



高等院校应用创新教材

CIVIL ENGINEERING
MATERIALS

土木工程材料

杨三强 杜二霞 郑 轩 © 主 编



科学出版社

高等院校应用创新教材

土木工程材料

杨三强 杜二霞 郑 轩 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是高等院校应用创新教材之一, 主要内容包括土木工程材料的基本性质、无机胶凝材料、建筑钢材、混凝土、砂浆、砌筑材料、沥青及沥青混合料、合成高分子材料、木材、建筑功能材料、装饰材料。

本书既可作为高等院校本科土木工程、建筑管理工程、给排水工程、建筑学等土木建筑类专业的教材, 也可供交通土建、水利工程等相关专业使用。本书还可供有关专业科研、设计、施工、管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/杨三强, 杜二霞, 郑轩主编. —北京: 科学出版社, 2017
(高等院校应用创新教材)

ISBN 978-7-03-050996-3

I. ①土… II. ①杨… ②杜… ③郑… 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 299618 号

责任编辑: 周艳萍 / 责任校对: 马英菊

责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 11 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017 年 11 月第一次印刷 印张: 16 1/4

字数: 385 000

定价: 48.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换(骏杰))

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62151061

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

本书根据《高等工科院校土木工程专业本科教学大纲》编写而成,为土木工程、建筑学、工程管理等土木类专业用书,也可供从事土木工程设计、施工、管理等相关专业人员参考。编者们在多年教学、科研积累的基础上,总结自己的教学经验,编写了本教材。以培养应用型人才为基础,本书系统全面地介绍土木工程材料的基础知识、基本理论和基本方法。

本书内容包括土木工程材料的基本性质、无机胶凝材料、建筑钢材、混凝土、砂浆、砌筑材料、沥青及沥青混合料、合成高分子材料、木材、建筑功能材料和装饰材料。每部分内容主要从材料的基本成分、生产工艺、性质、选配应用、材料检验等基本理论和实验技能等方面进行介绍。针对土木类专业性质,重点在材料性质、选配应用、材料检验三个方面进行讲解,并结合基本概念、基础理论、基本技能,力求理论性和实践性相结合,教学内容与实验内容相结合。

本书除绪论外共 11 章,由河北大学杨三强、杜二霞与郑轩担任主编,具体编写分工如下:河北大学杨三强编写绪论、第 1 章、第 2 章、第 3 章及第 7 章,并由河北大学阎红霞、河北农业大学孟志良修订;杜二霞编写第 4 章~第 6 章,并由河北大学宋鹏彦、河北工业大学肖庆一修订;河北大学郑轩编写第 8 章~第 11 章,并由河北大学刘娜、长安大学汪海年修订。

本书在编写过程中得到科学出版社、河北大学、河北农业大学、河北工业大学以及长安大学的大力支持和帮助,在此表示感谢。

限于编者水平,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2017 年 3 月

目 录

绪论	1
第 1 章 土木工程材料的基本性质	4
1.1 材料科学的基础知识	4
1.1.1 材料的组成	4
1.1.2 材料的结构	5
1.2 材料的物理性质	6
1.2.1 材料的密度、表观密度与堆积密度	6
1.2.2 材料的密实度、孔隙率	8
1.2.3 材料的填充率与空隙率	8
1.2.4 材料与水相关的性质	9
1.3 材料的基本力学性质	12
1.3.1 材料的受力状态	12
1.3.2 材料的强度	12
1.3.3 弹性与塑性	13
1.3.4 脆性与韧性	14
1.3.5 硬度与耐磨性	15
1.4 材料的耐久性	15
本章回顾与思考	16
第 2 章 无机胶凝材料	18
2.1 气硬性胶凝材料	18
2.1.1 石膏	18
2.1.2 石灰	21
2.1.3 水玻璃	23
2.2 硅酸盐水泥	25
2.2.1 硅酸盐水泥的生产及矿物组成	25
2.2.2 硅酸盐水泥的水化及凝结硬化	26
2.2.3 硅酸盐水泥的技术性质	29
2.2.4 水泥石的腐蚀与防止	30
2.2.5 硅酸盐水泥的性能与应用	33

2.3 掺混合材料的硅酸盐水泥	34
2.3.1 水泥混合材料	34
2.3.2 普通硅酸盐水泥	35
2.3.3 矿渣硅酸盐水泥	35
2.3.4 复合硅酸盐水泥	37
2.3.5 白色和彩色硅酸盐水泥	37
2.3.6 快硬水泥	38
2.3.7 道路硅酸盐水泥	40
本章回顾与思考	41
第3章 建筑钢材	44
3.1 钢的冶炼与分类	44
3.1.1 钢的冶炼	44
3.1.2 钢的分类	44
3.2 建筑钢材的主要力学性能	45
3.2.1 抗拉性能	45
3.2.2 冷弯性能	47
3.2.3 冲击韧性	47
3.2.4 硬度	48
3.2.5 耐疲劳性	49
3.3 钢材的冷加工强化及时效处理、热处理和焊接	49
3.3.1 钢材的冷加工强化及时效处理	49
3.3.2 钢材的热处理	50
3.4 钢材的组织 and 化学组成对钢材性能的影响	51
3.4.1 钢材的组织及其对钢材性能的影响	51
3.4.2 钢的化学成分对钢材性能的影响	51
3.5 钢材的防火和防腐蚀	52
3.5.1 钢材的防火	52
3.5.2 钢材的锈蚀与防止	52
3.6 建筑钢材的品种与选用	53
3.6.1 碳素结构钢	54
3.6.2 低合金高强度结构钢	55
3.7 常用建筑钢材	58
3.7.1 钢筋	58
3.7.2 型钢	60
本章回顾与思考	60

第4章 混凝土	64
4.1 普通混凝土的组成材料	65
4.1.1 混凝土中各组成材料的作用	65
4.1.2 混凝土组成材料的性能	65
4.2 普通混凝土的主要技术性质	86
4.2.1 混凝土拌和物的和易性	86
4.2.2 混凝土的强度	94
4.2.3 混凝土的变形性能	102
4.2.4 混凝土的耐久性	105
4.3 普通混凝土的质量控制	110
4.3.1 强度概率分布——正态分布	111
4.3.2 强度平均值、标准差、变异系数	111
4.3.3 强度保证率	112
4.3.4 混凝土强度的检验评定	113
4.3.5 水泥混凝土路面合格强度(弯拉强度)的检验评定	115
4.3.6 混凝土耐久性的检验评定	115
4.4 普通混凝土的配合比设计	116
4.4.1 混凝土配合比设计的基本要求	116
4.4.2 混凝土配合比设计中的三个参数	116
4.4.3 混凝土配合比设计的基本资料	117
4.4.4 混凝土配合比设计的步骤	117
4.4.5 掺减水剂混凝土配合比设计	122
4.5 其他品种混凝土	123
4.5.1 粉煤灰混凝土	124
4.5.2 泵送混凝土	127
4.5.3 水泥路面混凝土	129
4.5.4 轻集料混凝土	131
4.5.5 高强混凝土	133
4.5.6 防水混凝土	134
4.5.7 纤维混凝土	135
4.5.8 聚合物混凝土	136
4.5.9 干硬性混凝土	137
4.5.10 碾压混凝土	137
4.5.11 高性能混凝土	138
本章回顾与思考	140
第5章 砂浆	143
5.1 建筑砂浆的基本组成和性能	143
5.1.1 建筑砂浆基本组成	143

5.1.2 建筑砂浆的基本性能	145
5.2 建筑砂浆	147
5.2.1 砌筑砂浆	147
5.2.2 抹面砂浆	148
5.2.3 其他特种砂浆	150
5.3 预拌砂浆	151
5.3.1 湿拌砂浆	151
5.3.2 干混砂浆	152
5.4 砌筑砂浆的配合比设计	154
本章回顾与思考	156
第6章 砌筑材料	158
6.1 砌墙砖	158
6.1.1 烧结砖	158
6.1.2 蒸养(压)砖	163
6.1.3 混凝土路面砖	163
6.2 砌块	164
6.2.1 普通混凝土小型空心砌块	164
6.2.2 加气混凝土砌块	166
6.2.3 石膏砌块	166
6.3 砌筑用石材	166
6.3.1 石材的分类	166
6.3.2 石材的技术性质	167
6.3.3 石材的应用	169
本章回顾与思考	170
第7章 沥青及沥青混合料	171
7.1 沥青材料	171
7.1.1 石油沥青	171
7.1.2 煤焦油简介	176
7.1.3 改性石油沥青	176
7.2 沥青混合料	177
7.2.1 沥青混合料的组成结构	177
7.2.2 沥青混合料的技术性质	178
7.3 沥青混合料的配合比设计	179
7.3.1 沥青混合料组成材料的技术要求	179
7.3.2 沥青混合料配合比设计	180
本章回顾与思考	185

第 8 章 合成高分子材料	187
8.1 高分子化合物的基本知识	187
8.1.1 基本概念	187
8.1.2 聚合物的分类	188
8.1.3 聚合物的性能特点	188
8.2 合成高分子材料在土木工程中的应用	189
8.2.1 塑料	189
8.2.2 土工合成材料	192
8.2.3 胶黏剂	193
本章回顾与思考	197
第 9 章 木材	199
9.1 木材的分类与构造	200
9.1.1 木材的分类	200
9.1.2 木材的构造	200
9.2 木材的主要性能	202
9.2.1 物理物质	202
9.2.2 木材的力学性质	204
9.2.3 化学性质	208
9.3 木材的干燥、防腐和防火	208
9.3.1 木材的干燥	208
9.3.2 木材的防腐	208
9.3.3 木材的防火	209
9.4 木材的合理应用	209
本章回顾与思考	211
第 10 章 建筑功能材料	213
10.1 防水材料	213
10.1.1 防水卷材	213
10.1.2 防水涂料	217
10.1.3 建筑密封材料	219
10.2 绝热材料	222
10.2.1 概述	222
10.2.2 绝热材料的绝热机理	222
10.2.3 绝热材料的性能	223
10.2.4 常用的绝热材料	224
10.3 吸声隔声材料	228
10.3.1 概述	228

10.3.2 吸声材料的类型	228
10.3.3 隔声材料	231
本章回顾与思考	231
第 11 章 装饰材料	233
11.1 概述	233
11.2 装饰石材	234
11.2.1 天然石材	234
11.2.2 人造石材	236
11.3 建筑陶瓷装饰制品	236
11.3.1 陶瓷的基本知识	236
11.3.2 陶瓷的装饰	237
11.3.3 建筑陶瓷	238
11.4 建筑装饰玻璃	239
11.4.1 玻璃的基础知识	239
11.4.2 建筑玻璃的主要品种	240
11.5 金属装饰材料	242
11.5.1 铝及铝合金	242
11.5.2 建筑装饰钢材制品	244
11.6 建筑塑料装饰制品	244
11.6.1 塑料地板	244
11.6.2 塑料壁纸	245
11.6.3 化纤地毯	245
11.7 建筑装饰木材	246
11.7.1 木材的装饰效果	246
11.7.2 常用装饰木材制品	246
11.8 建筑装饰涂料	247
11.8.1 涂料的分类	247
11.8.2 涂料的组成	247
11.8.3 涂料的性能和特点	248
11.8.4 薄质装饰涂料与厚质装饰涂料	248
11.8.5 复层装饰涂料	248
本章回顾与思考	249
主要参考文献	250

绪 论

土木工程材料指建造土木工程（泛指建筑、水利、水运、道路、桥梁等建设工程）中使用的各种材料及制品，它是一切土木工程的物质基础。

土木工程材料有各种不同的分类方法。例如，根据用途可将工程材料分为结构主体材料和辅助材料；根据工程材料在工程结构物中的部位（以工业建筑为例）可分为承重材料、装饰材料、功能（声、光、电、热、磁）材料等。

目前，土木工程材料通常是按照组成物质的种类和化学成分分类，如图 0-1 所示。



图 0-1 土木工程材料分类

土木工程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。人类最早穴居巢处，到石器、铁器时代，人类能制造简单的工具，才开始挖土、凿石为洞，伐木、搭竹为棚，利用天然材料建造非常简陋的房屋等土木工程。早在公元前 3000 年—公元前 2000 年，人类就能够用黏土烧制砖、瓦，用岩石烧制石灰、石膏，土木工程材料才由天然材料进入人工生产阶段。

但无论中外，在漫长的奴隶社会和封建社会中，建筑技术和土木工程材料的进步都相当缓慢。直到 19 世纪资本主义兴起，资本主义各国先后发生工业革命，土木工程材

料领域才出现突飞猛进的进步,土木工程材料进入一个新的发展阶段,钢材、水泥、混凝土及其他材料相继问世,为现代土木工程建筑奠定了基础。进入 20 世纪后,由于社会生产力突飞猛进,以及材料科学与工程学的形成和发展,土木工程材料不仅性能和质量不断改善,而且品种不断增加,以有机材料为主的化学建材异军突起,一些具有特殊功能的新型土木工程材料,如绝热材料、吸声隔声材料、各种装饰材料、耐热防火材料、防水抗渗材料,以及耐磨、耐腐蚀、防爆和防辐射材料等应运而生。

改革开放以来,我国的土木工程材料工业有了巨大的发展,许多重要的土木工程材料的年产量已经位居世界前列,但传统的生产方式使我国在资源、能源和生态环境等方面付出了沉重代价。进入 21 世纪,全球性的生存环境恶化问题更加突出,表现在人口爆炸性增长、资源日益匮乏、森林锐减、湖河干涸、土地沙化、气候异常等,制约了经济和社会的可持续发展。为此,土木工程材料行业需要建立循环节约型的生产方式,需要采用清洁的生产技术,少用天然资源,大量使用工农业或城市固体废弃物。土木工程材料应朝着研制高性能材料、节约资源和能源,有利健康和循环利用的方向发展。

各种土木工程材料在原材料、生产工艺、结构及构造、性能及应用、检验及验收、运输及储存等方面既有共性,也有各自的特点,全面掌握土木工程材料的知识,需要学习和研究的内容范围很广,涉及众多学科。对于从事土木工程设计、施工、科研和管理的专业人员,掌握各种土木工程材料的性能及其适用范围,以便在种类繁多的土木工程材料中选择最合适的加以应用,尤为重要。除了在施工现场直接配制或加工的材料(如砂浆、混凝土、金属焊接等)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,以明了这些因素是如何影响材料的性能。

此外,作为有关生产、设计应用、管理和研究等部门应共同遵循的依据,对于绝大多数常用的土木工程材料,均由专门的机构制定并发布了相应的“技术标准”,对其质量、规格和验收方法等作了详尽而明确的规定。在我国,技术标准分为四级:国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。国家标准是由国家质量监督检验检疫总局颁布的全国性的指导技术文件,其代号为 GB;行业标准也是全国性的指导技术文件,但它由主管生产部(或总局)颁布,其代号按部名而定,如建材行业标准的代号为 JC,建工行业标准的代号为 JG,交通行业标准代号为 JT;地方标准是地方主管部门颁布的地方性指导技术文件其代号为 DB;企业标准则仅适用于本企业,其代号为 QB。凡没有制定国家标准、行业标准的产品,均应制定企业标准。

随着我国对外开放和加入世界贸易组织(WTO),还涉及一些与土木工程材料关系密切的国际或外国标准,其中主要有:国际标准,代号为 ISO;美国材料与试验协会标准,代号为 ASTM;日本工业标准,代号为 JIS;德国工业标准,代号为 DIN;英国标准,代号为 BS;法国标准,代号为 NF 等。熟悉有关的技术标准,并了解制定标准的科学依据,也是十分必要的。

本课程作为土木工程类各专业的基础课,将通过课堂教学,结合现行的技术标准和相关的试验,以土木工程材料的性能及合理使用为中心,进行系统讲述。教学目的在于

配合专业, 为专业设计和施工提供合理地选择和使用土木工程材料的基本知识。同时, 也为今后从事土木工程材料科学技术的专门研究打下必要的基础。

在本课程的学习过程中, 要注意了解事物的本质和内在联系。例如学习某一种材料的性质时, 不能只满足于知道该材料具有哪些性质, 哪些表象, 更重要的是应当知道形成这些性质的内在原因和这些性质之间的相互联系。对于同一类属的不同品种的材料, 不但要学习它们的共性, 更重要的是要了解各自的特性和具备这些特性的原因。例如学习各种水泥时, 不仅要知道它们都能在水中硬化等共同性质, 更要注意它们各自质的区别, 因而反映在性能上的差异。材料的性质不是固定不变的, 在使用、运输和储存过程中, 它们的性质都不同程度地发生着变化。为了保证工程的耐久性和控制材料在使用前的变质问题, 我们还必须了解引起变化的外界条件和材料本身的内在原因, 从而了解变化的规律。

除了课堂教学外, 土木工程材料的学习还应进行必要的试验。试验课是本课程必不可少的重要教学环节, 其任务是验证基本理论, 学习试验方法和技术, 培养科学研究能力和严谨的科学态度。进行试验时, 要严肃认真, 一丝不苟。即使对一些操作简单的试验, 也不例外。特别应注意了解试验条件对试验结果的影响。并对试验结果做出正确的分析和判断。

第1章 土木工程材料的基本性质

土木工程材料是土木工程的物质基础，材料的性质与质量很大程度上决定了工程的性能与质量。在工程实践中，选择、利用、分析和评价材料，通常是以其性质为基本依据。土木工程材料的性质可分为基本性质和特殊性质两部分。基本性质是指土木工程材料所具有的最基本、共有的性质；特殊性质是指材料本身所特有的不同于其他材料的性质。在土木工程各类建筑物中，材料受到的各种物理、化学、力学因素单独及综合的作用，因此，对土木工程材料性质的要求也必须全面而严格。

1.1 材料科学的基础知识

材料的组成、结构和构造是决定材料性质的内在因素，为了深入了解材料的各种性质及其变化规律，就必须了解其组成、结构与材料性质之间的关系。

1.1.1 材料的组成

材料的组成是影响材料物理力学性质和性能的重要因素，这是材料科学最基本的原理之一。材料的组成包括材料的化学组成、矿物组成和相组成。

1. 化学组成

材料的化学组成是指构成材料的化学元素及其化合物的种类和数目，是决定材料化学性质（耐蚀、燃烧等）、物理性质（耐水、耐热等）和力学性质的重要因素。不同的化学成分构成了不同的材料，因而也表现出不同的性质。例如，钢材密度较大，强度较高，但易于锈蚀；木料质轻强度较高，但易于燃烧和腐朽。

2. 矿物组成

材料科学中常将具备特定的晶体结构和特定的物理力学性能的组织结构称为矿物。矿物组成是指构成材料的矿物种类和数量。化学组成不同，其材料性质不同；化学组成相同的材料，也可以表现出不同的性质，这是由于其矿物组成不同的缘故。这类材料的化学组成是影响性能的主要因素。如天然石料，由于其矿物组成不同，所以构成了不同的岩石品种。

3. 相组成

材料中结构相近、性质相同的均匀部分称为相。自然界中的物质可分为气相、液相、

固相三种形态。同一种材料可由多相物质组成。例如,在铁碳合金中就有铁素体、渗碳体、珠光体,它们的比例不同,就能生产出不同强度和塑性的钢材。同种物质在不同的温度、压力等环境条件下,也常常会转变其存在状态,如由气相转变为液相或固相。土木工程材料大多是多相固体材料,通常将由两相或两相以上的物质组成的材料,称为复合材料。例如,混凝土可认为是由骨料颗粒(骨料相)分散在水泥浆体(基相)中所组成的两相复合材料。

1.1.2 材料的结构

材料的结构和构造是决定材料性能的极其重要的因素,研究材料的结构和构造以及它们与材料性能的关系,是材料科学的主要任务之一。

广义上,结构与构造指从原子结构到肉眼宏观结构各个层次的构造状态的通称。影响材料性能的结构层次及其类别十分丰富,大体上材料的结构可分为宏观结构、亚微观结构和微观结构。

1. 宏观结构

材料的宏观结构(表 1-1)是指用肉眼或放大镜可分辨出的结构和构造状况,其尺度范围为 10^{-3}m 以上。按孔隙特征分类,可分为致密结构、微孔结构、多孔结构;按构造特征分类,可分为纤维结构、层状结构、散粒结构和聚集结构。

表 1-1 材料的宏观结构和构造及特征

宏观结构		结构特征	常用的土木工程材料
按孔隙特征	致密结构	无宏观尺度的孔隙	钢铁、玻璃、塑料等
	微孔结构	主要具有微细孔隙	石膏制品、烧土制品
	多孔结构	具有较多粗大孔隙	加气混凝土、泡沫玻璃等
按构造特征	纤维结构	主要由纤维状材料构成	木材、玻璃、岩棉
	层状结构	由多层材料叠合构成	复合墙板、胶合板
	散粒结构	由松散颗粒状材料构成	砂土材料、膨胀蛭石
	聚集结构	由骨料和胶结材料构成	各种混凝土、砂浆、陶瓷

2. 亚微观结构

亚微观结构是指可用光学显微镜观察到的微米级的组织结构,又称介观结构,其尺度范围在 $10^{-6}\sim 10^{-3}\text{m}$ 。亚微观结构主要研究材料内部的晶体、颗粒等大小和形态,晶界或界面,孔隙与微裂纹的大小、形状及分布等。材料在亚微观层次上的各种组织结构的性质和特点各异,它们的特征、数量和分布对土木工程材料的性能有重要影响。

3. 微观结构

微观结构是指原子、分子层次的结构,又称显微结构或微细结构。其尺寸范围为 $10^{-10}\sim 10^{-6}\text{m}$,可用电子显微镜或 X 射线来进行分析研究。微观结构是由原子的种类及其排列状态决定的,可分为晶体、玻璃体、胶体。

(1) 晶体

内部质点(离子、原子、分子)在空间上按一定的规则,呈周期性排列时所形成的结构称为晶体结构。晶体具有如下特点。

- ① 具有特定的几何外形:晶体内部质点按一定规则排列的外观表现。
- ② 各向异性:晶体结构特征在性能上的反映。
- ③ 固定的熔点和化学稳定性:晶体键能和质点所处最低的能量状态所决定的。

晶体结构按质点和化学键的不同可分为:

- A. 原子晶体:中性原子以共价键结合而成的晶体,如石英。
- B. 离子晶体:正负离子以离子键结合而成的晶体,如碳酸钙(CaCO_3)。
- C. 分子晶体:以分子间的范德华力即分子键结合而成的晶体,如有机化合物。
- D. 金属晶体:以金属阳离子为晶格,由自由电子与金属阳离子间的金属键结合而成的晶体,如钢铁材料。

(2) 玻璃体

玻璃体亦称无定形体或非晶体,是呈熔融状态的材料在急冷时,其质点来不及或因某种原因不能按规律排列而产生凝固所形成的结构。玻璃体的结构特征为没有固定的熔点和几何形状,且各向同性,化学稳定性差,易与其他物质发生化学反应,其质点在空间上呈非周期性排列。

玻璃体是化学不稳定的结构,容易与其他物质起化学反应,故玻璃体类物质的化学活性较高。例如火山灰、炉渣、粒化高炉矿渣等能与石灰或水泥在有水的条件下起水化、硬化作用。

(3) 胶体

以胶粒(粒径为 $10^{-10} \sim 10^{-7} \text{m}$ 的固体颗粒)作为分散相,分散在连续相介质中,形成的分散体系称为胶体。

在胶体结构中,若胶粒较少,液体性质对胶体的性质影响较大,这种结构称为溶胶结构。若胶粒数量较多,胶粒在表面能的作用下发生凝聚作用,或者由于物理化学作用而使胶粒产生凝聚,形成固体状态或半固体状态,此胶体结构称为凝胶结构。

胶凝体具有固体的性质,在长期应力作用下,又具有黏性液体的流动性质。这是由于固体微粒为极薄的吸附膜所包围,这种膜越厚,则流动性越大,膜越薄,则刚性越大。混凝土的徐变就是由水泥胶体产生的。

1.2 材料的物理性质

1.2.1 材料的密度、表观密度与堆积密度

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 ——密度, g/cm^3 ;

m ——材料的质量, g ;

V ——材料在绝对密实状态下的体积, cm^3 。

密度的单位在 SI 制中为 kg/m^3 , 我国建设工程中一般用 g/cm^3 , 偶尔用 kg/L , 忽略不写时, 默认单位为 g/cm^3 , 如水的密度为 1。

多孔材料的密度测定, 关键是测出绝对密实体积。在常用的土木工程材料中, 除了钢材、玻璃、沥青等少数材料外, 绝大多数材料都有一些孔隙。测定有孔隙材料的密度时, 应将材料磨成细粉, 干燥后, 用李氏瓶测定其体积。材料磨得越细, 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 。

土木工程中, 砂、石等材料内部有些与外部不连通的孔隙, 在密度测定时, 直接以块状材料为试样, 以排液置换法测量其体积, 近似作为其绝对密实状态的体积, 并按式 (1.1) 计算, 这时所求得的密度称为近似密度 (ρ_a)。

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。按式 (1.2) 计算。

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1.2)$$

式中: ρ_0 ——材料的表观密度, kg/cm^3 ;

m ——材料的质量, g 或 kg ;

V_0 ——材料在自然状态下的体积, 或称表观体积, cm^3 或 m^3 。

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, 按几何公式计算; 若外观形状不规则, 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量的准确性, 应在材料表面涂蜡。

测定材料的表观密度时, 应注意其含水情况。一般情况下, 表观密度是指气干状态下的表观密度; 而在烘干状态下的表观密度, 称为干表观密度。

3. 堆积密度

堆积密度是指散粒材料在堆积状态下, 单位体积的质量。按式 (1.3) 计算。

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1.3)$$

式中: ρ'_0 ——材料的堆积密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

V'_0 ——材料的堆积体积 m^3 。

测定散粒材料的堆积密度时, 材料的质量是指填充在一定容器内的材料质量, 其堆积体积是指所用容器的体积, 因此, 材料的堆积体积包含了颗粒之间的空隙。

土木工程中常用的材料密度的大小见表 1-2。材料的密度仅由材料的组成和材料的结构决定, 与材料所处的环境、材料干湿和孔隙无关, 故密度是材料的特征指标, 能用于区分不同的材料。