

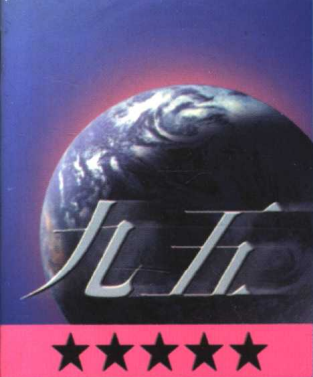
普通高等教育“九五”国家级重点教材

陶瓷工艺学

(上册)

李家驹 主编

缪松兰 马铁成 林绍贤 朱振锋 副主编



4.1



中国轻工业出版社

普通高等教育“九五”国家级重点教材

陶瓷工艺学

江苏工业学院图书馆
藏书章

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

陶瓷工艺学 (上册) /李家驹主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2001.1

普通高等教育“九五”国家级重点教材

ISBN 7-5019-2964-5

I. 陶… II. 李… III. 陶瓷-生产工艺-高等学校-教材 IV. TQ174.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 47567 号

责任编辑: 李建华 责任终审: 滕炎福 封面设计: 崔 云
版式设计: 智苏亚 责任校对: 燕 杰 责任监印: 崔 科

*

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

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

联系电话: 010-65241695

印 刷: 中国人民警官大学印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 35.5

字 数: 820 千字 印数: 1—3000

书 号: ISBN 7-5019-2964-5/TS·1795

定 价: 70.00 元 (共 2 册), 本册 35.00 元

· 如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换 ·

前 言

本书系根据普通高等教育“九五”国家级重点教材选题的要求，由大连轻工业学院、景德镇陶瓷学院和西北轻工业学院有关教师编写而成。

本书是在原普通高校使用的陶瓷专业教材的基础上，总结了使用中的经验和教训，根据当前国内外陶瓷工业发展形势，重新编写而成。本书立足于我国普通陶瓷（传统陶瓷）工业发展的现状和国际上的发展方向，力求在先进性、科学性和实用性等方面有所体现。特别是根据高校教材利于自学的特点，在内容的编排和取舍上作了相应的变化，在取材上充分注意吸取当前的最新研究成果和生产实践经验，在理论和实际相结合方面有所突破。力求本书不仅可作为当前的高校教材，也是一本能适应陶瓷工作者所需的参考资料。

本书由大连轻工业学院李家驹教授任主编，缪松兰、马铁成、林绍贤、朱振峰为副主编。各章编写人员为：大连轻工业学院李家驹教授（绪论）、马铁成教授、向卫东副教授（第一章）、林绍贤副教授（第二章）、胡志强副教授（第五、六章）、景德镇陶瓷学院缪松兰教授（第十二章）、郑乃章副教授（第七章）、马光华副教授（第四章）、朱小平副教授（第十一章）、西北轻工业学院朱振峰副教授（第三、八、九章）、秦本正副教授（第十章）。

本书在编写中由于资料的收集尚欠详尽，加之编者水平所限，难免有错误和不当之处，敬请读者指正。

编 者

1999 年 12 月

目 录

绪论	(1)
一、陶瓷的概念及分类	(1)
二、我国陶瓷技术发展概述	(3)
三、陶瓷在现代化建设中的作用	(11)
第一章 原料	(13)
第一节 原料分类	(13)
一、概述	(13)
二、原料分类	(13)
第二节 粘土类原料	(14)
一、粘土的成因与分类	(15)
二、粘土的组成	(24)
三、粘土的工艺性质	(32)
四、粘土的加热变化	(42)
五、粘土在陶瓷生产中的作用	(45)
六、我国的粘土原料	(45)
第三节 石英类原料	(51)
一、石英的种类和性质	(51)
二、石英的晶型转化	(53)
三、石英在陶瓷生产中的作用	(56)
第四节 长石类原料	(56)
一、长石的种类和一般性质	(57)
二、长石的熔融特性	(59)
三、长石在陶瓷生产中的作用	(60)
第五节 其它矿物原料	(61)
一、含碱硅酸铝类	(61)
二、碱土硅酸盐类原料	(64)
三、碳酸盐类	(68)
四、钙的磷酸盐类	(70)
五、高铝质矿物原料	(71)
六、锆英石	(74)

七、工业废渣	(75)
第六节 陶瓷原料的标准化	(79)
第二章 坯料	(84)
第一节 坯料的类型	(84)
一、瓷器坯料	(84)
二、精陶坯料	(103)
三、其它陶瓷器坯料	(107)
第二节 配料的依据	(112)
第三节 配料计算	(113)
一、坯料组成的表示方法	(113)
二、配料计算	(116)
第四节 坯料的成形性能	(130)
一、可塑泥团的成形性能	(130)
二、泥浆的成形性能	(136)
三、压制用粉料的成形性能	(142)
第五节 调整坯料性能的添加剂	(146)
一、添加剂的种类	(146)
二、解凝剂的作用	(146)
三、塑化剂的构成	(149)
四、有机粘合剂的性能	(149)
第三章 釉料	(151)
第一节 釉的作用及特点	(151)
一、釉的作用	(151)
二、釉的特点和性质	(151)
第二节 釉的分类、制釉氧化物	(165)
一、釉的种类	(165)
二、制釉氧化物	(166)
第三节 确定釉配方的依据	(169)
一、釉配方的物理化学基础	(169)
二、釉料配方的配制原则	(172)
三、釉料配方的确定	(173)
第四节 釉料配方的计算	(176)
一、釉料的表示方法	(176)
二、釉式的计算	(177)
三、釉料配方的计算	(180)
第五节 釉层形成过程的反应	(191)

