



建筑材料试验手册

主编：北京土木建筑学会



冶金工业出版社

建筑材料试验手册

主编单位 北京土木建筑学会

主 编 苏文春

冶金工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料试验手册/北京土木建筑学会编. —北京:
冶金工业出版社, 2006. 2

ISBN 7-5024-3902-1/TU • 160

I. 建... II. 北... III. 建筑材料—材料试验—手
册 IV. TU502-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 150656 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 肖放

廊坊海涛印刷有限公司印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2006 年 2 月第 1 版, 2006 年 2 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 57.25 印张; 2400 千字

96.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

经济的蓬勃发展,给建筑行业带来勃勃生机,新材料、新产品不断涌现,有关的各种国家标准、专业标准迅速更新,广大建筑材料试验检测人员对建筑材料的试验检测面临一个新的挑战。本手册正是为解决建筑业广大材料试验检测人员更快适应建筑业发展的新形势,能快速、准确地检测和鉴定建筑材料质量而编写的。“手册”共分十一章,分别介绍了建筑材料基本性质、试验基础知识、混凝土原材料(水泥、砂、石、混凝土常用掺合料、常用气硬性胶凝材料、混凝土常用外加剂)、混凝土、砂浆、钢材、墙体材料、防水材料、陶瓷、玻璃、饰面保温材料、门窗用材料、管材等实用建筑材料的基本性能、技术指标、试验方法和质量结果评定,为试验检测人员和施工管理人员业务学习和技术培训提供方便。

该手册是一部综合性建筑材料试验检测工具书,在内容上力求“全、新、精、准”,在叙述上力求“简明扼要,图文对照”,在取材上强调“基本、常用、关键、实用”,在形式上和编排上尽量做到能快速便查。因此,该手册具有内容全面而准确,取材先进而实用,编排便于快速查阅等特点。十分适宜建筑材料试验检测人员和建筑工程质量监督人员业务学习、工作参考,也可作为大专院校有关专业师生的参考图书。

本手册收集的资料大部分取自国家和有关部门颁发的最新标准规范。为了便于读者选用和查找,在每个章节的试验项目之前注明了引用资料来源。对于某些尚未修订或正在修订中的标准规范,只能按原标准进行编写。

“手册”在编制过程中得到了北京土木建筑学会的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,经验不足,再加上时间匆迫,难免有疏漏和不当之处,恳请专家、读者批评指正。

编 者

2006年2月

目 录

第1章 建筑材料基本性质及试验

基础知识	1
1.1 概 述	1
1.1.1 建筑材料	1
1.1.2 建筑材料分类	1
1.1.3 建筑材料的主要性质	1
1.2 建筑材料的主要物理性质	2
1.2.1 材料与质量有关的性质	2
1.2.2 材料与水有关的性质	3
1.3 建筑材料的主要力学性质	4
1.3.1 强度	4
1.3.2 弹性与塑性	5
1.3.3 韧性与脆性	5
1.4 试验数据统计分析与处理	5
1.4.1 平均值	5
1.4.2 误差计算	6
1.4.3 变异系数	7
1.4.4 可疑数据的取舍	7
1.4.5 数字修约规则	7
1.4.6 一般关系式的建立	8
1.5 国家法定计量单位	9
1.5.1 法定计量单位的构成	9
1.5.2 法定计量单位的使用规则	12
1.6 取样送样见证人制度	13
1.6.1 见证取样送样的范围	13
1.6.2 见证取样的管理	14
1.6.3 见证人员的基本要求	14
1.6.4 见证人员的职责	14
第2章 混凝土原材料	15
2.1 水 泥	15
2.1.1 概述	15
2.1.2 水泥生产的化学检验	19
2.1.3 通用水泥	40

2.1.4 专用水泥	46
2.1.5 特性水泥	66
2.1.6 水泥检验方法	72
2.1.7 纤维水泥制品试验方法	112
2.1.8 水泥物理检验仪器	120
2.2 砂	127
2.2.1 概述	127
2.2.2 砂的性能检验	129
2.3 石	142
2.3.1 概述	142
2.3.2 石的性能检验	144
2.4 混凝土常用掺合料	159
2.4.1 概述	159
2.4.2 粉煤灰	159
2.4.3 沸石粉	162
2.4.4 粒化高炉矿渣粉	164
2.5 常用气硬性胶凝材料	165
2.5.1 石灰	165
2.5.2 石膏	168
2.5.3 水玻璃	170
2.5.4 菱苦土	172
2.6 混凝土常用外加剂	174
2.6.1 概述	174
2.6.2 混凝土外加剂原材料检验	179
2.6.3 混凝土外加剂匀质性检验	193
2.6.4 掺外加剂混凝土的性能检验	200
2.6.5 混凝土外加剂中释放氨的 限量	202
第3章 混 凝 土	205
3.1 概 述	205
3.1.1 定义	205
3.1.2 常用混凝土的分类	205
3.1.3 混凝土的主要性能	205

3.2 普通混凝土力学性能试验方法	205
3.2.1 试件的制作和养护	205
3.2.2 抗压强度试验	206
3.2.3 轴心抗压强度试验	207
3.2.4 静力受压弹性模量试验	207
3.2.5 劈裂抗拉强度试验	208
3.2.6 抗折强度试验	209
3.3 普通混凝土拌和物性能试验方法	213
3.3.1 取样及试样的制备	213
3.3.2 稠度试验	213
3.3.3 凝结时间试验	214
3.3.4 泌水与压力泌水试验	216
3.3.5 表观密度试验	217
3.3.6 含气量试验	218
3.3.7 配合比分析试验	220
3.4 混凝土和砂浆用颜料及其试验方法	223
3.4.1 产品分类及等级	223
3.4.2 技术要求	223
3.4.3 试验方法	224
3.4.4 检验规则	226
3.4.5 包装、标志、运输及储存	227
3.5 加气混凝土性能检验	227
3.5.1 加气混凝土体积密度、含水率和吸水率试验方法	227
3.5.2 加气混凝土力学性能试验方法	228
3.5.3 加气混凝土干燥收缩试验方法	231
3.5.4 加气混凝土抗冻性试验方法	232
3.5.5 加气混凝土碳化试验方法	232
3.5.6 加气混凝土干湿循环试验方法	233
3.6 普通混凝土配合比设计与应用	234
3.6.1 术语、符号	234
3.6.2 混凝土配制强度的确定	234
3.6.3 混凝土配合比设计中的基本参数	235
3.6.4 混凝土配合比的计算	236
3.6.5 混凝土配合比的试配、调整与确定	237
3.6.6 有特殊要求的混凝土配合比设计	238
3.7 回弹法检测混凝土抗压强度	240
3.7.1 回弹法的基本原理	240
3.7.2 回弹仪	240
3.7.3 检测技术	242
3.7.4 回弹值计算	243
3.7.5 测强曲线	243
3.7.6 混凝土强度的计算	244
3.7.7 回弹法检测混凝土抗压强度实例	244
3.8 钻芯检测离心高强混凝土抗压强度试验方法	255
3.8.1 术语和定义	255
3.8.3 芯样钻取	255
3.8.4 芯样加工	256
3.8.5 抗压强度试验	256
3.8.6 芯样试件混凝土抗压强度推算值的计算	256
3.8.7 试验报告	257
第4章 建筑砂浆	259
4.1 概 述	259
4.1.1 建筑砂浆及其分类	259
4.1.2 建筑砂浆的组成材料及其应用	259
4.1.3 影响砂浆强度的主要因素	259
4.1.4 砌筑砂浆及其拌和物的性质	259
4.2 建筑砂浆的性能检验	260
4.2.1 拌和物取样及试样制备	260
4.2.2 建筑砂浆的稠度试验	260
4.2.3 建筑砂浆的密度试验	261
4.2.4 建筑砂浆的分层度试验	262
4.2.5 建筑砂浆的凝结时间测定	262
4.2.6 立方体抗压强度试验	263
4.2.7 静力受压弹性模量试验	264
4.2.8 抗冻性能试验	265
4.2.9 收缩试验	266

方法	455	7.4.8 自粘橡胶沥青防水卷材	563
6.2.3 混凝土路面砖	461	7.5 高分子防水卷材	567
6.2.4 轻集料混凝土小型空心砌块	467	7.5.1 聚氯乙烯防水卷材	567
6.2.5 蒸压加气混凝土砌块	469	7.5.2 氯化聚乙烯防水卷材	574
6.2.6 装饰混凝土砌块	472	7.5.3 片材	579
6.3 建筑板材	475	7.5.4 止水带	588
6.3.1 纸面石膏板	475	7.5.5 遇水膨胀橡胶	590
6.3.2 蒸压加气混凝土板	481	7.5.6 三元丁橡胶防水卷材	593
6.3.3 钢丝网水泥板	489	7.5.7 氯化聚乙烯-橡胶共混防水 卷材	596
6.3.4 铝塑复合板	494	7.6 沥青基防水涂料	599
6.3.5 水泥木屑板	501	7.6.1 溶剂型橡胶沥青防水涂料	599
6.3.6 美铝曲面装饰板	507	7.6.2 水性沥青基防水涂料	601
6.3.7 纤维增强硅酸钙板	511	7.7 合成高分子防水涂料	606
6.3.8 金属面硬质聚氨酯夹芯板	513	7.7.1 聚氨酯防水涂料	606
6.3.9 金属面岩棉、矿渣棉夹芯板	517	7.7.2 聚合物乳液建筑防水涂料	611
第7章 防水材料	520	7.7.3 聚合物水泥防水涂料	614
7.1 概 述	520	7.8 密封材料	618
7.2 沥 青	525	7.8.1 建筑密封材料术语	618
7.2.1 石油沥青试验的取样	525	7.8.2 建筑防水沥青嵌封油膏	621
7.2.2 石油沥青软化点测定 (环球法)	525	7.8.3 聚氨酯建筑密封膏	624
7.2.3 石油沥青延度测定	526	7.8.4 聚硫建筑密封膏	627
7.2.4 石油沥青针入度测定	527	7.8.5 丙烯酸酯建筑密封膏	630
7.3 沥青防水卷材试验方法	528	7.8.6 聚氯乙烯建筑防水接缝材料	632
7.3.1 总则	528	7.8.7 硅酮建筑密封胶	634
7.3.2 浸涂材料含量	529	7.8.8 高分子防水卷材胶粘剂	638
7.3.3 不透水性	530	第8章 建筑用陶瓷、玻璃	642
7.3.4 吸水性	531	8.1 陶 瓷	642
7.3.5 耐热度	533	8.1.1 陶瓷砖试验方法	642
7.3.6 拉力	533	8.1.2 干压陶瓷砖	647
7.3.7 柔度	534	8.2 玻 璃	649
7.4 沥青防水卷材	534	8.2.1 平板玻璃混合料	649
7.4.1 石油沥青纸胎油毡、油纸	534	8.2.2 平板玻璃用白云石	652
7.4.2 石油沥青玻璃纤维胎油毡	537	8.2.3 玻璃原料粒度测定方法	654
7.4.3 石油沥青玻璃布胎油毡	544	8.2.4 玻璃导热系数试验方法	655
7.4.4 铝箔面油毡	546	8.2.5 玻璃材料弯曲强度试验方法	656
7.4.5 改性沥青聚乙烯胎防水卷材	550	8.2.6 建筑玻璃均布静载模拟风压 试验方法	657
7.4.6 弹性体改性沥青防水卷材	555	8.2.7 玻璃材料弹性模量、剪切模量和泊松	
7.4.7 沥青复合胎柔性防水卷材	560		

比试验方法	660	其检测方法	729
8.2.8 玻璃平均线性热膨胀系数 试验方法	663	10.3.2 建筑外门的空气渗透性能和雨水渗 漏性能分级及其检测方法	732
8.2.9 不透明石英玻璃制品	666	10.3.3 建筑外门保温性能分级及其 检测方法	736
8.2.10 夹层玻璃	669	10.4 塑料门窗	740
8.2.11 中空玻璃	675	10.4.1 PVC 塑料窗建筑物理性能 分级	740
8.2.12 着色玻璃	681	10.4.2 PVC 塑料窗力学性能、耐候性技术 条件及试验方法	741
8.2.13 吸热玻璃	683	10.4.3 塑料门垂直荷载试验方法、软重 物体撞击试验方法	745
第9章 饰面、保温材料	685	10.4.4 PVC 塑料悬转窗	747
9.1 建筑用隔热材料	685	10.4.5 PVC 塑料门	755
9.1.1 建筑物隔热用硬质聚氨酯泡沫 塑料	685	10.4.6 PVC 塑料窗	763
9.1.2 膨胀珍珠岩	686	10.4.7 PVC 塑料地弹簧门	771
9.2 建筑用装饰吸声材料	689	10.5 铝合金门窗	775
9.2.1 矿渣棉装饰吸声板	689	10.5.1 铝合金建筑型材——基材	775
9.3 建筑用胶粘剂	694	10.5.2 铝合金建筑型材——阳极氧化、 着色型材	784
9.3.1 陶瓷墙地砖胶粘剂	694	10.5.3 铝合金建筑型材——电泳涂漆 型材	788
9.3.2 壁纸胶粘剂	696	10.5.4 铝合金建筑型材——粉末喷涂 型材	791
9.3.3 天花板胶粘剂	700	10.5.5 铝合金建筑型材——氟碳漆喷涂 型材	795
9.3.4 半硬质聚氯乙烯块状塑料地板胶 粘剂	702	10.5.6 铝合金门	801
9.3.5 木地板胶粘剂	705	10.5.7 铝合金窗	806
第10章 建筑门窗	707	10.5.8 推拉自动门	810
10.1 概 述	707	10.5.9 平开自动门	813
10.1.1 建筑门窗术语	707	10.5.10 轻型金属卷门窗	817
10.2 建筑外窗性能分级及检测方法	712	第11章 管 材	824
10.2.1 建筑外窗抗风压性能分级及 检测方法	712	11.1 建筑用排水管材	824
10.2.2 建筑外窗气密性能分级及 检测方法	715	11.1.1 建筑排水用硬聚氯乙烯 管材	824
10.2.3 建筑外窗水密性能分级及 检测方法	717	11.1.2 建筑排水用硬聚氯乙烯 管件	826
10.2.4 建筑外窗保温性能分级及 检测方法	720	11.2 建筑用给水管材	832
10.2.5 建筑外窗空气声隔声性能分级及 检测方法	725	11.2.1 建筑给水用硬聚氯乙烯 (PVC-U)管材	832
10.2.6 建筑外窗采光性能分级及 检测方法	727		
10.3 建筑外门性能分级及检测方法	729		
10.3.1 建筑外门的风压变形性能分级及			

11.2.2 给水用硬聚氯乙烯管件	838	11.3.2 硬聚氯乙烯(PVC-U)双壁波纹	
11.2.3 给水用高密度聚乙烯		管材	871
(HDPE)管材	854	11.3.3 预应力钢筒混凝土管	874
11.2.4 给水用聚丙烯(PP)管材	857	11.3.4 石棉水泥井管	881
11.2.5 给水用低密度聚乙烯(LDPE、		11.3.5 顶进施工法用钢筋混凝土排	
LLDPE)管材	863	水管	884
11.3 其它用途管材	866	11.3.6 玻璃纤维氯氧镁水泥通风	
11.3.1 埋地排污、废水用硬聚氯乙烯		管道	892
(PVC-U)管材	866	11.3.7 石棉水泥管用橡胶圈	901

第1章 建筑材料基本性质及试验基础知识

1.1 概 述

1.1.1 建筑材料

建筑材料是指用于建(构)筑物所有材料的总称。它除用于建(构)筑物本身的各种材料外,还包括盥洗、浴便、冷暖、通风等设备器材以及施工过程中的临时工程围护结构的墙、桩、板、架等所用材料。

1.1.2 建筑材料分类

建筑材料品种繁多,分类庞杂。按材料在建筑物中的部位,可分为梁、板、柱、屋面、墙体、门窗、楼地面等材料;按材料的功能,可分为结构材料、围护材料、隔声保温材料、装饰材料、防水防火材料等;按材料的化学成分,可分为无机材料、有机材料等。建筑材料按材料的化学成分进行分类如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 建筑材料按化学成分分类

建筑材料	分 类			实 例
	无机材料	金属材料	黑色金属	生铁、非合金钢、低合金钢、合金钢
			有色金属	铝、铜及其合金
		非金属材料	天然石材	毛石、料石、石板材、碎石、卵石、砂
			烧土制品	烧结砖、瓦、陶器、炆器、瓷器
			玻璃及熔融制品	玻璃、玻璃棉、岩棉、铸石
			胶凝材料	气硬性:石灰、石膏、菱苦土、水玻璃 水硬性:各类水泥
			混凝土类	砂浆、混凝土、硅酸盐制品
	有机材料	植物质材料		木材、竹材、植物纤维及其制品
		合成高分子材料		塑料、橡胶、胶黏剂、有机涂料
		沥青材料		石油沥青、沥青制品
	复合材料	金属——非金属复合		钢筋混凝土、钢筋纤维混凝土
		非金属——有机复合		沥青混凝土、聚合物混凝土、玻璃增强混凝土、水泥刨花板

1.1.3 建筑材料的主要性质

1.1.3.1 物理性质

材料的物理性质包括材料的物理状态特点,如密度、表观密度、孔隙率、密实度等和材料的各种物理过程,如:材料的水物理、热物理、声电物理以及抵抗物理侵蚀的耐水性、抗冻性能。

1.1.3.2 化学性质

材料的化学性质是指材料与环境介质进行化学反应的能力,或者在比较稳定的惰性环境中保持其组成与结构相对稳定的能力。

化学反应能够改变材料原来的基本性质,如溶

解、结晶、硬化、软化、老化、腐蚀等,因此在研究材料的化学性质时,必须要善于把不利因素引导改变向有利因素转化,这就是我们要讨论的化学稳定性。

化学稳定性是指抵抗有害介质作用的性能。材料在侵蚀性介质(酸、碱、盐等溶液及气体)作用下将因腐蚀而引起破坏。破坏程度首先取决于材料的组成和密实度。化学稳定性可通过材料的化学分析来评定,即利用材料化学组成的碱性率(M_o)来表示:

$$M_o = \frac{\omega(\text{CaO}) + \omega(\text{MgO}) + \omega(\text{Na}_2\text{O})}{\omega(\text{SiO}_2) + \omega(\text{Al}_2\text{O}_3)}$$

在无机材料化学组成中如 SiO_2 占优势,即碱性率较低时,这种材料有较高的耐酸度;如碱性氧化物占优势,即碱性率较高时,这种材料不耐酸,但在碱作用下不破坏。有机材料(木材、沥青、塑料)在一般温度下,对弱酸和弱酸介质有较好的抵抗能力。但是,大部分的建筑材料在侵蚀介质作用下将受到腐蚀,因此要求有良好有效的防腐措施。

1.1.3.3 力学性质

材料的力学性质是指材料受到力的作用后形成的性质,如强度、弹性与塑性、冲击韧性与脆性、硬度与耐磨性等。

1.1.3.4 耐久性

材料的耐久性是指材料保持工作性能直到破坏状态的性质。它一般是以具体气候条件和使用条件下,保持工作性能的期限来衡量。

由于材料组成和结构的不同,使用条件的不同,其破坏情况各异。例如:无机质的非金属材料如石材和混凝土,在大气中主要受到外力、徐变、风化等物理作用的破坏;处于水中时,还可能受到化学侵蚀作用;在严寒地区,还要受到冻融侵害。在这诸因素共同作用下,材料将发生严重破坏。无机质的金属材料,在大气和水中,主要是受到酸、碱、盐溶解质及有害气体的化学腐蚀而破坏;有机质材料的木材,常常由于外力、虫蛀、菌类的作用造成腐朽而破坏。沥青材料在阳光、大气和温度的作用下,由于老化而开裂。

对材料耐久性最可靠的判断,是在使用条件下进行长期的观察和测定。但是这需要很长时间。因此人们根据长期生产实践和科学试验的探索积累并根据使用要求,常用于湿循环、加湿与紫外线干湿循环、化学介质浸渍循环、冻融循环、碳化等快速试验方法,对材料的耐久性做出有效的判断。

1.2 建筑材料的主要物理性质

1.2.1 材料与质量有关的性质

1.2.1.1 密度

材料在绝对密实状态下,单位体积的质量称为密度,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.2.1)$$

式中 ρ ——材料的密度(g/cm^3 或 kg/m^3);①

m ——材料的质量(g 或 kg);

V ——材料在绝对密实状态下的体积,即材

料体积内固体物质的实体积(cm^3 或 m^3)。

建筑材料中除少数材料(如钢材、玻璃等),大多数材料都含有一些孔隙。为了测得含孔材料的密度,应把材料磨成细粉除去内部孔隙,用李氏瓶测定其实体积。材料磨得越细,测得的体积越接近绝对体积,所得密度值越准确。

1.2.1.2 体积密度与表观密度

1. 体积密度

材料在自然状态下,单位体积包括所有孔隙在内的质量称为体积密度,即

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1.2.2)$$

式中 ρ_0 ——材料的体积密度(kg/m^3 或 g/cm^3);

m ——在自然状态下材料的质量(kg 或 g);

V_0 ——在自然状态下材料包括所有孔隙在内的体积(m^3 或 cm^3)。

2. 表观密度

材料在自然状态下,单位体积包括闭口孔在内的质量称为表观密度,即

$$\rho' = \frac{m}{V'} \quad (1.2.3)$$

式中 ρ' ——材料的表观密度(kg/m^3 或 g/cm^3);

m ——在自然状态下材料的质量(kg 或 g);

V' ——在自然状态下材料只包括闭口孔在内的体积(m^3 或 cm^3)。

在自然状态下,材料内部的孔隙可分为两类:孔之间相互连通,且与外界相通的孔,称为开口孔;孔互相独立,不与外界相通的孔,称为闭口孔。大多数材料在使用时其体积为包括内部所有孔在内的体积,即自然状态下的外形体积(V_0),如砖、石材、混凝土等。有的材料如砂、石在拌制混凝土时,因其内部的开口孔被水占据,因此材料体积只包括材料实体及其闭口孔体积(V')。为了区别两种情况,常将包括所有孔隙在内的密度称为体积密度;把只包括闭口孔在内的密度称为表观密度(亦称视密度)。表观密度在计算砂、石在混凝土中的实际体积时有实用意义。

在自然状态下,材料内部常含有水分,其质量随含水程度而改变,体积密度或表观密度值通常取气干状态下的数据,否则应注明是何种含水状态。

1.2.1.3 堆积密度

粉状及颗粒状材料在堆积状态下,单位体积的

① 介绍材料性质或试验时,材料密度单位用 g/cm^3 ;工程计算时,材料密度单位一般用 kg/m^3 。

质量称为堆积密度,即

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1.2.4)$$

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)。

散粒材料的堆积体积,会因堆放的疏松状态不同而异,必须在规定的装填方法下取值。因此,堆积密度又有松堆密度和紧堆密度之分。

在建筑工程中,进行配料计算、确定材料的运输量及堆放空间、确定材料用量及构件自重等,经常用到材料的密度、体积密度或表观密度和堆积密度值。

1.2.1.4 孔隙率和密实度

孔隙率是指在材料体积内,孔隙体积所占的比例,以 P 表示,即

$$\begin{aligned} P &= \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{V}{V_0}\right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1.2.5) \end{aligned}$$

对于绝对密实体积与自然状态体积的比率,即式中的 V/V_0 ,定义为材料的密实度。密实度表征了在材料体积中,被固体物质所充实的程度。同一材料的密实度和孔隙率之和为 1。

材料孔隙率的大小、孔隙粗细和形态等,是材料构造的重要特征,它关系到材料的一系列性质,如强度、吸水性、抗渗性、抗冻性、保温性、吸声性等。孔隙特征主要指孔的种类(开口孔与闭口孔)、孔径的大小与分布等。实际上绝对闭口的孔隙是不存在的,在建筑材料中,常以在常温常压下,水能否进入孔中来区分开口孔与闭口孔。因此,开口孔隙率(P_k)是指在常温常压下能被水所饱和的孔体积(即开口孔体积 V_k)与材料的体积之比,即

$$P_k = \frac{V_k}{V_0} \times 100\% \quad (1.2.6)$$

闭口孔隙率(P_b)便是总孔隙率(P)与开口孔隙率(P_k)之差,即 $P_b = P - P_k$ 。

1.2.1.5 空隙率和填充度

空隙率是指在颗粒状材料的堆积体积内,颗粒间空隙所占的比例,以 P' 表示,即:

$$\begin{aligned} P' &= \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{V_0}{V'_0}\right) \times 100\% \end{aligned}$$

$$= \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (1.2.7)$$

式中的 V_0/V'_0 ,即填充度,表示散粒材料在某种堆积体积中,颗粒的自然体积占有率。

空隙率或填充度的大小,都能反映出散粒材料颗粒之间相互填充的致密状态。

当计算混凝土中粗细骨料的空隙率时,由于混凝土拌和物中的水泥浆能进入砂子、石子的开口孔内(即开口孔也作为空隙),因此 ρ_0 应按砂石颗粒的表观密度 ρ' 计算。

1.2.2 材料与水有关的性质

1.2.2.1 吸水性及吸湿性

1. 吸水性

材料在水中能吸收水分的性质称为吸水性。吸水性大小用吸水率表示,吸水率常用重量吸水率,即材料在水中吸入水的重量与材料干重量之比表示,即

$$\omega_m = \frac{m_1 - m}{m} \times 100 \quad (1.2.8)$$

式中 ω_m ——材料的重量吸水率(%);

m_1 ——材料吸水饱和后的重量(g 或 kg);

m ——材料在干燥状态下的重量(g 或 kg)。

对于高度多孔、吸水性极强的材料,其吸水率可用体积吸水率,即材料吸入水的体积与材料在自然状态下体积之比表示:

$$\omega_v = \frac{V_w}{V_0} = \frac{m_1 - m}{V_0} \times 100 \quad (1.2.9)$$

式中 ω_v ——材料的体积吸水率(%);

V_w ——材料吸水饱和时水的体积(cm^3)。

材料吸水率的大小主要取决于材料的孔隙率及孔隙特征,密实材料及只具有闭口孔的材料是不吸水的;具有粗大孔的材料因不易吸满水分,其吸水率常小于孔隙率;而那些孔隙率较大,且具有细小开口连通孔的材料往往具有较大的吸水能力。

材料吸水后,不但可使重量增加,而且会使强度降低,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,可见材料中含水对材料的性能往往是不利的。

2. 吸湿性

材料在潮湿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的重量占干燥材料重量的百分数,按式(1.2.10)计算:

$$\omega_m' = \frac{m'_1 - m}{m} \times 100 \quad (1.2.10)$$

式中 ω_m' ——材料的含水率(%);

m' ——材料含水时的重量(g);

m ——材料干燥至恒重时的重量(g)。

材料吸湿性的多少,不仅与材料本身有关,同时还随所处环境的温度、湿度的变化而变化。材料在空气中能吸收空气中的水分而变湿;湿的材料在空气中能失去(散发)水分而逐渐变干,最终将使材料中的水分与周围空气湿度达到平衡,这时材料的含水率称为平衡含水率或气干含水率。

1.2.2.2 耐水性

材料长期受饱和水作用,能维持原有强度的能力,称为耐水性。耐水性常以软化系数表示:

$$k = \frac{f_1}{f} \quad (1.2.11)$$

式中 k ——软化系数;

f_1 ——材料在饱水状态下的抗压强度(MPa);

f ——材料在干燥状态下的抗压强度(MPa)。

软化系数 k 值,处于 0 和 1 之间,接近于 1,说明耐水性好。受水浸泡或处于潮湿环境中的重要建筑物所选用的材料,其软化系数不得低于 0.85。因此,软化系数大于 0.85 的材料,常被认为是耐水的。干燥环境中使用的材料可不考虑耐水性。

1.2.2.3 抗渗性

材料抵抗压力水或油等液体渗透的性质称为抗渗性(或不透水性)。材料的抗渗性常用抗渗等级来表示,如 P6、P8、P10...等。抗渗等级用材料抵抗压力水渗透的最大水压力值来确定。其抗渗等级愈大,则材料的抗渗性愈好。

材料的抗渗性也可用其渗透系数 K 表示, K 值愈大,表明材料的透水性愈好,抗渗性愈差。

材料的抗渗性主要取决于材料的孔隙率及孔隙特征。密实的材料,具有闭口孔或极微细孔的材料,实际上是不会发生透水现象的。具有较大孔隙率,且为较大孔径、开口连通孔的材料往往抗渗性比较差。

对于地下建筑及水工构筑物等经常受压力水作用的工程所用材料及防水材料都应具有良好的抗渗性能。

1.2.2.4 抗冻性

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

试验中,材料在 -15°C 冻结后,再于 20°C 的水中融化,称为一次冻融循环。冻结温度不应高于 $-$

15°C ,因为水在微小的细孔中在低于 -15°C 的温度下才能冻结(一般在普通大体积混凝土中, -3°C 时水可冻结)。水在冻结时体积约增大 9%,对材料孔壁产生可达 100MPa 的压力,在压力的反复作用下,使孔壁由表面至内部产生裂纹、剥落、崩潰,因而使强度降低,甚至破坏。材料的冻结是由表及里,可使材料内外产生温差,这种冻融温差所引起的温度应力,加速造成了材料孔壁的破坏。材料冻融循环的破坏作用,还与材料相互贯通的孔隙大小和充水程度有关,材料孔隙大,充水量多,再加之冻融次数多,则对材料的破坏越严重。在经过规定的循环冻融次数后,材料重量损失不超过 5%,且强度损失不超过 25% 时,则为抗冻性能好的材料。

由于建筑物的使用环境和等级的不同,根据材料冻融循环次数来划分其抗冻性能的等级,用 F10、F15、F25、F50、F100 等来表示,其所注数字为冻融循环次数。

材料抗冻性能的大小,与材料的组织结构、内部孔隙、强度、吸水性能、耐水性能、抗渗性能等有关,因此在冬季温度低于 -15°C 的地区,其重要工程所使用的材料应提出抗冻要求和做抗冻试验。

1.3 建筑材料的主要力学性质

1.3.1 强度

材料在外力(荷载)作用下,抵抗破坏的能力称为强度。外力(荷载)作用的主要形式有压、拉、弯曲和剪切等,因而所对应的强度有抗压强度、抗拉强度、抗弯(折)强度和抗剪强度,如图 1.3.1 所示。

材料的抗压、抗拉、抗剪强度按式(1.3.1)计算:

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (1.3.1)$$

式中 f_c ——材料的抗压、抗拉、抗剪强度(MPa);

P ——材料受压、拉、剪破坏时的荷载(N);

A ——材料的受力面积(mm^2)。

材料的抗弯强度(也称抗折强度)与材料的受力状态有关。试验时将试件放在两支撑点上,中间施加集中荷载。对矩形截面试件,抗弯强度按式(1.3.2)计算:

$$f_m = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad (1.3.2)$$

式中 f_m ——抗弯强度(MPa);

P ——受弯时破坏荷载(N);

L ——两支点间的距离(mm);

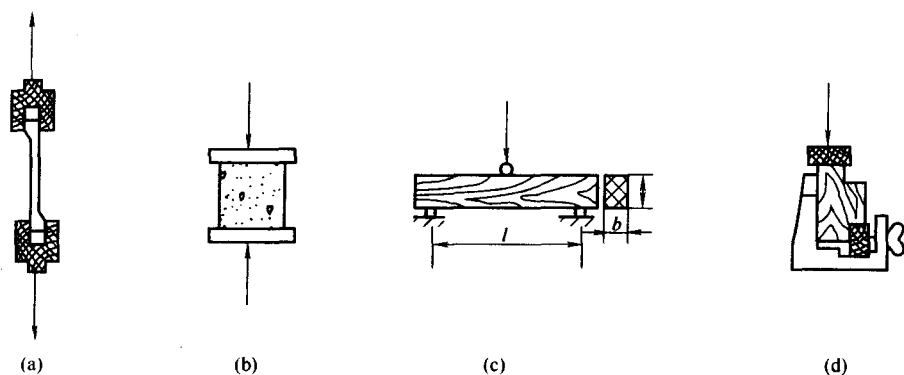


图 1.3.1 材料承受各种外力示意图

(a) 抗拉; (b) 抗压; (c) 抗弯; (d) 抗剪

b, h ——分别为材料的截面宽度和高度 (mm)。

材料的强度和它的成分、构造有关。不同种类的材料,具有不同的抵抗外力的能力,即便是同一种材料,也由于其孔隙率和构造特征不同,强度也会有差异。

1.3.2 弹性与塑性

材料在外力作用下产生变形,当取消外力后能够完全恢复原来形状的性质称为弹性。这种能够恢复原来形状的变形,称为弹性变形(又称瞬时变形)。

材料在外力作用下产生变形,当取消外力后仍保持变形后的形状和尺寸,并且不产生裂缝的性质称为塑性。这种不能恢复原来形状的变形,称为塑性变形(永久变形)。

材料的弹性与塑性除与材料本身的成分有关外,还与外界的条件有关。例如某些材料在一定温度和一定外力条件下,属于弹性,当改变其条件时,亦可以变为塑性性质。

实际上,只有单纯的弹性或塑性的材料都是不存在的。各种材料在不同的外力下,表现出不同的变形性质。

1.3.3 韧性与脆性

1.3.3.1 韧性

材料在冲击、振动荷载作用下,能承受很大的变形而不致破坏的性质称为韧性(或冲击韧性)。建筑钢材、木材、沥青混凝土都属于韧性材料。用作路面、桥梁、吊车梁以及有抗震要求的结构都要考虑材料的韧性。材料的韧性用冲击试验来检验。

1.3.3.2 脆性

材料在外力作用下,直到断裂前只发生弹性变形,不出现明显的塑性变形而突然破坏的性质称为脆性。具有这种性质的材料称为脆性材料,如石材、普通砖、混凝土、铸铁、玻璃及陶瓷等。脆性材料的抗压能力很强,其抗压强度比抗拉强度大得多,可达十几倍甚至更高。脆性材料抗冲击及动荷载能力差,故常用于承受静压力作用的建筑部位,如基础、墙体、柱、墩座等。

1.4 试验数据统计分析与处理

建筑施工中,要对大量的原材料和半成品进行试验,取得大量数据,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。现简要介绍常用的数理统计方法。

1.4.1 平均值

1.4.1.1 算术平均值

这是最常用的一种方法,用来了解一批数据的平均水平,度量这些数据的中间位置。

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \cdots + X_n}{n} = \frac{\sum X}{n} \quad (1.4.1)$$

式中 $\bar{X}$ ——算术平均值;

$X_1, X_2, \cdots, X_n$ ——各个试验数据值;

$\sum X$ ——各试验数据值的总和;

n ——试验数据个数。

1.4.1.2 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:

$$S = \sqrt{\frac{X_1^2 + X_2^2 + \cdots + X_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum X^2}{n}} \quad (1.4.2)$$

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;

$\sum X^2$ ——各试验数据值平方的总和;

n ——试验数据个数。

1.4.1.3 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。如计算水泥平均强度采用加权平均值。计算公式如下:

$$m = \frac{X_1 g_1 + X_2 g_2 + \cdots + X_n g_n}{g_1 + g_2 + \cdots + g_n} = \frac{\sum Xg}{\sum g} \quad (1.4.3)$$

式中 m ——加权平均值;

$X_1, X_2, \cdots, X_n$ ——各试验数据值;

$g_1, g_2, \cdots, g_n$ ——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。

1.4.2 误差计算

1.4.2.1 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: 3 块砂浆试件抗压强度分别为 5.21, 5.63, 5.72 MPa。则这组试件的极差或范围误差为

$$5.72 - 5.21 = 0.51 (\text{MPa})$$

1.4.2.2 算术平均误差

算术平均误差的计算公式为

$$\delta = \frac{|X_1 - \bar{X}| + |X_2 - \bar{X}| + \cdots + |X_n - \bar{X}|}{n} = \frac{\sum |X - \bar{X}|}{n} \quad (1.4.4)$$

式中 δ ——算术平均误差;

$X_1, X_2, X_3, \cdots, X_n$ ——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。

1.4.2.3 标准差(均方根差)

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, 标准差(均方根差)是衡量波动性(离散性大小)的指标。标准差的计算公式为

$$S = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \cdots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (1.4.5)$$

式中 S ——标准差(均方根差);

$X_1, X_2, X_3, \cdots, X_n$ ——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。

1.4.2.4 极差估计法

极差是表示数据离散的范围, 也可用来度量数据的离散性。极差是数据中最大值和最小值之差

$$W = X_{\max} - X_{\min} \quad (1.4.6)$$

当一批数据不多时($n \leq 10$), 可用极差法估计总体标准差:

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{d_n} W \quad (1.4.7)$$

当一批数据很多时($n > 10$), 要将数据随机分成若干个数量相等的组, 对每组求极差, 并计算平均值:

$$\bar{W} = \frac{\sum_{i=1}^m W_i}{m} \quad (1.4.8)$$

则标准差的估计值近似地用下式计算:

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{d_n} \bar{W} \quad (1.4.9)$$

式中 d_n ——与 n 有关的系数(见表 1.4.1);

m ——数据分组的组数;

n ——每一组内数据拥有的个数;

$\hat{\sigma}$ ——标准差的估计值;

$W, \bar{W}$ ——分别为极差、各组极差的平均值。

表 1.4.1 极差估计法 d_n 系数表

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_n	—	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.970	3.078
$1/d_n$	—	0.886	0.591	0.486	0.429	0.395	0.369	0.351	0.337	0.325

极差估计法主要出于计算方便,但反映实际情况的精确度较差。

1.4.3 变异系数

标准差是表示绝对波动大小的指标,当测量较大的量值,绝对误差一般较大;测量较小的量值,绝对误差一般较小。因此要考虑相对波动的大小,即用平均值的百分率来表示标准差,即变异系数。计算式为:

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 \quad (1.4.10)$$

式中 C_v ——变异系数(%);

S ——标准差;

$\bar{X}$ ——试验数据的算术平均值。

变异系数可以看出标准偏差不能表示出数据的波动情况。如:

甲、乙两厂均生产 32.5 级矿渣水泥,甲厂某月生产的水泥抗压强度平均值为 39.84MPa,标准差为 1.68MPa,同月乙厂生产的水泥 28d 抗压强度平均值为 36.2MPa,标准差为 1.62MPa,求两厂的变异系数。

$$\text{甲厂 } C_v = \frac{1.68}{39.8} \times 100 = 4.22(\%)$$

$$\text{乙厂 } C_v = \frac{1.62}{36.2} \times 100 = 4.48(\%)$$

从标准差看,甲厂大于乙厂。但从变异系数看,甲厂小于乙厂,说明乙厂生产的水泥强度相对跳动要比甲厂大,产品的稳定性较差。

1.4.4 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,应按数理统计方法给以鉴别并决定取舍。常用方法有三倍标准差法和格拉布斯方法。

1.4.4.1 三倍标准差法

这是美国混凝土标准(ACT214—65)的修改建议中所采用的方法。它的准则是 $|X_i - \bar{X}| > 3\sigma$ 时不舍弃。另外还规定 $|X_i - \bar{X}| > 2\sigma$ 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。

1.4.4.2 格拉布斯方法

(1) 把试验所得数据从小到大排列: $X_1, X_2, \dots, X_n$ 。

(2) 选定显著性水平 α (一般 $\alpha = 0.05$), 根据 n 及 α 从 $T(n, \alpha)$ (表 1.4.2) 中求得 T 值。

(3) 计算统计量 T 值:

设 X_1 为可疑时, 则 $T = |\bar{X} - X_1|/S$;

当最大值 X_n 为可疑时, 则 $T = X_n - \bar{X}/S$

式中 $\bar{X}$ ——试件平均值, $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$;

X_i ——测定值;

n ——试件个数;

S ——试件标准差, $S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$ 。

(4) 查表 1.4.2 中相应于 n 与 α 的 $T(n, \alpha)$ 值。

表 1.4.2 $T(n, \alpha)$ 值

$\alpha/\%$	当 n 为下列数值时的 T 值							
	3	4	5	6	7	8	9	10
5.0	1.15	1.46	1.67	1.82	1.94	2.03	2.11	2.18
2.5	1.15	1.48	1.71	1.89	2.02	2.13	2.21	2.29
1.0	1.15	1.49	1.75	1.94	2.10	2.22	2.32	2.41

(5) 当计算的统计量 $T \geq T(n, \alpha)$ 时, 则假设的可疑数据是对的, 应予舍弃。当 $T < T(n, \alpha)$ 时, 则不能舍弃。

这样判决犯错误的概率为 $\alpha = 0.05$ 。相应于 n 及 $\alpha = 1\% \sim 5.0\%$ 的 $T(n, \alpha)$ 值列于表 1.4.2。

以上两种方法中, 三倍标准差法最简单, 但要求较宽, 几乎绝大部分数据可不舍弃。格拉布斯方法适用于标准差不能掌握时的情况。

1.4.5 数字修约规则

GB 3101—93“标准化工作导则——编写标准的一般规定”中对数字修约规则作了具体规定。在制订、修订标准中, 各种测量值、计算值需要修约时, 应按下列规则进行。

(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。

修约前 26.4843 修约后 26.5

(3) 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 修约到保留小数一位。

修约前 1.0501 修约后: 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