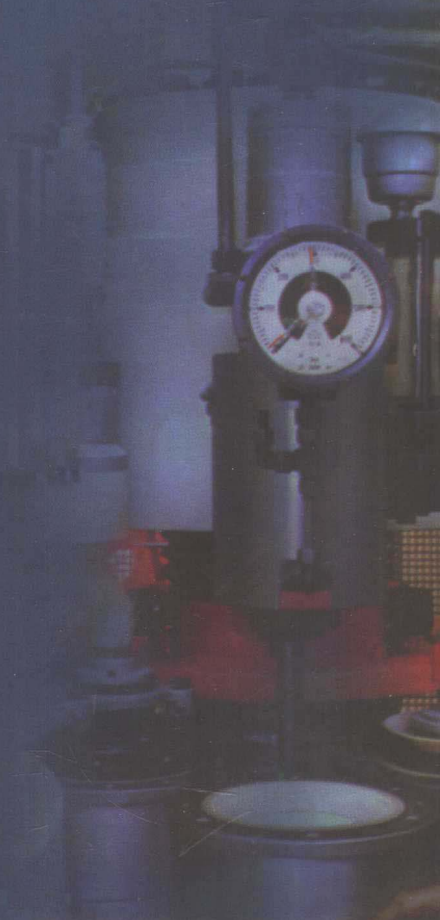
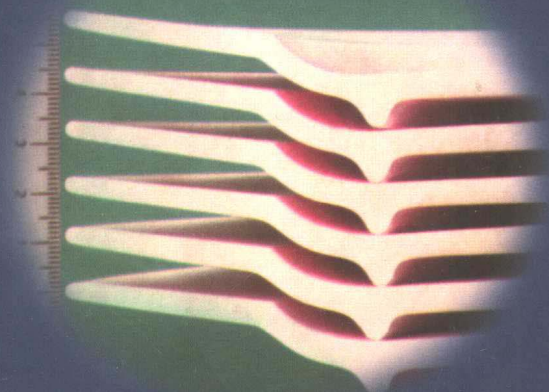


普通高等教育“九五”国家级重点教材

陶瓷工艺学

李家驹 主编


缪松兰 马铁成 林绍贤 朱振锋 副主编



普通高等教育“九五”国家级重点教材

陶瓷工艺学

李家驹 主 编
缪松兰 马铁成 副主编
林绍贤 朱振峰

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

陶瓷工艺学/李家驹主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2006.6

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: 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: 利森达印务有限公司

经销: 各地新华书店

版次: 2006年6月第1版第6次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 35.25

字数: 820千字

书号: ISBN 7-5019-2964-5/TS·1795

定价: 70.00元

读者服务部邮购热线电话: 010-65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010-85119817 65128898 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读者服务部 (邮购) 联系调换·

60565J4C106ZBW

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)

第五章 原料的处理	274
第一节 原料的精选	274
一、原料的精选方法	274
二、水的性质对坯料、制品性能的影响	277
第二节 原料的预烧	278
一、预烧的作用	278
二、石英、长石、滑石、工业氧化锌、粘土的预烧	279
第六章 坯、釉料制备	281
第一节 坯料的种类和品质要求	281
一、坯料的种类	281
二、坯料的品质要求	281
第二节 坯料制备	286
一、塑性坯料制备	286
二、注浆坯料制备	301
三、压制坯料制备	305
第三节 釉料制备	307
一、釉料制备的品质要求及控制	307
二、釉料制备	308
第四节 坯、釉料制备的主要工序及设备	314
一、原料粉碎	314
二、筛分	318
三、除铁	319
四、泥浆脱水	321
五、陈腐与练泥	323
六、造粒	325
七、熔块熔制	325
第七章 成形与模具	329
第一节 器形的合理设计	329
第二节 成形方法的分类与选择	330
一、成形方法分类	330
二、成形方法的选择	330
第三节 可塑成形	331
一、滚压成形	333
二、旋压成形	336
三、挤压成形	337
四、车坯成形	338
五、其它成形方法	338
第四节 注浆成形	346

一、基本注浆方法	350
二、强化注浆方法	351
三、其它注浆成形方法	352
第五节 压制成形	357
一、干压成形	357
二、等静压成形	360
第六节 成形模具	364
一、石膏与石膏模	364
二、新型多孔模具	371
三、压制成形用金属模	373
四、挤压成形用模具	374
五、等静压成形模具	375
六、模具的放尺	376
第八章 坯体的干燥	377
第一节 干燥作用与干燥过程	377
一、干燥的作用	377
二、干燥过程	377
三、干燥收缩与变形	378
第二节 干燥制度的确定	379
一、影响干燥速度的因素	380
二、干燥介质参数的确定	381
第三节 干燥方法	383
一、热空气干燥	383
二、工频电干燥	389
三、直流电干燥	390
四、辐射干燥	391
五、综合干燥	395
第九章 粘接、修坯与施釉	397
第一节 粘接与修坯	397
一、粘接	397
二、修坯	397
第二节 施釉	399
一、釉浆施釉法	400
二、静电施釉	405
三、干法施釉	405
第十章 烧成与窑具	416
第一节 烧成制度	416

一、烧成制度与产品性能的关系	416
二、制定烧成制度的依据	425
三、烧成制度示例和说明	429
第二节 快速烧成	432
一、快速烧成的意义	433
二、快速烧成的工艺措施	434
第三节 装窑	435
一、装窑要求	435
二、装窑方法	436
第四节 窑具	441
一、窑具种类	441
二、窑具的性能要求	443
三、窑具材质的类型及损坏情况分析	445
四、窑具的制造	451
第十一章 陶瓷装饰	453
第一节 陶瓷颜料	453
一、分类	453
二、陶瓷颜料制造	456
三、陶瓷颜料发色机理	457
四、影响色剂呈色因素	458
第二节 釉上装饰	461
一、彩绘	461
二、贵金属装饰	463
三、光泽彩	464
四、其它装饰方法	466
第三节 釉下装饰	466
一、彩绘	466
二、其它装饰方法	469
第四节 釉中彩	469
第五节 颜色釉	470
一、低温颜色釉	470
二、高温颜色釉	472
第六节 艺术釉	476
一、结晶釉与砂金釉	476
二、无光釉	479
三、碎纹釉	480
四、变色釉	480
五、金属光泽釉	482
第七节 坯体装饰	482

一、色坯、斑点、绞胎	482
二、镂空、刻花、堆雕	485
三、化妆土	487
四、渗花	488
第八节 釉料、颜料中铅、镉离子的溶出	489
一、溶出原因	490
二、影响因素	491
三、降低铅、镉溶出量的方法	493
第十二章 陶瓷制品缺陷及其分析	495
第一节 日用陶瓷缺陷分析	495
一、变形	495
二、裂纹	498
三、斑点	500
四、熔洞	501
五、落渣	501
六、粘疤与底沿粘渣	501
七、底足粘脏	502
八、疙瘩与泥渣	502
九、缺泥与磕碰	502
十、起泡	503
十一、针孔与橘釉	504
十二、釉缕	505
十三、缺釉	505
十四、釉面擦伤	506
十五、生烧与过烧	506
十六、烟熏	506
十七、阴黄	507
十八、火刺	507
十九、色脏	507
二十、彩色不正	507
二十一、画面缺陷	508
二十二、饰金缺陷	508
二十三、铅溶出量超标	510
第二节 墙地砖缺陷分析	510
一、变形	510
二、裂纹	512
三、夹层	513
四、尺寸偏差	513
五、大小边	514
六、黑心	514

七、色差	515
八、釉面缺陷	516
九、吸湿膨胀性	518
第三节 卫生陶瓷缺陷分析	518
一、变形	518
二、裂纹	519
三、斑点	520
四、坑包	521
五、棕眼	522
六、缺釉	523
七、釉缕与釉面波纹	523
八、烟熏	523
附录 1 水玻璃的成分 ($\text{Na}_2\text{O} : \text{SiO}_2$) 与密度变化关系	526
附录 2 泥浆的“真密度-波美浓度-固体物料含量”关系	527
附录 3 常用陶瓷原料常料	528
附录 4 美国筛网规格表 (U.S.A. Standard Sieves) 和线织标准试验筛网 (ASTM: E ₁₁₋₇₀)	541
附录 5 俄罗斯检验用高精度方孔金属丝织筛网 (ГОСТ 3584—53)	543
附录 6 英国标准筛 (B.S. 410: 1969)	544
附录 7 法国标准筛 (AFNOR NF X ₁₁₋₅₀₁ Dec. 1970)	544
附录 8 德国标准筛网系列 (DIN 4189—1968)	545
附录 9 日本标准筛 (JISZ 8801—1996)	546
附录 10 国际标准组织推荐筛网系列 (ISO/R565—1972)	547
附录 11 各种筛网对照表	548
附录 12 测温锥的软化温度与锥号对照表	549

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

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±20)℃,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)