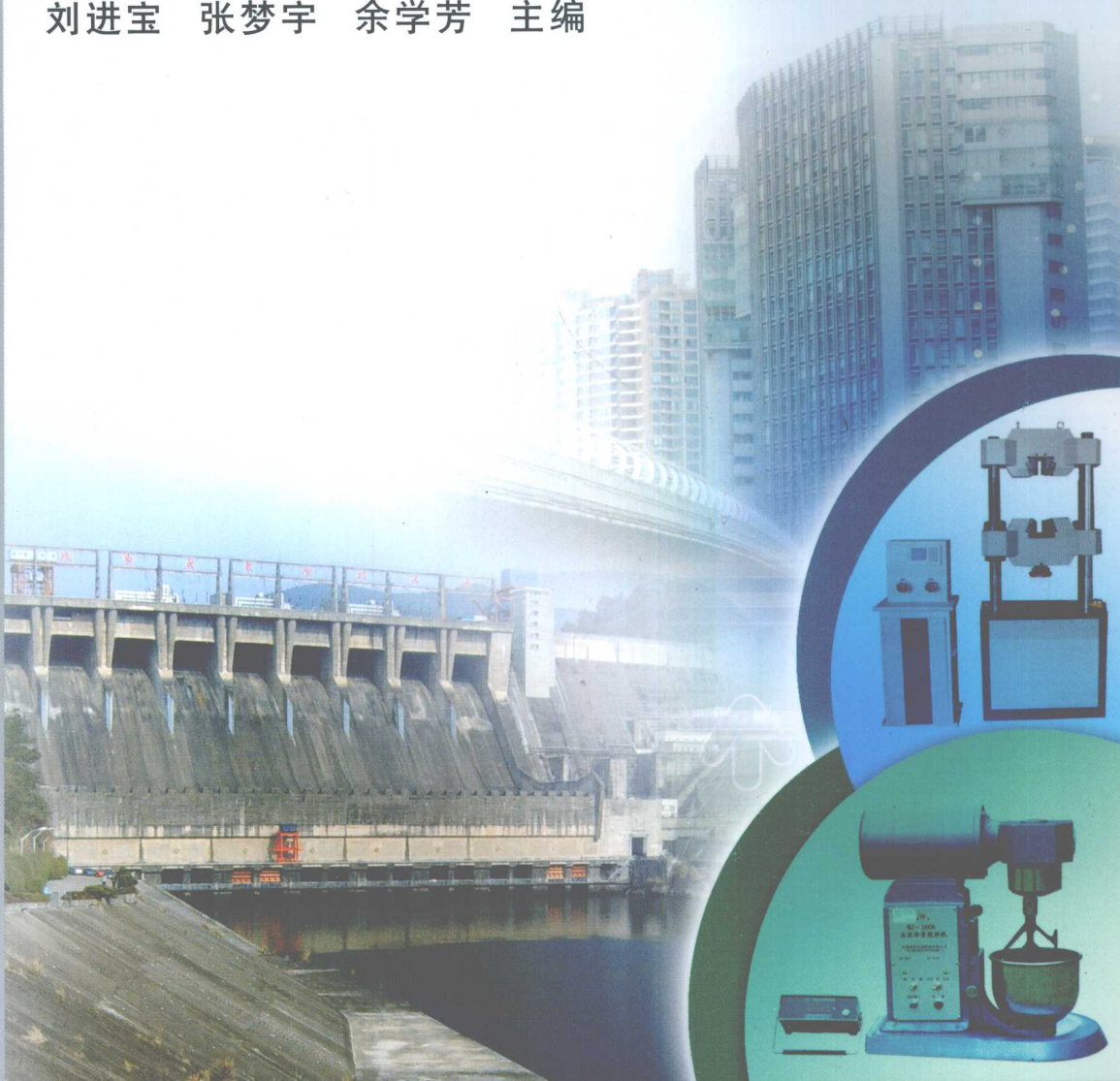




浙江省“十一五”重点教材

建筑材料与检测技术

刘进宝 张梦宇 余学芳 主编



黄河水利出版社

浙江省“十一五”重点教材

建筑材料与检测技术

主 编	刘进宝	张梦宇	余学芳
副主编	陈宇翔	白宏洁	杨玉泉
	曹广田		
主 审	卢良浩	徐智刚	

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是浙江省“十一五”重点教材,是编者在总结近几年建筑材料课程教学与改革实践经验的基础上,针对工程建设领域建筑材料质量检测岗位(群)的任职要求,由校企合作编写而成的高职高专教材。本书以建筑材料的性能与质量检测为主线,重点介绍了土木工程中常用建筑材料的技术性能、工程应用和质量检测技术。本书共12章,包括建筑材料的基本性质、建筑材料检测技术基础、建筑钢材、细骨料、粗骨料、水泥、水泥混凝土及砂浆、砌筑块材、沥青及沥青防水材料、土工合成材料、气硬性胶凝材料、止水材料等内容。每章后均附有一定量的习题,以便学生把握重点和难点,进一步巩固和提高。

本书可作为高职高专院校水利水电建筑工程、水利工程、建筑工程技术、工程监理、市政工程等专业的教材,还可作为建筑行业岗位培训、技能鉴定的教材,亦可供其他相关专业的师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料与检测技术/刘进宝,张梦宇,余学芳主
编.—郑州:黄河水利出版社,2010.8

浙江省“十一五”重点教材

ISBN 978-7-80734-878-8

I. ①建… II. ①刘… ②张… ③余… III. ①建
筑材料—检测—教材 IV. ①TU502

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 167429 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhslwlp@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14楼 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:19

字数:440千字

印数:1—3 100

版次:2010年8月第1版

印次:2010年8月第1次印刷

定价:35.00元

前 言

本书是根据《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)、《浙江省教育厅、省财政厅关于实施十一五期间全面提升高等教育办学质量和水平行动计划》(浙教计[2007]77号)等文件精神,由浙江省教育厅组织立项并资助建设的省高校重点建设教材,也是与省级特色专业教改项目相匹配的专业基础课程教材。

本书是编者总结近几年的课程教学与改革实践经验,根据土木工程建设领域建筑材料质量检测岗位(群)的任职要求,参照试验员、质检员、材料员等职业资格标准,联合国内知名高职高专院校及行业企业编写而成的高职高专教材。

本书以建筑材料的性能与质量检测为主线,介绍了建筑材料的基本性质、建筑材料检测技术基础,以及钢材、细骨料、粗骨料、水泥、水泥混凝土及砂浆、砌筑块材、沥青及沥青防水材料、土工合成材料、气硬性胶凝材料、止水材料等的技术性能、工程应用和检测技术。本书编写中追求实用性、针对性,尽量采用最新技术规范和技术标准,按照“先易后难、先性能后应用再检测”的原则安排内容,符合学生认知规律,实现能力培养的递进,突显项目教学、任务驱动、工作过程、理实一体等高职教育改革特点和能力为本的理念。本书不仅可以作为各类高职高专院校相关专业的建筑材料课程教材,还可作为建筑行业岗位培训、技能鉴定的教材使用。

本书编写人员及编写分工如下:浙江同济科技职业学院陈瑾(第1章及习题)、杨玉泉(第2章及习题)、刘进宝(第3章3.1~3.5节及习题,第4、10、12章及习题)、曹广田(第5章及习题)、赵静(第7章7.1~7.4节)、陈宇翔(第9章及习题);黄河水利职业技术学院白宏洁(第6章6.3~6.7节及习题)、张梦宇(第7章7.5~7.10节及习题)、曹京京(第11章及习题);杭州同济建材检测有限公司魏国忠(第3章3.6节);浙江省水利水电工程质量监督检验站曹敏(第6章6.1、6.2节);浙江水利水电专科学校余学芳(第8章及习题)。本书由刘进宝、张梦宇、余学芳担任主编,刘进宝负责全书统稿,由陈宇翔、白宏洁、杨玉泉、曹广田担任副主编,由浙江省水利河口研究院卢良浩、浙江省水利水电工程局徐智刚担任主审。

本书在编写过程中得到了浙江同济科技职业学院徐金寿副院长、沈自力主任,浙江水利水电专科学校陈晓东主任及浙江省水利水电工程质量监督检验站孙从炎站长等领导的大力协助和支持,在此一并表示深深的谢意。

在本书编写过程中,参考引用了相关教材、专著中的内容和资料。由于时间较紧,联系不上所有参考文献的作者,只能在此表示感谢,并欢迎联系和交流。

对于本书存在的缺点、错误和疏漏,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

2010年7月

目 录

前 言

1	建筑材料的基本性质	(1)
1.1	建筑材料的分类、发展和作用	(1)
1.2	材料的物理性质	(3)
1.3	材料的力学性质	(11)
1.4	材料的化学性质	(13)
1.5	材料的耐久性	(14)
	习 题	(15)
2	建筑材料检测技术基础	(18)
2.1	建筑材料技术标准	(18)
2.2	材料检测基础知识	(20)
2.3	检测数据的分析与处理	(22)
	习 题	(30)
3	建筑钢材	(33)
3.1	概 述	(33)
3.2	建筑钢材的主要技术性能	(35)
3.3	建筑钢材的技术标准及应用	(40)
3.4	常用建筑钢材	(44)
3.5	取样方法	(52)
3.6	钢筋检测方法和检测报告	(53)
	习 题	(59)
4	细骨料	(63)
4.1	细骨料主要技术性能和质量标准	(63)
4.2	细骨料取样	(67)
4.3	细骨料检测方法和检测报告	(68)
	习 题	(73)
5	粗骨料	(76)
5.1	粗骨料主要技术性能和质量标准	(76)
5.2	粗骨料取样	(81)
5.3	粗骨料检测方法和检测报告	(82)
	习 题	(93)
6	水 泥	(96)
6.1	概 述	(96)

6.2	水泥的验收与贮存	(103)
6.3	水泥的取样规定	(105)
6.4	水泥主要技术性质的检测方法 with 检测报告	(105)
6.5	通用硅酸盐水泥的质量标准	(118)
6.6	其他品种水泥	(121)
6.7	水泥石的腐蚀与防止措施	(128)
	习 题	(129)
7	水泥混凝土及砂浆	(135)
7.1	概 述	(135)
7.2	混凝土拌和物的和易性	(136)
7.3	硬化混凝土的强度	(140)
7.4	混凝土的耐久性	(143)
7.5	混凝土外加剂	(147)
7.6	混凝土的掺合料	(152)
7.7	普通混凝土配合比设计	(153)
7.8	特种混凝土	(167)
7.9	砂 浆	(171)
7.10	混凝土检测方法和检测报告	(178)
	习 题	(191)
8	砌筑块材	(194)
8.1	天然石材	(194)
8.2	砌墙砖	(197)
8.3	墙用砌块	(203)
8.4	砌墙砖检验	(209)
	习 题	(215)
9	沥青及沥青防水材料	(217)
9.1	石油沥青和煤沥青	(217)
9.2	沥青防水材料	(224)
9.3	沥青混合料	(229)
9.4	石油沥青试验	(235)
9.5	弹(塑)性体改性沥青防水卷材试验	(241)
	习 题	(245)
10	土工合成材料	(248)
10.1	土工合成材料的种类	(248)
10.2	土工合成材料的技术性能与检测	(253)
10.3	土工合成材料的功能	(260)
10.4	土工合成材料的贮存与保管	(264)
	习 题	(265)

11	气硬性胶凝材料	(268)
11.1	石 灰	(268)
11.2	建筑石膏	(272)
11.3	水玻璃	(274)
	习 题	(275)
12	止水材料	(277)
12.1	止水铜片	(277)
12.2	橡胶止水带	(284)
12.3	塑料止水带	(286)
12.4	填料止水	(287)
	习 题	(291)
	参考文献	(294)

1 建筑材料的基本性质

建筑材料是建筑工程中所使用的各种材料及其制品的总称,它是工程建设的物质基础。

1.1 建筑材料的分类、发展和作用

1.1.1 建筑材料的分类

建筑材料品种繁多,分类方法也很多。最常用的分类方法是按材料的化学成分分类,可分为无机材料、有机材料和复合材料三大类,如表 1-1 所示。

表 1-1 建筑材料按化学成分分类

分类			实例
无机材料	金属材料	黑色金属	钢、铁及其合金、合金钢、不锈钢等
		有色金属	铜、铝及其合金等
	非金属材料	天然石材	砂、石及石材制品
		烧土制品	黏土砖、瓦、陶瓷制品等
		胶凝材料及制品	石灰、石膏及制品、水泥及混凝土制品、硅酸盐制品等
		玻璃	普通平板玻璃、特种玻璃等
		无机纤维材料	玻璃纤维、矿物棉等
有机材料	植物材料		木材、竹材、植物纤维及制品等
	沥青材料		煤沥青、石油沥青及其制品等
	合成高分子材料		塑料、涂料、胶黏剂、合成橡胶等
复合材料	有机与无机非金属材料复合		聚合物混凝土、玻璃纤维增强塑料等
	金属与无机非金属材料复合		钢筋混凝土、钢纤维混凝土等
	金属与有机材料复合		PVC 钢板、有机涂层铝合金板等

此外,建筑材料按使用功能可分为结构材料、围护材料、建筑功能材料、建筑器材等。按材料所处的建筑物部位可分为主体结构材料、屋面材料、地面材料、外墙材料、内墙材料、吊顶材料等。

1.1.2 建筑材料的发展

利用建筑材料改造自然、促进人类物质文明的进步,是人类社会发展的一个重要标

志。远在新石器时期之前,人类就已开始利用土、石、木、竹等天然材料从事营造活动。据考证,我国在4500年前就已有木架建筑和木骨泥墙建筑。随着生产力的发展,人类能够对天然原料进行简单的加工,出现了人造建筑材料,使人类突破了仅使用天然材料的限制,开始大量修建房屋、寺塔、陵墓和防御工程。我国早在公元前5世纪的西周初期就已有烧制的瓦;公元前4世纪的战国时期有了烧制的砖;始建于公元前475年的万里长城,所使用的砖石材料就达1亿 m^3 。山西五台山木结构的佛光寺大殿已有千余年历史。2000年前的古罗马已用石灰、火山灰、砂和砾石配制混凝土,建造著名的万神庙、斗兽场的巨大墙体。

17世纪工业革命后,随着资本主义国家工业化的发展,建筑、桥梁、铁路和水利工程大量兴建,对建筑材料的性能有了较高的要求。17世纪70年代在工程中开始使用生铁,19世纪初开始用熟铁建造桥梁和房屋,出现了钢结构的雏形。自19世纪中叶开始,冶炼并轧制出强度高、延性好、质地均匀的建筑钢材,随后又生产出高强钢丝和钢索,钢结构得到了迅速发展,使建筑物的跨度从砖石结构、木结构的几米、几十米发展到百米、几百米乃至现代建筑的上千米。

19世纪20年代,英国瓦匠约瑟夫·阿斯普丁发明了波特兰水泥,出现了现代意义上的水泥混凝土。19世纪40年代,出现了钢筋混凝土结构,利用混凝土受压、钢筋受拉,以充分发挥两种材料各自的优点,从而使钢筋混凝土结构广泛应用于工程建设的各个领域。为克服钢筋混凝土结构抗裂性能差、刚度低的缺点,20世纪30年代又发明了预应力混凝土结构,使土木工程跨入了飞速发展的新阶段。

自新中国成立后,特别是改革开放以来,我国建筑材料生产得到了更迅速的发展。自1995年后,我国的水泥、平板玻璃、建筑卫生陶瓷和石墨、滑石等部分非金属矿产品产量已位居世界第一,是名副其实的建材生产大国。

随着社会的发展,人类对建筑工程的功能要求越来越高,对建筑材料的性能要求也越来越高。轻质、高强、耐久、高效、便于施工等具有优良的综合性能的建筑材料,是今后发展的基本方向。同时,随着人们环境保护与可持续发展意识的增强,保护环境、节约能源与土地,合理开发和综合利用原料资源,尽量利用工业废料,也是建筑材料发展的一种趋势。

1.1.3 建筑材料的作用

建筑材料是各项基本建设的重要物质基础,其产量及质量直接影响着建筑业的进步和国民经济的发展。建筑材料在建设工程中的用量相当大,据统计,在工程总造价中,材料费所占比重可达50%~70%。所以,在建设工程中能恰当地选择、合理地使用建筑材料对降低工程造价、提高投资效益具有十分重要的意义。

建筑材料的性能、种类、规格及合理使用,将影响工程的坚固、耐久、美观等工程质量。若选择、使用材料不当,轻则达不到预期效果,重则会导致工程质量降低甚至酿成工程事故。因此,加强建筑材料质量检测工作是保证工程质量与安全的重要措施。

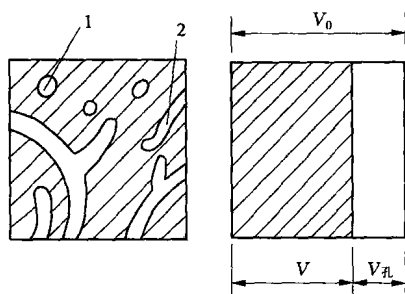
建筑材料对工程技术的发展也起着至关重要的作用,新材料的出现往往促使工程技术的革新,而工程变革与社会发展的需要又常常促进新材料的诞生。

1.2 材料的物理性质

1.2.1 基本物理性质

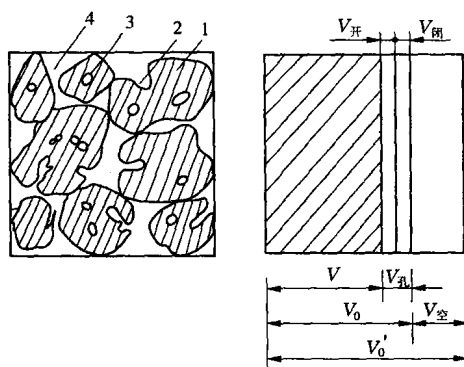
自然界中的材料,由于其单位体积中所含孔隙形状及数量不同,因而其基本的物理性质参数——单位体积的质量也有差别。块状材料在自然状态下的体积是由固体物质体积及其内部孔隙体积组成的。材料内部的孔隙按孔隙特征又分为开口孔隙和闭口孔隙。闭口孔隙不进水,开口孔隙与材料周围的介质相通,材料在浸水时易吸水饱和,见图 1-1。

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,见图 1-2。



1—闭口孔隙;2—开口孔隙

图 1-1 块状材料体积构成示意



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 1-2 散粒材料体积构成示意

1.2.1.1 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量,用下式计算:

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

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, cm^3 。

材料在绝对密实状态下的体积,才是材料的实际体积。而实际上,只有少数材料(如钢材、玻璃、沥青等)可视为密实材料,可直接测定其密度,其他大多数材料内部都含有一定的孔隙。对这类材料,可将其磨制成规定细度的粉末,用排液法(密度瓶法等)测得其体积,再根据式(1-1)计算出其实际密度。

1.2.1.2 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。材料在自然状态下的体积,是指构成材料的固体物质的体积与全部孔隙体积之和,又称表观体积。根据表观体积测定方

法不同,材料的表观密度通常分为体积密度和视密度两种。

包含材料所有孔隙条件下单位体积的质量称为体积密度,可用下式计算:

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

式中 ρ_0 ——材料的体积密度, 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 。

只包含内部闭口孔隙条件下单位体积的质量称为视密度,可用下式计算:

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

式中 ρ' ——材料的视密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量, g 或 kg ;

$V_{(b)}$ ——材料在自然状态下不含开口孔隙的体积, cm^3 或 m^3 。

对于砖、混凝土、石材等形状较规则的材料,可直接测其外形体积作为表观体积,故常用体积密度表示;而对卵石、砂等形状不规则的材料,可用排液法测得其排开液体的体积作为表观体积,故常用视密度表示。

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。未注明者,是指干燥状态的体积密度。

1.2.1.3 堆积密度

堆积密度(旧称松散容重),是指散粒(粉状、粒状或纤维状)材料在自然堆积状态下,单位体积(包含了颗粒内部的孔隙体积及颗粒之间的空隙体积)所具有的质量,用下式计算:

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

式中 ρ'_0 ——散粒材料的堆积密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

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。

1.2.1.4 材料的密实度与孔隙率

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,也就是固体物质的体积占总体积的比例。密实度反映了材料的致密程度,以 D 表示:

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

含有孔隙的固体材料的密实度均小于1。材料的很多性能(如强度、吸水性、耐久性、导热性等)均与其密实度有关。

2. 孔隙率

孔隙率是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 P 表示:

$$P = \frac{V_{\text{孔}}}{V_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

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

孔隙率与密实度的关系为：

$$P + D = 1 \quad (1-8)$$

上式表明，材料的总体积是由该材料的固体物质与其包含的孔隙所组成的。

材料开口孔隙率的计算公式如下：

$$P_K = \frac{m_2 - m_1}{V_0} \times \frac{1}{\rho_H} \times 100\% \quad (1-9)$$

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/cm³。

材料的闭口孔隙率可从材料的孔隙率、开口孔隙率中求得，见下式：

$$P_B = P - P_K \quad (1-10)$$

式中 P_B ——材料的闭口孔隙率(%)。

1.2.1.5 材料的填充率与空隙率

1. 填充率

填充率是指散粒材料的堆积体积中，被其颗粒填充的程度，以 D' 表示：

$$D' = \frac{V_0}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \times 100\% \quad (1-11)$$

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 P' 表示：

$$P' = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{V_0}{V'_0}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\% = 1 - D' \quad (1-12)$$

即

$$D' + P' = 1 \quad (1-13)$$

空隙率的大小，反映了散粒材料的颗粒之间相互填充的致密程度。空隙率可作为控制混凝土骨料级配与计算含砂率的依据。

常用建筑材料的密度、体积密度、堆积密度和孔隙率见表 1-2。

表 1-2 常用建筑材料的密度、体积密度、堆积密度和孔隙率

材料	密度(g/cm ³)	体积密度(kg/m ³)	堆积密度(kg/m ³)	孔隙率(%)
石灰岩	2.60	1 800 ~ 2 600	—	—
花岗岩	2.60 ~ 2.90	2 500 ~ 2 800	—	0.5 ~ 3.0
碎石	2.60	—	1 400 ~ 1 700	—
砂	2.60	—	1 450 ~ 1 650	—

续表 1-2

材料	密度(g/cm^3)	体积密度(kg/m^3)	堆积密度(kg/m^3)	孔隙率(%)
黏土	2.60	—	1 600 ~ 1 800	—
普通黏土砖	2.50 ~ 2.80	1 600 ~ 1 800	—	20 ~ 40
黏土空心砖	2.50	1 000 ~ 1 400	—	—
水泥	3.10	—	1 200 ~ 1 300	—
普通混凝土	—	2 100 ~ 2 600	—	5 ~ 20
松木	1.55	380 ~ 700	—	55 ~ 75
建筑钢材	7.85	7 850	—	0
玻璃	2.55	—	—	—

1.2.2 材料与水有关的性质

1.2.2.1 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)所成的夹角 θ ,称为润湿角。 θ 越小,浸润性越强,当 $\theta=0^\circ$ 时,表示材料完全被水润湿。一般认为,当 $\theta\leq 90^\circ$ 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,此种材料称为憎水性材料,如图 1-3 所示。

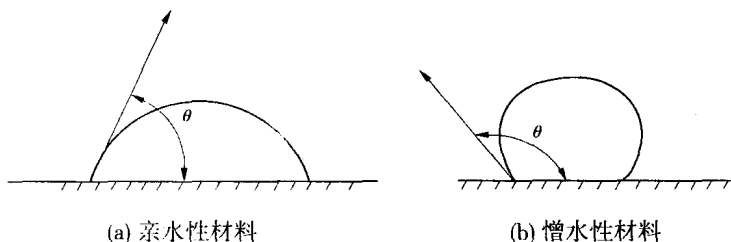


图 1-3 材料润湿示意图

沥青、石蜡等少数材料属于憎水性材料,表面不能被水润湿。憎水性材料能阻止水分渗入其毛细管中,能降低材料的吸水性。它不仅可用做防水材料,还可以用于亲水性材料的表面处理,以降低其吸水性。

大多数建筑材料,如混凝土、砖石、木材等都属于亲水性材料,表面均能被水润湿,且能通过毛细管作用将水吸入材料的毛细管内部。通常可将亲水性材料的含水情况分为以下四种基本状态(见图 1-4)。

- (1) 干燥状态:材料的孔隙中不含水或含水极微。
- (2) 气干状态:材料的孔隙中所含水与大气湿度相平衡。
- (3) 饱和面干状态:材料表面干燥,而孔隙中充满水达到饱和。

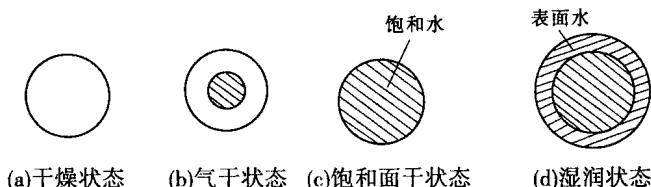


图 1-4 材料的含水状态

(4)湿润状态:材料不仅孔隙中含水饱和,而且表面上为水润湿而附有一层水膜。材料的含水状态会对材料的多种性质产生一定影响。

1.2.2.2 吸水性

材料在浸水状态下吸入水分的能力称为吸水性。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,用下式计算:

$$W_{\text{质}} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1-14)$$

式中 $W_{\text{质}}$ ——材料的质量吸水率(%);

m_1 、 m_2 ——材料在干燥状态与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体积内被水充实的程度,即材料吸水饱和时,所吸收水分的体积与干燥材料自然体积的百分比,用下式表示:

$$W_{\text{体}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_0} \times 100\% = \frac{m_2 - m_1}{V_0} \times \frac{1}{\rho_{\text{H}}} \times 100\% \quad (1-15)$$

式中 $W_{\text{体}}$ ——材料的体积吸水率(%);

ρ_{H} ——水的密度, g/cm^3 ;

V_0 ——干燥材料在自然状态下的体积, cm^3 。

质量吸水率与体积吸水率存在如下关系:

$$W_{\text{体}} = W_{\text{质}} \times \frac{\rho_0}{\rho_{\text{H}}} = W_{\text{质}} \times \rho_0 \quad (1-16)$$

式中 ρ_0 ——材料干燥状态的体积密度。

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,吸水性越强,特别是材料具有很多微小开口孔隙时,吸水率非常大。封闭的孔隙,水分不易进入;粗大开口的孔隙,水分不易存留,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。

1.2.2.3 吸湿性

干燥的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。材料在所处环境中其含水的质量占材料干燥质量的百分数,称为材料的含水率,可用下式计算:

$$W_{\text{含}} = \frac{m_3 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1-17)$$

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。

1.2.2.4 耐水性

材料长期在饱和水作用下不破坏、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,主要是由于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:

$$K_{\text{软}} = \frac{f_w}{f} \quad (1-18)$$

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了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 0.85~0.90;受潮较轻或次要的结构材料,其软化系数不宜小于 0.70~0.85。软化系数大于 0.85 的材料,通常认为是耐水材料。

1.2.2.5 抗渗性

材料抵抗压力水渗透的性质,称为抗渗性(或不透水性)。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,用下式表示:

$$K = \frac{Qd}{AtH} \quad (1-19)$$

式中 K ——材料的渗透系数,cm/s;

Q ——透水量,cm³;

d ——试件厚度,cm;

A ——透水面积,cm²;

t ——透水时间,s;

H ——静水压力水头,cm。

渗透系数反映材料内部组织构造的疏密程度。 K 值越小,表明材料的抗渗能力越强。

2. 抗渗等级

混凝土的抗渗等级,以每组 6 个试件中 2 个出现渗水时的最大水压力表示。抗渗等级按式(1-20)计算:

$$W = 10H - 1 \quad (1-20)$$

式中 W ——混凝土的抗渗等级;

H ——6 个试件中有 2 个渗水时的水压力,MPa。

抗渗等级常用于表示砂浆和混凝土的抗渗能力, W 值越大,材料的抗渗能力越强。材料孔隙率小,且具有闭口孔隙的材料往往抗渗能力较强。

1.2.2.6 抗冻性

材料在水饱和状态下,经受多次冻融循环作用而不破坏,其强度及质量也不显著降低的性质,称为抗冻性。

抗冻性试验通常是将规定的标准试件浸水饱和后,在 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度条件下冻结一定时间,然后在室温的水中融化,进行反复冻融,试件强度降低及质量损失值不超过规定值、材料表面无明显损伤,所对应的最大循环次数,定为该材料的抗冻等级。材料的抗冻性用抗冻等级“ F_i ”表示,“ i ”表示冻融循环次数,如“ F_{25} ”、“ F_{50} ”等,抗冻等级越高,材料的抗冻能力越强。

冻结的破坏作用主要是材料孔隙中的水结冰膨胀所致。当材料孔隙中充满水时,水结冰约产生 9% 的体积膨胀,使材料孔壁产生拉应力,当拉应力超过材料的抗拉强度时,孔壁形成局部开裂。随着冻融次数的增加,开裂加剧,材料表面逐渐剥落,强度也随之降低。

材料的抗冻能力取决于材料的吸水饱和程度和抗拉强度。闭口孔隙不易进水,粗大的开口孔隙水分不易充满孔隙,都会使材料抗冻能力提高;材料的抗拉强度高,变形能力强,也会提高材料的抗冻能力。

水工建筑物经常处于干湿交替作用的环境中,选用材料时应按材料所处的工作环境和部位合理确定抗冻等级。

1.2.3 材料与热有关的性质

建筑材料除须满足必要的强度及其他性能的要求外,为了节约建筑物的使用能耗,以及为生产和生活创造适宜的条件,常要求材料具有一定的热性质。

1.2.3.1 导热性

材料传导热量的性质称为导热性。材料的导热能力用导热系数 λ 表示,计算公式如下:

$$\lambda = \frac{Q\delta}{At(T_2 - T_1)} \quad (1-21)$$

式中 λ ——材料的导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

Q ——传导的热量, J;

A ——热传导面积, m^2 ;

δ ——材料厚度,m;

t ——导热时间,s;

T_1 、 T_2 ——材料两侧的温度,K。

材料的导热能力与材料的孔隙率、孔隙特征及材料的含水状态有关。密闭空气的导热系数很小($0.025 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$),故材料闭口孔隙率大时导热系数小。开口连通孔隙具有空气对流作用,材料的导热系数较大。材料受潮时,由于水的导热系数较大($0.58 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$),材料的导热系数增大。

材料的导热系数越小,隔热保温效果越好。有隔热保温要求的建筑物宜选用导热系数小的材料做围护结构。工程中通常将 $\lambda < 0.23 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的材料称为绝热材料。

几种常用材料的导热系数见表 1-3。

表 1-3 常用材料的导热系数及比热容

材料	导热系数 ($\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)	比热容 ($\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$)	材料	导热系数 ($\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)	比热容 ($\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$)
铜	370	0.38	绝热纤维板	0.05	1.46
钢	55	0.46	玻璃棉板	0.04	0.88
花岗岩	2.9	0.80	泡沫塑料	0.03	1.30
普通混凝土	1.8	0.88	冰	2.20	2.05
普通黏土砖	0.55	0.84	水	0.58	4.19
松木(顺纹)	0.15	1.63	密闭空气	0.025	1.00

1.2.3.2 比热容及热容量

材料受热时吸收热量,使温度升高;冷却时放出热量,使温度降低。材料温度升高(或降低) 1 K 时,所吸收(或放出)的热量,称为材料的热容量。 1 kg 材料的热容量,称为材料的比热容(简称比热)。用下式表示:

$$Q = cm(T_2 - T_1) \quad (1-22)$$

$$c = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)} \quad (1-23)$$

式中 Q ——材料吸收或放出的热量,J;

c ——材料的比热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

m ——材料的质量,kg;

$T_2 - T_1$ ——材料受热或冷却前后的温差,K。

材料的热容量值对保持材料温度的稳定性有很大作用。热容量值高的材料,对室温的调节作用大。

几种常见材料的比热容值见表 1-3。