

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

第2版



土木工程材料

王元纲 李 洁 周文娟 主 编
秦鸿根 主 审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

交通版

JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

第2版

土木工程材料

Tumu Gongcheng Cailiao

王元纲 李 洁 周文娟 主 编
秦鸿根 主 审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



内 容 提 要

本书根据高等学校土木工程专业本科课程教学大纲编写,系统介绍了土木工程材料的基本知识、常用材料的基本组成、技术性质、技术标准和质量要求、检测方法及选用原则,力求反映新产品和新技术。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、木材与竹材、建筑功能材料、土木工程材料试验等。

本书可作为高等工科院校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. —2
版. —北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.1
ISBN 978-7-114-14501-8

I. 土… II. ①王… ②李… ③周… 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(2018)第 017863 号

交通版高等学校土木工程专业规划教材

书 名:土木工程材料(第2版)

著 作 者:王元纲 李 洁 周文娟

责任编辑:张征宇 赵瑞琴

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

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>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:19.75

字 数:478千

版 次:2007年7月 第1版

2018年1月 第2版

印 次:2018年1月 第2版 第1次印刷 总第6次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-14501-8

印 数:10001—13000册

定 价:42.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

交通版

高等学校土木工程专业规划教材

编委会

(第二版)

主任委员: 戎 贤

副主任委员: 张向东 李帼昌 张新天 黄 新
宗 兰 马芹永 党星海 段敬民
黄炳生

委 员: 彭大文 张俊平 刘春原 张世海
郭仁东 王 京 符 怡

秘 书 长: 张征宇

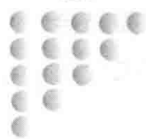
(第一版)

主任委员: 阎兴华

副主任委员: 张向东 李帼昌 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 and 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,这套规划教材已陆续出版。

在教材的使用过程中,我们也发现有些教材存在诸如知识体系不够完善问题,适用性、准确性存在问题,相关教材在内容衔接上不够合理以及随着规范的修订及本学科领域技术的发展而出现的教材内容陈旧、亟待修订的问题。为此,新改组的编委会决定于2010年底启动了该套教材的修订工作。

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
人民交通出版社股份有限公司

第二版 前言

QIANYAN



土木工程材料课程是土木工程专业的专业基础课(或称学科基础课)之一。本书以全国高等院校土木工程专业指导委员会制定的课程教学大纲、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。

随着科学技术的快速发展,土木工程材料的新品种、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,本教材在2007年第一版和2011年进行部分修改的基础上,对教材中涉及的已经修订的标准、规范的相关内容进行了修改,并增加了竹材、生态混凝土、自密实混凝土、混凝土轴心抗压强度和静力受压弹性模量试验、砂浆保水性试验、普通混凝土配合比设计(虚拟仿真试验)等新内容,对属于其他课程的内容,以及课堂讲授学时较少而教材介绍偏多的部分内容进行了精减。

本书由王元纲(南京林业大学土木工程学院教授)、李洁(南京林业大学土木工程学院教授)和周文娟(北京建筑大学土木与交通工程学院副教授)担任主编,参编人员有马可栓(南阳师范学院副教授)、黄凯建(南京林业大学土木工程学院副教授)和张高勤(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(一~七节)、第七章,并负责全书统稿;李洁编写第五章、第九章、第十二章(一~四节)、第十四章(试验五~试验十);周文娟编写第二章、第三章、第十一章、第十三章(一、二节),马可栓编写第四章、第八章、第十四章(试验一~试验四),黄凯建编写第六章(八~九节)、第十二章(第五节),张高勤编写第十章、第十三章(三~四节)、第十四章(试验十一)。

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。秦教授对全书认真进行了审阅,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,本书中定有疏漏或不当之处,敬请使用本教材的授课

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

2017 年 11 月

目录

MULU

第一章 绪论	1
第一节 土木工程材料的定义、特点与分类	1
第二节 土木工程材料的作用与发展趋势	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
思考与练习	4
第二章 材料的基本性质	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
思考与练习	20
第三章 建筑钢材	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	41
思考与练习	43
第四章 气硬性胶凝材料	44
第一节 石膏胶凝材料	44
第二节 石灰	47
第三节 水玻璃	51
思考与练习	52
第五章 水泥	53
第一节 硅酸盐水泥的基本组成与生产原理	53
第二节 硅酸盐水泥的硬化机理	55
第三节 硅酸盐水泥的技术性质及性能特点	58

第四节	通用硅酸盐水泥中其他五种水泥的性质及特点	64
第五节	常用水泥的选用原则	68
第六节	其他水泥品种	70
	思考与练习	74
第六章	混凝土	76
第一节	概述	76
第二节	普通混凝土的基本组成材料	77
第三节	混凝土拌和物的和易性	84
第四节	混凝土的强度和变形性质	87
第五节	混凝土的耐久性	97
第六节	混凝土外加剂和矿物掺和料	99
第七节	混凝土的质量控制	106
第八节	混凝土的配合比设计	109
第九节	其他品种混凝土	119
	思考与练习	123
第七章	建筑砂浆	125
第一节	砂浆的主要技术性质	125
第二节	砌筑砂浆	127
第三节	抹灰砂浆	133
第四节	其他砂浆	135
	思考与练习	137
第八章	砌体材料及屋面材料	138
第一节	砌墙砖	138
第二节	砌块	148
第三节	砌筑用石材	153
第四节	屋面材料	156
	思考与练习	158
第九章	沥青	159
第一节	沥青的分类与生产	159
第二节	石油沥青的组成与结构	160
第三节	石油沥青的主要技术性质	162
第四节	石油沥青的技术标准	166
第五节	改性沥青	169
第六节	煤沥青	171
	思考与练习	172
第十章	沥青混合料	173
第一节	沥青混合料的分类与组成材料	173
第二节	沥青混合料的组成结构	179
第三节	沥青混合料的技术性质与技术标准	183
第四节	矿质混合料的组成设计	188

第五节 热拌沥青混合料的配合比设计..... 193

思考与练习..... 205

第十一章 合成高分子材料..... 207

第一节 合成高分子材料的分类及命名..... 207

第二节 聚合物的基本性质..... 209

第三节 建筑塑料..... 211

思考与练习..... 215

第十二章 木材与竹材..... 216

第一节 木材的分类与构造..... 216

第二节 木材的物理性质和力学性质..... 218

第三节 木材的防腐和防火处理..... 224

第四节 木材的主要产品及应用..... 225

第五节 竹材及其制品..... 228

思考与练习..... 233

第十三章 建筑功能材料..... 234

第一节 防水材料..... 234

第二节 绝热材料..... 242

第三节 吸声材料..... 245

第四节 装饰材料..... 248

思考与练习..... 261

第十四章 土木工程材料试验..... 262

试验一 土木工程材料基本性质试验..... 262

试验二 钢筋试验..... 263

试验三 水泥试验..... 266

试验四 集料试验..... 272

试验五 普通混凝土试验..... 276

试验六 建筑砂浆试验..... 282

试验七 烧结普通砖抗压强度试验..... 286

试验八 木材试验..... 287

试验九 石油沥青试验..... 290

试验十 沥青混合料试验..... 293

试验十一 普通混凝土配合比设计(虚拟仿真试验)..... 299

参考文献..... 300

第一章 绪论



第一节 土木工程材料的定义、特点与分类

土木工程是建造各类工程设施的科学技术的统称,一般包含建筑工程、道路与桥梁工程,以及其他工程中的基础设施建设工程。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,维护费用低。
- (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)满足环境保护要求,对人体健康无害。
- (5)制造方便,性价比较高,使用范围较广。

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。

一、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、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、竹材及其制品)、沥青材料(如各种沥青、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,如钢纤维混凝土、夹丝玻璃、钢丝网水泥制品等。

二、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(能够承受一定荷载作用的材料)和

非承重材料、绝热材料(具有保温隔热功能的材料)、吸声隔声材料、防水材料(能够防止水渗透的材料)、装饰材料等。

三、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(用于梁、板、柱、屋架、基础、楼梯等结构部位的材料)、墙体材料、屋面材料、地面材料、饰面材料、路面材料、附属设施材料等。

第二节 土木工程材料的作用与发展趋势

土木工程材料是土木工程的物质基础,建造任何一个建筑物或构筑物都要使用材料。

土木工程材料也是土木工程重要的质量基础。在材料的选择、生产、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,从而影响土木工程的整体质量。国内外土木工程中出现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,必须正确选用材料,既要保证工程质量,保证建筑物(或构筑物)的安全、实用、美观、耐久,又要考虑经济性,合理控制材料费用。

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产生了飞跃性的变化。同时,工程设计和施工技术水平的不断提高,对材料性能不断提出新的要求,从而促进了材料科学研究和材料生产技术的提高,以及建筑材料工业的发展。

进入 21 世纪以后,为了满足土木工程技术发展的需要,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和使用过程中,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,这有利于土木工程的设计和施工实施标准化,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

土木工程材料标准按内容主要包括产品标准、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。

《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定。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)两类。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:

《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)。前面为产品标准名称,部门代号为GB,编号为175,批准年份为2007年。

《水泥胶砂强度检验法(ISO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。

工程中也可能会采用或参考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专业基础课(或称学科基础课)。学习土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,而且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,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以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。

试验课是本课程的主要实践性教学环节。通过试验课,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。上试验课时,应严格按照试验方法,一丝不苟地做试验;要了解试验条件对试验结果的影响,并能对试验数据、试验结果进行正确的分析和判断。

思考与练习

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? 标准是如何表示的?

第二章 材料的基本性质



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)。按式(2-1)计算:

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

式中: ρ ——材料的密度(g/cm^3);

m ——材料在干燥状态下的质量(g);

V ——材料在绝对密实状态下的体积(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,绝大多数材料都含有一定的孔隙,如砖、石材等块状材料。含孔材料绝对密实状态下的体积,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 0.20mm 。

材料的密度 ρ 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(俗称容重)。按式(2-2)计算:

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

式中: ρ_0 ——材料的表观密度(g/cm^3 或 kg/m^3);

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 或 m^3)。

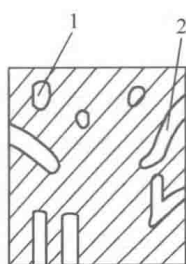


图2-1 含孔材料自然状态示意图

1-闭口孔;2-开口孔

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体积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。

另外,材料表观密度的大小与其含水状况有关。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。按式(2-3)计算:

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

式中: ρ'_0 ——材料的堆积密度(kg/m^3)

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^3)。

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。

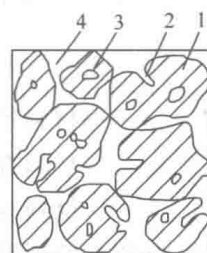


图 2-2 散粒材料堆积状态示意图

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

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,可按式(2-4)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的特征: