

中等专业学校轻工专业试用教材

陶瓷工艺学

江苏省宜兴陶瓷工业学校

轻工业出版社

中等专业学校轻工专业试用教材

陶瓷工艺学

江苏省宜兴陶瓷工业学校

轻工业出版社

内 容 简 介

本书系轻工业部组织编写的中等专业学校轻工专业试用教材。书中以第一篇日用陶瓷为主篇，重点阐明了陶瓷生产的基本原理和主要工序的操作方法；第二篇工业陶瓷和第三篇窑用耐火材料作为附篇，只概略地介绍各该品种的性能、用途和工艺特点。编写中按照科学性、先进性和理论联系实际的要求，综合和归纳了我国陶瓷生产和科研的成果，并酌量吸收了一些国外文献中的有益部分。

本书为中专学校试用教材，也可作为陶瓷工厂职工教育的教材和陶瓷专业技术人员的参考书。

中等专业学校轻工专业试用教材

陶瓷工艺学

江苏省宜兴陶瓷工业学校

轻工业出版社出版

(北京阜成路3号)

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

850×1166毫米1/32 印张:23 8/32 插页:1 字数:600千字

1985年2月 第一版第一次印刷

印数:1—8,000 定价:5.15元

统一书号:15042·1869

前 言

轻工业中等专业学校教科书《陶瓷工艺学》在轻工业部教育司组织之下，于1979年3月召开陶瓷专业教材编审会议，根据党的教育方针和中等专业学校的培养目标，面对我国当前的生产实际，讨论通过了编写大纲，本书即是根据这个大纲编写的。

陶瓷是人类最古老的手工业，但作为一门应用科学还是近一世纪的事，而随着现代科学技术的迅猛发展，陶瓷生产技术的进步也将一日千里。因此，编写《陶瓷工艺学》既应重视当前，也应照顾历史传统，更应大胆展望未来。

陶瓷工业具有非常浓厚的地方特色。各地区自然资源性能不同，传统生产方式不同，产品种类与风格不同，生产设备条件不同，即使是同类品种在各地区的生产工艺上也会有一定差异。教科书要求适用于全国，就需要从通性出发，适当照顾到几个重点产区的特性。当然，这个照顾不能不有一定限度，以保证作为一本教科书的完整性。

在编写中注意到理论联系实际的原则。首先联系我国当前的生产实际，其次是联系中专学生的实际，内容的深度和广度，以及文字表达，力求适应中专学生的接受水平和阅读能力。各章的作业、复习思考题也力求有利于启发学生的独立思考，有利于理论联系实际。

在选材上注意贯彻“少而精”的原则，力求主次分明、突出重点。全书是以日用陶瓷作为主篇，工业陶瓷和耐火材料只概略地介绍其性质、用途和工艺特点。在日用陶瓷中又以原料、坯釉计算与制备、成形、釉料、烧成及装饰等章为重点，目的是在有限的时间内，让学生把最基本的知识学到手，以期将来在生产实践中能具有解决几个关键问题的能力。凡与其他课程重复或与本

课程关系不大的内容，都未列入。本书内容是按教学计划暂定170学时安排的，每学时在2000~2500字范围内。

本书由任敷孟同志负责编写。其中第二篇工业陶瓷中的“电瓷”一章，是请苏州电瓷厂李达工程师执笔。此外，个别章节曾由江阴瓷厂缪复华、荣菊慧，南京陶瓷厂马大卫，江苏省陶瓷研究所胡立勋，宜兴电子器件厂张智荣等工程师提供不少素材和意见。全书由广东轻工业学校胡守真副教授承担主审，参加审稿的还有邯郸陶瓷工业学校姚毅同志、湖南轻工业学校沈德媛同志、景德镇陶瓷学校黄开涛同志、唐山轻工业学校高亚春同志、江苏省陶瓷研究所黄家玮工程师等。书稿油印本寄出后，先后接到轻工业部一轻局刘秉诚高级工程师、科研司张锡秋高级工程师、中国历史博物馆傅振伦先生、湖南大学杜海清教授、南京大学方邱森副教授、景德镇陶瓷学院连汝尧同志等人宝贵的书面或口头意见。在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，从接受任务到交稿期限比较紧迫，未及请更多同志审阅，书中错误和不当之处在所难免，热诚希望国内专家和广大读者对本书提出宝贵意见，以便今后修订时改正。

