

全国水利水电高职教研会规划教材

建筑工程技术专业适用

建筑材料与检测

主 编 张思梅 孙玉龙 叶明林
副主编 朱龙芬 蒋 红 慕 欣
主 审 方 崇



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

全国水利水电高职教研会规划教材

建筑材料与检测

主 编 张思梅 孙玉龙 叶明林

副主编 朱龙芬 蒋 红 慕 欣

主 审 方 崇



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

《建筑材料与检测》是根据土建类专业建设指导委员会制定的建筑工程技术、工程造价、工程监理等专业标准、人才培养方案及主干课程教学大纲编写的,编写内容采用了最新的有关国家规范和行业标准。全书主要内容包括:绪论,建筑材料的基本性质,无机气硬性胶凝材料,水泥,水泥混凝土,建筑砂浆,墙体材料,防水材料,建筑钢材,常用建筑装饰材料,合成高分子材料,绝热材料与吸声材料,建筑材料性能检测等。

本书可作为高职高专建筑工程技术、工程造价、工程监理等土建类相关专业的教材,也可供相关工程技术人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料与检测 / 张思梅, 孙玉龙, 叶明林主编

— 北京: 中国水利水电出版社, 2014.1

全国水利水电高职教研会规划教材

ISBN 978-7-5170-1651-9

I. ①建… II. ①张… ②孙… ③叶… III. ①建筑材料—检测—高等职业教育—教材 IV. ①TU502

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第321555号

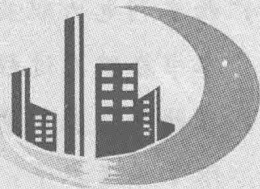
书 名	全国水利水电高职教研会规划教材 建筑材料与检测
作 者	主 编 张思梅 孙玉龙 叶明林 副主编 朱龙芬 蒋 红 慕 欣 主 审 方 崇
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 18.25印张 433千字
版 次	2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	38.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

qianyan



本书是高职高专学校建筑工程技术、工程造价、工程监理等土建类专业系列教材之一。它是根据教育部《关于加强高职高专人才培养工作意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》文件精神,按照全国水利水电高职教研会(中国高职教研会水利行业协作委员会)工程造价、建筑工程、道桥工程、市政工程类专业组 2012 年 5 月安徽合肥会议拟定的教材编写规划的基本要求而编写的。

随着经济社会的快速发展,我国的工程建设将仍然保持高速发展的趋势。在这种新形势下,国家对建筑材料的技术标准和技术要求也越来越高,对建筑工程技术、工程造价、工程监理等土建类专业人才培养和培训的高职教育也提出了更高、更明确的要求。

本书是根据教育部对高职高专人才培养目标、培养规格、培养模式以及与之相适应的基本知识、关键技能和素质结构的要求,同时结合编者多年从事教学、科研和参加校企合作的实践经验编写而成。在编写中,本书力求做到理论联系实际,注重科学性、实用性和针对性,能及时反映建筑材料的新技术、新标准,并紧密结合工程实际,突出学生应用能力的培养。

本书由张思梅、孙玉龙、叶明林任主编,朱龙芬、蒋红、慕欣任副主编,张思梅负责全书的统稿工作。具体编写分工是:安徽水利水电职业技术学院张思梅编写绪论、第 11 章;安徽水利水电职业技术学院陈伟编写第 1 章和第 8 章;山西水利职业技术学院赵爱莉编写第 2 章;山西水利职业技术学院贾静华编写第 3 章;安徽水利水电职业技术学院蒋红和慕欣编写第 4 章;黄河水利职业技术学院孙玉龙编写第 5 章和第 6 章;湖北水利水电职业技术学院黄煜煜编写第 7 章和第 10 章;福建水利电力职业技术学院朱龙芬编写第 9 章;安徽水利开发股份有限公司叶明林编写第 12 章中第 12.1 节~12.3 节;安徽省水利部淮河水利委员会水利科学研究院束兵编写第 12 章中第 12.4 节~12.9 节。全书

由广西水利电力职业技术学院方崇教授主审。

本书在编写过程中得到了中国水利水电出版社及编者所在单位的大力支持，在此一并表示感谢。

限于编者水平，不足之处在所难免，敬请读者提出宝贵意见。

编 者

2013 年 6 月

目 录

前言

绪论	1
第 1 章 建筑材料的基本性质	6
1.1 材料的基本物理性质	6
1.2 材料的基本力学性质	16
1.3 材料的耐久性	20
复习思考题与习题	21
第 2 章 无机气硬性胶凝材料	22
2.1 石灰	22
2.2 石膏	26
2.3 水玻璃	29
复习思考题与习题	31
第 3 章 水泥	33
3.1 硅酸盐水泥	34
3.2 混合材料及掺有混合材料的硅酸盐水泥	45
3.3 其他品种水泥	52
复习思考题与习题	60
第 4 章 水泥混凝土	62
4.1 概述	62
4.2 普通水泥混凝土的组成材料	63
4.3 水泥混凝土的主要技术性质	72
4.4 普通水泥混凝土的配合比设计	85
4.5 普通水泥混凝土的质量评定与质量控制	96
4.6 混凝土的外加剂	101
4.7 其他功能水泥混凝土	106
复习思考题与习题	117
第 5 章 建筑砂浆	119
5.1 砌筑砂浆	119
5.2 抹面砂浆	125

5.3 特种砂浆	127
复习思考题与习题	128
第6章 墙体材料	129
6.1 烧结砖	129
6.2 砌块	136
6.3 墙体板材	140
复习思考题与习题	144
第7章 防水材料	145
7.1 概述	146
7.2 沥青及沥青防水制品	148
7.3 改性沥青防水材料	156
7.4 合成高分子防水材料	159
复习思考题与习题	167
第8章 建筑钢材	169
8.1 钢的冶炼与分类	169
8.2 建筑钢材的主要技术性质	171
8.3 建筑钢材的标准与选用	176
8.4 建筑钢材的锈蚀及防止	181
复习思考题与习题	182
第9章 常用建筑装饰材料	183
9.1 概述	183
9.2 建筑玻璃	186
9.3 建筑饰面材料	191
9.4 建筑涂料	203
9.5 建筑陶瓷	209
复习思考题与习题	215
第10章 合成高分子材料	216
10.1 高分子化合物的基本知识	216
10.2 建筑塑料	218
10.3 胶黏剂	226
复习思考题与习题	230
第11章 绝热材料与吸声材料	231
11.1 绝热材料	231
11.2 吸声材料	234
复习思考题与习题	237

第 12 章 建筑材料性能检测 238

12.1 建筑材料的基本性质检测 238

12.2 水泥技术性能检测 241

12.3 混凝土用集料性能检测 252

12.4 普通混凝土性能检测 260

12.5 建筑砂浆性能检测 266

12.6 砌墙砖性能检测 270

12.7 石油沥青性能检测 272

12.8 弹（塑）性体改性沥青防水卷材性能检测 275

12.9 钢筋性能检测 279

参考文献 283

绪 论

【内容概述】

主要介绍建筑材料的分类和在建筑工程中的地位及其应具备的性质；阐述了本课程的讲授与学习方法。

【学习目标】

理解建筑材料质量的标准化和技术标准；了解建筑材料的发展。

1. 建筑材料定义及分类

建筑材料是土木工程中所使用的各种材料及其制品的总称，它是一切土木工程的物质基础。建筑材料对各类建筑工程的质量、造价、技术的进步等都有着重要的影响。所以从事土木工程的各类技术人员都需要掌握建筑材料的有关知识。

由于建筑材料的种类繁多、性能各异，可从不同角度对它们进行分类，常用的分类方法有按化学成分和使用功能来进行分类。

(1) 按材料的化学成分分类。根据材料的化学成分不同，建筑材料可分为有机材料、无机材料和复合材料三大类，见表 0.1。

表 0.1 建筑材料按化学成分分类

分 类			实 例
无机材料	金属材料	黑色金属	铁、钢、合金钢、不锈钢等
		有色金属	铝、铜、锌及其合金等
	非金属材料	天然石材	砂、石及石材制品等
		烧土制品	黏土砖、瓦、陶瓷制品等
		胶凝材料及制品	石灰、石膏及制品、水泥及水泥混凝土制品、硅酸盐制品等
		玻璃	普通平板玻璃、安全玻璃、绝热玻璃等
		无机纤维材料	玻璃纤维、矿物棉、岩棉等
有机材料	植物材料		木材、竹材、植物纤维及制品等
	沥青材料		煤沥青、石油沥青及其制品等
	合成高分子材料		塑料、涂料、树脂、胶黏剂、合成橡胶等
复合材料	有机材料与无机非金属材料复合		沥青混凝土、聚合物混凝土、玻璃纤维增强塑料等
	金属与无机非金属材料复合		钢筋混凝土、钢纤维混凝土、CY 板等
	金属与有机材料复合		铝塑管、有机涂层铝合金板、塑钢等

(2) 按材料的使用功能分类。按材料的使用功能不同，建筑材料可分为结构材料和功能材料两大类。



1) 结构材料。是指构成建筑物或构筑物结构所使用的材料,即主要承受荷载的材料,如梁、板、柱、承重墙、建筑物基础、框架及其他受力构件或结构等所使用的材料。对于这类材料的技术性能一般主要是要求它的强度和耐久性。

2) 功能材料。是指具有某些特殊功能的非承重材料,如起防水作用的防水材料,起保温隔热作用的绝热材料,起装饰作用的装饰材料等。

此外,对某一种具体材料,它可能兼有多种功能。如承重的砖墙,它既有承重的作用,同时也有一定的隔热保温的功能;又如中空玻璃,它既有保温功能又有隔声防噪功能等。随着建筑业的发展和人类生活水平的提高,功能材料将会得到更大的发展,一般来说,建筑物的安全性和耐久性,主要取决于结构材料,而建筑物的适用性,主要取决于功能材料。

2. 建筑材料在建筑工程中的作用

(1) 建筑工程的物质基础。优秀的建筑是建筑材料和艺术、技术以最佳方式融合为一个整体的产物。建筑材料是建筑艺术和技术赖以生存的物质基础,而建筑施工和安装的全过程,实质上是按设计要求把建筑材料逐渐变成一个建筑物的过程,所以说建筑装饰材料是建筑工程的物质基础。

(2) 建筑工程质量的保证。建筑材料的质量是各类建筑工程质量优劣的关键,是工程质量得以保证的前提。只有保证了建筑物所用材料的质量,才有可能保证建筑物的质量。在材料的选择、生产、储运、使用和检验评定等各个环节中,任何一个环节的失误都会影响建筑工程的质量,所以一个合格的建筑工程技术人员只有准确、熟练地掌握建筑材料的有关知识,才能正确地选择和合理地使用建筑材料;正确地检验和评定建筑材料的优劣,从而确保建筑的安全、适用、耐久等各项功能要求。

(3) 影响建筑工程的造价。在一般建筑工程的总造价中,建筑材料费用占工程总造价的50%~70%。现代市场经济条件下,建筑业面临着新机遇,新挑战,同时也承受着市场竞争的压力。建筑业的生产经营活动总是围绕着降低造价、优质高效而进行的。在竞争中我们要应用所学的建筑材料知识,优化选择和正确使用材料,充分利用材料的各种性能,提高材料的利用率,在满足使用要求的前提下,降低材料费用,从而显著降低工程造价。

(4) 促进建筑工程技术的进步和建筑业的发展。在建筑工程建设过程中,建筑材料是决定建筑结构形式和施工方式的主要因素,建筑材料的品种、规格、性能及质量,对建筑结构的形式、使用年限、施工方法和工程造价有着直接的影响。结构工程师只有在掌握了建筑材料性能的基础上,才能根据工程力学计算,确定出建筑构件的尺寸,创造出先进的结构形式。目前,建筑工程中普遍使用的钢筋混凝土复合材料由于其自重较大,如用它建造大跨度和高层结构则会受到一定的限制;同时,由于钢筋混凝土自重较大,对于预制板、梁,在施工中必须使用吊车来吊装,提高了施工费用,增加了工程造价。建筑工程中,许多技术问题的突破往往依赖建筑材料问题的解决,而新的建筑材料的出现,往往会促进结构设计及施工技术的革新和发展。一个国家、地区建筑业的发展水平,都与该地区建筑材料发展情况密切相关,一种新材料的出现,会使结构设计理论大大地向前推进,使一些无法实现的构想变成现实,乃至使整个社会的生产力发生飞跃。



3. 建筑材料的发展概况

建筑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逐步发展起来的。远在新石器时期之前,人类就开始利用土、石、木、竹等天然材料开始了营造活动。据考证,我国在 4500 年前就有了木架建筑和木骨泥墙建筑,出现了木结构的雏形。随着生产力的发展,人类利用黏土烧制成砖、瓦,出现了人造建筑材料,为较大规模建造房屋创造了基本条件,开始大量修建房屋、寺塔、防御工程等,例如,我们雄伟壮观的万里长城,始建于公元前 7 世纪,应用了大量的砖、石灰等人造建筑材料,其中砖石材料达 1 亿 m^3 ;用黏土、石材、木材和竹材等修建的距今 2000 多年的都江堰水利工程,现在对成都平原的灌溉、排涝仍起着重要的作用;山西五台山木结构的佛光寺大殿,从建造至今已经历了 1100 多年,至今仍保存完好。

生铁于 17 世纪 70 年代在工程中开始使用,熟铁于 19 世纪初开始用于建造桥梁和房屋,出现了钢结构的雏形。性能良好的建筑钢材于 19 世纪中叶冶炼出来,随后又生产出高强钢丝和钢索,钢结构得到了迅速发展,使建筑物和构筑物的跨度由砖石、木结构的几十米发展到几百米乃至现代建筑的上千米。19 世纪 20 年代,英国瓦匠约瑟夫·阿斯普丁发明了波特兰水泥;到了 40 年代,出现了钢筋混凝土结构:利用混凝土承受压力,钢筋承受拉力,充分发挥两种材料各自的优点,使钢筋混凝土结构广泛应用于工程建设的各个领域。20 世纪 30 年代又出了预应力混凝土结构,它克服了钢筋混凝土结构抗裂性能差、刚度低的缺点,使土木工程跨入了飞速发展的新阶段。

随着社会生产力的高速发展和材料科学的形成,使建筑材料在性能上不断得到改善和提高,而且品种大大增加。一些有特殊功能的新型材料不断涌现,如防火材料、绝热材料、吸声材料、防辐射材料及耐腐蚀材料等,为适应现代建筑装修的需要,铝合金、涂料、玻璃等各种新型装饰材料层出不穷。

随着社会的不断发展,人类对建筑工程的功能要求越来越高,从而对其所使用的建筑材料的性能要求也越来越高,同时随着人们对节约能源,保护环境和可持续发展意识的增强,建筑与材料的发展趋势为:首先建立节约型的生产体系,做到节能、节土、节水和节约矿产资源等,如空心黏土砖代替了实心黏土砖,不仅节土、节能,还提高了隔热保温的效果。其次,建立有效的环境保护与监控管理体系,大力发展无污染,环境友好型的绿色建筑产品,如使用工业废料和地方性材料可以优化环境,保障供应,降低造价。再次,积极采用高科技成果推进建筑材料工业的现代化,如研制出轻质高强,耐久等高科技产品,提高劳动生产率,降低工程造价。总之,为满足不断提高的人民生活水平和建筑业发展的需要,大力发展功能型和装饰型材料,提供更多更好的绿色化和智能化建筑材料是目前发展的趋势。

4. 建筑材料的检验与技术标准

建筑材料质量的优劣对工程质量起着决定性作用,对所用建筑材料进行合格性检验,是保证工程质量的基本环节。所以国家标准规定,任何无出厂合格证或没有按规定复试的原材料,不得用于工程建设;在施工现场配制的材料(如钢筋混凝土等),其原材料(钢筋、水泥、石子、砂等)应符合相应的材料标准要求,而其制成品(如钢筋混凝土构件等)的检验及使用方法应符合相应的规范和规程。



各项建筑材料的试验、检验工作是控制工程施工质量的重要手段,也是工程施工和工程质量验收必需的技术依据。所以,在工程的整个施工过程中,始终贯穿着材料的试验和检验工作,它不仅是一项经常性的工作,而且是一项原则性、责任性很强的工作。

建筑材料的技术标准是生产使用单位验证产品质量是否合格的技术文件。为了保证建筑材料的质量、现代化生产和科学管理有据可循,必须有一个统一的执行标准。其内容主要包括产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、标志、储运注意事项等方面。

世界各国对建设材料均制定了各自的标准。如我国的强制性标准“GB”、德国工业标准“DIN”、美国材料试验协会标准“ASTM”等,另外还有在世界范围统一使用的国际标准“ISO”。

目前,我国常用的建筑材料技术标准主要有国家级、行业(或部)级、地方级和企业级四类。

(1) 国家标准。是对全国经济、技术发展有重要意义而必须在全国范围内统一的标准。国家标准有强制性标准(代号 GB)和推荐性标准(代号 GB/T),强制性标准是全国范围内必须执行的技术指导文件,产品的技术指标不得低于标准中规定的要求,而推荐性标准在执行时也可采用其他相关标准的规定。

(2) 行业(或部)标准。主要是指全国性的各行业范围内统一的标准。它是由主管部门发布并报送国家标准局备案的标准,如建材行业标准(代号 JC),建筑行业标准(代号 JG)、水利行业标准(代号 SL)等。

(3) 地方标准。地方标准为地方主管部门发布的地方性技术文件(代号 DB),适宜在该地区使用。

(4) 企业标准。是由企业制定发布的指导本企业生产的技术文件(代号 QB),仅适用于本企业。企业标准所制定的技术要求应高于类似(或相关)产品的国家标准。

标准的一般表示方法是由标准名称、标准代号、标准编号和颁布年份等组成。例如,2007年制定的国家强制性 175 号通用硅酸盐水泥的强度要求的标准为《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007);2001年制定的国家推荐性 14684 号建筑用砂的颗粒级配的标准为《建筑用砂的颗粒级配》(GB/T 14684—2000)。

5. 本课程的内容和任务

本课程是工程造价及土建类专业的一门专业基础课,又是一门实践性很强的应用型学科。学好本课程是进一步学好建筑结构、施工技术及工程概预算等专业课的前提,同时也为今后从事工程实践和科学研究打下良好基础。

本课程的内容除了介绍建筑材料的一些基本性质外,主要讲述建筑工程中常用的无机气硬性胶凝材料、水泥、水泥混凝土、建筑砂浆、墙体材料、防水材料、建筑钢材、常用建筑装饰材料、合成高分子材料、绝热材料与吸声材料,以及常用建筑材料的试验方法和质量评定方法。

本课程的学习任务分为理论课学习和试验课学习两大部分。

理论课学习任务:①掌握常用建筑材料的基本性能和特点,能够根据工程实际条件合理地选择和使用各种建筑材料;②为了进一步加深认识和理解建筑材料的性能和特点,还应了解各种材料的原料、生产、组成、工作机理等方面的知识;③掌握常用建筑材料储藏



和运输时的注意事项,从而确保建筑材料的质量,降低工程造价。

试验课学习任务:①掌握常用建筑材料的试验、检验技能,会对常用建筑材料进行质量合格性判定;②培养严谨、认真的科学态度和分析问题与解决问题的能力。

6. 本课程的特点与学习方法

建筑材料与检测是一门实践性很强的课程。各种材料性能的检验是通过各种试验进行的,因此,在学习时应注意加强动手能力和试验技能的培养。

建筑材料的性能及技术参数受外界因素影响较大,相同的材料、相同的配合比在不同的环境条件下,其性能不同。所以,在学习时除了分析材料内部因素对材料性能产生影响外,还要注意周围环境的影响。而材料只有在同等试验条件下得出的数据才有可比性,因此建材试验应严格按照有关建材技术标准去操作。随着新型建筑材料的发展,学习时应联系实际,充分利用参观和学习的机会,了解新材料、新技术在工程中的应用,同时还应关注新建材技术标准的颁发等发展动向。

第 1 章 建筑材料的基本性质

【内容概述】

本章主要介绍材料的基本物理、力学、化学性质和有关参数及计算公式；材料的基本性质。

【学习目标】

掌握材料的密度、表观密度、堆积密度、孔隙率及空隙率的定义及计算；掌握材料与水有关的性质、与热与声有关的性质、力学性能以及耐久性和环保性；了解材料孔隙率和孔隙特征对材料性能的影响。

在建筑物或构筑物中，建筑材料要承受各种不同因素的作用，要求其应具有不同性质。例如，用于建筑结构的材料要受到各种外力的作用，因此，选用的材料应具有所需要的力学性能。又如，根据建筑物各种不同部位的使用要求，有些材料应具有防水、绝热、吸声等性能；对于某些工业建筑，要求材料具有耐热、耐腐蚀等性能。此外，对于长期暴露在大气中的材料，要求能经受风吹、日晒、雨淋、冰冻而引起的温度变化、湿度变化及反复冻融等的破坏作用。为了保证建筑物或构筑物经久耐用，就要求在工程设计与施工中正确地选择和合理地使用材料，因此必须熟悉和掌握各种建筑材料的基本性质。

1.1 材料的基本物理性质

建筑材料在建筑物中各个部位的功能不同，均要承受不同的作用，因而要求建筑材料必须具有相应的基本性质。

物理性质包括密度、密实性、空隙率、孔隙率等（计算材料用量、构件自重、配料计算、确定堆放空间）。

1.1.1 材料与质量的性质

自然界的材料，因其单位体积内所含孔（空）隙程度的不同，其基本的物理性质参数即单位体积的质量也有所区别，这就带来了不同的密度概念。

1.1.1.1 材料的体积构成及含水状态

1. 材料的体积构成

块状材料在自然状态下的体积是由固体物质的体积和材料内部孔隙的体积组成的，即材料内部的孔隙按孔隙特征分为连通孔隙和封闭孔隙两种，孔隙按尺寸大小又可分为微孔、细孔和大孔三种。封闭孔隙不吸水，连通孔隙与材料周围的介质相通，材料在浸水时易吸水饱和。如图 1.1 所示。

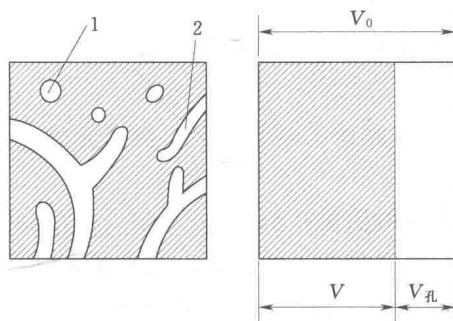


图 1.1 块状材料体积构成示意图

1—封闭孔隙；2—连通孔隙

$$V_0 = V + V_{\text{孔}} \quad (1.1)$$

散粒材料是指在自然状态下具有一定粒径材料的堆积体，如工程中的石子、砂等。其体积构成是由固体物质体积、颗粒内部孔隙体积和固体颗粒之间的空隙体积组成的，如图 1.2 所示。

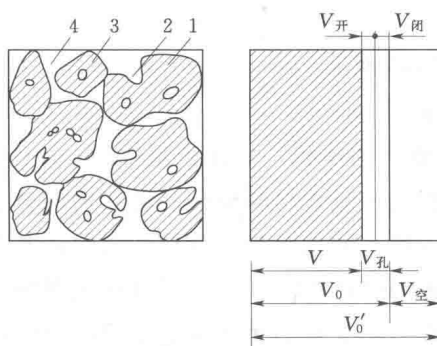


图 1.2 散粒材料体积构成示意图

1—颗粒中固体物质；2—颗粒的连通孔隙；3—颗粒的封闭孔隙；4—颗粒间的空隙

$$V'_0 = V + V_{\text{孔}} + V_{\text{空}} = V_0 + V_{\text{空}} \quad (1.2)$$

2. 材料的含水状态

材料在大气中或水中会吸附一定的水分，根据材料吸附水分的情况不同，将其含水状态分为四种，即干燥状态、气干状态、饱和面干状态、湿润状态。如图 1.3 所示。

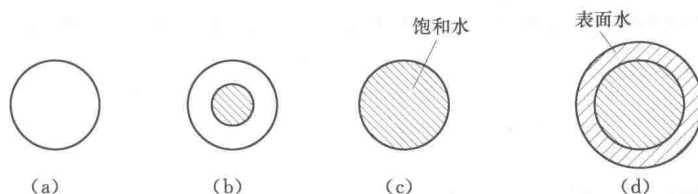


图 1.3 材料的含水状态

(a) 干燥状态；(b) 气干状态；(c) 饱和面干状态；(d) 湿润状态

材料的含水状态的不同会对材料的多种性质均产生一定的影响。



1.1.1.2 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量，即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.3)$$

式中 ρ —— 密度， g/cm^3 ；

m —— 材料在干燥状态下的质量， g ；

V —— 干燥材料在绝对密实状态下的体积，或称绝对体积， cm^3 。

材料在绝对密实状态下的体积，即固体物质的体积，是指不包括材料孔隙在内的实体积。常用建筑材料中，除金属、玻璃、单体矿物等少数接近于绝对密实的材料外，绝大多数材料均含有一定的孔隙，如砖、石材等块状材料。测定含孔材料的密度时，应将材料磨成细粉（粒径一般小于 0.20mm ）除去孔隙，经干燥至恒重后，用李氏瓶采用排液的方法测定其实体积。材料磨得越细，所测得的体积越接近实体积，密度值也就越精确。

1.1.1.3 表观密度

表观密度是指材料在自然状态下（包含孔隙）单位体积的质量，即

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

式中 ρ_0 —— 表观密度， g/cm^3 或 kg/cm^3 ；

m —— 材料的质量， g 或 kg ；

V_0 —— 材料在自然状态下的体积，也称表观体积， cm^3 或 m^3 。

材料在自然状态下的体积是指包含材料内部孔隙在内的体积，即材料的实体积与材料内所含全部孔隙体积之和。一般，对具有规则外形的材料，其测定很简便，表观体积的测定可用外形尺寸直接计算，再测得材料的质量即可算得表观密度；对不具有规则外形的材料，可在其表面涂薄蜡层密封（防止水分渗入材料内部而影响测定值），然后采用排液法测定其表观体积。

每种材料的密度是固定不变的，但当材料含有水分时，其自然状态下的质量、体积会发生变化导致表观密度也产生改变。所以测定材料的表观密度时，须注明含水状态。通常，材料的表观密度是指在气干状态下（长期在空气中存放的干燥状态）的表观密度；材料在烘干状态下测得的表观密度称为干表观密度，在潮湿状态下测得的表观密度称为湿表观密度。

1.1.1.4 堆积密度

堆积密度是指散粒材料（粉状、颗粒状或纤维状材料）在规定的装填条件下，单位体积的质量，即

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1.5)$$

式中 ρ'_0 —— 堆积密度， g/cm^3 或 kg/cm^3 ；

m —— 材料的质量， g 或 kg ；

V'_0 —— 材料的堆积体积， cm^3 。

散粒材料的堆积体积不但包括其表观体积，还包括颗粒间的空隙体积，即固体物质体



积、颗粒内部孔隙体积和固体颗粒之间的空隙体积之和。散粒材料的堆积密度的大小不仅取决于材料颗粒的表观密度，而且还与材料的装填条件（即堆积的密实程度）有关、与材料的含水状态有关。

由于散粒材料堆放的紧密程度不同，可将其分为松散堆积密度、振实堆积密度、紧密堆积密度三种。

在建筑工程中，计算材料用量、构件自重、配料计算、材料堆积体积或面积，以及计算运输材料的车辆时，经常要用到材料的上述状态参数。常用建筑材料的密度、表观密度、堆积密度和孔隙率，见表 1.1。

表 1.1 常用建筑材料的密度、表观密度堆积密度及孔隙率

材料名称	密度 (g/cm ³)	表观密度 (kg/m ³)	堆积密度 (kg/m ³)	孔隙率 (%)
钢材	7.8~7.9	7850	—	0
花岗岩	2.7~3.0	2500~2900	—	0.5~3.0
石灰岩	2.4~2.6	1800~2600	1400~1700 (碎石)	—
砂	2.5~2.6	—	1500~1700	—
黏土	2.5~2.7	—	1600~1800	—
水泥	2.8~3.1	—	1200~1300	—
烧结普通砖	2.6~2.7	1600~1900	—	20~40
烧结空心砖	2.5~2.7	1000~1480	—	—
红松木	1.55~1.60	400~600	—	55~75

1.1.1.5 视密度

石子、砂及水泥等散粒状材料，在测定其密度时，一般采用排液置换法测定其体积，所得体积一般包含颗粒内部的封闭孔隙体积，并非颗粒绝对密实体积。若按式 (1.3) 计算，结果并不是散粒材料的真实密度，故将此密度称为散粒材料视密度。

由于所测得的颗粒体积大于其密实体积，小于其自然体积，所以存在以下关系

$$\text{密度} > \text{视密度} > \text{颗粒表观密度}$$

1.1.1.6 孔隙率与密实度及空隙率与填充率

1. 孔隙率 P 与密实度 D

孔隙率是指材料内部孔隙体积占材料总体积的百分率，即

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

密实度是指材料体积内被固体物质充实的程度，即固体物质的体积占总体积的百分率，即

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

材料的孔隙率与密实度是从两个不同的方面反映材料的同一个性质，二者存在以下关系

$$P + D = 1 \quad (1.8)$$