

建筑专业“十三五”规划教材

建筑材料

JIANZHU CAILIAO

主编◎张 丹 罗 滢 彭春山



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhep.com.cn

建筑专业“十三五”规划教材

建筑材料

主 编 张 丹 罗 滢 彭春山

副主编 肖 灿



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

内 容 简 介

本书是依据最新建筑工程技术标准、材料标准,按照高等人才培养目标以及专业教学改革的需要进行编写的。全书共8个项目,主要包括建筑材料的基本性质、无机胶凝材料、水泥混凝土、建筑砂浆、建筑钢材、防水材料、其他功能材料,以及试验数据统计分析的一般方法。

本书既可作为应用型本科院校、职业院校建筑工程专业及其他相关专业教材,也可供从事建筑工程设计、施工的工程技术人员和概预算人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料 / 张丹, 罗滢, 彭春山主编. — 北京 :
北京希望电子出版社, 2018.2
ISBN 978-7-83002-589-2

I. ①建… II. ①张… ②罗… ③彭… III. ①建筑材
料—高等学校—教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 011863 号

出版: 北京希望电子出版社
地址: 北京市海淀区中关村大街 22 号
 中科大厦 A 座 9 层
邮编: 100190
网址: www.bhp.com.cn
电话: 010-82626270
传真: 010-62543892
经销: 各地新华书店

封面: 赵俊红
编辑: 全 卫 章银武
校对: 薛海霞
开本: 787mm×1092mm 1/16
印张: 19
字数: 456 千字
印刷: 三河市宇通印刷有限公司印制
版次: 2018 年 2 月 1 版 1 次印刷

定价: 49.80 元

前言

建筑业作为国家经济支柱产业之一，近年来迅速发展，因此建筑材料的使用就显得越来越重要。建筑材料是土木工程和建筑工程中使用材料的统称，是建筑工程的物质基础。

本书系统介绍了土建工程施工所涉及的建筑材料的性质和应用知识，将建筑材料与工程应用紧密地联系在一起。本书编写的指导思想是突出“双基”教学内容，优化知识模块结构，不但要重视培养学生的试验技术能力，还要重视培养学生对试验的组织能力和对试验结果的表达能力。

本书在理论方面着重讲解基本的力学概念，简化理论推导，强化应用，加强与工程实际的联系，既提炼了内容，又保证了新体系的科学性和系统性。在内容的表述方面，力求深入浅出，文字简洁，通俗易懂，图文并茂。为便于学习、复习巩固、掌握要点，本书配有足够数量的例题和习题。本书主要有以下几个特点：

(1) 适应岗位，强化技能。本书以岗位工作需要为核心，以学生能力培养、技能实训为目标，力求做到岗位工作内容与本书内容有机结合。本书按照教育部、住房和城乡建设部有关高职高专人才培养要求进行编写，强化技能培养，内容翔实，示例丰富，既有完整系统的理论知识，又有实用的技能训练。

(2) 架构合理、工学融合。本书在组织内容编写时，按照建筑岗位工作的需要，本着“必须、够用”的原则，系统全面地介绍建筑力学的知识体系，强化工学融合，注重岗位工作能力，学生成为社会需要的技能型、复合型技术人才。

(3) 就业为本，素质教育。本书以引领就业为宗旨，努力倡导与职业资格考核要求相适应的素质教育。为此，在本书编写过程中，完善了针对职业技能素质的基础考核及能力提升部分，满足了学生为考取建筑五大员、注册建造师等职业资格证书中对建筑力学知识体系应用能力的考核要求。

本书由湖南水利水电职业技术学院的张丹、广东省财经职业技术学校的罗滢和河南质量工程职业学院的彭春山担任主编，由湖南水利水电职业技术学院的肖灿担任副主编。本书的相关资料和售后服务可扫本书封底的微信二维码或QQ（2436472462）联系获得。

在编写过程中难免有疏漏和不当之处，恳请各位专家及读者不吝赐教。

编者

目 录

项目 1 建筑材料的基本性质	1	2.2.2 石灰的熟化	31
【项目导读】	1	2.2.3 石灰的硬化	32
【项目目标】	1	2.2.4 石灰的技术要求及标准	32
1.1 建筑材料的基本知识	1	2.2.5 石灰的特性	33
1.1.1 材料的组成	1	2.2.6 石灰的应用	34
1.1.2 建筑材料的分类	2	2.2.7 石灰的储存	35
1.1.3 建筑工程对材料的基本要求	2	2.3 石 膏	35
1.1.4 材料的结构与构造	3	2.3.1 石膏的生产及种类	35
1.2 材料的物理性质	4	2.3.2 建筑石膏的凝结硬化	36
1.2.1 材料与质量有关的性质	4	2.3.3 建筑石膏的技术要求及标准	37
1.2.2 材料与水有关的性质	9	2.3.4 建筑石膏的特性	38
1.2.3 材料与热有关的性质	12	2.3.5 建筑石膏的应用	39
1.3 材料的力学性质	15	2.3.6 建筑石膏的储存	40
1.3.1 强度与比强度	16	2.4 水 玻 璃	41
1.3.2 弹性与塑性	18	2.4.1 水玻璃的生产	41
1.3.3 脆性与韧性	19	2.4.2 水玻璃的凝结硬化	42
1.3.4 硬度与耐磨性	20	2.4.3 水玻璃的特性	42
1.4 材料的耐久性	21	2.4.4 水玻璃的应用	43
实训 1 建筑材料基本性质试验	21	2.5 硅酸盐水泥	44
项目小结	26	2.5.1 硅酸盐水泥的原料	
项目习题	26	及生产工艺	45
项目 2 无机胶凝材料	29	2.5.2 硅酸盐水泥的矿物组成	
【项目导读】	29	及特性	46
【项目目标】	29	2.5.3 硅酸盐水泥的凝结硬化	47
2.1 无机胶凝材料概述	29	2.5.4 硅酸盐水泥的技术性质	50
2.1.1 胶凝材料的定义	29	2.5.5 硅酸盐水泥石的腐蚀与防止	55
2.1.2 胶凝材料的分类	29	2.5.6 硅酸盐水泥的特性	57
2.2 石 灰	30	2.5.7 硅酸盐水泥的储存与运输	57
2.2.1 石灰的生产及分类	30	2.6 掺混合材料的硅酸盐水泥	57
		2.6.1 混合材料	57

2.6.2 掺混合材料的硅酸盐水泥	58
2.6.3 通用硅酸盐水泥的特性 及应用	62
2.7 其他水泥	63
2.7.1 道路硅酸盐水泥	63
2.7.2 快硬硅酸盐水泥	63
2.7.3 中热硅酸盐水泥、低热矿渣 硅酸盐水泥	63
2.7.4 抗硫酸盐硅酸盐水泥	64
2.7.5 高铝水泥	64
2.7.6 明矾石膨胀水泥	64
2.7.7 白色硅酸盐水泥和彩色 硅酸盐水泥	65
实训 2 水泥试验	65
实训 3 砂石试验	77
项目小结	89
项目习题	89
项目 3 水泥混凝土	93
【项目导读】	93
【项目目标】	93
3.1 混凝土基本知识	93
3.1.1 混凝土的分类	93
3.1.2 普通混凝土的优缺点	95
3.1.3 混凝土的发展方向	96
3.2 普通混凝土的组成材料	98
3.2.1 水泥的要求	99
3.2.2 细骨料（砂）	101
3.2.3 粗骨料	109
3.2.4 混凝土拌合用水	114
3.2.5 外加剂	115
3.2.6 掺合料	122
3.3 混凝土拌合物的和易性	125
3.3.1 和易性的性能	125
3.3.2 和易性的测定方法	126
3.3.3 流动性（坍落度）的选择	128
3.3.4 影响和易性的主要因素	129
3.3.5 提高混凝土和易性的措施	132
3.4 硬化混凝土的强度	132
3.4.1 混凝土的抗压强度 与强度等级	132
3.4.2 轴心抗压强度	133
3.4.3 抗拉强度	134
3.4.4 抗折强度	135
3.4.5 混凝土与钢筋的粘结强度	135
3.4.6 影响混凝土强度的因素	136
3.4.7 提高混凝土强度的措施	141
3.5 混凝土的变形性质	143
3.5.1 非荷载作用下的变形	143
3.5.2 荷载作用下的变形	145
3.6 混凝土的耐久性	146
3.6.1 抗渗性	146
3.6.2 抗冻性	147
3.6.3 抗侵蚀性	148
3.6.4 碳化	148
3.6.5 碱-骨料反应	149
3.6.6 提高混凝土耐久性的措施	149
3.7 混凝土的质量控制和强度评定	150
3.7.1 混凝土的质量检验与控制	150
3.7.2 混凝土强度的检验 与评定方法	151
3.7.3 混凝土强度的合格性判定	155
3.8 普通混凝土的配合比设计	156
3.8.1 混凝土配合比设计的 基本要求	156
3.8.2 混凝土配合比设计的 资料准备	156
3.8.3 混凝土配合比设计的 三个参数	157
3.8.4 混凝土配合比设计的步骤	157

