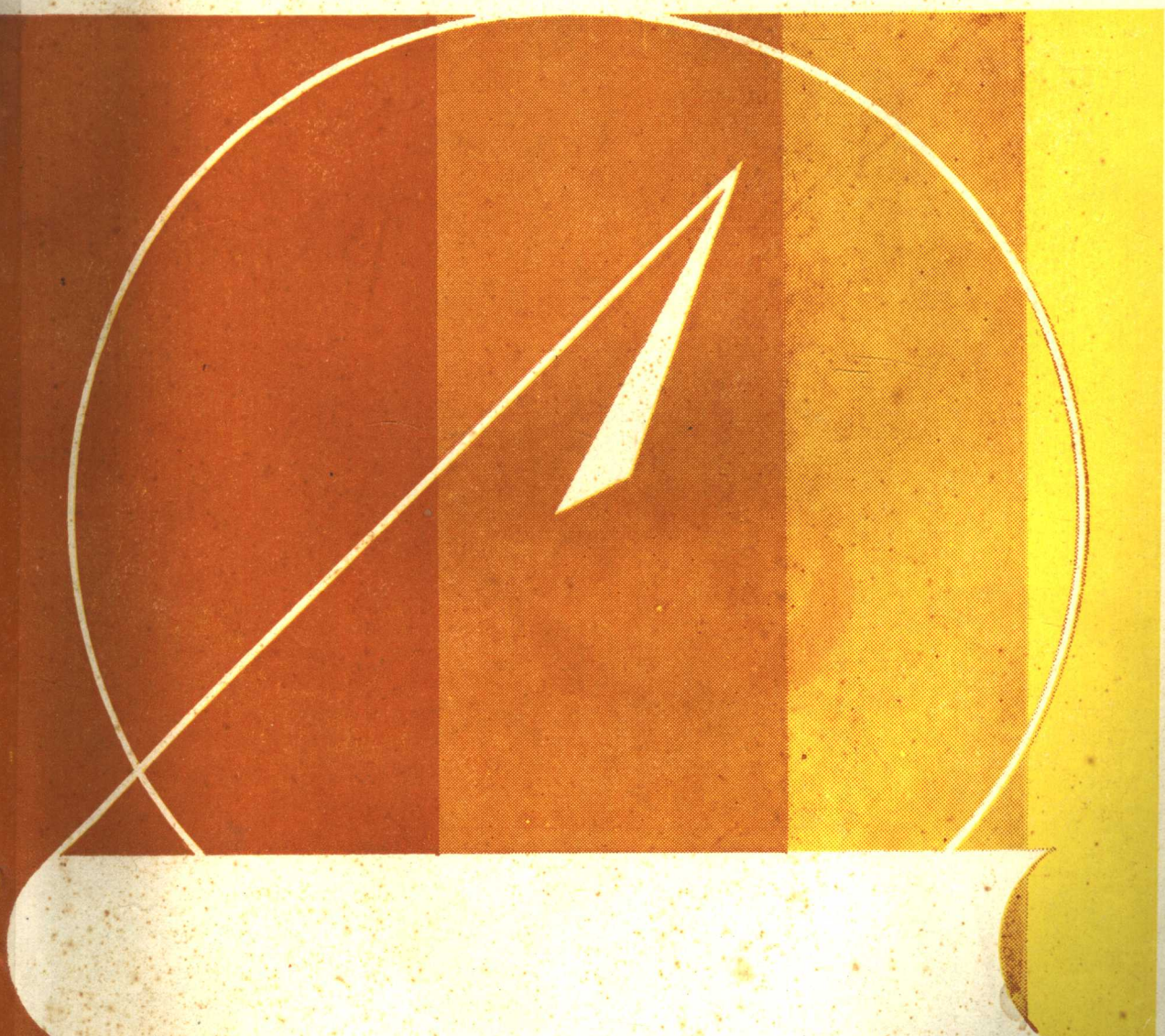


# 建筑材料

职工高等工业  
专科学校教材



ZHIGONG GAODENG GONGYE  
ZHUANKE XUEXIAO JIAOCAI

潘恒芬 主编  
中国建筑工业出版社出版

职工高等工业专科学校教材

# 建 筑 材 料

潘恒芬 主编

中国建筑工业出版社

本书是根据职工高等工业专科学校《工业与民用建筑》专业教材的要求编写的。

全书共分理论与试验两大部分。理论部分分为九章，对砖、瓦、石材料，无机胶凝材料，混凝土及砂浆，建筑钢材、木材、沥青及其制品，建筑塑料以及保温、吸声、装饰等材料的品种、规格、性能、应用做了较详细的介绍。试验部分，按照建筑材料课程教学大纲要求的试验项目做了介绍，并对混凝土非破损试验，回弹仪等也做了简要阐述。

本书基本采用了法定计量单位与有关材料的最新规范，但保留了工程上常用的比重、容重概念。注意了结合生产实践、面向施工并与专业课配合。在介绍传统材料的同时，对新材料也做了简要阐述。

本书除作为职工高等学校土建类专业教材外，还可供从事建筑施工的技术人员参考用。

职工高等工业专科学校教材

## 建筑材料

潘恒芬 主编

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 15 1/4 字数: 382 千字

1987年7月第一版 1987年7月第一次印刷

印数: 1—18,300册 定价: 2.50元

统一书号: 15040·5221

## 前 言

本书是根据原教育部1983年11月于无锡召开的全国职工高等工业专科学校教学大纲审订会议审订的三年制《职工高等工业专科学校工业与民用建筑专业建筑材料教学大纲》编写的，作为职工高等工业专科学校工业与民用建筑专业的教材，亦可作为职工大专学校土木建筑类的其他专业的教学用书。

在编写中，遵循了原教育部以及城乡建设环境保护部有关技术基础课教材编写的基本原则与要求，针对职工高等工业专科学校的特点，从培养应用型人才的目标出发，在加强基础理论的同时，重视基本技能的训练与实践性教学环节，密切结合专业需要，面向施工。

在阐述传统材料的同时，注意介绍国内新材料。

本书由黑龙江省建筑工程局职工大学潘恒芬主编。辽宁建筑工程职工大学冯延忠参加了第二章砖瓦石材料、第四章混凝土及砂浆。南京市建筑职工大学生为光参加了本书的编写工作。

本书由哈尔滨建筑工程学院王世芳、赵桂春主审。

插图由黑龙江省建筑工程局职工大学汪绯绘制。

在编写中得到了中国水泥质量监督检验中心，中国建筑科学研究院结构研究所，黑龙江省低温建筑科学研究所等单位的大力支持与热情帮助，在此表示衷心地感谢。

由于编者水平有限，书中的缺点错误与不妥之处在所难免、欢迎使用本书的同志与读者提出宝贵意见。

编 者

1986年6月20日

# 目 录

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| 绪 论 .....                | ( 1 )   |
| 第一章 建筑材料的基本性质 .....      | ( 4 )   |
| 第一节 材料的物理性质 .....        | ( 4 )   |
| 第二节 材料的力学性质 .....        | ( 11 )  |
| 第三节 材料的耐久性 .....         | ( 13 )  |
| 第二章 砖瓦石材料 .....          | ( 15 )  |
| 第一节 天然石材 .....           | ( 15 )  |
| 第二节 砖 .....              | ( 19 )  |
| 第三节 瓦 .....              | ( 24 )  |
| 第三章 无机胶凝材料 .....         | ( 25 )  |
| 第一节 气硬性胶凝材料 .....        | ( 25 )  |
| 第二节 水硬性胶凝材料 .....        | ( 33 )  |
| 第四章 混凝土及砂浆 .....         | ( 57 )  |
| 第一节 普通混凝土 .....          | ( 57 )  |
| 第二节 轻混凝土 .....           | ( 93 )  |
| 第三节 其它品种混凝土 .....        | ( 104 ) |
| 第四节 建筑砂浆 .....           | ( 105 ) |
| 第五章 建筑钢材 .....           | ( 116 ) |
| 第一节 概述 .....             | ( 116 ) |
| 第二节 建筑钢材的力学性能 .....      | ( 117 ) |
| 第三节 钢的组织结构 .....         | ( 121 ) |
| 第四节 钢的化学成分对钢材性质的影响 ..... | ( 124 ) |
| 第五节 钢材的冷加工强化时效及其应用 ..... | ( 125 ) |
| 第六节 建筑钢材的标准和选用 .....     | ( 126 ) |
| 第七节 钢的腐蚀及其防止 .....       | ( 134 ) |
| 第六章 木材 .....             | ( 136 ) |
| 第一节 木材的分类与构造 .....       | ( 136 ) |
| 第二节 木材的物理、力学性质 .....     | ( 138 ) |
| 第三节 木材的材质 .....          | ( 143 ) |
| 第四节 木材的干燥 .....          | ( 145 ) |
| 第五节 木材的防腐、防虫及防火 .....    | ( 146 ) |
| 第六节 木材的综合利用 .....        | ( 148 ) |
| 第七章 沥青及其制品 .....         | ( 149 ) |
| 第一节 石油沥青与煤沥青 .....       | ( 149 ) |
| 第二节 沥青的应用及制品 .....       | ( 154 ) |

|                 |       |
|-----------------|-------|
| 第八章 建筑塑料        | (164) |
| 第一节 概述          | (164) |
| 第二节 塑料的组成       | (165) |
| 第三节 建筑中常用塑料     | (167) |
| 第四节 树脂基复合材料     | (169) |
| 第五节 树脂胶粘剂和嵌缝材料  | (170) |
| 第九章 其它材料        | (174) |
| 第一节 绝热材料        | (174) |
| 第二节 吸声材料        | (181) |
| 第三节 装饰材料        | (184) |
| 建筑材料试验          | (191) |
| 绪论              | (191) |
| 试验一 建筑材料的基本性质试验 | (191) |
| 试验二 烧结粘土普通砖检验   | (195) |
| 试验三 水泥试验        | (197) |
| 试验四 混凝土用砂和石检验   | (207) |
| 试验五 普通混凝土试验     | (216) |
| 试验六 砂浆试验        | (233) |
| 试验七 钢筋试验        | (236) |
| 试验八 石油沥青试验      | (240) |
| 参考文献            | (246) |