江苏省宜兴陶瓷工业学校

目 录

绪 论

一、陶瓷品种及其特点..... (1)

第一节	从工艺和力学角度谈器形设计·····	(214)
第二节	成形方法·····	(223)
第三节	修坯与镶接·····	(250)
第四节	石膏模·····	(251)
第五章	干燥 ·····	(258)
第一节	干燥机理·····	(258)
第二节	干燥方法·····	(268)
第三节	干燥过程中产生缺陷的分析·····	(280)
第六章	釉 ·····	(283)
第一节	釉的分类·····	(283)
第二节	釉的物理化学性质·····	(288)
第三节	釉的原料与组成计算·····	(304)
第四节	釉的制备和施用·····	(334)
第五节	施釉缺陷及其控制·····	(341)
第七章	烧成 ·····	(347)
第一节	装钵与装窑·····	(347)
第二节	坯体在烧成过程中的物理化学变化·····	(354)
第三节	烧成制度·····	(361)
第四节	烧成缺陷及其改进措施·····	(383)
第五节	匣钵和其它窑具·····	(389)
第八章	装饰 ·····	(404)
第一节	装饰对日用陶瓷的意义·····	(404)
第二节	陶瓷用彩料·····	(405)
第三节	彩绘·····	(421)
第四节	颜色釉·····	(449)
第五节	艺术釉·····	(457)
第六节	其他装饰方法·····	(473)
第七节	降低陶瓷画面铅溶出量问题·····	(479)
第九章	陶瓷的结构与性质 ·····	(483)

第一节	坯体的结构	(483)
第二节	陶瓷器的性质	(487)

第二篇 工业陶瓷

第一章	电瓷	(498)
第一节	电瓷的用途与分类	(498)
第二节	电瓷的性能及其坯釉组成	(502)
第三节	电瓷的制造工艺	(511)
第四节	电瓷的装配	(527)
第五节	电瓷的检验	(529)
第六节	特种电瓷	(532)
第二章	电子陶瓷	(535)
第一节	电子陶瓷的分类和用途	(535)
第二节	原料及其处理	(537)
第三节	配料和成形	(558)
第四节	烧成	(571)
第三章	化工陶瓷	(589)
第一节	化工陶瓷的用途与性能要求	(589)
第二节	化工陶瓷的生产工艺	(595)
第三节	化工陶瓷的加工、胶接与装配	(600)
第四节	化工陶瓷的检验	(602)
第四章	化学瓷	(604)
第一节	化学瓷的用途与性能要求	(604)
第二节	化学瓷的生产工艺	(606)
第五章	建筑卫生陶瓷	(611)
第一节	建筑陶瓷	(611)
第二节	卫生陶瓷	(628)

第三篇 硅酸盐工业窑用耐火材料

第一章 概论	(639)
第一节 耐火材料的定义、用途及分类.....	(639)
第二节 耐火材料的性质.....	(642)
第二章 硅酸铝质耐火材料	(652)
第一节 $\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ 系平衡图	(652)
第二节 粘土制品.....	(653)
第三节 半硅砖.....	(663)
第四节 高铝砖.....	(663)
第五节 硅酸铝质耐火材料的理化指标.....	(670)
第三章 硅质耐火材料	(676)
第一节 二氧化硅的各种变体及其性质.....	(676)
第二节 原料与矿化剂.....	(678)
第三节 生产工艺.....	(680)
第四节 硅砖的性质与理化指标.....	(683)
第四章 轻质(绝热)耐火材料	(686)
第一节 工业窑炉的热损失和轻质耐火材料 的作用.....	(686)
第二节 轻质耐火材料的制造.....	(687)
第三节 特殊轻质耐火材料.....	(692)
第五章 粉状耐火材料及耐火混凝土	(694)
第一节 耐火胶泥.....	(694)
第二节 耐火混凝土.....	(695)
第三节 耐火涂料.....	(702)
第六章 陶瓷纤维	(703)
第一节 硅酸铝质纤维.....	(703)
第二节 硅质纤维.....	(707)

附录:

- 一、水玻璃的成分 ($\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$) 与密度变化关系..... (709)
- 二、莫氏硬度标..... (710)
- 三、各国筛网标准..... (711)
- 四、各国三角测温锥标准..... (714)
- 五、常用陶瓷原料常数表..... (717)
- 六、常用非金属矿物的组成计算..... (723)
- 七、温度的换算..... (732)
- 八、波美度 (Bè) 与比重的换算 (732)
- 九、温度为20℃时泥浆中固体含量与波美浓度的换算表..... (733)
- 十、公制与英制的单位换算..... (733)

绪 论

一、陶瓷的概念及其分类

陶瓷 (Ceramics) 的传统概念是指所有以粘土等无机非金属材料为原料的人工工业产品。它包括由粘土或含有粘土的混合物经混炼、成形、煅烧而制成的各种制品。由最粗糙的土器到最精细的精陶和瓷器都属于它的范围。对于它的主要原料是取之于自然界的硅酸盐矿物(如粘土、长石、石英等), 因之它与玻璃、水泥、搪瓷、耐火材料等工业, 同属于“硅酸盐工业”(Silicate Industry)的范畴。

随着近代科学技术的发展, 近百年来又出现了许多新的陶瓷品种, 它们不再使用或很少使用粘土、长石、石英等传统陶瓷原料, 而是使用其他特殊原料, 甚至扩大到非硅酸盐、非氧化物的范围, 并且出现了许多新的工艺。美国和欧洲一些国家的文献已将“Ceramic”一词理解为各种无机非金属材料通称。因此陶瓷的含义实际上已远远超越过去狭窄的传统观念了。

迄今为止, 陶瓷器的界说似可概括地作如下描述: 陶瓷是用铝硅酸盐矿物或某些氧化物等为主要原料, 依照人的意图通过特定的化学工艺在高温下以一定温度和气氛制成的具有一定型式的工艺岩石。绝大多数基本上不吸水, 按其用途有的表面施有相当悦目的光润的釉或特定的釉, 若干瓷质还具有不同程度的半透明度。通体是由一种或多种晶体或无定形胶结物及气孔或与熟料包裹体等微观结构组成^①。

① 刘秉诚, “我国陶瓷的起源及其发展”(二稿)《湖南陶瓷》1980, 1, p. 36.

陶瓷工业是硅酸盐工业的主要分支之一，属于无机化学工业范围。但现代科学高度综合，互相渗透，从整个陶瓷工业制造工艺的内容来分析，它的错综复杂与牵涉之广，显然不是仅用无机化学的理论所能概括的。因此，学习工艺学首先应学好基础科学，并随着工业技术的发展，广泛吸收新的理论知识、科学技术和先进经验，更重要的是要重视实验实习，才能不断提高、不断前进。

陶瓷制品的品种繁多，它们之间的化学成分、矿物组成、物理性质，以及制造方法，常常互相接近交错，无明显的界限，而在应用上却有很大的区别。因此很难硬性归纳为几个系统，详细的分类法各家说法不一，到现在国际上还没有一个统一的分类方法。常用的有如下两种从不同角度出发的分类法：

(一) 按用途的不同分类

1. 日用陶瓷：如餐具、茶具、缸、坛、盆、罐等。
2. 艺术陶瓷：如花瓶、雕塑品、陈设品等。
3. 工业陶瓷：指应用于各种工业的陶瓷制品，又分：

(1) 建筑-卫生陶瓷：如砖瓦、排水管、面砖、外墙砖、卫生洁具等；

(2) 化工陶瓷：用于各种化学工业的耐酸容器、管道、塔、泵、阀以及搪砌反应锅的耐酸砖、灰等；

(3) 化学瓷：用于化学实验室的瓷坩埚、蒸发皿、燃烧舟、研钵等；

(4) 电瓷：用于电力工业高低压输电线路上的绝缘子、电机用套管、支柱绝缘子、低压电器和照明用绝缘子，以及电讯用绝缘子，无线电用绝缘子等；

(5) 耐火材料：用于各种高温工业窑炉的耐火材料；

(6) 特种陶瓷：用于各种现代工业和尖端科学技术的特种陶瓷制品，有高铝氧质瓷、镁石质瓷、钛镁石质瓷、锆英石质瓷、锂质瓷，以及磁性瓷、金属陶瓷等。

(二) 按所用原料及坯体的致密程度的不同分类 (见表0-1)

从表 0-1 可以看出:

1. 从土器(brickware or terra-cotta)、陶器(pottery)、炆器(stone Ware)、半瓷器(semi-vitreous china)、以至瓷器(porcelain), 原料是从粗到精, 坯体是从粗松多孔, 逐步到达致密、烧结, 烧成温度也是逐渐从低趋高。

2. 土器是最原始最低级的陶瓷器, 一般以一种易熔粘土制造。在某些情况下也可以在粘土中加入熟料或砂与之混合, 以减少收缩。这些制品的烧成温度变动很大, 要依据粘土的化学组成和所含杂质的性质与多少而定。以之制造砖瓦, 如气孔率过高, 则坯体的抗冻性能不好, 过低又不易挂住砂浆, 所以吸水率一般要保持 $5 \sim 15\%$ 之间。烧成后坯体的颜色, 决定于粘土中着色氧化物的含量和烧成气氛, 在氧化焰中烧成多呈黄色或红色, 在还原焰中烧成则多呈青色或黑色。我国建筑材料中的青砖, 即是用含有 Fe_2O_3 的黄色或红色粘土为原料, 在临近止火时用还原焰煅烧, 使 Fe_2O_3 还原为 FeO 而成青色。

3. 陶器可分为普通陶器(common pottery)和精陶器(Fine earthenware)两类。普通陶器即指土陶盆、罐、缸、瓮, 以及耐火砖等具有多孔性着色坯体的制品。精陶器坯体吸水率仍有 $4 \sim 12\%$, 因此有渗透性, 没有半透明性, 一般白色, 也有有色的。釉多采用含铅和硼的易熔釉。它与炆器比较, 因熔剂含量较少, 烧成温度不超过 1300°C , 所以坯体未充分烧结; 与瓷器比较, 对原料的要求较低, 坯料的可塑性较大, 烧成温度较低, 不易变形, 因而可以简化制品的成形、装钵和其他工序。但精陶的机械强度和冲击强度比瓷器、炆器要小, 同时它的釉比上述制品的釉要软, 当它的釉层损坏时, 多孔的坯体即容易沾污, 而影响卫生。

精陶按坯体组成的不同, 又可分为: 粘土质、石灰质、长石质、熟料质等四种。粘土质精陶接近普通陶器。石灰质精陶以石灰石为熔剂, 其制造过程与长石质精陶相似, 而质量不及长石质精

陶，因之近年来已很少生产，而为长石质精陶所取代。长石质精陶又称硬质精陶，以长石为熔剂，是陶器中最完美和使用最广的一种。近世很多国家用以大量生产日用餐具(杯、碟、盘子等)及卫生陶器，以代替价昂的瓷器。熟料精陶是在精陶坯料中加入一定量的熟料，目的是减少收缩，避免废品。这种坯料多应用于大型和厚胎的制品(如浴盆、大的盥洗盆等)。

4. 炻器在我国古籍上称“石胎瓷”，坯体致密，已完全烧结(Sintering)，这一点已很接近瓷器。但它还没有玻化(Vitrification)，仍有2%以下的吸水率，坯体不透明，有白色的，而多数允许在烧后呈现颜色，所以对原料纯度的要求不及瓷器那样高，原料取给容易。炻器具有很高的强度和良好的热稳定性，很适应于现代机械化洗涤，并能顺利地通过从冰箱到烤炉的温度急变，在国际市场上由于旅游业的发达和饮食的社会化，炻器比之精陶具有更大的销售量。

5. 半瓷器的坯料接近于瓷器坯料，但烧后仍有3~5%的吸水率(真瓷器true Porcelain吸水率在0.5%以下)，所以它的使用性能不及瓷器，比精陶则要好些。

6. 瓷器是陶器发展的更高阶段，它的特征是坯体已完全烧结，完全玻化，因此很致密，对液体和气体都无渗透性，色白，胎薄处呈半透明，断面呈贝壳状，以舌头去舔，感到光滑而不被粘住。硬质瓷(hard porcelain)具有陶器中最好的性能，用以制造高级日用器皿、电瓷、化学瓷等。软质瓷(soft porcelain)的熔剂较多，烧成温度较低，因此机械强度不及硬质瓷，热稳定性也较低，但其透明度高，富于装饰性，所以多用于制造美术陈设瓷。至于熔块瓷(Fritted porcelain)与骨灰磁(bone china)，它们的烧成温度与软质瓷相近，其优缺点也与软质瓷相似，应同属软质瓷的范围。这两类瓷器由于生产中的难度较大(坯体的可塑性和干燥强度都很差，烧成时变形严重)，成本较高，生产并不普遍。英国是骨灰瓷的著名产地，我国唐山

也有骨灰瓷生产。

7. 特种陶瓷是随着现代电器、无线电、航空、原子能、冶金、机械、化学等工业以及电子计算机、空间技术、新能源开发等尖端科学技术的飞跃发展而发展起来的。这些陶瓷所用的主要原料不再是粘土、长石、石英，有的坯体也使用一些粘土或长石，然而更多的是采用纯粹的氧化物和具有特殊性能的原料，制造工艺与性能要求也各不相同。

二. 我国瓷器在工艺技术上的特色^①

瓷器是在一定历史条件下由陶器演进而来，由于劳动人民长期的生产实践，积累了丰富的制陶经验，世代相传，逐渐改进与提高，最后才形成一套完整的制瓷工艺。所以瓷器与陶器的制作一样，不可能是某一个人所发明，而是历代无数不知名的劳动群众共同劳动的成果。中国瓷器历史之久，产地之广，没有别的国家可与伦比，许多独特的技术成就，至今还值得很好地加以总结与继承。

我国从明朝初叶起即以景德镇为最重要、最著名的制瓷中心，时至今日仍不失为全国生产最集中，产品最有代表性的名符其实的瓷都，我们在讨论中国瓷器的特色的时候，就不可避免地要以景德镇产品作为我国传统瓷器的主要代表。此外，其他重点产区亦将适当涉及，以作对比。

1. 景德镇以及南方某些产区瓷器，所用原料与中外其他地区有所不同，它是以高岭土和瓷石作胎，以釉石和釉灰制釉。瓷石与釉石（经淘洗制成砖状称为釉果）是这些产区的主要原料。据研究：^②瓷石中主要矿物成分是绢云母、石英和少量方解石等；釉石与瓷石基本属于同一类型，只是所含熔剂稍多（如长石），适宜于作制釉原料。釉灰是用石灰石与草木灰（景德镇用狼鸡草或凤

^① 本节主要参考景德镇陶瓷研究所编著：《中国的瓷器》第二章第二节及其他有关书刊写成，原书注明该节是由刘秉成工程师提供的素材。

^② 周仁等：《景德镇瓷器的研究》1958。

尾草，龙泉用谷壳，在古代有用槎叶灰、木柿灰等其他草木灰的）堆迭烧炼陈腐而成，主要成分是碳酸钙。所以景德镇瓷器，亦即明、清以来传统的中国瓷器是不同于长石质瓷器的；它是水云母质瓷器，即以水云母作熔剂的高岭-石英-水云母质瓷胎，和石灰石-石英-水云母质瓷釉。釉中仅含有很少量的长石。这一点在日本亦如此，日本自古所用制瓷原料天草、尾原、冓土、服部等地的陶石与中国的瓷石相类似。

由于这一区别，现代一般陶瓷文献上所介绍的以粘土、长石、石英三大组成绘制的三角形瓷胎组成分布图，就不能完全适用于中国南方的瓷器。

有人指出：亚洲瓷坯中的石英和碱含量显著地高于欧洲，而相应地含有较低的氧化铝成分，因此要求较低的烧成温度。亚洲瓷采用的含钙软釉是一种优越的炉彩承载层，炉彩与这些早软化釉结合良好，故能保持优良的光泽。^①

2. 从原料的特性看，南方多原生高岭和瓷石，含有机物质较少，而含母岩碎屑较多，因而粘性和吸附性较小。并多杂有水云母系矿物，这类矿物的含铁量较高，有些是以黑色铁矿物杂质形态存在，可以被淘洗除去，而有些是以类质同晶置换作用存在在水云母的晶格中，那就不易淘洗出去。但这种铁在高温熔融冷却后，一般只影响总的色调而不致形成斑点，在还原气氛作用下，被还原为氧化亚铁（ FeO ），并与二氧化硅作用生成易熔的低铁硅酸盐（ $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ），显现出一种淡青色调来。同时这种均匀分布在晶格中的铁也与碱性物质一样在高温中具有助熔剂和矿化剂的性质，能促使坯体烧结并降低烧成温度，这一情况在还原气氛下更为显著，^②因此我国南方传统瓷器虽然烧成温度较低（一般在 $1250 \sim 1300^\circ\text{C}$ ），但仍具有与硬质瓷相等的强度与硬度，其余

① 黄照柏、姜恩忠等译，《陶瓷原材料及其检验方法》p.162。

② 李家治、周仁，“气氛对某些瓷坯加热性状的影响”《1959年硅酸盐研究工作报告会论文选集》p.228。

化学物理性质均能与欧洲硬质瓷胎釉的限度接近。

北方情况与此不同，原料多次生高岭与耐火粘土，有机质较多，粘性较大，吸附性较强，而母岩碎屑及含铁量较少，因此适于用氧化焰或轻还原焰烧成。近代则多采用长石、石英和粘土（包括选用一部分纯度较高的高岭土）三元系统的配料，釉以长石为主，微显乳浊（与灰釉比较），瓷器的白度较南方高，但白里微泛黄色，半透明度亦较差。

这样就从外观上把我国历代瓷器划分为青、白二系，形成南北瓷器不同的特色。

欧美各国瓷器亦都白里微泛黄色，中国科学院曾用分光光度计测定了清初雍正青花瓷盘和德国麦森瓷厂制瓷盘的透过光谱，^①所测得的德国制瓷盘的光谱曲线在蓝光部分透过较少，在红光部分透过较多，而中国瓷胎则因为低价铁的着色作用使瓷胎对整个光谱的透光度都比较接近，因而瓷胎显现白里微泛青色。这就形成了中国传统瓷器与许多其他国家瓷器在色调上的不同。

3. 从胎釉的矿物显微结构看，我国传统瓷的结构组织是相当致密而均匀的。瓷胎中玻璃的含量占绝大部分，石英的颗粒较小，一般在20微米左右，而且显得浑圆（这是由于对原料精工粉碎淘洗，烧成温度较高的结果），瓷胎中莫来石多呈针状结晶，粒度较小，一般很少有大于20微米者；与德国麦森瓷厂产品比较，后者的石英颗粒较大，而且棱角分明，一般都在40~60微米之间，但莫来石晶体则很小，在500倍的显微镜下，也不易发现有完整的针状莫来石晶体存在。因此传统的中国精细瓷，应当看成是高岭-石英-水云母质的硬质瓷。只有福建德化瓷由于原料中含钾、钠化合物较高，烧成温度较低，接近于软质瓷。有很多外国学者说中国传统瓷器是属于软质瓷范围，是不够正确的。由于我国制瓷原料与欧洲国家所用原料在矿物类型上的不同，因此不能用同一标准来比较，如把瓷胎的化学成分换算成经验式来表示，

^① 周仁等，“清初瓷器胎釉的研究”《景德镇瓷器的研究》1958·p·9。