

高职高专院校专用教材

GAOZHI GAOZHUAN YUANXIAO ZHUANYONG JIAOCAI

建筑工程实验

JIANZHU GONGCHENG SHIYAN

主 编 黄昌义

广西人民出版社

建筑工程实验

主 编：黄昌义

副主编：沈建增

编 委：唐章柳 苏晓林
黄锦欢 陶星余

广西人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程实验/黄昌义主编. —南宁: 广西人民出版社, 2008. 8

ISBN 978-7-219-06168-8

I. 建… II. 黄… III. 建筑工程—实验 IV. TU—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 053354 号

策 划 王先明

责任编辑 张 平

出版发行 广西人民出版社

社 址 广西南宁市桂春路 6 号

邮 编 530028

网 址 <http://www.gxp-ph.cn>

印 刷 广西民族语文印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 12.125

字 数 302 千字

版 次 2008 年 8 月 第 1 版

印 次 2008 年 8 月 第 1 次印刷

ISBN 978-7-219-06168-8/G · 1490

定 价: 36.00 元

版权所有 翻印必究

前 言

为了贯彻教育部关于高职高专人才培养目标及实验教材建设的总体要求，为培养适应社会需要的高等技术应用性人才，本书主要针对土建类各实验而编写。

《建筑工程实验》主要是针对高职高专建筑类的主要实验教材。主要实验内容包括建筑材料试验、土力学试验、材料力学实验、材料力学实验常用设备简介、电阻应变片测量技术。全书采用了国家最新规范、规程和标准，结合高职高专的特点，强调适用性和实用性。

目 录

绪 论	(1)
概 论	(4)
第一章 建筑材料实验	(13)
§ 1-1 建筑材料基本性质的试验	(13)
§ 1-2 水泥试验	(16)
§ 1-3 混凝土用砂、石性能检验	(25)
§ 1-4 混凝土实验	(34)
§ 1-5 建筑砂浆试验	(40)
§ 1-6 烧结普通砖试验	(42)
§ 1-7 钢筋试验	(44)
§ 1-8 木材试验	(47)
§ 1-9 沥青试验	(50)
§ 1-10 沥青混合料试验	(56)
§ 1-11 实验报告	(62)
第二章 土力学实验	(74)
§ 2-1 试样制备及饱和实验	(74)
§ 2-2 含水率实验	(77)
§ 2-3 密度实验	(80)
§ 2-4 液限和塑限实验	(83)
§ 2-5 颗粒分析实验	(88)
§ 2-6 击实实验	(92)
§ 2-7 渗透实验	(95)
§ 2-8 固结实验	(99)
§ 2-9 直接剪切实验	(103)
第三章 材料力学实验	(112)
§ 3-1 拉伸实验	(112)
§ 3-2 金属的压缩实验	(117)
§ 3-3 引伸计法测定材料的弹性模量 E	(120)
§ 3-4 电测法测定材料的弹性常数 E 和 μ	(122)
§ 3-5 扭转实验	(125)
§ 3-6 材料切变模量 G 的测定	(128)
§ 3-7 矩形截面梁弯曲正应力电测实验	(131)

§ 3-8	薄壁圆管在弯曲和扭转组合变形下的主应力测定	(132)
§ 3-9	金属材料规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.2}$ 的测定	(134)
§ 3-10	冲击实验	(137)
§ 3-11	金属材料疲劳试验	(138)
§ 3-12	悬臂梁振动应力测量实验	(142)
§ 3-13	钻盲孔法测量残余应力	(144)
§ 3-14	拉伸试验中利用微机采集和处理数据	(146)
§ 3-15	压力容器的强度检验(电测法设计性实验)	(148)
第四章	材料力学实验常用设备简介	(150)
§ 4-1	材料试验机及其分类	(150)
§ 4-2	液压式万能试验机	(151)
§ 4-3	电子式万能试验机	(152)
§ 4-4	扭转试验机	(153)
§ 4-5	冲击试验机	(156)
§ 4-6	纯弯曲疲劳试验机	(157)
§ 4-7	机械式引伸计	(158)
§ 4-8	静态电阻应变仪	(159)
§ 4-9	动态电阻应变仪	(167)
§ 4-10	光线示波器	(170)
第五章	电阻应变片测量技术	(175)
§ 5-1	电阻应变片测量技术的基本原理及其分类	(175)
§ 5-2	电阻应变片	(176)
§ 5-3	应变片的黏贴与防护	(178)
§ 5-4	电桥原理	(179)
§ 5-5	应变片在电桥中的接线方法	(181)
§ 5-6	电阻应变仪	(183)
参考文献		(187)

绪 论

一、建筑工程实验的任务和意义

《建筑材料》、《土力学》和《工程力学》的内容和理论清楚表明，实验是理论的基础，也是学科发展的基础。这不仅因为材料的性质和力学性能参数需要通过试验来测定，而且对构件的强度和刚度问题进行理论分析时，也往往是根据实验所观察的现象，提出相应的假设，然后再运用力学和数学的有关知识来分析推证，由此得出结论。这些结论还必须再通过实验来检验。此外，对一些受力和形状复杂的构件，当其强度、刚度和稳定性问题，尚难以用理论分析解决时，更需要运用实验方法寻求解答。因此，建筑工程实验是《建筑材料》、《土力学》和《工程力学》的重要组成部分，是理论密切联系实际实践性环节，也是培养学生观察问题、分析问题和解决问题能力的一个重要途径。由此可见，建筑工程实验对了解、掌握、应用和发展《建筑材料》、《土力学》和《工程力学》理论具有极其重要的意义。

基于上述见解，建筑工程实验教学的主要任务是：

1. 面向生产为生产服务。根据正规生产过程，科学设计的程序应该是：首先了解工况、外载荷、设计范围等；其次是选料、设计尺寸、强度核算和应力分析；然后试生产、现场实测、事故分析，经过长期观察，最后才能投产。建筑工程实验在这里扮演了主要角色。

2. 验证《建筑材料》、《土力学》和《工程力学》理论公式和主要结论，并通过实验来熟悉变形和应变的测试方法以及主要测试仪器。

3. 为《建筑材料》、《土力学》和《工程力学》的理论建设服务。《建筑材料》、《土力学》和《工程力学》的一些理论是以某些假设为基础的，例如杆件的弯曲理论就以平面假设为基础。用实验验证这些理论的正确性和适用范围，有助于加深对理论的认识和理解。至于对新建立的理论和公式，用实验来验证更是必不可少的。实验是验证、修正和发展理论的必要手段。

4. 进行科学实验的基本训练，培养严肃认真的工作作风和实事求是的科学态度，增强观察和发现、分析和解决工程实际问题的能力。

二、建筑工程实验的特点和要求

实验课不同于课堂讲授，它是借助材料试样、试验机和仪器、仪表等实验手段，通过学生亲手操作，给试样加载，同时观测其变形，并经历观察、测量、纪录、分析处理和推理的过程来进行学习的。一般要有人相互配合才能很好地完成实验全过程。因此。需要组合成实验小组并明确分工。在上实验课时。要求人人遵守实验规则和纪律，集中精力，认真操作。细心观测，真实纪录，仔细推理。根据上述实验课的特点，学生应达到以下几个方面的要求：

1. 实验前每人都应明确本次实验的目的、要求、原理和步骤，了解所使用的试验机、仪器的基本构造原理和操作规程（使用方法），做好必要的预习和实验准备，并写出预习报告。

2. 实验过程中应细心观察、测量和纪录各种现象及数据，同时也要记好同组人员分工名单、实验日期、实验场所的温度和湿度、试验机和仪器名称、试样尺寸和试验装置示意图等。要求记录清楚整洁，保持原始状态。在实验中还应提倡主动思索，发挥独立思考能力，结合有关理论对试验中的现象和数据进行分析，使理论与实际联系起来，把实践中获得的感性认识上升为理性认识。

3. 实验后，要及时做好小结，编写实验报告。要求实验报告内容：实验名称、实验日期、实验长随的温度和湿度、实验目的、原理简述、实验布置示意图、使用的试验机和仪器等的名称、实验数据记录、数据处理和实验误差分析讨论等，并要求数据真实，计算正确、书写整洁，描绘实验曲线时应用坐标纸，按多数点的位置绘成光滑的曲线。

4. 为了避免试样形状和尺寸偏差对试验结果的影响，力学实验所用的试样，必须按国家标准制作。如金属拉伸试验的试样标准为 GB6397—86，依此制成试样或定标距试样进行实验。

5. 对试样的加载，主要是运用各种材料试验机，应根据试样所能承受的最大荷载，选择适当的量程（示力度盘），注意其最大载荷不得超过试验机所选量程的 80%，以保证试验机有足够的灵敏度和指示值精度。静载试验的加载速率，要注意缓慢和均匀，按国标 GB228—87 规定，控制弹性阶段应力增加速率不得超过 $30\text{N/mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ （材料的弹性模量 $\geq 1.5 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ ）。

6. 对试样变形量的测定，由于弹性变形一般很小，需用变形仪放大后在测量。据此应了解其构造原理、使用方法和放大倍数。在选用时，要注意使实验中最小变形远大于变形仪上的最小刻度值，而最大变形则不得超过变形仪满量程的 80%。

以上六点是实验成功所必备的条件，也是对学生的主要要求。

三、建筑工程实验的作用和应用前景

在学习《建筑材料》、《土力学》和《工程力学》过程中，学生亲自参加实验活动，有助于提高对课程的学习兴趣，促进学生主动地钻研所学内容，这无疑会增强学习效果。因此，建筑工程实验对学生来说，是非常有用的。首先，它能增进学生对课堂上所涉及的基本概念的理解，比如《建筑材料》、《土力学》和《工程力学》理论分析中所作的基本假设；其次，在实验中会遇到某些实验技术问题，通过解决这些问题，可获得科学实验的初步经验；再次，实验所涉及的力和变形，需要同时测量，并非一人能完成，也就是说需要其他人协作配合，实验才能成功。它无形中培养了学生组织实验的能力。这种能力的培养，是大学生素质教育不可缺少的部分。可见实验对学生或从事材料与工程科学的工作者来说，都是十分重要的。基于实验是固体材料学科发展的基础，而当今各种新型工程材料的开发日新月异，它们固有的力学行为都需要通过实验测定，因此，实验具有广泛的工程应用前景。

近 30 年来，由于激光技术、全息干涉技术、近代光学和超声技术的发展，产生了许多新的实验方法和手段，更丰富了材料力学实验的内容，如全息光弹性法、全息干涉法、

云纹法、散斑干涉法和声弹性法等。这些实验方法在工程上的应用，必将更加扩大和深化材料力学实验在工程上的应用范围。

四、建筑工程实验的发展趋势

1. 实验技术向广度和深度发展。广度：例如日益广泛地应用电阻应变测量技术，使得从真空到高压，从深冷到高温，从静态到高频条件下的应变，都可获得有效的测量数据。又如把经典方法和新兴科学技术结合起来（全息干涉法，全息光弹性法，散斑干涉法，声发射技术等），不断增加测试手段，扩大了测量和应用范围，或提高了测试精度。深度：开展宏观和微观相结合的实验研究，深入探索失效机理和各种影响材料强度因素的规律性。

2. 实验装备的自动化。在实验数据的采集、处理、分析和控制方面实现计算机化。如大型动载实验，已能做到实时的数据处理，大大缩短试验周期，及时提供准确的试验分析数据和图表。即使是多年来难以实现自动化的光弹性仪，也已出现多种光弹性自动测试装置的方案。

3. 随着计算机及有限元分析和其他数值分析方法的应用，其中的材料力学实验正朝着实验与计算相结合，物理模型与数学模型相结合的方向发展。

概 论

本节学习的基本要求，了解实验各个环节的理论意义，熟练掌握实验结果的处理、运算、分析及实验报告的编写，了解常用建筑材料的标准。

建筑材料实验测试的目的是得到材料某一物理量的真值，但是真值是无法测定的，而只能得到近似值，所以我们要设法从测试值中得到代表真值的最佳值。由此可见，材料的总体质量，是通过随机抽取的样本，经测试而得到的实验数据，经加工处理后得到样本信息，通过样本信息来反映材料总体质量。因此，材料测试是个非常重要的学习过程，只有学习掌握此过程，才能得到最可靠的信息来反映材料的总体质量。

建筑材料实验通常包括取样、测试，实验数据的整理，运算与分析等技术问题。

一、常用建筑材料实验的抽样及处理

抽样检验就是通过一个样本来判断总体是否合格。选取试样是建筑材料检验的第一个环节，抽样方法的正确与否直接关系到所检验材料的整体结果，必须制定出一个抽样方案。同时通过检验还要制定出判定其指标的验收标准。这样才能使取样方法具有较高的科学性和代表性。为此，它应考虑的内容包括：

（一）批量的划分

需要检验的一批产品中所包含的单位产品的总量，即为批量。批量的划分首先考虑的是生产的基本条件必须一致，这样样本的分布才会有比较明确的规律性，用从样本中得到的样本信息来估计整批材料的质量才比较可靠。其次要考虑每一批数量，因为批量过大，一旦出现样本强度通不过验收标准，就会增加进一步处理的工作量，但批量过小，样本的容量也相应减小，对总体质量的判断容易产生失误。因此批量的大小，对实际应用及验收的科学性都会产生极大的影响。例如，钢筋取样要求：钢筋应按批进行检查和验收，每批重量不大于 60 吨，每批由同一牌号，同一炉号，同一规格，同一交货状态的钢筋组成。既考虑到生产的基本条件，又恰当地确定了批量的数量。

（二）抽样的规则

样本原则上应以同一批量中随机抽取，由于检验目的不同，不同材料其取样规则也不同，但为了使取样更具有科学性、公正性和代表性，取样规则确定的过程中，也包含着多方面的内容：

1. 取样地点

为了防止材料在运输前及过程中质量的下降，取样地点的确定，是保证材料具有真实质量的关键所在。例如我们所应用的材料，一般规定在施工现场进行取样。如钢材要求进场后取样，而混凝土于浇注地点取样。

2. 样品的保存条件

由于要求不同，反映的情况不同，样品的保存条件也存在着差异。如混凝土制作的试

件，其养护条件有标准养护和同条件养护。而此条件的不同也使混凝土试件强度增长存在差异，测试的结果会因此不同。

3. 时间的确定

很多材料的性能是随着时间的变化而改变的。因此测定的时间不同，所获得的信息结果也会有很多差异。如混凝土，其强度测试龄期，分别有 3 天、7 天、28 天或后期的 90 天、一年等，但其所反映的信息也存在很大差异。

4. 取样的方法

取样方法应视材料而定，为了使取样具有代表性，能客观公正的反映材料的真实质量、取样的方法，即要具有随机性，还要有均匀性、科学性，这样才能保证样本全面真实的反映材料的总体质量。如粗细骨料散粒状材料，取样时，粗骨料 400m^3 为一批，取自料堆的顶、中、底三个不同的高度处，在均匀分布的五个不同部位处，取大致相等的试样各一份，共取 15 份，取样时先将取样部位的表面铲除。于较深处铲取。实验铲取后，要将试样缩分，将取回实验室的试样倒于平整、洁净的拌板上，在自然状态下拌制均匀，然后用四分法缩取各项实验所需的材料数量。四分法缩取的步骤是：将拌制试样摊成厚度约为 20cm 的圆饼形，于饼上划分十字线，将其分成大致相等的四份，除去其中对角的两份，将其余两份按照上述四分法缩取，如此继续进行，直到缩分后的试样质量略多于该项实验所需数量为止，另外还可用分料器进行缩分。其余材料取样参照实验规程。可以看到，只有这样才能全面反映材料质量的真实性。

5. 取样频率及样本容量

取样频率是指一批材料中所取样本的次数。样本容量是指组成样本的单位产品的个数，即取样组数。如混凝土强度每批即 100 盘或 100m^3 取一次试样。或至少每个工作班，或每个现浇板取一次试样，以三个试块为一组，用三个试件的抗压强度平均值作为样本强度的统计数据。此目的在于减少实验误差，提供较可靠的样本信息。取样频率过大会造成实验工作量的加大。过小不能反映批量材料的均匀性。样本的容量不宜过小，过小的样本对总体的质量判断容易失误，适当增大样本容量。虽然会增加取样和实验工作量，但由于减少了判断失误，可从其他方面获得效益。

6. 取样数量的多少决定了试样的科学性和代表性

取样数量多，代表性好，但会造成无谓的浪费和工作量加大。取样数量少，又不具有代表性并会使实验用量不足，因此，合理的取样数量对试样的代表性和实验的完成起着非常大的作用。

二、建筑材料实验影响因素

同一材料在不同的制作条件下或不同的实验条件下，会得出不同的实验结果，以力学实验为例其主要的实验影响因素有：

1. 仪器的选择

实验中仪器的选择对测出材料的大小和精度将产生很大的影响。仪器选择不当，会使测试的结果产生极大的误差，测试过程中，要求测试样品性能指标的大小要与仪器所能测试的量程范围相适应。同时要求所测试样的精确度与实验仪器的精确度相对应。如砂子级配实验中，称取试样的重量为 500g，称量精度为 0.5g，故选用选量为 1000g，精确度为

0.5g 的天平就能满足要求。而测试材料强度的实验中，对压力机测试范围的选择，根据试件荷载范围的大小，应使指针停在实验机度量盘的第二、第三象限内为好。

2. 试件尺寸

实验证明在相同条件下试件的尺寸越小，测得的强度值越高，试件尺寸越大，测得的强度值越小，这是由于大试件内存在的孔隙、裂缝和局部软弱等缺陷的几率大，试件受力时就容易产生应力集中，故会使测试的强度指标较小，而小试件缺陷少，就不易产生应力集中，故测得的强度值就大，因此，试件的尺寸制作要严格按照标准要求，同时测试前，应准确地测量出试件的尺寸。当采用非标准试件时应乘以尺寸效应系数加以调整。

3. 试件的形状

试件的形状不同，其所测试的强度值也不同。棱柱体（高度 h 比横截面的边长 a 大的试件）试件要比立方体形状的试件测得的强度值小，这是因为试件受压面与实验机压板之间存在着摩擦力，因压板刚度大，因此使试件受压时压板的横向应变小于混凝土的横向应变，因此，摩擦力使试件的横向变形受到约束作用，这种约束作用称为“环箍效应”。同时环箍效应随着与压板距离的增大而逐渐减小，当其距压板的距离达到试件边长的 0.866 倍时，环箍效应就基本消失了。可见试件的 h/a 比越大，中间区受环箍效应的影响越小，且 h/a 越大越容易产生偏心受压，故棱柱体的抗压强度（采用 $150 \times 150 \times 300\text{mm}$ 的棱柱体试件）要比立方体的抗压强度（采用 $150 \times 150 \times 150\text{mm}$ 的试件）小。如混凝土的轴心抗压强度和混凝土立方体抗压强度相比，轴心抗压强度仅为立方体抗压强度的 0.7~0.8 倍。

4. 表面状态

当混凝土受压面上有油脂类润滑物时，由于压板与试件间摩擦阻力小，使环箍效应影响大大减小，试件将出现垂直裂纹而破坏，故此测得的强度值小。同时试件表面如粗糙或不平整，会引起应力集中而使测试强度大为降低。实验测试时，必须取试件的平整光洁的表面。

5. 加荷速度

实验时，压力机对试件加荷速度的大小对材料强度值的影响也较大，其原因是试件的变形达到一定程度时破坏才发生，而加荷速度较快时，材料变形的增长速度落后于荷载增加的速度，当荷载增加到破坏荷载之上时，变形才达到破坏程度，故所测的强度值偏高。反之，则测得的强度较低。因此，实验时加荷速度的快慢应严格按照国家规范所要求的加荷速度进行加荷，否则会产生人为的误差，导致实验结果不准。

6. 温度

试件养护的温度及实验时温度的高低，直接影响到实验结果。如混凝土不在标准条件下温度养护，会使其强度增长，或快或慢。此时是无法确定混凝土强度的大小。混凝土的实验的温度也需严格控制。通常材料的强度也会随实验时温度的升高而降低。尤其是对有机材料，如沥青实验中，温度对材料性能有明显影响。

7. 湿度

试件养护的湿度及实验时试件的湿度也明显地影响实验数据，如混凝土试件养护时要求相对湿度达 90% 以上，以保证水泥水化所需的水分。而实验时试件的湿度越大，测得的

强度越低，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，所以干燥试件比湿润的试件测得的强度高。而脆性材料的弯曲强度可能出现相反的现象，所以，试件的养护及测试的湿度应控制在规定的范围内。

通过以上内容可以看出，实验条件直接影响到所测试材料的实验结果，故实验时必须严格按照实验操作规程进行，否则会直接影响到实验数据的准确性。

三、实验结果的分析处理及实验报告

在取得了原始的实验数据之后，为了达到所需要的科学结论，常需要对观测数据进行一系列的分析处理，最基本的方法是数学处理方法。经数据处理后，编写或填写实验报告，从而确定实验结果。但是，当我们对同一物理量进行重复测量时，经常发现他们的数值并不一样，每项实验都有误差，随着科技水平及人们认识水平的提高，误差可控制得比较小，但不能完全消除。为了科学地评价数据资料，必须认识和研究误差，才可以达到以下目的：

- (1) 正确认识误差的性质，分析误差产生的原因，以消除或减少测量误差。
- (2) 正确处理数据，合理计算结果，以更接近于真实值的数据。
- (3) 正确组织实验，合理设计或选用仪器和操作方法，以便在经济的条件下取得理想的结果。

(一) 测量误差

由于测试过程中，仪器的精确性、人的视觉差、试件尺寸偏差的大小、测试取点等因素的影响，使我们通常所测试的数值，只是客观条件下的近似值，而不是物体的真正数值。虽然真值的量是未知数，但是可以估计测试值与真值相差的程度。这种测定值与真值之间的差异，称为测定值的观测误差，简称误差。

1. 测量及分类

测量是使客观事物的某种特性获得数值的表征，也就是将待测的量直接或间接地与另一同类的已知量相比较的过程。已知量是由测量仪器与测试工具来体现的，并作为标准的量。

测量分为直接测量、间接测量与总体测量三类。

(1) 直接测量：未知量与已知量相比较，从而直接求得未知量的数值，可用下式表示：

$$Y=X$$

式中：Y—未知量的值

X—由测量直接获得的数值

(2) 间接测量：未知量是通过一定的公式与几个变量相联系，不能直接求得，需将直接测量所得的各变量值代入公式中，经过计算而得的未知量的数值。间接测量可用下式表示：

$$Y=F(x_1x_2\cdots x_n)$$

式中： $x_1, x_2\cdots x_n$ 表示各函数直接测量之数值。

例如测量水泥抗折强度，利用下列公式：

$$f_{tm}=\frac{3Fl}{2bh^2}$$

式中： f_{tm} —材料的抗弯强度，Mpa

F —最大荷载（N）

L —两支点间距（mm）

b 、 h —试件的断面宽度、高度（mm）

间接测量是用得最多的一种，大多数建材性能的测试，都是在间接测量的基础上完成的。

（3）总和测量：是指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。例如混凝土强度与回弹值的关系可用下式表示：

$$R = aN^b$$

式中： R —混凝土强度

N —混凝土回弹值

a 、 b —系数，可用两个方程式或采用回归分析法求得

2. 误差的分类

误差的分类方法较多，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、随机误差和疏忽误差。

（1）系统误差：凡恒定不变或遵循一定规律变化的误差称为系统误差。产生系统误差的原因主要来自于测量仪器和工具、测量人员、测量方法和条件等三方面。

测量仪器和工具不完整而产生的误差。例如，天平砝码不准确所产生的固定不变的系统误差；游标卡尺刻度不精确而产生的误差，万能实验机的刻度盘指针轴的不在圆心上而产生的周期变化等误差均为系统误差。

测量人员产生的系统误差，是由于观测者的不同习惯（如有的人用左眼观测，有的人用右眼观测，而造成读数时的误差；压力机给油速度不同等）所引起的误差。

测量方法和条件所产生的误差，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（如不严格按照操作规程制作混凝土试件或测坍落度；养护的温度、湿度未达到标准条件等）所产生的误差。

在测量过程中，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：当误差的出现没有规律性，其数值的大小与性质也不固定时，即误差是随机变化的称为随机误差。任何一次测量中，随机误差都是不可避免的，而且在同一条条件下，重复进行的各次测量中，随机误差的大小、正负各有其特性，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。其大多数因素与系统误差是一样的，只不过是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。

随机误差是不能用实验的方法消除的，但其总体是有规律的。根据随机误差的理论分析，一组多项重复测试值的算术平均值是最有代表性的数值，所以在重复测试中，取其算术平均值作为测量结果的一个重要指标。如水泥强度、混凝土强度等测试结果的计算即采用以上方法。

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离散程度的表征。

(3) 疏忽误差：是由于测试者的疏忽大意引起的操作、读数或计算等产生的误差，都会使测量数据明显地歪曲，使测试结果完全错误，这种误差称为疏忽误差。疏忽误差远远超过同一客观条件下的系统误差与随机误差，凡含有疏忽误差的数据应舍去。在测量中是不允许存在的。如在混凝土抗压强度测试中，以 3 个试件的算术平均值作为该组试件的抗压强度，3 个试件中的最大值或最小值中如有一个与中间值的差超过中间值 15%，则把最大与最小值舍去，取中间值作为该组试件的抗压强度值，若 3 个试件有两个值与中间值的差超过中间值的 15%，则该组实验作废。

(4) 综合误差：随机误差与系统误差的合成，通称为综合误差。

值得注意的是，误差的性质在一定条件下是可以转化的。如压力实验机的示值误差，对于成批的压力机来讲，是偶然误差。但对某一台压力机来测量材料强度时，示值误差使测量结果始终偏大或偏小，就成为系统误差了。

3. 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，是数值的大小表示偏离程度，其值之正负，指明了偏离的方向。绝对误差有时称为误差，它表示测量的准确度，因为真值一般是无法测得的，故通常采用最大绝对误差表示。

相对误差是绝对误差与真值之比，通常可用百分数（%）表示。相对误差表示测试的精密性，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 250kN 万能试验机进行钢材抗拉实验，测得的最大荷载为 198000N，如最大绝对误差为 1000N，则该观测值的最大相对误差为：

$$\delta_1 = \frac{1000}{198000} \times 100\% \approx 0.5\%$$

又如用 20kN 电子万能试验机测试水泥纤维板抗折强度，测得最大荷载为 728N，如最大绝对误差为 4N，则该观测值的最大相对误差为：

$$\delta_2 = \frac{4}{728} \times 100\% \approx 0.5\%$$

根据以上二例可以看出，其二者的最大相对误差是相近的。也就是说他们的精密性是相近的。但如果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，最大相对误差具有可比性。

(二) 统计特征量

实践证明，即使在原材料组成相同，工艺条件相同的条件下，生产出的材料，其性能测试结果并不完全一样。（如砼试件）而是表现出一定的波动性，数据虽然有波动，但并非杂乱无章，而是呈现出一定的规律性。为了便于研究实验数据的数字特征，一般把数字特征分成两类，一类是表示数据的集中性质或集中程度，如平均数，中位数等。另一类是表现数据的离散性质或离散程度，常用如均方、标准差（均方差），极差，变异系数等，下面就介绍几种常用的统计特征量。

1. 平均值

将某一未知量 x 测完 n 次，得其测试值为 M_1 、 M_2 、 $\dots$ 、 M_n ，求其平均值得：

$$\bar{x} = \frac{M_1 + M_2 + \cdots + M_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i$$

式中： $\bar{x}$ —定义为算术平均值。

当然这几个测定值应具有相同的可信度，对于任意子样获得的平均值，它是未知量母体真值的最精确推断值，观测次数多时，其值应服从正态分布（即比真值大的值和比真值小的值出现的次数是基本相同的）。根据随机的规律，正负误差在误差代数和中会互相抵消，当误差的代数和为零时，算术平均值即为真值。观测次数越多，误差的代数和越接近零。在数据处理中，常常根据此方法来处理观测的结果。

2. 标准差（均方差）。

观测值与算术平均值的平方和的平均值的平方根称为标准差（或均方差）用 σ 表示。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_o)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - nx}{n-1}}$$

如果在测量中出现过大误差，采取平均值来处理观测结果，就不能反映观测值的误差大小，计算中有了平方的程序，不管是正误差还是负误差，都变成正数，不会相互抵消。这样，就可以看出一组等准确度测量系列中观测值的变异程度，其标准差越大，表示观测值的变异性也越大。当然 σ 是表示测量次数 $n \rightarrow \infty$ 时的标准差，而在实测中只能进行有限次的测量，测量的次数 n 越大， σ 的值越精确。

3. 变异系数（离散系数）

标准差 σ 只是反映数值绝对离散（波动）的大小，也可以用它来说明绝对误差的大小，而实际上更关心其相对误差的大小，即相对离散的程，这在统计学上用变异系数 C_v 来表示：

如同一规格的材料经过多次实验得出一批数据后，就可以通过计算平均值、标准差与变异系数来评定其质量性能的优劣。

（三）数据处理和计算法则

在实验过程中，由于测量结果总含有误差，所以在记录和数字运算时，必须注意计量数字的位数，位数过多会使人误以为测量精度很高，位数过少会损失精度，一般应遵循以下规则：

1. 有效数字的含义及记录测量数值时，有效数字的读法

表示测定的数值与通常数学上所说的数值在概念上是不同的。例如 22.6 和 22.60，在数学上看做同一数值，而在表示测试值时是不一样的。混凝土的强度 22.6MPa 是满足不等式 $22.55\text{MPa} \leq f \leq 22.65\text{MPa}$ 测试值。有效数字是指在表示测定值的数值中有意义的数字。而 22.60 有效数字为四位。

记录测量数值时，应读至测量仪器的最小分度值，最小分度值是按仪器所能达到的精度来确定的，其误差为 ± 0.5 最小分度值。有效数字的位数，第一位从自左向右第一个不为零的数字算起，最末一位规定允许有 ± 0.5 单位误差。所以，如用最小分度值为 1mm 的钢直尺去测量砧试件的边长，按最接近的刻度值记录为 151mm，此时的真实边长可能在 $151 \pm 0.5\text{mm}$ 之间，有效数字为三位。

如果需要作进一步运算的读数,则应在按最小分度值读取后再估读一位。这样,混凝土试件边长可能记录为 150.7、150.9 或 151.3mm 等。

2. 计算过程中计量数字位数的选择

(1) 小数的加减运算。运算时各数所保留的位数应比其中小数点后位数最少的多一位。计算结果应和原来数字中小数点后位数最少的那个相同。

例如,三个计量数字相加:100.6mm、101.12mm、100.623mm,此三个数中,其中小数点后位数最少的是一位,所以演算时应保留两位,按下式相加,得:

$$100.6 + 101.12 + 100.62 = 302.34\text{mm}$$

计算结果保留小数点后一位,应取 302.3mm。

(2) 小数的乘除运算。运算时各数所保留的位数应比其中有效数字最少的多保留一位。计算结果中,应保留的位数与原来数字中有效数字最少的那个相同。

例如,100.6mm、101.12mm、100.623mm 相乘,其中有效数字最少的是四位,所以演算时应保留五位,按下式相乘,得:

$$100.6 \times 101.12 \times 100.62 = 1023574.257 (\text{mm}^3)$$

计算结果保留四位有效数字,应取 $1.024 \times 10^6 \text{mm}^3$

(3) 小数的乘方、开方运算。计算结果应保留的位数和原来有效数字位数相同。

例如:100.6mm 的二次方为 $(100.6)^2 = 10120.36\text{mm}^2$

计算结果保留四位有效数字,应取 $1.012 \times 10^4 \text{mm}^2$

(4) 同时需作几种运算时,对需要作中间计算的数字所保留的位数,应比单一运算时所应保留的位数多一位。

3. 舍入误差与舍入规则

舍入误差是由于通过舍入而读取一定位数的测定值时,所造成的误差。而古典的“四舍五入”法则当末位是 5 位时,造成的误差出现的机会多。因此,我国根据科技工作的需要,由科学技术委员会正式颁布了《数字修约规则》,通称为“四舍六入五单双”,具体运用如下:

(1) 四舍六入。如 36.74 取三位数为有效数字应为 36.7。而 36.76 取三位数为有效数字应为 36.8。

(2) 五入单双。

a. 若 5 的后面还有数字则进一,如 36.852 取三位有效数字时应为 36.9。

b. 若 5 的后面数字全为零,则视前一位数字的奇偶而定进或舍,若前一位数字为奇数则进一,为偶数时则舍去。如 36.350 和 36.25 取三位有效数字时,应分别为 36.4 和 36.2。

在测试过程中,测试数据的有效数字位数应与所用仪器设备的精度相一致,在有效数字的运算过程中,应遵循“先进舍,后运算”的原则。

(四) 实验报告

实验报告是反映实验的主要内容的依据,虽然不同的材料测试的内容不同,实验报告的形式也可以不同,但其基本内容都应包括:

(1) 实验名称、内容。