



应用型本科土木工程系列规划教材

土木工程材料

Civil Engineering Materials

◎ 李振国 主编



- ◆ 与职业资格考试相衔接
- ◆ 与新材料、新技术、新规范同步
- ◆ 提供电子课件和课后习题参考答案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

应用型本科土木工程系列规划教材

土 木 工 程 材 料

主 编 李振国

副主编 田 悦 赵荣棵 李十泉

参 编 李庆瑞 李 祥 贾 换

主 审 刘润清



机 械 工 业 出 版 社

本书主要介绍土木工程材料的基本理论和基本知识, 共分为 13 部分, 内容包括绪论、土木工程材料基本性质、气硬性无机胶凝材料、水泥、混凝土、砂浆、墙体材料、建筑钢材、沥青和沥青混合料、合成高分子材料、木材、建筑功能材料及土木工程材料试验。本书叙述了材料的基本组成、生产工艺、技术性质、应用和材料试验等基本知识及应用技术。每章前均有教学提示和学习要求, 每章后均附有相应的复习思考题, 便于读者学习和掌握。

本书可作为高等学校土木工程专业及其他相关专业的本科教学用书, 也可作为土木工程设计、施工、科研和管理等技术人员参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程材料/李振国主编. —北京: 机械工业出版社, 2017. 2

应用型本科土木工程系列规划教材

ISBN 978-7-111-55820-0

I. ①土… II. ①李… III. ①土木工程—建筑材料—高等学校—教材
IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 322363 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 李宣敏 责任编辑: 李宣敏 于伟蓉

责任校对: 张晓蓉 封面设计: 张 静

责任印制: 常天培

北京京丰印刷厂印刷

2017 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15.75 印张·407 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-55820-0

定价: 40.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前 言

本书以《高等学校土木工程本科指导性专业规范》为依据,参考多种版本的“土木工程材料”“道路建筑材料”和“建筑材料”教材以及相关的国家、行业标准、新规范编写而成。

本书针对应用型人才培养的目标,以实践操作为主导,坚持理论知识与实际技能相结合,帮助读者打下扎实的基础和具有实际上岗应用能力,而且注重培养读者分析问题和解决问题的能力,提高其综合素质。本书叙述了材料的基本组成、生产工艺、技术性质、应用和材料试验等基本知识及应用技术。本书具有内容通俗易懂、语言简练、重点突出、应用性强、适用面广等特点。

本书具体编写分工如下:哈尔滨理工大学李振国编写绪论、第7章、第10章和第11章,并负责全书统稿;沈阳城市建设学院田悦编写第1章和第9章;西京学院李庆瑞编写第2章和第6章;南京理工大学泰州科技学院李十泉编写第3章和第4章;中国建设东北设计研究院有限公司赵荣棵编写第5章和第8章;西安思源学院李祥编写试验1~试验6;西安思源学院贾换编写试验7~试验8。本书由沈阳理工大学刘润清主审。

本书在编写过程中参阅和引用了有关单位及个人书刊、资料,在此一并表示深切的感谢!由于编者水平所限,不妥之处,恳请广大读者和专家批评指正。

编 者

目 录

前言	
绪论	1
0.1 土木工程材料的定义和分类	1
0.2 土木工程与材料的关系	2
0.3 本课程的学习目的、任务及学习方法	2
第1章 土木工程材料基本性质	4
1.1 材料的物理性质	4
1.2 材料的力学性质	11
1.3 材料的耐久性与环境协调性	15
1.4 材料组成、结构与性能的关系	16
复习思考题	18
第2章 气硬性无机胶凝材料	20
2.1 建筑石灰	20
2.2 建筑石膏	25
2.3 水玻璃	27
复习思考题	29
第3章 水泥	31
3.1 通用硅酸盐水泥	31
3.2 特性水泥和专用水泥	40
复习思考题	43
第4章 混凝土	45
4.1 混凝土定义及分类	45
4.2 普通混凝土的组成材料	46
4.3 普通混凝土拌合物的性能	60
4.4 硬化后混凝土的性能	65
4.5 普通混凝土的质量控制与强度评定	79
4.6 普通混凝土配合比设计	81
4.7 其他种类混凝土	88
复习思考题	93
第5章 砂浆	96
5.1 砂浆的组成及性质	96
5.2 砌筑砂浆	101
5.3 抹灰砂浆	105
复习思考题	113

第6章 墙体材料	115
6.1 砌墙砖	115
6.2 砌块	121
6.3 墙用板材	123
复习思考题	125
第7章 建筑钢材	126
7.1 钢材的冶炼与分类	126
7.2 建筑钢材的主要技术性能	128
7.3 钢材的组成结构及对性能的影响	132
7.4 钢材的强化与加工	134
7.5 建筑钢材的技术标准及选用	135
7.6 建筑钢材的防锈与防火	144
复习思考题	145
第8章 沥青和沥青混合料	147
8.1 沥青材料	147
8.2 沥青混合料的组成、性质与分类	158
8.3 沥青混合料组成材料的技术要求	165
8.4 热拌沥青混合料的配合比设计	169
复习思考题	175
第9章 合成高分子材料	176
9.1 合成高分子化合物概述	176
9.2 建筑塑料	177
9.3 建筑胶黏剂	180
9.4 建筑涂料	182
9.5 土工合成材料	183
复习思考题	184
第10章 木材	185
10.1 木材的分类与构造	185
10.2 木材的性能	186
10.3 木材制品及其应用	187
10.4 木材的干燥与防腐	189
复习思考题	189
第11章 建筑功能材料	190
11.1 建筑防水材料	190
11.2 绝热材料	195
11.3 吸声隔声材料	198
11.4 建筑装饰材料	200
复习思考题	206

土木工程材料试验.....	207
试验 1 土木工程材料基本性质试验	207
试验 2 水泥技术性能试验	211
试验 3 普通混凝土用砂石试验	217
试验 4 普通混凝土试验	223
试验 5 建筑砂浆试验	229
试验 6 砌墙砖试验	232
试验 7 钢筋试验	234
试验 8 石油沥青试验	237
参考文献.....	242

绪 论

0.1 土木工程材料的定义和分类

1. 土木工程材料的定义

土木工程材料是指人类建造活动中所应用的各种材料的总称。对于土木工程材料的定义，可以从广义和狭义两个角度理解。广义土木工程材料包括构成建筑物、构筑物的材料（如混凝土、钢材、防水材料、墙体与屋面材料、装饰材料等），施工过程中所需要的辅助材料（脚手架、模板等），以及各种建筑器材（消防设备、给水排水设备、网络通信设备等）。狭义土木工程材料是指构成建筑物本身的材料，即从地基基础，承重构件（梁、板、柱等），直到地面、墙体、屋面等所用材料。本书介绍的是狭义土木工程材料。

2. 土木工程材料的分类

土木工程材料品种繁多，为了方便使用和研究，常按一定的原则对土木工程材料进行分类。常见有按化学成分（表 0-1）和按使用功能两种分类方法。

（1）按化学成分分类

根据组成物质的化学成分，将土木工程材料分为无机材料、有机材料和复合材料三类，见表 0-1。

表 0-1 土木工程材料按化学成分分类

分 类			实 例
无机材料	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	碎石、卵石、砂、毛石、料石
		烧土制品	黏土砖、瓦、建筑陶瓷
		玻璃及熔融制品	玻璃、玻璃棉、岩棉、铸石
		胶凝材料	气硬性：石灰、石膏、水玻璃、菱苦土 水硬性：各类水泥
		混凝土类	砂浆、混凝土、硅酸盐制品
有机材料	植物质材料		木材、竹材、植物纤维及其制品
	沥青材料		石油沥青、沥青制品
	高分子材料		塑料、橡胶、有机涂料、胶黏剂
复合材料	金属 - 非金属复合		钢纤维混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土
	非金属 - 有机复合		聚合物混凝土、沥青混凝土、水泥刨花板、玻璃钢（玻璃纤维增强塑料）

(2) 按材料使用功能分类

- 1) 承重结构材料。如梁、板、柱所用材料。最常用的有钢材、混凝土、砖、砌块等。
- 2) 非承重结构材料。主要包括框架结构的填充墙、内隔墙和其他围护材料。
- 3) 功能材料。主要利用材料的某些特殊功能,如用于防水、装饰、保温等的材料。

0.2 土木工程与材料的关系

1. 材料是一切土木工程的基础

材料是构成土木工程建(构)筑物的物质基础。同时,材料也是保证土木工程质量的基础。土木工程材料的质量与正确选择、应用直接影响土木工程的质量、使用功能、运营安全与耐久性。

为了确保土木工程的质量,必须实行土木工程材料的标准化。土木工程材料技术标准(规范)是针对原材料、产品以及工程质量、规格、检验方法、评定方法、应用技术等做出的技术规定,因此它是从事产品生产、工程建设、科学研究以及在商品流通领域中所必须遵循的共有的技术法规。世界范围统一使用的是 ISO 国际标准。我国的常用标准有三大类: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)等;三是地方标准(代号 DB)和企业标准(代号 QB)。

2. 材料直接影响土木工程的造价

土木工程材料不仅用量大,而且有很强的经济性,它直接影响工程的总造价。一般住宅工程的材料费用约占总造价的 50%~60%。所以,在建筑过程中能否恰当地选择和合理地使用土木工程材料不仅能提高建筑物质量及其寿命,而且对降低工程造价有着重要的意义。

3. 材料与土木工程技术进步互相促进

材料与土木工程的设计方法、施工方法都密切相关。材料应用技术的进步都会直接促进土木建筑工程技术的进步。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。同样,新的建筑形式和结构布置,也呼唤着新的建筑材料,并促进建筑材料的发展。施工是运用土木工程材料实现设计意图的中间环节,也是建筑材料生产的最终环节。因此,施工既是结构设计得到充分体现的必要保证,也是土木工程材料性能能够正常发挥的重要保证。

0.3 本课程的学习目的、任务及学习方法

本课程的目的是为其他专业课程(如房屋建筑学、建筑施工、砖混结构、钢结构等)提供土木工程材料的基本知识,为从事技术工作的人员能合理地选择和正确地使用土木工程材料打下基础。因此,课程的任务就是使学生获得常用土木工程材料的性质与应用的基本知识和必要的基本理论,了解土木工程材料的标准,完成主要土木工程材料检验方法的基本技能训练。通过本课程的学习,学生应能针对不同工程与结构类型、工程服役环境,合理地选用材料,并能与后续课程紧密配合,理解材料与土木工程设计、施工的相互关系。

土木工程材料课程内容繁杂,因此掌握良好的学习方法是至关重要的。正确的学习方法是要运用好事物内因与外因、共性与特性的关系。要了解土木工程材料各方面内容的关系,还要

了解不同种类材料具有不同的性质。同类材料不同品种既存在共性，又存在各自的特性。只要抓住代表性材料的一般性质，就能运用对比的方法去掌握其他品种土木工程材料的特性。掌握了抓重点内容、抓内容关系、抓对比的学习方法学习本课程可事半功倍。

土木工程材料课是一门以生产实践和科学实验为基础的实践性很强的学科。因而实验课是本课程的重要教学环节。通过实验，可以学会和掌握土木工程材料的基本试验方法，从而培养科学研究的能力和严谨缜密的科学态度。

第1章 土木工程材料基本性质

主要内容与学习要点

本章主要内容包括材料的物理性质，材料的力学性质，材料的耐久性与环境协调性，材料组成、结构与性能的关系。

通过本章学习应该掌握土木工程材料的基本物理性质，熟练掌握工程材料的基本力学性质，理解土木工程材料耐久性和材料环境协调性的概念，了解土木工程材料的基本组成、结构和构造，了解材料结构和构造与材料基本性质的关系，在工程设计与施工中正确选择和合理使用各种材料。

在土木工程各类建筑物中，土木工程材料要承担各种不同的作用，它是构成土木工程的物质基础，因而要求土木工程材料具有相应的性质。例如，用于受力构件的结构材料，要承受各种力的作用，因此，选用的材料应具有良好的力学性能；墙体材料应具有绝热、隔声等功能；屋面材料应具有防水等性能；路面材料应能经受风吹、日晒、雨淋、冰冻而引起的温度变化、湿度变化及反复冻融等破坏作用。为了保证建筑物的耐久性，要求土木工程师必须熟悉和掌握各种材料的物理性质和力学性能，在工程设计与施工中正确地选择和合理地使用材料。

1.1 材料的物理性质

1.1.1 材料的体积组成

体积是材料占有的空间尺寸大小，其度量单位通常以 cm^3 或 m^3 表示。由于材料具有不同的物理状态，因而表现出不同的体积。材料自然状态下体积组成如图 1-1 所示。

1. 材料的密实体积

材料的密实体积是指干燥材料在绝对密实状态下的体积，即材料内部固体物质的体积，或不包括内部孔隙的材料体积，一般以 V 表示。玻璃、钢铁、沥青等少数材料在自然状态下绝对密实，较易测定其绝对密实体积，但大多数材料在自然状态下或多或少含有孔隙，如砖、石等块体材料。一般将材料粉碎磨成规定细度的粉末，消除内部孔隙，经干燥至恒重后，用李氏瓶测定其体积。材料磨得越细，测定结果越准确。

2. 材料的表观体积

材料的表观体积是指材料在自然状态下的外观体积，包括开口孔隙和闭口孔隙在内的体积，即固体体积 + 开口孔隙体积 + 闭口孔隙体积，一般以 V_0 表示。规则外形材料的表观体积，可通过测量体积尺寸或蜡封用静水天平置换法测得；不规则外形材料的表观体积，可用排水法

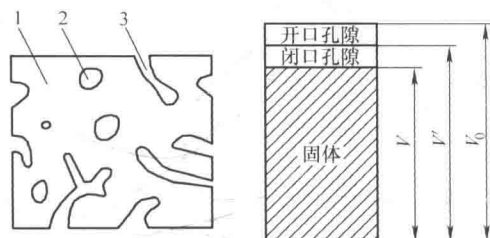


图 1-1 自然状态下体积示意图

1—固体 2—闭口孔隙 3—开口孔隙

测得,它实际扣除了材料内部的开口孔隙的体积,故称用排水法测得材料的体积为近似表观体积,也称为视体积。

3. 材料的堆积体积

材料的堆积体积是指粉状或散粒材料在自然堆积下的体积,即包括固体体积+孔隙体积+颗粒间空隙,一般以 V_0 表示。同一种材料堆积状态不同,堆积体积大小不一样,松散堆积下的体积大,密实堆积下的体积小。测定散粒材料的体积可通过已标定容积的容器计量而得。测定砂子、石子的堆积密度即用此法。若以捣实体积计算时,则称紧密堆积密度。

根据上述定义可知,材料的密实体积仅取决于其微观或细观结构,而与宏观结构无关;材料的表观体积与其宏观组成结构有关;堆积体积不仅与材料内部的微观结构、细观结构、宏观结构有关,而且还与颗粒间相互填充与接触的程度有关。

1.1.2 材料的密度、表观密度和堆积密度

1. 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量,按下式计算:

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

式中 ρ ——材料的密度 (g/cm^3 或 kg/m^3);
 m ——干燥状态下材料的质量 (g 或 kg);
 V ——材料的绝对密实体积 (cm^3 或 m^3)。

材料密度 ρ 的大小取决于组成物质的原子量和分子结构。重金属材料的密度为 $7.50 \sim 9.00 \text{g}/\text{cm}^3$; 硅酸盐的密度多为 $1.80 \sim 3.30 \text{g}/\text{cm}^3$; 有机高分子材料的密度小于 $2.50 \text{g}/\text{cm}^3$ 。同为碳原子组成,石墨的分子结构比较松散,密度为 $2.20 \text{g}/\text{cm}^3$,而金刚石极为密实,密度高达 $3.50 \text{g}/\text{cm}^3$;

2. 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,按下式计算:

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

式中 ρ_0 ——材料的体积密度 (g/cm^3 或 kg/m^3);
 m ——材料的质量 (g 或 kg);
 V_0 ——材料的表观体积 (cm^3 或 m^3)。

表观密度反映整体材料在自然状态下的物理参数。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;干表观密度是指材料在烘干状态下的测定值。由于表观体积中包含了材料内部孔隙的体积,材料干表观密度值通常小于其密度值。

材料中的孔隙有封闭孔和开口孔,通常将材料质量与其不含开口孔隙的体积之比称为视密度。

3. 堆积密度

堆积密度是指材料为散粒或粉状,如砂、石子、水泥等,在堆积状态下,单位体积的质量,按下式计算:

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

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度 (g/cm^3 或 kg/m^3) ;
 m ——材料的质量 (g 或 kg) ;
 V'_0 ——材料的堆积体积 (cm^3 或 m^3) 。

同一种材料堆积状态不同,堆积体积大小不一样,松散堆积下的体积大,密实堆积下的体积小。按照自然堆积体积计算的密度为松散堆积密度(松堆密度),以振实体积计算的则为紧密堆积密度(紧堆密度)。

密度并不能反映材料的性质,但可以大致了解材料的品质,并可用来计算材料的孔隙率。表观密度建立了材料自然体积与质量之间的关系,可用来计算材料的用量、构件自重等。堆积密度可用于确定材料堆放空间、运输车辆等。一般情况下,密度 > 表观密度 > 堆积密度。常见的土木工程材料的密度、表观密度和堆积密度见表 1-1。

表 1-1 常见土木工程材料的密度、表观密度和堆积密度

材料	密度/(g/cm^3)	表观密度/(kg/m^3)	堆积密度/(kg/m^3)
石灰岩	2.60	1800 ~ 2600	1400 ~ 1700 (碎石)
花岗岩	2.80	2500 ~ 2700	—
砂	2.60	—	1450 ~ 1650
黏土	2.60	—	1600 ~ 1800
普通黏土砖	2.50	1600 ~ 1800	—
黏土空心砖	2.50	1000 ~ 1400	—
水泥	3.10	—	1200 ~ 1300
普通混凝土	—	1900 ~ 2500	—
轻集料混凝土	—	800 ~ 1900	—
木材	1.55	400 ~ 800	—
钢材	7.85	7850	—
铝合金	2.7	2700	—
泡沫塑料	—	20 ~ 50	—
玻璃	2.45 ~ 2.55	2450 ~ 2550	—
石油沥青	0.96 ~ 1.04	—	—

1.1.3 材料的密实度和孔隙率

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,也就是固体物质的体积占总体积的比例。密实度反映了材料的致密程度,以 D 表示,可按下式计算:

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

2. 孔隙率

孔隙率是指材料孔隙体积(包括不吸水的闭口孔隙和能吸水的开口孔隙)占材料自然状态下总体积的百分率,以 P 表示,可按下式计算:

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

孔隙率与密实度的关系为: $D + P = 1$ 。

孔隙率的大小直接反映了材料的密实程度。材料内部的孔隙又可分为连通的孔隙和封闭的孔隙。连通孔隙彼此贯通且与外界相通,而封闭孔隙彼此不连通且与外界隔绝。通常认为,孔隙对材料的影响,一方面是孔隙的多少,另一方面是孔隙的特征。孔隙的多少用孔隙率表示,孔隙的特征是指孔隙的大小、形状、分布、连通与否等孔隙构造方面的特征。孔隙率的大小及孔隙本身的特征与材料的许多重要性质,如强度、吸水性、抗渗性、抗冻性和导热性等都有密切关系。一般而言,孔隙率小,且连通孔较少的材料,其吸水性较小,强度较高,抗渗性和抗冻性较好。

1.1.4 材料的填充率和空隙率

1. 填充率

填充率是指散粒状材料在自然堆积状态下,其中的颗粒体积占自然堆积状态下的体积的百分率,以 D' 表示,可按下式计算:

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

2. 空隙率

材料空隙率是指散粒状材料在自然堆积状态下,颗粒固体物质间空隙体积占堆积体积的百分率,以 P' 表示,可按下式计算:

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

空隙率与填充率的关系为: $D' + P' = 1$ 。

材料的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集料级配与计算砂率的依据。

1.1.5 材料与水有关的性质

材料在使用过程中,经常与水接触,如雨水、雪水、地下水、生活用水、大气中的水汽等。不同的固体材料表面与水之间作用的情况不同,对材料性质的影响也不同,因此要研究材料与水接触后的有关性质。

1. 亲水性与憎水性

材料在空气中与水接触时,水分与材料表面的亲和情况不一样,根据其是否能被水润湿,可将材料分为亲水性和憎水性两大类。

材料被水润湿的程度可用润湿角表示。润湿角是在材料、水和空气三相的交点处,沿水滴表面的切线与水与固体接触面之间的夹角 (θ),如图 1-2 所示。润湿角 θ 越小,水在材料表面越趋向于铺展开,则该材料能被水所润湿的程度越高。如果润湿角 $\theta = 0^\circ$,则表示该材料完全被水所浸润。一般认为,当润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 时,此种材料称为亲水性材料,如图 1-2a 所示;当润湿角 $\theta > 90^\circ$,此种材料称为憎水性材料,如图 1-2b 所示。

大多数土木工程材料,如石料、集料、砖、混凝土、木材等都属于亲水性材料,表面均能被水润湿,且能通过毛细管作用将水吸入材料的内部。

沥青、石蜡等属于憎水性材料,表面不能被水润湿,水分不易渗入材料毛细管中。憎水性材料不仅可用作防水材料,而且可用于亲水性材料的表面处理,以降低其吸水性。

2. 材料的吸水性与吸湿性

(1) 吸水性

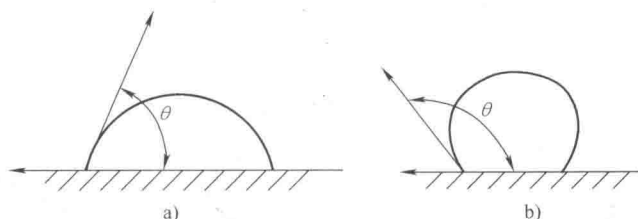


图 1-2 材料的润湿角

a) 亲水性材料 b) 憎水性材料

材料在水中吸入水分的能力称为材料的吸水性。材料的吸水性大小常用吸水率表示。吸水率有质量吸水率和体积吸水率两种表示方法。

质量吸水率是指材料吸水饱和时，吸入水的质量占材料干燥质量的百分数，用下式计算：

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

式中 W_m ——材料的质量吸水率 (%)；

m_w ——材料吸水饱和时，体积内水的质量 (g 或 kg)；

m_1 ——材料吸水饱和时的质量 (g 或 kg)；

m ——材料在干燥状态下的质量 (g 或 kg)。

体积吸水率是指材料吸水饱和时，所吸水分的体积占干燥材料体积的百分数，用下式计算：

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

式中 W_v ——材料的体积吸水率 (%)；

V_w ——材料吸水饱和时，体积内水的体积 (cm^3)；

V_0 ——材料自然状态下的体积 (cm^3)；

ρ_w ——水的密度 (g/cm^3)。

质量吸水率与体积吸水率存在如下关系：

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

式中 ρ_0 ——材料在干燥状态下的表观密度 (g/cm^3)。

材料吸水率的大小主要取决于材料的孔隙率及孔隙特征。具有细微而连通的孔隙且孔隙率大的材料吸水率较大；具有粗大孔隙的材料，虽然水分容易渗入，但仅能润湿孔壁表面而不易在孔内存留，因而其吸水率不高；密实材料以及仅有封闭孔隙的材料，水分难以进入，是不吸水的。

各种材料的吸水率相差很大，如花岗岩等致密岩石的吸水率仅为 0.5% ~ 0.7%，普通混凝土为 2% ~ 3%，黏土砖为 8% ~ 20%；对于某些轻质材料，如加气混凝土、软木等，由于具有很多微小的开口孔隙，所以它的质量吸水率往往超过 100%，即湿质量为干质量的几倍，在这种情况下，最好用体积吸水率表示其吸水性。

水在材料中对材料性质将产生不良的影响。材料含水后，自重增加，强度降低，保温性能下降，抗冻性能变差，有时还会发生明显的体积膨胀。因此，吸水率大对材料性能是不利的。

(2) 吸湿性

材料在潮湿的空气中吸收空气中水分的性质称为材料的吸湿性。材料的吸湿性大小用含水

率表示。吸湿作用一般是可逆的,也就是说材料既可吸收空气中的水分,又可向空气中释放水分。

含水率是指材料所含水的质量占材料干燥质量的百分数,可按下式计算:

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

式中 W_h ——材料的含水率(%) ;

m_b ——材料含水时的质量(g或kg);

m ——材料在干燥状态下的质量(g或kg)。

材料的含水率的大小,除与材料本身的特性有关外,还与周围环境的温度、湿度有关。气温越低、相对湿度越大,材料的含水率也就越大。

含水率表示材料在某一状态时的含水状态,其随着环境温度和空气湿度的变化而变化,既能在空气中吸收水分,又可向外界扩散水分,最终使材料中的水分与周围空气的湿度达到平衡,这时材料的含水率,称为平衡含水率。平衡含水率并不是固定不变的。当材料吸水达到饱和状态时的含水率即为吸水率。

材料吸水或吸湿后,对材料性质将产生一系列不良影响,即会使材料的表观密度增大、体积膨胀、强度下降、保温性能降低、抗冻性变差等。

3. 耐水性

材料长期在饱和水作用下不破坏,其强度也不显著降低的性质称为耐水性。水对材料的破坏是多方面,如对材料的力学性质、光学性质、装饰性等都会产生破坏作用。材料的耐水性用软化系数 K_R 表示,可按下式计算:

$$K_R = \frac{f_b}{f_g} \quad (1-12)$$

式中 f_b ——材料吸水饱和状态下的抗压强度(MPa);

f_g ——材料干燥状态下的抗压强度(MPa)。

软化系数的大小表明材料浸水后强度降低的程度,一般波动在0~1之间。软化系数越小,说明材料饱水后的强度降低越多,其耐水性越差。对于经常位于水中或受潮严重的重要结构物的材料,其软化系数不宜小于0.85;受潮较轻或次要结构物的材料,其软化系数不宜小于0.75。工程上通常把软化系数大于0.85的材料认为是耐水性材料。

4. 抗渗性

材料抵抗压力水渗透的性质称为抗渗性(或不透水性)。材料的抗渗性常用渗透系数或抗渗等级来表示。渗透系数按下式计算:

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

式中 K ——渗透系数(cm/h);

Q ——透水量(cm^3);

d ——试件厚度(cm);

t ——时间(h);

A ——静水压力水头(cm^2);

H ——试件开始渗水时的压力水头(cm)。

渗透系数反映了材料抵抗压力水渗透的性质,渗透系数越大,材料的抗渗性越差。

对于混凝土和砂浆材料,抗渗性常用抗渗等级表示。抗渗等级是以规定的试件在标准试验方法下所能承受的最大水压力来确定,计算式如下

$$P = 10H - 1$$

(1-14)

式中 P ——抗渗等级。

材料抗渗性的好坏,与材料的孔隙率和孔隙特征有密切关系。孔隙率很小而且是封闭孔隙的材料具有较高的抗渗性。对于地下建筑及水工构筑物,因常受到压力水的作用,故要求材料具有一定的抗渗性;对于防水材料,则要求具有更高的抗渗性。工程中一般采用降低孔隙率、改善孔隙特征(减少开口孔和连通孔)、减少裂缝及其他缺陷、对材料进行憎水处理等方法提高其抗渗性。

5. 抗冻性

材料在吸水饱和状态下,能经受多次冻结和融化作用(冻融循环)而不被破坏,同时也不严重降低强度的性质称为抗冻性。通常采用 -15°C 的温度(水在微小的毛细管中低于 -15°C 才能冻结)冻结后,再在 20°C 的水中融化,这样的过程为一次冻融循环。

材料经多次冻融交替作用后,表面将出现剥落、裂纹,产生质量损失,强度也将会降低。冰冻的破坏作用是由材料空隙内的水分结冰而引起的。水结冰时体积约增大9%,从而对空隙产生压力而使孔壁开裂。

混凝土的抗冻性用抗冻等级或抗冻标号表示。抗冻等级或抗冻标号是按混凝土试件吸水饱和后,所能承受的最大冻融循环次数划分的。如混凝土抗冻等级F100,指混凝土所能承受的最大冻融循环次数是100次,强度损失率不超过25%,质量损失不超过5%。

材料的抗冻性与其强度、孔隙率、孔隙特征、含水率等因素有关。材料强度越高,抗冻性越好。孔对抗冻性的影响与其对抗渗性的影响相似。当材料含水未达到饱和时,冻融破坏作用较小。

1.1.6 材料的热工性质

为了节约土建结构物的使用能耗以及为生产和生活创造适宜的条件,土木工程材料除了必须满足必要的强度及其性能的要求外,还必须具有一定的热工性质,以维持室内温度。常用材料的热工性质有导热性、热容量、比热容等。

1. 导热性

当材料两侧存在温度差时,热量将由温度高的一侧通过材料传递到温度低的一侧,材料的这种传导热量的能力,称为导热性。

材料导热能力的大小可用导热系数 λ 表示。导热系数在数值上等于厚度为1m的材料,当其相对表面的温度差为1K时,其单位面积(1m^2)单位时间(1s)所通过的热量,可用下式表示:

$$\lambda = \frac{Qd}{A(T_2 - T_1)t} \quad (1-15)$$

式中 Q ——传导的热量(J);

d ——材料的厚度(m);

$T_2 - T_1$ ——材料两侧的温差(K);

A ——传热面积(m^2);

t ——热传导时间(s)。

材料的导热系数越小,表示越不易导热,绝热性能越好。各种土木工程材料的导热系数差别很大,如泡沫塑料 $\lambda = 0.035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,而大理石 $\lambda = 0.35 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

导热系数与材料内部孔隙构造有密切关系。由于密闭空气的导热系数很小 $[\lambda = 0.023 \text{ W}/$