

高职高专规划教材  
Gaozhi Gaozhuan Guihua Jiaocai

Jianzhu  
Cailiao

# 建筑材料

范文昭 主 编  
宋岩丽 副主编



中国建筑工业出版社  
China Architecture & Building Press

TU5  
F149:1

高职高专规划教材

# 建 筑 材 料

范文昭 主 编  
宋岩丽 副主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑材料/范文昭主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2004

高职高专规划教材

ISBN 7-112-06168-7

I. 建… II. 范… III. 建筑材料-高等学校: 技术学校-教材 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 115607 号

本书是建设部高职高专规划教材, 是根据现行的高职高专建筑工程、房地产和建筑经济管理专业教学基本要求编写的。介绍了常用建筑材料的品种、规格、性能、应用与保管知识和试验方法。编写过程中力求深入浅出, 语言精练, 突出技能培养。全书采用了新规范和新标准, 采用了法定计量单位。

本书可作为高等职业技术教育土建类相关专业教材, 可用作专业培训教材, 也可供有关工程技术人员参考。

\* \* \*

责任编辑: 向建国 张 晶

责任设计: 崔兰萍

责任校对: 王 莉

高职高专规划教材

建 筑 材 料

范文昭 主 编

宋岩丽 副主编

\*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京蓝海印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19 字数: 456 千字

2004 年 2 月第一版 2004 年 2 月第一次印刷

印数: 1—3500 册 定价: 26.00 元

ISBN 7-112-06168-7

TU·5435 (12181)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

## 前 言

按照建设部高等职业教育专业委员会关于建设类高等职业教育专业教材编审原则意见和教育部关于高职高专教育教学改革精神,近年来我们积极探索建筑工程、房地产及建筑经济管理等土建类高职专业所开设的建筑材料课程在教学内容、教学方法和教学手段等方面的改进工作,并在此基础上编写了本教材。力求体现高等职业技术教育的特色和达到培养高等技术应用型专门人才的目标。

本教材编写过程中,注意理论联系实际,注重与工程实践相结合和技能的培养。对传统教学内容体系作了适当的调整,删减了某些陈旧的或因危害健康而日渐淘汰的产品,增加了建材产品中新概念和新型材料的介绍。编写中采用了最新技术标准和技术规范,采用了法定计量单位。

本书由山西建筑职业技术学院范文昭主编,宋岩丽任副主编。其中绪论和第2、9、12章由范文昭编写;第1、3、4、5章由宋岩丽编写;第7、8章和试验部分由范红岩编写;第6、10、11、13章由陈立东编写。

在本书编写过程中,得到山西建筑科学研究院的工程技术人员和太原理工大学建材教研室老师的指导和帮助,在此一并表示感谢。

限于编者水平有限,书中错漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

# 目 录

|                  |     |
|------------------|-----|
| 绪论               | 1   |
| 第一章 建筑材料的基本性质    | 4   |
| 第一节 材料的基本物理性质    | 4   |
| 第二节 材料的力学性质      | 12  |
| 第三节 材料的耐久性       | 16  |
| 复习思考题            | 17  |
| 第二章 天然石材         | 18  |
| 第一节 建筑中常用的岩石     | 18  |
| 第二节 天然石材的技术性质和类型 | 20  |
| 复习思考题            | 23  |
| 第三章 气硬性胶凝材料      | 24  |
| 第一节 建筑石灰         | 24  |
| 第二节 建筑石膏         | 28  |
| 第三节 水玻璃          | 31  |
| 复习思考题            | 33  |
| 第四章 水泥           | 34  |
| 第一节 硅酸盐水泥        | 34  |
| 第二节 掺混合材料的硅酸盐水泥  | 44  |
| 第三节 铝酸盐水泥        | 50  |
| 第四节 其他品种水泥       | 52  |
| 第五节 水泥的选用、验收与保管  | 56  |
| 复习思考题            | 60  |
| 第五章 混凝土          | 61  |
| 第一节 概述           | 61  |
| 第二节 普通混凝土的组成材料   | 62  |
| 第三节 混凝土的性质       | 72  |
| 第四节 混凝土的质量控制     | 89  |
| 第五节 普通混凝土配合比设计   | 93  |
| 第六节 混凝土外加剂       | 101 |
| 第七节 其他品种混凝土      | 108 |
| 复习思考题            | 116 |
| 第六章 建筑砂浆         | 118 |
| 第一节 砌筑砂浆         | 118 |
| 第二节 抹面砂浆         | 124 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第三节 其他砂浆·····               | 125 |
| 复习思考题·····                  | 126 |
| <b>第七章 墙体材料</b> ·····       | 128 |
| 第一节 砌墙砖·····                | 128 |
| 第二节 墙用砌块·····               | 138 |
| 第三节 墙用板材·····               | 143 |
| 复习思考题·····                  | 147 |
| <b>第八章 建筑钢材</b> ·····       | 148 |
| 第一节 概述·····                 | 148 |
| 第二节 建筑钢材的主要技术性能·····        | 150 |
| 第三节 建筑钢材的常用钢种·····          | 157 |
| 第四节 钢筋混凝土用钢材·····           | 161 |
| 第五节 钢材的锈蚀与防止·····           | 167 |
| 复习思考题·····                  | 169 |
| <b>第九章 木材</b> ·····         | 170 |
| 第一节 木材的构造·····              | 170 |
| 第二节 木材的主要性质·····            | 171 |
| 第三节 木材的应用·····              | 173 |
| 第四节 木材的处理·····              | 175 |
| 复习思考题·····                  | 177 |
| <b>第十章 防水材料</b> ·····       | 178 |
| 第一节 沥青·····                 | 178 |
| 第二节 防水卷材·····               | 183 |
| 第三节 防水涂料·····               | 187 |
| 第四节 密封材料·····               | 192 |
| 复习思考题·····                  | 195 |
| <b>第十一章 合成高分子材料</b> ·····   | 196 |
| 第一节 建筑塑料及其制品·····           | 196 |
| 第二节 树脂胶粘剂·····              | 201 |
| 第三节 涂料·····                 | 203 |
| 复习思考题·····                  | 206 |
| <b>第十二章 建筑装饰材料</b> ·····    | 207 |
| 第一节 玻璃及其制品·····             | 207 |
| 第二节 建筑陶瓷·····               | 211 |
| 第三节 铝合金门窗及金属装饰板材·····       | 214 |
| 复习思考题·····                  | 216 |
| <b>第十三章 绝热材料和吸声材料</b> ····· | 217 |
| 第一节 绝热材料·····               | 217 |
| 第二节 吸声材料·····               | 220 |
| 复习思考题·····                  | 222 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| <b>第十四章 建筑材料试验</b> .....       | 223 |
| 第一节 建筑材料的基本性质试验.....           | 223 |
| 第二节 水泥试验.....                  | 227 |
| 第三节 建筑用砂、建筑用卵石（碎石）试验.....      | 237 |
| 第四节 普通混凝土拌合物性能试验.....          | 246 |
| 第五节 普通混凝土力学性能与非破损试验.....       | 254 |
| 第六节 建筑砂浆试验.....                | 263 |
| 第七节 烧结普通砖试验.....               | 266 |
| 第八节 钢筋试验.....                  | 270 |
| 第九节 石油沥青试验.....                | 274 |
| 第十节 弹性体改性沥青防水材料（SBS 卷材）试验..... | 278 |
| <b>附表 建筑材料试验报告</b> .....       | 283 |
| <b>参考文献</b> .....              | 294 |

# 绪 论

## 一、建筑材料的定义与分类

建筑材料是指建造建筑物和构筑物所用材料及其制品的统称，它是一切建筑工程的物质基础。本课程所讨论的建筑材料，是指用于建筑物地基、基础、地面、墙体、梁、板、柱、屋顶和建筑装饰的所有材料。

建筑材料品种繁多，性能用途各异，价格相差悬殊，在建筑工程中用量巨大，其费用在工程总造价中往往占到 50% 左右。所以，能够正确选择和合理使用建筑材料对保证工程质量和合理的造价、提高投资效益有着重大的意义。

建筑材料可按多种方法进行分类，通常我们按化学成分和用途进行分类。

按照材料的化学成分可将建筑材料分为无机材料、有机材料和复合材料三大类，如图 0-1 所示。

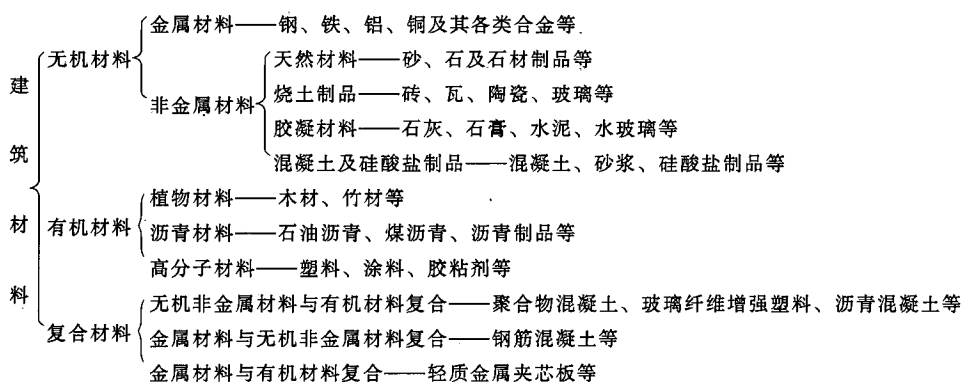


图 0-1 建筑材料按化学成分分类

建筑材料按用途通常分为：结构材料、墙体材料、防水材料、绝热材料、吸声材料、装饰材料等。

## 二、建筑材料的发展概况和发展方向

建筑材料科学的发展，是随着社会生产力的发展而发展的。

我国古代历史上有成功应用建筑材料建造出辉煌建筑物的范例。我国劳动人民在 3 000 年前已能烧制石灰、砖瓦。始建于春秋战国时期的万里长城，其砖石材料用量达 1 亿  $\text{m}^3$ 。建于唐代的山西五台山佛光寺木结构大殿和建于辽代的应县木塔至今保存完好。建于宋朝的福建泉州洛阳桥，是用石材建造的，其中一块石材重达二百余吨。

自新中国成立之后，特别是改革开放以来，我国建筑材料工业得到迅速发展，水泥、平板玻璃、建筑和卫生陶瓷等产量一直位居世界第一，已经渡过“短缺”经济时代。但是我国建材行业总体科技水平和产品质量档次尚不高。

为了适应我国经济建设和社会发展的需要，建筑材料工业应向研制、开发高性能建筑



材料和绿色建筑材料方向发展。

高性能建筑材料是指性能质量更加优异的，轻质、高强、多功能和更加耐久、更富装饰效果的材料，是便于机械化施工和更有利于提高施工生产效率的材料。

绿色建筑材料又称生态建筑材料或无公害建筑材料。它是指生产建筑材料的原料尽可能少用天然资源，大量使用工业废渣、废液，采用低能耗制造工艺和无污染环境的生产技术，原料配制和产品生产过程中不使用有害和有毒物质，产品设计以人为本，以改善生活环境、提高生活质量为宗旨，以及产品可循环再利用，不产生污染环境的废弃物。总之，绿色建材是既能满足可持续发展，又做到发展与环保统一；既能满足现代人需要——安居乐业、健康长寿，又不损害后代人利益的一种材料。绿色建材已成为世界各国 21 世纪建材工业发展的战略重点。

### 三、建筑材料的技术标准

建筑材料的技术标准是材料生产和使用单位检验、确定产品质量是否合格的技术文件。为了确保建材产品的质量，进行现代化生产和科学管理，必须对建材产品的技术要求制定统一的执行标准。其主要内容有：产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、标志、运输和贮存注意事项等。在我国，技术标准分为四级：国家标准、行业（或部）标准、地方标准和企业标准。国家标准是由国家标准局颁布的全国性的技术文件，代号为 GB；行业标准是由主管生产的部委或总局颁布的全国性的技术文件，其代号按部委（或总局）名而定；地方标准是地方主管部门发布的地方性的技术文件；企业标准仅适用于本企业，其代号为 QB，凡没有制定国家标准、行业标准的产品应制定企业标准。四级标准代号见表 0-1。随着我国对外开放程度的加深，我们还将涉及到一些与建材关系密切的国际或外国标准，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。

四级标准代号

表 0-1

| 标准种类 | 代 号                         | 表示内容                                        | 表示方法                                                                                                            |
|------|-----------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 国家标准 | GB<br>GB/T                  | 国家强制性标准<br>国家推荐性标准                          | 由标准名称、部门代号、标准编号、颁布年份等组成，例如：<br>《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》（GB 175—1999）；《建筑用砂》（GB/T 14684—2001）、《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ 55—2000） |
| 行业标准 | JC<br>JGJ<br>YB<br>JT<br>SD | 建材行业标准<br>建设部行业标准<br>冶金行业标准<br>交通标准<br>水电标准 |                                                                                                                 |
| 地方标准 | DB<br>DB/T                  | 地方强制性标准<br>地方推荐性标准                          |                                                                                                                 |
| 企业标准 | QB                          | 适用于本企业                                      |                                                                                                                 |
|      |                             |                                             |                                                                                                                 |

### 四、本课程的内容和任务

本课程是“建筑工程”、“房地产经济管理”、“建筑经济管理”等土建类专业的一门技术基础课。主要讲述常用建筑材料的组成、性能、试验方法、储运保管和应用等方面的知识。为学习其他相关课程，也为今后实际工作中能够正确选择、鉴别、管理和合理地使用建筑材料，奠定基本的理论知识和进行初步的训练。

试验课是本课程重要的教学内容，其任务是验证基本理论、掌握试验方法、培养科学研究能力和严谨的科学态度。做试验之前应认真预习，有条件的可观看试验操作录像片。做试验时要严肃认真，一丝不苟地按程序操作，填写试验报告。要了解试验条件对试验结果的影响，并对试验结果作出正确的分析和判断。

# 第一章 建筑材料的基本性质

建筑材料是人类建造活动所用一切材料的总称。建筑材料在其使用期间要受到各种外界因素的作用，如：结构用材料受到各种外力作用，因而材料应具有一定的力学性质；屋面材料应具有一定的防水、保温、隔热等性质；地面材料应具有较高的强度、耐磨、防滑等性质；墙体材料应具有一定的强度、保温、隔热等性质；某些特殊的工业建筑所用材料还应具备耐热、耐化学腐蚀等性质。建筑物长期暴露在大气中，还会经常受到风吹、日晒、雨淋、冰冻等引起的温、湿度变化以及冻融循环作用，这些因素都不同程度地使建筑材料遭受破坏。因此，为了保证建筑物在使用环境中能够安全、适用、耐久，材料应具备抵抗上述各种因素作用的性质。

建筑材料的性质是多方面的，而各类材料又各自具有自己的特殊性。本章仅就建筑材料共有的基本性质（包括物理性质、力学性质、耐久性）进行介绍，每种材料的特殊性将分别在有关章节进行叙述。

## 第一节 材料的基本物理性质

### 一、与质量有关的基本物理性质

#### （一）密度

密度是指材料在绝对密实状态下，单位体积的质量。其计算式为：

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

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 ( $\text{cm}^3$ )。

材料在绝对密实状态下的体积是指不包括材料孔隙在内的固体实体积。在建筑工程材料中，除了钢材、玻璃等极少数材料可认为不含孔隙外，绝大多数材料内部都存在孔隙。如图 1-1 所示，固体材料的总体积包括固体物质体积与孔隙体积两部分。孔隙按常温、常压下水能否进入分为开口孔隙和闭口孔隙。开口孔是指在常温、常压下水可以进入的孔隙；闭口孔是指在常温、常压下水不能进入的孔隙。

为了测定有孔材料的密实体积，通常把材料磨成细粉（粒径小于  $0.2\text{mm}$ ），以便去除其内部孔隙，干燥后用李氏瓶（密度瓶）通过排液体法测定其密实体积。材料磨得越细，细粉体积越接近其密实体积，所测得密度值也就越精确。

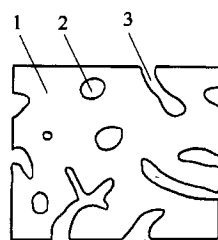


图 1-1 固体材料的  
体积构成

1—固体物质体积  $V$ ；

2—闭口孔隙体积  $V_B$ ；

3—开口孔隙体积  $V_K$

密度是材料的基本物理性质，与材料的其他性质存在着密切关系。

## (二) 表观密度

表观密度是指多孔固体材料在自然状态下单位体积的质量，亦称体积密度。其计算式为：

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

式中  $\rho_0$ ——表观密度或体积密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$  或  $\text{g}/\text{cm}^3$ )；

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

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

材料在自然状态下的体积是指构成材料的固体物质体积与全部孔隙体积（包括闭口孔隙体积和开口孔隙体积）之和。对于形状规则的体积可以直接量测计算而得（比如各种砌块、砖）；形状不规则的体积可将其表面用蜡封以后用排水法测得。

工程中常用的散粒状材料如砂、石，其颗粒内部孔隙极少，用排水法测出的颗粒体积（材料的密实体积与闭口孔隙体积之和，但不包括开口孔隙体积）与其密实体积基本相同，因此，砂、石的表观密度可近似地当作其密度，故称视密度，又称颗粒表观密度。

当材料孔隙内含有水分时，其质量和体积均有所变化，因此测定材料表观密度时，必须注明其含水状态，如绝干（烘干至恒重）、风干（长期在空气中干燥）、含水（未饱和）、吸水饱和等，相应的表观密度称为干表观密度、气干表观密度、湿表观密度、饱和表观密度。通常所说的表观密度是指干表观密度。

## (三) 堆积密度

堆积密度是指粉状、颗粒状材料在堆积状态下单位体积的质量。其计算式为：

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

式中  $\rho'_0$ ——堆积密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；

$m$ ——材料质量 ( $\text{kg}$ )；

$V'_0$ ——材料的堆积体积 ( $\text{m}^3$ )。

材料的堆积体积包括颗粒体积（颗粒内有开口孔隙和闭口孔隙）和颗粒间空隙的体积，如图 1-2 所示。砂、石等散粒状材料的堆积体积，可通过在规定条件下用所填充容量筒的容积来求得，材料堆积密度大小取决于散粒材料的视密度、含水率以及堆积的疏密程度。在自然堆积状态下称松散堆积密度，在振实、压实状态下称为紧密堆积密度。除此之外，材料的含水程度也影响堆积密度，通常指的堆积密度是在气干状态下的，称为气干堆积密度，简称堆积密度。

## (四) 密实度与孔隙率

### 1. 密实度

密实度是指材料体积内被固体物质所充实的程度。其计算式为：

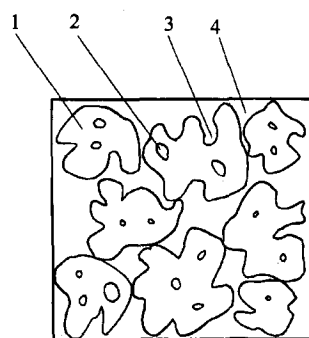


图 1-2 散粒材料的堆积体积示意图

1—颗粒中固体物质体积；2—颗粒中的闭口孔隙；3—颗粒中的开口孔隙；4—颗粒间空隙

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

对于绝对密实材料, 因  $\rho_0 = \rho$ , 故  $D = 1$  或  $100\%$ , 对于大多数建筑材料, 因  $\rho_0 < \rho$ , 故  $D < 1$  或  $D < 100\%$ 。

## 2. 孔隙率

孔隙率是指材料体积内, 孔隙体积占总体积的百分率, 其计算式为:

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

由上式可见:

$$P + D = 1 \quad (1-6)$$

孔隙率由开口孔隙率和闭口孔隙率两部分组成。开口孔隙率指材料内部开口孔隙体积与材料在自然状态下体积的百分比, 即被水饱和的孔隙体积所占的百分率。其计算式为:

$$P_K = \frac{V_K}{V_0} \times 100\% = \frac{m_2 - m_1}{V_0} \cdot \frac{1}{\rho_w} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中  $P_K$ ——材料的开口孔隙率 (%) ;

$m_1$ ——干燥状态下材料的质量 (g) ;

$m_2$ ——吸水饱和状态下材料的质量 (g) ;

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

闭口孔隙率指材料总孔隙率与开口孔隙率之差, 用下式表示:

$$P_B = P - P_K \quad (1-8)$$

材料的密实度和孔隙率是从两个不同侧面反映材料的密实程度, 通常用孔隙率来表示。

建筑材料的许多性质如强度、吸水性、抗渗性、抗冻性、导热性及吸声性都与材料的孔隙有关。这些性质除取决于孔隙率的大小外, 还与孔隙的构造特征密切相关, 如孔隙的大小、形状、分布、连通与否等。一般情况下, 材料内部的孔隙率越高, 则材料的表观密度、强度越小, 抗冻性、抗渗性、耐腐蚀性、耐水性及其他耐久性越差。通常开口孔隙有利于吸水性、吸声性、透水性的增强; 而闭口孔隙则有利于材料保温隔热性的提高。

在建筑工程中, 计算材料的用量经常用到材料的密度、表观密度和堆积密度等数据, 如表 1-1 所示。

常用建筑材料的密度、视密度、表观密度和堆积密度数值

表 1-1

| 材料名称  | 密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 视密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 表观密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) | 堆积密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) |
|-------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 钢材    | 7.85                          | —                              | 7 850                           | —                               |
| 花岗岩   | 2.6~2.9                       | —                              | 2 500~2 850                     | —                               |
| 石灰岩   | 2.4~2.6                       | —                              | 2 000~2 600                     | —                               |
| 普通玻璃  | 2.5~2.6                       | —                              | 2 500~2 600                     | —                               |
| 烧结普通砖 | 2.5~2.7                       | —                              | 1 500~1 800                     | —                               |
| 建筑陶瓷  | 2.5~2.7                       | —                              | 1 800~2 500                     | —                               |

续表

| 材料名称  | 密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 视密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 表观密度 (kg/m <sup>3</sup> ) | 堆积密度 (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 普通混凝土 | 2.6~2.8                 | —                        | 2 300~2 500               | —                         |
| 普通砂   | 2.6~2.8                 | 2.55~2.75                | —                         | 1 450~1 700               |
| 碎石或卵石 | 2.6~2.9                 | 2.55~2.85                | —                         | 1 400~1 700               |
| 木材    | 1.55                    | —                        | 400~800                   | —                         |
| 泡沫塑料  | 1.0~2.6                 | —                        | 20~50                     | —                         |

## (五) 填充率与空隙率

### 1. 填充率

填充率是指散粒材料在其堆积体积中, 被其颗粒填充的程度, 以  $D'$  表示, 用下式计算:

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

### 2. 空隙率

空隙率是指散粒材料在其堆积体积中, 颗粒之间空隙体积占材料堆积体积的百分率, 以  $P'$  表示。用下式计算:

$$P' = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\% = 1 - D' \quad (1-10)$$

即  $D' + P' = 1$

填充率和空隙率是从两个不同侧面反映散粒材料的颗粒互相填充的疏密程度。空隙率可以作为控制混凝土骨料级配及计算砂率的依据。

**【例 1-1】** 已知某卵石的密度为  $2.65\text{g/cm}^3$ , 表观密度为  $2\,610\text{kg/m}^3$ , 堆积密度为  $1\,680\text{kg/m}^3$ 。求石子的孔隙率和空隙率?

解 孔隙率:  $P = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{2.61}{2.65}\right) \times 100\% = 1.5\%$

空隙率:  $P' = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{1\,680}{2\,610}\right) \times 100\% = 35.6\%$

## 二、材料与水有关的性质

### (一) 亲水性与憎水性

材料在与水接触时, 不同材料遇水后和水的互相作用情况是不一样的, 根据材料表面被水润湿的情况, 分为亲水性材料和憎水性材料。

润湿是水在材料表面被吸附的过程。当材料在空气中与水接触时, 在材料、水、空气三相交点处, 沿水滴表面所作切线与材料表面所夹的角, 称为润湿角  $\theta$ 。若材料分子与水分子间相互作用力大于水分子之间作用力时, 材料表面就会被水润湿, 此时  $\theta \leq 90^\circ$  [图 1-3 (a)], 这种材料称为亲水性材料。反之, 若材料分子与水分子之间相互作用力小于水分子间作用力时, 则认为材料不能被水润湿, 此时  $90^\circ < \theta < 180^\circ$  [图 1-3 (b)], 这种材料称为憎水性材料。很显然  $\theta$  越小, 材料的亲水性越好,  $\theta = 0^\circ$  时表明材料完全被水润湿。

多数建筑材料, 如石料、砖、混凝土、木材等都属于亲水性材料。沥青、石蜡、塑料等属于憎水性材料, 这类材料能阻止水分渗入材料内部, 降低材料吸水性。因此, 憎水性

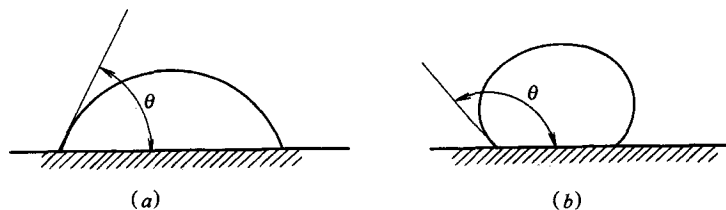


图 1-3 材料的润湿角  
(a) 亲水材料; (b) 憎水材料

材料经常作为防水、防潮材料或用作亲水性材料表面的憎水处理。

## (二) 吸水性

吸水性是指材料在水中吸收水分的性质, 其大小用吸水率表示。吸水率有质量吸水率和体积吸水率之分。

质量吸水率: 材料在吸水饱和状态下, 吸收水分的质量占材料干燥质量的百分率。其计算式为:

$$W_{\text{质}} = \frac{m_{\text{吸}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\% \quad (1-11)$$

式中  $W_{\text{质}}$ ——材料的质量吸水率 (%);

$m_{\text{吸}}$ ——材料吸水饱和后的质量 (g);

$m_{\text{干}}$ ——材料在干燥状态下的质量 (g)。

体积吸水率: 材料吸水饱和后, 吸入水的体积占干燥材料自然体积的百分率。其计算式为:

$$W_{\text{体}} = \frac{m_{\text{吸}} - m_{\text{干}}}{V_{\text{干}}} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{w}}} \times 100\% \quad (1-12)$$

式中  $m_{\text{吸}}$ ,  $m_{\text{干}}$ , 同式 (1-11);

$W_{\text{体}}$ ——材料的体积吸水率 (%);

$\rho_{\text{w}}$ ——水的密度 (通常情况下  $\rho_{\text{w}} = 1\text{g/cm}^3$ );

$V_{\text{干}}$ ——干燥材料在自然状态下的体积 ( $\text{cm}^3$ )。

由式 1-11 和式 1-12 可知, 质量吸水率与体积吸水率的关系为:

$$W_{\text{体}} = W_{\text{质}} \cdot \rho_0 \quad (1-13)$$

计算材料吸水率时, 一般用质量吸水率, 但对于某些轻质多孔材料比如加气混凝土、软木等, 由于具有很多开口且微小的孔隙, 其质量吸水率往往超过 100%, 此时常用体积吸水率来表示其吸水性。如无特别说明, 吸水率通常指质量吸水率。

材料吸水率不仅与材料的亲水性、憎水性有关, 而且与材料的孔隙率和孔隙构造特征有密切的关系。一般来说, 密实材料或具有闭口孔隙的材料是不吸水的; 具有粗大孔隙的材料因其水分不易存留, 吸水率一般小于孔隙率; 而孔隙率较大且有细小开口连通孔隙的亲水材料, 吸水率较大。

材料吸收水分后, 不仅表观密度增大、强度降低, 保温、隔热性能降低, 且更易受冰冻破坏, 因此, 材料吸水后对材质是不利的。

### (三) 吸湿性

干燥材料在空气中, 吸收空气中水分的性质, 称为吸湿性。吸湿性大小可用含水率表示, 其计算式为:

$$W_{\text{含}} = \frac{m_{\text{含}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\% \quad (1-14)$$

式中  $W_{\text{含}}$ ——材料的含水率 (%);

$m_{\text{含}}$ ——材料含水时的质量 (g);

$m_{\text{干}}$ ——材料干燥至恒重时的质量 (g)。

材料含水率的大小, 除了与本身的性质如孔隙大小及构造有关, 还与周围空气的温湿度有关。含水率随着空气温湿度大小变化, 作相应的变化, 当空气湿度大且温度较低时, 材料的含水率就大, 反之则小。当材料的含水率与空气湿度相平衡时, 其含水率称为平衡含水率, 当材料吸水达到饱和状态时的含水率即为吸水率。

由式 (1-14) 可得:  $m_{\text{含}} = m_{\text{干}} \times (1 + W_{\text{含}})$  (1-15)

$$m_{\text{干}} = \frac{m_{\text{含}}}{1 + W_{\text{含}}} \quad (1-16)$$

式 (1-15) 中是根据干重计算材料湿重的公式, 式 (1-16) 是根据湿重计算材料干重的公式, 均为材料用量计算中常用的两个公式。

【例 1-2】 烧结普通砖的尺寸为  $240\text{mm} \times 115\text{mm} \times 53\text{mm}$ , 已知其孔隙率为 37%, 干燥质量为 2 487g, 浸水饱和后质量为 2 984g。求该砖的密度、干表观密度、吸水率、开口孔隙率及闭口孔隙率?

解 密度  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{2\,487}{24 \times 11.5 \times 5.3 \times (1 - 37\%)} = 2.70\text{g/cm}^3$

干表观密度  $\rho_0 = \frac{m}{V_0} = \frac{2.487}{0.24 \times 0.115 \times 0.053} = 1\,700\text{kg/m}^3$

吸水率  $W_{\text{质}} = \frac{m_{\text{吸}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\% = \frac{2\,984 - 2\,487}{2\,487} = 20\%$

开口孔隙率  $P_K = \frac{V_{\text{吸水}}}{V_0} \times 100\% = \frac{2\,984 - 2\,487}{24 \times 11.5 \times 5.3} \times 100\% = 34\%$

闭口孔隙率  $P_B = P - P_K = 37\% - 34\% = 3\%$

### (四) 耐水性

材料长期处于饱和水作用下不被破坏, 其强度也不显著降低的性质, 称为耐水性。材料的耐水性用软化系数来表示, 计算式为:

$$K_{\text{软}} = \frac{f_{\text{饱}}}{f_{\text{干}}}$$

式中  $K_{\text{软}}$ ——软化系数;

$f_{\text{饱}}$ ——材料在饱和水状态下的强度 (MPa);

$f_{\text{干}}$ ——材料在干燥状态下的强度 (MPa)。

材料处于饱和水状态下, 水分侵入材料内部毛细孔, 减弱了材料内部的结合力, 使强度有不同程度降低, 不同建筑材料的耐水性差别很大, 软化系数的波动范围为 0~1。钢、玻璃、沥青等材料的软化系数基本为 1, 而未经处理的生土软化系数为 0, 花岗岩等密实



石材的软化系数接近于 1。用于严重受水侵蚀或潮湿环境的材料，其软化系数应不低于 0.85，用于受潮较轻的或次要结构物的材料，则不宜小于 0.7。软化系数值越大，耐水性越好，通常认为软化系数大于 0.80 的材料为耐水材料。

#### (五) 抗渗性

抗渗性是指材料抵抗压力水渗透的性质。渗透是指水在压力作用下，通过材料内部毛细孔的迁移过程，材料的抗渗性可以用渗透系数来表示，其表达式为：

$$K = \frac{Qd}{AtH} \quad (1-18)$$

式中  $K$ ——渗透系数 (cm/h)；

$d$ ——试件厚度 (cm)；

$A$ ——渗水面积 (cm<sup>2</sup>)；

$Q$ ——渗水量 (cm<sup>3</sup>)；

$t$ ——渗水时间 (h)；

$H$ ——静水压力水头 (cm)。

渗透系数反映了材料在单位时间内，在单位水头作用下通过单位面积及厚度的渗透水量。 $K$  值越大，材料的抗渗性越差。

表示抗渗性的另一指标是抗渗等级，用 PN 来表达。其中  $N$  表示试件所能承受的最大水压的 10 倍，如 P4、P6、P8 分别表示材料能承受 0.4MPa、0.6MPa、0.8MPa 的水压而不透水。

材料的抗渗性与材料的孔隙率及孔隙特征有关。密实的材料及具有闭口微细小孔的材料，实际上是不透水的；具有较大孔隙及细微连通的毛细孔的亲水性材料往往抗渗性较差。

对于地下建筑及水工构筑物、压力管道等经常受压力水作用的工程所需的材料及防水材料等都应具有良好的抗渗性。

#### (六) 抗冻性

抗冻性是指材料在吸水饱和状态下，经过多次冻融循环作用而不被破坏，强度也不显著降低的性质。一次冻融循环是指材料吸水饱和后，先在 -15℃ 的温度下（水在微小的毛细管中低于 -15℃ 才能冻结）冻结后，然后再在 20℃ 的水中融化。

材料经过多次冻融循环作用后，表面将出现裂纹、剥落等现象，造成质量损失及强度降低。这是由于材料孔隙内饱和水结冰时其体积增大约 9%，在孔隙内产生很大的冰胀应力使孔壁受到相应的拉应力，当拉应力超过材料的抗拉强度时，孔壁将出现局部裂纹或裂缝。随着冻融循环次数的增多，裂纹或裂缝不断扩展，最终使材料受冻破坏。

材料的抗冻性常用抗冻等级来表示。如混凝土材料用 FN 表示其抗冻等级。其中  $N$  表示混凝土试件经受冻融循环试验后，强度及质量损失不超过国家规定标准值时，所对应的最大冻融循环次数，如 F25、F50 等。

材料的抗冻性取决于材料的孔隙特征、吸水饱和程度以及抵抗冰胀应力的能力。如果材料具有细小的开口孔隙，孔隙率大且处于饱和水状态下材料容易受冻破坏，若孔隙中含水，但并未饱和，仍有足够的自由空间时，即使受冻也不致产生破坏；粗大的开口孔隙体积，因其水分不易存留，很难达到吸水饱和程度，所以抗冻性也较强。一般来说，密实的