

# 建 筑 材 料

哈尔滨建筑工程学院

王 世 芳 主 编

中央广播电视大学出版社

# 建 筑 材 料

哈尔滨建筑工程学院

王 世 芳      主 编

中央广播电视大学出版社

**建 筑 材 料**

哈尔滨建筑工程学院

王 世 芳 主 编

中央广播电视大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

外 文 印 刷 厂 印 刷

开本787×1092 1/16 印张18.5 千字414

1985年6月第1版 1985年12月第1次印刷

印数 1—64,000

书号: 15300·22 定价: 3.30元

# 目 录

## 建 筑 材 料

|                      |         |
|----------------------|---------|
| 绪 论 .....            | ( 1 )   |
| 第一章 建筑材料基本性质 .....   | ( 4 )   |
| 第一节 概述 .....         | ( 4 )   |
| 第二节 建筑材料物理性质 .....   | ( 7 )   |
| 第三节 建筑材料力学性质 .....   | ( 15 )  |
| 第四节 建筑材料化学性质 .....   | ( 26 )  |
| 第五节 建筑材料耐久性 .....    | ( 26 )  |
| 第二章 石灰、石膏、水玻璃 .....  | ( 27 )  |
| 第一节 石灰 .....         | ( 27 )  |
| 第二节 石膏 .....         | ( 34 )  |
| 第三节 水玻璃 .....        | ( 39 )  |
| 第三章 水 泥 .....        | ( 44 )  |
| 第一节 硅酸盐水泥 .....      | ( 44 )  |
| 第二节 掺混合材的硅酸盐水泥 ..... | ( 59 )  |
| 第三节 其他品种硅酸盐水泥 .....  | ( 66 )  |
| 第四节 铝酸盐水泥 .....      | ( 70 )  |
| 第五节 纤维水泥制品 .....     | ( 74 )  |
| 第四章 混凝土 .....        | ( 79 )  |
| 第一节 概述 .....         | ( 79 )  |
| 第二节 普通混凝土的组成材料 ..... | ( 80 )  |
| 第三节 混凝土混合料性质 .....   | ( 90 )  |
| 第四节 混凝土性质 .....      | ( 96 )  |
| 第五节 混凝土的外加剂 .....    | ( 114 ) |
| 第六节 混凝土配合比设计 .....   | ( 120 ) |
| 第七节 特细砂混凝土 .....     | ( 127 ) |
| 第八节 轻混凝土 .....       | ( 128 ) |
| 第九节 特种混凝土 .....      | ( 136 ) |
| 第五章 砂 浆 .....        | ( 141 ) |
| 第一节 砂浆的原材料 .....     | ( 141 ) |
| 第二节 砂浆混合料的和易性 .....  | ( 142 ) |
| 第三节 砌筑砂浆 .....       | ( 144 ) |
| 第四节 抹灰砂浆 .....       | ( 148 ) |

第六章 烧土及熔融制品 ..... (153)

第一节 烧土制品.....(153)

第二节 玻璃及熔融制品.....(159)

第七章 建筑钢材 ..... (166)

第一节 钢的种类.....(166)

第二节 建筑用钢的技术性质.....(168)

第三节 建筑用钢的晶体组织和化学性质成分对其性能的影响.....(173)

第四节 建筑用钢的技术标准及应用.....(178)

第五节 建筑用铝与铝合金.....(190)

第八章 木 材 ..... (192)

第一节 木材的分类和构造.....(192)

第二节 木材的物理性质.....(194)

第三节 木材的力学性质.....(198)

第四节 木材的腐蚀和防护.....(201)

第五节 木材的综合利用.....(203)

第九章 沥青材料及制品 ..... (204)

第一节 石油沥青与煤沥青.....(204)

第二节 沥青的应用及沥青制品.....(211)

第十章 合成高分子建筑材料 ..... (221)

第一节 建筑塑料及其制品.....(221)

第二节 胶粘剂.....(233)

第三节 涂料.....(235)

建筑材料试验

绪 论 ..... (239)

试验一 密度、容重和孔隙率测定 ..... (244)

试验二 普通粘土砖试验 ..... (248)

试验三 水泥试验 ..... (252)

试验四 混凝土用砂和石试验 ..... (262)

试验五 混凝土试验 ..... (272)

试验六 石油沥青试验 ..... (283)

主要参考书目..... (288)

# 建 筑 材 料

## 绪 论

### 一、建筑材料及其分类

建筑材料这门课程顾名思义,讨论的对象就是建筑材料。一般所说的建筑材料,除用于建筑物本身的各种材料之外,还包括浴盆、便池、暖气及冷风设备等器材,以及施工过程中的暂设工程如围墙、脚手架、板桩、模板等所用的材料,即广义的建筑材料。本课程讨论的是狭义的建筑材料,即构成建筑物本身的材料,从地基基础、承重构件(梁、板、柱等),直到屋面、墙体、地面等所用的材料。

建筑材料可从不同角度加以分类,如按材料在建筑物中的部位,可分为承重构件、屋面、墙体、地面等材料;如按材料的功能,可分为结构材料、装饰材料、防水材料等;如按材料的化学成分,可分为无机材料、有机材料,然后再细分。

本书是按材料的化学成分分类的(见表 0-1)。

建 筑 材 料 分 类 表 0-1

|         |         |                    |                                                                   |
|---------|---------|--------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 建 筑 材 料 |         | 金 属 材 料            | 黑色金属: 铁、碳钢、合金钢<br>有色金属: 铝、锌、铜等及其合金                                |
|         |         | 无 机 材 料            |                                                                   |
|         |         | 非 金 属 材 料          | 天然石材(包括砂、石)<br>烧土制品<br>玻璃及熔融制品<br>水泥、石灰、石膏、水玻璃<br>混凝土、砂浆<br>硅酸盐制品 |
|         | 有 机 材 料 | 植 物 质 材 料          | 木材、竹材<br>植物纤维及其制品                                                 |
|         |         | 高 分 子 材 料          | 塑料<br>涂料<br>胶粘剂                                                   |
|         |         | 沥 青 材 料            | 石油沥青及煤沥青<br>沥青制品                                                  |
|         | 复 合 材 料 | 无机非金属材料与<br>有机材料复合 | 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                              |

## 二、建筑材料对发展建筑业的作用

建筑材料是发展建筑业的物质基础。要发展建筑业,首先必须大力发展建筑材料工业。据预测,为达到党的十二大提出的宏伟目标,在今后十六年中,城镇和农村建房每年约达 10 亿平方米,与此同时水利、交通、能源等工业部门的建设也必须相应发展。因此,建筑材料工业担负的任务是十分艰巨的。

建筑材料的应用量大,经济性很强,直接影响工程的造价。在我国,在一般建筑的总造价中,建筑材料费所占比重很大,约占总造价的 50~60%。由此可见,选用的建筑材料是否经济适用,对降低房屋建筑的造价起着重要作用。

建筑材料的品种、质量及规格直接影响建筑工程的坚固、耐久和适用,并在一定程度上影响着结构形式和施工方法。建筑工程中许多技术问题的突破,往往依赖于建筑材料问题的解决,而新的建筑材料的出现,又将促使结构设计及施工技术的革新。例如粘土砖的出现,产生了砖木结构;水泥和钢筋的出现,产生了钢筋混凝土结构;轻质、高强建筑材料的出现,推动了现代建筑 and 高层建筑的发展。随着建筑技术的发展,又不断地对建筑材料提出新的更高的要求。由此可见,建筑材料生产及其科学技术的迅速发展,对发展我国建筑业具有重要作用。

## 三、建筑材料发展概况

建筑业和建筑材料在社会发展所有阶段中,依赖于生产力的水平,依赖于生产关系的形式,反映出每一个时代的文化科学特征,成为人类物质文明的重要标志之一。

人类建筑活动的历史相当久远。今天,世界各地还保存了许多蔚为壮观的古代建筑或建筑遗迹,从中可以看出古代劳动人民使用建筑材料的技术成就。譬如埃及的金字塔、希腊的雅典卫城、古罗马的斗兽场,欧洲各地中世纪的教堂,至今仍令人们惊叹不已。在我国,一千三百年前砖造的、高达 40 米的河南登封嵩岳寺塔以及山西五台山佛光寺的唐代木结构大殿,直到现在仍保存得相当完好。更使人惊异的是 1056 年建造的山西应县木塔,总高 67 米,至今还巍然屹立在祖国的大地上。

但无论中外,在漫长的奴隶社会和封建社会中,建筑技术和建筑材料的进步都是相当缓慢的。直到十九世纪,资本主义各国先后发生工业革命,建筑领域才出现了突飞猛进的变化。十九世纪后期重工业的发展,为建筑业提供了性能优越的新型建筑材料。新材料对建筑物的设计、施工及建筑面貌产生了决定性的影响。

自从有了钢和水泥这两种工业生产的新型建筑材料,各种工程和房屋建筑就越出了几千年来土、木、砖、石所给予的限制,开始大踏步地向前发展。现在,每一个重要的建筑工程都离不开这两种材料。钢和水泥的使用标志着建筑发展史上的一个新阶段。

进入二十世纪以后,新的建筑材料(如铝材、塑料以及各种高强轻质的复合材料)络续出现,已有的材料的性能也日益改进。建筑材料的进步正不断推动着房屋结构、施工工艺和建筑设计等方面的发展。

为适应建筑工业化、现代化的要求,建筑材料正日益向轻质、高强、多功能的方向发展;各种新型建筑材料大量涌现;建筑材料的发展已步入高分子材料时代,正酝酿着建筑技术的新的

变革。

人类使用和生产材料有着漫长的历史,然而成为一门学科——材料科学则是近几十年的事。材料科学是研究材料的成分、结构和加工同材料性能和应用之间的相互关系的一门学科。它包括金属、无机非金属、有机高分子材料等。当然建筑材料也属于材料科学研究对象,但由于建筑材料种类繁多,成分、结构、性能和用途又是多种多样的,要从材料科学的角度,完整而系统地理解每一种材料,确也有困难。但随着科学技术的发展和现代测试技术的进步,我们必将能从材料科学出发掌握材料的本质。