3.9 其他混凝土	169	4.4.7 防辐射砂浆	200
3.9.1 泵送混凝土	169	4.4.8 聚合物砂浆	201
3.9.2 水下混凝土	169	实训 5 建筑砂浆试验	201
3.9.3 抗渗混凝土	170	项目小结	207
3.9.4 喷射混凝土	170	项目习题	208
3.9.5 高性能混凝土	171		
3.9.6 预拌混凝土	171	项目 5 建筑钢材	211
实训 4 普通混凝土试验	172	【项目导读】	211
项目小结	177	【项目目标】	211
项目习题	178	5.1 建筑钢材的基本知识	211
项目 4 建筑砂浆	184	5.1.1 钢的冶炼	211
【项目导读】	184	5.1.3 钢的分类	212
【项目目标】	184	5.2 建筑钢材的主要技术性能	214
4.1 砂浆的组成材料	184	5.2.1 力学性能	214
4.1.1 水泥	185	5.2.2 工艺性能	218
4.1.2 掺加料	185	5.2.3 钢材的化学成分及其性能的 影响	221
4.1.3 细骨料	186	5.3 建筑钢材的标准与选用	222
4.1.4 外加剂	186	5.3.1 碳素结构钢	222
4.1.5 水	186	5.3.2 低合金高强度结构钢	224
4.2 砌筑砂浆的主要技术性质	187	5.3.3 钢筋混凝土结构用钢	225
4.2.1 新拌砂浆的和易性	187	5.3.4 钢材的选用原则	227
4.2.2 硬化后砂浆的技术性质	189	5.4 钢材的锈蚀及防止	227
4.3 砌筑砂浆配合比设计	191	5.4.1 钢材的锈蚀	227
4.3.1 水泥混合砂浆配合比设计	192	5.4.2 影响钢材锈蚀的主要因素	228
4.3.2 水泥砂浆配合比选用	194	5.4.3 防止钢材锈蚀的措施	229
4.3.3 水泥砂浆配合比试配、调整 和确定	195	实训 6 钢筋试验	229
4.4 抹面砂浆	196	项目小结	234
4.4.1 普通抹面砂浆	197	项目习题	234
4.4.2 装饰砂浆	198	项目 6 防水材料	237
4.4.3 防水砂浆	199	【项目导读】	237
4.4.4 隔热砂浆	200	【项目目标】	237
4.4.5 吸声砂浆	200	6.1 沥 青	237
4.4.6 耐腐蚀砂浆	200	6.1.1 石油沥青	238
		6.1.2 煤沥青	242

6.1.3 改性沥青243

6.1.4 沥青的保管244

6.2 沥青防水制品244

6.2.1 沥青防水卷材244

6.2.2 高聚物改性沥青防水卷材245

6.2.3 合成高分子防水卷材246

6.3 防水涂料247

6.3.1 沥青类防水涂料247

6.3.2 高聚物改性沥青防水涂料248

6.3.2 合成高分子防水涂料249

6.4 新型防水材料250

6.4.1 多彩玻纤胎沥青瓦250

6.4.2 聚乙烯丙纶防水卷材250

6.4.3 JS 复合防水涂料251

6.4.4 水泥基防水涂料251

6.4.5 高分子表面增强自粘沥青
防水卷材251

6.5 建筑密封材料251

6.5.1 建筑防水沥青嵌缝油膏252

6.5.2 聚氯乙烯建筑防水
接缝材料252

6.5.3 聚氨酯建筑密封膏252

6.5.4 聚硫建筑密封膏252

6.5.5 硅酮建筑密封膏252

实训 7 沥青性能试验253

项目小结258

项目习题258

项目 7 其他功能材料261

【项目导读】261

【项目目标】261

7.1 石材261

7.1.1 岩石的种类261

7.1.2 石材的主要技术性质263

7.1.3 砌筑石材263

7.2 砌墙砖264

7.2.1 烧结普通砖264

7.2.2 烧结多孔砖269

7.2.3 烧结空心砖271

7.2.4 烧结多孔砖和烧结空心砖的
应用273

7.3 砌 块273

7.3.1 普通混凝土小型空心砌块274

7.3.2 轻骨料混凝土小型空心
砌块275

7.3.3 蒸压加气混凝土砌块276

7.4 木 材277

7.4.1 木材的组织构造278

7.4.2 木材的物理力学性质279

7.4.3 木材的防腐与防火284

7.4.4 木材的应用285

项目小结287

项目习题287

项目 8 试验数据统计分析的一般方法 ...291

【项目导读】291

【项目目标】291

8.1 平 均 值291

8.1.1 算术平均值291

8.1.2 均方根平均值291

8.1.3 加权平均值292

8.2 误差计算292

8.2.1 范围误差292

8.2.2 算术平均误差292

8.2.3 均方根误差
(标准离差、均方差)293

8.3 数值修约规则294

8.4 可疑数据的取舍294

参考文献295

项目 1 建筑材料的基本性质

【项目导读】

各种建筑工程都是由材料构成的，这些材料的性质决定了建筑工程的使用性能。一般来说，建筑工程材料的性质分为三个方面：物理性质、力学性质和耐久性。其中，物理性质包括了基本物理性质、与水有关的性质、与热有关的性质；力学性质包括了强度、弹性与塑性、脆性与韧性、硬度与耐磨性；耐久性包括了抗渗性、抗冻性、大气稳定性、抗化学侵蚀性等。

【项目目标】

- 掌握材料与质量有关的物理性质，以及材料与水 and 热有关的物理性质
- 掌握材料的力学性质、影响因素及其对其他性质的影响
- 理解材料耐久性的含义

1.1 建筑材料的基本知识

建筑材料的定义有广义与狭义两种。广义的建筑材料是指建造建筑物和构筑物的所有材料的总称，包括使用的各种原材料、半成品、成品等的总称，如黏土、铁矿石、石灰石、生石膏等。狭义的建筑材料是指直接构成建筑物和构筑物实体的材料，如混凝土、水泥、钢筋、黏土砖、玻璃等。

这里把建筑工程中所使用的各种材料及制品，都统称为建筑材料，它是一切建筑工程的物质基础。材料的组成、结构和构造是决定材料性质的内部因素。

1.1.1 材料的组成

材料组成是材料性质的基础，它对材料的性质起着决定性的作用。材料化学组成相同但矿物组成不同也会导致性质有巨大的差异。

(1) 化学组成。无机非金属建筑材料的化学组成以各种氧化物含量来表示，金属材料以元素含量来表示。化学组成决定着材料的化学性质，影响其物理性质和力学性质。

(2) 矿物组成。材料中的元素和化合物以特定的矿物形式存在并决定着材料的许多

重要性质。矿物组成是无机非金属材料中化合物存在的基本形式。

(3) 相组成。材料中结构相近性质相同的均匀部分。

1.1.2 建筑材料的分类

建筑材料的分类如表 1-1 所示。

表 1-1 建筑材料的分类

建筑材料	按化学成分分	金属材料	黑色金属	生铁、碳素钢、合金钢
			有色金属	铝，锌，铜及其合金
		非金属材料	天然石材	石子，砂，毛石，料石
			烧土制品	黏土砖，瓦，空心砖，建筑陶瓷
			胶凝材料及其制品	石灰，石膏，水玻璃，各种水泥，混凝土及砂浆，粉煤灰砖、灰砂砖
		有机材料	植物材料	木材，竹材，软木
			沥青材料	石油沥青，煤沥青，沥青防水制品
			高分子材料	塑料，橡胶，涂料
		复合材料	无机非金属材料与有机材料复合	玻璃纤维增强塑料、沥青混合料等
			金属材料与无机非金属材料复合	钢纤维增强混凝土等
			金属材料与有机材料复合	轻质金属夹芯板
	按使用功能分	建筑结构材料	砖混结构	石材，砖，水泥混凝土，钢筋
			钢木结构	建筑钢材，木材
		墙体材料	砖及砌块	普通砖、空心砖，硅酸盐及砌块
			墙板	混凝土墙板、石膏板、复合墙板
		建筑功能材料	防水材料	沥青及其制品
			绝热材料	石棉、矿棉，玻璃棉
			吸声材料	木丝板、毛毡，泡沫塑料
			采光材料	窗用玻璃
			装饰材料	涂料、塑料装饰材料

1.1.3 建筑工程对材料的基本要求

建筑工程对材料的基本要求有如下几点：



- (1) 必须具备足够的强度，能够安全地承受设计荷载及自重。
- (2) 轻质。材料自身的质量以轻为宜（即表观密度较小），以减轻下部结构和地基的负荷。
- (3) 具有与使用环境相适应的耐久，以减少维修费用。
- (4) 美观。用于装饰的材料，应能美化建筑，产生一定的艺术效果。
- (5) 特定功能。用于特殊部位的材料，应具有相应的特殊功能，例如屋面材料能隔热、防水，楼板和内墙材料能隔声等。

1.1.4 材料的结构与构造

1. 宏观结构（构造）

材料的宏观结构是指用肉眼和放大镜能够分辨的粗大组织。其尺寸约为毫米级大小，以及更大尺寸的构造情况。宏观构造，按孔隙尺寸可以分为：

- (1) 致密结构，基本上是无孔隙存在的材料。例如钢铁、有色金属、致密天然石材、玻璃、玻璃钢、塑料等。
- (2) 多孔结构，是指具有粗大孔隙的结构。如加气混凝土、泡沫混凝土、泡沫塑料及人造轻质材料等。
- (3) 微孔结构，是指微细的孔隙结构。如石膏制品、粘土砖瓦等。
- (4) 纤维结构，是指木材纤维、玻璃纤维、矿物棉纤维所具有的结构。
- (5) 层状结构，采用粘结或其他方法将材料迭合成层状的结构。如胶合板、迭合人造板、蜂窝夹芯板、以及某些具有层状填充料的塑料制品等。
- (6) 散粒结构，是指松散颗粒状结构。比如混凝土骨料、用作绝热材料的粉状和粒状的填充料。

2. 微观结构

微观结构是指材料在原子、分子层次的结构。材料的微观结构，基本上可分为晶体、非晶体与胶体结构。

晶体结构是由离子、原子或分子按照规则的几何形状排列而成的固体格子（称为晶格）组成的。晶格组成的每个晶粒具有各向异性，但它们排列起来组成的晶体材料却是各向同性的。晶体结构的特征是其内部质点（离子、原子、分子）按照特定的规则在空间周期性排列，具有固定的熔点和化学稳定性。

非晶体也称玻璃体或无定形体，如无机玻璃。玻璃体结构是无定形结构，其质点的排列是没有规律的，因此它们没有一定的几何外形，而具有各向同性的玻璃体没有一定的熔

点,只是出现软化现象。玻璃体结构内部贮存有大量的内能,具有化学不稳定性,在一定条件下易与其他物质起化学反应,如具有玻璃体结构的火山灰、粒化高炉矿渣,与石灰混合后,在有水的条件下会表现出水硬性胶凝材料的性质,在工程中常被用做水泥的掺合材料。

胶体结构粒径为 $10.7\text{m}\sim 10.9\text{m}$ 的固体微粒(分散相),均匀分散在连续相介质中所形成的分散体系称为胶体。当介质为液体时,称此种胶体为溶胶体;当分散相颗粒极细,具有很大的表面能,颗粒能自发相互吸附并形成连续的空间网状结构时,称此种胶体为凝胶体。溶胶结构具有较好的流动性,液体性质对结构的强度及变形性质影响较大;凝胶结构基本上不具流动性,呈半固体或固体状态,强度较高,变形性较小。

【案例分析】某工程灌浆材料采用水泥净浆,为了达到较好的施工性能,配合比中要求加入硅粉,并对硅粉的化学组成和细度提出要求,但施工单位将硅粉理解为磨细石英粉,生产中加入的磨细石英粉的化学组成和细度均满足要求,可在实际使用中效果不好,水泥浆体成分不均,请分析原因。

【原因分析】硅粉又称硅灰,是硅铁厂烟尘中回收的副产品,其化学组成为 SiO_2 ,微观结构为表面光滑的玻璃体,能改善水泥净浆施工性能。磨细石英粉的化学组成也为 SiO_2 ,微观结构为晶体,表面粗糙,对水泥净浆的施工性能有负作用。所以,硅粉和磨细石英粉虽然化学成分相同,但微观结构不同,细度不同,导致材料的性能差异明显。

1.2 材料的物理性质

1.2.1 材料与质量有关的性质

1. 材料的体积构成

自然界中的材料,由于其单位体积中所含孔隙形状及数量不同,因而其基本的物理性质参数——单位体积的质量也有差别。

块状材料在自然状态下的体积是由固体物质体积及其内部孔隙体积组成的。材料内部的孔隙按孔隙特征又分为开口孔隙和闭口孔隙。闭口孔隙不进水,开口孔隙与材料周围的介质相通,材料在浸水时易被水饱和,如图 1-1 所示。

散粒材料是指具有一定粒径材料的堆积体,如工程中常用的砂、石子等。其体积构成包括固体物质体积、颗粒内部孔隙体积及固体颗粒之间的空隙体积,如图 1-2 所示。

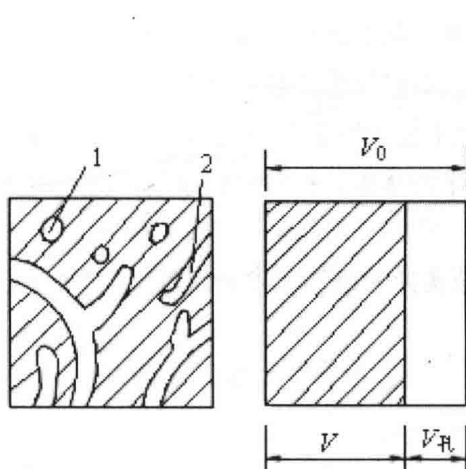


图 1-1 块状材料体积构成示意图

1-闭口孔隙；2-开口孔隙

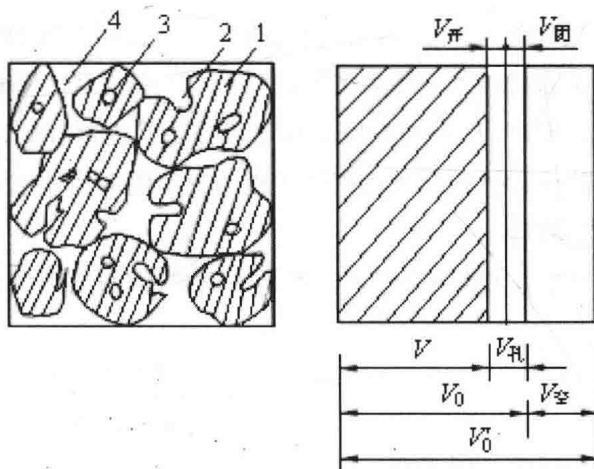


图 1-2 散粒材料体积构成示意图

1-颗粒中固体物质；2-颗粒中的开口孔隙；
3-颗粒的闭口孔隙；4-颗粒之间的空隙

2. 材料的含水状态

材料在大气中或水中会吸附一定的水分，根据材料吸附水分的情况，将材料的含水状态分为干燥状态、气干状态、饱和面干状态及湿润状态四种，如图 1-3 所示。材料的含水状态会对材料的多种性质产生影响。

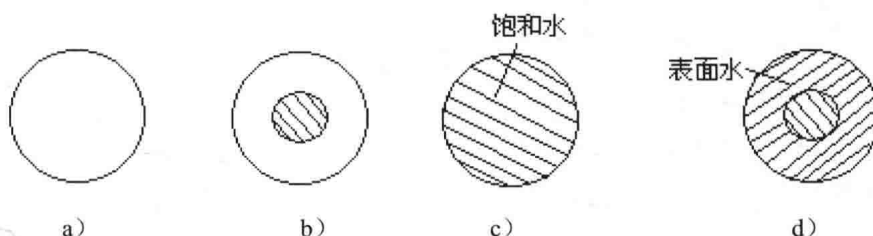


图 1-3 材料的含水状态

a) 干燥状态；b) 气干状态；c) 饱和面干状态；d) 湿润状态

3. 材料的密度、表观密度、体积密度与堆积密度

(1) 密度。密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量，按式 (1-1) 计算：

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

式中 ρ ——材料的密度 (g/cm^3 或 kg/m^3)。

m ——材料的质量 (g 或 kg)。

V ——材料在绝对密实状态下的体积，即材料体积内固体物质的实体积 (cm^3 或 m^3)。

绝对密实状态下的体积是指不包括孔隙在内的体积。除了钢材、玻璃等少数接近于绝对密实的材料外，绝大多数材料都有一些孔隙，如砖、石材等块状材料。在测定有孔隙的材料密度时，应把材料磨成细粉以排除其内部孔隙，经干燥至恒重后，用密度瓶（李氏瓶）测定其实际体积，该体积即可视为材料绝对密实状态下的体积。材料磨得愈细，测定的密度值愈精确。

(2) 表观密度。表观密度是指材料在包括闭口孔隙条件下单位体积的质量，按式(1-2)计算：

$$\rho' = \frac{m}{V'} \quad (1-2)$$

式中： ρ' ——体积密度，g/cm³ 或 kg/m³。

m ——材料在干燥状态下的质量，g 或 kg。

V' ——材料的表观体积，cm³ 或 m³。

表观体积是指包括内部封闭孔隙在内的体积。其封闭孔隙的多少，孔隙中是否含有水及含水的多少，均可能影响其总质量或体积。

因此，材料的表观密度与其内部构成状态及含水状态有关。

(3) 体积密度。体积密度是指材料在自然状态下单位体积所具有的质量，按式(1-3)计算：

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

式中： ρ_0 ——材料的体积密度，g/cm³ 或 kg/m³。

m ——材料在干燥状态下的质量，g 或 kg。

V_0 ——材料在自然状态下的体积，cm³ 或 m³。

V_0 = 密实状态下的体积 V + 孔隙体积 $V_{\text{孔}}$ 。

材料在自然状态下的体积，对外观形状规则的材料，按材料的外形计算；对外观形状不规则的材料，可以加工成规则外形后得到外形体积；对于松散材料，可使材料吸水饱和后，再用排水法求其体积；对于相对比较密实的散粒体材料（如砂石）可直接用排水法求其体积。

(4) 堆积密度。堆积密度是指散粒（粒状、粉状或纤维状）材料在自然堆积状态下单位体积的质量，按式(1-4)计算：

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1-4)$$

式中： ρ'_0 ——材料的堆积密度，kg/m³。

m ——材料在干燥状态下的质量，g 或 kg。

V_0' ——材料的堆积体积， cm^3 或 m^3 。

材料的堆积体积包括固体颗粒体积、颗粒内部孔隙体积和颗粒之间的空隙体积，用既定容积的容器测定。

【例题】如何测定砂和石子的堆积密度？

【解】（1）将试样磨碎，在 $105^{\circ}\text{C}\sim 110^{\circ}\text{C}$ 的烘箱内烘干，冷却至室温，再称量其质量 m ；

（2）采用容量升来测定砂子、石子的堆积体积 V_0' ，方法如下：

①砂子采用 1L、5L 的容量升来测堆积体积。

②石子采用 10L、20L、30L 的容量升来测定其堆积体积。

（3）利用公式计算堆积密度。

土木工程中在计算材料用量、构件自重、配料计算以及确定堆放空间时，均需要用到材料的上述状态参数。常用土木工程材料的密度如表 1-1 所示。

表 1-1 常用材料的密度、表观密度及堆积密度

材料名称	密度 (g/cm^3)	表观密度 (kg/m^3)	堆积密度 (kg/m^3)
钢材	7.8~7.9	7850	—
花岗岩	2.6~2.8	2500~2700	—
石灰岩	2.4~2.6	1800~2600	1400~1700 (碎石)
砂	2.5~2.6	—	1500~1700
粘土	2.5~2.7	—	1600~1800
水泥	2.8~3.1	—	1200~1300
烧结普通砖	2.6~2.7	1600~1900	—
烧结空心砖	2.5~2.7	1000~1480	—
红松木	1.55~1.60	400~600	—

4. 材料的孔隙率与密实度

（1）孔隙率。孔隙率是指材料内部孔隙的体积占材料总体积的百分率，按式（1-5）计算：

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

式中： P ——材料的孔隙率（%）。

V ——材料的绝对密实体积， cm^3 或 m^3 。

V_0 ——材料的表观体积, cm^3 或 m^3 。

ρ_0 ——材料的表观密度, g/cm^3 或 kg/m^3 。

ρ ——密度, g/cm^3 或 kg/m^3 。

孔隙率的大小直接反映了材料的致密程度。材料的许多性质如强度、热工性质、声学性质、吸水性、吸湿性、抗渗性、抗冻性等都与孔隙率有关。这些性质不仅与材料的孔隙率大小有关, 而且还与材料的孔隙特征有关。

(2) 密实度。密实度是指材料的固体物质部分的体积占总体积的比例, 说明材料体积内被固体物质所充填的程度, 即反映了材料的致密程度, 按式 (1-6) 计算:

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

对于绝对密实材料, 因 $\rho_0 = \rho$, 故密实度 $D = 1$ 或 100% 。对于大多数土木工程材料, 因 $\rho_0 < \rho$, 故密实度 $D < 1$ 或 $D < 100\%$ 。

孔隙率与密实度的关系式: $P + D = 1$ 、

【案例分析】某施工队原使用普通烧结粘土砖, 后改为多孔、容量仅 $700 \text{ kg}/\text{m}^3$ 的加气混凝土砌块。在抹灰前往墙上浇水, 发觉原先使用的普通烧结粘土砖易吸足水量, 但加气混凝土砌块表面看来浇水不少, 但实则吸水不多, 请分析原因。

【原因分析】加气混凝土砌块虽多孔, 但其气孔大多数为“墨水瓶”结构, 肚大口小, 毛细管作用差, 只有少数孔是水分蒸发形成的毛细孔, 故吸水及导湿均缓慢。材料的吸水性不仅要看孔数量多少, 还需看孔的结构。

5. 材料的空隙率与填充率

(1) 空隙率。空隙率是指散粒材料在其堆积体积中, 颗粒之间的空隙体积所占的比例。按式 (1-7) 计算:

$$P' = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{V_0}{V'_0}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (1-7)$$

式中: P' ——材料的空隙率 (%)。

V'_0 ——材料的堆积体积, cm^3 或 m^3 。

V_0 ——材料的表观体积, cm^3 或 m^3 。

ρ_0 ——材料的表观密度, g/cm^3 或 kg/m^3 。

ρ'_0 ——材料的堆积密度, g/cm^3 或 kg/m^3 。

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。

(2) 填充率。填充率是指散粒材料（如砂子、石子等）在某容器的堆积体积中，颗粒体积占总体积的比例。

$$D' = \frac{V_0'}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0'}{\rho_0} \times 100\% \quad (1-8)$$

空隙率与填充率的关系： $P' + D' = 1$

【例题】某工地所用卵石材料的密度为 2.65g/cm^3 ，表观密度为 2.61g/cm^3 ，堆积密度为 1590kg/m^3 ，计算此石子的孔隙率与空隙率？

【解】

$$(1) P = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{2.61}{2.65}\right) \times 100\% = 1.5\%$$

$$(2) P' = \left(1 - \frac{\rho_0'}{\rho_0}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{1.59}{2.61}\right) \times 100\% = 39\%$$

1.2.2 材料与水有关的性质

1. 亲水性与憎水性

材料在使用过程中常常遇到水，不同的材料遇水后和水的作用情况是不同的。与水接触时，材料表面能被水润湿的性质称为亲水性；材料表面不能被水润湿的性质称为憎水性。材料的亲水性或憎水性通常以润湿角大小划分。润湿角是在材料、水和空气的交点处，沿水滴表面的切线与水和固体接触面所成的夹角。如图 1-4 所示，润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 的材料为亲水性材料，如水泥制品、玻璃、陶瓷、金属材料、石材等无机材料和部分木材等；润湿角 $90^\circ < \theta < 180^\circ$ 的材料为憎水性材料，如沥青、油漆、塑料、防水油膏等。润湿角 θ 越小，材料越易被水润湿。

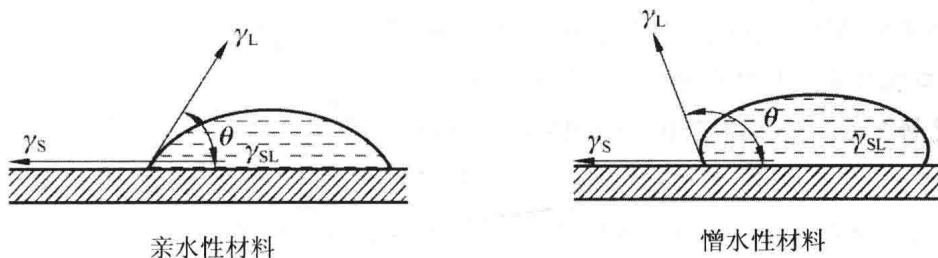


图 1-4 材料的润湿角示意图