

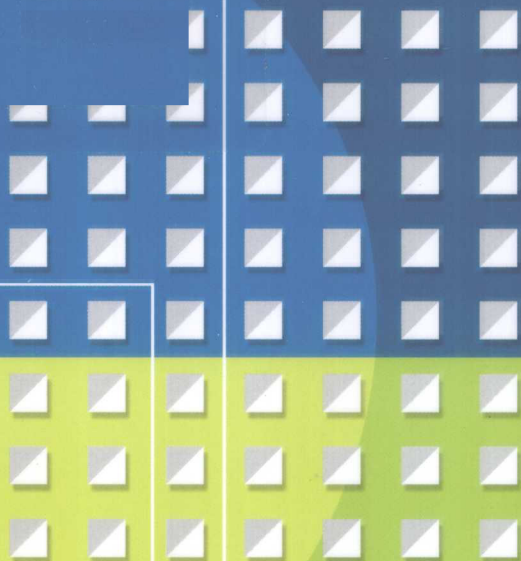


高等学校“十一五”精品规划教材

土木工程材料

主 编 李宏斌 任淑霞

TUMU GONGCHENG CAILIAO



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校“十一五”精品规划教材

土木工程材料

主 编 李宏斌 任淑霞

副主编 宇云飞 杨维武



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要讲述了土木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12章,内容包括土木工程材料的基本性质、无机胶凝材料、普通混凝土、建筑砂浆、建筑钢材、沥青和沥青混合料、合成高分子材料、防水材料、砌筑材料、木材、建筑功能材料和建筑材料试验。全书依据最新现行国家标准、行业规范和规程编写。在内容上注重联系工程实际,推陈出新。

本书适用于高等学校土木工程、水利水电工程、农业水利工程专业及土木建筑类其他专业学生作为专业基础课程教学用书,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

土木工程材料 / 李宏斌, 任淑霞主编. -- 北京 :
中国水利水电出版社, 2010.8
高等学校“十一五”精品规划教材
ISBN 978-7-5084-7786-2

I. ①土… II. ①李… ②任… III. ①土木工程—建
筑材料—高等学校—教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第163149号

书 名	高等学校“十一五”精品规划教材 土木工程材料
作 者	主编 李宏斌 任淑霞
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 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 21.5印张 510千字
版 次	2010年8月第1版 2010年8月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	39.50元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

土木工程材料是土木工程的物质基础，在土木工程中占有极为重要的地位，对工程的安全性、适用性、耐久性和工程造价等具有决定性影响作用。掌握土木工程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，满足土木工程的要求非常重要。

《土木工程材料》是土木工程专业、水利水电专业、农业水利工程专业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土木工程材料的基本知识，了解和掌握常用土木工程材料的性能与应用，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，我国基本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，本书结合了建材科技和建材工业的发展，对土木工程材料理论知识作了适度更新，内容上既主要介绍常用建筑材料，又要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。

本书由河北农业大学李宏斌、山东农业大学任淑霞担任主编，河北农业大学宇云飞、宁夏大学杨维武任副主编，西北农林科技大学娄宗科、朱建宏和甘肃农业大学吴彦霖参加编写。各章节编写分工如下：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、第七章；宇云飞编写第三章的第四节至第六节、第十一章；杨维武老师编写第六章、第十章；娄宗科、朱建宏编写第八章、第九章；吴彦霖编写第四章、第五章、第十二章。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、行业规范，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土木工程材料发展很快，新材料、新品种不断面世，而且土木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、不足之处敬请读者批评指正。

编 者

2010年8月

目 录

前言

绪论	1
第一章 土木工程材料的基本性质	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	16
第四节 材料的耐久性	20
小结	21
复习思考题	22
第二章 无机胶凝材料	23
第一节 气硬性胶凝材料	23
第二节 通用硅酸盐水泥	32
第三节 其他品种水泥	46
第四节 水泥的储存和使用	51
小结	52
复习思考题	52
第三章 普通混凝土	54
第一节 概述	54
第二节 普通混凝土的主要技术性质	57
第三节 普通混凝土的组成材料	81
第四节 普通混凝土配合比设计	110
第五节 混凝土的质量控制	117
第六节 其他品种混凝土及其进展	122
小结	131
复习思考题	131
第四章 建筑砂浆	133
第一节 砂浆的组成材料	133
第二节 建筑砂浆的主要技术性质	135
第三节 砌筑砂浆的配合比设计	139
第四节 其他品种砂浆	143

