

高等学校建筑类教材

Gaodeng Xuexiao Jianzhulei Jiaocai

土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

主 编◎孙家瑛 副主编◎张乃心 耿 健 徐亦冬 陈 伟 主 审◎贺鸿珠



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

高等学校建筑类教材

Gaodeng Xuexiao Jianzhulei Jiaocai

土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

主 编 孙家瑛

副主编 张乃心 耿 健 徐亦冬 陈 伟

参 编 何智海 张利娟

主 审 贺鸿珠

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是一本综合性较强的土木工程材料领域的教材,为土木工程相关专业学生系统学习相关专业知识奠定了基础。本书的主要内容包括绪论、材料的基本性质、水硬性胶凝材料、气硬性无机胶凝材料、水泥混凝土、沥青及沥青混合料、建筑装饰材料等章节,各章节均选用了目前国内外及作者最新研究成果与实例,促使学生能够较快地理解和掌握知识点。

本书内容丰富、理论联系实际、实用性强、综合性强,可作为土木工程等相关专业师生的教材,也可供从事相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/孙家瑛主编. —重庆:重庆大学
出版社,2014.8
高等学校建筑类教材
ISBN 978-7-5624-8531-5

I. ①土… II. ①孙… 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(2014)第 187320 号

高等学校建筑类教材

土木工程材料

主 编 孙家瑛

副主编 张乃心 耿 健

徐亦冬 陈 伟

主 审 贺鸿珠

责任编辑:桂晓澜 版式设计:桂晓澜

责任校对:关德强 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆川外印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:16.75 字数:418 千

2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-8531-5 定价:32.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前 言

近年来,随着我国道路的大发展,与之相适应的土木工程材料也得到了一个大发展,陆续出现了一些新产品和新技术,如无熟料固体废弃物水硬性胶凝材料等,而为指导这些升级换代的新产品和新技术的生产使用,也出现了一个土木工程材料相关技术标准的制定更新的转型时期。为更好地学习、掌握土木工程材料的基本知识,以适应日新月异的道路工程技术发展需求,所以编写了本书。

本书由浙江大学宁波理工学院孙家瑛教授主编,各章编写人员如下:浙江大学宁波理工学院孙家瑛教授编写第2章土木工程材料的基本性质、第3章水硬性胶凝材料及负责全书统稿,四川大学锦城学院张乃心老师编写了第1章绪论和第7章墙体和屋面材料,绍兴文理学院何智海博士编写第4章气硬性无机胶凝材料,浙江大学宁波理工学院徐亦冬副教授编写第5章水泥混凝土的第1~2节,公安海警学院张利娟教授编写第5章水泥混凝土第3~6节,浙江大学宁波理工学院耿健副教授编写第6章建筑砂浆和第10章建筑装饰材料,浙江大学宁波理工学院陈伟工程师编写第8章建筑金属材料、第9章沥青与沥青混合料。

本书采用最新研究报道的科研和应用技术成果,结合最新技术标准,理论联系实际,突出创新性和实用性,并有代表性地介绍了土木工程材料最新的研究动态和发展方向,可作为土木工程各专业的教学用书,也可供土木工程设计、施工、监理、工程管理人员的参考学习。

由于土木工程材料相关技术发展很快,加之我们的水平有限,编写时间仓促,书中难免有不当之处,敬请读者批评指正。

编 者
2014年6月

目 录

1 绪 论	1
1.1 概述	2
1.2 土木工程材料在土木工程中的地位	2
1.3 我国土木工程材料的发展	3
1.4 土木工程材料的分类	4
1.5 土木工程材料的标准	5
1.6 本课程的内容和任务	6
习题	6
2 土木工程材料的基本性质	8
2.1 土木工程材料的物理性质	8
2.2 土木工程材料的力学性质	15
2.3 土木工程材料的耐久性	17
本章小结	18
习题	18
3 水硬性胶凝材料	21
3.1 硅酸盐水泥	22
3.2 掺混合材料的硅酸盐系水泥	35
3.3 硅酸盐系特种水泥	43
3.4 铝酸盐水泥	50
3.5 硫铝酸盐水泥	54
3.6 无熟料固体废弃物水硬性胶凝材料	56



本章小结	60
习题	60
4 气硬性无机胶凝材料	63
4.1 石膏	63
4.2 石灰	68
4.3 水玻璃	72
本章小结	73
习题	73
5 水泥混凝土	75
5.1 水泥混凝土概述	76
5.2 普通水泥混凝土的组成材料	78
5.3 普通水泥混凝土的技术性质	99
5.4 混凝土质量波动与配制强度	117
5.5 普通水泥混凝土配合比设计	120
5.6 混凝土技术新进展	128
本章小结	140
习题	140
6 建筑砂浆	144
6.1 建筑砂浆的组成	145
6.2 建筑砂浆的技术性质	146
6.3 砌筑砂浆	150
6.4 商品砂浆	154
本章小结	157
习题	157
7 墙体与屋面材料	159
7.1 墙体材料	160
7.2 屋面材料	169
本章小结	170
习题	171
8 建筑金属材料	172
8.1 钢材的分类	173
8.2 钢材的主要技术性能	174
8.3 钢材的化学成分对钢材性能的影响	178
8.4 钢材冷加工与时效	179
8.5 土木工程中常用的钢材	180
8.6 钢材的腐蚀与防护	193
8.7 土木工程中的其他金属材料	195
本章小结	197

习题	197
9 沥青与沥青混合料	201
9.1 沥青材料	202
9.2 沥青混合料	215
本章小结	227
习题	227
10 建筑装饰材料	229
10.1 概述	230
10.2 石材	231
10.3 木材	237
10.4 建筑陶瓷	248
10.5 建筑玻璃	251
10.6 建筑涂料	253
本章小结	256
习题	256
参考文献	258

1

绪 论

【教学要求】

知识要点	能力要求	相关知识
土木工程材料的大致分类	(1) 了解土木工程材料的分类 (2) 了解各种材料的大致用途	(1) 砂石材料 (2) 无机结合料及其制品 (3) 有机结合料及其混合料 (4) 钢材和木材 (5) 新型材料
土木工程材料在土木工程中的地位	(1) 了解土木工程材料的地位作用 (2) 了解土木工程材料的发展历史	(1) 材料决定了土建构造物的形式和施工方法 (2) 土木工程材料的发展历程
土木工程材料的不同分类方法	(1) 了解土木工程材料的不同分类方法 (2) 了解土木工程材料的不同性质和用途	(1) 按化学成分分类 (2) 按使用功能分类
土木工程材料标准类别	(1) 了解不同土木工程材料标准类别 (2) 了解不同标准表示方法	(1) 国家标准 (2) 行业标准 (3) 企业标准 (4) 地方标准 (5) 标准的表示方法

【基本概念】

砂石材料,无机结合料及其制品,有机结合料及其混合料,钢材和木材,新型材料,标准类



别,国家标准,行业标准,地方标准,企业标准,标准的表示方法

1.1 概述

任何土木工程建筑物都是用各种材料组成的,这些材料总称为土木工程材料。随着土木工程技术的发展,用于土木工程建筑的材料不仅在品种上日益增多,而且对其质量也不断提出新的要求。

1) 砂石材料

砂石材料有的是由地壳上层的岩石经自然风化得到的(天然砂砾),有的是经人工开采或再经轧制得到的(如各种不同尺寸的碎石和砂)。砂石材料可以直接用于土木工程结构物。同时,也是配制水泥混凝土或沥青混合料的矿质集料。

2) 无机结合料及其制品

在土木工程中最常用到的是无机结合料主要有石灰和水泥。特别是水泥,它与集料配制的水泥混凝土是钢筋混凝土和预应力混凝土结构的主要材料。此外,水泥砂浆是各种结构物砌筑的重要结合料。随着高级路面的发展,水泥混凝土路面已经成为高等级公路的主要路面类型之一。无机结合料稳定材料作为路面的基层或基层的主要材料类型已经取得了良好的使用效果。

3) 有机结合料及其混合料

有机结合料主要是指沥青类材料,如石油沥青、煤沥青等。这些材料与不同粒径的集料组配,可以修筑成各种类型的沥青混凝土路面。现代高速公路路面绝大部分是采用沥青混凝土修筑,所以沥青混合料是现代路面工程中极为重要的一种材料。

4) 钢材和木材

钢材是桥梁、钢结构及钢筋混凝土或预应力钢筋混凝土结构的重要材料。木材是土木工程施工拱架、模板及装饰的主要材料。

5) 新型材料

随着现代材料科学的进步,在这些常用材料的基础上,又发展了新型的复合材料、改性材料等。复合材料是两种或两种以上不同化学组成或组织相的物质,以微观和宏观的物质形式组合而成的材料。复合材料可以克服单一材料的弱点,而发挥其综合的性能。改性材料是通过物理或化学的途径对其使用性能进行综合处理,使其能满足实际的使用要求,如改性沥青等。同时,一些添加剂材料也在不断出现,为土木工程建设服务。

1.2 土木工程材料在土木工程中的地位

土木工程材料和建筑设计、建筑结构、公路、城市道路、建筑经济及建筑施工等学科分支

一样,是土木和交通运输工程学科极为重要的一部分,因为土木工程材料是土木工程的物质基础。一个优秀的土木工程师总是把建筑艺术和以最佳方式选用的土木工程材料融合在一起。土木工程师只有在很好地了解土木工程材料的性能后,才能根据力学计算准确地确定土建构件的尺寸和创造出先进的结构形式。要使土建结构的受力特性和材料特性有机统一,合理地使用土木工程材料。目前,在我国的土木工程的总造价中土木工程材料的费用占总费用的 50%~60%。而土木工程施工的全过程实质上是按设计要求把土木工程材料逐步变成建筑物的过程。它涉及材料的选用、运输、储存以及加工等方面。所以,从事土木工程的技术人员都必须了解和掌握土木工程材料有关技术知识,并使所采用的材料最大限度地发挥其效能,合理、经济地满足土木工程的各种要求。

从根本上说,材料是基础,决定了土建构造物的形式和施工方法。新材料的出现可以促进土建构造物形式的变化、设计方法的改进和施工技术的革新。

1.3 我国土木工程材料的发展

材料科学和材料(含土木工程材料)本身都是随着社会生产力和科技水平的提高而逐渐发展。自古以来,我国劳动者在土木工程材料的生产和使用方面曾经取得了许多重大成就。如始建于公元前 7 世纪的万里长城,所使用的砖石材料就达 1 亿立方米;福建泉州的洛阳桥是 900 多年前用石材建造的,其中一块石材达有 200 余吨;山西五台山木结构的佛光寺大殿已有千余年历史仍完好无损,等等。这些都有力证明了中国人民在土木工程材料生产、施工和使用方面的智慧和技巧。

新中国成立以来,特别是改革开放以后,我国土木工程材料生产得到了更迅速的发展。钢材生产已跻身于世界大国之列;水泥工业已由新中国成立前年产量不足百万吨的单一品种发展为品种、标号齐全、年产量突破 4 亿吨的水平;陶瓷材料也由过去的单一白色瓷器发展到有上千种花色品种的陶瓷产品,而且生产的高档配套建筑卫生陶瓷已可满足高标准建筑的需要;我国的玻璃工业也发展很快,普通玻璃已由新中国成立初期年产仅 108 万标箱发展到 1 亿余标箱,且能生产功能各异的新品种。随着生活水平的提高和住房条件的改善,装饰材料更是丰富多彩,产业蓬勃兴旺。

我国道路沥青的生产从无到有,目前有 3 个方面的生产力量:①中国石化总公司系统所属的炼油厂,这是主要的沥青供应渠道,生产的沥青约占全国的 3/4,其中道路沥青占 2/3;②中国石油天然气总公司系统的沥青厂,分属于各个油田,主要是几个稠油处理厂,10 年来沥青总产量增长了 10 倍,道路沥青增长了 20 倍,已占全国的 1/3;③地方化工部门及其他沥青厂。

我国的水泥、平板玻璃、建筑卫生陶瓷和石墨、滑石等部分非金属矿产品的产量已跃居世界第一。我国的水泥产量已占世界总产量的 24%,建筑陶瓷占 25%,卫生陶瓷占 16.7%,是名副其实的土木工程材料生产大国。但是必须看到,我国土木工程材料企业的总体科技水平、管理不平还是比较落后的。主要表现在:能源消耗大;劳动生产率低;产业结构落后、污染环境严重;集约化程度低;市场应变能力差等。因此,我国土木工程材料工业还处于“大而不



强”的状态。针对此情况,1995 年我国土木工程材料主管部门提出了土木工程材料工业“由大变强,靠新出强”的发展战略。其总目标是:力争用 30 ~ 40 年时间,逐步把建筑业建设成具有国际竞争能力,适应国民经济高度发展的现代化原材料及制品工业,与交通土建及建筑工程一起,成为国民经济的支柱产业。这个总目标的内容包括:①建设有我国特色的现代化的新技术结构,着力发展新技术、新工艺、新产品;②建设高效益的新产业结构,实现由一般产品向高质量产品,低档产品向中、高档产品,单一产品向配套产品的转变,使产品结构适应需求变化;③建设起新的现代化管理体制;④塑造一支适应现代化建设要求的新队伍。因此,我国的土木工程材料必将会发展更快,其产品的品种、质量和产量可极大地满足我国建设事业蓬勃发展的需要。

1.4 土木工程材料的分类

土木工程材料是指在土木工程中所使用的各种材料及其制品的总称。它是一切建筑工程的物质基础,是组成建筑结构物的最基本构成元素。由于土木工程的材料种类繁多、性质各异、用途不同,为了方便应用,工程中常从不同角度对土木工程材料作出分类。

► 1.4.1 按化学成分分类

根据材料的化学成分,可分为有机材料、无机材料、复合材料 3 大类,如表 1.1 所示。

表 1.1 土木工程材料按化学成分分类

分 类			实 例
无机材料	金属材料	黑色金属	钢、铁及其合金、合金钢、不锈钢等
	非金属材料	有色金属	铜、铝及其合金
		天然石材	砂、石及其制品
		烧土制品	黏土砖、瓦、陶瓷制品
		胶凝材料及制品	石灰、石膏及制品、水泥及混凝土制品、硅酸盐制品等
		玻璃	普通平板玻璃、特种玻璃等
		无机纤维材料	玻璃纤维、矿渣棉等
有机材料	植物材料		木材、竹材、植物纤维及其制品
	沥青材料		煤沥青、石油沥青及其制品等
	合成高分子材料		塑料、涂料、胶乳剂、合成橡胶等
复合材料	合成高分子材料		聚合物混凝土、玻璃纤维增强塑料等
	有机与无机非金属材料复合		钢筋混凝土、钢纤维混凝土等
	金属与有机材料复合		PVC 钢板、有机涂层铝合金板等

► 1.4.2 按使用功能分类

根据在建筑物中的部位或使用性能,土木工程材料大体上可分为3大类,即结构材料、墙体材料和功能材料。

1) 结构材料

主要用作承重结构的材料,如梁、板、柱、基础、框架及其他受力构件和结构等所用的材料都属于这一类。对这类材料主要技术性能的要求是强度和耐久性。目前,所用的主要结构材料有砖、石、水泥混凝土和钢材及两者的复合物——钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土。在相当长的时期内,钢筋混凝土及预应力钢筋混凝土仍是我国建筑工程中的主要结构材料。随着工业的发展,轻钢结构和铝合金结构所占的比例将会逐渐加大。

2) 墙体材料

墙体材料是指建筑物内、外及分隔墙体所用的材料,有承重和非承重两类。目前,我国大量采用的墙体材料为砌墙砖、混凝土及加气混凝土砌块等。此外,还有混凝土墙板、石膏板、金属板材和复合墙体等,特别是轻质多功能的复合墙板发展较快。

3) 功能材料

功能材料主要是指担负某些建筑功能的非承重用材料,如防水材料、绝热材料、吸声和隔声材料、采光材料、装饰材料等。这类材料的品种、形式繁多、功能各异,随着国民经济的发展以及人们生活水平的提高,这类材料将会越来越多地应用于建筑物上。

1.5 土木工程材料的标准

作为有关生产、设计应用、管理和研究机构应共同遵循的依据,几乎所有的土木工程材料均由专门机构制定并颁布相应的技术标准,为确保土木工程材料的质量,保证现代化生产和科学管理,必须对材料产品的各项技术制定统一的执行标准。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、运输和贮存注意事项等方面内容。

土木工程材料的标准是企业生产的产品质量是否合格的技术依据,也是供需双方对产品质量进行验收的依据。通过产品标准化就能按标准合理地选用材料,从而使设计、施工也相应标准化,同时可加快施工进度、降低造价。

1) 标准的类别

世界各国对土木工程材料的标准化都非常重视,均有自己的国家标准,如美国的 ASTM 标准、德国的 DIN 标准、英国的 BS 标准、日本的 JIS 标准等。另外,还有在世界范围统一使用的 ISO 国际标准。目前,我国常用的标准主要有国家级、行业(或部)级、地方级和企业级4类。

(1) 国家标准

国家标准有强制性标准(代号 GB)和推荐性标准(代号 GB/T)。强制性标准是全国必须执行的技术指导文件,产品的技术指标都不得低于标准中规定的要求。推荐性标准又称为非



强制性标准或自愿标准,是指生产、交换、使用等方面,自愿采用的一类标准。

(2) 行业标准

各行业(或主管部门)为了规范本行业的产品质量而制定的技术标准,也是全国性的指导文件。但它是由主管生产部门发布的,如建材行业标准(代号 JC),建工行业标准(代号 JG)、冶金行业标准(代号 YB)、交通行业标准(代号 JT)等。

(3) 地方标准

地方标准为地方主管部门发布的地方性技术指导文件(代号 DB),适于在该地区使用,且所定的技术要求应高于类似(或相关)产品的国家标准。

(4) 企业标准

企业标准是由企业制定发布的指导本企业生产的技术文件(代号 QB),仅适用于本企业。凡没有制定国家标准、部级标准的产品均应制定企业标准。而企业标准所定的技术要求应高于类似(或相关)产品的国家标准。

2) 标准的表示方法

标准的一般表示方法是由标准名称、部门代号、标准编号和颁布年份等组成。例如 2007 年制定的国家强制性 175 号硅酸盐水泥及普通硅酸盐水泥的标准为:《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007);2011 年制定的国家推荐性 14685 号建筑用卵石、碎石标准为:《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685—2011)。又如住房和城乡建设部 2011 年制定的 55 号行业标准为:《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011)。目前,主要土木工程材料标准内容大致包括材料质量要求和检验两大方面。

1.6 本课程的内容和任务

本课程是土木工程或其他相关专业的一门基础技术课,并兼有专业课的性质。课程的任务是学生通过学习,获得土木工程材料的基础知识,掌握土木工程材料技术性能和应用方法及其试验检测技能,同时对土木工程材料的储运和保护也有所了解,以便在今后的工作实践中能正确选择与合理使用土木工程材料,也为进一步学习其他有关的专业课打下的基础。

本书各章分别主要讲述各类土建结构的品种、基本组成、组成设计、技术性能和技术指标。为了教学方便,将按下述顺序对各种常用的土木工程材料进行讲授:土木工程材料的基本性质、水硬性胶凝材料、气硬性无机胶凝材料、水泥混凝土、建筑砂浆、墙体与屋面材料、建筑金属材料、沥青与沥青混合料、建筑装饰材料等。

习 题

一、填空题

1. 山西五台山木结构的_____已有千余年历史仍完好无损。
2. 根据材料的化学成分,土木工程材料可分为_____,_____,_____ 3 大类。

3. 根据在建筑物中的部位或使用性能,土木工程材料大体上可分为 3 大类,即_____。

4. 国家标准有强制性标准代号_____和推荐性标准代号_____。

5. 标准的一般表示方法是由_____等组成。

二、单选题

1. 有机结合料主要是指()。

- A. 沥青类材料 B. 复合材料 C. 木材 D. 改性材料

2. 土木工程材料的费用占总费用的()。

- A. 40% ~ 50% B. 50% ~ 60% C. 60% ~ 70% D. 70% ~ 80%

3. ()决定了土建构造物的形式和施工方法。

- A. 技术 B. 材料 C. 资金 D. 环境

4. 下列属于无机材料的是()。

- A. 黑色金属 B. 沥青材料 C. 植物材料 D. 合成高分子材料

5. 下列材料中可用作承重结构的是()。

- A. 加气混凝土 B. 塑料 C. 石膏板 D. 轻骨料混凝土

三、问答题

1. 根据在建筑物中的部位或使用性能,土木工程材料大体上可分为哪三大类,并举例说明。

2. 土木工程材料的标准类别有哪些,并写出它们的代号。

3. 请简述我国土木工程材料的发展状况,并说明材料发展趋势。

2

土木工程材料的基本性质

〔教学要求〕

知识要点	能力要求	相关知识
物理性质	(1)理解材料物理性质概念 (2)熟悉各物理量的计算公式 (3)了解各常见材料物理性质	(1)材料的密度 (2)材料的密实度、孔隙率和空隙率 (3)材料的热工性质 (4)材料与水有关的性质
力学性质	(1)理解材料力学性质概念 (2)熟悉材料力学计算公式	(1)材料的强度 (2)材料的弹性、塑性、黏性 (3)材料的硬度、耐磨性
土木工程材料的耐久性	(1)理解材料耐久性的概念 (2)了解材料腐蚀的类别 (3)了解减少腐蚀的措施	(1)物理作用 (2)化学作用 (3)生物作用

〔基本概念〕

材料的真实密度、表观密度与堆积密度,材料的密实度与孔隙率,亲水性与憎水性,导热性,比热容和热容量,材料的强度,材料的弹性、塑性、黏性,材料的硬度、耐磨性

2.1 土木工程材料的物理性质

在土建结构物中土木工程材料要承受各种不同的作用,因而要求土木工程材料具有相应

的不同性质。如用于土建结构物的材料要受到各种外力的作用,选用的材料应具有所需要的力学性能;又如根据土建结构物各种不同部位的使用要求,有些材料应具有防水、绝热、吸声、黏结等性能;对于某些土建结构物,要求材料具有耐热、耐腐蚀等性能;此外,对于长期暴露在大气中的材料,如路面材料,要求材料能经受风吹、日晒、雨淋、冰冻而引起的温度变化、湿度变化及反复冻融等的破坏作用。为了保证土建结构物的耐久性,要求土木工程师必须熟悉和掌握各种材料的物理性质和力学性质,在工程设计与施工中正确地选择和合理地使用材料。

► 2.1.1 材料的密度、表观密度与堆积密度

密度是指单位体积物质的质量,单位为 g/cm^3 或 kg/m^3 。由于材料所处的体积状况不同,有密度、表观密度和堆积密度之分。

1) 密度

密度是指材料在规定条件[$(105 \pm 5\text{ }^\circ\text{C})$ 烘干至恒重后冷却到温度 $20\text{ }^\circ\text{C}$]的绝对密实状态下(指不包括任何孔隙在内的体积)单位体积所具有的质量,按下式计算:

$$\rho = \frac{m_s}{V_s} \quad (2.1)$$

式中 ρ ——密度, g/cm^3 ;

m_s ——材料矿质实体的质量, g ;

V_s ——材料矿质绝对密实状态下的体积, cm^3 。

除了钢材、玻璃等少数接近于真实密度的材料外,绝大多数材料都有一些孔隙。在测定有孔隙的材料密度时应把材料磨成细粉(粒径小于 0.20 mm),经干燥后用李氏密度瓶测定其实体体积。材料磨得越细,测定的密度值越精确。

2) 表观密度

表观密度是单位体积(含材料的实体矿物及不吸水的闭口孔隙,吸水的开口孔隙在内的体积)材料所具有的质量,按下式计算:

$$\rho_a = \frac{m_s}{V_s + V_n} \quad (2.2)$$

式中 ρ_a ——表观密度, g/cm^3 ;

m_s, V_s ——意义同式(2.1);

V_n ——材料孔隙的体积, cm^3 。

3) 堆积密度

堆积密度(旧称松散容重)是指在粉状、粒状或纤维状态下单位体积(包含了颗粒的孔隙及颗粒之间的空隙)材料所具有的质量,按下式计算:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V_0} \quad (2.3)$$

式中 ρ'_0 ——堆积密度, g/m^3 ;

m ——材料的质量, g ;



V_0 ——材料的堆积体积, cm^3 。

计算材料用量、构件自重、配料计算及确定堆放空间时经常要得到材料的密度、表观密度和孔隙率等数据。常用土木工程材料的有关数据见表 2.1。

表 2.1 常用土木工程材料的密度、表观密度和孔隙率

材 料	密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	表观密度 $\rho_a/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	孔隙率 $P/\%$
石灰岩	2.60	1 800 ~ 2 600	—
花岗岩	2.80	2 500 ~ 2 700	0.5 ~ 3.0
碎石(石灰岩)	2.60	—	—
砂	2.60	—	—
黏土	2.60	—	—
普通黏土砖	2.50	1 600 ~ 1 800	20 ~ 40
黏土空心砖	2.50	1 000 ~ 1 400	—
水泥	2.50	—	—
普通混凝土	3.10	2 100 ~ 2 600	5 ~ 20
轻骨料混凝土	—	800 ~ 1 900	—
木材	1.55	400 ~ 800	55 ~ 75
钢材	7.85	7 850	0
泡沫塑料	—	20 ~ 50	—
玻璃	2.55	—	—

► 2.1.2 材料的密实度、孔隙率和空隙率

1) 密实度

密实度是指单位体积内被固体物质所充实的程度,也就是固体物质的体积占总体积的比例。密实度反映了材料的致密度,以 D 表示:

$$D = \frac{V_s}{V} \times 100\% \quad (2.4)$$

含有孔隙的固体材料的密实度均小于 1。材料的很多性能如强度、吸水性、耐久性、导热性等均与其密实度有关。

2) 孔隙率

孔隙率是指材料孔隙体积(包括不吸水的闭口孔隙、能吸水的开口空隙)与总体积之比,以 P 表示,可用下式计算:

$$P = \frac{V - V_s}{V} \times 100\% \quad (2.5)$$

孔隙率与密实度的关系为: