

M 高等学校规划教材
材料科学与工程系列

无机非金属材料工艺学

Inorganic Nonmetallic Materials Technology

主 编 张巨松
主 审 李秋义

交叉性 前沿性 融合相关学科 代表材料领域的发展方向
先进性 科学性 院士专家著书 反映材料科学的最新成果
可读性 广交性 内容丰富翔实 促进材料工程的应用实践

哈尔滨工业大学出版社

高等学校规划教材

材料科学与工程系列

无机非金属材料工艺学

主 编 张巨松

副主编 赵家林 丁向群 巴学巍 杨 合

主 审 李秋义

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书由6章组成,在简要介绍无机非金属材料工业发展过程的基础上,系统介绍了无机非金属材料组成与生产工艺,传统无机非金属材料四大工艺原理与方法,即水泥工艺、混凝土工艺、玻璃工艺、陶瓷工艺,以及无机非金属材料行业的节能与环境保护,同时介绍了无机非金属材料及工艺技术标准(规范)和无机非金属材料工艺的最新进展,附录列举了常用无机非金属材料产品及工艺标准。

本书既可作为高等院校无机非金属材料工程专业本科生教材,又可作为本行业工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

无机非金属材料工艺学/张巨松主编. —哈尔滨:

哈尔滨工业大学出版社,2010.8

(材料科学与工程系统)

ISBN 978-7-5603-3058-7

I. 无… II. ①张… III. ①无机材料:非金属材料—
工艺学 IV. ①TB321

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 146815 号

责任编辑 许雅莹

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街10号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 22 字数 549千字

版 次 2010年8月第1版 2010年8月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-3058-7

印 数 1~3 000

定 价 33.00元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

本书是根据教育部面向 21 世纪材料类专业课程体系改革的要求,重点培养学生掌握无机非金属材料工艺学方面的基本概念、基本原理。把强调无机非金属材料与工艺之间的关系,作为全书的第 1 章加以讨论,这样将彼此独立的工艺分开编写,增加了全书的系统性。

无机非金属材料行业随着近年来能源与环境危机而面临着新的挑战,为此本书在讨论具体工艺之后单独设一章讨论无机非金属行业的节能与环保,强化了节能和环保是工艺学的一个重要方面,能耗与环境影响程度是评价新工艺的重要因素。

本书还介绍了无机非金属材料及工艺技术标准(规范)的基本知识,介绍各种无机非金属材料及工艺时,强调了标准规范的作用,注意培养学生的法规观念,为方便学习在附录中列举了常用无机非金属材料产品及工艺技术标准(规范);且全书采用了法定计量单位及当前最新的技术规范,使学生获得最新知识。

本书由沈阳建筑大学张巨松教授主编,青岛理工大学李秋义教授主审。编写工作分工如下:张巨松编写绪论、2.7.1、2.7.2、4.6、5.7,辽东学院王宝权编写第 1 章、孙蓬编写 3.1,沈阳建筑大学城建学院陈苗编写 3.2,牡丹江大学鞠成编写 3.3,辽宁石油大学安会勇编写 3.4、3.5,辽宁科技大学职业技术学院孙恩禹编写 3.6,齐齐哈尔大学赵家林编写第 2 章(除 2.7),沈阳建筑大学丁向群编写第 4 章(除 4.6),齐齐哈尔大学巴学巍编写第 5 章(除 5.7),东北大学杨合编写第 6 章,中国建材研究院陈智丰编写 2.7.3。全书由张巨松统稿。

由于时间仓促,书中难免有疏漏和不足之处,恳请读者及专家给予指正并提出宝贵意见。

作 者

2010 年 5 月

目 录

CONTENTS

绪 论	(1)
0.1 定义与分类	(1)
0.2 无机非金属材料工业的发展	(8)
0.3 无机非金属材料在现代化建设中的作用	(12)
第1章 材料组成与生产工艺	(13)
1.1 材料组成与结构	(13)
1.2 材料工艺	(19)
第2章 水泥工艺	(27)
2.1 破碎	(27)
2.2 均化	(35)
2.3 干燥	(48)
2.4 粉磨	(52)
2.5 烧成	(64)
2.6 冷却	(87)
2.7 典型水泥生产工艺	(91)
第3章 混凝土工艺	(98)
3.1 搅拌	(98)
3.2 密实成型	(103)
3.3 养护	(118)
3.4 钢筋混凝土配筋	(129)
3.5 预应力混凝土配筋	(135)
3.6 典型混凝土工艺	(147)
第4章 玻璃工艺	(162)
4.1 原料的加工	(162)
4.2 配合料的制备	(167)
4.3 玻璃的熔制	(174)

4.4	玻璃的成型	(195)
4.5	玻璃的退火和淬火	(212)
4.6	其他玻璃工艺	(222)
第5章	陶瓷工艺	(234)
5.1	坯料和釉料的配料	(234)
5.2	坯料制备	(236)
5.3	成型	(240)
5.4	坯体的干燥	(252)
5.5	釉料制备与施釉	(256)
5.6	烧成	(262)
5.7	典型陶瓷工艺	(277)
第6章	节能与环境保护	(282)
6.1	节能	(282)
6.2	大气污染控制	(288)
6.3	水污染控制	(310)
6.4	固体废弃物处置	(318)
6.5	噪声污染及其防治	(327)
附录:	常用无机非金属材料产品及工艺标准(规范)	(333)
参考文献	(342)

绪 论

0.1 定义与分类

无机非金属材料(inorganic nonmetallic materials)是以某些元素的氧化物、碳化物、氮化物、卤素化合物、硼化物以及硅酸盐、铝酸盐、磷酸盐、硼酸盐等物质组成的材料,是除有机高分子材料和金属材料以外的所有材料的统称,是与有机高分子材料和金属材料并列的三大材料之一。无机非金属材料是20世纪40年代以后,随着现代科学技术的发展从传统的硅酸盐材料演变而来的。

在晶体结构上,无机非金属的晶体结构远比金属复杂。没有自由的电子,并且具有比金属键和纯共价键更强的离子键和混合键。这种化学键所特有的高键能、高键强赋予了这一大类材料以高熔点、高硬度、耐腐蚀、耐磨损、高强度和良好的抗氧化性等基本属性,以及宽广的导电性、隔热性、透光性及良好的铁电性、铁磁性和压电性。

无机非金属材料品种和名目极其繁多、用途各异,目前还没有一个统一而完善的分类方法,通常把它们分为普通的(传统的)和先进的(新型的)两大类。传统的无机非金属材料是工业和基本建设所必需的基础材料,如水泥是一种重要的建筑材料;耐火材料与高温技术,尤其与钢铁工业的发展关系密切;各种规格的平板玻璃、仪器玻璃和普通的光学玻璃以及日用陶瓷、卫生陶瓷、建筑陶瓷、化工陶瓷和电瓷等与人们的生产、生活休戚相关。其他产品,如搪瓷、磨料(碳化硅、氧化铝)、铸石(辉绿岩、玄武岩等)、碳素材料、非金属矿(石棉、云母、大理石等)也都属于传统的无机非金属材料。它们产量大,用途广。新型无机非金属材料是20世纪中期以后发展起来的,是具有特殊性能和用途的材料。它们是现代新技术、新产业、传统工业改造、现代国防和生物医学不可缺少的物质基础,主要有先进陶瓷(advanced ceramics)、非晶态材料(non-crystal materials)、人工晶体(artificial crystal)、无机涂层(inorganic coating)、无机纤维(inorganic fibre)等。

传统无机非金属材料一般分为水泥、混凝土、玻璃、陶瓷、耐火材料等几部分。

0.1.1 水泥

水泥是加水拌和成塑性浆体,能胶结砂、石等材料,既能在空气中硬化又能在水中硬化的粉末状水硬性胶凝材料。

水泥按主要水硬性物质名称分为:硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥、氟铝酸盐水泥、铁铝酸盐水泥、火山灰或潜在水硬性材料及其他活性材料为主要组分的水泥等。按主要技术特性分为:快硬性,分为快硬和特快硬两类;水化热,分为中热和低热两类;抗硫酸盐性,分中抗硫酸盐腐蚀和高抗硫酸盐腐蚀两类;膨胀性,分为膨胀和自应力两类;耐高温性铝酸盐水泥的耐高温性以水泥中氧化铝的质量分数分级。

水泥按用途和性能分类见表 0.1。

表 0.1 常用水泥的定义、性能及用途

通用水泥	硅酸盐水泥	由硅酸盐水泥熟料、0% ~ 5% 石灰石或粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为硅酸盐水泥,即国外通称的波特兰水泥,代号分为 P. I 和 P. II
	普通硅酸盐水泥	由硅酸盐水泥熟料、6% ~ 15% 混合材料,适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为普通硅酸盐水泥(简称普通水泥),代号为 P. O
	矿渣硅酸盐水泥	由硅酸盐水泥熟料、粒化高炉矿渣和适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为矿渣硅酸盐水泥,代号为 P. S
	火山灰质硅酸盐水泥	由硅酸盐水泥熟料、火山灰质混合材料和适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为火山灰质硅酸盐水泥,代号为 P. P
	粉煤灰硅酸盐水泥	由硅酸盐水泥熟料、粉煤灰和适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为粉煤灰硅酸盐水泥,代号为 P. F
	复合硅酸盐水泥	由硅酸盐水泥熟料、两种或两种以上规定的混合材料和适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为复合硅酸盐水泥(简称复合水泥),代号为 P. C
专用水泥	油井水泥	由适当矿物组成的硅酸盐水泥熟料、适量石膏和混合材料等磨细制成的适用于一定井温条件下,油、气井固井工程用的水泥
	砌筑水泥	凡有一种或一种以上的水泥混合材料,加入适量硅酸盐水泥熟料和石膏,经磨细制成的工作性较好的水硬性胶凝材料,称为砌筑水泥,代号为 M
	道路水泥	由道路硅酸盐水泥熟料,0% ~ 10% 活性混合材料和适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为道路硅酸盐水泥(简称道路水泥),代号为 P. R
特性水泥	低热矿渣硅酸盐水泥	以适当成分的硅酸盐水泥熟料,加入粒化高炉矿渣、适量石膏,磨细制成的具有低水化热的水硬性胶凝材料,称为低热矿渣硅酸盐水泥(简称低热矿渣水泥),代号为 P. SLH
	抗硫酸盐硅酸盐水泥	以特定矿物组成的硅酸盐水泥熟料,加入适量石膏,磨细制成的具有抵抗中等(较高)浓度硫酸根离子侵蚀的水硬性胶凝材料,称为中(高)抗硫酸盐硅酸盐水泥,简称中(高)抗硫酸盐水泥,代号为 P. MSR(P. HSR)
	白色硅酸盐水泥	由氧化铁含量少的硅酸盐水泥熟料、适量石膏及标准规定的混合材料,磨细制成水硬性胶凝材料,称为白色硅酸盐水泥(简称“白水泥”),代号为 P. W

0.1.2 混凝土

混凝土是用胶凝材料(无机的、有机的或有机无机复合的)将骨(集)料胶结成整体的复合固体材料的总称。由水泥、颗粒状集料、水以及化学外加剂和掺和材料(矿物外加剂)按适当

比例配合,经均匀搅拌、密实成型和养护硬化而成的人工石材称为水泥混凝土。混凝土及水泥混凝土的分类见表 0.2 和表 0.3。

表 0.2 混凝土的分类

分 类		名 称	特 性
按胶结分类	无机胶结	水泥类	水泥混凝土 以硅酸盐水泥及各系列水泥为胶结材料,可用于各种混凝土结构
		石灰类	硅酸盐混凝土(石灰混凝土) 以石灰、火山灰等活性硅酸盐或铝酸盐与消石灰的混合物为胶结材
		石膏类	石膏混凝土 以天然石膏或工业废料石膏为胶结材,可作天花板及内隔墙等
		硫磺	硫磺混凝土 硫磺加热融化,然后冷却硬化,可作粘结剂及低温防腐层
		水玻璃	水玻璃混凝土 以钠水玻璃或钾水玻璃为胶结材,可作耐酸结构
		碱矿渣类	碱矿渣混凝土 以磨细矿渣及碱溶液为胶结材,是一种新型混凝土,可作各种结构
	有机胶结	沥青类	沥青混凝土 用天然沥青或人造沥青为胶结材,可作路面及耐酸、耐碱地面
		合成树脂+水泥	聚合物水泥混凝土 以水泥为主要胶结材,掺入少量乳胶或水溶性树脂,能提高抗拉、抗弯强度
		树脂	树脂混凝土 以粘结力强、热固性的天然或合成树脂为胶结材,适于在侵蚀性介质中使用
		聚合物(浸渍)	聚合物浸渍混凝土 将水泥混凝土基材在低黏度单体中浸渍,用热或射线使表面固化

表 0.3 水泥混凝土的分类

分 类	混凝土品种
集料种类	重混凝土(干表观密度大于 2 600 kg/m ³),重集料钢球、铁矿石、重晶石等,用于防射线混凝土工程
	普通混凝土(干表观密度为 1 950 ~ 2 600 kg/m ³),普通砂石为集料可做各种结构
	轻混凝土(干表观密度小于 1 950 kg/m ³),分为轻集料混凝土(表观密度为 800 ~ 1 950 kg/m ³ ,轻集料浮石、火山渣、陶粒、膨胀珍珠岩等)和多孔混凝土(干表观密度为 300 ~ 1 200 kg/m ³ ,如泡沫混凝土、加气混凝土)
	大孔混凝土(无细集料),(表观密度为 800 ~ 1 850 kg/m ³),适于作墙板或非承重墙体
	细颗粒混凝土(无粗集料),以水泥与砂配制而成,可用于钢丝网水泥结构
使用功能	结构混凝土、保温混凝土、耐酸混凝土、耐碱混凝土、耐硫酸盐混凝土、耐热混凝土、水工混凝土、海洋混凝土、防辐射混凝土等
施工工艺	普通浇筑混凝土、离心成型混凝土、喷射混凝土、泵送混凝土等
配筋	素混凝土、钢筋混凝土、纤维混凝土、预应力混凝土等
按强度	高强混凝土(强度 > C45)、超高强混凝土(强度 > C100)
稠度	超干硬性混凝土、特干硬性混凝土、半干硬性混凝土
	低塑性混凝土、塑性混凝土、流动性混凝土、大流动性混凝土

0.1.3 玻璃

广义的玻璃包括单质玻璃、有机玻璃和无机玻璃,狭义的玻璃是指无机玻璃。无机玻璃是由熔融物经过冷硬化而获得的非晶态固体。当熔融体冷却时,不存在其他条件下能单独生成玻璃的氧化物,称为形成玻璃的氧化物。工业上大量生产玻璃使用的是以二氧化硅为主要成分的硅酸盐玻璃。另外,还有以氧化硼、氧化磷、氧化铝等为主要成分的氧化物玻璃,以及硫化物玻璃和卤化物玻璃。建筑玻璃是以二氧化硅为氧化物,以石英砂、纯碱、石灰石等主要原料按比例配合经高温熔融、冷却、切割成型的。

玻璃的分类见表 0.4。

表 0.4 玻璃的分类

分 类	玻璃品种	特 性		
按成分	磷酸盐玻璃	以 P_2O_5 为主要成分,折射率低、色散低,用于光学仪器中		
	硼酸盐玻璃	以 B_2O_3 为主要成分,熔融温度低,可抵抗钠蒸气腐蚀。含稀土元素的硼酸盐玻璃折射率高、色散低,是一种新型光学玻璃		
	氧化物玻璃	硅酸盐玻璃	石英玻璃	SiO_2 质量分数大于 99.5%,热膨胀系数低,耐高温,化学稳定性好,透紫外光和红外光,熔制温度高,黏度大,成型较难。多用于半导体、电光源、光导通信、激光等技术和光学仪器中
			高硅氧玻璃	SiO_2 质量分数约为 96%,其性质与石英玻璃相似
			钠钙玻璃	以 SiO_2 为主,还含有质量分数为 15% 的 Na_2O 和质量分数为 16% 的 CaO ,其成本低廉,易成型,适宜大规模生产,其产量占实用玻璃的 90%。可生产玻璃瓶罐、平板玻璃、器皿、灯泡等
			钾钙玻璃	将制造钠玻璃的原料中的纯碱(Na_2CO_3)改为碳酸钾,与钠玻璃相比,钾玻璃的热膨胀系数较小,较难熔化,较难受化学药品的侵蚀,可用于制作一般的化学仪器等
			铅硅酸盐玻璃	主要成分有 SiO_2 和 PbO ,具有独特的高折射率和高体积电阻,与金属有良好的浸润性,可用于制造灯泡、真空管芯柱、晶质玻璃器皿、火石光学玻璃等。含有大量 PbO 的铅玻璃能阻挡 X 射线和 γ 射线
			铝硅酸盐玻璃	以 SiO_2 和 Al_2O_3 为主要成分,软化变形温度高,用于制作放电灯泡、高温玻璃温度计、化学燃烧管和玻璃纤维等
			硼硅酸盐玻璃	以 SiO_2 和 B_2O_3 为主要成分,具有良好的耐热性和化学稳定性,用以制造烹饪器具、实验室仪器、金属焊封玻璃等
	非氧化物玻璃	硫系玻璃	硫系玻璃的阴离子多为硫、硒、碲等,可截止短波长光线而通过黄、红光,以及近、远红外光,其电阻低,具有开关与记忆特性	
卤化物玻璃		卤化物玻璃的折射率低、色散低,多用作光学玻璃		

续表 0.4

分 类	玻璃品种	特 性
按使用功能	平板玻璃、仪器玻璃、器皿玻璃、水晶玻璃、光学玻璃、电学玻璃等	
按加工工艺(再加工和成型工艺)	钢化玻璃	是普通平板玻璃经过再加工处理而形成一种预应力玻璃
	磨砂玻璃	是在普通平板玻璃上面再磨砂加工而成。一般厚度多在 9 cm 以下,常见厚度为 5 cm、6 cm
	喷砂玻璃	性能基本上与磨砂玻璃相似,不同的是将磨砂改为喷砂
	压花玻璃	是采用压延方法制造的一种平板玻璃。其最大的特点是透光不透明,多使用于洗手间等装修区域
	夹丝玻璃	是采用压延方法,将金属丝或金属网嵌于玻璃板内制成的一种具有抗冲击平板玻璃,受撞击时只会形成辐射状裂纹而不至于堕下伤人。故多采用于高层楼宇和震动性强的厂房
	中空玻璃	多采用胶接法将两块玻璃保持一定间隔,间隔中是干燥的空气,周边再用密封材料密封而成,主要用于有隔音要求的装修工程之中
	夹层玻璃	夹层玻璃一般由两片普通平板玻璃(也可以是钢化玻璃或其他特殊玻璃)和玻璃之间的有机胶合层构成。当受到破坏时,碎片仍粘附在胶层上,避免了碎片飞溅对人体的伤害。多用于有安全要求的装修项目
	热弯玻璃	由平板玻璃加热软化在模具中成型,再经退火制成的曲面玻璃
	玻璃砖	制作工艺基本和平板玻璃一样,不同的是成型方法
	玻璃纸	也称玻璃膜,具有多种颜色和花色。根据纸膜的性能不同,具有不同的性能。绝大部分起隔热、防红外线、防紫外线、防爆等作用
按性能特点(侧重于微观结构)	钢化玻璃	强度是普通玻璃的数倍,抗拉度是 3 倍以上,抗冲击是 5 倍以上。钢化玻璃不容易破碎,即使破碎也会以无锐角的颗粒形式碎裂,对人体伤害大大降低
	多孔玻璃	即泡沫玻璃,孔径约 40 nm,用于海水淡化、病毒过滤等
	导电玻璃	一般用作电极和飞机风挡玻璃
	微晶玻璃	又称为结晶玻璃或玻璃陶瓷,是在普通玻璃中加入金、银、铜等晶核制成,代替不锈钢和宝石,作雷达罩和导弹头等
	乳浊玻璃	半透明乳白色玻璃,使光线散射,不完全透过,因而变得柔和。一般用于照明器件和装饰物品等
	金属玻璃	金属玻璃不透明或者不发脆,它们罕见的原子结构使它们有着特殊的机械特性及磁力特性

0.1.4 陶瓷

陶瓷是把粘土材料、瘠性原料及溶剂原料经过适当的配比、粉碎、成型并在高温熔烧的情况下经过一系列的物理化学反应形成的坚硬物质。

陶瓷制品的品种繁多,由于它们的化学成分、矿物组成、物理性质以及制造方法常常互相接近交错,无明显的界限,而在应用上却有很大的区别,因此很难归纳为几个系统。下面介绍两种常用的分类方法。

1. 按用途的不同分类

(1) 日用陶瓷:如餐具、茶具、缸、坛、盆、罐、盘、碟、碗等。

(2) 艺术(工艺)陶瓷:如花瓶、雕塑品、园林陶瓷、器皿、陈设品等。

(3) 工业陶瓷:指应用于各种工业的陶瓷制品。又可分为以下4方面:

① 建筑卫生陶瓷:如砖瓦、排水管、面砖、外墙砖、卫生洁具等;

② 化工(化学)陶瓷:用于各种化学工业的耐酸容器、管道、塔、泵、阀以及搪砌反应锅的耐酸砖、灰等;

③ 电瓷:用于电力工业高低压输电线路上的绝缘子,有电机用套管、支柱绝缘子、低压电器和照明用绝缘子以及电讯用绝缘子、无线电用绝缘子等;

④ 特种陶瓷:用于各种现代工业和尖端科学技术的特种陶瓷制品,有高铝氧质瓷、镁石质瓷、钛镁石质瓷、锆英石质瓷、锂质瓷以及磁性瓷、金属陶瓷等。

2. 按原料及坯体的致密度分类

分为粗陶(brickware or terra-cotta)、细陶(pottery)、炻器(stone ware)、半瓷器(semi-vitreous china)以及瓷器(china),原料是从粗到精,坯体是从粗松多孔逐步到达致密,烧结、烧成温度也是逐渐从低趋高。

建筑陶瓷是用于建筑物墙面、地面及卫生设备的陶瓷材料及制品。建筑陶瓷因其坚固耐久、色彩鲜明、防火防水、耐磨耐腐蚀、易清洗、维修费用低等优点,成为现代建筑工程的主要装饰材料之一。

传统陶瓷(conventional ceramics)是指以粘土为主要原料与其他矿物原料经粉碎、混练、成型、烧成等工艺过程制成的各种制品。

特种陶瓷(special ceramics)是指用生产陶瓷的方法制造的无机非金属固体材料和制品的统称。

国家标准《日用陶瓷分类》GB/T5001中日用陶瓷的分类见表0.5~0.7,特种陶瓷分类见表0.8。

表 0.5 日用陶瓷的分类

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,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 0.6 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 0.7 日用瓷器分类

名称	炻瓷类	普通瓷器	细瓷器
特征	吸水率一般不大于 3%，透光性差，通常胎体较厚，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

表 0.8 特种陶瓷分类

类别	实例	用途	
结构陶瓷	氧化物陶瓷	Al ₂ O ₃	真空器件, 电路基板, 磨料磨具, 刀具
		MgO	坩埚, 热电偶保护管, 炉衬材料
		BeO	散热器件, 高温绝缘材料, 防辐射材料
		ZrO ₂	高温绝缘材料, 耐火材料
	非氧化物陶瓷	SiC	耐磨材料, 高温机械部件
		TiC	切削刀具
		B ₄ C	耐磨材料
		Si ₃ N ₄	发动机部件, 切削刀具
		AlN	高温机械部件
		BN	耐火材料, 耐磨材料
		TiN	耐熔耐磨材料
		Sialon	高温机械部件
	ZrB ₂ , TiB ₂	陶瓷基体中的添加剂或第二相	
	MoSi ₂	高温发热体	
陶瓷基复合材料	C/SiC	热交换机、发动机喷嘴等高温结构部件	
功能陶瓷	电介质陶瓷	Al ₂ O ₃ , Si ₃ N ₄ , MgO · SiO ₂	绝缘材料
		TiO ₂ , CaTiO ₃	电容器
	铁电陶瓷	BaTiO ₃ , PbTiO ₃	压电材料
		PLZT, PbTiO ₃	热释电材料
	敏感陶瓷	ZnO, TiO ₂	湿度计
		V ₂ O ₅	温度继电器
		SnO ₂	气体报警器
	导电陶瓷	β-Al ₂ O ₃	电池隔膜材料
		LaCrO ₃	发热体, 高温电极材料
		ZrO ₂	氧气传感器
	超导陶瓷	YBaCuO	超导线圈, 磁悬浮材料
	磁性陶瓷	NiFe ₂ O ₄	磁光存储器, 表面波器件
	生物陶瓷	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ (OH) ₂	人工骨骼、牙齿
	光学陶瓷	Al ₂ O ₃	高压钠灯灯管, 红外光学材料
Y ₃ Al ₅ O ₁₂ , Y ₂ O ₃ , Sc ₂ O ₃		固体激光物质	

0.2 无机非金属材料工业的发展

0.2.1 水泥

人类的祖先在挖穴建室的建筑活动中,首先使用的建筑材料为“土、木、石”等天然材料,随着火的发现,埃及、希腊及罗马等已开始利用煅烧的石灰、石膏来调制砌筑的砂浆,古埃及的金字塔、我国的万里长城都采用了这些材料。随着生产的发展,罗马建筑者首先发现火山凝灰岩调制砂浆效果好,其中那不勒斯港附近的 Pozzuoli 的凝灰岩最好,一直到现在西方的科技文献中 Pozzuoli 成了火山灰的代名词。我国的三合土在历史及现在的土建中发挥了重要作用。

1756年,英国工程师 John Smeaton 在 Eddystone 礁石上新建一个灯塔,在研究某些石灰在水中硬化的特性时发现:要获得水硬性石灰,必须采用含有粘土的石灰石来烧制;用于水下建筑的砌筑砂浆,最理想的成分是由水硬性石灰和火山灰配成。这个重要的发现为近代水泥的研制和发展奠定了理论基础。

1796年,英国人 J. 帕克用泥灰岩烧制出了一种水泥,外观呈棕色,很像古罗马时代的石灰和火山灰混合物,命名为罗马水泥。因为它是采用天然泥灰岩做原料,不经配料直接烧制而成的,故又称天然水泥。具有良好的水硬性和快凝特性,特别适用于与水接触的工程。

1813年,法国的土木技师毕加发现了石灰和粘土按 3:1 混合制成的水泥性能最好。

1824年,英国建筑工人阿斯普丁(J. Aspdin)取得了波特兰水泥的专利权。他用石灰石和粘土为原料,按一定比例配合后,在类似于烧石灰的立窑内煅烧成熟料,再经磨细制成水泥。因水泥硬化后的颜色与英格兰岛上波特兰地方用于建筑的石头相似,被命名为波特兰水泥。它具有优良的建筑性能,在水泥史上具有划时代意义。1825~1843年修建的泰晤士河隧道工程就大量使用波特兰水泥。

1825年用间歇式的土窑烧成水泥熟料。

1826年出现第一台烧水泥用的自然通风的普通立窑。

1871年,日本开始建造水泥厂。

1877年,英国的克兰普顿发明了回转窑,烧制水泥熟料获得专利权,并于1885年经兰萨姆改革成更好的回转窑。有效地提高了产量和质量,使水泥工业进入了回转窑阶段。

1889年,中国河北唐山开平煤矿附近,设立了用立窑生产的唐山“细绵土”厂。1906年在该厂的基础上建立了启新洋灰公司,年产水泥4万吨。

1893年,日本远藤秀行和内海三贞二人发明了不怕海水的硅酸盐水泥。

1907年,法国比埃利用铝矿石的铁矾土代替粘土,混合石灰岩烧制成了水泥。由于这种水泥含有大量的氧化铝,所以称为“矾土水泥”。

1910年,立窑实现了机械化连续生产。

1912年,丹麦史密斯水泥机械公司,开创了湿法回转窑生产方法。

1923年,立波尔窑的出现,使水泥工业出现较大的变革,窑的产量明显提高,热耗显著降低。

1951年,在德国工程师密勒(F. Muler)的工作基础上,供堡公司制造了世界上第一台悬浮预热器窑,使热耗大幅度降低。

1952年,中国制订了第一个全国统一标准,确定水泥生产以多品种多标号为原则,并将波特兰水泥按其所含的主要矿物组成改称为矽酸盐水泥,后又改称为硅酸盐水泥至今。

20世纪60年代初,水泥工业生产和控制中开始应用电子计算机技术。

1971年,日本人开发了预分解窑技术,从而使水泥工业生产技术有重大突破,各具特色的预分解窑相继发明,形成了新型干法水泥生产技术。立磨、辊压机、原料预均化、生料均化以及X射线荧光分析等技术的发展和运用使干法水泥生产的熟料质量明显提高,能耗进一步降低。由于运用了电子计算机和自动控制技术,许多先进的水泥厂都已采用全厂集中控制,巡回检查的方式,在矿山开采、生料和烧成车间以及包装和发运等工序都实现了自动控制。

目前国内最大的水泥企业是海螺水泥,而国际最大的水泥企业是拉法基。

0.2.2 混凝土

1850年,法国人Lambot制作了第一条钢筋混凝土小船,是混凝土制品发展史上的首次大突破。

1866年,C. S. Hutchinson首获美国空心砌块专利。T. B. Rhodes于1874年获得在混凝土塑性状态下制作空心砌块的专利。

1867年,法国花匠J. Monier获准钢筋混凝土结构设计专利,实际当时尚无设计理论指导,仅凭经验。

1875年,建成世界上第一座钢筋混凝土桥,钢筋混凝土逐渐作为重要的结构材料。

1886年,德国工程师M. Koenen基于材料力学原理,提出了以允许应力计算钢筋混凝土结构的方法。

1888年,德国C. E. Doehring获得制作预应力楼板的专利。

1890年,H. S. Palmer开始混凝土砌块的商业性生产,7年后建成一幢空心砌块房屋,于1900年他又获得了可动芯模和可调侧模的砌块成型机。1905年美国在巴拿马运河和菲律宾用砌块建造大量房屋设施,以后在其本国也广泛应用。

1890年,就有应用振动台的报道,1903年俄罗斯有人申请制造实心人造石机具的专利,1906年美国有人曾试制气压振动器。

1909年,德国的Rheinck公司及伦敦的P. Jagger采用真空脱水技术在砌块和混凝土构件生产中的应用。1933年美国费城的K. P. Billner工程师获得真空混凝土专利。

1910年,澳大利亚W. R. Hume首先用离心法制作外压管,W. W. Roberston和H. C. Clark于1920年合建制管厂,1927年按二人名首音节,命名为Rocla制管公司,并在1943年发明悬辊法制管工艺。

1915年,开始研究振实混凝土,以代替手工浇捣混凝土。

1918年,Abrams发表了著名的水灰比定则。

1925年起振动密实法逐步获得广泛应用。

1928年,法国E. Freyssinet提出了混凝土收缩徐变理论,采用了高强钢丝,发明了预应力锚具,成为预应力的鼻祖、奠基人。

1928~1929年,苏联已将振动密实工艺用于预制厂,1933年后系列生产混凝土的浇筑机械,并在第聂伯水库工地广泛应用振动器。

1929年,瑞典Ytong公司,1934年Siporex公司,同期还有西德的Hebel公司相继建立并

推出加气混凝土产品及技术。二次大战后,丹麦、荷兰(Durox)、波兰(Unipol)也开始生产加气混凝土制品。

1937年,按法国 Freyssinet 建议的一阶段制管工艺生产了 $\phi 800 \sim 1600$ mm 的预应力混凝土管,1939年又制成带铸铁法兰的预应力混凝土管,之后又用三阶段法制成了双向预应力混凝土管,称为 Socoman 管。美国则在1951年用离心—振动—辊压复合工艺制成预应力管,并以此方法 Cen - Vi - RoPipe 命名其制管公司。瑞典于1943年成立 Sentab 制管公司,1948年按一阶段法制成 Sentab 管,并于1952年获得专利。

1940年,意大利的 L. Nervi 发明钢丝网水泥,为薄壁制品及结构提供了适用的材料。

1966年,日本首先应用高强混凝土,开始生产预应力混凝土桩柱。

1971~1973年,德国首先将超塑化剂研制成功,使流态混凝土垂直泵送高度达到 310 m。

我国早在20世纪30年代,就有了生产和使用加气混凝土的记录。1958年,原建工部建筑科学研究院开始研究蒸养粉煤灰加气混凝土;1962年起该院与北京有关单位研究并试制了加气混凝土制品;1952年我国在北京良乡电力修造厂正式建立电杆生产线,1956年各地相继建厂;1953年开始研制轨枕,1958年开始推广。1955~1961年研究三阶段法平口预应力混凝土管以来,于1959~1965年又开发了承插式三阶段管。此后在1965~1975年的十年间开发配齐了 $\phi 100 \sim 3000$ mm 的各种规格,1965~1968年试制成功一阶段法预应力混凝土管。

1907年,德国人最先取得混凝土输送泵的专利权,1927年德国的 Fritz Hell 设计制造了第一台得到成功应用的混凝土输送泵;荷兰人 J. C. Kooyman 在前人的基础上进行改进,1932年他成功地设计并制造出采用卧式缸的 Kooyman 混凝土输送泵,1959年德国的 Schwing 公司生产出第一台全液压的混凝土输送泵,60年代中期又研制了混凝土输送泵车,我国混凝土输送泵大规模应用是在1979年上海宝山钢铁总厂施工工程中开始的。

0.2.3 玻璃

很早就发现了天然玻璃:黑曜岩,与火山喷发有关的酸性天然岩石,颜色呈黑绿色;雷公石,与陨石有关的天然玻璃。据说古埃及一陶瓷匠是天然玻璃的发明者。我国古代玻璃也称料器,琉璃只是透明程度有所差异。湖北江陵出土的公元前5世纪越王勾践剑上已有琉璃珠作装饰。明代我国已有闻名于世的景泰蓝珐琅器具。公元前1世纪,罗马人发明了用铁管吹制玻璃。直到700年前,开始出现玻璃镜子,这时意大利的威尼斯成为玻璃工业的中心,1291年,政府为了技术垄断,把玻璃厂集中在穆兰诸岛。1790年瑞士人狄南发明了用搅拌法制造光学玻璃。1881年德国物理学家阿贝和肖特经多次试验研制出十几种光学玻璃,德国创建了驰名世界的“蔡司”光学仪器厂。玻纤是20世纪30年代产品,美国阿波罗号飞船宇航服就是用玻璃纤维和其他材料复合而成的。60年代光纤问世,美国发明的硼纤维既能和树脂复合又能和金属复合。

机制平板玻璃自20世纪问世以来,有诸多的生产方法,如有槽法、无槽法、平拉法、对辊法和格拉威伯尔法,总称为传统工艺。采用上述方法生产的平板玻璃统称为普通平板玻璃。

1957年,英国人匹尔金顿(Pilkington)发明了浮法工艺(PB法),并获得了专利权。匹尔金顿公司于1959年建厂,生产出质量可与磨光玻璃相媲美的浮法玻璃,拉制速度数倍乃至十数倍于传统工艺,生产成本却相差无几。

1975年,美国匹兹堡公司(PPG)发明了新浮法(LB法),并获得了专利权。

1963年,美国、日本等玻璃工业发达的国家,争先恐后地向英国购买PB法专利,纷纷建立了浮法玻璃生产线,在极短的时间内,浮法玻璃取代了昂贵的磨光玻璃,占领了市场,满足了汽车制造业的要求,使连续磨光玻璃生产线淘汰殆尽。随着浮法玻璃生产成本的降低,可生产品种的扩大(0.5~50 mm厚度),又逐步取代了平板玻璃的传统工艺,成为世界上生产平板玻璃最先进的工艺方法。

浮法工艺的出现,使世界平板玻璃产量有了大幅度的提高,从1960年的434万吨增长到1990年的2300万吨,折合2 mm厚玻璃46亿平方米,平均年增长率5.7%,其中浮法玻璃约占80%,1994年世界平板玻璃的产量约为2500~2600万吨。

0.2.4 陶瓷

我国陶瓷技术的发展有着悠久的历史。“China”意为“中国”,而“china”即为“瓷器”,据考证,它是中国景德镇在北宋真宗景德年之前(公元1004年之前)的古名昌南镇的音译。由此可见,我国是陶瓷之国,瓷器是中国劳动人民的伟大发明之一。

陶器的出现距今约8000年。随着陶器制作的不断发展,到新石器时代,即仰韶文化时期,出现了彩陶,故仰韶文化又称“彩陶文化”。在新石器时代晚期,长江以北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良渚文化。山东历城县龙山镇出现了“黑陶”,所以这个时期称为“龙山文化”时期,又称“黑陶文化”。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,将黑陶制品表面打磨光滑,乌黑发亮,薄如蛋壳,厚度仅1 mm,人称“蛋壳陶”。进入殷商时代,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的条件,这一时期釉陶的出现是我国陶瓷发展过程中的“第一次飞跃”。

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又一次重大飞跃。在浙江出土的东汉越窑青瓷是迄今为止我国发掘的最早瓷器,距今已有1700年。当时的釉具有半透明性,而胎还是欠致密的。这种“重釉轻胎倾向”一直贯穿到宋代的五大名窑(汝、定、官、越、钧)。第三次飞跃是瓷器由半透明釉发展到半透明胎。唐代越窑的青瓷、邢窑的白瓷、宋代景德镇湖田、湘湖窑的影青瓷都享有盛名。到元、明、清朝代,彩瓷发展很快,釉色从三彩发展到五彩、斗彩,一直发展到粉彩、珐琅彩和低温、高温颜色釉。

在一个相当长的历史时期,我国的陶瓷发展经历了三个阶段,取得三个重大突破。三个阶段即是陶器、原始瓷器(过渡阶段)、瓷器,三个重大突破即是原料的选择和精制,窑炉的改进和烧成温度的提高,釉的发现和使用。尽管如此,长期以来陶瓷发展是靠工匠技艺的传授,产品主要是日用器皿、建筑材料(如砖、玻璃)等,通常称为普通陶瓷(或称传统陶瓷)。

近30年来,随着新技术(如电子技术、空间技术、激光技术、计算机技术等)的兴起,以及基础理论和测试技术的发展,陶瓷材料研究突飞猛进。为满足新技术对陶瓷材料提出的特殊要求,无论从原材料、工艺或性能上均与普通陶瓷有很大差别的一类陶瓷应运而生,这就是特种陶瓷。

值得一提的是,世界各国的瓷器发展都比中国晚得多,虽然各国由仿制中国瓷器而逐渐创立自己的风格,但在早期瓷器的纹饰和造型等方面以及工艺制作过程,都还很容易直接或间接地找出其源自中国的痕迹。中国瓷器,为人类文化的进步所作出的重大贡献,是值得我们引以自豪的。