#### **四、课程目的、任务及基本要求**

本课程为电视大学土木建筑工程类的技术基础课。课程的目的是为“建筑施工技术”和结构设计等专业课程,提供建筑材料的基础知识,并为今后从事专业技术工作时,合理选择和使用建筑材料打下基础。

课程的任务是使学生获得有关建筑材料的技术性质与应用的基本知识和必要的基本理论,并获得主要建筑材料试验方法的基本技能训练。

建筑材料种类繁多,而且,各种材料需要研究的内容范围很广,涉及原料、生产、材料组成与结构、性质、应用、检验、运输、验收和储藏等各个方面。从本课程的目的及任务出发,主要着重于材料的性质和应用。对这两方面的内容提出如下基本要求:

在材料性质方面:了解建筑材料及其制品在建筑物中的作用及应具备的性能;了解材料组成及结构对材料技术性质的影响,外界因素对材料技术性质的影响,各主要技术性质间的相互关系;初步学会常用建筑材料的试验方法及质量鉴定方法

在材料应用方面 根据工程要求能够合理地选用材料;熟悉有关的国家标准及技术规范;了解材料的运输、保藏要点,学会混凝土配制方法。

# 第一章 建筑材料基本性质

## 第一节 概 述

### 一、建筑材料性质及其分类

所有结构物都要承受一定的荷载和经受周围介质的作用。

荷载引起材料的变形和应力,这就要求在设计房屋建筑或结构物时,准确地评定所用材料的强度和变形性质,即所谓力学性质。

除强度和变形性质外,建筑材料还应具有抵抗介质物理化学作用的能力。介质物理化学作用有:空气及其中的水汽与气体、水及其中的溶解物质、温度与湿度的波动、冻融交替等。

建筑材料应具备何种性质,这要根据材料在建筑物中的作用和所处环境来决定。一般来说,建筑材料的性质分为如下几类:

(一) 物理性质 包括表示材料物理状态特点及与各种物理过程有关的性质。前者如材料密度、容重及孔隙率等;后者如水物理、热物理、声学、电学性质,以及抵抗物理侵蚀的稳定性(如耐水性、抗冻性等)。

(二) 力学性质 材料的变形性质、强度、弹性、塑性和脆性等。

(二) 化学性质 化学变化的能力及抵抗化学腐蚀的稳定性。

(四) 耐久性。

上述材料性质是按照有关标准测定出的数据进行评定的。

### 二、结构与性质的关系

材料许多性质都与材料的内部结构(或称组织结构)有密切关系。因此,要掌握材料性质,解决实际问题,使材料获得最佳技术经济效果,就需要一定的有关材料结构的知识。

结构从广义上说,是包括从原子结构到肉眼能观察到的宏观结构各个层次的构造状况的通称。

材料结构可分为三个层次:

(1) 材料宏观结构。指毫米级左右,以及比毫米级还大的构造状况。

(2) 材料显微结构。材料内部不同结晶相、玻璃相及孔隙的形态、大小、取向、分布等结构状况通用这个名称。从尺度范围上来讲大体在目视范围以下,即一般电子显微镜及光学显微镜所观察到的范围。

(3) 材料微显结构。指原子结构、晶体结构、缺陷等原子、分子水平上的构造情况。所用的研究方法是X射线结构分析和电子显微镜观察。

(一) 建筑材料的宏观结构

可分为下述几种类型结构

1. 堆聚结构 许多材料属于这种结构,包括各种类型的混凝土、陶瓷及其他材料。这类材料是由骨料与胶结材料所组成。

2. 多孔结构 孔隙粗大,是加气混凝土、泡沫混凝土及泡沫塑料所特有的结构。

3. 微孔结构 这种微细孔隙是通过提高拌合水量和掺入可燃掺料的方法所获得的,如石膏制品、多孔粘土砖等。

4. 纤维结构 是木材、玻璃纤维及其他纤维制品所特有的结构。其特点是顺纤维和纤维的强度、导热性及其他性质明显不同。

5. 片状或层状结构 或是叠合结构,是将材料叠合成层状,以胶结材料或用其他方法结合成为整体,如胶合板、纸面石膏板、层状填料的塑料(纸层压塑料、布层压塑料等)。

6. 散粒结构 呈松散状态,如混凝土的骨料;作为填料的颗粒材料和粉状材料。

## (二) 建筑材料的显微结构

组成建筑材料的物质的显微结构,或者结晶的,或是无定形的。晶体和无定形体往往是同一种材料的不同状态,例如,结晶的石英和无定形的二氧化硅。晶体呈稳定状态,而无定形体则具有化学不稳定性,可转变成更为稳定的晶体,例如,在生产硅酸盐砖时,石英砂与石灰之间的化学反应,只有在高压釜中,温度大于  $175^{\circ}\text{C}$ ,压力大于 0.8 兆帕的饱和蒸汽下才能发生;而硅藻土(由无定形二氧化硅组成)与水和石灰拌合之后,在常温( $15^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{C}$ )下即生成水化硅酸钙。

对天然和人造石材来说,有实际意义的是多晶转变,即同一物质能够出现不同的晶体结构,即所谓晶形转变,如石英的多晶转变,与此同时产生体积变化。

晶体的特点是有一定的熔点(在一定压力下)和一定的几何形状。

单晶体的性质在各方向是不同的,如力学强度、导热性、溶解速度、导电性等。各向异性现象是晶体内部结构特性的反映。

在建筑上所采用的石材是多晶体,各个晶体是无秩序的。因此,在研究它的性质时,除了具有明显层状结构的石材(片麻岩、页岩等)外,都可按各向同性材料来处理。

## (三) 建筑材料的微观结构

物质内部的微观结构决定了材料的力学强度、硬度、熔点及其他重要性质。

建筑材料组成中的结晶物质,按组成空间结晶格子的质点间键的特性而分为如下不同的晶体。

1. 原子晶体 是由中性原子构成的晶体,原子间以共价键相联系,结合较牢固,这种晶体以强度、硬度和熔点高而称著。原子晶体又分为单质的晶体(金刚石、石墨)和以两种元素组成的化合物的晶体(石英、刚玉、某碳化物和氮化物等)。

2. 离子晶体 由正、负离子构成的晶体。正、负离子之间以离子键相联系。离子键的强弱遵从库伦定律,它对晶体的性质有显著影响。这种晶体在建筑材料中较为普遍,例如二水石膏和硬石膏即属此种晶体,其强度和硬度均较低,且不耐水。

无机非金属材料中的晶体(如方解石、长石等),通常是既存在共价键,又存在离子键。以  $\text{CO}_3^{2-}$  离子来说,其本身是由共价键结合的,但它与  $\text{Ca}^{+2}$  离子结合成  $\text{CaCO}_3$  时,却又通过离

子键。这类材料的性质相差颇大,例如,方解石强度虽高,但硬度很小;而长石的强度和硬度,虽然不及纯共价键的金刚石晶体,却也相当高。

3. 分子晶体 由分子构成的晶体,分子之间靠微弱的分子间力(范德华力)相联系。分子晶体的硬度小,熔点低。冰是常见的分子晶体。

应该指出,硅酸盐在建筑材料中占有特殊重要地位。“硅酸盐”按严格的化学概念,是指由二氧化硅和金属氧化物所形成的盐类。它在自然界中分布极广,是构成地壳、岩石、土壤和许多矿物(如石英、高岭石、云母等)的主要成分。以这类矿物组成的矿石为主要原料,经高温或用其他方法处理所获得的产品即为硅酸盐材料或制品。传统的硅酸盐材料及制品有陶瓷、砖瓦、玻璃、水泥等。

硅酸盐晶体的基本结构单元是  $\text{SiO}_4^{4-}$  四面体。硅在四个氧形成的正四面体的正中(图 1-1)。  $\text{SiO}_4^{4-}$  四面体可以共有角顶互相连接,形成各种形式的络阴离子,即“硅氧骨架”(图 1-2)。由于硅酸盐有复杂的结构,从而决定了它一系列的特性,例如,纤维状矿物(石棉)是由许多平行的硅酸盐链组成,通过链与链之间的正离子连接成整体。离子之间(即正离子与络阴离子之间)的作用力,要比链内的共价键小的多,所以在机械作用下可将材料分解成纤维,而不致将链拉断。层状矿物(高岭石等)是由层状的硅酸盐所构成。

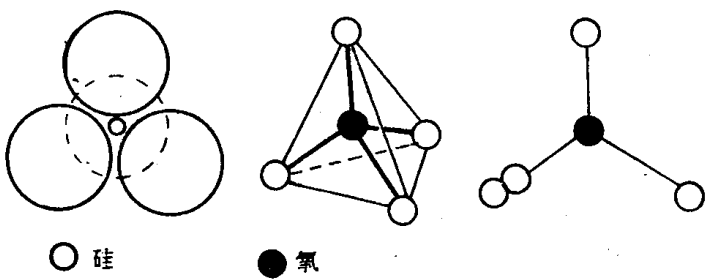


图 1-1 硅氧四面体示意图

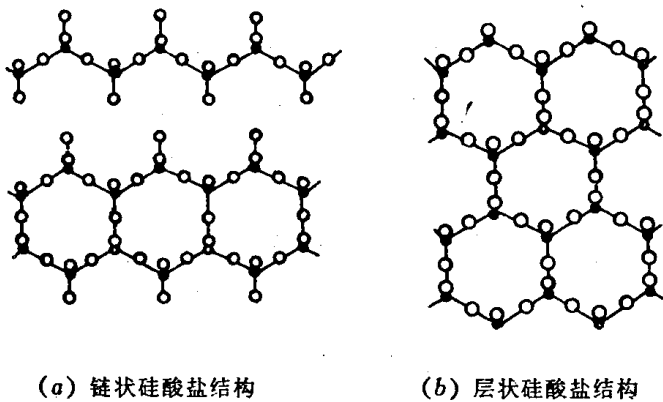


图 1-2 硅氧四面体连接形式

三、组成与性质的关系

材料的化学和矿物组成直接影响建筑材料一系列的性质。

(一) 化学组成

建筑材料的化学组成可用以判断一系列材料的性质,如耐火性、化学稳定性及其他技术性质。无机胶凝材料(水泥、石灰等)及石材等材料的化学组成,通常以氧化物含量百分数(%)表示。碱性氧化物与酸性氧化物互相化合而形成矿物,它决定了材料许多性质。

## (二) 矿物组成

为了进一步判断材料的性质,如上所述,必须了解材料的矿物组成,即说明材料(如无机胶凝材料、陶瓷及天然石材等)是由那些矿物组成的,含量各有多少。例如,水泥中含  $C_3S$  矿物 45~60%,增加该矿物的含量可加速硬化和提高强度。

## 第二节 建筑材料物理性质

### 一、材料状态参数与结构特征

#### (一) 状态参数

是指表示材料物理状态特点的性质。

1. 密度 密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量,用下式表示:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (克/厘米}^3\text{)}$$

式中:  $m$ ——材料的质量(克);

$V$ ——材料在绝对密实状态下的体积(厘米<sup>3</sup>)。

材料密度与水密度(4℃)的比值称为该材料的比重( $\gamma$ )。

建筑材料的比重( $\gamma$ )也有定义为材料在绝对密实状态下单位体积的重量。在 C. S. G 制下比重与密度的单位及数值均相同。在 G. I 制下二者的单位及数值均不同,在这种条件下所说的比重通常是指密度而言。

除个别材料(金属、玻璃、单矿物)外,大多数建筑材料是多孔的。在自然状态下多孔材料的体积( $V_0$ )是由固体物质的体积(即绝对密实状态下材料的体积)( $V$ )和孔隙体积( $V_k$ )组成(图 1-3),  $V_0 = V + V_k$ 。如测定出  $V_k$ ,即可求得  $V$ 。

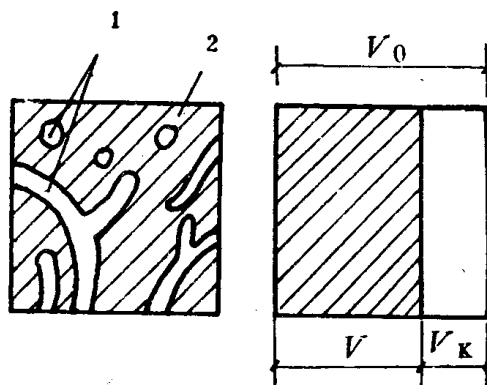


图 1-3 多孔材料体积组成示意图

为测定材料的孔隙体积,可将准备好的干燥试样,放在密封容器内,自试样中抽出空气,在一定真空度下使试样被液体所饱和。完全充满孔隙空间的液体体积等于试样的孔隙体积。为了精确地测量孔隙体积可利用压缩的氮,它具有所谓的超流性,能深入到微细的孔中。

测定密度的标准方法规定,将干燥好的试样磨细成粉末(通过 900 孔/厘米<sup>2</sup>)。称质量为  $m$  克的粉末,利用李氏比重瓶测量其绝对体积。绝对体积等于被粉末排出的液体体积。

如果是密实材料,可不必磨成细粉,而直接用上述方法(但不用李氏比重瓶,用一般量筒即可),求得其绝对体积的近似值。这样所得的密度称为表观密度,即建筑材料上所谓的视比重。混凝土所用的砂、石等散粒材料常按此法测定它的视比重。

2. 容重 在自然状态下材料单位体积的质量。可用下式表示:

$$\gamma_0 = \frac{m}{V_0}$$

式中:  $m$ ——材料的质量(公斤);

$V_0$ ——材料在自然状态下的体积(米<sup>3</sup>)。

显然,多孔材料的容重要小于密实材料的容重,例如轻混凝土容重为500~1800 公斤/米<sup>3</sup>,而密实混凝土达 2,600 公斤/米<sup>3</sup>。建筑材料的容重在很大范围内波动,由 20(泡沫塑料)到 7850(钢)公斤/米<sup>3</sup>(见表 1-1)。

主要建筑材料的密度及容重 表 1-1

| 材 料 名 称  | 密 度<br>(克/厘米 <sup>3</sup> ) | 容 重<br>(公斤/米 <sup>3</sup> ) |
|----------|-----------------------------|-----------------------------|
| 钢        | 7.8 ~ 7.9                   | 7850                        |
| 花岗岩      | 2.7 ~ 3.0                   | 2500~2900                   |
| 石灰岩(密实的) | 2.4 ~ 2.6                   | 1600~2400                   |
| 砂        | 2.5 ~ 2.6                   | 1500~1700*                  |
| 粘土       | 2.5 ~ 2.7                   | 1600~1800*                  |
| 水泥       | 2.8 ~ 3.1                   | 1100~1350*                  |
| 普通粘土砖    | 2.6 ~ 2.7                   | 1600~1900                   |
| 粘土空心砖    | 2.6 ~ 2.7                   | 800~1480                    |
| 普通混凝土    | 2.5 ~ 2.6                   | 1800~2500                   |
| 红松       | 1.55~ 1.60                  | 400~600                     |
| 泡沫塑料     | —                           | 20~50                       |

• 为松散容重的数值

3. 松散容重 散粒材料(水泥、砂、卵石、碎石等)单位积的质量称为松散容重:

$$\gamma_0 = \frac{m}{V_0} \text{ (公斤/米}^3\text{)}$$

式中:  $m$ ——散粒材料的质量(公斤);

$V_0$ ——散粒材料的体积(米<sup>3</sup>)。

如空隙体积以  $V_P$  表示,由图 1-4 可见:  $V'_0 = V_0 + V_P = V + V_K + V_P$ 。同样的材料,松散容重要比容重小的多,例如石灰岩的密度为 2.6 克/厘米<sup>3</sup>,容重为 2400 公斤/米<sup>3</sup>,而石灰岩碎块的松散容重仅为 1300 公斤/米<sup>3</sup>。

(二) 结构特征

多孔材料的结构特征包括:总的孔隙率、开口孔隙率、闭口孔隙率及孔隙的分布。

1. 孔隙率 即总的孔隙,是指材料中孔隙体积与材料体积之比的百分数:

$$P = \frac{V_K}{V_0} \cdot 100\%$$

式中:  $V_0$ ——材料在自然状态下的体积(厘米<sup>3</sup>);

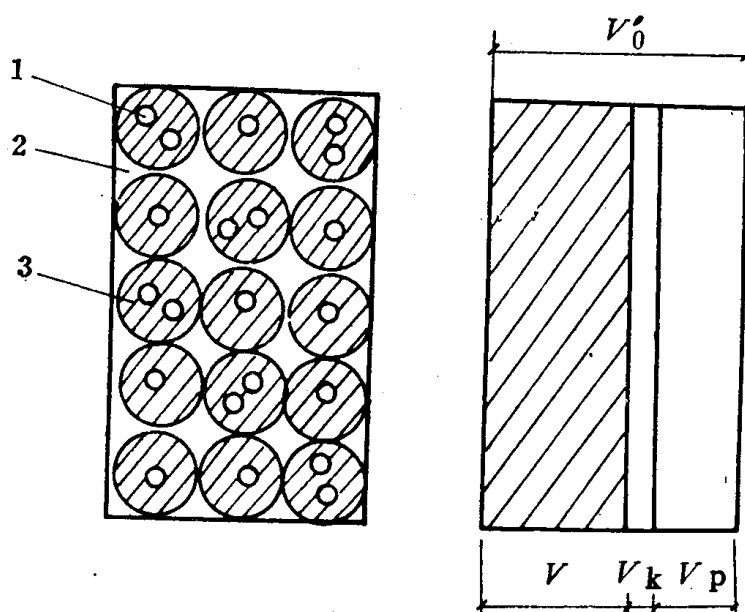


图 1-4 散粒材料体积组成示意图

1—孔隙 2—空隙 3—固体物质

$V_K$ ——材料中孔隙体积(厘米<sup>3</sup>)。

直接测定孔隙率的方法,如前所述可将液态氮或其他介质充入孔隙中,以求得孔隙体积( $V_K$ )。一般采用试验与计算相结合的方法,先测出干燥材料的密度( $\rho$ )与容重( $\gamma_0$ ),然后按下式计算孔隙率:

$$P = \left(1 - \frac{\gamma_0}{\rho}\right) \cdot 100\%$$

建筑材料孔隙率在很大范围内波动,例如,平板玻璃的孔隙率接近于零,而微孔橡胶的孔隙率却高达 98%。

2. 开口孔隙率与闭口孔隙率 开口孔隙率( $P_K$ )是指能被水所饱和的孔隙体积与材料体积之比的百分数:

$$P_K = \frac{m_2 - m_1}{V_0} \cdot \frac{1}{\rho_{H_2O}} \cdot 100\%$$

式中:  $m_1$ ——干燥状态下材料的质量(克);

$m_2$ ——水饱和状态下材料的质量(克);

$\rho_{H_2O}$ ——水的密度(克/厘米<sup>3</sup>)。

材料开口孔隙与周围介质相通,孔隙之间也相通,在一般浸水条件(如在水槽中浸泡)下即被水所饱和。开口孔隙提高材料的透水性和吸水性,而降低了抗冻性。

闭口孔隙率( $P_B$ )是总孔隙率( $P$ )与开口孔隙率( $P_K$ )之差,即

$$P_B = P - P_K$$

多孔材料既含开口孔隙,也含闭口孔隙。减少开口孔隙,增加闭口孔隙,可提高材料的耐久性。吸音材料及某些制品却有意地造成开口孔隙和贯穿的孔洞,这样可提高吸音效果。

3. 孔隙的分布 表示不同尺寸孔隙各占多少。

水银测孔仪可测出不同孔隙的尺寸及其体积。绝大多数的无机建筑材料不能被水银润湿，但在压力作用下水银能压入孔隙中，这一关系如下式所示：

$$P \cdot d = -4\sigma \cos \theta$$

式中：P——对水银施加的压力(兆帕)；

d——气孔尺寸，即孔径(微米)；

$\sigma$ ——水银表面张力(牛顿/米)；

$\theta$ ——水银与被测材料之间的润湿边角(详见下节“亲水性与憎水性”)。

上式等号右边对一定材料来说是个定值，对于大多数硅酸盐材料， $\sigma$ 和 $\theta$ 可分别采用0.48牛顿/米和 $140^\circ$ 。因此，根据对水银施加的压力，便可求得孔径的大小(见图1-5)。这一孔径的体积可由压入的水银体积得知。

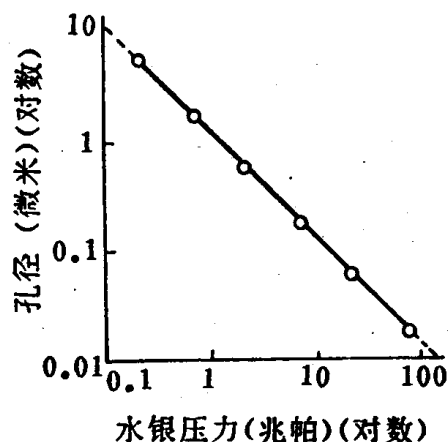


图1-5 孔径与水银压力之间的关系

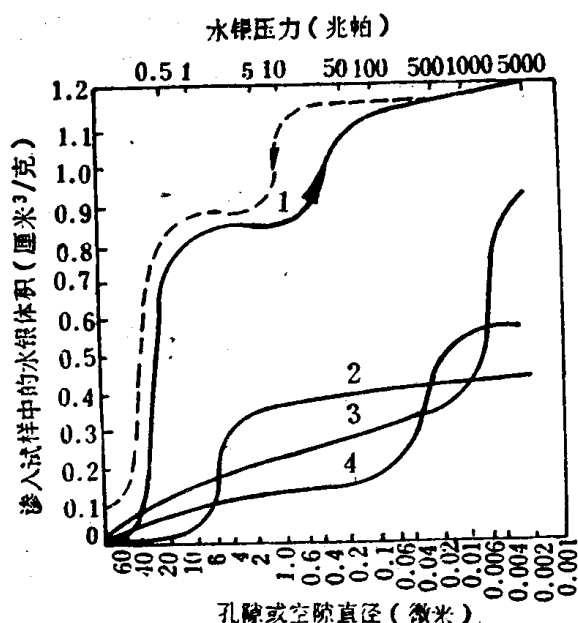


图1-6 孔径分布曲线

孔隙体积按孔径大小的分布情况，可用孔径分布曲线表示。图1-6为 $V_K-r$ 曲线，横坐标为孔半径( $r$ )，纵坐标为孔隙体积( $V_K$ )。图中四条曲线分别表示四种材料，曲线1表示孔隙率大、孔径大(大于10微米)的材料。上边的虚线表示压力取消后恢复的曲线。此曲线与曲线1并不重合，出现滞后现象，说明孔隙呈瓶状，压力取消后部分水银留在孔隙中。曲线2为颗粒间空隙尺寸较大(4~6微米)的粉状材料。曲线3为孔隙率小的材料。曲线4表示结构均匀、孔径为0.02~0.04微米的材料。

现代的测孔仪能自动测量孔隙率，并立即以数字和图表形式给出结果。

## 二、与各种物理过程有关的性质

### (一) 材料在水作用下的性质

1. 亲水性与憎水性 材料在空气中与水接触时，首先遇到的问题是材料是否被水所润湿。润湿就是水被材料表面吸附的过程，它和材料本身的性质有关。

材料与其它介质接触的界面上具有表面能，表现为表面张力。每种材料都力图使这种表

面能减至最小。当材料与水接触时,如果材料与空气接触面上的表面能,大于材料与水接触面上的表面能,即材料与水接触后,其表面能降低,则水分就能代替空气而被材料表面所吸附。材料表面对水的吸附程度,可用润湿边角来说明。

图 1-7 中的 O 点表示材料、水和空气三相交点。在这个交点上有三种表面张力:材料与水平面的表面张力  $\sigma_{1,2}$ ;材料与空气界面的表面张力  $\sigma_{1,3}$ ;水与空气界面的表面张力  $\sigma_{2,3}$ 。这三个力平衡时可得出下式:

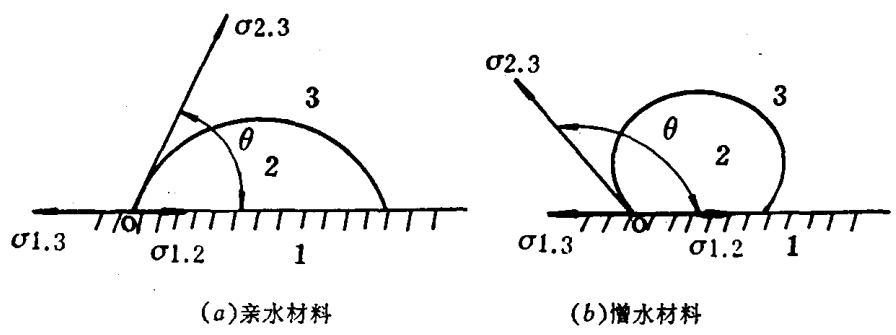


图 1-7 材料润湿示意图

$$\sigma_{1,3} = \sigma_{2,3} \cos \theta + \sigma_{1,2}$$

则

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{1,3} - \sigma_{1,2}}{\sigma_{2,3}}$$

从上式可以看出,当  $\sigma_{1,2}$  小于  $\sigma_{1,3}$  时,则  $0 \leq \theta \leq 90^\circ$ ,这时材料表现为亲水性,即这种材料表面是可润湿的,因而称为亲水材料。如果  $\sigma_{1,2}$  大于  $\sigma_{1,3}$  则  $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ ,材料表现为憎水性,即这种材料表面是不可润湿的。所以称为憎水材料。建筑材料中的木材、混凝土、砂、石等均亲水材料,沥青、石蜡等为憎水材料。

2. 吸湿性 是指由毛细孔组成的多孔材料从湿空气中吸收水蒸汽的性质。自空气中吸收水分是由于孔隙内表面多分子吸附和毛细管凝聚的结果。这一物理化学过程称为吸附作用。木材、隔热材料、墙体材料及其他多孔材料都有很大的内表面,所以有很大的吸附能力。

随着水蒸汽压力的提高(即在一定温度下增加空气的相对湿度),材料吸附水分增加(图 1-9)。按着弗洛因德利胥经验公式,吸附气体的数量( $\alpha$ )为:

$$\alpha = K P^{1/n}$$

式中:  $P$ ——达到平衡时气体压力;

$K, n$ ——经验系数,在温度一定时,对给定的吸附剂和气体来说是个定值。

在对数坐标中,可化为下式:

$$\log \alpha = \log K + \frac{1}{n} \log P$$

图 1-8 曲线表示被吸附的气体数量与压力的关系,当孔隙内表面饱和之后,曲线突然向上,并平行于吸附量的坐标轴,说明毛细管凝结。亲水材料中的狭小毛细管易被水润湿,弯液面是下凹的,液面上的

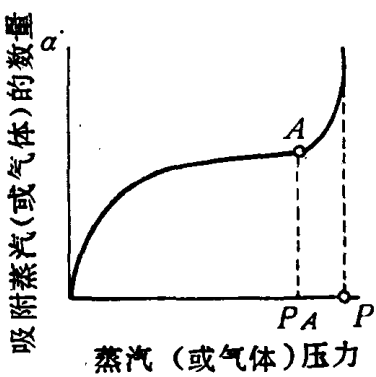


图 1-8 等温吸附

饱和蒸汽压将低于平液面的饱和蒸汽压。因此,对平液面来说尚未达到饱和,但对凹液面来说可能达到过饱和,于是水蒸汽在毛细管中凝结。

材料能从空气中吸附水蒸汽及水蒸汽凝结,因而多孔材料在潮湿空气中长期放置,不但不会干燥,而反有较大的含水量,例如木材气干状态的含水量为12~18%;墙体材料为5~7%。多孔材料的吸湿性会影响材料导热性,所以隔热材料要采取防潮措施。

3. 吸水率 材料的吸水率说明材料吸收水分的能力。吸水率有两种表示方法:

质量吸水率( $W$ ):

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\%$$

式中:  $m_1$ ——材料在干燥状态下的质量;

$m_2$ ——材料在浸水饱和状态下的质量。

体积吸水率( $W_0$ ):

$$W_0 = \frac{m_2 - m_1}{V_0} \cdot \frac{1}{\rho_{H_2O}} \cdot 100\%$$

式中:  $V_0$ ——材料在自然状态下的体积。

$\rho_{H_2O}$ ——水的密度。

可见体积吸水率与开口孔隙率是一致的。

质量吸水率与体积吸水率存在如下关系:

$$W_0 = W \cdot \gamma_0$$

式中:  $\gamma_0$ ——材料的容重(克/厘米<sup>3</sup>)。

多孔材料(如混凝土、砖等)的吸水率是按标准方法,将试件放在水中浸水饱和,然后测定。所用水温为 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 。这样测得的体积水率基本是开口孔隙率,远低于总的孔隙率,因为水不能渗入封闭孔隙中,何况将试件自水中取出时还要从大的孔隙中流出一些水分。例如轻混凝土的孔隙率为50~60%,而体积吸水率仅为20~30%。

各种材料的吸水率在很大范围内变化:花岗岩为0.02~0.7%,密实的普通混凝土为2~4%,砖为8~15%,多孔隔热材料为100%以上(按质量吸水率)。高度多孔的材料吸水率宜用体积吸水率表示,因为体积吸水率是不可能超过100%的。

为了根据吸水率来判断材料的结构,可利用孔隙水饱和系数( $K_B$ ):

$$K_B = \frac{W_0}{P}$$

式中:  $W_0$ ——材料体积吸水率(%);

$P$ ——材料孔隙率(%)。

$K_B$ 可由0(材料中的孔隙全部为封闭的)到1(所有孔隙全部是开口的,  $W_0 = P$ )。在孔隙率相同的情况下,  $K_B$ 小,说明开口孔隙少,一般来说抗冻性能较高。

吸水率对材料基本性质有不良影响:容重增加,体积膨胀,导热性增加,强度及抗冻性下降。

4. 软化系数 浸水饱和材料的强度与干燥材料强度之比称为软化系数( $K_P$ ):