



国家级实验教学示范中心
“土木工程实验教学中心”系列实验教材
西南交通大学“323实验室工程”系列教材

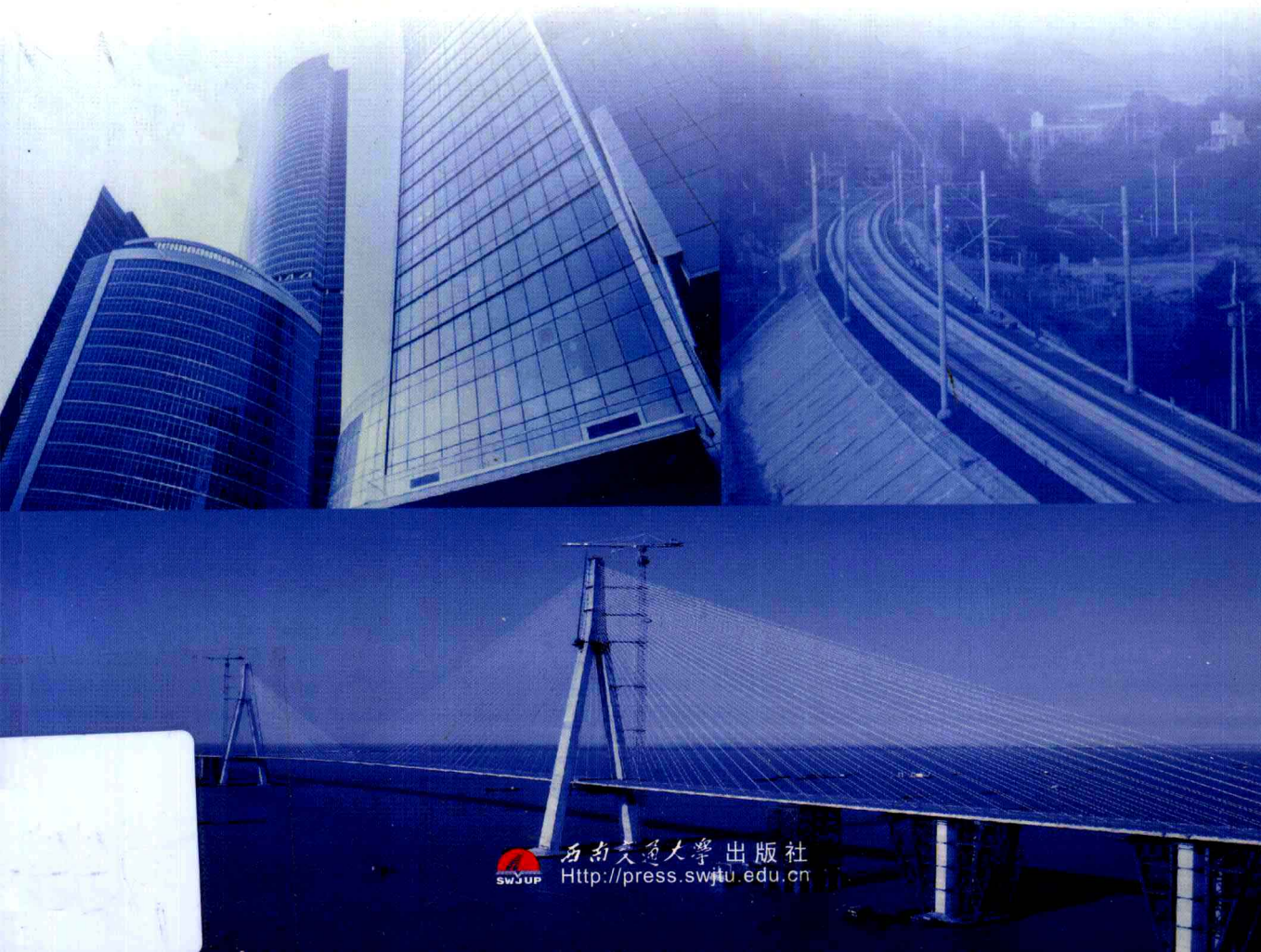
建筑材料试验教程

JIANZHU CAILIAO SHIYAN JIAOCHENG

主编 李国华 杨彦克 何川祥

主审 叶跃忠

西南交通大学实验室及设备管理处



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

国家级实验教学示范中心

“土木工程实验教学中心”系列实验教材

西南交通大学“323 实验室工程”系列教材

建筑材料试验教程

主编 李固华 杨彦克 何川祥

主审 叶跃忠

西南交通大学实验室及设备管理处

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

建筑材料试验教程 / 李国华, 杨彦克, 何川祥主编.
成都: 西南交通大学出版社, 2009.9

(国家级实验教学示范中心“土木工程实验教学中心”系列实验教材. 西南交通大学“323 实验室工程”系列教材)

ISBN 978-7-81104-703-5

I. 建… II. ①李…②杨… ③何… III. 建筑材料—实验—高等学校—教材 IV. TU5-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 094052 号

国家级实验教学示范中心

“土木工程实验教学中心”系列实验教材

西南交通大学“323 实验室工程”系列教材

建筑材料试验教程

主编 李国华 杨彦克 何川祥

*

责任编辑 高 平

特邀编辑 杨 勇

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蜀通印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 10.375

字数: 256 千字 印数: 1—3 000 册

2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-81104-703-5

定价: 16.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本教程为西南交通大学“323 实验室工程”系列教材之一，为加强理论联系实际，培养学生的实验能力，根据高等工科院校《建筑材料及试验教学大纲》编写而成，适用于土木工程、工程管理等本科专业。内容包括建筑材料的基本性能、水泥、普通混凝土、建筑砂浆、建筑钢材、沥青材料、木材、烧结砖等，同时对建筑材料试验的一般规定、数据分析、常用数理统计方法等进行概述。

近年来，我国土木工程事业发展迅速，建筑材料的标准、规范变化很大，试验中的新技术、新方法不断出现，本书全部采用最新的标准和规范，在注重材料的基本试验的基础上，增加部分新的实验方法，如混凝土耐久性设计所需要的 ASTM 的电通量实验方法等。

建筑材料试验不但是建筑材料课程必需的实践环节，而且是为土木工程中材料的检测打下基础，单独列出建筑材料试验教程目的是加强建筑实验环节，本书计划学时为 17 学时。

本教材第一章、第三章、第六章、第九章由李固华编写，第四章、第五章由杨彦克编写，第二章、第七章、第八章由何川祥编写。全书由叶跃忠主审。在编写过程中，潘绍伟老师和西南交通大学建筑材料实验室的老师关于初稿提供了宝贵意见，编者谨向他们表示感谢，同时也向本书所列参考文献的作者表示谢意。

编 者

2009 年 7 月

目 录

第一章 建筑材料试验概论	1
一、建筑材料技术标准简介	1
二、建筑材料试验基本技能	2
三、试验数据的处理	5
第二章 建筑材料的基本性质及其试验	10
第一节 建筑材料的基本性质	10
一、材料的组成、结构和构造	10
二、材料的基本性质	12
第二节 材料的基本性质试验	26
一、密度试验（密度瓶法）	26
二、表观密度试验（静水称量法）	27
三、吸水率试验	29
四、饱水率试验（真空法）	30
五、干燥、饱水试件单轴抗压强度试验	32
六、坚固性试验（硫酸钠浸蚀法）	34
第三章 水泥及其检验	36
第一节 通用水泥的定义和技术性质	36
一、水泥的主要技术性质	36
二、其他技术性质	38
第二节 水泥性能检验	39
一、一般规定	39
二、水泥细度（80 μm 筛析法）测定（GB 1345—2005）	40
三、水泥标准稠度用水量测定（GB/T 1346—2001）	41
四、水泥凝结时间测定（GB/T 1346—2001）	43
五、水泥安定性测定（GB/T 1346—2001）	45
六、水泥胶砂强度测定（ISO 法）（GB/T 17671—1999）	47
第四章 混凝土性能及其试验	50
第一节 混凝土基本性能概述	50
一、混凝土原材料	50
二、混凝土的基本性能	54
三、混凝土配合比设计	61

第二节 混凝土试验方法	71
一、砂、石材料试验	71
二、新拌混凝土试验	79
三、混凝土力学性能试验	83
四、混凝土耐久性试验	90
第五章 砂浆基本性能及其试验	93
第一节 砂浆基本性能	93
一、砂浆拌和物的和易性	93
二、砂浆硬化后的主要性能	94
第二节 砂浆试验方法	95
一、砂浆稠度试验	95
二、砂浆分层度试验	95
第六章 建筑钢材及其试验	97
第一节 建筑钢材的技术性能与技术标准	97
一、钢材的力学性能	97
二、钢材的工艺性能	100
三、冷拉与时效对钢材性能的影响	100
四、钢材的技术标准	101
第二节 钢材的试验	104
一、一般规定	104
二、拉伸试验 (GB 1499.1—2008, GB 1499.2—2007, GB/T 228—2002)	105
三、硬度试验	107
四、冲击试验 (GB/T 229—2007)	110
五、冷弯试验 (GB/T 232—1999)	111
第七章 石油沥青材料及其试验	114
第一节 石油沥青及其混合料	114
一、石油沥青的组分与结构	114
二、石油沥青的技术性质	115
三、石油沥青的标准、选用、掺配	118
四、石油沥青改性及改性材料	119
五、煤沥青	119
六、沥青混合料概述	120
第二节 石油沥青及沥青混合料马歇尔稳定度试验	124
试验一 石油沥青牌号试验	124
一、取样方法	125
二、沥青针入度试验 (GB/T 4509—1998)	125
三、沥青延度试验 (GB/T 4508—1999)	127
四、沥青软化点试验 (GB/T 4507—1999)	128

五、石油沥青溶解度试验 (GB/T 11148—2008)	130
六、石油沥青蒸发损失试验 (GB/T 11964—2008)	133
试验二 沥青混合料马歇尔稳定度试验 (T 0709—2000)	135
第八章 木材及其试验	139
第一节 木材的分类、构造及性质	139
一、木材的分类与构造	139
二、木材的宏观构造	139
三、木材的物理性质	140
四、木材的力学性质	141
第二节 木材物理力学性能试验	142
一、木材物理力学试验的一般规定	142
二、木材含水率试验 (GB/T 1931—91)	143
三、木材顺纹抗压强度试验 (GB/T 1935—91)	144
四、木材顺纹抗拉强度试验 (GB/T 1938—91)	145
五、木材抗弯强度试验 (GB/T 1936.1—91)	146
六、木材顺纹抗剪强度试验 (GB/T 1937—91)	148
第九章 砌墙砖及其试验	150
第一节 烧结砖的技术要求	150
一、烧结普通砖	150
二、烧结多孔砖	151
三、烧结空心砖和空心砌块	152
第二节 砌墙砖试验 (GB/T 2542—2003)	153
一、一般规定	153
二、尺寸偏差测试	153
三、抗压强度试验	154
四、抗折强度 (荷重) 试验	155
参考文献	157

第一章 建筑材料试验概论

建筑材料试验是建筑材料课程的一个重要组成部分，它不仅是课堂理论教学不可缺少的一个实践性教学环节，而且是与生产实际密切联系的一门科学技术。检验材料质量，为结构设计、制品制作提供可靠的技术依据；在改善材料性能，改进生产工艺，研制开发新材料与制订材料新标准等方面都离不开材料试验。此外通过试验对培养学生独立工作能力也有帮助。本章所列内容，一方面可使学生通过常规试验的操作，熟悉试验设备、学习操作技术，了解材料性质的检验方法与有关技术标准、规范等；另一方面可使学生对试验设计、数据分析与处理等常用数理统计方法获得初步知识，为开展科学研究等工作打下必要的试验技术基础。建筑材料试验通常包括取样、测试与试验数据的整理、运算与分析等技术。此外，合理选择测试量具、仪器以及了解它们的测试原理，有助于对试验结果进行误差分析和获得可靠的试验结果。

一、建筑材料技术标准简介

技术标准或规范主要是对产品与工程建设的质量、规格及其检验方法等所作的技术规定，是从事生产、建设、科学研究工作与商品流通的一种共同的技术依据。

（一）技术标准的等级

技术标准根据发布单位与适用范围，分为国家标准、部标准与企业标准三级。

1. 国家标准

系指对全国经济、技术发展有重大意义的标准。这一级标准由国家标准主管部门委托有关部门起草，视其性质与涉及的范围，报请国家标准总局会同各部委审批、发布。一般由国家标准总局发布。

2. 部标准

系指全国性的各专业范围的技术标准。它由有关部、局标准机构（研究院、所、工厂）提出或联合提出，报请中央主管部门审批发布，并报国家标准总局备案。

3. 企业标准

凡未颁发国家、部标准的产品与工程等，由企业制订的技术标准，或生产厂为了保证产品质量能符合已颁布的有关标准，制订要求较已颁标准更高的标准，均属企业标准，这类标准由工厂、公司、研究单位起草提出，报请本省、本市有关主管机构审批执行。

各级技术标准，在必要时可以分为试行和正式标准两类。建材技术标准按其特性分为基础标准、方法标准、原材料标准、安全与环境保护标准、包装标准、产品标准等。

（二）技术标准的代号与编号

每个技术标准都有代号和编号，代号用汉语拼音字母表示，编号采用阿拉伯数字由顺序号及年代代号组成，中间加一横线分开。

国家标准的代号为 GB（系国标两字汉语拼音的第一个字母）。例如 GB 175—2007《通用硅酸盐水泥》，表示第 175 号国家标准，为 2007 年批准的。部（局）标准的代号是以国务院所属部（局）的名称统一用两个汉语拼音字母表示，如“TB”“DL”分别为铁道部与电力部标准的代号。

（三）国际标准化组织 ISO

国际性的标准化机构甚多，其中 ISO 是国际上范围与作用最大的标准组织之一，它的宗旨是在世界范围内促进标准化工作的发展，以便于国际性物资交流与互助，并扩大在知识、科学、技术与经济方面的合作。其主要任务是：制订国际标准；协调世界范围内的确标准化工作；报导国际标准化交流情况以及与其他国际性组织合作研究有关标准化问题等。我国是国际标准化协会成员国，当前我国各项技术标准都正向国际标准靠拢，以便于科学技术的交流与提高。

从本质上讲，标准是根据当时的技术水平而制订的，是暂时而又相对稳定的，因此随着技术的发展必须不断地修订。从标准的制订到修订、再修订的周期，世界各国与我国都确定为五年左右。

二、建筑材料试验基本技能

（一）测试技术

1. 取 样

在进行建筑材料试验之前首先要选取试样，即抽检。抽取的试样必须具有独立性和代表性。独立性是指子样的各个检测结果独立互不影响，代表性是指子样的检测结果能够表达母体的质量。样品的独立性容易满足，代表性不容易做到，因此如何提高样品的代表性尤其重要。提高样品的代表性要努力做到：① 提高母体的均质性；② 有足够的抽检数量；③ 随机抽样；④ 减少检测试验误差。

随机抽样是提高子样代表性的主要措施之一，随机抽样可以分为 3 种，即简单随机抽样、系统随机抽样和分层随机抽样。

简单随机抽样是对一批产品中的 n 个子样用同样的概率进行抽样。由于在批量很大而子样很小时进行，不易保证随机抽取。系统随机抽样是将材料按照顺序排列，以 N/n 为抽样间隔， N 为批量， n 为抽样数量，每隔一个间隔抽取 1 个试样。特点是将试样平均分布于不同的部位，可以平均分布的试样中近似地做到随机抽样。分层随机抽样是按照某一特征将整批的产品分为若干小批次，即分层，特点是同一层产品一致，各层间差别较大。分层随机抽样在各层内抽取样品，合在一起组成一个子样。所以分层随机抽样适用于批内有明显分层特点的产品。

2. 仪器的选择

试验中有时需要称取试件或试样的质量,称量时要求具有一定的精确度,如试样称量精度要求为 0.1 g,则应选用感量为 0.1 g 的天平,一般称量精度大致为试样重量的 0.1%。例如砂级配试验中,试样称量为 500 g,则其称量精度为 $500 \times 0.1\% = 0.5 \text{ g}$,故选用称量为 1 000 g、感量为 0.5 g 的天平就能满足要求了,但有时还需要考虑最后运算结果的精度来选用称量设备的精度。另外,测量试件的尺寸,同样的精度需求,一般对边长大于 50 mm 的精度可取 1 mm,对边长小于 50 mm 的精度可取 0.1 mm。对试验机吨位的选择,根据试件加载吨位的大小,一般试样破坏时荷载为其最大显示值的 15%~85%。测试时,如系标准试验,必须按照标准所规定精度选用仪器设备。如混凝土的收缩试验,收缩仪器的标距为 540 mm,测量精度要求 0.01 mm;混凝土弹性模量测试中,变形的标距采用 100 mm,而变形测量精度为 0.001 mm,这是由于混凝土的变形很小,不能采用常用的精度。

3. 试 验

将取得的试样经处理加工或成型,以满足试验所需求的试样或试件。制备方法随试验项目而异,应严格按照各个试验所规定的方法进行。测试时,如系标准试验,必须按照标准所规定的步骤与方法实施。如属于新产品或研究性试验,则需要拟订严格的试验方案与方法,并且应相对稳定,否则测试结果无法比较与评定。

4. 结果计算与评定

对各次试验结果,进行数据处理,一般取几次平行试验结果的算术平均值作为试验结果,当检测数据波动性较大或异常时,应对其取舍。国标或行标均有相应的规定,如国标 GB/T 17671—1999《水泥胶砂强度检测方法》中规定:抗压强度 6 个数据做平均;若有 1 个数据超过平均值的 10%,则用其他 5 个数据做平均;如果 2 个数据超出,则结果作废。GB/T 50081—2002《普通混凝土力学性能试验规程》对混凝土立方抗压强度取舍方法规定:3 个强度数据做平均;如最大值或最小值与中间值的差值超过中间值的 15%,则取中间值作为立方抗压强度值;如 2 个超过则试验作废。

试验结果应满足精确度与有效数字的要求。有效数字为观测值中所有准确数与最末一位欠准数字组成。有效数字位数越多,表示观测值的准确度越高,但观测值有效数字位数受其最大绝对误差所制约。如:水泥、砂、石材料的密度准确至 0.01 g/cm^3 ,其有效数字为 3 位,如 2.08,前面两位是准确的,最末一位是欠准的。在建材试验中,一般取 3 位有效数字,最多取 4 位就足够了。

当试验结果经计算处理后,应给予评定,是否满足标准要求 and 评定其等级,在某种情况下还应对试验结果进行分析,得出结论。

(二) 试验条件

同一材料在不同的试验条件下,会得出不同的试验结果,如试验时的温度、湿度、加荷速度及试件制作情况等都会影响试验数据。

1. 温 度

试验时的温度对某些试验结果影响很大,在常温 $15^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ 下进行试验,对一般材料

来说影响不大,但对感温性强的材料,必须严格控制温度。例如:石油沥青的针入度、延度试验,一定要控制在 25°C 的恒温水浴中进行。又如根据粉状材料密度,测定其体积时,比重瓶与液体温度应控制在 20°C ,否则影响所测体积值的准确性。通常材料的强度也会随试验时温度在升高而降低。如:混凝土强度试验检测室要求 $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$;钢材拉伸试验要求 $10^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$,当作为仲裁试验时为 $23^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

2. 湿 度

试验时试件的湿度也明显影响着试验数据,试件的湿度愈大,测得的强度愈低。因为水分会使材料软化或起尖劈作用产生裂缝而使强度降低,所以干燥试件的强度要比潮湿的高。而脆性材料的弯曲强度可能出现相反的现象,这是由于不均匀的干燥收缩引起的拉应力,会导致干燥试件强度低于潮湿试件强度的结果。若试件较小,干燥缓慢时,同样可得上述结论。所以,在试验时试件的湿度应控制在规定的范围内。当然在物理性能测试中,材料的干湿程度对试验结果的影响应更为突出了。

3. 试件尺寸与受荷面平整度

当试样受压时,沿加荷方向发生纵向变形的同时,按泊松比效应产生横向变形,但由于试件与试验机承压板变形不同,在支承面周界产生摩擦阻力,对试件横向扩张起约束作用,产生所谓环箍效应,提高试件的测试强度值。周界与承压面积之比值愈大,摩擦阻力愈大,强度愈高,故对于同一材料小试件强度比大试件强度为高;同时这种摩擦阻力的影响范围随着与接触面间的距离而变化,距离愈远影响愈小,故相同受压面积之试件,高度大的比高度小的强度低。另外,小试件内部存在孔缝、缺陷的概率小,故通常大尺寸试件测得的强度总比小尺寸试件测得的为低。如混凝土立方抗压强度试验时,采用边长为 150 mm 的试件为标准试件,对于边长为 100 mm 较小的立方体应乘以小于 1.0 的系数,即 0.95 ,而采用边长为 200 mm 的试件则乘以大于 1.0 的系数 1.05 。

试件受荷面的平整度也大大影响测试强度,如受荷面粗糙不平整,会引起应力集中而使强度大为降低。在混凝土强度测试中,不平整达到 0.25 mm 时,强度可能降低 $1/3$ 。上凸下凹引起应力集中更甚,强度下降更大。所以受压面必须平整,如为成型面受压必须适当强度地材料找平。在混凝土、砂浆、水泥胶砂等抗压强度试验成压面选用成型面的顶面(人工磨平的面)为非承压的侧面,而成型面的侧面(与模板接触成型的面)作为承压面。

4. 加荷速度

施加于试件的荷载速度。在可能达到范围内,加荷速度对强度试验结果有较大影响。加荷速度愈慢,测得的强度愈低,这是由于应变有足够的时间发展,应力还不大时变形已达到极限应变,试件即破坏。对混凝土试件如以 40 MPa/min 的加荷速率测得的抗压强度要比 1 MPa/min 速率测得的强度提高 15% 左右。又如按规定速率加荷至极限强度的 90% 左右,并维持荷载不变,则过几分钟或更长一些时间,试件也会破坏。因此对各种材料的力学性能测试,都有加荷速度的规定。

(三) 试验报告

试验的主要内容都应在试验报告中反映。试验报告不同于检测报告,检测报告只有检测

结果和结论,原始记录没有附上,而学生试验报告需要原始记录、计算、结论以及结果分析等。试验报告的形式不尽相同,但其内容一般包括:

- (1) 试验名称、内容;
- (2) 目的、原理;
- (3) 所用仪器设备,仪器设备规格精度和检测或鉴定日期;
- (4) 试样编号、测试数据与计算结果;
- (5) 结果评定与分析;
- (6) 试验条件与日期;
- (7) 试验班组号、试验者等。

试验报告是经过数据整理、计算、编制的结果,而不是原始记录,也不是计算过程的罗列。经整理计算后的数据可用图表表示,达到一目了然的目的。为了编写出符合要求的试验报告,在整个试验过程中必须做好有关现象与原始数据的记录,以便于分析、评定测试结果。

三、试验数据的处理

在取得了原始的观测数据之后,为了达到所需的科学结论,常需要对观测数据进行一系列的分析和处理,最基本的方法是数据处理方法。为了科学地评价数据资料,首先了解有关误差理论,以便确定测试数据的可靠性与精确性。

一般说来,测定值并不是观测对象的真正数值(或称真值),只是客观情况的近似结果。虽然任何一个物理量的真值通常是不可知道的,但是可以估计测定值与真值相差的程度。这与测定值之间的差异,称为测定值的观测误差,简称误差。

(一) 测量及其分类

测量就是对客观事物取得定量的情报,即是对事物的某种特性获得数字的表征,也就是将待测之量直接或间接地与另一个同类的已知量相比较的过程。已知的量是由测量仪器与工具来体现的,作为标准的量。

测量可以分为直接测量、间接测量与综合测量三类。

1. 直接测量

未知量与已知量直接比较,从而直接求得未知量的数值。可用下式表示:

$$Y=X \quad (1.1)$$

式中 Y ——未知量的值;

X ——由测量直接得的数值。

2. 间接测量

未知量系通过一定的公式与几个变量相联系,而不能直接求得,需将分别对各变量进行直接测量所得之值代入公式中,经过计算而得未知量之数值。间接测量可用下式表示:

$$Y=F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.2)$$

式中 $x_1, x_2, \dots, x_n$ ——各函数直接测量之数值。

例如测量材料的弹性模量 E ，利用下列公式：

$$E = \frac{PL}{A\Delta L} \quad (1.3)$$

式中 P ——试件上所加荷载；

L ——测量标距；

A ——试件受荷面积；

ΔL ——标距内试件变形值。

间接测量用得最多，对自然界的全部知识，主要建立在间接测量的基础上。

3. 综合测量

简单地说，使各个未知量以不同的组合形式出现。根据直接测量或间接测量所得数值，通过求解联立方程以求得未知量的数值。例如混凝土强度与回弹值的关系可用下式表示：

$$R = aN^b \quad (1.4)$$

式中 R ——混凝土强度；

N ——混凝土回弹值；

a, b ——系数，可用两个方程或采用回归分析方法求得。

（二）误差的分类

从不同的角度，误差可以有不同的分类方法，按照误差最基本的性质与特点，可以把误差分为三大类：系统误差、随机误差和疏失误差。

1. 系统误差

凡恒定不变或者是遵循一定规律变化的误差称为系统误差或确定性误差。产生系统误差的原因来自测量仪器和工具、测量人员与测量方法和条件等三个方面。

来自测量仪器和工具的系统误差，是由于测量所用的仪器和工人本身不完善而产生的误差。例如：天平砝码不准确产生的固定不变的系统误差；等臂天平两臂不等而产生线性规律变化的系统误差；万能试验机的刻度盘指针轴心不在圆心上而产生周期性变化的系统误差，等等。

来自观测者的系统误差，是由于观测者的不同习惯（如有人总是用左眼观测，有人总是用右眼观测，从而造成读数时的视差）所引起的误差。

来自测量方法和条件的系统误差，是由于没有按照正确的方法进行，或者由于外界环境的影响产生的误差。

在一人测量中：如果系统误差很小，则表示测量结果是相当准确的，所以测量的准确度是由系统误差来表征的。

2. 随机误差

凡误差的出现没有规律性，其数值的大小与性质不固定，误差是随机变化的称为随机误差。任何一次测量中，随机误差是不可避免的，而且在同一条件下，反复进行的各次测量中，

随机误差的大小、正负,各有其特征,但就其总体来说,却具有某些内在的共性,即服从一定的统计规律,出现的正负误差概率几乎相等。

随机误差产生的原因是多种多样的,是由于许多互不相干的独立因素引起的,目前尚不完全清楚,但大多数因素与系统误差是一样的,只不过由于变化因素太多或者由于其影响太微小而复杂,以致无法掌握其具体规律。

随机误差不能用试验的方法消除,但其总体是有规律的。根据随机误差的理论分析,一组多次重复测量值的算术平均值是最有代表性的数值,所以在重复测量中,取其算术平均值作为测量结果的一个重要指标。

在具体测量中,如果数值大的随机误差出现的概率比数值小的随机误差出现的概率低得多,则表示测量结果较为精密,所以测量的精密度是随机误差弥散程度的表征。

3. 疏失误差(差错)

由于观测者的疏忽大意、操作错误引起的读数错误、计算错误等,都会使测量数据明显地歪曲,测量结果是完全错误的,这种误差称为疏失误差。疏失误差远远超过同一客观条件下的系统误差与随机误差,凡含有疏失误差的数据应舍去。

(三) 绝对误差与相对误差

绝对误差是表示测定值与真值之偏离,既表示偏离的大小,又指明了偏离的方向,有正负之分,不是误差的绝对值,绝对误差有时就称为误差,它表示测量的准确度。由于真值一般是无法测得的,故通常采用最大绝对误差表示。

相对误差为绝对误差与真值之比,通常可采用百分数(%)表示。相对误差表示测量的精密度,具有可比性。同样,在具体测量中常采用最大相对误差。例如用 250 kN,万能试验机进行钢材抗拉试验时,测得最大荷载为 198 000 N,如果最大绝对误差为 1 000 N,则该观测值的最大相对误差为:

$$\delta_1 = \frac{1\,000}{198\,000} \approx 0.5\%$$

又如用 20 kN 电子万能试验机测试纤维增强水泥板的抗折强度,测得最大荷载为 728 N,如最大绝对误差为 4 N,则该观测值的最大相对误差为:

$$\delta_2 = \frac{4}{728} \approx 0.5\%$$

根据上述两式,说明两者具有相近的最大相对误差,也就是说它们的精密度是相近的。但如各自用最大绝对误差来表示准确度,就可能会得出错误的结论,误认为后者比前者准确。由此可见,最大相对误差给观测值以可比性。关于误差传递可参考有关资料。

(四) 数字修约规则

在试验工作中常常遇到试验规范已经确定的允许误差,应对其按照要求进行修约。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,采用 4 舍 6 入制度。保留数后边(右边)第一个数字小于 5 (不

包括 5) 时, 则舍去。保留数的末位数字不变。

例如: 将 14.243 2 修约到保留一位小数, 修约后为 14.2。

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 1。

例如: 将 26.484 3 修约到保留一位小数, 修约后为 26.5。

(2) 在拟舍弃的数字中保留数后边(右边)第一个数字等于 5, 而 5 后边的数字并非全部为零时, 则进一, 即保留数末位数加 1。

例如: 将 1.050 1 修约到保留小数一位。

修约前 1.050 1 修约后 1.1

(3) 在拟舍弃的数字中, 保留数后边(右边)第一个数字等于 5, 而 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, 若保留的末位数字为偶数(包括“0”)则不进, 即所谓的“单进双舍”制度。

例如: 将下列数字修约到保留一位小数。

修约前 0.350 0 修约后 0.4

修约前 0.450 0 修约后 0.4

修约前 1.050 0 修约后 1.0

(4) 所拟舍弃的数字, 若为两位以上的数字, 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 15.454 6 修约成整数。

正确的修约是: 修约前 15.454 6, 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(结束)
15.454 6	15.455	15.46	15.5	16

(五) 有效数字和有效数字的计算

有效数字是用来表示数的大小的任意一个数中的一个数字。如 0.000 368 km, 0.368 m, 3.68 dm, 36.8 cm, 368 mm 都是 3 位有效数字, 所以其精确度相同。某些数字只是表示小数点的位置, 如 0.000 368 km, 4 个“0”只是表示 3 在小数点后第 4 位。而 0.109 中的小数点前的“0”不是有效数字, 后面的“0”是有效数字。“0”在最后时, 分 2 种情况: 如 0.20 表示 2 为有效数字; 而 200 000 的有效数字则不明确, 一般应表示成 10 的次方, 如 2.0×10^5 为 2 位有效数字, 如为 2.00×10^5 , 则为 3 位有效数字。

一般试验结果需要计算, 故需要掌握有效数字的计算法则。有效数字的计算方法如下:

(1) 加、减计算时, 其和或差的有效数字按照参加计算的各数据中小数点位数最小的数据确定。例如: $15.26 + 3.689 + 1.236 = 20.18$ (3 位小数变为 2 位时需采用数字修约规则)。

(2) 乘、除计算时, 其积或商的有效数字位数按照参加计算的各数据中有效数字位数最少的数(或有效数字的百分误差最大数)确定。如 $3.269 \times 1.68 \times 86.123 = 473$, 参加计算的各数有效数字最少为 3 位, 所以运算后为 3 位。有效数字的百分误差为:

$$1/3\ 269 \times 100 = 0.031$$

$$1/168 \times 100 = 0.59$$

$$1/86\ 123 \times 100 = 0.001\ 2$$

上述百分误差最大的数字是 1.68，所以乘积的有效数字是 3 位。

(3) 常数（如 π ， e ）的有效数字位数可以按照任意位数来定。

(4) 对于带 10 的倍数的数字，应将其化为 10 的方次后进行计算，如：

$$3\ 600\ 000 \times 1.68 = 3.6 \times 10^6 \times 1.68 = 6.1 \times 10^6$$

$$0.000\ 036\ 9 \times 1.6 = 3.69 \times 10^{-5} \times 1.6 = 5.9 \times 10^{-5}$$

第二章 建筑材料的基本性质及其试验

各种不同结构形式、不同使用环境和不同使用功能的现代建筑物是由具有相应优良性能的建筑材料构筑而成的。建筑材料性能的优劣在很大程度上决定了建筑物的安全性、耐久性、适用性和美观性。因此,熟悉和掌握各种建筑材料的技术性质特点及其技术指标试验原理和方法是十分必要的。

第一节 建筑材料的基本性质

影响材料性质的因素很多,通常可以归纳成两部分,即外部因素和材料自身的内部因素。材料的组成、结构和构造是影响其性质的内部因素。

一、材料的组成、结构和构造

(一) 材料的组成

材料的组成包括化学组成和矿物组成,它是决定材料各种性质的重要因素。

化学组成是指构成材料的各种化学元素和氧化物含量。不同化学组成的材料其性质不同,如碳素钢随含碳量的改变,其强度、硬度、塑性、冲击韧性等将发生变化。由于多数建筑材料的化学组成非常复杂,很难找到化学组成与材料性能之间的直接关系。有时即使化学组成相同其性质也不尽相同,如有机高分子材料的同分异构现象等。因此对不同的材料应采用与之相适宜的化学组成分析方法,如石油沥青材料在工程实践中是采用化学组分的分析方法代替化学元素的分析方法。

矿物组成是指构成材料的矿物种类与含量。矿物是具有相对固定的化学成分和结构特征的单质和化合物,包括天然矿物和人造矿物。组成矿物的物质是各种氧化物和无机盐类,无机非金属材料则是由不同的矿物组成的。每一种矿物都具有一些特殊的性质,如果不考虑材料内部各种矿物之间的相互作用,无机非金属材料的性质就取决于组成该材料的各种矿物的相对含量。如硅酸盐水泥中若硬化强度较高的熟料矿物硅酸三钙含量高,则该水泥的硬化强度较高;若水化放热量较小的熟料矿物硅酸二钙含量较多,则该水泥为水化速度较慢的低热水泥。

(二) 材料的结构

材料的结构是决定材料性能的最重要因素。材料的结构是指用肉眼或放大镜不能观察到