



普通高等教育“十二五”规划教材

建筑材料

(第二版)

主 编 李宏斌 任淑霞

副主编 朱连勇 胡 建 曾 贇 彭红涛



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

建 筑 材 料

(第二版)

主 编 李宏斌 任淑霞

副主编 朱连勇 胡 建 曾 贇 彭红涛



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书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。全书共分十一章,内容包括:建筑材料的基本性质、无机胶凝材料、普通混凝土、建筑砂浆、砌体材料、建筑钢材、沥青及沥青混合料、木材、合成高分子材料、建筑功能材料和建筑材料试验等。全书依据现行国家标准、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和考研复习,也可供函授、自学考试使用,并可供土木工程设计、施工、管理和监理等工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料 / 李宏斌, 任淑霞主编. -- 2版. -- 北京:
中国水利水电出版社, 2014. 6
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-2152-0

I. ①建… II. ①李… 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(2014)第131243号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 建筑材料 (第二版)
作 者	主编 李宏斌 任淑霞 副主编 朱连勇 胡建 曾贇 彭红涛
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 20.75印张 492千字
版 次	2013年1月第1版 2013年1月第1次印刷 2014年6月第2版 2014年6月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	42.00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

第二版前言

近几年我国建筑业一直保持快速发展的态势,促进了建筑材料产业的发展,建筑材料的种类大幅增加,材料的性能和质量明显提高,各类新技术、新工艺更是层出不穷,国家标准、行业标准和规范繁多且更新快。因此本教材在第一版基础上依据《砌筑砂浆配合比设计规程》(JGJ 98—2010)、《抹灰砂浆技术规程》(JGJ 220—2010)、《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011)、《混凝土质量控制标准》(GB 50164—2011)、《混凝土结构工程施工规范》(GB 50166—2011)、《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082—2009)、《混凝土实心砖》(GB/T 21144—2007)、《建设用卵石、碎石》(GB/T 14685—2011)对普通混凝土、建筑砂浆和砌体材料内容进行了修订、补充和更新。主要变更内容包括:砌筑砂浆的配合比设计、建筑砂浆的技术性能、抹面砂浆的技术要求及配合比;混凝土用石子的质量要求;混凝土实心砖。完善了混凝土配合比设计方法,补充了建筑砂浆的保水率试验。

本教材内容繁杂,理论、概念、符号繁多且各章节内容少有关联,初学者在学习时虽易看懂,但真正掌握确有难度。为了方便读者学习,编者特意编写了与本书配套的《建筑材料习题集》,每章节习题均有参考答案,并有模拟试题供读者练习和检测学习。

本教材第一版承蒙读者厚爱,第一版印数已售罄。第一版编写时由于作者水平所限,加之时间较为仓促,存在一些疏漏、错误,根据读者反馈意见,第二版对第一版中的书写和印刷错误一并进行了修订。

本次修订由李宏斌和任淑霞负责,虽进行认真修改,书中仍会存在一些不足和疏漏,敬请读者批评指正。特别是近年来,国家诸多规范和标准不断修订改版,许多名词术语和设计原则发生更改,教材编写内容时效性的相对滞后,仍需要进一步完善更新。

编者

2014年5月

第一版前言

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以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掌握建筑材料的基本知识，了解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。

近年来，我国基础建设和工业与民用建筑快速发展，三峡水利工程、北京奥运会场馆、上海世博会场馆等标志性建筑的出现，展示了材料科学对新型建筑材料的促进作用，体现了建筑材料的发展趋势。近几年来国家为规范建材工业生产和应用，相继颁布和修订了一批标准。因此，本书结合建材科技和建材工业的发展，对建筑材料理论知识作了适度更新，内容上既注重介绍常用建筑材料，又强调新型节能环保绿色建材的推广应用，并采用了最新的国家标准和行业规范。

本书《建筑材料》，由河北农业大学李宏斌、山东农业大学任淑霞担任主编，新疆塔里木大学朱连勇、四川农业大学胡建、曾贇和中国农业大学彭红涛担任副主编，河北农业大学安保国参与编写。编写分工是：李宏斌编写绪论、第一章、第三章的第一节至第三节；任淑霞编写第二章、第九章；朱连勇编写第四章、第八章、第十章；胡建编写第三章的第四节、第五节及第五章；曾贇编写第七章、第十一章，彭红涛编写第六章，安保国参与编写第一章并审阅第十一章。全书由李宏斌统稿。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工业发展很快，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

2012 年 12 月

目 录

第二版前言

第一版前言

绪论	1
第一章 建筑材料的基本性质	4
第一节 材料的组成、结构和构造	4
第二节 材料的基本物理性质	8
第三节 材料的基本力学性质	15
第四节 材料的耐久性	19
第二章 无机胶凝材料	21
第一节 气硬性胶凝材料	21
第二节 通用硅酸盐水泥	30
第三节 其他品种水泥	47
第三章 普通混凝土	54
第一节 概述	54
第二节 普通混凝土的组成材料	56
第三节 普通混凝土的主要技术性质	82
第四节 混凝土配合比设计	107
第五节 其他品种混凝土	122
第四章 建筑砂浆	126
第一节 砂浆的组成材料	126
第二节 建筑砂浆的主要技术性质	128
第三节 砌筑砂浆配合比设计	132
第四节 其他品种砂浆	136
第五章 砌体材料	144
第一节 砌墙砖	144
第二节 砌块	153
第三节 砌筑用石材	158

第六章 建筑钢材	165
第一节 概述	165
第二节 建筑钢材的技术性能及加工	170
第三节 建筑钢材的技术标准与选用	178
第四节 钢材的防火与防腐蚀	189
第七章 沥青及沥青混合料	194
第一节 沥青材料	194
第二节 沥青混合料	206
第八章 木材	217
第一节 木材的分类和构造	217
第二节 木材的物理和力学性质	220
第三节 木材的腐蚀与防护	224
第四节 木材的应用	225
第九章 合成高分子材料	228
第一节 高分子材料的基本知识	228
第二节 建筑塑料	230
第三节 橡胶和合成纤维	234
第四节 胶黏剂	235
第十章 建筑功能材料	238
第一节 绝热材料	238
第二节 防水材料	242
第三节 吸声隔声材料	255
第四节 灌浆材料	258
第五节 装饰材料	260
第十一章 建筑材料试验	268
第一节 材料基本性质试验	268
第二节 水泥试验	271
第三节 混凝土用骨料试验	281
第四节 普通混凝土试验	289
第五节 建筑砂浆试验	296
第六节 砌墙砖试验	300
第七节 钢筋试验	306
第八节 石油沥青试验	311
第九节 沥青混合料试验	316
参考文献	321

绪 论

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了分类，具体见表 0-1。

表 0-1 建 筑 材 料 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、蒸压灰砂砖、粉煤灰砖
	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	有机与无机非金属复合材料	聚合物混凝土、玻璃纤维增强塑料、沥青混凝土等	
		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	
按使用功能分类	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、加气混凝土砌块、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828m高的世界第一高楼迪拜塔,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多,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,要求建筑材料必须标准化生产。标准化是现代化大生产的产物,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,代号为ASTM;日本工业标准,代号为JIS;德国工业标准,代号为DIN;英国标准,代号为BS;法国标准,代号为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,了解各种材料的技术性能,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

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：《通用硅酸盐水泥》（GB 175—2007）所表示 的是 通用硅酸盐水泥—标准名称 GB—标准等级为国家强制标准 175—该产品的二级类目顺序号 2007—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	
	JG	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，要了解试验条件对试验结果的影响，对试验结果作出正确的分析和判断。

第一章 建筑材料的基本性质

【本章提要】 本章是学习建筑材料课程应掌握的基础知识和理论。主要介绍建筑材料的基本物理、力学、性质和耐久性，及其相关的表征参数。材料的材质不同，其性质也必有差异。了解和掌握材料的基本性质，对于正确认识、准确表述、合理选用材料及鉴定材料质量至关重要。通过本章学习可以了解建筑材料所具有的各种基本性能的定义、内涵、参数及计算表征方法，了解材料性能对建筑结构质量的影响作用，为下一步学习材料的特殊性能打下基础。

在土木工程各类建筑物中，材料要受到各种物理、化学、力学因素单独及综合作用，为满足建筑物对材料的不同要求，建筑材料应具有相应的不同性质。例如用于建筑结构的材料要受到各种外力的作用，选用的材料应具有所需要的力学性能。又如，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。为了保证建筑物的耐久性，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，对建筑材料性质的要求应当是严格的和多方面的。必须熟悉和掌握各种材料的基本性质。

所谓材料的性质是指在负荷与环境因素联合作用下材料所具有的属性。因此，工程中讨论的材料各种性质，都是在一定环境条件下测试的各种性能指标。

建筑材料的性质是多方面的，不同材料又有其特殊性质。本章将具有共同性和比较重要的材料性质作为基本性质重点介绍，各类材料的特殊性质及工艺性质，将分别在有关章节中介绍。

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

第一节 材料的组成、结构和构造

虽然环境因素对建筑材料性能的影响很大，但这些都属外因，外因要通过内因才起作用，所以对材料性质起决定性作用的应是其内部因素。所谓内部因素就是指材料的组成、结构、构造对材料性质的影响。

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。

（一）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比表示；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。

（二）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。

（三）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。例如，铁碳合金中就有铁素体、渗碳体、珠光体。即使是同种物质在温度、压力等条件发生变化时常常会转变其存在状态，例如气相变为液相或固相。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、材料的结构和构造

材料的结构、构造是决定材料性能的另一个极其重要的因素。

（一）材料的结构

材料的结构可分为宏观结构、细观结构和微观结构。

1. 宏观结构

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。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，例如砂、石、粉煤灰、膨胀珍珠岩、膨胀蛭石等。

2. 细观结构

细观结构（亚微观结构）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（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。

在实际材料中，晶体结构的结合键常常是比较复杂的。往往都有各种晶格缺陷。主要包括点缺陷、线缺陷及面缺陷3种。

1) 点缺陷：是指晶格中有空位和填隙原子。晶格间隙中嵌入的杂质原子（原子直径较小）称为填隙原子。填隙原子造成晶格畸变，使晶体强度增加、塑性降低。

2) 线缺陷（位错）：是指晶体中存在着多余的半平面。位错使晶面容易滑移产生塑性变形。当晶体受力后，位错线很容易在晶粒内移动，产生了永久变形。位错是使晶体材料成为不完全弹性体的原因之一，也是影响晶体结晶生长、造成杂质在晶体中扩散并改变其性能的原因。

3) 面缺陷：晶体材料中相邻两晶粒的晶格常存在相位差，在界面处原子排列不规则，称为面缺陷。面缺陷使界面处原子滑移困难。面缺陷使晶体材料强度提高、塑性降低。

此外，材料的性质还与晶粒大小及分布状态有关。一般晶粒越细、分布越均匀，材料的强度越高。

(2) 玻璃体。玻璃体也称无定形体或非晶体。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成为胶体，又称为胶凝材料。

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，胶体也可形成溶胶—凝胶结构。

凝胶体中胶粒之间由范德华力结合。在搅拌、振动等剪切力的作用下，结合键很容易断裂，使凝胶变成溶胶，重新具有流动性。但静置一定时间后，溶胶又会恢复成凝胶。这一转变过程可以反复多次。溶胶—凝胶这种互变的性质称为触变性。

(二) 材料的构造

材料的构造是指具有特定性质的材料结构单元的相互搭配情况。构造与结构相比，其所描述的是相同材料或不同材料间的搭配与组合关系。例如木材的宏观构造、微观构造就是指具有相同的结构单元——木纤维管胞，按不同的形态和方式在宏观和微观层次上的搭配和组合情况。它决定了木材的各向异性等一系列物理力学性质。例如，用不同材料组合而成的多功能复合墙板，通常由承受外力的结构层、保温层和装饰面层组成，充分发挥了不同材料的不同性质，它的构造赋予了复合墙板良好的保温隔热、隔声、防火、承重、装饰等功能和性质。

随着建筑材料科学与技术的发展,深入研究材料的组成、结构、构造和材料性能之间的关系,将会提升材料的性能和质量,更有效地利用资源,而且会不断研发适应现代建筑发展所需要的更新、更优的新型建材。

第二节 材料的基本物理性质

一、材料的密度、表观密度与堆积密度

(一) 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 , 常用 g/cm^3 , 按式 (1-1) 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。

(二) 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,单位 kg/m^3 或 g/cm^3 , 常用 kg/m^3 , 按式 (1-2) 计算:

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

式中 ρ_0 ——表观密度, kg/m^3 或 g/cm^3 ;

m ——材料的质量, kg 或 g ;

V_0 ——材料在自然状态下的体积,或称表观体积, m^3 或 cm^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。

(三) 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、堆积密度及孔隙率见表 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 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	表观密度 /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	堆积密度 /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	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
聚氯乙烯树脂	1.33~1.45	1300~1450	—	0

二、材料的孔隙率和空隙率

(一) 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:

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

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。