

高等教育“十二五”规划教材

建筑材料检测与应用

高 飞 ◎ 主 编



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社



高等教育“十二五”规划教材

建筑材料检测与应用

蒋春平◎主审

高飞◎主编

贺涛 戴灿任◎副主编

责任编辑：贺涛

封面设计：易英

出版发行：武汉大学出版社（430072 武昌）

（电子邮件：wupb@whu.edu.cn 网址：http://www.wupb.com.cn）

发行：华兴同盟

印刷：武汉市鑫宏源印刷包装有限公司

开本：787×1092 1/16 印张：18.52

版次：2013年3月第1版 2013年3月第1次印刷

ISBN 978-7-307-10408-9



武汉大学出版社

版权所有，侵权必究。本书如有质量问题，请向本社发行部联系调换。

（附赠光盘）

内 容 简 介

本教材是高等职业教育学校土建类专业选用教材。主要内容包括混凝土用骨料、胶凝材料、混凝土、墙体材料、建筑钢材、建筑功能材料等六大部分,系统地介绍了土建工程中常用建筑材料理论基础知识。为适应高等职业教育培养生产、服务与管理第一线的高素质技能型专门人才的目标要求,突出高等职业教育教学在实际工程中的实用性,本教材加强了建筑材料检测、储运保管及选择应用等方面的实践技能知识及技能训练项目内容,并将实验、实训等技能训练内容与基础理论知识有机结合,体现了高等职业教育“教学做合一”的特点。其中※部分为选修内容,供学生拓展知识面。

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料检测与应用 / 高飞主编. —武汉:武汉

大学出版社,2013.3

高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-307-10409-9

I. ①建… II. ①高… III. ①建筑材料—检测—高等
职业教育—教材 IV. ①TU502

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 002801 号

责任编辑:易 瑛

版式设计:张 丽

出版发行:武汉大学出版社(430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:http://www.wdp.com.cn)

发行:华兴同盟

印刷:高碑店市鑫宏源印刷包装有限责任公司

开本:787×1092 1/16 印张:18.25 字数:455千字

版次:2013年3月第1版 2013年3月第1次印刷

ISBN 978-7-307-10409-9

定价:39.80元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

本教材是高等职业教育土建类专业选用教材,根据教育部对高等职业教育土建类专业“建筑材料”课程基本要求,参考国家现行标准、规范和规程编著而成。

本教材在编写中尽可能采用我国现行的有关新标准、新规范,并紧密结合高等职业院校人才培养模式的改革,不仅培养学生掌握有关的专业知识和实践操作技能,而且培养其分析、解决问题的能力,培养创新精神,提高综合素质,实现“知识、能力、素质”的有机统一,突出高等职业教育特色,集中反映了建筑材料领域的新标准、新规范、新工艺及推广应用新技术。

本教材主要内容包括混凝土用骨料、胶凝材料、混凝土、墙体材料、建筑钢材、建筑功能材料等六大部分。系统地介绍了土建工程中常用建筑材料理论知识。为适应高等职业教育培养生产、服务与管理第一线的高素质技能型专门人才的目标要求,突出高等职业教育教学在实际工程中的实用性,本教材加强了建筑材料检测、储运保管及选择应用等方面的实践技能知识及技能训练项目内容,并将实验、实训等技能训练内容与基础理论知识有机结合。体现了高等职业教育“教学做合一”的特点。其中※部分为选修内容,供学生拓展知识面。

经审定,本书可以作为高等职业院校土建类各专业的教材,也可以作为高职高专、成人教育、培训等的教材,以及工程技术人员的参考书使用。

本教材由蒋春平任主审,主编高飞,副主编贺涛、戴灿任。全书由高飞统稿完成。本教材在编写过程中,得到了武汉大学出版社、常德职业技术学院等单位的大力支持和帮助,在此一并表示感谢!