## 绪 论

建筑材料是指在各项建筑工程中所使用的各种材料。按化学成分可分为：无机材料、有机材料及复合材料三大类（表1）。

建 筑 材 料 的 分 类

表 1

|      |                 |                                                                                                           |
|------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 无机材料 | 金属材料            | 黑色金属：铁、碳素钢、合金钢<br>有色金属：铝、锌、铜等及其合金                                                                         |
|      | 非金属材料           | 天然石材：砂子、石子、各种岩石加工的石材<br>烧土制品：粘土砖、瓦、空心砖等<br>胶凝材料：石灰、石膏、菱苦土、水玻璃、水泥、混凝土、砂浆<br>硅酸盐制品<br>保温材料：石棉、膨胀珍珠岩等<br>玻 璃 |
| 有机材料 | 植物质材料           | 木材、竹材<br>植物纤维及其制品<br>保温材料：软木板等                                                                            |
|      | 沥青材料            | 石油沥青及煤沥青<br>沥青制品                                                                                          |
|      | 高分子材料           | 塑 料<br>涂 料<br>胶 粘 剂                                                                                       |
| 复合材料 | 无机非金属材料与有机材料的复合 | 玻璃纤维增强塑料<br>聚合物混凝土<br>沥青混凝土<br>水泥刨花板                                                                      |

材料的使用和发展标志着人类征服自然、文明发展的程度。建筑材料是材料总类中的重要组成部分，它是国民经济建设的基本物质基础。

历次的产业革命都对建筑材料的发展赋予了新的活力，起到了巨大的推动作用。随着新的产业革命的掀起，必将促使建筑材料在国民经济建设、城乡人民住房建设和现代工业、现代国防方面发展中发挥更大作用。提供各种品种、多项功能的建筑材料，是建筑材

料工业部门的一项光荣而艰巨的任务。

当前国民经济建设中，建筑材料工业是急需发展的基础工业之一。在“七五”期间及今后一个时期，要争取建筑材料生产有一个较大的发展，以逐步满足对建筑材料数量、质量、品种、效益等各方面日益增长的需求。

### 三

现代化的建筑，对建筑材料的要求是多方面的。随着社会物质文明的发展，人类对居住条件也逐渐提高要求。传统的建筑材料不再能满足这方面要求。需要有一批使用性能好、省能、质轻、高效和装饰效果诸方面都能适应这种需要的新型建筑材料。

今后建筑材料发展趋势，大致应有以下特点：

#### （一）发展新的生产工艺技术，提高生产效率

我国的水泥工业、墙体材料工业、装饰材料的生产，无论在质量、能耗、企业结构、社会效益均存在一些问题。为适应新型材料发展的需要，必须积极推广国内外的各项先进技术，推进技术改造，促使建筑材料装备和制造水平以及成套水平有一个突破性的进展，以极大地改变我国目前建筑材料生产的面貌。

#### （二）大力增加花色品种，发展与开发适用于多项功能要求的新型建筑材料

具有各种功能的新型建筑材料的开发，对于建筑工程的发展起着决定性的作用。为此，要改善传统材料，特别是墙体材料的性能，使其具有轻质、隔热、隔音、美观等功能；应重视小型砌块的发展；轻质板材及其复合板应得到充分发展；防水材料，建筑密封材料、建筑装饰材料等亦应有广阔发展前途；室内外地面材料在国外已趋向于彩色多型，国内尚处试制采用阶段，也应加强这方面的工作。

#### （三）充分利用工业废料和地方资源为原料，加快发展新型建筑材料

充分利用粉煤灰、煤矸石、植物纤维等各种工业废料资源以及地方资源，加快新材料的生产发展，尽快满足城乡“建房热”的要求。从速改善城乡居民住宅面积少、条件差的困难处境。

#### （四）发展新型复合建筑材料和复合结构

为了使材料具备多种功能，发展复合材料和复合结构是一个发展方向。预计二十一世纪将是无机非金属材料 and 复合材料时代。复合材料不仅改善原材料性能而且具有新的特殊功效。这种新型复合材料如各种纤维混凝土制品，有机、无机纤维板材以及几种材料的复合应用等，都正在部分地替代一些传统的建筑材料，获得明显的效益。

#### （五）努力发展建筑节能材料

能源是现代化经济建设的基本物质基础，很大程度上决定和制约着每个国家国民经济发展速度。能源也是人民生活必不可少的燃料资源。节能就等于增加一个新能源。建筑的节能具有很大潜力，发展建筑节能材料，提高建筑物的热保护，应该引起充分重视。

我国建筑材料工业的发展目前仍难以适应形势发展的需要，生产和应用中存在的问题不少。面临“新产业革命”的挑战，需要我们付出多方面的努力，使建筑材料工业为祖国的四化建设作出更大的贡献。

#### 四

建筑材料课是一门专业基础课。其任务是为学习专业课提供必要的基础理论知识，使学生今后在生产实践中能够合理选用并正确验收、贮运材料奠定初步基础，为从事建筑材料的应用科学研究提供必要的基本知识与技能。为此，学习建筑材料课时，必须抓住各种建筑材料的性质、质量标准，在了解建筑材料性能时，重点放在了解形成其性能的内在原因、外在条件与性能的关系以及影响性能的各种因素等。学习理论的同时，注意联系实际，培养学生的动手能力，重视实践性教学环节，上好试验课，做好必要的作业、计算，以利提高学习效果。

# 第一章 建筑材料的基本性质

任何建筑物在使用过程中，均要受到荷载、周围介质与环境的作用。荷载将引起建筑材料（以下简称材料）的变形和应力，因而材料就应具有与之相对应的变形性能与强度；周围介质与环境诸如空气、水及溶解于其中的侵蚀物质、温度、湿度的变化、阳光照射、冻融循环等作用，将导致耐久性的降低，为此材料还应具有抵抗介质与环境侵蚀等的一系列物理、化学作用的能力。

材料在建筑物中所应具有的性质依其所处部位的要求而不同。例如屋面材料应具有能承受风、雪荷载与屋面自重并防止雨、雪、风、沙对房屋内部的侵袭作用，还应具有夏季隔热、冬季保温的作用；外承重墙材料应具有承重与保温、隔音、耐风吹雨淋的作用；某些工厂建筑还需要具有耐热、防火、耐化学侵蚀的特殊性能等等。可见，材料应具有的性质是复杂的，而且是互相影响的。为了能够合理地选择与使用材料，保证建筑物能经久耐用必须深入研究与掌握材料的各项有关性质。

建筑材料的性质一般分为物理性质、力学性质、化学性质和耐久性。本章仅将带有共同性和比较重要的基本性质加以说明。

## 第一节 材料的物理性质

物理性质包括基本物理性质及与各种物理过程有关的性质。

### 一、材料的基本物理性质

#### （一）材料的状态参数

材料的状态参数是指表示材料物理状态特点的量。

##### 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  $\rho$ ——密度（ $\text{g}/\text{cm}^3$ ）；

$m$ ——材料在干燥状态下的质量（ $\text{g}$ ）；

$V$ ——材料在绝对密实状态下的体积（ $\text{cm}^3$ ）。

在讨论材料的基本物理性质时，过去常使用比重一词。这里的密度就是指的过去的比重的概念，但用质量取代了原来的重量。

绝大多数材料均具有一些孔隙。随材料中的孔隙多少、大小不同，密度的测定方法亦不同。对于孔隙较少，接近绝对密实的少数材料如钢、玻璃等，可根据其外形尺寸求得体积，称出干燥时的质量，按式（1-1）计算。对于有孔隙的材料，应把材料磨成细粉、干燥，先称其质量，然后倾入装有与材料不起化学作用的液体李氏比重瓶（参阅试验图1）

中，测定其绝对体积。砖石等块状材料的密度可用此法测定。比较密实的颗粒材料如砂、石子，则不必磨成细粉，可称取一定数量的干燥至恒重的试料，用排水法求得其体积。代入公式（1-1）中的 $V$ 是砂或石的颗粒体积（内部包含孔隙），而不是绝对密实的体积，算出的砂或石子的密度也不是绝对密实状态下的单位体积质量，而是密度的近似值，也就是过去常称的视比重。

### 2.容重

容重（或称体积密度）是指材料在自然状态下单位体积的质量。按下式计算：

$$\gamma = \frac{m}{V_0} \tag{1-2}$$

式中  $\gamma$ ——容重（ $\text{kg/m}^3$ ； $\text{g/cm}^3$ ）；

$m$ ——材料的质量（ $\text{kg}$ ； $\text{g}$ ）；

$V_0$ ——材料在自然状态下的体积（ $\text{m}^3$ ； $\text{cm}^3$ ）。

材料在自然状态下的体积，是指包含了材料内部孔隙或纤维之间空隙的体积。

容重的测定方法比较简单。对于有规则外形的材料，可直接测其外形尺寸求得体积，称其质量，按式（1-2）计算容重。对于散粒材料（如砂、石子）的容重，按其自然堆积状态下的体积（包括了颗粒之间的空隙体积）计算，所得称为“松散容重”。

几种常用材料的密度、容重列于表1-1中。由表1-1可以看出，一般情况下，对同一种材料而言，密度大于容重，而容重大于松散容重。例如石灰岩的密度为 $2.6\text{g/cm}^3$ ，容重为 $2400\text{kg/m}^3$ ，而石灰岩碎块的松散容重仅为 $1300\text{kg/m}^3$ ；对同一类材料来说，显然，密实材料的容重要大于多孔材料的容重，例如普通混凝土属于密实混凝土，其容重可达 $2500\text{kg/m}^3$ ，而轻混凝土仅为 $500\sim 1900\text{kg/m}^3$ 。

几种常用材料的密度与容重

表 1-1

| 材 料 名 称 | 密 度 ( $\text{g/cm}^3$ ) | 容 重 ( $\text{kg/m}^3$ )        |
|---------|-------------------------|--------------------------------|
| 钢       | 7.85                    | 7850                           |
| 木 材     | 1.55                    | 400~800                        |
| 水 泥     | 3.1                     | 1100~1350 <sup>①</sup>         |
| 普通混凝土   | 2.6                     | 1900~2500                      |
| 轻混凝土    |                         | 500~1900                       |
| 普通粘土砖   | 2.5                     | 1600~1800                      |
| 粘土空心砖   |                         | 1000~1400                      |
| 花 岗 岩   | 3.0                     | 2500~2900                      |
| 石 灰 岩   | 2.6                     | 1600~2400(碎石1300) <sup>①</sup> |
| 砂       | 2.65                    | 1500~1700 <sup>①</sup>         |
| 泡沫塑料    |                         | 20~50                          |

① 为松散容重。

容重与材料的含水率有关。材料含水时，质量要增加，体积也会发生不同程度的变化。因此在测定含水状态下的容重时，必须注明该材料的含水率。为便于对比，一般均以烘干至恒重时作标准，称为“干容重”。

在建筑物施工过程中，材料用量、构件自重、配料、料堆体积及材料运输量等的计算，经常要用到密度与容重的数据。

## (二) 材料的结构特征

### 1. 孔隙率

孔隙率是指材料的孔隙体积占总体积的百分数。用下式计算:

$$P = \frac{V_n}{V_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中  $P$ ——材料的孔隙率(%)；

$V_n$ ——材料中孔隙体积( $\text{cm}^3$ )；

$V_0$ ——材料在自然状态下的体积( $\text{cm}^3$ )。

孔隙率可用实验法或试验与计算相结合的方法求得。前者是利用液态氮充入孔隙中,以求得孔隙体积。后者是一般采用的方法,先测出干燥材料的密度与容重,然后再按下式计算:

$$P = \left(1 - \frac{\gamma}{\rho}\right) \cdot 100\% \quad (1-4)$$

式中  $P$ ——材料的孔隙率(%)；

$\gamma$ ——材料的干容重( $\text{kg/m}^3$ ;  $\text{g/cm}^3$ )；

$\rho$ ——材料的密度( $\text{g/cm}^3$ )。

对于散粒材料如砂、石子等的孔隙率计算,公式中的容重应代入松散容重,密度应代入视比重,则所算得的孔隙率仅仅是材料颗粒之间,而尚未包括材料颗粒内部的孔隙率。为区别起见,通常称为“空隙率”。

### 2. 开口孔隙率与闭口孔隙率

材料中的孔隙分为开口、闭口两种。故材料的孔隙率亦分为开口、闭口孔隙率两种。

开口孔隙率 是指能被水饱和的孔隙体积与材料在自然状态下的体积之比的百分数。

用下式表示:

$$P_{\pi} = \frac{m_{\text{饱}} - m}{V_0} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{水}}} \cdot 100\% \quad (1-5)$$

式中  $P_{\pi}$ ——开口孔隙率(%)；

$m$ ——材料干燥状态下的质量(g)；

$m_{\text{饱}}$ ——材料水饱和状态下的质量(g)；

$\rho_{\text{水}}$ ——水的密度( $\text{g/cm}^3$ )，一般可采用1；

$V_0$ ——材料在自然状态下的体积( $\text{cm}^3$ )。

测定开口孔隙率时,应把试件完全浸入水中。开口孔隙增大材料的透水性与吸水性,降低抗冻性。

闭口孔隙率: 是总孔隙率与开口孔隙率之差:

$$P_{\text{闭}} = P - P_{\pi} \quad (1-6)$$

对于多孔材料,减少开口孔隙,增加闭口孔隙,可提高材料的耐久性。但对于吸声材料却有意制成开口孔隙,以提高吸声效果。

### 3. 孔隙的分布

孔隙的分布是指孔隙按孔径大小的分布情况。它对材料一系列重要性质如强度、吸水性、抗渗性、抗冻性、导热性等有影响,通常采用水银测孔仪测定。

## 二、材料与各种物理过程有关的性质

### (一) 材料与水有关的性质

#### 1. 亲水性与憎水性

材料的亲水性是指当材料与水接触时, 很快将水吸入内部或是使水在材料表面铺散开来的性质; 材料的憎水性则指材料与水接触时, 不吸水或使水在材料表面呈球状存在的性质。如图1-1所示, 在材料、水和空气三相交点处, 沿水滴表面切线与材料和水接触面所形成的夹角, 称为“润湿边角” $\theta$ 。当 $\theta \leq 90^\circ$  (图1-1

(a))时, 材料分子与水分子之间互相的吸引力大于水分子之间的内聚力, 称之为亲水材料, 如砖瓦、砂、石、混凝土、木材等; 当 $\theta > 90^\circ$  (图1-1(b))时, 材料分子与水分子之间互相的吸引力小于水分子之间的内聚力, 称之为憎水材料, 如沥青、石蜡、油等。

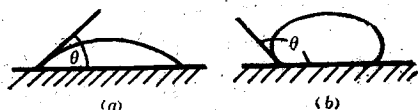


图 1-1 材料润湿示意  
(a) 亲水材料; (b) 憎水材料  
 $\theta$ —润湿边角

#### 2. 吸水性与吸湿性

吸水性: 是指材料在水中吸收水分的性质。吸水性的用吸水率表示:

$$W_{\text{质}} = \frac{m_{\text{饱}} - m}{m} \cdot 100\% \quad (1-7)$$

式中  $W_{\text{质}}$ ——材料的质量吸水率(%) ;  
 $m_{\text{饱}}$ ——材料吸水饱和状态下的质量(g) ;  
 $m$ ——材料干燥状态下的质量(g) 。

工程中多用质量吸水率 $W_{\text{质}}$ 表示材料的吸水性。但对于某些轻质材料如泡沫塑料等, 由于其质量吸水率超过了100%, 故用体积吸水率 $W_{\text{体}}$ 表示其吸水性较为适宜:

$$W_{\text{体}} = \frac{m_{\text{饱}} - m}{V_0} \cdot 100\% \quad (1-8)$$

式中  $W_{\text{体}}$ ——材料的体积吸水率(%) ;  
 $V_0$ ——材料自然状态下的体积( $\text{cm}^3$ ) 。

材料的吸水性大小, 取决于材料本身特性(是亲水的还是憎水的)及材料的结构特征。显然, 只是有孔隙的材料方有吸水性。对于具有孔隙的材料, 其吸水率的大小还与孔隙率、孔隙的构造有关。封闭的孔隙实际上是不吸水的, 只有那些开口而又以毛细管连通的孔隙才是吸水的。故一般体积吸水率要小于孔隙率。例如轻混凝土的体积吸水率为20~30%, 而孔隙率却为50~60%。根据体积吸水率与孔隙率的比值(孔隙水饱和系数)可以判断材料的结构特征:

$$K = \frac{W_{\text{体}}}{P} \quad (1-9)$$

式中  $K$ ——孔隙水饱和系数, 表示材料在吸水时, 其孔隙有多少为水所充满。可由0 (材料中的孔隙全部为封闭的)至1 (所有孔隙全部是开口的);

$W_{\text{体}}$ ——材料的体积吸水率;

$P$ ——材料的孔隙率。

各种不同的材料, 其吸水率相差很大。如花岗岩为0.2~0.7%, 普通混凝土为2~3%;

普通粘土砖为8~20%；木材与多孔轻质材料通常可达100%（按质量吸水率）以上。

材料吸水对材料性能会产生一系列影响，它可使容重增加，导热系数提高，体积膨胀，强度降低，抗冻性下降等。因此，在实际应用中必须加以注意。

吸湿性：是指材料在潮湿空气中吸收水分的性质。用含水率表示：

$$W = \frac{m_w - m}{m} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中  $W$ ——材料的含水率（%）；

$m_w$ ——材料吸收空气中水分后的质量（g）；

$m$ ——材料干燥状态下的质量（g）。

材料的吸湿性主要与材料的孔隙及其构造有关。毛细多孔材料不仅可在水中吸水，而且在空气中还吸收空气中的水汽；当周围空气中的水分减少时，材料还会放出所吸入的水分，直至与周围空气湿度达到平衡。此时的含水量称为“平衡含水率”。平衡含水率随温度、湿度变化而变化。

材料的吸湿性对材料的性能有很大影响。例如木材由于吸湿性特别明显，能大量吸收水汽而增加质量，降低强度和改变尺寸，木门窗在潮湿环境下往往不易开关，又如保温材料吸入水分后，保温性能明显下降。故在应用材料时必须注意吸湿性对其性能的影响，采取有效的防护措施。

### 3. 耐水性

耐水性是指材料在水的作用下不破坏，强度也不显著下降的性质。用下式表示：

$$K_{\text{水}} = \frac{f_{\text{水}}}{f} \quad (1-11)$$

式中  $K_{\text{水}}$ ——材料的软化系数；

$f_{\text{水}}$ ——材料在饱和水状态下的抗压极限强度（MPa）；

$f$ ——材料在干燥状态下的抗压极限强度（MPa）。

一般材料在含水时，强度均有所降低，这是由于渗入材料中的水膜将削弱材料微粒间的结合力之故。

由式（1-11）可知， $K_{\text{水}}$ 值的大小表明材料吸水后强度降低的程度。其值由0（粘土）至1（金属）。 $K_{\text{水}}$ 愈小，表示材料吸水后强度下降得愈多，即耐水性愈差。故 $K_{\text{水}}$ 值可作为处于严重受水侵蚀或潮湿环境下的，重要结构物选择材料时的主要依据。对处于水中的重要结构物，其材料的 $K_{\text{水}}$ 值应不小于0.85~0.90；次要的或受潮较轻的结构物，其 $K_{\text{水}}$ 值应不小于0.75~0.85；对于经常处于干燥环境的结构物，可不考虑 $K_{\text{水}}$ 。

### 4. 抗渗性

抗渗性是指材料抵抗压力水渗透的性质。可用抗渗标号<sup>①</sup>表示。

材料抗渗性的高低，与其孔隙率及孔隙特征有关。绝对密实的或具有封闭孔隙的材料，实际上是不透水的。另外，材料的亲水性或憎水性也对抗渗性有一定影响。

地下建筑物及水工建筑物，因常受到水压力或水头差的作用，所用材料应具有一定的抗渗性。对于防水材料，则要求具有较高的抗渗性。材料抵抗其他液体渗透的性质，也属于抗渗性，如贮油罐则要求材料具有良好的不渗油性。

① 参阅第四章第一节。

## 5. 抗冻性

抗冻性是指材料在吸水饱和状态下, 经受多次冻结、融化循环而不破坏, 也不严重降低强度的性质, 用“抗冻标号”(冻、融循环次数) $D$ 表示。

抗冻标号是将饱和水状态下的试件, 按标准方法进行冻融循环试验, 根据强度降低, 质量损失, 以及裂缝等不超过允许值所能经受的最大冻融循环次数来确定。如 $D_{50}$ 、 $D_{100}$ 等。

材料遭受冻融破坏的原因主要是材料在某一冻结温度下, 水在材料孔隙内部结冰时, 水变冰, 其体积增大9%, 如孔隙在吸水饱和和情况下, 水变成冰, 将给孔隙壁以很大压力而使孔壁开裂。在多次冻融循环时, 破裂逐渐增大, 最后导致完全破坏。

对材料抗冻性的要求, 视工程种类、结构部位、所处环境、使用条件以及建筑物等级而定。

### (二) 材料的热工性能

#### 1. 导热性

导热性是指热量由固体材料的一面传至另一面的性质。用导热系数( $\lambda$ )表示。导热系数 $\lambda$ 的大小表明材料传递热量的能力大小。

以单层平板材料为例(图 1-2), 试验证明, 在稳定的单向热流传热条件下, 均质材料传导的热量与传热面积、时间、两面温差成正比; 而与厚度成反比。如下式:

$$Q = \lambda \frac{A \cdot Z \cdot (t_1 - t_2)}{a} \quad (1-12)$$

式中  $Q$ ——总传出的热量(J);

$\lambda$ ——导热系数(W/(mk));

$A$ ——传热面积(m<sup>2</sup>);

$Z$ ——传热时间(h);

$(t_1 - t_2)$ ——材料两面的温差(k);

$a$ ——材料的厚度(m)。

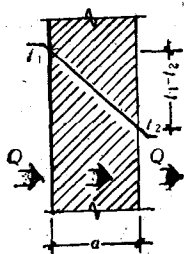


图 1-2 材料导热示意

将式(1-12)移项, 得导热系数 $\lambda$ 的公式:

$$\lambda = \frac{Q \cdot a}{A \cdot Z \cdot (t_1 - t_2)} \quad (1-13)$$

$\lambda$ 的物理意义是, 单位厚度的均质材料, 两侧表面温差为单位温差时, 在单位时间内, 通过单位面积以传导方式传递的热量。

影响材料导热性的因素很多。材料的导热性取决于其化学组成、结构、孔隙率与孔隙特征、含水率及导热时的温度。

一般无机材料的导热系数高于有机材料(见表 1-2)。化学组成相同而构造不同的材料, 导热系数也不同, 如晶体的导热系数大于玻璃体的导热系数。呈层状或纤维构造的材料, 因热流方向与纤维方向不同而异, 如木材, 顺纹的导热系数大于横纹的导热系数。对于同类材料, 导热系数主要影响因素是孔隙率、孔隙特征及含水率。孔隙率愈大, 导热系数愈小, 因为充满了孔隙的空气导热系数很小(0.029W/(mk)); 孔隙率相同时, 孔隙的形状及分布不同, 则导热系数也不同, 粗大、连通的孔隙由于易发生空气的对流, 故较细微或封闭的孔隙材料的导热系数为大。如图 1-3 所示, 孔隙相等的三个试件( $a$ )、

(b)、(c)，由于孔的形状及分布不同，则导热性各异，其中(c)最大。孔隙率、孔隙特征均相同，但其孔隙中的介质(如空气、水、冰)不同时，导热系数也有差异。由于空气的导热系数  $\lambda = 0.029 \text{ W/(mk)}$ ，水的导热系数  $\lambda = 0.58 \text{ W/(mk)}$  (是空气的20倍)，冰的导热系数  $\lambda = 2.32 \text{ W/(mk)}$  (是空气的80倍)，故当含水率增加时，其导热系数会更高。大多数材料的导热系数还随温度升高而增加。

材料的导热系数对建筑物的隔热和保温具有重要意义，常常采用  $\lambda$  值小的材料作保温材料并同时采取措施使其处于干燥状态。材料的导热系数还是采暖房屋的墙体、屋面的热工计算以及确定热表面与冷藏库隔热层厚度的重要数据。在选择热管道、锅炉等隔热材料时还必须充分考虑温度对导热系数的影响。

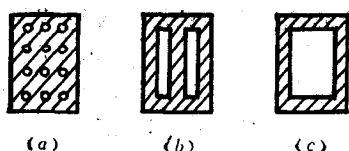


图 1-3 孔隙形状示意

## 2. 热阻

热阻是指材料层阻止热流通过的能力。用  $R$  表示。

由式(1-13)：

$$\lambda = \frac{Q \cdot a}{AZ(t_1 - t_2)} \quad \text{得：}$$

$$\frac{Q}{Z \cdot A} = \frac{\lambda}{a} (t_1 - t_2) \quad (1-14)$$

该式中的  $\frac{Q}{Z \cdot A}$  称为热流密度(单位时间内，通过单位面积的热流量)，用  $q$  表示。

则有：

$$q = \frac{\lambda}{a} (t_1 - t_2) \quad (1-15)$$

式(1-15)中的  $(t_1 - t_2)$  是决定  $q$  的外因，而  $\frac{\lambda}{a}$  则是决定  $q$  的内因。在建筑热工中，称  $\frac{\lambda}{a}$  的倒数  $\frac{a}{\lambda}$  为材料层的热阻。即：

$$R = \frac{a}{\lambda} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{k/W}) \quad (1-16)$$

式(1-15)可写为：

$$q = \frac{1}{R} (t_1 - t_2) \quad (1-17)$$

由式(1-17)可知，在同样温差条件下， $R$  值越大， $q$  值越小。由式(1-16)可知， $R$  是材料层本身的热性能指标，其大小表明材料层阻止热流通过的能力的大小。

## 3. 热容量

几种主要材料的导热系数  $[\text{W/(mk)}]$

表 1-2

| 材料名称  | $\lambda$ | 材料名称   | $\lambda$ | 材料名称 | $\lambda$ |
|-------|-----------|--------|-----------|------|-----------|
| 钢     | 58        | 加气混凝土  | 0.09~0.14 | 泡沫塑料 | 0.035     |
| 花岗岩   | 2.9       | 普通红砖   | 0.81      | 密闭空气 | 0.029     |
| 普通混凝土 | 1.28~1.51 | 松木(横纹) | 0.17      | 水    | 0.58      |
| 陶粒混凝土 | 0.46~0.75 | 松木(顺纹) | 0.35      | 冰    | 2.32      |
| 泡沫混凝土 | 0.12~0.29 | 膨胀珍珠岩  | 0.05~0.06 |      |           |

热容量是指材料受热时吸收热量，冷却时放出热量的性质。用比热 $C$ 表示。

材料受热（或冷却）时，吸收（或放出）的热量与材料质量、温度差成正比。如下式：

$$Q = C \cdot m(t_2 - t_1) \quad (1-18)$$

式中  $C$ ——材料的比热（ $\text{kJ/kg} \cdot \text{k}$ ）；

$Q$ ——材料吸收（或放出）的热量（ $\text{kJ}$ ）；

$m$ ——材料的质量（ $\text{kg}$ ）；

$(t_2 - t_1)$ ——材料受热（或冷却）前后的温度差（ $\text{k}$ ）。

将式（1-18）移项，得比热 $C$ 的公式：

$$C = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)} \quad (1-19)$$

比热 $C$ 是指单位质量的材料，温度升高（或降低）单位温度所吸收（或放出）的热量。

比热 $C$ 与材料质量 $m$ 的乘积 $C \cdot m$ ，称为材料的热容量值。使用热容量大的材料，对于保持室内温度稳定性有良好的作用。

比热最大的是水，其 $C = 4.2 \text{ kJ/kg} \cdot \text{k}$ 。各种材料的比热均小于水的比热，例如木材的 $C = 2.39 \sim 2.72$ ；天然和人造石材的 $C = 0.75 \sim 0.92$ ；钢的 $C = 0.48$ 。可见，材料的含水率愈大，比热 $C$ 愈大。

## 第二节 材料的力学性质

材料的力学性质系指在外力作用下的变形性质以及抵抗外力破坏的能力。

### 一、强度

强度是指材料在外力作用下抵抗破坏的能力。

当材料承受外力时，内部就产生了应力（即单位面积内的分布内力，随着外力的增加，应力也相应地增大，直至质点间结合力不能再抵抗所承受的外力时，材料即行破坏。此时的极限应力值就代表材料的强度（用 $f$ 表示）。

根据外力作用方式的不同，材料的强度主要有抗压、抗拉、抗剪、抗弯强度等（如图1-4所示）。

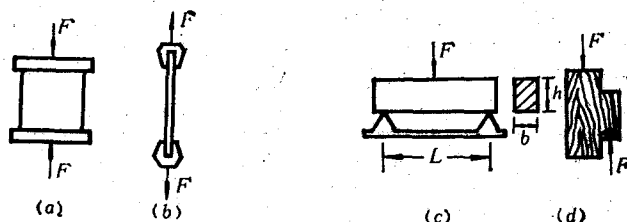


图 1-4 材料强度试验示意

(a) 压力；(b) 拉力；(c) 弯曲；(d) 剪切

材料的抗压、抗拉及抗剪强度均可用下式计算：

$$f = \frac{F}{A} \quad (1-20)$$

式中  $f$ ——材料的抗压、抗拉及抗剪极限强度（ $\text{N/mm}^2$ 或 $\text{MPa}$ ）；