

烧结砖瓦工艺学

殷念祖 主编

武汉工业大学出版社

内容简介

本书系国家建材局组织编写的中等专业学校教材。书中全面讲述有关烧结砖瓦的原料、产品类型及性能、工艺过程及原理的知识；详细介绍砖瓦生产常用技术经验；强调原料矿物组成对其工艺性能和产品性能的重要性；择要叙述了原料工艺性能指标及产品性能指标的测试方法。书末附有实验指导书，说明了常用工艺实验的目的、原理、条件、操作方法和注意事项。

本书内容丰富，而且切合实际，既可作为建筑材料工业中等专业学校烧结制品专业教材，又可供砖瓦工业技术人员、管理人员和广大工人阅读参考。

中等专业学校试用教材

烧结砖瓦工艺学

殷念祖 主编

责任编辑 曹文聪 田道全

※

武汉工业大学出版社(武昌街道口)

新华书店湖北发行所发行 各地新华书店经售

中南三〇九印刷厂印刷(湖北安陆9号信箱)

※

开本：787×1092毫米/16 印张：22.75 字数：553千字

1989年5月第一版

1989年5月第一次印刷

ISBN 7-5629-0184-8/TQ·0006

印数：1-2000册 [照排胶印] 定价：4.50元

前 言

本书系根据国家建筑材料工业局1984年7月在长春召开的中等专业学校烧结制品专业教学计划、教学大纲审定会确定的《烧结砖瓦工艺学》教学大纲编写而成。

我国烧结砖瓦生产历史悠久，但长期以来缺乏系统的理论指导，大中专学校也未设立该专业培养技术人才，因此限制了这一行业的发展和提高。有鉴于此，国家建筑材料工业局于1984年决定在建筑材料工业中等专业学校设立烧结制品专业。

作为我国烧结制品专业第一本工艺学教材，遵循“教育要面向现代化，面向世界，面向未来”的方针，本书试图尽可能全面反映我国砖瓦工业技术水平，并力求向学生介绍国外先进技术、流行的技术理论和国家标准。此外，为指导学生掌握砖瓦厂必需的工艺实验项目，还选编了实验指导书。

本书由殷念祖主编。编写情况为：殷念祖(绪论、第一章至第六章、第八章、实验指导书及附录)；莫小洪(第七章、第九章)；曹文聪(全书修改)。本书由国家建材局王启标主审，并经武汉工业大学舒斯裕审阅。

我国是砖瓦生产古国，经验丰富，需要进行科学总结的内容不少，加上世界砖瓦工业技术水平和应用理论正迅速发展，要想编写一本既全面讲述国内生产技术，又充分反映世界技术发展趋势的砖瓦工艺学教材确非易事，又由于编者水平有限，书中必定存在不少问题，敬请读者指出，以待订正。

编者

1987.7于北京

目 录

绪 论	1
第一章 烧结砖瓦制品及生产工艺	4
第一节 砖瓦的基本性能和分类	4
第二节 砌墙用砖、饰面砖、楼板砖、瓦	13
第三节 烧结制品工艺概述	25
第二章 原料	53
第一节 用岩石学观点看砖瓦原料	53
第二节 原料中的矿物	57
第三节 工业废料和其他原料	69
第四节 添加料和杂质	73
第五节 原料组成的分析和鉴定	83
第六节 原料的采掘	94
第三章 制备	102
第一节 概述	102
第二节 制备过程	103
第三节 制备设备的选用	132
第四章 成型	135
第一节 粘土—水系统的物理化学和流变学	135
第二节 原料的成型性能	143
第三节 塑性挤出成型过程	147
第四节 瓦的压制	158
第五节 半干压成型	159
第六节 硬塑成型简介	162
第七节 切坯	162
第五章 表面装饰工艺	172
第一节 概述	172
第二节 砖坯表面饰纹方法	172
第三节 坯料整体着色	175
第四节 生坯表面层的着色	176
第五节 化妆土及其施用	179
第六节 釉料	183
第七节 釉料配制原则、方法及计算	189
第八节 双层制品成型工艺	201
第六章 坯体的码放和运输	206
第一节 湿坯的垛式码放	206

第二节 湿坯的格架式码放	207
第三节 坯体的运输	213
第七章 干燥	217
第一节 干燥过程	217
第二节 原料的干燥性能及其调整	223
第三节 自然干燥	238
第四节 人工干燥室及其设备	234
第五节 隧道干燥室的工作制度及操作	245
第六节 干燥缺陷及其消除	251
第八章 焙烧工艺原理	259
第一节 焙烧原理	259
第二节 码窑	269
第三节 砖瓦在轮窑中的焙烧	281
第四节 砖瓦在隧道窑中的焙烧	292
第五节 制品焙烧缺陷及其消除	297
第九章 成品检验	300
第一节 制品的外观检查	300
第二节 力学性能的检验	307
第三节 耐久性能及其检验	313
实验指导书	
实验一 粘土原料的宏观描述	319
实验二 粘土粒度组成的分析	320
实验三 普菲费尔科恩冲压实验	334
实验四 阿特伯格塑性指数的测定	336
实验五 小于 $2\mu\text{m}$ 粒组试样提取	339
实验六 测定契日斯基干燥敏感性指数	343
实验七 粘土的热膨胀曲线的测定	346
实验八 气孔率、吸水率、表观密度的测定	348
实验九 真密度的测定	350
实验十 坯釉适应性的简易测定	352
实验十一 垂直孔空心砖抗压强度的测定	353
参考文献	
附录一 测温锥	356
附录二 标准筛号规格对照表	358

绪 论

一、悠久的历史

我国烧结砖瓦的生产，历史悠久，技术精湛。

早在两千多年以前的战国时期就已经出现了砖；瓦出现得更早，远在西周就能制做。春秋时期，青瓦逐渐推广使用。战国时，开始批量制做板瓦、筒瓦和脊瓦，此外还有铺地和砌壁面用的条砖、方砖和栏杆砖等。

可以分三个重要发展时期来观察我国砖瓦发展历程：

秦汉时期 我国砖瓦业兴旺发达，已逐步形成独立的手工业体系。

秦始皇统一中国以后，烧制和应用了大量砖瓦。出现了铺地用的青砖；作台阶、踏步、砌壁面用的空心砖；以及用于屋脊、屋角拐接和拱脚部位的五棱砖、曲尺形砖、楔形砖、子母砖等。砖还是修筑万里长城的主要建筑材料之一。到了汉代，小块条砖已是贵重的墙体材料。瓦的品种变化不大，但是瓦当的纹饰富于变化。

隋、唐时期 砖的应用范围逐步扩大。一般建筑均用砖、石两种材料建造。制瓦技术有了突破，尤其是琉璃釉料配方和工艺在唐代得到重大发展，有了闻名世界的黄、青、绿三色的“唐三彩”。

明、清时期 明代砖瓦的产量增加，质量迅速提高。民用建筑已较普遍使用砖瓦。

1840年以前，清代砖瓦业的生产基本上因袭明代传统，用手工业方式。从第一次鸦片战争开始，在少数大城市，机制砖瓦厂开始兴起。但全国的砖瓦生产的产量极不稳定，工艺技术和设备在世界上也处于落后的状态。劳动生产率很低，砖瓦产品规格混乱，质量水平不高。

二、建国三十五年来砖瓦工业发展及成就

1. 产量不断提高

1952年全国粘土砖产量为149亿块。至1959年已达371亿块。以后由于国民经济暂时困难和“文化大革命”，砖瓦产量两度下落，七十年代砖瓦产量才又恢复增长。十一届三中全会以后，砖年平均递增233亿块，至1984年砖的年产量已达2499亿块；瓦年产量达275亿块，均占世界首位。

2. 砖瓦工业技术水平和装备水平的发展

节能技术进步 卅余年来，我国砖瓦业有两次较大的技术进步：第一次是五十年代大规模发展轮窑取代土窑，这使每万块砖的煤耗从4吨降到1.5吨；第二次是从六十年代起，推广了以炉渣、粉煤灰、煤矸石等可燃性的工业废渣掺入砖坯中的内燃烧砖，使每万块砖的煤耗又从1.5吨降到0.5~0.8吨。1983年县以上国营企业用内燃法生产的砖已达全部产量的85%，乡镇企业内燃砖也将近总产量的50%。

节省粘土，开发多种原料资源 自六十年代起，用煤矸石、粉煤灰等工业废料以及用页岩、山土等地方资源制作砖瓦的工艺技术得到不断发展，取得良好的社会效益和经济效益。

砖瓦工业技术改造的巨大进展 建国初期，大多数厂是用手工成型，露天作业，土窑焙

烧的原始方式生产。从五十年代后期,国营砖厂普遍靠机械制坯并用轮窑取代土窑。六十年代,推广内燃烧砖;着手制砖机械的标准化。七十年代,推广使用隧道式干燥室进行人工干燥的技术,隧道窑作为新的焙烧设备得到初步推广;出现了机械化程度较高的生产工艺线。八十年代以来,研究试制成功了多台新型制备机械,开展了国外先进技术的引进消化工作;开展了高配合比粉煤灰砖以及全粉煤灰烧结砖的研制工作;许多砖瓦企业开发砖瓦产品的深加工;向外墙装饰材料发展。

3. 砖瓦工业技术开发工作逐步加强

科研队伍的建立 1965年,建材部砖瓦研究室成立,除专业科研机构外,各省、市的建材研究所也都从事砖瓦技术研究。

设计队伍的建立和发展 从1958年起,建工部西北建筑设计院开始建立陶瓷和砖瓦工业的专业设计机构,承担陶瓷、砖瓦企业的设计任务。近年来,乡镇砖瓦企业的发展,促使许多地方的建材设计机构承担砖瓦厂的设计任务。

机械制造企业的发展 五十年代中期,我国开始建立砖瓦机械制造厂。八十年代初,随着乡镇企业的发展,砖瓦机械制造企业的数量有很大增长。

砖瓦工业及技术信息网络的形成 为了交流国内外砖瓦工业情况和生产技术动态,西安砖瓦研究所主编出版了《砖瓦》期刊,并组织了全国建材工业砖瓦专业科技情报网。1976年全国建材工业砖瓦专业科技情报网成立。1986年中国建材工业协会砖瓦协会成立。1987年砖瓦行业全国信息刊物《砖瓦科技与信息》正式发行。

三、烧结砖瓦的发展前景

1. 烧结砖仍是世界各国的主要墙体材料

本世纪初以前,烧结粘土砖在各国墙体材料中一直占统治地位。以后随着各种新型墙体材料的发展,烧结砖在墙体材料中的比例才逐渐下降。但到目前为止,粘土砖仍是世界各国的主要墙体材料之一。

烧结砖作为一种墙体材料,已有数千年历史,而至今仍得到广泛应用,其原因在于:

烧结砖的综合性能良好 烧结砖是有足够强度而又防火耐久的建筑材料,建筑物理性能比较稳定,虽然它的各项性能指标在多种建筑材料中不是最佳的,但综合性能较好,能满足建筑物的各项要求。

产品结构变化,扩大使用范围 在多年发展历程中,烧结砖的产品结构发生变化,向轻质、高强、大型、预制方向发展,扩大了使用范围。

原料资源丰富,开采容易 烧结砖瓦原料,属地壳表面的沉积岩。各国大量应用粘土物料生产烧结砖,随着制砖瓦工艺及设备的改革和进步有更多的资源可被利用。

烧结砖价廉,砖结构建筑费用低,经济效益好 在多数国家中,烧结砖仍是最便宜的建筑材料,适用于低造价的建筑。

生产方式多种多样 烧结砖瓦的生产方式,可以由最原始的手工作业,小规模分散生产,直至机械化和自动化程度很高的大规模工厂化生产。不同国家可根据各自的经济条件、劳动力状况、技术水平,选用最适宜的生产方式来生产,以达到最佳的经济效果。

建造低层的和独户住宅需要大量烧结砖 在经济发达的资本主义国家中,人们对居住水平 and 住宅质量的要求不断提高,更多地倾向于建造低层的和独户的住宅,其墙体的材料主要

用砖。此外，传统习惯也是**烧结砖**多年兴盛不衰的原因之一。

2. 烧结砖在我国城乡建设中的地位

建国三十多年来，工业和城镇建设的建筑工程量每年达几千万至一亿多平方米，其所用的墙体材料，基本上依赖粘土砖。今后相当长的一段时期内，城镇烧结砖的产量还将略有增加，以满足逐年递增的基本建设工程量的需要；乡镇的建筑还主要依赖于烧结砖。

3. 我国砖瓦工业技术进步的目标

第一，改革产品结构，根据各地技术经济水平及其建筑结构类型，发展多种产品。

第二，因地制宜，就地取材，合理利用粘土资源；积极利用粉煤灰、煤矸石等工业废料，节能、省土地生产烧结制品。

第三，引进、消化和积极开发高效原料处理设备，高真空强力挤泥机，切、码、运机械化作业系统，节能高效的干燥室和隧道窑等。

第四，开发各类空心制品的应用技术。

四、《烧结砖瓦工艺学》课程的任务和要求

《烧结砖瓦工艺学》是烧结制品专业的专业课。这一课程在学生学完基础课和专业基础课后，与《烧结砖瓦工业机械设备》和《烧结砖瓦工业热工设备》同时开设。

《硅酸盐物理化学》是《烧结砖瓦工艺学》的重要先修课程。

《烧结砖瓦工艺学》课程的任务是：使学生获得有关烧结砖瓦原料、产品类型及性能、工艺过程及原理的全面知识；强调矿物组成对原料工艺性能及产品性能的重要性；以原料各种工艺性能指标为重点，用坯体和产品性能指标为判据，说明调整原料工艺性能的方法及改进产品质量的各种措施。

学习《烧结砖瓦工艺学》的基本要求是：

第一，正确建立由岩石学、矿物学角度观察烧结砖瓦原料的基本观点，并利用这些知识解释和分析实际问题；

第二，掌握烧结制品的几种基本工艺特点，了解各种工艺适用范围，设备选择原则；

第三，深入理解原料工艺性能指标和产品性能指标的物理、化学意义，掌握测定这些指标的实验方法，学会籍助这些指标判断工艺改进措施的效能。

第四，了解烧结砖瓦工厂基本生产作业的要点，掌握产品常见缺陷的起因及克服办法。

第一章 烧结砖瓦制品及生产工艺

第一节 砖瓦的基本性能和分类

烧结砖瓦属粗陶产品，是最早为人类开发和利用的无机非金属材料之一。其性能取决于微观结构和显微组织。微观结构，指材料在这一聚集状态中，原子的空间分布；而显微组织则是指多原子的原子团(结构基元)在显微尺度上的构造。烧成的砖瓦制品中含有多种晶体、玻璃相和气孔。也即微观结构反映制品中相的矿物组成和化学组成；显微组织描述制品体内各种相的含量、分布情况，以及颗粒的大小、形状、排列情况和气孔的含量等。砖瓦的物理及使用性能同显微组织的关系尤为密切。而显微组织的类型又受许多工艺参数的制约，例如原料的类别、数量、粒度、混和方法、成型方法、干燥和烧成条件等。

一、制品的显微组织

烧成砖瓦制品内含有结晶相、玻璃相、气相等。

结晶相 砖瓦是部分烧结材料，因原料的耐火度较低，所以烧成温度较低。固相反应相当不完全，除了因固相反应生成的新相外，制品内还常残留有大量来自原料的、未发生变化的矿物质，例如石英等。通常，由富石灰质(包括白云石等)粘土烧成的制品中，有钙长石、硅灰石、钙黄长石、赤铁矿和石英等结晶相；而由低石灰质粘土烧成的制品中，有石英、冰晶石、方石英、赤铁矿及少量莫来石。

玻璃相 砖瓦体内的玻璃相相对强度起重要作用。因焙烧温度不高，砖瓦体内玻璃相的含量约占8~10%。

气相 砖瓦制品内有着大量各种孔径的敞开及封闭气孔，气孔率(气孔占砖体总体积的百分数)约为10~25%。气孔率及孔结构(孔径尺寸分布)决定或影响制品的许多重要性能。

坯-釉接触(中间)层 施釉制品坯体和釉面之间形成一个中间层，此层对制品性能也有很大影响。从化学组成看，中间层的成分通常为60~65%坯、40~35%釉。除含有晶相外，在封闭的气孔中还有气相——氮气、氧气及二氧化碳的混合物。接触层的厚度约为数十微米。中间层的发展能填充坯体表面裂纹，使釉面覆盖层牢固地蒙覆在坯上，减弱坯釉间的应力，有助于提高制品的机械强度。

釉面层 施釉或化妆土的制品除了具有装修功能外，还常因此改善性能：一薄层玻璃态釉膜可增强制品；防止液体或气体透入；使制品表面平整、光亮、有美感。因釉同窑炉气氛的相互作用、釉中各组分间的反应、釉同坯体间的作用，在焙烧过程中形成釉面覆盖层的构造。釉面层厚度在80~260 nm之间，几乎是纯玻璃相，其中混杂有结晶相杂质及少量气泡。釉中的小气泡降低釉的质量，造成釉面缺陷。

二、制品的基本性能

烧结砖瓦的质量取决于原料的矿物组成和化学成分、泥料(配合料)的组成、烧结体的显微组织以及生产工艺的特点等。用下述基本指标描述其物理性质、力学性能、热物理性能、

耐久性和艺术性能。

1. 物理性质

(1) 密度(ρ)

密度说明材料体积内被物质填充的程度,即材料的质量同它占据体积的比值。可用三种指标来表示材料的密度,即:真实密度(比质量)、表观密度(容积质量)和相对密度。

真实密度(比质量) 单位体积绝对致密材料的质量叫真实密度。即干燥的绝对致密材料质量(kg)对体积(m^3)的比值。对于某一种材料来说,真实密度是一物理常数,它取决于化学组成、材料结构基元的构造以及原子在结构基元中的堆积密度。

表观密度(容积质量) 材料的质量对被它占有的、包含气孔在内的总体积的比值,叫材料的表观密度(kg/m^3)。显然,材料的孔隙率(气孔率)越低、含水率越低,它的容积质量越大。

相对密度 材料中固体物质所占的体积分数叫材料的相对密度。它是表观密度对真实密度的比值。若材料的真实密度和表观密度相等,这种材料就是绝对致密的。

普通粘土砖和空心砖的真实密度都为 $2.6 \sim 2.7 g/cm^3$,然而前者的表观密度为 $1.5 \sim 1.9 g/cm^3$,后者为 $0.7 \sim 1.4 g/cm^3$ 。

(2) 气孔率(P)

制品的气孔率(亦称孔隙率)是单位体积材料中气孔的体积,以百分率表示。可用三种指标来表示材料的气孔率:真实气孔率、表观(敞开)气孔率、封闭气孔率。

真实气孔率 制品内的孔隙分两类,一类是敞开的气孔,它们同外界空气相通;另一类是封闭的气孔,其中的气体同外界隔绝。样品中敞开的和封闭的气孔体积之和占样品总体积的百分率称为真实气孔率。

表观(敞开)气孔率 彼此联通又与外界空间相通的、能通过水的气孔体积占样品总体积的百分率叫做表观气孔率。有时制品中敞开气孔是贯通的,这时制品透水率较高。敞开气孔率通常以吸水率为表征。随着材料烧结程度的提高,表观气孔率减小。

完全烧结的陶瓷材料真实气孔率为 $3 \sim 5\%$,而表观气孔率小于 $0.1 \sim 0.2\%$ 。烧结粘土砖瓦的真实气孔率可达 32% ,表观气孔率约为 $10 \sim 22\%$ 。

封闭气孔率 材料中所有不与外界环境相通的气孔体积之和占样品总体积(包括所有气孔在内)的百分率叫作封闭气孔率。

孔隙率和孔洞率是两个概念。多孔砖或空心砖的孔洞率是指:在生产中人为产生的孔洞截面积之和占孔洞所在砖面面积的百分率。而测定孔隙率时所用样品是实心的。

气孔率取决于泥料组成、原料细磨程度、成型条件、坯体致密程度、最高焙烧温度和保温时间等。一系列改变矿物的结晶格子的工艺因素将影响气孔的产生。

气孔率影响砖瓦的强度、热稳定性、湿膨胀、透水率等重要性能。敞开的和封闭的气孔对强度影响差异,尚待深入研究。砖瓦的孔隙率还影响它们的耐久性能。如砖瓦抵御大气作用的能力,其中包括抵御正负温度的交替作用(抗冻)、水的作用等。

(3) 湿膨胀

烧结砖瓦同其它粗陶制品一样,长时间置于湿气氛下,就会发生缓慢地、持续膨胀的现象,这种现象称为湿膨胀。湿膨胀大小以制品原始长度为基准,经过一段时间(三个月或六个月)湿储存后,相对线膨胀量为尺度,单位是%或 $mm/m(0.1\%)$ 。

湿膨胀的可能原因如下:

水分子直径大约为 $0.2\text{ }\mu\text{m}$,形成粗陶材料的粒子团却大约有水分子的1000倍,甚至更大。这样,由于热运动,水分子很容易渗入材料内部,促使形成微细裂纹。沿微裂纹壁扩散的蒸汽或水分子,到达较狭窄地段后,使作用于裂纹侧壁的压力增至100MPa以上,结果使裂纹尺寸变大。

此外,水蒸汽在材料毛细管壁上吸着;材料形成水合物或固溶体;部分材料形成沸石状构造;材料中玻璃相水化;粘土矿物和它们的分解产物吸附水分等,都可能成为发生湿膨胀的原因。

湿膨胀不仅取决于制砖瓦配合料的组成,还决定于烧成温度以及孔隙率。高岭石质原料比其他各类原料更倾向于发生湿膨胀。

在潮湿条件下使用时,周而复始的加热和冷却作用将导致湿膨胀加剧;膨胀量随着水温的提高和作用时间延长而增加。

(4) 吸水性能

多孔的粗陶材料可在其敞开孔隙中吸收并附着一定量的水,衡量吸水多少的物理指标统称吸水性能,有:吸水率、吸水系数、饱和系数以及软化系数等。由于材料吸水,一些性能将发生变化,例如,它们的容积质量和导热能力提高,机械强度降低,等等。

吸水率 吸水率说明在沸腾的水中,材料中的敞开气孔被水充满的程度。通常是按质量计算吸水率,见式

$$W = \frac{M_1 - M}{M} \times 100 \quad (1-1)$$

式中 W ——吸水率, %;

M ——干燥状态下砖瓦的质量, kg;

M_1 ——水饱和状态下砖瓦的质量, kg。

也可以按体积计算吸水率,即吸入水的体积占自然状态下材料体积的百分率。烧结砖瓦的质量吸水率一般为8~20%。

吸水率是砖瓦烧结程度的一种度量。

体积吸水率总低于其孔隙率,这是因为水很难渗入密闭气孔。在粗大气孔中水也不能被保持,而仅能润湿气孔壁。

吸水系数 称吸水的体积对气孔总体积的比值为吸水系数。

饱和系数 室温下被水饱和时材料的吸水量(24h吸水)同沸腾状态下被水饱和时(5h吸水)的吸水量之比,按下式计算:

$$K_s = \frac{W_{s2} - W_d}{W_{b5} - W_d} \quad (1-2)$$

式中 W_{s2} ——试样在室温下,于水中浸泡24h后的湿质量;

W_d ——试样的干质量;

W_{b5} ——试样在沸水中浸泡5h后的湿质量。

饱和系数的物理意义是容易被水充满的孔隙空间与总的可充满孔隙空间的比值。饱和系数的理论在于,如果总孔隙空间中仅仅有一部分被水占据,就有余地使湿膨胀或冻结膨胀发

展而不破坏材料本身。一块受到过量湿作用的砖，如果其中被水充满的孔隙空间不超过总孔隙空间的80%，余下的孔隙空间将能消除由于湿膨胀或冻结膨胀而产生的压力。所以，可以认为饱和系数为0.80，是一个界限值。饱和系数小，说明制品较致密，耐久性好；饱和系数大，说明制品“不成熟”，耐久性差，优质砖的饱和系数都小。

软化系数 被水饱和材料的强度同干材料强度的比值叫软化系数。软化系数在0（在水作用下完全软化了的材料——未烧半成品）至1（绝对致密的、在水作用下不改变其强度的材料）之间变动。材料的软化系数不小于0.8时，可以认为这种材料是抗冻的。

（5）渗透性

烧结砖瓦中有许多贯穿孔洞，流体（气体或液体）容易经这些孔洞穿过制品，这种性能称为渗透性或贯穿性，用渗透性系数来表示。

渗透性系数 粘度为 $0.1\text{Pa}\cdot\text{s}$ 的流体，在一定压力差（10Pa）下，单位时间（1s）内，经单位面积（ 1cm^2 ）穿过材料单位厚度（1mm）的数量（ cm^3 ）叫渗透性系数。

渗透性可分为渗水性和透气性两类指标。对于内墙砖来说，透气性能是一种好的指标，通常为0.35左右。但对于砖、瓦来说，渗水性又是一种不良指标，它降低使用质量。显然，材料的孔隙率愈高，渗透性系数愈大。

（6）吸湿性

当空气湿度改变时，多孔结构的制品从空气中吸收水分或解吸水分的能力叫吸湿性。具有 $100.0\mu\text{m}$ 以下直径毛细管的材料有吸湿性，因在这种材料中会发生毛细管凝结。吸湿或解吸是可逆过程，吸湿性不影响制品的质量：烧结砖因具有吸湿性而令人感到舒适。故在这一点上，它优于混凝土制成的墙体材料。

2. 力学性能

（1）强度（ f ）

材料在外力（荷载）作用下，抵抗破坏的能力称为强度，常用单位为MPa。当材料承受外力时，其内部产生应力，外力逐渐增加，应力也相应增大，直到质点间结合力不再能承受时，材料即破坏，此时极限应力值就是材料极限强度。

根据外力作用方式的不同（图1-1），又可将强度分为抗压强度、抗弯强度、抗拉强度。

抗压强度 是材料在压力作用下，达到破坏前单位面积上所能承受的最大应力。测定抗压强度时，因测定结果同所用试件形状尺寸有关，所以标准测试方法必须规定统一的试件形状尺寸。

烧结粘土砖的抗压强度一般在 $7.5\sim 30.0\text{MPa}$ 之间；高强度的烧结煤矸石砖抗压强度可达 60MPa ，高强度粉煤灰烧结砖可达 130MPa 。

抗折强度 材料在承受弯曲时，达到破坏前单位面积上所能承受的最大应力，叫抗折强度。

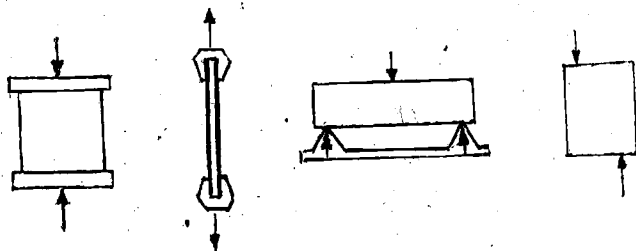


图1-1 外力的各种作用方式

（左起：压、拉、弯、剪切）

抗折(弯)强度与受力状况有关,通常将条形试件放在两支点上,中间加一集中荷载(三点弯曲法)。当试件断面为矩形时,抗折强度用下式算出:

$$f_{tm} = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad (1-3)$$

式中 f_{tm} ——抗折强度, Pa;

P ——破坏荷载, N;

l ——两支点的间距, m;

h 、 b ——试样横断面的高及宽, m。

烧结粘土砖的抗折强度大约在1.8~4.4MPa之间,按抗压和抗折强度将砖划分为若干标号。

根据瓦的使用特点,需要测定瓦承受集中荷载的能力——用三点弯曲法测定的抗折荷重。实验证明,瓦的抗折荷重一般为600~980N。

抗拉强度 材料在承受拉伸时,达到破坏前单位面积上所能承受的最大应力叫材料的抗拉强度。烧结粘土砖的抗拉强度约为1.0~2.0MPa。釉的抗拉强度为20.0~30.0MPa。

影响烧结制品强度的重要因素有:气孔的数量、尺寸及其形状;材料的相组成;结晶相和玻璃相的力学性能;各相热膨胀系数的差别以及材料的组织构造等。气孔和各种缺陷(显微组织的不一致性)都会大大降低制品的强度,因为这些缺陷形成材料内的薄弱区域,造成应力集中。制品表面出现的微裂纹降低材料抗拉强度值,但施加比坯体热膨胀系数略小的釉就可有效地提高抗拉强度。

(2) 硬度

材料抵抗其它物体刻划、压入其表面的能力叫材料的硬度。常用压入法或擦痕法来测试硬度。压入法是用钢球或圆锥体向试件表面垂直接压,根据压力和陷入深度或陷入面积的关系来表示,如布氏硬度(H_B)等。擦痕法是以金刚石圆锥体刻划试件表面,根据压力与刻痕宽度的关系来表示,如莫氏硬度(H_M)。由于莫氏法简单易行,所以使用广泛。莫氏法选择了十种坚硬程度不同的矿物作为硬度等级标准(表1-1),通过标准硬度矿物擦划样品后的划痕确定硬度值。

莫氏硬度等级表

表 1-1

硬度等级	矿 物	硬 度 特 性
1	滑 石	容易为指甲刻划
2	石 膏	可为指甲刻划
3	方解石	容易为钢质小刀刻划
4	萤 石	施不大力就可用小钢刀刻划
5	磷灰石	施大力时可用小钢刀刻划
6	正长石	
7	石 英	易被玻璃,但不能为小钢刀刻划
8	黄 玉	
9	刚 玉	
10	金刚石	

铺地砖的莫氏硬度应达7~8。

(3) 磨耗性

由于磨擦时材料质点从表面剥落,而使材料质量减小的性质称为材料的磨耗性。

磨耗性系数 称磨耗性试验后试件质量损失量同摩擦面积的比值为磨耗性系数,单位是 g/cm^2 。铺地砖的磨耗性系数是这样测定的:测定试验砖在0.06MPa荷载下,沿长度为150m、铺有砂子的圆形轨道运行后质量损失量。通常铺地砖的磨耗性系数应小于0.1。

3. 热物理性能

(1) 热容量(c)

材料在加热或冷却时吸收或放出热量的能力,用材料的热容量来表示。热容量是每单位质量的物质,加热(或冷却)时,温度升高(或降低)1K所吸收(或放出)的热量。常用比热容量和体积比热容量表示。

比热容量 使1kg的干材料升高1K时需要的热量称为材料的比热容量。

体积比热容量 使 1cm^3 的干材料升高1K所需要的热量称为体积比热容量。

热容量与组织构造关系不大,即显微组织不同,但成分相同的材料热容量仍相同。它同孔隙率、密度、晶体尺寸等无关。热容量有加和性,组成复杂材料的热容量取决于各种相的热容量及它们的相对数量。随着材料含水率和温度的升高,热容量增大。

在20~400°C温度范围内,烧结粘土砖的热容量为0.88~0.92J/kg·K。

(2) 导热性能

材料以传导传热方式传递热量的能力,称为材料的导热性能。

导热系数(λ) 在单位温度差(1K)作用下,经单位时间(1h)、垂直于传热方向单位面积(1m^2)、穿过单位厚度的材料(1m),以传导传热方式所传递的热量,称为导热系数,单位是 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 。

普通烧结粘土砖的导热系数在0.6~0.8 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 的范围内,空心砖的导热系数在0.32~0.36 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 范围内。

材料的孔隙率极大地影响它的导热性能,孔隙率增加,导热系数几乎成线性地下降。这是由于传导热流通过多孔材料时,必须途经许多气孔,气孔中填充的空气导热性很低($\lambda = 0.023\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)。原料中加入锯末、塑料微珠等,烧成的砖具有大量微孔,这种砖具有良好的隔热性能。

材料中气孔的形状和尺寸对导热系数影响不大,但在孔隙率一定的条件下,气孔的取向却有较大影响。敞气孔多的材料比封闭气孔多的容易导热。多孔材料的导热系数取决于表观密度而与真实密度无关。多孔材料的导热系数和它们的容积质量的关系如图1-2所示。

温度升高,材料的导热系数急剧提高;含水率增加,导热系数也增加。

导温系数(a) 导温系数表示物体在加热或冷却时,各部分温度趋于一致的能力,又称热扩散系数。材料在不稳定热作用下,内部温

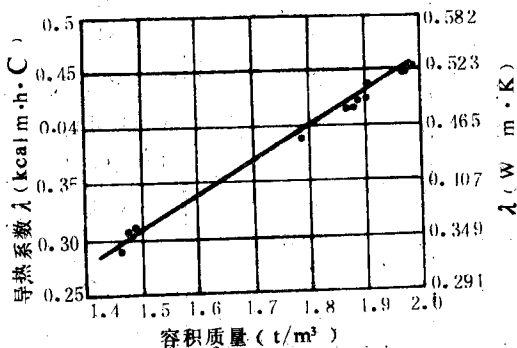


图1-2 材料的导热系数和容积质量的关系

度变化的速度与导热系数 λ 成正比，与热容量 $c\rho$ 成反比。即：

$$a = \frac{\lambda}{c\rho} \quad (1-4)$$

式中 a ——导温系数， m^2/h ；
 λ ——导热系数， $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ ；
 c ——比热容量， $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$ ；
 ρ ——密度， kg/m^3 。

(3) 热膨胀

物体的体积或长度随温度的升高而增大的现象叫作热膨胀。原始长度为 l_0 的材料，温度升高 Δt 后，长度的增量为 Δl ，它们之间的关系可用下式表示：

$$\frac{\Delta l}{l} = a \Delta t \quad (1-5)$$

式中 a ——线膨胀系数， K^{-1} 。

线膨胀系数(a) 温度升高1K时，单位长度材料的伸长量(材料的相对伸长量)叫线膨胀系数。

体膨胀系数 温度升高1K时，单位体积材料的膨胀量(材料的相对体积膨胀量)叫体膨胀系数，常用 β 表示。体膨胀系数 β 近似等于3倍的线膨胀系数，即 $\beta \approx 3a$ 。

对于烧结制品来说，考虑坯体和釉面层热膨胀性能的匹配是有实用意义的。当使釉面层热膨胀系数适当地小于坯体的热膨胀系数时，烧成制品在冷却过程中，釉层收缩量比坯体的小，在釉面层中存在着一个压应力。均匀分布的预压应力，能明显地提高材料的强度，抑制釉面层微裂纹的形成及扩展。釉和坯体热膨胀系数值取决于泥料及釉料的组成、配合料的细粉磨程度、烧成温度和保温时间以及窑内气氛等。

坯体材料的热膨胀系数以实测为宜；釉的热膨胀系数可以参考玻璃的膨胀系数的计算方法，利用加和性公式进行近似计算。但这些方法不适用于各种结晶釉。硅酸盐玻璃(釉)中各氧化物和氟化物的线膨胀系数 a_i 的计算常数列表1-2中。

$\bar{a}_i$ 的计算常数

表 1-2

组 分	$\bar{a}_i \times 10^{+7}$ (在20~400°C之间) K^{-1}	组 分	$\bar{a}_i \times 10^{+7}$ (在20~400°C之间) K^{-1}	组 分	$\bar{a}_i \times 10^{+7}$ (在20~400°C之间) K^{-1}
SiO_2	5~38	ZnO	50	B_2O_3	0~(-50)
Li_2O	270	CdO	115	Sb_2O_3	75
Na_2O	395	PbO	130~190	Tl_2O_2	(+30)~(-15)
K_2O	465	$\text{MnO}, \text{Mn}_2\text{O}_3$	105	ZrO_2	-60
BeO	45	$\text{FeO}, \text{Fe}_2\text{O}_3$	55	SnO_2	-45
MgO	60	CoO	50	P_2O_5	140
CaO	130	NiO	50	CaF_2	180
SrO	160	CuO	30	Na_2SiF_6	340
BaO	200	Al_2O_3	-30	Na_3AlF_6	480

SiO_2 、 B_2O_3 、 TiO_2 、 PbO 几种组分的计算常数($\bar{a}_i$)具有可变的数值,按下述方法确定。

对于 SiO_2 :

当 SiO_2 含量(A%)等于67~100%时:

$$\bar{a}_{\text{SiO}_2} \times 10^7 = 35 - 1.0(A - 67) \quad (1-6)$$

当 SiO_2 含量(A%)小于67%时:

$$\bar{a}_{\text{SiO}_2} \times 10^7 = 35 + 1.5(67 - A) \quad (1-7)$$

对于 B_2O_3 :

$$\bar{a}_{\text{B}_2\text{O}_3} \times 10^7 = 12.5(4 - \psi) - 50 \quad (1-8)$$

式中 ψ ——分子比;

$$\psi = \frac{A_{\text{R}_2\text{O}} + A_{\text{RO}} - A_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{A_{\text{B}_2\text{O}_3}} \quad (1-9)$$

A_{RO} ——二价氧化物百分组成之和;

$A_{\text{R}_2\text{O}}$ ——一价氧化物百分组成之和;

$A_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ —— Al_2O_3 百分组成数;

$A_{\text{B}_2\text{O}_3}$ —— B_2O_3 百分组成数。

对于 PbO :

$$\bar{a}_{\text{PbO}} \times 10^7 = 130 + 5(\sum \text{R}_2\text{O} - 3) \quad (1-10)$$

式中 $\sum \text{R}_2\text{O}$ ——($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)%。

对于 TiO_2 :

$$\bar{a}_{\text{TiO}_2} \times 10^7 = 30 - 1.5(A_{\text{SiO}_2} - 50) \quad (1-11)$$

式中 A_{SiO_2} ——釉中 SiO_2 的百分组成。

分别计算出 SiO_2 、 B_2O_3 、 PbO 和 TiO_2 的常数值以后,按下式算出釉的平均线膨胀系数:

$$\bar{a}_m = \sum a_i P_i \quad (1-12)$$

如果原给百分组成中含有烧失量,则应先换算成不含烧失量的组成,再用上述方法计算。

4. 耐久性能

材料抵抗日光、风雨、冷热交替等气候条件长期作用的能力称之为耐久性。

决定烧结制品的耐久性——在自然条件下使用期限长短——的重要指标,就是砖瓦的抗冻性。

抗冻性是指被水饱和的材料,承受反复多次的冻结和融解循环,而不降低强度和损失质量的能力。

烧结制品抗冻性与原料的矿物的、化学的以及粒度的组成情况;配合料的组成情况;生产条件;制品的结构;制品的组织等有关。

制品中的孔隙直径分布对其抗冻性有至关重要的影响作用。水在 0°C 以下冻结成冰时,体积膨胀约9%,由此产生静水压力,使材料中产生应力,当应力超过材料强度,材料就会被破坏。

可以按照水在孔隙中的结冰行为,将孔隙分为以下三类:

第一类,备用孔隙,孔径大于 $200\mu\text{m}$,这样大的孔隙不能自然地把水保持住;

第二类,危险孔隙,孔径在 $0.1 \sim 200\mu\text{m}$ 范围内,水在这样的孔隙中会结冰;

第三类,安全孔隙,孔径在 $0.1\mu\text{m}$,水在其中以过冷形式存在而不结冰。

较深入地研究认为,冻融循环过程中材料受到破坏是由于水在结冰过程中的迁移作用。

结冰制品中冰的运动和从体内挤出到表面的过程，同制品破坏有着密切的关系。当材料强度足够高时，产生的压力，使一部分冰又溶化于水，从而降低应力；压力还可能将一部分冰挤压到大孔隙或制品表面上来，缓解制品内部的应力。相反，当材料强度低时，冰的运动就会导致材料的破坏。

苏联学者提出用材料的结构指数 c 作为制品抗冻性能的判据：

$$c = \frac{V_{\text{备用}}}{V_{\text{危下限}} - V_{\text{备用}}} \quad (1-13)$$

式中 $V_{\text{备用}}$ ——孔径 $>200\mu\text{m}$ 的备用孔隙体积；

$V_{\text{危下限}}$ ——“危险”孔径下限以上的孔隙体积。它包括两类孔隙体积，一类是 $200\mu\text{m}$ 以上的备用孔隙，另一类是孔径为 $0.1\sim200\mu\text{m}$ 的危险孔隙。。

c 值即备用孔隙同危险孔隙体积之比， c 值愈大，说明制品中有更多的孔隙体积来容纳冰的迁移和水的结冰过程中的体积膨胀。通常当 $c>9\%$ 时，可以认为砖瓦是抗冻的。

三、制品的分类

可按照原料种类、成型工艺、烧结程度、制品主要功能以及用途等将烧结制品分类。

1. 按原料种类分类

根据制造烧结砖瓦的基本原料，常将砖瓦分为页岩砖(瓦)、煤矸石砖(瓦)、粉煤灰砖(瓦)，等等。有时，还突出配(混)合料中某些特殊原料来称呼砖(瓦)，例如：铬渣砖、磷灰石砖、硅藻岩砖、玄武岩砖等。

2. 按成型工艺分类

烧结制品的成型工艺，有塑性成型和半干压成型之分。而塑性成型，又可根据制品的成型含水率、挤泥机压力和坯体强度，细分为：软塑、半硬塑和硬塑成型。

与此相仿，依据成型工艺，可以将制品分为半干压砖(瓦)、塑性挤出成型砖(瓦)和湿塑模压瓦。塑性挤出成型砖(瓦)又可进一步分为软塑砖(瓦)、半硬塑砖(瓦)和硬塑砖(瓦)。

3. 按烧结程度分类

烧结砖瓦中的多数，属于低烧结程度的多孔材料，其特征是：具有土状断口、粗糙表面、不透明、敲击时声响不甚清脆。这样的材料是能透水的，能吸 $5\sim20\%$ (按质量)的水，也即可吸 $12\sim35\%$ (按体积)的水。必要时，多孔材料表面可以施化妆土或施釉。

不上釉的多孔材料 主要包括：普通砖；空心砖及砌块；微孔砖和特殊用途的微孔制品；无釉的平瓦及脊瓦；无釉劈离砖等。

上釉的多孔材料 主要有：部分釉面砖、上釉的劈离砖、彩釉瓦、部分彩釉砖、釉面砖(内墙用)以及锦砖等。

烧结制品中的少数属于致密材料，它们的断口是有光泽的、表面平滑、敲击时声响较脆，它们的吸水率在 5% (质量)以下。缸质砖可划归此类。

4. 按功能分类

通过正确地选择原料和设计工艺流程，可以保证制品具有某种功能，以满足使用的需要。常常根据功能将制品分类，例如，承重砖、饰面砖、吸音砖、轻质隔热砖等。

5. 按用途分类

砖瓦的用途是最常用的分类依据，按用途可将烧结砖瓦制品分为：