 中等职业教育土木类专业规划教材

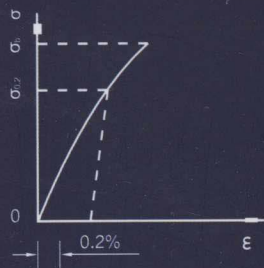
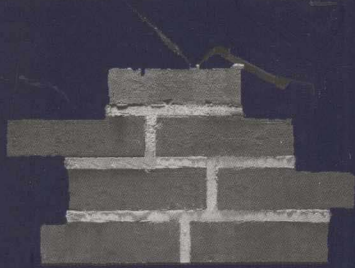
土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

主 编 刘 强 宋 杨

副主编 褚红梅 杨 妮

主 审 刘 冬



人民交通出版社
China Communications Press

◆ 中等职业教育土木类专业规划教材

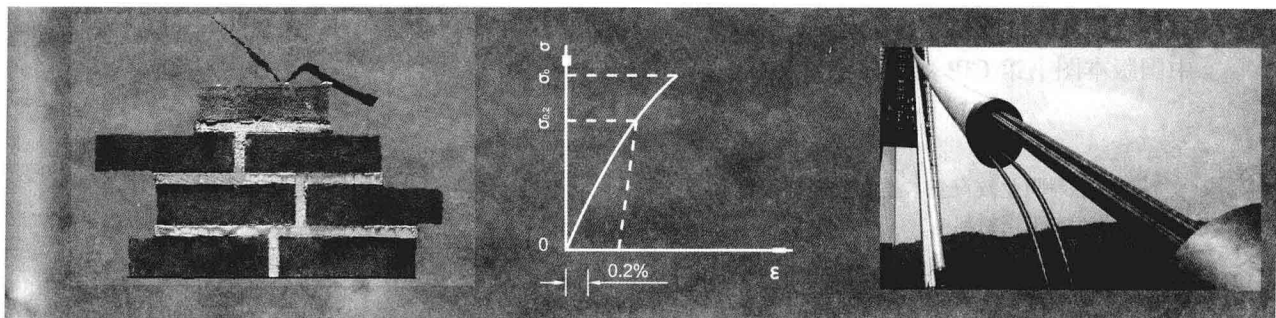
土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

主 编 刘 强 宋 杨

副主编 褚红梅 杨 妮

主 审 刘 冬



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书系统论述了土木工程中常用材料的分类、组成、生产工艺、技术特点、技术标准、试验鉴定等基本理论及其应用技术。

全书共 13 章,内容包括土木工程材料的基本性质、天然石材、气硬性胶凝材料、水硬性胶凝材料——水泥、混凝土用集料、混凝土、建筑钢材、土的工程性质、无机结合料稳定材料、沥青及沥青混合料、建筑砂浆、防水材料、墙体材料与装饰材料。此外,本书配套出版了《土木工程试验实训指导》一书以利于教学使用。

本书被列为“中等职业教育土木类专业规划教材”,适合作为职业教育土木类专业、建筑类专业师生的教学用书,也可作为相关专业工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料 / 刘强, 宋杨主编. —北京: 人民交通出版社, 2011.8

ISBN 978-7-114-09182-7

I. ①土… II. ①刘…②宋… III. ①土木工程—建筑材料 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 107386 号

中等职业教育土木类专业规划教材

书 名: 土木工程材料

著 者: 刘 强 宋 杨

责任编辑: 刘彩云

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>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 17.25

字 数: 401千

版 次: 2011年8月 第1版

印 次: 2011年8月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-09182-7

定 价: 29.80元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

中等职业教育土木类专业规划教材

编审委员会

主任委员 徐 彬

副主任委员 (以姓氏笔画为序)

安锦春 陈苏惠 陈志敏 陈 捷 张永远

张 雯 徐寅忠 曹 勇 韩军峰 蒲新录

委 员 (以姓氏笔画为序)

王丽梅 石长宏 刘 强 朱凤兰 朱军军

米 欣 宋 杨 张建华 张维丽 李志勇

李忠龙 李荣平 杨立新 杨 伟 杨 妮

苏娟婷 连建忠 陈 宇 房艳波 姚建英

姜东明 姜毅平 禹凤军 钟起辉 徐 成

徐瑞龙 强天林 焦仲秋 程达峰 韩高楼

褚红梅

丛书编辑 刘彩云 (lcy@ccpress.com.cn)

中等职业教育土木类专业规划教材 出版说明

近年来,国家大力发展中等职业教育,中职教育获得了前所未有的发展,而且随着社会需求的不断变化,以及中职教育的不断深化,中职教育也面临着新的机遇和挑战;同时,随着我国城市化的推进和交通基础设施建设的蓬勃发展,公路、铁路、城市轨道交通等领域的大规模建设,对技能型人才的需求非常强烈,为土木类中职教育的发展提供了难得的契机。

为贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》以及《中等职业教育改革创新行动计划(2010—2012年)》等一系列文件的精神和要求,加快培养具有良好职业道德、必要文化知识、熟练职业技能等综合职业能力的高素质劳动者和技能型人才,人民交通出版社在有关学会和专家的指导下,组织全国十余所土木类重点中职院校,通过深入研讨,确立面向“十二五”的新型教材开发指导思想,共同编写出版本套中职土木类专业规划教材,意在为广大土木类中职院校提供一套具有鲜明中职教育特点、体现行业教育特色、适用且好用的高品质教材,以不断推进中职教学改革,全面提高中职土木类专业教育教学质量。

本套教材主要特色如下:

(1)面向“十二五”,积极适应当前的职业教育教学改革需要,确保创新性和高质量。

(2)充分体现行业特色,重点突出教材与职业标准的深度对接,以及铁道、公路、城市轨道交通知识体系的深入交叉、整合、渗透,以满足教学培养和就业需要。

(3)立体化教材开发,教材配套完善——以“纸质教材+多媒体课件”为主体,配套实训用书,建设网络教学资源库,形成完整的教学工具和教学支持服务体系。

(4)纸质教材编写上,突出简明、实务、模块化,着重于图解和工程案例教学,确保教材体现较强的实践性,适合中职层次的学生特点和学习要求;当前高速公路、高速铁路、城市地铁、隧道工程建设发展迅速,技术更新较快,邀请企业人员与高等院校专家全程参与教材编写与审定,提供最新资料,确保所涉及技术和资料的先进性和准确性;结合双证书制进行教材编写,以满足目前职业院校学生培养

中的双证书要求。

本套教材开发依据教育部新颁中等职业学校专业目录中的土木类铁道施工与养护、道路与桥梁工程施工、工程测量、土建工程检测、工程造价、工程机械运用与维修等专业要求,最新修订的全国技工院校专业目录中的公路施工与养护、桥梁施工与养护、公路工程测量、建筑施工等专业,以及公路、铁路、隧道及地下工程等土建领域的相关专业要求,面向上述领域的各职业和岗位,知识相互兼容与涵盖。本套教材可供上述各专业使用,其他相关专业以及相应的继续教育、岗位培训亦可选择使用。

人民交通出版社
中等职业教育土木类专业规划教材编审委员会
2011年6月

前 言

本书主要针对中等职业技术学校并兼顾高职院校土木工程类专业而编写。全书依据教育部对中等职业教育人才培养目标、培养规格和培养模式的要求,密切结合企业对中职人才在知识、技能和素质结构方面的需要,针对中职学生特点,本着“够用、适用”的原则,通过参考大量有关土木工程材料方面的资料、吸收施工企业人员的意见和建议,采用了最新技术标准和规范,重点介绍了土木工程中常用材料(尤其是结构和道路用材料)的分类、组成及生产工艺、技术特点、技术标准、试验鉴定等基本理论及其应用技术。全书编写体现了以下特点:

(1)体系完整、结构合理,内容编写循序渐进,符合学生认知规律,有助于提高学生在学习兴趣,充分体现了职业教育特性。

(2)理论与技能相结合,体现了当前倡导的“一体化”教学模式。

(3)内容深度适宜,语言通俗易懂,每章有引子、例题或案例、本章小结、习题等,实用性和针对性较强。

本书由成都铁路工程学校刘强、中铁十三局技师学院宋洋担任主编,中铁十八局集团有限公司技工学校褚红梅、中铁二十局集团公司技工学校杨妮担任副主编,陕西铁路职业技术学院刘冬担任主审。具体编写分工如下表所列。

学校名称	姓名	编写内容
成都铁路工程学校	刘强	绪论、第一章、第六章
	肖春平	第二章
	陈劲松	第四章
成都市工业职业技术学校	桂川	第十一章、第十三章
	余俊	第七章
中铁十三局技师学院	宋杨	第十章、第十二章
中铁十八局集团有限公司技工学校	褚红梅	第三章、第五章
中铁二十局集团公司技工学校	杨妮	第八章、第九章

本书在编写过程中,得到人民交通出版社及编者所在学校领导、同事及企业相关人员的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢!

限于编者水平,书中不足或错误之处在所难免,敬请读者批评、指正。

编者
2011年6月

目 录

绪论	1
第一章 土木工程材料的基本性质	4
第一节 土木工程材料的物理性质	4
第二节 土木工程材料的力学性质	11
第三节 土木工程材料的耐久性	13
本章小结	13
思考与练习题	14
第二章 天然石材	15
第一节 岩石的主要类型	15
第二节 石材的主要技术性质	19
第三节 石材的主要品种和应用	23
本章小结	26
思考与练习题	26
第三章 气硬性胶凝材料	27
第一节 石灰	27
第二节 石膏	33
第三节 水玻璃	36
本章小结	38
思考与练习题	38
第四章 水硬性胶凝材料——水泥	39
第一节 通用硅酸盐水泥	39
第二节 特性水泥和专用水泥	52
本章小结	58
思考与练习题	58
第五章 混凝土用集料	59
第一节 细集料	59
第二节 粗集料	66
本章小结	72
思考与练习题	72
第六章 混凝土	74
第一节 概述	74
第二节 普通混凝土的主要技术性质	76

第三节	普通混凝土的配合比设计	90
第四节	掺外加剂和掺合料混凝土	101
第五节	混凝土的质量控制	113
第六节	其他混凝土	115
	本章小结	125
	思考与练习题	125
第七章	建筑钢材	127
第一节	钢材的冶炼与分类	127
第二节	钢材的技术性能	130
第三节	钢材的技术标准及应用	140
第四节	桥梁用钢与钢轨用钢	150
第五节	钢材的锈蚀与防锈措施	154
	本章小结	157
	思考与练习题	158
第八章	土的工程性质	160
第一节	土的三相组成	160
第二节	土的物理性质	162
第三节	土的颗粒级配	167
第四节	土的工程分类	171
	本章小结	176
	思考与练习题	176
第九章	无机结合料稳定材料	178
第一节	概述	178
第二节	无机结合料稳定材料的组成	179
第三节	无机结合料稳定材料的技术性质	182
第四节	无机结合料稳定材料的组成设计	185
	本章小结	189
	思考与练习题	190
第十章	沥青及沥青混合料	191
第一节	沥青材料	191
第二节	沥青混合料	209
	本章小结	218
	思考与练习题	219
第十一章	建筑砂浆	220
第一节	概述	220
第二节	砌筑砂浆	220

第三节 其他砂浆·····	229
本章小结·····	233
思考与练习题·····	233
第十二章 防水材料·····	234
第一节 防水卷材·····	234
第二节 防水涂料·····	239
第三节 防水密封材料·····	242
本章小结·····	244
思考与练习题·····	244
第十三章 墙体材料与装饰材料·····	245
第一节 墙体材料·····	245
第二节 装饰材料·····	257
本章小结·····	261
思考与练习题·····	262
参考文献·····	263

绪 论

一 土木工程材料的定义与分类

(一) 定义

土木工程是建造各类工程设施的科学技术的统称,如房屋、道路、铁路、运输管道、隧道、桥梁、运河、堤坝、港口、电站、飞机场、海洋平台、给水和排水以及防护工程等。土木工程材料一般是指用于土木工程中的各种材料及其制品。

(二) 分类

土木工程材料种类繁多,常有如下几种分类方法:

- (1) 按材料来源不同,分为天然材料、人造材料。
- (2) 按化学成分分类,见表 0-1。

土木工程材料按化学成分分类

表 0-1

金属材料	黑色金属	钢、铁
	有色金属	铝、铜、锌及其合金
非金属材料	有机材料	动植物材料:木材、竹材、植物纤维、毛毡及其制品等; 沥青材料:石油沥青、煤沥青及其制品等; 高分子材料:塑料、涂料、胶黏剂、合成橡胶等
	无机材料	天然石材:砂、石及各种岩石的石材制品; 烧土及熔融制品:砖、瓦、陶瓷、玻璃等; 胶凝材料及其制品:石灰、石膏、水玻璃、水泥、混凝土、砂浆及硅酸盐制品等
复合材料	金属与非金属复合	钢筋混凝土、钢纤维混凝土、塑铝复合板等
	有机与无机复合	沥青混凝土、聚合物混凝土、玻璃纤维混凝土等
	其他复合材料	水泥石棉制品、不锈钢包覆钢板等

- (3) 按使用功能,分为结构材料、功能材料。

二 土木工程材料的发展趋势

土木工程材料是随着人类社会生产力和科学技术水平的提高而逐步发展起来的。人类最早穴居巢处,进入能够制造简单的石器时代、铁器时代后,开始挖土、凿石为洞,伐木搭竹为棚等;后来创造了烧制砖瓦、石灰、石膏等的技术,使建筑冲破了天然材料的局限,人类才有了用人工材料建造的房屋;18、19 世纪,随着资本主义的兴起,促进了工商业及交通运输业的蓬勃发展,钢铁、水泥、混凝土及其他材料相继出现,为现代工程建筑奠定了基础。进入 20 世纪后,由于社会生产力突飞猛进,以及材料科学与工程学的形成与发展,土木工程材料不仅性能和质

量不断改善,而且品种不断增加,以有机材料为主的化学建材异军突起,一些特殊功能的新型材料,如绝缘材料、耐磨耐腐材料、防爆防辐射材料以及其他环保材料等应运而生。

随着社会的不断发展,人类对未来土木工程建筑提出了更高的要求,主要体现在以下几个方面:

(1) 高性能。要求结构材料轻质、高强、高抗震等综合性能良好。

(2) 高耐久性。要求建筑物寿命周期长,且综合单价低(含建设费用和维护费用等)。

(3) 多功能。要求材料整个寿命周期内要同时发挥多个方面的作用或功效,而不是单一化。如多功能玻璃墙可起到装饰、隔声、吸热、防辐射、单面透光等作用。

(4) 绿色环保。材料从生产、施工到使用或在循环和废料处理等多个环节上,都是低能耗、低污染,不影响生态环境。

(5) 智能化。材料在使用过程中,对环境的变化具有感知、调节和修复的功能,以提高建筑物的舒适性和安全性等。

三 土木工程材料在工程建设中的重要性

(一) 物质基础

有了土木工程材料,才能将设计图纸上的各种工程设施付诸实施,否则就是“皇帝的新装”。因此,它是任何工程设施的物质基础。

(二) 质量基础

任何工程设施的质量很大程度上直接依赖于工程材料本身的质量,如沿海某高层建筑物,在主体框架尚未完全成型,便出现房屋整体倒塌的现象。究其原因,主要是使用了含盐较多的海水拌制混凝土,导致钢筋混凝土快速严重腐蚀而破坏。因此,工程材料是工程设施的质量基础。

(三) 技术(发展)基础

通过对土木工程材料发展趋势的了解,不难看出土木工程建筑技术的发展,离不开工程材料的发展。例如,大跨度的桥梁、超高层的建筑等,需要有新型的工程结构和先进的施工技术,更需要具有高强度、高性能的钢材、混凝土等工程材料。因此,工程材料是土木工程建设发展(包括设计和施工技术等的)技术基础。

(四) 经济基础

大量实践证明,土木工程建筑物的总体造价中,工程材料所占比例高达 50% 以上。因此,在保证材料质量的情况下,降低材料费用对降低工程造价、提高经济效益,将起到很大的作用。因此,正确合理地选择、配置和使用材料,是降低材料费用的关键环节。

四 土木工程材料的技术标准

产品的标准化是现代工业发展的产物,也是科学管理的重要组成部分。目前我国对绝大

多数土木工程材料都制定了相应的技术标准,包括产品的规格、分类、技术要求、检验方法、验收方法、验收标准、包装标志、运输和储存等要求。

我国标准按发布单位不同,分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准,共四级;其标准代号见表 0-2。国家标准和行业标准是全国通用标准,地方标准和企业标准所制定的技术要求应高于国家标准。另外,世界范围内统一使用的标准是“ISO”国际标准。

我国各级标准代号

表 0-2

标准名称		代号	示例
国家标准		GB、GB/T	《混凝土强度检验评定标准》(GB/T 50107—2010)
行业标准	铁路行业	TB	《铁路特殊路基设计规范》(TB 10035—2006)
	交通行业	JT	《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30—2005)
	建材行业	JC	《行星式水泥胶砂搅拌机》(JC/T 684—2005)
	建筑工程行业	JG	《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2000)
	水利行业	SL	《砌石坝设计规范》(SL 25—2006)
地方标准		DB	《建筑基坑支护技术规程》(DB 11/489—2007)
企业标准		QB	《冷连轧低碳钢板及钢带》(Q/BQB 403—2003)

注:GB 表示强制性国家标准,GB/T 表示推荐性国家标准。

标准的表示方法由标准名称、标准代号、编号及发布年份四部分组成,如图 0-1 所示。



图 0-1

五 学习本课程的目的和要求

“土木工程材料”是土木工程类专业的一门专业基础课,本课程从工程应用的角度重点讲述了土木工程中常用的几类主要工程材料的生产、成分、技术性质、规格标准、质量检验、应用范围和储运保管等知识,为后续专业课程的学习提供工程材料的基本知识。

土木工程材料种类、品种、规格繁多,但常用材料品种并不多,通过掌握常用材料知识的学习方法,为今后在工作中了解和应用其他材料奠定基础。

在工程材料的学习过程中,始终以“应用为目标、性能为切入点”,充分运用已学过的数学、物理和化学等知识,学会分析材料的组成、结构、构造与其性能的内在联系,以及影响这些性能的因素,掌握各种常用材料的性能检测和验收方法,达到能正确合理的选择和使用材料。

第一章 土木工程材料的基本性质



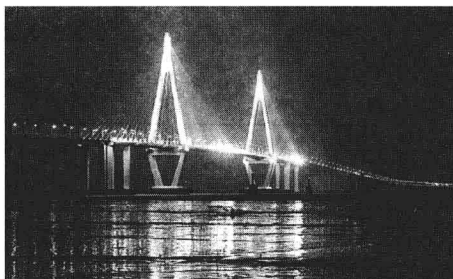
课题引入



我国历史上著名的赵州桥(见图 1-1a),选择的主要材料是石材,而 2008 年建成启用的我国著名的杭州湾跨海大桥(见图 1-1b)可以用石材来建吗?我们的回答是“肯定不行”。原因很简单,也就是石材的性能无法满足该桥的建设和使用要求。那么随着我国土木建筑工程的不断发展,我们怎样才能正确合理地选择在性能上满足建筑物要求的材料呢?这就要求我们掌握土木工程材料的技术性质。而土木工程材料都包含哪些基本技术性质、怎样测试和计算,是本章要介绍并要求掌握的内容。



a)赵州桥



b)杭州湾跨海大桥

图 1-1 我国著名桥梁

第一节 土木工程材料的物理性质

为便于研究,工程实际中,常根据研究对象的不同,将土木工程材料分为块状材料和堆积材料。

块状材料是指研究的对象为单块的材料,如一块石子,其体积由实体部分 $V_{实}$ 、开口孔隙 $V_{开}$ (吸水但不排水)和闭口孔隙 $V_{闭}$ (排水但不吸水)组成,即 $V_{块} = V_0 = V_{实} + V_{开} + V_{闭}$,如图 1-2a)所示。

堆积材料是指研究的对象为一堆材料,如一堆石子,其体积由实体部分 $V_{实}$ 、闭口孔隙 $V_{闭}$ 、开口孔隙 $V_{开}$ 和颗粒之间的空隙 $V_{空}$ 组成,即 $V_{堆} = V'_0 = V_{实} + V_{闭} + V_{开} + V_{空}$,如图 1-2b)所示。



基本物理性质——与质量、体积有关的物理性质

(一)密度

密度是指单位体积物质的质量,其单位可用 g/cm^3 、 kg/L 或 kg/m^3 来表示,它是材料的基本属性,根据所研究的对象不同将其分为以下四种密度,在实际应用中根据精度要求不同采取

相应的密度。

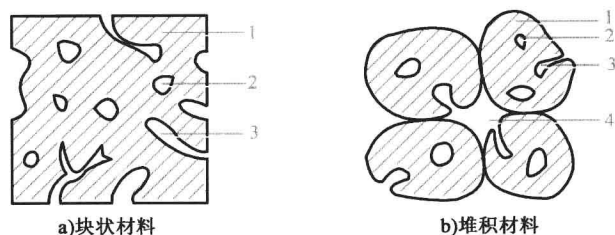


图 1-2 材料的体积组成示意图

1-实体部分;2-闭口孔隙;3-开口孔隙;4-空隙

1. 真密度 ρ

真密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量,又叫密实密度,简称密度,采用下式计算:

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

式中: ρ ——真密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量, g 或 kg ;

V ——材料的绝对密实体积(实体体积), cm^3 或 m^3 , $V = V_{\text{实}}$ 。

自然界中,绝对密实状态的材料是很少的,绝大多数材料都含有一定的孔隙。因此,测定有孔隙材料的真密度通常是先将其磨成细粉,待干燥后,用李氏密度瓶(见图 1-3)测定其体积,然后按式(1-1)计算。

2. 视密度 ρ'

视密度是指材料在自然状态下不包含开口孔隙时单位体积的质量。一般对于自身较为密实的颗粒堆积材料,如混凝土用的砂、石等,其视密度值与密度值或表观密度值相差甚小,为应用方便,对这类材料常用视密度代替密度或表观密度。工程中常用排水法(容量瓶法、液体天平法等)测得其视体积,采用下式计算:

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

式中: ρ' ——视密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

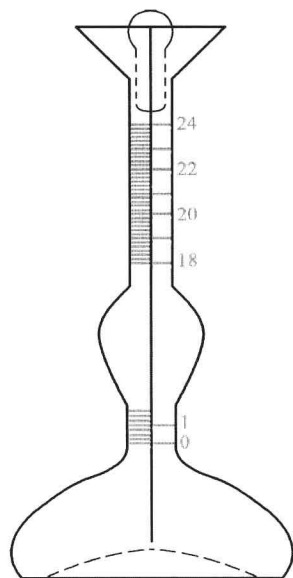
m ——材料的质量, g 或 kg ;

V' ——材料的视体积, cm^3 或 m^3 , $V' = V_{\text{实}} + V_{\text{闭}}$ 。

3. 表观密度 ρ_0

表观密度是指材料在自然状态下单位体积(含材料实体部分和孔隙部分体积)的质量,又称体积密度,采用下式计算:

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



(1-3) 图 1-3 李氏密度瓶(尺寸单位:mL)

式中： ρ_0 ——体积密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；

m ——材料的质量， g 或 kg ；

V_0 ——材料在自然状态下的体积， cm^3 或 m^3 ， $V_0 = V_{\text{实}} + V_{\text{闭}} + V_{\text{开}}$ 。

通常对于规则形状材料的体积常用量尺寸计算求得，对于不规则形状材料的体积可采用蜡封排液法测得。

材料表观密度一般是指在干燥状态下的表观密度。而材料在自然状态下常含有一定水分，此时在测其表观密度时须注明其含水情况（即湿表观密度）。

4. 堆积密度 ρ'_0

堆积密度是指颗粒材料或纤维材料在堆积状态下单位体积的质量，采用下式计算：

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1-4)$$

式中： ρ'_0 ——堆积密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；

m ——材料的质量， g 或 kg ；

V'_0 ——材料的堆积体积， cm^3 或 m^3 ， $V'_0 = V_{\text{实}} + V_{\text{闭}} + V_{\text{开}} + V_{\text{空}}$ 。

散粒材料的堆积体积除包含其密实体积外，还包含材料内部的孔隙体积和外部颗粒之间的空隙体积，因此其试验方法一般是将自然状态下的散粒材料装满一定容积的容器中，则容器的容积即为散粒材料的堆积体积。堆积密度又根据散粒材料在堆积时的紧密程度分为松散堆积密度（自然堆积状态）和紧密堆积密度（紧密堆积状态）。

在土木工程中，材料的真密度、视密度、表观密度和堆积密度是材料的基本物理性质，通常可用于计算材料的孔隙率或空隙率以及质量与体积之间的换算，如计算材料的用量、运输量与材料堆积空间、材料配合比和构件的自重等。

（二）密实度与孔隙率

1. 密实度 D

密实度是指材料固体物质充实的程度，即材料实体体积 V 占材料自然体积 V_0 的百分率，采用下式计算：

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% \quad (1-5)$$

2. 孔隙率 P

孔隙率是指材料内部孔隙的体积占材料总体积的百分率，采用下式计算：

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

即

$$D + P = 1$$

§ 例 1-1 § 已知某混凝土密实密度 $\rho = 2.68\text{g}/\text{cm}^3$ ，体积密度 $\rho_0 = 2390\text{kg}/\text{m}^3$ ，则该混凝

土的密实度和孔隙率分别为多少?

$$\text{解 } \rho = 2.68 \text{ g/cm}^3 = 2680 \text{ kg/m}^3$$

$$D = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% = \frac{2390}{2680} \times 100\% = 89.2\%$$

$$P = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% = 1 - D = 1 - 89.2\% = 10.8\%$$

材料的密实度和孔隙率一般是针对块状材料进行研究的,是从不同角度反映材料的同一种性质,即密实程度。材料的很多性质,如材料的视密度、体积密度、吸水性、吸湿性、抗冻性、抗渗性、导热性、耐蚀性、吸声性等,都与材料孔隙率(或密实度)的大小和孔隙特征有直接关系。材料的孔隙特征包括孔隙构造和孔隙粗细两个方面,孔隙构造包括封闭孔隙(与外界隔绝)和开口孔隙(与外界连通),孔隙粗细包括粗大孔隙、细小孔隙和极细微孔隙。

(三) 填充率和空隙率

1. 填充率 D'

填充率是指颗粒材料或纤维材料的堆积体积中,被颗粒或纤维所填充的程度,采用下式计算:

$$D' = \frac{V'}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho'} \times 100\% \quad (1-7)$$

2. 空隙率 P'

空隙率是指颗粒材料或纤维材料的堆积体积中,颗粒或纤维间的空隙体积所占的百分率,采用下式计算:

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

即

$$D' + P' = 1$$

§ 例 1-2 § 已知某混凝土用碎石,表观密度 $\rho' = 2.65 \text{ g/cm}^3$, 堆积密度 $\rho'_0 = 1620 \text{ kg/m}^3$, 则该碎石的填充率和空隙率分别为多少?

$$\text{解 } \rho' = 2.65 \text{ g/cm}^3 = 2650 \text{ kg/m}^3$$

$$D' = \frac{\rho'_0}{\rho'} \times 100\% = \frac{1620}{2650} \times 100\% = 61.1\%$$

$$P' = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho'}\right) \times 100\% = 1 - D' = 1 - 61.1\% = 38.9\%$$

材料的填充率和空隙率是针对堆积材料进行研究的,是从不同角度反映了堆积材料的紧密程度。空隙率常作为控制混凝土集料级配和计算砂率的依据,在计算时要注意单块材料的开口孔隙在堆积材料中已转变为空隙(见图 1-4)。