

普通高等教育土木工程专业新形态教材

# 土木工程材料

(第2版)

宋高嵩 贾福根 林莉 主编  
李振国 刘红宇 于冰 副主编

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书共 10 章,主要介绍土木工程材料的基本知识、木材、墙体材料、钢材、石膏与石灰、水泥与砂浆、水泥混凝土、沥青及沥青混合料、装饰材料、土木工程材料技能训练等内容。

本书可作为普通高等学校土木工程专业的土木工程材料教科书,也可供港口与海岸工程、机场工程、农田水利工程、道路桥梁与渡河工程等专业师生学习与参考。

版权所有,侵权必究。举报: 010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

## 图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/宋高嵩,贾福根,林莉主编.—2 版.—北京:清华大学出版社,2023.8  
普通高等教育土木工程专业新形态教材  
ISBN 978-7-302-62959-7

I. ①土… II. ①宋… ②贾… ③林… III. ①土木工程—建筑材料—高等学校—教材  
IV. ①TU5

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 038521 号

责任编辑:秦 娜 赵从棉

封面设计:陈国熙

责任校对:薄军霞

责任印制:沈 露

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:010-83470000 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 装 者:三河市天利华印刷装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:19.75

字 数:477 千字

版 次:2016 年 2 月第 1 版 2023 年 8 月第 2 版

印 次:2023 年 8 月第 1 次印刷

定 价:59.80 元

产品编号:100176-01

# 前言

## PREFACE

本书是普通高等学校土木工程专业的土木工程材料课程教材,亦可作为港口与海岸工程、农田水利工程、机场工程、道路桥梁与渡河工程以及桥梁与隧道工程等专业的教材。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的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(规范),力求语言简练、图文并茂、重点突出(排版突出基本概念和知识重点),以满足专业规范设定的课程教学要求。

本书共 10 章,其中第 1 章主要介绍土木工程材料的组成与结构、材料的物理性质、材料的力学性质、材料的化学性质和耐久性等。从第 2 章开始,按照土木工程材料的认识规律,主要介绍木材,墙体材料中的砖、砌块、石材,钢材,石膏与石灰,水泥与砂浆,水泥混凝土的组成材料、主要技术性质和普通混凝土的配合比设计,沥青材料的基本组成和结构特点、工程性质及测定方法和沥青混合料的配合比设计,建筑塑料及其制品、建筑涂料、建筑胶黏剂、土工合成材料、建筑功能材料。第 10 章主要介绍土木工程材料技能训练,包括砂、石材料的检验(包括表观密度、堆积密度、颗粒级配,粗细程度及石子的最大粒径的测定,砂的细度模数、级配曲线的确定,含水量、含泥量的测定),钢筋试验,水泥试验,水泥混凝土试验,沥青试验,沥青混合料试验等。

本书按照《高等学校土木工程本科指导性专业规范》和“十四五”发展规划的要求进行编写,具有以下特点:①面对多数院校,紧扣培养目标,使用对象是非研究型大学的土木工程专业学生,侧重满足应用型人才需求,结合工程实际并使用最新规范;②第 1~9 章每章前有学习要点,提出本章的思政教育等内容;③第 1~9 章每章后有习题,书后附有答案。

本书由哈尔滨理工大学宋高嵩、贾福根、林莉主编,李振国、刘红宇、于冰任副主编。编写分工为:哈尔滨理工大学林莉编写第 1、2 章,李振国编写第 3、4 章,宋高嵩编写第 5、6、8 章;山西大学刘红宇编写第 7 章;哈尔滨石油学院于冰编写第 9 章;太原理工大学贾福根编写第 10 章。全书由宋高嵩统稿。

本书的特色是增加了思政教育的内容,以培养学生正确的人生价值观和爱国意识。另外,加强了土木工程材料对工程的影响以及处理对策的理论和知识,注重启发学生的独立思考和动手能力。

在本书的编写过程中得到许多同行教师的关心与支持,他们提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心感谢!限于编者水平,本书难免有欠妥和错误之处,恳请读者不吝指正。

编 者

2023 年 8 月

清华大学出版社



# 目 录

## CONTENTS

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 土木工程材料概述 .....        | 1  |
| 1.1 土木工程材料分类 .....          | 1  |
| 1.2 土木工程材料的组成 .....         | 3  |
| 1.3 土木工程材料的性质 .....         | 5  |
| 1.3.1 材料的密度、表观密度、堆积密度 ..... | 5  |
| 1.3.2 材料的密实度与孔隙率 .....      | 6  |
| 1.3.3 材料的填充率与空隙率 .....      | 7  |
| 1.3.4 材料与水有关的性质 .....       | 7  |
| 1.3.5 材料与热有关的性质 .....       | 10 |
| 1.3.6 材料与声学有关的性质 .....      | 13 |
| 1.3.7 材料的力学性质 .....         | 13 |
| 1.3.8 材料的化学性质和耐久性 .....     | 17 |
| 1.4 土木工程材料的学习要求 .....       | 17 |
| 习题 .....                    | 19 |
| 第 2 章 木材 .....              | 20 |
| 2.1 木材的分类与构造 .....          | 20 |
| 2.1.1 木材的分类 .....           | 20 |
| 2.1.2 木材的构造 .....           | 21 |
| 2.2 木材的性能 .....             | 22 |
| 2.3 木材的用途 .....             | 25 |
| 2.4 木材的储存 .....             | 27 |
| 2.4.1 木材的干燥 .....           | 27 |
| 2.4.2 木材的防腐 .....           | 28 |
| 2.4.3 木材的防火 .....           | 28 |
| 习题 .....                    | 29 |
| 第 3 章 墙体材料 .....            | 30 |
| 3.1 砖 .....                 | 30 |
| 3.1.1 砖的分类 .....            | 30 |

|       |                |    |
|-------|----------------|----|
| 3.1.2 | 烧结普通砖          | 31 |
| 3.1.3 | 烧结空心砖          | 33 |
| 3.1.4 | 烧结多孔砖          | 33 |
| 3.1.5 | 非烧结的蒸压灰砂砖      | 34 |
| 3.1.6 | 非烧结的蒸压粉煤灰砖     | 35 |
| 3.2   | 砌块             | 35 |
| 3.2.1 | 砌块的类型          | 36 |
| 3.2.2 | 蒸压加气混凝土砌块      | 36 |
| 3.2.3 | 普通混凝土小型砌块      | 38 |
| 3.2.4 | 轻集料混凝土小型空心砌块   | 38 |
| 3.3   | 石材             | 39 |
| 3.3.1 | 石材的类型          | 39 |
| 3.3.2 | 石材的性质          | 40 |
| 3.3.3 | 石材的规格尺寸        | 42 |
| 3.3.4 | 常用的岩浆岩类石材      | 43 |
| 3.3.5 | 常用的沉积岩类石材      | 44 |
| 3.3.6 | 常用的变质岩类石材      | 44 |
|       | 习题             | 45 |
| 第4章   | 钢材             | 46 |
| 4.1   | 钢材的分类          | 46 |
| 4.1.1 | 钢材按照冶炼方法分类     | 46 |
| 4.1.2 | 钢材按照化学成分分类     | 47 |
| 4.1.3 | 钢材按照冶炼时脱氧程度分类  | 47 |
| 4.1.4 | 钢材按照质量品质分类     | 48 |
| 4.1.5 | 钢材按照用途分类       | 48 |
| 4.2   | 钢材的性能          | 48 |
| 4.2.1 | 钢材的抗拉性能        | 48 |
| 4.2.2 | 钢材的冲击韧性        | 50 |
| 4.2.3 | 钢材的耐疲劳性能       | 51 |
| 4.2.4 | 钢材的冷弯性能        | 51 |
| 4.2.5 | 钢材的化学成分对其性能的影响 | 52 |
| 4.3   | 钢材的强化与防护       | 53 |
| 4.3.1 | 钢材的冷加工强化处理     | 53 |
| 4.3.2 | 钢材的时效处理        | 54 |
| 4.3.3 | 钢材的热处理         | 54 |
| 4.3.4 | 钢材的焊接处理        | 55 |
| 4.3.5 | 钢材的腐蚀          | 55 |
| 4.3.6 | 钢材的防护          | 56 |

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| 4.4 钢材的选用 .....              | 57        |
| 4.4.1 建筑钢材的主要钢种 .....        | 57        |
| 4.4.2 混凝土结构用钢 .....          | 59        |
| 4.4.3 钢结构用钢 .....            | 61        |
| 4.4.4 钢材的选用原则 .....          | 62        |
| 习题 .....                     | 62        |
| <b>第5章 石膏与石灰 .....</b>       | <b>64</b> |
| 5.1 建筑石膏 .....               | 64        |
| 5.1.1 石膏胶凝材料的生产 .....        | 65        |
| 5.1.2 建筑石膏的水化与硬化 .....       | 65        |
| 5.1.3 建筑石膏的技术性质与技术要求 .....   | 66        |
| 5.1.4 建筑石膏的应用 .....          | 67        |
| 5.2 石灰 .....                 | 68        |
| 5.2.1 石灰的生产及分类 .....         | 68        |
| 5.2.2 石灰的熟化与硬化 .....         | 68        |
| 5.2.3 石灰的技术性质与技术要求 .....     | 69        |
| 5.2.4 石灰的应用 .....            | 72        |
| 5.2.5 石灰的储存 .....            | 73        |
| 5.3 其他胶凝材料水玻璃 .....          | 73        |
| 5.3.1 水玻璃的组成 .....           | 73        |
| 5.3.2 水玻璃的硬化 .....           | 73        |
| 5.3.3 水玻璃的性质 .....           | 74        |
| 5.3.4 水玻璃的应用 .....           | 74        |
| 习题 .....                     | 75        |
| <b>第6章 水泥与砂浆 .....</b>       | <b>76</b> |
| 6.1 水泥的分类 .....              | 76        |
| 6.1.1 通用硅酸盐水泥的定义和类别 .....    | 76        |
| 6.1.2 通用硅酸盐水泥的水化、凝结和硬化 ..... | 78        |
| 6.1.3 水泥石的腐蚀与防腐 .....        | 82        |
| 6.2 水泥的特性 .....              | 85        |
| 6.2.1 通用硅酸盐水泥的性能与选用 .....    | 85        |
| 6.2.2 通用硅酸盐水泥的技术要求 .....     | 89        |
| 6.2.3 通用水泥的验收与储运 .....       | 93        |
| 6.2.4 特性水泥和专用水泥 .....        | 95        |
| 6.3 砂浆的组成与性质 .....           | 103       |
| 6.3.1 砂浆的组成材料 .....          | 103       |
| 6.3.2 砂浆的技术性质 .....          | 104       |

|       |                    |     |
|-------|--------------------|-----|
| 6.4   | 砌筑砂浆               | 106 |
| 6.4.1 | 砌筑砂浆的技术条件          | 106 |
| 6.4.2 | 砌筑砂浆配合比设计          | 107 |
| 6.5   | 抹面砂浆               | 111 |
| 6.5.1 | 普通抹面砂浆             | 111 |
| 6.5.2 | 防水砂浆               | 112 |
| 6.5.3 | 装饰砂浆               | 112 |
| 6.6   | 其他砂浆               | 114 |
|       | 习题                 | 116 |
| 第7章   | 水泥混凝土              | 119 |
| 7.1   | 水泥混凝土的分类与特点        | 119 |
| 7.2   | 水泥混凝土的组成材料要求       | 122 |
| 7.2.1 | 对水泥的要求             | 122 |
| 7.2.2 | 对骨料的要求             | 123 |
| 7.2.3 | 对水的要求              | 130 |
| 7.2.4 | 对矿物掺合料的要求          | 130 |
| 7.2.5 | 对外加剂的要求            | 134 |
| 7.3   | 水泥混凝土的性质           | 139 |
| 7.3.1 | 混凝土拌合物的和易性         | 139 |
| 7.3.2 | 混凝土的强度             | 145 |
| 7.3.3 | 混凝土的变形性能           | 154 |
| 7.3.4 | 混凝土的耐久性            | 157 |
| 7.4   | 水泥混凝土的质量评定         | 162 |
| 7.4.1 | 水泥混凝土质量的波动与控制      | 162 |
| 7.4.2 | 混凝土强度波动规律——正态分布    | 163 |
| 7.4.3 | 混凝土质量评定的数理统计方法     | 164 |
| 7.4.4 | 混凝土配制强度            | 165 |
| 7.4.5 | 混凝土强度的合格性判定        | 165 |
| 7.5   | 水泥混凝土的配合比设计        | 167 |
| 7.5.1 | 混凝土配合比设计的基本要求和主要参数 | 167 |
| 7.5.2 | 混凝土配合比设计的步骤        | 168 |
| 7.5.3 | 混凝土配合比设计实例         | 174 |
| 7.6   | 其他类型的混凝土           | 177 |
| 7.6.1 | 高性能混凝土             | 177 |
| 7.6.2 | 高强混凝土              | 179 |
| 7.6.3 | 轻混凝土               | 180 |
| 7.6.4 | 纤维混凝土              | 182 |
| 7.6.5 | 聚合物混凝土             | 182 |

|                       |            |
|-----------------------|------------|
| 习题                    | 183        |
| <b>第 8 章 沥青及沥青混合料</b> | <b>186</b> |
| 8.1 沥青的类型             | 186        |
| 8.1.1 石油沥青的组成和结构      | 186        |
| 8.1.2 沥青的掺配           | 188        |
| 8.1.3 其他沥青            | 189        |
| 8.2 石油沥青的性质           | 192        |
| 8.2.1 石油沥青的物理指标       | 192        |
| 8.2.2 黏滞性             | 193        |
| 8.2.3 塑性(延性)          | 194        |
| 8.2.4 温度敏感性(温度稳定性)    | 194        |
| 8.2.5 耐久性             | 197        |
| 8.2.6 黏附性             | 198        |
| 8.2.7 施工安全性           | 198        |
| 8.2.8 石油沥青的技术标准和选用    | 199        |
| 8.3 沥青混合料的类型          | 203        |
| 8.3.1 沥青混合料的分类        | 203        |
| 8.3.2 沥青混合料的组成结构      | 204        |
| 8.3.3 沥青混合料的强度理论      | 205        |
| 8.4 沥青混合料的性质          | 206        |
| 8.4.1 高温稳定性           | 207        |
| 8.4.2 低温抗裂性           | 207        |
| 8.4.3 耐久性             | 208        |
| 8.4.4 抗滑性             | 208        |
| 8.4.5 施工和易性           | 208        |
| 8.4.6 沥青混合料的技术标准      | 209        |
| 8.5 沥青混合料的配合比设计       | 210        |
| 8.5.1 沥青混合料组成材料的技术要求  | 210        |
| 8.5.2 沥青混合料配合比设计要求    | 213        |
| 习题                    | 219        |
| <b>第 9 章 装饰材料</b>     | <b>221</b> |
| 9.1 建筑塑料              | 221        |
| 9.1.1 合成高分子材料         | 221        |
| 9.1.2 建筑塑料及其制品        | 222        |
| 9.2 建筑涂料              | 227        |
| 9.3 建筑胶黏剂             | 229        |
| 9.4 土工合成材料            | 231        |

|        |                 |     |
|--------|-----------------|-----|
| 9.4.1  | 土工合成材料的类型       | 231 |
| 9.4.2  | 土工合成材料的作用       | 232 |
| 9.5    | 建筑功能材料          | 233 |
| 9.5.1  | 防水材料            | 233 |
| 9.5.2  | 防水涂料            | 236 |
| 9.5.3  | 建筑密封材料          | 237 |
| 9.5.4  | 建筑灌浆材料          | 237 |
| 9.5.5  | 建筑绝热材料          | 238 |
| 9.5.6  | 建筑防火材料          | 244 |
| 9.5.7  | 建筑吸声材料与隔声材料     | 245 |
| 9.6    | 建筑装饰材料          | 249 |
| 9.6.1  | 建筑装饰材料的基本要求及选用  | 250 |
| 9.6.2  | 建筑装饰材料分类        | 251 |
| 9.6.3  | 常用建筑装饰材料        | 251 |
|        | 习题              | 257 |
| 第10章   | 土木工程材料技能训练      | 259 |
| 10.1   | 砂、石材料的检验        | 259 |
| 10.1.1 | 取样方法及数量         | 259 |
| 10.1.2 | 砂、石的筛分析试验       | 260 |
| 10.1.3 | 砂、石的表观密度试验      | 262 |
| 10.1.4 | 砂、石的堆积密度试验      | 264 |
| 10.1.5 | 砂、石的含水率试验       | 266 |
| 10.2   | 钢筋试验            | 267 |
| 10.2.1 | 取样方法            | 267 |
| 10.2.2 | 拉伸试验            | 267 |
| 10.2.3 | 冷弯试验            | 269 |
| 10.3   | 水泥试验            | 270 |
| 10.3.1 | 一般规定            | 270 |
| 10.3.2 | 水泥的细度试验         | 270 |
| 10.3.3 | 水泥的标准稠度用水量试验    | 271 |
| 10.3.4 | 水泥的凝结时间试验       | 273 |
| 10.3.5 | 水泥的安定性试验        | 273 |
| 10.3.6 | 水泥胶砂强度试验        | 275 |
| 10.4   | 水泥混凝土试验         | 278 |
| 10.4.1 | 混凝土拌合物试样制备      | 278 |
| 10.4.2 | 拌合物稠度试验         | 279 |
| 10.4.3 | 拌合物表观密度试验       | 280 |
| 10.4.4 | 水泥混凝土的立方体抗压强度试验 | 281 |

|            |                        |     |
|------------|------------------------|-----|
| 10.4.5     | 水泥混凝土劈裂强度试验 .....      | 283 |
| 10.5       | 沥青试验 .....             | 284 |
| 10.5.1     | 针入度试验 .....            | 284 |
| 10.5.2     | 延度试验 .....             | 286 |
| 10.5.3     | 软化点测定 .....            | 287 |
| 10.6       | 沥青混合料试验 .....          | 288 |
| 10.6.1     | 沥青混合料试件制作方法(击实法) ..... | 289 |
| 10.6.2     | 沥青混合料物理指标测定 .....      | 291 |
| 10.6.3     | 沥青混合料马歇尔稳定度试验 .....    | 294 |
| 习题答案 ..... |                        | 297 |
| 参考文献 ..... |                        | 302 |

清华大学出版社





# 第1章

## 土木工程材料概述

**学习要点：**本章主要介绍土木工程材料的含义和分类，土木工程材料的物理性质、力学性质和耐久性等；难点是材料的组成对材料性质的影响。要求通过本章的学习，掌握土木工程材料基本性质的概念和参数的计算方法，了解材料的组成与性能之间的关系。

**不忘初心：**安得广厦千万间，大庇天下寒士俱欢颜。

**牢记使命：**九层之台，起于累土。

### 1.1 土木工程材料分类

土木工程材料可分为广义的土木工程材料和狭义的土木工程材料，广义的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：一是构成建筑物、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。狭义的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是指狭义的土木工程材料。

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、使用和管理部门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。

我国的土木工程及材料类标准按照发布部门来分有六大类：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；推荐性国家标准表示

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大学生也应对外国的相关技术标准有所了解,如世界范围统一使用的 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。

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,在提高工程质量的同时显著降低工程成本。因此,从土木建筑工程经济的角度来看,学好本课程也十分重要。

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,使得钢筋混凝土结构取代了过去的砖、石、土木结构,已占据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”是材料学科和土木工程学科的交叉学科,未来的土木工程材料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进行发展,从而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、高保温及具有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等。

(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负荷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、维护生态平衡和保护人类健康,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。材料的生产必须满足现代化和工业化,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。

土木工程材料种类繁多,可按不同方法分类。按照材料来源,可分为天然材料和人工材料;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。通常还按照以下方法进行分类。

### 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,按这种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。具体分类见表 1-1。

表 1-1 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<br>有色金属：铝、铜等及其合金等                                     |
|      | 非金属材料      | 天然石材：石板、碎石、砂等<br>烧结制品：陶瓷、砖、瓦等<br>玻璃及熔融制品：玻璃、玻璃棉、矿棉等<br>胶凝材料：石灰、石膏、水泥等 |
| 有机材料 | 植物质材料      | 木材、竹材、植物纤维及其制品等                                                       |
|      | 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                                                |

2. 按使用功能分类

土木工程材料按使用功能通常分为承重结构材料、非承重结构材料及功能材料三大类。

(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。

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不同,对材料性质的要求也就不同。例如,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所受的作用是复杂的。

1.2 土木工程材料的组成

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. 土木工程材料的化学组成

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。当材料与周围环境及外界各类物质相接触时,它们之间必然按化学规律发生作用。如水泥的化学组成(质量分数)为:CaO 62%~67%,SiO<sub>2</sub> 20%~24%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4%~7%,MgO<5%,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2.5%~6.0%;当水泥接触到酸、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. 土木工程材料的矿物组成

将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物质称为矿物。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. 土木工程材料的相组成

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,由于加工工艺的不同,温度和压力等条件的不同,可形成不同的相。材料中大多数是多相固体。由两相或两相以上物质组成的材料称为复合材料。复合材料的性质与其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。

### 4. 土木工程材料的体积组成

绝大多数土木工程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,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,将材料孔隙分为大孔隙、毛细孔隙和纳米孔隙。

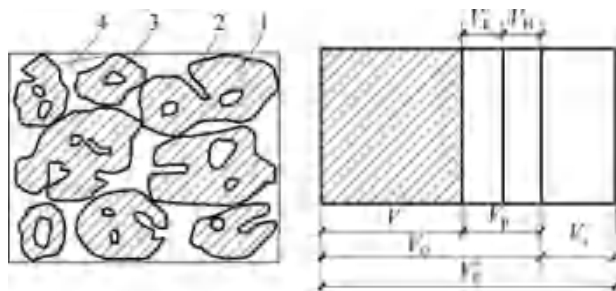
材料中孔隙的多少和孔隙特征对材料性质影响很大。当材料的孔隙为开口孔隙,孔隙较大时,水分和溶液易于渗入,但不容易被充满;纳米孔隙中水分和溶液易于渗入,但不容易在其中流动;毛细孔隙则介于两者之间,水分和溶液既容易渗入,孔隙又易于被充满,故对材料的抗渗性、抗冻性和抗侵蚀性等都有不利影响。当材料的孔隙为闭口孔隙时,水分和溶液不容易渗入,故对材料的抗渗性、抗冻性和抗侵蚀性等无不利影响,反而具有改善材料保温性和耐久性等作用。

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,有  $V_p = V_k + V_B$ 。

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,  $V_0 = V + V_p$ 。

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,有  $V'_0 = V_0 + V_s = V + V_p + V_s$ 。

材料的体积组成如图 1-1 所示。



1—固体物质; 2—开口孔隙; 3—闭口孔隙; 4—颗粒间的空隙。

图 1-1 材料的体积组成示意图

## 1.3 土木工程材料的性质

### 1.3.1 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,按式(1-1)计算:

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

式中,  $\rho$ ——材料的密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;

$m$ ——材料在干燥状态下的质量,  $\text{g}$ ;

$V$ ——干燥材料在绝对密实状态下的体积,  $\text{cm}^3$ 。

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,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,按式(1-2)计算:

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

式中,  $\rho_0$ ——材料的表观密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$m$ ——材料的质量,  $\text{g}$  或  $\text{kg}$ ;

$V_0$ ——材料在自然状态下的体积,或称表观体积,  $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ 。

材料的表观体积是指包括内部孔隙的外观体积。对于外形规则材料的体积,可通过直接测量尺寸后计算求得;对于外形不规则材料的体积,采用排水法测定,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,则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,按式(1-3)计算:

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

式中,  $\rho'_0$ ——材料的堆积密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$m$ ——材料的质量,  $\text{kg}$ ;

$V'_0$ ——材料的堆积体积,  $\text{m}^3$ 。

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

积既包括材料颗粒内部的孔隙,也包括颗粒之间的空隙,除了颗粒内孔隙的多少及其含水量多少外,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。

材料的堆积状态不同,同一材料表现的体积大小可能不同,松散堆积状态下的体积较大,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 1-2。

表 1-2 建筑常用材料的密度、表观密度、堆积密度

| 材料名称    | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 表观密度/(kg·m <sup>-3</sup> ) | 堆积密度/(kg·m <sup>-3</sup> ) |
|---------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 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                  | —                          |
| 普通黏土砖   | 2.50                     | 1600~1800                  | —                          |
| 空心黏土砖   | 2.50                     | 1000~1400                  | —                          |
| 钢材      | 7.85                     | 7850                       | —                          |
| 木材      | 1.55                     | 400~800                    | —                          |
| 泡沫塑料    | —                        | 20~50                      | —                          |
| 玻璃      | 2.55                     | 2560                       | —                          |
| 炉渣      | —                        | —                          | 850                        |
| 页岩陶粒    | —                        | —                          | 300~900                    |

### 1.3.2 材料的密实度与孔隙率

#### 1. 密实度

密实度是指材料体积被固体物质所充实的程度,用符号  $D$  表示,按式(1-4)计算:

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

#### 2. 孔隙率

孔隙率是指材料中孔隙体积占整个体积的百分率,用符号  $P$  表示,按式(1-5)计算:

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

孔隙率与密实度是相对应的概念,对于材料性质的影响正好与密实度的影响相反。有

$$P + D = 1$$

材料孔隙率的大小直接反映了材料的密实程度。孔隙率越大,材料的表观密度和强度越小,耐磨性、抗冻性、抗渗性、耐腐蚀性、耐水性等耐久性越差,而保温性、吸声性、吸水性与吸湿性越强。材料的性质不仅与材料的孔隙率大小有关,还与孔隙特征(如开口孔隙、闭口孔隙、孔隙尺寸的大小和在材料内部的分布均匀程度等)有关。

### 1.3.3 材料的填充率与空隙率

对于松散颗粒状态材料,如砂、碎石等,可用填充率和空隙率表示其互相填充的疏松致密的程度。

#### 1. 填充率

填充率是指散粒状材料在堆积体积内被颗粒所填充的程度,用符号  $D'$  表示,按式(1-6)计算:

$$D' = \frac{V_0}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

#### 2. 空隙率

空隙率是指散粒状材料在堆积体积中,颗粒之间空隙体积所占总体积的百分率,用符号  $P'$  表示,按式(1-7)计算:

$$P' = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{V_0}{V'_0}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\% = (1 - D') \times 100\% \quad (1-7)$$

空隙率与填充率的关系为

$$P' + D' = 1$$

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。配制混凝土时,砂和石子的空隙率可作为控制混凝土骨料级配与计算砂率时的重要依据。

### 1.3.4 材料与水有关的性质

#### 1. 材料的亲水性与憎水性

材料与水接触时,有些材料易被水润湿,即具有亲水性;有些材料则不能被水润湿,即具有憎水性。

当材料与水接触时,在材料、水、空气三相的交点处,沿水滴表面的切线与水和固体接触面所成的夹角  $\theta$  称为“润湿角”,如图 1-2 所示。当润湿角  $\theta \leq 90^\circ$  时,水分子之间的内聚力小于水分子与材料分子间的相互吸引力,材料称为亲水性材料[图 1-2(a)];当润湿角  $\theta > 90^\circ$  时,水分子之间的内聚力大于水分子与材料分子间的相互吸引力,材料称为憎水性材料[图 1-2(b)]。水在亲水性材料表面可以铺展开,且能通过毛细管作用自动将水吸入材料内部;水在憎水性材料表面不仅不能铺展开,而且水分不能渗入材料的毛细管中。

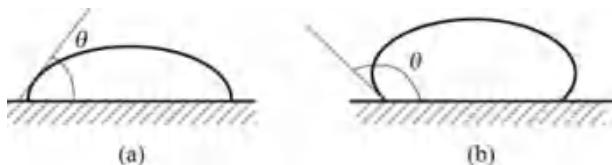


图 1-2 材料润湿示意图

(a) 亲水性材料; (b) 憎水性材料



土木工程材料中砂、石、混凝土、砖、木材等为亲水性材料,沥青、塑料、油漆等为憎水性材料。

## 2. 材料的吸水性与吸湿性

### 1) 吸水性

材料与水接触吸收水分的性质称为材料的吸水性,吸水性的大小用吸水率表示。材料吸水率有质量吸水率和体积吸水率两种表示方法。

#### (1) 质量吸水率

质量吸水率是指材料在吸水饱和时,所吸收水分的质量占材料干燥时质量的百分率,用式(1-8)表示:

$$W_m = \frac{m_b - m_g}{m_g} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中,  $W_m$ ——材料的质量吸水率, %;

$m_b$ ——材料在吸水饱和状态下的质量, g;

$m_g$ ——材料在干燥状态下的质量, g。

#### (2) 体积吸水率

体积吸水率是指材料在吸水饱和时,所吸收水分的体积占材料干燥体积的百分率,用式(1-9)表示:

$$W_v = \frac{m_b - m_g}{V_0} \cdot \frac{1}{\rho_w} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中,  $W_v$ ——材料的体积吸水率, %;

$V_0$ ——材料在自然状态下的体积,  $\text{cm}^3$ ;

$\rho_w$ ——水的密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。

材料的质量吸水率与体积吸水率之间的关系为

$$W_v = W_m \rho_0 \cdot \frac{1}{\rho_w}$$

式中,  $\rho_0$  为材料在干燥状态下的表观密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。

材料吸水率的大小主要与材料的孔隙率及孔隙特征有关。材料吸收水分是通过开口孔隙吸入,并经过连通孔渗入内部的。如果材料具有细微连通的孔隙,孔隙率越大,则吸水率越大;若是封闭的孔隙,则水分不易渗入;若是开口大孔,水分虽然容易渗入,但水分不易在孔内存留,只能润湿孔壁,因此吸水率较低。

### 2) 吸湿性

材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性。吸湿性的大小用含水率表示。含水率是指材料所含水的质量与材料干燥时质量的百分比,用式(1-10)表示:

$$W_h = \frac{m_s - m_g}{m_g} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中,  $W_h$ ——材料的含水率, %;

$m_s$ ——材料在含水状态下的质量, g;

$m_g$ ——材料在干燥状态下的质量, g。

材料的吸湿性随着空气湿度大小而变化,干燥的材料处在较潮湿的空气中会吸收空气



中的水分,而潮湿的材料处在干燥的空气中会向空气中释放水分,最后与空气湿度达到平衡。材料与空气湿度达到平衡时的含水率称为平衡含水率。材料在正常使用状态下,均处于平衡含水率状态。

材料的吸湿性主要与材料的组成、孔隙率和孔隙特征有关,还与周围环境温湿度有关。材料吸湿除了增加本身的质量外,还会降低其保温性能、强度及耐久性,造成体积的增减和变形,对工程会产生不利的影响。

### 3. 材料的耐水性

材料的耐水性是指材料长期在水作用下不被破坏,保持其原有功能的能力。材料的耐水性包括水对材料的力学性质、光学性质、装饰性质等方面产生的破坏作用。耐水性与材料的亲水性、可溶性、孔隙率和孔特征等因素有关。

材料的耐水性用软化系数  $K_R$  表示。材料软化系数是指材料在吸水饱和状态下的抗压强度与材料在干燥状态下的抗压强度之比。软化系数用式(1-11)表示:

$$K_R = \frac{f_b}{f_g} \quad (1-11)$$

式中,  $K_R$ ——材料的软化系数,其值为  $0 \sim 1$ ;

$f_b$ ——材料饱水状态下的抗压强度,MPa;

$f_g$ ——材料干燥状态下的抗压强度,MPa。

软化系数反映了材料饱水后强度降低的程度,是材料吸水后性质变化的重要特征之一。一般材料在吸水(或吸湿)后,即使未达到饱和状态,其强度及其他性质也会有明显的变化,其原因是材料吸水后会削弱微粒间的结合力,导致强度不同程度地降低。当材料内含有可溶性物质(如石膏、石灰等)时,吸入的水还可能溶解部分物质,造成强度严重降低。

软化系数小的材料耐水性差,其使用受到周围环境的限制。工程中通常将  $K_R$  大于 0.85 的材料称为耐水性材料,可用于水中或潮湿环境中的重要结构。用于受潮较轻或次要结构时,材料的  $K_R$  值也不得小于 0.75。

### 4. 材料的抗渗性

材料的抗渗性是指材料抵抗压力水渗透的性质。材料的抗渗性用渗透系数( $K$ )和抗渗等级( $P_n$ )表示。渗透系数用式(1-12)表示:

$$K = \frac{Qd}{AtH} \quad (1-12)$$

式中,  $K$ ——材料的渗透系数,cm/h;

$Q$ ——渗水量,cm<sup>3</sup>;

$d$ ——试件厚度,cm;

$A$ ——渗水面积,cm<sup>2</sup>;

$t$ ——渗水时间,h;

$H$ ——静水压力水头,cm。

材料的渗透系数是指在一定时间内,在一定的水压作用下,单位厚度的材料单位截面积上的透水量。材料的渗透系数越小,抗渗能力越好。

材料的抗渗性可用渗水高度法和逐级加压法测算。混凝土和砂浆的抗渗性常用抗渗等级  $P_n$  表示。材料的抗渗等级是指材料用标准方法进行透水试验时,规定的试件在透水前所能承受的最大水压力(以 0.1 MPa 为单位)。如混凝土的抗渗等级为  $P_4$ 、 $P_6$ 、 $P_8$ ,表示它们分别能够承受 0.4 MPa、0.6 MPa、0.8 MPa 的水压而不渗水。材料的抗渗等级越高,其抗渗性越强。

材料抗渗性的好坏与材料的孔隙率、孔特征、裂缝等因素有关。材料内部开口孔、连通孔是渗水的主要通道,具有这些孔的材料抗渗性较差;封闭孔隙且孔隙率小的材料,其抗渗性好。因此,在工程中一般采取对材料进行憎水处理、减少孔隙率、改善孔特征(减少开口孔和连通孔)等措施,防止产生裂缝及其他缺陷等以增强抗渗性。

### 5. 材料的抗冻性

材料在吸水后,如果在负温下受冻,材料内部毛细孔中的水结冰,体积膨胀约 9%,对孔壁产生很大的冰晶压应力,使孔壁被胀裂,材料遭到局部破坏。当温度回升到冰被融化时,不仅毛细孔会充满水,而且被冻胀的裂缝中可能渗入水分;当再次受冻结冰时,材料会受到更大的冻胀并出现裂缝扩张。如此反复冻融循环,最终导致材料破坏。

抗冻性是指材料在吸水饱和状态下,经多次冻融循环保持其原有性质,抵抗破坏的能力。混凝土的抗冻性用抗冻等级  $F_n$  或抗冻标号  $D_n$  表示。如  $F_{25}$  表示能经受 25 次冻融循环,试件的相对动弹性模量下降至  $\leq 60\%$ ,质量损失不超过 5%;  $D_{25}$  表示能经受 25 次冻融循环,试件的强度损失  $\leq 25\%$ ,质量损失不超过 5%。

材料的抗冻性与其强度、孔隙率、孔特征、吸水性等因素有关。材料的强度越高,抗冻性越好;材料的孔隙率和开口孔率越大,则材料的抗冻性越差。对于受冻融循环的材料而言,吸水饱和状态是最不利的状态。

## 1.3.5 材料与热有关的性质

### 1. 导热性

当材料的两侧存在温差时,热量由温度高的一侧通过材料传递到温度低的一侧,材料的这种传递热量的能力称为导热性。

材料导热能力的大小可用导热系数( $\lambda$ )表示,导热系数用式(1-13)表示:

$$\lambda = \frac{Q\delta}{At(T_2 - T_1)} \quad (1-13)$$

式中, $\lambda$ ——材料的导热系数, $W/(m \cdot K)$ ;

$Q$ ——传导的热量,J;

$\delta$ ——材料厚度,m;

$A$ ——材料的传热面积, $m^2$ ;

$t$ ——传热的时间,s;

$T_2 - T_1$ ——材料两侧的温度差,K。

材料的导热系数越大,表示导热性越好;反之,导热性能差。各种材料的导热系数差别很大,工程上通常把  $\lambda < 0.23 W/(m \cdot K)$  的材料作为保温隔热材料。

材料导热系数的大小与材料的物质组成、微观结构、孔隙率、孔隙特征、热流方向、含水率等有关。材料的表观密度小、孔隙率大、闭口孔多、孔分布均匀、孔尺寸小、含水率小时导热性差,则绝热性能好。一般工程材料的导热系数是指干燥状态下的导热系数;当材料吸水或受潮时,导热系数会显著增大,绝热性能变差。

## 2. 热容量与比热容

热容量是指材料受热时吸收热量或冷却时放出热量的能力,热容量( $Q$ )用式(1-14)表示:

$$Q = Cm(T_2 - T_1) \quad (1-14)$$

式中, $Q$ ——材料的热容量,J;

$C$ ——材料的比热容,J/(g·K);

$m$ ——材料的质量,g;

$T_2 - T_1$ ——材料受热或冷却前后的温度差,K。

比热容是指质量为1 g的材料,在温度每改变1 K时所吸收或放出热量的大小。材料的比热容( $C$ )值大小与其组成和结构有关,工程材料中水的比热容最大。通常所说材料的比热容值是指其干燥状态下的比热容值,它是可真正反映不同材料热容性差别的参数,用式(1-15)表示:

$$C = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)} \quad (1-15)$$

材料的导热系数和热容量是设计建筑物围护结构(屋盖、墙体)进行热工计算时的重要参数。设计时应选择导热系数小而热容量较大的材料,有利于保持建筑物室内温度的稳定。常用的土木工程材料的热工性质指标见表1-3。

表 1-3 几种常见建筑材料的热工参数

| 材料名称  | 导热系数/[W·(m·K) <sup>-1</sup> ] | 比热容/[J·(g·K) <sup>-1</sup> ] |
|-------|-------------------------------|------------------------------|
| 钢材    | 58                            | 0.47                         |
| 普通混凝土 | 1.6                           | 0.88                         |
| 松木    | 0.17~0.35                     | 2.51                         |
| 花岗岩   | 3.49                          | 0.92                         |
| 烧结普通砖 | 0.65                          | 0.85                         |
| 水     | 0.58                          | 4.19                         |
| 冰     | 2.20                          | 2.05                         |
| 空气    | 0.023                         | 1.00                         |
| 泡沫塑料  | 0.03                          | 1.30                         |

## 3. 温度变形性

材料的温度变形是指温度升高或降低时材料的体积变化。多数材料在温度升高时体积膨胀,温度下降时体积收缩。温度变形在单向尺寸上的变化为线膨胀或线收缩,温度变形性一般用线膨胀系数( $\alpha$ )表示,用式(1-16)表示:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L(T_2 - T_1)} \quad (1-16)$$

式中,  $\alpha$ ——材料在常温下的平均线膨胀系数,  $1/K$ ;

$\Delta L$ ——线膨胀或线收缩量, mm 或 cm;

$T_2 - T_1$ ——材料升(降)温前后的温度差,  $K$ ;

$L$ ——材料原来的长度, mm 或 cm。

土木工程材料的线膨胀系数一般比较小,但由于工程结构的尺寸较大,温度变形对结构和工程质量影响很大,工程上采用预留伸缩缝等办法解决温度变形问题。钢筋和混凝土的线膨胀系数基本相同,工程结构构件常用钢筋混凝土复合材料。

#### 4. 耐燃性与耐火性

##### 1) 耐燃性

材料的耐燃性是指材料抵抗燃烧的性质。耐燃性是影响建筑物防火和耐火等级的重要因素。《建筑内部装修防火设计规范》(GB 50222—2017)、《建筑材料及制品燃烧性能分级》(GB 8624—2012)按材料的燃料性质不同将其分为四级。

(1) 不燃材料(A级): 在空气中遇到火烧或高温作用时不起火、不燃烧、不碳化的材料,如钢铁、砖、石、混凝土、玻璃等。

(2) 难燃材料(B1级): 在空气中遇到火烧或高温高热作用时难起火、难燃烧、难碳化,只有在火源持续存在时才能继续燃烧,当火源移走后,已有的燃烧或微燃立即停止的材料。如经防火处理的木材、硬PVC塑料板等。

(3) 可燃材料(B2级): 在空气中遇到火烧或高温高热作用时立即起火或微燃,且火源移走后仍继续燃烧的材料,如木材、胶合板等。

(4) 易燃材料(B3级): 在空气中遇到火烧或高温作用时立即起火,并迅速燃烧,且离开火源后仍继续迅速燃烧的材料,如油漆、纤维织物等。

材料在燃烧时放出的烟气和毒气对人体会产生极大危害,其危害性远超过火灾本身。因此,在建筑室内装修时,应尽量避免使用燃烧时放出大量浓烟和有毒气体的装饰材料。GB 50222—2017 规范中对用于建筑物内部各部位的建筑装饰材料的燃烧等级做了严格的规定。

另外,规定在下列建筑或部位室内装修宜采用非燃烧材料或难燃材料:

- (1) 高级宾馆的客房及公共活动用房;
- (2) 演播室、录音室及电化教室;
- (3) 大型、中型电子计算机房。

##### 2) 耐火性

耐火性是指材料抵抗高热或火的作用,保持其原有性质的能力,用耐火度表示。钢铁、铝、玻璃等材料受到火烧或高热作用会发生变形、熔融,它们是非燃烧材料,但不是耐火的材料。建筑材料或构件的耐火极限通常用时间来表示,即按规定方法,从材料受到火的作用时起,直到材料失去支持能力、完整性被破坏或失去隔火作用的时间,以 h 或 min 计。如无保护层的钢柱,其耐火极限仅有 0.25 h。

根据耐火度的不同,将材料分为耐火材料、难熔材料和易熔材料。耐火材料的耐火度在  $1580\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上,如各类耐火砖;难熔材料的耐火度为  $1350\sim 1580\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,如难熔黏土砖;易熔材料的耐火度在  $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下,如普通黏土砖。

### 1.3.6 材料与声学有关的性质

#### 1. 吸声性

吸声性是指声能穿透材料和被材料消耗的性质,用吸声系数表示。吸声系数是指材料吸收的声能与声波原先传递给材料的全部入射声能的百分比。吸声系数( $\alpha$ )用式(1-17)表示:

$$\alpha = \frac{E}{E_0} \times 100\% \quad (1-17)$$

式中, $\alpha$ ——材料的吸声系数;

$E_0$ ——传递给材料的全部入射声能;

$E$ ——被材料吸收(包括透过)的声能。

当声波传播到材料表面时,一部分声波被反射,另一部分声波穿透材料,而其余部分则在材料内部的孔隙中引起空气分子与孔壁的摩擦和黏滞阻力,使相当一部分声能转化为热能而被吸收。

材料的吸声性能除与材料的表观密度、孔隙特征、厚度及表面的条件有关外,还与声波的入射角及频率有关。材料内部开口连通的细小孔隙越多,则吸声性能越好;增加多孔材料的厚度,可提高对低频声音的吸收效果。同一种材料,不同频率的声波,吸声系数不同;规定取 125、250、500、1000、2000、4000 Hz 六个频率的平均吸声系数来表示材料吸声的频率特性,材料的平均吸声系数 $\geq 0.2$ 的材料称为吸声材料。

影剧院、大会议室、播音室等建筑物,需要保持良好的音响效果和减少噪声的危害,因此在内部装饰时,应使用适当的吸声材料。

#### 2. 隔声性

隔声性是指材料能减弱或隔断声波传递的性质。声波在建筑结构中的传播主要通过空气和固体来实现,分为隔空气声和隔固体声。

##### 1) 隔空气声

根据声学中的“质量定律”,材料的隔声量与其表观密度(或单位面积的质量)的对数成正比。因此,增加材料的厚度或密度,则材料的隔声效果好;轻质材料的质量较小,隔声性较密实材料差。

##### 2) 隔固体声

固体声是由于振源撞击固体材料,引起固体材料受迫振动而发声,并向四周辐射声能。由于固体声在传播过程中,声波传播的阻尼较小,在建筑结构和管道中可传播很远,因此,对固体声隔绝的最有效措施是隔断其声波传递的途径,选择有弹性的衬垫材料,如将软木、橡胶、毛毡等置于能产生和传递固体声波的结构层中或表面,能阻止或减弱固体声波的继续传播。

### 1.3.7 材料的力学性质

材料的力学性质是指材料在外力作用下抵抗破坏的能力和变形的性质,包括材料的强

度和比强度、弹性和塑性、脆性和韧性、硬度和耐磨性等。

## 1. 强度

材料的强度是指材料在外力作用下抵抗破坏的能力。当材料受外力作用时,内部就会产生应力,随着外力增加,应力相应增大,直至材料内部质点间结合力不足以抵抗所作用的外力时,材料即发生破坏,此时的应力值就是材料的强度,也称极限强度。

根据外力作用方式的不同,材料的强度分为抗压强度、抗拉强度、抗剪强度、抗弯(折)强度等,如图 1-3 所示。

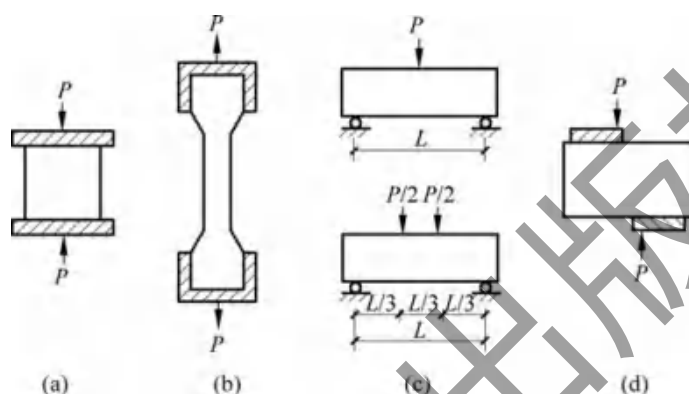


图 1-3 材料受力示意图

(a) 抗压; (b) 抗拉; (c) 单、双荷载抗弯; (d) 抗剪

(1) 材料的抗压[图 1-3(a)]、抗拉[图 1-3(b)]及抗剪[图 1-3(d)]强度按下式计算:

$$f = \frac{F}{A} \quad (1-18)$$

式中,  $f$ ——抗压、抗拉、抗剪强度, MPa;

$F$ ——材料受压、拉、剪破坏时的荷载, N;

$A$ ——材料受力面积,  $\text{mm}^2$ 。

(2) 材料的抗弯(折)强度与受力情况有关。当外力是作用于构件中央一点的集中荷载, 构件有两个支点[图 1-3(c)], 材料截面为矩形时, 其抗弯(折)强度按下式计算:

$$f_m = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (1-19)$$

式中,  $f_m$ ——材料的抗弯(折)强度, MPa;

$F$ ——受弯时的破坏荷载, N;

$L$ ——两支点间距, mm;

$b$ 、 $h$ ——试件截面宽度、高度, mm。

抗弯强度试验, 还可以采用在支点的三分点上作用两个相等的集中荷载[图 1-3(c)], 其抗弯(折)强度按下式计算:

$$f_m = \frac{FL}{bh^2} \quad (1-20)$$

材料的强度大小与其组成及结构有关。材料的组成、结构特征、孔隙率、试件形状、尺寸、表面状态、含水率、温度及试验时的加荷速度等对材料的强度都有影响。



相同种类的材料,其孔隙率及构造特征不同,强度也不同;孔隙率越大的材料,其强度越低。

由于组成、结构不同,不同材料的强度差异很大,各个方向的性质也不同,因而其评价指标和应用范围不同。砖、石材、混凝土和铸铁等材料的抗压强度较高(评价指标主要为抗压强度),但抗拉强度及抗弯强度较低,多用于结构的承压部位,如基础、墙、柱等;钢材的抗拉、抗压强度都很高,其强度评价指标主要为抗拉强度,适用于承受各种外力作用的结构;木材的顺纹抗拉和抗压强度均较高,但横纹抗拉和抗压强度较低。

土木工程材料通常按其强度值大小划分为若干不同的等级,这对材料生产、合理选用材料,正确进行设计和控制工程质量是非常重要的。

2. 比强度

承重的结构材料除了承受外荷载力,还需要承受自身重力。因此,不同强度材料的比较,可采用比强度指标。比强度是指单位体积质量的材料强度,它等于材料的强度与其表观密度之比,是评价材料轻质高强性能的指标。比强度越大,则材料的轻质高强性能越好。常用材料的强度与比强度见表 1-4。在高层建筑及大跨度结构工程中常采用比强度较高的材料。

表 1-4 常用材料的强度与比强度

| 材 料   | 抗压强度/MPa | 抗拉强度/MPa | 抗弯强度/MPa | 比强度/(N·m·kg <sup>-1</sup> ) |
|-------|----------|----------|----------|-----------------------------|
| 花岗岩   | 100~250  | 5~8      | 10~14    | 0.069(抗压)                   |
| 烧结普通砖 | 10~30    | —        | 2.6~5.0  | 0.006(抗压)                   |
| 混凝土   | 10~100   | 1~8      | 3.0~10.0 | 0.017(抗压)                   |
| 松木    | 30~50    | 80~120   | 60~100   | 0.200(抗压)                   |
| 钢材    | 240~1500 | 240~1500 | —        | 0.054                       |

3. 弹性

材料在外力作用下产生变形,当外力取消后能完全恢复原来形状和大小的性质称为弹性。这种可恢复的变形称为弹性变形。弹性变形的大小与其所受外力的大小成正比,其比例系数对某种理想的弹性材料来说为常数,这个常数被称为该材料的弹性模量,可按下式计算:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \tag{1-21}$$

式中,  $E$ ——材料的弹性模量,MPa;  
 $\sigma$ ——材料受到荷载作用时产生的应力,MPa;  
 $\epsilon$ ——材料受到荷载作用时产生的应变。

材料的弹性模量越大,抵抗变形的能力越强,表明材料的刚度越好。弹性模量是结构设计和变形验算的重要参数。

4. 塑性

材料在外力作用下产生变形,当外力取消后不能完全恢复到原来形状和大小的性质称为塑性。这种不可恢复的变形称为塑性变形。

工程实际中,完全的弹性材料或完全的塑性材料是不存在的,大多数材料的力学变形既有弹性变形,也有塑性变形(图 1-4)。有的材料在受力不大的情况下表现为弹性变形,当外力超过一定限度时则表现为塑性变形,如钢材;有的材料在受力作用后,弹性变形与塑性变形同时产生,如取消外力,弹性变形可以恢复,而塑性变形则不能恢复,如混凝土。

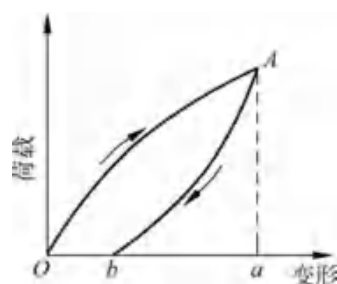


图 1-4 弹塑性材料的变形曲线

## 5. 脆性

材料在外力作用下,无明显的塑性变形而突然破坏的性质称为脆性。具有这种性质的材料为脆性材料。脆性材料的抗压强度远高于抗拉强度,其变形能力小,抵抗振动或冲击荷载的能力差,会使结构发生突然性破坏,只适用于承受静压力的结构构件和不变形的部位。石材、混凝土、砂浆、砖、玻璃及陶瓷等都属于脆性材料。

## 6. 韧性

材料在冲击或振动荷载作用下,能吸收较大能量,同时产生较大变形而不突然破坏的性质称为韧性。具有这种性质的材料为韧性材料。韧性材料的主要特点是塑性变形大,抗拉强度与抗压强度相差不大。材料的韧性用冲击试验来检验。钢材、木材、塑料、橡胶等属于韧性材料,适用于承受动力荷载的桥梁、吊车梁及有抗震要求的结构构件。

## 7. 硬度

硬度是指材料表面抵抗其他物质压入或刻划的能力。工程中测定材料的硬度有多种方法,不同的材料可选用不同的方法。对金属、木材等材料的硬度用压入法测定。如洛氏硬度是以金刚石圆锥或圆球的压痕深度计算求得;布氏硬度是以单位压痕面积上所受的压力来表示。天然矿物材料的硬度可采用摩氏硬度表示,它是以两种矿物相互对刻的方法确定矿物的相对硬度,由软到硬依次为滑石、石膏、方解石、萤石、磷灰石、正长石、石英、黄玉、刚玉、金刚石。工程中有时用硬度来间接推算材料的强度,如用回弹法测定混凝土表面硬度,间接推算混凝土强度。

## 8. 耐磨性

材料的耐磨性是指材料表面抵抗磨损的能力。材料的耐磨性可用磨损率( $B$ )表示,按下式计算:

$$B = \frac{m_1 - m_2}{A} \quad (1-22)$$

式中, $B$ ——材料的磨损率, $\text{g}/\text{cm}^2$ ;

$m_1$ 、 $m_2$ ——材料磨损前、后的质量损失, $\text{g}$ ;

$A$ ——材料试件受磨面积, $\text{cm}^2$ 。

材料的磨损率  $B$  值越小,表明材料的耐磨性越好;反之则越差。材料的耐磨性与材料的组成、结构、强度、硬度、密实度、孔隙率和孔特征等因素有关。一般情况下,强度越高且密



实的材料,其硬度越大,耐磨性较好。

在土木工程中有些部位经常要受到磨损,如道路路面、机场路面、地面、楼梯踏步等,这些部位的材料应具有较高的硬度和耐磨性。

### 1.3.8 材料的化学性质和耐久性

#### 1. 化学性质

材料的化学性质是指材料抵抗各种周围环境对其产生化学作用的性能。

大多数材料是利用化学性质进行生产、施工和使用的,其性质与化学组成及结构有关。如钢筋和水泥是利用化学反应而生产的;在施工过程中,钢筋的化学除锈、水泥的凝结硬化、石灰的碳化等是利用化学反应使其达到材料的基本性能;材料在使用过程中,受到酸、碱、盐及水溶液、各种腐蚀性气体的化学腐蚀作用或氧化作用,材料组成或结构发生变化,逐渐变质影响其使用功能,甚至造成工程结构的破坏,如钢材的电化学腐蚀、水泥混凝土的酸腐蚀、沥青材料的老化等。因此,材料在各种环境中应具备良好的化学性质,如遇到腐蚀性的介质,可利用化学性质改善材料的性能,如在材料表面刷漆,配制耐酸混凝土、高强混凝土等。

#### 2. 耐久性

耐久性是指材料在长期使用的过程中,能抵抗周围环境因素的破坏作用,保持其原有性能不变,不被破坏的能力。

材料在长期的使用过程中,除要承受各种外力作用外,还经常受到周围环境中各种自然因素的破坏作用。这些作用可分为物理、化学和生物作用。

物理作用有温度变化、干湿交替和冻融循环等,这些变化会使材料的体积产生收缩或膨胀,或导致材料内部裂缝的扩展,长期作用后会导致材料产生破坏。如混凝土的抗渗性、抗冻性。

化学作用是指材料受到酸、碱、盐等物质或有害气体的侵蚀作用,使材料的组成成分发生质的变化,从而引起材料的破坏。如钢材的锈蚀、水泥石的腐蚀、沥青的老化等。

生物作用是指材料受到虫、菌的蛀蚀、溶蚀而破坏。如木材等一类的有机质材料。

材料在长期使用过程中的破坏是多方面因素共同作用的结果,因此,耐久性是材料的一项综合性质,它包括材料的抗渗性、抗冻性、抗化学侵蚀性、抗碳化性、大气稳定性和耐磨性等性能。

影响材料耐久性的主要因素有材料的组成与结构、强度、孔隙率及孔特征、表面状态等。为提高材料的耐久性,可根据材料的特点和使用条件采取相应的措施。例如,根据所使用的环境,选择耐久性好的材料;提高材料的密实度,降低材料的孔隙率,改善材料的孔结构;采用其他防腐材料覆盖、涂刷在材料表面,增强抵抗环境作用的能力。

## 1.4 土木工程材料的学习要求

#### 1. 学习目的

本课程是土木建筑类专业的专业技术基础课,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,也是本门课程的另一重要目的。

## 2. 学习方法

不同课程有不同的特点、不同的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;再次是通过对材料性质的大量试验得到的试验数据总结。通过对以上三个方面知识的总结,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。本门课程第2~9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、检验以及运输、储存、维修和经济效益等)。

本课程的学习需以材料组成、结构、性能与应用为主线,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掌握土木工程材料的性能及其应用。但不可满足于笼统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,从而更好地应用各种材料。要注意采用辩证法、系统论等科学方法,才能更好地掌握以上内容。

采用对比也是学好本门课程的有效方法,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,对身边的在建和已建成工程多观察、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。学习本课程还须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,通过试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,更重要的是可以培养学生严谨求实的科学态度,提高综合素质,为日后从事科技工作打下基础。

在学习完每一章后,对习题亦应认真作答,并可对照所附参考答案。这些习题大多源自