

瓷器·精陶与彩陶

刘达权译

张维翰 李庄稼校

轻工业出版社

瓷器、精陶与彩陶

刘达权 译

张维翰 李庄稼 校

轻工业出版社

内 容 简 介

本书主要叙述了属于日用陶瓷范围的瓷器、精陶和彩陶的生产工艺过程及原理，特别注重工艺的改进和新设备的采用。书中取材以七十年代出现在苏联和西方几个先进陶瓷生产国家中的最新科研成果为主，结合苏联先进大厂的生产实践，介绍了当代日用陶瓷工业的生产新面貌。

书中特别注重新型窑炉的选用，机械化自动化生产线的推广，滚压成形、机械注浆、快速干燥和烧成、新品种研制以及产品质量提高等方面经验的介绍。

本书讲述实际生产经验的同时，也涉及到陶瓷的物理技术性质和使用性能，这对于陶瓷生产第一线上的技术人员和科研人员以及教育战线上的广大师生和培训中职工都会有帮助。

И. И. МОРОЗ
«ФАРФОР, ФАЯНС, МАЙОЛИКА»
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНИКА»
КИЕВ 1975

瓷器、精陶与彩陶

刘达权 译

张维翰 李庄稼 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

850×1168毫米 $\frac{1}{32}$ 印张：13 4/32 字数：334 千字

1984年12月第一版第一次印刷

印数：1—8,000 定价：4.00元

统一书号：15042 1908

原 序

苏联第九个五年计划期间，日用瓷和精陶制品产量增长，不仅是依靠劳动生产率的提高，而且也是由于改建了18座老厂和新建了13座年产量各在250万件以上具有现代化工艺水平的工厂。

目前，瓷器产量急剧增加，占到陶瓷总产量的66%，而且一级品率提高到52%。产品品种构成也发生了相应大的变化，优质细瓷制品，其中包括耐热器皿和低温瓷制品，将基本可以满足消费者，尤其是公共食堂的需求。

制品使用性能的改善，品级率的提高和使用寿命的延长，在目前由于公共食堂机械化洗涤设备与化学洗涤剂的广泛使用，具有特殊的现实意义。

上述问题的解决，应与工艺过程的强化相结合，这就需要依靠广泛采用化学与实用物理的成就，并对各工艺过程进行有效监控。为此，陶瓷生产的新工艺，大大不同于当今采用的工艺，它将以快速、最佳制度、新型原料（包括人工合成的莫来石、硅线石、刚玉等）的采用为基础。

本书目的在于，向广大陶瓷专业人员介绍国内外获得的陶瓷科研成果，以期进一步改善瓷器、精陶、彩陶以及其它制品的生产工艺；同时目的也在总结生产过程中使用新型热工设备所积累的先进经验。

目 录

第一篇 瓷器、精陶及彩陶生产工艺一般原理

第一章 陶瓷的物理技术性质与使用性能	(1)
物理化学性质	(1)
物理性质	(9)
机械性质	(13)
热物理性质	(18)
电学物理性质	(25)
抗蚀性(化学稳定性)	(25)
外观性质	(26)
使用性能	(31)
第二章 原料	(35)
粘土原料	(35)
瘠性物料	(45)
熔剂	(49)
第三章 陶瓷坯料	(56)
坯料的组成	(56)
坯料性能	(62)
浇注泥浆	(70)
第四章 塑性坯料和浇注用泥浆的制备	(77)
坯料制备工艺流程	(77)
原料的预加工	(81)
粘土原料的碎解和石质原料的细磨	(83)
坯料和泥浆的净化	(96)
泥浆的脱水	(98)

坯料的均化	(110)
浇注用泥浆的制备	(116)
塑性坯料和浇注用泥浆的集中化制备	(118)
第五章 釉及其制备	(128)
釉	(128)
釉底料	(143)
釉料的制备	(144)
第六章 成形	(158)
成形的目的和方法	(158)
可塑法成形	(159)
注浆法成形	(169)
第七章 干燥	(178)
干燥的意义	(178)
干燥过程的实质	(178)
新式干燥法及干燥器的结构	(187)
修坯和附件粘接	(196)
成形-干燥线与注浆-干燥线	(198)
第八章 烧成	(213)
烧成的目的和实质	(213)
烧成窑炉	(233)
第九章 施釉	(257)
施釉条件	(257)
施釉方法	(260)
第十章 装饰	(271)
装饰的目的和方法	(271)
装饰材料	(273)
辅助材料	(276)
雕饰	(277)
彩饰	(278)

彩烧.....	(295)
---------	-------

第二篇 各种陶瓷制品的生产特点

第一章 硬质瓷的生产	(297)
原料、主要材料和辅助材料.....	(297)
坯料和釉料的制备.....	(298)
坯体的成形.....	(301)
坯体的干燥.....	(305)
烧成和施釉.....	(310)
制品的分选.....	(322)
装饰.....	(323)
机械化与自动化生产线的组建.....	(329)
第二章 软质瓷的生产	(336)
骨灰瓷.....	(336)
塞格尔瓷.....	(338)
熔块瓷.....	(339)
素瓷.....	(340)
第三章 低温瓷的生产	(341)
原料及坯料和釉料的制备.....	(341)
坯体的成形和干燥.....	(343)
施釉、烧成和制品的分选.....	(344)
低温瓷生产自动线.....	(345)
第四章 精陶的生产	(355)
原料、主要材料和辅助材料.....	(356)
坯料和釉料的制备.....	(357)
坯体的成形和干燥.....	(358)
第一次烧成(素烧).....	(369)
施釉.....	(371)
第二次烧成(釉烧).....	(372)

装饰·····	(373)
第五章 细瓷器制品的生产·····	(375)
原材料及坯料、釉料和釉底料的制备·····	(375)
坯体的成形和干燥·····	(381)
制品的生坯装饰·····	(381)
素烧·····	(383)
施釉·····	(384)
釉烧·····	(384)
制品的分选和配套·····	(385)
第六章 耐热制品的生产·····	(386)
原材料及坯料和浇注泥浆的制备·····	(387)
釉料和釉底料的制备·····	(389)
坯体的成形和干燥·····	(391)
装饰·····	(391)
素烧·····	(392)
施釉和釉烧·····	(392)
第七章 影陶制品的生产·····	(393)
原材料及坯料、釉料和釉底料的制备·····	(393)
成形和干燥·····	(400)
施釉和烧成·····	(401)
参考文献·····	(404)

第一篇 瓷器、精陶及 彩陶生产工艺一般原理

第一章 陶瓷的物理技术性质 与使用性能

细陶瓷制品质量之好坏是由各种性质来评定的，这些性质与原料的化学组成和矿物组成，陶瓷材料的相组成及结构，以及生产工艺特性有关。可用物理化学性质、物理性质、机械性质、电学物理性质、外观质量、使用性能和抗蚀性能来加以描述。

物理技术性质可以决定陶瓷的使用性能，并使之最有效地在相应范围内使用^[25,40,9,23]。

物理化学性质

物理化学性质可说明制品的原料状态及其结构，以及坯体、中间过渡层和釉的化学组成和相组成。

一、制品坯体的结构

制品坯体的结构决定于原料颗粒大小、形状、各相的数量和性质、气孔率等。

烧成时因烧结而形成的制品坯体，是由晶相、玻璃相及气相构成的复杂多相系统。这些相的数量比就是制品坯体的相组成，它决定着制品的物理性质。

1. 晶相

以瓷器为例, 它的晶相主要由莫来石、未起反应的石英颗粒, 以及少量未反应的高岭石残留物、再结晶的方石英及其它晶体构成^[63]。结构成分的数量比取决于坯料的组成、熔剂数量及其活性、烧成温度和保温时间。

在1350~1400°C烧成的硬质瓷可由显著的莫来石化致密结构说明其特点(图1)。在具有较少单相结构和较多多孔结构的精陶坯中, 能清楚分辨出粘土煅烧物、石英和含有莫来石晶体的个别区域。

长石熔体中保留的未熔石英量, 在硬质瓷中为引入量的10~16%, 在低温瓷中为13~24%, 在精陶中为18~27%。在彩陶制品中则仍保留坯料中所引入的石英量。

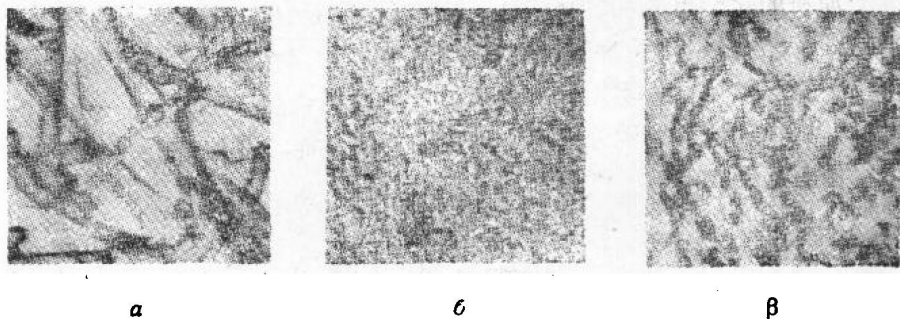


图1 硬质瓷的结构

α —长石熔融残渣中的二次莫来石晶体($\times 17000$); δ —粘土相区, 固结了游离 SiO_2 的一次莫来石晶体($\times 14000$); σ —粘土物质和石英熔体造成的玻璃相扩散混合区($\times 16500$)。

残余石英颗粒的大小基本上从2~3微米至10~25微米。其余颗粒的大小, 在瓷器中为90~120微米, 在精陶中为160~200微米。石英颗粒的表面被长石熔蚀, 边缘出现一些隙缝(图2)。边缘的熔蚀宽度依烧成温度、长石熔体的化学活性而定, 在瓷器中为2~5微米, 在精陶中为1~1.5微米。在彩陶中则看不到石英颗粒的熔蚀边缘。石英虽然能提高制品的强度, 但同时也会降

低制品的热稳定性。研究^[164]指出，在瓷器中形成的微应力与残余石英的含量成正比。这种应力与瓷器单位体积中全部石英颗粒的总表面积成正比。当石英颗粒的半径是熔蚀层厚度的三倍时，微应力可达最大值。在这种条件下，坯料中最初所含石英量的70%左右已被熔化。

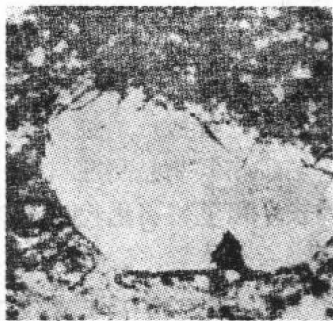


图 2 瓷坯中的石英颗粒

中间玻璃质对形成应力的影响很大。熔剂可提高应力值。残余的长石颗粒在显微镜下不易看出，因为它们在熔体中熔融而失去了清晰轮廓。

2. 玻璃相

还在许多年以前，M.B 罗蒙诺索夫和 Д.И. 维诺格拉多夫就在自己的著作中指出，玻璃相对瓷体的形成起着特殊作用。瓷器中玻璃相的化学组成如下(%)：

SiO_2	70~80
Al_2O_3	8~16
K_2O	8~12
Na_2O	

瓷器坯体中扩散在其它各相中的主要部分是玻璃的连续相，在精陶坯体中形成坯体晶架的则是粘土物质。由于精陶坯体中的玻璃相以极细的薄膜状分布在晶体之间，因而保证了晶体的牢固结合。在彩陶坯体中，玻璃相的含量更少，它起着缩小孔隙尺寸和使晶体颗粒靠紧的作用。

瓷器中的结构玻璃相，穿插着许多细小亚微观莫来石晶体。在长石熔体分布区域中，针状莫来石晶体长达10~12微米；在个别区域中可达20~40微米。莫来石排列成密网状，很少遇到凸粒状的。瓷器中玻璃莫来石相的含量波动范围很宽，在软质瓷中可

高达85%，而在硬质瓷中则可降至60%，尤其在化学瓷中可降到45%。在精陶中就更少，主要是细小亚微观莫来石晶体，未看到针状莫来石晶体。

精陶坯体中的莫来石晶体不同于在瓷器中所看到的莫来石晶体，它们分散得很细，只有通过 α -射线分析才能鉴别出来。

细炆器制品和在1100~1200℃烧成的低温瓷中，坯体的结构致密，但莫来石化程度较之硬质瓷弱一些，主要是细小的亚微观莫来石晶体群。5~10微米大小的针状莫来石晶体极少看到，仅在

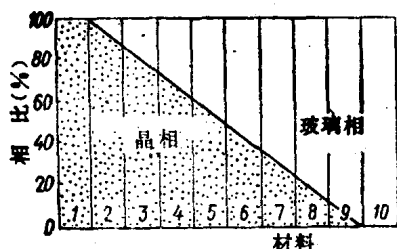


图3 晶相与玻璃相的比

1—钾微斜长石；2—高级耐火材料；3—普通耐火材料；4—清陶；5—瓷器；6—骨灰瓷；7—骨灰玻璃；8—蛋白石玻璃；9—乳白玻璃；10—玻璃。

长石熔体区域中见到有凸粒状和厚毡状莫来石。

在950~1050℃烧成的彩陶制品中，玻璃相含量总共只有8~10%，未发现莫来石。

玻璃相对陶瓷坯体物理技术性质的影响，不仅取决于它们的数量及物理化学性质，而且也与玻璃相同晶相之间的比例有关(图3)。

正如研究^[175]指出，瓷器的基本性质，其中也包括机械强度在内，主要取决于在玻璃相中产生的应力，在较小程度上也与形成莫来石晶体的数量和大小有关。玻璃相赋予瓷器以透光性，但却能降低其白度和热稳定性。当莫来石化程度较差，针状晶体较小，晶体交织程度较大时，瓷器坯体的机械强度就比较高。

3. 气相

气相是瓷器坯体的第三个结构组分。瓷坯中总是会有闭口气孔的，所有这些气孔皆充满气相。

形成气相的根源是：孔隙中含有空气；脱水反应、离解反应和脱碳作用产生的气体；原料中经常存在的硫酸盐和硫化物及其它矿物因分解而产生的气体；原料中的氧化铁还原，以及原料中

的有机残留物和孔隙中碳黑的氧化也同样会产生气体；坯料组分在熔融过程中及其它过程中也会释放出气体。

二、接触层(过渡层或中间层)的结构

接触层在施釉制品的物理技术性质形成中具有重要作用。在自动化生产条件下和在快速烧成中，尤其在制品的一次烧成中，接触层的作用更大。

正如 A. M. 阿甫古斯契尼克^[1]指出，由于釉和坯体之间的化学成分差异很大，尤其是精陶制品，接触层的形成是不可避免的。这种差异愈大，坯和釉之间的相互作用愈强烈，亦即熔融的釉向坯体孔隙渗透；熔融的釉与坯体的液相互相混合；坯体和釉的组分相互扩散；坯体的晶相在釉熔体中溶解，生成新晶相和气泡；随着烧成温度的升高，坯和釉不稳定离子的数目及类型增多，矿物及氧化物晶格的氧离子逐渐移动，釉的粘度降低和釉的反应能力提高，这样就引起了釉与坯体相互间的强烈反应，从而形成了接触层。

接触层形成的同时又进行着坯和釉的溶解及被溶组分向釉层深处扩散的两个过程。在一定温度条件下达到稳定状态。在此状态下，坯体的溶解与被溶组分向釉层的扩散相互平衡。

随着烧成温度从 1320°C 升至 1380°C，瓷釉的熔成量从 40% 增到 55%，接触层的热膨胀系数随之降低，接触层可促使坯釉间的热应力均匀。发展良好的接触层填满坯体表面的隙缝，有助于釉层的牢固熔着，可减弱坯釉间产生的机械应力，从而增大制品的强度。

接触层的结构在很大程度上由制品的烧成温度、保温时间及窑炉气氛性质决定(表 1)。

过烧时，接触层的特点是玻璃化很强烈，并存在有形成疏网状、朝向釉侧的粗大针状莫来石晶体(达 40~50 微米)。石英颗粒完全溶解在熔体中。接触面不平坦。釉渗入坯体深处与坯体产

表 1

烧成条件对瓷器接触层的影响

烧成质量	釉层厚度 微米	接触层厚度 微米	接 触 层 特 征	折 射 率
正 烧	140~220	10~20	接触层表现良好, 具有玻璃化特点, 存在有10~15微米大小的针状莫来石晶体网状	1.499~1.502
欠 烧	140~220	5~10	接触层表现的微弱	1.503~1.510
过 烧	140~220	60~80	接触层表现的强烈, 釉渗入坯体的深处	1.493~1.499

生良好的相互作用。有很少的小气泡。

釉和坯料的组成选配合理时, 不论是一般烧成的制品, 还是快速烧成的制品, 其接触层的结构并未显出本质上的差异。

一次烧成时形成的接触层如同两次烧成时一样, 表现的良好, 形成 10~20 微米厚的不平玻璃质薄层, 含有细小的密网状(10~15 微米) 莫来石晶体及边缘呈球形的残余石英颗粒。坯和釉中含有 60~80 微米大小的气泡。

根据坯和釉组成的不同, 接触层中可含有莫来石、硅灰石、弹性地蜡、钙长石、磷石英和方石英(合计占 10~15%), 以及呈气泡状的气相; 气泡中的气体主要是由氮气、氧气(2~5%)、二氧化碳气(10~13%)组成的混合气体。瓷器接触层中的晶相是在 820°C 时生成的。

三、釉 层 结 构

釉赋予多孔坯体以不透水性, 提高制品的强度和改善其外观, 提高制品的卫生性能和其它使用性能。

岩相分析指出, 制品上 80~260 微米厚的釉层几乎是纯玻璃相, 其中夹杂有晶相, 且在大多数情况下贯穿有少量的气泡(图 4)。

釉中数量上占优势的相是透明玻璃, 其化学成分可能不十分

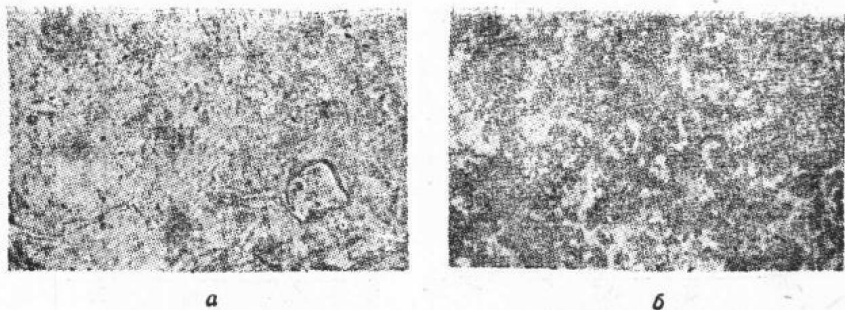


图 4 瓷釉的结构($\times 400$)

a—透光的; b—消光的。

均匀,沿釉层厚度中的化学成分也可能有不太大的波动。这一点可从玻璃的折射率看出,即釉-空气和釉-瓷坯界面处的折射率有些不同。

釉中的晶相可能是配合料的晶体残留物和新生晶体的生成物。在瓷釉中多半是前一种类型。通常,这些残留物是在熔体中未溶解也未完全反应的残余石英(1~3%),大小在20~40微米,与瓷坯中的石英颗粒相类似,颗粒周围也有反应边(熔蚀圈)。作为瓷釉中的新生晶体,可能是长达3微米的莫来石晶体,很少是钙长石、方石英晶体^[142]。

釉中的气相是在显微镜下可以识辨的形状规整的圆形气泡,它们是由釉本身及瓷坯深层析出的气体形成的。

釉中气泡的大小在10~80微米,极细小的气泡和60微米以上的大气泡占气泡量的7~9%,气泡分布在坯釉接触层附近,在釉层整个厚度中的分布是比较稀疏的,有时是相互连通的(图5)。

釉层中气泡的数量随着釉层厚度的加大而增多。气泡尺寸随着烧成温度的升高和烧成时间的增长而增大。釉表面层中的气泡数量增至一定的最高限度后,又逐步减少。分布在1平方毫米面积上的气泡总数,根据气态介质的来源特性,可达300个或者更多。这些气态介质是:保留的空气和水蒸气、矿物分解产物(碳

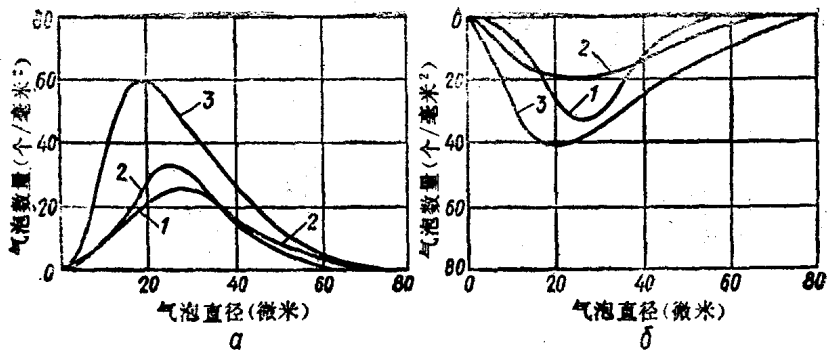


图 5 釉层中气泡的分布区域

a —施于坯体上侧的釉层； δ —施于坯体下侧的釉层。1—薄釉层（厚 120~180 微米）；2—正常釉层（厚 210~240 微米）；3—厚釉层（厚 380~480 微米）。

酸盐的离解等）、燃料燃烧产物及其它气体。

釉层中的气泡可降低釉面质量，为釉面上的釉泡、麻疵、棕眼等缺陷的形成创造了条件，这些缺陷会使釉面产生凹凸不平（斑粒釉），同时也是形成开裂的隐患。

甚至可以认为，象精陶制品的釉层在没有气泡的情况下，釉层仍能被连显微镜也发现不了的极细气泡所贯穿，这就说明釉层有透过水蒸气和气体的特性。因此，当制品系多孔坯体时，在随后的使用过程中，就会产生体积膨胀并使釉层发生二次釉裂。严密的釉层产生碎纹，使其抗张强度降低到 20~50 MPa，而理论强度本可达到 147 MPa*，即降低到理论强度的 $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{5}$ 。

釉层的结构及其组成对坯体的收缩、变形及制品的白度有一定影响。根据釉的组成不同，釉可阻碍坯体在烧成中收缩（当氧化钙、氧化钡、氧化锶含量高时），或者使坯体的收缩率增大 0.8~1%（当氧化镁、长石等含量高时）^[177]。这是因为烧结和熔融温度、热膨胀系数、表面张力等的不同之故。制品单面施釉时，釉

* 强度的国际单位制代号——译注。

对坯体的影响较大，尤其对坯体的变形影响更大。双面施釉时，因釉层厚度占坯体总厚度的 10~15%，故可使制品的强度提高 30~60%。

调整釉的组成，使挥发组分的含量减少，使熔融釉的粘度降低，可减少釉中的气体含量，改善釉面质量。在素烧坯体（精陶、按精陶工艺生产的瓷器）上施釉，在釉的玻化期缓慢升温 and 快速冷却制品，有助于釉层结构和釉面质量的改善，从而使釉面具有良好的光泽。

物理性质

物理性质可用来说明物料和釉层的状态特性。

一、密 度

密度可用来说明某物质的一定体积中所含该物质的多少（程度）。密度有真密度、视在密度及相对密度之分。

二、气 孔 率

制品的气孔率是指该制品材料的体积中为气孔所充满的程度。气孔率与坯料的组成、原料的磨细度、成形条件及成形坯体的密度、烧成温度和保温时间等因素有关。

气孔的形成条件由工艺因素决定，并与矿物晶格内的变化有密切关系。在前一种情况下，微细气孔和粗大气孔的产生又与下述各项因素有关：生产中所用原料的特性，原料的加工和坯料制备，尤其是坯料的真空练泥、成形、干燥和烧成条件，其中包括高岭土及其它粘土矿物、碳酸盐、硫酸盐、硫化物和氧化物离解的充分程度等。

工艺因素占主导地位，并对生产的整个过程起作用。晶格变化因素只在烧成结束阶段才表现出来。该因素导致了微细气孔的