可塑性产生的原因(183)	
三、提高粘土可塑性的方法(185) 四、测定粘土可塑性的	
方法(187)	
第六章 瘠性原料	(191)
第一节 硅石类原料	(191)
一、硅石类原料的用途(191) 二、硅石的性质(192) 三、	
石英与硅石(200) 四、硅砂(203) 五、普通砂类(204)	
第二节 高铝质原料	(205)
一、结晶型氧化铝(205) 二、熔融氧化铝(207) 三、含水	
铝氧矿物(208) 四、硅线石类矿物(212)	
第三节 其它瘠性原料	(213)
一、氧化锆与锆英石(213) 二、金红石与二氧化钛(216)	
第七章 熔剂性原料	(217)
第一节 长石	(217)
一、长石的种类(217) 二、长石的产状(219) 三、长石的	
性质(220) 四、长石的化学成份(221) 五、长石在陶瓷坯	
体中的作用(222)	
第二节 其它熔剂性原料	(224)
一、熔剂性岩石(224) 二、锂矿物(225) 三、石灰石、菱	
镁矿及白云石(226) 四、镁硅酸盐矿物(230) 五、磷酸盐	

类原料(232) 六、萤石(233)

第八章 辅助材料	(234)
第一节 水.....	(234)
第二节 反絮凝剂与絮凝剂.....	(236)
一、反絮凝剂(237) 二、絮凝剂(237) 三、保护胶(240)	
第三节 有机粘结剂.....	(240)
第四节 润滑剂.....	(242)
第五节 干燥剂.....	(243)
第六节 可燃物质.....	(243)
第七节 石膏.....	(243)
第八节 匣钵材料.....	(246)

第二篇 陶瓷的坯釉配方

第九章 坯料配方	(250)
第一节 陶瓷坯料的化学组成.....	(250)
第二节 陶瓷坯料配方的基本原理.....	(257)
一、陶瓷坯料的组成(257) 二、坯料组成对陶瓷性能的影响(260) 三、添加剂在坯料配方中的应用(266)	
第三节 配料计算.....	(275)
一、氧化物式与公式量(275) 二、灼减与湿度(277) 三、实验公式与公式量(278) 四、陶瓷原料、氧化物的重量百分组成与分子组成(280) 五、根据坯料的实验公式计算配料组成(283) 六、根据原料与瓷坯(或坯料)的化学成份直接计算坯料配方(288) 七、三角形直线计算法(292) 八、更换配方所用原料时的计算(295)	
第四节 陶瓷坯料的实用配方.....	(302)
一、日用陶瓷坯料(302) 二、建筑陶瓷坯料(309) 三、电瓷坯料(313) 四、化工陶瓷坯料(315)	
第十章 釉料配方	(317)

第一节 釉的性质.....	(317)
第二节 釉的组成.....	(318)
一、釉的主要成份(318) 二、釉式(321) 三、酸度系数(321)	
四、釉中各种氧化物的作用(322) 五、釉中若干种常用氧化物的助熔作用(328)	
第三节 釉料配方.....	(330)
一、瓷釉(331) 二、陶釉(333) 三、其它各种不同用途的釉(340)	
第四节 陶瓷色料.....	(348)
一、固熔体类色料(348) 二、尖晶石类色料(354)	
第五节 釉料的配方计算.....	(356)
一、釉料配方计算中的实际问题(356) 二、釉料的配方计算(358)	
第十一章 陶瓷工艺概要.....	(370)
第一节 研磨.....	(370)
第二节 混合.....	(372)
一、干混法(372) 二、塑混法(373) 三、浆混法(373)	
第三节 成形.....	(374)
一、注浆成形法(375) 二、可塑成形法(377) 三、其他成形方法(379)	
第四节 干燥.....	(382)
一、干燥收缩(382) 二、干燥强度(385)	
第五节 烧成.....	(388)
一、概述(388) 二、粘土加热过程中的变化(389) 三、烧结(399) 四、陶瓷坯体的烧成(408)	
第十二章 陶瓷坯体的显微结构与性能.....	(415)
第一节 陶瓷坯体的显微结构.....	(415)
一、陶瓷坯体显微结构的形成(415) 二、陶瓷坯体的显微结构特征(418)	

第二节 陶瓷坯体的物理-技术性能	(428)
一、陶瓷坯体的物理性能(429) 二、陶瓷的机械性能(440)	
三、陶瓷的热性能(451) 四、陶瓷的电性能(461) 五、陶	
瓷的化学稳定性能(463)	
附录:	(467)
1. 常用陶瓷原料的矿物式.....	(469)
2. 氧化物的重量百分数与分子系数之间的换	
算.....	(473)
3. 标准温锥的锥号与温度对照表.....	(483)
4. 各种筛子的规格.....	(484)
5. 公制与国际单位制物理量单位的换算 (图	
1~6)	(487)
参考文献.....	(489)

第一篇 陶瓷原料

第一章 陶瓷原料的矿物与岩石学基础

早在远古时代，人类就已经知道金属矿石及其他一些矿物的用途。例如，古代的埃及人会巧妙地加工正长岩、大理岩、花岗岩及其他供装饰用的石料，并能冶炼金、银、铜和铁。至今矿物学上的某些名词也是由古代传留下来的，例如石膏、兰晶石、紫晶石、石棉等。古代人对许多矿物形状的描述，现在看来还是很有价值的。

在古代的罗马及希腊，人们已经知道了不少矿物的性质，但同时也给某些矿物的性能作了些荒诞无稽的描述。许多矿物被莫名其妙地用为药剂，成为巫师吓人骗钱的东西。

但在漫长的古代及中世纪，人们慢慢积累了许多有价值的矿物知识和使用岩石的经验。这些基本知识与经验，一方面来自实际工作者——矿工、探矿者及冶金工作者，另一方面则是少数科学工作者有意识地进行长期观察的结果，发现了真实情况，对所用矿物作出了科学的结论。

矿物的形状、光泽、颜色及一般物理性质的研究随着科学的发展而开始了。被发现和查明的矿物种类不断增多，某些矿物的新性质也逐渐为人们所发现。例如，冰洲石的重折射现象即如此。

但是，科学的矿物学萌芽则为时甚晚，直到18世纪初期才开始有意识地积累有关矿物的外观性质、化学成份等方面的资料。

到20世纪初，辩证地对待矿物学的成因学派才开始逐渐形成。

矿物学是研究地壳的一门科学，它的任务是研究自然化学过程的产物，即矿物及其形成过程，研究各个时期及地壳的各个自然环境中的自然化学过程及其产物的变化，研究矿物彼此间的自然组合（矿物的共生）及其形成的规律。

许多科学工作者都想说明矿物的概念，但大多数人都在不同程度上缺乏准确性及稳定性。

矿物的最适当的定义，是在一定限度内多少具有一定成份及物理性质的自然质体，系地壳的岩石圈、水圈或气圈中进行的某些物理-化学过程的产物。

第一节 矿物的一般性质

一、状 态

矿物的状态或结构多种多样，约可分为下述若干种。

（一）粒状：约为大小相同的结晶小颗粒构成的块，此种状态称为粒状，例如大理石、方铅矿。

（二）致密状及土状：系最均匀、最细小的小质点构成的块，只是固结的程度有所不同。其结合较为坚实者为致密状，较为疏松者则为土状。

（三）块状：虽然是一种结晶性的矿物，但成不规则的块体，没有结晶面。例如块状的石英及黄铜矿。

（四）非结晶状：即无结晶痕迹者，这种非结晶状与上述的块状极难区别。矿物中属于真正的非结晶质的不多，蛋白石、琥珀则是这类矿物的最好代表者。

（五）柱状：由平行或近似平行的各柱体所构成，如硅灰石、绿柱石等。

（六）纤维状：与柱状的组织结构差不多，不过构成矿物的柱非常细小，形如细丝合并而成，似木纤维，故此得名。例如，

蛇纹石、角闪石及石膏等矿物所具有的纤维状结构最明显。凡矿物为纤维状者必具有纤维状的光泽，故纤维状的方解石又称绢石。

(七) 片状：具有这种结构的矿物易分裂成薄片，如有的蛇纹石、水滑石便属这类。

(八) 云母片状：与片状大致相同，但云母片状能分裂为极薄的页片，且分裂更易于进行又特别完全，如各种多样的云母。

(九) 光线状或放射状：与纤维状及柱状略同，唯其中的各级小的柱体束向一点会集，似光线四射，如银星石、腊石等。

(十) 肾状或乳房状：即块状矿物，外面圆而光滑，状如肾态或乳房，如肾铁矿（赤铁矿的一种）及孔雀石等。

(十一) 葡萄状或球状：形如葡萄或小圆球，如菱锌矿及玉滴石（蛋白石的一种）。

(十二) 钟乳状：形如檐冰，如褐铁矿及钟乳石（石灰石的一种），后者产于石洞中，又称洞顶石。

二、硬 度

根据矿物的软硬程度的不同，所有的矿物可分为十组。当前一组中的矿物被后一组中的矿物画刻时，可以留下明显的痕迹，得到一条不会被手指轻轻抹出的刻痕。硬度1~10，系硬度等级的代表符号，这是莫氏远在十九世纪初期所确定的。

1到10级的莫氏硬度代表矿物依序排列如下：

1—滑石，2—石膏，3—方解石，4—萤石，5—磷灰石，6—正长石（长石），7—石英，8—黄玉，9—刚玉，10—金剛石。

金剛石是一种最硬的矿物，刚玉的硬度也特别高。野外鉴定矿物的硬度时，很少使用标准硬度矿物，而只用一把小钢刀就可以了。通常，刀口的硬度为5.5级左右，若刃能在矿物上画出较深的刻痕时，则该矿物的硬度大致相当于5或低于5级。同时，根据刻痕的深浅也能判别矿物硬度的高低。硬度等于6或高于6