



Civil Engineering  
Experiment and Testing

# 土木工程试验

主 编：李新乐

副主编：彭永恒 宋宏伟

与检测

中国建筑工业出版社

# 土木工程试验与检测

主编：李新乐  
副主编：彭永恒 宋宏伟

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

土木工程试验与检测/李新乐主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 8  
ISBN 978-7-112-17093-7

I. ①土… II. ①李… III. ①土木工程-工程试验  
②土木工程-检测 IV. ①TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 152223 号

为满足土木工程专业实验教学和工程建设的需求, 本书总结目前最新土木工程原材料、半成品及成品的试验检测方法、抽样原则及试验检测过程, 本书内容既涵盖学生基本教学实验也满足工程建设中质量检测技术需求, 内容丰富, 实用性强。全书共 11 章, 内容包括: 土木工程试验检测概论、土的试验检测技术、土木工程材料试验与检测、混凝土和砂浆试验与检测、沥青混合料试验与检测、路基工程试验与检测、路面工程试验与检测、地基基础试验与检测、桥涵工程试验与检测、隧道工程试验与检测、钢结构工程试验与检测。

本书适用于土木工程及相关专业本科、专科学生作为学习用书和实验指导书, 可供从事土木工程试验检测研究工作者和管理者作为参考, 也可作为试验检测员和试验检测工程师学习教材。

责任编辑: 刘瑞霞

责任设计: 李志立

责任校对: 姜小莲 关 健

## 土木工程试验与检测

主编: 李新乐

副主编: 彭永恒 宋宏伟

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 28 $\frac{3}{4}$  字数: 695 千字

2014 年 8 月第一版 2014 年 8 月第一次印刷

定价: 68.00 元

ISBN 978-7-112-17093-7  
(25868)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)



# 前 言

随着我国工程建设快速发展，土木工程试验与检测技术已经成为保证工程施工质量的重要组成部分，该技术是一门正在发展的新兴学科，它融试验检测基本理论和测试操作技能及公路工程相关学科基础知识于一体，是工程设计参数、施工质量控制、施工验收评定、养护管理决策的主要依据。为保证工程建设质量、满足实验教学和现场检测需求，根据现行规范和标准，整理编写该教材。全书共 11 章，涵盖土木工程专业中建筑工程、道路和桥梁工程、地下工程三个主要方向的专业实验和检测项目，主要内容包括：土木工程试验检测概论、土的试验检测技术、土木工程材料试验与检测、混凝土和砂浆试验与检测、沥青混合料试验与检测、路基工程试验与检测、路面工程试验与检测、地基基础试验与检测、桥涵工程试验与检测、隧道工程试验与检测及钢结构工程试验与检测。其中，第 1、8、9、10 章由李新乐编写，第 2 章由高凌霞编写，第 3 章由宋宏伟、彭永恒、王秀伟、张松鹤编写，第 4 章由宋宏伟编写，第 5、6、7 章由彭永恒编写，第 11 章由窦慧娟编写。全书由李新乐负责统稿和校稿。

本书编写力求知识性和实用性相结合，强调试验检测技术的实际操作能力培养，依据现行主要规范和标准，拟定抽样频率、确定试验方法并编写试验操作过程，便于学生或读者理解掌握试验检测方法。本书力求既能较好满足普通高等学校土木工程专业及相关专业的实验教学的要求，也可作为工程技术人员、管理者以及广大群众从事生产实践的检测指导用书。

在本书编写过程中，编者参阅了许多学者和研究者的著作和文献资料，引用了其中部分研究成果，在此深表谢意。由于试验检测技术是一门正在快速发展的跨学科的知识体系，内容涉及知识面广，理论和实践结合紧密，加之编者水平有限，本书难免存在不足和不当之处，敬请读者批评指正，多提宝贵意见。

2013 年 12 月

# 目 录

前言

第 1 章 土木工程试验检测概论 .....	1
1.1 试验检测的背景、目的和意义 .....	1
1.2 抽样检验基础 .....	3
1.3 试验检测数据修约和分析 .....	3
1.4 试验检测有关规定 .....	7
第 2 章 土的试验检测技术 .....	10
2.1 土的工程分类 .....	10
2.2 土样的采取与制备方法 .....	17
2.3 土的颗粒分析试验 .....	20
2.4 土的含水量试验 .....	26
2.5 土的密度试验 .....	29
2.6 界限含水率试验 .....	34
2.7 土的固结试验 .....	36
2.8 土的直接剪切试验 .....	39
2.9 土的三轴压缩试验 .....	41
2.10 土的击实试验 .....	50
2.11 特殊土的检测 .....	54
第 3 章 土木工程材料试验与检测 .....	63
3.1 土木工程材料的基本性质试验 .....	63
3.2 水泥试验 .....	65
3.3 混凝土用砂、石试验 .....	77
3.4 混凝土掺合料试验 .....	83
3.5 聚羧酸高效减水剂试验 .....	93
3.6 无机结合料试验 .....	102
3.7 沥青试验 .....	108
3.8 钢材试验 .....	117
3.9 混凝土拌合用水检测 .....	142
第 4 章 混凝土和砂浆试验与检测 .....	149
4.1 普通水泥混凝土配合比设计 .....	149
4.2 普通水泥混凝土拌合物和力学性能试验 .....	161
4.3 商品混凝土强度评定试验 .....	169
4.4 混凝土长期及耐久性能试验 .....	172

4.5	砂浆试验 .....	185
4.6	回弹法推定结构混凝土强度 .....	191
<b>第5章</b>	<b>沥青混合料试验与检测 .....</b>	<b>197</b>
5.1	沥青混合料的分类及其性能 .....	197
5.2	沥青混合料组成材料的技术性质 .....	201
5.3	沥青混合料配合比设计及相关试验方法 .....	208
5.4	沥青混合料生产过程中质量控制的相关工艺试验及检测 .....	233
<b>第6章</b>	<b>路基工程试验与检测 .....</b>	<b>236</b>
6.1	土基的回弹模量试验检测 .....	236
6.2	路基土的 CBR 试验检测 .....	238
6.3	压实度的试验检测 .....	242
<b>第7章</b>	<b>路面工程试验与检测 .....</b>	<b>249</b>
7.1	路面基层的试验检测 .....	249
7.2	路基路面弯沉值测试方法 .....	257
7.3	平整度试验检测方法 .....	269
7.4	路面抗滑性能试验检测方法 .....	273
7.5	路面结构层厚度试验检测方法 .....	281
<b>第8章</b>	<b>地基基础试验与检测 .....</b>	<b>285</b>
8.1	概述 .....	285
8.2	地基承载力原位测试技术 .....	287
8.3	桩基试验与检测 .....	303
<b>第9章</b>	<b>桥涵工程试验与检测 .....</b>	<b>335</b>
9.1	概述 .....	335
9.2	桥梁支座力学性能试验 .....	337
9.3	桥梁静载试验 .....	340
9.4	桥梁动载试验 .....	360
<b>第10章</b>	<b>隧道工程试验与检测 .....</b>	<b>372</b>
10.1	概述 .....	372
10.2	工程地质超前预报试验 .....	373
10.3	开挖质量检测 .....	379
10.4	初期支护和防排水材料试验 .....	380
10.5	隧道施工监控量测试验 .....	389
10.6	衬砌混凝土施工质量检测 .....	398
10.7	隧道环境检测 .....	403
<b>第11章</b>	<b>钢结构工程试验与检测 .....</b>	<b>413</b>
11.1	概述 .....	413
11.2	钢结构防腐防火涂层检测 .....	414
11.3	钢结构连接试验和检测 .....	417
11.4	钢构件和主体结构现场检测技术 .....	430

附录 A 测区混凝土强度换算表 .....	437
附录 B 泵送混凝土测区强度换算表 .....	443
附录 C 非水平状态检测时的回弹值修正值 .....	448
附录 D 不同浇筑面的回弹值修正值 .....	449
参考文献 .....	450

# 第 1 章 土木工程试验检测概论

## 1.1 试验检测的背景、目的和意义

土木工程是建造各类工程设施的科学技术的总称。它既是指工程建设的对象，即建造在地上、地下、水中的各种工程设施，也指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等专业技术。

土木工程具有四个基本属性：

### (1) 综合性

建造一项工程设施一般需要经过勘察、设计和测试三个阶段，需要涉及工程地质勘测、工程测量、土力学、工程力学、工程设计、建筑材料、建筑设备、工程机械、建筑经济学等学科和施工技术、施工组织等领域。因此，土木工程是一门范围广泛的综合性学科。

### (2) 社会性

土木工程是伴随着人类社会的进步而发展起来的，它所建造的工程设施反映出各个历史时期的社会、经济、文化、科学、技术发展的面貌。因而土木工程也就成为社会历史发展的见证之一。

### (3) 实践性强

### (4) 技术上、经济上和建筑艺术上的统一性

土木工程是一门古老的学科，它同社会、经济，特别是与科学、技术的发展密切相关。土木工程内涵丰富，就其本身而言，则主要是围绕材料、施工、理论三个方面的演变而不断发展的。按照建筑材料、建造理论和建造技术出现根本性的突破，可将土木工程的发展划分为古代、近代和现代三个阶段。

古代土木工程历史跨度很长，它大致从旧石器时代到 17 世纪中叶。这一时期修建各种土木工程设施主要依靠经验，所用材料主要取于自然。如：北京的故宫，土耳其的索菲亚大教堂，埃及的金字塔等。

近代土木工程实践跨度为 17 世纪中叶到第二次世界大战前后，历时 300 余年。在这一时期中，土木工程逐渐发展成为一门独立的科学。在工程设计理论方面，1683 年意大利学者伽利略发表了“关于两门新科学的对话”，首次用公式表达了梁的理论。1687 年牛顿总结出力学三大定律，为土木工程奠定了力学分析基础。在材料力学、弹性力学和材料强度理论的基础上，法国的纳维在 1825 年建立了土木工程中结构设计的容许应力法。在工程材料方面，1824 年波特兰水泥被发明，1867 年钢筋混凝土开始应用。1859 年转炉炼钢法的成功使得钢材得以大量生产并应用于房屋、桥梁的建筑。在建造技术方面，产业革命促进工业、交通运输业的发展，对土木工程设施提出了更广泛的需求，同时也为土木工程的建造提供了新的施工机械和施工方法。法国的埃菲尔铁塔，美国的帝国大厦，美国的



金门大桥等都是那个时期的产物。

第二次世界大战以后，许多国家经济腾飞，现代科学技术迅速发展，从而为土木工程的进一步发展提供了强大的物质基础和技术手段，开始了以现代科学技术为后盾的土木工程新时代。如：苏通长江大桥，国家体育场鸟巢，广州电视大厦等等。

土木工程的发展日益显示它在国民经济中的地位和作用。根据建设部有关统计数据，1980年我国国内生产总值为4518亿元，到2003年增加到11.67万亿元，平均增长率为14.5%。伴随着我国宏观经济的快速发展，我国建筑业也一路攀升，建筑企业完成的建筑业总值从1980年的347亿元，增加到2003年的21865亿元，平均增长率为18.9%以上。2003年一年我国国民生产总值比上年增长9.1%，而建筑业总产值比2002年增长23%，比同年GDP增长率高出13.9%。

随着土木工程的发展，工程施工中质量问题越来越成为建设者和使用者关注的焦点，土木工程试验与检测是保证工程质量的重要手段。土木工程试验与检测不仅为工程设计提供参数，同时还为工程施工的质量控制、竣工验收评定及养护管理、新材料和新技术的推广等提供科学的依据。

土木工程试验检测的目的和意义可以归纳为：

(1) 用定量的方法，对各种原材料、成品或半成品，科学地鉴定其质量是否符合国家质量标准和设计文件的要求，做出接收或拒收的决定，保证工程所用材料都是合格产品，是控制施工质量的主要手段。

(2) 对施工全过程，进行质量控制和检测试验，保证施工过程中的每个部位、每道工序的工程质量，均满足有关标准和设计文件的要求，是提高工程质量、创优质工程的重要保证。

(3) 通过各种试验试配，经济合理地选用原材料，为企业取得良好的经济效益打下坚实的基础。

(4) 对于新材料、新工艺、新技术，通过试验检测和研究，鉴定其是否符合国家标准和设计要求，为完善设计理论和施工工艺积累实践资料，为推广和发展新材料、新工艺、新技术做贡献。

(5) 试验检测是评价工程质量缺陷、鉴定和预防工程质量事故的手段。通过试验检测，为质量缺陷或质量事故判定提供实测数据，以便准确判定其性质、范围和程度，合理评价事故损失，明确责任，从中总结经验教训。

(6) 分项工程、分部工程、单位工程完成后，均要对其进行适当的抽检，以便进行质量等级的评定。

(7) 为竣工验收提供完整的试验检测证据，保证向业主交付合格工程。

(8) 试验检测工作集试验检测基本理论、测试操作技能和土木工程相关学科的基础知识于一体，是工程设计参数、施工质量控制、工程验收评定、养护管理决策的主要依据。

工程试验检测技术是集试验检测基本理论和测试操作技能以及道路工程相关学科基础知识于一体，是工程设计参数、施工质量控制、施工验收评定、养护管理决策的主要依据。通过试验检测，能充分地利用当地原材料，能迅速推广应用新材料、新技术和新工艺，能合理地控制和科学地评定工程质量。工程实践的经验证明：不重视施工过程检测和施工质量过程控制而依靠经验控制，是造成施工质量隐患的主要原因。因此，工程试验检

测工作的作用和意义在于：提高工程质量、加快工程进度、降低工程造价，推动土木工程施工技术进步。

## 1.2 抽样检验基础

检验是指通过测量、试验等质量检测方法，将工程产品与其质量要求相比较并作出质量评判的过程。工程质量检验是工程质量控制的一个重要环节，是保证工程质量的必要手段。

检验可分为全数检验和抽样检验两大类。全数检验是对一批产品中的每一个产品进行检验，从而判断该批产品质量状况；抽样检验是从一批产品中抽出少量的单个产品进行检验，从而推断该批产品质量状况。全数检验较抽样检验可靠性好，但检验工作量非常大，往往难以实现；抽样检验方法以数理统计学为理论依据，具有很强的科学性和经济性，在许多情况下，只能采用抽样检验方法。土木工程不同于一般产品，它是一个连续的整体，且采用的质量检测手段又多属于破坏性的。所以，就土木工程质量检验而言，不可能采用全数检验；而只能采用抽样检验。即从待检工程中抽取样本，根据样本的质量检查结果，推断整个待检工程的质量状况。

质量检验的目的在于准确判断工程质量状况，以促进工程质量的提高。其有效性取决于检验的可靠性，而检验的可靠性则与下面三个因素密切相关：

- (1) 质量检测手段的可靠性；
- (2) 抽样检验方法的科学性；
- (3) 抽样检验方案的科学性。

在质量检验过程中，必须全面考虑上述三个因素，以提高质量检验的可靠性。

抽样是从总体中抽取样本的过程，并通过样本了解总体。总的来说，抽样检验分为非随机抽样与随机抽样两大类：

### (1) 非随机抽样

进行人为的有意识的挑选取样即为非随机抽样。非随机抽样中，人的主观因素占主导作用，由此所得到的质量数据，往往会对总体作出错误的判断。因此，采用非随机抽样方法所得的检验结论，其可信度较低。

### (2) 随机抽样

随机抽样排除了人的主观因素，使待检总体中的每一个产品具有同等被抽取到的机会。只有随机抽取的样本才能客观地反映总体的质量状况。这类方法所得到的数据代表性强，质量检验的可靠性得到了基本保证。因此，随机抽样是以数理统计的原理，根据样本取得的质量数据来推测、判断总体的一种科学抽样检验方法，因而被广泛使用。

## 1.3 试验检测数据修约和分析

在土木工程施工过程中，不论是原材料还是施工中的质量控制检验，都会取得大量

的数据。对这些数据进行科学的分析，可以更好地评价原材料和工程质量。在工程质量检验评定标准中，也分别提出了许多数理统计的特征值。因此，项目试验人员应具备数理统计的基本知识。在进行试验成果的分析整理时，必须坚持理论与实际统一的原则。以现场和工程具体条件为依据，以测试所得的实际数据为基础，以数理统计分析为手段，区别不同统计，针对不同要求采取不同方法。下面简要介绍常用数理统计方法和数据处理方法。

### 1.3.1 平均值

#### 1. 算术平均值

这是最常用的一种方法，用于了解一批数据的平均水平，度量这些数据的中间位置，计算公式为：

$$\bar{X} = (X_1 + X_2 + X_3 + \cdots + X_n) / n = \Sigma X / n \quad (1-1)$$

式中  $\bar{X}$ ——算术平均值；  
 $X_1, X_2, X_3, \cdots, X_n$ ——各试验数据值；  
 $\Sigma X$ ——各试验数据值的总和；  
 $n$ ——试验数据个数。

#### 2. 均方根平均值

均方根平均值对数据的大小跳动反应较为灵敏，其计算公式为：

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

式中  $S$ ——均方根平均值；  
 $X_1, X_2, \cdots, X_n$ ——各试验数据值；  
 $\Sigma X_n^2$ ——各试验数据值的总和；  
 $n$ ——试验数据个数。

#### 3. 加权平均值

加权平均值是各试验数据和它的对应数的算术平均值。其计算公式为：

$$m = \frac{X_1 g_1 + X_2 g_2 + \cdots + X_n g_n}{g_1 + g_2 + \cdots + g_n} = \frac{\Sigma X g}{\Sigma g} \quad (1-3)$$

式中  $m$ ——加权平均值；  
 $X_1, X_2, \cdots, X_n$ ——各试验数据值；  
 $g_1, g_2, \cdots, g_n$ ——和试验数据对应数；  
 $\Sigma X g$ ——各试验数据值和它对应数乘积的总和；  
 $\Sigma g$ ——各对应数的总和。

加权平均值也可以用随机的试验数据值与其对应各值概率的乘积之和来计算，其公式为：

$$m = X_1 g_1 + X_2 g_2 + \cdots + X_n g_n \quad (1-4)$$

式中  $m$ ——加权平均值；  
 $X_1, X_2, \cdots, X_n$ ——各试验数据值；  
 $g_1, g_2, \cdots, g_n$ ——和试验数据对应各值的概率。

### 1.3.2 误差计算

#### 1. 范围误差

范围误差也叫极差，是试验数据中最大值和最小值之差。常用于测定数值的离散程度，可了解数据的波动范围和波动程度，但易受异常值影响，不能表示频数的分布情况。

#### 2. 算术平均误差

算术平均误差计算公式为：

$$\delta = \frac{|X_1 - \bar{X}| + |X_2 - \bar{X}| + \cdots + |X_n - \bar{X}|}{n} \quad (1-5)$$

式中  $\delta$ ——算术平均值误差；  
 $\bar{X}$ ——试验数据的算术平均值；  
 $X_1, X_2, \dots, X_n$ ——各试验数据值；  
 $n$ ——试验数据个数；  
 $||$ ——绝对值。

#### 3. 标准差（均方根差、均方差）

只知道数据的平均水平是不够的，要了解数据的波动情况及带来的危险性，标准差（均方根差、均方差）是衡量波动性（离散性大小）的重要指标。其值越大，说明波动离散越大。

试验数据的平均值与每个试验数据值之差称为离差；离差平方和的平均值称为均方（又称方差）；均方的平方根称为均方根差，简称均方差或标准差。

标准差的计算公式为：

$$S = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \cdots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (1-6)$$

式中  $S$ ——标准差（均方根差、均方差）；  
 $X_1, X_2, \dots, X_n$ ——各试验数据值；  
 $\bar{X}$ ——试验数据的算术平均值；  
 $n$ ——试验数据个数。

### 1.3.3 变异系数

标准差是表示绝对波动大小的指标，当测量较大的量值时，绝对误差一般较大；测量值较小的量值时，绝对误差一般较小。因此要考虑相对波动的大小（相对离散程度），即用平均值的百分率来表示标准差，即变异系数越小，表示测定值离散程度越小，变异系数越大，表示测定值离散程度越大，其计算公式为：

$$C_v = (S/\bar{X}) \times 100 \quad (1-7)$$

式中  $C_v$ ——变异系数（%）；  
 $S$ ——标准差；  
 $\bar{X}$ ——试验数据的算术平均值。

由变异系数可以看出标准偏差所表示不出来的数据波动情况。

### 1.3.4 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，应按数理统计的方法给以鉴别，并决定取舍。常用方法有三倍标准差法、格拉布斯法和肖维纳法。三倍标准差法最简单，试验数据取舍大都采用三倍标准差法。三倍标准差法的准则是  $|X_i - \bar{X}| > 3\delta$  舍弃。在《公路工程质量检验评定标准》中，对路基、路面弯沉测定计算有此明确要求，对其他数据，不得随意取舍。

### 1.3.5 数字修约规则

在测量工作中，由于测量结果总会有误差，因此表示测量结果的位数不宜太多，也不宜太少，太多容易使人误认为测量精度很高，太少则会损失精度。

有效数字的概念可表述为：由数字组成的一个数，除最末一位数字是不确切值或可疑值外，其他数字皆为可靠值或确切值，则组成该数的所有数字包括末位数字称为有效数字，除有效数字外其余数字为多余数字。

#### 1. 修约间隔

修约间隔是指确定修约保留位数的一种方式。修约间隔的数值一经确定，修约值即应为该数值的整数倍。

例如指定修约间隔为 0.1，修约值即应在 0.1 的整数倍中选取，相当于将数值修约到一位小数。又如指定修约间隔为 100，修约值即应在 100 的整数倍中选取，相当于将数值修约到“百”数位。

0.5 单位修约（半个单位修约）是指修约间隔为指定数位的 0.5 单位，即修约到指定数位的 0.5 单位。

0.2 单位修约是指修约间隔为指定数位的 0.2 单位，即修约到指定数位的 0.2 单位。

#### 2. 数值修约进舍规则

(1) 拟舍弃数字的最左一位数字小于 5 时，则舍去，即保留的各位数字不变。

例如：将 13.2476 修约到一位小数，得 13.2。

(2) 拟舍弃数字的最左一位数字大于 5；或者是 5；而且后面的数字并非全部为 0 时，则进 1，即保留的末位数字加 1。

例如：将 1167 修约到“百”数位，得  $12 \times 10^2$ （特定时可写为 1200）。

(3) 拟舍弃数字的最左一位数字为 5，而后面无数字或全部为 0 时，若被保留的末位数字为奇数（1, 3, 5, 7, 9）则进 1，为偶数（2, 4, 6, 8, 0）则舍弃。

(4) 负数修约时，先将它的绝对值按上述三条规定进行修约，然后在修约值前面加上负号。

(5) 0.5 单位修约时，将拟修约数值乘以 2，按指定数位依进舍规则修约，所得数值再除以 2。

例如：将下列数字修约到“个”数位的 0.5 单位（或修约间隔为 0.5）。

拟修约数值	乘 2	2A 修约值	A 修约值
(A)	(2A)	(修约间隔为 1)	(修约间隔为 0.5)
50.25	100.5	100	50.0

(6) 0.2 单位修约时，将拟修约数值乘以 5，按指定数位依进舍规则修约，所得数值再除以 5。

上述数值修约规则（有时称之为“奇升偶舍法”）与常用的“四舍五入”的方法区别在于，用“四舍五入”法对数值进行修约，从很多修约后的数值中得到的均值偏大。而用上述的修约规则，进舍的状况具有平衡性，进舍误差也具有平衡性，若干数值经过这种修约后，修约值之和变大的可能性与变小的可能性是一样的。

### 3. 数值修约注意事项

实行数值修约，应在明确修约间隔、确定修约位数后一次完成，而不应连续修约，否则会导致不正确的结果。然而，实际工作中常有这种情况，有的部门先将原始数据按修约要求多一位至几位报出，而后另一个部门按此报出值再按规定位数修约和判定，这样就有连续修约的错误。

(1) 拟修约数字应在确定修约后一次修约获得结果，而不得多次按进舍规则连续修约。

(2) 在具体实施中，有时测量与计算部门先将获得数值按指定的修约数位多一位或几位报出，而后由其他部门判定。为避免产生连续修约的错误，应按下列步骤进行。

① 报出数值最右的非 0 数字为 5 时，应在数值后面加“（+）”号或“（-）”号或不加符号，以分别表明已进行过舍、进或未舍未进。

② 如果判定报出值需要进行修约，当拟舍弃数字的最左一位数字为 5 而后面无数字或全部为 0 时，数值后面有（+）号者进 1，数值后面有（-）号者舍去，其他仍按进舍规则进行。

### 4. 有效数字的计算法则

(1) 加减运算。应以各数中有效数字末位数的数位最高者为准（小数即以小数部分位数最少者为准），其余数均比该数向右多保留一位有效数字。

(2) 乘除运算。应以各数中有效数字位数最少者为准，其余数均多取一位有效数字，所得积或商也多取一位有效数字。

(3) 平方或开方运算。其结果可比原数多保留一位有效数字。

(4) 对数运算。所取对数位数应与真数有效数字位数相等。

(5) 查角度的三角函数。所用函数值的位数通常随角度误差的减小而增多。

在所有计算式中，常数  $\pi$ ， $e$  等数值的有效数字位数，可认为无限制，需要几位就取几位。表示精度时，一般取一位有效数字，最多取两位有效数字。

## 1.4 试验检测有关规定

管理体制是否健全，制度是否能贯彻执行，是关系到检测质量能否得到保证的重要方面。土木工程检测技术管理包括设备管理、试验工作管理和文献资料管理等方面。

### 1.4.1 设备管理

试验设备是开展土木工程试验检测工作的物质基础。设备管理的目的是为了更好地使用试验设备。设备管理的好坏直接关系到试验检测能否正常工作，因此，必须重视。

### **1. 建立账、卡、物管理制度**

设备账一般按购置时间顺序登记，包括设备名称、编号、规格型号、生产厂家、制造年份、价格等。卡除了包括账上登记的内容外，还包括设备性能、用途、随机附件、外形尺寸、设备购置费、运输费、安装费、维修费、报废年月等。账、卡和物应分离管理，即管物的不能管账、卡，管账、卡的不能管物，起到互相监督、制约的作用。

### **2. 建立岗位责任制度**

设备应分室由专人管理和使用。岗位责任人对设备的保养、维修、使用及安全负责。岗位责任人必须熟悉所管仪器设备的性能、操作规程，并能熟练进行试验操作，能排除常见的小故障，定期对设备进行必要的保养，如擦洗、涂油、通电运行等，使设备处于正常的使用状态。非岗位责任人使用仪器设备必须经过岗位责任人的同意，并在岗位责任人指导下或按其要求进行操作。

### **3. 建立设备检定制度**

为了确保试验设备处于正常的使用状态，确保试验结果准确无误，新启用的设备应进行计量检定。使用中的试验设备必须进行定期或不定期的计量检定。凡是衡器、测力装置应由计量部门进行计量检定，并出具检定报告；使用频率比较高的设备一般一年检定一次。设备在使用过程中如试验结果有异常应根据需要随时进行必要的检定。

### **4. 建立使用维修登记制度**

试验设备应建立使用登记制度，内容包括使用日期和时段、试验内容、设备状况、故障情况等。使用登记由使用人填写，非岗位责任人在使用完设备后应经岗位责任人验收检查，并在登记册上签字认可。设备维修情况也应在使用登记册上进行登记，内容包括维修时间、项目、更换的零部件、费用、维修人等。

## **1.4.2 试验工作管理**

### **1. 试样管理**

试样管理是试验工作关键的一环。试样的采集，不同材料有不同的要求，应按相关试验规程规定进行。在取样时应按既定的编号方式对试样进行编号，书写在容器或袋子上并书写同样标签放入容器或袋子中，以便复核对证。同时填写取样单，内容包括试样编号、品种、规格、取样地点、拟作用途、取样日期、取样人等。对可以保存一定时间的试样，取样时应一式两份，一份供目前试验用，一份作为样本保存，供试验结果有争议时仲裁试验用。

### **2. 试验管理**

试验工作也应实行在设备管理岗位责任制框架下的岗位责任制。将试验人员按设备管理的岗位分为几个试验小组，如土工、水泥及水泥混凝土、沥青及沥青混合料、力学等小组，每一组由一位试验工程师负责，其他人员组成根据具体工作量大小编制。小组负责人对其小组所承担的试验工作负责，负责取样、试验、提出报告，并对试验室主任负责。

### **3. 严格执行试验规程及技术标准**

每一个试验项目，从取样、试验到提出报告，都必须严格执行试验规程和技术标准的规定。要求每一个岗位责任人熟悉自己所分管项目的相关试验规程，熟悉每一个试验的操作步骤、试验条件、影响因素、注意事项，并能熟练地操作试验设备，能分析试验过程中

出现的各种异常情况，并做出正确的判断，采取必要的处理措施，确保试验结果准确无误。

#### 4. 健全原始记录填写及保存制度

原始记录是试验过程的真实记载，是分析试验结果，提出试验报告的重要依据，必须认真填写。原始记录一般直接在制成的表格上填写，内容包括试验项目名称、产品的规格型号、试样的编号、产地或生产厂家、拟作用途、采用试验标准、试验条件、试验环境温度及湿度、试验日期等。原始记录书写应整齐，字迹工整，不得随意涂改；确实因笔误或其他原因需要更改数据时，应在原数据上划一水平线，将正确的数据书写在其上方。原始记录试验人、计算人、复核人签名要齐全，并按规定保存。

### 1.4.3 文件资料管理

试验检测技术资料必须做到准确、齐全、及时、规范。

准确是指凡由试验室提供的试验结果必须真实可信，必须是通过试验得出的结果，经得起验证和推敲，对控制工程质量具有指导作用，使工程所用材料和工程质量达到设计和使用要求。

齐全是指由试验室提供的试验资料，内容必须完整。一是试验项目无漏项，二是按要求的格式提供全部所需的信息。

及时是指按时提供工程建设需要的有关试验资料或数据。及时是建立在准确、齐全的基础上的。

规范是指由试验室提供的资料语言精练通顺，用词恰当妥切，无错别字，字迹清楚、工整，签字印章清晰齐全，打印装订整齐，格式、份数符合要求。



## 第2章 土的试验检测技术

土是由岩石在风化作用下形成的大小悬殊的颗粒，经过不同的搬运方式，在各种自然环境中生成的无粘结或弱粘结的沉积物。在土木工程中，土被广泛应用。它可作为建筑材料，如用于填筑土坝、机场跑道、路基、路面等构筑物；也可作为建筑物周围的介质或环境，如隧道、涵洞及地下建筑等；同时土又是建筑物地基，用以承受建筑物传来的荷载，如在土层上修建房屋、桥梁、道路等。然而，由于土是土粒、空气和水所组成的三相松散体，三相成分的比例不同，所运用的环境不同，使其物理和力学特性变得十分复杂。所以，对土进行试验和检测是土木工程设计、施工和科研必不可少的工作。

本章简单介绍了土的工程分类，重点介绍了土的室内试验检测内容与方法，主要包括土的物理性质、状态性质、土在静荷载作用下的压缩性和抗剪性、土的动力特性及特殊土的试验与检测。

### 2.1 土的工程分类

自然界中土的种类很多，工程性质各异，为了便于研究，需要按其主要特征进行分类。土的工程分类主要根据土的粒径、界限含水率、有机质存在情况等基本特性，将性质相近的土分成一类。以方便描述土体，评价土的性质，便于岩土工程的设计与施工，同时也是科学研究和相互交流的共同基础。由于各部门对土的某些工程性质的重视程度和要求不完全相同，制订分类标准时的着眼点也就不同。目前国内各部门也都根据各自的工程特点和实践经验，制定有各自的分类方法，但一般遵循下列基本原则。

一是简明的原则：土的分类体系采用的指标，既要能综合反映土的主要工程性质，又要其测定方法简单，且使用方便；二是工程特性差异的原则：土的分类体系采用的指标要在一定程度上反映不同类工程用土的不同特征。

我国涉及土的工程分类规范主要有：国家标准《土的工程分类标准》GB/T 50145—2007；水利行业标准《土工试验规程》SL 237—1999 中的《土的工程分类》SL 237—2001—1999、《公路土工试验规程》JTG E40—2007 中的《土的工程分类》和《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 中关于地基土的分类。

这些规范和标准中土的工程分类体系和思想都是相同的，包括：①先依据土中有机质存在情况分为有机土和无机土；②对于无机土，按照土的平均粒径大小确定是巨粒土、粗粒土还是细粒土；③巨粒土按照巨粒含量分类，粗粒土根据土的粒径与级配分类，细粒土则按塑性指数与液限进一步分类。

土的分类根据指标确定方法的不同有试验室分类法和简易鉴别分类法。试验室分类法主要是用颗分试验、液塑限试验等方法来确定相关的分类指标。简易鉴别分类法则用目测