

通高等学校土木工程专业创新系列规划教材



土木工程材料

(第2版)

主编 刘 玲
主审 王 勃



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图例(图例)目录附录

通高等学校土木工程专业创新系列规划教材

出版大学出版

材料力学

ISBN 978-7-307-19060-0

材料力学

2月

土木工程材料

(第2版)

主 编 刘 玲

副主编 牛伯羽

主 审 王 勃



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/刘玲主编. —2版. —武汉:武汉大学出版社,2018.1
普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材
ISBN 978-7-307-19960-6

I. 土… II. 刘… 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(2017)第 325494 号

责任编辑:刘小娟 责任校对:路亚妮 装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:湖北睿智印务有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:15.75 字数:424千字

版次:2014年7月第1版 2018年1月第2版

2018年1月第2版第1次印刷

ISBN 978-7-307-19960-6

定价:40.00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。

普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材 编审委员会

(按姓氏笔画排名)

主任委员:刘殿忠

副主任委员:张利 孟宪强 金菊顺 郑毅 秦力

崔文一 韩玉民

委员:马光述 王睿 王文华 王显利 王晓天

牛秀艳 白立华 吕文胜 仲玉侠 刘伟

刘卫星 李利 李栋国 杨艳敏 邱国林

宋敏 张自荣 邵晓双 范国庆 庞平

赵元勤 侯景鹏 钱坤 高兵 郭靳时

程志辉 蒙彦宇 廖明军

总责任编辑:曲生伟

秘书长:蔡巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导模式转变为建设性、发现性的学习,从被动学习转变为主动学习,由教师传播知识到学生自己重新创造知识。这无疑锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,逐步配备基本数字教学资源,主要包括:

文本:课程重难点、思考题与习题参考答案、知识拓展等。

图片:课程教学外观图、原理图、设计图等。

视频:课程讲述对象展示视频、模拟动画,课程实验视频,工程实例视频等。

音频:课程讲述对象解说音频、录音材料等。

数字资源获取方法:

- ① 打开微信,点击“扫一扫”。
- ② 将扫描框对准书中所附的二维码。
- ③ 扫描完毕,即可查看文件。

更多数字教学资源共享、图书购买及读者互动敬请关注“开动传媒”微信公众号!



前 言

本书是普通高等学校本科土木工程专业土木工程材料课程教材,是根据土木工程专业培养应用型高级专门人才的目标而编写的。本书重点结合工业与民用建筑工程、路桥工程及港口工程专业方向需要,并考虑目前大土木工程专业发展的需要,按理论联系实际的原则编写的。在本书的编写中,力求反映国内外本学科的最新发展水平;力求有利于自学,满足案例式、讨论式、启发式等教学方法的需要;力求满足宽口径、少学时的人才培养模式。

全书共有 11 章,在绪论中阐述了土木工程与材料的关系,土木工程材料分类、发展、标准化,课程的学习目的、特点和方法。第 1 章讲述了土木工程材料的各种性质;第 2~10 章是各种建筑材料理论;第 11 章是土木工程材料试验,包括试验目的、仪器、方法、步骤、试验结果等。每章前有内容提要、能力要求,章后有知识归纳和思考题,旨在培养学生了解、掌握土木工程材料的基本理论知识,提高学生分析问题、解决问题及创新的能力。

本书由长春建筑学院刘玲担任主编;北华大学牛伯羽担任副主编;长春建筑学院杨柳、田甜,吉林建筑大学城建学院唐晓春,白城师范学院王桂花担任参编。

具体编写分工为:刘玲(绪论、第 11 章),杨柳(第 1 章、第 4 章),刘玲(第 2 章、第 3 章),唐晓春(第 5 章、第 9 章),王桂花(第 6 章、第 8 章),牛伯羽(第 7 章),田甜(第 10 章)。全书由刘玲统稿,由吉林建筑大学王勃主审。

在此,对书中所引用文献和研究成果的众多作者表示诚挚的谢意,对编写过程中各学校的大力帮助一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2017 年 11 月

目 录

0 绪论	1
0.1 课程简介/1	
0.2 土木工程材料的分类/1	
0.3 土木工程与材料的关系/2	
0.4 土木工程材料的发展/2	
0.5 土木工程材料的标准化/3	
0.6 本课程的学习目的、特点和方法/4	
1 土木工程材料的基本性质	6
1.1 材料的组成、结构与构造/6	
1.2 材料的基本状态参数/7	
1.3 材料的力学性质/9	
1.4 材料与水有关的性质/12	
1.5 材料的热性质/15	
1.6 材料的耐久性/16	
知识归纳/17	
思考题/17	
习题/17	
参考文献/17	
2 无机胶凝材料	18
2.1 胶凝材料简介/18	
2.2 气硬性胶凝材料/18	
2.3 通用硅酸盐水泥/26	
2.4 其他品种水泥/36	
知识归纳/40	
思考题/40	
参考文献/40	
3 水泥混凝土	41
3.1 概述/41	
3.2 普通混凝土的组成材料/42	
3.3 新拌混凝土的和易性/52	
3.4 硬化混凝土的强度/55	
3.5 硬化混凝土的耐久性/58	
3.6 硬化混凝土的变形性/59	

3.7 混凝土的质量控制与强度评定/62

3.8 普通水泥混凝土的配合比设计/64

3.9 其他种类混凝土/71

知识归纳/74

思考题/75

参考文献/75

4 建筑砂浆

76

4.1 砂浆的组成材料和技术性质/76

4.2 砌筑砂浆及其配合比设计/78

4.3 其他建筑砂浆/81

知识归纳/85

思考题/85

习题/85

参考文献/85

5 墙体材料

86

5.1 砌墙砖/86

5.2 砌块及板材/94

知识归纳/111

思考题/111

参考文献/112

6 沥青及沥青混合料

113

6.1 沥青/113

6.2 沥青混合料/120

知识归纳/129

思考题/129

参考文献/130

7 建筑钢材

131

7.1 钢材的冶炼与分类/131

7.2 钢材的主要技术性能/134

7.3 钢材的冷加工及热处理/139

7.4 钢材的品种与选用/141

7.5 钢材的腐蚀与防护/143

知识归纳/145

思考题/146

参考文献/146

8 木材	147
8.1 木材的分类和构造/147	
8.2 木材的主要性质/148	
8.3 木材的防腐与防火/152	
8.4 木材的综合利用/153	
知识归纳/155	
思考题/155	
参考文献/155	
9 合成高分子材料	156
9.1 建筑塑料/156	
9.2 涂料/163	
9.3 黏结剂/167	
知识归纳/168	
思考题/169	
参考文献/169	
10 建筑功能材料	170
10.1 防水材料/170	
10.2 建筑装饰材料/174	
10.3 绝热材料/181	
10.4 吸声隔声材料/184	
知识归纳/187	
思考题/187	
习题/187	
参考文献/188	
11 土木工程材料试验	189
11.1 土木工程材料基本物理性质试验/189	
11.2 水泥试验/193	
11.3 集料试验/207	
11.4 普通混凝土试验/209	
11.5 砂浆试验/217	
11.6 砌墙砖试验/220	
11.7 沥青试验/223	
11.8 沥青混合料试验/228	
11.9 建筑钢材试验/234	
11.10 综合设计试验/237	
参考文献/238	





绪 论

内容提要

本章主要内容包括土木工程材料的分类、材料与土木工程的关系、土木工程材料的标准化及其发展等,重点是土木工程材料的分类及其标准化。

能力要求

通过本章的学习,学生应了解土木工程材料在土木工程中的地位与作用,土木工程材料的标准化以及土木工程材料的发展;掌握土木工程材料的定义和分类。



10 分钟看完本章

0.1 课程简介

土木工程材料可分为广义土木工程材料和狭义土木工程材料。广义土木工程材料是指用于建筑工程中的所有材料,包括三个部分:一是构成建筑物、构筑物的材料,如石灰、水泥、混凝土、钢材、防水材料、墙体与屋面材料、装饰材料等;二是施工过程中所需要的辅助材料,如脚手架、模板等;三是各种建筑器材,如消防设备、给水排水设备、网络通信设备等。狭义土木工程材料是指直接构成土木工程实体的材料。

本书所介绍的土木工程材料是指狭义土木工程材料。其内容包括:绪论、土木工程材料的基本性质、无机胶凝材料、水泥混凝土、建筑砂浆、墙体材料、沥青及沥青混合料、建筑钢材、木材、合成高分子材料、建筑功能材料、土木工程材料试验。

0.2 土木工程材料的分类

土木工程材料是指土木工程中使用的各种材料和制品,它是土木工程的物质基础。土木工程材料的品种繁多,作用和功能各异。为方便应用,常按不同原则分类。土木工程材料按材料来源,可分为天然材料和人造材料;按使用功能,可分为结构材料和功能材料;按组成材料的物质和化学成分,可分为无机材料、有机材料和复合材料三大类,每大类又有更细的类别,如图 0-1 所示。

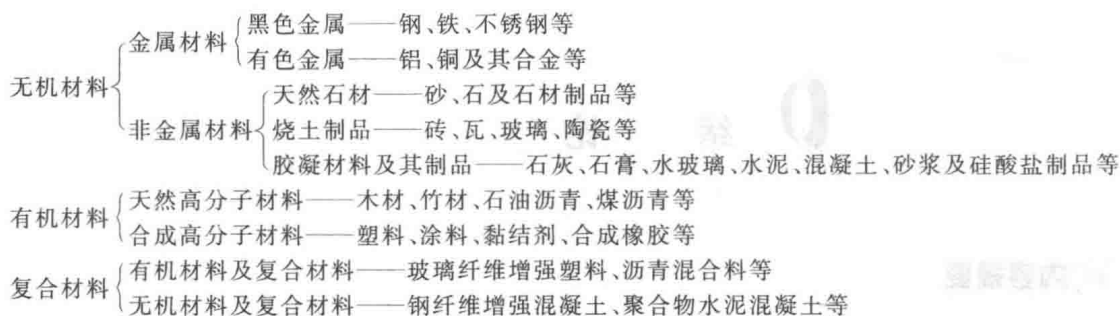


图 0-1 土木工程材料的分类

0.3 土木工程与材料的关系

(1) 材料是保证土木工程质量的基础

材料是构成土木工程建(构)筑物的物质基础,当然也是其质量基础。在土木工程中,从材料的生产、选择、使用和检验评定,到材料的贮存、保管,任何环节的失误都可能造成工程的质量缺陷,甚至导致重大质量事故。因此,合格的土木工程技术人员必须准确、熟练地掌握有关材料的知识。

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。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)、交通行业标准(代号 JT)等;三是地方标准(代号 DB)和企业标准(代号 QB)。

对强制性国家标准,任何技术(或产品)不得低于其规定的要求;对推荐性国家标准,也可执行其他标准的要求;地方标准或企业标准所制定的技术要求应高于国家标准。

(2) 材料对土木工程造价的影响显著

在一般土木工程的总造价中,与材料有关的费用占 50% 以上,而在实际工程中,材料的选择、使用及管理,对工程成本影响很大。学习并准确、熟练地掌握土木工程材料知识,可以优化选择和正确使用材料,充分利用材料的各种功能,在保证优质的同时显著降低工程成本。因此,从工程技术经济的角度来看,学好本课程也十分重要。

(3) 材料对土木工程技术进步起促进作用

在土木工程建设过程中,工程的设计方法、施工方法都与材料密切相关。从根本上说,材料是基础,是决定土木工程结构设计形式和施工方法的主要因素。因此,材料性能的改进、材料应用技术的进步都会直接促进土木工程技术的进步,例如,钢材及水泥的大量应用和性能改进,取代了过去的砖、石、土、木,使得钢筋混凝土结构已占领了土木工程结构材料的主导地位。现代玻璃、陶瓷、塑料、涂料等新型材料的大量应用,又把许多建筑物装扮得绚丽多彩。

0.4 土木工程材料的发展

土木工程材料是随着社会生产力和科学技术水平的发展而发展的,建筑物所用的结构材料,大致分为三个发展阶段。

(1) 天然材料阶段

天然材料是指取之于自然界,进行物理加工的材料,如天然石材、木材、黏土、茅草等。早在原始社会时期,人们为了抵御雨雪风寒和防止野兽的侵袭,居住于天然山洞或树巢中,即所谓“穴居巢

处”。进入石器、铁器时代,人们开始利用简单的工具砍伐树木和苇草,搭建简单的房屋,开凿石材建造房屋及纪念性构筑物,比天然巢穴进了一步。进入青铜器时代,出现了木结构建筑及“版筑建筑”(指墙体用木板或木棍作边框,然后在框内浇注黏土,用木杵夯实之后将木板拆除的建筑物),建造出了舒适性较高的建筑物。

(2) 烧土制品阶段

到了人类能够用黏土烧制砖、瓦,用石灰岩烧制石灰之后,土木工程材料才由天然材料阶段进入了人工生产阶段。在封建社会,虽然我国古代建筑有“秦砖汉瓦”、描金漆绘装饰艺术、造型优美的石塔和石拱桥的辉煌,但实际上在这一时期,生产力发展停滞不前,使用的结构材料不过砖、石和木材而已。

(3) 钢筋混凝土阶段

18—19 世纪,随着资本主义的兴起,大跨度厂房、高层建筑和桥梁等土木工程建设需要,旧有材料在性能上满足不了新的建设要求,土木工程材料在其他有关科学技术的配合下,进入了一个新的发展阶段,相继出现了钢材、水泥、混凝土、钢筋混凝土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。

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 轻质高强。现今钢筋混凝土结构材料自重大(每立方米重约 2500 kg),限制了建筑物往高层、大跨度方向进一步发展。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。目前,世界各国都在大力发展高强混凝土、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。土木工程材料的生产能耗和建筑物的使用能耗,在国家总能耗中一般占 20%~35%,研制和生产低能耗的新型节能土木工程材料,是构建节约型社会的需要。

③ 利用废渣。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。

④ 智能化。所谓智能化材料,是指材料本身具有自我诊断、预告破坏和自我修复的功能,以及可重复利用性。土木工程材料向智能化方向发展,是人类社会向智能化社会发展过程中降低成本的需要。

⑤ 多功能化。利用复合技术生产多功能材料、特殊性能材料及高性能材料,这对提高建筑物的使用功能、经济性及加快施工速度等有着十分重要的作用。

⑥ 绿色化。产品的设计是以改善生产环境、提高生活质量为宗旨,产品具有多功能,不仅无损而且有益于人的健康;产品可循环或回收再利用,或形成无环境污染的废弃物。因此,生产材料所用的原料应尽可能少用天然资源,大量使用尾矿、废渣、垃圾、废液等废物;采用低能耗制造工艺和对环境无污染的生产技术;产品配制和生产过程中,不使用对人体和环境有害的污染物质。

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。土木工程材料的技术标准是产品质量的技术依据。对于生产企业,必须按照标准生产,控制其质量,同时它可促进企业改善管理,提

高生产技术和生产效率。对于使用部门,则按照标准选用、设计、施工,并按标准验收产品。

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”)。

与土木工程材料技术标准有关的部门代号有:GB——国家标准,GBJ——建筑工程国家标准,JGJ——建设部行业标准(曾用BJG),JG——建筑工业行业标准,JC——国家建材局标准(曾用“建标”),SH——石油化学工业部或中国石油化学总公司标准(曾用SY),YB——冶金部标准,HG——化工部标准,ZB——国家级专业标准,CECS——中国工程建设标准化协会标准,DB——地方性标准,Q——企业标准等。

国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007),部门代号为GB,编号为175,批准年份为2007年,为强制性标准。

国家标准《碳素结构钢》(GB/T 700—2006),部门代号为GB,编号为700,批准年份为2006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》[JC 239—1991(1996)]。

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》(GB 175—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)。如混凝土用砂,除满足《建设用砂》(GB/T 14684—2011),还须满足《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准(附条文说明)》(JGJ 52—2006)的规定。

无论是国家标准还是部门行业标准,都是全国通用标准,属国家指令性技术文件,均必须严格遵照执行,尤其是强制性标准。在学习有关标准时应注意到黑体字标志的条文为强制性条文。

工程中有时还涉及美国标准ASTM、英国标准BS、日本标准JIS、德国标准DIN、国际标准ISO等。

0.6 本课程的学习目的、特点和方法

本课程包括理论课和试验课两个部分。学习目的在于使学生掌握主要土木工程材料的性质、用途、制备和使用方法以及检测和质量控制方法,并了解工程材料性质与材料结构的关系,以及性能改善的途径。通过本课程的学习,应能针对不同工程合理选用材料,能与后续课程密切配合,了解材料与设计参数及施工措施选择的相互关系。

本课程的内容庞杂,各章之间的联系较少;以叙述为主,名词、概念和专业术语多,公式的推导或定律的论证与分析较少;与工程实际联系紧密,有许多定性的描述或经验规律的总结。为了学好土木工程材料这门课,学习时应从材料科学的观点、方法及实践的观点出发,从以下几个方面进行。

(1) 凝神静气,反复阅读

这门课的特点与力学、数学等完全不同,初次学习难免产生枯燥无味之感,但必须克服这一心理状态,静下心来反复阅读,适当背记,背记后再回想和理解。

(2) 及时总结,发现规律

虽然这门课各章节之间自成体系,但材料的组成、结构、性质和应用之间有其内在的联系,可以通过分析对比,掌握它们的共性。每一章节学习结束后及时总结,使读书“由厚到薄”。

(3) 观察工程,认真试验

土木工程材料是一门实践性很强的课程,学习时应注意理论联系实际,为了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建筑物,在实践中理解和验证所学内容。试验课是本课程的重要教学环节,通过试验可验证所学的基本理论,学会检验常用建筑材料的试验方法,掌握一定的试验技能,并能对试验结果进行正确的分析和判断,这对于培养学生学习与工作的能力及严谨的科学态度十分有利。





土木工程材料的基本性质

内容提要

本章主要内容包括土木工程材料的组成、结构与构造,材料的基本状态参数,材料的力学性质、与水有关的性质、热性质、耐久性等。

能力要求

通过本章的学习,学生应了解不同材料,在结构物中的功用不同、所处的环境不同的情况下,对其性质的要求也不同;掌握土木工程材料的基本物理性质、耐久性的基本概念;熟练掌握土木工程材料的基本力学性质。



10 分钟看完本章

1.1 材料的组成、结构与构造

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、使用、分析和评价材料,通常是以其性质为基本依据的。土木工程材料的性质,可分为基本性质和特殊性质两大部分。材料的基本性质是指土木工程中通常必须考虑的最基本的、共有的性质;材料的特殊性质则是指材料本身的不同于其他材料的性质,是材料的具体使用特点的体现。

1.1.1 材料的组成

材料的组成是针对材料的化学成分和材料的矿物成分而言的。它不仅影响材料的化学性质,还是决定材料物理力学性质的重要因素。

1.1.1.1 化学组成

当材料与外界自然环境以及各类物质相接触时,它们之间必然要按照化学变化规律发生作用。如材料受酸碱物质的侵蚀,材料遇火的耐燃、耐火性能等都属于化学作用。土木工程材料有关这方面的性质都是由材料的化学组成决定的。

1.1.1.2 矿物组成

某些土木工程材料如天然石材、无机胶凝材料等,其矿物成分是决定其材料性质的主要因素。水泥所含有的熟料矿物不同或其含量不同,表现出的水泥性质就各有差异。例如,在硅酸盐水泥中,熟料矿物硅酸三钙含量高,其硬化速度较高,强度也较高。

1.1.2 材料的结构

1.1.2.1 微观结构

(1) 晶体结构

晶体结构是由质点在空间按规则的几何形状周期性排列而成的固体结构(如各种金属及合金)。

(2) 非晶体结构

非晶体结构是熔融物质急冷得到,质点不规则排列的结构,也叫玻璃体结构(如玻璃、火山灰等)。

1.1.2.2 亚微观结构

亚微观结构是指用光学显微镜和一般扫描透射所能观察到的结构,其尺度介于微观和宏观之间,粒径为 $10^{-9} \sim 10^{-3}$ m。亚微观结构主要研究材料内部的晶粒、颗粒等的大小和形态、晶界或界面的形态、孔隙与微裂纹的大小形状及分布,如水泥石的孔隙结构、金属的金相组织、木材的纤维和管胞组织等。

尺度范围在 $10^{-9} \sim 10^{-7}$ m 的结构为纳米结构,一般要用扫描透射电子显微镜观察。

1.1.2.3 宏观结构(构造)

宏观结构(构造)是指用肉眼或放大镜即可观察到的毫米级以上的组织。宏观结构(构造)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。

1.1.3 材料的构造

材料的构造是指材料结构间单元的相互组合、搭配情况。构造这一概念与结构相比,更强调相同材料或不同材料的搭配关系。如材料的孔隙、岩石的层理等。这些结构的特征、大小、尺寸及形态,决定材料特有的一些性质。对于同种材料来讲,构造越密实、越均匀,强度越高,表观密度越大。

1.2 材料的基本状态参数

1.2.1 密度、表观密度、堆积密度

1.2.1.1 密度

密度是材料在绝对密实状态下单位体积的质量。

计算式:

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

式中 ρ ——材料的密度, g/cm^3 ;

m ——材料在干燥状态下的质量, g ;

V ——材料在绝对密实状态下的体积, cm^3 。

绝对密实状态下的体积是指不包括材料内部孔隙体积的固体物质的实体积。

常用的土木工程材料,除了钢、玻璃、沥青等认为不含孔隙,其他材料均有孔隙。测定含孔材料绝对密实体积的简单方法,是将测定材料磨成细粉,干燥后用排液法测得的粉末体积,即为绝对体积。

1.2.1.2 表观密度

材料在自然状态下单位体积的质量,称为材料的表观密度(原称容重)。

计算式:

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

式中 ρ_0 ——材料的表观密度, g/cm^3 ;
 m ——材料在干燥状态下的质量, g ;
 V_0 ——材料自然状态下的体积, cm^3 。

自然状态下的体积是指包括材料的实体和内部孔隙的外观几何体积, 如图 1-1 所示。

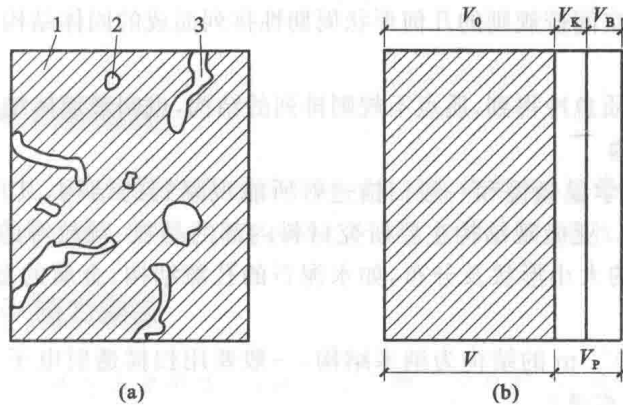


图 1-1 含孔材料体积组成示意图

1—固体物质; 2—闭孔; 3—开孔

若材料外形规则, 可直接测量其体积, 再根据公式计算。若材料外形不规则, 采用排液法求体积, 为了防止液体渗入材料内部, 应在材料表面涂蜡。一般情况下测定表观密度时, 以干燥状态为准, 含水状态测定的表观密度要注明含水情况。

1.2.1.3 堆积密度

堆积密度是指散粒材料或粉状材料在自然堆积状态下单位体积的质量。

计算式:

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

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度, kg/m^3 ;

V_P ——颗粒内部孔隙的体积, m^3 ;

V_V ——颗粒间空隙的体积, m^3 。

散粒材料的堆积方式是松散的, 即自然堆积, 如图 1-2 所示。自然堆积状态下的体积含颗粒内部的孔隙体积及颗粒之间的空隙体积。

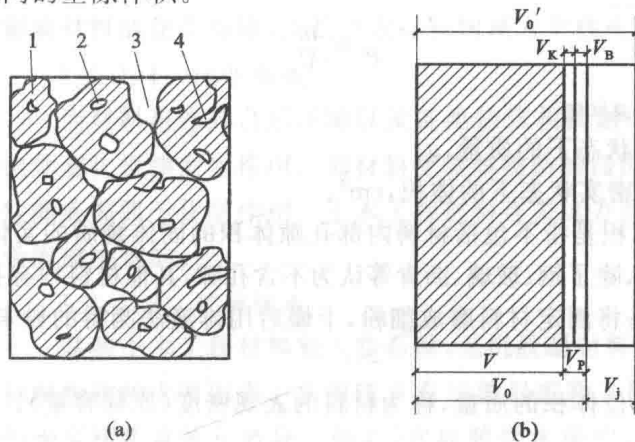


图 1-2 散粒材料堆积体积组成示意图

1—颗粒的固体物质; 2—颗粒的闭孔隙; 3—颗粒间的空隙; 4—颗粒的开口孔隙