



21世纪普通高等教育创新教材

土木工程系列

土木工程材料

TUMUGONGCHENGCAILIAO

主 编 卫爱民 赵 军 赵 青
副主编 郑先超 张爱丽 牛永生



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/卫爱民,赵军,赵青主编. —武汉:武汉大学出版社,
2014.7

21世纪普通高等教育创新教材

ISBN 978-7-307-12752-4

I. 土… II. ①卫… ②赵… ③赵… III. 土木工程—建筑材料—高等学校—教材 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 004445 号

责任编辑:秦英姿

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:三河市延风印装有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:19 字数:395千字

版次:2014年7月第1版 2016年7月第2次印刷

ISBN 978-7-307-12752-4

定价:39.00元

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

内 容 简 介

《土木工程材料》根据高等工科院校土木工程专业本科教学大纲编写,内容包括材料的宏观性和微观结构,无机胶凝材料,混凝土与砂浆,砌体材料,沥青与高分子材料,钢材与木材,建筑功能材料等。主要介绍材料的基本成分、生产工艺、技术性质、应用、质量检验及运输保管等基本理论和实验技能。全书根据最近颁发的新标准的新规范编写而成,各章后均附有复习思考题。

本书可作为普通高等学校土木工程、工程管理、建筑学等相近的专业本科教材,也可作为相关专业相继续教育的培训教材,供有关科研、施工、生产人员参考。

P 前 言 REFACE

土木工程材料是发展土木工程的重要物质基础。土木工程领域技术的重大进展绝大多数与土木工程材料相关科学与技术的发展密切相关,本书以高等学校土木工程专业委员会制定的《土木工程材料》教学大纲为基本依据,根据土木工程专业不同专业方向的特点,结合土木工程材料领域的最新进展,参考国家和行业最新的相关规范、技术标准和规程,系统地介绍了土木工程当中常用气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆、砌体材料、钢材和铝合金、沥青和沥青混合料、合成高分子材料、木材以及建筑功能材料的原料、生产工艺、基本组成、材料性能、质量要求、检测方法、储存方法以及它们之间的相互关系。每章后面还附有习题,以便于学生自学和复习。

《土木工程材料》作为高等院校土木工程等相关专业的“土木工程材料”专业课程的教材,主要适合于土木工程专业的教学,也适合于工程管理、工程力学等其他相关专业的教学,同时,可供相关技术人员参考。不同专业(方向)的学生进行教学时,可根据教学大纲的要求,对教材内容进行适当的调整。本书还可供从事土木工作的管理、技术等人员参考学习。

本书内容上注重结合土木工程材料相关技术的最新发展,考虑到各种土木工程材料的主要应用领域有所不同,参考的技术规范和标准也不尽相同,如水泥主要参考国家标准,沥青和沥青混合料主要参考交通行业的规范和标准。学生除了应该掌握主要土木工程材料的基本性质和用途,了解材料性质与组成及结构的关系、主要土木工程材料性能改善的方法以外,还需了解土木工程材料应用于不同行业时所应遵循的基本规范和标准。通过本课程的学习,使学生掌握主要土木工程材料的组成、性质和用途,熟悉材料检测和质量控制方法,并了解有关材料的制备、材料结构与性能的关系。了解材料与设计参数及施工措施选择的相互关系,并能针对不同工程合理地选用材料。在理论教学与实验教学结合中使学生既收获到知识,又增强工程意识。

本书由卫爱民、赵军、赵青主编,郑先超、张爱丽、牛永生为副主编,由卫爱民统稿。全书共分为11章,其中第1章、第2章、第3章、第4章由卫爱民(安阳工学院)编写;第5章、第6章、第7章由赵青(安阳工学院)编写;绪论、第8章、第9章由赵军(安阳工学院)编写;第11章和材料试验部分由郑先超(安阳工学院)编写;第8章、第9章和第11章思考题由牛永生(安阳工学院)编写;第10章由张爱丽(安阳职业技术学院)编写。由于土木工程材料品种繁多,应用领域广泛,新材料发展快,且技术标准更新较快,加上时间仓促,编写组水平、经验有限,书中的疏漏在所难免,如有不妥之处,望广大师生、读者提出宝贵意见。

编者

目 录

CONTENTS

绪 论	1
0.1 土木工程材料的定义	1
0.2 土木工程材料的分类	1
0.3 土木工程材料在土木工程建设中的地位	2
0.4 建筑材料的发展概况和发展方向	3
0.5 土木工程材料的标准化	3
0.6 本课程的内容和任务	4
第 1 章 土木工程材料的基本性质	5
1.1 材料的组成、结构与构造及对性质的影响	5
1.2 材料的基本物理性质	7
1.3 材料的力学性质	15
1.4 材料的耐久性	17
第 2 章 气硬性胶凝材料	20
2.1 石 膏	20
2.2 石 灰	24
2.3 水玻璃	28
第 3 章 水 泥	32
3.1 硅酸盐水泥	32
3.2 掺混合材料的硅酸盐水泥	41
3.3 特性水泥和专用水泥	45
3.4 其他水泥	46
第 4 章 混 凝 土	49
4.1 概 述	49

4.2	普通混凝土的组成材料	50
4.3	混凝土拌合物的和易性	67
4.4	硬化后混凝土的性能	72
4.5	混凝土的变形性能	78
4.6	混凝土的耐久性	80
4.7	混凝土的质量控制与评定	84
4.8	普通混凝土的配合比设计	86
4.9	其他种类混凝土	94
第 5 章	建筑砂浆	100
5.1	建筑砂浆的分类、组成材料及技术性能	100
5.2	砌筑砂浆的配合比设计	104
5.3	抹面砂浆	109
第 6 章	钢材与铝合金	113
6.1	钢材的分类	113
6.2	建筑钢材的主要技术性能	115
6.3	钢材的组成结构及对性能的影响	120
6.4	钢材的强化和焊接	122
6.5	土木工程用钢、钢材的标准和选用	125
6.6	铝合金及制品	137
6.7	钢材的腐蚀与防护	139
第 7 章	砌体材料	143
7.1	砖	143
7.2	砌块	150
7.3	新型墙体材料的发展	154
7.4	砌筑石材	155
第 8 章	沥青和沥青混合料	159
8.1	沥青的分类与生产	159
8.2	石油沥青的组成与结构	163
8.3	石油沥青的主要技术性质	167
8.4	石油沥青的技术标准	173
8.5	石油沥青的老化与改性	175
8.6	沥青混合料的应用与分类	177

