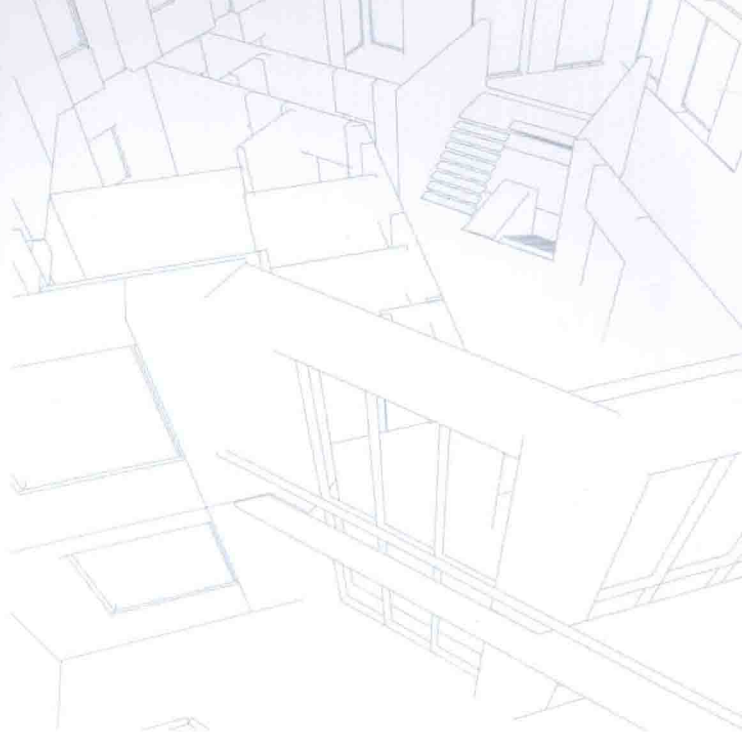


TUMU
GONGCHENG



应用型本科院校
土木工程专业系列教材

YINGYONGXING BENKE YUANXIAO
TUMU GONGCHENG ZHUANYE XILIE JIAOCAI



第2版

土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

主 编 ■ 李书进

副主编 ■ 刘龙海 高迎伏



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

TUMU
GONGCHENG



重大学·建筑

应用型本科院校
土木工程专业系列教材

YINGYONGXING BENKE YUANXIAO
TUMU GONGCHENG ZHUANYE XILIE JIAOCAI

第2版

土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

主 编 ■ 李书进

副主编 ■ 刘龙海 高迎伏

参 编 (以姓氏笔画为序)

李光范 李红霞 何朋立 杜 娟

吴晓枫 吴景华 胡 伟

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了无机气硬性胶凝材料、水硬性胶凝材料、普通混凝土和砂浆、砌筑和屋面材料、建筑金属材料、有机高分子材料、沥青和沥青混合料、木材及各类建筑功能材料等常用土木工程材料的基本组成、技术性能、工程应用及材料检测等内容。全书结构严整、内容翔实,引用了我国现行相关标准和规范,并介绍了土木工程材料领域的最新研究成果。为便于开展教学,本书制作了配套多媒体教学课件。各章均给出学习导读、本章小结及适量习题,附录部分提供常用土木工程材料汉英词汇索引,以便于读者学习。

本书可作为高等院校土木工程及相关专业本科生的教材或教学参考书,也可供土木工程行业的科研、设计、施工和监理等技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/李书进主编. —2 版. —重庆:
重庆大学出版社, 2014. 8
应用型本科院校土木工程专业系列教材
ISBN 978-7-5624-8400-4

I. ①土… II. ①李… 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(2014)第 151775 号

应用型本科院校土木工程专业系列教材

土木工程材料

(第 2 版)

主 编 李书进

副主编 刘龙海 高迎伏

责任编辑:王 婷 版式设计:王 婷

责任校对:秦巴达 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:19 字数:462 千

2013 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 2 版 2014 年 8 月第 2 次印刷

印数:3 001—6 000

ISBN 978-7-5624-8400-4 定价:34.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

第2版前言

本书第2版引用了最新的土木工程材料标准和设计、施工规范,如《建筑生石灰》(JC/T 479—2013)、《建筑消石灰》(JC/T 481—2013)、《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119—2013)、《砌墙砖试验方法》(GB/T 2542—2012)、《烧结空心砖和空心砌块》(GB/T 13545—2014)和《普通混凝土小型砌块》(GB/T 8239—2014)等。

第2版融入了材料科学研究领域的新成果,补充介绍了聚羧酸高性能减水剂、自保温混凝土复合砌块、自密实混凝土和高强带肋钢筋等高性能土木工程材料。将第5章改写为“砌筑和屋面材料”,并增加“5.1 砌筑石材”一节内容;将第6章改写为“建筑金属材料”,并增加“6.7 铝及铝合金材料”一节内容,以使土木工程材料的知识体系更加严整,内容更加充实。按照新标准重新编写了第11.5节“砌墙砖抗压强度试验”。为便于复习,更新了部分课后复习思考题。

参加第2版编写的有:常州工学院李书进(绪论、第1章、第4章、第10章),湖南工业大学刘龙海(第2章、第5章部分内容),北华航天工业学院高迎伏(第3章、第9章);常州工学院厉见芬(第5章、第6章);河南城建学院朱凯(第7章);洛阳理工学院李鸿芳(第8章);海南大学杜治光(第11章)。

限于编者的学识水准,对于书中的疏漏及不当之处,欢迎各位读者批评指正。

编 者

2014年6月

前 言

本书按照应用型本科院校土木工程专业人才培养的目标要求,依据高等学校土木工程学科专业指导委员会制定的“土木工程材料教学大纲”进行编写。编写时力求精简理论分析、突出工程应用,对材料科学基本理论、基本概念的解释注重实践性与探索性;精选与工程实际紧密结合的例题,融入近年来土木工程材料领域的最新研究成果,着力构建与应用型人才培养模式相适应的工程材料知识与能力系统。

本书引用了我国现行材料标准和设计、施工规范,如《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB/T 1346—2011),《建设用砂》(GB/T 14684—2011),《建设用卵石、碎石》(GB/T 14685—2011),《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011),《混凝土强度检验评定标准》(GB/T 50107—2010),《混凝土质量控制标准》(GB 50164—2011),《砌筑砂浆配合比设计规程》(JGJ/T 98—2010),《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010),《轻集料混凝土小型空心砌块》(GB/T 15229—2011),《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591—2008),《建筑石油沥青》(GB/T 494—2010)和《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)等。

本书由李书进任主编,高迎伏和张利任副主编。绪论、第1章、第2章、第4章由李书进(常州工学院)编写;第3章、第9章由高迎伏(北华航天工业学院)编写;第5章、第6章由厉见芬(常州工学院)编写;第7章由朱凯(河南城建学院)编写;第8章由李鸿芳(洛阳理工学院)编写;第10章由张利(华北科技学院)编写;第11章由杜治光(海南大学)编写。

本书的编写参考了大量国内外学者的教材、论文和著作,吸收和借鉴了多所院校土木工程材料课程教学改革的优秀成果,在此表示诚挚的谢意!

本书的编写和出版,得到了重庆大学出版社的大力支持和帮助,在此深表感谢!

由于土木工程材料发展迅猛,新材料、新品种不断涌现,加上编者学识水平有限,本书难免有疏漏或不当之处,恳请各位师生、读者及专家不吝赐教。

编 者

2013年5月

目 录

0 绪 论	1
0.1 土木工程材料的发展	1
0.2 土木工程材料的分类	2
0.3 土木工程材料的技术标准	3
0.4 本课程的性质和学习方法	3
1 土木工程材料的基本性质	5
1.1 材料的组成和结构	5
1.2 材料的物理性质	8
1.3 材料的力学性质	13
1.4 土木工程材料的耐久性	16
本章小结	18
复习思考题	18
2 无机气硬性胶凝材料	20
2.1 石灰	21
2.2 石膏	25
2.3 水玻璃	28
本章小结	30
复习思考题	30
3 水硬性胶凝材料	32
3.1 硅酸盐水泥	33



3.2 掺混合材料的硅酸盐水泥	42
3.3 其他品种的水泥	48
本章小结	54
复习思考题	54
4 普通混凝土和砂浆	56
4.1 概述	56
4.2 普通混凝土的组成材料	57
4.3 普通混凝土的技术性质	75
4.4 混凝土的质量控制和合格评定	90
4.5 普通混凝土的配合比设计	95
4.6 混凝土材料的研究进展	103
4.7 建筑砂浆	108
本章小结	119
复习思考题	119
5 砌筑和屋面材料	121
5.1 砌筑石材	121
5.2 砌墙砖	126
5.3 墙用砌块	136
5.4 墙用板材	142
5.5 屋面材料	143
本章小结	146
复习思考题	146
6 建筑金属材料	147
6.1 钢材的基本知识	147
6.2 建筑钢材的主要技术性能	150
6.3 钢材的冷加工和热处理	155
6.4 常用建筑钢材	156
6.5 建筑钢材的腐蚀与防护	166
6.6 建筑钢材的防火	167
6.7 铝及铝合金材料	168
本章小结	170
复习思考题	171
7 有机高分子材料	172
7.1 有机高分子材料的基本知识	172
7.2 建筑塑料及其制品的工程应用	175
7.3 建筑涂料	181
7.4 建筑胶粘剂	185

本章小结	189
复习思考题	189
8 沥青和沥青混合料	191
8.1 石油沥青	191
8.2 其他沥青	197
8.3 沥青混合料的组成和性质	200
8.4 沥青混合料的配合比设计	203
本章小结	212
复习思考题	212
9 木 材	213
9.1 木材的分类与构造	213
9.2 木材的物理和力学性质	216
9.3 木材的防护处理	219
9.4 木材在土木工程中的应用	220
本章小结	223
复习思考题	223
10 建筑功能材料	224
10.1 防水材料	224
10.2 保温绝热材料	231
10.3 吸声和隔声材料	233
10.4 建筑装饰材料	235
本章小结	242
复习思考题	243
11 土木工程材料试验	244
11.1 土木工程材料基本性质试验	244
11.2 水泥细度、标准稠度、凝结时间、安定性和强度试验	246
11.3 普通混凝土用砂石试验	254
11.4 普通混凝土稠度、强度试验	260
11.5 砌墙砖抗压强度试验	265
11.6 钢筋拉伸、冷弯试验	267
11.7 沥青针入度、延度和软化点试验	270
11.8 沥青混合料表观密度、稳定度和车辙试验	275
本章小结	285
附录 常用土木工程材料汉英词汇索引	286
参考文献	292



绪 论

土木工程材料是指在土木建筑工程中所使用的各种材料的总称,是一切土木工程实体的物质基础。在我国土木建筑工程的总造价中,土木工程材料的费用占40%~60%。不同土木工程材料的物理力学性能、生产和使用成本以及破坏劣化机制各不相同,正确选择和合理使用土木工程材料对建筑物(或构筑物)的安全性、适用性、经济性和耐久性有着直接的影响。随着科技的迅猛发展,结构设计和施工工艺日益进步,各种新材料不断涌现,要求土木工程的设计和施工技术人员必须具备材料科学方面的基本知识,熟悉常用各类土木工程材料的组成结构、技术性能、检测方法和选用规律。

0.1 土木工程材料的发展

1) 土木工程材料的发展历程

土木工程材料是随着人类社会生产力和科技水平的提高而逐步发展起来的。

人类最初直接从自然界中获取天然材料用作土木工程材料,如黏土、石材、木材等。

随着社会生产力的发展和人类活动范围的扩大,人类能够利用黏土烧制砖瓦,用岩石烧制石灰,土木工程材料由此进入人工合成阶段,为较大规模建造土木工程创造了基本条件。至今世界上仍然保留着许多经典的古建筑,如埃及金字塔,中国长城、布达拉宫和赵州桥,罗马圆剧场等,均显示了古代建筑技术及材料应用方面的辉煌成就。

18—19世纪,土木工程材料进入了一个全新的发展阶段。钢材、水泥、混凝土等相继问世,使人类的建筑活动突破了几千年来所受土、木、砖、石的限制,为现代建筑奠定了基础。

进入 20 世纪之后,特别是进入 21 世纪以来,由于社会生产力发展的突飞猛进,以及材料科学和工程科学的形成和发展,土木工程材料性能和质量不断提高,品种不断增加,以有机材料为主的合成材料异军突起,一些具有特殊功能的土木工程材料,如绝热材料、吸声隔声材料、装饰材料以及最新的纳米材料等应运而生。同时,一些能节约材料、资源,将不同组成与结构的材料复合形成的各种复合材料,可最大限度地发挥各种材料的优势,如玻璃纤维增强塑料、纤维混凝土和金属陶瓷等。

2) 现代土木工程材料的发展方向

依靠材料科学和化学等现代科学技术,人们已开发出许多高性能和多功能的新型土木工程材料,而社会进步、环境保护和节能降耗也对土木工程材料提出了更高、更多的要求。土木工程材料的发展方向是:

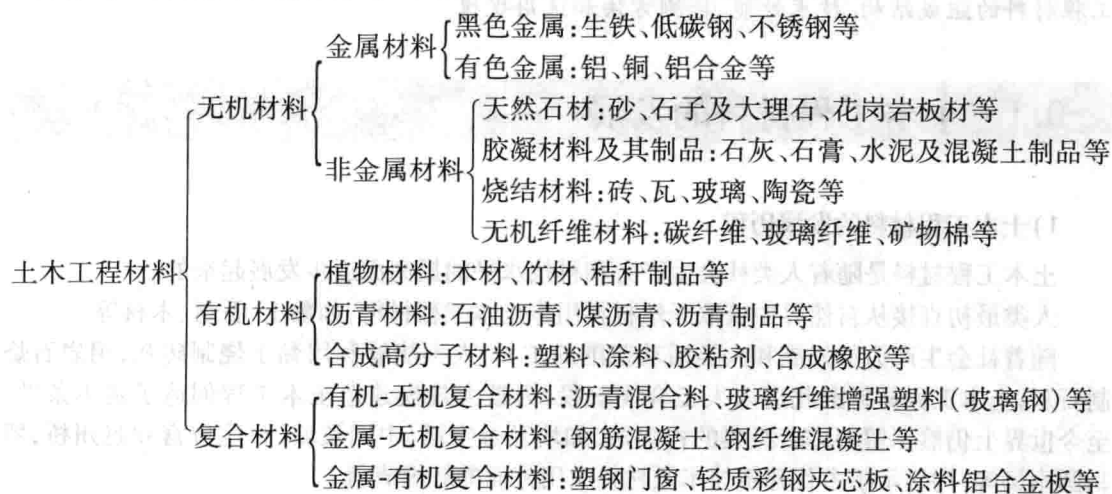
(1) 高性能化 研制轻质、高强、高韧性、高保温性、优异装饰性能和高耐久性的材料,对提高建筑物(或构筑物)的安全性、适用性、经济性和耐久性有着非常重要的意义。

(2) 复合化、多功能化 利用复合技术生产多功能材料、特殊性能材料及智能材料,这对提高建筑物(或构筑物)的使用功能、提高施工效率十分重要。

(3) 绿色化 在生产及应用土木工程材料过程中,充分利用建筑垃圾、地方可再生资源和工业废料,减少对环境的污染和对自然生态环境的破坏。

0.2 土木工程材料的分类

可用于土木工程的材料来源广泛,组成多样,性质各异,用途不同。为了应用方便,可将土木工程材料按不同方法进行分类:按使用功能可划分为结构材料(梁、板、柱所用材料等)、围护材料(墙体、屋面材料等)和功能材料(防水、保温、装饰材料等);按化学成分不同可分为无机材料、有机材料和复合材料三大类,各大类又可进行更细的分类。



0.3 土木工程材料的技术标准

绝大多数土木工程材料均由专门的机构制定并颁布了相应的“技术标准”,详尽明确地规定了其质量、规格和验收方法,以其作为有关设计、生产、施工、管理和研究等部门应共同遵循的依据。

世界各国对土木工程材料的标准化都很重视,均制定了各自的标准,如美国材料与试验协会标准“ASTM”、英国标准“BS”、德国工业标准“DIN”、日本工业标准“JIS”,以及世界范围内统一使用的国际标准“ISO”等。

在我国,土木工程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4级。

(1) 国家标准 由中国国家质量监督检验检疫总局颁布的全国必须执行的指导性文件,分为强制性标准(代号 GB)和推荐性标准(代号 GB/T)。

(2) 行业标准 由各行业主管部门为规范本行业的产品质量而制定的技术标准,也是全国性指导文件。如建材行业标准(代号 JC)、建工行业标准(代号 JG)、交通行业标准(代号 JT)等。

(3) 地方标准(DB) 地方主管部门发布的地方性技术指导文件,适合在该地区使用。

(4) 企业标准(QB) 仅适用于制定标准的企业。凡没有制定国家标准、行业标准的产品,均应制定相应的企业标准。企业标准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、部门代号、标准编号和颁布年份等组成。例如,《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007),其中“GB”为国家标准代号,“175”为标准编号,“2007”为标准颁布年份。又如,《粉煤灰混凝土小型空心砌块》(JC/T 862—2008)是建材行业的推荐性标准。

0.4 本课程的性质和学习方法

本课程为土木工程及相关专业的一门技术基础课。通过学习,可获得土木工程材料的技术性能和应用方面的基本知识,以根据不同工程条件合理选择和正确使用材料,为后续课程的学习打下必要的基础。

本教材涉及无机气硬性胶凝材料、水硬性胶凝材料、混凝土和砂浆、墙体和屋面材料、建筑钢材、有机高分子材料、沥青和沥青混合料、木材、建筑功能材料等十余类土木工程材料。由于这些材料的组成和用途不同,各章节之间的关联性不是很强,不同于有些基础课程那样的逻辑性和系统性。要注意各类材料的学习侧重点,如结构材料、墙体材料决定了建筑物的可靠度和安全度,应重点学习其基本力学性质和工程应用;有机材料、功能材料表现建筑物使用功能,侧重于学习其品种和应用,以利于开阔思路和合理选择材料。

学习本课程要善于归纳总结,理顺课程的知识脉络,抓住贯穿本课程的教学主线:材料的组成、结构、性能与应用之间的关系,见图0.1。从材料的组成、结构来分析材料的性质,从材



料的技术性质来探讨材料的合理应用,而且要以材料的性能和合理应用作为学习的重点。

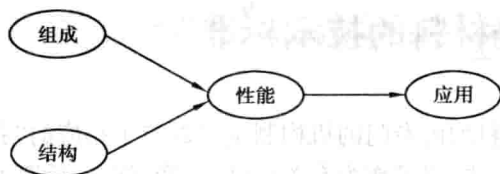


图 0.1 材料组成、结构与性能的关系

要善于归纳总结,举一反三。对于同一类属的不同品种的材料,除了要学习它们的共性,更要了解各自的特性。如在水硬性胶凝材料一章,因为各种水泥的矿物组成的不同,导致其凝结硬化的速度、水化热和耐腐蚀性等性质各不相同,可以根据具体工程及其环境条件合理选用。

材料试验和工程实践是本课程的重要教学环节。材料试验的任务是巩固所学的理论知识,掌握常用土木工程材料的试验、检测技术。通过对试验数据进行科学的分析和整理,培养科学研究的能力。学习本课程还应结合具体工程,尽可能多地参与实际工程,以增强感性知识,加深对学习内容的理解与掌握。

1

土木工程材料的基本性质

【本章导读】

本章所讨论的各种性质是土木工程材料经常要考虑的性质。要求理解材料的组成和结构对其性能的影响,掌握材料的物理性质、与水有关的性质、热工性质以及力学性质的有关概念和计算方法,理解材料耐久性的概念,能够根据荷载情况及材料的性能进行合理选材。

在土木工程中,由于工程性质、结构部位及环境条件的不同,对材料有不同的要求。例如,用作受力构件的结构材料,要承受各种外力的作用,材料必须有一定的强度;工业建筑或基础设施常到受外界介质或环境的化学、物理作用,材料必须具备抵抗这些作用的耐久性;民用建筑和住宅应外形美观、功能完善、使用方便、环境舒适,材料还必须具有防水防潮、隔声吸声、保温隔热和装饰等功能。

土木工程对材料性能的要求是复杂和多方面的。同时,土木工程材料的选择和使用还应考虑材料对人居环境和经济社会可持续发展的影响。因此,有必要掌握材料的基本性质,并了解它们与材料的组成、结构的关系,从而合理地选用土木工程材料。

1.1 材料的组成和结构

材料的组成和结构是材料各种性质的基础,要掌握材料的其他性质,首先要了解材料的组成、结构以及与技术性能方面的关系。

► 1.1.1 材料的组成

材料的组成包括材料的化学组成和矿物组成。它既决定了材料的化学性质、物理性质和

力学性质,也决定了材料的耐久性。

(1)化学组成 各种土木工程材料都具有一定的化学成分。金属材料的化学组成以主要元素的含量来表示;无机非金属材料则以各种氧化物的含量来表示。化学组成既影响土木工程材料的物理力学性质,也影响材料的耐久性。如混凝土的碳化、石油沥青的老化、钢材的锈蚀、木材的燃烧等均取决于材料的化学组成。

(2)矿物组成 矿物是指无机非金属材料中具有特定晶体结构和物理力学性能的组织。矿物组成及其相对含量是决定这类材料的物理力学性质的主要因素。如花岗岩是由多种氧化物形成的石英、长石、云母等矿物组成,表现出强度高、抗风化性好的特点;硅酸盐水泥熟料中 C_3S 的含量高,其凝结速度较快,强度也较高。

► 1.1.2 材料的结构

材料的结构决定着材料的许多性质。一般从宏观、细观和微观3个层次来研究材料的结构及其性质的关系。

1)宏观结构

宏观结构又称为构造,是指材料宏观存在的状态,即用肉眼或放大镜就能观察到的粗大组织,其尺度在1 mm以上。材料的宏观结构分类及其主要特征如下:

(1)致密结构 内部基本上无孔隙的材料,其结构致密、强度和硬度较高、吸水性小、抗渗性及抗冻性好,但绝热性差。如钢材、玻璃、天然石材以及玻璃钢等。

(2)多孔结构 材料内部存在大体均匀分布的开口或闭口孔隙,孔隙又有大孔和微孔之分,孔隙率较高。这类材料质量轻、保温性能好。如石膏制品、加气混凝土、泡沫塑料以及刨花板等。

(3)纤维结构 材料内部质点排列具有方向性,纵向较紧密而横向疏松,组织中存在相当多的孔隙。表现为各向异性,平行纤维方向的强度较高,导热性较好。如木材、竹材、玻璃纤维和石棉等。

(4)层状结构 以胶结料将片材胶合成整体。各层材料性质不同,但叠合后获得平面各向同性。具有强度高、硬度大、绝热或装饰性好等特点。如胶合板、纸面石膏板和塑料贴面板等。

(5)散粒结构 散粒结构是指呈松散颗粒状的材料,有密实颗粒与轻质多孔颗粒之分。前者如砂子、石子等,其颗粒致密,强度高,适于做承重混凝土骨料;后者如陶粒、膨胀珍珠岩等,适于制备绝热材料。

2)细观结构(构造)

细观结构也称亚微观结构,是指用光学显微镜可以观察到的微米级组织结构,其尺度范围为 $1\text{ }\mu\text{m} \sim 1\text{ mm}$ 。如天然岩石的矿物、晶体颗粒、非晶体组织,钢材的铁素体、渗碳体和珠光体,木材的木纤维、导管、髓线和树脂道等纤维组织,以及混凝土的裂缝等。

在细观结构层次上,材料的各种组织的性质各不相同,这些组织的特征、数量、分布以及界面之间的结合情况等,对材料的各方面性能有重要影响。

3)微观结构

微观结构是指材料原子、分子层次的结构,其尺度范围为 $1\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{m}$,需借助电子显微

镜和 X 射线来分析研究其结构特征。材料的许多基本物理性质,如强度、硬度、弹塑性、熔点、导热性和导电性等都取决于材料的微观结构。

在微观结构层次上,固体材料可分为晶体、玻璃体和胶体 3 类。

(1) 晶体 晶体结构的内部质点(离子、原子、分子)按特定规律空间排列,见图 1.1(a)。晶体材料有固定几何外形,并显示各向异性;化学稳定性好,不易与其他物质发生化学作用。根据组成晶体的质点及化学键的不同,晶体可分为离子晶体、原子晶体、分子晶体和金属晶体等,各种晶体的性质见表 1.1。

表 1.1 晶体的类型及性质

晶体类型	质点间作用力	密 度	熔点、沸点	硬 度	延展性	举 例
原子晶体	共价键	较小	高	大	差	石英、金刚石、碳化硅
离子晶体	离子键	中等	较高	较大	差	NaCl、石灰石、石膏等
分子晶体	范德华力	小	低	小	差(固态)	蜡及有机化合物晶体
金属晶体	金属键	大	较高	较大	良	钢、铁、铝及其合金

(2) 玻璃体 熔融状态的物质缓慢冷却可形成晶体结构。如经急冷处理,在将近凝固温度时尚有很大的粘度,质点来不及按一定规律排列便凝固成固态,此时便形成玻璃体结构,又称无定形体,见图 1.1(b)。

玻璃体具有各向同性,没有固定的熔点。玻璃体还具有化学不稳定性,即存在化学潜能,容易和其他物质反应或自行缓慢向晶体转变。如在水泥、混凝土等材料中使用的粒化高炉矿渣、火山灰、粉煤灰等活性混合材料,正是利用了它们活性高的特点。

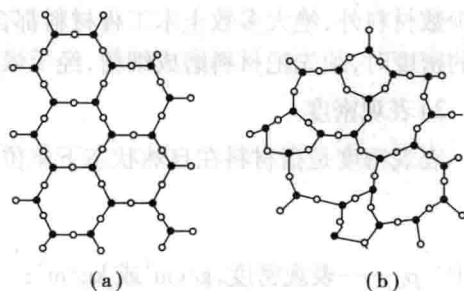


图 1.1 晶体与玻璃体质点排列示意图
(a) 晶体; (b) 玻璃体

(3) 胶体 由一些微细的固体粒子(粒径 $1 \sim 100 \text{ nm}$)分散在介质中所形成的结构。分散粒子一般带有某种电荷(正电荷或负电荷),而介质带有相反的电荷,从而使胶体保持稳定。由于胶体的质点很微小,其总的表面积很大,因而表面能很大,有很强的吸附力,所以胶体具有较强的粘结力。

胶体可经脱水或质点的凝聚而形成凝胶,使其具有固体的性质,在长期应力作用下,又具有粘性液体的流动性质。如硅酸盐水泥的主要水化产物是水泥凝胶,混凝土的徐变即由于水泥凝胶而产生。

材料的化学组成相同,但在不同条件下可形成不同的微观结构,其性能就有显著的差异。如石英、石英玻璃和硅藻土化学成分均为 SiO_2 ,但物理力学性能各不相同。材料中各种组分相对含量的变化也可能导致材料性质的改变,如石油沥青在其沥青质、油分及树脂的相对含量不同时,可以形成溶胶、凝胶或溶-凝胶 3 种胶体结构,并表现为迥异的力学性能。



1.2 材料的物理性质

土木工程材料的物理性质是指与密度、孔隙特征、水、热等有关的性质。

1.2.1 材料的密度、表观密度和堆积密度

1) 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量,按下式计算:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

式中 ρ ——密度, g/cm^3 ;

m ——干燥状态下材料的质量, g ;

V ——绝对密实状态下材料的体积, cm^3 。

绝对密实状态下的体积是指不包括材料内部孔隙的固体物质本身的体积。除钢材、玻璃等少数材料外,绝大多数土木工程材料都含有一定的孔隙,如混凝土、砖、石材等,测定这类材料的密度时,须先把材料磨成细粉,经干燥后再用李氏瓶测定其体积。

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 ——自然状态下材料的体积, cm^3 或 m^3 。

材料在自然状态下的体积(表观体积)包含材料内部孔隙的体积。当材料含有水分时,其质量和体积都会发生变化,因而表观密度也不相同。故测定时应注明含水情况,未特别注明者,常指气干状态下的表观密度。对于外形规则的材料可直接测量体积得到表观密度,外形不规则的材料则可采用封蜡排水法测定表观体积。

3) 堆积密度

堆积密度是指散粒状材料在堆积状态下单位体积的质量,按下式计算:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1.3)$$

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 。

堆积体积是在自然松散状态下按一定方法装入一定容积的容器,包括颗粒体积和颗粒之间空隙的体积。堆积密度与材料堆积的紧密程度有关,可分为松堆密度和紧堆密度,一般是指材料的松堆密度。堆积体积采用容量筒测定,容量筒的大小视颗粒的大小而定,一般砂子

采用 1 L 的容量筒,石子采用 10 L、20 L 或 30 L 的容量筒。

► 1.2.2 材料的孔隙率与密实度

1) 孔隙率

孔隙率是指材料内部孔隙体积占其自然状态下总体积的百分率,按下式计算:

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1.4)$$

式中 P ——材料的孔隙率, %。

2) 密实度

密实度是指材料体积内被固体物质所充实的程度,与孔隙率相对,按下式计算:

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% \quad (1.5)$$

式中 D ——材料的密实度, %。

材料孔隙率或密实度大小直接反映材料的密实程度。材料的孔隙率越高,则表示密实程度越小。

3) 孔隙特征

材料内部的孔隙是多种多样的,十分复杂。如大小、形状、分布、连通与否等,均属构造上的特征,统称孔隙特征。材料的孔隙特征主要是指孔隙的连通性,按此可将孔隙分为开口孔隙和闭口孔隙,见图 1.2。

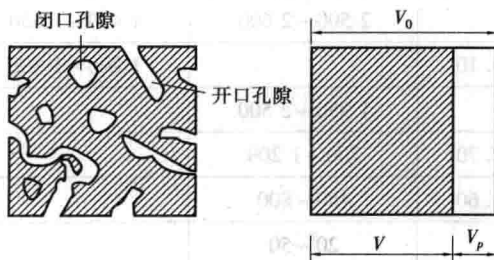


图 1.2 含孔材料的体积组成

孔隙特征对材料的物理力学性质均有显著影响。开口孔隙(连通孔)是指材料内部不仅彼此互相连通,并且与外界贯通的孔隙,如常见的毛细孔。在一般浸水条件下,开口孔隙能吸水饱和。开口孔隙还能提高材料的透水性、吸声性,降低抗冻性。闭口孔隙(封闭孔)是指材料内部彼此不连通,而且与外界隔绝的孔隙。闭口孔隙能提高材料的隔热保温性能和耐久性。适量均匀分布的微小闭口孔隙还能提高材料的抗冻性和抗渗性。

► 1.2.3 材料的空隙率和填充率

1) 空隙率

空隙率是指散粒或粉状材料颗粒之间的空隙体积占其自然堆积体积的百分率,按下式计算: