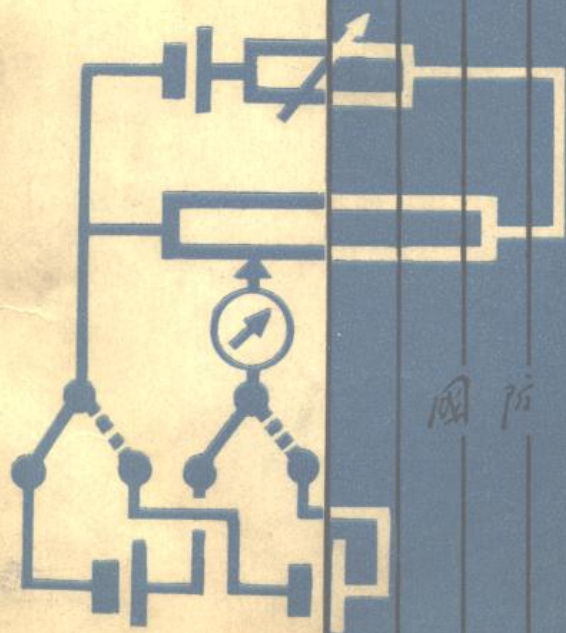


电工仪器仪表检定与修理

上册



国防工业出版社

73.16
174.2
1:2

电工仪器仪表检定与修理

上 册

《电工仪器仪表检定与修理》编写组

36505/50

国际二一五号 1978 12 24 行

内 容 简 介

《电工仪器仪表检定与修理》(上册)一书,重点阐述了有关标准电池、标准电阻、电阻箱、分压箱、直流电位差计(分压式、分流式、代换式、电流叠加式、分裂环和桥式及电流比较仪式电位差计)、电桥(单桥、双桥、单双桥、三次平衡电桥、比较电桥、直读电桥、变型桥式线路和电流比较仪式电桥)、检流计(磁电式、光电放大式、晶体管放大式检流计)等电阻仪器及检流仪器的一般原理、使用、检定与修理方法,并结合精密计量检修工作介绍了有关误差理论的基础知识。还将常用仪器的主要技术性能和常用计算用表分别列于附录中,可供查阅。

本书可供从事电工仪器仪表生产、使用、检定和修理的工人、检定员、技术人员和有关院校师生阅读和参考,亦可供无线电电子技术和热工计量专业人员参考。

电工仪器仪表检定与修理

上 册

《电工仪器仪表检定与修理》编写组

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京印刷一厂排版 北京第二新华印刷厂印装

850×1168 1/32 印张 27 $\frac{1}{4}$ 700千字

1978年8月第一版 1978年8月第一次印刷 印数:00,001—70,000册

统一书号:15034·1649 定价:2.55元

出版者的话

为实现伟大的领袖和导师毛主席提出的，周总理宣布的在本世纪内把我国建设成为社会主义的现代化强国的宏伟目标，全国人民在英明领袖华主席抓纲治国的战略决策指引下，为尽快把国民经济搞上去，我们要树雄心，立壮志，加倍努力，奋勇前进，使我国出版事业更好地为无产阶级政治服务，为工农兵服务，为社会主义服务。我们在出版《电工仪表修理》一书的基础上，为了普及精密仪器仪表的原理、使用与计量维修知识，继续组织编写了《电工仪器仪表检定与修理》（上、下册）一书。

本书的编写内容，广泛取材于从事精密仪器仪表计量维修和仪器生产、科研部门的工人、技术人员的实践经验，因此具有实例多、图多、表多、数据多的特点，有行之有效的常用方法；有总结摸索的新经验；有一批新型仪器的典型实例；也有经常使用的国内、外老产品的检修方法。在形式上，尽量采用通俗语言、形象的立体图和分部简化图及表等加以叙述。此外，还介绍了一些较深的内容，以适应提高的需要。

全书上、下册分为九个部分，主要介绍了标准电池、标准电阻、直流电位差计、电桥、电阻箱、分压箱、检流计、精密直读仪表、数字电压表的原理、使用与计量维修方法和有关误差理论、磁测量的基础知识，以及检修中常用的工具、自制工具、材料、检定装置、精密稳压稳流电源、辅助器材装备等的使用、维修及一些自制的方法和防泄漏屏蔽的有关知识。

《电工仪器仪表检定与修理》编写组是由“工人、技术人员、干部”和“使用、生产、科研”两个三结合组成的。在上级的领导下，由国营建中机器厂和国营北京电子管厂负责主编。参加本书上册

主要编写单位有：国营北京第一无线电器材厂，中国计量科学研究院电磁室、实验工厂，五院计量站，二院计量站，哈尔滨电工学院，北京市计量标准管理处，三〇四所，水利电力部热工研究所等。

在上册编写过程中，还得到各有关单位的领导和同志们热情的帮助和大力支持，并付出了辛勤的劳动，在此，谨致以衷心的感谢。

由于编写人员的政治、专业水平所限，书中难免存在不少缺点和错误，请广大读者批评指正。

绪 言

人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。测量技术就是人们认识自然和改造自然的一种重要手段。

随着人类社会和科学技术的发展，我国测量技术也相应地得到提高。但在旧社会，由于国内反动统治阶级的腐朽和帝国主义的侵略，使我国计量事业的发展受到极大的阻碍。解放后，计量事业才进入了为社会主义革命和社会主义建设服务的新阶段。

工作在仪器仪表的生产、科研和计量工作中的广大职工，坚持独立自主、自力更生的方针，生产了各种类型和不同精度级别的测量仪器仪表，广泛地应用在国民经济的各个部门，使测量技术和计量工作成为社会主义建设中的一项重要内容，成为实现四个现代化的一个组成部分。

电磁测量技术的发展，虽然不像长度和重量测量的历史悠久，但从发现摩擦生电现象开始，到发明简单的电测仪表，并逐渐完善和应用到生产、科研的各个领域中，现在已发展到较为完整的电磁测量技术体系。

电气测量仪表常见的有三大类：

一、度量器——是复制和保存测量单位用的，是测量单位的实物复制体，如标准电池是电动势单位“伏特”的度量器，标准电阻是电阻单位“欧姆”的度量器，此外诸如标准电容、标准电感（及互感）等等。

二、较量仪器——此类仪器是将被测量与度量器进行比较后才能确定量值大小的一种仪器，如果不与度量器共同使用，就无法达到测量目的，属此范围的称为较量仪器。如电桥、电位差计

等,测量精度或比较精度有 0.5、0.2、0.1、0.05、0.02、0.01、0.005、0.002、0.001、0.0005 级等。

三、直读仪表——能直接读取被测量大小的仪表。为了指示数值的准确,此种仪表要与度量器作比较进行分度,在测量过程中不必再与度量器一起使用就可直接获得测量结果。它是利用电流或电磁有关的物理现象(电流的磁效应、热效应、化学效应等)作为结构基础的,所以依不同仪表的结构原理可分为:磁电系、电磁系、电动系、静电系、感应系……等。准确度级别一般分为:5.0、2.5、1.5、1、0.5、0.2、0.1、0.05 级等。

随着科技工作的发展,电子技术的应用也日趋广泛,自动控制 and 自动测量促使了数字式仪表在近几十年内已发展到较高的水平,其测量精度为 $\pm 0.05\%$ 、 0.01% 、 0.001% 、 0.0001% 等,测量灵敏度一般为 1 微伏、10 微伏,有的可达毫微伏数量级。其中数字电压表具有很高输入阻抗(基本量程),并达到高精度、高灵敏度的水平,所以在电子技术和电工计量中已被较广泛地应用。

此外,磁测量及其仪器也是在上述基础上发展起来的,例如用冲击电流计测量磁通,用韦伯计进而发展到利用霍尔元件的霍尔效应测量交直流磁场强度。

电磁计量方面,共有八项基准,就是电流、电动势、电阻、电容、电感、磁强、磁通和磁矩等。

以前这些电磁单位的度量器多是建立在实物复制体的基础上,因之精度一直在 10^{-5} 附近徘徊。但随着计算电容和计算电感技术的出现,电容已达 10^{-7} ,电感已达 10^{-6} 。通过计算电容、电感,绝对测定欧姆的精度也达 $10^{-6}\sim 10^{-7}$ 数量级,而对电流强度的绝对测定精度也已达到 $10^{-5}\sim 10^{-6}$ 数量级。只有电压的绝对测定目前仍在 $10^{-5}\sim 5\times 10^{-6}$ 附近,但是用硫酸镉饱和标准电池组保持电压基准的年稳定性,目前已在 10^{-7} 数量级左右。电阻基准器是由 1 欧锰铜标准电阻来保持的,年稳定性也在 1×10^{-7} 数量级左右。目前也在设想改用 10^4 欧电阻代替现在的 1 欧基准电

阻器来保存电阻单位,这是因为计算电容是高阻抗标准,将计算电容过渡到 10^4 欧较 1 欧简单,而且 10^4 欧不易受热电势的影响。

随着科学技术的发展,人们尽量设法用物质的自然现象或物理常数来建立电学的自然基准,以取代人为的实物基准器,如利用低温超导约瑟夫逊效应装置,来监视标准电动势,为不久的将来实现以约瑟夫逊效应定义电压单位提供了途径。

当前一般将计量分成十大类:

1. 长度计量;
2. 力学计量;
3. 电磁计量;
4. 无线电计量;
5. 温度计量;
6. 光学计量;
7. 声学计量;
8. 时间频率计量;
9. 放射性计量;
10. 物理化学计量。

电磁计量与其它计量的关系是互相关联的,特别是与无线电计量的关系,是统一采用电学的基准器。

综上所述,了解电磁计量在各个领域中的应用是相当重要的,对从事电工仪器仪表检定与修理的工作是密切相关的。

目 录

绪 言

第一部分 误差理论知识

第一章 测量和误差估计概述	1
§ 1-1-1. 测量的定义和分类	1
§ 1-1-2. 误差公理和定义	2
§ 1-1-3. 几个常用函数的真误差传递公式	9
§ 1-1-4. 关于误差合成的概念	16
§ 1-1-5. 实验设计简介	20
§ 1-1-6. 测量数据的处理	23
第二章 测量误差及其消除方法	34
§ 1-2-1. 测量误差的分类与来源	34
§ 1-2-2. 粗差、系统误差和随机误差对测量结果的影响	37
§ 1-2-3. 消除粗差与系统误差的方法	39
§ 1-2-4. 随机误差的统计规律和算术平均值原理	46
第三章 直接测量时误差的估计和坏值的剔除	53
§ 1-3-1. 随机误差的估计	53
§ 1-3-2. 坏值的剔除	75
§ 1-3-3. 系统误差的估计	81
第四章 间接测量误差的估计	87
§ 1-4-1. 误差传递公式	87
§ 1-4-2. 微小误差准则	100
§ 1-4-3. 最佳测量条件的确定	102
第五章 测量误差的合成	105
§ 1-5-1. 已定系统误差和随机误差的合成	105

§ 1-5-2. 未定系统误差的合成	105
--------------------------	-----

第二部分 电学度量器

第一章 度量器的基础知识	112
§ 2-1-1. 度量器	112
§ 2-1-2. 基准器的标定	113
§ 2-1-3. 电学计量标准体系	114
第二章 标准电池	116
§ 2-2-1. 结构原理及主要技术特性	116
§ 2-2-2. 标准电池的检定系统	127
§ 2-2-3. 检定标准电池的一般方法	129
§ 2-2-4. 检定标准电池时的误差分析	137
第三章 标准电阻	147
§ 2-3-1. 概述	147
§ 2-3-2. 标准电阻主要技术特性及使用注意事项	149
§ 2-3-3. 标准电阻检定系统	153
§ 2-3-4. 标准电阻的检定	153
§ 2-3-5. 标准电阻检定时的误差综合	162
§ 2-3-6. 标准电阻温度系数的测定	165

第三部分 直流电位差计的原理、检定与修理

第一章 检修直流电位差计的基础知识	168
§ 3-1-1. 直流电位差计的分类及主要技术特性	168
§ 3-1-2. 直流电位差计调修的一般知识	175
§ 3-1-3. 电位差计通用元件结构线路及其组成	183
第二章 分压线路电位差计的原理与调修	205
§ 3-2-1. 简单分压线路电位差计结构原理及调修	205
§ 3-2-2. 内附稳压源的电位差计原理与调修	229
§ 3-2-3. 半自动电位差计原理与调修	240
第三章 并联分路式线路电位差计的原理与调修	249
§ 3-3-1. 并联分路式电位差计工作原理	249

§ 3-3-2. 并联分路式电位差计的调修	254
第四章 串联代换线路电位差计的原理与调修	269
§ 3-4-1. 代换线路原理与特点	269
§ 3-4-2. 高电势代换线路电位差计的调修	272
§ 3-4-3. 低电势代换线路电位差计的调修	289
第五章 电流叠加线路电位差计的原理与调修	306
§ 3-5-1. 电流叠加线路电位差计的工作原理	306
§ 3-5-2. 十进电流叠加线路电位差计线路分析	309
§ 3-5-3. 叠加线路电位差计的修理	324
第六章 电压叠加线路电位差计的原理与调修	336
§ 3-6-1. 环式进位盘的基础知识	336
§ 3-6-2. 分裂环线路电位差计的修理	340
§ 3-6-3. 桥式进位盘的原理及线路	344
§ 3-6-4. 桥式线路电位差计的调修	351
§ 3-6-5. 高电势桥式电位差计	362
第七章 电位差计的整体检定	368
§ 3-7-1. 电位差计整体检定的项目及检定系统	368
§ 3-7-2. 用对检法检定电位差计	385
§ 3-7-3. 直读对接差值法检定电位差计	393
§ 3-7-4. 半自动电位差计的检定	401
第八章 电位差计的按元件检定	409
§ 3-8-1. 按元件检定的理论基础及几种基本方法的主要特点	409
§ 3-8-2. 电阻的传递方法	412
§ 3-8-3. 对被检电位差计和辅助设备的要求	418
§ 3-8-4. 用补偿法按元件自检电位差计的步骤	420
§ 3-8-5. 用补偿法检定的实例	433
§ 3-8-6. 按元件自检正确性的核验	443
§ 3-8-7. 用标准直读电桥法按元件自检高阻电位差计	449
§ 3-8-8. 用比较电桥自检代换线路电位差计简介	464
第九章 直流电流比较仪式电位差计	480
§ 3-9-1. 直流电流比较仪式电位差计线路特点及基本概念	480

§ 3-9-2. 直流电流比较仪的基本原理	486
§ 3-9-3. 直流电流比较仪式电位差计的原理	490
§ 3-9-4. 直流比较仪式电位差计各单元构造原理简介	498
§ 3-9-5. UJ42 型直流比较仪式电位差计的检验	515
§ 3-9-6. 直流比较仪式电位差计的用途及使用注意事项	533

第四部分 直流电阻箱、分压箱、电桥 的原理与检修

第一章 直流电阻箱	548
§ 4-1-1. 直流电阻箱分类及主要技术要求	548
§ 4-1-2. 直流电阻箱的检定方法	551
第二章 直流电桥的原理和使用	566
§ 4-2-1. 分类及主要技术要求	566
§ 4-2-2. 单电桥	569
§ 4-2-3. 双电桥	575
§ 4-2-4. 三次平衡双臂电桥	580
§ 4-2-5. 比例臂	587
§ 4-2-6. 直流高阻电桥	592
§ 4-2-7. 直流电流比较仪式电桥	594
第三章 直流电桥的检定方法	600
§ 4-3-1. 直流电桥的整体检定	601
§ 4-3-2. 补偿法按元件检定电桥	607
§ 4-3-3. 直流比较电桥法	612
§ 4-3-4. 用标准直读电桥法按元件检定电桥	634
§ 4-3-5. 被检电桥最大综合误差的计算	642
第四章 直流分压箱	645
§ 4-4-1. 分类、主要技术要求及基本原理的分析	645
§ 4-4-2. 分压箱检定方法	649
第五章 电桥、电阻箱、分压箱的调修	674
§ 4-5-1. 电桥、电阻箱的调修	674
§ 4-5-2. 分压箱误差调整	681

第五部分 检流计的原理、使用与调修

概述	686
第一章 磁电式检流计的原理分类及使用	689
§ 5-1-1. 结构原理与分类	689
§ 5-1-2. 几种特殊型式的磁电式检流计结构原理	696
§ 5-1-3. 检流计主要技术指标及测量方法	702
§ 5-1-4. 检流计的正确使用	707
第二章 检流计的修理	717
§ 5-2-1. 检流计的故障分析与调修	717
§ 5-2-2. 张丝、导流丝的选用与动镜的修理	725
§ 5-2-3. 检流计无框架动圈的绕制	727
第三章 光电放大式检流计的原理使用与调修	734
§ 5-3-1. 光电变换式测量仪器的原理	734
§ 5-3-2. 光电放大式检流计原理与结构	741
§ 5-3-3. 光电放大式检流计的检定与调修	755
第四章 晶体管放大式检流计	765
§ 5-4-1. 概述	765
§ 5-4-2. 晶体管检流计的工作原理及主要组成部分	766
§ 5-4-3. 机械斩波式晶体管检流计	783
§ 5-4-4. 场效应管斩波式晶体管检流计	790
§ 5-4-5. 晶体管检流计技术性能检测	802
§ 5-4-6. 晶体管检流计的故障分析及检查方法	804
§ 5-4-7. 固体电路与分立元件混合式晶体管放大式检流计	810
附录一 饱和标准电池在 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ 范围内的温度更正值 ΔE_t	830
附录二 标准电阻“电阻-温度”换算表	831
附录三 电阻允许功率-电流换算表	847
附录四 常见直流电位差计主要技术特性表	848
附录五 常见直流电桥主要技术特性表	855

第一部分 误差理论知识

第一章 测量和误差估计概述

§ 1-1-1 测量的定义和分类

无论从事生产斗争，还是进行科学实验，都离不开测量。所谓测量，就是通过物理实验的方法，把被测量与其同种类的单位量进行比较的过程。

根据获得测量结果的不同方法，可将测量分为三类。

一、直接测量

这种测量其测量结果，可直接从实验数据中获得。例如：用尺测量长度，用电流表测量电流，用温度计测量温度等等均属直接测量。直接测量被广泛应用于工程技术测量中。

二、间接测量

这种测量在直接测出与被测量具有一定函数关系的几个量以后，通过解函数关系式来确定被测量的大小。例如：欲求导体的电阻系数 ρ 时，由于已知导体的电阻 R 和它的长度 l 及截面积 S 之间有以下函数关系：

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

因此，可以通过直接测量电阻 R ，长度 l 及截面积 S 之后，即可按下面函数式算出电阻系数

$$\rho = R \frac{S}{l}$$

当被测量不能直接测量或测量很复杂，或者用间接测量比用直接测量能获得更精确的结果时，可采用间接测量。

三、组合测量

这种测量是在直接测量与被测量具有一定函数关系的某些量的基础上，通过联立求解各函数关系式来确定被测量的大小。例如：测量标准电阻线圈的电阻温度系数 α 和 β ，可做组合测量的例子。大家知道，标准电阻线圈的电阻与温度之间具有下述关系

$$R_t = R_{20}[1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2]$$

$$\approx R_{20} + [R](t - 20)\alpha + [R](t - 20)^2\beta \text{ (欧)}$$

式中 R_t —— $t^\circ\text{C}$ 时的电阻值；

R_{20} —— 20°C 时的电阻值；

$[R]$ ——标准电阻线圈的名义值。

从上式可以看出，为了确定 α 和 β ，在实际检定工作中，按规定在给出的 t_1, t_2 和 t_3 三个温度区间内分别测出 $R_{t_1}, R_{t_2}, R_{t_3}$ 的大小，可得到下列三个联立方程式：

$$R_{t_1} = R_{20} + [R](t_1 - 20)\alpha + [R](t_1 - 20)^2\beta$$

$$R_{t_2} = R_{20} + [R](t_2 - 20)\alpha + [R](t_2 - 20)^2\beta$$

$$R_{t_3} = R_{20} + [R](t_3 - 20)\alpha + [R](t_3 - 20)^2\beta$$

求解上述方程组可得

$$\alpha = \frac{(R_{t_2} - R_{t_1})(t_3 - t_2)(t_3 + t_2 - 40) + (R_{t_3} - R_{t_2})(t_2 - t_1)(40 - t_2 - t_1)}{[R](t_3 - t_1)(t_3 - t_2)(t_2 - t_1)} 1/^\circ\text{C}$$

$$\beta = \frac{(R_{t_3} - R_{t_2})(t_2 - t_1) - (R_{t_2} - R_{t_1})(t_3 - t_2)}{[R](t_3 - t_1)(t_3 - t_2)(t_2 - t_1)} 1/^\circ\text{C}^2$$

§ 1-1-2 误差公理和定义

在实际测量中，由于测量工具不准，测量方法不完善以及各种因素的影响，都会使测量结果失真。这种失真叫做误差。

误差产生的必然性, 已为大量实践所证实, 也为一切从事科学实验的工作人员所公认。因此, 下述误差公理成立。

一切实验结果都具有误差, 误差自始至终存在于所有科学实验的过程之中。

关于误差定义, 常见的有下述几种。

一、绝对真误差

简称真误差, 它等于给出值与其真值之差。即

$$\text{绝对真误差} = \text{给出值} - \text{真值}$$

或用符号表示成

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1-1-1)$$

式中的给出值 x 是指: 在检定电表时, 它为被检刻度点的示值; 在检定量具时, 它为被检量具的名义值; 在测量时, 它为测定值; 而在近似计算中, 它为近似值等等。式中的真值 x_0 是指在规定的时间内测定值的真实大小。

由于真值通常是未知的, 因此在检定工作当中, 为了确定被检对象的误差, 一般都选定一个标准, 当标准的误差与被检对象的误差相比小于 $\left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{20}\right)$ 时, 则标准误差可忽略 (其理论根据见 § 1-4-2)。这时由标准所确定的值即可作为相对于被检对象的真值 (实际值)。

例 1 检定某电压表, 其示值为 100 伏的实际值为 101.2 伏, 则被检表在示值为 100 伏的 (绝对) 真误差为

$$\Delta U = U - U_0 = 100 - 101.2 = -1.2 (\text{伏})$$

例 2 标准电阻线圈的名义值为 1000 欧, 其实际值为 999.9 欧, 则该电阻线圈的 (绝对) 真误差为

$$\Delta R = R - R_0 = 1000 - 999.9 = 0.1 (\text{欧})$$

除上述的 (绝对) 真误差以外, 在实际测量中还常用到修正值 (又称更正值或校正值) 这一概念, 它与 (绝对) 真误差等值反号, 即

$$\zeta_x = -\Delta x = x_0 - x \quad (1-1-2)$$

式中 ζ_x ——修正值。

即 修正值 = 真值 - 给出值

例如，在上面的例 1 中，电压表在示值 100 伏处的修正值 $\zeta_U = -\Delta U = -(-1.2 \text{ 伏}) = 1.2 \text{ 伏}$ ；而在例 2 中，标准电阻线圈的修正值 $\zeta_R = -\Delta R = -0.1 \text{ 欧}$ 。

在高准确度的电表和仪器中，常常给出修正曲线或修正值。因此，当知道了给出值 x 及相应的修正值 ζ_x 以后，由式(1-1-2)即可求出被测量的真值(实际值) x_0 ，它等于

$$x_0 = x + \zeta_x \quad (1-1-3)$$

即 真值 = 给出值 + 修正值

上式说明，将给出值加上其对应的修正值以后，即可消除误差的影响。在精密计量工作中，通常都采用加修正值的办法来保证量值的准确传递。

例如，对上面的例 1 来讲，被检电压表在示值为 100 伏处的实际值 $U_0 = U + \zeta_U = 100 + 1.2 = 101.2 \text{ 伏}$ ；而对例 2 来讲，被检标准电阻线圈的实际值 $R_0 = R + \zeta_R = 1000 + (-0.1) = 999.9 \text{ 欧}$ 。

综上所述可以看出(绝对)真误差(或修正值)是具有确定的大小、符号及单位的一个量。其数值的大小表明了给出值偏离真值的程度，偏离越大，则误差也越大；符号说明了给出值偏离真值的方向，即给出值比真值大还是小；而单位则表明了被测量的量纲。但绝对误差的表示方法也有不足之处，因它不能确切地反映出测量的准确程度。例如，测量两个电阻，其中电阻 $R_1 = 10 \text{ 欧}$ ，误差 $\Delta R_1 = 0.1 \text{ 欧}$ ；电阻 $R_2 = 10000 \text{ 欧}$ ，误差 $\Delta R_2 = 1 \text{ 欧}$ 。从例中可以看出，尽管测量电阻 R_1 的绝对误差 ΔR_1 小于测量电阻 R_2 的绝对误差 ΔR_2 ，但这绝不能由此得出测量电阻 R_1 较测量电阻 R_2 的准确度为高的结论。因为， R_1 的误差 0.1 欧相对于 10 欧来讲占 1%，而测 R_2 产生的 1 欧误差相对于 10000 欧来讲仅占 0.01%，即测量 R_2 反而比测量 R_1 来得准。为了弥补绝对误差在表示方法上的不足，又提出了相对误差的概念，即误差率的概念。