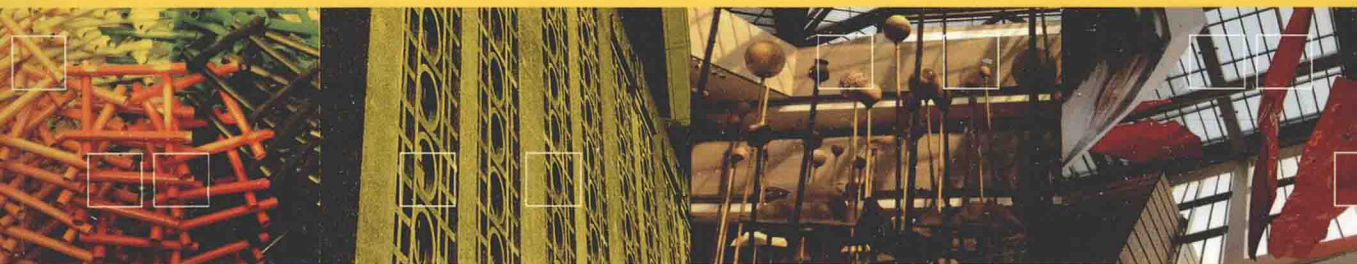


主 编◎钱晓倩 副主编◎詹树林 金南国 孟 涛

# 建筑材料

## Building Materials



建筑材料可分为结构材料、装饰材料和某些专用材料。结构材料包括木材、竹材、石材、水泥、混凝土、金属、砖瓦、陶瓷、玻璃、工程塑料、复合材料等；装饰材料包括各种涂料、油漆、镀层、贴面、各色瓷砖、具有特殊效果的玻璃等；专用材料指用于防水、防潮、防腐、防火、阻燃、隔音、隔热、保温、密封等。



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

# 建筑材料

主 编 钱晓倩

副主编 詹树林 金南国 孟 涛



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

## 内容提要

本书主要介绍了常用建筑材料的原材料、生产工艺、组成、结构及构造、性能及应用、检验及验收、运输及储存等方面的要点。重点介绍了材料基本性质、水泥、混凝土、钢材、防水材料、沥青及沥青混合料等内容,对砂浆、气硬性胶凝材料、墙体和屋面材料、保温隔热与吸声材料、装饰材料和合成高分子材料也作了相应的介绍,并对建筑材料的最新研究成果和发展动态作了简介。每一章内容后面附有适量习题与复习思考题。建筑材料实验部分单列,主要介绍了试验原理、试验方法和数据处理。

本书采用最新国家或行业标准,可作为建筑工程、结构工程、市政工程、道路与桥梁工程等专业本科教学的教材,也可作为从事建设工程勘测、设计、施工、科研和管理工作的专业人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

建筑材料 / 钱晓倩主编. —杭州:浙江大学出版社, 2013.12  
ISBN 978-7-308-12688-5

I. ①建… II. ①钱… III. ①建设材料 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 301893 号

## 建筑材料

钱晓倩 主编

---

责任编辑 余健波  
封面设计 续设计  
出版发行 浙江大学出版社  
(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)  
(网址: <http://www.zjupress.com>)  
排 版 浙江时代出版服务有限公司  
印 刷 临安市曙光印务有限公司  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 22  
字 数 550 千  
版 次 2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-308-12688-5  
定 价 38.00 元

---

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式 (0571)88925591; <http://zjdxcb.com>

## 目 录

绪 论	(1)
第 1 节 建筑材料在建设工程中的地位	(1)
第 2 节 建筑材料的现状和发展趋势	(2)
第 3 节 建筑材料的分类	(2)
第 4 节 本课程内容和学习要点	(3)
习题与复习思考题	(4)
第 1 章 建筑材料的基本性质	(5)
第 1 节 材料的物理性质	(5)
第 2 节 材料的基本力学性质	(16)
第 3 节 材料的耐久性	(20)
第 4 节 材料的组成及结构	(21)
习题与复习思考题	(25)
第 2 章 无机气硬性胶凝材料	(27)
第 1 节 概 述	(27)
第 2 节 石 灰	(27)
第 3 节 石 膏	(32)
第 4 节 水玻璃	(35)
第 5 节 镁质胶凝材料	(37)
习题与复习思考题	(39)
第 3 章 水 泥	(40)
第 1 节 通用硅酸盐水泥概述	(40)
第 2 节 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥	(42)
第 3 节 掺大量混合材料的硅酸盐水泥	(51)
第 4 节 其他品种水泥	(56)
习题与复习思考题	(61)

<b>第4章 混凝土</b> .....	(63)
第1节 概 述 .....	(63)
第2节 普通混凝土的组成材料 .....	(64)
第3节 普通混凝土的技术性质 .....	(85)
第4节 混凝土的质量检验和评定 .....	(104)
第5节 混凝土的配合比设计 .....	(109)
第6节 高强混凝土 .....	(116)
第7节 轻混凝土 .....	(118)
第8节 泵送混凝土 .....	(123)
第9节 特种混凝土 .....	(124)
习题与复习思考题 .....	(130)
<b>第5章 砂 浆</b> .....	(133)
第1节 砂浆的组成材料 .....	(133)
第2节 砂浆的主要技术性质 .....	(138)
第3节 砌筑砂浆的配合比设计 .....	(141)
第4节 预拌砂浆 .....	(143)
第5节 其他砂浆 .....	(148)
习题与复习思考题 .....	(151)
<b>第6章 建筑钢材</b> .....	(152)
第1节 钢的分类 .....	(152)
第2节 钢材的技术性质 .....	(153)
第3节 钢材的化学成分及其对钢材性能的影响 .....	(157)
第4节 钢材的冷加工、时效和焊接 .....	(159)
第5节 钢材的技术标准与选用 .....	(161)
第6节 建筑钢材的腐蚀与防护 .....	(184)
习题与复习思考题 .....	(189)
<b>第7章 墙体、屋面及门窗材料</b> .....	(191)
第1节 墙体材料 .....	(191)
第2节 屋面材料 .....	(211)
第3节 门窗材料 .....	(214)
习题与复习思考题 .....	(217)
<b>第8章 合成高分子材料</b> .....	(218)
第1节 高分子化合物的基本概念 .....	(218)
第2节 塑 料 .....	(221)

第3节 胶粘剂	(227)
习题与复习思考题	(229)
<b>第9章 防水材料</b>	<b>(230)</b>
第1节 概 述	(230)
第2节 防水卷材	(230)
第3节 防水涂料	(234)
第4节 建筑密封材料	(238)
习题与复习思考题	(241)
<b>第10章 装饰材料</b>	<b>(242)</b>
第1节 概 述	(242)
第2节 天然石材及其制品	(243)
第3节 石膏装饰材料	(250)
第4节 纤维装饰织物和制品	(252)
第5节 玻璃装饰制品	(254)
第6节 建筑装饰陶瓷	(256)
第7节 建筑涂料	(257)
第8节 金属装饰制品	(264)
第9节 塑料装饰制品	(267)
第10节 木材装饰制品	(270)
习题与复习思考题	(271)
<b>第11章 保温隔热材料和吸声材料</b>	<b>(273)</b>
第1节 保温隔热材料	(273)
第2节 吸声材料	(281)
习题与复习思考题	(287)
<b>第12章 沥 青</b>	<b>(288)</b>
第1节 石油沥青	(288)
第2节 其他沥青	(299)
习题与复习思考题	(309)
<b>第13章 沥青混合料</b>	<b>(311)</b>
第1节 沥青混合料的结构与性能	(311)
第2节 沥青混合料的技术性质和技术标准	(320)
第3节 热拌沥青混合料配合比设计	(324)
第4节 其他沥青混合料	(340)
习题与复习思考题	(345)

# 绪 论

## 第 1 节 建筑材料在建设工程中的地位

建筑材料是指应用于建设工程中的无机材料、有机材料和复合材料的总称。通常根据工程类别在材料名称前加以适当区分,如建筑工程常用材料称为建筑材料;道路(含桥梁)工程常用材料称为道路建筑材料;主要用于港口码头的称为港工材料;主要用于水利工程的称为水工材料。此外,还有市政材料、军工材料、核工业材料等等。本教材主要以建筑材料为主。

建筑材料在建设工程中有着举足轻重的地位。

首先,建筑材料是建设工程的物质基础。土建工程中,建筑材料的费用占土建工程总投资的 60%左右,因此,建筑材料的價格直接影响到建设投资。

第二,建筑材料与建筑结构和施工之间存在着相互促进、相互依存的密切关系。一种新型建筑材料的出现,必将促进建筑形式的创新,同时结构设计和施工技术也将相应改进和提高。同样,新的建筑型式和结构布置,也呼唤新的建筑材料,并促进建筑材料的发展。例如,采用建筑砌块和板材替代实心黏土砖墙体材料,就要求结构构造设计和施工工艺、施工设备的改进;高强混凝土的推广应用,要求新的钢筋混凝土结构设计和施工技术规程;同样,高层建筑、大跨度结构、预应力结构的大量应用,要求提供更高强度的混凝土和钢材,以减小构件截面尺寸,减轻建筑物自重;又如随着建筑功能的要求提高,需要提供同时具有保温、隔热、隔声、装饰、耐腐蚀等性能的多功能建筑材料等等。

第三,构筑物的功能和使用寿命在很大程度上取决于建筑材料的性能。如装饰材料的装饰效果、钢材的锈蚀、混凝土的劣化、防水材料的老化问题等等,无一不是材料问题,也正是这些材料特性构成了构筑物的整体性能。因此,从强度设计理论向耐久性设计理论的转变,关键在于材料耐久性的提高。

第四,建设工程的质量,在很大程度上取决于材料的质量控制。如钢筋混凝土结构的质量主要取决于混凝土强度、密实性和是否产生裂缝。在材料的选择、生产、储运、使用和检验评定过程中,任何环节的失误,都可能导致工程质量事故,事实上,在国内外建设工程中的质量事故,绝大部分都与材料的质量缺损相关。

最后,构筑物的可靠度评价,在很大程度上依存于材料可靠度评价。材料信息参数是构成构件和结构性能的基础,在一定程度上“材料—构件—结构”组成了宏观上的“本构关系”。因此,作为一名建筑工程技术人员,无论是从事设计、施工或管理工作,均必须掌握建筑材料

的基本性能,并做到合理选材和正确使用。

## 第2节 建筑材料的现状和发展趋势

材料科学的发展标志着人类文明的进步。人类的历史也是按制造生产工具所用材料的种类划分的,由史前的石器时代,经过青铜器时代、铁器时代,发展到今天的人工合成材料时代,均标志着材料科学的进步。同样,建筑材料的发展也标志着建设事业的进步。高层建筑、大跨度结构、预应力结构、海洋工程等等,无一不与建筑材料的发展紧密相连。

从目前我国建筑材料现状来看,普通水泥、普通钢材、普通混凝土、普通防水材料仍是最主要的组成部分。这是因为这一类材料有比较成熟的生产工艺和应用技术,使用性能尚能满足目前的需求。

虽然近年来我国建筑材料工业有了长足的进步和发展,但与发达国家相比,还存在着品种少、质量档次低、生产和使用能耗大及浪费严重等问题。因此,如何发展和应用新型建筑材料已成为现代化建设急需解决的关键问题。

随着现代化建筑向高层、大跨度、节能、美观、舒适的方向发展和人民生活水平、国民经济实力的提高,特别是基于新型建筑材料的自重轻、抗震性能好、能耗低、大量利用工业废渣等优点,研究开发和应用新型建材已成为必然。遵循可持续发展战略,建筑材料的发展方向可以理解为:

- (1)生产所用的原材料要求充分利用工业废料、能耗低、可循环利用、不破坏生态环境、有效保护天然资源。
- (2)生产和使用过程不产生环境污染,即废水、废气、废渣、噪音等零排放。
- (3)做到产品可再生循环和回收利用。
- (4)产品性能要求轻质、高强、多功能,不仅对人畜无害,而且能净化空气、抗菌、防静电、防电磁波等等。
- (5)加强材料的耐久性研究和设计。
- (6)主产品和配套产品同步发展,并解决好利益平衡关系。

## 第3节 建筑材料的分类

建筑材料的种类繁多,为了研究、使用和叙述上的方便,通常根据材料的组成、功能和用途分别加以分类。

### 一、按建筑材料的使用性能分类

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、柱、基础、墙体和其他受力构件所用的材料。最常用的有钢材、混凝土、沥青混合料、砖、砌块、墙板、楼板、屋面板、石材和部分合成高分子材料等。



## 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等。

## 3. 功能材料

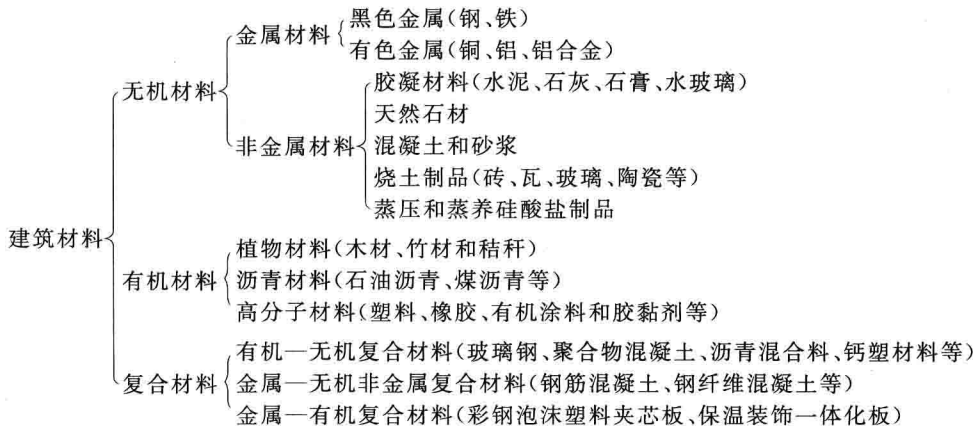
主要有防水材料、防火材料、装饰材料、保温隔热材料、吸声(隔声)材料、采光材料、防腐材料和部分合成高分子材料等等。

## 二、按建筑材料的使用部位分类

按建筑材料的使用部位通常分为结构材料、墙体材料、屋面材料、楼地面材料、路面材料、路基材料、饰面材料和基础材料等等。

## 三、按建筑材料的化学组成分类

根据建筑材料的化学组成,通常可分为无机材料、有机材料和复合材料三大类。这三大类中又分别包含多种材料类别。



## 第 4 节 本课程内容和学习要点

各种建筑材料,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,也有各自的特点,全面掌握建筑材料的知识,需要学习和研究的内容范围很广。对于从事建筑工程勘测、设计、施工、科研和管理工作的专业人员,掌握各种建筑材料的性能及其适用范围,以及在种类繁多的建筑材料中选择最合适的品种加以应用,最为重要。除了在施工现场直接配制或加工的材料(如部分砂浆、混凝土、金属焊接、防水材料等)需要深入学习其原材料和生产工艺外,对于以产品形式直接在施工现场使用的材料,也需要了解其原材料、生产工艺及结构、构造的一般知识,以明了这些因素是如何影响材料的性能,并最终影响到构筑物的性能。

作为有关生产、设计、施工、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建筑材料,均由专门的机构制订并颁布了相应的“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,技术标准分为四级:国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。国家标准是由国家标准局发布的全国性指导技术文件,其代号为 GB。行业标准也

是全国性的指导技术文件,但它是由各行业主管部门(或总局)发布,其代号按各部门名称而定。如建材标准代号为JC,建工标准代号为JG,与建材相关的行业标准还有交通标准(JT)、石油标准(SY)、化工标准(HG)、水电标准(SD)、冶金标准(YJ)等等。地方标准(DB)是地方主管部门发布的地方性指导技术文件。企业标准则仅适用于本企业,其代号为QB。凡没有制定国家标准、行业标准和地方标准的产品,均应制订相应的企业标准。与建设工程紧密相关的还有中国工程建设标准化协会颁布的相关标准(CECS)。随着我国对外开放,常常还涉及到一些与建筑材料关系密切的国际或外国标准,其中主要有国际标准(ISO)、美国材料试验协会标准(ASTM)、日本工业标准(JIS)、德国工业标准(DIN)、英国标准(BS)、法国标准(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。

本课程作为建筑工程类的专业基础课,在学习中应结合现行的技术标准,以建筑材料的性能及合理使用为中心,掌握事物的本质及内在联系。例如在学习某一材料的性质时,不能只满足于甲乙丙丁地知道该材料具有哪些性质、有哪些表象,重要的是应当知道形成这些性质的内在原因、外部条件及这些性能之间的相互关系。对于同一类属的不同品种材料,不但要学习它们的共性,更重要的是要了解它们各自的特性和具备这些特性的原因。例如学习各种水泥的性能时,不但要知道它们都能在水中硬化等共性,更要注意它们各自的质的区别及因此而反映在性能上的差异。一切材料的性能都不是固定不变的,在使用过程中,甚至在运输和储存过程中,它们的性能都会在一定程度上产生或多或少的变化。为了保证工程的耐久性和控制材料性能的劣化问题,我们必须研究引起变化的外界条件和材料本身的内在原因,从而掌握变化的规律。这对于延长构筑物的使用年限具有十分重要的意义。

实验课是本课程的重要教学环节,其任务是验证基本理论,学习试验方法,培养科学研究能力和严谨慎密的科学态度。做实验时要严肃认真,一丝不苟,即使对一些操作简单的实验,也不应例外。要了解实验条件对实验结果的严重影响,并对实验结果作出正确的分析和判断。

## 习题与复习思考题

1. 建筑材料主要有哪些类别?
2. 建筑材料的发展与建设工程技术进步的关系如何?
3. 建筑材料的发展趋势如何?
4. 本课程的特点及学习要则如何?

# 第1章 建筑材料的基本性质

建筑材料在建筑工程各个部位起着各种不同的作用。为此,要求建筑材料具有相应的不同性质。例如结构材料应具有所需要的力学性能和耐久性能;屋面材料应具有保温隔热、抗渗性能;地面材料应具有耐磨性能等。根据构筑物中的不同使用部位和功能,建筑材料要求具有保温隔热、吸声、耐腐蚀等性能,而对于长期暴露于大气环境中的材料,要求能经受风吹、雨淋、日晒、冰冻等而引起的冲刷、化学侵蚀、生物作用、温度变化、干湿循环及冻融循环等破坏作用,即具有良好的耐久性。可见,建筑材料在使用过程中所受的作用很复杂,而且它们之间又是相互影响。因此,对建筑材料性质的要求应当是严格的和多方面的,充分发挥建筑材料的正常服役性能,满足建筑结构的正常使用寿命。

建筑材料所具有的各项性质主要是由材料的组成、结构等因素决定的。为了保证建筑物经久耐用,就需要掌握建筑材料的性质,并了解它们与材料的组成、结构的关系,从而合理地选用材料。

## 第1节 材料的物理性质

### 一、材料的密度、表观密度与堆积密度。

#### (一) 密度

材料在绝对密实状态下单位体积的质量称为材料的密度。用公式表示为:

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

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( $\text{cm}^3$ )。

材料在绝对密实状态下的体积,是指不包含材料内部孔隙的固体物质本身的体积,亦称实体积。建筑材料中除钢材、玻璃等外,绝大多数材料均含有一定的孔隙。测定有孔隙材料的密度时,须将材料磨成细粉(粒径小于 $0.20\text{mm}$ ),经干燥后用李氏瓶测得其实体积。材料磨得愈细,测得的密度愈精确。

工程上还经常用比重的概念,比重又称相对密度,是用材料的质量与同体积水( $4^\circ\text{C}$ )的质量的比值表示,无单位,其值与材料的密度相同。

材料的视密度,是材料在近似密实状态下单位体积的质量,可用 $\rho_a$ 表示。

$$\rho_a = \frac{m}{V_a} \quad (1-2)$$

式中： $\rho_a$ ——材料的视密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )；

$m$ ——材料在干燥状态下的质量( $\text{g}$ )；

$V_a$ ——干燥材料在近似密实状态下的体积( $\text{cm}^3$ )。

所谓近似密实状态下的体积，是指只包含材料的封闭(不含连通)孔隙体积和固体物质体积(如图 1-1)，封闭孔隙彼此独立且与外界隔绝，而连通孔隙不仅彼此贯通且与外界相通。一般来说材料的视密度小于其密度。

### (二) 表观密度

材料在自然状态下单位体积的质量称为材料的表观密度。用公式表示为：

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1-3)$$

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( $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ )。

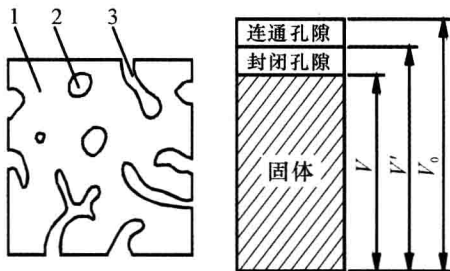


图 1-1 自然状态下材料体积示意图

1—固体；2—封闭孔隙；3—连通孔隙

材料在自然状态下的体积是指包含材料封闭孔隙和连通孔隙的体积。对于外形规则的材料，其表观密度测定很简便，只要测得材料的质量和外部体积(可用量具量测)，即可算得。外形不规则材料的体积要采用排水(或排液)法求得，但材料表面应预先涂上蜡，以防止水分渗入材料内部而使所测结果不准。

材料表观密度的大小与其含水情况有关。当材料含水率变化时，其质量和体积均有所变化。因此测定材料表观密度时，须同时测定其含水率，并予以注明。通常所讲的表观密度是指气干状态下的表观密度。材料含水率高时的表观密度称为湿表观密度，在烘干状态下的表观密度称为干表观密度。

### (三) 堆积密度

粒状材料在自然堆积状态下单位体积的质量称为堆积密度。用公式表示为：

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1-4)$$

式中： $\rho'_0$ ——粒状材料的堆积密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；

$m$ ——粒状材料的质量( $\text{kg}$ )；

$V'_0$ ——粒状材料在自然堆积状态下的体积( $m^3$ )。

粒状材料在自然堆积状态下的体积,是指既包含颗粒固体体积及其封闭、连通孔隙体积,又包含颗粒之间空隙体积的总体积。粒状材料的体积可用已标定容积的容器测得。砂子、石子的堆积密度即用此法求得。若以捣实或振实体积计算时,则称为紧密堆积密度,简称紧堆密度。

由于大多数材料或多或少含有一些孔隙,故一般材料的  $\rho > \rho_a > \rho_0 > \rho'_0$ 。

在建筑工程中,计算材料用量、构件自重、配料、材料堆放的体积或面积时,常用到材料的密度、表观密度和堆积密度。常用建筑材料的密度、表观密度和堆积密度见表 1-1 所示。

表 1-1 常用建筑材料的密度、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( $kg/m^3$ )
钢	7.85	7850	
花岗岩	2.60~2.90	2500~2800	
碎石	2.50~2.80	2400~2750	1400~1700
砂	2.50~2.80	2400~2750	1450~1700
黏土	2.50~2.70		1600~1800
水泥	2.80~3.20		1250~1600
烧结普通砖	2.50~2.70	1600~1900	
烧结空心砖(多孔砖)	2.50~2.70	800~1480	
红松木	1.55	380~700	
泡沫塑料		20~50	
普通混凝土	2.50~2.90	2100~2600	

## 二、材料的孔隙率与密实度

### (一) 孔隙率

材料内部孔隙体积占总体积的百分率称为材料的孔隙率( $P_0$ )。用公式表示为:

$$P_0 = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-5)$$

材料孔隙率的大小直接反映材料的密实程度,孔隙率小,则密实程度高。孔隙率相同的材料,它们的孔隙特征可以不同。按孔隙的特征,材料的孔隙可分为连通孔隙(开口孔隙)和封闭孔隙(闭口孔隙)。按孔径大小,材料的孔隙可分为微孔、细孔及大孔。材料的孔隙率大小、孔隙特征、孔径大小、孔隙分布等,直接影响材料的力学性能、热物理性能、耐久性能等。一般而言,孔隙率较小、封闭微孔较多且孔隙分布均匀的材料,其吸水性较小,强度较高,导热系数较小,抗渗性较好。

### (二) 密实度

材料内部固体物质的体积占总体积的百分率称为密实度。密实度反映材料中固体物质充实的程度。用公式表示为:

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

根据上述孔隙率和密实度的定义,孔隙率和密实度的关系为:

$$P_0 + D = 1$$

### 三、材料的空隙率与填充率

#### (一) 空隙率

粒状材料堆积体积中,颗粒间空隙体积占总体积的百分率称为空隙率( $P'_0$ )。用公式表示为:

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

空隙率的大小反映粒状材料颗粒之间相互填充的密实程度。

在配制混凝土时,砂、石的空隙率是作为控制混凝土中骨料级配及计算混凝土砂率的重要依据。

#### (二) 填充率

粒状材料堆积体积中,颗粒体积占总体积的百分率称为填充率。填充率的大小反映粒状材料堆积体积中颗粒填充的程度。用公式表示为:

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

根据上述空隙率和填充率的定义,空隙率和填充率的关系为:

$$P'_0 + D' = 1$$

### 四、材料与水有关的性质

#### (一) 亲水性与憎水性

当材料在空气中与水接触时可以发现,有些材料能被水润湿,有些材料则不能被水润湿。

材料具有亲水性的原因是材料与水接触时,材料与水之间的分子亲合力大于水分子之间的内聚力。当材料与水之间的分子亲合力小于水分子之间的内聚力时,材料表现为憎水性。

材料被水润湿的情况可用润湿边角  $\theta$  表示。当材料与水接触时,在材料、水、空气这三相体的交点处,引沿水滴表面的切线,此切线与材料和水接触面的夹角  $\theta$ ,称为润湿边角,如图 1-2 所示。 $\theta$  角愈小,表明材料愈易被水润湿。试验证明,当  $0^\circ < \theta \leq 90^\circ$  时(如图 1-2a),表明材料表面吸附水,材料能被水润湿而表现出亲水性,这种材料称为亲水性材料; $\theta > 90^\circ$  时(如图 1-2b),表明材料表面不吸附水,材料不能被水润湿而表现出憎水性,这种材料称为憎水性材料;当  $\theta = 0^\circ$  时,表明材料完全被水润湿,这种材料称为完全亲水性材料。上述概念也适用于其他液体对固体的润湿情况,相应称为亲液材料和憎液材料。

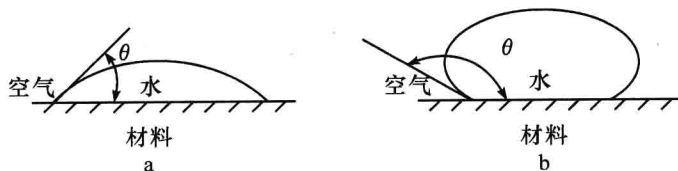


图 1-2 材料润湿边角

亲水性材料易被水润湿,且水分能沿着材料表面的连通孔隙或通过毛细管作用而渗入材料内部。憎水性材料则能阻止水分渗入毛细管中,从而降低材料的吸水性。憎水性材料常被用作防水材料,或用作亲水性材料的覆面层,以提高其防水、防潮性能。

材料的亲水性和憎水性主要与材料的物质组成、结构等有关。建筑材料大多数为亲水性材料,如水泥、混凝土、砂、石、砖、木材等,只有少数建筑材料如沥青、石蜡及塑料等为憎水性材料。

## (二) 吸水性与吸湿性

### 1. 吸水性

材料在水中吸收水分的性质称为吸水性。材料的吸水性用吸水率表示,有以下两种表示方法:

(1) 质量吸水率:质量吸水率是指材料在吸水饱和时,其内部所吸收水分的质量占干燥材料质量的百分率。用下式表示:

$$W_m = \frac{m_b - m_g}{m_g} \times 100\% \quad (1-9)$$

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,其内部所吸收水分的体积占干燥材料体积的百分率。用下式表示:

$$W_v = \frac{m_b - m_g}{V_0} \cdot \frac{1}{\rho_w} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中: $W_v$ ——材料的体积吸水率(%);

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

$\rho_w$ ——水的密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),在常温下可取  $\rho_w = 1\text{g}/\text{cm}^3$ 。

建筑工程中所用的材料一般采用质量吸水率,质量吸水率与体积吸水率有以下关系:

$$W_v = W_m \cdot \rho_0 \quad (1-11)$$

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

材料所吸收的水分是通过连通孔隙吸入的,故连通孔隙率愈大,则材料的吸水量愈多。通常材料吸水饱和时的体积吸水率,即为材料的连通孔隙率。

材料的吸水性与材料的孔隙率及孔隙特征等有关。对于细微连通的孔隙,孔隙率愈大,则吸水率愈大。封闭的孔隙内水分不易进去,而连通大孔虽然水分易进入,但不易存留,只能润湿孔壁,所以吸水率较小。各种材料的吸水率差异很大,如花岗岩的吸水率只有 0.5%~0.7%,混凝土的吸水率为 2%~3%,烧结普通砖的吸水率为 8%~20%,木材的吸水率可

超过 100%。

材料的吸水率不大时通常用质量吸水率表示,通常所说的吸水率一般指材料的质量吸水率。对一些轻质多孔材料,如加气混凝土、木材等,由于质量吸水率往往超过 100%,故可用体积吸水率表示。

## 2. 吸湿性

材料在空气中吸收水分的性质称为吸湿性。材料的吸湿性用含水率表示。含水率是指材料内部含水质量占材料干质量的百分率。用公式表示为:

$$W_h = \frac{m_s - m_g}{m_g} \times 100\% \quad (1-12)$$

式中: $W_h$ ——材料的含水率(%);

$m_s$ ——材料在吸湿状态下的质量(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相对湿度和环境温度的变化而改变,当空气相对湿度较大且温度较低时,材料的含水率较大;反之则较小。材料中所含水分与周围空气的相对湿度相平衡时的含水率,称为平衡含水率。当材料吸湿达到饱和状态时的含水率即为材料的吸水率。具有细微连通孔隙的材料,吸湿性特别强,在潮湿空气中能吸收很多水分,这是由于这类材料的内表面积很大,吸附水的能力很强所致。

材料的吸水性和吸湿性主要与材料的物质组成、结构等有关。材料的吸水性和吸湿性均对材料的性能产生不利影响。材料吸水后会导致其自重增大、导热性增大,材料的强度和耐久性等将产生不同程度的下降。材料干湿交替还会引起材料的尺寸形状的改变而影响正常使用。

## (三) 耐水性

材料在饱和水作用下,强度不显著降低的性质称为耐水性。材料的耐水性用软化系数表示:

$$K_R = \frac{f_w}{f_d} \quad (1-13)$$

式中: $K_R$ ——材料的软化系数;

$f_w$ ——材料在吸水饱和状态下的抗压强度(MPa);

$f_d$ ——材料在干燥状态下的抗压强度(MPa)。

软化系数的大小反映材料在浸水饱和后强度降低的程度。材料的软化系数主要与材料的物质组成、结构等有关。一般来说,材料被水浸湿后,强度均会有所降低,这是因为水分被组成材料的微小颗粒表面吸附,形成水膜,削弱了微小颗粒之间的结合力。软化系数愈小,表示材料吸水饱和后强度下降愈多,即耐水性愈差。材料的软化系数为 0~1。不同材料的软化系数相差颇大,如黏土  $K_R=0$ ,而金属  $K_R=1$ 。建筑工程中将软化系数大于 0.85 的材料,称为耐水性材料。长期处于水中或潮湿环境中的重要结构,要选择软化系数大于 0.85 的耐水性材料。用于受潮较轻或次要结构的材料,其软化系数不宜小于 0.75。

## (四) 抗水渗透性能

材料抵抗压力水渗透的性质称为抗水渗透性能。材料的抗水渗透性能常用渗透系数表示。渗透系数的意义是:一定厚度的材料,在单位压力水头作用下,在单位时间内透过单位



面积的水量。用公式表示为：

$$K_s = \frac{Qd}{AtH} \quad (1-14)$$

式中： $K_s$ ——材料的渗透系数(cm/h)；

$Q$ ——渗透水量( $\text{cm}^3$ )；

$d$ ——材料的厚度(cm)；

$A$ ——渗水面积( $\text{cm}^2$ )；

$t$ ——渗水时间(h)；

$H$ ——静水压力水头(cm)。

$K_s$  值愈大，表示渗透材料的水量愈多，即抗水渗透性能愈差。

工程实际中，材料的抗水渗透性能通常用抗渗等级或渗水高度表示。

抗渗等级是以规定要求的试件，按照标准要求逐级施加水压力，规定数量的试件所能承受的最大水压力。用公式表示为：

$$P_n = 10H - 1 \quad (1-15)$$

式中： $P_n$ ——抗渗等级；

$H$ ——规定数量试件渗水时的水压力，MPa。

抗渗等级符号“ $P_n$ ”中， $n$  为该材料在标准试验条件下所能承受的最大水压力的 10 倍数，如  $P_4$ 、 $P_6$ 、 $P_8$ 、 $P_{10}$ 、 $P_{12}$  等分别表示材料能承受 0.4、0.6、0.8、1.0、1.2MPa 的水压而不渗水。

渗水高度是以规定要求的试件，按照标准要求施加恒定水压力下的平均渗水高度。

材料的抗水渗透性能主要与材料的物质组成、结构等有关，尤其与其孔隙特征有关。细微连通的孔隙中水易渗入，故这种孔隙愈多，材料的抗水渗透性能愈差。封闭孔隙中水不易渗入，因此封闭孔隙率大的材料，其抗水渗透性能仍然良好。连通大孔中水最易渗入，故其抗水渗透性能最差。材料的抗水渗透性能还与材料的憎水性和亲水性有关，憎水性材料的抗水渗透性能优于亲水性材料。

抗水渗透性能是决定材料耐久性的重要因素。在设计地下结构、压力管道、压力容器等结构时，均要求其所用材料具有一定的抗水渗透性能。抗水渗透性能也是检验防水材料质量的重要指标。

#### (五) 抗冻性能

材料经受规定条件下的多次冻融循环作用而质量损失率和抗压强度损失率(或相对动弹性模量)符合规定要求的性质称为材料的抗冻性能。

材料的抗冻性能等级通常用抗冻等级或抗冻标号表示。

材料的抗冻标号是材料在慢冻法气冻水融条件下，以经受的冻融循环最大次数来表示抗冻性能。用符号“ $D_n$ ”表示抗冻标号，其中  $n$  即为最大冻融循环次数，如  $D_{25}$ 、 $D_{50}$  等。

材料的抗冻等级是材料在快速法水冻水融条件下，以经受的冻融循环最大次数来表示抗冻性能。用符号“ $F_n$ ”表示抗冻等级，其中  $n$  即为最大冻融循环次数，如  $F_{25}$ 、 $F_{50}$  等。

材料抗冻性能等级的选择，是根据结构物的种类、使用要求、气候条件等来决定。例如烧结普通砖、陶瓷面砖、轻混凝土等墙体材料，一般要求其抗冻性能等级为  $D_{15}(F_{15})$  或  $D_{25}(F_{25})$ ；用于桥梁和道路的混凝土应为  $D_{50}(F_{50})$ 、 $D_{100}(F_{100})$ ；而水工混凝土要求高