

GAODENG YUANXIAO JINGPIN
GUIHUA JIAOCAI

高等院校精品规划教材

建材与水利工程施工

© 冷爱国 刘祥柱 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

GAODENG YUANXIAO JINGPIN
GUIHUA JIAOCAI

高等院校精品规划教材

建材与水利工程施工

◎ 冷爱国 刘祥柱 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是高等院校精品规划教材,全书共分14章,内容包括:建筑材料的基本性质,常用建筑材料,施工导流与截流,土方工程施工技术,爆破施工技术,砌筑工程施工技术,模板工程施工技术,钢筋工程施工技术,混凝土工程施工技术,地基处理工程施工技术,渠道施工,水工建筑物施工,土石坝施工,喷锚支护技术以及建筑材料试验。本书的编写采用新规范、新标准,广泛吸纳新技术,并针对高职教育的特点,突出了实用性,有机地将建筑材料和水利工程施工进行了整合,加强了教学改革力度。

本书可供高等职业技术学院水利水电工程管理专业教学使用,也可作为水利工程、工程管理、城市水利等专业的教材,还可供水利工程技术人員阅读使用。

图书在版编目(CIP)数据

建材与水利工程施工/冷爱国,刘祥柱编著. —北京:
中国水利水电出版社,2008

高等院校精品规划教材

ISBN 978-7-5084-5212-8

I. 建… II. ①冷…②刘… III. ①水利工程—建筑材料—
高等学校—教材②水利工程—工程施工—高等学校—教
材 IV. TV4 TV5

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第204722号

书 名	高等院校精品规划教材 建材与水利工程施工
作 者	冷爱国 刘祥柱 编著
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	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	787mm×1092mm 16开本 18印张 427千字
版 次	2008年1月第1版 2008年1月第1次印刷
印 数	0001—3500册
定 价	33.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

水利工程施工是按照设计提出的工程结构、数量、质量及环保等要求,研究从技术、工艺、材料、组织管理等方面采取的相应施工方法和技术措施,以确保工程建设质量,经济、快速地实现设计要求的一门科学。水利工程施工具有很强的实践性、复杂性、风险性、多样性和不连续性等特点。

本教材《建材与水利工程施工》紧紧围绕水利水电工程管理专业的培养目标和高职教育特色,培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的高等技术应用型人才,按照突出技术应用、有利于实践能力培养的要求进行编写的。本教材将工程常用材料与工程施工技术结合在一起,根据社会对人才的需要,突出了学生的动手能力,内容以“必须、够用”为度,增强了教材的实用性。本教材在编写过程中结合了当前水利工程施工技术发展的实际情况和新规范、新技术的应用,适当地反映了国内较先进的施工技术。

本教材共分14章,主要包括:建筑材料的基本性质,常用建筑材料,施工导流与截流,土方工程施工技术,爆破施工技术,砌筑工程施工技术,模板工程施工技术,钢筋工程施工技术,混凝土工程施工技术,地基处理工程施工技术,渠道施工,水工建筑物施工,土石坝施工,喷锚支护技术。

本书由山东水利职业学院冷爱国、刘祥柱编著,王安主审。参加编写的人员及分工为:山东水利职业学院冷爱国编写第三章、第九章、第十一章,刘祥柱编写第一章、第十四章及附录,甄红锋编写第四章、第五章、第八章,张云清编写第十章、第十二章,刘昌礼编写第二章、第六章,吕桂梅编写第七章;陕西杨凌职业技术学院张宏编写第十三章。本教材在编写过程中得到了有关领导和同志的热情支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促,编者水平有限,对书中的缺点、错误及不妥之处,欢迎广大师生批评指正。

