

国家改革和发展示范学校建设项目

课程改革实践教材

全国土木类专业实用型规划教材

建筑材料

JIANZHU CAILIAO

主编 郭秋兰



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

国家改革和发展示范学校建设项目

课程改革实践教材

全国土木类专业实用型规划教材

建筑材料

JIANZHU CAILIAO

主 编 郭秋兰

副主编 张美香 李瑞明 宋庆德

孙 博

编 者 陈国华 刘 莹 徐 理



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书为职业技术学院土木类专业新编系列教材之一,全书共分12个项目,主要介绍了建筑材料的基本性质,气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆、墙体材料、木材、建筑钢材、建筑防水材料、建筑装饰材料与保温隔热材料、新型建筑材料等常用建筑材料的含义、基本组成、技术性质要求及相关材料实验等内容。每个项目配有项目目标、技术点睛、案例实解、基础同步、实训提升等内容,有利于开阔创新理念和合理选材。本书以目前土木类专业应用型人才培养目的为基点,结合土木类相关注册考试和传统五大员考试知识,以满足市场需求为根本目的。

本书可供各级职业技术学院土木类专业的学生使用,也可供从事建筑工程行业的技术人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料/郭秋兰主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2015.3

全国土木类专业实用型规划教材

ISBN 978-7-5603-5163-6

I. ①建… II. ①郭… III. ①建筑材料—高等学校—教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 006676 号

责任编辑 何波玲

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街10号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 天津市蓟县宏图印务有限公司

开 本 850mm×1168mm 1/16 印张 14 字数 401千字

版 次 2015年3月第1版 2015年3月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-5163-6

定 价 32.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

PREFACE

前

言

本书基于国家改革和发展示范学校建设项目课程改革,按照国家教育部颁布的职业教育的相关教学大纲要求,结合新规范、新标准编写而成。本着教学中“必需”“实用”的原则,以满足市场需求的应用型人才为准则,凸显职教特色,从建筑材料的基本性质出发,主要阐述了气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆、墙体材料、木材、建筑钢材、建筑防水材料、建筑装饰与保温隔热材料、新型建筑材料等常用建筑材料的含义、基本组成、技术性质要求及相关材料实验等内容。本书突出各类建筑材料的技术性质与应用的讲解,特别重视对于学生动手能力、创新能力及其他综合素质的培养。

本书在内容版块的设计上,各项目加设了“项目目标”“课时建议”“案例实解”“技术点睛”“基础同步”和“实训提升”,供教师组织教学和指导学生自主学习使用,不同专业师生在使用时,可根据教学的特点和需要加以取舍。

本教材建议教学课时安排如下:

序号	内容	建议课时
1	绪论	2 课时
2	项目 1 建筑材料的基本性质	4 课时
3	项目 2 气硬性胶凝材料	5 课时
4	项目 3 水泥	6 课时
5	项目 4 混凝土	12 课时
6	项目 5 建筑砂浆	5 课时
7	项目 6 墙体材料	5 课时
8	项目 7 木材	3 课时
9	项目 8 建筑钢材	6 课时
10	项目 9 建筑防水材料	6 课时
11	项目 10 建筑装饰材料与保温隔热材料	6 课时
12	项目 11 新型建筑材料	2 课时
13	项目 12 建筑材料实验	20 课时
合计		82 课时

本书由郭秋兰任主编。具体分工如下:绪论、项目1、项目9、项目10、项目12由郭秋兰编写,项目2、项目3、项目11由孙博编写,项目4~项目6由张美香编写,项目7、项目8由李瑞明编写,宋庆德、陈国华、刘莹、徐理和张小义协助资料整理工作。

由于编者水平所限,书中难免存在不足之处,敬请广大师生与读者批评指正,以便修订时改进。

编 者

本书在编写过程中,参考了有关文献,并得到了有关单位和个人的帮助,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请广大师生与读者批评指正,以便修订时改进。

目录	页码
绪论	1
项目1	2
项目2	3
项目3	4
项目4	5
项目5	6
项目6	7
项目7	8
项目8	9
项目9	10
项目10	11
项目11	12
项目12	13

目录

CONTENTS

绪 论

- 001 项目目标
- 001 课时建议
- 002 0.1 建筑材料及其分类
- 003 0.2 我国建筑材料发展简史
- 003 0.3 建筑材料的技术标准
- 004 0.4 建筑材料课程的要求及学习方法
- 005 基础同步

项目 1 建筑材料的基本性质

- 006 项目目标
- 006 课时建议
- 007 1.1 材料的基本物理性质
- 014 1.2 材料的力学性质
- 017 基础同步
- 018 实训提升

项目 2 气硬性胶凝材料

- 019 项目目标
- 019 课时建议
- 020 2.1 石 膏
- 021 2.2 石 灰

- 024 2.3 水玻璃
- 025 基础同步
- 026 实训提升

项目 3 水 泥

- 027 项目目标
- 027 课时建议
- 028 3.1 硅酸盐水泥
- 031 3.2 掺混合材料的硅酸盐水泥
- 034 3.3 其他品种水泥
- 035 基础同步
- 036 实训提升

项目 4 混 凝 土

- 037 项目目标
- 037 课时建议
- 038 4.1 混凝土概述
- 039 4.2 混凝土的组成材料
- 049 4.3 混凝土的和易性
- 053 4.4 混凝土的强度
- 060 4.5 混凝土的变形
- 063 4.6 混凝土的耐久性
- 066 4.7 混凝土外加剂

069	4.8	混凝土配合比设计
079	4.9	其他混凝土
082		基础同步
083		实训提升

项目5 建筑砂浆

084		项目目标
084		课时建议
085	5.1	砂浆的含义与类型
085	5.2	砌筑砂浆
090	5.3	抹面砂浆
092		基础同步
092		实训提升

项目6 墙体材料

093		项目目标
093		课时建议
094	6.1	砌墙砖
102	6.2	砌块
105	6.3	墙用板材
107		基础同步
108		实训提升

项目7 木材

109		项目目标
109		课时建议
110	7.1	木材的构造与分类
111	7.2	木材的主要性质
115	7.3	木材的防护与应用
119		基础同步
119		实训提升

项目8 建筑钢材

120		项目目标
120		课时建议
121	8.1	钢材的冶炼与分类
123	8.2	钢材的主要性能
131	8.3	钢材的标准与选用
146	8.4	钢材的腐蚀与防护
147		基础同步
148		实训提升

项目9 建筑防水材料

149		项目目标
149		课时建议
150	9.1	沥青
155	9.2	新型防水卷材
161	9.3	防水涂料
162	9.4	密封材料
164		基础同步
164		实训提升

项目10 建筑装饰材料与保温隔热材料

165		项目目标
165		课时建议
166	10.1	建筑装饰材料的概述
167	10.2	建筑玻璃
170	10.3	建筑装饰石材
172	10.4	建筑装饰陶瓷
174	10.5	建筑装饰涂料
177	10.6	建筑保温隔热材料
180		基础同步
181		实训提升

项目11 新型建筑材料

182		项目目标
182		课时建议
183	11.1	新型建筑材料的发展简介
183	11.2	几种新型建筑材料的性能及应用
186		基础同步
187		实训提升

项目12 建筑材料实验

188		项目目标
188		课时建议
189	12.1	建筑材料的基本性质实验
190	12.2	水泥实验
200	12.3	混凝土用骨料实验
204	12.4	普通混凝土实验
210	12.5	砌墙砖实验
211	12.6	钢筋实验
214	12.7	沥青实验
217		参考文献

绪论

项目 目标

【知识目标】

1. 了解建筑材料的含义及其对发展建筑业的作用。
2. 掌握建筑材料的分类及其应用的技术标准。

【技能目标】

掌握材料标准的表达方式。

【课时建议】

2 课时

0.1 建筑材料及其分类

0.1.1 建筑材料的概念

建筑材料是指建筑物或构筑物所用材料及制品的总称。广义的建筑材料包括构成建筑物本身的材料(木材、钢材、混凝土、砖、防水材料等)、配套设施的设备和器材(给水排水、供电、采暖通风、通信信息、供燃气及楼宇控制等)以及在建筑施工的过程中必须要消耗的材料(脚手架、模板、板桩等)材料。

