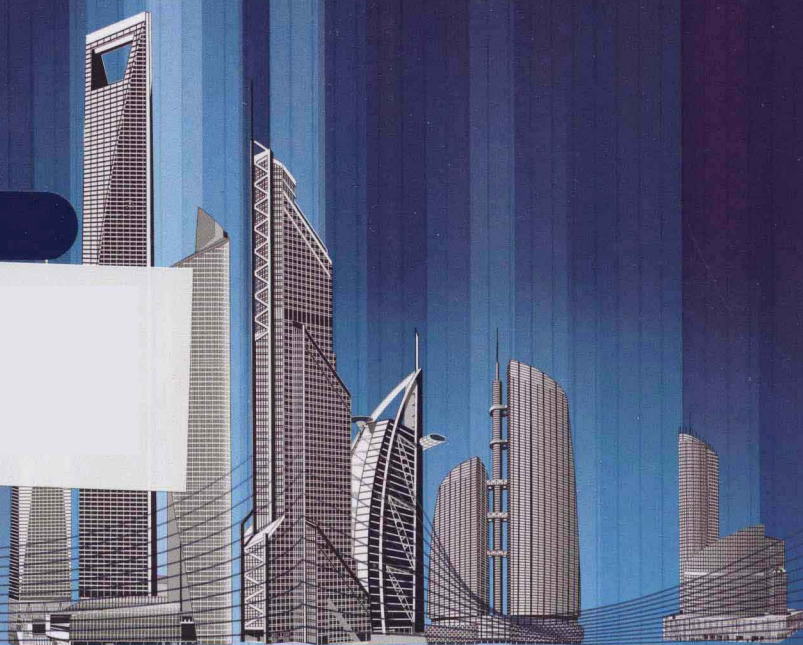


普通高等教育“十二五”规划教材

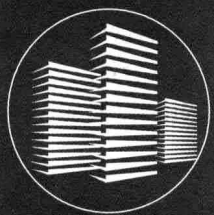
建筑材料试验

JIANZHU CAILIAO SHIYAN

吕兴军 曹明莉 主编
王宝民 主审



化学工业出版社



普通高等教育“十二五”规划教材

建筑材料试验

JIANZHU CAILIAO SHIYAN

吕兴军 曹明莉 主编
王宝民 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是普通高等教育“十二五”规划教材。

全书共分为三章，主要内容包括数据处理方法、建筑材料的基本性质以及建筑材料试验（粉体密度、水泥、砂、石、混凝土、砂浆、砖、砌块、防水卷材、沥青），重点介绍混凝土相关材料。

本书可作为高等院校土木工程、建筑学等相关专业的教材，也可供建设系统工程施工、检测、科研和监理等各类人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑材料试验/吕兴军,曹明莉主编. —北京:化学工业出版社,2013.6
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-16989-1

I. ①建… II. ①吕…②曹… III. ①建筑材料-材料试验-高等学校-教材 IV. ①TU502

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 074358 号

责任编辑:满悦芝

文字编辑:荣世芳

责任校对:顾淑云

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张6 $\frac{3}{4}$ 字数166千字 2013年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:19.00元

版权所有 违者必究

前言

随着科学技术的发展,为了适应新型建筑结构、特殊环境构筑物的需求,各类新材料、新工艺层出不穷,建筑材料品种不断增加,生产规模不断扩大。混凝土材料,作为建筑结构使用的最大宗的材料,其理论与技术正在发生着革命性的变化。检验和评价建筑材料的各种试验技术也不断更新与发展,在此形势下,在教科书中向学生介绍建筑材料试验/检测的新技术、新知识,使他们更加全面、深刻地了解与认识建筑材料,学会主要建筑材料性能测试的基本方法,以便更准确地选择和使用建筑材料,成为当前建筑材料课程教学的一项迫切任务。

本书依据建设部土木工程专业指导委员会教学大纲要求进行编写。其指导思想符合高等院校建筑材料试验教学的需要,着重培养学生分析问题、解决问题与主动学习的能力,锻炼动手能力。

为了使学生对建筑材料基本性质有较全面准确的了解,帮助学生准确地表达与分析试验结果,本书还对建筑材料基本性质以及试验数据处理方法做了简单介绍。全书共分三章,第一章介绍了数据处理的基本方法,第二章介绍了建筑材料的基本性质,第三章选编了11个有代表性的建筑材料试验,同时对试验目的、试验步骤和方法、试验资料整理及试验报告要求等,系统地加以归纳,便于学生掌握和运用。

全书由吕兴军、曹明莉主编,高少霞、刘玉莲任副主编,余报楚、张婷婷、宋宏伟、刘峰、齐晓辰等参与编写,王宝民主审。

建筑材料试验技术的革新同步于建筑材料的发展,近年来,新材料、新理论不断出现,各类材料检测技术标准、规范更新很快。由于时间仓促、编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请相关专家学者批评指正,也请同学们在学习和使用中对需要完善和补充的地方提出切实的意见,以便达到教学相长的目的。大家有任何意见或者建议,可通过以下方式与我们联系:

邮箱:lvxingjun@163.com

电话:0411-84708523 84707171

编者

2013年6月

目 录

绪论	1
第一章 试验数据统计分析的一般方法	3
第一节 平均值	3
第二节 误差分析	4
第三节 数值修约规则	5
第四节 可疑数据的取舍	5
第二章 建筑材料的基本性质	7
第一节 建筑材料的基础知识	7
第二节 材料的物理性质	11
第三节 材料的力学性质	19
第四节 材料的耐久性	22
第三章 建筑材料试验	25
试验 1 粉体材料密度试验	25
试验 2 水泥试验	27
试验 2.1 水泥细度试验——筛析法	28
试验 2.2 水泥细度试验——比表面积测定 ——勃氏法	30
试验 2.3 水泥标准稠度用水量、凝结时间 和安定性试验	33
试验 2.4 水泥胶砂强度试验	38
试验 3 混凝土用骨料试验	44
试验 3.1 砂的筛分析试验	46
试验 3.2 砂的表观密度试验	48
试验 3.3 砂的堆积密度试验	49
试验 3.4 砂的含水率试验	51
试验 3.5 碎石或卵石的筛分析试验	51
试验 3.6 碎石或卵石的表观密度试验	53
试验 3.7 碎石或卵石的吸水率试验	54
试验 3.8 碎石或卵石的堆积密度试验	55
试验 4 普通水泥混凝土配合比设计	57
试验 5 普通混凝土性能试验	65
试验 5.1 普通混凝土拌合物工作性试验	66
试验 5.2 普通混凝土拌合物表观密度试验	69
试验 5.3 普通混凝土立方体抗压强度试验	70
试验 5.4 普通混凝土劈裂抗拉强度试验	72
试验 6 建筑砂浆试验	74
试验 6.1 砂浆稠度试验	75
试验 6.2 砂浆分层度试验	76
试验 6.3 砂浆保水率试验	77
试验 6.4 砂浆立方体抗压强度试验	78
试验 7 烧结普通砖抗压强度试验	80
试验 8 轻集料混凝土小型空心砌块试验	81
试验 8.1 轻集料混凝土小型空心砌块抗压 强度试验	82
试验 8.2 轻集料混凝土小型空心砌块体积 密度试验	84
试验 9 石油沥青基本性质试验	85
试验 9.1 石油沥青针入度的测定试验	86
试验 9.2 石油沥青延度的测定试验	87
试验 9.3 石油沥青软化点的测定试验	89
试验 10 建筑防水卷材性能试验	91
试验 10.1 防水卷材不透水性试验	92
试验 10.2 防水卷材拉力及延伸率试验	94
试验 10.3 防水卷材低温柔性试验	95
试验 11 高性能混凝土抗氯离子渗透性 试验	97
试验 11.1 混凝土抵抗氯离子渗透性能 试验——电通量法	98
试验 11.2 混凝土抵抗氯离子渗透性能 试验——RCM 法	99
参考文献	104

绪 论

1. 建筑材料学试验的目的

“建筑材料学”是一门实践性很强的专业基础课,“建筑材料试验”是其实践性教学环节,它的基本任务是:

① 通过试验使学生熟悉主要建筑材料的标准、规范与技术要求,对具体材料的性状有进一步的了解,巩固与丰富理论知识。

② 使学生掌握常规材料的基本试验方法、手段和操作技能,学会正确使用各种仪器和试验设备,具有对常用建筑材料独立进行质量检验的能力。

③ 进行科学研究的基本训练,掌握处理试验数据的科学方法,培养学生运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力,树立实事求是的科学态度和严谨的工作作风。

④ 通过理论与实践的结合,巩固和加深对所学基本原理的理解,并在某些方面得到充实和提高。培养学生的工程实践能力和创新能力。

2. 建筑材料学试验的基本要求

为了达到上述的学习目的,要求学生必须做到以下几点。

① 试验前做好预习,明确试验目的、基本原理及操作要点,并应对试验所用的仪器、材料有基本的了解。

② 在试验的整个过程中要建立严密的科学工作秩序,严格遵守试验操作规程,注意观察试验现象,详细做好试验记录。

③ 对试验结果进行分析,做好试验报告。

④ 对设计、研究和综合设计型试验,同学们应按照试验指导书的要求,认真设计试验,通过试验研究,得出结论,找出规律。

3. 注意事项

在进行建筑材料的试验时,应注意三个方面的技术问题:

① 抽样技术,即要求试样具有代表性。

② 测试技术,包括仪器的选择、试件的制备、测试条件及方法。

③ 试验数据的整理方法。

材料的质量指标和试验所得的数据是有条件的、相对的,是与取样、测试和数据处理密切相关的。其中任何一项改变时,试验结果将随之发生或大或小的变化。因此,检验材料质量,划分等级标号时,上述三个方面均须按照国家规定的标准方法或通用的方法进行。否则,就不能根据有关规定对材料质量进行评定,或相互之间进行比较。

4. 编写说明

① 本指导书是按新课程教学大纲和试验教学大纲要求选材,根据现行国家(或行业)标准或其他规范、资料编写的,并不包括所有建筑材料的全部内容。

② 针对《建筑材料学》课程内容多、学时少的实际情况,本教材将多个试验设计为一个综合性试验——混凝土配合比试验,从而将零散的各部分内容用这个综合设计性试验贯穿起来。并建议以“混凝土配合比设计大赛”的形式来组织教学,可有效激发学生的学习热

2 // 建筑材料试验

情，提高综合运用知识的能力。

混凝土配合比试验是一个高度综合的试验，是对建筑材料知识的综合检验和运用，通过该试验可以检查学生对建筑材料知识的掌握程度。同时混凝土配合比试验是一个设计性试验，要求学生根据工程实际设计要求确定原材料的品种及规格、初步配合比和试验检验项目。锻炼学生选材和用材的能力、独立思考能力、团队协作的能力。

③ 由于科学技术水平和生产条件不断发展，今后遇到本书范围以外的试验时，可查阅有关指导文件，并应关注各种建筑材料标准和试验方法的修订动态，以作相应修改。

第一章 试验数据统计分析的一般方法

在建设工程施工中，要对大量的原材料和半成品进行试验，取得大量试验原始数据，对这些数据进行科学的分析，能更好地评价原材料或工程质量，提出改进工程质量、节约原材料的意见。本章对常用的数据统计分析方法做以下简要介绍。

第一节 平均值

1. 算术平均值

这是数据分析中最常用的一种方法，用来了解一批数据的平均水平，度量这些数据的中间位置。

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \cdots + X_n}{n} = \frac{\sum X}{n}$$

式中 $\bar{X}$ ——算术平均值；

$X_1, X_2, \cdots, X_n$ ——各个试验数据值；

$\sum X$ ——各试验数据的总和；

n ——试验数据个数。

2. 均方根平均值

均方根平均值对数据大小跳动反映较为灵敏，计算公式如下：

$$S = \sqrt{\frac{X_1^2 + X_2^2 + \cdots + X_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum X^2}{n}}$$

式中 S ——各试验数据的均方根平均值；

$X_1, X_2, \cdots, X_n$ ——各个试验数据值；

$\sum X^2$ ——各试验数据平方的总和；

n ——试验数据个数。

3. 加权平均值

加权平均值是各个试验数据和它的对应数的算术平均值。计算公式如下：

$$m = \frac{X_1 g_1 + X_2 g_2 + \cdots + X_n g_n}{g_1 + g_2 + \cdots + g_n} = \frac{\sum Xg}{\sum g}$$

式中 m ——加权平均值；

$X_1, X_2, \cdots, X_n$ ——各试验数据值；

$g_1, g_2, \cdots, g_n$ ——各试验数据的对应数；

$\sum Xg$ ——各试验数据值和它的对应数乘积的总和；

$\sum g$ ——各对应数的总和；

n ——试验数据个数。

第二节 误差分析

1. 范围误差

范围误差也叫极差,是试验值中最大值和最小值之差。

例如:三块砂浆试件抗压强度分别为 5.21MPa、5.63MPa、5.72MPa,则这组试件的极差或范围误差为: $5.72 - 5.21 = 0.51\text{MPa}$

2. 算术平均误差

算术平均误差的计算公式为:

$$\delta = \frac{|X_1 - \bar{X}| + |X_2 - \bar{X}| + |X_3 - \bar{X}| + \cdots + |X_n - \bar{X}|}{n} = \frac{\sum |X - \bar{X}|}{n}$$

式中

δ ——算术平均误差;

$X_1, X_2, \cdots, X_n$ ——各试验数据值;

$\bar{X}$ ——试验数据值的算术平均值;

n ——试验数据个数;

$| |$ ——绝对值。

【例 1.1】 三块砂浆试块的抗压强度为 5.21MPa、5.63MPa、5.72MPa,求算术平均误差。

解: 这组试件的抗压强度的算术平均值为 5.52MPa,其算术平均误差为:

$$\delta = \frac{|5.21 - 5.52| + |5.63 - 5.52| + |5.72 - 5.52|}{3} = 0.21\text{MPa}$$

3. 均方根误差 (标准离差、均方差)

只知试件的平均水平是不够的,要了解数据的波动情况及其带来的危险性,标准离差 (均方差) 是衡量波动性 (离散性大小) 的指标。标准离差的计算公式为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + (X_3 - \bar{X})^2 + \cdots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}}$$

式中

σ ——标准离差 (均方差);

$X_1, X_2, \cdots, X_n$ ——各试验数据值;

$\bar{X}$ ——试验数据值的算术平均值;

n ——试验数据个数。

【例 1.2】 某厂某月生产 10 个编号的 32.5 矿渣水泥, 28d 抗压强度分别为 37.5MPa、35.0MPa、38.4MPa、35.8MPa、36.7MPa、37.4MPa、38.1MPa、37.8MPa、36.2MPa、34.8MPa,求标准离差。

解: 10 个编号水泥的算术平均强度

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{367.5}{10} = 36.8\text{MPa}$$

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
	37.5	35.0	38.4	35.8	36.7	37.4	38.1	37.8	36.2	34.8
$X - \bar{X}$	0.7	1.8	1.6	-1.0	-0.1	0.6	1.3	1.0	-0.6	-2.0
$(X - \bar{X})^2$	0.49	3.24	2.56	1.0	0.01	0.36	1.69	1.0	0.36	4.0

$$\sum (X - \bar{X})^2 = 14.71$$

标准离差 $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{14.71}{9}} = 1.28 \text{MPa}$

第三节 数值修约规则

试验数据和计算结果都有一定的精度要求，对精度范围以外的数字，应按《数值修约规则》（GB 8170—2008）进行修约。可简单概括为：“四舍六入五考虑，五后非零应进一，五后皆零视奇偶，五前为偶应舍去，五前为奇则进一”。具体含义为：

① 在拟舍弃的数字中，保留数后边（右边）第一个数小于 5（不包括 5）时，则舍去。保留数的末位数字不变。

例如：将 14.2432 修约后为 14.2。

② 在拟舍弃的数字中，保留数后边（右边）第一个数字大于 5（不包括 5）时，则进一。保留数的末位数字加一。

例如：将 26.4843 修约到保留一位小数，修约后为 26.5。

③ 在拟舍弃数字中保留数后边（右边）第一个数字等于 5，5 后边的数字并非全部为零时，则进一。即保留数末位数字加一。

例如：将 1.0501 修约到保留一位小数，修约后为 1.1。

④ 在拟舍弃的数字中，保留数后边（右边）第一个数字等于 5，5 后边的数字全部为零时，保留数的末位数字为奇数时则进一，若保留数的末位数字为偶数（包括“0”）则不进。

例如：将下列数字修约到保留一位小数。

修约前 0.3500，修约后 0.4。

修约前 0.4500，修约后 0.4。

修约前 1.0500，修约后 1.0。

⑤ 所拟舍弃的数字，若为两位以上数字，不得连续进行多次（包括二次）修约。应根据保留数后边（右边）第一个数字的大小，按上述规定一次修约出结果。

例如：将 15.4546 修约成整数。

正确的修约是：修约前 15.4546，修约后 15。

不正确的修约是：

修约前	一次修约	二次修约	三次修约	四次修约（结果）
15.4546	15.455	15.46	15.5	16

第四节 可疑数据的取舍

在一组条件完全相同的重复试验中，当发现有某个过大或过小的可疑数据时，应按数理统计方法加以鉴别并决定取舍。

1. 三倍标准离差法

“三倍标准离差法”是最常用的方法。其准则是 $|X_1 - \bar{X}| > 3\sigma$ 。另外还有规定 $|X_1 - \bar{X}| > 2\sigma$ 时则保留，但需存疑，如发现试件制作、养护、试验过程中有可疑的变异时，该试件强度值应予舍弃。

2. 规范中关于数据离散性的判据

各种建筑材料的相关检测规范中，都对检测数据的分散性给出了判断方法，通常是依据与平均值或者中间值的偏离来决定边缘数据的取舍和试验结果的有效与否。

例如，《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)中，关于混凝土抗压强度试验的数据处理，要求：以三个试件测值的算术平均值作为该组试件的抗压强度值。三个测值中的最大值或最小值中如有一个与中间值的差值超过中间值的15%时，则把最大及最小值一并舍除，取中间值作为该组试件的抗压强度值；如有两个测值与中间值的差均超过中间值的15%时，则该组试件的试验结果无效。

再如，《水泥胶砂强度检验方法》(GB/T 17671—1999)中，关于水泥胶砂强度测试结果评定，要求：以一组六个抗压强度测定值的算术平均值作为试验结果。如六个测定值中有一个超出六个平均值的 $\pm 10\%$ ，应剔除该测定值，而以剩下五个测定值的平均数作为结果；如果五个测定值中再有超过它们平均值 $\pm 10\%$ 的，则此组结果作废。

还有利用试验数据的绝对差值，决定试验数据的有效性。比如，砂、石材料的表观密度、堆积密度测定中，如果两次试验的结果差值超过 0.02g/cm^3 (或 20kg/m^3)，则不能直接求两者的平均值作为试验结果，需补做第三次试验。

第二章 建筑材料的基本性质

第一节 建筑材料的基础知识

一、组成与性质

1. 化学组成

材料的化学组成是指构成材料的化学元素种类及其数量。一般来说，它不能明确地反映材料的具体性能，只能大致地反映其参与化学作用时的规律，如氧化，燃烧，受酸、碱、盐类物质的侵蚀作用等。

由化学元素可组成无机非金属的各种矿物，可组成金属材料的各种晶体组织以及有机材料的各种分子结构，由于它们具有一定的化学成分和特定的结构，因而有了明确的性能。通常，无机非金属材料的化学成分以氧化物含量的百分数（%）表示，金属材料以其含有元素的百分含量表示。有机材料所含元素较少，主要有 C、H 和少量的 O、N、S 等并形成相对分子质量较大的聚合物。

2. 无机材料的矿物组成

无机材料的矿物由金属元素与非金属元素按一定的数量组成，且以特定的结构特征形成矿物。矿物具有明确的性质。一些材料由单一矿物组成，如石膏。有些材料由多种矿物组成，如花岗岩主要由石英、长石、云母等天然矿物组成，这样的材料其性质取决于每种矿物的性质及其含量。

3. 金属材料的晶体组织

金属材料多为合金。所谓合金是指由两种或两种以上的元素（至少有一种为金属元素）组成，并具有金属性质的物质。合金可由固溶体、化合物以及它们之间的混合物三种形式形成，每种形式都称为一种晶体组织，每种晶体组织都具有不同的构成特点，因而也具有其特定的性质。所以金属材料的性质主要取决于母相金属的性质和所形成的晶体组织的性质以及金属材料中各晶体组织的含量。

二、结构与性质

对固体材料的研究，可包括从原子、分子水平直至宏观可见的各个层次的构造状态，从广义上讲统称为结构。对材料结构的研究，通常分为微观结构、亚微观结构和宏观结构三个结构层次。

1. 微观结构

微观结构是指用电子显微镜及 X 射线衍射分析等手段来研究材料内部质点（原子、离子、分子）在空间中分布情况的结构层次。根据内部质点在空间中分布状态不同可分为晶体和非晶体。

（1）晶体 相同质点在空间中作周期性重复排列时所形成的固体称为晶体。晶体按质点及质点间的作用力不同，分为原子晶体、离子晶体、分子晶体和金属晶体。

晶体的内部质点按一定的规律由近及远有序排列，使得晶体具有以下特点：

① 具有一定的几何外形，这是质点规则排列的外在表现。

② 具有各向异性，这是晶体结构特征在性能上的反映。

③ 具有固定的熔点和良好的化学稳定性，这是因为晶体结构的质点处于稳定的最低能量状态。

④ 质点的规则排列使得晶体内部的不同晶面上质点分布密度不同。在那些质点分布较密集的晶面之间即是联系薄弱的晶面，当外力作用在一定限度内时，则发生弹性变形；若超过某一限度，晶面间受剪应力作用，或者产生断键而开裂（脆性材料的破坏）或者晶面发生相对滑动，使材料产生塑性变形（金属的塑性变形）。

（2）非晶体 非晶体是一种不具有明显晶体结构特征的结构状态，常称为无定形体或玻璃体。如玻璃，在这种结构中，质点间的结合力为共价键与离子键。熔融状态的物质经急剧冷却处理，即可成为质点呈无序状态分布的玻璃体结构。玻璃体结构中质点的化学键未能达到最大限度的满足，具有较高的潜在化学能，是一种化学不稳定的结构，容易与其他物质发生化学作用。如水淬矿渣磨细后能与石灰在有水条件下起硬化作用，因而被用作水泥的活性混合材料。

2. 亚微观结构

亚微观结构也称细观结构，是指用光学显微镜观测手段来研究的结构层次。它包括无机非金属材料的晶体粒子、玻璃体，金属材料的晶体组织，胶体及材料内孔的形态、大小、分布等结构状况。

材料亚微观结构状态的不同，将对材料的性质有重要的影响。例如所有晶体材料都是由大量的、大小不一的、排列不规则的晶粒组成，因此晶体材料并不能像晶体本身那样具有固定的几何外形和明显的各向异性。晶粒的形状和大小，材料内孔的形状和大小，胶体粒子的大小等，对材料的性质都有很大的影响。因此，改变材料的细观结构，都会使材料的性质发生显著的变化。

3. 宏观结构

材料的宏观结构亦称构造，是指用肉眼或借助于放大镜即能分辨的结构层次。如材料的孔隙，岩石的层理，木材的纹理、节疤等。

材料的宏观结构，按孔的尺寸的大小可分为：致密结构，如金属、玻璃及天然石材等；微孔结构，如水泥制品、石膏制品、烧土制品等；多孔结构，如加气混凝土、泡沫塑料及人造多孔材料等。按构成形态可分为：聚集结构，如水泥混凝土、砂浆、烧土制品等；纤维结构，如玻璃纤维、岩棉、矿棉、棉麻等纤维材料；层状结构，如胶合板、纸面石膏板等各种呈层状的板材；散粒状材料，如砂、石等。

材料的宏观结构是影响材料性能的重要因素。它直接影响材料的各项性质，对材料的力学性能和工程性质以及耐久性均有显著的影响。因此采用不同的材料，使其具有相同的宏观结构，将会得到具有相近工程性质的材料。通过改变材料的宏观结构来改变材料的工程性质，这也是材料工艺技术发展的重要手段，必将加速新型建筑材料的发展过程。

三、结构特征参数

1. 材料的密度

密度是指材料的质量与其体积之比。根据材料结构状态不同，可分为密度、表观密度和堆积密度。

（1）密度 绝对密实状态的材料，其质量与其体积之比称为密度，按式(2.1) 计算：

$$\rho = m/V \quad (2.1)$$

式中 ρ ——密度, g/cm^3 ;

m ——材料的质量, g ;

V ——绝对密实状态的材料体积, cm^3 。

在建筑材料中, 只有金属、玻璃等少数材料被认为是绝对密实的。材料的密度是该材料的一种属性, 它只取决于其组成及微观结构, 相同组成及微观结构的材料, 无论构造状态如何, 其密度值都是一定值。

(2) 表观密度 (亦称体积密度) 自然状态的材料, 其质量与其体积之比称为表观密度, 按式(2.2) 计算:

$$\rho_0 = m/V_0 \quad (2.2)$$

式中 ρ_0 ——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, 或称表观体积, cm^3 或 m^3 。

材料的表观体积是指包含材料内所有孔隙 (开口、闭口) 在内的体积。在自然状态下, 当材料中含有水分时, 测定的表观密度应注明含水情况, 而一般情况下, 是指干燥状态下的表观密度。

在自然状态下, 材料体积内常含有各种不同的孔隙。一些孔之间相互连通, 且与外界相通, 称为开口孔。一些孔互相独立, 且不与外界相通, 则称为闭口孔。然而, 当进一步研究材料构造时却发现, 绝对的闭口孔是不存在的。在建筑材料中, 从实际出发常以在常温常压下水能否进入孔中来区分孔的开口与闭口。

在工程中, 当材料与水相接触时 (如砂、石用来拌制混凝土时), 其内部的开口孔将被水所填充, 因此其表观体积将减小, 材料的表观密度值将增大。为了区分, 可以把只包含闭口孔在内的表观密度称为视密度, 即把这种只包含闭口孔时的材料视为密实状态。由于砂、石内部相当密实, 因此在配制混凝土时, 常采用其表观密度来代替视密度。在进行材料的研究时, 有时视密度也有着特殊的实用意义。视密度用式(2.3) 表示:

$$\rho' = m/V' \quad (2.3)$$

式中 ρ' ——材料的视密度, g/cm^3 ;

m ——材料的质量, g ;

V' ——材料内只含闭口孔时的体积, cm^3 。

(3) 堆积密度 粉状或颗粒状材料在堆积状态时, 其质量与堆积体积之比, 称为堆积密度, 按式(2.4) 计算:

$$\rho'_0 = m/V'_0 \quad (2.4)$$

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

V'_0 ——材料的堆积体积, m^3 。

材料在堆积状态时, 其堆积体积除包含所有颗粒的表观体积外, 还包含颗粒之间的空隙。堆积密度值的大小, 反映了颗粒状材料堆积的疏密程度, 因此它不但取决于材料颗粒的表观密度, 还取决于堆积时的疏密程度。

在土木工程中, 进行配料计算, 确定材料堆放空间及运输量、材料用量以及构件自重等经常用到材料的密度、表观密度和堆积密度值。常用建筑材料的各密度值见表 2.1。

表 2.1 常用材料的密度、表观密度及堆积密度

材料名称	密度/(g/cm ³)	表观密度/(kg/m ³)	堆积密度/(kg/m ³)
钢材	7.85	7850	—
松木	1.55	400~800	—
水泥	2.80~3.10	—	1000~1600
砂	2.6~2.7	2650~2750	1450~1650
碎石	2.6~2.8	2650~2850	1400~1700
石灰石	2.6~2.8	1800~2600	—
花岗岩	2.6~2.9	2500~2900	—
普通黏土砖	2.5~2.7	1600~1800	—
普通混凝土	—	2000~2800	—
轻骨料混凝土	—	800~1950	—

2. 材料的密实度与孔隙率

(1) 密实度 材料的密实度是指材料体积内,被固体物质充实的程度,以 D 表示,并按式(2.5)计算:

$$D=V/V_0 \times 100\% \quad (2.5)$$

(2) 孔隙率 材料的孔隙率是指材料体积内,孔隙体积所占的比例,以 P 表示,并按式(2.6)计算:

$$P=(V_0-V)/V_0 \times 100\% \quad (2.6)$$

密实度与孔隙率从两个不同侧面来反映材料的密实程度,即 $D+P=1$ 。

建筑材料的许多工程性质如强度、抗渗性、抗冻性、导热性、吸声性等都与材料的密实程度有关。这些性质除取决于材料孔隙率的大小外,还与孔隙的构造特征密切相关。孔隙特征主要指孔隙的种类(开口孔与闭口孔)、孔径的大小及孔的分布等。生产中,常采用改变材料的孔隙率和孔隙特征的方法来改善材料的性能。例如对水泥混凝土精心施工,提高密实度或加入引气剂,引入一定数量的闭口孔,都可以提高混凝土的抗渗及抗冻性能。

由于材料的性能与孔隙种类密切相关,因此有必要了解材料体积内各种孔隙的多少。开口孔隙率(P_K)是指在常温、常压下能被水所充满的孔体积(即开口孔体积 V_K)与材料的表观体积之比,即

$$P_K=V_K/V_0 \times 100\% \quad (2.7)$$

闭口孔隙率(P_B)便是总孔隙率(P)与开口孔隙率之差,即

$$P_B=P-P_K \quad (2.8)$$

3. 材料的填充率与空隙率

(1) 填充率 材料的填充率是指粉状或颗粒状材料的堆积体积中,被固体颗粒填充的程度。以 D' 表示,用下式计算:

$$D'=V_0/V'_0 \times 100\% \quad (2.9)$$

式中 V_0 ——材料中所有颗粒的表观体积之和, m^3 。

(2) 空隙率 材料的空隙率是指粉状或颗粒状材料的堆积体积中,颗粒之间的空隙体积所占的比例,以 P' 表示,用下式计算:

$$P'=(V'_0-V_0)/V'_0 \times 100\% \quad (2.10)$$

填充率与空隙率是从两个不同侧面反映粉状或颗粒状材料的颗粒相互填充的疏密程度, 即 $D' + P' = 1$ 。

第二节 材料的物理性质

一、材料与水有关的物理性质

1. 亲水性与憎水性

当水滴落在材料表面上时, 将出现两种不同的现象, 如图 2.1 所示。

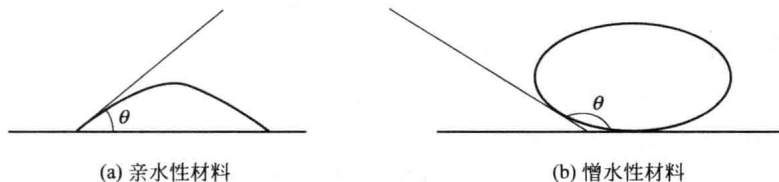


图 2.1 材料的润湿角

这是由于水与固体材料表面之间的作用情况不同。若材料遇水后其表面能降低, 则水在材料表面易于扩展。这种与水的亲和性称为亲水性。表面与水亲和力较强的材料称为亲水性材料。水滴至亲水性材料表面时呈图 2.1(a) 的状态, 其润湿边角 (固、气、液三相交点处作沿水滴表面的切线与水和固体接触面所成的夹角) $\theta \leq 90^\circ$ 。与此相反, 材料与水不亲和的性质称为憎水性, 相应的材料称为憎水性材料。水滴在憎水性材料表面时呈图 2.1(b) 的状态, 其润湿边角 $\theta > 90^\circ$ 。

建筑材料中, 各种无机胶凝材料、混凝土、石材、砖瓦、钢材等均为亲水性材料, 它们为极性分子所组成, 与极性分子水之间有着良好的亲和性。水处于亲水性材料表面上会发生润湿现象, 若处于毛细管中则形成凹形弯月面, 发生毛细现象。

一些有机高分子材料如沥青、塑料、油漆等为憎水性材料, 这是因为极性分子的水与这些非极性分子组成的材料相互排斥的缘故。水处于憎水性材料表面时将形成水滴, 不能扩展; 若处于毛细管中则将被排斥而形成凸形液面。因此, 憎水性材料常用做防潮、防水及防腐材料, 也可以用于对亲水性材料进行表面处理, 用以降低材料的吸水性。

2. 吸湿性与吸水性

(1) 吸湿性 材料在环境中, 能自发地吸收空气中水分的性质称为吸湿性, 材料吸湿性用含水率表示。

材料在空气中吸水, 实际上是空气中的水分子在材料表面上冷凝及被吸附的结果。因此, 当亲水性材料暴露在空气中的表面积愈大 (包括开口孔隙), 其吸湿性愈强, 同时吸湿量还与环境条件 (温度与湿度) 有关。当材料中所含水分与环境条件达到平衡状态时, 材料的含水率称为平衡含水率, 此时的含水状态即气干状态。材料的含水率是材料在平衡状态下的含水量与干燥状态下材料的质量之比, 用式 (2.11) 计算:

$$W_h = m_w / m_0 \times 100\% \quad (2.11)$$

式中 W_h ——材料在环境条件下的含水率, %;

m_w ——材料吸湿后其中所含的水分的质量, g;

m_0 ——干燥状态的材料质量, g。

(2) 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。

吸水率常用质量吸水率表示,即材料在水中吸入水的质量与干燥状态时材料质量之比。并用下式计算:

$$W_m = m_w / m_0 \times 100\% \quad (2.12)$$

式中 W_m ——材料的质量吸水率, %;

m_w ——吸水达饱和后材料中所吸收水分的质量, g;

m_0 ——干燥状态材料的质量, g。

有时,材料(尤其是对于高度多孔的材料)的吸水率用体积吸水率表示,即材料内吸入水的体积与材料的表观体积之比。并用下式表示:

$$W_V = V_w / V_0 \times 100\% \quad (2.13)$$

式中 W_V ——材料的体积吸水率, %;

V_w ——吸水饱和后,材料中所含水分的体积, cm^3 ;

V_0 ——材料的表观体积, cm^3 。

在自然状态下(常温常压下),吸水饱和时,吸入的水充满了开口孔隙,即吸入水的体积与开口孔体积相等,因此材料的体积吸水率与开口孔隙率在数值上相等。

将上式变换可导出体积吸水率与质量吸水率的关系:

$$W_V = W_m \times \frac{m_0}{V_0} \times \frac{1}{\rho_w} = W_m \times \rho_0 \quad (2.14)$$

式中 ρ_0 ——材料的表观密度, g/cm^3 ;

ρ_w ——水的密度, g/cm^3 , 取为 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 。

材料吸水率的大小,不仅取决于材料对水的亲、憎性,还取决于材料的孔隙率及孔隙特征。密实的材料、具有极细小孔或封闭孔的材料在自然环境中是不吸水的;具有较粗大孔或空腔的材料由于水不易在其内部留存,在空气中,水分只能润湿孔隙的内壁,因而其吸水率也常小于其开口孔隙率;而那些孔隙率较大且具有细小开口连通孔的亲水材料往往具有较大的吸水能力。

材料在水中吸水饱和后,吸入水的体积与孔隙体积之比称为饱和系数。

$$K_B = V_w / (V_0 - V) \times 100\% \quad (2.15)$$

式中 K_B ——材料吸水饱和系数, %。

由于吸水饱和后, $W_V = P_K$, 上式可变换为:

$$K_B = W_V / P = P_K / P \quad (2.16)$$

饱和系数说明了材料中的孔能被水饱和的程度,也反映了材料的孔隙特征,若 $K_B = 0$,说明材料内无孔或全部为闭口孔;若 $K_B = 1$,则说明材料内所有的孔均为开口孔。材料的饱和系数的大小,常用来判断材料的其他性能,如饱和系数 $K_B > 0.85$ 的材料其抗冻性往往很差。

材料吸水后,不但可使材料的质量增加,而且会使其强度降低,保温性能下降,抗冻性能变差,有时还会发生明显的体积膨胀。在潮湿的条件下,金属材料(如钢材)易发生锈蚀,木材易遭腐朽等。可见,材料中含水对材料的性能往往是不利的,因此在建筑物上总是要采用各种措施来保持材料处于干燥状态。

3. 耐水性

材料长期在饱和水作用下,保持其原有性质的能力称为耐水性。

一般来说,材料含水后,水将以不同方式减弱材料内部结合力,使强度产生不同程度的降低,即材料被水所软化。材料的耐水性用软化系数表示: