

交通版

高等学校土木工程专业规划教材

JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



# 土木工程

## 材料

王元纲 李 洁 周文娟 主编  
秦鸿根 主审



人民交通出版社

China Communications Press



交通版 高等学校土木工程专业规划教材  
 JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

# — 土木工程材料

Tumu Gongcheng Cailiao

王元纲 李 洁 周文娟 主编  
 秦鸿根 主审



人民交通出版社  
 China Communications Press

## 内 容 提 要

本书根据高等学校土木工程专业本科教学大纲,系统地介绍了土木工程建设中使用的主要材料,内容包括绪论、材料的基本性质、建筑钢材、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆、砌体材料及屋面材料、沥青、沥青混合料、合成高分子材料、木材、建筑功能材料、土木工程材料实验等。其中重点介绍了这些材料的基本组成、技术性质、技术标准、质量要求、检测方法及选用原则。编写中采用了最新的标准和规范,在介绍土木工程材料基本知识的同时,力求反映土木工程材料的新产品、新技术、新工艺。

本书可作为高等工科院技土木工程专业及其他相关专业的教材,也可作为土木工程类科研、设计、管理和施工人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料 / 王元纲, 李洁, 周文娟主编. —北京:  
人民交通出版社, 2007.7  
ISBN 978-7-114-06510-1

I. 土… II. ①王…②李…③周… III. 土木工程-建筑  
材料 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 053936 号

书 名: 土木工程材料

著 者: 王元纲 李 洁 周文娟

责任编辑: 张征宇 赵瑞琴

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销费电话: (010) 85285656, 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市吉祥印务有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 19

字 数: 475 千

版 次: 2007 年 7 月 第 1 版

印 次: 2007 年 7 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06510-1

定 价: 34.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

交通版

高等学校土木工程专业规划教材

编委会

---

主任委员：阎兴华

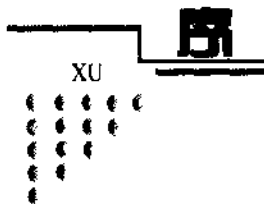
副主任委员：张向东 李幅昌 魏连雨 赵 尘

宗 兰 马芹永 段敬民 黄炳生

委 员：彭大文 林继德 张俊平 刘春原

党星海 刘正保 刘华新 丁海平

秘 书 长：张征宇



随着科学技术的迅猛发展、全球经济一体化趋势的进一步加强以及国力竞争的日趋激烈,作为实施“科教兴国”战略重要战线的高等学校,面临着新的机遇与挑战。高等教育战线按照“巩固、深化、提高、发展”的方针,着力提高高等教育的水平和质量,取得了举世瞩目的成就,实现了改革和发展的历史性跨越。

在这个前所未有的发展时期,高等学校的土木类教材建设也取得了很大成绩,出版了许多优秀教材,但在满足不同层次的院校和不同层次的学生需求方面,还存在较大的差距,部分教材尚未能反映最新颁布的规范内容。为了配合高等学校的教学改革和教材建设,体现高等学校在教材建设上的特色和优势,满足高校及社会对土木类专业教材的多层次要求,适应我国国民经济建设的最新形势,人民交通出版社组织了全国二十余所高等学校编写“交通版高等学校土木工程专业规划教材”,并于2004年9月在重庆召开了第一次编写工作会议,确定了教材编写的总体思路,于2004年11月在北京召开了第二次编写工作会议,全面审定了各门教材的编写大纲。在编者和出版社的共同努力下,目前这套规划教材已陆续出版。

这套教材包括“土木工程概论”、“建筑工程施工”等31门课程,涵盖了土木工程专业的基础课和专业课的主要系列课程。这套教材的编写原则是“厚基础、重能力、求创新,以培养应用型人才为主”,强调结合新规范、增大例题、图解等内容的比例并适当反映本学科领域的新发展,力求通俗易懂、图文并茂;其中对专业基础课要求理论体系完整、严密、适度,兼顾各专业方向,应达到教育部和专业教学指导委员会的规定要求;对专业课要体现出“重应用”及“加强创新能力和工程素质培养”的特色,保证知识体系的完整性、准确性、正确性和适应性,专业课教材原则上按课群组划分不同专业方向分别考虑,不在一本教材中体现多专业内容。

反映土木工程领域的最新技术发展、符合我国国情、与现有教材相比具有明显特色是这套教材所力求达到的,在各相关院校及所有编审人员的共同努力下,交通版高等学校土木工程专业规划教材必将对我国高等学校土木工程专业建设起到重要的促进作用。

交通版高等学校土木工程专业规划教材编审委员会  
人民交通出版社

# 前言 QIANYAN



土木工程材料课程是土木工程专业的主要学科基础课(或称专业基础课)之一。随着科学技术的快速发展,土木工程中使用的各种新材料、新技术、新标准和新规范等不断出现,土木工程材料课程必须紧跟土木工程的发展步伐,不断更新课程内容。因此,编写一本能适应土木工程材料发展的新教材是非常必要的。

本书以全国高等院校土木工程专业指导委员会制订的课程教学大纲、最新颁布的各种材料的技术标准和规范为主要依据进行编写,内容包括土木工程所涉及的各大类材料,着重介绍土木工程材料的基本概念、基本理论和基本方法,对近几年发展应用较好的新型建筑材料和常用材料的实验方法,也在相应的章节里作了介绍。

本书由王元纲(南京林业大学土木工程学院教授)担任主编,李洁(南京林业大学土木工程学院副教授)、周文娟(北京建筑工程学院讲师)担任副主编,参编人员有马可栓(南阳理工学院讲师)、张高勤(南京林业大学土木工程学院讲师)。其中王元纲编写前言、第一章、第六章、第七章,并负责全书统稿;李洁编写第五章、第九章、第十二章、第十四章(实验五~实验十);周文娟编写第二章、第三章、第十一章、第十三章(1~2节),马可栓编写第四章、第八章、第十四章(实验一~实验四),张高勤编写第十章、第十三章(3~4节)。

本书由东南大学材料科学与工程学院秦鸿根教授担任主审。秦教授对全书进行了认真审阅,并提出了许多重要的修改意见和建议,谨在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平所限,书中定有疏漏或不当之处,敬请使用本教材授课的教师和读者给予批评指正,以便再版时予以纠正。

本书在编写过程中得到了担任编写工作的各位老师所在学校和部分兄弟院校同行的大力支持和帮助,谨在此表示诚挚的感谢。

编者

2007年3月

# 目录

MULL

目  
录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 土木工程材料的范畴与分类 .....	1
第二节 土木工程材料与土木工程的关系.....	2
第三节 土木工程材料的标准化.....	2
第四节 本课程的学习方法与要求.....	3
思考题.....	4
<b>第二章 材料的基本性质</b> .....	5
第一节 材料的物理性质.....	5
第二节 材料的力学性质 .....	14
第三节 材料的耐久性 .....	17
第四节 材料的组成、结构与构造及其与材料性质的关系 .....	18
思考题及习题 .....	20
<b>第三章 建筑钢材</b> .....	21
第一节 概述 .....	21
第二节 钢材的主要力学性能 .....	25
第三节 钢材的工艺性能 .....	29
第四节 土木工程中常用钢材的分类、性质与选用.....	31
第五节 钢材的锈蚀与防护 .....	39
思考题 .....	40
<b>第四章 气硬性胶凝材料</b> .....	41
第一节 石膏 .....	41
第二节 石灰 .....	44
第三节 水玻璃 .....	47
思考题 .....	48
<b>第五章 水泥</b> .....	49
第一节 硅酸盐水泥的基本组成与生产原理 .....	49
第二节 硅酸盐水泥的硬化机理 .....	51
第三节 硅酸盐水泥的技术性质及性能特点 .....	54
第四节 掺混合材料的硅酸盐水泥 .....	60
第五节 常用水泥的选用原则 .....	64

第六节 其他水泥品种 .....	65
思考题 .....	70
<b>第六章 混凝土 .....</b>	<b>72</b>
第一节 概述 .....	72
第二节 普通混凝土的基本组成材料 .....	73
第三节 混凝土拌和物的和易性 .....	79
第四节 混凝土的强度和变形性质 .....	83
第五节 混凝土的耐久性 .....	93
第六节 混凝土外加剂和矿物掺和料 .....	95
第七节 混凝土的质量控制 .....	103
第八节 混凝土的配合比设计 .....	107
第九节 其他品种混凝土 .....	115
思考题及习题 .....	118
<b>第七章 建筑砂浆 .....</b>	<b>119</b>
第一节 砂浆的主要技术性质 .....	119
第二节 砌筑砂浆 .....	121
第三节 抹面砂浆 .....	125
第四节 特种砂浆 .....	127
思考题及习题 .....	128
<b>第八章 砌体材料及屋面材料 .....</b>	<b>129</b>
第一节 砌墙砖 .....	129
第二节 砌块 .....	137
第三节 砌筑用石材 .....	141
第四节 屋面材料 .....	145
思考题及习题 .....	147
<b>第九章 沥青 .....</b>	<b>148</b>
第一节 沥青的分类与生产 .....	148
第二节 石油沥青的组成与结构 .....	149
第三节 石油沥青的主要技术性质 .....	151
第四节 石油沥青的技术标准 .....	155
第五节 改性沥青 .....	158
第六节 煤沥青 .....	160
思考题 .....	161
<b>第十章 沥青混合料 .....</b>	<b>162</b>
第一节 沥青混合料的分类与组成材料 .....	162
第二节 沥青混合料的组成结构 .....	168
第三节 沥青混合料的技术性质与技术标准 .....	172
第四节 矿质混合料的组成设计 .....	176
第五节 热拌沥青混合料的配合比设计 .....	182
思考题及习题 .....	193



<b>第十一章</b>	<b>合成高分子材料</b> .....	195
第一节	合成高分子材料的基本知识.....	195
第二节	建筑塑料.....	198
第三节	黏合剂.....	203
思考题	.....	205
<b>第十二章</b>	<b>木材</b> .....	206
第一节	木材的分类与构造.....	206
第二节	木材的物理性质和力学性质.....	208
第三节	木材的防腐和防火处理.....	214
第四节	木材的主要产品及应用.....	215
思考题	.....	219
<b>第十三章</b>	<b>建筑功能材料</b> .....	220
第一节	防水材料.....	220
第二节	绝热材料.....	230
第三节	吸声材料和隔声材料.....	233
第四节	装饰材料.....	237
思考题	.....	252
<b>第十四章</b>	<b>土木工程材料试验</b> .....	253
实验一	土木工程材料基本性质试验.....	253
实验二	钢筋试验.....	255
实验三	水泥试验.....	257
实验四	集料试验.....	264
实验五	普通混凝土试验.....	268
实验六	建筑砂浆试验.....	272
实验七	烧结普通砖抗压强度试验.....	275
实验八	木材试验.....	276
实验九	石油沥青试验.....	279
实验十	沥青混合料试验.....	283
<b>参考文献</b>	.....	290



## 第一节 土木工程材料的范畴与分类

### 一、土木工程材料的范畴及特点

土木工程泛指建筑工程、道路与桥梁工程、水利水电工程等建设性工程。土木工程中所使用的各种材料及制品,都统称为土木工程材料。一般来说,土木工程材料应具有以下特点:

- ①具备足够的强度,能够承受设计荷载的作用而不发生破坏。
- ②具有与使用环境相适应的耐久性,使建筑物具有较长的使用寿命,维修费用低。
- ③用于特殊部位的材料,具有相应的能满足使用要求的功能,例如屋面材料能隔热、防水,楼板和内墙材料能隔声,装饰材料能产生一定的艺术效果、美化建筑。
- ④无毒、无污染、无放射性,能满足环保和人体健康的要求。
- ⑤制造方便,价格较低,使用范围较广。

### 二、土木工程材料的分类

土木工程材料的品种非常多,各种材料的性能和用途也不同,为了便于区分和应用,常从不同角度进行分类。

#### 1. 按材料的化学成分分类

按材料的化学成分,可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。

无机材料可分为金属材料(如钢、铁等黑色金属,铝、铜等有色金属)和无机非金属材料(如砂石材料、砖、瓦、玻璃、建筑陶瓷、石灰、石膏、水泥、混凝土、硅酸盐制品等)两类。

有机材料可分为植物材料(如木材、竹材等)、沥青材料(如石油沥青、煤沥青、沥青制品)和合成高分子材料(如建筑塑料、涂料、胶黏剂等)三类。

复合材料主要有两类:一是无机材料与有机材料经过复合制成的材料,如玻璃钢、聚合物混凝土、沥青混合料、轻质金属夹芯板等;二是金属材料与无机非金属材料经过复合制成的材料,如钢筋混凝土、钢纤维混凝土等。

## 2. 按材料在建筑物或构筑物中的功能分类

按材料在建筑物或构筑物中的功能,可分为承重材料和非承重材料、保温隔热材料、吸声隔声材料、防水材料、装饰材料等。

## 3. 按材料的使用部位分类

按材料的使用部位,可分为结构材料、墙体材料、屋面材料、地面材料、饰面材料等。

## 第二节 土木工程材料与土木工程的关系

土木工程材料是土木工程的物质基础,在建造任何一个建筑物或构筑物时都要使用材料。

土木工程材料也是土木工程重要的质量基础。在材料的生产、选择、储运、保管、使用和检验评定等各个环节中,任何失误都可能使土木工程材料产生质量缺陷,从而可能造成土木工程出现质量事故。国内外土木工程中的许多重大质量事故都与材料的质量不合格有关。

在土木工程中,材料费用一般要占工程总造价的50%左右,有的可高达70%。因此,在土木工程的设计和施工过程中,必须正确合理地选用材料。否则,建筑物(或构筑物)的安全、实用、美观、耐久就不能得到保证,或者保证了质量,但工程造价大大提高,不够经济。

土木工程材料是随着人类社会生产力的发展和科学技术水平的提高而逐步发展起来的。土木工程材料的发展,促进了工程设计和施工技术水平的提高。在历史上,水泥、钢材的出现和性能的提高,曾使得土木工程的设计和施工技术发生了飞跃性的变化。同时,工程设计和施工技术水平的不断提高,对材料性能会不断提出新的要求,从而促进了材料生产技术的提高和建筑材料工业的发展。

进入21世纪以后,为了满足建筑技术发展的需要,土木工程材料正朝着轻质、高强、高耐久性和多功能的方向发展。为了满足环境保护和可持续发展的需要,在土木工程材料的生产使用过程中,应充分利用地方材料和工业废弃物,尽量少用天然资源;应采用低能耗、无环境污染的生产技术,优先开发和生产低能耗的材料以及能降低建筑物使用能耗的节能型材料;不得使用有损人体健康的添加剂和颜料,同时要开发对人体健康有益的材料;产品可再生循环和回收利用,无污染废弃物排放。

## 第三节 土木工程材料的标准化

### 一、标准化的概念

标准是指为在一定的范围内获得最佳秩序,对活动或其结果规定共同的和重复使用的规则、导则或特性的文件。该文件经协商一致制定并经一个公认机构的批准。标准是以科学、技术和经验的综合成果为基础,以促进最佳社会效益为目的。

标准化是指对实际的或潜在的问题制定共同的和重复使用的规则的活动。它包括制定、发布和实施标准的过程。产品标准化是现代工业发展的产物,是组织现代化大生产的重要手段,也是科学管理的重要组成部分。

目前我国绝大多数土木工程材料都制定有技术标准。技术标准是材料生产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。土木工程材料实施

标准化,就要求生产企业必须按标准生产合格的产品。实施标准化可促进企业改善管理,提高生产率,实现生产过程的合理化。对于使用部门,实施标准化就要求其应当按标准选用材料,从而有利于加快施工进度,降低工程造价。

## 二、土木工程材料标准的种类

按内容土木工程材料标准主要包括产品标准、试验检测方法标准、生产设备标准等。产品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、运输和储存等方面的内容。

《中华人民共和国标准化法》将我国标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四级。

### 1. 国家标准

国家标准是在全国范围内统一的技术要求。国家标准的年限一般为5年,过了年限后,国家标准就要被修订或重新制订。国家标准有强制性标准(代号为GB)和推荐性标准(代号为GB/T)。国家标准由国务院标准化行政主管部门制定。

### 2. 行业标准

行业标准是指没有国家标准而又需要在全国某个行业范围内统一的技术要求。其应用范围广、数量多,如建工行业工程建设标准(代号为JGJ)、建材行业标准(代号为JC)、冶金行业标准(代号为YB)、交通行业工程建设标准(代号为JTJ)等。行业标准由国务院有关行政主管部门制定。

### 3. 地方标准

地方标准是指省、自治区和直辖市标准化行政主管部门制定和颁布的标准(代号为DB)。

### 4. 企业标准

企业标准是指企业自己制定的标准(代号为QB)。

各级标准分别由相应的标准化管理部门批准并颁布。国家技术监督局是国家标准化管理的最高机构。国家标准和部门行业标准都是全国标准,是国家指令性文件,各级生产、设计、施工等部门均必须严格遵照执行。

标准的表示方法由标准名称、部门代号、编号和批准年份组成。例如:

《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB 175—1999)。前面为产品标准名称,部门代号为GB,编号为175,批准年份为1999年。

《水泥胶砂强度检验法》(GB 17671—1999)。前面为试验方法标准名称,部门代号为GB,编号为17671,批准年份为1999年。

工程中也可能采用其他国家或国际组织颁布的标准,如国际标准(ISO)、美国国家标准(ANSI)、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。

## 第四节 本课程的学习方法与要求

土木工程材料是土木工程专业的学科基础课(或称专业基础课)。学习上木工程材料课程的目的是为学习后续的结构设计、工程施工、经济管理等方面的专业课程,以及为今后从事工

程实践和科学研究打下必要的工程材料方面的基础。

学习土木工程材料,应具有高等数学、数理统计、材料力学、物理学、无机化学和有机化学等课程的基础。对于土木工程专业的学生而言,今后多数是在工程实践中使用土木工程材料,因此在学习本课程时,不仅要重视理论内容的学习,更应重视实践内容的学习。

在学习理论内容时,应重点掌握各种材料(尤其是常用材料)的技术性质、性能特点及应用范围,懂得如何合理地选用材料。同时应了解材料的原料、生产工艺、组成和结构(或构造),因为这些方面对材料性质的形成具有重要的作用。

学习时不仅要掌握各种材料(尤其是常用材料)的技术性质,而且应注意了解具有这些性质的原因以及各种性质之间的相互关系。对于同一种类的材料(如石灰、水泥、混凝土、钢材等),应了解其中不同品种材料的共性,以及各自的特性和产生这些特性的原因。

由于各种材料在运输、储存及使用过程中,都会受到外界因素的影响,其性质都可能发生变化,所以必须了解会引起材料性质变化的外界条件和材料的内在原因,从而掌握变化的规律,懂得采取什么样的应对措施确保材料的性能能够满足使用要求,保证工程的质量和使用寿命。

实验课是本课程的主要实践性教学环节。应通过上实验课,学习和掌握各种常用材料试验的原理和方法,能对常用材料的质量进行评定,同时培养严谨求实的科学态度和实际动手能力。上实验课时,应严格按照试验方法,一丝不苟地做实验;要了解实验条件对实验结果的影响,并能对实验数据、实验结果进行正确的分析和判断。

### 思 考 题

1. 土木工程材料有哪些种类?
2. 为何要学习和掌握土木工程材料基本知识?
3. 土木工程材料为何要实施标准化? 标准有哪些种类?

## 第一节 材料的物理性质

### 一、材料的基本状态参数

#### 1. 材料的密度、表观密度和堆积密度

##### 1) 密度

材料在绝对密实状态下单位体积的质量,称为密度(俗称比重),以下式计算:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中: $\rho$  — 材料的密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m$  — 材料在干燥状态下的质量( $\text{g}$ );

$V$  — 材料在绝对密实状态下的体积( $\text{cm}^3$ ).

材料在绝对密实状态下的体积,是指不含有任何孔隙的固体物质的实体积。

土木工程材料中除玻璃、钢材、沥青等可认为不含孔隙外,绝大多数材料,如砖、石材等块状材料都含有一定的孔隙。测定含孔材料绝对密实状态下的体积的简单方法,是先将该材料磨成细粉,经干燥至恒重后,用李氏瓶(排液法)测定的粉末体积,即为绝对密实体积。由于磨得越细,内部孔隙消除得越完全,测得的体积也就越精确,因此,一般要求细粉的粒径应小于 $0.20\text{mm}$ 。

材料的密度 $\rho$ 的大小取决于组成物质的原子量和分子结构。重金属材料的密度为 $7.50\sim 9.00\text{g}/\text{cm}^3$ ;硅酸盐的密度为 $1.80\sim 3.30\text{g}/\text{cm}^3$ ;有机高分子材料的密度一般小于 $2.50\text{g}/\text{cm}^3$ 。同为碳原子组成,石墨的分子结构较松散,密度为 $2.20\text{g}/\text{cm}^3$ ;而金刚石极为坚实,密度高达 $3.50\text{g}/\text{cm}^3$ 。

##### 2) 表观密度

材料在自然状态下单位体积的质量,称为表观密度,以下式计算:

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

式中： $\rho_0$ ——材料的表观密度(g/cm<sup>3</sup>或kg/m<sup>3</sup>)；  
 $m$ ——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<sup>3</sup>或m<sup>3</sup>)。

含孔材料的自然状态如图 2-1 所示。

材料在自然状态下的体积是指包含材料实体和内部孔隙的外观几何形状的体积。

材料自然状态下的体积测定,对于外形规则的材料,可直接用量具测其外形尺寸,按几何公式计算其体积;对外形不规则的材料要采用排液法求得,但为了防止水分渗入材料内部影响测定结果,通常在材料表面预先涂蜡。

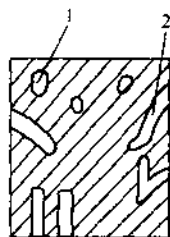


图 2-1 含孔材料自然状态示意图  
 1-闭孔隙;2-开口孔

另外,材料的表观密度大小与含水状况有关。当材料含水率变化时,材料的体积和质量都会发生变化。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。通常材料的表观密度是指气干状态下的表观密度。在干燥状态下的表观密度称为干表观密度。

### 3) 堆积密度

散粒材料在自然堆积状态下单位体积的质量,称为堆积密度,以下式计算:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (2-3)$$

式中： $\rho'_0$ ——材料的堆积密度(kg/m<sup>3</sup>)  
 $m$ ——材料在干燥状态下的质量(kg)；  
 $V'_0$ ——材料在堆积状态下的体积(m<sup>3</sup>)。

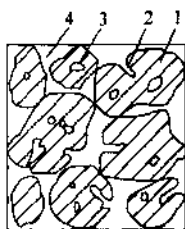


图 2-2 散粒材料堆积状态示意图  
 1-颗粒中的固体物质;2-颗粒中的开口孔隙;3-颗粒中的闭口孔隙;  
 4-颗粒间空隙

散粒材料的堆积状态如图 2-2 所示。

散粒材料在堆积状态下的外观体积,既包括了颗粒自然状态下的体积,又包括了颗粒之间的空隙体积。散粒材料的堆积体积常用其所充满的容器的标定容积来表示。

通常散粒材料的堆积方式是松散的,称为自然堆积。材料的堆积体积指的是自然堆积体积。如果堆积方式是捣实的,称为紧密堆积。由紧密堆积测试得到的堆积密度称为紧密堆积密度。

### 2. 材料的孔隙率与密实度

#### 1) 孔隙率

绝大多数土木工程材料的内部都含有孔隙,孔隙的数量会对材料的性质产生不同程度的影响。材料中含有孔隙的数量以孔隙率表示。孔隙率是指材料内部孔隙体积( $V_p$ )占材料总体积(即自然状态下的体积  $V_0$ )的百分率,可按下式计算:

$$P = \frac{V_p}{V_0} \times 100\% = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (2-4)$$

式中： $P$ ——材料的孔隙率(%)。

其他符号的意义与前述相同。

材料的性质不仅与孔隙率有关,而且与材料的孔隙特征有关。材料的孔隙特征包括孔隙的尺寸大小、形状、分布、连通与否等。以下仅介绍以后章节的学习中经常涉及三个特征:

①按孔隙尺寸大小,孔隙可分为微孔、细孔和大孔三种。

②按孔隙之间的连通性,孔隙可分为孤立孔(互相隔开的孔)及连通孔(互相贯通的孔)。

③按孔隙与外界连通性,孔隙可分为开口孔(与外界相连通的孔)及闭口孔(与外界不连通的孔)。

通常把开口孔的孔体积记为  $V_k$ ,闭口孔的孔体积记为  $V_b$ ,则有  $V_p = V_k + V_b$ 。

另外,定义开口孔隙率为  $P_k = \frac{V_k}{V_0}$ ,闭口孔隙率为  $P_b = \frac{V_b}{V_0}$ ,则又有下式成立:

$$P = P_k + P_b \quad (2-5)$$

## 2) 密实度

材料密实度是指材料内部固体物质的实体积占材料总体积的百分率,可按下式计算:

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% = 1 - P \quad (2-6)$$

材料密实度值愈大,则材料愈密实,孔隙愈少。

## 3. 材料的空隙率与填充率

在堆积状态下散粒材料颗粒间的空隙数量用空隙率表示。空隙率是指散粒材料在堆积状态下的颗粒间的空隙体积( $V_s$ )占堆积体积的百分率,可按下式计算:

$$P' = \frac{V_s}{V'_0} \times 100\% = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (2-7)$$

与空隙率对应的是材料的填充率,即散粒材料的自然状态体积占堆积体积的百分率,可按下式计算:

$$D' = \frac{V_0}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \times 100\% = 1 - P' \quad (2-8)$$

## 二、材料与水有关的性质

### 1. 材料的亲水性与憎水性

当材料表面与水接触时,水分子会与材料分子间发生相互作用,对不同的材料,两种分子间作用力的大小不同,从而表现出不同的特点,有的材料具有亲水性,有的材料则具有憎水性。

材料与水接触时水的铺展状况可用润湿角  $\theta$  来说明,在材料、水、空气的三相交点处沿水的表面作切线,此切线与水与材料接触面所成的夹角即为  $\theta$ (图 2-3)。 $\theta$  越小,表明材料越易被水润湿,当  $\theta=0$  时,材料完全被水润湿。一般认为,当  $\theta \leq 90^\circ$  时,表明水分子之间的内聚力小于水分子与材料分子间的吸引力,材料能被水润湿而表现出亲水性,具有这种性质的材料称为亲水性材料[图 2-3a)];当  $\theta > 90^\circ$  时,表明水分子之间的内聚力大于水分子与材料分子间的吸引力,材料不能被水润湿而表现出憎水性,具有这种性质的材料称为憎水性材料[图 2-3b)]。



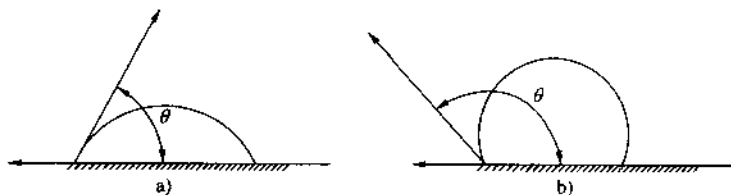


图 2-3 材料的润湿角示意图

a)  $\theta \leq 90^\circ$ ; b)  $\theta > 90^\circ$

亲水性材料易被水润湿,且水能通过毛细管作用而渗入材料内部。大多数土木工程材料,如砖、混凝土、木材等都属于亲水性材料;大部分有机材料如沥青、塑料等为憎水性材料。

## 2. 材料的含水状态

含水状态只能针对于亲水性材料而言。材料的基本含水状态有 4 种,如图 2-4 所示。主要有:

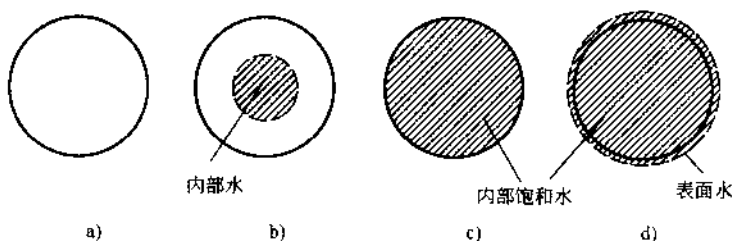


图 2-4 材料的含水状态

a) 干燥状态; b) 气干状态; c) 饱和面干状态; d) 湿润状态

①干燥状态是指材料的含水率等于或接近于零时的状态。

②气干状态是指材料较长时间处于空气中,其含水率与大气湿度达到平衡时的状态。

③饱和面干状态是指材料表面干燥,而内部孔隙中含水达到饱和时的状态。

④湿润状态是指材料内部孔隙含水饱和,并且表面还附有一层水膜时的状态。

通常材料的含水状态可能为以上 4 种状态之一,也可能处于两种基本状态的过渡状态中。

## 3. 材料的吸湿性和吸水性

### 1) 吸湿性

材料在潮湿的空气中吸收水分的性质,称为吸湿性。材料的吸湿性用含水率表示,按下式计算:

$$W_h = \frac{m_s - m_g}{m_g} \times 100\% \quad (2-9)$$

式中:  $W_h$  —— 材料含水率(%);

$m_s$  —— 材料吸湿状态下的质量(g);

$m_g$  —— 材料干燥状态下的质量(g)。

材料的吸湿作用是可逆的,在潮湿的空气中可以吸收水分,也可以释放水分。当材料吸收的水分与释放的水分达到平衡时的含水率称为平衡含水率。平衡含水率的大小随环境温度、湿度的变化而变化。温度降低、湿度增大时,平衡含水率会相应增大,反之减小。除此之外,材料的孔隙率及孔隙特征对吸湿性也有影响,材料的开口微孔越多,吸湿性越强。

### 2) 吸水性