本书中建筑材料是指狭义的建筑材料,是指建造构筑物或建筑物地基、基础、梁、板、柱、墙体、屋面、地面以及装饰工程等所用的材料,即构成建构筑物本身的材料。

0.1.2 建筑材料的分类

按照化学成分不同,将建筑材料分为无机材料、有机材料和复合材料 3 大类,见表 0.1。

表 0.1 建筑材料分类(按化学成分)

分类			举例
无机材料	金属材料	黑色金属	铁、碳钢、非合金钢、不锈钢、合金钢等
		有色金属	铝、铜、锌及其合金
	非金属材料	天然石材	砂、石及石材制品
		烧结制品	砖、瓦、陶、瓷制品
		熔融制品	玻璃、玻璃纤维、岩棉、矿棉
		胶凝材料	石灰、石膏、水玻璃、水泥
		硅酸盐制品	混凝土、砂浆、各种硅酸盐制品、蒸养砖、砌块
有机材料	植物材料		植物纤维、竹材、木材及其制品
	合成高分子材料		塑料、涂料、胶黏剂、合成橡胶等
	沥青材料		石油沥青、煤沥青、沥青制品
复合材料	无机有机复合材料		塑料颗粒保温砂浆、聚合物混凝土、沥青混凝土等
	金属非金属复合材料		钢纤维混凝土、铝塑板、涂塑钢板

按使用功能将建筑材料分为结构材料、围护材料和功能材料 3 大类,见表 0.2。

(1) 结构材料

结构材料是指构成建筑物受力构件和结构所用的材料,如梁、板、柱、基础、框架等构件或结构使用的材料。结构材料要求具有足够的强度和耐久性。

(2) 围护材料

围护材料是指用于建筑物围护结构的材料,如墙体、门窗、屋面等部位使用的材料。围护材料不仅要求具有一定的强度和耐久性,还要求具有保温隔热等性能。

(3) 功能材料

功能材料是指担负建筑物使用过程中所必需的具有建筑功能的材料,如防水材料、绝热材料、吸声隔音材料、密封材料和各种装饰材料等。

表 0.2 建筑材料分类(按使用功能)

分类	用途	材料
结构材料	梁、板、柱、基础、框架等构件	砖、预应力钢筋混凝土、钢筋混凝土、木材等
围护材料	内外承重墙	石材、空心砖、多孔砖、普通砖、混凝土、各类砌块、混凝土板材、石膏板、金属板、复合墙板等
功能材料	防水材料	沥青制品、橡胶、合成高分子防水材料、防水涂料等
	绝热材料	玻璃棉、矿棉及制品、膨胀蛭石及制品、膨胀珍珠岩、加气混凝土等
	吸声材料	微孔硅酸钙、木丝板、泡沫塑料等
	装饰材料及其他功能性材料	石材、建筑陶瓷、建筑锦砖、玻璃及制品、涂料、木材、塑料制品、金属等

0.2 我国建筑材料发展简史

建筑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,通常反映当代文化、科技发展特征,是人类物质文明的重要标志之一。

为了适应我国经济建设和社会发展的需要,建材工业正向轻质、高强、多功能的高性能建筑材料和绿色建筑材料方向发展。

高性能建筑材料是指性能、质量更加优异,轻质、高强、多功能和更加耐久、更富装饰效果的材料,是便于机械化施工和更有利于提高施工生产效率的材料。

绿色建筑材料是指采用清洁生产技术,不用或少用天然资源和能源,大量使用工农业或城市固态废弃物生产的无毒害、无污染、无放射性,达到使用周期后可回收利用、有利于环境保护和人体健康的建筑材料。

绿色建筑材料具有以下特性:

