

高等学校土木工程专业“卓越工程师”教育“十三五”规划教材

建筑材料

黄显彬 主编

第2版



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

高等学校土木工程专业“卓越工程师”教育“十三五”规划教材

建筑材料

(第2版)

主 编 黄显彬

副主编 李 静 郭子红 肖维民

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 简 介

本书参照《高等学校土木工程本科指导性专业规范》要求编写,选材适当,内容精练,论述透彻,特别注重理论联系实际,紧贴新规范、新标准。

本书主要讲述常见建筑材料的品种、规格、性能、应用及试验检测与评定。全书共分12章,包括绪论、材料的基本性质、金属材料、集料、无机气硬性胶凝材料、水泥、普通混凝土、特种混凝土、建筑砂浆、墙体材料简介、沥青材料简介和水泥稳定土。

本书为“卓越工程师”教育“十三五”规划教材之一。本书可作为高等院校土木工程专业及相关专业的教材,也可作为自学考试、网络教育用书。本书还可供从事土木工程及相关专业工作的科研、教学、设计、施工人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料/黄显彬主编.—2版.—武汉:武汉理工大学出版社,2018.6
ISBN 978-7-5629-5768-3

I. ①建… II. ①黄… 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 082804 号

项目负责人:高 英 汪浪涛 戴皓华

责任编辑:戴皓华

责任校对:余士龙

装帧设计:兴和设计

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路122号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉兴和彩色印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:15

字 数:374千字

版 次:2018年6月第2版

印 次:2018年6月第1次印刷

定 价:40.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87785758 87384729 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

前 言

(第2版)

本书根据高等学校土木工程学科专业指导委员会颁布的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》要求编写而成。

本书在《建筑材料》(第1版)基础上,进行了部分修改和删减,全书沿用了第1版的基本风格,重点章节和主要知识点继续保留。考虑到兼顾理论教学的需求,增加了水泥等部分理论性知识。同时,在重要章节增加重要知识点和典型例题及参考答案,并增加一套试题及参考答案,供教师和学生参考。

本书凝聚了编者近30年的教学和工程实践经验,在编写过程中特别注重应用型人才培养的要求,力争贴近工程实际,结合新规范、新标准,强化工程应用与新标准和新规范的一致性,注重学生的实际应用能力培养,注意理论与实践相结合。为了提高学生的实际动手能力,本书在每一章末增加了大量结合工程实际的复习思考题。本书既可以作为土木工程材料专业的专业教材,也可以作为土木工程专业的基础教材。

本书重点讲述土木工程重要材料,对次要材料没有过多阐述;根据卓越工程师的培养特点,本书对建筑材料的重要试验也进行了简要的介绍。特别是对工程中最为重要又不易控制的、常规的主用材料钢筋混凝土和混凝土所用的砂、石、水泥、钢材及其相关试验检测做了重点介绍,试图使读者不仅掌握理论知识,还力求在实际应用及试验检测方面有所突破。本书最大特点就是应用性强,可减少读者脱离实际的盲目性。

本书由四川农业大学黄显彬担任主编,四川农业大学李静、郭子红和肖维民担任副主编。由四川农业大学、广安职业技术学院、邵阳学院、西华大学、东北林业大学和中咨盛裕交通设计研究有限公司合作编写。具体编写分工如下:邹祖银、李静、莫优、侯松、雷波、蒋胜晖、陈春阳、吕彦明、陈佳负责编写第1~5章;黄显彬、郭子红、莫优、张青青、康浩、贾国杰、谢宗荣、陈伟、侯松、曾永革、舒志乐、张琴、梅玉娇负责编写第6章;黄显彬、王朝令、李林、刘晨阳、曾永革、田玉梅、张青青、康浩、贾国杰、谢宗荣、陈伟、罗飞、梅玉娇负责编写第7章和第8章;郭子红、刘晨阳、陈春阳、张露云、李林、雷波、宋娟、陈凤辉、赵中国、杨欣、陈伟负责编写第9~12章。全书经过反复讨论、修改、相互校核后由黄显彬统稿。

本书在编写中,参阅了相关规范、标准和多本同类教材,在此对作者表示感谢。

限于编者的水平,书中难免存在不妥之处,敬请广大读者批评指正,以便今后改正。

编 者

2018年6月

目 录

1 绪论	1
1.1 土木工程材料发展概况	1
1.2 土木工程材料分类	2
1.3 建筑模数及标准化	2
复习思考题	3
2 材料的基本性质	4
2.1 材料的物理性质	4
2.1.1 材料的密度、表观密度和堆积密度	4
2.1.2 材料的孔隙率与空隙率	5
2.1.3 材料与水有关的性质	6
2.2 材料的力学性质	9
2.2.1 材料的强度与等级	10
2.2.2 材料的其他力学性质	14
复习思考题	16
3 金属材料	18
3.1 钢材的分类与冶炼	18
3.1.1 钢材的优缺点	18
3.1.2 钢材的分类	19
3.1.3 钢材的冶炼	20
3.1.4 钢筋混凝土结构用钢	21
3.1.5 预应力混凝土结构用钢	23
3.1.6 钢结构用钢	26
3.1.7 钢纤维混凝土用钢	27
3.2 钢材的技术性质	28
3.2.1 拉伸性能	28
3.2.2 冷弯性能	29
3.2.3 其他技术性质	30
3.2.4 热轧钢筋的技术标准及试验检测	31
3.3 钢材的组织及冷加工和热处理	35
3.3.1 钢材的组织、化学成分及其影响	35
3.3.2 钢材的冷加工及热处理	36
3.4 钢材的腐蚀与防护	37

3.4.1	钢材的锈蚀	37
3.4.2	钢材锈蚀的防治措施	38
3.5	钢筋的连接	39
3.5.1	钢筋连接的分类	39
3.5.2	钢筋的绑扎	39
3.5.3	钢筋的焊接	39
3.5.4	钢筋的机械连接	46
	复习思考题	49
4	集料	51
4.1	集料的技术性质	51
4.1.1	集料的物理性质	51
4.1.2	集料的力学性质	52
4.1.3	集料的化学性质简介	53
4.2	细集料	53
4.2.1	细集料的物理性质	53
4.2.2	细集料的技术性质	55
4.3	粗集料	59
4.3.1	粗集料的物理性质	59
4.3.2	粗集料的技术性质	60
	复习思考题	65
5	无机气硬性胶凝材料	66
5.1	概述	66
5.2	建筑石膏	66
5.2.1	建筑石膏的原料与生产	66
5.2.2	建筑石膏的水化与硬化	68
5.2.3	建筑石膏的技术性质	68
5.2.4	建筑石膏的应用	69
5.3	建筑石灰	70
5.3.1	石灰的生产、化学成分与品种	70
5.3.2	生石灰的水化	71
5.3.3	石灰浆的硬化	71
5.3.4	建筑石灰的特性与技术要求	72
5.3.5	建筑石灰的应用	74
5.4	水玻璃	75
5.4.1	水玻璃的生产	76
5.4.2	水玻璃的硬化	76
5.4.3	水玻璃的特性与应用	76

复习思考题	77
6 水泥	78
6.1 概述	78
6.1.1 水泥的概念	78
6.1.2 水泥的分类	78
6.2 硅酸盐水泥	79
6.2.1 水泥的生产工艺流程	79
6.2.2 硅酸盐水泥熟料的矿物组成及其特性	80
6.2.3 硅酸盐水泥的水化反应及凝结硬化机理	81
6.2.4 水泥的技术性质	90
6.2.5 硅酸盐水泥的应用	100
6.3 普通硅酸盐水泥	102
6.4 掺混合料的硅酸盐水泥	102
6.4.1 概述	102
6.4.2 掺混合料硅酸盐水泥的种类	103
6.5 特性水泥	103
6.5.1 快硬硅酸盐水泥	103
6.5.2 白色及彩色硅酸盐水泥	104
6.5.3 铝酸盐水泥	105
6.5.4 膨胀水泥	106
6.5.5 快硬硫铝酸盐水泥	106
6.6 水泥包装与储运	107
复习思考题	109
7 普通混凝土	112
7.1 概述	112
7.1.1 混凝土的概念	112
7.1.2 混凝土的分类	112
7.1.3 混凝土的优缺点	113
7.1.4 混凝土的发展方向	114
7.2 混凝土组成材料	115
7.2.1 水泥品质及等级选择	115
7.2.2 集料选择	115
7.2.3 拌和及养护用水	116
7.3 混凝土外加剂	116
7.3.1 概述	116
7.3.2 混凝土外加剂的定义、分类	117
7.3.3 外加剂的作用	117

7.3.4 常用混凝土的外加剂	118
7.4 混凝土掺合料	120
7.4.1 粉煤灰	120
7.4.2 粒化高炉矿渣粉	123
7.4.3 硅灰	123
7.5 新拌混凝土的和易性	124
7.5.1 混凝土技术性质分类	124
7.5.2 和易性	124
7.5.3 混凝土和易性测定方法	125
7.5.4 施工稠度选择	126
7.5.5 影响和易性的因素	127
7.5.6 改善和易性的措施	130
7.5.7 混凝土的凝结时间和经时损失	130
7.6 混凝土的力学性能和耐久性	131
7.6.1 混凝土的力学性能	131
7.6.2 混凝土强度的影响因素	134
7.6.3 提高混凝土强度的措施	138
7.6.4 混凝土配合比设计概述	139
7.6.5 混凝土强度配合比设计步骤	140
7.6.6 混凝土配合比的试配、调整与确定	144
7.6.7 混凝土强度评定	146
7.6.8 混凝土的耐久性	148
复习思考题	158
8 特种混凝土	162
8.1 高强混凝土与高性能混凝土	162
8.1.1 高强混凝土	162
8.1.2 高性能混凝土	163
8.2 自密实混凝土	164
8.2.1 原材料和配合比	164
8.2.2 SCC 的性能及应用	165
8.3 泵送混凝土和喷射混凝土	166
8.3.1 泵送混凝土	166
8.3.2 喷射混凝土	166
8.4 道路水泥混凝土	167
8.5 水工混凝土	168
复习思考题	168
9 建筑砂浆	170
9.1 砂浆的概念和分类	170

9.2 砌筑砂浆	170
9.2.1 砌筑砂浆的组成材料	170
9.2.2 砌筑砂浆的技术性质	171
9.2.3 砌筑砂浆的配合比设计	173
9.2.4 水泥砂浆的配合比设计	176
9.2.5 水泥粉煤灰砂浆的配合比设计	176
9.3 抹面砂浆	177
9.3.1 抹面砂浆的组成材料	177
9.3.2 抹面砂浆的种类及选用	177
9.3.3 常用抹面砂浆的配合比及其应用范围	177
9.4 装饰砂浆	178
9.4.1 装饰砂浆饰面种类及其特点	178
9.4.2 装饰砂浆的组成材料	178
9.4.3 常用装饰砂浆的饰面做法	179
复习思考题	180
10 墙体材料简介	182
10.1 概述	182
10.2 砌墙砖	182
10.2.1 烧结砖	182
10.2.2 非烧结砖	187
10.3 建筑砌块	188
10.3.1 蒸压加气混凝土砌块	188
10.3.2 普通混凝土小型砌块	190
10.3.3 轻集料混凝土小型空心砌块	191
10.4 建筑墙板	191
10.4.1 石膏墙板	191
10.4.2 纤维复合板	193
10.4.3 混凝土墙板	195
10.4.4 复合墙板和墙体	196
复习思考题	196
11 沥青材料简介	198
11.1 石油沥青概述	198
11.1.1 沥青的概念和分类	198
11.1.2 石油沥青的组成成分	200
11.2 道路石油沥青的路用技术性能	202
11.2.1 物理性质	202
11.2.2 黏滞性	202

11.2.3 低温性能·····	203
11.2.4 高温性质·····	205
11.2.5 感温性·····	205
11.2.6 耐久性·····	206
11.2.7 黏附性·····	207
11.3 石油沥青的技术性质·····	208
11.3.1 建筑石油沥青技术标准·····	208
11.3.2 道路石油沥青的技术标准·····	209
11.4 改性沥青·····	210
11.4.1 概述·····	210
11.4.2 常用聚合物改性沥青·····	212
复习思考题·····	213
12 水泥稳定土·····	215
12.1 概述·····	215
12.2 水泥稳定土一般要求·····	215
12.2.1 基本术语·····	215
12.2.2 水泥稳定土结构层施工时应遵循的规定·····	216
12.2.3 材料要求·····	216
12.3 水泥稳定土基层混合料组成设计·····	218
12.3.1 一般规定·····	218
12.3.2 原材料试验·····	219
12.3.3 混合料的设计步骤·····	219
12.4 水泥稳定土基层混合料试验及质量控制·····	220
复习思考题·····	220
附录 《土木工程材料》试题×卷·····	221
参考文献·····	227

1 绪 论

土木工程包括房屋、桥梁、道路、水工、环境工程等,它们是用各种材料建造而成的,用于这些工程的材料总称为土木工程材料,又称建筑材料。土木工程材料是土木工程建设的物质基础。本章主要从土木工程材料发展概况、土木工程材料分类、建筑模数及标准化三个方面对土木工程材料进行概述。

1.1 土木工程材料发展概况

土木工程材料是伴随着人类社会的不断进步和社会生产力的发展而发展的。在远古时代,人类居于天然山洞或巢穴中,以后逐步采用黏土、石块、木材等天然材料建造房屋。18000年前的北京周口店龙骨山山顶洞人(旧石器时代晚期)仍然住在天然岩洞里。在距今约6000年的西安半坡遗址(新石器时代后期)已采用木骨泥墙建房,并发现有制陶窑场。河南安阳的殷墟是商朝后期的都城(约公元前1300—公元前1046),建筑技术水平有了明显提高,并有制陶、冶铜作坊,青铜工艺也已相当纯熟。烧土瓦在西周(公元前1046—公元前771)早期的陕西凤雏村遗址中已有发现,并有了在土坯墙上采用三合土(石灰、黄砂、黏土混合)抹面。说明我国劳动人民在3000年前已能烧制石灰、砖瓦等人造建筑材料,冶铜技术亦相当高明。到战国时期(公元前453—公元前221),铜瓦、板瓦已广泛使用,并出现了大块空心砖和墙壁装修用砖。在齐都临淄遗址(约公元前859—公元前221)中,发现有炼铜、冶铁作坊,说明当时铁器已有应用。

在欧洲,公元前2世纪已有用天然火山灰、石灰、碎石拌制天然混凝土用于建筑,直到19世纪初,才开始采用人工配料,再经煅烧、磨细制造水泥,因它凝结后与英国波特兰岛的石灰石颜色相似,故称波特兰水泥(即我国的硅酸盐水泥)。此项发明于1824年由英国人阿斯普定(J. Aspdin)取得专利权,并于1825年用于修建泰晤士河水下公路隧道工程。钢材在土木工程中的应用也是19世纪的事。1823年英国建成世界上第一条铁路;1850年法国人郎波制造了第一只钢筋混凝土小船;1872年在纽约出现了第一所钢筋混凝土房屋。1883年在纽约建成布鲁克林悬索桥,主跨486 m;1889年建造的巴黎埃菲尔铁塔高达324 m。由此可知,水泥和钢材这两种材料的问世,为后来大规模建造高层建筑和大跨度桥梁提供了物质基础。

建筑材料的发展概括来说:穴居巢处(约18000年前);凿石成洞,伐木为棚(距今约6000年);筑土、垒石演变为秦砖汉瓦(虽然普通黏土砖瓦已经逐渐淡出历史舞台,但在当时是建筑材料史上的一次革命,推动了建筑业的巨大发展);18世纪、19世纪建筑钢材、水泥、混凝土相继问世,出现了钢筋混凝土(钢筋混凝土是建筑材料史上的又一次革命,为人类修筑高楼大厦提供了可能);20世纪出现了预应力混凝土(可以说预应力混凝土是建筑材料史上的又一次革命,它保证了大跨度、大荷载结构的经济可靠)。

随着土木工程材料生产和应用的发展,材料科学已经成为一门独立的新学科。采用现代的电子显微镜、X 衍射分析、测孔技术等先进仪器设备,可从微观和宏观两方面对材料的形成、组成、构造与材料性能之间的关系及其规律性和影响因素等进行研究。应用现代技术已可以实现按指定性能来设计和制造某种材料,以及对传统材料按要求进行各种改性。

在工程建设中,材料费用一般要占工程总造价的 50% 以上,有的甚至高达 70%,因此,发展材料工业意义十分重大,在我国现代化建设中,是一个必须先行的行业。为适应国民经济可持续发展的要求,土木工程材料的发展趋向是研制和开发高性能材料和绿色材料等新型材料。

高性能建筑材料是指比现有材料的性能更为优异的建筑材料。例如:轻质、高强、高耐久性、优异装饰性和多功能性的材料,以及充分利用和发挥各种材料的特性,采用复合技术制造出的具有特殊功能的复合材料。

绿色建筑材料又称生态建筑材料或健康建筑材料。它是指采用清洁生产技术,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。总之,绿色建筑材料是既能满足可持续发展之需,又做到发展与环保统一;既满足现代人安居乐业、健康长寿的需要,又不损害后代人利益的一种材料。因此,绿色建筑材料是世界各国 21 世纪工业发展的战略重点。

应该指出,新型土木工程材料的发展除了应有优良的技术效果和环境效益外,还应同时具有经济效益,而结构材料的发展方向是轻质高强。

1.2 土木工程材料分类

土木工程材料的种类繁多、组分各异、用途不一,可按多种方法进行分类。

(1) 按材料化学成分分类,可分为有机材料、无机材料和复合材料三大类。

(2) 按材料在建筑物中的功能分类,可分为承重材料、非承重材料、保温和隔热材料、吸声和隔声材料、防水材料、装饰材料等。

(3) 按使用部位分类,可分为结构材料、墙体材料、屋面材料、地面材料、饰面材料,以及其他用途的材料等。

1.3 建筑模数及标准化

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,必须按照标准生产合格的产品,这样可促使企业改善管理,提高生产率,实现生产过程合理化;对于使用部门,则应按照标准选用材料,才可使设计和施工标准化,从而加速施工进度,降低工程造价。技术标准又是供需双方对产品质量验收的依据,是保证工程质量的先决条件。

我们的祖先很早就注意材料的标准化,如在秦始皇陵兵马俑陪葬坑中,以及明代修建的长城山海关段,所用砖的规格已向条砖转化,长宽厚之比接近 4 : 2 : 1,与目前普通砖的规格比例相近。又如天津蓟县独乐寺是公元 984 年的建筑,其观音阁的梁枋斗拱种类多达

几十种,构件上千件,但规格仅有 6 种。

目前我国绝大多数的建筑材料都制订有产品的技术标准,这些标准一般包括产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、标志、运输和贮存等方面的内容。

我国土木工程材料的技术标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四级,各级标准分别由相应的标准化管理部门批准并颁布,我国国家技术监督局是国家标准化管理的最高机关。国家标准是全国通用标准,是国家指令性技术文件,各级生产、设计、施工等部门,均必须严格遵照执行,行业标准是在全国某一行业范围内使用的标准。

各级标准都有各自的部门代号,例如:GB——国家标准;JGJ——住建部行业标准;JC——国家建材行业标准;JG——建筑工业行业标准;YB——冶金行业标准;JT——交通行业标准;SD——水电行业标准;ZB——国家级专业标准;CCES——中国土木工程学会标准;CECS——中国工程建设标准化协会标准;DB——地方标准;QB——企业标准。

我国的土木工程标准还分为强制性标准和推荐性标准两类;强制性标准具有法律属性,在规定的使用范围内必须严格执行;推荐性标准具有技术上的权威性、指导性,是自愿执行的标准,它在合同或行政文件确认的范围内也具有法律属性。

标准的表示方法是由标准名称、部门代号、编号和批准年份等组成,例如:国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119—2013)。标准的部门代号为 GB,编号为 50119,批准年份为 2013 年。国家推荐标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)。其中 GB 为标准部门代号,T 为推荐性标准代号,编号为 50081,批准年份为 2002 年。

各个国家均有自己的国家标准,例如“ANSI”代表美国国家标准(“ASTM”是美国试验与材料协会标准)、“JIS”代表日本国家标准、“BS”代表英国标准、“NF”代表法国标准、“DIN”代表德国标准等。另外,在世界范围内统一执行的标准称为国际标准,其代号为“ISO”。

材料标准化就必须与建筑模数联系起来。模数分基本模数和导出模数,导出模数又分扩大模数和分模数。其中基本模数是模数协调中的基本单位尺寸,其值为 100 mm,符号为 M,即 $1\text{ M}=100\text{ mm}$,整个建筑物和建筑物的一部分以及建筑物组合件的模数化尺寸,应是基本模数的倍数。扩大模数是基本模数的整倍数,例如 3 M、6 M、12 M、15 M、60 M,相应尺寸为 300 mm、600 mm、1200 mm、1500 mm、6000 mm。分模数是整数除基本模数的数值,例如 $\frac{1}{10}\text{ M}$ 、 $\frac{1}{5}\text{ M}$ 、 $\frac{1}{2}\text{ M}$,相应尺寸为 10 mm、20 mm、50 mm。



复习思考题

- 1.1 材料按照化学成分分为哪几类?
- 1.2 我国土木工程技术标准有哪些?
- 1.3 我国技术标准的表示方法是什么?
- 1.4 模数分为哪几类?
- 1.5 什么是基本模数?

2 材料的基本性质

【重要知识点】

1. 密度、表观密度(容重)、孔隙率、空隙率、含水量(率)、强度的概念。
2. 根据外力形式不同进行强度分类,抗压、抗拉和抗剪强度计算公式,水泥胶砂试件抗折强度计算公式,水泥混凝土路面抗折强度计算公式。
3. 全面理解抗压、抗拉和抗剪强度计算公式的应用,领会强度单位 MPa 的深刻含义。

2.1 材料的物理性质

2.1.1 材料的密度、表观密度和堆积密度

(1) 材料的密度

材料在绝对密实状态下单位体积的质量(俗称重量)称为材料的密度,用公式(2.1)表示。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

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 ——干燥材料在绝对密实状态下的体积(cm^3)。

材料在绝对密实状态下的体积是指不包括材料内部孔隙的固体物质本身的体积,亦称实体积。建筑材料中除钢材、玻璃、沥青等外,绝大多数材料均含有一定的孔隙。作为理论研究,测定含孔隙材料的密度时,须将材料磨成细粉(粒径小于 0.02 mm),经干燥后用李氏瓶测得其实际体积。材料磨得愈细,测得的密度值愈精确。

(2) 材料的表观密度

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),用公式(2.2)表示。

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (2.2)$$

式中 ρ_0 ——材料的表观密度(kg/m^3);

m ——材料在干燥状态下的质量(kg);

V_0 ——材料在自然状态下的体积(m^3)。

材料在自然状态下的体积是指材料的实体积与材料内所含全部孔隙体积之和。对于外形规则的材料,其表观密度测定很简单,只要测得材料的质量和体积(用尺量测)即可算得。不规则材料的体积要采用排水法求得,但材料表面应预先涂上蜡,以防水分渗入材料内部而使测值不准。土木工程中常用的砂、石材料,其颗粒内部孔隙极少,用排水法测出的颗粒体

积与其实体积基本相同,所以,砂、石的表观密度可近似地视作其密度,常称视密度。

材料表观密度的大小与其含水情况有关。当材料含水时,其质量增大,体积也会发生不同程度的变化。因此测定材料表观密度时,须同时测定其含水率,并予以注明。通常材料表观密度是指气干状态下的表观密度。材料在烘干状态下的表观密度称为干表观密度。

(3) 材料的堆积密度

散粒材料在自然状态下单位体积的质量称为堆积密度(或称松装密度),用公式(2.3)表示。

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (2.3)$$

式中 ρ'_0 ——散粒材料的堆积密度(kg/m^3);

m ——散粒材料的质量(kg);

V'_0 ——散粒材料在自然堆积状态下的体积(m^3)。

散粒材料在自然堆积状态下的体积,指既含颗粒内部的孔隙又含颗粒之间空隙在内的总体积。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求得。若以捣实体积计算时,则称紧密堆积密度。

大多数材料或多或少有些孔隙,故一般材料的表观密度总是小于其密度。

土木工程中在计算材料用量、构件自重、配料和材料堆场体积或面积,以及计算运输材料的车辆时,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、表观密度和堆积密度如表 2.1 所示。

表 2.1 常用土木工程材料的密度、表观密度和堆积密度

材料	密度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	表观密度($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	堆积密度($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
钢	7.8~7.9	7850	—
花岗岩	2.7~3.0	2500~2900	—
石灰石	2.4~2.6	1600~2400	1400~1700(碎石)
砂	2.5~2.6	—	1500~1700
水泥	2.8~3.1	—	1100~1300
烧结普通砖	2.6~2.7	1600~1900	—
烧结多孔砖	2.6~2.7	800~1480	—
红松木	1.55~1.60	400~600	—
泡沫塑料	—	20~50	—
玻璃	2.45~2.55	2450~2550	—
铝合金	2.7~2.9	2700~2900	—
普通混凝土	—	1950~2600	—

2.1.2 材料的孔隙率与空隙率

(1) 孔隙率

材料内部孔隙的体积占材料总体积的百分率,称为材料的孔隙率(P_0),用公式(2.4)表示。

$$P_0 = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% \quad (2.4)$$

式中符号意义同前。

材料的孔隙率的大小直接反映材料的密实程度,孔隙率大,则密实度小。孔隙率相同的材料,它们的孔隙特征(即孔隙构造与孔径)可以不同。按孔隙构造,材料的孔隙可分为开口孔和闭口孔两种,两者孔隙率之和等于材料的总孔隙率。按孔隙的尺寸大小,又可分为微孔、细孔及大孔三种。不同的孔隙对材料的性能影响各不相同。土木工程中对需要保温隔热的建筑物或部位,要求其所用材料的孔隙率要较大。相反,对要求高强或不透水的建筑物或部位,则其所用的材料孔隙率应很小。

(2) 空隙率

散粒材料(如砂、石子)堆积体积(V'_0)中,颗粒间空隙体积所占的百分率称为空隙率(P'_0),用公式(2.5)表示。

$$P'_0 = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} \times 100\% = (1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}) \times 100\% \quad (2.5)$$

式中符号意义同前。

2.1.3 材料与水有关的性质

(1) 亲水性与憎水性

当材料与水接触时可以发现,有些材料能补水润湿,有些材料则不能补水润湿,前者称具有亲水性,后者称具有憎水性。

材料产生亲水性的原因是因其与水接触时,材料与水之间的分子亲和力大于水本身分子间的内聚力所致。当材料与水接触,材料与水之间的亲和力小于水本身分子间的内聚力时,则材料表现为憎水性。

材料被水湿润的情况可用润湿边角 θ 表示。当材料与水接触时,在材料、水、空气三相交汇处,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2.1所示。

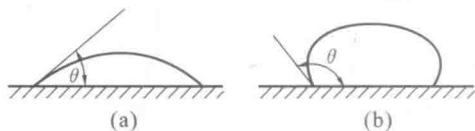


图 2.1 材料润湿示意图

(a) 亲水性材料; (b) 憎水性材料

θ 角愈小,表明材料愈易被水润湿。试验证明,当 $\theta \leq 90^\circ$ 时,材料能被水润湿而表现出亲水性。当 $\theta > 90^\circ$ 时,材料表面不易吸附水,表现出憎水性。上述概念也适用于其他液体对固体的润湿情况,相应地称之为亲液材料和憎液材料。

亲水性材料易被水润湿,且水能通过毛细管作用而被吸入材料内部。憎水材料则能阻止水分渗入毛细管中,从而降低材料的吸水性。憎水性材料常被用作防水材料,或用作亲水性材料的覆面层,提高其防水、防潮性能。土木工程材料常为亲水性材料,如水泥、混凝土、砂、石、砖、木材等,只有少数材料如沥青、石蜡及某些塑料等为憎水性材料。不同材料的毛细水沿毛细管上升的高度不一样,一般来说亲水性材料毛细水上升高度较大,憎水性材料毛细水上升的高度较小,比如黏土毛细水上升高度为0.5~0.7 m,砂砾石毛细水上升高度为0.2~0.5 m,所以砂砾石填料比黏土更透水、更防潮,砂砾石是建筑工程和公路工程中很好的填料和换填材料,也是透水性材料。

(2) 材料的吸水性和吸湿性

① 吸水性

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

a. 质量(重量)吸水率

质量吸水率是指材料在吸水饱和时,内部所吸水分的质量占材料干质量的百分率,用公式(2.6)表示。

$$W_m = \frac{m_b - m_g}{m_g} \times 100\% \quad (2.6)$$

式中 W_m ——材料的质量吸水率(%);

m_b ——材料在吸水饱和状态下的质量(g);

m_g ——材料在干燥状态下的质量(g)。

b. 体积吸水率

体积吸水率是指材料在吸水饱和时,其内部所吸水分的体积占干燥材料自然体积的百分率,用公式(2.7)表示。

$$W_v = \frac{m_b - m_g}{V_0} \times \frac{1}{\rho_w} \times 100\% \quad (2.7)$$

式中 W_v ——材料的体积吸水率(%);

V_0 ——干燥材料在自然状态下的体积(cm^3);

ρ_w ——水的密度(g/cm^3),在常温下取 $\rho_w = 1 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

土木工程材料一般采用质量吸水率。质量吸水率与体积吸水率之间的关系见公式(2.8)。

$$W_v = W_m \times \rho_0 \quad (2.8)$$

式中符号意义同前。

材料中所吸水分是通过开口孔隙吸入的,开口孔隙愈大,材料的吸水量愈多。由此可知,材料吸水达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和孔隙特征有关。对于细微连通孔隙,孔隙率愈大,则吸水率愈大。闭口孔隙水分不能进去,而开口大孔虽然水分易进入,但不能存留,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,如花岗岩的吸水率只有 0.5%~0.7%,混凝土的吸水率为 2%~3%,烧结黏土砖的吸水率达 8%~20%,而木材的吸水率可超过 100%。

② 吸湿性

材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性。潮湿材料在干燥的空气中也会放出水分,称为还湿性。材料的吸湿性用含水率表示。含水率是指材料内部所含水的质量占材料干质量的百分率。含水率是建筑材料中的一个重要概念,具有重要的理论意义和实际意义。其分母强调的是干材料的质量而不是干材料和含水的总质量。含水率用公式(2.9)表示。

$$W_h = \frac{m_s - m_g}{m_g} \times 100\% \quad (2.9)$$