8.7 沥青混合料的强度构成	180
8.8 沥青混合料的技术性质	184
8.9 沥青混合料的配合比设计	188
第 9 章 合成高分子材料	199
9.1 高分子化合物的基本知识	199
9.2 合成高分子材料在土木工程中的应用	205
第 10 章 木 材	214
10.1 木材的分类与构造	214
10.2 木材的性质	216
10.3 土木工程中常用木材及木质材料制品	219
10.4 木材的防腐与防火	220
第 11 章 建筑功能材料	225
11.1 绝热材料	225
11.2 建筑光学材料	230
11.3 建筑粘接剂	232
11.4 建筑装饰材料	236
11.5 建筑吸声、隔声材料	243
第 12 章 常用土木工程材料试验	249
12.1 材料的基本物理性质试验	249
12.2 水泥性能试验	251
12.3 混凝土用砂试验	258
12.4 混凝土用石试验	262
12.5 混凝土性能试验	265
12.6 建筑砂浆试验	272
12.7 墙体材料试验	275
12.8 钢筋试验	277
12.9 沥青试验	279
12.10 沥青混合料试验	284
参考文献	294

绪论



教学要求

- (1)掌握土木工程材料的定义；
- (2)了解土木工程材料在土木工程中的地位与作用；
- (3)掌握土木工程材料的分类；
- (4)了解土木工程材料的标准化；
- (5)了解土木工程材料的发展,本课程的学习目的、特点和学习方法。

0.1 土木工程材料的定义

用于土建工程的材料,总称为建筑材料或土木工程材料。水泥、钢筋、木材、混凝土、砌墙砖、石灰、沥青、瓷砖等是我们常见的土木工程材料,实际上,土木工程材料远不只这些,其品种达数千种之多。广义的建筑材料是指建筑物在使用前必须安装给水排水、采暖通风空调、供电、供燃气、通信信息、楼宇控制等配套设施的设备和器材,以及虽然未构成建筑物本身,但是在建筑施工的过程中必须要消耗的材料,如脚手架、模板、板桩等。狭义的建筑材料是指建造建筑物地基、基础、梁、板、柱、墙体、屋面、地面以及装饰工程等所用的材料。

0.2 土木工程材料的分类

0.2.1 按化学成分分类

1. 无机材料

金属材料:黑色金属材料——钢、铁;

有色金属材料——铝、铜、合金。

非金属材料:天然石材——大理石、花岗石;

陶瓷和玻璃——砖、瓦、卫生陶瓷、玻璃。

无机胶凝材料:石灰、石膏、水玻璃、水泥、砂浆、混凝土。

2. 有机材料

木材、沥青、塑料、涂料、油漆。

3. 复合材料

金属与非金属复合——钢筋混凝土、钢纤维混凝土；

有机与无机复合——玻璃钢、沥青混凝土、聚合物混凝土。

0.2.2 按使用功能分类

按使用功能可将建筑材料分为结构材料、围护材料和功能材料三大类。

1. 结构材料

结构材料是指构成建筑物受力构件和结构所用的材料,如梁、板、柱、基础、框架等构件或结构使用的材料。结构材料要求具有足够的强度和耐久性。

2. 围护材料

围护材料是指用于建筑物围护结构的材料,如墙体、门窗、屋面等部位使用的材料。围护材料不仅要求具有一定的强度和耐久性,还要求具有保温隔热等性能。

3. 功能材料

担负建筑物使用过程中所必需的建筑功能的材料,如防水材料、绝热材料、吸声隔音材料、密封材料和各种装饰材料等。

0.3 土木工程材料在土木工程建设中的地位

建筑材料是建筑工程的物质基础,土木工程材料在土木工程中应用量巨大,材料费用在工程总造价中占40%~70%,如何从品种门类繁多的材料中选择物优价廉的材料,对降低工程造价具有重要意义。土木工程材料的性能影响到土木工程的坚固、耐久和适用,例如砖混结构的建筑物,其坚固性一般优于木结构和砌体结构建筑物,但舒适性不及后者。对于同类材料,性能也会有较大差异,例如用矿渣水泥制作的污水管较普通水泥制作的污水管耐久性好。因此,建筑材料的质量直接影响建筑物的安全性和耐久性,选用性能相适的材料是土木工程质量的重要保证。

若能够经济合理地使用建筑材料,减少浪费和损失,就可以降低工程造价,提高建设投资的经济效益。建筑材料的发展与建筑工程技术的进步有着相互依存、相互制约和相互推动的关系。土木工程中许多技术问题的突破,往往依赖于土木工程材料问题的解决,新材料的出现,将促使建筑设计、结构设计和施工技术革命性的变化。例如粘土砖的出现,产生了砖木结构;水泥和钢筋的出现,产生了钢筋混凝土结构;轻质高强材料的出现,推动了现代建筑向高层和大跨度方向发展;轻质材料和保温材料出现,对减轻建筑物的自重、提高建筑物的抗震能力、改善工作与居住环境条件等起到了十分有益的作用,并推动了节能建筑的发展;新型装饰材料的出现,使得建筑物的造型及建筑物的内外装饰焕然一新,生气勃勃。总之,建筑材料决定建筑的形式和施工的方法。新型建筑材料的出现,可以促进建筑形式的变化、结构设计方法的改进和施工技术的革新。

0.4 建筑材料的发展概况和发展方向

建筑材料是随着人类社会生产力和科学技术水平的提高而逐步发展起来的。原始时代主要是天然材料木材、岩石、竹、粘土等；石器、铁器时代的金字塔以石材、石灰、石膏为主，我国的万里长城使用材料是条石、大砖、石灰砂浆；布达拉宫以石材、石灰砂浆为主。进入18世纪中叶，钢材、水泥问世。到了19、20世纪，已经有了钢筋混凝土材料和预应力钢筋混凝土及其他材料。近几十年来，随着科学技术的进步和土木工程发展的需要，一大批新型土木工程材料应运而生，出现了塑料、涂料、新型建筑陶瓷与玻璃、新型复合材料（纤维增强材料、夹层材料等），但当代主要结构材料仍为钢筋混凝土。

随着社会的进步、环境保护和节能降耗的需要，对土木工程材料提出了更高、更多的要求。因而，今后一段时间内，土木工程材料将向以下几个方向发展：

1. 高性能建筑材料

高性能建筑材料是指性能、质量更加优异、轻质、高强、多功能和更加耐久、更富装饰效果的材料，是便于机械化施工和更有利于提高施工生产效率的材料。通过减轻材料自重，以尽量减轻结构物自重，可提高经济效益。比如发展高强混凝土、加气混凝土、轻骨料混凝土、空心砖、石膏板等材料，以适应土木工程发展的需要。

2. 节约能源

充分利用工业废渣、生活废渣、建筑垃圾生产土木工程材料，将各种废渣尽可能资源化，以保护环境，节约自然资源，使人类社会可持续发展。发展大幅度降低建筑能耗（包括生产和使用过程中的能耗）的建材制品，如具有轻质、高强、防水、保温、隔热、隔声等功能新型墙体材料。

3. 绿色建材

绿色建筑材料是采用清洁生产技术，不用或少用天然资源和能源，大量使用工农业或城市固态废弃物生产的无毒害、无污染、无放射性，达到使用周期后可回收利用、有利于环境保护和人体健康的建筑材料。

0.5 土木工程材料的标准化

目前，我国绝大多数土木工程材料都有相应的技术标准，这些技术标准涉及产品规格、分类、技术要求、验收规则、代号与标志、运输与贮存及抽样方法等内容。

土木工程的技术标准分为国家标准、行业标准、企业标准和地方标准，各级标准分别由相应的标准化管理部门批准并颁布。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，按要求执行的程度分为强制性标准和推荐标准（在部门代号后加“/T”表示“推荐”）。

1. 国家标准(GB—国家强制性标准)

例如国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB175—2007),部门代号为 GB,编号为 175,批准年份为 2007 年。GB/T 为国家推荐性标准,例如《碳素结构钢》(GB/T700—88),部门代号为 GB,编号为 700,批准年份为 1988 年,为推荐性标准。现行部分建材行业标准有两个年份,第一个年份为批准年份,随后括号中的年份为重新校对年份,如《粉煤灰砖》(JC239—91(96))。

2. 行业标准或部级标准

例如 JGJ—建设部行业标准;JC—国家建材局行业标准;YB—冶金部行业标准;TJ—交通部行业标准。

3. 地方标准(代号 DB)和企业标准(代号 QB)

例如《混凝土用水标准》(JGJ63—2006)。

4. 国际标准

例如美国标准 ASTM;英国标准 BS;日本标准 HS;德国标准 DIN;欧洲标准 EN;国际标准 ISO 等。

技术标准是根据一定时期的技术水平制定的,因而随着技术的发展与使用要求的不断提高,需要对标准进行修订,修订标准实施后,旧标准自动废除,如国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》GB175—1999 已废除。

工程中使用的土木工程材料除必须满足产品标准外,有时还必须满足有关的设计规范、施工及验收规范或规程等的规定。这些规范或规程对土木工程材料的选用、使用、质量要求及验收等还有专门的规定(其中有些规范或规程的规定与土木工程材料产品标准的要求相同)。例如混凝土用砂,除满足《建筑用砂》(GB/T14684—2001),还必须满足《普通混凝土用砂的质量标准及检验方法》(JGJ52—92)的规定。

0.6 本课程的内容和任务

本课程是一门实践性较强的专业基础课。主要讲述常用建筑材料的品种、规格、技术性能、质量标准、试验检测方法、储运保管和工程中的应用等方面的知识。它包括理论课和实验课两个环节。

学习时要注意观察工程材料,认真做实验。为达到能及时理解课堂讲授的知识,应利用一切机会观察周围已经建成的或正在施工的土木工程,在实践中理解和验证所学内容,做到理论联系实际。

实验课是本课程的重要教学环节,通过实验,可验证所学的基本理论,学会检验常用建筑材料的实验方法,掌握一定的实验技能,并能对实验结果进行正确的分析和判断,以培养学生严谨的分析问题和解决问题的能力。



第 1 章

土木工程材料的基本性质



学习目标

- (1) 了解土木工程材料的基本组成、结构和构造及其与材料基本性质的关系；
- (2) 熟练掌握土木工程材料的基本力学性质；
- (3) 掌握土木工程材料的基本物理性质；
- (4) 掌握土木工程材料耐久性的基本概念。

本章的难点是材料的组成及其对材料性质的影响。建议通过学习了解材料科学的基本概念,理解材料的组成结构与性能的关系及其在工程实践中的意义。

1.1 材料的组成、结构与构造及对性质的影响

1.1.1 材料的组成及对性质的影响

材料的组成是指组成材料的化学成分或矿物成分,它是决定材料物理力学性质的重要因素。

1. 材料的化学组成

材料的化学组成即化学成分,是指构成材料的化学元素及化合物的种类和数量。无机非金属建筑材料的化学组成以各种氧化物的含量来表示,金属材料以元素含量来表示,如碳素钢随含碳量增加,强度、硬度增大,而塑性韧性降低;混凝土受到酸、盐类物质的侵蚀;木材遇到火焰时的耐燃、耐火性能等都属于化学作用。化学组成决定着材料化学性质,影响着物理性质和力学性质。

2. 材料的矿物组成

材料的矿物组成是指构成材料的矿物的种类和数量。材料中的元素或化合物是以特定的结合形式存在着,并决定着材料的许多重要性质。矿物组成是无机非金属建筑材料中化合物存在的基本形式。材料的化学组成不同,其矿物组成不同;材料的化学组成相同,在不同的条件下,可组成多种不同的矿物。矿物组成不同的材料,其性质也不相同,例如,硅酸盐水泥中, CaO 和 SiO_2 是其主要的化学成分,它们组成的主要矿物是硅酸三钙和硅酸二钙, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 含量高,其硬化速度较快,早期强度高,水化热大,而 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 硬化速度较慢,早期强度低,水化热小,二者的性质相差很大,其组成比例是决定水泥性质的主要因素。

1.1.2 材料的结构及其对性质的影响

材料的结构决定着材料的许多性质。一般从三个层次来观察材料的结构及其与性质的关系。

1. 宏观结构

材料的宏观结构是指用肉眼或放大镜即可观察到的毫米级以上的组织。它主要研究和分析材料的组合与复合方式、组成材料的分布情况、材料中的孔隙构造、材料的构造缺陷等。宏观结构的分类及其相应的主要特性见表 1-1。

表 1-1 宏观结构的分类及其相应的主要特性

序号	结构类型	常见材料	主要特性
1	致密结构	钢材、玻璃、塑料	强度硬度高、吸水性小、抗渗抗冻性好
2	多孔结构	泡沫塑料、加气混凝土	强度低、吸水性大、保温隔热性能好
3	微孔结构	烧结砖、石膏制品	孔隙尺寸小,性能同上
4	纤维结构	木材、竹材 石棉纤维及钢纤维制品	与纤维平行与垂直方向的性能 差异较大(各向异性)
5	片状或层状 结构	胶合板等人工板材 部分岩石(大多沉积岩)	综合性能好 具有解理、层理性质
6	散粒结构	砂、水泥、石子	具有空隙,空隙的大小取决于颗粒 形状、级配

2. 亚微观结构

材料的亚微观结构是指由光学显微镜所看到的微米级组织结构。其尺度介于微观和宏观之间,范围在 $10^{-3} \sim 10^{-9} \text{m}$ 。通常,材料内部的晶粒越细小、分布越均匀,则材料的强度越高、脆性越小、耐久性越好;不同组成间的界面粘结或接触越好,则材料的强度、耐久性等越好。材料的亚微观结构对材料的性质影响很大,例如,钢材的晶粒尺寸越小,其强度就越高。因此,对于土木工程材料而言,从亚微观结构层次上改善材料的性能具有十分重要的意义。

材料的纳米结构是指用扫描透射电子显微镜观察到的结构。尺度范围在 $10^{-7} \sim 10^{-9} \text{m}$ 的结构为纳米结构,由于纳米级微粒具有独特的小尺寸效应和表面界面效应等基本特性。由纳米微粒组成的纳米材料具有许多奇特的物理和化学性质,例如,磁性液体、纳米材料等,通常胶体中的颗粒直径为 $1 \sim 100 \text{nm}$,其结构是典型的纳米结构。自 20 世纪 80 年代以来,研究进展迅速,应用前景广阔。

3. 微观结构

材料的微观结构是指材料物质的原子级或分子级的结构,用电子显微镜、x 射线、衍射仪等手段来研究的原子和分子级的结构。该结构可分为晶体与非晶体两大类。

(1) 晶体

晶体是质点(原子、离子、分子)按一定规律在空间重复排列的固体,具有特定的几何外形和固定的熔点。由于质点在各方向上的排列的规律和数量不同,单晶体具有各向异性的性质;但实际应用的材料是由细小的晶粒杂乱排列组成的,其宏观性质常表现为各向同性。无机非金属材料的晶体,其键的构成不是单一的,往往是由共价键、离子键等共同联结,其性质差异较大。

(2) 非晶体

非晶体又称为玻璃体、无定形体,是相对晶体而言的,是熔融物在急速冷却时,质点来不及按规律排列所形成的固体或固态液体。非晶体没有固定的熔点和几何外形,具有各向同性,其强度、导热性和导电性等低于晶体。

由于非晶体的质点来不及按规律排列,质点未到达能量最低的稳定位置,内部还有大量的化学能未能释放出来,保留了高温下的高能量状态,质点间的能量只能以内能的形式储存起来。因此,玻璃体具有化学活性,稳定性较差,在一定条件下,易于其他物质发生化学反应,例如火山灰、粉煤灰、粒化高炉矿渣等混合材料,都是经过高温急冷得到,含大量玻璃体,工程上常被用作硅酸盐水泥的掺合料,以改善水泥的性质。

1.1.3 材料的构造及其对性质的影响

材料的构造是指材料在宏观可见层次上的组成形式。与结构相比,更强调相同材料或不同材料间的搭配组合关系。如材料的孔隙、岩石的层理、木材的纹理等,这些结构的特征、尺寸、大小及形态,决定了材料的一些特有的性质。通常材料内部开口孔隙是细微且联通的,材料易吸水、吸湿,耐久性差,若是闭口的孔隙,其吸水性则会大大降低,抗渗性提高。所以,对同种材料来说,其构造越密实均匀,其强度和表观密度就越大。

工程上常用改变材料的密实度、孔隙结构,以及应用复合材料等方法,来改善材料的性能,以满足不同的需要。

1.2 材料的基本物理性质

1.2.1 与质量和体积有关的性质

1. 密度(绝对密度)

材料在绝对密实状态下(不含内部所有孔隙体积)单位体积的质量,用下式表示:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中: ρ ——实际密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量, g 或 kg ;

V ——材料的绝对密实体积, cm^3 或 m^3 。

对绝对密实的材料,分别测定其质量和体积即可。在常用的土木工程材料中,除钢材、玻璃、沥青等可近似认为不含孔隙外,绝大多数材料含有孔隙。对于大多数多孔结构的建筑材料,测试时,关键是测出绝对密实体积。测试时,必须充分磨细、烘干后称量质量,用排开液体的方法来测定其体积。磨得越细,内部孔隙消除得越完全,测得的体积也就越精确,因此,一般要求细粉的粒径至少小于0.2mm。

2. 表观密度

材料单位表观体积(该体积含材料实体和内部的闭口孔隙)的质量,用下式表示:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0}$$

式中: ρ_0 ——材料的表观密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量, g 或 kg ;

V_0 ——材料包含闭口孔隙条件的体积(只含内部闭口孔隙,不含开口空隙), cm^3 或 m^3 。

对于一些散状材料,如水泥、砂、石子等,一来本身已成粉状;二来这些材料再磨细较困难,所以直接采用排水法测定其体积。

3. 体积密度

材料在自然状态下(该体积含材料实体及其开口孔隙)单位体积的质量,用下式表示:

$$\rho' = \frac{m}{V}$$

式中: ρ' ——材料的体积密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量,按有关规定,该质量指材料在自然状态下气干质量, g 或 kg ;

V_0 ——材料在自然状态下的体积,该体积包含材料实体及内部孔隙(开口孔隙和闭口孔隙), cm^3 或 m^3 。

测试时,材料的质量可以是任意含水状态下的,不加说明时,是指气干状态下的质量。测定材料在自然状态下的体积的方法较简单,若材料外观形状规则,可直接度量外形尺寸,计算体积;若外观形状不规则,则可用排液法测得,为了防止液体由孔隙渗入材料内部而影响测定值,应在材料表面涂蜡。

4. 堆积密度

散粒状或粉末材料在堆积状态下单位体积的质量,以下式表示:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0}$$

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 。

散粒材料在自然堆积状态下的体积是指既含颗粒内部的孔隙,又含颗粒之间空隙在内的总体积。材料的堆积体积可采用容量筒来测量,测量筒常采用具有一定体积的容量筒(1L、5L、10L、30L等)。砂子、石子的堆积密度即用此法求得。

由于大多数材料或多或少含有一些孔隙,故一般材料的表观密度总是小于其密度。

在土木工程中,计算材料用量、构件自重、配料、材料堆放的体积或面积时,常用到材料的密度、表观密度和堆积密度。常用土木工程材料的密度、表观密度和堆积密度见表 1-2 所示。

表 1-2 常用土木工程材料的密度、表观密度和堆积密度

材 料	密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	表观密度 $\rho_0(\text{kg}/\text{m}^3)$	堆积密度 $\rho'_0(\text{kg}/\text{m}^3)$
石灰岩	2.60	1800~2600	/
花岗岩	2.80	2500~2900	/
碎石(石灰岩)	2.60	/	1400~1700
砂	2.60	/	1450~1650
普通粘土砖	2.50	1600~1800	/
空心粘土砖	2.50	1000~1400	/
水泥	3.20	/	1200~1300
普通混凝土	/	2100~2600	/
轻集料混凝土	/	800~1900	/
木材	1.55	400~800	/
钢材	7.85	7850	/
泡沫塑料	/	20~50	/

1.2.2 材料的孔隙率与空隙率

1. 密实度与孔隙率

(1) 密实度

密实度是指材料固体物质的体积占总体积的百分率称为密实度。它反映材料体积内被固体物质所充实的程度,按下式计算:

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\%$$

式中: ρ ——密度;

ρ_0 ——材料的表观密度。

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 $D < 100\%$ 。

(2) 孔隙率

孔隙率是指材料内部孔隙体积占材料自然状态下体积的百分率,分为开口孔隙率、闭口孔隙率,按下式计算:

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

式中: 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 ——材料的体积密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

ρ ——密度, g/cm^3 或 kg/m^3 。

开口孔隙率的计算中常将材料吸水饱和状态时(常采用真空吸水法)所吸水的体积视为开口孔隙体积,则 P_k 可表示为:

$$P_k = \frac{V_k}{V_0} = \frac{V_{\text{水}}}{V_0} = \frac{m_{\text{饱}} - m_{\text{干}}}{\rho_{\text{水}} \cdot V_0} \times 100\%$$

则闭口孔隙率为:

$$P_b = P - P_k$$

$$P + D = 1$$

孔隙率的大小直接反映了材料的密实程度。材料内部孔隙的构造可分为连通与封闭两种。连通孔隙不仅彼此连通而且与外界连通,而封闭孔隙不仅彼此封闭且与外界相隔绝。孔隙可按其孔径尺寸的大小,分为极微细孔隙、细小孔隙和粗大孔隙。在孔隙率一定的条件下,孔隙结构和孔径尺寸及其分布,对材料的强度、抗渗性、抗冻性、隔热性等性能影响较大。

2. 材料的填充率和空隙率

(1) 填充率

填充率是指粉状或颗粒状材料在其堆积体积中,被固体颗粒填充的程度。填充率按下式计算:

$$D' = \frac{V_0}{V'_0} \times 100\%$$

式中: V_0 ——材料所有颗粒体积之总和, m^3 ;

V'_0 ——材料的堆积体积, m^3 。

(2) 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百分例。空隙率按下式计算:

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

式中: ρ_0 ——材料的体积密度;

ρ' ——材料的堆积密度。

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,在配制混凝土、砂浆等材料时,宜选用空隙率小的砂、石。

填充率和空隙率是从两个不同侧面反映粉状或颗粒状材料的颗粒相互填充的疏密程度,二者之和等于 1。

1.2.3 材料与水有关的性质

1. 亲水性与憎水性

当材料在空气中与水接触时,有些材料能被水润湿,这种性质称为材料的亲水性;有些

材料则不能被水润湿,这种性质称为材料的憎水性。

材料具有亲水性的原因是材料与水接触后存在二个分子间的作用力:一是水分子间的引力;二是水分子与材料分子间的引力。如水分子间的引力大于水分子与材料分子间的引力,则材料不能被水浸润,材料表现为憎水性。

材料被水润湿的情况可用润湿边角 θ 表示。当材料与水接触时,在材料、水、空气这三相体的交点处,作沿水滴表面的切线,此切线与材料和水接触面的夹角 θ ,称为润湿边角,如图 1-1 所示。 θ 角愈小,表明材料愈易被水润湿。实验证明,当 $\theta \leq 90^\circ$ 时(如图 1-1(a)),材料表面吸附水,材料能被水润湿而表现出亲水性,这种材料称为亲水性材料;当 $\theta > 90^\circ$ 时(如图 1-1(b)),材料表面不吸附水,此种材料称为憎水性材料;当 $\theta = 0^\circ$ 时,表明材料完全被水润湿。

含毛细孔的亲水材料可自动将水吸入孔隙内。大多数建筑材料属亲水性材料,如水泥制品、玻璃、石材等。憎水性材料常用作防水或防潮材料。如沥青、油漆、塑料、防水油膏等。

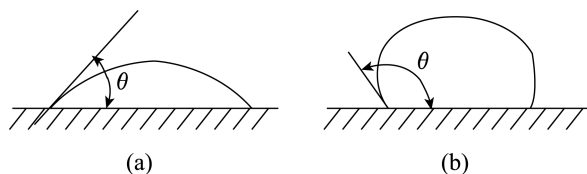


图 1-1 材料的润湿边角

(a) 亲水性材料;

(b) 憎水性材料

2. 吸水性

(1) 吸水性

材料在水中吸收水分的性质称为吸水性。材料的吸水性用吸水率表示,有以下两种表示方法:

1) 质量吸水率:质量吸水率是指材料在吸水饱和时,其内部所吸收水分的质量占干燥材料质量的百分率。用下式表示:

$$W_m = \frac{m_b - m_g}{m_g} \times 100\%$$

式中: W_m ——材料的质量吸水率,%;

m_b ——材料吸水饱和时的质量,g;

m_g ——材料在干燥状态下的质量,g。

2) 体积吸水率:体积吸水率是指材料在吸水饱和时,其内部所吸收水分的体积占干燥材料自然体积的百分率。用下式表示:

$$W_v = \frac{m_b - m_g}{V_0} \times \frac{1}{\rho_w} \times 100\%$$

式中: W_m ——材料的质量吸水率,%;

m_b ——材料吸水饱和时的质量,g;

m_g ——材料在干燥状态下的质量,g;

V_0 ——材料的自然体积, cm^3 ;

ρ_w ——水的密度, 常温下取 $1.0, \text{g}/\text{cm}^3$ 。

材料所吸收的水分是通过开口孔隙吸入的, 故开口孔隙率愈大, 则材料的吸水量愈多。材料吸水饱和时的体积吸水率, 即为材料的开口孔隙率。

材料的吸水性与材料的孔隙率及孔隙特征有关。对于细微连通的孔隙, 孔隙率愈大, 则吸水率愈大。封闭的孔隙内水分不易进去, 而开口大孔虽然水分易进入, 但不易存留, 只能润湿孔壁, 所以吸水率仍然较小。各种材料的吸水率差异很大, 如花岗岩的吸水率为 $0.5\% \sim 0.7\%$, 混凝土的吸水率为 $2\% \sim 3\%$, 烧结普通砖的吸水率为 $8\% \sim 20\%$, 木材的吸水率可超过 100% 。

3. 吸湿性

材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性。材料的吸湿性用含水率表示。含水率是指材料内部所含水重量占材料干重量的百分率。用下式表示:

$$W_h = \frac{m_s - m_g}{m_g} \times 100\%$$

式中: W_h ——材料含水率, $\%$;

m_s ——材料吸湿状态下的质量, g ;

m_g ——材料干燥状态下的质量, g 。

材料的吸湿性随着空气湿度和环境温度的变化而改变, 当空气湿度较大且温度较低时, 材料的含水率较大, 反之则小。材料中所含水分与周围空气的湿度相平衡时的含水率, 称为平衡含水率。当材料吸湿达到饱和状态时的含水率, 即为吸水率。具有微小开口孔隙的材料, 吸湿性特别强, 在潮湿空气中能吸收很多水分, 这是由于这类材料的内表面积很大、吸附水的能力很强所致。

材料的吸水性和吸湿性均会对材料的性能产生不利影响。材料吸水后, 会导致其自重增大、导热性增大、强度和耐久性将产生不同程度的下降。材料干湿交替, 还会引起其形状尺寸的改变而影响使用。

4. 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耐水性。材料的耐水性用软化系数来衡量, 其计算式如下:

$$K_R = \frac{f_b}{f_g}$$

式中: K_R ——材料的软化系数;

f_b ——材料在吸水饱和状态下的抗压强度, MPa ;

f_g ——材料在干燥状态下的抗压强度, MPa ;

材料吸水后, 水分会吸附到材料内物质微粒的表面, 减弱微粒间的结合力, 从而致使其强度下降, 这是吸水材料性质变化的重要特征之一, 软化系数反映了这一变化的程度。

软化系数 K_R 的范围在 $0 \sim 1$ 之间, 它是选择使用材料的重要参数。工程中通常将 $K_R > 0.85$ 的材料看做是耐水材料, 可以用于水中或潮湿环境中的重要结构; 用于受潮较轻

或次要结构时,材料的 K_R 值也不得低于 0.75。

材料的耐水性主要与其组成成分在水中的溶解度和材料的孔隙率有关。溶解度很小或不溶的材料,则软化系数(K_R)一般较大。若材料可微溶于水(如石灰)且含有较大的孔隙率(如石膏),则其软化系数(K_R)较小或很小。

5. 抗渗性

材料抵抗压力水渗透的性质称为抗渗性。材料的抗渗性通常用渗透系数表示。渗透系数的意义是:一定厚度的材料,在单位压力水头作用下,在单位时间内透过单位面积的水量。用公式表示为:

$$K = \frac{Qd}{AtH}$$

式中: K ——渗透系数,cm/h;

Q ——渗水总量,cm³;

d ——试件厚度,cm;

A ——渗水面积,cm²;

t ——渗水时间,h;

H ——静水压力水头,cm。

材料的渗透系数越小,抗渗等级越高,表明材料的抗渗性越好。地下建筑、压力管道等设计时都必须考虑材料的抗渗性。

材料的抗渗性也可用抗渗等级表示。抗渗等级是以规定的试件,在标准试验条件下所能承受的最大水压力来确定的,以符号“P_n”表示,其中 n 为该材料在标准试验条件下所能承受的最大水压力的 10 倍数,如 P₄、P₆、P₈、P₁₀、P₁₂ 等分别表示材料能承受 0.4MPa、0.6MPa、0.8MPa、1.0MPa、1.2MPa 的水压而不渗水。

材料的抗渗性与其孔隙多少和孔隙特征关系密切,开口并连通的孔隙是材料渗水的主要渠道。材料越密实、闭口孔越多、孔径越小,水越难渗透;孔隙率越大、孔径越大、开口并连通的孔隙越多的材料,抗渗性越差。此外,材料的亲水性、裂缝缺陷等也是影响抗渗性的重要因素。工程上常采用降低孔隙率提高密实度、提高闭口孔隙比例、减少裂缝或进行憎水处理等方法来提高材料的抗渗性。

抗渗性是决定材料耐久性的重要因素。在设计地下结构、压力管道、压力容器等结构时,均要求其所用材料具有一定的抗渗性能。抗渗性也是检验防水材料质量的重要指标。

6. 抗冻性

材料在吸水饱和状态下,经受多次冻融循环作用而重量损失不大,强度也不显著降低的性质,称为材料抗冻性。

材料的抗冻性用抗冻等级表示。抗冻等级是以规定的试件,在规定的试验条件下,测得其强度降低和重量损失不超过规定值,此时所能经受的冻融循环次数,用符号“F_n”表示,其中 n 即为最大冻融循环次数,如 F₂₅、F₅₀ 等。

材料抗冻等级的选择,是根据结构物的种类、使用要求、气候条件等来决定的。例如烧结普通砖、陶瓷面砖、轻混凝土等墙体材料,一般要求其抗冻等级为 F₁₅ 或 F₂₅;用于桥梁和

道路的混凝土抗冻等级应为 F50、F100 或 F200，而水工混凝土抗冻等级要求高达 F500。

材料的抗冻性与材料的孔隙率、孔隙特征、充水程度和冷冻速度等因素有关。材料的强度越高，其抵抗冰冻破坏的能力也越强，抗冻性越好；材料的孔隙率及孔隙特征对抗冻性影响较大，其影响与抗渗性相似。

1.2.4 材料与热有关的性质

1. 导热性

材料传递热量的能力称为导热性。材料的导热性可用导热系数表示。导热系数的物理意义是：厚度为 1m 的材料，当其相对两侧表面温度差为 1K 时，在 1s 时间内通过 1m² 面积的热量。计算公式如下：

$$\lambda = \frac{Q \cdot a}{(T_1 - T_2) \cdot Z \cdot A}$$

式中： λ ——导热系数，W/m·K，热阻 $R=1/\lambda$ ；

Q ——传导的热量，J；

A ——材料的厚度，m；

$(T_2 - T_1)$ ——材料两侧温差，K。

材料的导热系数愈小，表示材料的保温隔热性能愈好。各种材料的导热系数差别很大，大致在 0.029~3.5，如泡沫塑料。工程中通常把的材料称为绝热材料。

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仅为 0.23W/(m·K)，所以，当材料中含有较多闭口孔隙时，其导热系数较小，材料的隔热绝热性较好；但当材料内部含有较多粗大连通的孔隙时，则空气会产生对流作用，使其传热性大大提高。水的导热系数远大于空气，当材料吸水或吸湿后，其导热系数增加，导热性提高，隔热绝热性降低。

2. 热容量与比热

热容量是指材料受热时吸收热量或冷却时放出热量的性质，可用下式表示：

$$Q = Cm(t_1 - t_2)$$

式中： Q ——材料的热容量，kJ；

m ——材料的质量，kg；

$t_1 - t_2$ ——材料受热或冷却前后的温度差，K；

C ——材料的比热，kJ/kg/K。

比热的物理意义是指 1g 质量的材料，在温度升高或降低 1K 时所吸收或放出的热量。比热容与材料质量的积称为材料的热容量值，即材料温度上升 1K 需吸收的热量或温度降低 1K 所放出的热量。材料的热容量值对于保持室内温度稳定作用很大，热容量值大的材料能在热流变化、采暖、空调不平衡时，缓和室内温度的波动；屋面材料也宜选用热容量值大的材料。

材料的导热系数和热容量是设计建筑物围护结构(墙体、屋盖)进行热工计算时的重要参数，设计时，应选用导热系数较小而热容量较大的土木工程筑材料，有利于保持建筑物室

内温度的稳定性。

3. 耐燃性

耐燃性是指材料能经受火焰和高温的作用而不破坏,强度也不显著降低的性能,它是影响建筑物防火、结构耐火等级的重要因素。材料的耐燃性按耐火要求规定,分为非燃烧材料、难燃烧材料和燃烧材料三类。

(1) 不燃材料

遇火或高温作用时,不起火、不燃烧、不碳化的材料,如混凝土、天然石材、砖、玻璃和金属等。需要注意的是,玻璃、钢铁和铝等材料虽然不燃烧,但在火烧或高温下会发生较大的变形或熔融,因而是不耐火的。

(2) 难燃材料

遇火或高温作用时,难起火、难燃烧、难碳化,只有在火源持续存在时才能继续燃烧,火源消除燃烧即停止的材料,如沥青混凝土和经防火处理的木材等。

(3) 易燃材料

易燃材料是指遇火或高温作用时,容易引燃起火或微燃,火源消除后仍能继续燃烧的材料,如木材、沥青等。用可燃材料制作的构件,一般应做防燃处理。

1.3 材料的力学性质

1.3.1 强度

材料在外力作用下抵抗破坏的能力,称为强度。当材料受外力作用时,其内部产生应力,外力增加,应力相应增大,直至材料内部质点间结合力不足以抵抗所作用的外力时,材料即发生破坏。材料破坏时,应力达到极限值,这个极限应力值就是材料的强度,也称极限强度。

根据外力作用形式的不同,材料的强度有抗压强度、抗拉强度、抗弯强度及抗剪强度等,如图 1-2 所示。

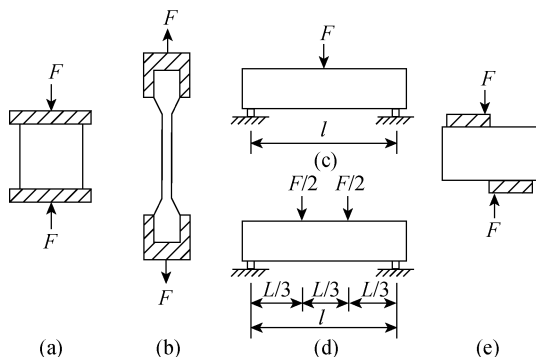


图 1-2 材料受外力作用示意图

材料的这些强度是通过静力试验来测定的,故总称为静力强度。材料的静力强度是通过标准试件的破坏试验而测得。材料的抗压、抗拉和抗剪的计算公式为:

$$f_f = \frac{3 P_{\max} L}{2 b h^2}$$

式中: f ——抗弯(折)强度,MPa;

P_{\max} ——试件破坏时的最大荷载,N;

L ——二支点之间距离,mm;

b 、 h ——试件截面的宽度和高度,mm。

材料的强度与其组成及结构有关,不同种类的材料,抵抗外力的能力不同;同类材料其内部构造不同时,其强度也不相同,致密度越高的材料,其强度越高。同类材料抵抗不同外力作用的能力也不相同;尤其是内部构造非匀质的材料,在不同外力作用下的强度差别较大。如混凝土、砖、石和铸铁等,其抗压强度较高,而抗拉、弯(折)强度较低。

材料的强度还与其含水状态及温度有关,含有水分的材料,其强度较干燥时低。一般温度高时,材料的强度将降低,沥青混凝土尤为明显。

材料的强度与其测试所用的试件形状、尺寸有关,也与试验时加荷速度及试件表面性状有关。相同材料采用小试件测得的强度比大试件的高;加荷速度快者,强度值偏高。

材料的强度是在特定条件下测定的数值。材料按其强度的大小,划分成不同的等级,称为强度等级,它是衡量材料力学性质的主要技术指标。脆性材料主要用于承受压力,其强度等级用抗压强度来划分;韧性材料主要用于承受拉力,其强度等级用抗拉时的屈服强度来划分。

还有一个相关的概念是比强度,即材料的强度与其表观密度的比值(f/p)。比强度是衡量材料轻质高强特性的技术指标。材料的比强度越大,越轻质高强。随着高层建筑、大跨度结构的发展,要求材料不仅要有较高的强度,而且要尽量减轻其自重。

1.3.2 材料的弹性与塑性

弹性指材料在外力作用下产生变形,当外力去除后,能完全恢复原来形状的性质,这种变形称为弹性变形。明显具有这种特征的材料称为弹性材料。受力后材料的应力与应变的比值即为弹性模量。其表达式为:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

式中: E ——材料的弹性模量,MPa;

σ ——材料所受的应力,MPa;

ϵ ——材料在应力 σ 作用下产生的应变,无量纲。

弹性模量越大,材料抵抗变形能力越强,在外力作用下的变形越小。材料的弹性模量是工程结构设计和变形验算的主要依据之一。

塑性指材料在外力作用下产生变形,当外力去除后,仍保持变形后的形状和尺寸的性质。这种不可恢复的变形称为塑性变形。具有这种明显特征的材料称塑性材料。材料的塑

性变形是因为其内部的剪应力作用,致使部分质点间产生相对滑移的结果。

完全的弹性材料或塑性材料是不存在的,大多数材料在受力变形时,既有弹性变形,也有塑性变形,只是在不同的受力阶段,变形的主要表现形式不同。当外力去除后,弹性变形部分可以恢复,塑性变形部分不能恢复。例如,低碳钢当应力在弹性极限内时,仅产生弹性变形。随着外力增大至超过弹性极限之后,则出现另一种变形——塑性变形。从材料受力时的应力-应变图上看,斜直线的是弹性变形,水平线是塑性变形,呈凹凸曲线的是弹-塑性变形。具有这种变形的特征的材料叫做弹塑性材料。

1.3.3 材料的脆性与韧性

脆性指材料在外力作用下,无明显塑性变形而发生突然破坏的性质,具有这种性质的材料称为脆性材料,如普通混凝土、砖、陶瓷、玻璃、石材和铸铁等。脆性材料的抗压强度远大于其抗拉强度,可高达数倍甚至数十倍。脆性材料抵抗冲击荷载或振动作用的能力较差,不宜用于承受振动和冲击的场合,只适合用作承压构件。

韧性指材料抵抗冲击振动作用,而不发生突发性破坏(或在冲击振动作用下,吸收能量、抵抗破坏)的性质,称为材料的冲击韧性或韧性。具有这种性质的材料称为韧性材料,如低碳钢、木材、塑料、橡胶等属于韧性材料。韧性材料的特点是变形(特别是塑性变形)大、抗拉强度接近或高于抗压强度。有冲击、振动荷载时,需考虑材料的韧性。

1.3.4 硬度与耐磨性

硬度是指材料表面抵抗硬物压入或刻划的能力。为保持较好表面使用性质和外观质量,要求材料必须具有足够的硬度。一般材料的硬度愈大,则其耐磨性愈好。工程中有时也可用硬度来间接推算材料的强度,如回弹法用于测定混凝土表面硬度,间接推算混凝土强度。

耐磨性是材料表面抵抗磨损的能力。材料的耐磨性与材料的组成结构、构造、材料强度和硬度等因素有关。材料的硬度越高、越致密,耐磨性越好。路面、地面等受磨损的部位,要求使用耐磨性好的材料。

1.4 材料的耐久性

材料的耐久性是指材料在各种使用环境中,能长久地保持其性能的性质。耐久性是材料的一项综合性质,由于环境作用因素复杂,耐久性也难以用一个参数来衡量。工程上通常用材料抵抗使用环境中主要影响因素的能力来评价耐久性,如抗渗性、抗冻性、抗老化和抗碳化等性质。

在建筑物使用过程中,除材料内在原因使其组成、构造、性能发生变化以外,还长期受到周围环境及各种自然因素的作用而破坏。这些作用可概括为以下几方面:

物理作用:包括环境温度、湿度的交替变化,可有干湿变化、温度变化及冻融变化等。

化学作用:包括大气、环境水以及使用条件下酸、碱、盐等液体或有害气体对材料的侵蚀作用。

机械作用:包括使用荷载的持续作用,交变荷载引起材料疲劳,如冲击、磨损、磨耗等。

生物作用:包括菌类、昆虫等的作用而使材料腐朽、蛀蚀而破坏。

材料的组成、结构、性质和用途不同,对耐久性的要求也不同,耐久性一般包括材料的抗渗性、抗冻性、耐腐蚀性、抗老化性等。不同材料所要求保持的主要性质也不相同,如对于结构材料,主要要求强度不显著降低;对于装饰材料,则主要要求颜色、光泽等不发生显著变化等。

影响材料耐久性的内在因素很多,除了材料本身的组成结构、强度等因素外,材料的致密程度、表面状态和孔隙特征对耐久性影响很大。一般来说,材料的内在结构密实、强度高、孔隙率小、连通孔隙少、表面致密,则抵抗环境破坏能力强,材料的耐久性好。工程上常用提高密实度、改善表面状态和孔隙结构的方法来提高耐久性。

在设计选用土木工程材料时,必须考虑材料的耐久性问题。采用耐久性良好的土木工程材料,对节约材料、保证建筑物长期正常使用、减少维修费用、延长建筑物使用寿命等,均具有十分重要的意义。

本章小结

本课程所介绍的主要是土木工程中所使用到的结构材料,虽然各种材料的性能特点各不相同,但作为土木工程整体的一部分,这些材料又具有一些共性的特点和要求。本章主要对土木工程中常用材料的共性性能进行讲解。通过本章的学习,应建立材料的物理力学性能和耐久性的基本概念。

密度是材料的一项基本性能,但土木工程中所使用的材料由于其中多会含有一定量的孔隙和水分,从而使密度的概念变得较为复杂,其中包括了密度、表观密度、毛体积密度、饱和面干密度和堆积密度等,在后面的沥青混合料一章中还将涉及最大理论密度等概念。

密度是指材料完全密实情况下的密度,它同物理学中的密度概念是一致的,但实际测试起来较为困难,并且实用性不大。

表观密度是指材料单位的真实体积和闭合孔隙体积范围内的材料真实质量,其所表征的体积是不能为其他材料所占据的体积,如将材料放入水中时,水只能进入开口孔而无法进入闭口孔,因此在土木工程中,常以表观密度来表征材料的实际密度。

毛体积密度是指材料单位的真实体积、闭合孔隙体积以及开口孔隙体积范围内的材料真实质量,其所表征的体积是材料的宏观毛体积。

饱和面干密度又称为表干密度,是指材料单位毛体积范围内的真实质量和开口孔中所吸附的毛细水的质量,其所表征的是一种理想的状态,即材料的开口孔中饱和水分,但表面干燥。

以上几种密度概念较为接近,但对具体材料,其数值并不相同,所使用的场合也不同,应注意进行严格区分,并掌握各密度、空隙率、吸水率、含水率等参数之间的换算关系。

水是土木工程材料在实际使用过程中最常接触到的环境条件,而不同的材料在水的作用下所表现出来的性能特点也各不相同,其中有有益的作用,如水泥混凝土拌合时,水起到的润滑作用,但也有有害的作用,如沥青路面的水损害。在本章的学习中,应理解材料的亲水性、憎水性、吸水性和耐水性。

耐久性是土木工程材料性能的一项重要的基本要求,应结合后面各章内容的学习,掌握影响常用材料耐久性的主要因素及提高材料耐久性的方法。

◀ 思考题 ▶

一、名词解释

1. 材料的空隙率:
2. 堆积密度:
3. 材料的强度:
4. 材料的耐久性:

二、填空题

1. 材料的吸湿性是指材料在_____的性质。
2. 材料的抗冻性以材料在吸水饱和状态下所能抵抗的_____来表示。
3. 水可以在材料表面展开,即材料表面可以被水浸润,这种性质称为_____。
4. 材料地表现观密度是指材料在_____状态下单位体积的质量。

三、单项选择题

1. 孔隙率增大,材料的_____降低。
A. 密度 B. 表现密度 C. 憎水性 D. 抗冻性
2. 材料在水中吸收水分的性质称为_____。
A. 吸水性 B. 吸湿性 C. 耐水性 D. 渗透性
3. 材料的耐水性用软化系数表示,其值越大,则耐水性_____。
A. 越好 B. 越差 C. 不变 D. 不一定
4. 含水率为10%的湿砂220g,其中水的质量为_____。
A. 19.8g B. 22g C. 20g D. 20.2g
5. 材料的孔隙率增大时,其性质保持不变的是_____。
A. 表现密度 B. 堆积密度 C. 密度 D. 强度

四、是非判断题

1. 某些材料虽然在受力初期表现为弹性,达到一定程度后表现出塑性特征,这类材料称为塑性材料。
2. 材料吸水饱和状态时水占的体积可视为开口孔隙体积。
3. 在空气中吸收水分的性质称为材料的吸水性。
4. 材料的软化系数愈大,材料的耐水性愈好。
5. 材料的渗透系数愈大,其抗渗性能愈好。

五、计算题

1. 某岩石在气干、绝干、水饱和状态下测得的抗压强度分别为174MPa、178MPa、165MPa。试问该岩石可否用于水下工程?
2. 一块普通粘土砖,其尺寸为240mm×115mm×53mm,烘干后恒定质量为2420g,吸水饱和后的质量为2640g,再将该砖磨细,过筛烘干后取50g,用密度瓶测定其体积为19.2cm³。试求该砖的吸水率、密度、表现密度以及孔隙率。