计量中专试用教材

测量误差

康学政　林世曾　李金海　编

中国计量出版社

内 容 提 要

测量误差是计量测试专业的一门重要的基础课。本书根据培养应用型人才的指导思想和计量中专的特点，简明而系统地阐述了误差的概念，随机误差，系统误差，粗大误差，误差的传递，误差的合成，线性参数的最小二乘法以及直线拟合与曲线拟合等基本知识。实用性强，学时安排恰当。本书亦可作为同类职业学校及同等层次的计量专修班的教材和计量科技人员自学参考。

计量中专试用教材

测 量 误 差

康学政　林世曾　李金海　编

责任编辑　王秉义

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 787×1092/16　印张 10.75 字数 254 千字

1990 年 12 月第 1 版　1990 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—6 500

ISBN 7-5026-0374-3/TB·306

定价 7.00 元

出版前言

国家技术监督局是国务院统一管理和组织协调全国技术监督工作的职能部门。负责管理全国标准化、计量、质量监督工作，并对质量管理进行宏观指导。

随着技术监督事业的迅速发展，当前迫切需要大量的各级、各类计量专门人才。举办各种形式的计量中等教育，对于提高在职计量人员的素质，改善计量队伍的结构，培养一批计量队伍的新生力量，都具有重要意义，并将对计量事业的发展产生深远的影响。

近几年来，由于一批计量中专学校的创办，各种形式的计量中等教育如委托或联合办计量中专班、计量函授中专、计量职业高中、计量中专的专业证书培训等，也在各地陆续开展起来，但是缺少教材已成为计量中等教育迫切需要解决的重大问题。因此我们根据国家技术监督局的决定，组织编写了一套计量中专教材，其中包括：几何量、热工、力学、电磁学计量四个专业的部分专业基础课和专业课试用教材。

本书是委托河北省和吉林省标准计量中专学校组织编写的通用基础课教材。

计量事业教育基础十分薄弱。组织编写行业性教材还是第一次，基本条件和经验都不足。因此，这套教材的编写工作是在时间紧、难度大的情况下进行的，虽然经过多方面努力，但仍然存在很多不足之处，甚至于错误，我们拟在试用过程中听取各方面意见，于适当时机再次组织修改。

另外，这套教材主要是根据三年制全脱产的计量中等专业教育的需要编写的。在目前情况下，要对各种形式的计量中等教育都编出相应的教材难以做到。因此，在编写过程中，也一定程度地考虑了适用的多样性，其他形式的计量中等教育可参考本套教材的基本内容，适当调整使用。

在教材的编写、审议过程中，得到了中国计量出版社、中国计量科学研究院、中国测试技术研究院、中国计量学院、中国计量测试学会，河北、四川、山东、吉林省标准计量局及有关的高等院校、省市计量部门、科研单位、大中型企业的大力支持，在此，谨表示衷心感谢！

国家技术监督局宣传教育司

1988.8

编 者 的 话

《测量误差》是体现计量测试专业特色的一门重要基础课。它是在原国家计量局教育处组织下，根据1987年制订的全国计量职工中专统编的《误差理论与数据处理》教学大纲编写的，作为职工中专的教材，讲授时数为100学时。本书亦可做为同类职业学校及同等层次的计量专修班的教材和供计量科技人员自学参考。

本书主要内容包括：误差的基本概念，随机误差，系统误差，粗大误差，误差的传递，误差的合成，线数参数的最小二乘法以及直线拟合和曲线拟合等。根据培养应用型人才的指导思想和职工中专的特点，对内容做了精选，删减了实用性不强的和难度较大的部分内容，如标准偏差的估计只重点讲述标准法——贝塞尔公式，删节了实用性不大的系统误差的统计判别方法和有一定难度的矩阵最小二乘法等，突出了实用性。根据尽量采用国际标准的原则，对误差合成，本书只简述了过去的传统合成方法，而按国际计量局推荐的将误差区分为A类、B类分量，着重论述了不确定度的合成，反映了误差理论研究的最新成果。另外，书中典型例题较多，各章均有适量的习题，其中计算题还附有参考答案，有利于学生和读者做到学用结合。

参加编写的有河北省标准计量职工中专的林世曾同志（绪论、第1、2章）、李金海同志（第3、4章），吉林省标准计量职工中专的康学政同志（第5、6、7章），全书由康学政同志统稿。

本书由中国计量科学研究院副研究员肖明耀同志主审。参加审稿的还有清华大学副教授肖日荣同志，北方交大副教授孙续同志，航空航天部无线电测试研究所高级工程师叶德培同志，北京市计量测试所高级工程师谢纪绩和陈思涛同志，计量出版社编辑陈蔡同志，国家技术监督局工程师安国和章学锋同志，吉林省标准计量职工中专讲师袁福双同志，北京市标准计量局工程师孙振江同志。

在编写过程中，得到长春大学副教授郑福成同志的多方指导和帮助并审查了全部初稿。另外，在编写过程中，河北、吉林两校领导始终给予大力支持，在此一并致以深切的谢意。

由于编者水平有限，加之时间紧迫，不妥或错误之处在所难免，敬请读者批评指正！

编 者

1990年4月

目　　录

绪　论

一、误差的必然性

人们为了正确的认识世界，进而能动地改造世界，在其生产实践、科学研究和社会生活中，会遇到各种各样的被测对象。测量的目的在于掌握这些被测对象处在何种状态。测量时，测量人员根据被测对象的特点和有关的要求，选择适当的仪器和方法进行测量。例如，用卡尺测量轴的直径，用体温计测量人的体温，用压力表测量锅炉内的压力，用内径千分尺测量气缸缸体的内径，等等。每一次测量便可获得被测量的一个测量结果，用以反映被测对象所处的状态。但是任何检测仪器，由于加工、装配等各种原因，使得它们不可能绝对准确。测量人员的观察能力也总是有一定限度的。此外，还有其他诸多原因，致使测量结果同被测对象的客观实际状态存有一定的差异。例如，用体温计量得某人的体温为36.9℃。但体温计的分度不可能刻得绝对均匀和绝对准确，人的眼睛也无法准确分辨体温计上比0.1℃更小的温差。因此，可以断定，该人的实际体温决不会恰好是36.9℃，如不是稍高于，就必然略低于这个温度。我们将测量结果与被测对象的客观实际状态，在数量上的差异称为测量误差。

在测量被测对象的某个状态时，往往可以选用不同的仪器和方法。例如，测量某孔的内径可用内径千分尺，也可用内径百分表，还可用工具显微镜。又如，测量窑炉内的温度可用光学高温计，也可用热电偶，等等。实践证明，无论选用哪种测量方法，采用何种测量仪器，其测量结果总含有误差。即使在进行高准确度的测量时，也会经常发现同一被测对象的这一次测量和那一次测量的结果不完全相同；用这一台仪器和用那一台仪器测得的结果不完全相同；在这个环境和那个环境测得的结果不完全相同；甚至同一个测量人员，在相同的环境里，用同一台仪器进行的两次测量，其结果也不完全相同。这些现象说明，每一次测量都存在误差，且这些误差又不一定相等，以致被测对象只是一个，而测得的结果却往往不同。当测量方法先进，测量仪器准确时，测得的结果会更接近被测对象的实际状态，此时测量的误差小、准确性好。但是，任何先进的测量方法，任何准确的测量仪器，均不可能使测量的误差等于零。换言之，任何测量必然产生误差，不含误差的测量结果是不存在的。测量实践证实了误差的必然性，下述的误差公理已被人们公认不疑。

误差公理：测量结果都具有误差，误差自始至终存在于一切科学实验和测量的过程之中。

二、研究误差理论的意义

（一）确定测量误差是整个测量过程不可缺少的重要环节

对于不知其测量误差的测量结果，往往是无法应用从而也是无意义的。例如在机械加工

中，对于与某个孔相配合的轴，其直径不能过大或过小，否则达不到轴孔配合的要求。假设轴的客观实际直径L_0在9.99～10.01 mm范围内才是合格的，否则不符合要求。现知道某根轴直径的测量结果为10 mm，但不知其测量误差，那么这根轴是否一定符合要求呢？为此作如下分析。

当轴直径测量误差的绝对值，即测量结果（10 mm）与轴的客观实际直径L_0的差值的绝对值不超过0.01 mm时，此时轴的客观实际直径L_0在9.99～10.01 mm范围内，因此是合格的。

当轴直径测量误差的绝对值超过0.01 mm时，此时轴的客观实际直径L_0超出9.99～10.01 mm范围，因此不合格。

由此可见，测量结果为10 mm的这根轴，在不知其测量误差时，是无法判断其合格与否的。事实上，它可能是合格的，也可能是不合格的，这取决于测量误差的大小。因此，从事测量就必须研究误差，掌握测量过程中引起误差的因素，了解每项因素产生多大误差以及这些因素又如何综合影响测量结果。

（二）误差理论是保证和提高测量准确性的必要的理论依据

在生产中，大量的测量工作是为了检验各种被测对象是否符合要求，即是否为合格品。这就要求检验手段，即所用的测量仪器和测量方法需达到一定的准确性。如误差过大就很可能将不符合标准要求的被测对象，被误认为合格品而验收，或者将合格的被测对象被当作不合格品而拒绝验收。

在科学研究中，经常要求测量尽可能地减小误差，并且将测量误差作为衡量研究成果的一项重要指标。特别在计量科学领域里，计量科技水平高低的主要指标是测量误差的大小，即测量准确度的高低。

因此，在很多时候，要求我们设法减小测量误差，提高测量准确性。这就需要对误差进行系统的、全面的研究，了解误差的种类，各类误差的特性以及在具体测量工作中减小甚至消除某些因素所造成的误差的原则和方法。这些方面也正是误差理论所包含的内容。

（三）误差理论是合理选用、设计仪器的必要理论依据

我们知道，对一个被测对象的测量，往往可以选用不同的测量仪器。测量长度可用各种量规，也可用卡尺、千分尺，还可用测长仪等各种精密仪器。测量温度可用普通水银温度计，也可用精密水银温度计，还可用高准确度的贝克曼温度计。而这些计量器具的准确性各不相同，所获得的测量结果的误差也各不相同。一般情况是测量的准确性越好，测量过程就越复杂，对仪器和测量环境越苛求，对测量人员的技术要求也越高。从而耗资、耗时也越多。因此，很多测量工作，特别在生产中大量的测量检验，并不盲目追求高准确度。而是在满足测量准确度的前提下，求得测量工作简便、经济，有较高的速度以适应生产的要求。这就需要应用误差理论科学地、合理地选择测量器具。

在设计仪器时，鉴于加工等原因，有时应用近似原理，如以线性的运动近似地代替非线性运动，从而产生仪器原理设计误差。此外，在仪器零部件的加工、装配和调试中，由于不可能达到完全理想的位置或状态，也必然产生加工、装配和调整误差。这些误差都影响仪器的测量准确性。设计中需应用误差理论来分析并适当控制这些误差因素，使仪器的测量准确

性达到设计要求。总之，误差理论已成为从事测量技术和仪器设计制造科技工作者的必不可少的理论知识。它也同任何其他科学理论一样，将随着生产和科学技术的发展而进一步得到发展和完善。

三、本课程的主要内容、地位和作用

误差理论是专门从事研究有关测量误差的科学理论。数据处理则是应用数学方法和计算工具，对测量数据进行科学地分析、研究和处理的原则和方法。随着科学技术的发展，误差理论与数据处理在理论上和实际应用上都得到了极大的发展，已成为国内外引人关注的学科，不仅在高等学校的有关专业开设此课程，而且从事各种实验和研究的科技工作者也学习和研究它。特别对计量科学各专业而言，误差理论与数据处理是一门必不可少的、十分重要的基础课。

本书作为计量中专教材，主要叙述有关误差理论与数据处理的基础知识。掌握分析、确定测量误差以及进行数据处理的基本原则和方法。为今后学习计量专业课和从事实际工作打下基础。本课程主要内容包括：误差的基本概念；误差的来源、分类及各类误差的特性；误差的传递和合成；线性函数的误差最小二乘法处理以及直线拟合、曲线拟合。

第一章　误差的基本概念

第一节　误差的定义

误差出于分析、比较和理论研究等需要，有绝对误差和相对误差两种表达方式。

一、绝 对 误 差

我们将测量结果和被测对象客观实际的差异视为测量误差，当用绝对误差表达时，其确切定义如下。

（一）定　义

测量结果的测量误差系指该测量结果与被测量真值之间的差，即

测量误差＝测量结果－被测量的真值

用数学式表达为：

$$\delta l = l - L_0 \tag{1.1}$$

式中：l——被测量（即指被测对象）的测量结果.

L_0——被测量的真值（即指被测量的客观实际值）；

δl——测量结果 l 的测量误差.

式（1.1）表示的测量误差 δl 称为测量结果的绝对误差。

由式（1.1）可见，绝对误差 δl 是带符号的．当测量结果大于被测量的真值时，绝对误差 δl 为正号；当测量结果小于被测量的真值时，δl 为负号．而 δl 的数值表明了测量结果偏离被测量真值的大小．其绝对值越小，说明测量结果越接近真值；绝对值越大，说明测量结果越偏离真值。

由式（1.1）可知：

$$L_0 = l - \delta l \tag{1.2}$$

上式表明从测量结果中减去测量误差就等于被测量的真值。因此，式（1.1）和式（1.2）显示了绝对误差定义的唯一性和较好的逻辑性。

（二）被 测 量 的 真 值

被测量的真值系指在测量观察被测量时，该量本身所具有的真实大小，即被测量在测量观察时的客观实际值。

1. 真值的特性

(1) 近似可知性。测量的目的在于确定被测量的真值。但是，由于测量存在误差，测量结果只能是真值的近似值。所以在一般情况下，真值是不可知的。只在少数特殊情况下，我们能知道被测量的理论真值。例如，平面三角形，三个内角之和的理论真值是180°。此外，按国际计量大会关于量的单位的决议所复现的量值，可认为是真值。例如，保存在国际计量局的国际千克基准砝码，按规定条件时的真值可认为是 1 kg。

(2) 可变性。与任何事物一样，被测量处在不断地变化中，致使真值随着时间、地点和环境的变化而变化。

真值在某些因素的影响下，会发生较大、较快的变化。例如，金属制件受温度的影响，其外形尺寸呈现"热胀冷缩"的变化规律，一米长的量块，温度变化1℃，则长度（即真值）的变化量约为 0.011 mm。

有些因素对真值的影响则是缓慢的，只在相当长的时间以后，才有比较明显的变化。像材料老化引起真值的变化就属于这种情况。因此，对于计量器具，在相隔一定的时间以后，对它们的量值需要重新确定。

2. 相对真值

在用式 (1.1) 确定测量结果 l 的测量误差 δl 时，有时将被测量用更高等级的计量器具进行测量，其测量结果 L_0' 作为被测量的"真值"。显然，L_0' 作为测量结果仍含有误差。但是，它比待确定误差的测量结果 l 更接近真值，通常称 L_0' 为相对真值。此时，测量结果 l 的测量误差可表达为：

$$\delta l = l - L_0' \tag{1.3}$$

例 1.1 用量角器测得平面三角形的三个内角分别为：$\alpha_1 = 78°00'18''$、$\alpha_2 = 36°00'15''$ 和 $\alpha_3 = 75°59'43''$。由式 (1.1) 得三个内角和的误差为：

$$\begin{aligned}\delta l &= (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) - 180° \\ &= 180°00'16'' - 180° \\ &= +16''\end{aligned}$$

例 1.2 已知 4 等量块的中心长度 $L_4 = 50.0021$ mm，以此作为标准，在立式光学计上测得圆柱体直径与量块的尺寸差 $\Delta L_4 = 0.0023$ mm。因此，圆柱体直径为：

$$\begin{aligned}\phi &= L_4 + \Delta L_4 \\ &= 50.0021 + 0.0023 \\ &= 50.0044 \text{ mm}\end{aligned}$$

为确定 ϕ 的测量误差，再以误差更小的 2 等量块作标准，在立式接触干涉仪上进行测量。设 2 等量块的中心长度为：

$$L_2 = 50.00105 \text{ mm}$$

测量的尺寸差为：

$$\Delta L_2 = 0.00355 \text{ mm}$$

因此，圆柱体直径的相对真值为：

$$\begin{aligned}\phi_0' &= L_2 + \Delta L_2 \\ &= 50.00105 + 0.00355 \\ &= 50.00460 \text{ mm}\end{aligned}$$

由式（1.3）得测量结果 ϕ 的测量误差：

$$\begin{aligned}\delta\phi &= \phi - \phi_0' \\ &= 50.004\,4 - 50.004\,60 \\ &= -0.000\,2\ \text{mm}\end{aligned}$$

例 1.3 某压力值先用普通压力计对其测量得 $p_1 = 97.966$ MPa（压力单位：兆帕斯卡），再用二等标准活塞压力计对其测量得 $p_2 = 98.146$ MPa．为判断它们的测量误差，用比它更高等级的计量器具，更准确的方法，测得该压力值的相对真值 $p_0' = 98.116$ MPa，则由式（1.3）知普通压力计测量结果 p_1 的测量误差为：

$$\begin{aligned}\delta p_1 &= p_1 - p_0' \\ &= 97.966 - 98.116 \\ &= -0.15\ \text{MPa}\end{aligned}$$

二等压力计的测量结果 p_2 的测量误差为：

$$\begin{aligned}\delta p_2 &= p_2 - p_0' \\ &= 98.146 - 98.116 \\ &= +0.030\ \text{MPa}\end{aligned}$$

比较测量误差有：$|\delta p_1| > |\delta p_2|$，说明二等压力计较普通压力计的测量结果更接近相对真值．

（三）广义绝对误差

在式（1.1）和式（1.3）中，l 表示测量结果，δl 系指 l 的误差．但在研究误差时，除需确定测量结果的误差外，还会遇到其他量值的误差问题．

例如，估读指示器的指针，位于两相邻刻度间的相对位置而引起的读数误差．如图 1.1 所示．估读指示器指针的位置为 12.6（刻度单位），由于人眼的分辨局限性，读数值 12.6（刻度）必然含有误差，此项误差称为估读误差．它实际上是含有误差的估读值和指针客观实际位置（真值）的差值．由式（1.1）便可给出下列的广义的绝对误差定义．

定义：一个给出值的绝对误差系指该给出值与该量的真值之差．即

$$误差 = 给出值 - 真值$$

此处，给出值是广义的，它可以是我们研究的一切含有误差的数值和量值．

例 1.4 圆周率 $\pi = 3.141\,592\,65\cdots$ 在运算时，若取其三位小数，得舍入后的近似值 $\pi =$

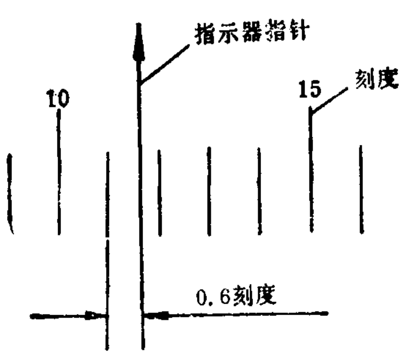

图 1.1

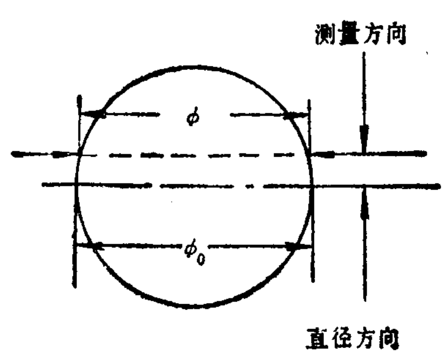

图 1.2

3.142。将3.1416视为π的相对真值，则近似数3.142的绝对误差（舍入误差）为：

$$\begin{aligned}\delta\pi &= \text{给出值} - \text{真值}\\ &= 3.142 - 3.1416\\ &= +0.0004\end{aligned}$$

例 1.5 待测直径的圆球，放置在可作垂直调整的仪器工作台上。但是，由于未能将球的直径调整在测量轴线上，以致测得直径ϕ并非圆球的实际直径ϕ_0，因而引起误差。如图1.2所示。显然，此项误差是因为测量前未能将被测对象(圆球)调整至正确位置所造成的，一般称这类误差为调整误差。由定义知：

$$\begin{aligned}\text{调整误差} &= \text{给出值} - \text{真值}\\ &= \phi - \phi_0\end{aligned}$$

例 1.6 计量仪器仪表由于制造调整等原因，造成仪器仪表指示的被测量值，即仪器仪表的示值不等于被测量的真值，称此项误差为仪器仪表的示值误差。已知由高等级的计量标准测得的电流相对真值$I_0' = 51$ A，经电流表测量得示值$I = 50$ A，则该电流表在50 A处的示值误差为：

$$\delta I = 50 - 51 = -1\ \text{A}$$

（四）修 正 值

广义绝对误差的定义表示了给出量值、误差和量的真值三者之间的关系。量的真值（相对真值）可由下式表示：

$$\text{真值（相对真值）} = \text{给出值} - \text{误差} = \text{给出值} + （-\text{误差}）$$

即给出值加上负误差，便得到该量的真值（相对真值）。

定义：给出值的修正值等于该量值的负误差。即

$$\text{修正值} = -\text{误差}$$

因此，量的真值（相对真值）可由下式表示：

$$\text{真值（相对真值）} = \text{给出值} + \text{修正值}$$

在计量中，通常采用加修正值的办法来保证量值的统一。各种量具的标称值（名义值）通常也是通过加修正值来获得更准确的量值的。一般称修正后的量值为该量的实际值。但在修正量值时，必须十分注意修正值的符号和数值的正确性，否则会带来更大的误差。

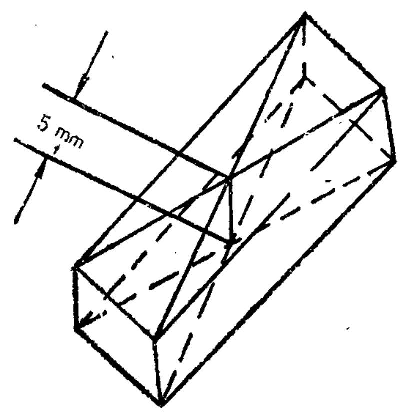

图 1.3

例 1.7 名义值为5 mm的量块，表示其中心长度的名义值为5 mm。如图1.3所示。对该量块，用更高等级的标准测量后得中心长度的相对真值为5.000 8 mm。由此得名义值5 mm的修正值为+0.000 8 mm；名义值5 mm的误差为−0.000 8 mm。

例 1.8 已知某电流表在10 mA刻度处的修正值=−0.02 mA。当该电流表测量电流的示值为10 mA时，则被测电流的

$$\text{实际值} = 10 - 0.02\ \text{mA}$$

为便于使用仪器的修正值，可采用表格、公式或曲线等方式表示之。对于自动测量仪器，修正值还可编成程序预先贮存在仪器中，测量时便可自动修正测量结果。

二、相对误差

（一）相对误差定义

对于单个测量结果，一般用绝对误差衡量测量的准确性。但在比较不同被测对象测量结果的准确性时，用绝对误差就无法判别了。例如，用木直尺测量 1 m长度的误差为 +1 mm；用钢直尺测量 10 m 长度的误差也为 +1 mm。虽然这两次测量的绝对误差相等，但是，测量的长度不等，因而它们准确程度是不同的。为此引入下面的相对误差概念。

定义：相对误差系指测量的绝对误差与被测量真值的比值。即

$$相对误差=\frac{绝对误差}{真值}=\frac{\delta l}{L_0} \tag{1.4}$$

在实际应用上式时，分母可用相对真值（实际值）代替，即

$$相对误差\approx\frac{绝对误差}{实际值}\approx\frac{\delta l}{L_0'} \tag{1.5}$$

由定义知，相对误差是带正负号的无名数，一般用百分数表示。它说明测量误差占真值的比例。此比例越大，则测量的相对误差越大，测量结果的准确性越低。反之准确性就越高。

例 1.9 用水银温度计测得某一温度的实际值 $t_0'=30.6$ ℃，已知测量误差为 $\delta t=0.1$ ℃，则相对误差为：

$$\frac{\delta t}{t_0'}=\frac{0.1}{30.6}\approx 0.3\%$$

例 1.10 第一种方法测量电压的实际值 $U_{10}'=100$ V，其测量误差 $\delta U_1=1$V。第二种方法测量电压的实际值 $U_{20}'=1\,000$ V，其测量误差 $\delta U_2=3$ V。用相对误差比较它们的准确性。

第一种测量方法的相对误差为：

$$\frac{\delta U_1}{U_{10}'}=\frac{1}{100}=1\%$$

第二种测量方法的相对误差为：

$$\frac{\delta U_2}{U_{20}'}=\frac{3}{1\,000}=0.3\%$$

由此可知，第二种测量方法比第一种测量方法的相对误差小，准确性高。

例1.11 设某电压表在测量 100～200 V 范围的电压值时，其相对误差为 −0.5%。用该电压表测量 $U=150$ V 电压时的绝对误差，可由式（1.5）得：

$$\begin{aligned}\delta U&=U\times(-0.5\%)\\&=150\times(-0.5\%)\\&=-0.75\text{ V}\end{aligned}$$

（二）引用误差

有些仪器仪表具有多档量程和连续分度。因此，它们具有较大的可测范围。如某电压表测量范围为 0～150 V。此处 150 V 是该电压表测量范围的上限值，也是它的量程。为便于确定这类仪器仪表的准确性，引入下述的引用误差。

定义：引用误差系指绝对误差与测量范围的上限值或量程之比值，以百分数表示，即

$$\text{引用误差}=\frac{\text{绝对误差}}{\text{上限值}}=\frac{\text{绝对误差}}{\text{量程}}$$

由上式可知，引用误差的分子是仪器仪表分度处的绝对误差，即该分度的示值与对应的真值之差，也称示值误差。显然，各分度处的示值误差不尽相等。而引用误差表达式中的分母是上限值或量程，对于某台仪器仪表而言，它是唯一确定的。因此，引用误差表示仪器仪表的示值误差占量程的比例。它实质上是简化了的相对误差。

电工仪表的准确度是以引用误差表示的。按规定电工仪表的等级分为若干级。符合 s 级的电工仪表，说明该仪表在整个测量范围内，各分度点的引用误差均不超过 $s\%$。也只有在仪表整个测量范围内，各分度点的引用误差均不超过 $s\%$ 时，才能确定该仪表符合 s 级。

设准确度为 s 级，上限值为 x_n 的电工仪表，其分度 x 处的示值误差（绝对误差）为 δx，则 x 处的引用误差按定义可知其为：$\delta x/x_n$。且有：

$$\frac{\delta x}{x_n}\leqslant s\%$$

对上式二边同乘以 x_n/x，即得

$$\frac{\delta x}{x}\leqslant\frac{x_n}{x}\cdot s\% \tag{1.6}$$

因此，s 级仪表的任一分度 x 处的最大相对误差为：

$$\frac{x_n}{x}\cdot s\%$$

这表明在不同的分度点上，即 x 不同，那么最大相对误差也不同。当 x 越接近上限 x_n 时，准确性越高，在 x_n 处的准确性为最高，即为 $s\%$。因此，在使用这类仪表时，尽可能在仪表的上限值附近，一般在 2/3 量程以上处测量。

例 1.12 测量范围为 0～150 V 的电压表，在示值为 $U=100.0$ V 时，测得的实际电压（即相对真值）为 $U_0'=99.4$ V。因此，示值 100.0 V 的绝对误差为：

$$\begin{aligned}\delta U&=U-U_0'\\&=100.0-99.4\\&=0.6\ \text{V}\end{aligned}$$

该示值处的引用误差为：

$$\frac{\delta U}{U_n}=\frac{0.6}{150}=0.4\%$$

例 1.13 检定上限值 $U_n=100$ V 的电压表，在 30 V 分度处的示值误差 $\delta U=2.5$ V，且