



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

CERAMIC TECHNOLOGY

陶瓷工艺学 | (第二版)

马铁成 主编

缪松兰 林绍贤 朱振峰 副主编



中国轻工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

陶瓷工艺学

(第二版)

马铁成 主编

缪松兰 林绍贤 朱振峰 副主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

陶瓷工艺学/马铁成主编. —2 版. —北京: 中国轻工业出版社, 2011. 1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5019-7822-9

I. ①陶… II. ①马… III. ①陶瓷-工艺学-高等学校-教材 IV. ①TQ174. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 167283 号

责任编辑: 李建华 责任终审: 滕炎福 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 宋振全 责任校对: 李 靖 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: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2011 年 1 月第 2 版第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 33

字 数: 823 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-7822-9 定价: 80.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 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邮购联系调换

061101J1X201ZBW

前 言

本书根据普通高等教育“十一五”国家级规划教材的要求，在第一版的基础上，由大连工业大学、景德镇陶瓷学院和陕西科技大学有关教师进行了认真修订。

本书第一版是在原普通高校使用的陶瓷专业教材的基础上编写而成，立足于我国普通陶瓷（传统陶瓷）工业国内外的发展现状和方向，体现了先进性、科学性和实用性，其特点是不仅可作为高校教材，也适合自学，因此，一直深受师生和科技人员的喜爱。

本次修订仍然保持了原有教材的风格和特点，以传统陶瓷为主，认真总结了多年来的教学实践，并尽可能反映出近十年来陶瓷工业的最新技术成果。这次修订的主要内容：原料和陶瓷缺欠部分进行了补充，显微结构与性质部分进行了调整和修改，坯（釉）料制备、成型、干燥、烧成、装饰部分反映了近十年来的科技进步，其余部分也进行了修订。通过本次修订使该教材更适于教学、科研和生产技术人员使用。

本书由大连工业大学马铁成任主编，缪松兰、林绍贤、朱振峰为副主编。各章编写及修订人员为：大连工业大学李家驹教授、姜妍彦教授（绪论）、马铁成教授、刘贵山副教授、刘敬肖教授（第一章）、林绍贤、姜妍彦教授（第二章）、胡志强教授（第五、六章）、景德镇陶瓷学院缪松兰教授（第十二章）、郑乃章教授（第七章）、王艳香教授（第四章）、朱小平教授（第十一章）、陕西科技大学朱振峰教授（第三、八、九章）、秦本正副教授（第十章），任强教授对本版第三章做了详尽修订、武秀兰教授对本版第八章、第九章做了详尽修订。

大连交通大学高宏教授和大连海事大学孙俊才教授对本书进行了认真地审阅，在此表示衷心的感谢。

本书在编写和修订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

2010年6月

目 录

绪论	1
一、陶瓷的概念与分类	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
四、陶瓷工业的现状与发展趋势	12
第一章 原料	16
第一节 原料分类	16
一、概述	16
二、原料分类	16
第二节 黏土类原料	17
一、黏土的成因与分类	17
二、黏土的组成	25
三、黏土的工艺性质	32
四、黏土的加热变化	39
五、黏土在陶瓷生产中的作用	44
六、我国的黏土原料	45
第三节 石英类原料	50
一、石英的种类和性质	50
二、石英的晶型转化	52
三、石英在陶瓷生产中的作用	55
第四节 长石类原料	55
一、长石的种类和一般性质	55
二、长石的熔融特性	57
三、长石在陶瓷生产中的作用	58
第五节 其他矿物原料	59
一、含碱硅酸铝类	59
二、碱土硅酸盐类原料	62
三、碳酸盐类	66
四、钙的磷酸盐类	68
五、高铝质矿物原料	69
六、锆英石	72
七、工业废渣	73
第六节 陶瓷原料的标准化	76

第二章 坯料	81
第一节 坯料的类型	81
一、瓷器坯料	81
二、精陶坯料	98
三、其他陶瓷器坯料	102
第二节 配料的依据	107
一、产品的物理化学性质以及使用性能要求	107
二、拟定配方时采用积累的经验和数据	107
三、了解各种原料对产品性质的影响是配料的基础	108
四、配方应满足生产工艺的要求	108
五、采用的原料要求	108
第三节 配料计算	108
一、坯料组成的表示方法	108
二、配料计算	111
第四节 坯料的成型性能	125
一、可塑泥团的成型性能	125
二、泥浆的成型性能	130
三、压制用粉料的成型性能	137
第五节 调整坯料性能的添加剂	141
一、添加剂的种类	141
二、解凝剂的作用	141
三、塑化剂的构成	143
四、有机黏合剂的性能	144
第三章 釉料	146
第一节 釉的作用及特点	146
一、釉的作用	146
二、釉的特点和性质	146
第二节 釉的分类、制釉氧化物	159
一、釉的种类	159
二、制釉氧化物	160
第三节 确定釉配方的依据	163
一、釉配方的物理化学基础	163
二、釉料配方的配制原则	165
三、釉料配方的确定	167
第四节 釉料配方的计算	170
一、釉料的表示方法	170
二、釉式的计算	171
三、釉料配方的计算	173
第五节 釉层形成过程的反应	184

一、釉料在加热过程中的变化	184
二、釉层冷却时的变化	187
三、釉层内的气泡	188
第六节 釉的析晶	190
一、釉熔体的析晶过程	190
二、影响釉熔体析晶的因素	191
三、析晶对釉面光学性质的影响	193
第七节 坯釉适应性	196
一、热膨胀系数对坯釉适应性的影响	196
二、中间层对坯釉适应性的影响	199
三、釉的弹性、抗张强度对坯釉适应性的影响	199
四、釉层厚度对坯釉适应性的影响	200
第四章 显微结构与性质	202
第一节 普通长石质瓷的显微结构	202
一、显微结构的形成	203
二、显微结构中各物相的作用	205
三、瓷胎显微裂纹	206
第二节 釉层的显微结构	207
一、透明釉	207
二、乳浊釉	209
三、结晶釉	212
四、无光釉	212
五、高温颜色釉	212
六、半导体釉	217
第三节 陶瓷性质	217
一、光泽度	217
二、半透明性	218
三、透光色调	220
四、白度	221
五、机械强度	222
六、表面硬度	225
七、热稳定性	225
八、吸湿膨胀性	226
第五章 原料的处理	228
第一节 原料的精选	228
一、原料的精选方法	228
二、水的性质对坯料、制品性能的影响	231
第二节 原料的预烧	232
一、预烧的作用	232

二、石英、长石、滑石、工业氧化锌、黏土的预烧	232
第六章 坯、釉料制备	234
第一节 坯料的种类和质量要求	234
一、坯料的种类	234
二、坯料的质量要求	234
第二节 坯料制备	239
一、塑性坯料制备	239
二、注浆坯料制备	251
三、压制坯料制备	256
第三节 釉料制备	257
一、釉料制备的质量要求及控制	258
二、釉料制备	259
第四节 坯釉料制备的主要工序及设备	265
一、原料粉碎	265
二、筛分	269
三、除铁	270
四、泥浆脱水	271
五、陈腐与练泥	273
六、造粒	275
七、熔块熔制	275
第七章 成型与模具	279
第一节 器形的合理设计	279
第二节 成型方法的分类与选择	280
一、成型方法分类	280
二、成型方法的选择	280
第三节 可塑成型	281
一、滚压成型	282
二、旋压成型	286
三、挤压成型	287
四、车坯成型	287
五、其他成型方法	288
第四节 注浆成型	296
一、注浆过程	296
二、注浆成型的特点	299
三、注浆成型对泥浆的要求	299
四、基本注浆方法 (单面注浆与双面注浆)	300
五、强化注浆方法	301
六、其他注浆成型方法	302
第五节 压制成型	306

一、干压成型	306
二、等静压成型	309
第六节 流延成型	313
一、流延成型的料浆制备	313
二、流延成型工艺	314
三、成型方法	314
四、流延成型的特点	315
五、流延成型机	315
第七节 其他成型方法	316
一、原位凝固成型	316
二、快速原型成型技术 (RP)	319
第八节 成型模具	321
一、石膏与石膏模	321
二、新型多孔模具	327
三、压制成型用金属模	328
四、挤压成型用模具	330
五、等静压成型模具	331
六、模具的放尺	331
第八章 坯体的干燥	333
第一节 干燥作用与干燥过程	333
一、干燥的作用	333
二、干燥过程	333
三、干燥收缩与变形	334
第二节 干燥制度的确定	335
一、影响干燥速度的因素	335
二、干燥介质参数的确定	336
第三节 干燥方法	338
一、热空气干燥	338
二、工频电干燥	344
三、直流电干燥	345
四、辐射干燥	346
五、综合干燥	350
第九章 粘接、修坯与施釉	352
第一节 粘接与修坯	352
一、粘接	352
二、修坯	353
第二节 施釉	354
一、釉浆施釉法	355
二、静电施釉	359

三、干法施釉	360
第十章 烧成与窑具	369
第一节 烧成制度	369
一、烧成制度与产品性能的关系	369
二、制定烧成制度的依据	378
三、烧成制度示例和说明	381
第二节 烧成工序的节能与低温快速烧成	385
一、烧成工序的节能	385
二、低温快速烧成	387
第三节 装窑	391
一、装窑	391
二、装窑方法	392
第四节 窑具	397
一、窑具	397
二、窑具的性能要求	398
三、窑具材质的类型及损坏情况分析	400
四、窑具的制造	406
第十一章 陶瓷装饰	409
第一节 陶瓷颜料	409
一、分类	409
二、陶瓷颜料制造	412
三、陶瓷颜料发色机理	414
四、影响色剂呈色因素	416
第二节 釉上装饰	418
一、彩绘	418
二、贵金属装饰	420
三、光泽彩	421
四、其他装饰方法	423
第三节 釉下装饰	423
一、彩绘	423
二、其他装饰方法	426
第四节 釉中彩	426
第五节 颜色釉	427
一、低温颜色釉	427
二、高温颜色釉	428
第六节 艺术釉	434
一、结晶釉与砂金釉	435
二、无光釉	438
三、碎纹釉	439

四、变色釉	439
五、金属光泽釉	441
六、萤光釉	442
第七节 坯体装饰	442
一、色坯、斑点、纹胎	442
二、镂空、刻花、堆雕	445
三、化妆土	447
四、渗花	447
第八节 釉料、颜料中铅、镉离子的溶出	449
一、溶出原因	449
二、影响因素	450
三、降低铅、镉溶出量的方法	452
第十二章 陶瓷制品缺陷及其分析	454
第一节 日用陶瓷缺陷分析	454
一、变形	454
二、裂纹	457
三、斑点	459
四、熔洞	459
五、落渣	460
六、粘疤与底沿粘渣	460
七、底足粘脏	460
八、疙瘩与泥渣	461
九、缺泥与磕碰	461
十、起泡	461
十一、针孔与橘釉	462
十二、釉缕	463
十三、缺釉	464
十四、釉面擦伤	464
十五、生烧与过烧	464
十六、烟熏	465
十七、阴黄	465
十八、火刺	465
十九、色脏	465
二十、彩色不正	466
二十一、画面缺陷	466
二十二、饰金缺陷	467
二十三、铅溶出量超标	468
第二节 墙地砖缺陷分析	468
一、变形	468

二、裂纹	470
三、夹层	471
四、尺寸偏差	472
五、大小边	472
六、黑心	473
七、色差	473
八、釉面缺陷	476
九、大规格抛光砖缺陷	478
十、吸湿膨胀	479
第三节 卫生陶瓷缺陷分析	479
一、变形	479
二、裂纹	480
三、斑点	481
四、坑包	481
五、棕眼	482
六、缺釉	483
七、釉缕与釉面波纹	484
八、烟熏	484
附录 1 水玻璃的成分 ($\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$) 与密度变化关系	486
附录 2 泥浆的“真密度 - 波美浓度 - 固体含有量”关系	487
附录 3 常用陶瓷原料常数	488
附录 4 美国筛网规格表 (U. S. A. Standard Sieves) 和线组织标准试验筛网 (ASTM: E11 - 70)	504
附录 5 俄罗斯检验用高精度方孔金属丝织筛网 (ГОСТ3584—1953)	506
附录 6 英国标准筛 (B · S · 410: 1969)	507
附录 7 法国标准筛 (AFNOR NF X ₁₁₋₅₀₁ Dec. 1970)	508
附录 8 德国标准筛网系列 (DIN4189—1968)	509
附录 9 日本标准筛 (JISZ8801—1966)	510
附录 10 国际标准组织推荐筛网系列 (ISO/R565—1972)	512
附录 11 各种筛网对照表	514
附录 12 测温锥的软化温度与锥号对照表	515

绪 论

一、陶瓷的概念与分类

“陶瓷”是陶和瓷的总称，是一种人类生产和生活中不可缺少的材料和制品，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黏土为主要原料与其他天然矿物原料经过适当的配比、粉碎、成型并在高温焙烧情况下经过一系列的物理化学反应后，形成的坚硬物质，如我们常见的日用陶瓷制品、建筑陶瓷和电瓷等，亦称为传统陶瓷。由于它的主要原料是取之于自然界的硅酸盐矿物（如黏土、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。

随着科学的发展和社会文明的进步，人们对陶瓷制品的要求越来越高，不仅要求其具有良好的机械性能，而且要具有声、光、电、热、磁等特殊性能，由此新型陶瓷应运而生。为了与传统陶瓷相区别，人们将具有这些特殊性能的陶瓷材料冠以“先进”、“精细”、“高性能”、“特种”等词。这类陶瓷是采用高度精选或人工合成的原料，通过结构设计、精确的化学计量、合适的成型方法和烧成制度而达到特定的性能，再经过加工处理使之符合使用尺寸精度要求的一种无机非金属材料，它在原料、组成和生产工艺等方面与传统陶瓷有很大的不同。因此，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型通过 800℃ 以上的高温处理，以获得这种材料的典型性质。有时也在高温下成型，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为主要原料，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、无定形胶结物及气孔或与熟料包裹体等种种

微观结构相组成。”

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、电瓷及其他工业用陶瓷。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他功能材料等。

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，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，无需拘泥于属于哪一类。

（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—1985）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
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	普通瓷器	细瓷器
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	普通瓷器	细瓷器
特征	吸水率一般大于 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%，有一定的透光性，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

在中国的科技发展史上，除了“四大发明”，最引人注目的莫过于陶瓷了。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，陶器都是由于用黏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，人们便发现成型的黏土，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，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%）的绢云母质黏土，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 年在河南浚县仰韶村，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。

陶瓷制品的详细分类

表 0-4

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		
				黏土或高岭土	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	易熔黏土	100	—	—	—	0~20	—	—	—	黄、红、青、黑	11~20	1.5~2.0
	普通陶瓷		可塑性高的难熔黏土、石英、熟料	0~10.0	0~20	—	—	0~20	—	—	—	黄、红、灰	6~14	2.0~2.4
	细陶器	黏土质	可塑性高的难熔黏土、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 其他	镁质黏土、硅灰石、透辉石、其他熔剂	55~50 40~55 45~80	35~45 35~55 —	3~12	5~10	20~55	—	—	—			
瓷器	如瓷器	粗坯瓷器 细坯瓷器	日用细瓷器	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 其他	高岭土、瓷石、可塑性高的难熔黏土、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 —	—	—	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 其他	高铝矾土、氧化铝、滑石、氧化镁等， 石英、 TiO ₂ 等 含锂矿物等 各种氧化物、氮化物、硅化物等											> 2.6

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，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。新中国成立后，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”^{*}。

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 至公元前 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型和烧造

* 刘秉诚. 我国陶瓷的起源及其发展 [J]. 陶瓷, 1978 (2)