

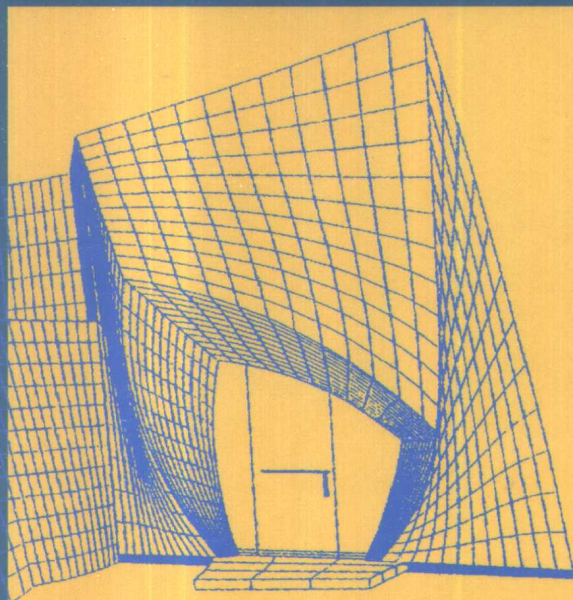
TU MU JIAN ZHU GONG CHENG CAI LIAO

土木

许炳权 主 审 阎西康
赵方冉 主 编 戎 贤 副主编

建筑工程材料

TUMU JIANZHU GONGCHENG CAILIAO



中国建材工业出版社

土木工程材料

主 审 许炳权
主 编 赵方冉
副主编 阎西康
戎 贤

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, 颜西康编著. -北京: 中国建材工业出版社, 1999. 9

ISBA 7-80090-932-8

I. 土… II. ①赵… ②颜… III. 建筑材料 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 38783 号

内 容 提 要

本书是为高等学校新的土木工程专业学生初学建筑材料而编写的。书中重点介绍了与土木工程材料紧密相关的基本知识, 各种土木工程通用的水泥、石灰、普通水泥混凝土、钢材、砂浆及砌体材料等; 较详细地介绍了一些十分重要的材料, 如公路工程中常用的沥青与沥青混凝土材料, 房屋建筑工程中的粘土砖; 防水材料及装饰材料等; 还介绍了一些较常用的特种水泥、特种混凝土、高分子材料、新型复合材料、仿木材料、仿石材料以及绿色建材等。还有土木工程中最常用的材料实验方法、材料评定方法。

本书主要适用于普通高等学校、成人高校土木工程专业的教学, 也可作为继续教育的培训教材。对从事实际工程的技术人员和管理人员, 也是非常有益的专业参考书。

土木建筑工程材料

主 审 许炳权

主 编 赵方冉

副主编 阎西康

戎 贤

*

中国建材工业出版社出版 (北京海淀区三里河路 11 号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京密云红光印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14 字数: 340 千字

1999 年 8 月第一版 1999 年 8 月第一次印刷

印数: 1—5000 册 定价: 20.00 元

ISBN 7-80090-932-8/TU·229

前 言

随着国家建设形势的发展和 21 世纪国家建设对专业人才的需求,近期高等教育专业设置进行了较大幅度的调整,其中新设置的土木工程专业取代了过去的建筑工程、交通土建工程、城市建设(部分)、矿井建设等四个相近专业。根据国家教育部门的安排,全国各高校将从 1999 年按新专业目录进行新生录取工作,建设部专业指导委员会也于 1999 年初下达了新土木工程专业的课程设置指导意见。比较而言,土木工程专业较过去各专业覆盖面要广泛很多,因此新专业的教学计划、课程内容调整以及新教材的编写就成为当前一项较为紧迫的任务。

现有建筑材料教材多为针对过去某一专业编写的,知识面偏窄,不适应当前土木工程专业的要求。本书的编写是以建设部专业指导委员会的指导意见为依据,结合当今各类工程对材料的需求,力求反映当前最先进的技术和最新的技术标准,率先为土木工程专业学生而准备的。

参加本书编写的有多年从事建筑工程材料教学或道路工程材料教学的教学人员,有多年从事工程施工教学或材料研究的工程技术人员,也有多年从事实验室工作的工程实验人员。因此,本书基本上反映了当代新的材料和技术,联系工程实际紧密,也是从事土木工程建设的有关人员必要的参考书。

参加本书编写的有赵方冉(第一、二、五章、第四、六、十、十一章的部分内容)、董金铭(第三章)、阎西康(第八章)、戎贤(第九章)、侯子仪(第四、七章)、徐丰悦(第六章)、宋长柏和张洋(第十一章)、许炳权(第十章第四节),全书由赵方冉、阎西康、许丙权统稿。鉴于时间短促和编者水平有限,书中不免有不当之处,敬请读者批评指正。联系地址:天津河北工业大学南院 561 信箱,邮编 300132。

本书编写过程中得到了河北工业大学有关部门的大力支持和部分兄弟院校、工程界同行的热情帮助,谨在此表示感谢。

编者

目 录

第一章 导言	1
第二章 土木建筑工程材料的基本性质	4
第一节 材料的物理状态参数	4
第二节 材料的基本物理性质	7
第三节 材料的力学性质	11
第四节 材料的化学性质和耐久性	15
第三章 天然石材及其它砌筑材料	16
第一节 岩石的形成与分类	16
第二节 工程砌筑石材	17
第三节 常用装饰石材	18
第四节 烧结砖	24
第五节 砌块	26
第四章 石灰和石膏	28
第一节 石灰	28
一、石灰的生产工艺概述	28
二、石灰的消化和硬化	28
三、石灰的技术要求和技术标准	29
四、石灰的特点、应用与贮存	30
第二节 建筑石膏	31
一、石膏的分类	32
二、建筑石膏的生产	32
三、建筑石膏的水化与硬化	32
四、建筑石膏的技术性质	33
五、建筑石膏的应用	34
第五章 水泥	35
第一节 硅酸盐系水泥	35
一、硅酸盐系水泥的凝结硬化	35
二、硅酸盐系水泥的生产与组成	35
三、硅酸盐系水泥的水化、凝结与硬化机理	37
四、硅酸盐系通用水泥	39
五、硅酸盐系水泥的主要技术性质	40
六、硅酸盐系水泥石的腐蚀与防腐蚀	42
七、硅酸盐系水泥的应用与保管	44
八、其它品种的硅酸盐系水泥	44

第二节 铝酸盐系水泥	47
一、高铝水泥的矿物组成与凝结硬化特点	47
二、高铝水泥的技术性质	47
第三节 硫铝酸盐系水泥	48
一、快硬硫铝酸盐水泥	48
二、硫铝酸盐微膨胀水泥	48
第六章 水泥混凝土	50
第一节 混凝土的发展概况	50
一、混凝土的分类	50
第二节 普通混凝土的组成材料	51
一、水泥	51
二、细骨料	52
三、粗骨料	55
四、水	57
第三节 混凝土混合料的性质	58
一、和易性的概念	58
二、和易性的测定	58
三、和易性的选择	59
四、影响和易性的因素	59
第四节 混凝土的性质	60
一、混凝土的力学性质	60
二、混凝土的耐久性	70
第五节 混凝土强度检测评定标准	73
一、标准差已知的统计方法	73
二、标准差未知的统计方法	74
三、非统计方法	74
四、混凝土强度的合格性判定	74
五、实例	74
第六节 混凝土的配合比设计	76
一、配合比设计的基本要求	76
二、混凝土配合比设计的三个参数	76
三、混凝土配合比设计方法	77
四、混凝土配合比设计的步骤	77
五、混凝土配合比设计实例	80
六、路面水泥混凝土配合比设计方法	82
第七节 混凝土外加剂	84
一、混凝土外加剂的分类	84
二、常用混凝土外加剂	84
第八节 特种混凝土	89
一、轻集料混凝土	89

二、水泥粉煤灰混凝土	92
三、防水混凝土	94
四、纤维水泥混凝土	96
五、聚合物水泥混凝土	97
六、碾压混凝土	97
第九节 建筑砂浆	98
一、砌筑砂浆	99
二、抹面砂浆	103
第七章 沥青与沥青混合料	105
第一节 石油沥青	105
一、石油沥青概述	105
二、石油沥青的技术性质	105
三、石油沥青的技术标准	110
第二节 沥青混合料	114
一、沥青混合料的组成结构	115
二、沥青混合料的强度形成原理	116
三、沥青混合料的技术性质	119
四、热拌沥青混合料的技术标准	121
五、沥青混合料组成材料的技术性质	121
六、矿质混合料的组成设计方法	122
七、热拌沥青混合料的配合比设计方法	126
第八章 金属材料	139
第一节 土木工程钢材	139
一、钢材的分类及性能	139
二、钢材的冷加工和热处理	143
三、土木工程常用钢材	144
四、焊接材料	152
五、钢材的防锈	153
六、钢材的防火	154
第二节 铝材及铝合金	154
第三节 其它金属材料	157
一、铸铁	157
二、铜	157
三、铝	158
第九章 有机高分子材料	159
第一节 有机高分子材料的特性	159
第二节 建筑塑料	160
一、塑料分类	160
二、塑料构成	160
三、塑料的应用	161

第三节 其它有机高分子材料及其在土木工程中的应用·····	162
一、高分子粘结剂·····	162
二、橡胶制品·····	162
三、高分子防水材料·····	162
第十章 新型人造材料·····	164
第一节 仿木建筑材料·····	164
一、氯氧镁水泥仿木材料·····	164
二、仿木钙塑材料·····	165
三、稻(麦)草板·····	166
四、水泥刨花板·····	166
第二节 新型复合板材·····	167
一、钢丝网水泥类夹芯复合板材·····	167
二、彩钢夹芯板材·····	168
第三节 新型人造石材·····	168
一、陶瓷材料·····	168
二、熔融制品·····	169
三、胶结型人造石材·····	170
第四节 绿色建材在国内外的的发展·····	171
一、“绿色建材”的基本概念及其特征·····	171
二、“绿色建材”在国外的的发展·····	172
三、“绿色建材”在国内的发展·····	172
四、墙体材料的“绿色化”进程·····	173
第十一章 常用土木工程材料实验·····	177
试验一 建筑材料的基本性质试验·····	177
试验二 水泥试验·····	182
试验三 混凝土用骨料试验·····	188
试验四 普通混凝土立方体抗压强度试验·····	191
试验五 普通粘土砖试验·····	193
试验六 石灰试验·····	194
试验七 沥青材料试验·····	197
试验八 沥青混合料试验·····	205
试验九 石料单轴抗压强度试验·····	213

第一章 导 言

一、土木建筑工程材料的分类

任何建（构）筑物（包括道路桥梁等）都是用材料按一定的要求构筑而成的，土木建筑工程中所使用的各种材料，都统称为土木建筑工程材料。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，它包括天然有机材料（如木材等），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，它包括金属材料（如钢材等），非金属材料（如水泥等）。

复合材料：有机—无机复合材料（如玻璃钢），金属—非金属复合材料（如钢纤维混凝土）。复合材料得以发展及大量应用，其原因在于它能够克服单一材料的弱点，发挥复合后材料的综合优点，满足了当代土木建筑工程对材料的要求。

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，当然也是其质量基础。在土木建筑工程中，从材料的选择、生产、使用和检验评定，到材料的贮运、保管，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。土木建筑工程材料是一门重要的专业基础课，为学好后续的专业课，土木建筑工程类专业学生必须学好本课程的内容。

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，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，显著降低工程成本。因此，从工程技术经济的角度来看，学好本课程也十分必要。

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，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、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很重要的位置。

2. 土木建筑工程的发展对材料的要求

从土木建筑工程本身的发展来说，应该发展高性能工程材料，此高性能应该包括轻质高强、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，还应大力发展绿色建材，同时大宗材料还应是低成本的。这是因为土木建筑工程对材料的消耗量极大，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，由于已往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

标准就是对某项技术实行统一执行的要求。土木建筑工程材料标准是检验其质量的依据，所以必须掌握了材料标准，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 9776—88 建筑石膏，其中“GB”为国家标准的代号，“9776”为标准编号，“88”为标准颁布年代号，“建筑石膏”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，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”为此技术标准二类类目顺序号；“—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

有些现行的国家标准和行业标准是针对工程建设的，常在标准代号后加上“J”，如“JGJ/T 55—96 普通混凝土配合比设计规程”表示为建工行业的工程建设推荐标准，其二级类目号为“55”，此标准为 1996 年颁布。

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。

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、塑料及其它有机高分子材料等功能材料，同时还介绍了当前国家大力推广的“绿色建材”。针对上述常用材料的主要技术性质，教材中介绍了检测其技术性能的试验及评定方法。

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，并掌握材料的标准及应用。为达到此目的必须了解材料的生产、材料的组成、结构、构造及其与性能的关系。还应了解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，方可按此配比及操作标准进行配制和使用。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较坚实的基础。

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，所起的作用就不同，要求的性质也就有所不同。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，材料的适用范围，以便联系工程中的应用，去加深理解和研究这些性质。

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，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（具体方法见试验一）。

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重力的大小，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：

$$\rho = \frac{M}{V}$$

式中 ρ ——材料的密度，其度量单位是 g/cm^3 ；

M ——材料的质量，其度量单位是 g ；

V ——材料的绝对密实体积，其度量单位是 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）。因为材料的密度只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。土木建筑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/m ³)	堆积密度 (kg/m ³)
钢材	7.85	7800~7850	—
石灰石（碎石）	2.48~2.76	2300~2700	1400~1700
砂	2.5~2.6	—	1500~1700
水泥	2.8~3.1	—	1600~1800
粉煤灰（气干）	1.95~2.40	—	550~800
烧结普通砖	2.6~2.7	1600~1900	—
普通水泥混凝土	—	2000~2800 常取 2500	—
红松木	1.55~1.60	400~600	—
普通玻璃	2.45~2.55	2450~2550	—
铝合金	2.7~2.9	2700~2900	—

三、材料的表观密度

表观密度是指，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：

$$\rho_0 = \frac{M}{V_0}$$

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，均可能影响其总质量（有时还影响其表观体积）。因此，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之内。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：

$$\rho' = \frac{M}{V'}$$

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。

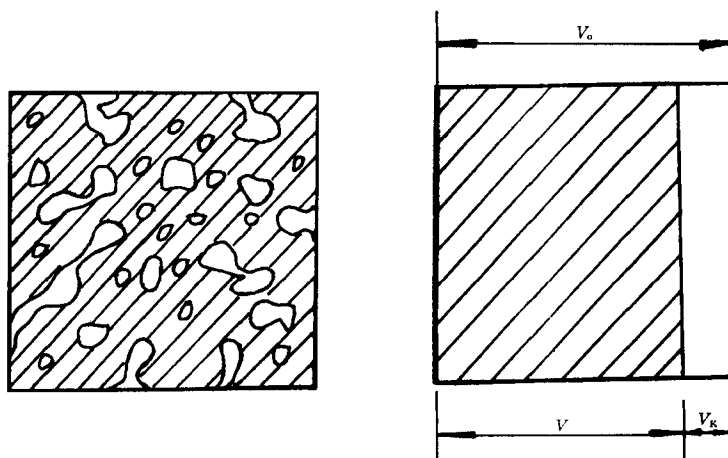


图 2-1 含孔材料体积组成图

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，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，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、材料的压实度

材料的压实度是指，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，其堆积密度为最大，此时的干堆积密度值被定义为 ρ_m ，也叫最大干密度；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：

$$K_y = \frac{\rho'}{\rho'_m} \times 100\%$$

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，此时的堆积体最为稳定，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，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，大于水本身分子间的内聚力；反之，憎水性材料与水分之间的亲合力，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。

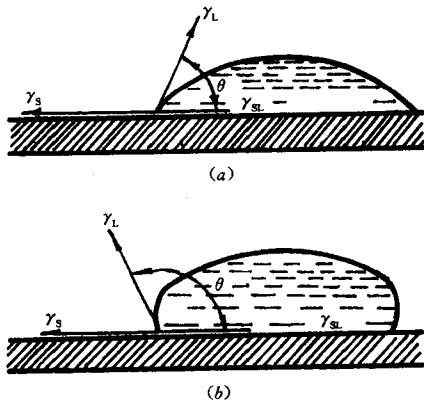


图 2-2 材料润湿示意图

(a) 亲水性材料；(b) 憎水性材料

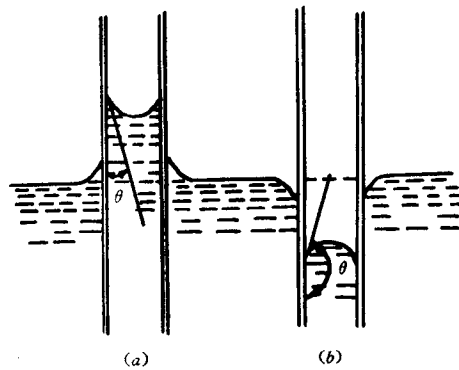


图 2-3 材料毛细管吸水性示意图

(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 $\rho = 1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

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；材料内与外界连通的孔隙愈多，其吸水率就愈大。

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分子。前者是材料的吸湿过程，后者是材料的干燥过程（此性质叫材料的还湿性）。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，其含水率叫作材料的平衡含水率。在某一湿度下，材料的平衡含水率只与其本身的性质有关，一般亲水性强的材料，含有开口孔隙多的材料，其平衡含水率高，它在空气中的质量变化也大。

材料吸水或吸湿后，除了本身的质量增加外，还会降低其绝热性、强度及耐久性，造成体积的增减和变形，多为对工程不利的影响。

四、材料的耐水性

材料的耐水性是指，材料长期在水的作用下不破坏，强度也不显著降低的性质。衡量材料耐水性的指标是材料的软化系数，并以 K_R 表示：

$$K_R = \frac{f_b}{f_g}$$

式中 K_R ——材料的软化系数;

f_s ——材料饱水状态下的抗压强度 (MPa);

f_g ——材料干燥状态下的抗压强度 (MPa)。

软化系数反映了材料饱水后强度降低的程度,是材料吸水后性质变化的重要特征之一。其实,许多材料吸水(或吸湿)后,即使未达到饱和状态,其强度及其它性质也会有明显的变化。这是因为材料吸水后,水分会分散在材料内微粒的表面,削弱了微粒间的结合力,其强度则不同程度的降低。当材料内含有可溶性物质时(如石膏、石灰等),吸入的水还可能溶解部分物质,造成强度的严重降低。

材料耐水性这一性质限制了材料的使用环境,软化系数小的材料耐水性差,其使用环境尤其受到限制。工程中通常将 $K_R > 0.85$ 的材料称为耐水性材料,可以用于水中或潮湿环境中的重要结构。用于受潮较轻或次要结构时,材料的 K_R 值也不得小于 0.75。

耐水性与材料的亲水性、可溶性、孔隙率、孔特征等均有关,工程中常从这几个方面改善材料的耐水性。

五、材料的抗渗性

材料的抗渗性是指,材料抵抗压力水渗透的性质。土木建筑工程中许多材料常含有孔隙、孔洞或其它缺陷,当材料两侧的水压差较高时,水可能从高压侧通过内部的孔隙、孔洞或其它缺陷渗透到低压侧。这种压力水的渗透,不仅会影响工程的使用,而且渗入的水还会带人能腐蚀材料的介质,或将材料内的某些成分带出,造成材料的破坏。因此,长期处于有压水中时,材料的抗渗性也是决定工程使用寿命的重要因素之一。

表示材料抗渗性的指标有两个:

1. 渗透系数

按照达西定律,在一定的时间 t 内,透过的水量 W ,与材料垂直于渗水方向的渗水面积 A 和材料两侧的水压差 H 成正比,与渗透距离(材料的厚度) d 成反比,以公式表示为:

$$W = K_s \frac{A \cdot t \cdot H}{d}$$

式中 K_s ——材料的渗透系数 (cm/h);通过试件的试验可求得: $K_s = \frac{W \cdot d}{A \cdot t \cdot H}$

W ——时间 t 内的渗水总量 (cm^3);

A ——材料垂直于渗水方向的渗水面积 (cm^2);

H ——材料两侧的水压差 (cm);

t ——渗水时间 (h);

d ——材料的厚度 (cm)。

材料的 K_s 值愈小,则其抗渗能力愈强。工程中一些材料的防水能力就是以渗透系数表示的。

2. 抗渗等级

土木建筑工程中,为直接反映材料适应环境的(防水)能力,对一些常用材料(如混凝土、砂浆等)的抗渗(防水)能力常以抗渗等级表示。

材料的抗渗等级是指,材料用标准方法进行透水试验时,规定的试件在透水前所能承受的最大水压力,并以符号“P”及可承受的水压力值(以 0.1MPa 为单位)表示抗渗等级。如防水混凝土的抗渗等级为 P6、P8、P12、P16、P20,表示其分别能够承受 0.6MPa、0.8MPa、1.2MPa、1.6MPa、2.0MPa 的水压而不渗水。所以,材料的抗渗等级愈高,其抗渗性愈强。