由于建筑工程材料的品种繁多,新材料发展快,且各行业技术标准不完全一致,又鉴于编者水平有限,书中难免有不妥之处,尚祈广大师生、读者批评指正。

高等教育教材编审委员会

2013年2月

目 录

CONTENTS

模块 0

绪论

模块 1

骨料的检测与应用

单元 1	理论基础知识	5
单元 2	细骨料的检测与应用	10
单元 3	粗骨料的检测与应用	18
	复习思考题	29

模块 2

胶凝材料的检测与应用

单元 1	理论基础知识	30
单元 2	气硬性胶凝材料	32
单元 3	水硬性胶凝材料	40
	复习思考题	74

模块 3

混凝土的检测与应用

单元 1	理论基础知识	76
单元 2	混凝土的主要技术性质	79
单元 3	混凝土的耐久性	89
单元 4	混凝土的质量控制	94
单元 5	混凝土的配合比设计	99
单元 6	轻混凝土	115
单元 7	特殊性能混凝土	123
单元 8	现场混凝土质量控制	142
	复习思考题	144

模块 4

墙体材料的检测与应用

单元 1	建筑砂浆	145
单元 2	砌墙砖	160

模块 5

单元 3 墙板*	172
复习思考题	181

建筑钢材的检测与应用

单元 1 建筑钢材的基本知识	182
单元 2 建筑工程常用的钢种	191
单元 3 钢材进场质量控制	208
复习思考题	216

模块 6

建筑功能材料的选择与应用

单元 1 木材	217
单元 2 高分子材料	228
单元 3 沥青	237
单元 4 防水材料	245
单元 5 建筑装饰材料	261
单元 6 保温材料和吸声材料	276
复习思考题	282

参考文献

参考文献	284
------	-----

绪 论

【知识目标】
◆1. 掌握建筑材料的定义，理解建筑材料在各种建筑工程中的地位与作用；
◆2. 掌握建筑材料课程的学习方法。
【能力目标】
◆ 能熟练查询各类建筑材料标准规范。

一、建筑材料的范畴和分类

(一) 建筑材料的范畴

建筑材料是指建筑结构中使用的各种材料，它是一切建筑工程的基础。建筑材料可分为广义建筑材料和狭义建筑材料。广义建筑材料是指用于建筑工程中的所有材料，包括三个部分：一是构建成（构）筑物的材料，如石灰、水泥、混凝土、钢材、防水材料、墙体与屋面材料、装饰材料等；二是施工过程中所需要的辅助材料，如脚手架、模板等；三是各种建筑器材，如消防设备、给水排水设备、网络通信设备等。狭义建筑材料是指直接构成建筑工程实体的材料。本教材所介绍的是狭义建筑材料。

(二) 建筑材料的分类

建筑材料种类繁多，按化学成分来分，可以分为无机材料、有机材料和复合材料三大类，各大类又可分为许多小类，见表 0-1。

建筑材料也可按其使用功能分为结构材料、墙体材料和功能材料三类。

表 0-1 建筑材料按化学组成分类

材料分类		举例
无机材料	金属材料	黑色金属：铁、碳素钢、合金钢等 有色金属：铝、铜等及其合金等
	非金属材料	天然石材：石板、碎石、砂等 烧结制品：陶瓷、砖、瓦等 玻璃及熔融制品：玻璃、玻璃棉、矿棉等 胶凝材料：石灰、石膏、水泥等
	植物质材料	木材、竹材、植物纤维及其制品
有机材料	高分子材料	有机涂料、橡胶、胶黏剂、塑料
	沥青材料	石油沥青、煤沥青、沥青制品
复合材料	金属-非金属材料	钢纤维混凝土、钢筋混凝土等
	无机非金属-有机材料	玻璃纤维增强塑料、聚合物混凝土、沥青混凝土等

二、建筑材料在建筑工程中的地位

(一) 材料是保证建筑工程质量的基础

材料是构成建(构)筑物的物质基础,也是其质量基础。建筑材料和建筑设计、建筑结构、建筑经济及建筑施工等一样,是建筑工程学科的一部分,而且是极为重要的部分。

一个优秀的建筑师总是把建筑艺术和以最佳方式选用的建筑材料融合在一起。结构工程师只有很好地了解建筑材料的性能后,才能根据力学计算,准确地确定建筑构件的尺寸和创造出先进的结构型式。建筑经济学家为了降低造价、节省投资,在基本建设中,首先要考虑的是节约和合理地使用建筑材料。而建筑施工和安装的全过程,实质上是按设计要求把建筑材料逐步变成建筑物的过程。从材料的选用、质量检测和评定,到材料的贮运、保管,任何环节的失误都可能造成工程的质量缺陷,甚至导致重大质量事故。总之,从事建筑工程的技术人员必须了解和掌握建筑材料有关技术知识,而且应使所用的材料都能最大限度地发挥其效能,并合理、经济地满足建筑工程上的各种要求。

为了确保建筑材料的质量,各个国家均有自己的国家标准,例如“ASTM”代表美国国家标准、“JIS”代表日本国家标准、“BS”代表英国标准、“DIN”代表德国标准等。另外,在世界范围内统一执行的标准称国际标准,其代号为“ISO”。

我国常用标准有三大类:一是国家标准,包括强制性标准(代号 GB)和推荐性标准(代号 GB/T);二是行业标准,如建工行业标准(代号 JG)、建材行业标准(代号 JC)、交通行业标准(代号 JT)等;三是地方标准(代号 DB)和企业标准(代号 QB)。技术标准代号按标准名称、部门代号、编号和批准年份的顺序编写,如国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175—2007。部门代号为 GB,编号 175,批准年份为 2007 年,为强制性标准。

对于强制性国家标准,任何技术(或产品)不得低于其规定的要求;对于推荐性国家标准,表示也可执行其他标准的要求;地方标准或企业标准所制定的技术要求应高于国家标准。

(二) 材料对建筑工程造价的影响

在一般土木建筑工程的总造价中,与材料有关的费用占 60% 以上,特殊工程甚至达到 80%。在实际工程中,材料的选择、使用及管理,对工程成本影响很大。学习并准确熟练地掌握土木建筑工程材料知识,可以优化选择和正确使用材料,充分利用材料的各种功能,在确保优质的同时降低工程成本。

(三) 材料对建筑工程技术进步的相互促进和相互依存作用

在建筑工程建设过程中,工程的设计方法、施工方法都与材料密切相关。从根本上说,材料是基础,是决定建筑工程结构设计形式和施工方法的主要因素。一种新型建筑材料的出现必将促进建筑形式的创新,同时结构设计和施工技术也将相应改进和提高。例如钢材及水泥的大量应用和性能改进,取代了过去的砖、石、土木,使得钢筋混凝土结构占据建筑工程结构材料的主导地位。同样,新的建筑形式和结构布置,也需要新的建筑材料,并促进建筑材料的发展。

三、建筑材料的发展及趋势

建筑材料的发展史是人类文明史的一部分。随着社会生产力和科学技术的发展,建筑材料也在逐步发展中。人类从不懂使用材料到简单地使用土、石、树木等天然材料,进而掌握人造材料的制造方法,从烧制石灰、砖、瓦,发展到烧制水泥和大规模炼钢,建筑结构也从简单的砖木结构发展到钢和钢筋混凝土结构。材料的发展反过来又使社会生产力和科学技术得到了发展。20世纪中期以后,建筑材料的发展更加迅速。传统材料朝着轻质、高强、多功能方向发展,新材料不断出现,高分子合成材料及复合材料更是异军突起,越来越多地被应用于各种建筑工程上。

从目前我国建筑材料现状来看,普通水泥、普通钢材、普通混凝土和普通防水材料是最主要的建筑材料。这是因为这些材料有比较成熟的生产工艺和应用技术,使用性能能够满足目前的消费要求。与发达国家相比,目前存在的问题有:品种少,质量档次低,生产和使用能耗大,浪费严重等。因此,如何发展和应用新型的建筑材料已经成为现代化建设亟待解决的问题。随着现代化建筑向高层、大跨度、节能、美观、舒适的方向发展,特别是基于新型建筑材料的自重轻、抗震性能好、能耗低,大量利用工业废渣等优点,研究开发和应用建筑新材料已成为必然。建筑材料的发展方向可以理解为:

- (1) 生产所用的原材料充分利用地区性原料、工业废料、固体废弃物。
- (2) 生产过程中能耗低,不破坏生态平衡,有效保护天然资源;使用过程中不产生环境污染,即废水、废气、废渣、噪音等零排放;产品可再生循环和回收利用;具有良好的社会效益。
- (3) 主要产品和配套产品同步发展,并解决好利益平衡关系,具有良好的经济效益。
- (4) 产品性能要求质轻、高强、多功能,不仅对人畜无害,而且能净化空气、抗菌、防静电、防电磁波等。
- (5) 加强材料的耐久性研究设计。

四、本课程的主要研究内容及学习方法

(一) 本课程的学习内容和基本要求

建筑材料是一门专业基础课。主要学习建筑工程中常用建筑材料的原料、成分、生产过程、技术性能、质量检验、合理使用及运输储存。

它除了为后续的建筑结构、建筑施工等专业课提供必要的基础知识外,也为在工程实际中解决建筑材料问题提供一定的基本理论知识和基本试验技能。

各种建筑材料,在原材料、生产工艺、结构及构造、性能及应用、检验和验收、运输及储运等方面既有共性,也有各自的特点,全面掌握建筑材料的知识,需要学习和研究的内容范围很广。作为建筑工程技术人员,在工作中主要是使用材料,因此掌握各种建筑材料的性能及其适用范围,以及在种类繁多的建筑材料中选择最适合的品种加以应用,最为重要。除了在施工现场直接配制或加工的材料(如砂浆、混凝土、金属焊接、防水材料等)需要深入学习其原材料和生产工艺外,对于以产品形式直接在施工现场使用的材料,也需要了解其原材料、生产工艺及结构、构造的一般知识,以明了这些因素如何影响材料的性能,并最终如何影响构筑物的性能。

具体而言,主要包括以下内容和要求:

- (1) 常用建筑材料的品种、规格、性能及应用,在储运、验收中必须注意的有关问题;
- (2) 常用建筑材料的主要技术性质,材料的组成、结构、构造与性质的关系,以及原料生产工艺过程及其对材料性质的影响;
- (3) 节约材料、改善性能及防护处理的原则和方法;
- (4) 主要常用建筑材料的质量检验方法及相应的技术标准;
- (5) 建筑材料发展方向;
- (6) 建筑材料与环境的关系。

(二) 教学环节和学习方法

建筑材料是一门理论与实践性都很强的课程,通过试验除能验证学过的理论知识,丰富感性知识外,还能学习基本的试验技能,提高动手能力和分析问题、解决问题的能力。所以除掌握好建筑材料理论知识外,必须十分重视试验课,要切实做到人人动手,按章操作,仔细记录,准确计算,认真分析,并及时完成检测报告。另外,在今后的学习及工作实践中,在接触材料问题时,要善于运用已学过的知识来分析、解决问题,进一步巩固和深化对建筑材料的认识。具体学习要求如下:

- (1) 掌握材料科学研究的一般规律:生产→组成→结构→性能→应用;
- (2) 采用对比学习方法,掌握重点;
- (3) 重视试验与技能训练,培养实践经验与社会能力;
- (4) 重视自学能力的培养。

五、技能训练项目



【训练项目】 通过网络查找并熟悉一种建筑材料的国家(行业)

标准

任务实施要求

1. 教师将学生合理分组(可参照试验操作分组情况进行),每组明确组长一名,各组工作任务由组长分配(后续工作任务按此要求进行)。
2. 要求学生分组进行资料查找,各组查找标准不能相同。
3. 由组长提交电子稿或纸质文档。包括标准类别、标准主要内容、前后两次标准制定的时间、标准制定单位。
4. 教师应在课前作评价,并检查提问。
5. 教师适度讲解在互联网上查找资料的方法,并介绍相关标准查找方法。

骨料的检测与应用

第 2 章

【知识目标】
◆1. 熟练掌握材料孔隙率及其对材料性质的影响；了解水对材料性质的影响； ◆2. 熟练掌握砂石技术性能要求及质量检测方法； ◆3. 理解骨料级配和细度的联系、区别； ◆4. 掌握级配与细度对材料总表面积、孔隙率的影响，并拓展到对材料密实度、耐久性的影响。
【能力目标】
◆1. 能正确完成砂石进场取样、制样及分类存放； ◆2. 能熟练完成砂石级配，相关密度、强度检测，并能根据相关规范标准进行试验数据计算，评定砂石质量，填写砂石质量检测报告。

建筑材料是构成建筑工程的物质基础，各种建筑物都是由不同的材料经设计、施工、建造而成。这些材料所处的环境、部位、使用功能的要求和作用不同时，对材料的性质要求也就不同，因此材料必须具备相应的基本性质，如用于结构的材料要具有相应的力学性质，以承受各种力的作用。根据建筑工程的功能需要，还要求材料具有相应的防水、绝热、隔声、防火、装饰等性质，如地面的材料要具有耐磨的性质，墙体材料应具有绝热、隔声性质，屋面材料应具有防水性质。而建筑材料在长期的使用过程中，会经受日晒、雨淋、风吹、冰冻和各种有害介质侵蚀，因此还要求材料有良好的耐久性。

可见，材料的应用与其所具有的性质是密切相关的。建筑材料的基本性质主要包括物理性质、力学性质和耐久性。



单元 1 理论知识

一、材料与质量有关的性质

(一) 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量。材料的密度可按下式计算：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中 m ——材料在干燥状态下的质量 (kg)；

V ——干燥材料在绝对密实状态下的体积 (m^3)；

ρ ——材料的密度 (g/cm^3 或 kg/m^3)。

材料在绝对密实状态下的体积，是指材料不包括材料内部孔隙体积在内的固体物质所占的体积。建筑材料中，除了钢材、玻璃等材料可近似地直接量取其密实体积外，其他绝

大多数材料都含有一定的孔隙,如砖石、木材、混凝土及其制品等。测定含有孔隙的材料绝对密实体积的简单方法是细磨排水(液)法,也称李氏比重瓶法。将材料磨成细粉,经干燥至恒重后,用李氏瓶法测定其密实体积。其试验精度与材料磨细程度有关,磨得越细,内部孔隙消除得越完全,一般要求细粉的粒径至少小于0.20 mm。

(二) 表观密度

表观密度是指材料在自然状态下单位体积的质量。材料的表观密度可按式计算:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1-2)$$

式中 m ——材料的质量 (kg);

V_0 ——材料在自然状态下的体积 (m^3);

ρ_0 ——材料的表观密度 (g/cm^3 或 kg/m^3)。

材料在自然状态下的体积,是指包括孔隙体积在内的材料体积。对于外形规则材料的表观体积,可直接用尺度量后计算求得;对外形不规则材料的表观体积,可将材料表面涂蜡后用排水法测定。

工程上常用的砂、石材料,其颗粒内部孔隙极少,用排水法测出的颗粒体积与其实物体积基本相同,所以砂、石的表观密度可近似地视作其密度,常称视密度。

材料表观密度的大小与含水量有关。当材料的孔隙中含有水分时,其质量(包括水的质量)和体积均会发生变化,影响材料的表观密度,故所测的表观密度必须注明其含水状态。通常材料的表观密度是指材料在气干状态(长期在空气中的干燥状态)下的表观密度。材料在烘干状态下的表观密度称为干表观密度。

(三) 散粒材料的堆积密度

散粒材料在自然堆积状态下单位体积的质量,称为堆积密度。自然堆积状态下的体积,包括颗粒之间的空隙体积在内,通常用容器的标定容积表示。材料的堆积密度可按式计算:

$$\rho_0' = \frac{m}{V_0'} \quad (1-3)$$

式中 m ——材料的质量 (kg);

V_0' ——材料在自然堆积状态下的体积 (m^3);

ρ_0' ——材料的堆积密度 (g/cm^3 或 kg/m^3)。

(四) 密实度与孔隙率

1. 密实度

密实度是指材料体积内被固体物质所充实的程度。密实度 D 可表示为:

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 D ——材料的密实度 (%);

V ——材料在绝对密实状态下的体积 (m^3);

ρ ——材料的密度 (kg/m^3);

ρ_0 ——材料的表观密度 (kg/m^3)。

2. 孔隙率

孔隙率是指材料中孔隙体积占材料总体积的百分数。孔隙率可表示为:

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-5)$$

式中的 ρ_0 须用材料的干表观密度。

材料的密度、表观密度、孔隙率是材料最基本的物理参数,它们反映了材料的密实程度。

材料孔隙率的大小表明材料的密实程度。孔隙率及孔隙构造特征影响材料的力学、热学性质、材料与水有关的性质和材料的耐久性。材料的孔隙构造特征一般可由孔隙连通性、孔隙大小、孔隙分布情况 3 个指标来描述。

(1) 孔隙连通性。根据孔隙连通性可将孔隙分为连通孔、封闭孔和半封闭孔。连通孔是指孔隙之间、孔隙和外界之间都连通的孔隙(如木材、矿渣);封闭孔是指孔隙之间、孔隙和外界之间都不连通的孔隙;介于两者之间的称为半连通孔或半封闭孔。一般情况下,连通孔对材料的吸水性、吸声性影响较大,而封闭孔对材料的保温隔热性能影响较大。

(2) 空隙大小。孔隙按其直径的大小可分为粗大孔、毛细孔、微孔。粗大孔是指直径大于毫米级的孔隙,这类孔隙对材料的密度、强度等性能影响较大。毛细孔是指直径在微米至毫米级的孔隙,对水具有强烈的毛细作用,主要影响材料的吸水性、抗冻性等性能,这类孔在多数材料内都存在,如混凝土、石膏等。微孔的直径在微米级以下,其直径微小,对材料的性能反而影响不大,如瓷质及炆质陶瓷。

(3) 孔隙分布。孔隙在材料内部的分布均匀程度对材料的性能有一定的影响,一般情况下孔隙分布越均匀对材料越有利。

(五) 填充率与空隙率

对于松散颗粒状态材料,如砂、石子等,可用填充率和空隙率表示互相填充的疏松致密程度。

1. 填充率

填充率是指散粒状材料在堆积体积内被颗粒所填充的程度。

$$D' = \frac{V_0' - V_0}{V_0'} \times 100\% = \frac{\rho_0'}{\rho_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 D' ——散粒状材料在堆积状态下的填充率(%)。

2. 空隙率

散粒状材料颗粒之间的空隙体积占材料堆积状态下总体积的百分数,称为散粒材料的空隙率。

$$P' = \frac{V_0' - V_0}{V_0'} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0'}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (1-7)$$

在建筑工程中,材料的密度、表观密度和堆积密度常用来计算材料的用量、构件的自重,并用来计算配料及确定材料的堆放空间。

几种常用材料的密度、表观密度、堆积密度见表 1-1。

表 1-1 几种常用材料的密度、表观密度、堆积密度

材料名称	密度 (g/cm^3)	表观密度 (kg/m^3)	堆积密度 (kg/m^3)	孔隙率 (%)
钢材	7.85	7 800~7 850	—	0
花岗岩	2.70~3.00	2 500~2 900	—	0.5~3.0
石灰石 (碎石)	2.48~2.76	2 300~2 700	1 400~1 700	—
砂	2.50~2.60	—	1 500~1 700	—
水泥	2.80~3.10	—	1 600~1 800	—
粉煤灰 (气干)	1.95~2.40	1 600~1 900	550~800	—
烧结普通砖	2.60~2.70	2 000~2 800	—	20~40
烧结多孔砖	2.60~2.70	900~1 450	—	—
普通水泥混凝土	—	1 950~2 500	—	—
红松木	1.55~1.60	400~600	—	55~75
普通玻璃	2.45~2.55	2 450~2 550	—	—
铝合金	2.70~2.90	2 700~2 900	—	—
泡沫塑料	—	20~50	—	—

二、与水有关的性质

(一) 亲水性与憎水性

建筑材料在使用过程中常与水或水蒸气接触。材料在空气中与水接触时,根据其表面能否被水润湿,可分为亲水性材料与憎水性材料两种。

材料的亲水性与憎水性可用润湿角 θ 来说明,如图 1-1 所示。

在材料、水、空气的相交点处,沿水滴表面所作切线与材料表面的夹角,称为润湿角 θ 。 θ 愈小,表明材料愈易被水湿润; $\theta=0$ 时,材料完全被水浸润; θ 愈大,表明材料愈难被水湿润。

一般认为,当润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 时,表明水分子间的内聚力小于水分子与材料分子间的吸引力,则材料表面会被水润湿,这种材料称为亲水性材料 [图 1-1 (a)],如木材、混凝土、砂石等;当润湿角 $\theta > 90^\circ$ 时,表明水分子间的内聚力大于水分子与材料分子间的吸引力,则材料表面不会被水润湿,这种材料称为憎水性材料 [图 1-1 (b)],如沥青、石蜡等。憎水材料不仅可用作防水材料,而且还可用于处理亲水材料的表面,以降低其吸水性,提高材料的防水、防潮性能。

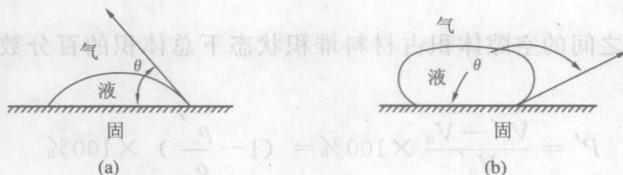


图 1-1 材料的浸润示意图

(a) 亲水性材料; (b) 憎水性材料

(二) 吸水性及吸湿性

1. 吸水性

材料在水中吸收水分的性质称为吸水性。由于材料的亲水性及开口孔隙的存在,大多数材料具有吸水性。吸水性的 大小常以吸水率表示,有质量吸水率和体积吸水率两种。

(1) 质量吸水率。

质量吸水率是指材料吸水饱和时,所吸水的质量占材料干燥质量的百分率。用公式表示如下:

$$W_m = \frac{m_1 - m}{m} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中 W_m ——材料的质量吸水率(%) ;

m ——材料在干燥状态下的质量(g或kg);

m_1 ——材料吸水饱和时的质量(g或kg)。

(2) 体积吸水率。

体积吸水率是指材料吸水饱和时,所吸水分体积占材料干燥体积的百分率。用公式表示如下:

$$W_v = \frac{m_1 - m}{V_0} \times \frac{1}{\rho_w} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中 W_v ——材料的体积吸水率(%) ;

V_0 ——干燥材料在自然状态下的体积(cm^3 或 m^3) ;

ρ_w ——水的密度,常温下取 $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$ 。

材料的体积吸水率与质量吸水率之间的关系为:

$$W_v = W_m \times \frac{\rho_0}{\rho_w} \quad (1-10)$$

式中 ρ_0 ——材料在干燥状态下的表观密度(g/cm^3)。

材料的吸水性除与材料本身的亲水性或憎水性有关外,还与材料的孔隙特征有关。一般孔隙率越大,吸水性越强。孔隙率相同时,具有开口且连通的微小孔隙构造的材料,吸水性一般要强于封闭的或粗大连通孔隙构造的材料。

各种材料吸水率相差甚大,如花岗岩等致密岩石,吸水率为0.1%~0.7%,普通混凝土为2%~3%,而木材或其他轻质材料的质量吸水率常大于100%,即湿质量是干质量的几倍,此时最好用体积吸水率表示其吸水性。材料吸水后,表观密度增大,导热性增大,强度降低,体积膨胀,一般会对材料造成不利影响。

2. 吸湿性

材料吸收空气中水分的性质称为吸湿性。材料的吸湿性可用含水率表示,含水率为材料中所含水的质量与材料干燥质量的百分比,可用下式表示:

$$W_h = \frac{m_s - m}{m} \times 100\% \quad (1-11)$$

式中 W_h ——材料的含水率(%) ;

m ——材料干燥时的质量(g或kg);

m_s ——材料吸湿后的质量(g或kg)。

干的材料在空气中能吸收水分,湿的材料在空气中又会失去水分,最终材料中的水分

与周围空气的湿度达到平衡,这时的材料处于气干状态。材料在气干状态下的含水率,称为平衡含水率。平衡含水率不是固定不变的,它随着环境温度与湿度的改变而改变。

材料的吸湿性主要与材料的组成、孔隙率,特别是孔隙特征有关,还与周围环境的温度与湿度有关。一般来说,环境中温度越高,湿度越低,含水率越小。材料吸湿后,除了本身质量增加外,还会降低其绝热性、强度及耐久性,对工程产生不利的影响。

(三) 耐水性

材料长期在水的作用下不破坏,强度也不显著降低的性质称为耐水性。

一般材料含有水分时,由于内部微粒间结合力减弱而强度有所降低,即使致密的材料也会因此影响强度。若材料中含有某些易被水溶解或软化的物质(如黏土、石膏等),强度降低就更为严重。因此,对长期处于水中或潮湿环境中的建筑材料,必须考虑耐水性。

材料的耐水性以软化系数 K_s 表示:

$$K_s = \frac{f_w}{f} \quad (1-12)$$

式中 K_s ——软化系数;

f_w ——材料在水饱和状态下的抗压强度 (MPa);

f ——材料在干燥状态下的抗压强度 (MPa)。

软化系数的范围在 0~1 之间。软化系数的大小有时成为选择材料的重要依据。工程中通常把 K_s 大于 0.85 的材料称为耐水材料,对于经常与水接触或处于潮湿环境中的重要建筑物,必须选用耐水材料建造;用于受潮较轻或次要的建筑物时,材料的软化系数也不得小于 0.75。



单元2 细骨料的检测与应用

一、砂相关理论知识

粒径小于 4.75 mm 的岩石颗粒称为细骨料(砂)。砂按其产源分为天然砂和机制砂两种。天然砂是指自然生成的,经人工开采和筛分的粒径小于 4.75 mm 的岩石颗粒,包括河砂、湖砂、山砂、淡化海砂,但不包括软质、风化的岩石颗粒,通常以洁净的河砂为优。海砂经洗去盐分筛去贝壳等轻物质后,也可使用。山砂是岩体风化后在山谷或旧河床等适当地形中堆积下来的岩石碎屑,它具有颗粒多棱角、表面粗糙、含泥量及有机杂质较多的特点,必须经充分论证后方可使用。细骨料一般用天然砂,在天然砂缺乏的条件下,也可采用机制砂。

机制砂是经过除土处理,由机械破碎、筛分制成的粒径小于 4.75 mm 的岩石、矿山尾矿或工业废渣颗粒,但不包括软质、风化的颗粒。机制砂由于采用机械的方法进行加工,成本较天然砂高,只有在当地缺乏天然砂时,才采用它作为混凝土的细骨料。

根据《建设用砂》(GB/T 14684—2011)规定:通常把细度模数为 3.1~3.7 的砂称为粗砂,2.3~3.0 的砂称为中砂,1.6~2.2 的砂称为细砂。按技术要求分为 I、II、III 类砂。

(一) 砂的质量标准

集料的级配、颗粒形状、表面结构、含泥量、有害物质含量、坚固性等新拌混凝土的性能有重要影响；集料的性质与硬化混凝土的性能也有十分密切的关系。砂应质地坚硬、清洁，有害杂质含量不超过限量。砂中有害杂质主要有：黏土、淤泥、黑云母、硫化物、硫酸盐、有机物以及贝壳、煤屑等轻物质。黏土、淤泥、黑云母会影响水泥与骨料的胶结，含量多时，会使混凝土强度降低。尤其是成团的黏土，对混凝土强度的影响更为严重。硫化物、硫酸盐、有机物对水泥有侵蚀作用。轻物质本身强度较低，会影响混凝土的强度及耐久性。对于有抗冻、抗渗要求的混凝土，砂中云母含量不应大于1.0%。

当砂中含有颗粒状的硫酸盐或硫化物杂质时，应进行专门检验，确认能满足混凝土耐久性要求后，方能采用。

钢筋混凝土用砂，其氯离子含量不得大于0.06%（以干砂的质量百分率计）；预应力混凝土用砂，其氯离子含量不得大于0.02%（以干砂的质量率计）。

由于海砂含盐量大，对钢筋有锈蚀作用，故用于水下和水位变化区钢筋混凝土时，含盐量（全部氯离子换算成NaCl含量）不应大于0.1%。必要时应进行淋洗，也可掺入水泥质量0.6%~1.0%的亚硝酸钠（NaNO₂）抑制钢筋锈蚀。

对于长期处于潮湿环境的重要混凝土结构用砂，应采用砂浆棒（快速法）或砂浆长度法进行骨料的碱活性检验。经上述检验判断为有潜在危害时，应控制混凝土中的碱活性检验。经上述检验判断为有潜在危害时，应控制混凝土中的碱含量不超过3 kg/m³，或采用能抑制碱—骨料反应的有效措施。

为了保证混凝土的质量，天然砂中有害杂质含量应符合国家标准《建设用砂》，不超过表1-2、表1-3中的规定。

表 1-2 天然砂中的含泥量

混凝土强度等级	I	II	III
含泥量（按质量计）/（%）	≤1.0	≤3.0	≤5.0
含泥块（按质量计）/（%）	0	≤1.0	≤2.0

表 1-3 砂中有害杂质

类别	I	II	III
云母含量（按质量计）/（%）	≤1.0	≤2.0	≤2.0
轻物质含量（按质量计）/（%）	≤1.0	≤1.0	≤1.0
有机物	合格	合格	合格
硫化物及硫酸盐含量（按SO ₃ 质量计）/（%）	≤0.5	≤0.5	≤0.5
氯化物（以氯离子质量计）/（%）	≤0.01	≤0.02	≤0.06
贝壳（按质量计）/（%）	≤3.0	≤5.0	≤8.0

注：该指标仅适用于海砂，其他砂种不作要求。

(二) 砂的粗细及颗粒级配

砂的粗细是指不同粒径的砂粒混合在一起时，颗粒在总体上的平均粗细程度。砂的粗细和级配对混凝土的性能有重要的影响，也会影响混凝土的经济性。