



高等学校“十一五”规划教材

# 土木工程材料

Tumu Gongcheng Cailiao

张俊才 董梦臣 高均昭 编著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

TU5/81=2

2009

高等学校“十一五”规划教材

TU5  
81=2

# 土木工程材料

张俊才 董梦臣 高均昭 编著

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

本书在吸取、发扬传统土木工程材料教材优势和特长的原则指导下,适当增加了发展循环经济和保护生态环境的内容。全书分为十四章,主要对气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、砂浆、无机非金属烧结材料、钢材、塑料、沥青材料、木材及其他工程材料等内容作了介绍,并在此基础上,进一步介绍了各种土木工程材料与生态环境的关系。另外,书中各章还分别介绍了常用土木工程材料的基本性能及应用,并增添了近年来正在发展的部分新型土木工程材料。

本书是高等院校土木建筑和无机非金属材料等专业的教学用书,也可供建筑设计、施工人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/张俊才,董梦臣,高均昭编著. —徐州:  
中国矿业大学出版社,2009.3

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0066 - 2

I. 土… II. ①张…②董…③高… III. 土木工程—建筑材料 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 140354 号

书 名 土木工程材料

编 著 张俊才 董梦臣 高均昭

责任编辑 潘俊成

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 21.75 字数 543 千字

版次印次 2009 年 3 月第 1 版 2009 年 3 月第 1 次印刷

定 价 32.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

## 前 言

本书是在总结多所院校教学经验的基础上,综合分析了各院校的教学大纲,结合各院校的教学实际,由各院校具有多年教学经验的教师编写而成的。

由于目前在建筑工程、交通土建工程、建筑学、桥梁工程、地下工程以及无机非金属材料等多个专业开设土木工程材料课程,为了满足各专业的教学需要,本教材综合了各专业对土木工程材料相关知识点的教学要求,合理借鉴国内外新的发展成果,根据材料学的基本理论和实践经验,合理地得出材料的各项应用性能,保证整个体系的系统性和完整性。考虑到素质教育的要求及学生自身发展的需要,部分章节渗透了人文、环保和可持续发展等内容,将教书与育人有机地结合起来。

本书是高等学校“十一五”规划教材之一,由黑龙江科技学院、许昌学院和安阳工学院长期从事土木工程材料教学的教师共同编写。具体分工情况是:绪论、第一章、第四章由黑龙江科技学院张俊才编写;第二章由黑龙江科技学院董梦臣编写;第三章、第五章、第六章、第十二章由许昌学院高均昭编写;第七章、第九章、第十章、第十一章、第十三章由安阳工学院宋扬编写;第八章由许昌学院李丽慧编写;第十四章由许昌学院赵超和许昌市工程质量监督站朱黎编写。全书由张俊才制定编写大纲并统稿。

限于编者水平,书中难免有错误或不当之处,敬请同行专家和读者批评指正。

作 者

2008年8月

## 目 录

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 绪 论               | 1   |
| 第一章 土木工程材料的基本性质   | 3   |
| 第一节 土木工程材料的基本物理性质 | 3   |
| 第二节 土木工程材料的力学性质   | 8   |
| 第三节 土木工程材料的组成与结构  | 11  |
| 复习思考题             | 13  |
| 第二章 无机胶凝材料        | 14  |
| 第一节 石灰            | 14  |
| 第二节 石膏            | 17  |
| 第三节 水玻璃           | 21  |
| 第四节 菱苦土           | 22  |
| 第五节 硅酸盐水泥         | 23  |
| 第六节 掺混合材料的硅酸盐水泥   | 36  |
| 第七节 其他品种水泥        | 43  |
| 复习思考题             | 47  |
| 第三章 墙体与屋面土木工程材料   | 49  |
| 第一节 砌墙砖           | 49  |
| 第二节 墙用砌块与板材       | 55  |
| 第三节 墙用石材          | 59  |
| 第四节 屋面材料          | 59  |
| 复习思考题             | 61  |
| 第四章 混凝土           | 62  |
| 第一节 普通混凝土的组成材料    | 64  |
| 第二节 混凝土拌和物的和易性    | 72  |
| 第三节 普通混凝土的技术性能    | 76  |
| 第四节 混凝土外加剂        | 89  |
| 第五节 混凝土的质量控制      | 101 |
| 第六节 混凝土配合比设计      | 107 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 第七节 特种混凝土·····            | 116        |
| 复习思考题·····                | 121        |
| <b>第五章 建筑砂浆·····</b>      | <b>123</b> |
| 第一节 砌筑砂浆·····             | 123        |
| 第二节 抹面砂浆·····             | 125        |
| 第三节 干粉砂浆·····             | 127        |
| 第四节 其他特种砂浆·····           | 128        |
| 第五节 砌筑砂浆的配合比设计·····       | 128        |
| 复习思考题·····                | 130        |
| <b>第六章 建筑金属材料·····</b>    | <b>131</b> |
| 第一节 钢材的基本知识·····          | 131        |
| 第二节 建筑钢材的主要性能·····        | 133        |
| 第三节 钢材的腐蚀与防护·····         | 136        |
| 第四节 常用建筑钢材·····           | 139        |
| 第五节 铝及铝合金·····            | 146        |
| 复习思考题·····                | 148        |
| <b>第七章 合成高分子材料·····</b>   | <b>149</b> |
| 第一节 高分子化合物的基本知识·····      | 149        |
| 第二节 合成高分子材料在土木工程中的应用····· | 154        |
| 复习思考题·····                | 161        |
| <b>第八章 沥青及沥青混合料·····</b>  | <b>162</b> |
| 第一节 沥青·····               | 162        |
| 第二节 沥青混合料·····            | 187        |
| 复习思考题·····                | 230        |
| <b>第九章 建筑防水与密封材料·····</b> | <b>232</b> |
| 第一节 防水卷材·····             | 232        |
| 第二节 防水涂料·····             | 240        |
| 第三节 建筑密封材料·····           | 245        |
| 复习思考题·····                | 251        |
| <b>第十章 保温与绝热材料·····</b>   | <b>252</b> |
| 第一节 概述·····               | 252        |
| 第二节 无机保温绝热材料·····         | 257        |
| 第三节 有机保温绝热材料·····         | 260        |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第四节 常用保温绝热材料的技术性能·····     | 261 |
| 复习思考题·····                 | 262 |
| <b>第十一章 吸声与隔声材料</b> ·····  | 263 |
| 第一节 概述·····                | 263 |
| 第二节 吸声材料·····              | 263 |
| 第三节 隔声材料·····              | 272 |
| 复习思考题·····                 | 275 |
| <b>第十二章 建筑装饰材料</b> ·····   | 276 |
| 第一节 建筑装饰材料中的有害物质与基本要求····· | 276 |
| 第二节 建筑涂料·····              | 278 |
| 第三节 饰面石材·····              | 279 |
| 第四节 壁纸·····                | 281 |
| 第五节 装饰金属材料·····            | 282 |
| 第六节 新型室内装饰材料简介·····        | 283 |
| 复习思考题·····                 | 286 |
| <b>第十三章 智能土木工程材料</b> ····· | 287 |
| 第一节 常用智能材料·····            | 287 |
| 第二节 智能材料在土木工程中的应用·····     | 290 |
| 第三节 智能混凝土·····             | 293 |
| 复习思考题·····                 | 295 |
| <b>第十四章 土木工程材料试验</b> ····· | 296 |
| 第一节 材料的基本物理性质试验·····       | 296 |
| 第二节 水泥试验·····              | 298 |
| 第三节 骨料试验·····              | 303 |
| 第四节 普通混凝土试验·····           | 308 |
| 第五节 建筑砂浆试验·····            | 313 |
| 第六节 墙体材料试验·····            | 316 |
| 第七节 钢筋试验·····              | 317 |
| 第八节 沥青材料试验·····            | 320 |
| 第九节 沥青混合料试验·····           | 324 |
| 第十节 综合设计试验·····            | 334 |
| <b>参考文献</b> ·····          | 337 |

## 绪 论

土木工程材料指土木工程结构物中使用的各种材料,它是一切土木工程的物质基础。由于组分、结构和构造不同,土木工程材料品种门类繁多,性能各不相同,在土木结构物中的功能各异,而且价格相差悬殊,在土木结构物中用量巨大。因此,正确选择和合理使用土木工程材料,对土木结构物的安全、实用、美观、耐久及造价有着重大的意义。

土木工程材料可按不同原则进行分类。根据材料来源,可分为天然材料及人造材料;根据使用部位,可分为承重材料、屋面材料、墙体材料和地面材料等;根据建筑功能,可分为结构材料、装饰材料、防水材料、绝热材料等。通常根据组成物质的种类及化学成分,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,各大类中又可进行更细的分类,如图0-1所示。

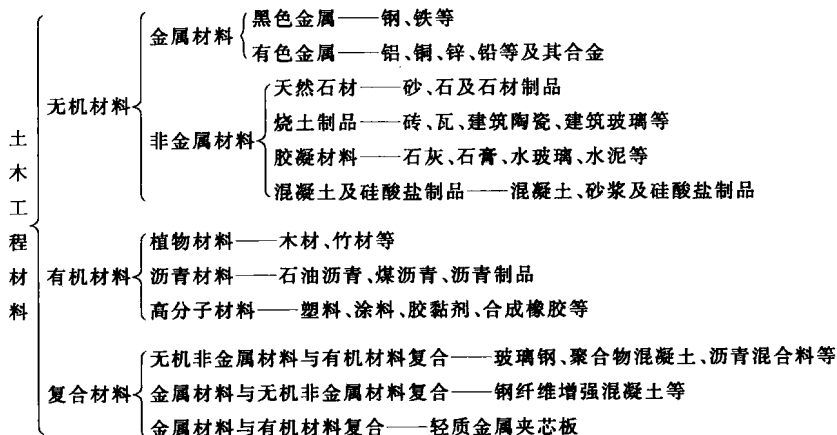


图 0-1 土木工程材料的分类

土木工程材料是随着人类社会生产力和科学技术水平的提高而逐步发展起来的。人类最早穴居巢处,随着社会生产力的发展,人类进入能制造简单工具的石器、铁器时代,开始挖土、凿石为洞、伐木搭竹为棚,利用天然材料建造非常简陋的房屋。到了人类能够用黏土烧制砖、瓦,用岩石烧制石灰、石膏之后,土木工程材料才由天然材料进入了人工生产阶段,为较大规模建造房屋创造了基本条件。18~19 世纪,资本主义兴起,促进了工商业及交通运输业的蓬勃发展。原有的土木工程材料已不能与此相适应,在其他科学技术进步的推动下,土木工程材料进入了一个新的发展阶段,钢材、水泥、混凝土及其他材料相继问世,为现代建筑奠定了基础。进入 20 世纪后,由于社会生产力突飞猛进以及材料科学与工程学的形成和发展,土木工程材料不仅性能和质量不断改善,而且品种不断增加,以有机材料为主的化学建材异军突起,一些具有特殊功能的新型土木工程材料,如绝热材料、吸声隔声材料、各种装饰材料、耐热防火材料、防水抗渗材料以及耐磨、耐腐蚀、防爆和防辐射材料等应运而生。

既然土木工程材料是土木工程的物质基础,土木工程材料的发展必然与土木工程技术的进步有着不可分割的联系,它们相互制约、相互依赖和相互推动。新型土木工程材料的诞生推动了土木工程结构设计方法和施工工艺的变化,而新的土木工程结构设计方法和施工工艺又对土木工程材料品种和质量提出更高和多样化的要求。随着人类的进步和社会的发展,更有效地利用地球有限的资源,全面改善及迅速扩大人类工作与生存的空间势在必行,未来的建筑结构物必将需要在各种苛刻的环境条件下,满足愈来愈高的安全、舒适、美观、耐久要求,土木工程材料在原材料、生产工艺、性能及产品形式等方面均将面临国民经济可持续发展战略的严酷的挑战。今后,在原材料方面要充分利用再生资源及工农业废料;在生产工艺方面要大力引进现代技术,改造和淘汰陈旧设备,降低原材料消耗及能源消耗,减少环境污染;在性能方面要力求轻质、高强、耐久及多功能;在产品形式方面要积极发展预制技术,逐步提高构件化、单元化的水平。与材料有关的基础学科日益发展,现代测试技术及新型检测方法的广泛应用,为人类掌握材料的内在规律提供了必要条件。在此基础上,一门新型的学科——材料科学与工程学已经建立。材料科学与工程学的任务在于研究材料组分、结构与性能之间的关系,以达到按指定性能设计和制造材料的目的。土木工程材料的研究正逐步纳入材料科学与工程学的轨道,可以期待,一个取得重大突破的时代已为期不远了。

各种土木工程材料,在原材料、生产工艺、结构及构造、性能及应用、检验及验收、运输及储存等方面既有共性,又有各自的特点,全面掌握土木工程材料的知识,需要学习和研究的内容范围很广。对于从事土木工程设计、施工、科研和管理的专业人员,掌握各种土木工程材料的性能及其适用范围,以及在种类繁多的土木工程材料中进行合理的选择和应用最为重要。除了那些在建筑现场直接配制或加工的材料(如砂浆、混凝土、金属焊接等)外,还需要深入学习其原材料及生产工艺,对于以产品形式在建筑现场使用的材料,了解其原材料、生产工艺及结构、构造的一般知识,掌握这些因素是如何影响材料的性能,进而更深入地体会土木工程材料的性能和应用以及可能对其产生影响的因素、影响机理,有利于材料与环境的和谐相处。此外,作为有关生产、设计应用、管理和研究等部门应共同遵循的依据,对于绝大多数常用的土木工程材料,均由专门的机构制定并发布了相应的“技术标准”,对其质量、规格和验收方法等作了详尽而明确的规定。在我国,技术标准分为三级:国家标准、部标准和企业标准。国家标准是由国家标准局发布的全国性的指导技术文件,其代号为 GB;部标准也是全国性的指导技术文件,但它由主管生产部(或总局)发布,其代号按部门而定,如建材标准的代号为 JC,建工标准的代号为 JG;企业标准则仅适用于本企业,其代号为 Q/×××,凡没有制定国家标准、部标准的产品,均应制定企业标准。随着我国对外开放,常常还涉及一些与土木工程材料关系密切的国际或外国标准,其中主要有: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。熟悉有关的技术标准,并了解制定标准的科学依据,也是十分必要的。

本书作为土木建筑类各专业的专业基础课教材,应通过课堂教学,结合现行的技术标准,以土木工程材料的性能及合理使用为中心,进行系统讲述,同时还应安排必要的实验课,通过实验深入了解和掌握课堂讲授的基本理论,做到理论和实践相结合,并培养学生的研究能力及严谨求实的科学态度。

## 第一章 土木工程材料的基本性质

建筑物是由多种土木工程材料组合而成的,因使用的材料所处的环境和部位不同,所起的作用也各有不同,所以要求材料具有各种相应的性质。例如,用于受力结构的材料,要承受各种外力的作用,因此所用的材料要具有所需的力学性质;根据某些建筑功能的需要,要求材料要具有相应的防水、绝热、吸声、防火、装饰以及耐热、耐腐蚀等性质;由于建筑物在长期使用过程中,经常受到风吹、日晒、雨淋、冰冻所引起的温度变化、干湿交替、冻融循环等作用,这就要求材料必须具有一定的耐久性能。因此,土木工程材料的应用与其性质是紧密相关的。

为了使建筑物安全、经济、美观、经久耐用,工程技术人员必须了解和掌握土木工程材料的基本性质及与之相关的组成、结构等方面的基本知识,这样才能更好地、合理地选择和应用土木工程材料。

### 第一节 土木工程材料的基本物理性质

#### 一、材料的密度、表观密度和堆积密度

单位体积某种物质的质量称为该物质的密度,单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$  或  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。由于材料所处的体积状况不同,材料的密度又分为真实密度(简称为密度)、表观密度和堆积密度。

##### 1. 密度( $\rho$ )

密度是材料在规定温度条件下( $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  烘干至恒重,在  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  测试)和绝对密实状态下单位体积的质量:

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

式中  $\rho$ ——密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$m$ ——材料的质量,  $\text{kg}$ ;

$V_s$ ——材料在测试温度,绝对密实状态下的体积,  $\text{m}^3$ 。

所谓绝对密实状态下的体积是指不含有任何孔隙的体积。土木工程材料中除了钢材、玻璃等少数材料外,绝大多数材料都含有一定的孔隙,如砖、石材等块状材料。对于这些有孔隙的材料,测定其密度时应先把材料磨成细粉,经干燥至恒重后,用比重瓶(李氏瓶)测定其体积,然后按上式计算得到密度值。材料磨得越细,测得的数值就越准确。

##### 2. 表观密度( $\rho_0$ )

表观密度是指材料在自然状态下单位体积的质量:

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

式中  $\rho_0$ ——表观密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$m$ ——材料的质量, kg;

$V_0$ ——材料在自然状态下的体积,  $m^3$ 。

材料在自然状态下的体积包含了材料内部孔隙的体积。当材料含有水分时,其质量和体积均将有所变化,故一般测定表观密度时,以干燥状态为准,如果在含水状态下测定表观密度,须注明含水情况。试验室中测定的通常为烘干至恒重状态下的表观密度。质地密实坚硬的散粒状材料(如砂、石),一般测定其表观密度,在应用过程中(如混凝土配合比计算过程)近似代替其密度。

### 3. 堆积密度( $\rho'_0$ )

堆积密度是指粉状或散粒材料在堆积状态下单位体积的质量:

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

式中  $\rho'_0$ ——堆积密度,  $kg/m^3$ ;

$m$ ——材料的质量, kg;

$V'_0$ ——材料在自然状态下的体积,  $m^3$ 。

材料的堆积体积既包含了内部孔隙,也包含了颗粒之间的空隙。

## 二、材料的密实度和孔隙率

### 1. 密实度

密实度是指在固体材料中,固体物质实际体积占表观体积的百分数:

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

式中  $D$ ——密实度, %;

$V$ ——固体物质实际体积,  $m^3$ ;

$V_0$ ——固体物质的表观体积,  $m^3$ ;

$\rho_0$ ——固体物质的表观密度,  $kg/m^3$ ;

$\rho$ ——固体物质的密度,  $kg/m^3$ 。

### 2. 孔隙率

孔隙率是指在固体材料中,气孔体积占表观体积的百分数:

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中  $P$ ——孔隙率, %;

其他同上。

孔隙率或密实度的大小直接反映了材料的致密程度。材料内部孔隙的构造可分为连通孔和封闭孔,连通孔不仅彼此贯通,还与外界相通,而封闭孔不仅彼此不连通,而且与外界相隔绝。孔隙按尺寸的大小又可分为极微细孔隙、细小孔隙和较粗大孔隙。孔隙的大小、分布、数量及构造特征对材料的性能具有很大的影响。在工程实际中,我们经常会用到开口孔隙、闭口孔隙的概念。开口孔隙是指在常温常压下,水能够进入的孔隙;而闭口孔隙则相反,是指在常温常压下,水不能进入的孔隙。这样就涉及开口孔隙率和闭口孔隙率的概念。

开口孔隙率:

$$P_K = \frac{V_K}{V_0} \quad (1-6)$$

闭孔隙率:

$$P_B = \frac{V_B}{V_0} \quad (1-7)$$

显然,  $P + D = 1$ ;  $P_K + P_B = P$ 。

### 三、材料的填充率和空隙率

#### 1. 填充率

填充率是指散粒状材料在某堆积体积中,被其颗粒填充的程度:

$$D' = \frac{V_0}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中  $D'$ ——填充率, %;

$V_0$ ——散粒状材料的表观体积,  $\text{m}^3$ ;

$V'_0$ ——堆积体的表观体积,  $\text{m}^3$ ;

$\rho'_0$ ——堆积体的表观密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$\rho$ ——散粒状材料的表观密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

#### 2. 空隙率

空隙率是指散粒状材料在某堆积体积中,颗粒之间的空隙体积所占的比例:

$$P' = V'_0 - \frac{V_0}{V'_0} = (1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}) \times 100\% \quad (1-9)$$

式中  $P'$ ——空隙率, %;

其他符号同前。

显然,  $D' + P' = 1$ 。

空隙率和填充率反映了散粒状材料颗粒之间相互填充的致密程度,可作为控制混凝土骨料级配和计算含砂率的依据。

### 四、材料与水有关的性质

水与土木工程之间存在着千丝万缕的联系。一方面,建筑物存在于自然界中,就必然要受到大自然各种因素的作用,当然也就离不开水的作用,因为我们所在的大气层中几乎处处都弥漫着水蒸气;此外,建筑物也经常要受到雨、雪、霜等自然现象的洗礼,因此,我们要使建筑物能够长久的完好使用(强度是否损失、外表的美观、是否漏水),就必须考虑水对建筑物组成材料的作用。另一方面,建筑施工中离开了水是不可想象的,但用水量的多少,对工程质量和施工操作的影响可以说是巨大的。例如,拌制混凝土时,用水量过多,显然可以获得较大的流动性,但会使强度受到很大损失;用水量过少,则混凝土干硬,造成施工困难。因此,在拌制混凝土时,就要严格控制用水量,这要通过计算和经验来确定,这里就要考虑混凝土各组成材料与水的相互作用,也就是材料与水有关的性质。

#### (一) 材料的亲水性和憎水性

组成建筑物的材料经常与水或空气中的水分接触,形成材料、水和空气组成的固—液—气系统。在三相交点处,沿水滴表面的切线与水和材料的接触面之间的夹角称润湿角。一般认为:当  $\theta < 90^\circ$  时[图 1-1(a)],表示水分子之间的内聚力小于水分子与材料分子间的吸引力,这种材料称为亲水性材料;当  $\theta > 90^\circ$  时[图 1-1(b)],表示水分子之间的内聚力大于水分子与材料分子间的吸引力,这种材料称为憎水性材料。土木工程材料中的混凝土、木材、砖

等为亲水性材料,沥青、石蜡等为憎水性材料。亲水性材料表面做憎水处理,可提高其防水性能。

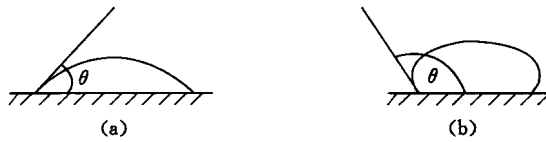


图 1-1 材料的润湿及润湿角

(a) 亲水性材料; (b) 憎水性材料

## (二) 材料的吸水性和吸湿性

### 1. 含水率

材料所含非结构水的质量占含水材料总质量的百分率称为材料的含水率:

$$W = \frac{m - m_0}{m} \quad (1-10)$$

式中  $W$ ——材料的含水率, %;

$m_0$ ——材料在干燥状态下的质量, kg;

$m$ ——含水材料的质量, kg。

### 2. 吸水性

材料与水接触时能吸收水分的性质称为吸水性,常用吸水率来表示,按式(1-10)计算。

吸水率有质量吸水率和体积吸水率之分。上式定义的吸水率为质量吸水率,体积吸水率是指材料吸入饱和水的体积占材料自然状态下的体积的百分率。

材料的吸水率与孔隙有很大关系,若材料具有微细而连通的孔隙,则吸水率就较大;若具有封闭孔隙,则水分难以渗入,吸水率就较小;若具有较粗大的孔隙,水分虽容易渗入,但不易在孔内保留,仅起到润湿孔壁的作用,吸水率也较小。所以,不同的材料或同种材料不同的内部构造,其吸水率会有很大的差别。

吸湿性是指材料吸收空气中水分的性质,常以含水率表示,按式(1-10)计算。

当空气湿度发生变化时,含水率也会随之发生变化。与空气湿度达到平衡时的含水率,称平衡含水率。通常材料大量吸湿后,会造成材料质量增加、体积改变、强度降低,对于绝热材料来说,还会显著降低其绝热性能。

## (三) 材料的耐水性、抗渗性和抗冻性

### 1. 耐水性

材料长期在饱和水的作用下不被破坏,而且强度也不显著降低的性质,称为耐水性,常用软化系数表示:

$$K_{\text{软}} = \frac{f_{\text{饱}}}{f_{\text{干}}} \quad (1-11)$$

式中  $K_{\text{软}}$ ——软化系数;

$f_{\text{饱}}$ ——材料在吸水饱和状态下的抗压强度, MPa;

$f_{\text{干}}$ ——材料在干燥状态下的抗压强度, MPa。

一般材料吸水后,材料内部的结合力会有所削弱,造成强度不同程度的降低。软化系数

的大小表明材料在浸水后强度降低的程度,在 0~1 之间波动。软化系数越小,说明材料饱水后的强度降低越多,其耐水性越差。对于水中或受潮严重的重要结构物材料,其软化系数不宜小于 0.85;受潮较轻或次要结构物的材料,其软化系数不宜小于 0.70。通常将软化系数大于 0.80 的材料看做是耐水材料。

## 2. 抗渗性

抗渗性是指材料抵抗压力水渗透的性质,一般用渗透系数或抗渗等级来表示。抗渗系数的概念由达西定律引出。

达西定律:在一定时间内,透过材料的水量与材料的截面积及水压力成正比,与材料的厚度成反比。数学表达式为:

$$Q = \frac{KA_t H}{d} \quad (1-12)$$

式中  $Q$ ——透水量,  $\text{cm}^3$ ;

$K$ ——渗透系数,  $\text{cm/h}$ ;

$d$ ——材料试件厚度,  $\text{cm}$ ;

$A$ ——透水面积,  $\text{cm}^2$ ;

$t$ ——时间,  $\text{h}$ ;

$H$ ——静水压力水头,  $\text{cm}$ 。

由式(1-12)定义材料的抗渗系数  $K$ :一定厚度的材料,在单位时间内单位静水压力作用下透过单位截面材料的水量。数学表达式为:

$$K = \frac{Qd}{AtH} \quad (1-13)$$

式中各物理量含义及单位同式(1-12)。

对于混凝土和砂浆材料,抗渗性常用抗渗等级来表示,其表达式为:

$$S = 10H - 1 \quad (1-14)$$

式中  $S$ ——抗渗等级,无量纲;

$H$ ——时间开始渗水时的水压力,  $\text{MPa}$ 。

渗透系数越小或抗渗标号越高,表明材料的抗渗性越好。各种防水材料及受压力水作用部位的材料,都要具有一定的抗渗性。

## 3. 抗冻性

抗冻性是指材料在吸水饱和状态下,能经受多次冻融循环作用而不被破坏,强度又不显著降低的性质,常用抗冻标号  $D_n$  表示,这里的  $n$  表示材料达到规定破坏程度(强度损失和质量损失不超过规定值)所经历的冻融循环的次数。抗冻标号表示试件能经受的最大冻融循环次数。

当材料内部孔隙充满水且水温降至负温时,水分会结冰而产生体积膨胀(约增大 9%),对孔壁产生很大的压力,造成孔壁开裂。反复的冻融又造成材料内外层产生明显的应力差和温度差,将对材料产生不同程度的破坏。

材料的抗渗性和抗冻性与孔隙率、孔隙大小和特征等有很大关系。孔隙率小及具有封闭孔的材料具有较高的抗渗和抗冻性;若是细微而连通的孔隙,则对抗渗性和抗冻性均不利;若孔隙吸水后还有一定的空间,则可缓解冰冻的破坏作用。

## 五、材料的导热性和热容量

### 1. 导热性

材料传导热量的性质称为导热性。材料的导热能力可用导热系数  $\lambda$  表示,用下式计算:

$$\lambda = \frac{Q\delta}{At(T_2 - T_1)} \quad (1-15)$$

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

$Q$ ——传导热量,  $J$ ;

$\delta$ ——材料厚度,  $m$ ;

$T_2 - T_1$ ——材料两侧温差,  $K$ ;

$A$ ——材料传热面积,  $m^2$ ;

$t$ ——导热时间,  $s$ 。

对于建筑维护结构,我们希望材料能做到使室内保持较稳定的温度,而较少受到外部环境的影响,也就是要求材料具有较好的保温性能,而衡量材料保温性能的重要指标就是材料的导热系数。

### 2. 热容量

材料每升高或降低  $1^\circ C$  所吸收或放出的热量称为材料的热容量。热容量也是反映材料热性能的重要指标。对于建筑维护结构所使用的材料,我们希望它有较高的热容量,这样有利于调节室内的温度。

## 第二节 土木工程材料的力学性质

### 一、强度与比强度

强度是指材料抵抗外力破坏的能力,以材料受到外力作用发生破坏时单位面积上所受到的力表示。当材料受到外力作用时,内部产生应力。外力增大,应力也随之增高,当应力达到一定值时,材料将破坏,此时的应力值称为极限应力值,也即材料的强度。

材料在建筑结构中,经常会受到拉力、压力、弯矩、剪力等不同外力的作用,材料的强度则相应地分为抗压强度、抗拉强度、抗弯强度、抗剪强度等,如图 1-2 所示。

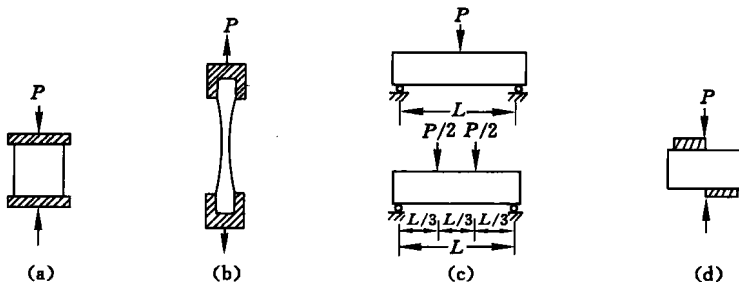


图 1-2 材料所受外力示意图

(a) 压力; (b) 拉力; (c) 弯矩; (d) 剪切

### 二、弹性和塑性

材料在外力作用下产生变形,当外力去除后,能完全恢复原来形状的性质,称为弹性。

这种可恢复的变形称弹性变形,如图 1-3 所示。若在去除外力后,材料仍保持变形后的形状和尺寸,并且不产生裂缝的性质,称为塑性,此时的不可恢复变形称为塑性变形,如图 1-4 所示。

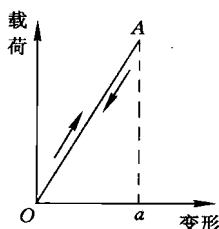


图 1-3 材料的弹性变形曲线

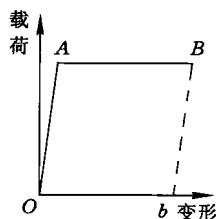


图 1-4 材料的塑性变形曲线

完全的弹性材料是没有的,有些材料在一定的外力作用范围内,表现为弹性变形,当超过一定限度后则表现为塑性变形,如建筑钢材就属于这种类型。还有的材料弹性与塑性变形同时产生,如图 1-5 所示,当外力去掉后,弹性变形得到恢复,而塑性变形则不能恢复,如混凝土。通常将这类材料称为弹塑性材料。

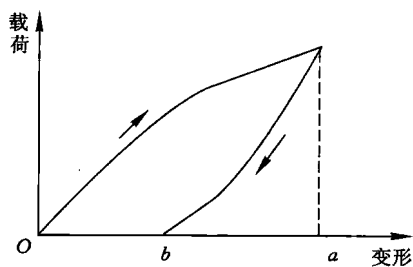


图 1-5 材料的弹塑性变形

另外,材料受力不大时,处于外力与变形成正比的弹性阶段。此时可用弹性模量来表示材料的弹性性能,其值等于应力与应变之比。弹性模量越大,材料越不易变形,它是衡量材料抵抗变形能力的指标之一。如果材料受到某一荷载的长期作用,其变形会随时间延长而增加,这种变形称为徐变。如普通混凝土在长期荷载作用下就会产生徐变。

### 三、脆性和韧性

材料在外力作用下,无明显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称为脆性材料,其抗压强度一般要比其抗拉强度高得多,它对承受震动和冲击荷载不利,这类材料有砖、石材、玻璃、陶瓷、铸铁等。有些材料的脆性和塑性随着试验条件或使用环境等因素的改变而变化,如黏土在干燥状态时表现为脆性,在潮湿状态下则表现为塑性。

材料在冲击或振动荷载作用下,能吸收较大的能量,产生一定的变形而不破坏的性质,称为韧性或冲击韧性。它可用材料受荷载达到破坏时所吸收的能量来表示。建筑钢材、木材等均属于韧性材料。

### 四、硬度

硬度是材料抵抗较硬物质刻划或压入的能力,它与材料的强度等性能指标有一定的关系。早在 1822 年, Friedrich Mohs 提出用 10 种矿物来衡量世界上最硬的和最软的物体,这是所谓的莫氏硬度。莫氏硬度的十个等级见表 1-1,各级之间硬度的差异不是均等的,等级之间只表示硬度的相对大小。

表 1-1

矿物硬度表

| 序号 | 矿 物     | 注 释                   |
|----|---------|-----------------------|
| 1  | 滑石及白垩石  | 易用指甲刻划                |
| 2  | 石盐、石膏   | 可用指甲刻划                |
| 3  | 硬石膏及方解石 | 易用钢刀刻划                |
| 4  | 氟 石     | 在不大的压力下,能用钢刀刻划        |
| 5  | 磷灰石     | 在较大的压力下,能用钢刀刻划,不能刻划玻璃 |
| 6  | 正长石     | 不能用钢刀刻划,稍能擦伤玻璃        |
| 7  | 石 英     | 易刻划玻璃,不能被钢刀刻划         |
| 8  | 黄 玉     |                       |
| 9  | 刚 玉     |                       |
| 10 | 金刚石     |                       |

莫氏硬度只是简单、定性地反映了材料之间软硬程度的差异,而硬度实际上是衡量金属材料软硬程度的一项重要性能指标,它既可理解为材料抵抗弹性变形、塑性变形或破坏的能力,也可表述为材料抵抗残余变形和反破坏的能力。硬度不是一个简单的物理概念,而是材料弹性、塑性、强度和韧性等力学性能的综合指标。随着实践的发展,越来越多的硬度测试方法被广泛接受,在实践中发挥着重要的作用。硬度试验根据其测试方法的不同可分为静压法(如布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等)、划痕法(如莫氏硬度)、回跳法(如肖氏硬度)及显微硬度、高温硬度等多种方法。

#### 1. 布氏硬度(HB)

布氏硬度(HB)一般用于测量材料较软的时候,如有色金属、热处理之前或退火后的钢铁。洛氏硬度(HRC)一般用于测量硬度较高的材料,如热处理后的硬度等。

布氏硬度(HB)是以一定大小的试验载荷,将一定直径的淬硬钢球或硬质合金球压入被测金属表面,保持规定时间,然后卸荷,测量被测表面压痕直径。布氏硬度值是载荷除以压痕球形表面积所得的商。一般以一定的载荷(一般为 3 000 kg)把一定大小(直径一般为 10 mm)的淬硬钢球压入材料表面,保持一段时间,去载后,负荷与其压痕面积之比值,即为布氏硬度值(HB),单位为千克力/ $\text{mm}^2$  ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )。

#### 2. 洛氏硬度(HRC)

洛氏硬度是以压痕塑性变形深度来确定硬度值指标,以 0.002 mm 作为一个硬度单位。当  $\text{HB} > 450$  或者试样过小时,不能采用布氏硬度试验而改用洛氏硬度计量。它是用一个顶角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥体或直径为 1.59、3.18 mm 的钢球,在一定载荷下压入被测材料表面,由压痕的深度求出材料的硬度。根据试验材料硬度的不同,分三种不同的标度来表示:

HRA:是采用 60 kg 载荷和钻石锥压入试件表面求得的硬度,用于硬度极高的材料(如硬质合金等)。

HRB:是采用 100 kg 载荷和直径为 1.58 mm 淬硬的钢球压入试件表面求得的硬度,用于硬度较低的材料(如退火钢、铸铁等)。

HRC:是采用 150 kg 载荷和钻石锥压入试件表面求得的硬度,用于硬度很高的材料(如淬火钢等)。