

先进陶瓷现代产业学院校企合作教材

氧化铝陶瓷

实用生产工艺技术

文 瑾 钟洪彬 吴硕体 曹建辉 / 编著
田修营 贺亦文 贺建春



西南交通大学出版社

先进陶瓷现代产业学院校企合作教材

氧化铝陶瓷

实用生产工艺技术

文 瑾 钟洪彬 吴硕体 曹建辉
田修营 贺亦文 贺建春 编 著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

氧化铝陶瓷实用生产工艺技术 / 文瑾等编著. —成都: 西南交通大学出版社, 2023.8
ISBN 978-7-5643-9387-8

I. ①氧… II. ①文… III. ①氧化铝陶瓷—生产工艺—研究 IV. ①TQ174.75

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 128451 号

Yanghualü Taoci Shiyong Shengchan Gongyi Jishu

氧化铝陶瓷实用生产工艺技术

文瑾 钟洪彬 吴硕体 曹建辉 编著
田修营 贺亦文 贺建春

责任编辑 牛君
封面设计 墨创文化

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

邮政编码 610031
发行部电话 028-87600564 028-87600533
网址 <http://www.xnjdcbs.com>
印刷 郫县犀浦印刷厂

成品尺寸 185 mm × 260 mm
印张 8.25
字数 184 千
版次 2023 年 8 月第 1 版
印次 2023 年 8 月第 1 次
书号 ISBN 978-7-5643-9387-8
定价 28.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

P R E F A C E

前 言

“陶瓷工艺学”是材料科学与工程专业无机非金属材料方向开设的一门非常重要的理论与实践结合的课程，目前国内对该门课程所使用的教材大多注重传统陶瓷相关工艺介绍，对氧化铝陶瓷生产工艺介绍较少，缺乏特定专业针对性，并且脱离行业生产实践，难以满足特色应用型人才的要求。针对目前国内高校先进陶瓷专业发展趋势以及应用型人才要求，我们组织编写了这本具有专业和行业针对性，紧密结合企业生产实践来培养人才的特色教材。

湖南省娄底市新化县是电子陶瓷之乡，氧化铝陶瓷生产的重要聚集地。当前氧化铝陶瓷生产技术日新月异，新技术、新工艺不断涌现。这一重大变化，使我们意识到，作为培养高等应用型人才的高等院校，必须顺应时代发展的要求，及时调整人才培养目标和教学内容。为此，湖南人文科技学院联合新化县人民政府，共同组建了先进陶瓷现代产业学院，并于2022年12月被湖南省教育厅和工信厅认定为省级现代产业学院。我们在企业自编讲义的基础上，调整教学内容，及时将氧化铝陶瓷生产工艺发展的关键技术纳入教材，力争使我们培养的学生能够与时代同步，而且能够产学研结合，服务地方产业升级，为社会输送大批优秀的应用型工程技术人才和技能技术人才。

本教材以氧化铝陶瓷生产为主线，内容上突出职业能力优先的编写原则，先简单介绍了有关先进陶瓷以及计量等基础知识，然后按氧化铝陶瓷生产工艺进行介绍，贴近新化县陶瓷产业现状，着重介绍热压铸工艺和干压工艺，力求让学生由浅入深了解氧化铝陶瓷从制备到器件性能测试的全过程。

本教材可作为高等学校、中职院校相关专业学生和陶瓷企业员工培训教材，亦可供科研人员和工程技术人员参考。本教材在编写过程中参考了网络相关资料，得到了新化县先进陶瓷协会和新化陶瓷企业相关技术专家的大力支持，特别是刘国人老先生，为本书编著提供了大量原始资料，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足和疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编 者
2022年12月

C O N T E N T S

目 录

1 绪 论	1
1.1 陶瓷的概念与分类	1
1.2 陶瓷工艺技术及陶瓷生产工艺	5
1.3 特种陶瓷工业发展及其在国民经济中的地位	7
复习思考题	21
2 计量器具、量具与计量单位	22
2.1 计量器具的种类	22
2.2 计量器具的使用知识	24
2.3 量 具	27
2.4 计量单位	31
复习思考题	33
3 氧化铝陶瓷原料	34
3.1 氧化铝 (Al_2O_3) 粉	34
3.2 高岭土	35
3.3 滑 石	35
3.4 碳酸钙 (CaCO_3)	36
3.5 二氧化硅 (SiO_2)	37
3.6 油 酸	37
3.7 石 蜡	38
3.8 蜂 蜡	39
复习思考题	39
4 氧化铝陶瓷热压铸成型加工工艺	40
4.1 原料预处理	40
4.2 陶瓷资料配制料	41

4.3	过 筛	45
4.4	除 铁	45
4.5	搅 拌	46
4.6	成型前料浆的配制	46
4.7	陈 腐	47
4.8	注意事项	47
4.9	原料引起的常见缺陷和解决措施	47
4.10	热压铸成型	48
4.11	成型模具	56
	复习思考题	57
5	氧化铝陶瓷干压成型加工工艺	58
5.1	干粉压制陶瓷的粉料处理	58
5.2	陶瓷干压成型工艺	60
5.3	干压陶瓷模具设计与制造	66
5.4	干压模具损伤和压坏缺陷	74
	复习思考题	78
6	热压铸成型产品的排蜡	79
6.1	吸附剂的准备	79
6.2	梭式排蜡窑	80
6.3	推板窑(隧道窑)	80
6.4	装 钵	82
6.5	梭式窑装窑	82
6.6	梭式窑的烧窑排蜡	83
6.7	推板窑与隧道窑排蜡	83
6.8	清 刷	84
6.9	排蜡常见缺陷的产生原因和解决措施	84
	复习思考题	85
7	烧成工艺	86
7.1	坯体在烧成过程中的物理、化学变化	86
7.2	陶瓷的几种常见的烧成方法	87
7.3	窑 具	87

7.4 烧成窑炉	90
7.5 烧成工具与材料	90
7.6 烧成工艺过程	90
7.7 烧成缺陷分析	91
复习思考题	93
8 陶瓷后处理工序	94
8.1 陶瓷抛光	94
8.2 陶瓷金属化	96
8.3 陶瓷施釉	98
8.4 陶瓷机加工	100
8.5 陶瓷质量检测	100
复习思考题	102
参考文献	103
附 录	104
附录 A 电子元器件结构陶瓷材料 (GB/T 5593—2015)	104
附录 B 陶瓷行业职业道德	119

1 绪论

【本章学习要点】通过本章的学习，重点掌握陶瓷的概念和分类方法；了解陶瓷工艺技术和陶瓷生产基本工艺流程；了解陶瓷工业的发展和陶瓷在国民经济中的作用。

1.1 陶瓷的概念与分类

1.1.1 陶瓷的概念

陶瓷是人类生活和生产中不可缺少的材料之一。陶瓷制品的应用遍及人们的日常生活和电子、航空航天等高科技领域。陶瓷的生产发展，经历了由简单到复杂、由粗糙到特种、由低温到高温的过程。随着科学技术水平的提高和陶瓷材料的发展，陶瓷的概念含义所囊括的范围也发生了变化。从产品的种类上来说，陶瓷是陶器和瓷器两大类产品的总称。陶器通常有一定的吸水率，断面粗糙无光，不透明，敲之声音粗哑，有的无釉，有的施釉。瓷器则坯体致密，基本上不吸水，有一定的半透明性，通常都施有釉层（有些特种陶瓷并不施釉）。介于陶器和瓷器之间还有一类产品，坯体较致密，吸水率也小，但缺乏透明性，这类产品通称炻器，也称为半瓷，国内文献中也常称之为原始瓷器或石胎瓷。在传统概念中，“陶瓷”是以黏土、长石、石英等天然原料为主要原料，通过配料、粉磨、成型、干燥和烧成等工序制成的陶器、炻器和瓷器制品的通称，这些制品亦统称为“普通陶瓷”，如日用陶瓷、建筑卫生陶瓷、电瓷等。由于传统陶瓷的主要原料是硅酸盐矿物，所以陶瓷可归属于硅酸盐材料和制品。陶瓷工业与玻璃、水泥、耐火材料等工业同属“硅酸盐工业”的范畴。

随着科学技术的发展，出现了含有少量黏土等天然原料，或不含天然原料，而由化工原料和合成矿物，甚至是非硅酸盐、非氧化物原料，经过与传统陶瓷类似的配料、粉磨（混合）、成型和烧成等工序制成的制品，这些制品称为特种陶瓷，如氧化物陶瓷、氮化物陶瓷、压电陶瓷、金属陶瓷等。因此，现代“陶瓷”的概念是指用陶瓷的生产方法制造生产的无机非金属固体材料和制品的通称。

从结构上看，一般陶瓷制品是由结晶物质、玻璃态物质和气泡所构成的复杂系统。

这些物质在数量上的变化，对陶瓷的性质起着一定程度的影响。

1.1.2 陶瓷的分类

陶瓷制品种类繁多，目前国内外尚无统一的分类方法。从不同的角度出发，有不同的分类。较普遍的分类方法有两种：一是根据陶瓷的概念和用途分类；二是根据陶瓷的基本物理性能（如吸水率、透明性、色泽等）分类。此外，也有根据陶瓷所用原料或产品的组成分类的。

（1）按陶瓷的概念和用途分类：按这种分类方法可将陶瓷制品分为两大类，即普通陶瓷和特种陶瓷。

普通陶瓷即传统陶瓷，根据传统陶瓷使用领域不同，又可分为日用陶瓷、艺术陶瓷、建筑卫生陶瓷和工业陶瓷等。日用陶瓷，如餐具、茶具、缸、坛、盆、罐等；艺术陶瓷，如花瓶、雕塑品、陈设品等；建筑卫生陶瓷，如洁具、墙地砖、排水管等；工业陶瓷，如化工用陶瓷、化学瓷、电瓷等。特种陶瓷分为高温结构陶瓷、功能陶瓷、生物陶瓷和原子能陶瓷。高温结构陶瓷，如氧化铝陶瓷、氧化锆陶瓷、氮化硅陶瓷、碳化硅陶瓷等；功能陶瓷，如敏感陶瓷、导电陶瓷、超导陶瓷、铁电陶瓷等。

（2）按陶瓷的基本物理性能分类：按这种分类方法可将陶瓷制品分为陶器、炆器和瓷器。陶器分为粗陶器、普通陶器和精陶器；炆器分为粗炆器和细炆器；瓷器分为普通瓷器和特种瓷器。

此外，在日用陶瓷和特种陶瓷中也较为普遍地根据陶瓷所用原料或产品的组成，将日用陶瓷分为长石质瓷、绢云母质瓷、滑石质瓷、骨灰质瓷等；高温结构陶瓷分为氧化铝陶瓷、氧化锆陶瓷、氮化硅陶瓷、碳化硅陶瓷等。

1.1.3 先进陶瓷的分类

先进陶瓷按功能和用途可以分为绝缘装置陶瓷、电容器陶瓷、铁电/压电陶瓷、半导体陶瓷和快离子陶瓷。

1. 绝缘装置陶瓷

绝缘装置陶瓷，具有优良的电绝缘性能，用于电子设备和器件中的结构件、基片和外壳等的电子陶瓷。绝缘装置瓷件包括各种绝缘子、线圈骨架、电子管座、波段开关、电容器支柱支架、集成电路基片和封装外壳等。

2. 电容器陶瓷

电容器陶瓷是指用作电容器介质的电子陶瓷，这类陶瓷用量最大、规格品种也最多，主要有高频、低频电容器陶瓷，半导体电容器陶瓷和片式多层陶瓷电容器（MLCC）。高频电容器陶瓷属于Ⅰ类电容器陶瓷，主要用于制造高频电路中的高稳定性陶瓷电容器和温度补偿电容器。构成这类陶瓷的主要成分大多是碱土金属或稀土金属的钛酸盐和以钛酸盐为基的固溶体。

MLCC 是由印好电极（内电极）的陶瓷介质膜片以错位的方式叠合起来，经过一次性高温烧结形成陶瓷芯片，再在芯片的两端封上金属层（外电极），从而形成一个类似独石的结构体，故也叫独石电容器。MLCC 是电容器市场中最为主流的产品，是全球市场占有率最高的电容器产品。目前，全球主要的 MLCC 生产国包括日本、韩国、美国和中国。日本的主要生产企业有村田、京瓷、太阳诱电以及电气化学 TDK 等。国内 MLCC 生产企业主要是风华高科、三环集团、深圳宇阳科技等。

3. 铁电/压电陶瓷

铁电陶瓷是以铁电性晶体为主晶相的电子陶瓷，已发现的铁电晶体不下千种，但作为铁电陶瓷的主晶相主要有钙钛矿或准钙钛矿型的铁电晶体或固溶体。在一定的温度范围内晶体中存在着可随外加电场而转变方向的自发极化，这就是晶体的铁电性。铁电陶瓷功能多、用途广，利用其压电特性可以制成压电器件，这是铁电陶瓷的主要应用，因而常把铁电陶瓷称为压电陶瓷。

压电陶瓷在功能陶瓷范围中占有极其重要的地位，常用的压电元件有：传感器、驱动器、报警器、音响设备、医疗诊断设备等。压电陶瓷作为敏感材料时，可制作压电地震仪，从而有效预测地震，减少损失；利用压电效应制作的压电驱动器是微电子、精密机械和生物工程等领域的重要器件。当压电陶瓷用作超声波发射器时，可用于海洋探测、水中导航、超声清洗、医学成像以及固体探伤、超声疾病治疗等方面。利用压电陶瓷蜂鸣器、超声显微镜、压电换能器、压电点火器等可用来做遥测和遥控系统。此外，压电陶瓷还在精密仪器、自动控制航天航空、办公自动化、微型机械系统、精密定位等领域具有广泛的应用。

4. 半导体陶瓷

半导体陶瓷是指采用陶瓷工艺成型的多晶陶瓷材料，它与单晶半导体不同，存在大量晶界，晶粒的半导体化也是在烧成工艺过程中完成的。半导体陶瓷品种繁多，比如热敏、湿敏、气敏、压敏及光敏电阻器等。半导体陶瓷除了氧化物陶瓷、氮化物陶瓷、碳化物陶瓷等由一种化合物构成的单相陶瓷以外，还有由两种或两种以上的化合物构成的复合陶瓷。

热敏电阻元件被广泛应用于工业电子设备及家用电器产品中，其中正温度系数(PTC)热敏电阻陶瓷材料应用领域十分广阔。PTC 热敏电阻陶瓷材料目前主要是钛酸钡，利用其特性可以作为自控型发热元件，还可用作对特定温度敏感的元素，以及延时开关、过流保护、测温等方面的元件；湿敏陶瓷由金属氧化物组成，如 SnO_2 、 ZrO_2 基等，湿度传感器在电子、食品、纺织工业及各种空调设备、集成电路内非破坏性湿度检测等场合应用十分广泛；压敏陶瓷是一类应用极为广泛的敏感材料，主要应用在超导移能、高压稳压、无间隙避雷器等方面。

5. 快离子陶瓷

快离子陶瓷即快离子导电的电子陶瓷，具有快速传递正离子的特性，其典型代表是

β - Al_2O_3 ，它具有很多不同于电子导体的用途。例如，在固体电子器件及各种电池的隔膜材料中应用，其中已实用化的有常温一次电池、燃料电池、蓄电池、库仑计、气敏传感器、可变电阻器、电积分器、双层电容器等。

6. 高压陶瓷

超、特高压交直流用棒形支柱绝缘子和瓷套（空心绝缘子）是超、特高压交直流电网输变电用的关键元件。

7. 光纤陶瓷插芯

光纤陶瓷插芯是光纤连接器的核心部件，广泛应用于通信、局域网、光纤到户、高质量视频传输、光纤传感、测试仪器仪表等。

8. 燃料电池隔膜板

燃料电池隔膜板是固体氧化物燃料电池的核心部件，其主要作用是在阴极与阳极之间传递氧离子和对燃料及氧化剂进行有效隔离。

9. 微波介质陶瓷

微波介质陶瓷，是指应用于微波频段电路中作为介质材料并完成一种或多种功能的陶瓷材料。微波介质陶瓷作为一种新型电子材料，具有高介电常数、低介电损耗、温度系数小等优良性能，在现代通信中被用作谐振器、滤波器、介质基片、介质天线、介质导波回路等，广泛应用于微波技术的许多领域，如移动电话、汽车电话、无绳电话、电视卫星接收器、卫星广播、雷达、无线电遥控等。

1.1.4 先进陶瓷的应用前景

1. 3C 电子领域

近年来，集计算机、通信、消费类电子于一体的数字 3C 产品得到了快速发展。3C 产业的高速发展，极大地推动了电子基础产品和元器件的同步协调发展，也为电子元器件的基础材料——信息功能陶瓷提供了良好的发展机遇。

2. 5G 基站领域

陶瓷插芯的主要应用领域为光纤连接器（72%）、其他光无源器件（25%）、光有源器件（3%）。与其他光纤插芯材质如氧化铝、玻璃、模塑等相比，光纤陶瓷插芯与石英光纤热匹配性更好，理化性能更稳定，因此成为主流材质。光纤陶瓷插芯的主要应用领域包括基站建设、光纤到户、IDC（互联网数据中心）搭建等。

微波介质陶瓷滤波器具有高 Q 值、低插损、高介电、小尺寸、轻量化和低成本的优势，有望成为 5G 基站主流解决方案。随着 5G 商用的推进，5G 基站建设也将迎来建设高峰，据预测，5G 基站数目将是 4G 基站的 1.5 倍，这一领域的需求将迅速带动光纤陶瓷插芯、陶瓷介质滤波器的市场增长。

1.1.5 先进陶瓷的发展趋势

1. 器件微型化

随着移动通信和卫星通信的迅速发展，对器件小型化、微型化的要求越来越迫切，而电子元器件特别是大量使用的以电子陶瓷材料为基础的各类无源元器件，是实现整机小型化、微型化的主要瓶颈。目前，元器件研究开发的一个重要目标是微型化、小型化，其市场需求也非常大。片式化功能陶瓷元器件占据了当前电子陶瓷元器件的主要市场，如片式电感类器件、片式压敏电阻、片式多层热敏电阻、多层压电陶瓷变压器等。

2. 技术集成化

多种技术的集成化是电子陶瓷材料制备技术的新发展趋势，比如纳米陶瓷制备技术及纳米级陶瓷原料、快速成型及烧结技术、湿化学合成技术等都为开发高性能电子陶瓷材料打下了基础。随着陶瓷材料多功能化、高集成化、全数字化和低成本方向发展，很大程度上推动了电子元器件的小型化、功能集成化、片式化和低成本及器件组合化的发展进程。

3. 功能复合化

在激烈的信息市场竞争中，单一性能的电子陶瓷器件逐渐失去了竞争力，利用陶瓷、半导体及金属结合起来的复合电子陶瓷是开发各种电子元器件的基础，它是发展智能材料和机敏材料的有效途径，同时也为器件与材料的一体化提供了重要的技术支持。

4. 产品高频化

移动通信和远距离通信技术的快速发展，对微波陶瓷介质材料及其微波谐振器、微波滤波器、微波电容器等提出了广阔的市场需求，高频化是数字 3C 产品发展的必然趋势。

5. 环保无害化

近年来，随着人类社会的可持续发展以及环境保护的需求，发达国家致力研发的热点材料之一就是新型环境友好的电子陶瓷。例如，压电陶瓷均含有大量的铅，制造过程会导致环境污染，为了减少污染，国内外科研人员开展了无铅系压电陶瓷的研究。

先进陶瓷具有硬度高、耐磨损、断裂韧性高等优点，广泛应用于 3C 电子、机械、光通信、化工、医疗、航空、汽车等领域。电子陶瓷在小型化和便携式电子产品中占有十分重要的地位，近年来，我国在电子陶瓷材料的研究与产业化方面有很大发展，但总体来看，我国电子陶瓷的发展水平与发达国家相比仍存在很大差距，因此，积极进行电子陶瓷的研究开发具有非常重要的意义。

1.2 陶瓷工艺技术及陶瓷生产工艺

陶瓷工艺技术包括由陶瓷原材料到制成陶瓷制品的整个工艺过程中的技术及其基本原理。随着陶瓷生产技术的进步，陶瓷工艺技术作为一门应用科学，也广泛汇集了生产

经验和科学技术理论，逐步得到发展。在陶瓷工业中，各种陶瓷制品，如日用陶瓷、建筑卫生陶瓷、化工陶瓷、生物陶瓷等生产工艺都有其独特之处，其工艺知识还需参考专门的资料，本书针对目前新化县电子陶瓷工艺发展现状，主要介绍氧化铝陶瓷热压铸成型制品的基本生产过程和基本原理。

氧化铝陶瓷热压铸成型制品的基本生产工艺过程有：原料选定（进厂）、配料、制备、成型、排蜡、烧成、精加工等工序。

陶瓷工业是硅酸盐工业的主要分支之一，属于无机化学工业范围。但现代科学高度综合，互相渗透，从整个陶瓷工业制造工艺技术的内容来分析，它的错综复杂与牵涉之广，显然不是仅用无机化学的理论能概括的。因此，学习陶瓷工艺技术首先应学好基础科学和专业基础课程，广泛吸收新的理论知识、新的科学技术和先进经验。同时，更重要的是重视在生产一线的实习、实践环节。在学习陶瓷工艺技术前，要通过参观认识实习，对陶瓷生产工艺有一个基本认识。

图 1-1 示出了氧化铝特种陶瓷生产湿法工艺流程。由于各厂或各地区使用的原料特性和设备有差异，所以，这些陶瓷制品的生产工艺也会略有不同。只有在掌握了生产工艺技术和基本原理，并在实际工作中勤于实践，自身的工艺技术水平才能不断提高，才能真正掌握本厂或本地区陶瓷原材料的特性和陶瓷生产工艺技术，解决陶瓷生产过程中出现的由各种因素引起的实际工艺问题。

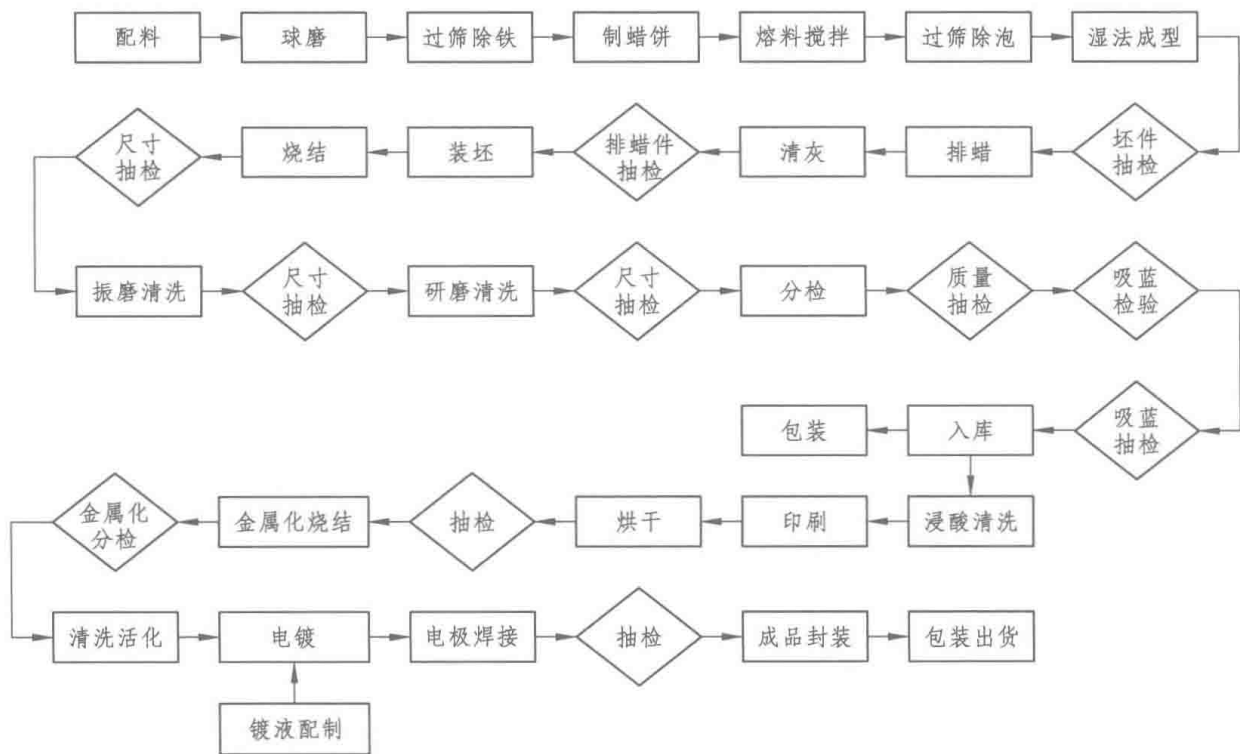


图 1-1 氧化铝特种陶瓷生产湿法工艺流程

1.3 特种陶瓷工业发展及其在国民经济中的地位

1.3.1 国外特种陶瓷材料产业发展现状

1905年，德国人率先开始了氧化铝刀具的研究。1912年，首款氧化铝陶瓷刀具率先由英国人发明。20世纪20年代后期，特种陶瓷材料逐步走进研究人员的研究视线。从最初的主要用于军事领域的结构陶瓷发展到军事、民用结构陶瓷、功能陶瓷的研究；从最初偏重陶瓷材料的制备发展到对陶瓷粉体、显微结构的系统分析，特种陶瓷材料的种类和应用在各领域取得了重大突破。20世纪60年代，美国材料顾问委员会对材料制备领域进行了调研，得出的重要结论是：“为了实现材料均匀的、可重复的无缺陷显微结构，提高材料性能的可靠性，陶瓷制备科学研究十分必要。”20世纪70年代以陶瓷发动机为背景，各国竞相加大了对陶瓷材料研究与开发的投入，对特种陶瓷材料的研究取得了长足的进步。从技术上讲，陶瓷材料已经能够基本满足各种苛刻条件下（包括陶瓷发动机部件在内）使用的要求，陶瓷材料的研究转向材料性能稳定性、结构与功能性一体化、低成本制备工艺等方面，各国仍在继续增加对陶瓷材料的研究与投入。进入21世纪以来，各国竞相开发不同陶瓷材料在不同领域的应用，随着装备水平的提高，通过不断的实验、研究和质量控制等成功实现了陶瓷材料产品的批量化稳定生产与制备。

从材料产业上讲，特种陶瓷已形成一个巨大的高技术产业，目前全球各类特种陶瓷材料及其产品的市场销售总额超过500亿美元，年增长率达8%。据统计，2021年全球特种陶瓷市场规模达到3818亿元，其中先进结构陶瓷为1067亿元，占比28%。美国、法国、德国与日本在该领域整体上处于领先地位，而欧洲其他国家、韩国、中国正从不同的研究领域展现出各自的优势。

1. 美国

近50年来，美国在特种陶瓷领域的研究工作取得了一系列突破，推动了陶瓷技术的快速发展，对经济和社会发展也产生了深远的影响。1994年，美国政府在特种陶瓷研究方面增加了15%的科研预算，旨在强化国际竞争能力、保护环境。1998年，美国特种陶瓷市场总份额接近75亿美元。从20世纪90年代后期一直到2000年，美国特种陶瓷市场销售额稳步发展，年平均增长率达到8%。进入2001年，随着美国经济进入衰退，特种陶瓷的市场需求大大缩水。2003—2007年，随着美国经济的复苏，先进陶瓷材料产业的市场需求出现反弹，年增长率达到7%，先进陶瓷市场销售额超过110亿美元。2012年，先进陶瓷产业的市场销售额突破126亿美元。

美国特种陶瓷发展的重点为高温结构陶瓷，结构陶瓷产量的增速最快，每年增加13.5%，目前在航天技术、汽车、航空器、核工程、医疗设备及机械动力等方面进入大范围使用阶段。以氮化硅、碳化硅、氧化锆陶瓷为主的精密材料陶瓷制品产量占世界总量的60%以上。美国生产的陶瓷轴承工作温度高达1300℃，其工作强度为普通金属轴承

的 5 倍以上。美国研制的生物陶瓷产品也已大量用于骨骼修复、瓷牙修补的临床应用。目前,美国先进陶瓷工业界还加紧军用先进陶瓷的研制开发,逐步加强在军事领域的应用。

2. 日 本

自 20 世纪 80 年代以后,日本在材料科学领域一直走在世界的前列,特别是在特种陶瓷材料方面占有领先、突出的地位。尽管日本和欧美乃至中国在传统陶瓷材料研究方面水平相差并不大,但在新型陶瓷材料的产业方面,日本在世界上占有领先的优势。

日本是世界上特种陶瓷最大的生产者,到 2000 年,陶瓷产量增长 42%,而到 2005 年增加 74%。2000 年,日本陶瓷产业的产值占据了整个日本传统产业的 50%,先进陶瓷市场成为这一领域的领头羊。根据统计数据,2019 年日本先进陶瓷市场规模达到了 5000 亿日元(约合 40 亿美元),预计到 2025 年将达到 6500 亿日元(约合 53 亿美元)。与美国对比,日本先进陶瓷在功能陶瓷领域的研究首屈一指,结构陶瓷及陶瓷粉体的研究与应用具有较强的竞争优势。

日本近年来一直将特种陶瓷看作是决定未来竞争力前途的高科技产业,不遗余力地不断加大投资力度。其生产的先进陶瓷敏感元件已占据国际市场主要份额,包括热敏、压敏、磁敏、气敏、光敏等在内的各种先进陶瓷产品占据着一大部分市场。日本正在试验高性能陶瓷电池,它是采用固态陶瓷材料代替酸性电解液,重量^①较传统电池减轻 2/3,且污染小,尤其适用于汽车及航空航天工业。

3. 欧 盟

欧盟各国以功能陶瓷和高温结构陶瓷为主要研究对象,目前研究的重点为发电设备中应用的新型材料技术,如陶瓷活塞盖、排气管里衬、涡轮增压转子及燃气轮转子等。此外,欧盟部分国家在先进陶瓷机械、装备方面优势明显。

4. 俄罗斯、乌克兰

俄罗斯、乌克兰两国在先进陶瓷的研究开发和生产方面,基础扎实,设施齐全。在结构陶瓷和陶瓷基复合材料方面,不论是氧化物陶瓷、非氧化物陶瓷、复相陶瓷还是陶瓷基复合材料,如氧化铝、莫来石、氮化硅、氮化铝、氮化硼以及石英-石英复合材料、碳-碳复合材料、各类晶须、纤维补强增韧的陶瓷基复合材料,不但在实验室研制成功,而且已开发成有明确应用目的的制品,相当一部分已投入商业生产。

1.3.2 我国特种陶瓷材料产业发展现状

我国在 20 世纪 50 年代初以研究氧化铝陶瓷刀具为切入点,开始从事特种陶瓷材料的研究。20 世纪 60 年代开始碳化硅陶瓷及压电陶瓷、铁电陶瓷的研究;20 世纪 60 年代

注:① 实为质量,包括后文的称重、比重、皮重、自重等。因现阶段我国陶瓷行业的科研和生产实践中一直沿用,为使读者了解、熟悉行业实际情况,本书予以保留。——编者注

中期开始氮化硅和碳化硅陶瓷的研究，为我国先进耐火材料的研究奠定了良好的基础；20世纪70年代，随着国际上先进陶瓷跨越式的发展，国内诸多高校和科研院所开始重视先进陶瓷材料的研究，取得了一系列创新性成果。20世纪末，我国独创性地将纤维补强陶瓷基复合材料应用于战略导弹和各类卫星天线窗的保护框上，这是国际上纤维补强陶瓷基复合材料的首次实际应用。我国在所有先进陶瓷材料领域进行研究、开发和生产，自20世纪80年代，以发动机用陶瓷零部件的研制为契机，研制成功了一系列新的陶瓷材料，并在特种陶瓷的应用方面也取得了令人瞩目的成绩。普通电子陶瓷和结构陶瓷如IC基板、电容、电阻、电感、磁性材料、蜂鸣、滤波器等压电陶瓷无线电频率元件，中铝瓷、高铝瓷、电真空瓷、纺织瓷件、电熔石英、电熔刚玉等，在我国已能大批量生产，产品质量稳定，占领了一定的国际市场。但大部分产品仍以价格优势提升竞争力，有待进一步提升产品的技术附加值。1990年，我国研制成功的无水冷陶瓷发动机装在大客车中完成了上海到北京往返3500 km的道路试车。以高温超导陶瓷为代表的诸多技术在尖端高新技术陶瓷的理论研究和实验水平处于世界先进行列。

虽然我国在特种陶瓷材料开发上取得了长足的进步，与国际先进陶瓷领域领先的国家距离进一步缩小，但仍缺乏批量化、低成本、高效制备优质先进陶瓷材料的先进技术、装备和管理水平。我国先进陶瓷材料的开发大都是结合国防和国民经济的需要，具有独立的技术特色。然而，纵观我国特种陶瓷领域的发展现状，国内特种陶瓷材料在各领域内的应用总的来说与发达国家相比还有明显的差距，特别是技术和产业化方面，满足不了国民经济迅速发展的需求。在全球数百亿美元的先进陶瓷年销售额中，我国销售额仅占1%~2%。因而，目前世界最先进的高附加值的特种陶瓷产品，特别是高端装备中大量的陶瓷元件仍需进口，如手机中使用的片式压电陶瓷滤波器、风力发电机陶瓷绝缘轴承和高端超细纳米粉体等。

1.3.3 新化县先进陶瓷产业发展历史与现状

新化县陶瓷历史悠久。中华人民共和国成立初期，洋溪人邹华新响应政府号召，将其私营的华新瓷厂与政府进行公私合营，在新化县上梅镇（原城关镇）成立了新化县华新瓷厂，生产日用陶瓷。20世纪60年代新化县华新瓷厂发展成为湖南规模较大的日用陶瓷生产厂家，在国内外享有盛誉。20世纪60年代末为支撑我国“两弹一星”研发，新化县华新瓷厂成立以袁发仁、曾敬威、何维新、邹新海、李惠娟、刘伯勋、李文亮为骨干的研发小组，主攻“95瓷集成电路扁平封装器件”“扬声器压电陶瓷”的研发试制工作。1970年1月，研发小组从新化县华新瓷厂分离出来，正式成立新化县无线电器材厂。1970年5月7日，委派曾敬威、何维新、邹新海、李惠娟、刘伯勋、李文亮6人前往第四工业机械部进行培训学习。1970年7月，研发出电子管隔板（805部件），1971年研发出95瓷集成电路扁平封装器件，并成功应用于东方红人造卫星，获中央军委的嘉奖。1975年，新化县无线电器材厂以50余名员工创造出500多万元人民币的利润佳绩，荣获四机

部“红管家”先进称号。电子陶瓷成为新化县的主要产业。20世纪80年代初至90年代，新化县城关镇（现上梅街道）连续14年被评为湖南省镇街工业第一名。

特种陶瓷是新化县的传统支柱产业，是20世纪60年代为支撑我国“两弹一星”研发而发展起来的新材料产业，至今已有60余年历史。目前初步形成了集特种陶瓷生产、模具制造、技术开发、检验检测、产品营销、新材料制造于一体的特种陶瓷产业集群，产品涵盖了电光源系列、温控陶瓷系列、金属化瓷器系列、电路板系列、保险管瓷管系列、新能源系列、多孔陶瓷系列、水阀片陶瓷系列13大系列一万余个品种。很大一部分产品有独特的陶瓷配方和生产工艺，具有行业核心竞争优势，具备了人才、技术、质量、市场、资源等各方面的良好发展条件，是新化县最具发展潜力的特色产业。2021年，全县有先进陶瓷企业233家，其中，国家高新技术企业39家，从业人员3.6万余人，年产值135.6亿元，占全县工业总产值的46.8%（其中，新化县高新区园区先进陶瓷产值85.96亿元，占63.4%）。

随着新化县先进陶瓷产业的不断创新发展，产品市场也得到了不断扩张。目前，新化县温控器陶瓷系列产品在全国占有80%以上的市场份额，放电管用金属化瓷管、保险管瓷管在全国占有70%以上的市场份额，水阀片系列产品占有国内市场份额的90%以上，部分产品被广泛应用于我国高铁、新能源汽车和航空航天等高精尖领域，并有部分产品远销亚太、美洲和欧洲，市场前景十分广阔。

近年来，应我国加快转变发展方式、转换发展动力的政策要求，新化县又着力推进先进陶瓷产业的集聚发展、创新发展和转型升级发展，加大了对特种陶瓷新技术、新产品的研发应用力度，加强了对特种陶瓷知识产权的重视和投入，与清华大学、天津大学、国防科技大学、湖南大学、中南大学、中科院上海硅酸盐研究所、中国电子科技集团第十二研究所、中材高新材料股份有限公司和山东工业陶瓷研究院等知名高校、科研院所和企业开展产学研企合作，组建成立了湖南省特种陶瓷产业技术创新战略联盟。目前，新化县拥有湖南省电子功能陶瓷工程技术研究中心1个，湖南省智能制造示范车间2个，湖南省两型工业企业2家，湖南省工业质量标杆企业2家，国家知识产权优势企业1家。

在各级政府的推动与领导下，新化县先进陶瓷公共研发平台、集中排蜡与高温烧结平台、检验检测平台、科技企业孵化器等行业公共服务平台日趋完备。2020年，新化县电子陶瓷产业服务中心已正式投入运营，成功入围湖南省先进制造业集群培育发展对象的17个产业集群促进服务机构；2021年6月15日，新化县人民政府、湖南人文科技学院和新化县楚怡工业学校举行了先进陶瓷现代产业学院合作签约、揭牌仪式；2022年12月，先进陶瓷现代产业学院获批成为省级现代产业学院（图1-2）。先进陶瓷现代产业学院的成立将为湘中地区乃至湖南全省先进陶瓷产业提供充足的人才保障，极大地推动产业科技创新发展，提升企业科技创新能力。