

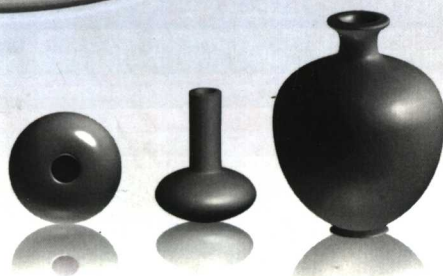
The background of the cover features a collage of images related to ceramics and materials science. In the upper left, there are various ceramic gears and mechanical parts. In the upper right, a laboratory setting is visible with a computer monitor and a sink. The central focus is a large, glowing white ceramic plate. At the bottom, three black ceramic vessels—a small sphere, a short cylinder, and a larger bulbous vase—are displayed.

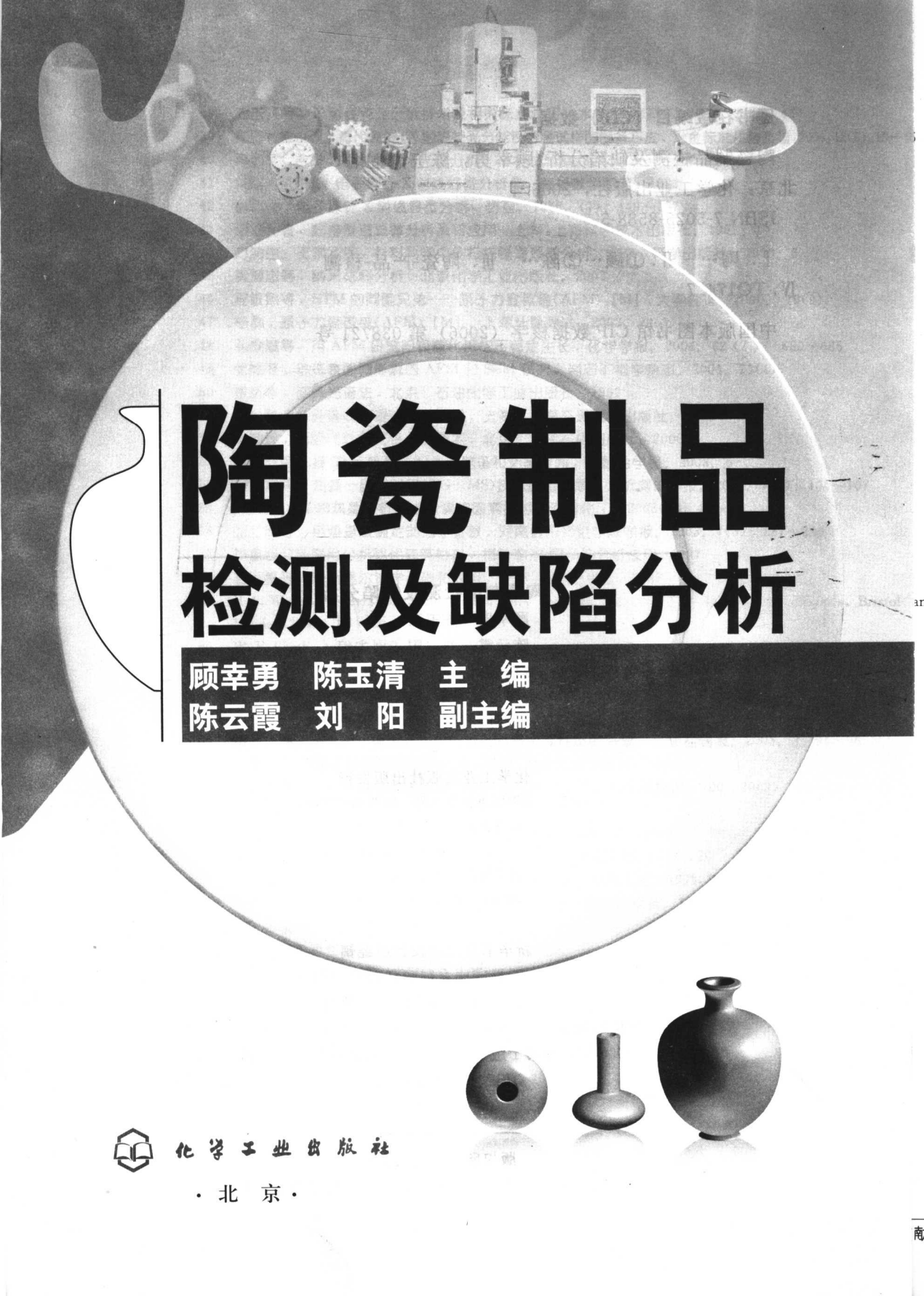
陶瓷制品 检测及缺陷分析

顾幸勇 陈玉清 主编



化学工业出版社



The background of the cover features a collage of images related to ceramic production. At the top, there are various pieces of industrial machinery, including what appears to be a lathe or a similar turning machine, and some finished ceramic components like gears or small vessels. A large, light-colored circular plate or bowl is prominently displayed in the center, serving as a backdrop for the title. The overall aesthetic is technical and industrial.

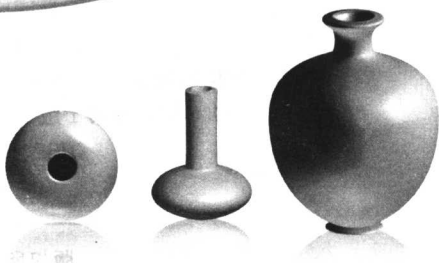
陶瓷制品 检测及缺陷分析

顾幸勇 陈玉清 主 编
陈云霞 刘 阳 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·



图书在版编目 (CIP) 数据

陶瓷制品检测及缺陷分析/顾幸勇, 陈玉清主编.

北京: 化学工业出版社, 2006. 4

ISBN 7-5025-8588-5

I. 陶… II. ①顾…②陈… III. 陶瓷-产品-检测

IV. TQ174. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 038721 号

陶瓷制品检测及缺陷分析

顾幸勇 陈玉清 主 编

陈云霞 刘 阳 副主编

责任编辑: 陈 蕾 郭乃铎

责任校对: 李 林

封面设计: 尹琳琳

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市万龙印装有限公司装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 24 字数 497 千字

2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8588-5

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

在陶瓷的工业生产和科学研究中,陶瓷制品的物理和化学性能以及各种参数的检测是必不可少的。陶瓷的性能和质量取决于化学组成和显微结构,而化学组成和显微结构又取决于原料和制备工艺。通过对陶瓷的性能、成分和微观结构进行检测,可以知道原料和制备工艺对产品性能的影响,这对于严格而合理地控制质量,对于新材料新产品开发,对于技术进步和创新都有非常重要的意义。陶瓷制品性能和参数的检测方法有很多,选择什么样的设备和方法才能准确、经济、快速对所要求的性能或者参数进行检测,往往使陶瓷技术人员颇费周折。“工欲善其事,必先利其器”,顾幸勇教授和陈玉清教授主编的《陶瓷制品检测及缺陷分析》恰好为我们提供了一个很好的工具。

该书对目前已有的日用陶瓷、建筑陶瓷、卫生陶瓷、工业陶瓷的力学、电学、光学、热学、磁学及化学等性能的常用检测方法及其原理进行了系统介绍,其中包括了作者多年工作积累的结晶。作者还很有新意地把制品检测与陶瓷显微结构的测试、陶瓷工艺实验、陶瓷检测仪器设备、陶瓷的缺陷与分析、理论分析在陶瓷检测中的应用等内容编著在一起,构成了从原材料到制品、从宏观检测到微观分析、从实验方法到理论分析,包括制品缺陷的分析解决和检测设备改进的完整的陶瓷材料检测体系,是相关科技工作者、大学生和研究生进行陶瓷制品检测的重要工具。中国是瓷器的发明国,已经有几千年陶瓷生产历史。从20世纪90年代初开始,我国的建筑卫生陶瓷、日用陶瓷等陶瓷产品的产量一直居于世界首位,其他品种的陶瓷产品也有长足的发展,并且产品质量在不断提高。相信本书的出版将对我国陶瓷制品质量的保证和提高、陶瓷材料的研究与开发、陶瓷行业的技术进步和科技创新做出贡献。

华南理工大学 陶瓷学教授



2006年5月

前 言

人类的日常生活离不开陶瓷制品,而现代文明新技术,诸如电子技术、计算技术、航空航天技术等都离不开陶瓷制品,它广泛地应用于工业、环境保护、军事国防等各个领域。陶瓷制品通常是由多相多晶体或单相多晶体构成,在工业生产和科学研究过程中人们总是希望陶瓷制品的性能、质量稳定可靠,重复性好,总是要关心、了解和掌握陶瓷制品的宏观性质,如强度、白度、热稳定性、压电性、磁性等,以及影响陶瓷制品宏观性质的陶瓷显微结构和影响陶瓷制品生产的原材料的工艺性能等知识,只有掌握了这些才能控制好陶瓷制品的质量。

中国是陶瓷的故乡,是瓷的发源地,陶瓷是我国的传统产业。改革开放以来,尤其是我国加入WTO以后,我国的陶瓷生产有了飞速的发展,陶瓷产品的数量居全球各国之首,但在质量方面与发达国家相比还存在一定的距离,要提高产品的质量,严格的检测工作是必须的。应化学工业出版社的邀请,作者编著了这本《陶瓷制品检测及缺陷分析》,本书在简要介绍陶瓷制品及检测方法与检测仪器设备的基础上,较为系统地介绍了日用陶瓷、建筑陶瓷、卫生陶瓷、工业陶瓷的力学、电学、光学、热学、磁学及化学等各项使用性能的检测方法及其原理,并就这些陶瓷制品常见缺陷及分析进行了阐述,介绍了陶瓷原料及坯、釉料的工艺性能实验方法,简要介绍了陶瓷制品显微结构的主要检测技术,并特别结合作者的科研工作,在第八章里选择介绍了部分理论分析在陶瓷材料检测方面的应用。

本书的第一、七、八章由景德镇陶瓷学院顾幸勇教授编写,第二、三、五章由山东轻工业学院陈玉清教授编写,第四章由景德镇陶瓷学院刘阳教授编写,第六章日用及建筑陶瓷缺陷分析的部分内容及附录部分内容由景德镇陶瓷学院陈云霞博士编写。另外,吴丽清高级工程师、赵萍博士、罗婷、董伟霞、骆雯琴等研究生参与了编写工作,喻佑华教授、黄健高级工程师提供了部分资料。

特别要感谢华南理工大学无机材料科学与工程系主任、博士生导师、广东省陶瓷协会副会长吴建青教授,在百忙中为本书写了序。

由于作者水平有限,书中不当之处在所难免,恳请同行专家和读者批评指正。

编 者

2006年5月

目 录

第一章 概述	1
第一节 陶瓷制品	1
第二节 陶瓷检测	7
第三节 检测仪器	13
第二章 日用陶瓷	25
第一节 吸水率	25
第二节 规格尺寸	27
第三节 热稳定性	29
第四节 光泽度	30
第五节 白度	32
第六节 透光度	35
第七节 化学稳定性	37
第八节 釉面硬度	39
第九节 坯釉应力	42
第十节 铅、镉溶出量	44
第十一节 亮金水、亮钯金水的测定	47
第十二节 日用陶瓷常见缺陷及分析	52
第三章 建筑陶瓷	60
第一节 尺寸和表面质量	60
第二节 断裂模数和破坏强度	63
第三节 恢复系数和抗冲击性	65
第四节 耐磨深度	67
第五节 表面耐磨性	69
第六节 湿膨胀	71
第七节 抗釉裂性	73
第八节 抗冻性	73
第九节 耐化学腐蚀性	75
第十节 耐污染性	78

第十一节	小色差	81
第十二节	建筑陶瓷常见缺陷及分析	82
第四章	卫生陶瓷	93
第一节	规格尺寸	93
第二节	外观质量	95
第三节	色度	100
第四节	噪声	105
第五节	抗龟裂与冲洗功能	113
第六节	水封与污水排放	114
第七节	卫生瓷常见缺陷及分析	116
第五章	工业陶瓷	143
第一节	抗压强度	143
第二节	弯曲强度	145
第三节	真密度、体积密度和相对密度	147
第四节	硬度	150
第五节	弹性模量	151
第六节	断裂韧性	155
第七节	冲击韧性	157
第八节	疲劳强度	160
第九节	磨损性	161
第十节	抗热震性	163
第十一节	荷重软化温度	164
第十二节	热膨胀系数	165
第十三节	热导率	166
第十四节	磁性能	168
第十五节	电性能	174
第十六节	介电性能	177
第十七节	介质损耗	180
第十八节	抗电强度	183
第十九节	压电性能	185
第二十节	工业陶瓷常见缺陷及分析	188
第六章	陶瓷工艺实验	194
第一节	黏土或坯料的可塑性	194
第二节	固体粉料细度及颗粒分布	200
第三节	泥(釉)浆细度和筛余量测定	208
第四节	相对黏度、流动性和触变性	211

第五节	胶凝材料的标准稠度、凝结时间	218
第六节	熔融温度范围	223
第七节	烧结温度和烧结温度范围	226
第八节	干燥灵敏性系数	230
第九节	干燥、烧成线收缩率	232
第十节	熔体表面张力	237
第十一节	熔体黏度	240
第十二节	耐火度	244

第七章 陶瓷制品的显微结构测试 247

第一节	X 射线衍射分析	247
第二节	X 射线荧光分析	255
第三节	透射电子显微镜	261
第四节	电子探针 X 射线显微分析	269
第五节	扫描隧道显微镜分析	274
第六节	原子力显微镜分析	280
第七节	红外光谱分析	288
第八节	差热分析	297
第九节	热重分析	303
第十节	热膨胀分析法	308
第十一节	穆斯堡尔谱	314

第八章 理论分析在陶瓷检测中的应用 325

第一节	$K_2O-Al_2O_3-SiO_2$ 三元系统陶瓷相的计算定量	325
第二节	陶瓷釉面热应力计算的热力学推导	330
第三节	用外推法在 TG 曲线上求出陶瓷材料失重反应始温 (T_i) 的探讨	335
第四节	“黏土耐火度计算新方法初探”的再商讨	337
第五节	陶瓷科研工作中的一种决策方法——组合比较法	341
第六节	我国历代瓷器胎釉化学主成分一致性的探讨	344
第七节	锂质陶瓷釉析晶动力学 DTA 研究	348

附录一 常用陶瓷原料常数 352

附录二 各种筛网对照表 370

附录三 测温锥的软化温度与锥号对照表 371

参考文献 372

第一章 概述

第一节 陶瓷制品

陶瓷是以天然矿物或人工合成的粉状化合物为原料,经过原料制备、成形和高温烧结而制成。它是由无机非金属化合物构成的多晶固体材料,无论是传统的硅酸盐陶瓷,还是现代的结构陶瓷和功能陶瓷,陶瓷已成为人类生活和现代化建设中不可缺少的材料之一,陶瓷的概念也已远远超出古老的传统陶瓷的范畴,具有高强度、耐高温、耐腐蚀、耐摩擦等特性或各种敏感特性的陶瓷材料,在冶金、机械、交通、能源、生物和航天等领域得到广泛应用,由于其制作工艺过程与传统陶瓷不同,更重要的是由于其化学组成、显微结构及特性不同,故现在人们称其为特种陶瓷。

中国是世界上历史悠久的文明古国,对人类社会的进步与发展做出了重大的贡献,在陶瓷技术与陶瓷艺术上所取得的成就,尤其具有特殊重要意义。陶器的诞生,首先要从认识黏土,熟悉黏土加水所生成的可塑性开始;其次要知道用火,以火烘烧黏土塑制之器物,使之成为坚硬密实的质地;再其次,则仰赖新石器时代的农业生活,人们对各种陶制器皿有所需求,制陶技术得以发展成熟。正如宋应星在《天工开物·陶埴》中开宗明义所说“水火既济而土合”。考古所知最早的中国陶器,主要发现于河南新郑裴李岗与河北武安磁山,距今七八千年,二地制作的多为红陶,捏塑成形,窑温 $900\sim 960^{\circ}\text{C}$,质地松软。其后仰韶文化之彩器,造形讲究、彩绘生动、创作力充沛,使中国陶瓷的艺术性大为提升。可以说,中华民族发展史中的一个重要组成部分是陶瓷发展史。

陶瓷分类法,国内外有多种提法。在日本比较常见的是参照西方的分类方法而简单分作土器、陶器、炆器、瓷器。除了以坯体中的玻璃相和吸水量来划分陶瓷的方法外,有的国家为了避免其界限不易划清的缺点,曾试图采用其他分类法。如美国窑业协会陶瓷命名委员会在1950年发表的陶瓷分类方法中,对于陶瓷曾作了具体规定,共分作瓷器(Porcelain)、半瓷器(Semi-Porcelain)、陶器(china)、半陶器(Semi-

china)、炻器 (Stone ware)、土器 (Earthen ware) 六大类。总之，初步可以得出这样的概念，即在国外当前对于陶瓷制品的分类大体分作二至六（前苏联二、欧洲及日本四、美国六）大类，而其中比较常见的主要是四分法，见表 1-1。

表 1-1 陶瓷的分类

特 征	中文名称	英文名称	德文名称
胎有吸水性,无釉	土 器	Clay ware	Irden warren
胎有吸水性,有釉	陶 器	Earthen ware,Faience	Stein gut
胎少吸水性,色胎	炻 器	Stone ware	Stein zeng
胎无吸水性,白胎有透明性,有釉	瓷 器	Porcelain	Porzellan

目前我国陶瓷工业方面也基本上使用这种分类方法，并且加入了“特种陶瓷”一项而成为五大类。

几千年的陶瓷技术发展，可划分为三个阶段：

一、从无釉多孔陶器到有釉致密瓷器阶段

这是陶瓷技术发展的第一个飞跃，促进这一飞跃的主要因素有：

- ① 以含铝成分较高的高岭土为原料的引入。
- ② 高温技术的发展，烧成窑炉的改进。
- ③ 釉的发明。

二、从传统陶瓷器到特种陶瓷阶段

这是陶瓷技术发展的第二个飞跃，促进这一飞跃的主要因素有：

- ① 原料的高纯化。
- ② 制备技术发展（等静压、流延法成型等；热压烧、气氛烧结等）。
- ③ 科学理论的丰富，工业的发展（各种材料性能的发现、烧结理论等，汽车、飞机、计算机、各类检测技术发展需要）。

三、从微米级陶瓷到纳米级陶瓷阶段

这是陶瓷技术发展的第三个飞跃，促进这一飞跃的主要因素有：

- ① 纳米级原料制备技术的成功。
- ② 检测分析手段的进步（电子显微镜、扫描隧道显微镜、原子力显微镜等）。
- ③ 材料制备、性能提高的需求。

陶瓷技术的发展是进步与完善并举，在陶瓷科学技术发展的三个飞跃历史过程中，不存在淘汰，只有进步与完善。

在第一个飞跃里，控制性地从致密瓷向多孔陶瓷发展。

多孔陶瓷是由于具有可控制的从毫米到纳米尺寸的孔隙，具有较高的比表面及其独特的物理、化学表面特性，加之陶瓷材料特有的耐高温性、耐腐蚀性、耐磨性、化学稳定性等，使之目前具有非常广泛的应用。

① 液、气的过滤净化（液：钢水的过滤、酸碱液过滤、纯净水、啤酒、制药等；气：高温烟气、清洁压缩的空气、氢气等工业气体净化等；所有在液、气中含有固粒、悬浮介质、细菌等的过滤）。

② 散气（布气、充气等属两相混合）。一是把气体均匀分散到液体中（水中杀菌吹入氯气、臭氧）；二是把气体分散到固态物质中（如固体物料输送、水泥输送斜槽）；三是把气体分散到气体中，混合。

③ 催化剂载体（汽车尾气净化、锅炉排烟脱硝 NO_x 、工业排除有毒有害气体等）。

④ 节能隔热换热（应用于各种热工设备、管道、航天飞机外壳、热回收等）。

⑤ 隔音（吸音作用消除噪声等）。

⑥ 传感器（湿敏陶瓷等）。

⑦ 生物材料。

⑧ 陶瓷分离膜。

多孔陶瓷应用始于 19 世纪 70 年代，当时用作铀提纯材料和细菌过滤材料，以后应用领域越来越广，发展前景很好，被称之为绿色材料。多孔陶瓷的材质范畴广，传统硅酸盐材料及特种材料都有。

多孔陶瓷需解决的问题：

① 改善多孔陶瓷的制造工艺，使其经济实用，便于大规模生产。

② 精确控制多孔陶瓷的孔径，并对影响气孔分布、大小、形状的因素做系统分析解决。

③ 提高强度，并建立起强度和气孔结构之间联系的有效模型。

在第二个飞跃里，传统陶瓷与特种陶瓷各占半壁江山。

（一）传统陶瓷

传统陶瓷主要指陶器、炆器和瓷器，也包括玻璃、搪瓷、耐火材料、砖瓦等。这些陶瓷制品主要是用天然的硅酸盐类矿物如黏土、瓷石、长石、石英等经原料处理、成形和烧结制成的。按使用途径可分为：

1. 日用陶瓷

① $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系统（长石质瓷、绢云母质瓷）。

② $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系统（滑石质瓷）。

③ $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系统（白云石质瓷）。

④ $\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系统（骨灰质瓷）。

⑤ $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系统（锂辉石质瓷）。

⑥ 石英 $\geq 40\%$ ，高石英质日用瓷。

2. 建筑、卫生陶瓷

长石质、石灰石质、硅灰石质、叶蜡石质等。

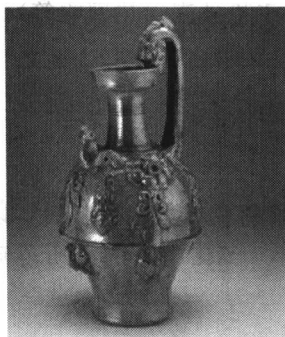
釉面砖、外墙砖、地砖、锦砖、陶管、琉璃制品、玻化砖、劈离砖、水晶砖、渗彩砖、微晶玻璃砖和各种卫生洁具等。

3. 耐酸陶瓷

用于化工、制药、食品等工业及实验室中的管道设备、耐蚀容器及实验器皿等，通常要求耐各种化学介质腐蚀的能力要强。

4. 电瓷

主要指作为隔电、机械支持及连接用的瓷质绝缘器件。如高、低压电绝缘用瓷，有高碱质、高硅质、高铝质、铝硅质和滑石质等，要求机械性能高、介电性能和热稳定性好。图 1-1 为部分传统陶瓷制品。



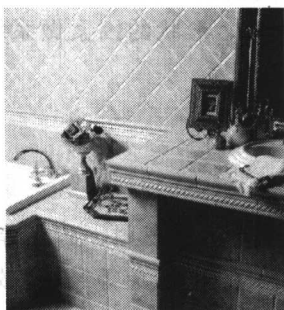
(a) 春秋时期古陶瓷



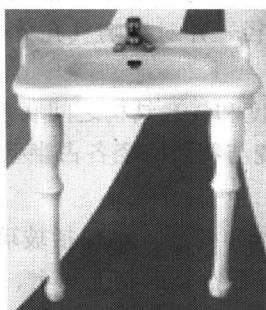
(b) 工艺美术陶瓷



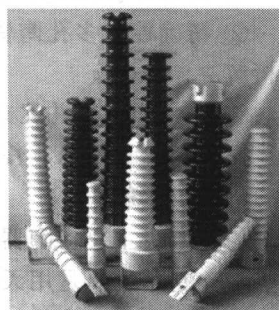
(c) 日用细瓷



(d) 建筑陶瓷



(e) 卫生陶瓷



(f) 电瓷

图 1-1 传统陶瓷制品的部分样品

(二) 特种陶瓷

特种陶瓷是 20 世纪发展起来的，在现代化生产和科学技术的推动和培育下，它们发展得非常快，尤其在近二三十年，新品种层出不穷，令人眼花缭乱。按照化学组成可划分为：

- ① 氧化物陶瓷。氧化铝、氧化锆、氧化镁、氧化钙、氧化铍、氧化锌、氧化钇、氧化钛、氧化钽、氧化铈等。
- ② 氮化物陶瓷。氮化硅、氮化铝、氮化硼、氮化铈等。
- ③ 碳化物陶瓷。碳化硅、碳化硼、碳化铈等。
- ④ 硼化物陶瓷。硼化锆、硼化镧等。

- ⑤ 硅化物陶瓷。硅化钼、硅酸锆等。
- ⑥ 氟化物陶瓷。氟化镁、氟化钙、氟化镧等。
- ⑦ 硫化物陶瓷。硫化锌、硫化铈等。

除了主要由一种化合物构成的单相多晶陶瓷外，还有由两种或两种以上的化合物构成的多相多晶复合陶瓷。如由氧化铝和氧化镁结合而成的镁铝尖晶石陶瓷；由氮化硅和氧化铝结合而成的氧氮化硅铝陶瓷（Sialon）；由氧化铬、氧化镧和氧化钙结合而成的铬酸镧钙陶瓷；由氧化锆、氧化钛、氧化铅、氧化镧结合而成的锆钛酸铅镧（PLZT）陶瓷等。此外，还有一大类金属陶瓷，如氧化物基金属陶瓷、碳化物基金属陶瓷、硼化物基金属陶瓷等。近年来，为了改善陶瓷的脆性，在陶瓷基体中添加了金属纤维和无机纤维，这样构成的纤维补强陶瓷复合材料，是陶瓷家族中最年轻但却是最有发展前途的一个分支。

目前，人们根据陶瓷的性能习惯上将特种陶瓷分成两大类，即结构陶瓷和功能陶瓷，将具有机械功能、热功能和部分化学功能的陶瓷列为结构陶瓷，而将具有电、光、磁、化学和生物特性且具有相互转换功能的陶瓷列为功能陶瓷。

（1）结构陶瓷 主要有机械、热学、化学等性能。如高强度陶瓷、高温陶瓷、高韧性陶瓷等。

（2）功能陶瓷 电、磁、光、热、声、化学、生物等功能，以及压电、热电、电光、声光、磁光等耦合功能。如压电陶瓷、电解质陶瓷、半导体陶瓷、电介质陶瓷、光学陶瓷、磁性瓷、生物陶瓷、储氢陶瓷、梯度功能陶瓷、智能陶瓷、超导陶瓷等。

图 1-2 为部分特种陶瓷制品。

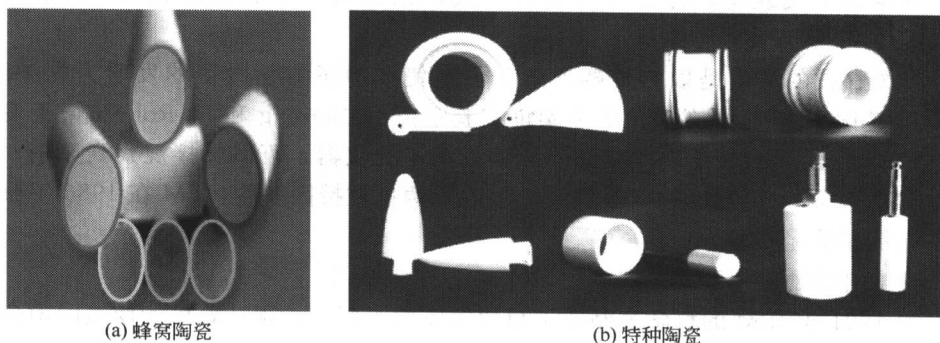


图 1-2 特种陶瓷制品部分样品

从一般瓷器发展到特种陶瓷可以从 Al_2O_3 含量的变化来定性表征。表 1-2 描述了相应 Al_2O_3 变化，其材料性能与应用范围，它简要反应了特种陶瓷的发展过程。

特种陶瓷整个发展史只有半个多世纪，作为近代新材料发展的标志是单晶硅、光导纤维、超导材料等，它们分别对微电子、通讯、能源等起了巨大推动作用，具有划时代意义。

表 1-2 Al_2O_3 含量变化与应用范围

陶 瓷	Al_2O_3 含量	材 料 性 能	应 用 范 围
传统陶瓷器	0~15	致密、脆、强度低	日用瓷、建筑卫生瓷
耐火材料	15~30	多孔、强度低	窑炉内衬
工业瓷	30~40	致密、强度一般	化工、分析
75% Al_2O_3 瓷	75	致密、强度较高	纺织、电子工业
95% Al_2O_3 瓷	95	致密、强度高	电子工业、化学工业
99% Al_2O_3 瓷	≥ 99	高致密、很高强度	电子、机械、化工

结构陶瓷应用将以 2 位数的速率增加，特别是作为切削工具和耐磨部件的结构陶瓷增长机会更多。如氧化铝陶瓷刀具技术的研究发展就极其活跃：纯 Al_2O_3 陶瓷刀具、 Al_2O_3 -TiC 陶瓷刀具、 ZrO_2 增韧 Al_2O_3 陶瓷刀具、 Si_3N_4 增韧 Al_2O_3 陶瓷刀具、SiC 晶须增韧 Al_2O_3 陶瓷刀具、添加锰钛的 ZrO_2 增韧 Al_2O_3 陶瓷刀具、 Al_2O_3 -(W、Ti) 系陶瓷刀具、Sialon 陶瓷刀具、 Al_2O_3 陶瓷涂层刀具、 Al_2O_3 金属陶瓷刀具、 Al_2O_3 -金属-碳化物陶瓷刀具、 Al_2O_3 -金属-氮化物陶瓷刀具、 Al_2O_3 -TiC-TiB₂- ZrO_2 陶瓷刀具、 Al_2O_3 - ZrO_2 - Y_2O_3 陶瓷刀具、 Al_2O_3 -金属-碳氮化物陶瓷刀具等。

特种陶瓷的发展也主要有三个趋势：

- ① 由单相、高纯材料向多相复合发展。
- ② 陶瓷材料的设计。
- ③ 从微米级尺寸向纳米级尺寸发展。

在第三个飞跃里，标志着人类科学技术已进入一个新的时代——纳米科技时代。

纳米科技的诞生是以扫描隧道电子显微镜和原子力显微镜的发明为先导的，1981 年美国 IBM 公司在瑞士的苏黎世实验室由 G. Binning 和 H. Rohrer 博士发明了 STM，这是目前为止进行表面分析的最精密的仪器，可以直接观察到原子，横向分辨率达 0.1nm，纵向分辨率达 0.01nm，两位教授因发明 STM 在 1986 年获得诺贝尔物理学奖。

纳米科技的几个重要进展：

- ① 1991 年 IBM 的科学家制造了超快的氦原子开关，预计着可能使美国国会图书馆的全部藏书存储在一个直径为 0.3m 的硅片上。
- ② 纳米生物工程合成的“食品”将极大丰富食品的数量和种类。
- ③ 用原子和分子直接组装纳米机器，用于医学治病。
- ④ 纳米陶瓷——解决脆性、提高韧性、具有延展性，另外在降低烧成温度、催化及磁性方面都表现出明显不同于同类陶瓷材料的特性。

陶瓷制品在人类日常生活当中是不可缺少的日用品，几千年来一直是人类用以生活的主要餐具、茶具和容器。同时，陶瓷制品随着世界科学技术的飞速发展，它

在电力、电子工业、航空航天、汽车及机械制造等各方面都得到广泛的应用,而各种陶瓷新技术还在日新异地不断出现,使它的用途更深入工业和民用的各领域之中。

陶瓷新技术可定义为:由陶瓷材料研究制备过程中所出现的有性能及价值提高的原料、工艺、装备与制品。新技术的体现主要表现在以下几个方面:

(1) 原料的变化选用 如金花米黄建筑玻化砖 TiO_2 的使用,晶玉瓷系钠长石质细瓷,美国用石膏生产陶瓷制品,海外利用沙漠砂生产瓷砖,锂瓷石在高温快烧白瓷生产中的应用,工业废料的再利用等。

(2) 生产工艺的改善 如日用瓷等静压成型与二次烧成,共沉淀-水热法制备纳米粉料,多孔陶瓷制备新方法:机械搅拌法、热压法、离子交换法、溶胶-凝胶法、PCVI 法等。

(3) 装饰求丰富多样 如釉上、中、下彩,建陶中小颗粒到大颗粒,绞胎瓷料应用于大颗粒,非接触面砖装饰,激光装饰技术,国外研制出高效荧光釉。

(4) 低温快烧的实现 如各类降低烧成温度的方法,选用先进烧成设备等。

(5) 理论及手段运用 一切有科学根据的理论及手段的引入,减少经验性,增加科学性,如平衡相图、试验方法、CAI、各种测试手段等。

(6) 材料的多相复合 如复合改性,增强增韧,高分子与陶瓷、陶瓷与陶瓷、金属与陶瓷、陶瓷与玻璃等的复合。

(7) 产品创新功能化 如可吸收 CO_2 的陶瓷,可防电磁辐射的特殊陶瓷,能自控温湿度瓷砖,生物陶瓷餐具,抗菌陶瓷等。

(8) 装备的改进提高 如大吨位压机,新的微波干燥及烧成设备等。

第二节 陶瓷检测

陶瓷具有多种性能特征,它因耐高温、耐腐蚀、强度高、硬度大,在电子技术、激光技术、空间技术、计算技术、红外技术等方面广泛地被应用。为了适应科学技术的发展和人们生活水平的提高对陶瓷材料及制品性能所提出的严格要求,必须掌握各种常规、先进的研究检测手段。现在陶瓷材料及制品的研究检测手段发展很快,出现了很多方法,所以,正确了解陶瓷材料及制品研究检测技术功能及适用范围才能更加准确快速地获得必要的信息。

陶瓷材料及制品同金属材料、高分子材料产品一样,人们首要关注的是它们的性能。陶瓷材料及制品的性能包括有力学、电学、磁学、光学、热学、化学等方面,具体根据不同的陶瓷材料及制品分别有:吸水率、抗折及抗压强度、热膨胀系数、真密度、体积密度和相对密度、光泽度、白度、透光度、色度、色差、化学稳定性、釉面硬度、坯釉应力、尺寸和表面质量、抗冲击性、耐磨深度、表面耐磨性、抗热震性、湿膨胀、抗釉裂性、抗冻性、耐化学腐蚀性、耐污染性、抗龟裂、

冲洗功能、硬度、弹性模量、断裂韧性、疲劳强度、荷重软化温度、热导率、磁性能、介电常数、介质损耗、抗电强度、压电性能等。而影响陶瓷材料及制品性能的因素有很多，如图 1-3 所示。

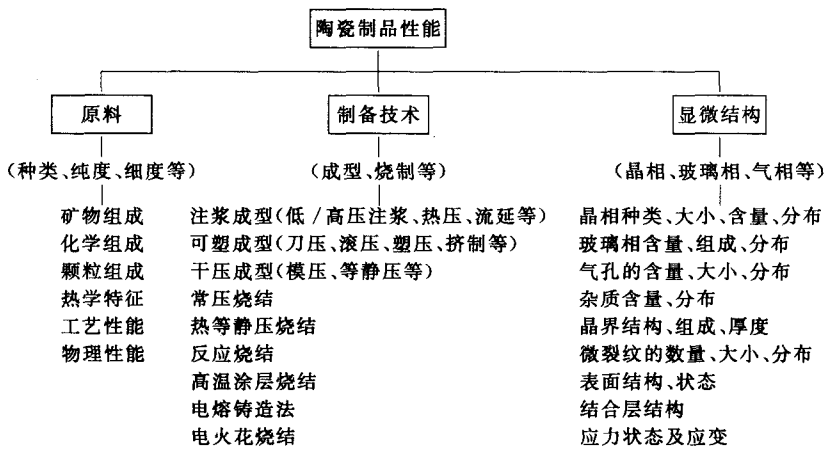


图 1-3 影响陶瓷材料及制品性能的因素

根据图 1-3 所示，陶瓷制品性能=原料+制备技术+显微结构，由关系式中可看到，影响陶瓷制品性能的因素很多，只有通过显微结构观察与分析，探索陶瓷材料及制品的原料组成、技术性能与显微结构之间内在联系（如图 1-4 所示三角形简图），全面地掌握了解，才能更好、更稳定地控制所需陶瓷材料及制品的性能。

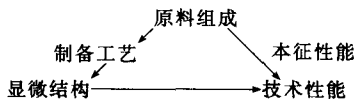


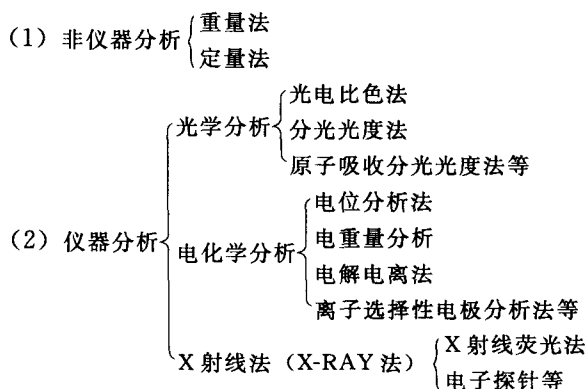
图 1-4 陶瓷制品性能内在联系

陶瓷材料及制品的检测技术是伴随人类对各种材料及制品的深入研究需要而发展起来的，由于电子工业技术的飞速发展，导致了检测设备向自动化、量化、微型化、商品化方向发展，使得研究领域日趋增加、资料日渐积累、技术日臻完善。人们对陶瓷材料及制品性能的掌握及控制，就是以各种研究检测手段掌握了解如图 1-3 所示给出的各类因素的基础上来实现的。对陶瓷材料及制品的检测技术手段较多，可分为宏观和微观两大类。由于影响因素较多，某一种检测方法都会有不足或不全面的地方，所以要综合地对陶瓷材料及制品进行检测分析，才能全面地控制性能。

如应用化学分析的方法，分析鉴定陶瓷原材料及制品的化学组成是目前陶瓷工业普遍采用的分析方法，在科学实验中也是必不可少的分析手段，主要作用为：①对陶瓷生产所用的原材料进行分析化验，检查其是否合乎规定的标准或使用要求，为产品配方的确定、原材料的选择、工艺控制提供可靠的依据。②对生产过程

中的坯、釉料及半成品进行控制分析, 保证生产出合格产品。③对研究对象进行全面分析, 为科学研究和理论总结提供数据。

陶瓷化学分析的方法, 有非仪器分析和仪器分析两大类。



非仪器分析方法中的重量法与定量法是一类经典方法, 它们灵活性大、不需要特殊的仪器设备、操作简便, 但它们有局限性和不足之处, 主要是微量组分的测定不如仪器分析灵敏、快速、精确, 但仪器分析主要的问题是设备复杂、价格昂贵、不易普及采用。化学组成是影响材料性能的最基本因素, 材料性能不仅受到主要化学成分的影响, 而且在许多情况下还与少量杂质元素的种类、浓度和分布情况等有很大的关系, 研究少量杂质元素在材料组成中的聚散特性, 不仅涉及探讨杂质的作用机理, 而且开拓了利用杂质元素改善材料性能的途径, 这在特种陶瓷中的结构陶瓷、功能陶瓷中尤其显得重要。所以, 仪器分析尽管设备昂贵、不易普及, 但它们的重要作用是不可低估的。

无论是非仪器分析或是仪器分析, 它们给出的都是陶瓷原材料、坯釉或产品的化学组成数据, 也即是生产与科研人员要掌握某种产品性能所必须要了解的最基本的内容。但是化学全分析不能知道各氧化物的存在形式, 特别是在陶瓷原材料和开发新产品研究中尤其如此。如 $\text{SiO}_2\%$ 这个质量或摩尔 (mol) 百分含量, 它的存在形式就不知道, 仅知道氧化硅的总量, 而它的存在形式对生产工艺及产品性能都有影响。 SiO_2 可来自于下列各形式:

- ① 游离氧化硅, 即石英 (SiO_2)。
- ② 无定形氧化硅的水化物 ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)。
- ③ 黏土类矿物原料。
- ④ 长石类矿物等。

第一类形式是晶态, 在制备工艺中是减黏作用; 第二类则是非晶态, 增黏作用; 第三类是增黏并提高产品烧成温度; 第四类是减黏并作熔剂降低烧成温度。所以 SiO_2 的存在形式的了解很重要, 化学分析数据不能明确给出。

还有 $\text{Fe}_2\text{O}_3\%$, 而铁的存在形式有较多:

- ① 磁铁矿 (Fe_3O_4), 强磁性。