



新世纪网络课程建设工程

土木工程材料

■ 苏达根 主 编



高等教育出版社

新世纪网络课程建设工程

土木工程材料

苏达根 主编

高等教育出版社

内容提要

本书共 10 部分,包括:土木工程材料基本性质、建筑金属材料、无机胶凝材料、混凝土与砂浆、砌体材料、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。本书各章均有学习指导、创新漫谈、练习题及解答;各节均有工程实例分析。

本书不仅有利于学生学习土木工程材料知识,而且注重培养学生的创新精神,提高分析解决问题的能力,增强综合素质。

本书可作为高等学校土木工程专业及相关专业的本科教材,还可供土木工程设计、施工、科研、管理和监理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/苏达根主编. —北京:高等教育出版社,2003.8

ISBN 7-04-013106-4

I.土... II.苏... 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(2003)第 047751 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷 北京乾洋印刷有限公司

开 本 787×960 1/16
印 张 20.5
字 数 380 000

版 次 2003 年 8 月第 1 版
印 次 2003 年 8 月第 1 次印刷
定 价 23.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书是以高等学校土木工程专业委员会 2001 年 11 月制定的《土木工程材料教学大纲》为基本依据,适应原来建筑工程和交通土建工程等八个专业拓宽为土木工程专业的需求,参考国家现行的标准、规范和规程编著而成。与本书配套的教学资源有新世纪网络课程、CAI 课件、学习辅导书等。

编写本教材的指导思想不仅是在内容上尽可能反映本学科国内外的新成就和我国有关的新标准、新规范,更重要的是紧密结合人才培养模式的改革,不仅培养学生掌握有关的专业知识和基本技能,而且培养其分析、解决问题的能力,培养创新精神,提高综合素质,实现“知识、能力、素质”的有机统一,科技与人文教育结合。本书具有如下特点:

(1) 每节均有工程实例分析,以引导学生理论联系实际,培养分析解决实际问题的能力。

(2) 每章设有创新漫谈专栏,提出挑战性的问题,漫谈土木工程材料的发展应用,让学生思考讨论,以激发培养创新意识。

(3) 本书将学生的课程小论文引入教材,以激发学生的学习积极性。

(4) 本书将试验作为重要的组成部分。其中提出了几项综合设计试验,并设置问题与讨论,学生可根据需要选择。其目的不仅是培养学生掌握基本的试验技能,更重要的是培养其综合素质和能力。

(5) 全书突出了土木工程材料的环保问题,讨论了 2002 年实施的“室内装饰装修材料有害物质限量”10 项国家标准等,以增强学生的环保意识。

(6) 每章均有学习指导栏,指出了教学大纲所要求的教学目标,并提出学习建议;每章设置习题并附参考答案,以方便学生学习。

(7) 本书的内容适应拓宽后的土木工程专业的需要,并尽可能反映本学科国内外的新成就和有关的新标准、新规范。

本书由苏达根主编。清华大学朱金铨教授审阅了本教材,并提出了宝贵意见。绪论、第 2 章至第 6 章由苏达根(华南理工大学)编写;第 1 章由张志杰(华南理工大学)编写;第 7 章由张志杰、黄承亚(华南理工大学)编写;第 8 章由柯昌君(长江大学)、曹德光(广西大学)编写;第 9 章由林少敏(华南理工大学)、程从密(广州大学)、曹德光编写、试验部分由程从密、张慧珍(广东工业大学)、柯昌君(长江大学)编写。华南理工大学范志宏、刘艳红、陈中华、朱锦辉、陈懿懿、孙涛、

II 前 言

蔡宪功、宁丁力、丁焕朗和广西大学杨占印也参加了部分工作或提出宝贵意见。本书在编写过程中得到高等教育出版社、华南理工大学等的大力帮助,在此一并表示感谢。

由于土木工程材料的品种繁多,新材料发展快,且各行业技术标准不完全一致,又由于限于编者水平有限,故书中如有不妥之处,尚祈广大师生、读者提出宝贵意见。

编者

2003年6月

目 录

绪论	1
0.1 土木工程材料的范畴和分类	1
0.2 土木工程与材料的关系	2
0.3 土木工程材料的学习方法与要求	3
第1章 土木工程材料基本性质	5
1.1 材料的物理性质	5
1.2 材料的力学性质	14
1.3 材料的耐久性与环境协调性	17
1.4 材料的组成、结构、构造及其对性能的影响	19
[创新漫谈 1-1] 高强度和高韧性的结合——钢筋混凝土的诞生	23
[创新漫谈 1-2] 因地制宜用材的万里长城	23
练习题(1)	24
第2章 建筑金属材料	25
2.1 钢材的分类	25
2.2 建筑钢材的主要技术性能	27
2.3 钢材的组成结构及其对性能的影响	33
2.4 钢材的强化与加工	35
2.5 土木工程常用金属材料的性质及应用	38
2.6 钢材的腐蚀与防护	49
[创新漫谈 2-1] 钢结构建筑的防火及防袭击	51
[创新漫谈 2-2] 建桥用的金属材料漫谈	52
练习题(2)	52
第3章 无机胶凝材料	54
3.1 石灰	55
3.2 石膏	59
3.3 其他气硬性胶凝材料	63
3.4 硅酸盐水泥	66
3.5 其他通用水泥	74
3.6 特性水泥和专用水泥	78
[创新漫谈 3-1] 新型无机胶凝材料——土聚水泥	84
练习题(3)	84

第4章 混凝土与砂浆	86
4.1 普通混凝土的组成材料	87
4.2 混凝土拌合物的性能	104
4.3 硬化后混凝土的性能	110
4.4 普通混凝土的配合比设计及质量控制	125
4.5 其他种类混凝土及其新进展	136
4.6 砂浆	141
[创新漫谈 4-1] 钢筋混凝土海水腐蚀防治	151
[创新漫谈 4-2] 月球上的建筑材料	152
[创新漫谈 4-3] 自愈合混凝土	152
练习题(4)	152
第5章 砌体材料	154
5.1 砖	154
5.2 砌块及墙体材料的发展	160
5.3 砌筑石材	165
[创新漫谈 5-1] 提高灰砂砖与砂浆粘结强度问题	168
练习题(5)	168
第6章 沥青和沥青混合料	170
6.1 沥青材料	170
6.2 沥青混合料	183
[创新漫谈 6-1] 沥青路面的水损害	201
练习题(6)	202
第7章 合成高分子材料	204
7.1 合成高分子材料的分子特征及性能特点	204
7.2 土木工程中的高分子材料	207
[创新漫谈 7-1] 高分子复合材料在土木工程中的应用漫谈	215
[创新漫谈 7-2] 既非玻璃亦非钢的玻璃钢	215
练习题(7)	216
第8章 木材	217
8.1 木材的分类与构造	217
8.2 木材的性能及应用	219
8.3 木材的防护与防火	223
[创新漫谈 8-1] 木材的改性及环保	224
[创新漫谈 8-2] 木结构住宅	224
练习题(8)	225
第9章 建筑功能材料	226
9.1 建筑防水堵水材料	226
9.2 绝热材料	234

9.3 吸声隔声材料	236
9.4 建筑装饰材料	239
9.5 建筑功能材料的新发展	246
[创新漫谈 9-1] 绿色建材与健康家居	248
[创新漫谈 9-2] 吸音混凝土	249
练习题(9)	249
土木工程材料试验	251
综合设计试验 1 普通混凝土配合比设计试验	251
综合设计试验 2 泵送混凝土配合比设计试验	253
综合设计试验 3 热拌沥青混合料目标配合比设计试验	255
试验 1 土木工程材料基本物理性质试验	256
试验 2 建筑钢材试验	259
试验 3 水泥技术性能试验	263
试验 4 建筑用砂石试验	272
试验 5 普通混凝土试验	280
试验 6 砂浆试验	286
试验 7 加气混凝土力学性能试验	289
试验 8 石油沥青试验	291
试验 9 公路工程集料筛分试验	297
试验 10 沥青混合料试验	301
练习题参考答案	311
参考文献	318

绪 论

0.1 土木工程材料的范畴和分类

0.1.1 土木工程材料的范畴

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,它包括三个部分: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。

0.1.2 土木工程材料的分类

1. 按化学组成分类

土木工程材料种类繁多,分类方法多样。最基本的分类方法是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大类。各大类又可细分为许多小类,具体分类如表 0-1 所示。

表 0-1 土木工程材料按化学组成分类

无机材料	金属材料	黑色金属:铁、碳素钢、合金钢等 有色金属:铝、铜等及其合金等
	非金属材料	天然石材:石板、碎石、砂等 烧结制品:陶瓷、砖、瓦等 玻璃及熔融制品:玻璃、玻璃棉、矿棉等 胶凝材料:石灰、石膏、水泥等
有机材料	植物质材料	木材、竹材、植物纤维及其制品
	高分子材料	有机涂料、橡胶、胶粘剂、塑料
	沥青材料	石油沥青、煤沥青、沥青制品

续表

复合材料	金属-非金属材料	钢纤维混凝土、钢筋混凝土等
	无机非金属-有机材料	玻璃纤维增强塑料、聚合物混凝土、沥青混凝土等

2. 按使用功能分类

通常分为承重结构材料、非承重结构材料和功能材料三大类。

(1) 承重结构材料。主要指梁、板、基础、墙体和其他受力构件所用的建筑材料。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等。

(3) 功能材料。主要有防水材料、防火材料、装饰材料、绝热材料、吸声隔声材料等。

0.2 土木工程与材料的关系

0.2.1 材料是保证土木工程质量的基礎

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員必須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;推荐性国家标准表示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。

0.2.2 材料对土木工程造价的影响

在一般土木建筑工程的总造价中,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

掌握土木建筑工程材料知识,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。

0.2.3 材料对土木建筑工程技术进步起促进作用

在土木建筑工程建设过程中,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,是决定土木建筑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建筑工程技术的进步。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、泥土和木材,使得钢筋混凝土结构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。

0.3 土木工程材料的学习方法与要求

0.3.1 按主线点面结合有重点地学习

“土木工程材料”是一门实用性较强的课程,学习时需以材料组成、结构、性能与应用为主线。重点是掌握性能与应用,而对材料的生产只作一般性的了解。土木工程材料种类繁多,需要学习和研究的内容范围很广。因此,对其学习不应面面俱到,平均分配力量,而应有重点地、点面结合地进行学习。

本书每章均有学习指导,指出了教学大纲所要求的学习目标、学习难点,并提出了学习建议。学生可以此为重点,点面结合地学习。本书在内容安排上根据轻重已作了详略的处理。如墙体材料突出了新型墙体材料,而对普通粘土烧结砖则予以淡化等。

本课程的学习重点是掌握土木工程材料的性能及其应用。但不可以仅满足于地知道该材料具有哪些性质,有哪些表象,重要的是理解形成这些性质的内部原因、外部原因和这些性能之间的相互关系,从而更好地加以应用。并注意对各材料的性能比较,而对于具体的数据做到能够查找即可。

0.3.2 知识、能力和素质的有机统一

学习本课程不仅仅是为了掌握有关的专业知识和基本技能,更重要的是培养学生分析、解决问题的能力,培养创新精神,提高综合素质。

本书每节均有工程实例,这是为了引导学生理论联系实际,培养分析解决实

际问题的能力。建议在阅读案例的基本情况后,先联系有关的知识独立思考,再阅读其原因分析。且应当多观察身边的工程实际问题,理论联系实际地学习。其中有些是往届学生的课程小论文,相信对同学们的学习也会有所启迪。

在学习完每一章后,对习题与讨论亦应认真思考,并可对照所附参考答案。这些习题大多源自工程实际,在此过程中不仅可使学生加深对基本原理、基本知识的理解,而且有利于培养学生分析、解决工程实际问题的能力。

本书每章设有创新漫谈专栏,提出具有挑战性的问题,漫谈土木工程材料的发展与应用,让学生思考讨论,激发培养创新意识。

试验部分设有综合设计试验,其目的不仅是使学生掌握基本的试验技能,更重要的是培养学生的综合素质,为日后从事有关的科技工作打下基础。

学习本课程还需充分注意土木工程材料的环保问题,强化环保意识,提高工程综合素质。

第 1 章 土木工程材料基本性质

学习指导

本章共 4 节。本章的学习目标是：

- (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 材料的物理性质

1.1.1 密度、表观密度、体积密度和堆积密度

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 ;

m ——材料的质量(干燥至恒重), g ;

V ——材料在绝对密实状态下的体积, cm^3 。

除了钢材、玻璃等少数材料外,绝大多数材料内部都有一些孔隙。在测定有孔隙材料(如砖、石等)的密度时,应把材料磨成细粉,干燥后,用李氏瓶测定其绝对密实体积。材料磨得越细,测得的密实体积数值就越精确。

另外,工程上还经常用到相对密度,是指材料的密度与 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 纯水密度之比。

2. 表观密度

表观密度是指单位体积(含材料实体及闭口孔隙体积)材料的干质量,也称视密度。按下式计算:

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

式中 ρ_0 ——材料的表观密度, kg/m^3 或 g/cm^3 ;

m ——材料的质量, kg 或 g ;

V_0 ——材料在包含闭口孔隙条件下的体积(即只含内部闭口孔,不含开口孔),如图 1-1 所示, m^3 或 cm^3 。

通常,材料在包含闭口孔隙条件下的体积是采用排液置换法或水中称重法测量。

3. 体积密度

体积密度是指材料在自然状态下单位体积(包括材料实体及其开口孔隙、闭口孔隙)的质量,俗称容重。体积密度可按下式计算:

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

式中 ρ' ——材料的体积密度, kg/m^3 或 g/cm^3 ;

m ——材料的质量,按有关标准规定,该质量是指自然状态下的气干质量,即将试件置于通风良好的室内存放 7 d 后测得的质量, kg 或 g ;

V' ——材料在自然状态下的体积,包括材料实体及内部孔隙(开口孔隙和闭口孔隙),如图 1-1 所示, m^3 或 cm^3 。

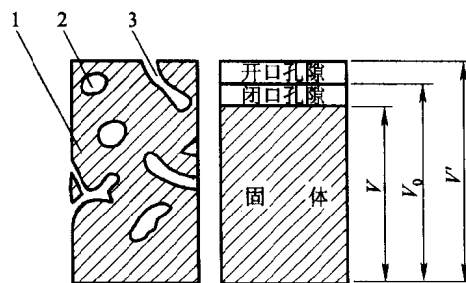


图 1-1 材料体积示意图

1—固体;2—闭口孔隙;3—开口孔隙

对于规则形状材料的体积,可用量具测得。例如加气混凝土砌块的体积是逐块量取长、宽、高三个方向的轴线尺寸,计算其体积。对于不规则形状材料的体积,可用排液法或封蜡排液法测得。

毛体积密度是指单位体积(含材料的实体成分及其闭口孔隙、开口孔隙等物

质材料表面轮廓线所包围的毛体积)材料的干质量。因其质量是指试件烘干后的质量,故也称干体积密度。

4. 堆积密度

堆积密度是指散粒状材料单位堆积体积(含物质颗粒固体及其闭口、开口孔隙体积及颗粒间空隙体积)物质颗粒的质量,有干堆积密度及湿堆积密度之分。堆积密度可按式计算:

$$\rho_1 = \frac{m}{V_1} \quad (1-4)$$

式中 ρ_1 ——材料的堆积密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

V_1 ——材料的堆积体积, m^3 。

材料的堆积体积包括材料绝对体积、内部所有孔体积和颗粒间的空隙体积。材料的堆积密度反映散粒结构材料堆积的紧密程度及材料可能的堆放空间。

需要说明的是,国家标准 GB/T 14684—2001《建筑用砂》及 GB/T 14685—2001《建筑用卵石、碎石》中,表观密度以 ρ_0 表示,堆积密度以 ρ_1 表示。但在交通行业标准 JTJ 058—2000《公路工程集料试验规程》中,集料表观密度以 ρ_a 表示,集料毛体积密度以 ρ_b 表示。尽管表示符号有差异,但其定义与本教材是一致的。

常用建筑材料的密度、表观密度和堆积密度如表 1-1 所示。

表 1-1 常用建筑材料的密度、表观密度与堆积密度

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	1 800~2 600	—
花岗岩	2.60~2.80	2 500~2 700	—
碎石(石灰岩)	2.60	—	1 400~1 700
砂	2.60	—	1 450~1 650
粘土	2.60	—	1 600~1 800
普通粘土砖	2.50~2.80	1 600~1 800	—
粘土空心砖	2.50	1 000~1 400	—
水泥	3.10	—	1 200~1 300
普通混凝土	—	2 100~2 600	—
钢材	7.85	7 850	—
木材	1.55	400~800	—
泡沫塑料	—	20~50	—

1.1.2 材料的孔隙率和空隙率

1. 孔隙率与密实度

材料的孔隙率是指材料中的孔隙体积占材料自然状态下总体积的百分率, 它以 P 表示。孔隙率按下式计算:

$$P = \frac{V' - V}{V'} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-5)$$

密实度是与孔隙率相对应的概念, 指材料体积内被固体物质充实的程度, 用符号 D 表示, 按下式计算:

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

孔隙率的大小直接反映了材料的致密程度。材料的许多性质如强度、热工性质、声学性质、吸水性、吸湿性、抗渗性、抗冻性等都与孔隙有关。这些性质不仅与材料的孔隙率大小有关, 而且与材料的孔隙特征有关。孔隙特征是指孔的种类(开口孔与闭口孔)、孔径的大小及孔的分布是否均匀等。

对应于开口孔和闭口孔的孔隙率分别称为开口孔隙率(P_k)和闭口孔隙率(P_b), 即

$$P_k = \frac{V_k}{V'} \times 100\% \quad (1-7)$$

$$P_b = P - P_k \quad (1-8)$$

式中 V_k ——指开口孔的体积。

2. 材料的空隙率与填充率

材料空隙率是指散粒状材料在堆积体积状态下颗粒固体物质间空隙体积(开口孔隙与间隙之和)占堆积体积的百分率, 它以符号 P' 表示。空隙率可按下式计算:

$$P' = \frac{V_1 - V_0}{V_1} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (1-9)$$

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。当计算混凝土中粗集料的空隙率时, 由于混凝土拌合物中的水泥浆能进入石子的开口孔内, 开口孔体积也算空隙体积的一部分, 因此这时应按石颗粒的体积密度 ρ_0 来计算。

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, 用符号 D' 表示, 按下式计算:

$$D' = \frac{V'}{V_1} \times 100\% = \frac{\rho_1}{\rho} \times 100\% \quad (1-10)$$

1.1.3 材料与水有关的性质

1. 亲水性与憎水性

水分与不同固体材料表面之间相互作用的情况是不同的。当水与材料接触时,在材料、水和空气三相交点处,沿水表面的切线与水与固体接触面所成的夹角 θ 称为润湿角(图1-2)。 θ 越小,浸润性越好。当润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 时,水分子之间的内聚力小于水分子与材料分子间的相互吸引力,这种性质称为材料的亲水性。具有这种性质的材料称为亲水性材料(图1-2a)。当润湿角 $\theta > 90^\circ$ 时,水分子之间的内聚力大于水分子与材料分子间的吸引力,则材料表面不会被水浸润,这种性质称为材料的憎水性。具有这种性质的材料称为憎水性材料(图1-2b)。建筑材料中水泥制品、玻璃、陶瓷、金属材料、石材等无机材料和部分木材等为亲水性材料;沥青、油漆、塑料、防水油膏等为憎水性材料。

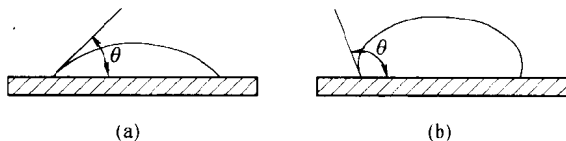


图1-2 材料的润湿角

(a)亲水性材料;(b)憎水性材料

2. 材料的吸水性与吸湿性

(1) 吸水性

材料的吸水性是指材料在水中吸收水分的性质。材料吸水饱和时的含水率称为材料的吸水率,吸水率有质量吸水率和体积吸水率两种表示方法。

1) 质量吸水率是指材料吸水饱和时,所吸收水分的质量占干燥材料质量的百分数,用下式表示:

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

式中 W_m ——质量吸水率, %;

m_g ——材料在干燥状态下的质量, g;

m_b ——材料在吸水饱和状态下的质量, g。

2) 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,用下式表示:

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

式中 W_v ——体积吸水率, %;