

高等院校土木工程专业系列教材

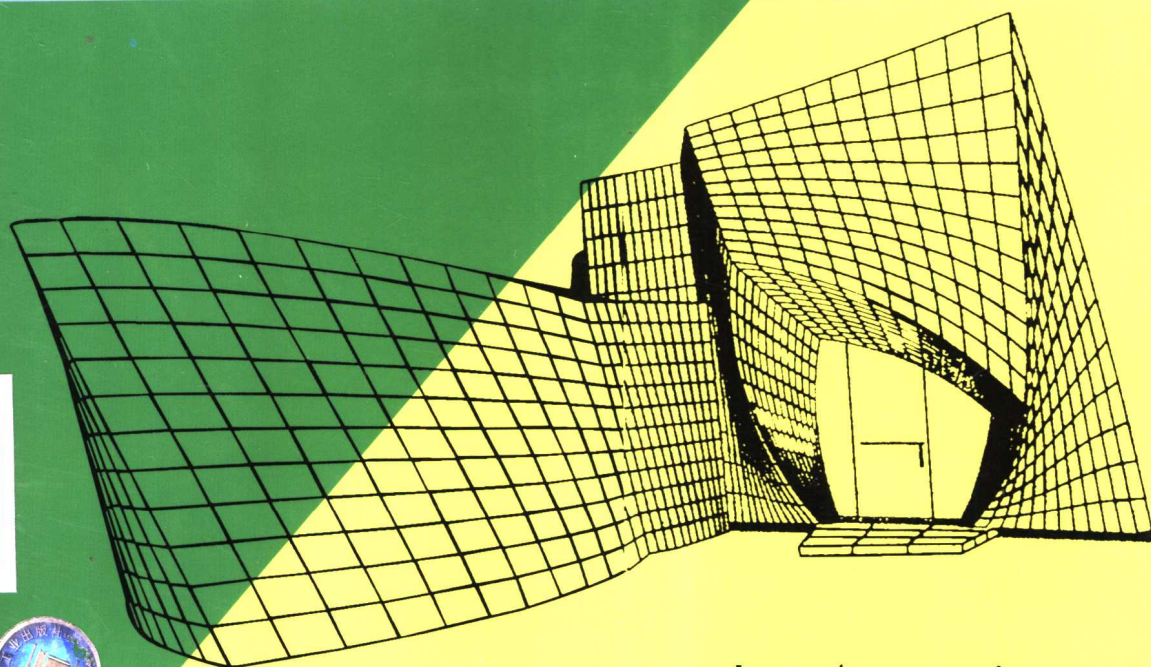
GAODENG YUANXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE XILIE JIAOCAI

土木建筑工程材料

tu mu jianzhu gongcheng cailiao

(修订版)

主编：赵方冉 副主编：阎西康 主审：许炳权



中国建材工业出版社



土木建筑工程材料

(修订版)

主 编 赵方冉

副主编 阎西康

主 审 许炳权

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

土木建筑工程材料/赵方冉主编. —2版. —北京:

中国建材工业出版社, 2003. 1

ISBN 7-80159-400-2

I. 土… II. 赵… 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 002465 号

内 容 提 要

本书主要是为高等学校土木工程专业学生编写的教材。书中重点介绍了有关土木建筑工程材料的基础理论和基本知识。还介绍了土木建筑工程中常用的水泥、石灰、水泥混凝土与砂浆、沥青与沥青混合料、钢材、木材、石材及墙体材料, 土建工程中常用的防水材料、装饰材料、有机高分子材料、新型人造材料以及未来绿色建筑材料的有关知识。此外, 书中也介绍了土木工程常见的材料试验方法和材料质量评定方法。

本书适于普通高等学校、成人高校土木工程专业的教学, 也适于作为其它土建类专业继续教育的教材。本书对正在从事土建工程的技术人员和管理人员也适合作为专业参考书。

土木建筑工程材料

主 编 赵方冉

副主编 阎西康

主 审 许炳权

*

中国建材工业出版社出版

(北京海淀区三里河路 11 号 邮政编码: 100831)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

北京丽源印刷厂印刷

*

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 15 字数: 366 千字

2003 年 1 月第二版 2003 年 1 月第一次印刷

印数: 1~4 000 册 定价: 22.50 元

ISBN 7-80159-400-2/TU·188

前 言

随着国家基本建设的快速发展, 社会对土建专业人才的数量与质量提出了更高的要求, 与之相应所需的有关知识面更为广泛, 知识更新的速度也在不断加快。本书是根据我国对土木工程专业课程设置和教学大纲的要求, 结合当前我国高校教育改革和建设发展的现状而编写的教材。

本书在 1999 年出版的第一版基础上进行了全面修订, 全书体现了紧密联系工程实际的特点。书中内容主要以国家对土木工程专业材料课程教学大纲的要求为依据, 结合当前土建工程对材料的要求, 力求反映当前最先进的技术与知识。因此, 在本书修订中进行了大量的修改补充, 除了引入最新规范和标准外, 对有关理论和材料知识也进行了更新与充实。

考虑我国建设形势的需要, 书中除主要介绍了土木工程等相关专业所必须的材料知识外, 也介绍了目前部分工程中对于工程质量和管理工作具有重要作用的相关知识。展望未来土木建筑工程的发展, 应该考虑到土木建筑工程材料的更新与发展, 为此本书还介绍了部分具有发展潜力的材料及有关知识。

参加本书修改编写的有赵方冉、赵庆新(第一章~第七章、第九章~第十三章)、阎西康(第八章)、宋长柏、陈朝霞(第十四章)。全书由赵方冉统稿, 许炳权审阅, 另外陈德鹏负责编写第十章的部分内容及试验五, 并负责全书的插图绘制工作。

有许多读者对第一版的内容提出了宝贵的建议, 在此表示衷心的感谢。如有不足之处, 敬请读者批评和指正。联系地址: 天津市河北工业大学 561 信箱, 邮编: 300132。

编 者
2002 年 12 月

目 录

第一章 导言	1
第二章 土木建筑工程材料的基本性质	5
第一节 材料的物理状态参数	5
第二节 材料的基本物理性质	8
第三节 材料的力学性质	13
第四节 材料的装饰性、化学性和耐久性	17
第三章 天然石材	19
第一节 岩石的形成与分类	19
第二节 工程砌筑石材	20
第三节 常用装饰石材	21
第四章 石灰与石膏	26
第一节 石灰	26
一、石灰的生产工艺概述	26
二、石灰的消化和硬化	27
三、石灰的技术要求和技术标准	27
四、石灰的应用与贮存	29
第二节 建筑石膏	30
一、石膏的分类	30
二、建筑石膏的生产	31
三、建筑石膏的水化与硬化	31
四、建筑石膏的技术性质	31
五、建筑石膏的应用	33
第五章 水泥	34
第一节 硅酸盐系水泥	34
一、硅酸盐系水泥的凝结硬化概念	34
二、硅酸盐系水泥的生产与组成	34
三、硅酸盐系水泥的水化、凝结与硬化机理	36
四、硅酸盐系通用水泥	38
五、硅酸盐系水泥的主要技术性质	40
六、硅酸盐系水泥的腐蚀与防腐蚀	42
七、硅酸盐系水泥的应用与保管	43
八、其它品种的硅酸盐系水泥	44
第二节 铝酸盐系水泥	47

第三节 硫铝酸盐系水泥	48
第六章 水泥混凝土	50
第一节 混凝土的发展概况	50
第二节 普通混凝土的组成材料	51
一、水泥	51
二、细集料	52
三、粗集料	56
四、混凝土用水	58
第三节 新拌混凝土混合料的性质	58
一、混凝土混合料的和易性	58
二、混凝土混合料和易性的检测	59
三、混凝土混合料和易性的选择	60
四、影响混合料和易性的因素	60
第四节 硬化混凝土的性质	62
一、硬化混凝土的力学性质	62
二、硬化混凝土的变形性能	66
三、硬化混凝土的耐久性	69
第五节 混凝土强度的检测评定	72
一、标准差已知的统计方法	72
二、标准差未知的统计方法	73
三、非统计方法	73
四、混凝土强度的合格性判定	74
第六节 混凝土的配合比设计	74
一、混凝土配合比设计的基本要求	74
二、混凝土配合比设计的三个参数	74
三、混凝土配合比的基本原理	75
四、混凝土配合比设计的步骤	75
五、混凝土配合比设计实例	78
第七节 混凝土外加剂	80
一、混凝土外加剂的分类	80
二、常用混凝土外加剂	81
第八节 特种混凝土	83
一、水泥粉煤灰混凝土	83
二、防水混凝土	86
三、轻集料混凝土	87
第九节 建筑砂浆	89
一、砌筑砂浆	90
二、抹面砂浆与防水砂浆	95
第七章 沥青与沥青混合料	96
第一节 石油沥青	96

一、石油沥青概述	96
二、石油沥青的组分与结构	97
三、石油沥青的技术性质	98
四、石油沥青的技术标准与选用	102
五、石油沥青的调配与改性	105
第二节 沥青混合料	107
一、沥青混合料概述	107
二、沥青混合料的组成结构	108
三、沥青混合料的强度形成原理	109
四、沥青混合料的技术性质	112
五、热拌沥青混合料的技术标准	115
六、沥青混合料组成材料的技术性质	116
七、矿质混合料的组成设计方法	119
八、热拌沥青混合料的配合比设计方法	123
第八章 金属材料	131
第一节 土木工程钢材	131
一、钢材的分类及性能	131
二、钢材的冷加工和热处理	135
三、土木工程常用钢材	136
四、焊接材料	146
五、钢材的防锈	147
六、钢材的防火	147
第二节 铝材及铝合金	148
第三节 其它金属材料	151
第九章 建筑木材	152
一、木材的分类与结构	152
二、木材的物理力学性质	153
三、木材的特点与应用	155
第十章 建筑墙体材料	157
第一节 墙体用砖	157
一、烧结空心砖与空心砌块	157
二、烧结多孔砖	161
第二节 新型复合板材	162
第十一章 建筑防水材料	165
第一节 屋面刚性防水材料	165
一、黏土瓦	165
二、彩色水泥瓦	166
三、异形屋面防水板材	166
第二节 高分子防水材料	167
一、高分子防水卷材	167

二、防水涂料·····	168
第十二章 建筑装饰与保温材料·····	170
第一节 建筑装饰材料·····	170
一、涂刷类装饰材料·····	170
二、涂抹类装饰材料·····	171
三、贴面类装饰材料·····	173
第二节 建筑保温材料·····	176
第十三章 新型建筑材料及其发展·····	180
第一节 有机高分子材料·····	180
一、有机高分子材料的特性·····	180
二、建筑塑料·····	181
三、其它有机高分子材料及在土木工程中的应用·····	183
第二节 仿木建筑材料·····	183
一、氯氧镁水泥仿木材料·····	183
二、仿木钙塑材料·····	185
三、稻(麦)草板·····	185
四、水泥刨花板·····	186
第三节 新型建筑材料的发展方向——绿色建材·····	186
第十四章 常用土木工程材料试验 ·····	189
试验一 建筑材料的基本性质试验·····	189
试验二 水泥试验·····	194
试验三 混凝土用集料试验·····	201
试验四 普通混凝土立方体抗压强度试验·····	204
试验五 烧结空心砖与多孔砖试验·····	206
试验六 石灰有效氧化钙和氧化镁含量试验·····	209
试验七 沥青材料试验·····	214
试验八 沥青混合料试验·····	219
试验九 石料单轴抗压强度试验·····	227
主要参考文献·····	229

第一章 导 言

一、土木建筑工程材料的分类

任何建(构)筑物都是用材料按一定的要求构筑而成的,土木建筑工程中使用的各种材料,或构成建(构)筑物的各种材料,都是土木建筑工程材料。几乎世界上的各种材料都可用作土木建筑工程材料,为便于区分和应用,工程中常从不同角度对其分类。

1. 按基本成分分类

有机材料:以有机物构成的材料,包括天然有机材料(如木材等)和人工合成有机材料(如塑料等)。

无机材料:以无机物构成的材料,包括金属材料(如钢材等)和非金属材料(如水泥等)。

复合材料:包括有机-无机复合材料(如玻璃钢)和金属-非金属复合材料(如钢纤维混凝土)。材料复合后能够克服单一材料的某些缺点,可以发挥复合材料的综合优点,从而满足当代土木建筑工程对材料各种性能的要求。因此,复合材料是未来建筑材料发展的主要方向。

2. 按功能分类

结构材料:承受荷载作用的材料(如构筑物的基础、柱、梁所用的材料)。

功能材料:具有其它功能的材料。如起围护作用的材料,起防水作用的材料,起装饰作用的材料,起保温隔热作用的材料等。

3. 按用途分类

建筑结构材料,桥梁结构材料,水工结构材料,路面结构材料,建筑墙体材料,建筑装饰材料,建筑防水材料,建筑保温材料等。

二、材料在土木建筑工程中的作用

1. 材料对保证土木建筑工程质量的作用

材料是构成土木建筑工程建(构)筑物的物质基础,当然也是其工程质量基础。在土木建筑工程中,从材料的选择、生产、使用、检验评定,到材料的贮运、保管等,任何环节的失误都可能造成工程的质量缺陷,甚至是重大质量事故。国内外土木建筑工程的重大质量事故,无不与材料的质量不良或使用不当有关。因此,合格的土木建筑工程技术人员,必须准确、熟练地掌握有关材料的知识,能够正确地选择和使用有关材料。土木建筑工程材料是土木建筑工程类专业学生一门重要的专业基础课,要学好后续的专业课,为以后的工作打下良好的专业基础,就必须掌握好本课程中的知识。

2. 材料对土木建筑工程造价的影响

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。在实际工程中,材料的选择、使用与管理是否合理,对土木工程成本影响很大。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。在满足工程各项使用要求的条件下节约材料费用,从而显著降低工程的成本。因此,从工程技术经济

的角度来看,学好本课程,对以后的工程技术与管理工作的十分必要的。

3. 材料对土木建筑工程技术进步的促进作用

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,材料性能的改进和应用技术的进步,将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、土、木,使得钢筋混凝土结构已占领了土木建筑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,才把许多建(构)筑物装扮得绚丽多彩。

三、材料在土木建筑工程中的应用现状及发展要求

1. 当代土木建筑工程中材料的应用现状

现代土木建筑工程中,尽管传统的土、石等材料仍在基础工程中广泛应用,砖瓦、木材等传统材料在工程的某些方面应用也很普遍。但是,这些传统的材料在土木建筑工程中的主导地位已逐渐为新型材料所取代。在当代土木建筑工程中,水泥混凝土、钢材、钢筋混凝土,已是不可替代的结构材料。新型合金、有机材料及其它人工合成材料,各种复合材料等在土木工程中也占有愈来愈重要的位置。

2. 土木建筑工程的发展对材料的要求

人们对建筑物的要求体现在多个方面。首先,各种建筑物必须坚固,满足人们对安全性的要求,这就应选择性能可靠的结构材料。此外,还要求建筑物必须有良好的使用性能,漂亮的外观,这就要求材料具有良好的装饰性及其它物理性能。为此,对于不同的建筑物必须选择相适应的材料,才能满足各种不同的要求。

从土木建筑工程本身的发展来说,为适应工程结构形式的变化,满足人们对使用功能不断提高的要求,应该发展高性能工程材料。这些高性能材料应该包括轻质高强、多功能,良好的工艺性和良好的耐久性。就材料类别来说,应该发展改性无机材料,特别是高性能的复合材料,最有发展前景。

就全社会的发展来说,将来的土木建筑工程材料应该向再生化、利废化、节能化方向发展。为给人类提供有益健康的生活环境,必须大力提倡发展绿色建材,同时,大宗材料还应不断降低成本。这是因为土木建筑工程对材料的消耗极大,历史发展到今天,使得可利用的自然资源和能源已非常有限,由于以往为生产土木建筑工程材料对自然资源的攫取,已使自然环境遭到了巨大的破坏,节约资源和能源对土木建筑工程行业来说,也是一项重要的历史责任。

四、工程技术标准及其在土木建筑工程中的应用

1. 土木建筑工程材料的技术标准分类

标准就是对重复性事物和概念所做出的统一规定。它以科学技术和实践经验的综合成果为基础,经有关方面协商一致,由主管机构批准,以特定形式发布,作为共同遵守的准则和依据。简而言之,标准就是对某项技术或产品实行统一执行的要求。土木建筑工程标准,是指对各类工程的勘察、规划、设计、施工、安装、验收等,需要协调统一的事项所制定的规范。建筑材料标准是工程中检验所使用材料质量的依据,只有掌握了材料标准,才能正确地选择、验收和使用材料。按照适用范围,目前,我国现行常用的标准有三大类:

第一类是国家标准,如“GB 175—1999 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥”。其中“GB”为国家标准的代号;“175”为标准编号;“1999”为标准颁布年代号;“硅酸盐水泥、普通硅

酸盐水泥”为该标准的技术（产品）名称。上述标准为强制性国家标准，任何技术（产品）不得低于此标准规定的技术指标。此外，还有推荐性国家标准，以“GB/T”为标准代号，它表示也可以执行其它标准，为非强制性。

第二类是行业标准，如 JC/T 479—92 建筑生石灰。其中“JC”为颁布此标准的行业标准。代号“JC”为建材行业的标准代号，其它行业标准代号见表 1-1；“T”表示为推荐标准；“479”为此技术标准二级类目顺序号；“—92”为标准颁发年代号。

几个行业的标准代号

表 1-1

行业名称	建工行业	冶金行业	石化行业	交通行业	建材行业	铁路行业
标准代号	JG	YB	SH	JT	JC	TB

第三类是企业标准，代号为“QB”，其后分别注明企业代号、标准顺序号、制定年代号。国家鼓励地方和企业制定技术指标要求高于国家标准的地方标准或企业标准。

工程中可能采用的其它技术标准还有，国际标准（代号 ISO）、美国国家标准（ANS）、美国材料与试验学会标准（ASTM）、英国标准（BS）、德国工业标准（DIN）、日本工业标准（JIS）、法国标准（NF）等。目前我国许多标准都向采用 ISO 标准过渡。

2. 材料技术标准在土木建筑工程中的应用

每种材料必须适应相应的使用环境，满足相应的使用条件。因此，材料的技术性质就应达到相应的要求，这个要求就是材料的技术标准。土木建筑工程材料在使用前，必须根据工程要求通过验证试验，检验其部分或全部技术性质指标，这些指标能否达到技术标准规定的要求，就决定了材料是否合格和能否使用。

要了解材料的某一技术性质，就必须要求使用统一的方法，并在统一的条件下检测其技术参数，这种统一的要求，就是材料的试验标准（或称试验规程）。在检验材料的技术指标时，必须按试验标准要求的条件和方法进行试验，其结果方为有效。

为充分发挥材料的功能，还制定了有关土木建筑工程的施工规范（标准），其中规定了材料的贮运、使用要求。只有按照其标准进行操作和使用，才能确保工程质量。

五、本课程的主要内容及学习任务

1. 本教材的主要内容

本教材除介绍了土木建筑材料的一些基本性质以外，还重点介绍了当前土木建筑工程中常用的材料，如水泥、石灰、沥青等胶凝材料；砖、石等砌体材料；钢材等结构材料；水泥混凝土、沥青混凝土、砂浆等现场配制材料。此外，还介绍了玻璃、陶瓷、木材、塑料及其它有机高分子材料、各种新型复合材料等。针对上述常用材料的主要技术性质，本书中还介绍了这些材料的结构和性能特点、技术标准，检测这些技术性能指标的试验及质量评定方法，这些材料的使用要求与应用。

2. 本课程的理论课学习任务

本课程在理论学习方面，以掌握常用土木建筑材料的性能为主要宗旨，并掌握常用材料的标准及应用。为达到此目的，必须了解材料的生产，熟悉材料的组成、结构、构造及其与性能的关系。还应掌握材料的用途和使用方法及其与材料的结构、组成、性能之间的关系。

为了打好学习后续课程及以后从事土木建筑工程实践的基础，本课程要求学生掌握常用土木建筑材料的主要品种、规格、选择及应用、贮运和管理等方面的知识。

3. 本课程的实验课学习任务

材料在订货前或使用前，必须经验证试验合格后方可使用；现场配制的材料，必须经标准试验合格，并确定了材料配比及配制操作标准后，方可进行配制和使用。材料在工程使用过程中，也应按规定抽样试验，检验工程实际中使用的材料质量是否稳定，性能是否合格。在工程验收中，工程实体的验收试验也是鉴定工程质量的重要手段之一。由此可见，材料试验检验工作，是一项经常化的、责任性很强的工作。材料试验检验在土木建筑工程施工的各个环节都十分重要。

本课程中实验课的主要任务，就是验证已学有关材料的基本理论，学习试验鉴定、检验和评定材料质量的方法。通过实验课，一方面加深学生对理论知识的理解，培养学生严谨的科学态度和实事求是的工作作风；另一方面，培养学生的实践技能，掌握材料基本性能的试验检验和质量评定方法，为从事土木工程实践工作打下坚实的基础。

第二章 土木建筑工程材料的基本性质

土木建筑材料在工程中所起的作用，从根本上讲就是其性质的表现。选择、应用、分析和评价材料，也都以其性质为依据。使用材料，就必须掌握其性质。本课程所指的材料基本性质，是指材料处于不同的使用条件和使用环境时，通常必须考虑的最基本的、共有的性质。因为土木建筑材料处于建（构）筑物的部位不同、使用环境不同、人们对材料的使用功能要求不同，要求材料所起的作用就不同，所要求的性质也会有所不同；所以，对不同种类的材料，应考虑的基本性质也不尽相同。

本章的课程就是学习在不同的使用环境下，各类土木建筑材料的基本性质，并掌握各性质的涵义，影响这些性质的因素，它们彼此间的关系，以便联系工程中的实际和应用，去加深理解、研究和改进这些性质。

第一节 材料的物理状态参数

一、材料的体积

体积是物体占有的空间尺寸。由于材料的物理状态不同，同一种材料可表现出不同的体积。

1. 材料的绝对密实体积：材料内部没有孔隙时的体积，或不包括内部孔隙的材料体积。一般以 V 表示材料的绝对密实体积。由于材料自然状态下并非绝对密实，所以绝对密实体积一般难以直接测定，只有玻璃等材料可近似地直接测定。

2. 材料的表观体积：整体材料（包括内部孔隙）的外观体积。一般以 V_0 表示材料的表观体积。外形规则材料的表观体积，可直接以尺度量后计算求得；外形不规则材料的表观体积，必须用排水法或排油法测定。

3. 材料的堆积体积：散粒状材料堆积状态下的总体外观体积。根据其堆积状态不同，同一材料表现的体积大小可能不同，松散堆积下的体积较大，密实堆积状态下的体积较小。一般以 V' 表示材料的堆积体积。材料的堆积体积，常以材料填充容器的容积大小来测量。

体积的度量单位通常以立方厘米（ cm^3 ）或立方米（ m^3 ）表示。

二、材料的密度

材料的密度，是指材料所具有的质量（ M ）与其绝对密实体积（ V ）之比。这里的质量是指材料所含物质的多少，工程实际中常以重量多少来衡量质量的大小；但从概念上讲，重量是材料所受地球引力的大小，质量与重量的概念有本质的区别。

材料的密度通常以 ρ 表示，其计算公式为：

$$\rho = M/V$$

式中 ρ ——材料的密度（ g/cm^3 ）；

M ——材料的质量（ g ）；

V ——材料的绝对密实体积（ cm^3 ）。

常用的土木建筑材料中多含有内部孔隙，除钢材、玻璃及沥青等外，绝大多数材料不能直接测定其密度（必要时须将材料磨成细粉后测定）。因为材料的密度仅由其微观结构和组成所决定，与其所处的环境或状态无关，要想知道某材料的密度只需查表即可求得。土木工程常用材料的密度见表 2-1。

土木建筑常用材料的密度、表观密度、堆积密度

表 2-1

材料名称	密度 (g/cm ³)	表观密度 (kg/cm ³)	堆积密度 (kg/cm ³)
钢材	7.85	7 800~7 850	—
石灰石 (碎石)	2.48~2.76	2 300~2 700	1 400~1 700
砂	2.5~2.6	—	1 500~1 700
水泥	2.8~3.1	—	1 600~1 800
粉煤灰 (气干)	1.95~2.40	1 600~1 900	550~800
烧结普通砖	2.6~2.7	2 000~2 800	—
普通水泥混凝土	—	(常取 2 500)	—
红松木	1.55~1.60	400~600	—
普通玻璃	2.45~2.55	2 450~2 550	—
铝合金	2.7~2.9	2 700~2 900	—

三、材料的表观密度

表观密度也称视密度，它是指材料所具有的质量 (M) 与其表观体积 (V_0) 之比。表观密度通常以 ρ_0 表示，其度量单位是 kg/m³，计算公式为：

$$\rho_0 = M / V_0$$

式中 ρ_0 ——材料的表观密度 (kg/m³)；

M ——材料的质量 (kg)；

V_0 ——材料的表观体积 (m³)。

因为大多数材料的表观体积 V_0 中多包含有内部孔隙，其孔隙的多少，孔隙中是否含有水及含水的多少，都可能影响其总质量（有时还影响其表观体积）。所以材料的表观密度除了与其微观结构和组成有关外，还与其内部构成状态及含水状态有关。同一种材料在不同的状态或环境下，表观密度的大小可能不同，但一般都在某一范围内。土木建筑工程常用材料的表观密度见表 2-1。

四、材料的堆积密度

材料的堆积密度，是指材料所具有的质量 (M) 与其堆积体积 (V') 之比。堆积密度通常以 ρ' 表示，其度量单位是 kg/m³，计算公式为：

$$\rho' = M / V'$$

式中 ρ' ——材料的堆积密度 (kg/m³)；

M ——材料的质量 (kg)；

V' ——材料的堆积体积 (m³)。

散粒状堆积材料的堆积体积 V' 中，既包括了材料颗粒内部的孔隙，也包括了颗粒间的空隙，除了颗粒内孔隙的多少及其含水多少外，颗粒间空隙的大小也影响堆积体积的大小。因此，材料的堆积密度与散粒状材料自然堆积时的颗粒间空隙、颗粒内部结构、含水状态、

颗粒间被压实的程度有关。土木工程常用材料的堆积密度见表 2-1。

五、材料的孔隙率及孔特征

已经知道，多数土木工程材料内部含有孔隙，这些孔隙的存在会影响材料的性能。

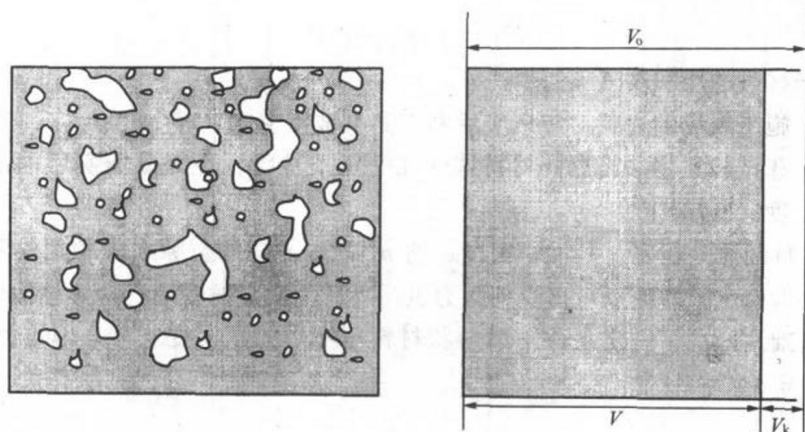


图 2-1 含孔材料体积组成图

材料的孔隙率，是指材料内部孔隙的体积占材料总体积的百分率（见图 2-1 含孔材料体积组成图），它以 P 表示。孔隙率 P 的计算公式为：

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\%$$

孔隙率反映了材料内部孔隙的多少，它会直接影响材料的多种性质。

材料内部除了孔隙的多少以外，孔隙的特征状态也是影响其性质的重要因素之一。材料的孔特征表现为，孔隙是在材料内部被封闭的，还是在材料的表面与外界连通。前者为闭口孔，后者为开口孔。有的孔隙在材料内部是被分割为独立的，还有的孔隙在材料内部相互连通。此外，单个孔隙尺寸的大小，孔隙在材料内部的分布均匀程度等都是孔隙在材料内部的特征表现。这些孔特征对材料的性质有重要影响，在以后的各节内容中会经常涉及到这些孔特征。

与材料孔隙率相对应的另一个概念是材料的密实度。密实度表示材料内被固体所填充的程度，它在量上反映了材料内部固体的含量，对于材料性质的影响正好与孔隙率的影响相反。

六、材料的空隙率

材料空隙率，是指散粒状材料堆积体积（ V' ）中，颗粒间空隙体积所占的百分率，它以 P' 表示。空隙率 P' 的计算公式为：

$$P' = \frac{V' - V_0}{V'} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'}{\rho_0}\right) \times 100\%$$

空隙率考虑的是材料颗粒间的空隙，这对填充和粘结散粒材料时，研究散粒状材料的空隙结构和计算胶结材料的需要量十分重要。

七、材料的压实体

材料的压实体，是指散粒状材料被压实的程度。已经知道同一材料的堆积密度是可变的， ρ' 的大小与材料被压实的程度有很大关系，当散粒状材料经充分压实后，其堆积密度值为最大，此时的干堆积密度值被定义为 ρ_m ，也称为最大干密度。对于未被充分压实的同一

材料来说, 其 ρ' 值显然小于 ρ_m 。

散粒状材料的压实度, 是指经压实后的干堆积密度 (ρ') 值与该材料经充分压实后的干堆积密度 (ρ'_m) 值的比率百分数。压实度通常以 K_y 表示:

$$K_y = \rho' / \rho'_m \times 100\%$$

式中 K_y ——材料的压实度 (%) ;

ρ' ——施工现场的材料, 经压实后的实测干堆积密度 (kg/m^3) ;

ρ'_m ——在试验室内, 将相同材料试样在一定条件下, 经充分压实后的最大干堆积密度 (kg/m^3) 。

散粒状材料经充分压实, 其堆积密度达到 ρ'_m 后, 相应的空隙率 P 值已达到最小值, 此时的堆积体较为稳定, 即使以后再受到压力也不会产生明显的变形, 这对结构物的稳定性打下了良好的基础。因此, 一定条件下散粒状材料压实后的压实度 (K_y) 值愈大, 其构成的结构物就愈稳定。

第二节 材料的基本物理性质

一、材料的亲水性与憎水性

与水接触时, 有些材料能被水润湿, 而有些材料则不能被水润湿, 对这两种现象来说, 前者为亲水性, 后者为憎水性。

材料具有亲水性或憎水性的根本原因在于材料的分子结构 (是极性分子或非极性分子)。亲水性材料与水分子之间的分子亲合力, 大于水分子本身分子间的内聚力。反之, 憎水性材料与水分子之间的亲合力, 小于水分子本身分子间的内聚力。

工程实际中, 材料是亲水性或憎水性, 通常以润湿角的大小划分, 如图 2-2。其中润湿角 θ 愈小, 表明材料愈易被水润湿。当材料的润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 时, 为亲水性材料; 当材料的润湿角 $\theta > 90^\circ$ 时, 为憎水性材料。水在亲水性材料表面可以铺展开, 且能通过毛细管作用自动将水吸入材料内部。水在憎水性材料表面不仅不能铺展开, 而且, 水分不能渗入材料的毛细管中, 见图 2-3。

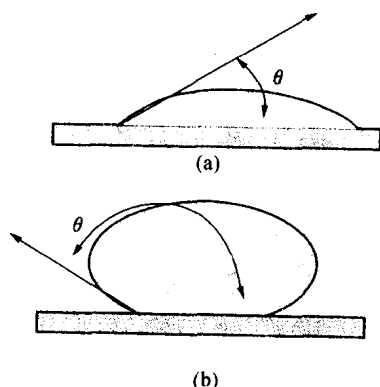


图 2-2 材料润湿示意图
(a) 亲水性材料 (b) 憎水性材料

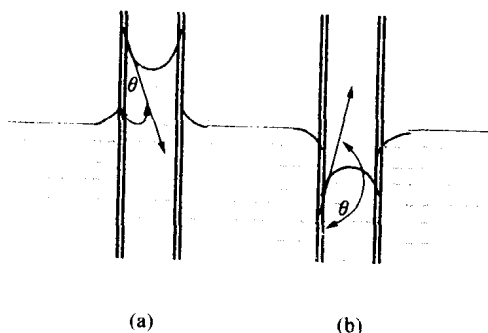


图 2-3 材料毛细管吸水性示意图
(a) 亲水性毛细管 (b) 憎水性毛细管

二、材料的吸水性

亲水性材料在水中吸收水分的能力，称为材料的吸水性，并以吸水率表示该能力。材料吸水率的表达方式有两种：

1. 质量吸水率

质量吸水率，是指材料在吸水饱和时，所吸水量占材料干质量的百分比，并以 W_m 表示。质量吸水率 W_m 的计算公式为：

$$W_m = \frac{M_b - M}{M} \times 100\%$$

式中 M_b ——材料吸水饱和状态下的质量 (g 或 kg)；

M ——材料在干燥状态下的质量 (g 或 kg)。

2. 体积吸水率

体积吸水率，是指材料在吸水饱和时，所吸水的体积占材料自然体积的百分率，并以 W_v 表示。体积吸水率 W_v 的计算公式为：

$$W_v = \frac{M_b - M}{V_0} \times \frac{1}{\rho_w} \times 100\%$$

式中 M_b ——材料吸水饱和状态下的质量 (g 或 kg)；

M ——材料在干燥状态下的质量 (g 或 kg)；

V_0 ——材料在自然状态下的体积 (cm^3)；

ρ_w ——水的密度 (g/cm^3)，常温下取 $\rho_w = 1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

材料的质量吸水率与体积吸水率之间的关系为：

$$W_m = W_v \times \rho_0$$

其中 ρ_0 ——材料在干燥状态下的表观密度 (g/cm^3)。

材料的吸水率与其孔隙率有关，更与其孔特征有关。因为水分是通过材料的开口孔吸入，并经过连通孔渗入内部的。所以，材料内与外界连通的孔隙愈多，其吸水率可能就愈大。

三、材料的吸湿性

材料的吸湿性，是指材料吸收潮湿空气中水分的性质。当较干燥的材料处在较潮湿的空气中时，便会吸收空气中的水分；而当较潮湿的材料处在较干燥的空气中时，便会向空气中放出水。前者是材料的吸湿过程，后者是材料的干燥过程（此性质也称为材料的还湿性）。由此可见，在空气中，某一材料的含水多少是随空气的湿度变化的。材料在任一条件下含水的多少称为材料的含水率，并以 W_h 表示，其计算公式为：

$$W_h = \frac{M_s - M_g}{M_g} \times 100\%$$

式中 W_h ——材料的含水率 (%)；

M_s ——材料在吸湿状态下的质量 (g 或 kg)；

M_g ——材料在干燥状态下的质量 (g 或 kg)。

显然，材料的含水率受所处环境中空气湿度的影响，当空气中湿度在较长时间内稳定时，材料的吸湿和干燥过程处于平衡状态，此时材料的含水率则保持不变，其含水率被称为材料的平衡含水率。在某一湿度下，材料的平衡含水率只与其本身的性质有关，一般亲水性