

普通高等教育“十三五”规划教材

建筑材料

主 编 张玉明 任淑霞

副主编 陈春霞 王立华 王艳艳 郑志伟



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十三五”规划教材

建筑材料

12/ 主 编 张玉明 任淑霞

副主编 陈春霞 王立华 王艳艳 郑志伟

2000

-22



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要讲述了建筑工程中常用的各种材料的组成、种类、基本性质、技术标准、质量检验、保管和应用，以及材料的发展动态等。全书共分十章，内容包括绪论、建筑材料的基本性质、气硬性无机胶凝材料、水泥、普通混凝土、建筑砂浆、建筑钢材、砌体材料、沥青及沥青混合料、木材和建筑材料试验等。全书依据最新现行国家标准、规范和规程编写，在内容上注重联系工程实际，推陈出新。

本书可供高等院校土木工程、水利水电工程、农业水利工程及其他土木建筑类专业作为专业基础课程学习参考和考研复习使用，也可作为土建类及相关专业的职业培训教材，亦可供函授、自学考试使用及相关单位技术人员参考。

图书在版编目（C I P）数据

建筑材料 / 张玉明, 任淑霞主编. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2016.2
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5170-4129-0

I. ①建… II. ①张… ②任… 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(2016)第036260号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 建筑材料
作 者	主编 张玉明 任淑霞 副主编 陈春霞 王立华 王艳艳 郑志伟
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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 16.25印张 386千字
版 次	2016年2月第1版 2016年2月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	35.00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

建筑材料是建筑工程的物质基础，在建筑工程中占有极为重要的地位，对建筑工程的安全性、适用性、耐久性和工程造价等具有决定性影响作用。掌握建筑材料的基本知识和质量检验方法，对正确选择和合理使用材料，满足建筑工程的要求非常重要。

“建筑材料”是土木工程专业、水利水电专业、农业水利工程专业以及土木建筑类其他专业学生必修的专业基础课程，课程的任务是使学生具有建筑材料的基本知识，了解和掌握常用建筑材料的性能与应用，为学习后续专业课程打好基础，并培养学生的材料试验技能、科研能力和工作能力。

本书坚持理论联系实际，特别是注重与工程实践的结合和技能的培养，体现了加强实际应用、服务专业教学的宗旨。编写过程中采用现行最新标准和规范；增添部分新型建材，有利于读者开阔思路，合理选用材料。各章均附有学习目标和复习思考题，以便于查阅和掌握重点的内容。

本书由山东农业大学张玉明、任淑霞担任主编，上海师范大学陈春霞、山东科技大学王立华、山东农业大学王艳艳、天津农学院郑志伟担任副主编。编写分工是：张玉明、郑志伟编写绪论和第一、第八、第十章；任淑霞编写第三、第四、第六章；王立华编写第二章；陈春霞编写第五、第七章；王艳艳编写第九章。全书由张玉明统稿，任淑霞校核。本书编写过程中参阅了大量文献和国家标准规范，在此对各参考文献的作者表示衷心感谢。

由于建筑科学技术和建筑材料发展很快，新材料、新品种不断面世，而且建筑工程的各领域各行业的技术标准不尽统一，加上编者的水平所限，书中的疏漏、不足之处恐难避免，敬请读者批评指正。

编者

2015年6月

目 录

前言

绪论	1
复习思考题	3
第一章 建筑材料的基本性质	4
第一节 材料的组成与结构	4
第二节 材料的物理性质	7
第三节 材料的力学性质	14
第四节 材料的耐久性	17
复习思考题	18
第二章 气硬性无机胶凝材料	19
第一节 石灰	19
第二节 石膏	24
第三节 水玻璃	26
复习思考题	27
第三章 水泥	28
第一节 通用硅酸盐水泥	28
第二节 其他品种水泥	44
复习思考题	49
第四章 普通混凝土	51
第一节 概述	51
第二节 普通混凝土的主要组成材料	53
第三节 普通混凝土的主要技术性质	64
第四节 混凝土外加剂和掺合料	86
第五节 混凝土配合比设计	98
第六节 其他品种混凝土	107
复习思考题	111

第五章 建筑砂浆	113
第一节 砂浆的组成材料	113
第二节 建筑砂浆的主要技术性质	115
第三节 砌筑砂浆配合比设计	118
第四节 其他品种砂浆	121
复习思考题	126
第六章 建筑钢材	127
第一节 概述	127
第二节 建筑钢材的技术性能及加工	129
第三节 建筑钢材的技术标准与选用	135
第四节 钢材的防火与防腐蚀	146
复习思考题	150
第七章 砌体材料	151
第一节 砌墙砖	151
第二节 砌块	159
第三节 砌筑用石材	164
复习思考题	169
第八章 沥青及沥青混合料	170
第一节 沥青材料	170
第二节 沥青混合料	181
复习思考题	192
第九章 木材	194
第一节 木材的分类和构造	194
第二节 木材的物理和力学性质	197
第三节 木材的腐蚀与防护	201
第四节 木材的应用	202
复习思考题	204
第十章 建筑材料试验	205
第一节 材料基本性质试验	205
第二节 水泥试验	208
第三节 混凝土用骨料试验	218
第四节 普通混凝土试验	226
第五节 建筑砂浆试验	233
第六节 钢筋试验	236
第七节 石油沥青试验	241
第八节 沥青混合料试验	246
参考文献	251

绪 论

【学习目标】

掌握建筑材料的定义及分类；了解建筑材料的发展及现状；掌握建筑材料的技术标准；明确本课程的学习任务及要求。

建筑材料是土木工程中使用的各种材料和制品的总称，是构成土木工程建筑物的物质基础。其性能对于建筑物的各种性能具有重要影响，其质量更是决定工程质量和耐久性能的决定因素。为使建筑物获得结构安全、性能可靠、耐久、美观、经济适用的综合品质，必须合理选择与正确使用材料。建筑材料必须同时满足两个基本要求：

- (1) 满足建筑物和构筑物本身的技术性能要求，保证能正常使用。
- (2) 在其使用过程中，能抵御周围环境的影响与有害介质的侵蚀，保证建筑物和构筑物的合理使用寿命，同时也不能对周围环境产生危害。

由于建筑材料品种繁多、性质各异，为便于掌握其应用规律，工程中常按不同的方法对建筑材料进行分类。见表 0-1。

表 0-1 建筑材料的分类

按化学组成分类	无机材料	金属材料	黑色金属	钢、铁、不锈钢等
			有色金属	铝、铜等及其合金
		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、水泥等
			玻璃	普通平板玻璃、特种玻璃
			无机纤维材料	石棉、岩棉、玻璃纤维等
			混凝土及硅酸盐制品	混凝土、砂浆
	有机材料	植物材料	木材、竹材、植物纤维及其制品	
		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、合成橡胶、胶黏剂等	
	复合材料	有机与无机非金属材料	聚合物混凝土、玻璃纤维增强塑料等、沥青混凝土	
		金属与无机非金属复合材料	钢筋混凝土，钢纤维混凝土等	
		金属与有机复合材料	PVC 钢板、有机涂层铝合金板等	
按使用功能分	结构材料	如梁、板、柱、基础、框架及其他受力构件和结构等所用的材料	砖、石、水泥、混凝土、钢筋混凝土和钢材等	
	墙体材料	砌筑承重墙和非承重墙所用材料	普通黏土砖、灰砂砖、粉煤灰砌块、加气混凝土砌砖、轻骨料混凝土砌块、普通混凝土空心砌块等	
	功能材料	负担某些建筑功能的非承重用材料	如防水材料、绝热材料、吸声材料、装饰材料等	

纵观建筑发展史,建筑材料往往成为一个时代的标志。随着人类文明及科学技术的不断进步,建筑材料也在不断进步与更新换代,从石灰→水泥→混凝土→钢材,从草木结构→砖木结构→砖混结构→预应力混凝土结构→钢结构,从1万多年前的洞穴到如今828m高的世界第一高楼的迪拜塔,新型建筑材料的发明和应用,都会促进建筑形式、规模和施工技术的进步。18—19世纪,钢材、水泥、混凝土的相继问世,为现代土木工程建筑奠定了基础。进入20世纪后,材料科学和工程学的形成和发展,使建筑材料的品种不断增加,而且材料的性能和质量不断改善和提高,以有机材料为主的化学建材异军突起。

建筑材料用量大,资源和能源消耗巨大,其生产、使用和产生的建筑垃圾对环境的影响日益突出。随着社会的发展,更有效地利用地球有限的资源,全面改善和扩大人类工作和生存空间,建筑材料在原材料、生产工艺、性能及产品形式诸方面均将面临可持续发展和人类文明进步的严酷挑战。为满足未来建筑的更安全、舒适、美观、耐久,以及节能、环保、智能化的需求,建筑材料也应向轻质、高强、耐久、多功能、智能化方向发展,并最大限度地节约资源、降低能源消耗和环境污染,开发研制高性能的绿色建材。

目前,我国建筑材料已经是世界上最大的生产国和消费国。主要建材产品水泥、钢材、平板玻璃、卫生陶瓷等产量多年位居世界第一位。随着北京奥运场馆、上海世博会场馆及杭州湾跨海大桥、三峡水利枢纽等工程设施的建设,我国自主研发了一批具有世界先进水平的新型建筑材料,标志着我国由建材生产大国正向建材强国迈进。

建筑材料的蓬勃发展,要求建筑材料的标准化生产。标准化是现代社会化大生产的产物,也是科学管理的重要组成部分。标准化生产表明我国建筑材料生产已完成了从量到质的转变。建筑材料的技术标准,是产品质量的技术依据,生产企业必须按标准生产合格产品;使用者应按标准选用材料、按规范进行工程的设计与施工,以保证工程的安全、适用、耐用、经济。同时,技术标准也是产品质量检查、验收的依据。

我国建筑材料的技术标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。中国国家质量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属于全国通用标准,是国家指令性技术文件,各级生产、设计、施工等部门必须严格遵照执行,不得低于此标准。地方标准是地方主管部门发布的地方性技术文件。凡没有制定国家标准、行业标准的产品应制定企业标准,而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。各级标准代号,见表0-2。工程中可能涉及的其他标准有:国际标准,代号为ISO;美国材料试验学会标准,代号ASTM;日本工业标准,代号JIS;德国工业标准,代号DIN;英国标准,代号BS;法国标准,代号NF等。

本课程作为土木工程类专业的专业基础课程,通过本课程的学习,一方面为学习后继专业课程提供必要的基础知识,另一方面为将来从事土木建设工作中合理选择与正确使用材料,以及从事建筑材料科学研究,奠定一定的理论基础。可以说材料课程的作用是“启蒙教育”。主要讲述土木工程中常用的各种建筑材料的组成、生产、性质、应用及检验等方面的内容。学习应以材料的性质和合理选用为重点,了解各种材料的性质,并注意材料的成分、构造、生产过程等对其性能的影响;对于现场配制的材料,如普通混凝土、砂浆等应掌握其配合比设计的原理和方法。

表 0-2 建筑材料各级标准代号

标准种类	代号	表 示 内 容	表 示 方 法
国家标准	GB	国家强制性标准	由标准名称、部门代号、标准编号、颁布年份组成 例如：GB 175—2007《通用硅酸盐水泥》所表示的是： 《通用硅酸盐水泥》表示产品名称； GB 表示该标准为国家强制性标准； 175 表示该产品的二级类目顺序号； 2007 表示标准颁布年份为 2007 年
	GB/T	国家推荐性标准	
行业标准	JC	建材行业标准	
	JGJ	建设部行业标准	
	YB	冶金行业标准	
	JT	交通行业标准	
	SL	水利行业标准	
	SD	水电行业标准	
地方标准	DB	地方强制性标准	
	DB/T	地方推荐性标准	
企业标准	QB	企业制定并经批准的标准	

本课程内容繁杂、涉及面广、符号定义繁多，在学习时应在首先掌握材料基本性质和相关理论的基础上，再熟悉常用材料的主要性能、技术标准及应用。学习中切忌死记硬背，因为在实际工程中，分析和处理建筑质量或某些工程技术问题，主要依靠对于材料知识的灵活运用。因此，要清楚地认识材料的组成、结构、构造及性能之间的因果关系，了解常用典型材料的应用规律和技术特点，通过工程实例，积累感性认识，培养分析和解决材料问题的能力。

试验课是本课程的重要教学环节，通过试验课学习，可加深对理论知识的理解，掌握材料基本性能的试验方法和质量评定方法，培养实践技能。并有助于培养科学研究能力、严谨的科学态度和求实的工作作风。在试验过程中，要严肃认真、细心观察，要了解实验条件对试验结果的影响，对试验结果做出正确的分析和判断。

复 习 思 考 题

- 1. 简述建筑材料的常用分类。
- 2. 建筑材料的技术标准分哪几级？各自的代号是什么？
- 3. 简述复合材料的几种复合方式。

第一章 建筑材料的基本性质

【学习目标】

掌握建筑材料物理性质的基本概念、表示方法及应用；掌握材料力学性质的基本概念；掌握材料耐久性的概念及意义；了解材料的组成、结构和构造对材料性能的影响。

建筑材料的基本性质是指建筑材料在实际工程使用中所表现出来的普遍的、最一般的性质，也是最基本的性质。例如用于建筑结构的材料要受到各种外力的作用，选用的材料应具有所需要的力学性能。根据建筑物不同部位的使用要求，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、冰冻而引起的冲刷、化学侵蚀、生物作用、温度变化、干湿循环及冻融循环等破坏作用，即具有良好的耐久性。因此，对建筑材料性质的要求是严格的和多方面的，具体包括物理性质、力学性质和耐久性等。对于从事工程设计、施工、监理和管理的技术人员来讲，掌握建筑材料的基本性质，是合理选择和使用材料的前提和基础。

建筑材料所具有的各项性质主要是由材料的组成与结构等因素决定的。要掌握建筑材料的性质，需要了解它们与材料的组成与结构的关系。

第一节 材料的组成与结构

一、材料的组成

材料的组成包括材料的化学组成、矿物组成和相组成。它不仅影响着材料的化学性质，而且也是决定材料物理、力学性质的重要因素。

1. 化学组成

化学组成是指构成材料的化学元素及化合物的种类及数量。当材料与自然环境或各类物质相接触时，它们之间必然按化学变化规律发生作用。如材料受到酸、碱、盐类物质的侵蚀作用，或材料遇到火焰的耐燃、耐火性能，以及钢材和其他金属材料的锈蚀等都属于化学作用。

通常金属材料以化学元素含量百分数表示；无机非金属材料以元素的氧化物含量表示；有机高分子材料常以构成高分子材料的一种或几种低分子化合物（单体）来表示。材料的化学成分，直接影响材料的化学性质，也是决定材料物理性质及力学性质的重要因素。因此，材料种类常按其化学组成来划分。

2. 矿物组成

材料的矿物组成，是指构成材料的矿物种类和数量。无机非金属材料中具有特定的晶

体结构、物理力学性能的组织结构的称为矿物。某些建筑材料如天然石材、无机胶凝材料等，其矿物组成是决定其材料性质的主要因素。水泥因所含有的熟料矿物不同或其含量不同，表现出的水泥性质各有差异。例如硅酸盐水泥中，硅酸三钙含量高，其硬化速度较快，强度较高。花岗岩的矿物组成主要是石英和长石，石灰石的矿物组成为方解石。

3. 相组成

材料中结构相近、具有相同的物理和化学性质的均匀部分称为相。自然界中的物质可分为气相、液相、固相。材料中，同种化学物质由于加工工艺的不同，温度、压力等环境条件的不同，可形成不同的相。建筑材料大多是多相固体材料，凡是由两相或两相以上物质组成的材料称为复合材料。建筑材料大多数可看作复合材料。例如，混凝土可认为是集料颗粒（集料相）分散在水泥浆体（基相）中所组成的两相复合材料。

复合材料的性质与材料的组成及界面特性有密切关系。所谓界面从广义来讲是指多相材料中相与相之间的分界面。在实际材料中，界面是一个薄区，它的成分及结构与相是不一样的，它们之间是不均匀的，可将其作为“界面相”来处理。有许多建筑材料破坏时往往首先发生在界面，因此，通过改变和控制材料的相组成和界面特性，可改善和提高材料的技术性能。如研究混凝土的配合比，就是为了改善混凝土的相组成，尽量使混凝土结构接近均匀而密实，保证其强度和耐久性。

二、材料的结构

材料的结构和构造是泛指材料各组成部分之间的结合方式及其在空间排列分布的规律，是决定材料性能的另一个极其重要的因素。目前，材料不同层次的结构和构造的名称和划分，在不同学科间尚未统一。通常，按材料的结构和构造的尺度范围，可分为宏观结构、亚微观结构和微观结构。

1. 宏观结构（构造）

材料的宏观结构是指用肉眼或放大镜能够分辨的粗大组织，其尺度范围在毫米（mm）级以上。材料的某些性能是由宏观构造所决定的。

建筑材料的宏观结构按其孔隙特征分为：

（1）致密结构：指具有无可吸水、透气孔隙的结构。例如金属材料、致密的石材、玻璃、塑料、橡胶等。

（2）多孔结构：指具有粗大孔隙的结构。如加气混凝土、泡沫混凝土、泡沫塑料及人造轻质多孔材料。

（3）微孔结构：指具有微细孔隙的结构。如石膏制品、烧结黏土制品等。

材料的宏观结构按其组织构造特征分为：

（1）堆聚结构：指由集料与具有胶凝性或黏结性物质胶结而成的结构。例如水泥混凝土、砂浆、沥青混合料等。

（2）纤维结构：指由天然或人工合成纤维物质构成的结构。例如木材、玻璃钢、岩棉等。

（3）层状结构：指由天然形成或人工黏结等方法而将材料叠合而成的双层或多层结构。例如胶合板、纸面石膏板、复合保温墙板、铝塑复合板等人造板材。

（4）散粒结构：指由松散粒状物质所形成的结构。例如混凝土集料、粉煤灰、膨胀珍

珠岩、膨胀蛭石等。

2. 亚微观结构

亚微观结构（细观结构）是指可用光学显微镜观察到的内部结构。一般可分辨的范围是 $1 \sim 10^{-3} \text{mm}$ 。

土木工程观察材料的细观结构，只能针对某种具体材料来进行分类研究。例如，天然岩石可分为矿物、晶体颗粒、非晶体组织；钢铁可分为铁素体、渗碳体、珠光体；木材可分为木纤维、导管、髓线、树脂道。

材料细观结构层次上的各种组织结构、性质和特点各异，它们的特征、数量和分布对建筑材料的性能有重要影响。

3. 微观结构

微观结构是指组成材料原子、分子的排列方式、结合状况等。可用高倍显微镜、电子显微镜或 X 射线衍射仪等手段来研究，其分辨尺寸范围在纳米（nm， 10^{-6}mm ）以上。

材料在微观结构层次上可分为晶体、非晶体及胶体。

（1）晶体。晶体是由离子、原子或分子等质点，在空间按一定方式重复排列而成的固体，具有特定的外形。这种有规则的排列称为晶体的空间格子（晶格）；构成晶格的最基本单元，称为晶胞。晶体颗粒具有各向异性性质。但是在实际晶体材料中，晶粒的大小及排列方向往往是随机的，故晶体材料也可能是各向同性的。

晶体的物理力学性质，除与晶格形态有关外，还与质点间结合力有关。这种结合力称为化学键，可分为共价键、离子键、分子键及金属键。

按组成材料的晶体质点及化学键的不同，晶体可分为如下几种。

1) 原子晶体：由原子以共价键构成的晶体，如石英及某些碳化物等。共价键的结合力很强，故原子晶体的强度高、硬度大，常为电、热的不良导体。

2) 离子晶体：由正、负离子以离子键构成的晶体，多是无机非金属材料，如石膏、石灰、石材等。离子键的结合力也很强。离子晶体凝固时为脆硬固体，是电、热的不良导体，熔、溶时可导电。

3) 金属晶体：由金属阳离子组成晶格，自由电子运动其间，阳离子与自由电子形成金属键，如钢铁材料等。金属键的结合力也较强。金属晶体常有较好的变形性能，具有导电及传热性质。

4) 分子晶体：由分子以分子键（分子键范德华力）构成的晶体，如合成高分子材料的晶体。分子键结合力低，分子晶体具有较大的变形性能，为电、热的不良导体。

（2）玻璃体。玻璃体亦称无定形体或非结晶体。非晶体没有特定的几何外形，是各向同性的。玻璃体通常是高温熔融物质急速冷却造成的结果，由于在内部蓄积着大量内能，因此，它是一种不稳定的结构，可逐渐地发生结构转化，具有较高的化学活性，是它能与其他物质起化学反应的原因之一。例如，水泥、玻璃、陶瓷、炉渣、火山灰等材料。

（3）胶体。以细小颗粒质点（胶粒）分散于连续介质中，形成的分散体系结构称为胶体。在胶体结构中，若胶粒较少，则胶粒悬浮、分散在液体连续相中，称这种结构为溶胶结构。若胶粒较多，则胶粒在表面能作用下发生凝聚，彼此相连形成空间网状结构，形成固体或半固体状态，称此结构为凝胶结构。在特定的条件下，胶体亦可形成溶胶—凝胶

结构。

第二节 材料的物理性质

一、材料的密度、表观密度与堆积密度

1. 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量，单位为 g/cm^3 或 kg/m^3 ，按下式计算：

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

式中 ρ ——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 。

绝对密实状态下的体积是指不包括孔隙在内的体积，即固体材料体积。除了钢材、玻璃等少数接近于绝对密实的材料外，绝大多数材料都有孔隙，如砖、石材等块状材料。在测定有孔隙的材料密度时，应把材料磨成细粉以排除其内部孔隙，经干燥至恒重后，用密度瓶（李氏瓶）测定其实际体积，该体积即可视为材料绝对密实状态下的体积。材料磨得愈细，测定的密度值愈精确。

2. 表观密度

表观密度是指材料在自然状态下单位体积的质量，按下式计算：

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1-2)$$

式中 ρ_0 ——表观密度， 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，或称表观体积， cm^3 或 m^3 。

材料在自然状态下的体积是指材料的实体积与材料内所含全部孔隙体积之和。当材料含有水分时，其自然状态下质量、体积的变化会导致表观密度的变化，故对所测定的材料而言，其表观密度必须注明含水状态。通常材料的表观密度是在气干状态下的表观密度，而在烘干状态下的表观密度，称为干表观密度。

对于外形规则的材料，其体积测定很简便。形状不规则材料的体积要采用排水法求得，但材料表面应预先涂上蜡，以防水分渗入材料内部而影响测定值。

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。可用式（1-3）计算：

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1-3)$$

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 。

散粒材料在自然状态下的体积，包含颗粒内部的孔隙和颗粒之间空隙的体积。在自然

状态下称松散堆积密度，若以捣实体积计算时，则称紧密堆积密度。工程上通常所说的堆积密度是指松散堆积密度。

土木工程中在计算材料用量、构件自重、配料计算以及确定堆放空间时，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、堆积密度如表 1-1 所示。

表 1-1 常用材料的密度、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/%
建筑钢材	7.8~7.9	7850	—	0
铝合金	2.70~2.90	2700~2900	—	0
花岗岩	2.60~2.90	2500~2800	—	0.5~1.0
石灰岩	2.45~2.75	2200~2600	1400~1700 (碎石)	0.5~5.0
砂	2.50~2.60	—	1450~1650	—
黏土	2.50~2.70	—	1600~1800	—
水泥	3.00~3.20	—	1000~1300	—
烧结普通砖	2.50~2.80	1500~1800	—	20~40
普通混凝土	—	2300~2500	—	3~20
松木	1.55	380~700	—	55~75
石油沥青	0.95~1.10	—	—	0
天然橡胶	0.91~0.93	910~930	—	0

二、材料的孔隙率和空隙率

1. 孔隙率

孔隙率是指材料的孔隙体积占材料总体积的百分率。可用下式计算：

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \tag{1-4}$$

材料孔隙率的大小直接反映材料的密实程度，孔隙率小，则密实程度高。孔隙率相同的材料，它们的孔隙特征（即孔隙构造）可以不同。按孔隙的特征，材料的孔隙可分为连通孔和封闭孔两种，连通孔不仅彼此贯通且与外界相通，而封闭孔彼此不连通且与外界隔绝。按孔隙的尺寸大小，又可分为极微细孔隙、细小孔隙及粗大孔隙三种。孔隙率的大小及其孔隙特征影响材料的强度、吸水性、抗渗性、抗冻性和导热性等性质。一般而言，孔隙率较小，且连通孔较少的材料，其吸水性较小，强度较高，抗渗性和抗冻性较好。而保温隔热材料的孔隙率要较大。

2. 空隙率

空隙率是指散粒材料在堆积状态下，颗粒之间的空隙体积占堆积体积的百分率，以 P' 表示，按下式计算：

$$P' = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\% \tag{1-5}$$

空隙率的大小反映了散粒材料的颗粒之间相互填充的密实程度。在配制混凝土时，砂、石的空隙率是作为控制混凝土中骨料级配与计算混凝土含砂率的重要依据。

三、材料与水有关的性质

1. 亲水性与憎水性

固体材料在空气中与水接触时,按其是否被水润湿分为亲水性材料与憎水性材料两类。大多数建筑材料都属于亲水性材料,如砖、混凝土、石材、木材等。沥青、石蜡、橡胶等为憎水性材料。

材料产生亲水性的原因是因其与水接触时,材料与水分子之间的亲和力大于水分子之间的内聚力所致。当材料与水接触,材料与水分子之间的亲和力小于水分子之间的内聚力时,材料则表现为憎水性。

材料被水湿润的情况可用润湿边角 θ 表示。当材料与水接触时,在材料、水、空气这三相体的交点处,作沿水滴表面的切线,此切线与材料和水接触面的夹角 θ ,称为润湿边角,如图 1-1 所示。 θ 角愈小,表明材料愈易被水润湿。实验证明,当 $\theta \leq 90^\circ$ 时 [图 1-1 (a)],材料表面吸附水,材料能被水润湿而表现出亲水性,这种材料称为亲水性材料; $\theta > 90^\circ$ 时 [图 1-1 (b)],材料表面不吸附水,此种材料称为憎水性材料。当 $\theta = 0^\circ$ 时,表明材料完全被水润湿。上述概念也适用于其他液体对固体的润湿情况,相应称为亲液材料和憎液材料。

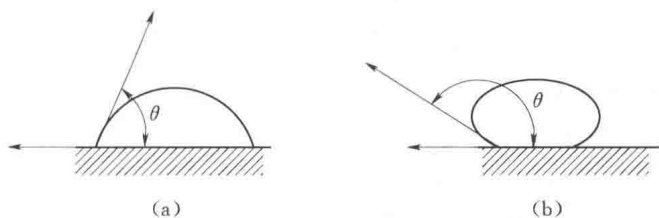


图 1-1 材料的润湿示意图

(a) 亲水性材料; (b) 憎水性材料

憎水性材料常被用作防水材料,或用作亲水性材料的覆面层,以提高其防水、防潮性能。

2. 吸水性与吸湿性

(1) 吸水性。材料在水中能吸收水分的性质称为吸水性。吸水性用吸水率表示,有质量吸水率与体积吸水率两种表示方法。

1) 质量吸水率。质量吸水率是指材料在吸水饱和时,所吸收水分的质量占材料干燥质量的百分率,用下式计算:

$$W_{\text{质}} = \frac{m_b - m_g}{m_g} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 $W_{\text{质}}$ ——材料的重量吸水率, %;

m_b ——材料在吸水饱和状态下的重量, g;

m_g ——材料在干燥状态下的重量, g。

2) 体积吸水率。体积吸水率是指材料在吸水饱和时,所吸收的水分体积占干燥材料自然体积的百分率。用下式表示:

$$W_{\text{体}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_0} \times 100\% = \frac{m_b - m_g}{V_0 \rho_w} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 $W_{\text{体}}$ ——材料的体积吸水率, %;

V_0 ——干燥材料在自然状态下的体积, cm^3 ;

ρ_w ——水的密度, g/cm^3 , 在常温下可取 1.0。

土木工程用材料一般采用重量吸水率。

材料的吸水性与材料的孔隙率及孔隙特征有关。对于细微连通的孔隙, 孔隙率愈大, 则吸水率愈大。封闭的孔隙内水分不易进去, 而开口大孔虽然水分易进入, 但不易存留, 只能润湿孔壁, 所以吸水率仍然较小。各种材料的吸水率差异很大, 如花岗岩的吸水率只有 0.1%~0.7%, 混凝土的吸水率为 2%~3%, 烧结普通黏土砖的吸水率为 8%~20%, 木材的吸水率可超过 100%。

水对材料有许多不良的影响, 它使材料的表观密度和导热性增大, 强度降低, 体积膨胀, 易受冰冻破坏, 因此材料吸水率大, 对于材料性能而言是不利的。特别是湿胀干缩及冻融循环, 对材料的耐久性有较严重影响。

(2) 吸湿性。材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性。材料的吸湿性用含水率表示。含水率是指材料内部所含水分的质量占材料干燥质量的百分率。用式 (1-8) 表示为

$$W_{\text{含}} = \frac{m_h - m_g}{m_g} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中 $W_{\text{含}}$ ——材料的含水率, %;

m_h ——材料含水时的质量, g;

m_g ——材料干燥至恒重时的质量, g。

材料的吸湿性随着空气湿度和环境温度的变化而改变, 当空气湿度较大且温度较低时, 材料的含水率较大, 反之则小。材料中所含水分与周围空气的湿度相平衡时的含水率, 称为平衡含水率。当材料吸湿达到饱和状态时的含水率即为吸水率。具有微小开口孔隙的材料, 内表面积大, 吸湿性强。

材料的吸湿性和吸水性一样均会对材料的性能产生不利影响。材料干湿交替还会引起其形状尺寸的改变而影响使用。

3. 材料的耐水性

材料长期在水作用下不破坏, 强度也不显著降低的性质称为耐水性。材料的耐水性用软化系数表示, 如下式:

$$K_{\text{软}} = \frac{f_b}{f_g} \quad (1-9)$$

式中 $K_{\text{软}}$ ——材料的软化系数;

f_b ——材料在饱水状态下的抗压强度, MPa;

f_g ——材料在干燥状态下的抗压强度, MPa。

软化系数的大小表示材料在浸水饱和后强度降低的程度。一般来说, 材料被水浸湿后, 强度均会有所降低。这是因为水分被组成材料的微粒表面吸附, 形成水膜, 削弱了微粒间的结合力。软化系数愈小, 表示材料吸水饱和后强度下降愈多, 即耐水性愈差。材料的软化系数在 0~1 之间。不同材料的软化系数值相差颇大, 如黏土为 0, 而金属为 1。土

本工程中将软化系数不低于 0.85 的材料，称为耐水材料。长期处于水中或潮湿环境中的重要结构，必须选用软化系数为 0.85~0.90 的材料。用于受潮较轻或次要结构物的材料，其软化系数不宜小于 0.75。

4. 抗渗性

材料抵抗压力水渗透的性质称为抗渗性。抗渗性通常用渗透系数表示。渗透系数的意义是：一定厚度的材料，在单位压力水头作用下，在单位时间内透过单位面积的水量。用公式表示为

$$K = \frac{Qd}{AtH} \quad (1-10)$$

式中 K ——材料的渗透系数，cm/h；

Q ——渗透水量，cm³；

d ——材料的厚度，cm；

A ——渗水面积，cm²；

t ——渗水时间，h；

H ——静水压力水头，cm。

抗渗系数值愈大，表示渗透材料的水量愈多，即抗渗性愈差。

材料（如混凝土、砂浆）的抗渗性也可用抗渗等级表示。抗渗等级是以规定的试件，在标准试验条件下所能承受的最大水压力来确定，以符号“ P_n ”（水利水电工程用 W_n ）表示，其中 n 为该材料在标准试验条件下所能承受的最大水压力的 10 倍数，如 P_4 、 P_6 、 P_8 、 P_{10} 、 P_{12} 等分别表示材料能承受 0.4MPa、0.6MPa、0.8MPa、1.0MPa、1.2MPa 的水压而不渗水。

材料的抗渗性与其孔隙率及孔隙特征有关。绝对密实的材料，具有封闭孔隙或极微细孔隙的材料，不透水或很难渗入，其抗渗性良好。而开口孔隙、粗大孔隙的材料，水最易渗入，故其抗渗性最差。抗渗性是决定材料耐久性的重要因素。在设计地下结构、水工建筑物、压力管道、压力容器等结构时，均要求其所用材料具有一定的抗渗性能。抗渗性也是检验防水材料质量的重要指标。

5. 抗冻性

材料在吸水饱和状态下，经受多次冻融循环作用而不破坏，同时强度也不严重降低的性质称为材料的抗冻性。

材料的抗冻性用抗冻等级表示。抗冻等级是以规定的试件，在规定的试验条件下，测得其强度降低和重量损失不超过规定值，此时所能经受的冻融循环次数，用符号“ F_n ”（或 D_n ）表示，其中 n 即为最大冻融循环次数，如 F_{50} 、 F_{200} 等。

材料抗冻等级的选择，是根据结构物的种类、使用要求、气候条件等来决定。例如陶瓷面砖、轻混凝土等墙体材料，一般要求其抗冻等级为 F_{15} 或 F_{25} ；用于桥梁和道路的混凝土应为 F_{50} 、 F_{100} 或 F_{200} ，而水工混凝土要求高达 F_{500} 。

材料受冻融破坏主要是因其孔隙中的水结冰所致。水结冰时体积增大约 9%，产生冻胀应力，当此应力超过材料的抗拉强度时，将产生局部开裂。随着冻融循环次数的增多，材料破坏加重。材料的抗冻性取决于其孔隙率、孔隙特征、充水程度和材料对冻胀应力的