编 者

2007年12月

目 录

前言

绪论	1
第一章 建筑材料的基本性质	5
第一节 材料的组成、结构及构造	5
第二节 材料的物理性质	6
第三节 材料的力学性质	13
第四节 材料的化学性质	16
第五节 材料的耐久性	16
第二章 常用建筑材料	18
第一节 无机胶凝材料	18
第二节 水泥混凝土	34
第三节 砂浆	62
第四节 钢材	66
第五节 合成高分子材料	71
第三章 施工导流与截流	75
第一节 施工导流标准	75
第二节 施工导流	78
第三节 围堰工程	83
第四节 导流方案选择	88
第五节 截流工程	90
第六节 基坑排水	93
第四章 土方工程施工技术	98
第一节 土的工程性质及分级	98
第二节 土方开挖技术	100
第三节 土方填筑压实技术	109
第五章 爆破施工技术	114
第一节 爆破的概念及分类	114
第二节 爆破材料与起爆方法	116
第三节 爆破施工	123
第四节 控制爆破技术	125

第六章 砌筑工程施工技术	133
第一节 砌石工程技术	133
第二节 混凝土砌块护坡	135
第七章 模板工程施工技术	148
第一节 模板的作用与基本要求	148
第二节 模板的设计及制作	149
第三节 模板的安装与拆除	153
第八章 钢筋工程施工技术	156
第一节 钢筋的验收与配料	156
第二节 钢筋的加工	160
第三节 钢筋的绑扎与安装	169
第九章 混凝土工程施工技术	172
第一节 混凝土的制备	172
第二节 混凝土的运输	176
第三节 混凝土的浇筑	180
第四节 混凝土的养护与缺陷修补	185
第五节 混凝土的特殊季节施工	187
第六节 预应力混凝土	189
第七节 碾压混凝土	191
第十章 地基处理工程施工技术	194
第一节 岩基处理	194
第二节 土质地基处理	196
第三节 岩基灌浆	202
第四节 砂砾石地基处理	216
第十一章 渠道施工	223
第一节 渠道填筑与开挖	223
第二节 渠道衬护	226
第三节 大型渠道机械化衬砌	228
第十二章 水工建筑物施工	234
第一节 水闸施工	234
第二节 渡槽施工	240
第三节 倒虹吸管施工	243
第十三章 土石坝施工	245
第十四章 喷锚支护技术	253

附录 建筑材料试验.....	259
水泥试验	259
砂、石试验	264
水泥混凝土试验	273
参考文献.....	278

绪 论

“建材与水利工程施工”是一门理论与实践紧密结合的专业课。它包括建筑材料和水利水电施工技术两方面的知识，并将两方面的内容进行了有机融合，体现了建筑材料和施工技术的互相渗透。

一、建筑材料的作用与类型

建筑材料是指建筑工程中所使用的材料及其制品，是工程建设的物质基础。

建筑业是国民经济的支柱产业之一，而建筑材料是建筑业重要的物质基础。因此，建筑材料的产量及质量直接影响着建筑业的进步和国民经济的发展。建筑材料的用量相当大，据统计，在工程总造价中，材料费所占比重可达 50%~70%。建筑材料的品种、规格、性能及质量，对建筑结构的型式、使用年限、施工方法和工程造价有直接影响。建筑工程中许多技术问题的突破，往往依赖建筑材料问题的解决，新的建筑材料的出现，往往会促进结构设计及施工技术的革新和发展。因此，加强建筑材料的研究，提高建筑材料生产和应用的技术水平，对于我们合理利用各种有限的自然资源，改善建筑物的使用功能，提高建筑工程施工的工业化和机械化水平，加快工程建设速度，降低工程造价，从而促进我国社会主义经济的发展，具有十分重要的意义。

建筑材料种类繁多，按其基本成分的不同可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。

1. 金属材料

金属材料包括黑色金属材料和有色金属材料。钢材是工程中应用最为广泛的黑色金属材料，多用于重要的承重结构，如钢结构、钢筋混凝土结构等。铝、铜、锌及其合金，属于有色金属材料，是装饰工程、电气工程、止水工程中的重要材料，如各种类型的铝合金型材及制品，现已大量用于门窗、吊顶、玻璃幕墙等工程中。

2. 非金属材料

非金属材料包括无机非金属材料 and 有机材料。无机非金属材料是以无机化合物为主体的材料，主要包括天然材料（如砂、石）、烧土制品（如黏土砖、陶瓷）、玻璃、胶凝材料（如水泥、石灰、石膏、水玻璃）及以胶凝材料为基料的人造石材（如混凝土、硅酸盐制品）等。无机非金属材料资源丰富、性能优良、价格低廉，在建筑材料中占有重要地位。

有机材料主要包括植物材料（如木材、竹材、植物纤维及其制品）、沥青材料、高分子材料（如建筑塑料、合成橡胶、建筑涂料、胶粘剂）等。

3. 复合材料

复合材料是指两种或两种以上不同性质的材料（复合相），经加工而组合成一体的材料。复合材料有利于发挥各复合相的性能优势，克服单一材料的弱点，是现代材料科学研究发展的趋势。根据复合相的几何形状，复合材料可分为颗粒型（如沥青混凝土、聚合物混凝土）、纤维型（如纤维混凝土、钢筋混凝土）、复合型（如塑钢复合型材、夹层玻璃、

铝箔面油毡)等。

二、建筑材料检验与技术标准

建筑材料质量的优劣对工程质量起着最直接的影响,对所用建筑材料进行合格性检验,是保证工程质量的最基本环节。国家标准规定,无出厂合格证明或没有按规定复试的原材料,不得用于工程建设。在施工现场配制的材料,均应在实验室确定配合比,并在现场抽样检验。各项建筑材料的检验结果,是工程施工及工程质量验收必需的技术依据。因此,在工程的整个施工过程中,始终贯穿着材料的试验、检验工作,它是一项经常化的、责任性很强的工作,也是控制工程施工质量的重要手段之一。

工程施工中,对建筑材料的验收及检验,均应以产品的现行标准及有关的规范、规程为依据。建筑材料的产品标准分为国家标准、行业标准和企业标准,各级标准分别由相应的标准化管理部门批准并颁布,国家技术监督局是我国国家标准化管理的最高机关。常用标准的含义、代号见表 0-1。

表 0-1

建筑材料标准种类及代号

标准种类	说 明	代 号
国家标准 (简称“国标”)	是对全国经济、技术发展有重要意义而必须在全国范围内统一的标准。主要包括基本原料、材料标准,有关广大人民生活的、量大面广的、跨部门生产的重要工农业产品标准,有关人民安全、健康和环境保护的标准,有关互换配合、通用技术语言等的基础标准,通用的零件、部件、器件、构件和工具、量具标准,通用的试验和检验标准,被采用的国际标准	(1) GB 是“国标”两字的汉语拼音字头。各类物资(建材)的国家标准,均使用此代号; (2) GBJ 是“国标建”三字的汉语拼音字头,它代表工程建设技术方面的国家标准
行业标准 (简称“部标”)	行业标准主要是指全国性的各专业范围内统一的标准。由主管部门组织制定、审批和发布,并报送国家标准局备案。行业标准分为强制性标准和推荐性标准两类	(1) JCJ 是国家建材局(原建筑材料工业部)部颁标准的代号; (2) JGJ 是建设部部颁标准的代号; (3) LYJ 是原林业部标准的代号; (4) YBJ 是原冶金工业部部颁标准的代号; (5) JTB 是交通部部颁标准的代号; (6) SYJ 是原石油部、能源部部颁标准的代号
企业标准 (简称“企标”)	凡没有制定国家标准、行业标准的产品,都要制定企业标准。为了不断提高产品质量,企业可制定比国家标准、行业标准更先进的产品质量标准	QB 是企业标准的代号

三、水利工程施工的任务和特点

1. 水利工程施工的主要任务

水利工程施工的主要任务可归纳如下:

(1) 依据设计、合同任务和有关部门的要求,根据工程所在的自然条件,当地社会经济状况,设备、材料和人力等资源的供应情况以及工程特点,编制切实可行的施工组织设计。

(2) 按照施工组织设计, 做好施工准备, 加强施工管理, 有计划地组织施工, 保证施工质量, 合理使用建设资金多快好省地全面完成施工任务。

(3) 在施工过程中开展观测、试验和研究工作, 促进水利水电建设科学的发展。

2. 水利工程施工的特点

水利工程施工与一般工民建、市政工程施工有许多共同之处, 但由于施工较为复杂, 工程规模较为庞大, 受水流控制影响大, 因此具有实践性、复杂性、风险性、多样性和不连续性的特点, 表现在以下几个方面:

(1) 工程量大, 工期较长, 耗资大。

(2) 受自然条件影响大, 需要修建临时导流工程, 要妥善解决施工期通航问题。工程有很强的季节性, 须充分利用枯水期施工。

(3) 专业工种多、技术较复杂。应因时因地选择最优的施工方达到缩短工期、均衡施工强度的目的。

(4) 工厂和临时设施多, 规模大、投资大。

(5) 运输量特别大。

(6) 技术的发展和创对工程建设影响较大。

(7) 需要做好施工组织设计, 必须合理安排计划, 精心组织施工, 及时解决施工中的防洪、度汛等问题。

四、我国水利工程施工的成就与发展趋势

在我国历史上, 水利建设成就卓著。公元前 250 年以前修建的四川都江堰水利工程, 按“乘势利导, 因时制宜”的原则, 发挥了防洪和灌溉的巨大效益。用现代系统工程的观点来分析, 该工程在结构布局、施工措施、维修管理制度等方面都是相当成功的。此外, 在截流堵口工程中所使用的多种施工技术至今还被各地工程所沿用。

1949 年新中国成立后, 在党和政府的正确领导下, 我国的水利水电事业取得了辉煌的成就: 有计划、有步骤地开展了大江大河的综合治理, 修建了一大批综合利用的水利枢纽工程和大型水电站, 建成了一些大型灌区和机电灌区, 中小型水利水电工程也得到了蓬勃的发展。

随着水利水电事业的发展, 施工机械的装备能力迅速增长, 已经具有实现高强度快速施工的能力; 施工技术水平不断提高, 进行了长江、黄河等大江大河的截流, 采用了很多施工的新技术新工艺; 土石坝工程、混凝土坝工程和地下工程的综合机械化组织管理水平逐步的提高。

由于经济、社会发展的需要和综合国力的提高, 21 世纪我国水利水电建设将加速发展。大江大河及城市防洪标准要逐步提高, 要建设许多防洪或综合利用水库, 堤防建设也要现代化、高标准, 以确保安全并减少防汛抢险的负担。

今后建设的水利水电工程既有般大中型工程, 还有许多特大工程, 200 万~500 万 kW 级有几十个 (如清江水布垭工程 200 万 kW, 乌江构皮滩、大渡河瀑布沟 300kW, 黄河的拉西瓦 400 万 kW 等), 溪洛渡、白鹤滩、虎跳峡等为千万千瓦级电站。西部许多大型及特大工程地处高山深谷, 地震烈度高, 交通不便, 施工条件困难, 又要建很高的坝, 例如水布垭面板堆石坝高 232m, 龙滩碾压混凝土坝高 216m, 溪洛渡双曲拱坝高 273m,

均超过世界已有记录。峡谷区高混凝土坝将更多地采用快速缆机和塔带机、胎带机,混凝土温控先进技术将进一步普及和提高,混凝土预冷将更多地采用先进的骨料两次风冷及高效冷风机,沙子风冷也可能会实现。碾压混凝土坝比重将提高。特大的混凝土坝将采用 $6 \sim 9\text{m}^3$ 拌和机组成的拌和楼,先进的涡轮式拌和机也将采用。混凝土的运输将广泛使用汽车、缆机及皮带机。高土石坝中面板堆石坝比重也将进一步提高,将使用 15t 以上的振动碾。每层碾压厚度由 1m 提高到 1.5m 或更多。石料开采将更多地采用洞室与梯段相结合的爆破方案,以提高效率。骨料加工将采用先进的反击式,“石击石”冲击式及高效圆锥破碎机和旋盘制砂机。

在取得巨大成就的同时,我国的水利水电建设也付出过沉重的代价。如由于违反基本建设的程序,不遵循施工的科学规律,不按照经济规律办事,使水利水电建设事业遭受相当大的损失。我国目前大容量、高效率、多功能的施工机械,其通用化、系列化、自动化的程度还不高,利用并不充分;新技术、新工艺的研究推广和使用不够普遍;施工组织管理水平不高;各种施工规范、规章制度、定额法规等基础工作比较薄弱。

为了实现我国经济建设的战略目标,加快水利水电建设的步伐,必须认真总结过去的经验和教训,在学习和引进国外先进技术、科学管理方法的同时,发扬自力更生、艰苦创业的精神,走出一条适合我国国情的水利水电工程施工科学技术的发展道路。

五、建材与水利工程施工课程的内容及学习方法

本课程将系统地阐述常用建筑材料的基本性能、特点,建筑材料的验收、保管、贮存,建筑材料试验检验及其质量评定,材料的原料、生产、组成、工作机理等方面的一般知识,水利工程建设中各主要工种的施工方法,主要建筑物的施工程序与方法以及施工组织、施工机械等内容。

通过学习,要求了解水利水电工程中施工常用的施工机械的类型及其选择,掌握主要工种的施工过程、施工方法、操作技术以及水工建筑物的特点、施工程序和施工方法,初步掌握编制施工组织设计文件和施工管理方法的基本知识。

根据课程实践性强的特点,学习时应注意加强实践技能的培养,密切联系生产实际,通过课堂实验、生产实习、现场教学、多媒体教学、课程作业和综合练习等教学环节,达到有效掌握本课程内容的目的。

第一章 建筑材料的基本性质

建筑材料在使用条件下要承受一定荷载，并受到周围不同环境介质（空气、水及其所溶物质、温度和湿度变化等）的作用。因此，建筑材料应具有相应的力学性质，还应具备抵抗周围环境介质的物理、化学和生物作用，经久耐用的性质。

合理选用建筑材料，应熟悉工程条件及对拟用材料提出的各项技术要求，还应掌握材料的各种技术性质以及影响这些性质的因素，使所选材料在建筑物中发挥应有的作用。

本章主要讲述建筑材料所具有的共性，即材料的基本性质。各种材料的特性将在后续章节中讲述。

第一节 材料的组成、结构及构造

材料的组成、结构及构造是决定材料性质的内部因素。

一、材料的组成

材料组成是指材料所含物质的种类及含量，是区别物质种类的主要依据，分为化学组成、矿物组成和相组成。

1. 化学组成

材料的化学组成是指构成材料的化学元素及化合物的种类及数量。金属材料的化学组成以元素含量表示；无机非金属材料常以各种氧化物的含量表示；有机材料则以各种化合物的含量表示。

2. 矿物组成

矿物是具有一定的化学成分和结构特征的单质或化合物。矿物组成是指构成材料的矿物的种类和数量。

3. 相组成

材料中具有相同物理、化学性质的均匀部分称为相。一般可分为气相、液相和固相。

材料的组成不同，其物理、化学性质也不相同。如普通钢材在大气中容易生锈，而不锈钢（炼钢时加入适量的铬或镍）则不易生锈。

可见，选用材料时，通过改变材料的组成可以获得满足工程所需性质的新材料。

二、材料的结构与构造

材料的结构与构造是指材料的微观组织状态和宏观组织状态。材料组成相同而结构与构造不同的材料，其技术性质也不相同。

（一）材料的结构

材料的结构按其成因及存在形式可分为晶体结构、非晶体结构及胶体结构。

1. 晶体结构

由质点（离子、原子或分子）在空间按规则的几何形状周期性排列而成的固体物质称

为晶体。

晶体具有以下特点：

- (1) 具有特定的几何外形。
- (2) 具有各向异性。
- (3) 具有固定的熔点和化学稳定性。
- (4) 结晶接触点和晶面是晶体破坏或变形的薄弱环节。

2. 非晶体结构（玻璃体结构）

非晶体结构是熔融物质经急速冷却，质点来不及按一定规则排列便凝固的固体物质，属无定形结构。非晶体结构内部贮存大量内能，具有化学不稳定性，在一定条件下易与其他物质起化学反应。

3. 胶体结构

粒径为 $10^{-9} \sim 10^{-7} \text{m}$ 的固体微粒（分散相），均匀分散在连续相介质中所形成的分散体系称为胶体。当介质为液体时，称此种胶体为溶胶体；当分散相颗粒极细，具有很大的表面能，颗粒能自发相互吸附并形成连续的空间网状结构时，称此种胶体为凝胶体。

溶胶结构具有较好的流动性，液体性质对结构的强度及变形性质影响较大；凝胶结构基本上不具流动性，呈半固体或固体状态，强度较高，变形性较小。

凝胶结构在剪切力（搅拌、振动等）作用下，网状结构易被打开，使凝胶结构重新具有流动性；静置一段时间后，溶胶又慢慢恢复成凝胶。凝胶—溶胶—凝胶的可逆互变性称为胶体的触变性。

（二）材料的构造

材料的构造是指材料结构间单元的相互组合搭配情况。按构造不同，材料可分为聚集状、多孔状、纤维状、片状或层状等。

一般而言，聚集状和多孔状的材料具有各向同性，纤维状及层状构造的材料具有各向异性。由于材料结构间的组合搭配，材料内部存在孔隙，孔隙对材料的性质影响很大。

第二节 材料的物理性质

一、材料的基本物理性质

（一）材料的体积构成及含水状态

1. 材料的体积构成

块状材料在自然状态下的体积是由固体物质体积及其内部孔隙体积组成的。材料内部的孔隙按孔隙特征又分为开口孔隙和闭口孔隙。闭口孔隙不进水，开口孔隙与材料周围的介质相通，材料在浸水时易被水饱和，如图 1-1 所示。

散粒材料是指具有一定粒径材料的堆积体，如工程中常用的砂、石子等。其体积构成包括固体物质体积、颗粒内部孔隙体积及固体颗粒之间的空隙体积，如图 1-2 所示。

2. 材料的含水状态

材料在大气中或水中会吸附一定的水分，根据材料吸附水分的情况，将材料的含水状态分为干燥状态、气干状态、饱和面干状态及湿润状态四种，如图 1-3 所示。材料的含

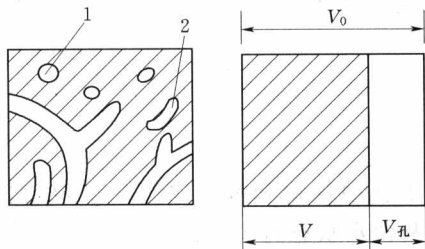


图 1-1 块状材料体积构成示意图

1—闭口孔隙；2—开口孔隙

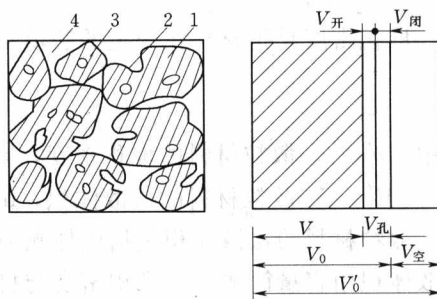


图 1-2 散粒材料体积构成示意图

1—颗粒中固体物质；2—颗粒的开口孔隙；

3—颗粒的闭口孔隙；4—颗粒间的空隙

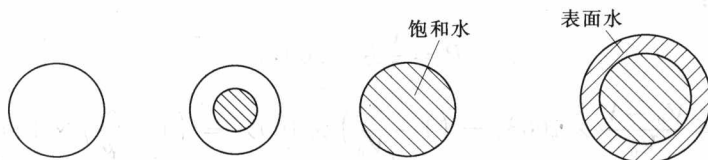


图 1-3 材料的含水状态

水状态会对材料的多种性质产生一定影响。

(二) 密度、表观密度与堆积密度

1. 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量。用式 (1-1) 表示：

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

式中 ρ ——材料的密度， 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（图 1-1、图 1-2 中阴影部分的面积）， cm^3 。

材料在绝对密实状态下的体积，可将材料磨制成规定细度的粉末，用排液法求得。

2. 表观密度

表观密度是指材料在自然状态下单位体积的质量。用式 (1-2) 表示：

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

式中 ρ_0 ——材料的表观密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；

m ——材料的质量， g 或 kg ；

V_0 ——材料在自然状态下的体积， cm^3 或 m^3 。

材料在自然状态下的体积，可直接用排液法求得（按材料的外形计算或蜡封材料表面用排液法求体积所算出的表观密度旧称容重）。材料的表观密度与材料的含水状态有关，含水状态不同，材料的质量及体积均会发生改变，故在提供材料的表观密度的同时，应提供材料的含水率。

3. 堆积密度

堆积密度是指材料在规定的装填条件下, 单位松散体积的质量。用式 (1-3) 表示:

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

式中 ρ'_0 ——散粒材料的堆积密度, kg/m^3 ;

V'_0 ——散粒材料的松散体积, m^3 。

散粒材料的松散体积包括固体颗粒体积、颗粒内部孔隙体积和颗粒之间的空隙体积。松散体积用容量筒测定。堆积密度与材料的装填条件及含水状态有关。

(三) 材料的孔隙率与空隙率

1. 孔隙率

孔隙率指块状材料中孔隙体积与材料在自然状态下总体积的百分比。用式 (1-4)、式 (1-5) 表示:

$$P = \frac{V_{\text{孔}}}{V_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

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

式中 P ——材料的孔隙率, %;

$V_{\text{孔}}$ ——材料中孔隙的体积, cm^3 ;

ρ_0 ——材料的干表观密度。

材料开口孔隙率的计算公式如下:

$$P_K = \frac{m_2 - m_1}{V_0} \frac{1}{\rho_H} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 P_K ——材料的开口孔隙率, %;

m_1 、 m_2 ——材料在干燥状态和饱和面干状态下的质量, g;

ρ_H ——水的密度, g/cm^3 。

材料的闭口孔隙率可从材料的孔隙率、开口孔隙率中求得, 见式 (1-7):

$$P_B = P - P_K \quad (1-7)$$

式中 P_K ——材料的闭口孔隙率, %。

常用材料的密度、表观密度及孔隙率见表 1-1。

表 1-1

常用材料的密度、表观密度及孔隙率

材 料	密 度 (g/cm^3)	表观密度 (g/cm^3)	孔隙率 (%)
花岗岩	2.6~2.9	2500~2800	0.5~1.0
普通黏土砖	2.5~2.8	1500~1800	20~40
普通混凝土		2300~2500	5~20
沥青混凝土		2300~2400	2~4
松木	1.55~1.60	380~700	55~75
砂	2.6~2.7	1400~1600	40~45
建筑钢材	7.85	7850	0

2. 空隙率

散粒材料在松散状态下,颗粒之间的空隙体积与松散体积的百分比称为空隙率。用式(1-8)表示:

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

式中 P' ——散粒材料的空隙率,%;

ρ'_0 、 ρ_0 ——均为干燥状态下所求。

二、材料与水有关的性质

(一) 亲水性与憎水性

材料在空气中与水接触,根据其能否被水润湿,将材料分为亲水性材料和憎水性材料。

在材料、空气、水三相交界处,沿水滴表面作切线,切线与材料表面(水滴一侧)所得夹角 θ ,称为润湿角。 θ 越小,浸润性越强,当 θ 为零时,表示材料完全被水润湿。一般认为当 $\theta < 90^\circ$ 时,水分子之间的内聚力小于水分子与材料分子之间的吸引力,此种材料称为亲水性材料。当 $\theta > 90^\circ$ 时,水分子之间的内聚力大于水分子与材料分子之间的吸引力,材料表面不易被水润湿,称此种材料为憎水性材料,如图1-4所示。

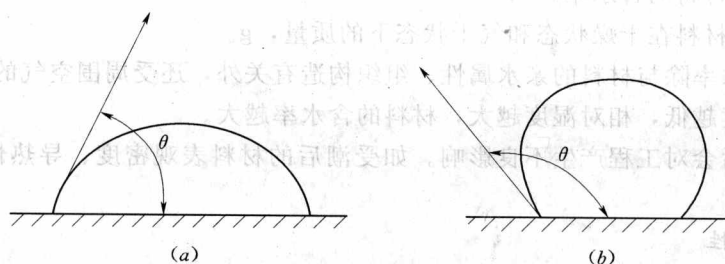


图 1-4 材料润湿示意图

(a) 亲水性材料; (b) 憎水性材料

混凝土、砖石、木材等大多数材料属于亲水性材料,沥青、石蜡等少数材料属于憎水性材料。憎水性材料能阻止水分渗入其毛细管中,可用作防水材料。

(二) 吸水性

材料与水接触或在潮湿的空气中吸收水分的性质称为吸水性。多数材料由于具有亲水性及开口孔隙,其内部常含有水分。

材料吸水达到饱和状态时,其内部所含水分的多少,用吸水率表示。材料的吸水率可用质量吸水率或体积吸水率表示。质量吸水率是指材料吸水饱和时,所吸收水分的质量与材料干燥质量的百分比,用式(1-9)计算:

$$W_{\text{质}} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中 $W_{\text{质}}$ ——材料的质量吸水率,%;

m_1 、 m_2 ——材料在干燥状态和饱和面干状态下的质量,g。

对于多孔材料常用体积吸水率表示。体积吸水率是指材料吸水饱和时,所吸收水分的

体积与干燥材料自然体积的百分比,用式(1-10)表示:

$$W_{\text{体}} = \frac{m_2 - m_1}{V_0} \frac{1}{\rho_H} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中 $W_{\text{体}}$ ——材料的体积吸水率,%;

ρ_H ——水的密度, g/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:

$$W_{\text{体}} = W_{\text{质}} \frac{\rho_0}{\rho_H} \quad (1-11)$$

材料吸水率的大小取决于材料的亲水属性及材料的构造。材料开口孔隙率越大,吸水性强,特别是材料具有很多微小开口孔隙时,吸水率非常大。

干燥的材料在潮湿的空气中能吸收空气中的水分,逐渐变湿;湿润的材料在干燥的空气中又会失去水分,逐渐变干,最终材料中的水分与周围空气的湿度达到平衡。

材料在空气中吸收水分,其内部所含水分的多少,用含水率表示:

$$W_{\text{含}} = \frac{m_3 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1-12)$$

式中 $W_{\text{含}}$ ——材料的含水率,%;

m_1 、 m_3 ——材料在干燥状态和气干状态下的质量, g。

材料的含水率除与材料的亲水属性、组织构造有关外,还受周围空气的温度和湿度影响,空气的温度越低,相对湿度越大,材料的含水率越大。

材料吸水后会对工程产生不良影响。如受潮后的材料表观密度、导热性增大,强度、抗冻性降低。

(三) 耐水性

材料在水作用下不破坏、强度也不显著降低的性质,称为耐水性。一般情况下,潮湿的材料均较干燥时强度低,主要是浸入的水分削弱了材料微粒间的结合力,同时材料内部往往含有一些易被水软化或溶解的物质(如黏土、石膏等)。材料的耐水性以软化系数表示:

$$K_{\text{软}} = \frac{f_w}{f} \quad (1-13)$$

式中 $K_{\text{软}}$ ——材料的软化系数;

f_w 、 f ——材料在水饱和状态下及干燥状态下的强度, MPa。

软化系数的大小反映材料浸水后强度降低的程度。在选择受水作用的结构材料时, $K_{\text{软}}$ 值是一项重要指标。受水浸泡或长期受潮的重要结构材料,其软化系数不宜小于0.85~0.9;受潮较轻或次要的结构材料,其软化系数不宜小于0.7~0.85。

(四) 抗渗性

材料抵抗压力水渗透的性质,称为抗渗性。抗渗性常用渗透系数和抗渗等级表示。

1. 渗透系数

根据达西定律,在一定时间 t 内,透过材料的水量 Q 与试件的过水断面积 A 及作用于试件的水头差 H 成正比,与试件的厚度 d 成反比,比例系数 K ,称为渗透系数,其表达式为: