

普通高等教育“十三五”规划教材
土木工程类系列教材

土木工程材料

贾福根 宋高嵩 主 编
刘红宇 于 冰 徐 智 副主编

清华大学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

土木工程类系列教材

土木工程材料

贾福根 宋高嵩 主编

刘红宇 于冰 徐智 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据全国高等学校土木工程学科专业指导委员会制定颁布的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》编写,全书共11章,内容包括土木工程材料的基本性质、无机胶凝材料、水泥混凝土、砂浆、砌筑材料、建筑钢材、沥青及沥青混合物、木材、合成高分子材料、建筑功能材料、土木工程材料试验。每章均列有学习指导,并附有思考题与习题及答案。

本书可作为高等学校土木工程类相关专业教材,也可供从事土木工程勘察、设计、施工、监理、科研和管理等相关人员学习参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/贾福根,宋高嵩主编.--北京:清华大学出版社,2016

普通高等教育“十三五”规划教材·土木工程类系列教材

ISBN 978-7-302-42665-3

I. ①土… II. ①贾… ②宋… 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 014149 号

责任编辑:秦 娜

封面设计:陈国熙

责任校对:刘玉霞

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:三河市君旺印务有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:18.75

字 数:453千字

版 次:2016年2月第1版

印 次:2016年2月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:39.00元

产品编号:067231-01

前 言

本书根据《高等学校土木工程本科指导性专业规范》，按照大土木学科背景、教材内容精练化的编写原则，围绕专业规范要求的材料科学基础知识领域核心知识单元和知识点，按照土木工程材料种类编排章节，以各类材料的技术性质为中心内容，同时结合土木工程材料研究新成果和国家及行业新标准、新规范编写，力求语言简练、图文并茂、重点突出，以满足课程教学要求。

本书系统地介绍了土木工程常用的无机胶凝材料、混凝土和砂浆、砌筑材料、建筑钢材、沥青及沥青混合料、木材、合成高分子材料和建筑功能材料等材料的基本理论和基本知识，内容包括土木工程材料的组成与结构、制备原料及生产工艺、技术性能、质量要求和工程应用，以及材料性能检测与试验的基本理论和应用技术，并有代表性地介绍了土木工程材料的新技术和发展方向。

本书具有以下特点：(1)面对多数院校的土木、建筑类专业，紧扣培养目标，理论联系实际并使用最新规范，突出材料在土木工程中的应用，注重满足工程实际和应用型人才培养需求；(2)每章前有学习指导，提出本章学习目标；(3)每章后有习题，包括各种题型：名词解释、选择题、填空题、判断题、问答题、计算题，书后附有习题答案，以便学生掌握基本知识和检验学习效果。

本书由贾福根、宋高嵩担任主编，刘红宇、于冰、徐智担任副主编。各章编写人员为：贾福根(绪论、第2章、第3章)，宋高嵩(第5章、第6章、第8章)，刘红宇(第1章、第4章)，于冰(第7章、第9章)，徐智(第10章、第11章)，全书由贾福根统稿。

由于土木工程材料的品种繁多，新材料的发展很快，且各行业的技术标准不一致，加上时间仓促、作者水平有限，书中疏漏与不妥之处在所难免，敬请广大专家、读者批评指正。

编 者

2016年1月

目 录

| | |
|---------------------------|-----|
| 0 绪论 | 1 |
| 0.1 土木工程材料的范畴和分类 | 1 |
| 0.2 土木工程与材料的关系 | 2 |
| 0.3 学习土木工程材料的目的是和方法 | 3 |
| 第 1 章 土木工程材料的基本性质 | 6 |
| 1.1 材料的组成与结构 | 6 |
| 1.2 材料的物理性质 | 9 |
| 1.3 材料的力学性质 | 17 |
| 1.4 材料的化学性质和耐久性 | 20 |
| 习题 | 21 |
| 第 2 章 无机胶凝材料 | 23 |
| 2.1 建筑石膏 | 23 |
| 2.2 石灰 | 27 |
| 2.3 水玻璃 | 32 |
| 2.4 通用硅酸盐水泥 | 34 |
| 2.5 特性水泥和专用水泥 | 52 |
| 习题 | 60 |
| 第 3 章 水泥混凝土 | 62 |
| 3.1 概述 | 62 |
| 3.2 普通混凝土的组成材料 | 65 |
| 3.3 普通混凝土的主要技术性质 | 82 |
| 3.4 普通混凝土的质量控制 | 105 |
| 3.5 普通混凝土配合比设计 | 109 |
| 3.6 其他品种混凝土 | 119 |
| 习题 | 125 |
| 第 4 章 砂浆 | 128 |
| 4.1 建筑砂浆的基本组成和性能 | 128 |
| 4.2 砌筑砂浆 | 131 |

| | | |
|------------|-----------------------|------------|
| 4.3 | 抹面砂浆 | 135 |
| 4.4 | 特殊用途砂浆 | 138 |
| 4.5 | 预拌砂浆 | 139 |
| | 习题 | 141 |
| 第5章 | 砌筑材料 | 142 |
| 5.1 | 砌墙砖 | 142 |
| 5.2 | 砌块 | 148 |
| 5.3 | 砌筑用石材 | 151 |
| | 习题 | 156 |
| 第6章 | 建筑钢材 | 158 |
| 6.1 | 钢的分类 | 158 |
| 6.2 | 钢材的主要技术性质 | 160 |
| 6.3 | 钢材的加工与焊接 | 163 |
| 6.4 | 钢材的化学成分对其性能的影响 | 165 |
| 6.5 | 土木工程用钢的技术标准与选用 | 167 |
| 6.6 | 钢材的防护 | 172 |
| | 习题 | 173 |
| 第7章 | 沥青及沥青混合料 | 175 |
| 7.1 | 沥青材料 | 175 |
| 7.2 | 沥青混合料 | 190 |
| | 习题 | 205 |
| 第8章 | 木材 | 207 |
| 8.1 | 木材的分类与构造 | 207 |
| 8.2 | 木材的主要性能和用途 | 208 |
| 8.3 | 木材的干燥、防腐与防火 | 214 |
| | 习题 | 215 |
| 第9章 | 合成高分子材料 | 217 |
| 9.1 | 合成高分子材料的性能特点 | 217 |
| 9.2 | 建筑塑料及其制品 | 218 |
| 9.3 | 建筑涂料 | 222 |
| 9.4 | 建筑胶黏剂 | 224 |
| 9.5 | 土工合成材料 | 226 |
| | 习题 | 228 |

| | |
|------------------------------|-----|
| 第 10 章 建筑功能材料 | 229 |
| 10.1 防水材料 | 229 |
| 10.2 灌浆材料 | 233 |
| 10.3 节能与绝热材料 | 234 |
| 10.4 防火材料 | 239 |
| 10.5 吸声材料与隔声材料 | 240 |
| 10.6 装饰材料 | 244 |
| 习题 | 251 |
| 第 11 章 土木工程材料试验 | 252 |
| 11.1 水泥试验 | 252 |
| 11.2 骨料试验 | 260 |
| 11.3 普通混凝土试验 | 267 |
| 11.4 钢筋试验 | 272 |
| 11.5 沥青试验 | 275 |
| 11.6 沥青混合料试验 | 279 |
| 习题答案 | 287 |
| 参考文献 | 291 |

绪 论

0.1 土木工程材料的范畴和分类

0.1.1 土木工程材料的范畴

土木工程材料可分为广义土木工程材料和狭义土木工程材料。广义土木工程材料是指用于土木建筑工程中的所有材料,包括三个部分:一是构成建(构)筑物的材料,如石灰、水泥、混凝土、钢材、防水材料、墙体与屋面材料、装饰材料等;二是施工过程中所需要的辅助材料,如脚手架、模板等;三是各种建筑器材,如消防设备、给水排水设备、网络通信设备等。狭义土木工程材料是指直接构成土木工程实体的材料。本书所介绍的土木工程材料均指狭义土木工程材料。

0.1.2 土木工程材料的分类

土木工程材料种类繁多,可按不同原则分类。按照材料来源可分为天然材料及人工材料;按照工程性质可分为建筑工程材料、道路桥梁工程材料、水利工程材料、铁道工程材料和岩土工程材料等;按照使用部位可分为结构材料、屋面材料、墙体材料和地面材料等;此外,还可以按照化学组成和使用方法进行分类。

1. 按化学组成分类

根据组成物质的化学成分分类是最基本的分类方法,可将土木工程材料分为无机材料、有机材料和复合材料三大类。各大类又可细分为许多小类,具体分类如表 0-1 所示。

2. 按使用功能分类

根据使用功能土木工程材料通常分为承重结构材料、非承重结构材料,以及功能材料三大类。

(1) 承重结构材料,主要指梁、板、基础、墙体和其他受力构件所用的建筑材料,最常用的有钢材、混凝土、砖、砌块等。

(2) 非承重结构材料,主要包括框架结构的填充墙、内隔墙和其他围护材料等。

(3) 功能材料,主要有防水材料、防火材料、装饰材料、节能与绝热材料、吸声隔声材料等。

表 0-1 土木工程材料按化学组成分类

| | | |
|------|------------|---|
| 无机材料 | 金属材料 | 黑色金属：铁、碳素钢、合金钢等 有色金属：铝、铜等及其合金 |
| | 非金属材料 | 天然石材：石板、碎石、砂等 烧结制品：陶瓷、砖、瓦等 玻璃及熔融制品：玻璃、玻璃棉、矿棉等 胶凝材料：石灰、石膏、水泥等 |
| 有机材料 | 植物材料 | 木材、竹材、植物纤维及其制品 |
| | 高分子材料 | 有机涂料、橡胶、胶黏剂、塑料等 |
| | 沥青材料 | 石油沥青、煤沥青、沥青制品等 |
| 复合材料 | 金属—无机非金属材料 | 钢纤维混凝土、钢筋混凝土等 |
| | 金属—有机材料 | 轻质金属夹芯板等 |
| | 无机非金属—有机材料 | 玻璃纤维增强塑料、聚合物混凝土、沥青混凝土等 |

0.2 土木工程与材料的关系

0.2.1 材料是保证土木工程质量的基礎

材料是构成土木工程建(构)筑物的物质基础,当然也是其质量基础。在土木工程中,从材料的生产、选择、使用和检验评定,到材料的储存、保管,任何环节的失误都可能造成工程的质量缺陷,甚至导致重大质量事故。因此,合格的土木工程技术人员必须准确、熟练地掌握有关材料的知识。

为了确保土木工程的质量,必须实行土木工程材料的标准化,即由专门机构制定和发布相应的“技术标准”,对土木工程材料的规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、包装、标志、运输、储存和应用等内容作出统一规定,作为有关材料研究、生产、检验、使用和管理部門共同遵循的工作依据。土木工程材料的标准,是企业生产的产品质量是否合格的技术依据,也是供需双方对产品质量进行验收的依据。

中国的土木工程及材料类标准按照发布部門有六大类:一是国家标准,包括强制性标准(代号 GB)和推荐性标准(代号 GB/T);二是行业标准,如建工行业标准(代号 JG)、建材行业标准(代号 JC)、交通行业标准(代号 JT)等;三是地方标准(代号 DB);四是企业标准(代号 QB);五是中国工程建设标准化协会标准(代号 CECS);六是中国土木工程学会标准(代号 CCES)

对强制性国家标准,任何技术(或产品)不得低于其规定的要求;对推荐性国家标准,可执行其规定也可执行其他标准的要求;地方标准或企业标准所制定的技术要求应高于国家标准。

近年来,涉外土建工程和国际合作项目越来越多,工程技术人员和土建类学生也应对国外的相关技术标准有所了解,如世界范围统一使用的是 ISO 国际标准、美国材料试验协会标准(ASTM)、日本工业标准(JIS)、英国工业标准(BS)、德国工业标准(DIN)等。

0.2.2 材料对土木工程造价的影响

在一般土木建筑工程的总造价中,与材料有关的费用占 50% 以上,而在实际工程中,材

料的选择、使用及管理对工程成本影响很大。学习并准确熟练地掌握土木建筑工程材料知识,可以优化选择和正确使用材料,充分利用材料的各种功能,在优质的同时显著降低工程成本。因此,从工程技术经济的角度来看,学好本课程十分重要。

0.2.3 材料对土木建筑工程技术进步起促进作用

在土木建筑工程建设过程中,工程的设计方法、施工方法都与材料密切相关。从根本上说,材料是基础,是决定土木建筑工程结构设计形式和施工方法的主要因素。因此,材料性能的改进、材料应用技术的进步都会直接促进土木建筑工程技术的进步,例如钢材及水泥的大量应用和性能改进,取代了过去的砖、石、土木,使得钢筋混凝土结构已占领了土木工程结构材料的主导地位。现代玻璃、陶瓷、塑料、涂料等新型材料的大量应用,又把许多建筑物装扮得绚丽多彩。

土木工程材料作为材料学科和土木工程学科的交叉学科,将按照可持续发展战略,以材料科学为指导,结合土木工程行业的要求协调进行,更好地促进土木工程技术的发展。概括起来,今后土木工程材料将向以下几方面发展。

(1) 高性能化。利用高温、高压等合成生产新技术研制出轻质、高强、高耐久、高抗渗、高保温及优良装饰性的新材料,如高性能混凝土、高性能水泥、高性能防水材料等。

(2) 复合化和多功能化。利用表面新技术、复合新技术研制出具有多种功能的新材料,如智能混凝土、植被混凝土、透光混凝土、防水兼保温隔热的屋面材料、防潮保温兼吸臭抗菌的内墙涂料。

(3) 绿色化。根据 1988 年第一届国际材料联合会对绿色材料的定义,材料的绿色化即材料的生产和应用应尽量减少对环境的影响和有利于人类的健康。因此,土木工程材料的生产和应用应努力做到合理利用地方资源和工业废渣、节能降耗、减少环境污染、保护自然资源与环境、维护生态平衡和人类健康,实现建筑材料的可持续发展,研制节能、环保、保健型的绿色土木工程材料。

(4) 工业化。材料的生产必须现代化和工业化,规格尺寸应标准化,同时生产出的材料应适应于机械化施工,产品应尽量预制化和商品化,以保证材料和施工质量、提高施工效率。

(5) “菜单”化。材料的生产将实现“功能”化和“菜单”化,即为了满足土木工程各项技术和经济指标的要求,材料的各项技术性能指标和经济指标将在材料生产和应用工程中,按照指定要求得到充分保证。

0.3 学习土木工程材料的目的是方法

0.3.1 学习目的

本课程是土木建筑类专业的技术基础课,课程的学习目的是使学生获得有关土木工程材料的基本理论、基本知识和基本技能,掌握常用土木工程材料的技术性能和选用原则,熟悉土木工程材料的生产制造过程、组成结构与性能变化原理,以及试验检测方法,了解土木工程材料的发展趋势,构建与土木建筑类专业相适应的土木工程材料知识体系,为学习后续专业课程提供土木工程材料的基础知识,为今后从事设计、施工、管理和科研工作时能够合

理选择和正确使用土木工程材料奠定基础。另外,通过本门课程的学习,培养学生分析问题和解决问题的能力、培养创新意识、提高综合素质,这也是本门课程的另一重要目的。

0.3.2 学习方法

不同课程有不同的特点、认知规律和学习方法。土木工程材料品种繁多,内容庞杂,以叙述、定性介绍为主。要想学好本门课程,首先应对本门课程的知识来源和结构有所了解。作为一门交叉学科,人们对土木工程材料的认识来源于三个方面:即工程实践经验、材料科学和试验技术。首先是材料生产和应用过程中工程实践经验的总结;其次是由于材料科学和检测技术的发展,对材料的物理和化学结构进行深入研究得到的认识;再次通过对材料性质的大量试验得到的试验数据总结。通过对以上三方面知识的总结,人们在土木工程学科和材料学科之间架起了一座桥梁,形成了土木工程材料学科。所以,要想学好本门课程,必须从以上三个方面入手。本门课程每章介绍了不同的材料,各章虽相对独立、自成体系,但知识结构基本相同,综合论证分析了各种材料的原料、生产、组成、结构与材料性能的关系,根据材料的性能(共性和特性)来确定其应用技术(配制、施工、技术要求、检验及运输、储存、维修和经济效益等),图 0-1 为土木工程材料知识结构示意图。

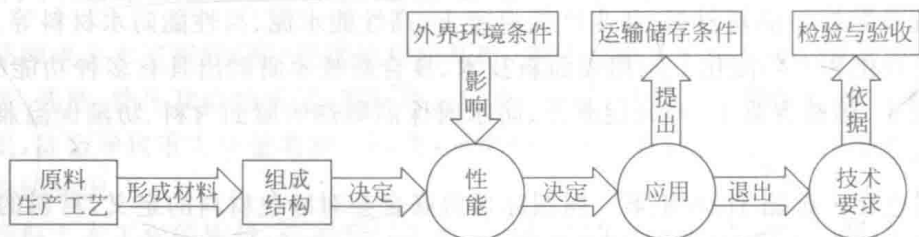


图 0-1 土木工程材料知识结构示意图

本课程的学习需以材料组成、结构、性能与应用为学习主线,学习应抓住“一个中心,两条线索”。各种材料的技术性能即为课程及各章的“中心内容”和重点内容;材料的组成和结构是决定材料性质的内因和决定性因素,这是学习掌握材料性能的第一条线索;材料的性能还随外界环境条件的改变而改变,因而外界环境条件是影响材料性能的外因和学习掌握材料性能的第二条线索。

本课程的学习重点是土木工程材料的性能及其应用。但不可满足于简单地知道该材料具有哪些性质,有哪些表象,重要的是理解形成这些性质的内在原因、外部原因和这些性能之间的相互关系,从而更好地应用。要注意辩证法、系统论等科学方法论在学习中的应用,这样才能更好地掌握以上内容。

采用对比的方法也是学好本门课程的有效途径,材料种类繁多,通过对比各种材料的组成、结构及性能特点等内容,罗列并厘清它们之间的共性与个性,不仅可以提高学习效率,做到事半功倍,而且也将提高所学知识的综合运用能力。

土木工程材料是一门实践性很强的课程,实践是最好的课堂,应充分利用一切实践机会,对身边在建和已建成的工程多观察、多思考,理论联系实际地学习,在生活、生产实践中寻找答案,并在实践中验证和补充所学的书本知识。学习本课程还需充分注意土木工程材料的环保问题,强化环保意识,提高综合素质。

应重视试验环节,试验也是本课程的重要教学环节,通过实验不仅可以验证所学基本理论、巩固基本知识、掌握基本实验技能,更重要的是培养严谨求实的科学态度,提高综合素质,为日后的科技工作打下基础。

在学习完每一章后,对思考题与习题亦应认真思考,并可参考所附习题答案。这些习题大多源自工程实际,在此过程中不仅可加深对基本原理、基本知识的理解,还有利于培养分析和解决工程实际问题的能力。

第1章

土木工程材料的基本性质

学习指导

本章学习目标

- (1) 掌握土木工程材料的物理性质、力学性质和耐久性；
- (2) 了解土木工程材料的组成、结构及其与材料基本性质的关系。

本章的重点为材料的物理性质、力学性质和耐久性；难点是材料的组成、结构及其对材料性质的影响。通过本章的学习，熟练掌握土木工程材料基本性质的概念和参数的计算方法，了解材料的组成、结构与性能之间的关系。

土木工程材料的基本性质是指材料处在不同的使用条件和使用环境下，通常必须考虑的最基本的、共有的性质。土木工程材料所处的工程部位、周围环境、使用功能要求和作用的不同，对材料性质的要求也就不同。用于结构的材料应具有所需要的力学性质；用于地面的材料应具有耐磨性能；屋面材料应具有保温隔热、防雨水渗透性能；对于长期暴露在大气环境中的材料，要求具有良好的耐久性。可见土木工程材料在实际工程中的作用是复杂多样的。

1.1 材料的组成与结构

1.1.1 材料的组成

材料的组成不仅影响材料的化学性质，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和数量。当材料与外界环境及各类物质相接触时，它们之间必然按化学规律发生作用。如水泥的化学成分为 CaO (62%~67%)， SiO_2 (20%~24%)， Al_2O_3 (4%~7%)， MgO (<0.5%)， Fe_2O_3 (2.5%~6.0%)；当水泥遇到酸、碱、盐等物质时会发生腐蚀，这是由水泥的化学组成所决定的。

2. 矿物组成

无机非金属材料中具有特定晶体结构、物理力学性能的组织结构称为矿物。矿物组成

是指构成材料的矿物的种类和数量,矿物成分是决定材料性质的主要因素。如水泥熟料的矿物组成为 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (36%~60%), $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (15%~37%), $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (7%~15%), $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (10%~18%)。当硅酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)含量高时,水泥的凝结硬化速度较快,强度较高。

3. 相组成

材料中结构相近、物理和化学性质相同的均匀部分称为相。自然界中的物质可分为气相、液相和固相。材料中的同种化学物质,由于加工工艺不同、温度和压力等条件不同,可形成不同的相。材料中大多数是多相固体。凡由两相或两相以上物质组成的材料称为复合材料。复合材料的性质与组成材料的相组成和界面特性有密切的关系。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。

1.1.2 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。

1) 按孔隙特征分类

(1) 密实结构。材料内部结构致密,基本上无孔隙。材料的特点是强度和硬度高、吸水性小、耐磨性好、保温隔热性能差,如钢铁、天然石材、玻璃钢等。

(2) 多孔结构。材料内部存在均匀分布、独立的或部分相通的孔隙。材料的性质取决于孔隙的特征、大小、多少及分布情况。多孔材料的强度较低、抗渗性和抗冻性较差、保温隔热性能好,如加气混凝土、泡沫混凝土、泡沫塑料等。

(3) 微孔结构。材料内部存在微细孔隙的结构,如石膏制品、黏土烧制品等。

2) 按组织构造特征分类

(1) 堆聚结构。由集料与胶凝性材料胶结而成的结构,如水泥混凝土、沥青混合料、砂浆等。

(2) 散粒结构。由松散颗粒状的材料形成的结构,分密实颗粒和轻质多孔颗粒。如砂石颗粒致密,强度高,适合作混凝土集料;膨胀珍珠岩、膨胀蛭石、陶粒等为多孔颗粒,适合作保温隔热材料。

(3) 层状结构。由天然形成或人工黏结等方法将材料叠合而成的双层或多层结构,如胶合板、纸面石膏板等。

(4) 纤维结构。由天然或人工合成纤维物质构成的结构。材料的内部结构组成有明显的方向性,如木材、玻璃纤维、石棉等。

2. 细观结构

细观结构(又称亚微观结构)是指用光学显微镜所能观察到的材料结构,是介于宏观和微观之间的结构,其尺寸为 $10^{-7} \sim 10^{-3} \text{m}$ 。土木工程材料的细观结构,是针对某种具体材料进行分类研究。如对水泥混凝土,研究水泥石的孔隙结构、骨料及界面特性等结构;对钢材

研究其金相组织,可分为铁素体、渗碳体、珠光体等;对木材研究木纤维、导管髓线、管胞等组织的结构。

从微观结构层次上研究土木工程材料的组织结构、性质和特性,对改善材料的性能有着重要的作用。

3. 微观结构

微观结构是指材料在原子、分子层次的结构。可用电子显微镜或 X 射线衍射仪等手段来分析研究该层次上的结构特征。微观结构的尺寸为 $10^{-10} \sim 10^{-7} \text{m}$ 或更小。

在微观结构层次上,土木工程材料可分为晶体、玻璃体和胶体。

1) 晶体

晶体是物质的质点(分子、原子、离子)在三维空间作有规律的周期性重复排列所形成的结构。晶体结构具有整齐规则的几何外形、固定熔点、对称性、各向异性、X 射线衍射效应等特点。晶体根据其组成的质点和化学键的不同分为原子晶体、离子晶体、分子晶体和金属晶体。

原子晶体是中性原子以共价键结合而成的晶体。晶体的原子或分子共享它们的价电子,共价键的结合力很强,故其强度、硬度和熔点均较高,如金刚石、石英等。

离子晶体是正负离子以离子键结合而成的晶体。离子键的结合力强,故其强度、硬度和熔点较高,如氯化钠(图 1-1)、石膏等。

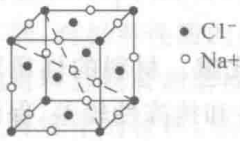


图 1-1 氯化钠晶体示意图

分子晶体是以分子间的范德华力即分子键结合而成的晶体。分子键结合力较弱,分子晶体具有较大的变形性质,故其强度、硬度和熔点较低,如石蜡、干冰、冰等。

金属晶体是以金属阳离子为晶格,由自由电子与金属阳离子间的金属键结合而成的晶体。金属键的结合力最强,故其强度高、塑性变形能力大,有良好的导电和导热性质,如钢铁、铜、合金等。

2) 玻璃体

玻璃体亦称为无定形体或非晶体。玻璃体结合键为共价键及离子键,玻璃体的结构特征为质点在空间上呈非周期性排列。由于玻璃体是从熔融态快速急冷下形成的,凝固时质点来不及或因某些原因不能按一定的规律排列,质点间存在大量未结合的键,具有化学活性,存在化学潜能,在一定条件下,易与其他物质发生化学反应,如粉煤灰、水淬粒化高炉矿渣、火山灰等,常被大量用于硅酸盐水泥的掺合料,以改善水泥的性质。

3) 胶体

胶体是以胶粒作为分散相,分散在连续相介质(如水、气、溶剂)中形成的分散体系。按分散介质的不同,可把溶胶分成气溶胶(分散介质是气体,如雾、云、烟),液溶胶(分散介质是液体,如氢氧化铁胶体、硅溶胶)和固溶胶(分散介质是固体,如烟水晶、有色玻璃)。

胶体分散体系中的胶体粒子或高分子在一定条件下相互连接,形成空间网状结构,在结构空隙中充满了分散介质,这种特殊的分散体系称为凝胶体。凝胶体没有流动性,内部常含有大量液体或气体,如硅酸盐水泥水化会产生大量凝胶体。

1.2 材料的物理性质

1.2.1 材料的体积组成

在土木工程材料中,绝大多数材料的表面和内部均含有孔隙。根据材料孔隙与外界是否连通的特性,可将材料孔隙分为与外界连通的开口孔隙和与外界隔绝的闭口孔隙;按照孔隙尺寸的大小,可将材料孔隙分为大孔隙、毛细孔隙和纳米孔隙。

材料中孔隙的多少和孔隙特征对材料性质影响很大。当材料的孔隙为开口孔隙,孔隙较大时,水分和溶液易于渗入,但不容易被充满;纳米孔隙中水分和溶液易于渗入,但不容易在其中流动;毛细孔隙介于两者之间,水分和溶液既容易渗入,又易于被充满,故对材料的抗渗性、抗冻性和抗侵蚀性等有利影响。当材料的孔隙为闭口孔隙时,水分和溶液不容易侵入,故对材料的抗渗性、抗冻性和抗侵蚀性等无不利影响,反而具有改善材料保温性和耐久性等作用。

材料中不包括材料内部孔隙的固体物质的体积用 V 表示;材料中的孔隙体积用 V_p 表示,开口孔隙体积用 V_k 表示,闭口孔隙的体积用 V_B 表示,则 $V_p = V_k + V_B$ 。

材料在自然状态下的体积是指材料绝对密实体积与材料所含全部孔隙体积之和,用 V_0 表示,则 $V_0 = V + V_p$ 。

材料堆积体积是指散粒状材料在堆积状态下颗粒体积和颗粒之间的间隙体积之和,用 V'_0 表示,颗粒之间的间隙体积用 V_s 表示, $V'_0 = V_0 + V_s = V + V_p + V_s$ 。材料的体积组成如图 1-2 所示。

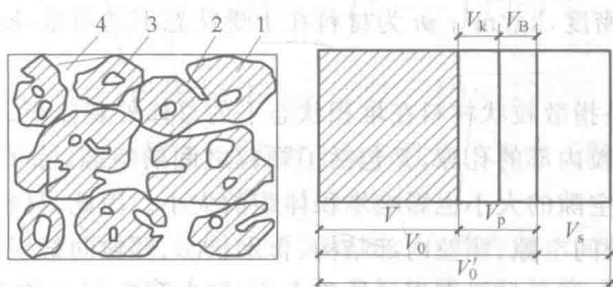


图 1-2 材料体积组成示意图

1—固体物质; 2—开口孔隙; 3—闭口孔隙; 4—颗粒间的空隙

1.2.2 材料的密度、表观密度、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,计算式为

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

式中, ρ 为材料的密度, g/cm^3 ; m 为材料在干燥状态下的质量, g ; V 为干燥材料在绝对密实状态下的体积, cm^3 。

材料在自然状态下并非绝对密实,所以绝对密实体积一般难以直接测定,对钢材、玻璃

等密实的材料可近似地直接测定。在测定有孔隙的材料密度时,需把材料磨成细粉或采用排液置换法测量其体积,当材料磨得越细,测得的密度值越精确。

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,计算式为

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

式中, ρ_0 为材料的表观密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ; m 为材料在干燥状态下的质量, g 或 kg ; V_0 为材料在自然状态下的体积,或称表观体积, cm^3 或 m^3 。

材料的表观体积是指包括内部孔隙的外观体积。对于外形规则的材料,可直接量尺寸后计算求得;对于外形不规则材料的体积,采用排水法测定。测量时要在材料的表面涂蜡,防止水分渗入材料内部。

材料的表观密度除与材料的密度有关外,还与材料内部孔隙的体积有关,材料的孔隙率越大,材料的表观密度越小。当材料孔隙体积内含有水分时,其质量和体积均有所变化,故测定表观密度时需同时测定其含水率。一般情况下,表观密度是指材料在气干状态下的表观密度,在烘干状态下的表观密度称为干表观密度。

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,计算式为

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

式中, ρ'_0 为材料的堆积密度, kg/m^3 ; m 为材料在干燥状态下的质量, kg ; V'_0 为材料的堆积体积, m^3 。

材料的堆积体积是指散粒状材料在堆积状态下的总体外观体积。散粒状材料的堆积体积中,既包括了材料颗粒内部的孔隙,又包括了颗粒之间的空隙,除了颗粒内孔隙的多少及其含水多少外,颗粒间空隙的大小也影响堆积体积的大小。因此,材料的堆积密度与散粒状材料自然堆积时的颗粒间空隙、颗粒内部结构、含水状态、颗粒间被压实的程度有关。

根据堆积状态不同,同一材料表现的体积大小可能不同,松散堆积下的体积较大,密实堆积状态下的体积较小。材料的堆积体积可用已标定容积的容器来测量。

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 常用土木工程材料的密度、表观密度和堆积密度

| 材料名称 | 密度/ (g/cm^3) | 表观密度/ (kg/m^3) | 堆积密度/ (kg/m^3) |
|---------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 石灰岩 | 2.60 | 1800~2600 | — |
| 花岗岩 | 2.80 | 2500~2900 | — |
| 碎石(石灰岩) | 2.60 | — | 1400~1700 |
| 砂 | 2.60 | — | 1450~1650 |
| 水泥 | 3.10 | — | 1200~1300 |
| 普通混凝土 | — | 2100~2600 | — |