

水利部农水司推荐

全国中等职业教育农业水利工程类精品教材

全国农村水利员培训新概念规划教材

建筑材料

陈宇翔 主编



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

全国中等职业教育农业水利工程类精品教材

全国农村水利员培训新概念规划教材

建筑材料

陈宇翔 主 编



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

（北京·清华大学）

内 容 提 要

本书主要介绍了农田水利工程、水利水电工程、工业与民用建筑工程中常用建筑材料的基本组成、生产过程、技术性能、质量要求、检验方法、应用及保管等基本知识。全书共分为十章,内容包括建筑材料的基本性质、石材和墙体材料、建筑钢材、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆、沥青及沥青防水材料、合成高分子材料、木材、建筑材料试验等。另附有材料基本性质试验、水泥试验、混凝土骨料试验、水泥混凝土试验和钢筋试验等资料,便于查找,使用。

本书按现行国家标准、行业标准编写。内容新颖全面,同时重视基础知识介绍,文字通俗易懂。

本书可作为中等职业学校水利技术专业教材、农业水利技术人员岗位培训教材,也可供有关技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料 / 陈宇翔主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2005

全国中等职业教育农业水利工程类精品教材. 全国农村水利员培训新概念规划教材

ISBN 7-5084-3173-1

I. 建... II. 陈... III. 建筑材料—专业学校—教材 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核子 (2005) 第 093026 号

书 名	全国中等职业教育农业水利工程类精品教材 全国农村水利员培训新概念规划教材 建筑材料
作 者	陈宇翔 主编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 12 印张 285 千字
版 次	2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	29.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、错页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

我国历来十分重视水利工作，把治水看作治国安邦的基本方略。当前正处于社会体制转型和经济快速发展的新时期，治水思路由工程水利向资源水利、传统水利向现代水利和可持续发展水利转变。水利事业的发展需要一大批具备岗位技能、独当一面的基础人才。广大基层水利技术员，长年累月战斗在水利建设的第一线，是各级水利部门和地方政府的得力助手。他们担负着乡镇区域（流域）内水利工程建设管理、防汛抗旱抢险、水政执法、水资源配置、农田水利实用技术推广等任务，为推动整个水利建设、管理和改革，加快农业农村现代化建设执着奉献。

进一步提高农村防洪排涝能力，保障农村饮水安全、粮食生产安全和农村生态安全，推进水资源的高效利用，促进农业增效、农民增收、农村发展和全面实现小康社会，是新时期赋予农村水利的主要任务。为此，加强以基层水利员为重点的水利行业基础人才专业培训，进一步提高他们的业务素质和专业技能，更好地肩负起历史重任，是新形势下水利职业教育的一项重要工作。

教材建设是职业教育的基础。针对基层农村水利技术人员培训及水利中等职业教育的教材建设相对滞后的现状，浙江省率先组织编写了全国农村水利员培训新概念规划教材，即全国中等职业教育农业水利工程类精品教材。该套教材由15分册组成，各分册在内容的组织和编排上体现了适用基层水利人员中职教育及水利行业职工培训的特点，把握了以应用为目的，以能用、够用为度的原则，并注重介绍和引入目前的新技术、新工艺、新标准和新规范。该套教材有较好的实用性、针对性、适用性，具有一定的创新特点，既可作为基层农村水利技术人员的岗位培训教材、中等职业学校水利工程技术专业通用教材，也可供广大水利技术人员参考阅读。

该套教材的出版，是对水利行业职业教育、教材建设的一次有益探讨，相信它会给新时期农村水利职业技能应用型人才培养和中等职业教育带来帮助。

水利部农村水利司司长



2005年8月

前 言

全国农村水利员培训新概念规划教材，即全国中等职业教育农业水利工程类精品教材是根据水利部对全国农村水利技术人员的培训要求和全国农业水利工程类专业中职教学特点，总结多年教学和行业培训的经验，吸取同类教材的优点，以适应 21 世纪将水利行业的职工技术培训与中职教育融为一体的教育改革新思维编写而成。本套教材针对中职教育、水利行业职工培训和专业人员自学的特点，在内容的选择和编排上进行了认真探索和尝试性改革。编写过程本着“淡化设计，充实图例，突出概念，反映最新”的原则，追求“实用性、针对性、通用性”。本套教材尽量采用最新的行业技术、规范和标准，力求通俗易懂、简单实用，使读者学为所用，学以致用。

本套教材首批推出 15 分册，本书为《建筑材料》。该书按现行国家标准、部及行业标准和最新规范编写，重点介绍了农田水利工程、水利水电工程、工业与民用建筑工程中常用建筑材料的基本组成、生产过程、技术性能、质量要求及检验方法、应用及保管等基本知识。全书共分 10 章，内容包括建筑材料的基本性质、石材和墙体材料、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆、沥青及沥青防水材料、合成高分子材料、木材、建筑材料试验等。本书内容新颖全面，同时重视基础知识介绍，文字通俗易懂，图表清晰。

本书由陈宇翔主编，并编写绪论和第四、五、七、九章，胡玉珊编写第六章及建筑材料试验；于会泉编写第八、十章；杨海平编写第一至第三章。本书由丁春梅审稿。

本套教材在编写过程中，得到了水利部农水司、浙江省水利厅有关处室、浙江水利水电高等专科学校、贵州省水利水电学校、吉林省水利水电学校、云南省水利水电学校、新疆水利水电学校、河南省郑州水利学校等单位的领导和同志们的指导和帮助，在此表示深深的谢意。同时，得到了相关教材、专著的专家们的帮助与指教。对所有参考引用文献的作者（包括因时间及其他原因联系不上的作者），表示衷心的感谢，并欢迎联系和交流。

由于编写时间仓促，编者水平有限，本套教材在内容选择、文字表述、图文体例等各方面可能存在疏漏。热忱欢迎读者批评指正。

编者

2005 年 8 月

【目 录】

序

前言

绪论	1
第一章 建筑材料的基本性质	3
第一节 建筑材料的组成与结构	3
第二节 建筑材料的物理性质	5
第三节 建筑材料的力学性质	12
第四节 建筑材料的耐久性	16
第二章 石材和墙体材料	18
第一节 天然石材	18
第二节 墙体材料	24
第三章 建筑钢材	37
第一节 钢的冶炼和分类	37
第二节 化学成分对钢材性能的影响	38
第三节 建筑钢材的主要技术性质	40
第四节 钢材的冷加工和热处理	44
第五节 建筑钢材的牌号和应用	46
第六节 钢材的腐蚀和防护	52
第四章 气硬性胶凝材料	54
第一节 石灰	54
第二节 建筑石膏	56
第三节 水玻璃	58
第五章 水泥	60
第一节 硅酸盐水泥	60
第二节 掺混合材料的硅酸盐水泥	68
第三节 其他品种的水泥	73
第四节 水泥的应用与保管	76
第六章 混凝土	79
第一节 普通混凝土的组成材料	79
第二节 混凝土的主要技术性质	87

第三节	混凝土的质量控制	97
第四节	普通混凝土配合比设计	99
第五节	混凝土外加剂	107
第六节	混凝土掺和料	112
第七节	其他混凝土	114
第七章	建筑砂浆	119
第一节	建筑砂浆的组成材料	119
第二节	建筑砂浆的技术性质	120
第三节	砌筑砂浆配合比设计	122
第四节	抹面砂浆	125
第八章	沥青及沥青防水材料	128
第一节	沥青材料	128
第二节	沥青防水材料	134
第九章	合成高分子材料	140
第一节	合成高分子材料的基本知识	140
第二节	建筑塑料	142
第三节	合成高分子防水材料	145
第四节	聚合物混凝土及土工合成材料	146
第五节	胶粘剂	150
第十章	木材	152
第一节	木材种类及木材构造	152
第二节	木材的物理力学性质	153
第三节	木材的人工处理及应用	156
附录	建筑材料试验	159
试验一	材料基本性质试验	159
试验二	水泥试验	161
试验三	混凝土骨料试验	169
试验四	水泥混凝土试验	175
试验五	钢筋试验	180
参考文献		184



绪 论

一、建筑材料的定义和分类

建筑材料是指在建筑工程中应用的各种材料及其制品，是一切工程建设的基础。

建筑材料种类繁多，按基本组成成分分为无机材料、有机材料和复合材料三大类，见表 A。按使用功能可分为结构材料、围护材料、保温材料、防水材料、装饰装修材料、吸声隔声材料等。

表 A 建筑材料的分类

无机材料	金属材料	黑色金属：铁、钢及其合金
		有色金属：铝、铜等及其合金
	非金属材料	石材：天然石材、人造石材等
		烧结制品：烧结砖、陶瓷面砖等
		熔融制品：玻璃等
		胶凝材料：石灰、石膏、水玻璃、水泥等
		混凝土、砂浆
有机材料	无机纤维材料：矿物棉等	
	植物材料	木材、竹材等
	沥青材料	石油沥青、煤沥青及制品
复合材料	合成高分子材料	塑料、合成橡胶、合成纤维等
	金属非金属复合材料	钢筋混凝土等
	无机有机复合材料	沥青混凝土、聚合物混凝土等
	非金属与非金属复合材料	普通混凝土、砂浆等

二、建筑材料在工程中的重要作用

建筑材料是各项基本建设的重要物质基础，在工程总投资中所占的比例高达 60% 左右。同时，建筑材料的品种、规格、质量，影响着各项工程的坚固、耐久、适用、美观、经济性、结构形式和施工方法。例如：钢筋混凝土、混凝土外加剂的出现，使以混凝土为基础的结构设计和施工技术有了快速发展；高效减水剂的出现，使混凝土强度等级由 C25 左右迅速提高到 C60~C80，甚至更高。建筑材料技术的发展对我国现代化建设和建筑工程技术的发展起了巨大推动作用。

三、建筑材料的发展趋势

建筑材料的发展为现代建筑的发展奠定了物质基础。在古代，人们用石材、砖材、木材修建了许多宏伟工程。公元前 280 年建成的亚历山大港口的灯塔，高度超过 100m，全部用石砌筑；523 年北魏建于我国河南登封县境的嵩山南麓的嵩岳寺塔，总高 41m 左右，



为砖砌单层筒体。此外,我国古代还修建了大量木塔,但由于木结构易燃,基本上毁于火灾。18~19世纪,钢铁、水泥、混凝土的出现更使得建筑得到进一步发展。进入20世纪后,有机材料的发展推动了防水、装饰等工程的发展,改善了人们的居住和生活环境。

为适应建设和社会发展的需要,今后建筑材料的发展趋势是:

(1) 研制和开发绿色环保材料,原料上要充分利用再生资源 and 工农业废料;大力开发、引进、推广新的生产工艺,节省能源和原材料,减少环境污染,维护社会的可持续发展。

(2) 研制和开发高性能材料,要求材料轻质、高强、耐用,多功能化。

(3) 研制和开发满足特殊功能要求的复合材料。

(4) 积极推进预制装配技术的发展,逐步将构件的尺寸、类型实现标准化和系列化。

四、建筑材料的标准化

我国建筑材料的技术标准分国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。技术标准的表示方法是由标准名称、部门代号、标准编号、批准年份等组成。国家标准有强制性标准(代号 GB)和推荐性标准(代号 GB/T)两类。各行业标准的代号有:SL——水利行业标准;DL——电力行业标准;JG——建筑行业标准;JC——建材行业标准等。地方标准代号为 DB,企业标准代号为 QB。例如:GB 175—1999《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》,GB 200—2003《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥》。

国际标准是指由国际标准化机构通过、公布,并在国际范围内施行的标准,或在某些情况下由国际标准化机构采用的技术标准。一般指国际标准化组织(ISO)国际标准、国际电工委员会(IEC)国际标准和国际电信联盟(ITU)国际标准。

标准是根据一个时期的技术水平制定的,随着科学技术的发展,标准也在不断发展变化。根据技术发展的速度与要求不断地修订或废止一些旧标准,同时制定、发布一些新标准,并逐步与国际标准相接轨。

五、本课程学习目的与学习方法

建筑材料课程是农田水利专业、水利水电工程专业、工业与民用建筑工程专业等的一门技术基础课。学习本课程的目的使学生通过学习,获得有关建筑材料的基础知识和基本技能,为后续如钢筋混凝土结构、水工建筑物、水利工程施工等专业课的学习提供建筑材料的基本知识,并为今后从事专业技术工作时能够合理选择和使用建筑材料奠定基础。

由于建筑材料的质量直接影响着工程的质量,因此,在选择和使用建筑材料时,必须了解建筑材料的技术性能和使用要求,并能根据建筑材料的标准对材料的质量进行检验。同时,对建筑材料的储运和保管方法也应有所了解。

建筑材料种类繁多,内容庞杂,在学习要注重理解,抓住重点,着重学好各种材料的性质与应用,以及材料的技术要求。学习中应利用典型材料的一般性质,运用类比法去理解其他材料的性质。同时,必须贯彻理论联系实际的原则,重视试验和习题作业,了解建筑材料的试验方法。



第一章 建筑材料的基本性质

第一节 建筑材料的组成与结构

材料的组成和结构决定着材料的各种性质。要了解材料的性质,首先必须了解材料的组成、结构与材料性质间的关系。

一、材料的组成

(一) 化学组成

化学组成即化学成分。无机非金属材料的化学组成常以各氧化物的含量来表示;金属材料则常以各化学元素的含量来表示;有机材料常用各化合物的含量来表示。化学组成是决定材料化学性质(耐腐蚀性、燃烧性等)、物理性质(耐水性、耐热性、保温性等)、力学性质(强度、变形等)的主要因素之一。

(二) 矿物组成

许多无机非金属材料是由各种矿物组成的。矿物是具有一定化学成分和结构特征的单质或化合物。矿物组成是决定无机非金属材料化学性质、物理性质和力学性质等的重要因素。

材料的化学组成不同,则材料的矿物组成也不同。而相同的化学组成,可以有不同的矿物组成(即微观结构不同),且材料的性质也不同。例如:同是碳元素组成的石墨与金刚石;由石灰(CaO)、石英(SiO_2)和水在常温下硬化而成的石灰砂浆与在高温高湿条件下硬化而成的灰砂砖(属于硅酸盐混凝土)。由于它们的矿物组成不同,它们的物理性质和力学性质截然不同。

利用材料的组成可以大致判断出材料的某些性质。例如:材料的组成成分易与周围介质(酸、碱、盐等)发生化学反应,则该材料的耐腐蚀性差或较差;材料的组成易溶于水或微溶于水(或其他溶剂),则材料的耐水性(或耐溶剂性)很差或较差;有机材料的耐火性和耐热性较差,且多数可以燃烧;合金的强度高于非合金的强度等。

二、材料的结构

材料的结构指包括从原子结构到宏观结构的各个层次的构造状况。材料的性质都与材料的内部结构有密切关系,并受结构的直接影响。如多孔疏松结构的材料,其强度较低,而绝热性能好。

材料的结构一般可分为三个层次:即宏观结构、亚微观结构和微观结构。

(一) 宏观结构

宏观结构是指用肉眼或放大镜能够分辨的材料的粗大组织,可分为:

(1) 致密结构。指无孔隙存在的材料的结构,如钢材、玻璃等。

(2) 多孔结构。指孔隙粗大的结构,如加气混凝土、人造轻质材料等。



(3) 微孔结构。指通过提高拌和水量和掺入可燃材料而获得微细孔隙的结构,如石膏制品、粘土砖等,

(4) 聚集结构。指由胶凝材料与骨料结合而成的材料,如混凝土、水泥制品等。

(5) 纤维结构。指由各种纤维所持有的结构,如纤维板、玻纤布等,具有各向异性的特点。

(6) 层片状结构。指用粘结或其他方法将材料叠合成层状的结构,如胶合板、稻草板等。

(7) 散粒结构。指粉状或颗粒状材料形成的结构,如砂、石骨料、粒化矿渣等。

(二) 亚微观结构

亚微观结构是指用光学显微镜所能观察到的物质结构,如钢、球墨铸铁中的铁素体、珠光体、渗碳体等组织。

(三) 微观结构

微观结构是指物质的原子、分子、离子层次的结构。这种结构需借助于电子显微镜、扫描电子显微镜及X射线衍射仪等高倍显微仪器来观察。材料的强度、硬度、熔点、导热性、导电性等性质都与材料的微观结构有密切关系。

用微观结构进行分析,多数建筑材料属于固体。按其结构形态的不同,基本上可分为晶体、玻璃体和胶体三类。

1. 晶体

晶体是由离子、原子或分子等质点在空间按照一定的规则重复排列而成的固体。晶体的特点是本身具有固定的几何外形,且具有各向异性。然而晶体材料是由大量排列不规则的晶粒所组成,因此晶体材料又呈各向同性。晶体的各种物理力学性质除与质点的排列方式有关之外,还与各质点间的相互结合有关。这种相互结合力称为化学键。根据其化学键的不同,晶体可分为:

(1) 原子晶体。由中性原子构成的晶体,原子间以共价键来联系。这种键结合较牢固,其晶体的强度、硬度与熔点都较高。如石英、金刚石等。

(2) 离子晶体。由正负离子构成的晶体,离子间靠静电吸引力来联系,即靠离子键结合。这种键结合也较稳定,因此强度、硬度及熔点也较高,但在溶液中会离解成离子,不耐水。

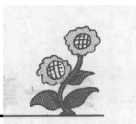
(3) 分子晶体。由分子构成的晶体,分子间以分子力(范德华力)相联系。这种结合力很弱,因此硬度很小,熔点也低。例如冰。

(4) 金属晶体。由金属阳离子组成晶格,自由电子在晶格间隙中自由运动,通过自由电子与阳离子间的静电引力而结合,即靠金属键结合,由于具有自由电子而有良好的导热性和导电性。如各种金属和合金。

2. 玻璃体

玻璃体没有固定的形状和几何外形,且各向异性,其质点来不及按一定规则排列,便凝固成固体状态的结构。

晶体和玻璃体往往是同一种材料的不同状态。当熔融物慢慢冷却后,可以生成晶体。如果冷却速度较快,质点来不及结晶便凝固成固体状态,此时即得玻璃体结构。这种结构



没有固定的熔点，只出现软化点，无一定的几何外形，具有各向同性的物理性质，结构不稳定，易和其他物质起化学作用。如火山灰、粒化矿渣等。

3. 胶体

胶体指由细小的微粒分散在介质中的结构。这种结构质点微小，表面积大，表面能很大，吸附能力强，有较大的粘结力。

胶体由于脱水或质点凝聚作用，而逐渐产生凝胶。凝胶体具有固体性质，在长期应力作用下又具有粘性液体的流动性质。这是由于固体微粒表面有一层吸附膜，膜层越厚，流动性越大。如混凝土的强度及变形性质，与水泥水化形成的凝胶体有很大关系。

第二节 建筑材料的物理性质

一、材料的密度、表观密度和堆积密度

(一) 密度 (ρ)

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量为

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

式中 ρ ——密度， g/cm^3 ；

m ——材料在干燥状态下的质量， g ；

V ——材料在绝对密实状态下的体积， cm^3 。

材料的“绝对密实状态下的体积”是指材料体积内固体物质所占的体积，不包括孔隙在内的体积。实际上完全致密的材料很少，除钢材、玻璃、沥青等以外，绝大多数材料或多或少都具有一定孔隙。对于多孔固体材料（例如红砖）的绝对密实体积，可按测定密度的标准方法规定，将其干燥的试样磨成细粉，称量一定质量的粉末，置于装有液体的比重瓶（李氏比重瓶）中测量其“绝对体积”即为密实体积，它等于被粉末排出的液体体积。

(二) 表观密度 (ρ_0)

表观密度是指材料在自然状态下单位体积的质量。材料的表观密度为：

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

式中 ρ_0 ——表观密度， 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 。

表观体积是指包括孔隙在内的体积。对于多孔固体材料的孔隙体积，是指材料本身的开口孔、裂口或裂纹及封闭孔。

在自然状态下，当材料孔隙内含有水分时，其质量和体积均将发生变化，会影响材料的表观密度，故对所测材料的表观密度必须注明其含水状态。如吸水状态（湿表观密度）、烘至恒重（即干表观密度）。通常表观密度是指材料在气干状态下的表观密度。

如上所述，表观密度是指单位表观体积的质量，也称质量表观密度或质量密度。本书中涉及的材料表观密度均指质量密度。在工程实践中，有时采用材料重力与其表观体积之



比(即单位体积材料所受的重力),此时称重力表观密度或重力密度,简称容重。

对于材料的表观密度,按表观体积的测定方法的不同可为体积密度和视密度两种情况。为了区别这两种情况,通常将包括所有孔在内的表观密度称为体积密度;把只包括闭口孔在内的表观密度称为视密度。对于砖、混凝土、石材等形状较规则的材料,直接测量外观体积较为方便,因此用体积密度表示;对于砂、石等形状不规则的材料,常用排水法测得其体积,因此用视密度表示。其中视密度按式(1-3)计算:

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

式中 ρ' ——视密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

V' ——仅包括封闭孔隙在内的颗粒体积, m^3 。

(三) 堆积密度 (ρ'_0)

堆积密度是指疏松状(小块、颗粒、纤维)材料在堆积状态下单位体积的质量。按式(1-4)计算:

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

式中 ρ'_0 ——堆积密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

V'_0 ——材料的堆积体积, m^3 。

对于配制混凝土用的碎石、卵石及砂等松散颗粒状材料的堆积密度测定,是在特定条件下既定容积的容器(容量筒的容积)测得的体积,称为堆积体积,求其密度称为堆积密度。堆积密度不仅与材料的表观密度有关,还与材料堆积的疏密程度有关。在自然堆积状态下称堆积密度,在紧密堆积状态下称紧密堆积密度。

材料的各种密度是材料的主要物理性质,常用来计算材料的密实度、孔隙率,及材料用量、自重、运输量和堆积空间等。另外,材料的表观密度会影响材料的其他性质,如强度、隔声、导热性等。一般情况下,表观密度大,则强度高,隔声效果差,导热系数大。常见建筑材料的密度、表观密度及堆积密度如表1-1所示。

表 1-1

常见建筑材料的密度、表观密度及堆积密度

材 料	密度 ρ (g/cm^3)	表观密度 ρ_0 (kg/m^3)	堆积密度 ρ'_0 (kg/m^3)	材 料	密度 ρ (g/cm^3)	表观密度 ρ_0 (kg/m^3)	堆积密度 ρ'_0 (kg/m^3)
石灰岩	2.60	1800~2600	—	水 泥	3.10	—	1200~1300
花岗岩	2.80	2500~2900	—	普通混凝土	—	2100~2600	—
碎 石	2.60	—	1400~1700	轻骨料混凝土	—	800~1900	—
砂	2.60	—	1450~1650	木 材	1.55	400~800	—
粘 土	2.60	—	1600~1800	钢 材	7.85	7850	—
普通粘土砖	2.50	1600~1800	—	泡沫塑料	—	20~50	—
粘土空心砖	2.50	1000~1400	—				



二、材料的孔隙率与密实度

1. 孔隙率

孔隙率是指材料体积内孔隙（开口的和封闭的）体积所占的比例，即：

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

式中 P ——材料的孔隙率，%；

V ——材料在绝对密实状态下的体积， cm^3 或 m^3 ；

V_0 ——材料表观体积， m^3 。

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，即：

$$P_K = \frac{m_2 - m_1}{V_0} \frac{1}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 m_1 ——干燥状态材料的质量，g；

m_2 ——饱和状态下材料的质量，g；

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ ——水的密度， g/cm^3 。

开口孔隙能提高材料的吸水性、透水性，而降低了抗冻性。减少开口孔隙，增加闭口孔隙，可提高材料的耐久性。

闭口孔隙率 (P_B) 是指孔隙率 (P) 与开口孔隙率 (P_K) 之差，即 $P_B = P - P_K$ 。

2. 密实度

密实度是指材料体积内被固体物质所充实的程度，即材料的密实体积与总体积之比，即：

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 D ——材料的密实度，%；

V 、 V_0 意义同前。

凡含孔隙的固体材料的密实度均小于 1。材料的 ρ_0 与 ρ 愈接近，即 $\frac{\rho_0}{\rho}$ 愈接近 1，材料就愈密实。材料的很多性质，如强度、吸水性、耐水性、导热性等均与其密实度有关。

材料的孔隙率与密实度是从两个不同方面反映材料的同一个性质。它们之间的关系为 $P + D = 1$ 。

材料的许多性质，如表观密度、强度、导热性、透水性、抗冻性、抗渗性、耐蚀性等，除与孔隙率大小有关，还与孔隙构造特征有关。孔隙构造特征，主要是指孔隙的形状和大小。根据孔隙形状分开口孔隙与封闭孔隙两类。开口孔隙与外界相连通，封闭孔隙则与外界隔绝。根据孔隙的大小，分为粗孔和微孔两类。一般均匀分布的微孔，要比开口或相连通的孔隙好。不均匀分布的孔隙，对材料性质影响较大。

三、材料的填充率与空隙率

对于松散颗粒状材料，如砂、石等互相填充的疏松致密程度，可用“填充率”和“空隙率”表示。

1. 填充率

填充率是指颗粒材料的堆积体积内被颗粒所填充的程度，即：



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

式中 D' ——材料的填充率, %;

V_0 、 V' 意义同前。

2. 空隙率

空隙率是指散粒材料的堆积体积内颗粒之间的空隙体积所占的百分率, 即

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

式中 P' ——材料的空隙率, %;

V_0 、 V'_0 、 ρ_0 、 ρ'_0 意义同前。

同样, $D' + P' = 1$ 。

空隙率的大小反映了散粒材料的颗粒互相填充的致密程度。空隙率可以作为控制混凝土骨料级配与计算含砂率的依据。

四、材料的亲水性和憎水性

材料在空气中与水接触时, 根据其是否能被润湿, 可分为亲水性材料与憎水性材料两类。

润湿就是水被材料表面吸附的过程。当材料在空气中与水接触时, 如果材料分子与水分子间的相互作用力大于水分子间的作用力, 此时材料表面就会被水所润湿。在材料、水和空气三相的交点处, 沿水滴表面所引切线与材料表面所成的夹角 (称为润湿角) $\theta \leq 90^\circ$, 则这种材料称为亲水性材料; 反之, 如果材料分子与水分子间的相互作用力小于水本身分子间的作用力, 则表示材料不能被水润湿, 此时, $90^\circ < \theta < 180^\circ$, 则这种材料称为憎水性材料。

水在亲水性材料的毛细管中形成凹形弯液面, 主要是由于材料的毛细孔壁分子与分子间的相互作用力大于水分子之间的作用力, 所以水面上升; 管径越细, 水面上升越高。一般水不易渗入憎水性材料的毛细管中去, 但当有水渗入时, 则成凸形弯液面, 并保持在周围水面以下, 如图 1-1 所示。

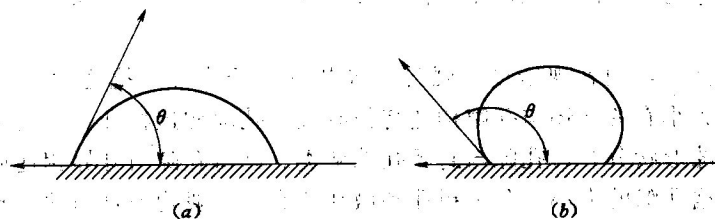


图 1-1 材料的润湿边角

(a) 亲水性材料; (b) 憎水性材料

大多数建筑材料, 如石料、砖、混凝土、木材等属于亲水性材料, 表面均能被润湿。沥青、石蜡等属于憎水性材料, 表面不能被水润湿。因此, 憎水性材料经常作为防水材料或作亲水性材料表面的憎水处理用。



五、材料的吸水性和吸湿性

1. 吸水性

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

质量吸水率，指材料所吸收水分的质量占材料干燥质量的百分数，即：

$$W_{\text{吸}} = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中 $W_{\text{吸}}$ ——材料的质量吸水率，%；

m ——材料吸水饱和后的质量，g；

m_0 ——材料烘干到恒重的质量，g。

体积吸水率，指材料体积内被水充实的程度，即材料吸收水分的体积占干燥材料自然状态下总体积的百分数，即：

$$W_{\text{体}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_0} \quad (1-11)$$

式中 $W_{\text{体}}$ ——体积吸水率，%；

$V_{\text{水}}$ ——材料吸入水的体积， cm^3 ；

V_0 ——材料自然状态下的体积， cm^3 。

质量吸水率与体积吸水率存在如下关系：

$$W_{\text{体}} = W_{\text{吸}} \rho_0 \quad (1-12)$$

式中 ρ_0 ——材料的干表观密度， g/cm^3 。

材料的吸水率大小与材料的孔隙率和孔隙特征有关。一般说来，孔隙率越大，吸水率越大。但在材料的孔隙中，不是全部孔隙都能够被水所充满，因为封闭的孔隙水分不易渗入，粗大的孔隙水分又不易存留，故材料的体积吸水率常小于孔隙率。这类材料常用质量吸水率表示它的吸水性。

对于某些轻质材料，如加气混凝土、软木等，由于具有很多开口而微小的孔隙，所以它的质量吸水率往往超过 100%，即湿质量为干质量的几倍，在这种情况下，最好用体积吸水率表示其吸水性。

2. 吸湿性

材料在潮湿的空气中吸收空气中水分的性质称为吸湿性。吸湿性的大小用含水率表示。

含水率是指材料所含水质量占材料干燥质量的百分数，计算为：

$$W_{\text{含}} = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (1-13)$$

式中 $W_{\text{含}}$ ——含水率，%；

m_0 ——材料在干燥状态下的质量，g；

m_1 ——材料在含水状态下的质量，g。

材料的含水率大小，除与材料本身的成分、组织构造等因素有关外，还与周围环境的温度、湿度有关。气温越低、相对湿度越大，材料的含水率也就越大。



材料随着空气湿度大小的变化,既能在空气中吸收水分,又可向外界扩散水分,最后与空气湿度达到平衡。材料在空气中水分向外发散的性质称为材料的还水性。木材的吸湿性随着空气湿度变化特别明显。例如:木结构制作后若长期处于空气湿度小的环境下,为了与周围湿度平衡,木材便向外散发水分,于是木结构体积收缩而导致干裂。

六、材料的耐水性、抗渗性和抗冻性

1. 耐水性

材料长期在饱和水作用下不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表示,计算为:

$$K_{\text{软}} = \frac{R_{\text{饱}}}{R_{\text{干}}} \quad (1-14)$$

式中 $K_{\text{软}}$ ——材料的软化系数;

$R_{\text{饱}}$ ——材料在饱和状态下的抗压强度, MPa;

$R_{\text{干}}$ ——材料在干燥状态下的抗压强度, MPa。

材料的软化系数范围在 0~1 之间。一般材料随着含水率的增加,水分会渗入材料微粒之间的缝隙内,降低微粒之间的结合力,使强度降低。所以,用于严重受水侵蚀或潮湿环境的材料,其软化系数应在 0.85~0.9 之间;用于受潮较轻的或次要的结构物的材料,则不宜小于 0.7~0.85。软化系数值越大,耐水性越好。对于 $K_{\text{软}} \geq 0.85$ 的材料,通常可以认为是耐水的材料。

2. 抗渗性

材料抵抗压力水渗透的性质称为抗渗性(不透水性)。

材料的抗渗性用渗透系数 K 表示。根据达西定律,在一定时间 t 内,透过材料试件的水量 Q ,与试件的断面面积 A 及水头差 H 成正比,与试件的厚度 d 成反比,即:

$$K = \frac{Qd}{AtH} \quad (1-15)$$

式中 K ——渗透系数, cm/s。

渗透系数越小的材料其抗渗性能越好。材料的抗渗性的好坏,主要与材料的孔隙率及孔隙特征有关。绝对密实材料或具有封闭孔隙的材料,就不会产生透水现象。材料的抗渗性,对地下建筑物、水工构筑物影响较大。

材料的抗渗性也可用抗渗标号或抗渗系数(S)来表示。抗渗等级系指在规定试验条件下,压力水不能透过试件厚度在端面上呈现水迹所能承受的最大水压力。通常,混凝土抗渗性用抗渗等级表示。抗渗等级是按标准试验方法进行试验,用每组 6 个试件中 4 个试件未出现渗水时的最大水压力来表示的。如抗渗等级 S_4 ,即相应表示能抵抗 0.4MPa 的水压力而不发生渗透。

3. 抗冻性

材料在吸水饱和状态下,经多次冻结和融化作用(冻融循环)而不破坏,同时也不严重降低强度的性质称为抗冻性。

通常采用 -15°C 的温度(水在微小的毛细管中低于 -15°C 才能冻结)冻结后,再在 20°C 的水中融化,这样的过程称为一次冻融循环。