

土木工程实验教程

粟燕 甄映红 范述怀 主编

**Tumu Gongcheng Shiyan
Jiaocheng**



西南交通大学出版社

土木工程实验教程

主 编 粟 燕 甄映红 范述怀

副主编 王展光

西南交通大学出版社

• 成 都 •

图书在版编目 (C I P) 数据

土木工程实验教程 / 粟燕, 甄映红, 范述怀主编.
—成都: 西南交通大学出版社, 2015.1
ISBN 978-7-5643-3523-6

I. ①土… II. ①粟… ②甄… ③范… III. ①土木工程—实验—高等学校—教材 IV. ①TU-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 251930 号

土木工程实验教程

粟 燕
甄映红
范述怀

主 编

责任编辑 胡晗欣
封面设计 米迦设计工作室

印张 11 字数 273 千

版本 2015年1月第1版

出版 西南交通大学出版社

印刷 成都中铁二局永经堂印务有限责任公司

网址 <http://www.xnjdcbs.com>

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印次 2015年1月第1次

地址 四川省成都市金牛区交大路146号

邮政编码 610031

发行部电话 028-87600564 028-87600533

书号: ISBN 978-7-5643-3523-6

定价: 25.00元

课件咨询电话: 028-87600533

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

凯里学院规划教材编委会

主 任 张雪梅

副主任 郑茂刚 廖 雨 龙文明

委 员 (按姓氏笔画排名)

丁光军 刘玉林 李丽红

李 斌 肖育军 吴永忠

张锦华 陈洪波 范连生

罗永常 岳 莉 赵 萍

唐文华 黄平波 粟 燕

曾梦宇 谢贵华

办公室主任 廖 雨

办公室成员 吴 华 吴 芳

总 序

教材建设是高校教学内涵建设的一项重要工作，是体现教学内容和教学方法的知识载体，是提高人才培养质量的重要条件。凯里学院 2006 年升本以来，十分重视教材建设工作，在教材选用上明确要求“本科教材必须使用国家规划教材、教育部推荐教材和面向 21 世纪课程教材”，从而保证了教材质量，为提高教学质量、规范教学管理奠定了良好基础。但在使用的过程中逐渐发现，这类适用于研究型本科院校使用的系列教材，多数内容较深、难度较大，不一定适合我校的学生使用，与应用型人才培养目标也不完全切合，从而制约了应用型人才的培养质量。因此，探索和建设适合应用型人才培养体系的校本教材、特色教材成为我校教材建设的迫切任务。自 2008 年起，学校开始了校本特色教材开发的探索与尝试，首批资助出版了 11 本原生态民族文化特色课程丛书，主要有《黔东南州情》、《苗侗文化概论》、《苗族法制史》、《苗族民间诗歌》、《黔东南民族民间体育》、《黔东南民族民间音乐概论》、《黔东南方言学导论》、《苗侗民间工艺美术》、《苗侗服饰及蜡染艺术》等。该校本特色教材丛书的出版，弥补了我校在校本教材建设上的空白，为深入开展校本教材建设积累了经验，并对探索保护、传承、弘扬与开发利用原生态民族文化，推进民族民间文化进课堂做出了积极贡献，对我校教学、科研和人才培养起到了积极的推动作用，并荣获贵州省高等教育教学成果一等奖。

当前，随着高等教育大众化、国际化的迅猛发展和地方本科院校转型发展的深入推进，越来越多的地方本科高校在明确应用型人才培养目标、办学特色、教学内容和课程体系的框架下，积极探索和建设适用于应用型人才培养的系列教材。在此背景下，根据我校人才培养方案和“十二五”教材建设规划，结合服务地方社会经济发展、民族文化遗产需要，我们又启动了第二批校本教材的立项研究工作，通过申报、论证、评审、立项等环节确定了教材建设的选题范围，第二套校本教材建设项目分为基础课类、应用技术类、

素质课类、教材教法等四类，在凯里学院教材建设专家委员会的组织、指导和教材编著者们的辛勤编撰下，目前，15本教材的编撰工作已基本完成，即将正式出版。这套教材丛书既是近年来我校教学内容和课程体系改革的最新成果，反映了学校教学改革的基本方向，也是学校由“重视规模发展”转向“内涵式发展”的一项重大举措。

凯里学院校本规划教材丛书的编辑出版，集中体现了学校探索应用型人才培养的教学建设努力，倾注了编著教师团队成员的大量心血，将有助于推动地方院校提高应用型人才培养质量。然而，由于编写时间紧，加之编著者理论和实践能力水平有限，书中难免存在一些不足和错漏。我们期待在教材使用过程中获得批评意见、改进建议和专家指导，以使之日臻完善。

凯里学院规划教材编委会

2014年12月

前 言

土木工程实验教程涵盖了土木工程专业在本科学习阶段的几乎所有专业实验课程，是土木工程专业的一门专业技术课程，与土木工程材料、材料力学、土力学、混凝土结构、钢结构等课程直接相关，并涉及物理学、电子测量技术、数理统计分析等内容。因此，学好本课程除了要求具备本专业的知识外，还应具有广泛的技术知识。

本教材根据土木建筑类专业培养目标和教学特点，突出应用性。在编写过程中，力求采用最新技术标准与规范及实验方法，有代表性地介绍了土木工程实验新技术和发展方向，应用性强、适用面宽，可作为土木工程类及相关专业的教学用书，也可供土木工程设计、施工、科研、工程管理和监理人员学习参考。全书在内容组织上注重理论联系实际，突出应用性，符合对事物循序渐进的认知规律，便于读者更好地理解 and 掌握有关的学习内容。通过本课程的学习，使学生获得土木工程实验方面的基础知识和基本技能，掌握材料检测、结构实验、工程检测和鉴定的方法，以及根据实验结果作出正确的分析和结论的能力，为今后从事科学研究和工程检测打下良好的基础。

从教材建设方面，现有的综合多门课程的实验教材较少，大部分实验教材都仅仅是涉及土木工程某一门课程，不能适应土木工程专业各学科的要求，需要在内容上进行相应的调整和增减。而本教材将土木建筑类所涉及的所有实验编制到一起，可以使学生很容易了解本科学习阶段所需进行的所有实验教学内容，掌握相关知识。

凯里学院粟燕、甄映红、范述怀担任主编，王展光担任副主编，岑晓倩、李杰、潘昌仁参与了本教材的编写。

本书在编写过程中参考了国内同行的相关论文、实验资料、著作和教材，也参考了仪器设备生产厂家的资料和说明书，在此表示谢意。

由于编者业务水平有限，书中难免有疏漏与不足之处，敬请专家同行和读者批评指正。

作 者

2014 年 9 月

目 录

第一章 实验基本知识	1
第一节 实验任务与实验过程	1
第二节 实验数据统计分析方法	3
第二章 土木工程材料实验	15
第一节 材料的基本物理性质实验	15
第二节 水泥性能实验	19
第三节 集料实验	34
第四节 普通混凝土实验	42
第五节 建筑砂浆实验	51
第六节 墙体材料实验	57
第七节 沥青材料实验	60
第三章 材料力学实验	90
第一节 拉伸实验	90
第二节 压缩实验	96
第三节 扭转实验	99
第四节 梁的纯弯曲正应力实验	102
第五节 主应力实验	104
第四章 土工实验	107
第一节 土的密度实验（环刀法）	107
第二节 土的含水率实验（烘干法）	110
第三节 土的比重实验	112
第四节 界限含水率的测定（液塑限联合测定法）	114
第五节 土的颗粒分析实验	117
第六节 固结实验（快速法）	120
第七节 直接剪切实验	123

第八节 无侧限抗压强度实验 126

第九节 击实实验 129

第十节 三轴剪切实验 132

第五章 土木工程结构实验 140

第一节 结构实验测试技术 140

第二节 结构无损检测实验 148

第三节 建筑结构实验 154

参考文献 166

第一章 实验基本知识

【学习提示】

实验基本知识是学习本课程的基础。学习时，应注意土木工程材料实验、力学实验和土木工程实验各自任务，有目的地进行学习。实验数据是实验结果的关键，重点掌握实验的数据误差计算和数据处理。

【学习要求】

通过本章的学习，使学生了解实验任务和过程，并能够对实验数据进行分析 and 处理。

第一节 实验任务与实验过程

土木工程实验是土木工程专业的一门专业技术课程，与材料力学、结构力学、混凝土结构、砌体结构、钢结构、地基基础和桥梁结构等课程直接相关，并涉及物理学、机械与电子测量技术、数理统计分析等内容。因此，学好本课程除了要求具备本专业的知识外，还应具有较广泛的技术知识。通过本课程的学习，使学生获得土木工程实验方面的基础知识和基本技能，掌握一般材料实验、检测和鉴定的方法，以及根据实验结果作出正确的分析和结论的能力，为今后从事科学研究和工程实验检测打下良好的基础。

一、实验目的

- (1) 巩固、拓展土木工程材料、力学、结构基础理论知识，丰富、提高专业素质。
- (2) 掌握常用仪器设备的工作原理和操作技能，培养工程技术和科学研究的基本能力。
- (3) 了解土木工程材料、力学、结构及其相关实验规范，掌握常用土木工程材料、力学、结构的实验方法。
- (4) 培养严谨求实的科学态度，提高分析与解决实际问题的能力。

二、实验任务

土木工程材料实验任务是分析、鉴定土木工程原材料的质量；检验、检查材料成品及半成品的质量；验证、探究土木工程材料的技术性质；统计分析实验资料，独立完成实验报告。

力学实验任务是通过对实验现象的综合观察、分析以及对材料各力学量、物理量的测量，

使学生能初步掌握材料力学和土力学实验的基本知识、基本方法和基本技能，并能运用材料力学和土力学原理解释材料和构件的力学行为，加深对材料力学和土力学原理的理解。

土木工程结构实验任务是在结构或实验对象上，以仪器设备为工具，利用各种实验技术为手段，在荷载（重力、机械扰动力、地震力、风力……）或其他因素（温度、变形沉降……）作用下，通过测试与结构工作性能有关的各种参数（变形、挠度、位移、应变、振幅、频率……）后进行分析，从而对结构的工作性能作出评价，对结构的承载能力作出正确的估计，并为验证和发展结构的计算理论提供可靠的依据。

三、实验过程

实验过程是实验者进行实验时的工作程序，土木工程的每个实验都应包括以下过程。

（一）实验准备

认真、充分的实验准备工作是保证实验顺利进行并取得满意结果的前提和条件，实验准备工作的内容包括以下两个方面：

（1）理论知识的准备。每个实验都是在相关理论知识指导下进行的，只有实验前充分了解本实验的理论依据和实验条件，才能有目的、有步骤地进行实验，否则，将会陷入盲目。

（2）仪器设备的准备。实验前应了解所用仪器设备的工作原理、工作条件和操作规程等内容，以便使整个实验过程能够按照预先设计的实验方案顺利、快捷、安全地进行。

（二）取样与试件制备

进行实验要有实验对象，对实验对象的选取称为取样。实验时不可能把全部材料都拿来进行测试，实际上也没有必要，往往是选取其中的一部分。因此，取样要有代表性，使其能够反映整批材料的质量性能，起到“以点代面”的作用。实验取样完成后，对有些实验对象的测试项目可以直接进行实验操作，并进行结果评定。然而在大多数情况下，还必须对实验对象进行实验前处理，制作成符合一定标准的试件，以获得具有可比性的实验结果。

（三）实验操作

实验操作是实验过程的重要环节，在充分做好实验准备工作以后方可进行实验操作。实验过程的每一步操作都应采用标准的实验方法，以使测得的实验结果具有可比性，因为不同的实验方法往往会得出不同的实验结果。实验操作环节是整个实验过程的中心内容，应规范操作，仔细观察，详细记录。

（四）结果分析与评定

实验数据的分析与整理是产生实验成果的最后一个环节，应根据统计分析理论，实事求是地对所测数据进行科学归纳和整理，同时结合相关标准规范，以实验报告的形式给定实验结论，并作出必要的理论解释和原因分析。

第二节 实验数据统计分析方法

实验中所测得的原始数据并不是最终结果，只有将其统计归纳、分析整理，找出其内在的本质联系，才是实验的目的所在。本节主要介绍实验数据统计分析的基本方法。

一、测量与误差

测量是从客观事物中获取有关信息的认识过程，其目的是在一定条件下获得被测量的真值。尽管被测量的真值客观存在，但由于实验时所进行的测量工作都是依据一定的理论与方法，使用一定的仪器与工具，并在一定条件下由一定的人进行的，而实验理论的近似性、仪器设备灵敏度与分辨能力的局限性以及实验环境的不稳定性等因素的影响，使得被测量的真值很难求得，测量结果和被测量真值之间总会存在或多或少的偏差，由此而产生的误差也就必然存在，这种偏差叫作测量值的误差。设测量值为 X ，真值为 A ，则误差 ε 为

$$\varepsilon = |X - A| \quad (1.2.1)$$

测量所得到的一切数据都含有一定量的误差，没有误差的测量结果是不存在的。既然误差一定存在，那么测量的任务即是设法将测量值中的误差减至最小；或在特定的条件下，求出被测量的最近真值，并估计最近真值的可靠度。按照对测量值影响性质的不同，误差可分为系统误差、偶然误差和粗大误差，此三类误差在实验测得的数据中常混杂在一起出现。只有了解了实验误差的范围，才有可能正确估计实验所得到的结果，对实验误差进行分析将有助于在实验中控制和减少误差的产生。

（一）系统误差

系统误差又称之为经常误差，它是由某些固定的原因所造成的。其特点是在整个测量过程中总是有规律地存在着，其大小和符号都不变或按某一规律改变。由于系统误差的大小是固定（或按一定规律改变）的，所以它的误差是可以测定的，故又将系统误差称之为可测误差。

系统误差的产生与下列因素有关：

（1）方法误差。

它是由于采用了不完善的测量方法或数学处理方法所导致的。例如，采用某种简化的测量方法或近似计算方法，或对某些经常作用的外界条件影响的忽略等，从而导致测量结果偏高或偏低。

（2）工具误差。

由于测量仪器或工具在结构上不完善或零部件制造时的缺陷所导致的测量误差。例如，仪表刻度不均匀，百分表的无效行程等。

(3) 条件误差。

测量过程中, 由于测量条件变化所造成的误差。例如, 测量工作开始和结束时某些条件(如温度、湿度、气压……)发生变化所导致的误差。

(4) 调整误差。

由于量测人员没有调整好仪器所带来的误差。例如, 测量前未将仪器放在正确位置, 仪器未校准或使用零点调整不准的仪器。

(5) 主观误差。

由于测量人员本身的一些主观因素造成的误差。例如, 用眼在刻度上估读时习惯性地偏向某一个方向等。

由于系统误差是恒差, 因此, 采用增加测量次数的方法不能消除系统误差。通常可采用多种不同的实验技术或不同的实验方法, 以判定有无系统误差存在。在确定系统误差的性质之后, 应设法消除或使之减少, 从而提高测量的准确度。

(二) 偶然误差

偶然误差也叫随机误差。在同一条件下多次测量同一量时, 测得值总是有稍许差异并变化不定, 且在消除系统误差之后依然如此, 这种绝对值和符号经常变化的误差称为偶然误差。偶然误差产生的原因较为复杂, 影响因素很多, 难以确定某个因素产生具体影响的程度, 因此偶然误差难以找出确切原因并加以排除。实验表明, 大量次数测量所得到的一系列数据的偶然误差都遵从一定的统计规律。

(1) 绝对值相等的正、负误差出现机会相同, 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的机会多。

(2) 误差不会超出一定的范围, 偶然误差的算术平均值随着测量次数的无限增加而趋向于零。

实验还表明, 在确定的测量条件下, 对同一量进行多次测量, 用算术平均值作为该量的测量结果, 能够比较好地减少偶然误差。

设: 某量的 n 次测量值为 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 其误差依次为 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$, 真值为 A , 则

$$(X_1 - A) + (X_2 - A) + (X_3 - A) + \dots + (X_n - A) = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_n$$

将上式展开整理得

$$\frac{1}{n}[(X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n) - nA] = \frac{1}{n}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_n) \quad (1.2.2)$$

此式表示平均值的误差等于各测量值误差的平均。由于测量值的误差有正有负, 相加后可抵消一部分, 而且 n 越大相消的机会越多。因此, 在确定的测量条件下, 减小测量偶然误差的办法是增加测量次数。在消除系统误差后, 算术平均值的误差随测量次数的增加而减少, 平均值即趋于真值, 因此, 可取算术平均值作为直接测量的最近真值。

测量次数的增加对提高平均值的可靠性是有利的, 但并不是测量次数越多越好。因为增加次数必定延长测量时间, 这将给保持稳定的测量条件增加困难, 同时延长测量时间也会给观测者带来疲劳, 这又可能引起较大的观测误差。另外增加测量次数只能对降低偶然误差有

利而与系统误差减少无关，所以实际测量次数不必过多，一般取 4~10 次即可。

（三）粗大误差

凡是在测量时用客观条件不能解释为合理的那些突出的误差为粗大误差，粗大误差也叫过失误差。粗大误差是观测者在观测、记录和整理数据过程中，由于缺乏经验、粗心大意、时久疲劳等原因引起的。初次进行实验的学生，在实验过程中常常会产生粗大误差，学生应在教师的指导下不断总结经验，提高实验素质，努力避免粗大误差的出现。

误差的产生原因不同，种类各异，其评定标准也有区别。为了评判测量结果的好坏，我们引入测量的精密度、准确度和精确度等概念。精密度、准确度和精确度都是评价测量结果好坏与否的，但各词义不同，使用时要加以区别。测量的准确度高，是指测量数据的平均值偏离真值较小，测量结果的系统误差较小，但数据分散情况即偶然误差的大小不明确。测量的精确度高，是指测量数据比较集中在真值附近，即测量系统误差和偶然误差都比较小，精确度是对测量的偶然误差与系统误差的综合评价。

二、数据统计特征值

（一）算术平均值

算术平均值是最基本的数据统计分析概念，在数据分析中经常用到，用来说明实验时测得一批数据的平均水平和度量这些数据的中间位置。算术平均值用下式表示：

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \cdots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1.2.3)$$

式中 $\bar{X}$ ——算术平均值；

$X_1, X_2, X_3, \cdots, X_n$ ——各实验数据值；

n ——实验数据个数。

（二）加权平均值

加权平均值表征法也是比较常用的一种方法，它是考虑了测量值与其所占权重因素的评价法。加权平均值用下式表示：

$$m = \frac{X_1 g_1 + X_2 g_2 + X_3 g_3 + \cdots + X_n g_n}{g_1 + g_2 + g_3 + \cdots + g_n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i g_i}{\sum_{i=1}^n g_i} \quad (1.2.4)$$

式中 m ——加权平均值；

$X_1, X_2, X_3, \cdots, X_n$ ——各实验数据值；

$g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$ ——各实验数据值的对应权数;
 n ——实验数据个数。

三、误差计算与数据处理

(一) 范围误差 (极差)

在实际测量中, 正常的合乎道理的误差不是漫无边际, 而是具有一定的范围。实验数值中最大值与最小值之差称为范围误差或极差, 它表示数据离散的范围, 可用来度量数据的离散性。

$$\omega = X_{\max} - X_{\min} \quad (1.2.5)$$

式中 ω ——范围误差 (极差)

$X_{\max}$ ——实验数据最大值;

$X_{\min}$ ——实验数据最小值。

【例 1.2.1】 三块砂浆试件抗压强度测量值分别为 5.21 MPa、5.63 MPa、5.72 MPa, 求该测量结果的范围误差。

【解】 因为该组测量值中的最大值和最小值分别为 5.73 MPa、5.21 MPa, 所以测量结果的范围误差为

$$\omega = X_{\max} - X_{\min} = 5.72 - 5.21 = 0.51 \text{ MPa}$$

(二) 算术平均误差

算术平均误差可反映多次测量产生误差的整体平均状况, 计算公式为

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{|\varepsilon_1| + |\varepsilon_2| + \dots + |\varepsilon_n|}{n} = \frac{|X_1 - A| + |X_2 - A| + \dots + |X_n - A|}{n} \\ &= \frac{|X_1 - \bar{X}| + |X_2 - \bar{X}| + \dots + |X_n - \bar{X}|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n} \end{aligned} \quad (1.2.6)$$

式中 δ ——算术平均误差;

$X_1, X_2, \dots, X_n$ ——各实验数据值;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ ——各实验数据测量误差;

A ——被测量最近真值;

$\bar{X}$ ——实验数据值的算术平均值;

n ——实验数据个数。

【例 1.2.2】 三块砂浆试块的抗压强度分别为 5.21 MPa、5.63 MPa、5.72 MPa, 求算术平均误差。

【解】 因为这组试件的平均抗压强度为 5.52 MPa, 所以其算术平均误差为

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{|X_1 - \bar{X}| + |X_2 - \bar{X}| + \cdots + |X_n - \bar{X}|}{n} \\ &= \frac{|5.21 - 5.52| + |5.63 - 5.52| + |5.72 - 5.52|}{3} = 0.2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(三) 标准差 (均方根差)

在测量结果的评定中, 只知道产生误差的平均水平是不够的, 还必须了解数据的波动情况及其带来的危险性。标准差 (均方根差) 则是衡量数据波动性 (离散性大小) 的指标, 计算公式为

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\frac{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \cdots + \varepsilon_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \cdots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}\end{aligned}\quad (1.2.7)$$

式中 σ ——标准差 (均方根差);

$X_1, X_2, \cdots, X_n$ ——各实验数据值;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \cdots, \varepsilon_n$ ——各实验数据测量误差;

$\bar{X}$ ——实验数据值的算术平均值;

n ——实验数据个数。

【例 1.2.3】某水泥厂某月生产 10 个编号的 32.5 矿渣水泥, 28 d 抗压强度分别为 37.3、35.0、38.4、35.8、36.7、37.4、38.1、37.8、36.2、34.8 MPa, 求其标准差。

【解】10 个编号水泥的算术平均强度 $\bar{X}$ 为

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{367.5}{10} = 36.8$$

$$\begin{aligned}\text{所以 } \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 &= (X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \cdots + (X_{10} - \bar{X})^2 \\ &= (37.3 - 36.8)^2 + (35.0 - 36.8)^2 + \cdots + (34.8 - 36.8)^2 \\ &= 14.47\end{aligned}$$

所以, 标准差

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{14.47}{9}} = 1.27 \text{ MPa}$$

(四) 极差估计法确定标准差

利用极差估计法确定标准差的主要优点是计算方便, 但反映实际情况的精确度较差。

(1) 当数据不多时 ($n \leq 10$), 利用极差法估计标准离差的计算式为

$$\sigma = \frac{1}{d_n} \omega \quad (1.2.8)$$

(2) 当数据很多时 ($n > 10$), 先将数据随机分成若干个数量相等的组, 然后对每组求极

差, 并计算极差平均值 $\bar{\omega} = \frac{\sum_{i=1}^n \omega}{m}$, 此时标准差的估计值近似用下式计算:

$$\sigma = \frac{1}{d_n} \bar{\omega} \quad (1.2.9)$$

式中 σ ——标准差的估计值;
 d_n ——与 n 有关的系数, 见表 1.2.1;
 $\omega, \bar{\omega}$ ——极差及各组极差平均值;
 m ——数据分组的组数;
 n ——每一组内数据拥有的个数。

表 1.2.1 极差估计法系数表

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

(五) 变异系数

由于标准差是表征数据绝对波动大小的指标, 当被测量的量值较大时, 绝对误差一般较大; 当被测量的量值较小时, 绝对误差一般较小。因此要考虑相对波动的大小, 应以标准差与实验数据算术平均值之比的百分率来表示标准差, 即变异系数。变异系数计算式为

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\% \quad (1.2.10)$$

式中 C_v ——变异系数;
 σ ——标准差;
 $\bar{X}$ ——实验数据的算术平均值。

变异系数与标准差相比, 具有独特的工程意义, 可表达出标准差所表示不出来的数据波动情况。例如, 甲、乙两厂均生产 32.5 级矿渣水泥, 甲厂某月生产水泥的平均强度为 39.84 MPa, 标准差为 1.68 MPa; 同月乙厂生产的水泥平均强度为 36.2 MPa, 标准差为 1.62 MPa, 试比较两厂的变异系数。

甲厂的变异系数:

$$C_{v\text{甲}} = \frac{\sigma_{\text{甲}}}{\bar{X}_{\text{甲}}} \times 100\% = \frac{1.68}{39.8} \times 100\% = 4.22\%$$