小结·····	151
复习思考题·····	151
第五章 建筑钢材 ·····	153
第一节 钢材的生产与分类·····	154
第二节 建筑钢材的力学性能和工艺性能·····	157
第三节 建筑钢材的组成结构和化学成分·····	161
第四节 钢材的加工与强化·····	165
第五节 建筑钢材的技术标准与选用·····	167
第六节 钢材的腐蚀与防护·····	180
小结·····	182
复习思考题·····	182
第六章 沥青和沥青混合料 ·····	183
第一节 石油沥青及煤沥青·····	183
第二节 沥青基防水材料·····	191
第三节 沥青混合料·····	192
小结·····	200
复习思考题·····	200
第七章 合成高分子材料 ·····	201
第一节 高分子材料的基本知识·····	201
第二节 建筑塑料·····	204
第三节 橡胶和合成纤维·····	207
第四节 胶粘剂·····	208
小结·····	211
复习思考题·····	211
第八章 防水材料 ·····	212
第一节 防水材料的分类·····	212
第二节 防水卷材·····	212
第三节 防水涂料·····	219
第四节 密封材料·····	223
小结·····	226
复习思考题·····	226
第九章 砌筑材料 ·····	227
第一节 砌墙砖·····	227
第二节 砌块·····	236
第三节 砌筑用石材·····	240
小结·····	241

复习思考题·····	241
第十章 木材 ·····	243
第一节 木材的分类和构造·····	243
第二节 木材的物理和力学性质·····	246
第三节 木材的防护·····	251
第四节 木材的应用·····	252
小结·····	254
复习思考题·····	254
第十一章 建筑功能材料 ·····	255
第一节 绝热材料·····	255
第二节 吸声隔声材料·····	259
第三节 灌浆材料·····	263
第四节 装饰材料·····	266
小结·····	275
复习思考题·····	275
第十二章 建筑材料试验 ·····	276
第一节 材料基本性质试验·····	276
第二节 水泥试验·····	283
第三节 混凝土用骨料试验·····	296
第四节 普通混凝土试验·····	301
第五节 砂浆试验·····	309
第六节 砌墙砖试验·····	313
第七节 钢筋试验·····	318
第八节 石油沥青试验·····	323
第九节 沥青混合料试验·····	327
参考文献 ·····	335

绪 论

土木工程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。

由于土木工程材料品种繁多、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 土 木 工 程 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	粘土砖、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、胶粘剂等	
	复合材料	有机与无机非金属材料	聚合物混凝土、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	普通粘土砖、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材料	防水材料、绝热材料，吸声材料、装饰材料等	

纵观建筑发展史,土木工程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,土木工程材料也在不断进步与更新换代,从石灰→水泥→混凝土到钢材,从草木结构→砖木结构→砖混结构→预应力混凝土结构到钢结构,从1万多年前的洞穴到现代高828m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,为现代土木工程建设奠定了基础。进入20世纪后,材料科学和工程学的形成和发展,使土木工程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。

土木工程材料用量大,资源和能源消耗巨大,建筑材料的生产、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,土木工程材料在原材料、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,土木工程材料也应向轻质、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,我国已经是世界上最大的建筑材料生产国和消费国。主要建材产品中水泥、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、杭州湾跨海大桥及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

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；材料名称 GB—标准等级为国家标准 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	
	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，要了解试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。

第一章 土木工程材料的基本性质

【本章提要】 本章主要介绍土木工程材料的基本物理、力学、化学性质和耐久性，及其相关的参数和计算公式；了解和掌握材料的基本性质，对于正确认识、准确表述、合理选用材料及其鉴定材料质量至关重要。

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，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，对土木工程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。

土木工程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。

土木工程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。要掌握土木工程材料的性质，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

虽然环境因素对土木工程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。例如，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。

（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、物理和力学性能的组织结构的物质称为矿物。某些土木工程材料如天然石材、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，如气相变为液相或固相。土木工程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。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。土木工程材料大多数可看作复合材料。

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。例如，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。土木工程材料的宏观结构按其孔隙特征分为以下几种。

（1）致密结构。指具有无可吸水、透气孔隙的结构，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、烧结粘土制品等。

材料的宏观结构按其组织构造特征分为以下几种。

(1) 堆聚结构。指由集料与具有胶凝性或粘结性物质胶结而成的结构，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，如木材、玻璃钢、岩棉等。

(3) 层状结构。指由天然形成或人工粘结等方法而将材料叠合而成的双层或多层结构，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，如混凝土集料、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 $0.001 \sim 1\text{mm}$ 。

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、数量和分布对土木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（ 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，晶体可分为以下几种。

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、溶状态时可导电。

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。主要有点缺陷、线缺陷及面缺陷三种。

1) 点缺陷：是指晶格中有空位和填隙原子。这是由于晶体内原子热运动，某些质点脱离了晶格，出现了暂时的晶格空位。晶格空位削弱了晶体材料强度，但它是材料发生固相反应的介质。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，当其移至晶粒表面时，晶粒即产生了永久变形。因此，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。相邻两晶粒，若其一的晶格滑移（位错在其中运动），当其至面缺陷后滑移终止，使位错不易向另一晶粒传递。因此，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。玻璃体亦称无定形体或非结晶体。它与晶体的区别在于质点排列没有一定规律性（或仅在局部存在规律性）。非晶体没有特定的几何外形，是各向同性的，也没有固定的熔点，如石英玻璃等。

玻璃体通常是高温熔融物质急速冷却造成的结果，由于玻璃体凝固时没有结晶发热过程，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。它具有较高的化学活性，也是它能与其他物质起化学反应的原因之一，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，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，此时液体性质对胶体的性质影响较大，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，而使胶体强度增大，变形减小，形成固体或半固体状态，称此胶体结构为凝胶结构。在特定的条件下，胶体亦可形成溶胶—凝胶结构。

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，粘度降低，重新具有流动性。但静置一定时间后，溶胶又会慢慢地恢复成凝胶。这一转变过程可以反复多次。胶体与玻璃体及晶体相比，胶体结构的强度较低，变形较大。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和力学性质。又例如，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。

随着土木工程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 ，按式 (1-1) 计算，即

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

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。除了钢材、玻璃等少数接近于绝对密实的材料外，绝大多数材料都有一些孔隙，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。材料磨得越细，测定的密度值越精确。

(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，按式 (1-2) 计算，即

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

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，其测定很简便，只要测得材料的质量和体积，即可算得表观密度。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, 即

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

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, 是指既含颗粒内部的孔隙, 又含颗粒之间空隙在内的总体积。测定散粒材料的堆积密度时, 材料的质量是指在一定容积的容器内的材料质量, 其堆积体积是指所用容器的容积。堆积密度的大小与装填于容器中的条件有关。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、配料计算及确定堆放空间时, 经常要用到材料的上述状态参数。常用土木工程材料的密度、表观密度、堆积密度见表 1-1。

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	—
粘土	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

孔隙率是指材料体积内孔隙体积占材料总体积的百分率。可用式 (1-4) 计算, 即

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

材料孔隙率的大小直接反映材料的密实程度, 孔隙率越小, 则密实程度越高。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与材料的许多重要性质, 如强度、吸水性、抗渗性、抗冻性和导热性等都有密切关系。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。而对需要保温隔热的建筑物或部位, 要求其所用材料的孔隙率要较大。

(二) 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, 按式 (1-5) 计算, 即

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

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时的重要依据。

三、材料与水有关的性质

(一) 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合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合力小于水分子之间的内聚力时, 则材料表现为憎水性。

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 角越小, 表明材料越易被水润湿。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; 当 $\theta > 90^\circ$ 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。

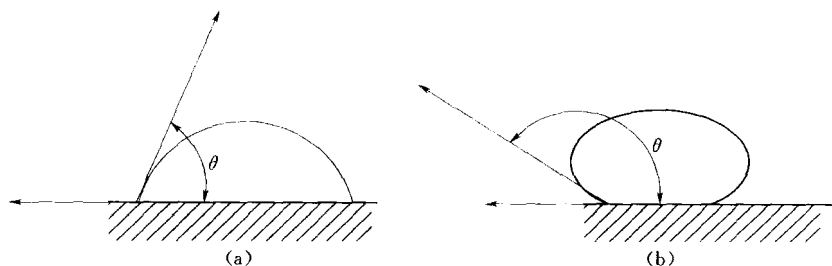


图 1-1 材料的润湿示意图
(a) 亲水性材料; (b) 憎水性材料