①以相对较低的资源和能源消耗、环境污染为代价生产高性能传统建筑材料,如具有高强、防水、保温、隔热、隔声等功能的高质量水泥。

②能大幅度地降低建筑能耗的建材制品,如空心砖、多孔砖等新型墙体材料。

③具有更高的使用效率和优异的材料性能,从而能降低材料的消耗,如轻质高强混凝土。

④具有改善居室生态环境和保健功能的建筑材料,如抗调温、调湿等多功能砂浆等。

⑤能大量利用工业废弃物的建筑材料,如利用高炉工业废渣的矿渣水泥材料。

建筑材料是建筑工程的物质基础,建筑材料的性能、质量和价格,直接关系到建筑产品的适用性、安全性、经济性和美观性。

总之,建筑材料决定建筑的结构形式和建筑施工的方法,新型建筑材料的出现可以促进建筑形式的变化、结构设计方法的改进和施工技术的革新。

0.3 建筑材料的技术标准

建筑材料的技术标准主要有产品技术标准和工程建设标准两类。

建筑材料的产品技术标准是指为保证建筑材料产品的使用性,对产品必须达到的某些或全部要求所制定的标准,即建筑材料生产、使用和流通单位检验,确定产品质量是否合格的技术文件。其主要内

容有产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、包装及标志、运输与储存等。

工程建设标准是指对工程建设中的勘察、规划、设计、施工、安装、验收等需要协调统一的事项所制定的标准,其中结构设计规范、施工及验收规范中有与建筑材料的选用相关的内容。

我国建筑材料的产品技术标准分为国家标准、行业标准、地方标准、企业标准等,分别由相应的标准化管理部门批准并颁布。对强制性国家标准,任何技术或产品不得低于其规定的要求;对推荐性国家标准,也可以执行其他标准要求;地方标准或企业标准所规定的技术标准的要求应高于国家标准。

我国国家质量技术监督局是国家标准化管理的最高机构。

建筑材料各级标准均有相应的代号,见表 0.3。

表 0.3 建筑材料技术标准

标准种类	代号	表示内容	表示方法
国家标准	GB GB/T	国家强制性标准 国家推荐性标准	由标准名称、部门代号、标准编号、颁布年份等组成,例如:《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB 175—1999)、《普通混凝土拌合物性能试验方法》(GB/T 50080—2002)、《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011)
行业标准	SD	水电工程行业标准	由标准名称、部门代号编号、颁布年份等组成,例如:江西省地方性标准《建筑工程资料编制规程》(DB 36—J002—2007)
地方标准	DB DB/T	地方强制性标准 地方推荐性标准	
企业标准	QB	适用于本企业	

工程中可能涉及的其他技术标准有:国际标准,代号为 ISO;美国材料与试验协会标准,代号为 ASTM;日本工业标准,代号为 JIS;德国工业标准,代号为 DIN;欧洲标准,代号为 EN;英国标准,代号为 BS;法国标准,代号为 NF 等。

0.4 建筑材料课程的要求及学习方法

本课程是一门重要的专业基础课,主要讲述常用建筑材料的生产、品种、规格、技术性能、质量标准、试验检测方法、储运保管和在工程中的应用与合理选材等方面的知识。

本课程要求通过学习,在理解材料共性的基础上掌握其材料的个性,在理解材料性能形成的内在原因基础上掌握其性能的影响因素,学生在今后的实际工作中能够正确地鉴别、选择、管理建筑材料,并具备在工程中正确地合理选材的能力,同时也为学习相关的后续专业课程奠定基础。本课程的任务是使学习者具有建筑材料的基础知识和在实践中合理选择使用建筑材料的能力,并掌握主要材料试验的基本技能。试验课的教学内容的任务是验证基本理论,掌握试验方法,培养科学研究能力和严谨缜密的科学态度。

本课程在学习上,要特别注意实践和认知环节的学习。学生要把所学的理论知识落实到材料的检测、验收、选用等实践操作技能上,在完成理论学习的同时,随时到工地或实验室穿插对材料的认知实习,并完成课程所要求的建筑材料实验。

基础同步

一、填空题

1. ASTM 是_____技术标准。
2. _____、_____和_____等建筑材料是按使用功能分类的。
3. 地方标准可分为_____和_____两大类。
4. 我国国家标准可分为_____和_____标准等。
5. 有机材料可分为_____和_____两大类。

二、选择题

1. 以下不属于有机材料的是()。
A. 塑料 B. 砖 C. 涂料 D. 沥青
2. 以下不属于我国技术标准的是()。
A. 国家推荐性标准 B. 企业标准
C. 地方推荐性标准 D. 企业推荐性标准
3. 以下属于功能性材料的是()。
A. 柱 B. 空心砖 C. 复合板材 D. 钢筋混凝土
4. 下列不属于国外标准的是()。
A. JIS B. ASTM C. JGJ 55—2011 D. DIN
5. 以下对《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011)表述不正确的是()。
A. 颁布年份为 2011 B. 属于行业标准
C. 普通混凝土配合比设计 D. 标准编号为 2055 号

三、判断题

1. 国家推荐性标准是我国技术标准的一种。 ()
2. 装饰材料壁纸属于功能性材料的一种。 ()
3. 钢材是无机材料。 ()
4. 沥青既是有机材料,又是结构性材料。 ()
5. JG 代表中国部委标准。 ()

四、简答题

1. 建筑材料按使用功能分为哪几类? 分别包括哪些主要材料?
2. 为什么要制定建筑产品标准?
3. 简述 DBJ 07—214—1993 标准的含义。
4. 简述材料选用与周边环境、材料的作用之间的关系。
5. 简述建筑材料在建筑工程中的作用。

项目1

建筑材料的基本性质

项目 目标



【知识目标】

1. 熟悉本课程中常见建筑材料的各项物理性质的含义及表达方式。
2. 了解建筑材料的组成与结构以及其与材料性质的关系。

【技能目标】

1. 掌握材料的性质、孔隙率及孔隙特征对材料性能的影响。
2. 在工程中较熟练地判断与应用材料。

【课时建议】

4 课时

1.1 材料的基本物理性质

材料的基本物理性质包括 3 个方面:与质量有关的物理性质,即密度、表观密度、体积密度与堆积密度;与体积有关的物理性质,即密实度与孔隙率、填充率与孔隙率;与水有关的物理性质,即亲水性与憎水性、吸水性与吸湿性、耐水性、抗渗性、抗冻性。

1.1.1 与质量有关的性质

材料与质量有关的物理性质都与材料的体积组成及结构特征息息相关。

1. 材料的体积组成

自然界的材料,由于其孔隙的结构特征不同,导致其基本的物理性能指标稍有差别。含孔材料体积构成示意图如图 1.1 所示。

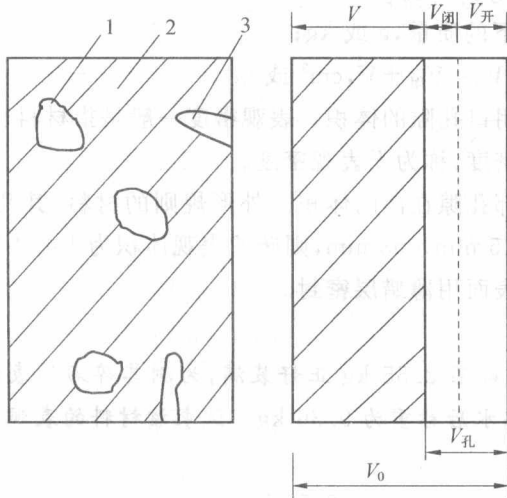


图 1.1 含孔材料体积构成示意图

1—封闭孔隙;2—固体体积;3—开口孔隙

材料内部含有大量的孔隙 $V_{\text{孔}}$, 分为封闭孔隙 $V_{\text{闭}}$ 和开口孔隙 $V_{\text{开}}$, 如图 1.1 所示。对于堆积在一起的散粒颗粒材料而言, 颗粒间还存在空隙 $V_{\text{空}}$ 。因此, 材料的总体积由 3 大部分组成, 即固体体积 V 、孔隙体积 $V_{\text{孔}}$ 及空隙体积 $V_{\text{空}}$ 。材料在不同状态下的单位体积不同, 其密度也不同。

材料的总体积 = 材料固体物质所占体积 V + 孔隙体积 $V_{\text{孔}}$ + 空隙体积 $V_{\text{空}}$

孔隙体积 $V_{\text{孔}}$ = 自身封闭的孔隙体积 $V_{\text{闭}}$ + 与外界连通的(开口)孔隙体积 $V_{\text{开}}$

2. 密度

密度(ρ)是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量。其计算式为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

式中 ρ ——实际密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料在干燥状态下的质量, g 或 kg ;

V ——材料的绝对密实体积, cm^3 或 m^3 。

绝对密实状态下的体积是指不包括孔隙在内的体积,即材料固体物质的体积 V 。在建筑材料中,大多数的材料都含有孔隙,如砖、石材等;而少部分的材料其体积接近绝对密实状态下的体积,如钢材、玻璃、金属等。

技术点睛

不同材料的体积测定

较密实的、不规则的散状材料如砂、石等,直接采用排水法测定其绝对密实状态下的体积的近似值。

含有孔隙的材料,一般采用排液法(密度瓶法)测定其实际体积即绝对密实状态下的体积,测定时应把材料磨细至粒径小于 0.2 mm 的细粉,以排除其孔隙。

3. 表观密度

表观密度(ρ')是指材料在包含内部闭口孔隙下单位体积的质量。其计算式为

$$\rho' = \frac{m}{V_b} \quad (1.2)$$

式中 ρ' ——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_b ——材料的表观体积, $V_b = V_{\text{闭}} + V, \text{cm}^3$ 或 m^3 。

材料的表观体积是指包含闭口孔隙的体积。表观密度一般是指材料长期在空气中干燥状态下的表观密度。在烘干状态下的表观密度,称为干表观密度。

表观体积是指包含材料内部孔隙在内的体积。外形规则的材料,其几何体积为表观体积。如标准黏性土砖的尺寸为 $240\text{ mm} \times 115\text{ mm} \times 53\text{ mm}$,则砖的表观体积为 $1\,462\,800\text{ mm}^3$ 。而外形不规则的材料,采用排液法测定,测试前其表面用薄蜡层密封。

【案例实解】

有一个 1.5 L 的容器,平装碎石 2.55 kg 正好装满,为测其碎石的表观密度,将所有碎石倒入一个 7.78 L 的量器中,向量器中加满水后称重为 9.36 kg 。试求该材料的表观密度。

解:该材料的表观密度为

$$\rho' = \frac{m}{V_b} = \frac{2.55\text{ kg}}{[7.78 - (9.36 - 2.55)] \times 10^{-3}\text{ m}^3} = 2\,630\text{ kg}/\text{m}^3$$

答:该材料的表观密度为 $2\,630\text{ kg}/\text{m}^3$ 。

4. 体积密度

体积密度(ρ_0)是指材料在自然状态下单位体积的质量。其计算式为

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1.3)$$

式中 ρ_0 ——材料的体积密度, 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, $V_0 = V + V_{\text{孔}}, \text{cm}^3$ 或 m^3 。

体积密度一般以干燥状态下的测定值为准。

5. 堆积密度

堆积密度(ρ_0')是指粉状、颗粒状或纤维状材料在自然堆积状态下单位体积的质量。其计算式为

$$\rho_0' = \frac{m}{V_0'} \quad (1.4)$$

式中 ρ_0' ——材料的堆积密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料在干燥状态下的质量, g 或 kg;

V_0' ——材料的堆积体积, $V_0' = V + V_{孔} + V_{空} = V_0 + V_{空}$, cm^3 或 m^3 。

堆积体积是指包含材料内部孔隙和颗粒间的空隙在内的体积。

砂子、石子等散粒材料的堆积体积,是指在特定条件下所填充的容量筒的容积。材料的堆积体积包含颗粒之间或纤维之间的空隙。

【案例实解】

有一个 1.5 L 的容器,平装碎石 2.55 kg 正好装满。试求该材料的堆积密度。

解:该材料的堆积密度为

$$\rho_0' = \frac{m}{V_0'} = \frac{2.55 \text{ kg}}{1.5 \text{ L}} = 1\,700 \text{ kg/m}^3$$

答:该材料的堆积密度为 $1\,700 \text{ kg/m}^3$ 。

常用建筑材料的密度、体积密度、堆积密度和孔隙率见表 1.1。

表 1.1 常用建筑材料的密度、体积密度、堆积密度和孔隙率

材料	密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	体积密度 $\rho_0/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	堆积密度 $\rho_0' / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	孔隙率/%
石灰岩	2.60	1 800~2 600	—	—
花岗岩	2.60~2.90	2 500~2 800	—	0.5~3.0
碎石(石灰岩)	2.60	—	1 400~1 700	—
砂	2.60	—	1 450~1 650	—
黏土	2.60	—	1 600~1 800	—
普通黏土砖	2.50~2.80	1 600~1 800	—	20~40
黏土空心砖	2.50	1 000~1 400	—	—
水泥	3.10	—	1 200~1 300	—
普通混凝土	—	2 100~2 600	—	5~20
木材	1.55	400~800	—	55~75
钢材	7.85	7 850	—	0
泡沫塑料	—	20~50	—	—
玻璃	2.55	—	—	—

1.1.2 与体积有关的性质

1. 密实度与孔隙率

密实度(D)是指材料体积内被固体物质所充实的程度,也就是固体物质的体积占总体积的比例。密实度反映材料的致密程度。其计算式为

$$D = \frac{V}{V_0} = \frac{\frac{m}{\rho}}{\frac{m}{\rho_0}} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% \tag{1.5}$$

式中 D ——材料的密实度, %;

ρ ——材料的密度;

ρ_0 ——材料的体积密度;

m ——材料在干燥状态下的质量, g 或 kg。

孔隙率(P)是指材料体积内, 孔隙体积占材料总体积的百分率即孔隙体积所占的比例。其计算式为

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{V}{V_0}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1.6)$$

式中 P ——材料的孔隙率, %;

ρ ——材料的密度;

ρ_0 ——材料的体积密度。

孔隙率与密实度的关系为

$$P + D = 1$$

【案例实解】

已知某种普通石子 $\rho_0 = 1700 \text{ kg/m}^3$, $\rho = 2.63 \text{ g/cm}^3$ 。求其密实度和孔隙率。

解: 依已知条件可求其密实度为

$$D = (\rho_0 \div \rho) \times 100\% = (1700 \div 2630) \times 100\% = 64.6\%$$

其孔隙率为

$$P = (1 - \rho_0 \div \rho) \times 100\% = (1 - 0.646) \times 100\% = 35.4\%$$

对于含有孔隙的固体材料, 密实度均小于 1。几种常用材料的孔隙率见表 1.1。

材料的密实度和孔隙率是从不同方面反映材料的密实程度, 通常采用孔隙率表示。

技术点睛

材料的孔隙体积对性能的影响

根据材料内部孔隙构造的不同, 孔隙分为连通的和封闭的两种。连通的孔隙会影响到材料与水有关性质的改变, 如常见的毛细孔。封闭的孔隙会影响到材料的保温隔热性能及耐久性。

2. 填充率与空隙率

填充率(D')是指散粒材料在某容器的堆积体积中, 被其颗粒填充的程度。其计算式为

$$D' = \frac{V_0}{V_0'} \times 100\% = \frac{\rho_0'}{\rho_0} \times 100\% \quad (1.7)$$

式中 D' ——散粒材料的填充率, %;

ρ_0 ——散粒材料的体积密度;

ρ_0' ——散粒材料的堆积密度。

空隙率(P')是指散粒材料在某容器的堆积体积中, 颗粒之间的空隙体积占堆积体积的百分率。其计算式为

$$P' = \frac{V_0' - V_0}{V_0'} \times 100\% = \left(1 - \frac{V_0}{V_0'}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_0'}\right) \times 100\% = 1 - D' \quad (1.8)$$

式中 P' ——散粒材料的空隙率, %;

ρ_0 ——散粒材料的体积密度;

ρ_0' ——散粒材料的堆积密度。

空隙率反映了散状颗粒、粉状颗粒间相互填充的紧密程度。在配置混凝土时, 空隙率可作为控制混凝土骨料级配与计算含砂率的依据。