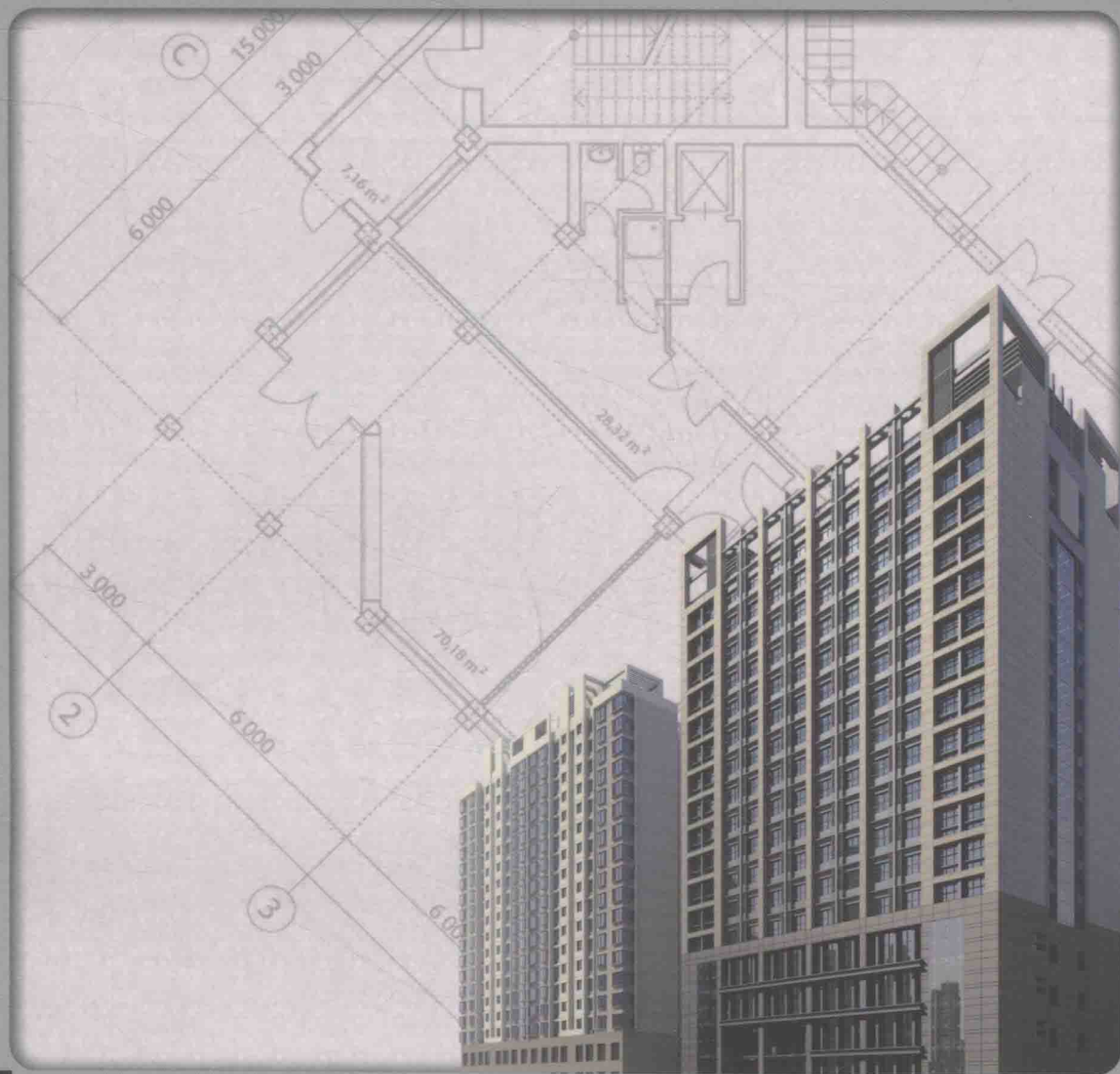




建筑材料与检测技术 第2版

JIANZHU CAILIAO YU JIANCE JISHU

主 编 / 苑芳友

主 审 / 牟培超



北京理工大学出版社

BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

| 根据最新标准编写 |

| 突出工程实际应用 |

建筑材料与检测技术

(第2版)

主 编 苑芳友

副主编 门泉洁 于庆华 滕永彪 吴卫华

主 审 牟培超



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书共分10章,内容包括建筑材料的基本性质、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、砂浆、墙体材料、建筑钢材、防水材料、建筑功能材料以及建筑材料常规检测试验等,具有突出工程实际应用、语言精练、概念清楚、重点突出、层次分明、结构严谨等特点。

本书全部采用最新国家标准或行业标准,可作为高等院校土建类各专业教材,也可作为建筑工程技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料与检测技术 / 苑芳友主编. —2版. —北京:北京理工大学出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-5640-8196-6

I. ①建… II. ①苑… III. ①建筑材料—检测—高等学校—教材 IV. ①TU502

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第192988号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

82562903(教材售后服务热线)

68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 13.5

字 数 / 278千字

版 次 / 2014年1月第2版 2014年1月第1次印刷

定 价 / 38.00元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

第2版前言

PREFACE

《建筑材料与检测技术》2010年7月出版了第1版,近三年来,建筑材料与检测技术领域又取得了一些新的成果,多项标准和规范被修订,因此,《建筑材料与检测技术》第2版,对原有内容进行了补充与修订,具体情况如下:

1. 在“建筑材料的基本性质”一章中,调整了材料的组成、结构、构造的内容。
2. 在“水泥”一章中,调整了专用水泥、特性水泥的内容。
3. 在“混凝土”一章中,对混凝土配合比设计、外加剂、其他品种混凝土的内容进行了精练。
4. 在“建筑钢材”一章中,调整了钢材的验收、防腐、防火的内容。
5. 将“建筑装饰材料”“绝热、吸声材料”“高分子材料”重新整合成“建筑功能材料”。
6. 删除了“新型建筑材料”“木材”“石材”的内容。

本书仍由苑芳友任主编,门泉洁、于庆华、滕永彪、吴卫华任副主编,牟培超任主审。

本书编写过程中参阅了较多的文献资料,在此谨向这些文献的作者致以诚挚的谢意。

尽管我们在本书特色建设方面做了很多努力,但书中仍可能有不足之处,希望使用此书的师生提出宝贵意见,以便修订时完善。

编 者

第1版前言

PREFACE

随着我国教育的迅速发展,接受高等教育的人员不断增加,而高等教育的培养目标已发生变化,即以职业岗位群为主,培养高素质劳动者和中高级专业人才。基于此,我们编写了此书。

自20世纪末以来,建筑材料的发展速度很快,出现了大量的新型材料,本书按照当前建筑材料的发展水平与建筑工程的实际应用情况,加入了工程中应用量较大的建筑材料和具有发展前途的新型建筑材料,还特别详细介绍了材料检测技术。

本书突出应用性,即突出岗位知识、岗位能力和岗位技能的培养,本着实用易懂的原则,使内容的“宽度”和“浅度”有机地结合起来,本书全部采用国家(部)行业企业颁布的最新规范和标准。

本书绪论、第1、12章、试题库由苑芳友编写;第3、4、5章由门泉洁编写;第7、8、9章由吴卫华编写;第11、13、14章由滕永彪编写;第2、6章、材料检测部分由于庆华编写;第10章由段红卫编写。

全书由苑芳友任主编,门泉洁、于庆华、滕永彪、吴卫华任副主编,牟培超教授任主审。

本书在编写过程中得到了牟培超教授的大力支持和热心指导,在此致以衷心的感谢。编写过程中参阅了较多的文献资料,谨向这些文献的作者致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限,时间仓促,谨请使用此书的师生和读者提出宝贵意见,以便再版时修正。

编 者

目 录 CONTENTS

绪论	1
第1章 建筑材料的基本性质	6
1.1 材料的物理性质	6
1.2 材料的力学性质	16
1.3 材料的耐久性	19
第2章 气硬性胶凝材料	21
2.1 石灰	22
2.2 石膏	25
2.3 水玻璃	28
第3章 水泥	31
3.1 概述	31
3.2 通用水泥	32
3.3 掺混合材料的通用水泥	40
3.4 通用水泥的包装、储运、选用	43
3.5 专用水泥、特性水泥	46
第4章 混凝土	49
4.1 概述	49
4.2 混凝土的组成材料	50
4.3 新拌混凝土的性质	59
4.4 硬化混凝土的性质	64
4.5 混凝土配合比设计	73
4.6 混凝土外加剂	83
4.7 其他品种混凝土	86

第5章 砂浆	89
5.1 砂浆的技术性质	89
5.2 砌筑砂浆	91
5.3 抹面砂浆	94
5.4 特种砂浆	95
第6章 墙体材料	97
6.1 砌墙砖	97
6.2 砌块	102
6.3 板材	107
第7章 建筑钢材	111
7.1 概述	111
7.2 建筑钢材的主要技术性质	113
7.3 建筑钢材的技术标准和选用	117
7.4 钢材的冷加工与热处理	128
第8章 防水材料	130
8.1 沥青	131
8.2 防水卷材	136
8.3 防水涂料与密封材料	141
第9章 建筑功能材料	146
9.1 绝热材料和吸声、隔声材料	146
9.2 建筑塑料	152
9.3 装饰材料	155
第10章 建筑材料常规检测试验	162
10.1 建筑材料试验的基本技能	162
10.2 建筑材料基本性能检测	163
10.3 水泥性能试验	169
10.4 混凝土用集料检测	178
10.5 普通混凝土性能检测	184
10.6 砌筑砂浆性能检测	189
10.7 砌墙砖试验	194
10.8 钢筋试验	199
10.9 沥青试验	202
参考文献	208

绪 论

1. 建筑材料的定义与分类

(1)建筑材料的定义。建筑材料是用于建造建筑物和构筑物所有材料和制品的总称。从地基基础、承重构件(梁、板、柱等),直到地面、墙体、屋面等所用的材料都属于建筑材料。水泥、钢筋、木材、混凝土、砌墙砖、石灰、沥青、瓷砖等是常见的建筑材料,实际上建筑材料远不止这些,其品种达数千种之多。

(2)建筑材料的分类。建筑材料种类繁多,为方便使用和研究,常按一定的原则对建筑材料进行分类:根据材料来源,可分为天然材料和人工材料;根据材料在建筑工程中的功能,可分为结构和非结构材料、保温和隔热材料、吸声和隔声材料、装饰材料、防水材料等;根据材料在建筑工程中的使用部位,可分为墙体材料、屋面材料、地面材料、饰面材料等。最常见的分类原则是按照材料的化学成分来分类,分为无机材料、有机材料和复合材料三大类,各大类中又可细分,见表 0-1。

表 0-1 建筑材料的分类

无机材料	金属材料	黑色金属:铁、碳钢、合金钢 有色金属:铝、锌、铜及其合金
	非金属材料	天然石材(包括混凝土用砂、石) 烧结制品(烧结砖、饰面陶瓷等) 玻璃及其制品 水泥、石灰、石膏、水玻璃 混凝土、砂浆、硅酸盐制品
有机材料	植物材料	木材、竹材、植物纤维及其制品
	合成高分子材料	塑料、涂料、胶粘剂
	沥青材料	石油沥青、煤沥青、沥青制品
复合材料	无机非金属材料与有机材料复合	玻璃纤维增强塑料、聚合物混凝土、沥青混凝土、水泥刨花板等
	金属材料与非金属材料复合	钢筋混凝土、钢丝网混凝土等

2. 建筑材料的历史、现状与发展

建筑材料是随着生产力和科学技术的发展而发展的,大致分为三个阶段。

(1)天然材料。天然材料是指取之于自然界,进行简单物理加工的材料,如天然石材、木材、黏土、茅草等。早在原始社会时期,人们为了抵御雨雪风寒和防止野兽的侵袭,居

住于天然山洞或树巢中，即所谓的“穴居巢处”。进入石器、铁器时代，人们开始利用简单的工具砍伐树木和苇草，开凿石材建造房屋。

(2)烧土制品。到了人类能够用黏土烧制砖、瓦，用石灰岩烧制石灰之后，建筑材料才由天然材料进入了人工生产阶段。

(3)钢筋混凝土。18、19 世纪，随着资本主义工商业的兴起，大跨度厂房、高层建筑和桥梁等工程建设的需要，既有材料在性能上已满足不了新的建设要求，建筑材料才进入了一个快速发展阶段，相继出现了钢材、水泥、钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土。

近几十年来，国家注重绿色建材的开发，墙体材料“禁实限黏”，相关部门颁布了装饰材料环境监测十项规定，制定了防水材料质量保证三大举措。一大批新型建筑材料应运而生，但主要是墙体材料、装饰材料、防水材料、保温和隔热材料等功能性材料，当代主要结构材料仍为钢筋混凝土。

这些新型建筑材料的现状是，墙体材料注重节能、利废、隔热、高强，空心化、大块化；防水材料注重高耐候性、高弹性、绿色化，由单一沥青材料发展为高分子改性沥青防水卷材、合成高分子防水卷材多品种共存，以及有机-无机复合防水卷材，如防水瓦、防水涂料等；装饰材料注重装饰性、适用性、环保性、多功能性、高耐久性。

随着社会的进步、环境保护和节能降耗的需要，人们对建筑材料提出了更高、更多的要求。因而，今后一段时间内，建筑材料将向以下几个方向发展。

(1)轻质高强。钢筋混凝土结构材料自重(每立方米重约 2 500 kg)，限制了建筑物向高层、大跨度方向进一步发展。目前，世界各国都在大力发展高强混凝土、加气混凝土、轻集料混凝土、空心砖、石膏板等材料，以适应建筑工程发展的需要。

(2)节约能源。建筑材料的生产能耗和建筑物使用能耗，在社会总能耗中一般占 20%~35%，研制和生产低能耗的新型节能建筑材料，是构建节约型社会的需要。

(3)节约资源。充分利用工业废渣、建筑垃圾生产建筑材料，将各种废渣尽可能资源化，以保护环境、节约自然资源，使人类社会可持续发展。

(4)多功能化。利用复合技术生产多功能材料、特殊性能材料及高性能材料，包括单元化预制构件等，这对提高建筑物的使用功能、经济性、加快施工速度等方面有着十分重要的意义。

(5)绿色化。采用低能耗制造工艺和对环境无污染的生产技术；产品配制和生产过程中，不使用对人体和环境有害的污染物。

3. 建筑材料与建筑工程各职业岗位的关系

任何建筑物或构筑物都是用建筑材料按某种方式组合而成的，没有建筑材料，就没有建筑工程，因此建筑材料是一切建筑工程的物质基础。建筑材料在建筑工程中应用量巨大，材料费用在工程总造价中占 40%~70%，如何从品种繁多的材料中选择物优价廉的材料，对降低工程造价具有重要意义。建筑材料的性能影响到建筑工程的坚固性、耐久性和适用性，如砖混结构的建筑物，其坚固性一般优于木结构和砌体结构建筑物，而舒适性不及后

者。对比同类材料，性能也会有较大差异，如用矿渣水泥制作的污水管较用普通水泥制作的污水管耐久性好，因此选用性能相适的材料是建筑工程质量的重要保证。任何一个建筑工程都由建筑、材料、结构、施工四个方面组成，专业技术人员只有了解建筑材料的结构、性质，才能发挥材料的性能，做到材尽其用。例如，混凝土工程搅拌与浇筑、钢结构施工、砌体结构施工、材料送检、工程验收、资料整理与归档等工作，都需要在对材料性能全面掌握的前提下，才能更好地完成各自的任务；造价员只有在熟悉材料性能的基础上，才能更好地做好计量计价工作；监理技术人员对材料的监督与检验更是一项经常性的工作。

从建筑行业各职业岗位来看，材料员、试验员、施工员、资料员、安全员等岗位从业人员，必须了解和懂得建筑材料的相关知识，因为这是各职业岗位技术人员必备的知识 and 技能。

4. 建筑材料的技术标准

与建筑材料的生产和选用有关的标准主要有产品标准和工程建设类标准两类。产品标准是为保证建筑材料产品的适用性，对产品必须达到的某些或全部要求所制定的标准，包括品种、规格、技术性能、试验方法、检验规则、包装、储存、运输等内容。工程建设类标准是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、施工及验收规范中都有与建筑材料的选用有关的内容。

建筑材料的采购、验收、质量检验均应以产品标准为依据，建筑材料的产品标准分为国家标准、行业标准和企业标准三类，其含义、代号及举例见表 0-2。

表 0-2 建材产品标准种类及代号

标准种类	说 明	代 号
国家标准（简称“国标”）	国家标准是指对全国经济、技术发展有重要意义而必须在全国范围内统一的标准	(1)GB 是“国标”两字的汉语拼音字头。各类物资（建材）的国家标准，均使用此代号。 (2)GBJ 是“国标建”三字的汉语拼音字头，它代表工程建设技术方面的国家标准
行业标准（简称“部标”）	行业标准主要是指全国性的各专业范围内统一的标准	(1)JCJ 是建筑材料工业部（国家建材局）部颁标准的代号（老代号为“建标”“JG”等）。 (2)JGJ 是住房和城乡建设部部颁标准的代号（老代号“BJG”“建规”“JZ”）。 (3)YBJ 是冶金工业部部颁标准的代号
企业标准（简称“企标”）	凡没有制定国家标准、部标准（行业标准）的产品，都要制定企业标准。为了不断提高产品质量，企业可制定出比国家标准、行业标准更先进的产品质量标准	QB 是企业标准的代号

技术标准代号按标准名称、部门代号、编号和批准年份的顺序编写，按要求执行的程

度分为强制性标准和推荐标准(在部门代号后加“/T”表示“推荐”)。与建筑材料技术标准有关的代号有:GB——国家标准,GBJ——建筑工程国家标准(1990年以前),1990年以后是GB 50×××——※※※※, JGJ——建筑业(建设工程)行业标准(曾用BJG), JG——建筑业(建设产品)行业标准, JC——国家建材局标准(曾用“建标”), SH——石油化学工业部或中国石油化学总公司标准(曾用SY), YB——冶金部标准, HG——化工部标准, CECS——中国工程建设标准化协会标准, DB——地方性标准, QB——企业标准等。

技术标准是根据一定时期的技术水平制定的,因而随着技术的发展与使用要求的不断提高,需要对标准进行修订,修订标准实施后,旧标准自动废除。如国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB 175—1999)已废除。

工程中使用的建筑材料除必须满足产品标准外,有时还必须满足有关的设计规范、施工及验收规范或规程等的规定。这些规范或规程对建筑材料的选用、使用、质量要求及验收等还有专门的规定(其中有些规范或规程的规定与建筑材料产品标准的要求相同)。

无论是国家标准还是部门行业标准,都是全国通用标准,属国家指令性技术文件,均必须严格遵照执行,尤其是强制性标准。

采用和参考国际通用标准和先进标准是加快我国建筑材料工业与世界接轨的重要措施,对促进建筑材料工业的科技进步,提高产品质量和标准化水平,建筑材料的对外贸易有着重要作用。常用的国际标准有如下几类:美国材料与试验协会标准(ASTM);德国工业标准(DIN)、欧洲标准(EN);国际标准化组织标准(ISO)。

5. 本课程的学习任务与基本要求

“建筑材料与检测技术”课程的主要内容是研究材料的组成、构造、物理力学性能、技术标准、质量检验与评定以及验收与保管等方面的知识。学习目的在于掌握主要建筑材料的性质、用途、制备和使用方法以及检测和质量控制方法,并了解建筑材料性质与材料结构的关系以及性能改善的途径。通过本课程的学习,应能针对不同工程合理选用材料,并能与后续课程密切配合,了解材料与设计参数及施工措施选择的相互关系。

学习本课程的任务是获得有关建筑材料的性质与应用的基本知识和必要的基本理论,并获得主要建筑材料试验的基本技能训练。

为了学好建筑材料与检测技术这门课程,学习时应从材料科学的观点和方法及实践的观点出发,从以下几个方面来进行。

(1)凝神静气,反复阅读。这门课程的特点与力学、数学等完全不同,学生初次学习难免产生枯燥无味之感,但必须克服这一心理状态,必须静下心来反复阅读,适当背记,背记后再回想和理解。正如小学生学习乘法口诀表一样,先记忆后理解,这样能取得较好效果。

(2)及时总结,发现规律。这门课虽然各章节之间自成体系,但材料的组成、结构、性质和应用之间有内在的联系,通过分析对比,掌握它们的共性。每一章节学习结束后应及时总结。

(3)观察工程,认真试验。建筑材料是一门实践性很强的课程,学习时应注意理论联系实际,为了及时理解教师在课堂上讲授的知识,应利用一切机会观察周围已经建成的或正在施工的各种工程,在实践中理解和验证所学内容。试验课是本课程的重要教学环节,通过试验可验证所学的基本理论,学会检验常用建筑材料的试验方法,掌握一定的试验技能,并能对试验结果进行正确的分析和判断。

同时,还要经常学习掌握有关新技术、新规范和新材料技术标准,不断丰富材料知识,与时俱进,以适应不断发展的社会需要。

本章小结

建筑材料是用于建造建筑物和构筑物所有材料和制品的总称。任何一种建筑物或构筑物都是用建筑材料按某种方式组合而成的,没有建筑材料,就没有建筑工程,因此建筑材料是一切建筑工程的物质基础。建筑材料工业发展迅速,近年来,各种新型建筑材料层出不穷,而且日益向轻质、高强、多功能方向发展,建筑材料正处于新的变革之中。学习本课程的任务是获得有关建筑材料的性质与应用的基本知识和必要的基本理论,并获得主要建筑材料试验的基本技能训练。

第 1 章 建筑材料的基本性质

◎ 学习重点

通过本章的学习，了解材料科学的一些基本概念，并掌握材料各项基本力学性质、物理性质、耐久性等材料性质的含义，以及它们之间的相互关系和在工程实践中的意义。

◎ 学习目标

具备水泥、砂石、灰土、砖、砌块等常用材料主要物理指标的检测技能；
具备根据材料物理指标判断其结构、构造如何及强度高低，耐久性能好坏的技能。

1.1 材料的物理性质

1.1.1 基本物理性质

建筑材料是建筑工程的物质基础，材料的性能与质量在很大程度上决定了工程的性能与质量。在工程实践中，选择、使用、分析和评价材料，通常是以其性质为基本依据的。

建筑材料的性质有基本性质和特殊性质两大部分。材料的基本性质是指建筑工程中通常必须考虑的最基本的、共有的性质；材料的特殊性质则是指材料本身不同于其他材料的性质，是材料具体使用特点的体现。

1. 材料的体积组成

大多数建筑材料的内部都含有孔隙，孔隙的多少和孔隙的特征对材料的性能均产生影响，掌握含孔材料的体积组成是正确理解和掌握材料物理性质的起点。孔隙特征指孔尺寸大小、孔与外界是否连通两个内容。孔隙与外界相连通的叫开口孔，与外界不连通的叫闭口孔。

含孔材料的体积组成如图 1-1 所示，分为以下三种情况。

(1) 材料绝对密实体积，用 V 表示，是指不包括材料内部孔隙的固体物质本身的体积。

(2) 材料的孔体积，用 V_P 表示，是指材料所含孔隙的体积，分为开口孔体积(V_K)和闭口孔体积(V_B)。

(3) 材料在自然状态下的体积，用 V_0 表示，是指材料的实体积与材料所含全部孔隙体

积之和。上述几种体积存在以下关系：

$$V_0 = V + V_P$$

其中

$$V_P = V_K + V_B$$

散粒状材料的体积组成如图 1-2 所示。其中 V'_0 表示材料堆积体积，是指在堆积状态下材料颗粒体积和颗粒之间的间隙体积之和， V_J 表示颗粒与颗粒之间的间隙体积。散粒状材料体积关系如下：

$$V'_0 = V_0 + V_J = V + V_P + V_J$$

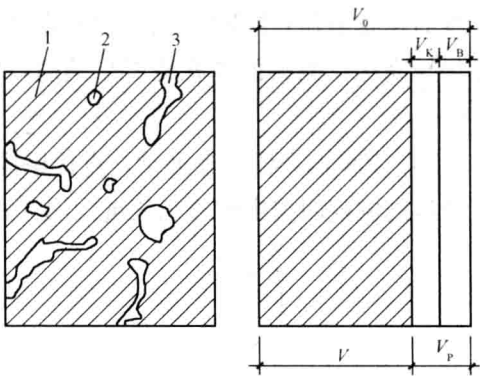


图 1-1 含孔材料的体积组成

1—固体物质；2—闭口孔；3—开口孔

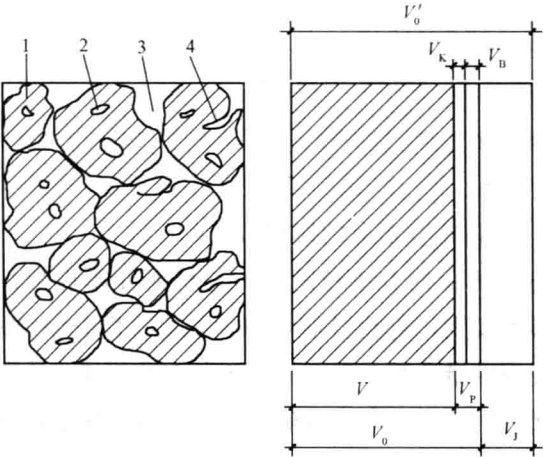


图 1-2 散粒状材料的体积组成

1—颗粒的固体物质；2—颗粒的闭口孔隙；3—颗粒间的间隙；4—颗粒的开口孔隙

2. 材料的密度、表观密度和堆积密度

(1) 密度。密度是多孔固体材料在绝对密实状态下单位体积的质量(俗称比重)，用下式计算：

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

式中 ρ ——材料的密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量(干燥至恒重), g 或 kg ;

V ——材料的绝对密实体积, cm^3 或 m^3 。

密度的单位在 SI 制中为 kg/m^3 , 我国建设工程中一般用 g/cm^3 , 偶尔用 kg/L , 忽略不写时, 隐含的单位为 g/cm^3 , 如水的密度为 $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

多孔材料的密度测定, 关键是测出绝对密实体积。在常用的建筑材料中, 除钢、玻璃、沥青等可近似认为不含孔隙外, 绝大多数含有孔隙。测定含孔材料绝对密实体积的简单方法是将该材料磨成细粉, 干燥后用排液法(李氏瓶)测得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至少小于 0.2 mm 。

对于砂石, 因其孔隙率很小, $V \approx V_0$, 常不经磨细, 直接用排水法测定其密度。对于本身不绝对密实, 而用排液法测得的密度叫视密度或视比重。用下式表示:

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

式中 ρ' ——视密度, g/cm^3 ;

m ——材料的绝对干燥质量, g ;

V' ——用排水法求得的材料体积($V' = V + V_B$), cm^3 。

(2) 表观密度。材料在自然状态下单位体积的质量, 称为材料的表观密度(原称容重)。其计算式如下:

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

式中 ρ_0 ——表观密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

V_0 ——材料表观体积(自然状态下的体积), m^3 。

测定材料在自然状态下体积的方法较简单, 若材料外形规则, 可直接度量外形尺寸, 按几何公式计算; 若外形不规则, 可用排液法测得, 为了防止液体由孔隙渗入材料内部而影响测定值, 应在材料表面涂蜡。对于砂石, 由于孔隙率很小, 常把视密度叫作表观密度, 如果要测定砂石真正意义上的表观密度, 应蜡封开口孔后用排水法测定。

当材料含水时, 重量增大, 体积也会发生变化, 所以测定表观密度时须同时测定其含水率, 注明含水状态。材料的含水状态有风干(气干)、烘干、饱和面干与湿润四种。一般为气干状态, 烘干状态下的表观密度叫干表观密度。

(3) 堆积密度。散粒材料在堆积状态下单位堆积体积的质量, 称为材料的堆积密度(原称松散容重)。其计算式如下:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0}$$

式中 ρ'_0 ——堆积密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量,kg;

V_0' ——材料的堆积体积, m^3 。

堆积体积是包括材料颗粒间隙在内的体积,混凝土用的碎石、卵石及砂等松散颗粒状材料的堆积密度用既定容积的容器(容量筒)测定。

材料的堆积密度定义中亦未注明材料的含水状态。根据散粒材料的堆积状态,堆积体积分为自然堆积体积和紧密堆积体积(人工捣实后)。由紧密堆积测得的堆积密度称为紧密堆积密度。

常用建筑材料的密度、表观密度和堆积密度见表 1-1。

表 1-1 常用建筑材料的密度、表观密度和堆积密度

材料名称	密度/($g \cdot cm^{-3}$)	表观密度/($kg \cdot m^{-3}$)	堆积密度/($kg \cdot m^{-3}$)
石灰石	2.6~2.8	1 800~2 600	—
花岗石	2.7~3.0	2 000~2 850	—
水泥	2.8~3.1	—	900~1 300(松散) 1 400~1 700(紧密)
混凝土用砂	2.5~2.6	—	1 450~1 650
混凝土用石	2.6~2.9	—	1 400~1 700
普通混凝土	—	2 100~2 500	—
黏土	2.5~2.7	—	1 600~1800
钢材	7.85	7 850	—
铝合金	2.7~2.9	2 700~2 900	—
烧结普通砖	2.5~2.7	1 500~1 800	—
建筑陶瓷	2.5~2.7	1 800~2 500	—
红松木	1.55~1.60	400~800	—
玻璃	2.45~2.55	2 450~2 550	—
泡沫塑料	—	10~50	—

3. 密实度与孔隙率、填充率与空隙率

(1)密实度。密实度是材料体积内被固体物质所充实的程度,即材料的密实体积与总体积之比。可按材料的密度与表观密度计算如下:

$$D=\frac{V}{V_0}$$

因为 $\rho=\frac{m}{V}$, $\rho_0=\frac{m}{V_0}$, 故

$$V=\frac{m}{\rho} \quad V_0=\frac{m}{\rho_0}$$

所以

$$D=\frac{V}{V_0}=\frac{m/\rho}{m/\rho_0}=\frac{\rho_0}{\rho}$$

式中 D ——材料的密实度,常以百分数表示。

例如，烧结普通砖 $\rho_0 = 1850 \text{ kg/m}^3$ ； $\rho = 2.50 \text{ g/cm}^3$ ，其密实度为

$$D = \frac{\rho_0}{\rho} = \frac{1850}{2500} = 0.74 = 74(\%)$$

凡含孔隙固体材料的密实度均小于1。材料的 ρ_0 与 ρ 越接近，即 $\frac{\rho_0}{\rho}$ 越接近1，材料就越密实，材料的很多性质，如强度、吸水性、耐水性、导热性等均与其密实度有关。

(2) 孔隙率。孔隙率是材料体积内孔隙(开口的和封闭的)体积所占的比例，按下式计算：

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} = 1 - \frac{V}{V_0} = 1 - \frac{\rho_0}{\rho} = 1 - D$$

式中 P ——材料的孔隙率，%。

例如，按计算密实度的例子，求其孔隙率。

$$P = 1 - \frac{\rho_0}{\rho} = 1 - \frac{1850}{2500} = 0.26 = 26(\%)$$

材料的孔隙率与密实度是从两个不同方面反映材料的同一个性质。孔隙率可分为开口孔隙率和闭口孔隙率。

开口孔隙率(P_K)是指能被水所饱和的孔隙体积与材料表观体积之比的百分数。

$$P_K = \frac{m_2 - m_1}{V_0} \cdot \frac{1}{\rho_{H_2O}} \cdot 100\%$$

式中 m_1 ——干燥状态材料的质量，g；

m_2 ——水饱和状态下材料的质量，g；

ρ_{H_2O} ——水的密度， g/cm^3 。

开口孔隙能提高材料的吸水性、透水性，而降低了抗冻性。减少开口孔隙，增加闭口孔隙，可提高材料的耐久性。

闭口孔隙(P_B)是指总孔隙率(P)与开口孔隙率(P_K)之差，即 $P_B = P - P_K$ 。

材料的许多性质，如表观密度、强度、导热性、透水性、抗冻性、抗渗性、耐蚀性等，除与材料的孔隙大小有关，还与孔隙构造特征有关。孔隙构造特征主要是指孔隙的形状和大小，根据孔隙形状，分开口孔隙与封闭孔隙两类(开口孔隙与外界相连通，闭口孔隙则与外界隔绝)；根据孔隙的大小，分为粗孔和微孔两类，一般均匀分布的小孔，要比开口或相连通的孔隙好。不均匀分布的孔隙，对材料性质影响更大。

(3) 填充率。填充率是指颗粒材料的堆积体积内，被颗粒所填充的程度。混凝土用集料的填充率按下式计算：

$$D' = \frac{V'}{V'_0} \cdot 100\% \text{ 或 } D' = \frac{\rho'_0}{\rho} \cdot 100\%$$

式中 V' ——用排水法求得的材料体积($V' = V + V_B$)， cm^3 ；

V'_0 ——材料的堆积体积， m^3 。

(4) 空隙率。空隙率是指颗粒材料的堆积体积内，颗粒之间的空隙体积所占的百分