

中等职业教育 **机电技术应用** 专业课程改革成果系列教材



电气测量技术

张国军 吴海琪 主编



清华大学出版社

中等职业教育 **机电技术应用** 专业课程改革成果系列教材

电气测量技术

张国军 吴海琪 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书结合中等职业教育改革的实际,以项目教学为主,以任务为分支开展实践训练。本书共分7个项目,包括电气测量概述、电压与电流的测量、电阻值的测量、电能的测量、电子元器件的测量、电信号的测量和传感器检测。

本书内容翔实,图文并茂,可作为中等职业学校电工类、机电类专业的教材,也可作为培训机构的教材或广大读者的自学用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电气测量技术/张国军,吴海琪主编. --北京:清华大学出版社,2015

中等职业教育机电技术应用专业课程改革成果系列教材

ISBN 978-7-302-35914-2

I. ①电… II. ①张… ②吴… III. ①电气测量—中等专业学校—教材 IV. ①TM93

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第061893号

责任编辑:帅志清

封面设计:傅瑞学

责任校对:袁芳

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:9.75 字 数:216千字

版 次:2015年1月第1版 印 次:2015年1月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:22.00元

产品编号:055522-01

编委会名单

编委会主任：张 萍

编委会副主任：严国华 林如军

编委会委员：(按姓氏笔画排序)

卫燕萍 方志平 刘 芳 刘 剑 孙 华 庄明华
朱王何 朱国平 严国华 吴海琪 张国军 李建英
李晓男 杨效春 陈 文 陈 冰 周迅阳 林如军
范次猛 范家柱 查维康 赵 莉 赵焰平 夏宇平
徐 刚 徐自远 徐志军 徐勇田 徐益清 郭 茜
顾国洪 彭金华 谢华林 潘玉山

职业教育是通过课程这座桥梁来实现其教育目的和人才培养目标的,任何一种教育改革的改革最终必定会落实到具体的课程上。课程改革与建设是中等职业教育专业改革与建设的核心,而教材承载着职业教育的办学思想和内涵、课程的实施目标和内容,高质量的教材是中等职业教育培养高质量人才的基础。

随着科技的不断进步和新技术、新材料、新工艺的不断涌现,我国的机械制造、汽车制造、电子信息、建材等行业的快速发展为机电技术应用提供了广阔的市场。同时,机电行业的快速发展对从业人员的要求也越来越高。现代企业既需要从事机电技术应用开发设计的高端人才,也需要大量从事机电设备加工、装配、检测、调试和维护保养的高技能机电技术人才。企业不惜重金聘请有经验的高技能机电技术人才已成为当今职业院校机电技术专业毕业生高质量就业的热点。经济社会的发展对高技能机电技术人才的需求定会会长盛不衰。

《中等职业教育机电技术应用专业课程改革成果系列教材》是由江苏、浙江两省多年从事职业教育的骨干教师合作开发和编写的。本套教材如同职业教育改革浪潮中迸发出来的一朵绚丽浪花,体现了“以就业为导向、以能力为本位”的现代职教思想,践行了“工学结合、校企合作”的技能型人才培养模式,为实现“在做中学、在评价中学”的先进教学方法提供了有效的操作平台,展现了专业基础理论课程综合化、技术类课程理实一体化、技能训练类课程项目化的课程改革经验与成果。本套教材的问世,充分反映了近几年职教师资职业能力的提升和师资队伍建设工作丰硕成果。

职业教育战线上的广大专业教师是职业教育改革的主力军,我们期待着有更多学有所长、实践经验丰富、有思想、善研究的一线专业教师积极投身到专业建设、课程改革的大潮中来,为切实提高职业教育教学质量,办人民满意的职业教育,编写出更多、更好的实用专业教材,为职业教育更美好的明天作出贡献。

张 萍

前



F O R E W O R D

随着职业技术教育事业的蓬勃发展,传统的教学观念和模式已难以满足现代社会对技能型人才培养的需求,为此,我们编写了本书。

本书与传统的同类教材相比,在内容组织与结构编排上都做了较大的改革,主要特点如下。

一是注重实用性。本书重视知识内容的实用性,内容安排以层次性、规范性、职业性为特点,摒弃过多的专业理论讲解,易教易学,让学生学以致用。

二是注重能力性。本书侧重于操作能力方面的训练。

三是注重新颖性。本书在总体设计上引入项目式教学,将整个电气测量体系分为7个项目,通过任务驱动的形式,把需要掌握的知识和技能融会贯通,加强了实践性教学内容与环节。

本书由江苏盐城机电高等职业技术学校张国军、吴海琪担任主编。其中,项目1、项目3和项目5由吴海琪编写,项目2由张国军编写,项目4和项目7由纵信编写,项目6由江苏省盐城市市区防洪工程管理处秦以培编写。

在本书的编写过程中,我们参考了许多专家和同行的研究成果及专著,从互联网上也下载了一些图片和资料,在此对相关作者一并表示感谢。

由于编者水平有限,疏漏之处在所难免,敬请专家和读者批评指正。

编 者

目



C O N T E N T S

| | |
|------------------------------|-----|
| 项目 1 电气测量概述 | 1 |
| 任务 1.1 认识电气测量仪表 | 1 |
| 任务 1.2 减小测量误差的方法 | 7 |
| 项目 2 电压与电流的测量 | 13 |
| 任务 2.1 测量电压 | 13 |
| 任务 2.2 测量电流 | 21 |
| 任务 2.3 用万用表测量电流与电压 | 30 |
| 项目 3 电阻值的测量 | 38 |
| 任务 3.1 用单臂电桥测量电阻值 | 38 |
| 任务 3.2 用双臂电桥测量电阻值 | 43 |
| 任务 3.3 用兆欧表测量绝缘电阻 | 48 |
| 项目 4 电能的测量 | 54 |
| 任务 4.1 用单相电能表测量电能 | 54 |
| 任务 4.2 用三相电能表测量电能 | 58 |
| 项目 5 电子元器件的测量 | 64 |
| 任务 5.1 识别与测量电阻 | 64 |
| 任务 5.2 识别与测量二极管和晶体管 | 70 |
| 任务 5.3 识别与测量电容器 | 79 |
| 项目 6 电信号的测量 | 84 |
| 任务 6.1 用信号发生器测量电信号 | 84 |
| 任务 6.2 用示波器测量电信号 | 93 |
| 任务 6.3 VC2000 智能频率计的使用 | 106 |

| | |
|----------------------------|-----|
| 项目 7 传感器检测 | 116 |
| 任务 7.1 使用电阻应变片式传感器 | 116 |
| 任务 7.2 使用气敏电阻传感器 | 124 |
| 任务 7.3 使用电容式传感器 | 128 |
| 子任务 7.3.1 使用电容测厚仪 | 128 |
| 子任务 7.3.2 使用电容式接近开关 | 132 |
| 任务 7.4 使用电感式传感器 | 135 |
| 子任务 7.4.1 使用自感式电感传感器 | 135 |
| 子任务 7.4.2 使用互感式电感传感器 | 138 |
| 参考文献 | 143 |

电气测量概述

项目分析

电气测量是从事电工专业的技术人员必须掌握的基本技能,是通过实验的方法将被测量与相同标准的电量进行比较而得出测量数值的过程。要完成电气测量,首先要认识电气测量仪表,通过观察仪表的外观及其符号和型号标志,了解其用途、使用条件及精度等级等。电气测量的对象主要是电阻、电流、电压、电功率、电能、功率因数等。本项目主要学习电气测量仪表的分类、结构、组成、原理、型号和标志,以及测量误差及处理方法,以达到认识测量仪表,熟悉测量仪表的用途,会选择使用不同测量仪表的目标。

任务 1.1 认识电气测量仪表

任务分析

在本任务中,一是通过观察,初步认识电气测量仪表;二是根据仪表的符号标志,结合相关知识,识别仪表的准确等级、使用条件和绝缘等级;三是根据仪表的型号,结合编制型号的有关规定及标准识别仪表的系列、用途和工作原理。

相关知识

1. 电气测量仪表的分类

电气测量仪表根据其工作原理、测量对象、工作电流性质、使用方法、使用条件和准确度等分类如下。

- (1) 按工作原理,分为磁电系、电磁系、电动系、感应系、整流系和静电系等。
- (2) 按测量对象,分为电流表(安培表、毫安表、微安表)、电压表(伏特表、毫伏表、微

伏表以及千伏表)、功率表(瓦特表)、电度表、欧姆表、相位表、频率表和万用表等。

(3) 按工作电流性质,分为直流仪表、交流仪表和交直流两用仪表。

(4) 按使用方法,分为安装式(面板式)和便携式。

(5) 按使用条件,分为 A、A₁、B、B₁ 和 C 五组。

(6) 按准确度,分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 七个等级。

电气测量仪表按功能分为专用仪表和通用仪表两大类。专用仪表适用于特定的对象,需要专门定制。通用仪表应用广泛,灵活性能较好,分为以下几类。

(1) 信号发生器:包括高、低频信号发生器,合成信号发生器,脉冲、函数、噪声信号发生器等。

(2) 示波器:包括通用示波器、多踪示波器、多扫描示波器、取样示波器、数字存储示波器、模拟数字混合示波器等。

(3) 电压测量仪器:包括低频电压表、毫伏表、高频电压表、脉冲电压表、数字电压表等。

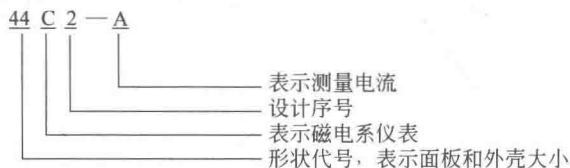
(4) 信号分析仪器:包括失真度测试仪、谐波分析仪等。

(5) 频率测量仪器:包括各种频率计。

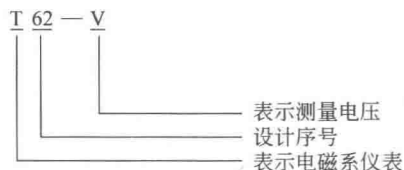
2. 电气测量仪表的型号

电气测量仪表的型号是按一定的编号规则编制的,不同结构形式的仪表有不同的编号规则。产品型号反映出仪表的用途、工作原理等特性,对于仪表的选择有着重要意义。

(1) 安装式(面板式)电工仪表的型号一般由形状、系列、设计和用途代号组成。其中,形状代号有 2 位,第 1 位代表仪表面板的最大尺寸,第 2 位代表外壳的尺寸;系列代号表示仪表的工作原理,如磁电系的代号为 C,电磁系的代号为 T,电动系的代号为 D,感应系的代号为 G,整流系的代号为 L,电子系的代号为 Z 等;用途代号表示测量的量。例如:



(2) 可携带仪表因不存在安装方面的问题,所以仪表的型号除了不用形状代号外,其他部分与安装式仪表相同。例如:



3. 电气测量仪表的标志

不同的电工仪表具有不同的技术特性,为了便于选择和正确地使用仪表,通常用不同的符号来表示这些技术特性,并标注在仪表的面板上。这些符号叫做仪表的标志。相关

的电气测量仪表标志及测量单位符号如表 1-1-1 和表 1-1-2 所示。

表 1-1-1 电气测量仪表的标志

| 类别 | 仪表名称 | 符 号 | 测量单位符号或可测物理量 | 备 注 |
|----------|----------|--|--------------|--------------------|
| 被测 电量 | 直流表 | — | 直流电流、电压 | 交流电表一般按正弦交流电的有效值标度 |
| | 交流表 |  | 交流电流、电压 | |
| | 交直流表 |  | 直流或交流电流、电压 | |
| | 三相交流表 | 3N  | 交流电流、电压 | |
| 仪表 精度 | 0.1 级 | 基本误差(%) ± 0.1 | | 用于标准表计量(价格最高) |
| | 0.2 级 | 基本误差(%) ± 0.2 | | 用于副标准器 |
| | 0.5 级 | 基本误差(%) ± 0.5 | | 用于精度测量 |
| | 1.0 级 | 基本误差(%) ± 1.0 | | 用于大型配电盘 |
| | 1.5 级 | 基本误差(%) ± 1.5 | | 配电盘、教师、工程技术人员使用 |
| | 2.5 级 | 基本误差(%) ± 2.5 | | 用于小型配电盘 |
| | 5.0 级 | 基本误差(%) ± 5.0 | | 用于学生实验(价格最低) |
| 防护 性能 | 普通型 | | | |
| | 防尘型 | | | |
| | 防溅型 | | | |
| | 防水型 | | | |
| | 水密型 | | | |
| | 气密型 | | | |
| | 隔爆型 | | | |
| 使用 方式 | 安装式(面板式) | | | |
| | 可携式 | | | |

表 1-1-2 电气测量单位符号

| 名 称 | 符 号 | 名 称 | 符 号 | 名 称 | 符 号 |
|-----|---------------|-----|------------|--------|---------------|
| 千安 | kA | 瓦特 | W | 毫欧 | m Ω |
| 安培 | A | 兆乏 | Mvar | 微欧 | $\mu\Omega$ |
| 毫安 | mA | 千乏 | kvar | 相位角 | ϕ |
| 微安 | μA | 乏 | var | 功率因数 | $\cos\phi$ |
| 千伏 | kV | 兆赫 | MHz | 无功功率因数 | $\sin\phi$ |
| 伏特 | V | 千赫 | kHz | 微法 | μF |
| 毫伏 | mV | 赫兹 | Hz | 皮法 | pF |
| 微伏 | μV | 兆欧 | M Ω | 亨利 | H |
| 兆瓦 | MW | 千欧 | k Ω | 毫亨 | mH |
| 千瓦 | kW | 欧姆 | Ω | 微亨 | μH |

任务实施

1. 工作准备

准备单相、三相电度表,指针式、数字式万用表,安装式、便携式电流表,安装式、便携式电压表各 1 块。

2. 工作过程

查询现有仪表的型号、类别和适用范围,填写表 1-1-3。

表 1-1-3 认识电气测量仪表任务实施表

| 序号 | 仪表名称 | 仪表型号 | 仪表类别 | 适用范围 |
|----|----------|------|------|------|
| 1 | 电度表(单相) | | | |
| 2 | 电度表(三相) | | | |
| 3 | 万用表(指针式) | | | |
| 4 | 万用表(数字式) | | | |
| 5 | 电流表(安装式) | | | |
| 6 | 电流表(便携式) | | | |
| 7 | 电压表(安装式) | | | |
| 8 | 电压表(便携式) | | | |

3. 检测评价

评分标准如表 1-1-4 所示。

表 1-1-4 认识电气测量仪表评分标准

| 序号 | 项目内容 | 配分 | 扣分要求 | 得分 |
|-----------|---------|----|---------------------|----|
| 1 | 仪表仪器的名称 | 30 | 书写要正确规范,写错一个字,扣 5 分 | |
| 2 | 仪表仪器的型号 | 30 | 仪表型号代码错,一个扣 5 分 | |
| 3 | 仪表仪器的用途 | 40 | 每块仪表不能完全描述用途,扣 5 分 | |
| 时间: 30 分钟 | | | 成绩: | |



知识拓展

智能仪器的工作原理、功能特点及发展趋势

智能仪器是含有微型计算机或者微型处理器的测量仪器,拥有对数据的存储、运算、逻辑判断及自动化操作等功能。智能仪器的出现,极大地扩充了传统仪器的应用范围。智能仪器凭借其体积小、功能强、功耗低等优势,迅速地在家用电器、科研单位和工业企业

中得到了广泛的应用。

1. 智能仪器的工作原理

传感器拾取被测参量的信息并转换成电信号,经滤波去除干扰后送入多路模拟开关;由单片机逐路选通模拟开关,将各输入通道的信号逐一送入程控增益放大器,放大后的信号经 A/D 转换器转换成相应的脉冲信号后送入单片机;单片机根据仪器所设定的初值进行相应的数据运算和处理(如非线性校正等);运算的结果被转换为相应的数据进行显示和打印;同时,单片机把运算结果与存储于片内 Flash ROM(闪速存储器)或 EEPROM(电可擦除存储器)内的设定参数进行运算比较后,根据运算结果和控制要求,输出相应的控制信号(如报警装置触发、继电器触点等)。此外,智能仪器与 PC 组成分布式测控系统,由单片机作为下位机采集测量信号与数据,通过串行通信将信息传输给上位机——PC,由 PC 进行全局管理。

2. 智能仪器的功能特点

随着微电子技术的不断发展,出现了集成 CPU、存储器、定时器/计数器、并行和串行接口、看门狗、前置放大器,甚至 A/D、D/A 转换器等电路在一块芯片上的超大规模集成电路芯片(即单片机)。以单片机为主体,将计算机技术与测量控制技术结合在一起,组成了所谓的“智能化测量控制系统”,也就是智能仪器。

与传统仪器仪表相比,智能仪器具有以下功能特点。

(1) 操作自动化。仪器的整个测量过程,如键盘扫描,量程选择,开关启动/闭合,数据采集、传输与处理以及显示、打印等,都用单片机或微控制器来控制操作,实现测量过程的全部自动化。

(2) 具有自测功能,包括自动调零、自动故障与状态检验、自动校准、自诊断及量程自动转换等。智能仪表能自动检测出故障的部位,甚至故障的原因。这种自测试可以在仪器启动时运行,也可以在仪器工作中运行,极大地方便了仪器的维护。

(3) 具有数据处理功能,这是智能仪器的主要优点之一。智能仪器由于采用了单片机或微控制器,使得许多原来用硬件逻辑难以解决或根本无法解决的问题,现在可以用软件非常灵活地解决。例如,传统的数字万用表只能测量电阻、交/直流电压、电流等,智能型数字万用表不仅能完成上述测量,还具有对测量结果进行诸如零点平移、取平均值、求极值、统计分析等复杂的数据处理功能,这不仅使用户从繁重的数据处理中解放出来,也有效地提高了仪器的测量精度。

(4) 具有良好的人—机对话能力。智能仪器使用键盘代替传统仪器中的切换开关,操作人员只需通过键盘输入命令,就能实现测量功能。与此同时,智能仪器通过显示屏将仪器的运行情况、工作状态以及对测量数据的处理结果及时告诉操作人员,使其操作更加方便、直观。

(5) 具有可编程操作能力。一般智能仪器都配有 GPIB、RS-232C、RS-485 等标准的通信接口,可以很方便地与 PC 和其他仪器组成用户需要的多种功能的自动测量系统,来完成更复杂的测试任务。

3. 智能仪器的发展趋势

近年来,智能化测量控制仪表的发展十分迅速。国内市场上出现了多种多样智能化测量控制仪表,例如,能够自动进行差压补偿的智能节流式流量计,能够进行程序控温的智能多段温度控制仪,能够实现数字 PID 和各种复杂控制规律的智能式调节器,以及能够对各种谱图进行分析和完成数据处理智能色谱仪等。

智能仪器的发展趋势如下所述。

1) 微型化

随着微电子机械技术的发展,微型智能仪器技术逐渐成熟,价格逐步降低,因此其应用领域不断扩大。

它不但具有传统仪器的功能,而且能在自动化技术、航天、军事、生物技术、医疗领域发挥独特的作用。例如,目前要同时测量一位病人的几个不同的生理指标参量,并进行某些参量的控制,通常病人体内要插进几根管子,这增加了感染的机会。微型智能仪器能同时测量多个参数,而且其体积小,可植入人体,使得问题得到解决。

2) 多功能

多功能本身就是智能仪器仪表的一个特点。例如,为了设计速度较快和结构较复杂的数字系统,仪器生产厂家制造了具有脉冲发生器、频率合成器和任意波形发生器等功能的函数发生器。这种多功能综合型产品不但在性能上(如准确度)比专用脉冲发生器和频率合成器高,而且在测试功能上提供了较好的解决方案。

3) 人工智能化

人工智能是计算机应用的一个崭新领域。它利用计算机模拟人的智能,用于机器人、医疗诊断、专家系统、推理证明等方面。智能仪器将具有一定的人工智能,即代替人的一部分脑力劳动,从而在视觉(图形及色彩辨读)、听觉(语音识别及语言领悟)、思维(推理、判断、学习与联想)等方面具有一定的能力。这样,智能仪器可无需人的干预,自主地完成检测或控制功能。

4) 网络化

融合 ISP 和 EMIT 技术,可实现仪器仪表系统接入 Internet。

伴随着网络技术的飞速发展,Internet 技术逐渐向工业控制和智能仪器仪表系统设计领域渗透,实现智能仪器仪表系统基于 Internet 的通信能力,以及对设计好的智能仪器仪表系统进行远程升级、功能重置和系统维护。

5) 虚拟仪器是智能仪器发展的新阶段

测量仪器的主要功能由数据采集、数据分析和数据显示三大部分组成。在虚拟现实系统中,数据分析和显示完全用 PC 软件来完成。因此,只要额外提供一定的数据采集硬件,就可以与 PC 组成测量仪器。这种基于 PC 的测量仪器称为虚拟仪器。在虚拟仪器中,使用同一个硬件系统,再应用不同的软件编程,就可以得到功能完全不同的测量仪器。可见,软件系统是虚拟仪器的核心,“软件就是仪器”。

传统的智能仪器主要是在仪器技术中采用了某种计算机技术,而虚拟仪器强调在通用的计算机技术中吸收仪器技术。作为虚拟仪器核心的软件系统,具有通用性、通俗性、

可视性、可扩展性和升级性,能为用户带来极大的利益,因此具有传统的智能仪器无法比拟的应用前景和市场。



思考与练习

1. 按工作原理分类,电工指示仪表分为哪几种?
2. 写出三种以上常用电气测量仪表的名称。
3. 写出电阻、电流、电压、电功率的单位符号。

任务 1.2 减小测量误差的方法



任务分析

测量时,除了正确选择仪表和掌握仪表的正确使用方法之外,还要对其进行校验及误差计算,以修正测量结果,从而获取更准确的测量值。本任务主要学习测量误差的来源、表示方法、分类和消除方法。

相关知识

1. 测量误差的来源

在测量过程中,由于受到测量方法、测量设备、测量条件及测量者个人因素等多方面的影响,测量结果不可能是被测量的真实值,而是它的近似值。测量结果与被测量的实际值之间总会存在一定的差值,这个差值称为测量误差。

测量误差主要来源于以下四个方面。

(1) 理论误差与方法误差。由于测量时所依据的理论不严密或理论公式本身的近似性,或者是实验方法本身不完善引起的误差称为理论误差。由于测量方法不合理造成的误差称为方法误差。

(2) 仪表误差。由于仪表本身及其附件的电气、机械等性能不完善造成的误差,称为仪表误差。例如,刻度不准确、调节机构不完善等造成的读数误差,元件老化、环境改变等造成的稳定性误差都属于仪表误差。在测量中,仪表的误差往往是产生测量误差的主要原因。

(3) 影响误差。由于环境因素与仪表测量要求的条件不一致造成的误差称为影响误差,也称为环境误差或仪表的附加误差。例如,测量时温度、湿度、电源电压等因素造成的误差。

(4) 人为误差。由于测量者的个体差异,以及生理因素、固有习惯、心理因素引起的误差称为人为误差。例如,读错刻度、记错数据、使用或操作不当造成的误差。

在测量工作中,对于误差的来源必须认真分析,以便采取相应的措施,减小误差对测量结果的影响。

2. 误差的表示方法

测量误差通常用绝对误差和相对误差表示。

1) 绝对误差

测量结果 x 与被测量实际值 A 之间的差值,称为绝对误差,用 Δx 表示,即

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

由于被测量的实际值 A 往往是很难确定的,所以在实际测量中,通常用标准表的指示值或多次测量的平均值作为被测量的实际值。

【例 1-1】 某电路中的电流为 10A。用甲电流表测量时的读数为 9.8A,用乙电流表测量时其读数为 10.4A。试求两次测量的绝对误差。

解: 由式(1-1)求得用甲表测量的绝对误差为

$$\Delta I_1 = I_1 - I_0 = 9.8 - 10 = -0.2(\text{A})$$

用乙表测量的绝对误差为

$$\Delta I_2 = I_2 - I_0 = 10.4 - 10 = 0.4(\text{A})$$

由此可知,绝对误差有正、负之分,正误差说明测量值比真实值大,负误差说明测量值比真实值小。对同一个被测量而言,测量的绝对误差越小,测量越准确。

2) 相对误差

当被测量不是同一个值时,绝对误差的大小不能反映测量的准确度,这时应该用相对误差的大小来判断测量的准确度。

测量值的绝对误差 Δx 与被测量实际值 A 之比,称为相对误差,用符号 γ 表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% \quad (1-2)$$

【例 1-2】 用电压表甲测量 20V 电压时,绝对误差为 0.4V;用电压表乙测量 100V 电压时,绝对误差为 1V。试问:哪一只表的测量准确度高?

解: 由式(1-2)可得用电压表甲测量的相对误差为

$$\gamma_1 = \frac{0.4}{20} \times 100\% = 2\%$$

用电压表乙测量的相对误差为

$$\gamma_2 = \frac{1}{100} \times 100\% = 1\%$$

故用乙电压表比用甲电压表测量更准确。

由此可知,虽然用甲表测量的绝对误差比用乙表要小,但乙表的相对误差比甲表小,说明实际上乙表比甲表的测量准确度高。

3. 测量误差的分类及消除方法

根据产生测量误差的原因不同,测量误差分为系统误差、偶然误差和疏失误差三大类。

1) 系统误差

系统误差是指在相同条件下多次测量同一量时,误差的大小和符号均保持不变,而在条件改变时遵从一定规律变化的误差。

系统误差包括理论误差与方法误差、仪表误差和影响误差。

应根据误差产生的原因,采取相应的措施消除系统误差。消除系统误差的方法有以下三种。

(1) 对度量器、测量仪器仪表进行校正;在准确度要求较高的测量结果中,引入校正值进行修正。

(2) 消除产生误差的根源,即正确选择测量方法和测量仪器,改善仪表安装质量和配线方式,尽量使测量仪表在规定的使用条件下工作,消除外界因素造成的影响。

(3) 采用特殊的测量方法,如正负误差补偿法、替代法等。例如,用电流表测量电流时,考虑到外磁场对读数的影响,可以把电流表转动 180° 进行两次测量。在两次测量中,必然出现一次读数偏大而另一次读数偏小的现象,取两次读数的平均值作为测量结果,其正、负误差抵消,有效地消除外磁场对测量的影响。

2) 偶然误差

偶然误差又称为随机误差,是一种大小和符号都不确定的误差,即在同一条件下对同一被测量重复测量时,各次测量结果很不一致,没有确定的变化规律。这种误差的处理依据概率统计方法。产生偶然误差的原因很多,如温度、磁场、电源频率的偶然变化等。此外,观测者本身感官分辨本领的限制,也是偶然误差的一个来源。偶然误差反映了测量的精密度,偶然误差越小,精密度越高;反之,则精密度越低。

系统误差和偶然误差是两类性质完全不同的误差。系统误差反映在一定条件下误差出现的必然性,偶然误差则反映在一定条件下误差出现的可能性。系统误差和偶然误差两者对测量结果的综合影响反映为测量的准确度,又称精确度。

偶然误差的消除方法是:在同一条件下,对被测量进行足够多次的重复测量,取其平均值作为测量结果。根据统计学原理可知,在足够多次的重复测量中,正误差和负误差出现的可能性几乎相同,因此偶然误差的平均值几乎为零。所以,在测量仪器仪表选定以后,测量次数是保证测量精确度的前提。

3) 疏失误差

疏失误差是指在测量过程中由于操作、读数、记录和计算等方面的错误引起的误差。显然,凡是含有疏失误差的测量结果是应该摒弃的。

消除疏失误差的根本方法是加强操作者的责任心,倡导认真负责的工作态度。

任务实施

1. 工作准备

准备任务实施所需器件,如表 1-2-1 所示。