



土木工程系列教材

土木工程

TUMU GONGCHENG CAILIAO

(第二版)

材料

■ 主编 杨医博 何娟 王绍怀
张慧珍 郭文瑛



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

土木工程系列教材

土 木 工 程 材 料

(第二版)

主 编 杨医博 何 娟 王绍怀
张慧珍 郭文璞



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

内 容 简 介

本书主要介绍了常用土木工程材料的基本成分、生产工艺、技术性能和应用,并对新型土木工程材料进行了较为详细的介绍。全书分为12章,内容包括绪论、土木工程材料的基本性质、岩土与集料、无机胶凝材料、地基处理材料 and 无机结合料稳定材料、混凝土、沥青与沥青混合料、建筑砂浆、砌体材料和屋面材料、建筑钢材、木材、合成高分子材料、建筑功能材料等。

本书采用了我国目前颁布的最新技术标准,除详细介绍了常用土木工程材料外,还较多地反映了新型土木工程材料的研究进展情况,应用性强,具有较宽的专业适用面。

本书可作为高等院校土木工程、水利水电工程和工程管理各专业的教学用书,也可作为土木、建筑类相关专业的教学用书,并可供土木工程科研、设计、施工、管理和监理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/杨医博等主编. —2版. —广州:华南理工大学出版社, 2016. 12

土木工程系列教材

ISBN 978-7-5623-5107-8

I. ①土… II. ①杨… 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(2016)第 248142 号

土木工程材料(第二版)

杨医博 何 娟 王绍怀 张慧珍 郭文瑛 主编

出 版 人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学17号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutc13@scut.edu.cn

营销部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 赖淑华

责任编辑: 庄 彦 骆 婷

印 刷 者: 佛山市浩文彩色印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 26.75 字数: 685 千

版 次: 2016 年 12 月第 2 版 2016 年 12 月第 6 次印刷

印 数: 6501~8500 册

定 价: 49.50 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

第二版前言

近年来,随着科学技术的迅猛发展,传统的土木工程材料性能不断提高,新的土木工程材料品种层出不穷,相关的工程设计、施工规范和材料标准有较多更新,原有的《土木工程材料》(上册)教材已经无法满足教学的需要。为此,对原教材进行了修订,并将书名改为《土木工程材料》(第二版)。

本书具有以下特点:

(1) 根据高等学校土木工程专业委员会制定的“土木工程材料”课程教学大纲编写而成,并在每章前设置学习要点,以方便学生学习。

(2) 从大土木的角度出发,兼顾土木工程、道路桥梁工程、水利水电工程、铁道工程、地下建筑工程、工程管理及建筑学等专业的要求编写,具有较宽的专业适用面。

(3) 更新和补充了大量新型土木工程材料,并对已淘汰的一些材料做了说明。全书按照国家和行业最新标准、规范编写。

本书由杨医博、何娟、王绍怀、张慧珍和郭文瑛担任主编,杨医博统稿。参与编写的有:华南理工大学杨医博(绪论、第5章),广州大学程从密(第1章),广州大学何娟(第2章2.1节和2.3节、第3章、第11章),华南理工大学郭文瑛(第2章2.2节、第4章4.1节、第7章),华南理工大学王绍怀(第4章4.2节、第6章),广东工业大学张慧珍(第8章、第9章、第10章),华南理工大学广州学院张先念(第12章)。

由于材料科学发展迅速,新材料不断涌现,不同行业的技术标准也不统一,限于编者水平,书中如有疏漏和不妥之处,谨请广大师生和读者不吝指正。

编 者

2016年5月

前 言

近几年来,随着科学技术的迅猛发展,传统的土木工程材料性能不断提高,新的土木工程材料品种层出不穷,相关的多项设计、施工规范和材料标准已经更新,原有的《土木工程材料》教材已经无法满足教学的需要。为此,由华南理工大学出版社牵头,组织广东多间高校编写了本书。本书具有以下特点:

1. 根据高等学校土木工程专业委员会制定的“土木工程材料”课程教学大纲编写而成,并在每章前设置学习要点,以方便学生学习。

2. 从大土木的角度出发,兼顾土木工程、道路桥梁工程、水利水电工程、铁道工程、地下建筑工程及建筑学等专业的要求编写,具有较宽的专业适用面。

3. 更新和补充了大量新型土木工程材料,并对已淘汰的一些材料做了说明。全书按照国家 and 行业最新标准、规范编写。

4. 为配合开设设计性和综合性实验的需要,大幅扩充了实验的内容,增加了材料检测、测量不确定度、数据处理、小型构件性能实验、设计性和综合性实验等内容,并将实验部分独立成册。

本书分上下册,其中上册由梁松、程从密、王绍怀和秦怀泉担任主编,梁松和程从密统稿。参与编写的有广州大学程从密(第1、2、3章),华南理工大学杨医博(第4章第1节和第2节,第6、8、13章),华南理工大学王绍怀(第4章第3节、第7章),华南理工大学梁松(绪论、第5章),东莞理工学院秦怀泉(第9、10、11章)和广州大学何娟(第12章)。

下册由杨医博、王绍怀、彭春元和李春红担任主编,杨医博和王绍怀统稿。参与编写的有华南理工大学杨医博(第1、8、9、13、18章,第17章第1节部分内容,附录A,附录B),广州大学彭春元(第2、3、4、5章),华南理工大学王绍怀(第6、10、11、12章),华南理工大学梁松(第7章)和东莞理工学院李春红(第14、15、16章,第17章第1节部分内容和第2、3节)。

由于材料科学发展迅速,新材料不断涌现,有一些行业技术标准也不统一,限于编者水平,书中如有疏漏和不妥之处,谨请广大师生和读者不吝指正。

编 者

2007年5月

目 录

绪 论	1
0.1 土木工程与土木工程材料	1
0.2 土木工程材料的发展	1
0.3 土木工程材料的分类	2
0.4 土木工程材料的标准化	3
0.5 “土木工程材料”课程的学习目的与学习方法	3
第1章 土木工程材料的基本性质	5
1.1 材料科学的基本理论	5
1.2 材料的物理性质	9
1.3 材料的力学性质	17
1.4 材料的耐久性	21
1.5 材料的环境协调性	22
第2章 岩土与集料	25
2.1 岩石	25
2.2 土	31
2.3 集料	36
第3章 无机胶凝材料	47
3.1 建筑石膏	47
3.2 石灰	51
3.3 水玻璃	56
3.4 硅酸盐水泥	58
3.5 铝酸盐水泥	81
3.6 第三系列水泥	85
第4章 地基处理材料 and 无机结合料稳定材料	89
4.1 地基处理材料	89
4.2 无机结合料稳定材料	94
第5章 混凝土	112
5.1 混凝土概述	112
5.2 普通混凝土的组成材料	115
5.3 混凝土拌合物的性能	133
5.4 混凝土的强度	140
5.5 混凝土的变形性能	148
5.6 混凝土的耐久性	153
5.7 混凝土的质量控制与评定	161
5.8 普通混凝土的配合比设计	167
5.9 特种混凝土	186
第6章 沥青与沥青混合料	207

6.1 沥青材料	207
6.2 沥青混合料	246
第7章 建筑砂浆	292
7.1 现场搅拌砂浆	292
7.2 预拌砂浆	307
第8章 砌体材料和屋面材料	310
8.1 砌体材料	310
8.2 屋面材料	331
第9章 建筑钢材	335
9.1 钢的冶炼和分类	335
9.2 钢材的组成、化学成分及其对钢材性能的影响	337
9.3 建筑钢材的主要力学性能	338
9.4 钢材的加工处理	342
9.5 钢材的防火和防腐蚀	345
9.6 建筑钢材的品种与选用	348
第10章 木材	355
10.1 木材的分类和构造	355
10.2 木材的主要性能	358
10.3 木材的防腐和防火	362
10.4 木材在土木工程中的应用	364
第11章 合成高分子材料	367
11.1 高分子材料的基本知识	367
11.2 合成高分子材料在土木工程中的应用	369
第12章 建筑功能材料	380
12.1 防水材料	380
12.2 堵水材料	388
12.3 灌浆材料	390
12.4 补强加固材料	394
12.5 绝热材料	396
12.6 吸声隔声材料	402
12.7 建筑玻璃	405
12.8 装饰材料	411
12.9 功能材料的新发展	418
附录 我国通用硅酸盐水泥标准的变迁	421
参考文献	422

绪 论

0.1 土木工程与土木工程材料

土木工程是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指工程建设的对象,即建造在地上、地下、水中的各种工程设施,也指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等专业技术。土木工程材料是建造土木工程所需材料的总称,是土木工程的物质基础。

土木工程材料与工程的建筑形式、结构构造、施工工艺之间存在着相互促进、相互依存的密切关系。一种新型土木工程材料的出现,必将促进建筑形式的再创新,同时设计和施工工艺也将相应地进行改进和革新。例如:钢材及混凝土的出现,导致了钢筋混凝土结构的出现和发展;厚度仅为 0.2 mm 的建筑膜的出现,导致了膜结构的出现和发展。反过来,新的建筑形式、复杂的结构布置、众多的功能要求,又会促进土木工程材料的发展。例如:现代高层建筑和大跨度桥梁工程需要高强轻质材料,促进了高强混凝土和超高强混凝土的发展;化学工业厂房、港口工程、海洋工程等需要耐化学腐蚀材料,促进了高耐久性混凝土和复合材料的发展。

由于组分、结构和构造不同,土木工程材料品种繁多,性能各异,且价格相差悬殊。因此,按照建筑物和构筑物对材料功能的要求及其使用时的环境条件,正确合理地选用材料,做到物尽其用,对于整个土木工程的安全、实用、美观、耐久及造价,具有十分重要的意义。

我国正处于经济建设快速发展阶段,土建工程总量居世界第一位,土木工程材料消耗巨大。而土木工程材料的生产需要消耗大量的资源和能源,并会产生废气、废渣等,对环境造成污染。因此,必须牢固树立和认真落实科学发展观,坚持以人为本、可持续发展的理念,大力发展绿色工程和绿色材料。

0.2 土木工程材料的发展

土木工程材料是伴随着人类社会的不断进步和社会生产力的发展而逐步发展起来的,经历了从无到有,从天然材料到人工材料,从手工业生产到工业化生产等几个阶段。

在远古时代,人类居于天然山洞或树巢中,这一阶段没有建筑,也谈不上土木工程材料。距今 10000 ~ 6000 年前,人类进入新石器时代,开始采用黏土、木材等天然材料建造房屋,墙体多为木骨抹泥,屋顶多为茅草或草泥。随着人类生产工具的进步,天然石材开始得到广泛应用,并建造了金字塔等建筑物。随着人类对火的利用,在公元前 5000 ~

公元前 2000 年，烧制的黏土砖、瓦、石灰、石膏等人工材料开始使用。在我国秦汉时期，砖瓦已经成为主要的土木工程材料，因此有“秦砖汉瓦”之称。

以 18 世纪的英国产业革命为契机，工业生产的土木工程材料取得了长足的进步。19 世纪前叶钢材、水泥、混凝土和钢筋混凝土等土木工程材料的出现与应用，是土木工程材料发展史上的一次大革命。首先它打破了传统材料的形状、尺寸的限制，使建筑物向高层、大跨度发展有了可能；其次无论是强度，还是耐久性都远远优于传统材料。

进入 20 世纪以来，又先后出现了塑料、铝合金、不锈钢以及一些特殊功能(如保温、隔热、吸声、防水、耐火等)的新型土木工程材料。为适应现代建筑装修的需要，玻璃、陶瓷、塑料、铝合金、铜合金等建筑装饰材料更是层出不穷。

如果说 19 世纪钢材和混凝土作为结构材料的出现使建筑物的规模产生了飞跃性的发展，20 世纪出现的高分子有机材料、新型金属材料和各种复合材料使建筑物的功能和外观发生了根本性的变革，那么 21 世纪土木工程材料将向着轻质高强、高耐久性、功能性、智能化的高性能材料和环保型的绿色建筑材料发展。

绿色建筑材料又称生态建筑材料或健康建筑材料。它是指采用清洁生产技术，不用或少用天然资源和能源，大量使用工农业或城市固态废弃物生产的无毒害、无污染、无放射性，达到使用寿命后可回收利用，有利于环境保护和人体健康的建筑材料。总之，绿色建材是既能满足可持续发展之需，又能做到发展与环保统一，即既满足现代人安居乐业、健康长寿的需要，又不损害后代人利益的一种材料。因此，绿色建材已成为 21 世纪世界各国建材工业发展的战略重点。

在工程建设中，材料费用一般要占工程总造价的 50% 左右，有的甚至高达 70%。因此，土木工程材料的发展除了应有优良的技术效果和环境效益外，还应同时具有经济效益。

0.3 土木工程材料的分类

土木工程材料的种类繁多、组分各异、用途不一，可按多种方法进行分类。

0.3.1 按材料的化学成分分类

通常可分为无机材料、有机材料和复合材料三大类，如下表所示。

土 木 工 程 材 料	无机材料	金属材料	黑色金属材料，如钢、铁等 有色金属材料，如铝、铜、铝合金等
		非金属材料	岩石与集料，如砂、石与石材制品等 烧土制品，如砖、瓦、玻璃、陶瓷等 无机胶凝材料，如水泥、石灰、石膏、水玻璃等 混凝土及硅酸盐制品，如混凝土、砂浆、硅酸盐制品等
	有机材料	植物材料，如木材、竹材等 沥青材料，如石油沥青、煤沥青、沥青制品等 高分子材料，如塑料、橡胶、涂料、胶黏剂等	
	复合材料	金属与非金属复合材料，如钢筋混凝土、钢纤维混凝土等 金属与有机复合材料，如轻质金属夹心板等 非金属与有机复合材料，如聚合物混凝土、沥青混凝土、玻璃钢等	

0.3.2 按材料在建筑物中的功能分类

可分为承重材料、非承重材料、保温和隔热材料、吸声和隔声材料、防水材料、装饰材料等。

0.3.3 按材料在工程中的使用部位分类

可分为基础材料、结构材料、墙体材料、屋面材料、地面材料、饰面材料，以及其他用途的材料等。

0.4 土木工程材料的标准化

为保证土木工程的质量，世界各国均采用标准化管理，即通过制定相关的标准来规范土木工程材料的生产、使用以及土木工程的设计、施工和验收等活动。

我国的标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四级，各级标准分别由相应的标准化管理部门批准并颁布。国家标准是全国通用标准，行业标准是在全国某一行业范围内使用的标准，地方标准是在某一地区内使用的标准，企业标准是某一企业内部使用的标准。各级标准都有各自的部门代号，例如：GB——国家标准，JC——建材行业标准，JG——建筑工程行业标准，JT——交通行业标准，SL——水利行业标准，CECS——中国工程建设标准化协会标准，CCES——中国土木工程学会标准，DB——地方标准，QB——企业标准，等等。标准还分为强制性标准和推荐性标准两类：强制性标准具有法律属性，在规定的适用范围内必须严格执行；推荐性标准具有技术上的权威性、指导性，是自愿执行的标准，它在合同或行政文件确认的范围内也具有法律属性，推荐性标准在代号后加“/T”表示。我国的标准由标准名称、部门代号、编号和批准年份等组成，如国家推荐标准 GB/T 50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》，其中 GB 为标准部门代号，T 为推荐性标准代号，编号为 50081，批准年份为 2002 年。

我国的土木工程材料都制订有产品的技术标准，这些标准一般包括：产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、标志、运输和贮存等方面的内容。

各个国家均有自己的标准，例如“ASTM”是美国试验与材料协会标准、“JIS”代表日本标准、“BS”代表英国标准、“DIN”代表德国标准等。另外，在世界范围内统一执行的标准称为国际标准，其代号为“ISO”。在阅读文献、购买国外原材料和进行涉外工程时，需注意不同国家标准的差异。

0.5 “土木工程材料”课程的学习目的与学习方法

“土木工程材料”课程是土木工程类专业的专业基础课，学习目的在于使学生掌握土木工程材料的性质、用途、制备和使用方法以及检验和质量控制方法，并了解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，并能与后续课程紧密配合，了解材料与设计参数及施工措施选择的相互关系。

土木工程材料种类繁多，每种土木工程材料又包括原材料、生产、组成、构造、性

质、应用、检验、运输和贮存等方面的内容，内容繁杂，而学时有限，因此学习必须有所侧重。学习本课程的学生，多数是材料的使用者，学习重点应是掌握如何合理应用材料，这就必须了解各种材料的特性，在学习时，不但要了解每种材料具有哪些基本性质，而且还应对不同类属、不同品种材料的特性进行比较，掌握其特点。同时还要知道材料之所以具有某种基本性质的基本原理、影响其性质变化的外界条件以及材料的运输和贮存的注意事项等。

“土木工程材料”是一门实践性很强的课程，一方面应通过课外调查等方法加深对材料的感性认识；另一方面应加强实验课教学，通过实验掌握常用土木工程材料的检验方法，了解实验条件对实验结果的影响，掌握实验数据、实验结果分析和判别的方法，培养严谨的科学态度和进行科学研究的能力。

第1章 土木工程材料的基本性质

【学习要点】

1. 了解土木工程材料的基本组成、结构和构造，了解材料结构和构造与材料基本性质的关系；
2. 熟练掌握土木工程材料的基本力学性质；
3. 掌握土木工程材料的基本物理性质；
4. 掌握土木工程材料耐久性的基本概念。

应用于建筑物或构筑物的材料，在使用过程中，会受到各种作用。用于结构的材料，会受到各种外力的作用；用于屋面、外墙的材料，会受到风、霜、雨、雪和阳光的作用；有些材料还会受到生物的腐蚀，如木材的腐朽。用于结构的材料，当结构形式或工程部位不同时，受外力作用的方式也有所不同，如一般房屋建筑用钢材主要考虑强度，但用于桥梁的钢材还要重点考虑其抵抗冲击荷载的能力。因而，应综合考虑材料各方面的性质，根据构件所处的环境及工程部位选择适宜的材料。

1.1 材料科学的基本理论

1.1.1 材料的组成

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

1.1.1.1 化学组成

在一定的水分和氧存在的情况下，钢材表面会出现红色的锈迹并逐渐被破坏。在同样的环境下，混凝土不会出现这种现象。这是因为钢材和混凝土的化学组成不同。所谓化学组成，是指构成材料的化学元素及化合物的种类与数量。处在一定环境中的材料，与环境中的物质必然按化学变化规律发生作用，这些作用是由材料的化学组成决定的。如木材中存在大量的碳氢化合物，遇到明火时会燃烧，即耐火性能差；硬化后的混凝土中存在大量的氢氧化钙，因而极易受到酸、盐的侵蚀作用。材料在各种化学作用下表现出的性质与其化学组成密切相关。

1.1.1.2 矿物组成

硅酸盐水泥熟料矿物中有硅酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)和硅酸二钙($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)，两者都是由Ca、Si、O三种元素组成。但是硅酸三钙含量高的水泥水化速度快于硅酸二钙含量高

的水泥，这是由两者的矿物组成不同决定的。

这里的矿物是指无机非金属材料中具有特定的晶体结构、特定的物理力学性能的组织结构。矿物组成是指构成材料的矿物的种类和数量。天然石材、无机胶凝材料等的矿物组成是决定其性质的重要因素。

1.1.2 材料的结构

材料的结构是指从原子、分子尺度直至宏观肉眼可见的各层次的结构状态。为了研究的方便，材料可分为宏观结构、微观结构和亚微观结构三个层次。各层次的差异对材料性能有不同的影响。

1.1.2.1 宏观结构

材料的宏观结构是指用肉眼或在普通放大镜下即可分辨的粗大组织。其尺寸一般在 10^{-3} m 以上。这个层次的结构可影响材料的体积密度、强度、导热系数等物理、力学性能。

孔是材料中较为奇特的组成部分，它的存在并不影响材料的化学组成和矿物组成，但明显影响材料的使用性能。按材料宏观孔特征的不同，可将材料划分为如下宏观结构类型：

(1) 致密结构 基本上无宏观层次孔隙存在的结构。土木工程中所用材料属于致密结构的主要有金属材料、玻璃、塑料等，部分致密的石材也可认为是致密结构。

(2) 多孔结构 孔隙较为粗大，且数量众多的结构。如加气混凝土砌块、泡沫混凝土、泡沫塑料及其他人造轻质多孔材料等。

(3) 微孔结构 具有微细孔隙的结构。如石膏制品、蒸压灰砂砖等。

按材料存在状态和构造特征的不同，可将材料划分为如下宏观结构类型：

(1) 聚集结构 指散、粒状材料通过胶凝材料黏结而成的材料结构。其特点在于包含了胶凝材料和散、粒状材料两部分，胶凝材料的黏结能力对其性能有较大影响。水泥混凝土、砂浆、沥青混凝土、木纤维水泥板、蒸压灰砂砖等均可视为聚集结构。

(2) 纤维结构 指由木纤维、玻璃纤维、矿物纤维等纤维状物质构成的材料结构。其特点在于主要组成部分为纤维状。如果纤维呈规则排列则具有各向异性，即平行纤维方向与垂直纤维方向的强度、导热系数等性质都具有明显的方向性。平行纤维方向的抗拉强度和导热系数均高于垂直纤维方向。木材、玻璃钢、岩棉、钢纤维增强水泥混凝土、纤维增强水泥制品等都属于纤维结构。

(3) 层状结构 指天然形成或采用黏结等方法将材料叠合成层状的材料结构。它既具有聚集结构黏结的特点，又具有纤维结构各向异性的特点。胶合板、纸面石膏板、蜂窝夹芯板、各种新型节能复合墙板等都是层状结构。

(4) 散粒结构 指松散颗粒状的材料结构。其特点是松散的各部分不需要采用黏结或其他方式连接，而是自然堆积在一起。如用于路基的黏土、砂、石，用于绝热材料的粉状或粒状填充料等。

1.1.2.2 微观结构

微观结构是指原子、分子层次的结构。在微观结构层次上的观察和研究，需借助电子显微镜、X 射线、振动光谱和光电子能谱等来分析研究该层次上的结构特征。一般认为，微观结构的尺寸范围在 $10^{-6} \sim 10^{-10}$ m。材料的强度、硬度、弹性、塑性、导热性等都与其微观结构有密切关系。在微观结构层次上，固体材料可分为晶体、玻璃体、胶体等。

1. 晶体

晶体是指材料的内部质点(离子、原子、分子)呈现规则排列的、具有一定结晶形状的固体(图1-1a)。因其各个方向的质点排列情况和数量不同,故晶体具有各向异性,如结晶完好的石英晶体各方向上导热性能不同。然而,许多晶体材料是由大量排列不规则的晶粒组成,因此,所形成的材料在宏观上又具有各向同性的性质,如钢材。

按晶体质点及结合键的特性,可将晶体分为原子晶体、离子晶体、分子晶体和金属晶体四种类型。不同类型的晶体所组成的材料表现出不同的性质。

(1)原子晶体 是由中性原子构成的晶体。其原子间由共价键来联系。原子之间靠数个共用电子结合,具有很大的结合能,故结合比较牢固。这种晶体的强度、硬度与熔点都是比较高的。石英、金刚石、碳化硅等属于原子晶体。

(2)离子晶体 是由正、负离子所构成的晶体。离子是带电荷的,它们之间靠静电吸引力(库仑引力)所形成的离子键来结合。离子晶体一般比较稳定,其强度、硬度、熔点较高,但在溶液中会离解成离子。 NaCl 、 KCl 、 CaO 、 CaSO_4 等属于离子晶体。

(3)分子晶体 是依靠范德华力进行结合的晶体。范德华力是中性的分子由于电荷的非对称分布而产生的分子极化,或是由于电子运动而发生的短暂极化所形成的一种结合力。因为范德华力较弱,故分子晶体硬度小、熔点低。大部分有机化合物属于分子晶体。

(4)金属晶体 是由金属阳离子排列成一定形式的晶格。如体心立方晶格、面心立方晶格和紧密六方晶格。金属晶体质点间的作用力是金属键。金属键是晶格间隙中可自由运动的电子(自由电子)与金属正离子的相互作用(库仑引力)。自由电子使金属具有良好的导热性及导电性。钢材、铸铁、铝合金等金属材料都属于金属晶体。金属晶体在外力作用下具有弹性变形的特点,但当外力达到一定程度时,由于某一晶面上的剪应力超过一定限度,沿该晶面将会发生相对的滑动,因而会使材料产生塑性变形。低碳钢、铜、铝、金、银等有色金属都是具有较好塑性的材料。

硅酸盐在土木工程材料中占有重要地位,它的结构主要是由硅氧四面体单元 SiO_4 (图1-2)和其他金属离子结合而成,其中既有共价键,也有离子键。在这些复杂的晶体结构中,化学键结合的情况也是相当复杂的。 SiO_4 四面体可以形成链状结构,如石棉,其纤维与纤维之间的作用力要比链状结构方向上的共价键弱得多,所以容易分散成纤维状;云母、滑石等则是由 SiO_4 四面体单元互相连接成片状结构,许多片状结构再叠合成层状结构,层与层之间是通过范德华力结合的,故其层间作用力很弱(范德华力比其他化学键力弱),此种结构容易剥成薄片;石英是由 SiO_4 四面体形成的立体网状结构,所以具有坚硬的质地。

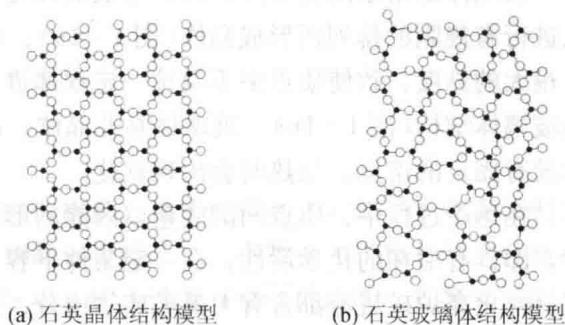


图1-1 晶体与非晶体结构

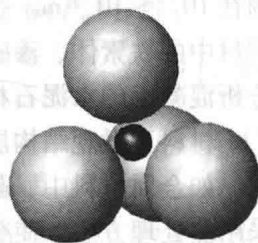


图1-2 硅氧四面体单元

2. 玻璃体

玻璃体是熔融的物质经急冷而形成的无定形体。如果熔融物冷却速度慢,内部质点可以进行有规则的排列而形成晶体(图1-1a);如果冷却速度较快,降到凝固温度时,它具有很大的黏度,致使质点来不及按一定规律进行排列,就已经凝固成固体,此时得到的就是玻璃体结构(图1-1b)。玻璃体是非晶体,质点排列无规律,因而具有各向同性。玻璃体没有固定的熔点,加热时会出现软化。

在急冷过程中,质点间的能量以内能的形式储存起来。因而,玻璃体具有化学不稳定性,即具有潜在的化学活性,在一定条件下容易与其他物质发生化学反应。粉煤灰、火山灰、粒化高炉矿渣等都含有大量玻璃体成分,这些成分赋予它们潜在的活性。

3. 胶体

胶体是指以粒径为 $10^{-7} \sim 10^{-9}$ m 的固体颗粒作为分散相(称为胶粒),分散在连续相介质中所形成的分散体系。

胶体根据其分散相和介质的相对质量分数不同,分为溶胶结构和凝胶结构。若胶粒较少,连续相介质性质对胶体结构的强度及变形性质影响较大,这种胶体结构称为溶胶结构。若胶粒数量较多,胶粒在表面能的作用下发生凝聚作用,或由于物理、化学作用使胶粒产生彼此相连,形成空间网络结构,从而使胶体结构的强度增大,变形性减小,呈固体或半固体状态,这种胶体结构称为凝胶结构。

胶体的分散相(胶粒)很小,比表面积很大。因而胶体表面能大,吸附能力很强,质点间具有很强的黏结力。凝胶结构具有固体性质,但在长期应力作用下会具有黏性液体的流动性质。这是由于胶粒表面有一层吸附膜,膜层越厚,流动性越大。如混凝土中含有大量水泥水化时形成的凝胶体,混凝土在应力作用下具有类似液体的流动性质,会产生不可恢复的塑性变形。

与晶体及玻璃体结构相比,胶体结构强度较低、变形能力较大。

近年来,纳米结构开始成为技术人员关注的焦点。纳米(nanometer)是一种几何尺寸的度量单位,简写为 nm。 $1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$,相当于10个氢原子排列起来的长度。纳米结构是指至少在一个维度上尺寸介于1~100 nm之间的结构,属于微观结构范畴。纳米结构的基本结构单元有团簇、纳米微粒、人造原子等。由于纳米微粒和纳米固体有小尺寸效应、表面界面效应等基本特性,纳米微粒组成的纳米材料具有许多独特的物理和化学性能,因而得到了迅速发展,在土木工程中也得到了应用,如纳米涂料。

1.1.2.3 亚微观结构

亚微观结构又称为细观结构,一般指用光学显微镜所能观察到的材料结构。其尺寸范围在 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ m。在亚微观结构范围内,可分析金属材料晶粒的粗细及其金相组织,如钢材中的铁素体、渗碳体、珠光体等组织;可分析木材的木纤维、导管、髓线等组织;可分析混凝土的水泥石相、骨料相、界面和孔隙等。

材料亚微观结构层次上各种组织的特征、数量、分布和界面性质对材料性能有重要影响。如金属材料中,晶粒的形状和大小会影响材料的性质。在金属材料的生产过程中,常采用热处理方法,使金属晶粒产生变化,以调节和控制金属材料机械性能(强度、韧性、硬度等)。

1.2 材料的物理性质

1.2.1 与密实程度有关的性质

1.2.1.1 孔

孔是材料中一个奇特的组成部分。分析材料质量、化学性质时,它似乎不存在,但它却是大多数材料的组成部分。除玻璃、金属和部分塑料外,大多数土木工程材料均存在孔隙。孔对材料的力学性质、热工性质、声学性质、耐久性等有很大的影响。如普通混凝土在铁锤大力敲打下,会碎成若干块;强度低得多的加气混凝土砌块,在铁锤大力敲打下不会被敲成若干块,而是被敲出了一个洞。石膏内存在大量的孔,使其质轻、具有良好的保温隔热性能。

分析孔时,主要考虑孔隙率和孔的特征。

1. 孔隙率

孔隙率是指材料孔隙体积占材料自然状态下总体积的百分比,用 P 表示。孔隙率按下式计算:

$$P = \frac{V_1 - V}{V_1} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 V ——材料的实体体积(不包含内部孔), m^3 或 cm^3 ;

V_1 ——材料在自然状态下的体积(包含内部所有开口孔和闭口孔), m^3 或 cm^3 。

孔隙率的大小反映了材料的致密程度。材料的力学性质、热工性质、声学性质、吸水性、吸湿性、抗渗性、抗冻性等都与孔隙有关。

2. 密实度

密实度是与孔隙率对应的概念,反映材料被固体物质充实的程度,用 D 表示。密实度按下式计算:

$$D = \frac{V}{V_1} \times 100\% \quad (1-2)$$

3. 孔的特征

孔的特征主要指孔的连通情况、大小和分布等。

根据孔是否连通可将材料内部的孔分为开口孔和闭口孔两类。开口孔指相互连通,且与外界相通的孔,反之则为闭口孔。绝对的闭口孔是不存在的,土木工程材料中,常以规定条件下水能否进入孔中来区分开口孔与闭口孔。开口孔指在规定的条件下水能进入的孔,否则为闭口孔。对应的孔隙率分别为开口孔隙率(P_K)和闭口孔隙率(P_B),即:

$$P_K = \frac{V_K}{V_1} \times 100\% \quad (1-3)$$

$$P = P_B + P_K \quad (1-4)$$

式中 V_K ——开口孔的体积。

在孔隙率相同的情况下,孔的特征也会影响材料的力学性质、热工性质、声学性质、吸水性、吸湿性、抗渗性、抗冻性等。孔隙率相同,材料的开口孔越多,材料的抗渗性、

抗冻性越差。在材料内引入适量的闭口孔可增强其抗冻性。一般情况下,孔越细小、分布越均匀对材料越有利。

1.2.1.2 密度

密度指材料在绝对密实状态下,单位体积的质量。按下式计算:

$$\rho_0 = \frac{m}{V} \quad (1-5)$$

式中 ρ_0 ——材料的密度, g/cm^3 ;

m ——材料的质量(干燥至恒重), g ;

V ——材料在绝对密实状态下(不含任何孔)的体积, cm^3 。

应用于土木工程的材料,除了钢材、玻璃等少数材料基本上可看作绝对密实外,绝大多数材料内部都有孔隙。测定砖、石等有孔隙材料的密度时,先把材料磨成细粉,干燥后,称取一定质量的细粉,根据阿基米德定律,用李氏瓶测定其绝对密实体积。材料磨得越细,其内部存在孔隙的可能性越小,所测得的绝对密实体积越精确。

工程上还经常用到相对密度。相对密度用材料质量与同体积水($4\text{ }^{\circ}\text{C}$)质量的比值表示。

1.2.1.3 体积密度

体积密度指材料在自然状态下,单位体积(包括材料内部所有孔隙体积)的质量(图1-3a)。体积密度按下式计算:

$$\rho_1 = \frac{m}{V_1} \quad (1-6)$$

式中 ρ_1 ——材料的体积密度, kg/m^3 或 g/cm^3 ;

m ——材料的质量, kg 或 g ;

V_1 ——材料在自然状态下的体积(包含内部所有孔), m^3 或 cm^3 。

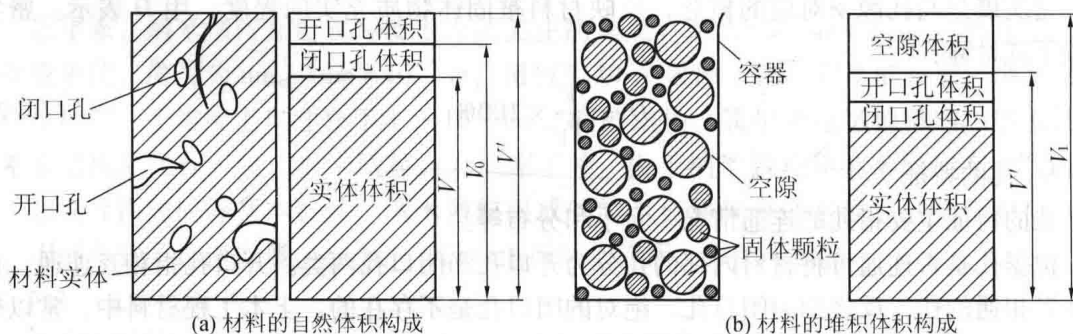


图1-3 材料的体积构成

对于加气混凝土等材料,常需要考虑其体积密度,以评估材料自重对建筑物的影响。当材料孔隙内含有水分时,其重量和体积均会发生变化,故测定体积密度时,应注明其含水情况。一般情况下,材料在使用过程中,所考虑的是在气干状态(长期在空气中干燥)下的体积密度。但国家标准,如GB/T 11970《加气混凝土性能试验方法》规定,必须在烘干状态下测定体积密度。

在已知材料密度 ρ 和体积密度 ρ_1 的情况下,材料的孔隙率 P 和密实度 D 可分别按以