

# Building Materials

普通高等教育“十一五”规划教材

## 建筑材料



张光碧 主 编 钟泽权 副主编  
姚 燕 杨长辉 主审



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材

PUTONG  
GAODENG JIAOYU  
SHIYIWU  
GUIHUA JIAOCAI

# 建筑材料

---

主 编 张光碧  
副主编 钟泽权  
编 写 肖 军 董建华 谢新生 陈 媛  
朱云兰 刘 超 王勇威  
主 审 姚 燕 杨长辉  
英语审查 张建海



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”规划教材。全书共分十五章，主要内容包括建筑材料的基本性质，天然石材，气硬性胶凝材料，水泥，混凝土，建筑砂浆，沥青及沥青混凝土，金属材料，建筑玻璃，合成高分子材料，木材，墙体材料和屋面材料，防水材料，绝热、吸声隔声及装饰材料，建筑材料试验等。本书按现行国家标准、部颁行业标准和最新规范编写，反映国际国内建筑材料的最新进展及最新成果，本教材语言精炼、条理清楚、选材合理、图文并茂、中英结合。

本书可作为高等院校水利水电工程、农田水利工程、水利水电工程施工、水运工程、工业与民用建筑工程、交通道路工程等专业的教材和教学用书，也可作为这些专业工程技术人员的参考用书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

建筑材料/张光碧主编. —北京: 中国电力出版社,  
2006.9

普通高等教育“十一五”规划教材  
ISBN 7 - 5083 - 4599 - 1

I. 建... II. 张... III. 建筑材料—高等学校—教材 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 085535 号

中国电力出版社出版、发行  
(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)  
汇鑫印务有限公司印刷  
各地新华书店经售

\*  
2006 年 8 月第一版 2006 年 8 月北京第一次印刷  
787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.25 印张 518 千字  
印数 0001—3000 册 定价 29.80 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

# 出版说明

## Pubish Explanation

本书是根据普通高等教育“十一五”教材规划,在原《建筑材料》讲义的基础上修订而成的。本书具有如下特点:

1. 以我国西部大开发为背景,反映国际国内建筑材料的最新进展。
2. 按现行国家标准、部颁行业标准和最新规范编写。
3. 尽量反映近年来我国建筑材料科研、生产及工程应用的最新成果。
4. 本教材语言精炼、条理清楚、选材合理、图文并茂、中英结合。
5. 本书主要讲述水利水电工程、水运工程、工业与民用建筑工程、交通道路等工程中常用的主要建筑材料的组成、成分、生产过程、技术性能、质量检验、使用方法等基本知识。
6. 本书为高等院校水利水电工程建筑、农田水利工程、水利水电工程施工、水运工程、工业与民用建筑工程、交通道路工程等专业的教材和教学用书,也可作为这些专业工程技术人员的参考用书。

本书由四川大学张光碧主编,西华大学钟泽权副主编。绪论,第一章,第五章,第十五章的第一、三、四、五节由四川大学张光碧编写,第二章,第四章,第十五章的第二节由西华大学钟泽权编写,第三章,第十二章,第十五章的第十节由西南科技大学肖军编写,第六章、第九章、第十章、第十五章的第六节由四川大学董建华编写,第七章,第十五章的第七、八节由四川大学谢新生编写,第八章由四川大学陈媛编写,第十一章,第十五章的第九节由昆明理工大学朱云兰编写,第十三章由四川大学刘超编写,第十四章由四川大学王勇威编写。

中国建筑材料科学研究院院长姚燕教授和重庆大学杨长辉教授对本书进行了认真细致的审阅,并提出许多中肯的意见,四川大学的张建海教授担任英语审查,在此表示感谢。

在编写过程中参考了各校对原《建筑材料》讲义的修改意见,很多同仁和同事对本书提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示深深的谢意。

由于我们水平有限,加之时间仓促,书中错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正,以利我们修订重印。

编者  
2006年5月

## 目 录

出版说明	
绪 论	1
第一章 建筑材料的基本性质	4
第一节 材料的物理性质	4
第二节 材料的基本力学性质	12
第三节 材料的耐久性	17
第四节 材料的组成、结构、构造对材料性质的影响	17
思考题	20
第二章 天然石材	21
第一节 天然岩石的组成及分类	21
第二节 天然石材的技术性质	24
第三节 石材的加工类型及选用	25
思考题	27
第三章 气硬性胶凝材料	28
第一节 石 灰	28
第二节 石 膏	30
第三节 水玻璃	33
思考题	34
第四章 水 泥	35
第一节 硅酸盐水泥	35
第二节 掺混合材料的硅酸盐水泥	45
第三节 其他品种水泥	50
思考题	55
第五章 混凝土	56
第一节 概 述	56
第二节 普通混凝土的基本组成材料	56
第三节 新拌混凝土的和易性	65
第四节 混凝土的强度	71
第五节 混凝土的耐久性	77
第六节 混凝土的质量控制	84
第七节 普通混凝土的配合比设计	88
第八节 混凝土的外加剂	96
第九节 混凝土的掺和料	106
第十节 混凝土的变形	110

第十一节	高性能混凝土	114
第十二节	碾压混凝土	117
第十三节	其他混凝土	126
思考题		131
<b>第六章</b>	<b>建筑砂浆</b>	133
第一节	砌筑砂浆的材料组成及技术性质	133
第二节	砌筑砂浆的配合比设计	136
第三节	抹面砂浆和特种砂浆	139
思考题		142
<b>第七章</b>	<b>沥青及沥青混凝土</b>	143
第一节	概述	143
第二节	石油沥青	144
第三节	沥青改性方法	152
第四节	沥青混凝土	154
思考题		162
<b>第八章</b>	<b>金属材料</b>	163
第一节	钢材的生产与分类	163
第二节	钢材的技术性质	166
第三节	钢材的晶体结构与化学成分	169
第四节	钢材的加工与焊接	173
第五节	钢材的防火和防腐蚀	174
第六节	建筑钢材的标准与选用	176
第七节	铝和铝合金	187
第八节	新型金属材料	189
思考题		192
<b>第九章</b>	<b>建筑玻璃</b>	194
第一节	玻璃的制造及种类	194
第二节	玻璃的基本特性与加工装饰	197
第三节	建筑玻璃的品种、特性与光学装饰用途	200
思考题		202
<b>第十章</b>	<b>合成高分子材料</b>	203
第一节	合成高分子材料的基本知识	203
第二节	建筑塑料	205
第三节	合成橡胶	209
第四节	合成胶粘剂	211
思考题		214
<b>第十一章</b>	<b>木材</b>	215
第一节	木材的分类及构造	215

第二节	木材的物理力学性质 .....	216
第三节	木材的腐朽和防腐 .....	220
第四节	木材的应用 .....	221
思考题	.....	223
<b>第十二章</b>	<b>墙体材料和屋面材料</b> .....	<b>224</b>
第一节	烧结砖 .....	224
第二节	工业废渣砖 .....	229
第三节	建筑砌块 .....	230
第四节	建筑板材 .....	233
第五节	屋面材料 .....	234
思考题	.....	237
<b>第十三章</b>	<b>防水材料</b> .....	<b>238</b>
第一节	防水涂料 .....	238
第二节	防水卷材 .....	242
第三节	建筑密封材料 .....	251
思考题	.....	257
<b>第十四章</b>	<b>绝热、吸声隔声及装饰材料</b> .....	<b>258</b>
第一节	绝热材料 .....	258
第二节	吸声隔声材料 .....	260
第三节	装饰材料 .....	264
思考题	.....	269
<b>第十五章</b>	<b>建筑材料试验</b> .....	<b>270</b>
第一节	建筑材料基本物理性质试验 .....	270
第二节	水泥试验 .....	272
第三节	混凝土骨料试验 .....	280
第四节	新拌混凝土试验 .....	289
第五节	混凝土试验 .....	299
第六节	砂浆试验 .....	311
第七节	沥青材料试验 .....	315
第八节	沥青混凝土试验 .....	320
第九节	木材试验 .....	323
第十节	砌墙砖试验 .....	328
<b>参考文献</b>	.....	<b>331</b>

## 绪 论

## Introduction

## 一、建筑材料的定义和分类 The definition and classification of building materials

建筑材料是指建造一切建筑结构物中使用的各种材料和制品，它是水利、水运、房屋、道路、桥梁等一切土木工程的物质基础。

建筑材料品种繁多、性质各异，为了方便应用，工程中常按不同的方法对建筑材料进行分类。根据材料的来源，可分为天然材料和人造材料；根据使用部位，可分为承重材料、屋面材料、墙体材料和地面材料等；根据建筑功能，可分为结构材料、装饰材料、防水材料、保温绝热材料等。从研究材料的角度出发，通常根据材料的组成将材料分为有机材料、无机材料和复合材料三大类，见表 0-1。

表 0-1

建筑材料按组成分类

Tab. 0-1

The classification of building materials according to composition

分 类		举 例	
无 机 材 料	金属材料	黑色金属	钢、铁、合金、不锈钢等
		有色金属	铅、铜、铝合金等
	非金属材料	天然石材	砂、石、及石材制品
		烧土制品	砖、瓦、玻璃、陶瓷制品
		胶凝材料	水泥、石灰、石膏、水玻璃、菱苦土等
		混凝土及制品	混凝土、砂浆、硅酸盐制品等
无机纤维材料	玻璃纤维、矿物棉等		
有 机 材 料	植物材料	木材、竹材、植物纤维及制品等	
	沥青材料	天然沥青、石油沥青、煤沥青、页岩沥青	
	合成高分子材料	塑料、合成橡胶、合成纤维、合成胶粘剂、合成树脂、涂料等	
复 合 材 料	无机非金属与有机材料的复合	玻璃纤维增强塑料、树脂混凝土、聚合物水泥混凝土、沥青混凝土	
	无机金属材料与非金属材料的复合	钢筋混凝土、钢纤维混凝土	
	无机金属材料与有机材料的复合	PVC 钢板、金属夹芯板、塑钢等	

## 二、建筑材料的发展和标准化生产 The development and standardized production of building materials

建筑材料的发展是随着人类社会生产力的不断发展而发展的，与建筑技术的进步有着不可分割的联系，它们相互制约又相互推动。

人类最早以洞穴为居住地，一万八千多年前，北京周口店龙骨山山顶洞人，仍住在天然岩洞里。但在距今六千多年的西安半坡遗址，就已采用木骨泥墙建房。在距今三千多年的河南安阳的殷墟、西周早期的陕西凤雏遗址，就发现了冶铜作坊、烧土瓦和三合土。说明我国



劳动人民在三千多年前就己能烧制石灰、砖瓦等人造建筑材料。历史上,我国曾兴建了大量世界文明的土木工程,如都江堰、长城、大运河、赵州桥、应县佛宫寺木塔、北京故宫等。但这些工程基本以土、石、砖、木、三合土为建筑材料,三合土是最早的混凝土。19世纪20年代波特兰水泥的发明,作为混凝土的胶凝材料有了质的飞跃,产生了水泥混凝土。19世纪中期以后,钢铁工业得到了发展,在混凝土中配入钢筋,形成钢筋混凝土复合材料,弥补了纯混凝土抗拉强度不足的缺陷,大大促进了混凝土在各种工程结构上的应用,这是建筑材料的巨大进步。20世纪20年代预应力混凝土的出现,使大跨度建筑,高层建筑,抗震、防裂的建筑成为可能,这是建筑材料史上的再一次飞跃,促进了世界范围内建筑结构和建筑艺术的迅速发展。2003年建成的中国台北金融大厦,结构高达455m;2007年将建成的上海环球金融中心,101层、高492m,将成为世界第一高楼;2003年开工,将于2008年建成的连接上海与宁波的杭州湾跨海大桥长36km,将成为世界上最长的大桥;2009年将建成的长江三峡水利工程,其装机容量达1820万kW,大坝混凝土浇筑量达2800万m<sup>3</sup>,是目前世界最大的巨型工程。水泥、混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土仍然是现代建筑的主要结构材料。

近年来,建筑工程规模日趋扩大,保温、隔热、吸声、防水、耐火等功能材料应运而生,玻璃、塑料、铝合金、塑钢等新型复合材料更是层出不穷,促进了建筑材料生产及其科学技术的迅速发展。采用现代的电子显微镜、X衍射分析、测控技术的先进仪器设备,可从微观和宏观两个方面对材料的形成、构造与材料性能的关系进行研究,可以实现按指定性能来设计和制造材料,以及对传统材料进行各种改性,充分利用工农业废料及再生资源的建筑材料不断出现,节约能源、减少污染、保护环境的高性能、多功能、绿色、智能化材料和现代化生产工艺不断开发,已成为21世纪建筑材料工业的发展方向。

建筑材料的蓬勃发展,要求建筑材料的标准化生产。标准化是现代社会化大生产的产物,也是科学管理的重要组成部分。标准化生产表明我国建筑材料生产已完成了从量到质的转变。建筑材料的技术标准,是产品质量的技术依据,生产企业必须按标准生产合格产品;使用者应按标准选用材料、按规范进行工程的设计与施工,以保证工程的安全、适用、耐久、经济。同时,技术标准也是产品质量检查、验收的依据。

世界各国均有自己的国家标准,如美国的“ASTM”标准、德国的“DIN”、英国的“BS”、日本的“JIS”,世界范围统一使用的国际标准“ISO”。

我国的技术标准分为国家标准、部颁标准及地方标准和企业标准。技术标准的表示方法由标准名称、代号、标准号、年代号组成。国家标准代号GB及GB/T(推荐标准);建设部行业标准代号JGJ;国家建材局标准代号JC;水利部标准代号SL;电力行业标准代号DL;交通部标准JT。如:GB50119—2003《混凝土外加剂应用技术规范》;JGJ51—2002《轻骨料混凝土技术规程》;SL211—1998《水工建筑物抗冰冻设计规范》;DL/T5144—2001《水工混凝土施工规范》等。一般企业、行业标准应高于国家标准。对于建筑材料使用者,熟悉和运用建筑材料技术标准,有着十分重要的意义。

### 三、建筑材料的重要性 The importance of building materials

建筑材料是一切土木工程的重要物质基础,是国民经济的支柱之一,与人们生活息息相关,不可分割。为了解决人们居住问题,必须修建房屋;为了解决粮食和能源问题,必须兴建水利工程和水利设施;为了解决衣食问题,必须修建纺织厂、化学纤维合成厂;为了解决

人员流动,必须兴建铁路、公路、港口、机场等设施。在任何一项土木工程中,用于建筑材料的投资都占有很大的比重,一般大约占工程总造价的40%~60%。同时,建筑材料与建筑、结构、施工存在着相互促进、相互依赖的密切关系。建筑材料的品种、质量与规格,直接影响着工程结构形式和施工方法,决定着工程的安全性、适用性、耐久性、经济性。建筑工程中许多技术问题的解决,往往依赖于建筑材料问题的突破。一种新型建筑材料的出现,必将促进建筑形式的再创新、结构设计和施工方法的改进。所以建筑材料是推动建筑结构和建筑艺术的一个重要因素。如轻质高强的新材料的出现,使高层建筑成为可能。建筑工程的需要,对建筑材料的品种、质量不断提出更高、更新的要求,从而又推动建筑材料的不断发展。建筑材料生产及其科学技术的发展,对于社会主义现代化建设,具有十分重要作用。

#### 四、本课程的学习目的和方法 The study goals and methods of this curriculum

本课程是水利水电工程、农田水利工程、河流工程、港口、航道及海洋工程、工业与民用建筑工程、道路工程等土木工程专业实用性很强的一门技术基础课程,但又具有很强的专业性。本课程以数学、力学、物理、化学等课程为基础,为学生学习后继专业课程提供必要的技术基础知识,也为学生和工程技术人员解决实际工程中的建筑材料问题提供一定的基本理论知识和基本试验技能,为从事建筑材料科学研究打下基础。

本书主要讲述水利水电工程、工业与民用建筑工程及水运工程等土木工程中常用的各种建筑材料的组成、生产、性质、应用及检验等方面的内容。对于工科学生和工程技术人员,应以材料的性质和合理选用为重点,了解各种材料的特性,并进行相互比较,注意材料的成分、构造、生产过程等对其性能的影响;对于现场配制的材料,如普通混凝土、砂浆等应掌握其配合比设计的原理和方法。试验课是本课程的重要教学环节,通过试验操作及对试验结果的分析,不但可加深了解材料的性能和掌握试验方法,而且可培养科学研究能力以及严谨、求实的工作作风。

## 第一章 建筑材料的基本性质

### Chapter 1 Basic Properties of Building Materials

建筑材料使用在不同的建筑物中,处于不同的环境,起着各种不同的作用,要求具有相应的性质。承重构件要求材料有足够的强度;保温隔热的屋顶和墙面要求材料有热容量大且不易传热的性质;挡水、蓄水或防水的建筑物要求材料有一定的抗渗性或不透水性;受水流泥沙冲刷的建筑物要求材料能抗冲耐磨。同时建筑物在使用过程中还会长期受到环境因素的影响,如大气因素引起的热胀冷缩、干湿变化、冻融循环、化学侵蚀以及昆虫和菌类等的生物危害,因此还要求建筑材料具有与环境相适应的耐久性。

正确合理选择和使用材料是保证建筑物经久耐用的关键,而材料的性质是选择和使用材料的重要依据,为此我们必须研究和掌握材料的有关性质。建筑材料的性质是多方面的,不同材料又具有不同的特殊性。本章只研究和讨论建筑材料共同的、基本的物理性质和力学性质,各类材料的技术性质和特殊性质,分别在以后相应的章节中讨论。

#### 第一节 材料的物理性质

##### Section 1 The Physical Properties of Building Materials

###### 一、建筑材料的基本物理性质 The basic physical properties of Building Materials

###### (一) 密度 Density

材料在绝对密实状态下单位体积的质量称为密度,用 $\rho$ 表示。其计算公式为

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

式中  $\rho$  —— 密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$m$  —— 材料在干燥状态下的质量,  $\text{kg}$ ;

$V$  —— 干燥材料的绝对密实体积,  $\text{m}^3$ 。

材料的绝对密实体积,指不包括材料孔隙在内的体积。钢材、玻璃等少数密实材料可根据外形尺寸求得体积,按式(1-1)求得密度。大多数有孔隙的材料,在测定材料的密度时,应把材料磨成细粉,干燥后用李氏瓶测定其体积。材料磨得越细,测得的密度数值就越精确。砖、石等块状材料的密度即用此法测得。在测定某些致密材料(如卵石、碎石等)的密度时,直接以颗粒状材料为试样,用排水法测定其体积,材料中部分与外部不连通的封闭的孔隙无法排除,这时所求得的密度称为视密度或近似密度,通常也就称为密度。

###### (二) 表观密度 Apparent density

材料在自然状态下单位体积的质量称为表观密度,用 $\rho_0$ 表示。其计算公式为

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

式中  $\rho_0$  —— 表观密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$m$  ——材料的质量, kg;

$V_0$  ——材料在自然状态下的体积,  $m^3$ 。

材料在自然状态下的体积, 指包含材料内部孔隙的体积。外形规则的材料, 可直接按外形尺寸计算出体积, 按式 (1-2) 求得表观密度。外形不规则的材料可加工成规则外形后求得体积。当材料孔隙内含有水分时, 其质量和体积均有所变化, 故测定表观密度时, 须注明其含水情况。表观密度一般是指材料在气干状态下 (长期在空气中干燥) 的测定值。干表观密度指材料在烘干状态下的测定值。

### (三) 堆积密度 Bulk density

散粒或粉状材料, 如砂、石子、水泥等, 在自然堆积状态下单位体积的质量称为堆积密度, 用  $\rho'_0$  表示。其计算公式为

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1-3)$$

式中  $\rho'_0$  ——材料的堆积密度,  $kg/m^3$ ;

$m$  ——材料的质量, kg;

$V'_0$  ——材料的自然 (松散) 堆积体积 (包括材料颗粒体积和颗粒之间空隙的体积),  $m^3$ 。

测定散粒材料的堆积密度时, 按一定的方法将散粒材料装入一定的容器中, 则堆积体积为容器的容积, 如图 1-1 所示。

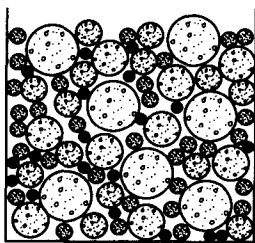


图 1-1 堆积体积测试图

Fig. 1-1 Schematic diagram of bulk volume testing

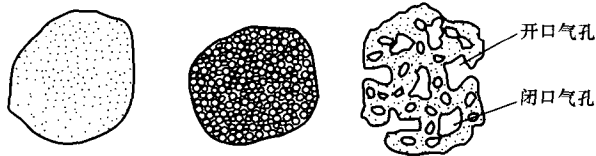


图 1-2 颗粒的孔隙类型

Fig. 1-2 Types of the pore in the grain

由于散粒材料堆积的紧密程度不同, 堆积密度可分为疏松堆积密度、振实堆积密度和紧密堆积密度。

在土木工程中, 材料的密度、表观密度与堆积密度, 经常用来计算材料的用量, 构件的自重、配料、运输、堆放、碾压参数等。

### (四) 孔隙率和空隙率 Porosity and void ratio

#### 1. 孔隙率 Porosity

在材料自然体积内孔隙体积所占的比例, 称为材料的孔隙率, 用  $P$  表示。其计算公式为

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

式中  $V$ 、 $V_0$ 、 $\rho$ 、 $\rho_0$  同前述。

孔隙率的大小直接反映了材料的致密程度。孔隙率大, 材料的表观密度小、强度降低。

孔隙率和孔隙特征对材料的性质均有显著影响。材料内部孔隙的构造,可分为连通的与封闭的两种,如图 1-2 所示。连通孔隙不仅彼此贯通且与外界相通,而封闭孔隙则不仅彼此不连通且与外界相隔绝。可用公式表示为

$$P = P_k + P_b \quad (1-5)$$

$$P_k = (m_{\text{sat}} - m) / (V_0 \cdot \rho_w)$$

式中  $P_k$ ——材料的开口孔隙率(指能被水饱和的孔隙体积占材料自然体积的比例);

$m_{\text{sat}}$ ——材料吸水饱和时的质量, kg;

$\rho_w$ ——水的密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$m$ ——材料干燥下的质量, kg;

$P_b$ ——材料的闭口孔隙率。

孔隙按尺寸大小又分为微细孔隙(孔径在 0.01mm 以下)、细小孔隙即毛细孔隙(孔径在 1.0mm 以下)、粗大孔隙(孔径在 1.0mm 以上)。孔隙特征对材料的性能影响较大。开口孔隙、粗大孔隙水分易于渗透,渗透性最大;微细孔隙,水分及溶液易被吸入,但不易在其中流动,渗透性最小;介于二者之间的毛细孔隙,既易被水分充满,水分又易在其中渗透,对材料的抗渗性、抗冻性、抗侵蚀性均有极不利的影响。闭口孔隙,不易被水分或溶液渗入,对材料的抗渗、抗侵蚀性能的影响甚微,且对抗冻性起有利作用。

## 2. 空隙率 Void ratio

散粒材料自然堆积体积中颗粒之间的空隙体积所占的比例称为散粒材料的空隙率。其计算公式为

$$P' = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} = 1 - \frac{V_0}{V'_0} = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (1-6)$$

式中  $V_0$ 、 $V'_0$ 、 $\rho_0$ 、 $\rho'_0$  同前述。

空隙率的大小反映了散粒材料的颗粒互相填充的致密程度。空隙率可作为控制混凝土骨料级配与计算砂率的依据。

## (五) 材料的压实体与相对密度 Compactness and relative density of materials

### 1. 材料的压实体 Compactness of materials

材料的压实体是指散粒堆积材料被碾压或振压等压实的程度。散粒材料的压实体常用经压实后施工现场的干堆积密度  $\rho'_0$  与材料经充分压实后(在实验室振动台上按规定的振动次数振实后)的最大干堆积密度  $\rho'_m$  比值的百分率表示。可用下式计算:

$$R_d = \frac{\rho'_0}{\rho'_m} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中  $R_d$ ——材料的压实体, %;

$\rho'_0$ ——散粒材料在施工现场经压实后的实测干堆积密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$\rho'_m$ ——在实验室内将相同散粒堆积材料试样经充分压实后的最大干堆积密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

对重要性建筑物要求压实体为 98%~100%, 对一般的建筑物要求压实体为 96%~98%。

### 2. 相对密度 Relative density

相对密度是散粒材料压实程度的另一种表示方法,可用下式计算:

$$D_r = \frac{P'_{\text{max}} - P'}{P'_{\text{max}} - P'_{\text{min}}} \quad (1-8)$$

式中  $D_r$  ——散粒材料的相对密度, 重要性建筑物取 0.7~0.75, 一般建筑物取 0.65~0.7;  
 $P'$  ——散粒材料在施工现场经压实后测定的空隙率; 一般在 20%~28%;  
 $P'_{\max}$  ——散粒材料在实验室可以取得的最疏松状态时测定的空隙率;  
 $P'_{\min}$  ——散粒材料在实验室经充分压实后, 最紧密堆积时测定的空隙率。

在施工现场为了便于控制施工质量, 通常将相对密度转换成对应的干堆积密度来控制。其换算公式为

$$\rho'_0 = \frac{\rho'_{01}\rho'_m}{\rho'_m(1-D_r) + D_r\rho'_{01}} \quad (1-9)$$

式中  $\rho'_{01}$ 、 $\rho'_m$  ——分别为散粒材料最松散状态和最紧密堆积时(充分压实)的干堆积密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

材料的密度、表观密度、堆积密度、孔隙率或空隙率是认识材料、了解材料性质与应用的重要指标, 所以称为材料的基本物理性质, 且一定有  $\rho > \rho_0 > \rho'_0$  的关系式存在。常用材料的密度、表观密度、堆积密度及孔隙率、空隙率见表 1-1。

表 1-1 常用材料的密度、表观密度、堆积密度及孔隙率

Tab. 1-1 The density, apparent density, bulk density and porosity of commonly used materials

材料名称	密度 $\rho$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	表观密度 $\rho_0$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	堆积密度 $\rho'_0$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	孔隙率 $P$ (%)
建筑钢材	7.85	7850		0
花岗岩	2.70~3.00	2500~2900		0.5~1.0
石灰岩	2.40~2.60	1800~2600		0.6~3.0
碎石(石灰岩)	2.60		1400~1700	
砂	2.60	2500~2600	1400~1700	35~40(空隙率)
粘土	2.60		1600~1800	
水泥	2.80~3.10		1200~1300	50~55(空隙率)
普通混凝土		2300~2500		5~20
沥青混凝土		2200~2400		2~6
普通粘土砖	2.50~2.70	1600~1900		20~40
粘土空心砖	2.50~2.70	1000~1400		50~60
松木	1.55~1.60	400~800		55~75
泡沫塑料		20~50		98

## 二、材料与水有关的性质 Properties related to water of materials

建筑物中的材料在使用过程中经常会直接或间接与水接触, 如挡水坝、桥墩、基础、屋顶等部位的材料会时常受到水的作用。不同的固体材料表面与水作用的情况不同, 对材料性质的影响也是不同的, 为了防止建筑物受到水的侵蚀而影响使用性能, 有必要研究材料与水接触后的有关性质。

### (一) 材料的亲水性与憎水性 Hydrophilic and hydrophobic nature of materials

#### 1. 亲水性 Hydrophilic nature

材料能被水润湿的性质称为亲水性。具备这种性质的材料称为亲水性材料, 如砖、石、木材、混凝土等。这是因为亲水性材料与水分子的亲合力大于水分子自身的内聚力。

## 2. 憎水性 Hydrophobic nature

材料不能被水润湿的性质称为憎水性。具备这种性质的材料称为憎水性材料，如石蜡、沥青、油漆、塑料等。这是因为憎水性材料与水分子的亲合力小于水分子自身的内聚力。用于防水的材料一般应是憎水性材料。

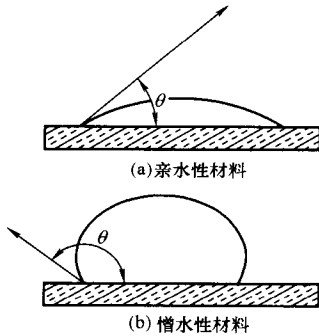


图 1-3 材料的润湿示意图

Fig. 1-3 Schematic diagram of wetting of materials

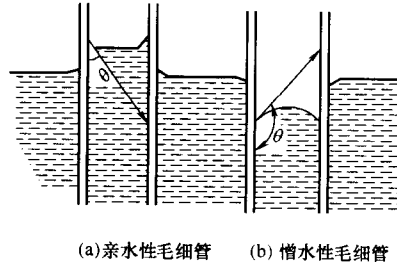


图 1-4 材料毛细管吸水性示意图

Fig. 1-4 Schematic diagram of capillarity of materials

材料的亲水性与憎水性可用润湿角  $\theta$  来说明，当材料与水接触时，在材料、水、空气三相的交点处，作沿水滴表面的切线，该切线与固体、液体接触面的夹角称为润湿角  $\theta$ 。 $\theta$  愈小，表明材料易被水润湿。实验证明，当润湿角  $\theta \leq 90^\circ$  时，这种材料称为亲水性材料，如图 1-3 (a) 所示；当润湿角  $\theta > 90^\circ$  时，这种材料称为憎水性材料，如图 1-3 (b) 所示。水滴在亲水性材料表面可以铺展得较平，且能通过材料毛细管作用自动将水吸入材料内部。水在憎水性材料表面不能铺展平，而且水分不能渗入材料的毛细管中。这种现象如图 1-4 所示。

## (二) 材料的吸水性与吸湿性 The water absorption and moisture absorption of materials

### 1. 吸水性 Water absorption

材料浸入水中吸收水的能力称为材料的吸水性，常用质量吸水率表示。即

$$W_m = \frac{m_1 - m}{m} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中  $W_m$  ——材料的质量吸水率，%；

$m$  ——材料干燥状态下的质量，g 或 kg；

$m_1$  ——材料吸水饱和状态下的质量，g 或 kg。

材料的吸水性也可以用体积吸水率  $W_v$  表示，即材料吸入水的体积占材料自然状态体积的百分率，与质量吸水率的关系有  $W_v = \rho_g W_m / \rho_w$ 。但通常吸水率均指质量吸水率。

材料吸水率的大小主要取决于材料本身的亲水性与憎水性，但与孔隙率大小和特征也有密切关系。对亲水性材料，孔隙率越大，吸水性越强，但若是封闭孔隙水分不易进入，粗大开口的孔隙，水分不易吸满和保留；只有具有密集微细连通而开口孔隙的材料，吸水率才特别大。但同一材料的吸水率常常是一基本固定的值。如对于质量吸水率，密实新鲜花岗岩为 0.1%~0.7%，普通混凝土为 2%~3%，而木材常达 100%。

### 2. 吸湿性 Moisture absorption

材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性，吸湿性常用质量含水率来表示，即

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

式中  $W_h$  ——材料的含水率, %;  
 $m_h$  ——材料含水时的质量, g 或 kg;  
 $m$  ——材料干燥状态下的质量, g 或 kg。

在空气中, 某一材料的含水多少是随环境温度和空气湿度而变化的, 当较干燥的材料处在较潮湿的空气中时, 便会吸收空气中的水分, 而较潮湿的材料处在较干燥的空气中时, 便会向空气中释放水分, 前者是材料的吸湿过程, 后者是材料的干燥过程。在一定的温度和湿度条件下, 材料与空气湿度达到平衡时的含水率则称为平衡含水率。一般亲水性强的材料、含有开口孔隙多的材料, 其平衡含水率高, 它在空气中的质量变化也大。

一般来说, 吸水性和吸湿性大均会对材料的性能产生不利影响。材料吸水或吸湿后质量增加, 体积膨胀, 产生变形, 强度和抗冻性降低, 绝热性能变差, 对工程产生不利影响。例如, 制作木门窗时若木材的含水率高于平衡含水率, 门窗在使用过程中就会变形。但干燥剂却是利用材料的吸湿性来除湿的, 某些止水条也是靠吸水发挥作用的。

### (三) 材料的耐水性 The water resistance of materials

材料长期在水作用下不破坏, 且其强度也不显著降低的性质称为耐水性, 材料的耐水性用软化系数表示。可按下式计算:

$$K_r = \frac{f_b}{f_d} \quad (1-12)$$

式中  $K_r$  ——材料的软化系数;  
 $f_b$  ——材料在吸水饱和状态下的强度, MPa;  
 $f_d$  ——材料在干燥状态下的强度, MPa。

材料软化系数的大小表示材料在浸水饱和后强度降低的程度。材料的软化系数越小, 表示材料吸水后强度下降越多, 耐水性愈差, 所以  $K_r$  可作为选择材料的重要依据。材料的软化系数主要与组成成分在水中的溶解度和材料的孔隙有关, 如黏土软化系数为 0, 金属软化系数为 1。通常将软化系数大于 0.85 的材料称为耐水性材料。经常位于水中或潮湿环境中的重要结构, 其材料的  $K_r$  不宜低于 0.85~0.90; 受潮湿较轻或次要结构, 其  $K_r$  也不宜小于 0.70~0.85。处于干燥环境的材料可以不考虑软化系数。

### (四) 材料的抗渗性 The impermeability of materials

材料抵抗压力水渗透的性质称为抗渗性, 用渗透系数  $K$  表示。可按下式计算:

$$K = \frac{Qd}{AtH} \quad (1-13)$$

式中  $K$  ——材料的渗透系数, cm/h 或 mm/s;  
 $Q$  ——渗透水量,  $\text{cm}^3$  或  $\text{mm}^3$ ;  
 $d$  ——材料试件的厚度, cm 或 mm;  
 $A$  ——透水面积,  $\text{cm}^2$  或  $\text{mm}^2$ ;  
 $t$  ——渗水时间, h 或 s;  
 $H$  ——静水压力水头, cm 或 mm。

渗透系数愈小, 则表示材料的抗渗性愈好。对于防潮、防水材料, 如沥青、油毡、沥青混凝土、瓦等材料, 常用渗透系数表示其抗渗性。



材料的抗渗性也可用抗渗等级  $W$  表示, 如砂浆、混凝土等材料 (参见第五章第五节), 常用抗渗等级表示其抗渗性, 抗渗等级愈高, 则表示材料的抗渗性能愈好。

材料抗渗性的好坏与材料的亲水性和孔隙率及孔隙特征有密切关系。亲水性材料由于毛细孔作用而有利于水的渗透。绝对密实的材料或只具有封闭孔隙和极细孔隙的材料, 可认为是不透水的; 含有粗大孔隙和开口孔隙的材料最易渗水, 因此抗渗性最差; 具有细小孔隙的材料, 孔隙既易被水充满, 水分又易在其中渗透, 其抗渗性较差。地下建筑物和水工建筑物所用材料因常受到水压力的作用应具有一定的抗渗性, 对于防水材料则要求有较高的抗渗性或不透水性。材料抵抗其他液体渗透的性质, 也属于抗渗性, 如贮油灌则要求材料具有良好的不渗油性。

#### (五) 材料的抗冻性 The frost resistance of materials

材料在吸水饱和状态下, 能经受多次冻融作用而不破坏, 且强度和重量无显著降低的性能称为材料的抗冻性。材料的抗冻性常用抗冻等级  $F_n$  表示。 $F_n$  表示材料标准试件在按规定方法进行冻融循环后, 其质量损失不超过 5% 或强度降低不超过 25% 时, 所能经受的最大冻融循环次数为  $n$  次, 如  $F_{50}$ 、 $F_{100}$  等。抗冻等级愈高, 材料的抗冻性愈好。

一般称材料标准试件在  $-25^{\circ}\text{C}$  的温度下冻结后, 再在  $20^{\circ}\text{C}$  的水中融化, 这样一个过程为一次冻融循环。材料经过多次冻融循环作用后, 表面将出现剥落、裂纹、产生质量损失, 强度也将会减小。冰冻对材料的破坏作用主要是由材料孔隙内的水分结冰, 体积膨胀而引起的。水结冰时体积约增大 9%, 当材料孔隙中充满水, 并快速结冰时, 使材料体积膨胀, 在孔隙内将产生很大的冰胀压力, 使毛细管壁受到拉应力; 当冰融化时, 材料体积收缩, 又会留下部分残余变形, 且使毛细管壁受到压应力。经过多次冻融后, 材料将会遭到破坏。冰胀压力的大小及破坏作用程度, 取决于材料孔隙的水饱和程度及材料的变形能力。如果材料很脆, 强度较低, 内部孔隙基本为充满水的毛细孔隙或较粗孔隙, 则经过一次或极少几次的冻融, 即可导致材料破坏。强度较低的灰砂砖被冻融破坏即是如此。

抗冻性良好的材料, 对于抵抗温度变化, 干湿交替等破坏作用的性能也较强, 因此, 抗冻性常作为鉴定材料耐久性的一个指标。对材料抗冻性的要求, 视工程类别、结构部位、所处环境、使用条件及建筑物等级而定。处于温暖地区的外部建筑物, 虽无冰冻作用, 但为抵抗风、雨、雪、霜、日等大气的的作用, 对材料也提出了不低于  $F_{50}$  的抗冻性要求。室内建筑物和大体积可不考虑抗冻性要求。

### 三、材料与热有关的性质 Properties related to heat of materials

材料与热有关的性质主要包括材料的导热性、热容量、比热容、温度变形性等。

#### (一) 材料的导热性 The thermal conduction of materials

材料传导热量的能力称为材料的导热性, 其大小以导热系数  $\lambda$  表示, 导热系数在数值上等于厚度为 1m 的材料, 当材料两侧面的温差为 1K (或  $^{\circ}\text{C}$ ) 时, 在单位时间内通过单位面积的热量。用公式表示为

$$\lambda = \frac{Q\delta}{At(T_2 - T_1)} \quad (1-14)$$

式中  $\lambda$  —— 导热系数,  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ;

$Q$  —— 总传热量,  $\text{J}$ ;

$\delta$  —— 材料厚度,  $\text{m}$ ;