一、釉料在加热过程中的变化	(191)
二、釉层冷却时的变化	(194)
三、釉层内的气泡	(196)
第六节 釉的析晶	(199)
一、釉熔体的析晶过程	(199)
二、影响釉熔体析晶的因素	(200)
三、析晶对釉面光学性质的影响	(203)
第七节 坯釉适应性	(205)
一、膨胀系数对坯釉适应性的影响	(206)
二、中间层对坯釉适应性的影响	(208)
三、釉的弹性、抗张强度对坯釉适应性的影响	(209)
四、釉层厚度对坯釉适应性的影响	(210)
第四章 显微结构与性质	(212)
第一节 陶瓷坯体的显微结构	(212)
一、显微结构的形成	(213)
二、工艺因素对显微结构的影响	(217)
第二节 釉层的显微结构	(220)
一、透明釉	(220)
二、乳浊釉	(222)
三、结晶釉	(224)
四、无光釉	(225)
五、高温颜色釉	(225)
六、半导体釉	(230)
第三节 釉层的物理化学性质	(230)
一、釉的熔融温度范围	(230)
二、粘度与表面张力	(234)
三、热膨胀性与弹性	(237)
四、白度、光泽度与透光度	(243)
五、力学强度与表面硬度	(246)
六、化学稳定性	(248)
七、介电性质	(249)
第四节 陶瓷性能的控制	(252)
一、陶瓷强度的控制	(252)
二、陶瓷光学性能的控制	(261)
三、陶瓷介电性能的控制	(266)

绪 论

一、陶瓷的概念与分类

“陶瓷”是在人类生活和生产中不可缺少的一种材料和其制品的通称。它在人类生产的历史上已有数千年的历史。传统上，陶瓷的概念是指所有以粘土为主要原料与其它天然矿物原料经过粉碎混炼—成形—煅烧等过程而制成的各种制品。如我们常见的日用陶瓷制品和建筑陶瓷、电瓷等都属于传统陶瓷。由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），所以可归属于硅酸盐类材料和制品。陶瓷工业可与玻璃、水泥、搪瓷、耐火材料等工业同属“硅酸盐工业”的范畴。

随着近代科学技术的发展，需要充分利用陶瓷材料的物理与化学性质，近百年来出现了许多新的陶瓷品种，如氧化物陶瓷、压电陶瓷、金属陶瓷等各种高温和功能陶瓷，它们的生产过程虽然基本上还是原料处理—成形—煅烧这种传统的陶瓷生产方法，但采用的原料已不再使用或很少使用粘土等传统陶瓷原料，而已扩大到化工原料和合成矿物，甚至是非硅酸盐、非氧化物原料，组成范围也延伸到无机非金属材料的范围中，并且出现了许多新的工艺。因此，现在我们可以认为，广义的陶瓷概念已是用陶瓷生产方法制造的无机非金属固体材料和制品的通称。

国际上通用的陶瓷（Ceramics）一词在各国并没有统一的界限。在欧洲某些国家中，陶瓷一词是指包括各种陶瓷在内的广义的陶瓷。如德国陶瓷协会认为：“陶瓷是化学工业或化学生产工艺的一个分支，包括陶瓷材料和器物的制造或进一步加工成陶瓷制品（元件）。陶瓷材料属于无机非金属材料，最少含 30% 结晶体。一般是在室温中将原料成形通过 800℃ 以上的高温处理，以获得这种材料的典型性质。有时也在高温下成形，甚至可经过熔化及析晶等过程。”而在美国和日本等国却把 Ceramics 一词看成包括各种硅酸盐材料和制品在内的无机非金属材料的通称，不仅指陶瓷，还包括水泥、玻璃、搪瓷等材料。我们也必须认识到，科学技术的不断发展，必然对陶瓷的界说产生影响，开发出新的领域，突破旧的界限，向更新的范围过渡。

日用陶瓷是品种繁多的陶瓷制品中最古老的和常用的传统陶瓷。这一类陶瓷制品具有最广泛的实用性和欣赏性，也是陶瓷科学技术和工艺美术有机结合的产物。日用陶瓷制品的界说似可概括地描述为：“用铝硅酸盐矿物或某些氧化物等主要原料，依照人类意愿通过特定的化学工艺在高温下以一定的温度和气氛（氧化、炭化、氮化等）制成所需形式的工艺岩石，满足生活上、生产上和工程技术上使用要求，绝大多数基本上不吸水。按其用途有的制成器物后，表面施有相当悦目的各种光润釉或特定釉和某些装饰。若干瓷质还具有不同程度的半透明度。通体由一种或多种晶体、无定性胶结物及气孔或与熟

料包裹体等种种微观结构相对组成。”

陶瓷制品种类繁多，为了便于掌握各种制品的特征，需要进行分类。但由于分类时，各人从不同的角度出发，有的按其材料的结构和基本物理性能来分类，有的按其所用原料、组成或用途来分类，故有多种分类方法，国际上尚无统一的方案。为了便于学习，现介绍两种比较普遍的分类法。

（一）按陶瓷概念和用途来分类

我们可将陶瓷制品分为两大类：即普通陶瓷和特种陶瓷。

普通陶瓷即为陶瓷概念中的传统陶瓷，这一类陶瓷制品是人们生活和生产中最常见和使用的陶瓷制品，根据其使用领域的不同，又可分为日用陶瓷（包括艺术陈列陶瓷）、建筑卫生陶瓷、化工陶瓷、化学瓷、电瓷及其它工业用陶瓷。这类陶瓷制品所用的原料基本相同，生产工艺技术亦相近，是典型的传统陶瓷生产工艺，只是根据需要制成适于不同使用要求的制品，是本书的主要研究对象。

普通陶瓷以外的广义陶瓷概念中所涉及到的陶瓷材料和制品即为特种陶瓷。特种陶瓷是用于各种现代工业和尖端科学技术所需的陶瓷制品，其所用的原料和所需的生产工艺技术已与普通陶瓷有较大的不同和发展，有的国家称之为“精密陶瓷”（fine ceramics）。特种陶瓷又可根据其性能及用途的不同细分为结构材料用陶瓷和功能陶瓷。结构材料用陶瓷主要是用于耐磨损、高强度、耐热、耐热冲击、硬质、高刚性、低热膨胀性和隔热等结构陶瓷材料；功能陶瓷中包括电磁功能、光学功能和生物-化学功能等陶瓷制品和材料，此外还有核能陶瓷和其它功能材料等。

可以看出，上述的分类方法仅是考虑到陶瓷品种的发展和应用的的不同，以俗成的方法来区别的，两类陶瓷之间并没有严格的界限。有的陶瓷品种完全可以一种多用，无需拘泥于属于那一类。

（二）按坯体的物理性能分类

按陶瓷制品坯体的本质，即坯体结构及其相应的基本物理性能的不同来分类，是较为科学的一种分类方法。这种分类法按照陶瓷坯体的结构不同和所标志的坯体致密度的不同，把所有陶瓷制品分为两大类：陶器和瓷器。陶器是一种坯体结构较疏松、致密度较差的陶瓷制品，通常有一定吸水率，断面粗糙无光，没有半透明性，敲之声音粗哑；瓷器的坯体致密，基本上不吸水，有一定的半透明性，断面成石状或贝壳状。

陶器和瓷器根据其性能及特征的差别还可分成几小类。

我国国家标准（GB5001—85）日用陶瓷的分类见表 0-1、表 0-2、表 0-3。

表 0-1

日用陶瓷分类

性能及特征	陶 器	瓷 器
吸水性/%	一般大于 3	一般不大于 3
透光性	不透光	透光

续表

性能及特征	陶 器	瓷 器
胎体特征	未玻化或玻化程度差, 结构不致密, 断面粗糙	玻化程度高, 结构致密、细腻, 断面呈石状或贝壳状
敲击声	沉闷	清脆

表 0-2 日用陶器分类

名 称	粗陶器	普通陶器	细陶器
特征	吸水率一般大于 15%, 不施釉, 制作粗糙	吸水率一般不大于 12%, 断面颗粒较粗, 气孔较大, 表面施釉, 制作不够精细	吸水率一般不大于 15%, 断面颗粒细, 气孔较小, 结构均匀, 施釉或不施釉, 制作精细

表 0-3 日用瓷器分类

名 称	炻瓷类	普通陶器	细陶器
特性	吸水率一般不大于 3%, 透光性差, 通常胎体较厚, 呈色, 断面呈石状, 制作较精细	吸水率一般不大于 1%, 有一定透光性, 断面呈石状或贝壳状, 制作较精细	吸水率一般不大于 0.5%, 透光性好, 断面细腻, 呈贝壳状, 制作精细

除此以外, 陶器和瓷器还可根据其所用原料和胎质的成分不同分成不同的陶瓷器, 其详细分类见表 0-4。

表 0-4 所列的细陶器类中其胎体颗粒细而均匀、施以熔块釉、呈白色或浅色、烧结程度差、吸水率高的细陶制品称精陶。

二、我国陶瓷技术发展概述

我国的陶瓷有着悠久的历史 and 光辉的成就, 它在我国的文化和工艺发展史上都占有极其重要的地位。

(一) 陶器的起源和演变

陶器是人类最早的手工业制品, 陶器的产生与人类从游猎生活逐步过渡到定居生活并从事农业生产有着密切的关系。恩格斯曾对陶器的发明作如下叙述: “可以证明, 在许多地方, 或者甚至在一切地方, 陶器都是由于用粘土涂在编制或木制的容器上而发生的, 目的在于使其能耐火。因此, 不久之后, 人们便发现成形的粘土, 不要内部的容器, 也可以用于这个目的。”陶器的出现也标志着人类文化开始从旧石器时代跨入了新石器时代。

我国陶器起源于何时, 随着新石器时代文化遗址的不断发现而众说纷纭, 到目前为止, 我国最早陶器在北方和南方都有发现。北方中原地区 1977 年发现的裴李岗遗址中的陶器, 根据 C^{14} 测定年代, 为公元前 (5935 ± 480) 年, 距今约 8000 年; 1976 年发现的磁山遗址中的陶器, 距今约 7300 年之久。南方的浙江省余姚河姆渡村遗址中的陶器, 根据

表 0-4 陶瓷制品的详细分类

类别	种类	详细分类	使用原料	配料/份						烧成温度/ ℃	用途举例	特征、性质				
				粘土或 高岭土	石英	长石	CaCO ₃	熟料	瓷石			骨灰	滑石	颜色	吸水率/ %	相对密度
陶器	粗陶器	石灰质 硅石质	易熔粘土	100	—	—	—	0~20	—	—	—	—	—	黄、红、 青、黑	11~20	1.5~2.0
	普通 陶器		可塑性高的难熔粘 土、石英、熟料	0~10.0	0~20	—	—	0~20	—	—	—	—	—	黄、红、 灰	6~14	2.0~2.4
	细陶器	粘土质	可塑性高的难熔粘 土、石英、熟料等	80~85	15~20	—	—	—	—	—	—	—	—	白色或 浅色	4~12	2.1~2.4
		石灰质 长石质 熟料质 其它	镁质粘土、硅灰石、 透辉石、其它熔剂	55~50 40~55 45~80	35~45 35~55 —	— 3~12 —	5~10 — 20~55	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —			
瓷器	炻瓷器	粗炻瓷器 细炻瓷器	日用细陶器	53~55 30~70	40~42 30~60	3~5 5~25	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	乳黄、 浅褐、 灰、紫	0~3	1.3~2.4
	普通瓷 器和细 瓷器	长石质 绢云母质 磷酸盐质 镁质 其它	高岭土、瓷石、可塑 性高的难熔粘土、 长石、石英、骨灰、 滑石等	40~60 30~70 20~45 10~15	20~30 — 9~20 —	20~30 — 8~22 10~15	— — — —	— — — —	— — — —	70~30 — 20~60 —	— — — 70~75	— — — —	— — — —	白色 或 浅色	0~1	2.4~2.6
		特种瓷	高铝质 镁质 锆质 钛质 锂质 磁性瓷 金属陶瓷 其它	高铝矾土、氧化铝 滑石、氧化镁等 锆英石等 TiO ₂ 等 含锂矿物等 各种氧化物、氮化 物、硅化物等												
	>2.6															

测定也距今约 7000 年之久。这些最早出现的陶器大都是泥质和夹砂红陶、灰陶和夹碳黑陶。河姆渡的夹碳黑陶使用的是含 Fe_2O_3 量较低 (1.5%~1.8%) 的绢云母质粘土, 烧成温度为 800~900℃。

随着陶器制作的不断发展, 到新石器时代的晚期, 已发展到以彩陶和黑陶为其特色的史前文化。1921 年在河南渑池县仰韶村, 首先发现了红黑花纹的彩陶片与磨制过的石器共存。考古学家称这一时代的文化为“仰韶文化”, 又称“彩陶文化”。据测定, 早期仰韶文化的彩陶其年代距今约 6400 年。此后, 在山西、陕西、甘肃、新疆、宁夏以及内蒙古等地陆续有同样的发现。仰韶文化的陶器分布很广, 陶器壁厚薄相当均匀, 造型端正, 色彩大部分为灰红色, 上面画有红色、黑色或紫色花纹。河南仰韶村夹砂红陶器孔隙度 27%, 莫氏硬度 4, 氧化气氛烧成。与中原仰韶文化同时的, 还有西北地区的甘肃仰韶文化, 鲁中南和苏北地区的大汶口文化, 太湖流域的马家浜文化, 以及华中地区的大溪文化。大汶口文化发掘于山东泰安大汶口, 大约开始于公元前 4000 年, 早期以红陶为主, 均用手制, 彩陶有红、白、黑、赭数种, 至中后期使用了陶车, 晚期以灰陶为主。马家浜文化是河姆渡文化的直接继承者, 其年代为公元前 4750~3700 年, 陶器以夹砂和泥质红陶为主, 并有部分泥质灰陶以及少量黑陶, 早期仍用手制, 器表多施红色陶衣, 到晚期则出现轮制。

到新石器时代晚期, 长江以北已从仰韶文化过渡到龙山文化, 长江以南则从马家浜文化进入到良渚文化。从公元前 2000 年到进入青铜时代的时期, 陶器的制作已有较大发展, 并有明显的时代风貌, 其中最突出的为龙山文化的陶器。1928 年在山东历城县龙山镇城子崖, 发现了许多黑色的陶器, 考古学家称之为“黑陶”, 并称这一时期的文化为“龙山文化”, 又称“黑陶文化”。龙山文化分布在黄河中下游及东部沿海的广大地区, 它是继大汶口文化发展而来的东方古老文化。解放后在山东、河南、陕西、山西、河北和江苏等省, 发现了数百处龙山文化遗址。龙山黑陶在烧制技术上有了显著进步, 它广泛采用了轮制技术, 因此, 器形浑圆端正, 器壁薄而均匀。黑陶中最精制的制品, 表面打磨光滑, 乌黑发亮, 薄如蛋壳, 厚度仅 1mm, 人称“蛋壳陶”。山东城子崖龙山文化薄胎黑陶, 孔隙度 15%, 莫氏硬度 3, 通体墨黑, 烧成温度 1000℃左右。黑色是用烟熏法渗碳造成的。龙山文化时期, 除黑陶外, 也有灰陶、红陶、黄陶和白陶, 但数量不多。以上是我国史前时期陶器的演变情况, 距今约 3500 年以前。

进入有文字记载的殷商时代, 在河南安阳曾发掘出距今约 3000 年的商代刻纹白陶, 后在郑州和辉县都有发现。郑州二里冈殷代硬陶, 颜色土红带黄, 烧成温度 $(1180 \pm 20)^\circ\text{C}$, 说明陶器的烧成温度不断提高。特别应予提及的是商代除出现白陶外, 极少量的釉陶在郑州早期遗址和安阳晚期遗址中发现, 安阳殷代晚期釉陶, 其孔隙度 0.26%, 莫氏硬度 6, 釉色浅黄, 坯色土黄带红, 烧成气氛氧化, 釉层厚 0.01mm, 石灰釉。商代陶器从无釉到有釉, 在技术上是一个很大的进步, 是制陶技术上的重大成就, 为从陶过渡到瓷创造了必要条件, 这一时期釉陶的出现可以看成是我国陶瓷发展过程中的“第一次飞跃”^{*}。

* 刘秉诚. 我国陶瓷的起源及其发展. 瓷器, 1978 (2)

周代在釉陶方面继承了殷商时代的传统，出土的釉陶数量很多，器形均为豆式，釉色略呈青色。西周张家坡陶碎片中 KNaO 含量较高，达 4.79%，烧成温度 $(1200 \pm 30)^\circ\text{C}$ ，气孔体积分数 7.22%；山西侯马东周釉陶的孔隙度为 0.14%，烧成温度 $(1230 \pm 30)^\circ\text{C}$ ，胎内结构较细，孔隙较少。从这些碎片的显微结构来看很接近陶器的结构，但在原料处理和坯泥炼制上还比较原始。周代在陶器应用方面的一个重要发展是把陶器的应用扩大到建筑方面，砖瓦已开始成为建筑中的重要材料，烧制砖瓦也成了陶业中的重点业务。尤其至秦代（公元前 221～前 206 年）用大量砖瓦修建长城和阿房宫，说明建筑陶瓷材料已大量使用。1975 年在陕西临潼秦始皇陵墓东侧出土的巨型兵马俑，其尺寸类同真人真马，造型生动，工艺精巧，是罕见的古代巨型雕塑品，说明秦代陶工在陶俑成形和烧造方面的完美无缺，这是我国陶瓷工艺发展史上辉煌的成就。

两汉（公元前 206—公元 220 年）是我国陶器制造很发达的时代，这时各地已设置制陶工场，大量生产陶器，尤其是釉陶，已发展到很高的水平，釉陶在两汉末年已成为了一种正常的生产。汉代釉陶的釉色有翠绿、赭黄、铜绿、灰青等，基本上都属于铅釉，只是含有不同含量的氧化铜或氧化铁。铅釉的熔融温度低，较适宜于烧成温度不高的陶器。硬陶上的灰青釉是一种高钙石灰釉，含 CaO 量在 15%～20%。随着使用原料的选择和精制、烧成温度的提高，又使用了石灰釉，使汉代末期的釉陶已向胎质更致密、釉层更光亮、透明而均匀、胎釉结合更好的瓷器过渡。

汉代以后，釉陶逐渐发展成瓷器，无论从釉面和胎质来看，瓷器的出现无疑是釉陶的一大飞跃。但作为致密度和光泽度都不及瓷器的陶器来说，并没有因为瓷器的出现而逐渐消失。陶器由于其密度较小，很少变形，易于制造大件器物，脆性相对较小等特点，加之原料易得，烧成温度低，工艺技术要求不高，日用陶器在民间需要量大，故陶器虽然经过若干曲折，但一直经久不衰，与瓷器并存到现在。历代在陶器的品种上也不断出现新的品种，如唐代的三彩陶很负盛名，称为唐三彩，唐三彩系发展了汉代的低温铅釉，用绿（以 Cu^{2+} 着色）、黄褐（以 Fe^{3+} 着色）、蓝〔以 $(\text{CoO}_4)^{2-}$ 着色〕和紫（主要色剂为 Mn ，而 Fe 、 Co 起调色作用）的釉色施在雕塑产品及实用器物上，变化多端，堂皇华丽。宋代以后在江苏宜兴地方兴盛起来的紫砂陶器等等，都是曾经在历史上煊赫一时，至今声名不衰的著名陶器。

陶器的发展，不仅在釉和装饰上有不断的发展，同时在原料的选择、烧成温度、加工处理、胎釉结合等方面也日益精作，生产出外表上可与细瓷器媲美的现代细陶器（精陶器）。另外，陶器的多孔结构具有过滤性和吸附性，也具有隔热隔音等优良性能，在现代陶瓷工业中出现的称为多孔陶瓷的新种类，充分利用了多孔结构材料的特性，在多种工业上得到了广泛的应用。可以看出，陶器作为陶瓷发展史上的早期制品，经过演变与发展，直到现在，仍不失为具有其特色的一大系列陶瓷制品，它对人民生活 and 工业建设从古到今都起到了应有的积极作用，作出了不可磨灭的贡献。

（二）由陶到瓷的发展过程和瓷器的发明

从陶器到瓷器是我国陶瓷生产史上的一个重大飞跃，世界人民公认瓷器是我国古代的伟大发明之一，中国是瓷器的祖国。关于由陶到瓷的发展过程，中国科学院上海硅酸

盐研究所李家治等,较全面的总结了自新石器时代一直到明、清近 7000 年我国陶瓷工艺的发展的过程,科学的指出:我国之所以能够由陶过渡到瓷,主要是由于我国古代劳动人民,经过长期的实践,在制陶工艺上取得辉煌成就的基础上,又逐步提高认识,积累经验,在原料的选择和精制、炉窑的改进和烧成温度的提高、釉的发现和使用等方面有了新的突破。于是远在 3000 多年前的商、周时代,即创造了釉陶或原始瓷器。又经过 1000 多年的过渡时期,使原始瓷器的工艺更为成熟,遂在三国、魏、晋时期或更早一些的汉代,完成由陶向瓷的过渡,使我国成为世界上最早发明瓷器的国家^{*}。这里,提出了我国陶瓷工艺发展的三个重大突破和我国陶瓷发展的三个阶段。三个重大突破即是原料的选择和精制、炉窑的改进和烧成温度的提高、釉的发现和使用。前一个突破是陶向瓷发展的内因根据,后两个突破是陶向瓷发展的外因条件。三个阶段即是陶器、原始瓷器(过渡阶段)、瓷器。并指出由陶向瓷过渡中在化学组成中起相当重要作用的 Fe_2O_3 , 由陶器中含量为 6% 以上,降到原始瓷器的 3% 左右,然后再降到瓷器 1% 左右。正是由于 Fe_2O_3 含量的降低,才使烧成温度有提高的可能。

我国学者刘秉诚^{**}从传统陶瓷的表观结构出发,认为我国陶瓷的发展历程,经历了三个重大飞跃:商、周时代的釉陶是陶器的第一个飞跃;从釉陶发展到具有半透明的釉,而胎还是欠致密的瓷器,是又一个飞跃;以后在此基础上发展成为更具有半透明的胎的瓷器,是第三个飞跃。并指出,自新石器时代到商代,陶器开始有釉,发展为釉陶,尽管釉陶的釉还不够好,但由无釉到有釉,而且胎也比较烧结,这毕竟应当算是一个大的飞跃。如安阳殷代晚期釉陶的孔隙度为 0.26%,釉层浅黄,坯土黄带红。山西侯马东周釉陶的孔隙度为 0.14%,烧成温度 $(1230 \pm 20)^\circ\text{C}$,釉层浅黄,釉浅土黄。胎内结构较细,孔隙较少,釉层中有若干气泡。西周张家坡陶瓷碎片 KNaO 含量较高,达 4.79%,烧成温度 $(1200 \pm 30)^\circ\text{C}$,矿物组成:石英 13.0%;莫来石 17.4%;玻璃 69.6%;气孔体积分数 7.22%,从这些碎片的显微结构看来已非常接近瓷器的结构,但在原料处理和坯泥练制上还比较原始。

第二个飞跃是作出了比较美观的釉面。在早期,釉陶的釉层还比较薄 ($<0.01\text{mm}$),光泽也不够好。自商代经汉魏以至北宋,尤以汉魏南方青瓷为代表,釉面“晶莹明彻,光润如玉”,釉层厚度由 0.01mm 增长到 0.1mm 左右,并进行通体敷釉,似可称为第二个飞跃。在此阶段主要着重于釉的发展,由极薄的釉发展到形成一定厚度并且表面致密光润具有近代瓷感的釉。由于其观感上已与釉陶有很大的不同,发生了突变和飞跃,使当时人们意识到无法再以一个“陶”字继续混称下去,遂创造了“瓷”字来称呼这些当时有所发展的釉陶,从而逐渐发明了瓷器。但应明确,当时的瓷器着重于釉面的“晶莹明彻,光润如玉”,而不注重瓷胎,这种“重釉轻胎倾向”一直贯穿到宋代以来的五大名窑(汝、定、官、哥、均)。许多釉面呈现光润如玉的传世作品,其胎质则处于生烧或微生烧状态,尤以北方为甚,这是由于未注意到加入适量熔剂,使胎质烧结,达到瓷化所致。

* 李家治. 瓷器——我国伟大的发明创造. 化学通报, 1977 (6): 42~44

李家治. 我国古代陶器和瓷器工艺发展过程的研究. 考古, 1978 (3): 179~188

** 刘秉诚. 我国陶瓷的起源及其发展 (二稿). 陶瓷工程论丛. 轻工业出版社, 1987, 1~5, 39~67

同时也可能是有意识地为了防止窑和产品变形。

第三个飞跃是瓷器由半透明釉发展到半透明胎。江西景德镇由于具有适宜的原料,首先产生了这个飞跃。宋代景德镇湖田、湘湖窑的影青瓷的胎的白度和半透明度都很高,已接近现代细瓷的水平,可作为标志。景德镇一带的陶瓷原料有其地质特点,不仅具有高岭村附近的白土(相当于片状高岭石和管状埃洛石的混合物),并且主要矿物为石英和水云母类矿物、以及部分高岭石或长石的各种瓷石。故景德镇瓷器的配方不同于目前的长石质瓷器,而属于水云母质系统。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-水云母质瓷釉的瓷器。于是,为具有半透明釉的瓷发展到具有半透明胎的瓷创造了条件。

这三个重大飞跃的观点,不仅可以概括解释由陶到瓷各个历史发展阶段上的“质变”现象,而且特别适合于用来说明:随着人类科学技术水平的不断提高,陶瓷科学领域中的“飞跃”现象将像在其它科学技术领域中一样,继续出现许多光耀夺目的成果,如近年航天飞机外壳上所用的陶瓷耐热耐磨绝缘材料,以及近代材料科学领域内出现的各种技术陶瓷和特种功能陶瓷,其用料和制作工艺已超出传统陶瓷的范畴,则可看作是陶瓷发展的第四个“飞跃”。

瓷器是我国古代的伟大发明,但是关于我国瓷器起源的具体年代,历来各家说法颇不一致,产生分歧的原因主要是衡量古代瓷器的标准不同,或者对瓷器的涵义理解不同。再加上我国地下文物陆续出土,不断地改变着人们的认识。中国科学院上海硅酸盐研究所李家治等,全面总结了我国由陶到瓷的工艺发展,并结合近年来在浙江上虞龙泉塘西晋墓出土的越窑青釉瓷片和上虞小仙坛出土的东汉越窑青釉瓷片进行研究,指出:无论在组成上或工艺上,这些瓷片都已达到近代瓷器的标准,它的组成除 Fe_2O_3 和 TiO_2 的含量较高,而使瓷胎呈较深的灰白色外,其烧成温度已达 $1300\sim 1310^\circ\text{C}$,吸水率为 0.42% 和 0.28% ,显气孔率为 0.92% 和 0.62% ,在光学显微镜下,可看到瓷胎里有发育较好的莫来石晶体,石英颗粒较细,还可看到它的熔蚀边,有较多的玻璃态,烧结程度较好,微透光。因而进一步认为我国在公元 1~2 世纪的东汉时代即已出现瓷器。

也有人指出,我国传统“瓷器”这个概念主要是以釉为主来确定和划分的,瓷胎方面既包括致密烧结和完全瓷化的,也包括未充分烧结和瓷化程度差些的。在东汉到五代这段历史时期内,南北方青瓷胎的瓷化程度并不与时代发展成成正比关系。从商周到唐宋,我国陶瓷器只是釉层厚度有较明显的增长,至于胎质的孔隙度和烧成温度,并未看到明显或突出发展的趋势。因而,不能用现代成瓷标准对当时的制品进行内外通体衡量。从出土的三国至晋时代南方的青瓷来看,这些传世魏晋间的完整瓷器,其釉层由薄而厚,已增至 0.10mm 左右,并进行了通体敷釉,胎质也逐渐趋向致密,不吸水,瓷化程度较高,这时已普遍选用优质粘土矿物原料作成坯体,在釉料中存在铁质,于还原焰中烧成泛青色调,大大改善了以往粗糙晦暗的观感。由此表明,东汉末至三国,是中国陶瓷发展史上一个极为重要的时期。由于考虑到现存完器如东汉(公元 25~220 年)的青瓷四系罐,表面上看来还明显地逊于西晋初期(公元 265—280 年)的青釉瓷羊和三国吴(公元 222—280 年)的青瓷卧羊。同时,东汉到西晋时间跨度较大,如何为中国瓷器的始期划限,值得商榷。若考虑:①已经出土的魏晋完器釉面具有明显瓷化质感的表现特性表征;②现

存典籍中的“瓷”字开始出现于魏晋；③国外著名的科学技术史料〔李约瑟《中国科学技术史》〕也承认，在瓷器方面，西方落后于中国11~13个世纪。不妨先暂定为魏晋或汉晋，俟掌握更多的有关实物和研究成果后再行推敲论定。

（三）我国历代瓷器的成就

我国瓷器在汉、晋时期完成由陶向瓷过渡以后，进入了普遍发展时期。在南北朝（公元420—589年）青釉瓷器大量生产，不仅在南方，同时在北方青瓷生产也有极大的进展。到了隋唐时代（公元581—907年）瓷器的发展进入了成长阶段。当时的经济、文化颇为发达，由于生活的需要和禁用铜器的结果，陶器制造业有了更大的发展，瓷器的使用已很普遍，瓷器生产已普遍使用高火度烧成，胎质更为坚致。隋代已出现白釉瓷器。唐代瓷器产区已分布很广，并正式出现“窑”的专称。其中以越窑（浙江余姚）的青瓷和邢州的白瓷齐名全国。古人有诗云：“邢客与越人，皆能造瓷器，圆似月魂堕，轻如云魄起”，人评“邢瓷类银、类雪”，“越瓷类玉、类冰”。到五代江西景德镇胜梅亭窑的白瓷，其白度达70%，空隙度为0.81%，已接近现代细瓷的水平。

宋代（公元960—1279年），我国南北各地的窑业，继承唐代传统，得到了极大发展，造瓷地区逐渐扩大，当时有官、越、定、钧、汝五大名窑。官窑北宋时在河南开封，南宋时在浙江临安（杭州），北宋官窑一说是汝窑的贡器，釉色主要是粉青。越窑在浙江余姚，继承唐代越窑的传统，以秘色著称。定窑有北定、南定两处，北定在河北曲阳，南定在江西景德镇，定窑继承了邢窑制瓷传统，以白釉为主，兼出红、紫、黑、绿定，花纹加工有划花、刻花、印花三种。钧窑在河南禹县神垕镇，钧窑是应用铜红釉最早的窑，其釉色丰富多彩，并创造出窑变花釉，著名的釉色有茄皮紫、朱砂红、胭脂斑、鸡血红、雨过天晴、葱翠青等，钧窑的铜红釉和窑变花釉对以后的国际上著名的景德镇铜红釉和窑变影响极大。据研究，所有的钧窑系釉都是液-液分相釉，蓝钧釉的乳光蓝色和官钧紫红色窑变釉中的蓝色斑纹都是釉中的分相液滴引起的光散射效应。汝窑在河南临汝，汝窑制品以卵青色为主，器物通体有极细纹片，其釉青色是我国烧瓷技术采用铁还原着色的一个划时代发展。

此外，陕西的耀州窑，福建的建窑，江西的吉州窑，浙江的哥窑、弟窑、象州窑，河北的磁州窑，北宋和辽对峙时期的辽瓷，南宋和金对峙时期的金钧窑，也都是当时比较著名的窑场。耀州窑以青釉为主，近似汝窑产品，装饰多用凸雕与印花，如串枝莲、莲瓣碗等，简朴壮美，为其它各窑所不及。建窑中最著名的是黑釉瓷，人称黑建，釉黑而滋润，并半透出银色白波纹如兔毫状，有兔毫、油滴、玳瑁斑等名贵铁系花釉。吉州窑在今江西省吉安县永和镇，品种相当丰富，釉色有青釉、绿釉、黑釉和白釉等，其中油滴、兔毫、玳瑁、鹧鸪斑和木叶、剪纸等釉色最为著名。浙江的哥窑、弟窑相传皆为龙泉窑系，龙泉窑继承唐代越窑的优良传统，制造青瓷，誉满海内外。龙泉青瓷有两种主要类型，即黑胎青瓷和白胎青瓷，相传为章姓兄弟二人所主之窑，黑胎青瓷为哥窑型龙泉青瓷，白胎青瓷为弟窑型龙泉青瓷。哥窑青瓷土脉细紫，质颇薄，色青，浓淡不一，有紫口铁足，多断纹，号百圾碎，冠绝当时；弟窑青瓷质厚，用白土造器，外涂幻水翠浅，纯粹如美玉，影露白痕，无纹片，是整个龙泉窑系的主流。龙泉瓷釉在五代北宋属石灰

釉，南宋元明属石灰-碱釉，其高温粘度较高，釉面光泽柔和，应看作是一个创造性的进步。磁州窑在今河北彭城镇，有白器和黑器，其装饰以黑白色彩对比为主要特点，在白釉上用黑色、赭色、茶色等色调作画，还有黑底褐彩等，开创了用笔彩绘装饰的新途径，为宋以后的青花和五彩瓷奠定了基础。与此同时，广东、山西、山东、甘肃、安徽、四川、云南等省也普遍开始生产陶瓷。

景德镇自汉代生产陶器开始，唐初已能烧造瓷器，宋以“景德年制”置镇，习称景德镇，后正式命名，大量生产“色白花青”的影青瓷。所谓影青瓷是指当时以景德镇为代表的一些窑场所生产的釉面呈色青白的瓷器，而“色白花青”特指有刻印花纹的青白釉瓷器。北宋末年间有红釉器制作。至南宋年间，则仿定窑生产白釉瓷器。南宋以后，特别是从明代开始，江西景德镇成为我国瓷业的中心，逐渐成为我国瓷器的代表，对世界各国有很大的影响。

元代（公元1271—1368年）初期，南北瓷窑很多遭到破坏，独有景德镇在原有基础上继续获得发展。当时蒙古帝国横跨欧亚，中西交往频繁，在一定程度上刺激了景德镇的瓷业生产。景德镇除继续烧造青白瓷外，又创烧了卵白釉、黑釉等，并绘制了红绿彩与金彩等釉上彩绘瓷器。特别是青花与釉里红两种釉下彩绘瓷器的烧造成功，使我国瓷器的装饰艺术别开生面，进入了一个崭新的时代。除景德镇瓷器外，龙泉的青瓷也大量出口。

明代（公元1368—1644年）以来景德镇逐渐成为全国瓷业的中心，景德镇的制瓷工艺继承了历代的优秀传统，在技术和艺术上都有了极大的发展。从原料的开采、精选、胎釉配方的改进、成形、干燥、烧成和装饰等一系列的工艺过程都有显著的进步。如当时已能烧制“半脱胎”和“大龙缸”等大型制品。当时四方名工巧匠集聚景德镇，除发展本地区的优良传统外，还吸取和继承了国内外著名瓷区的工艺特点，仿制过宋代窑场的各种色釉，如汝、官、钧、龙泉，釉色逼真，甚至超过原物，有的派生出新，更有发挥，基本上可以代表我国这一时代传统制瓷工艺的综合成就。当时有名的制品有：永乐时创制的白釉脱胎瓷，宣德时用低锰高铁的钴料为着色剂的青花，用铜为着色剂的霁红釉和釉里红，成化时的五彩和斗彩等。尤其是宣德青花，幽茜明艳，被称为“开一代未有之奇”。除景德镇外，河北彭城、浙江处州（龙泉）、福建德化、江苏宜兴、广东石湾等地都有各具一格的发展。

清代（公元1644—1911年）初叶，我国的制瓷工艺进入了十分成熟的阶段。此时仍以景德镇为中心，选瓷规模更大，制瓷技术达到历史上的空前水平，制品种类更为丰富。除继承前人之外，又接受了一些外来的影响，釉彩由五彩、斗彩发展到粉彩与珐琅彩，并创造了各种低温和高温颜色釉，康熙、雍正、乾隆三朝制品尤其精巧华丽。它是我国劳动人民在工艺美术方面卓越的成就之一，不但在我国陶瓷史上永远闪烁着光辉，而且在世界陶瓷史上也占有灿烂的一页。清代名窑除景德镇外，还有石湾、宜兴、德化、博山等地，至清末湖南醴陵瓷业一鸣惊人，成为后起之秀。

（四）制瓷技术的外传及其对世界陶瓷的影响

中国瓷器对世界各国的影响很大，在文化发展和瓷器制造技术方面都有过直接与间