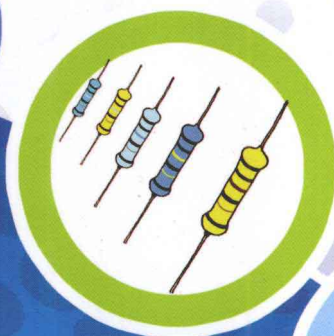


双色
印刷

电工技术实验

■ 王至秋 主编



DIANGONG
JISHU
SHIYAN



 中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电工技术实验

王至秋 主 编

张惠莉 龚丽农 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书从提高学生综合素质的角度出发,系统地介绍了电工技术实验基础知识、电工测量与仪表基础知识、常用电工仪器仪表介绍等内容。对电路基础实验、动态电路分析实验、交流电路分析实验、三相交流电路及耦合电感电路实验、二端口网络分析实验以及电动机控制实验等内容。本书在编写时,融通用性、专业性、知识性、趣味性于一体,为电工技术实验课程的理想教材。

本书可作为高等院校“电路”、“电工技术”、“电工学”等课程及相关学科专业的实验教材,也可供相关技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术实验/王至秋主编. —北京:中国电力出版社, 2011. 12

ISBN 978-7-5123-2408-4

I. ①电… II. ①王… III. ①电工技术—实验—高等学校—教材 IV. ①TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 257938 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 2 月第一版 2012 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.625 印张 271 千字

印数 0001—3000 册 定价 29.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言



“电工技术实验”是一门重要的实践性专业基础课程,涉及“电路”、“电工技术”、“电工学”等多门课程及自动化、信息技术、机械制造、建筑工程、食品工程、生物工程、环境工程等多个学科专业。由于本课程开课较早,所以其教学效果的好坏对提高学生的学习兴趣及其综合素质有着重要的意义,而教材是教学过程中非常重要的一个因素,所以有一本合适的教材是必不可少的。

实验教材往往因为所用实验仪器设备的不同而有很大的区别,这是实验教材无法统一的一个重要原因。但是不同的实验仪器设备其实都是基于相同的实验原理,恰当的表述方法可以使教材的适应范围更宽,更能满足一般性的要求,这是本书写作时的一个重要出发点。

理工科学生人文素养的缺失问题已经讨论了很长时间,引起了不少人的关注,也提出了一些相应的解决方法,效果如何还有待于教学实践的检验。编者曾经看过一些国外的教材,其内容之丰富、涉列之广泛,均让人耳目一新。这样的教材即使老师不讲,学生也会饶有兴趣地自己看下去。鉴于此,本书在沿袭传统实验教材叙述方法的基础上,同时对相关知识点做了大量的扩展,涉及历史人物、发展过程、器件介绍等内容,供学生进行课外阅读,以拓宽其知识面。对专业性、知识性、趣味性的追求,这是本书所做的一个尝试。

本书共 10 章,分为两篇。第一篇介绍与电工技术实验相关的一些基础知识,包括电工技术实验基础知识、电工测量与仪表基础知识、常用电工仪表仪器介绍等内容。第二篇为电路实验,包括电路基础实验、动态电路分析实验、交流电路分析实验、三相交流电路及耦合电感电路实验、二端口网络分析实验、电动机控制实验等内容。

本书由王至秋主编,张惠莉、龚丽农任副主编。第 1~7 章由王至秋编写,第 8、9 章由张惠莉编写,第 10 章由龚丽农编写。全书由王至秋统稿。

本书力求理论联系实际、图文并茂、通俗易懂,但由于编者水平所限,对于书中的不足和错误之处,诚挚地希望读者予以批评指正。

编 者



目 录



前言

基础知识篇

第1章 电工技术实验基础知识	3
第1节 电工技术实验课程的内容与要求	3
第2节 电工技术实验中常见故障的处理	5
第3节 电工技术实验安全	6
第2章 电工测量与仪表基础知识	9
第1节 电工测量基础知识	9
第2节 测量误差与准确度	10
第3节 电工测量仪表的基础知识	13
第4节 磁电系仪表	16
第5节 电磁系仪表	20
第6节 电动系仪表	22
第7节 常用数字仪表	23
第8节 常用电工仪表的选择	26
第3章 常用电工仪表	31
第1节 万用表	31
第2节 绝缘电阻表和钳形电流表	38
第3节 电动系功率表	41
第4节 电能表	45
第4章 电工技术实验常用仪器设备	50
第1节 示波器	50
第2节 直流稳压电源和函数信号发生器	62
第3节 SBL 电工技术实验台	65

实 验 篇

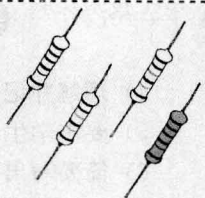
第5章 电路基础实验	69
实验1 元件伏安特性的测量	69
实验2 电路的等效变换	79
实验3 电路的基本定律实验（一）	82
实验4 电路的基本定律实验（二）	86

实验 5 集成运算放大器的基本运算电路	89
实验 6 受控电源	93
第 6 章 动态电路分析实验	99
实验 7 一阶电路的动态响应分析	99
实验 8 二阶电路的动态响应分析	103
第 7 章 交流电路分析实验	107
实验 9 正弦交流电路中的阻抗频率特性	107
实验 10 谐振电路的研究	110
实验 11 交流电路参数的测量	115
实验 12 日光灯电路及功率因数的补偿	119
第 8 章 三相交流电路及耦合电感电路实验	123
实验 13 三相交流电路分析	123
实验 14 三相功率的测量	126
实验 15 互感及变压器实验	129
第 9 章 二端口网络分析实验	133
实验 16 二端口网络特性测试	133
实验 17 回转器与负阻抗变换器	135
第 10 章 电动机控制实验	142
实验 18 电动机单向转动控制	142
实验 19 电动机正、反转控制	146
实验 20 行程开关进行自动往返控制	150
实验 21 电动机 Y- Δ 减压起动控制	154
实验 22 电动机反接制动控制	157
实验 23 电动机能耗制动控制	162
参考文献	164

基础知识 **篇**

- 电工技术实验基础知识
- 电工测量与仪表基础知识
- 常用电工仪表
- 电工技术实验常用仪器设备





电路基础实验包括电路元件特性测量、电路基本定律定理的验证与应用及电阻电路的分析实验。通过该部分实验能够帮助学生进一步理解电路的基本定律定理,更好地掌握电路分析的基本方法。

第1节 电工技术实验课程的内容与要求

一、实验的意义与目的

电工技术实验是一门重要的实践性技术基础课程。开设本课程的目的在于使学生理论联系实际,在老师的指导下完成教学大纲规定的实验任务。通过实验,熟悉常用电工仪器、仪表的使用,掌握电路实验基本操作技能,学会正确记录、处理实验数据、绘制曲线、分析实验结果的方法,从而开发学生分析问题与解决问题的能力,培养学生严谨的工作作风、实事求是的科学态度,以及刻苦钻研、勇于创新的开拓精神和遵守纪律、团结协作、爱护公物等优良品质,为今后从事专业科研工作和工程技术工作打下良好的基础。

电工技术实验课程主要内容包括电工测量的基本知识、基本电工仪表使用、电工技术基本理论定律的验证、电工技术理论知识的应用及常见现象分析等。本课程实验以《电路》及《电工技术》理论课程为基础,通过本课程学习,使学生在掌握电工测量基本技能的基础上,巩固理论知识,学会应用电路理论分析研究实际现象,为进行实际电路分析设计打下坚实的基础。

学完本课程后,通过有计划的训练和培养,应达到如下目的:

- 1) 加深学生对课程内容的理解,巩固和运用所学的理论知识。
- 2) 能够独立地连接实验电路,检查并排除简单的电路故障。
- 3) 能正确地选择与使用常用的电工仪器仪表。
- 4) 能根据已学的理论知识设计简单的应用电路,并能通过实验验证设计的电路。
- 5) 能准确读取实验数据并正确分析实验结果,编写完善而整洁的实验报告。
- 6) 掌握基本的安全用电知识,并养成严格遵守操作规程的习惯。

二、电工技术实验的方法

1. 实验的预习与准备

每次实验前,学生应充分准备,否则实验效果会大打折扣,且有损坏仪器设备和发生人身伤害事故的危险。为了确保能满足预习的要求,每次实验前,教师将对学生进行书面或口头检查,凡没有达到预习要求的学生不能参加实验。

实验准备及预习的要求如下:

- 1) 每次实验课前,应认真阅读实验教材,明确本次实验的目的和要求、实验内容、实验线路、实验步骤;复习与实验有关的理论内容,清楚实验原理、实验操作方法。
- 2) 根据实验要求,画出实验电路及实验所需的数据记录表格,计算出实验中所需要用到理论数据。
- 3) 熟悉实验中所用仪器设备的使用方法。

4) 理解并记住每次实验中的注意事项。

5) 要求学生自行设计的实验,预习前必须完成。

6) 简要写出预习报告。预习报告应包括实验目的、实验原理、实验电路、实验仪器、实验步骤、理论数据估算和数据记录表格等内容。

2. 实验的进行

每次实验操作前,要认真听取老师对实验的讲解和要求,做好课堂笔记。检查仪器设备是否完好,如发现问题应及时反映给指导教师。

为了能在规定的时间内顺利完成实验内容,应掌握正确的接线方法和技巧。完成接线后,同组间应先做检查,然后请老师检查;经老师检查无误后方可通电实验。电路的连接可按以下原则和顺序进行:

1) 连接电路前,先弄清仪器的接线方法和使用方法,明确各段线路中所连接仪表和仪器的规格。

2) 合理地安排仪表的位置,既要考虑到整齐和易于接线,又要照顾到操作和读数的方便以及操作安全。

3) 电路连线应尽量简单、整齐和清楚。

为了顺利有效地进行实验,实验小组成员之间应有合理分工,一人负责测量和记录数据,其余人员进行操作。担任记录者如对所测数据有疑问,则应重新测量和讨论,分析其原因,直到得到正确结果。另外,为使每个同学都得到训练,在每做完一个实验内容后,记录者与操作者应调换分工。

实验过程中不能只埋头读数和记录,应时刻注意是否出现异常现象。如有异常现象,应先切断电源,然后查找原因,待问题解决后再继续进行实验。

数据测量完毕后,应切断电源,但不要急于拆除线路。首先检查有无遗漏和分析操作是否正确,然后将测量数据送老师检查,经老师检查无误后方可拆除线路进行整理工作。

实验结束,将实验器材按要求摆放整齐,填写好仪器设备使用记录本后方可离开。

3. 实验总结

在实验的基础上,对实验现象和数据进行整理分析,然后写出实验报告。编写实验报告的过程是一个从感性认识到理性认识的过程,也是一个加深理解和巩固理论知识的过程,更是培养严谨科学态度、提高综合素质的不可或缺的过程,因而必须重视并认真撰写实验总结报告。

实验报告的格式和内容如下:

1) 实验名称、实验日期、班级、实验者、同组实验者、实验台号。

2) 实验目的。

3) 实验器材。

4) 实验步骤及线路。

5) 实验数据与现象,包括根据实验原始数据进行整理和计算后的结果,绘制好的波形与曲线(在坐标纸上绘制),对实验结果和曲线进行的必要说明。

6) 回答实验教材中或老师在实验课上提出的问题。

7) 实验体会(包括对实验的疑问及改进措施等)。

第2节 电工技术实验中常见故障的处理

实验过程中,由于各种各样的原因,不可避免地会出现一些故障。如果不能及时发现并排除故障,不仅会影响实验的正常进行,还会造成不必要的损失。故障分为硬故障和软故障两大类。硬故障可以造成元器件或仪器设备的损坏,常常伴有元器件过热、冒烟、有烧焦味、有吱吱声或爆竹似的爆炸声。软故障一般暂时不会造成元器件的损坏,但会使电路中电压、电流的数值不正常或者使信号的波形发生畸变,从而使电路不能正常工作。软故障通常是由接触不良、元器件性能变化等原因引起的,不易发现。

一、常见的故障

实验中发生的故障大概有以下几种:

(1) 电源连接错误:①把交流电源的线电压当作相电压使用,或把相电压当作线电使用(而线电压是相电压的 $\sqrt{3}$ 倍);②直流电压源的输出电压超出规定值或极性接反,直流电流源的输出电流超出规定值或两个输出端接反。

(2) 电路连接错误。这种故障主要是粗心大意造成的,所以连接实验电路时要认真,并且连接好电路后要仔细检查。

(3) 电源、实验电路、仪器仪表之间公共参考点选择不当或公共参考点连接错误。

(4) 仪器仪表使用不当,如测量模式不对、量程选择不合适、读数错误等。

(5) 干扰,如电源线干扰、接地线干扰、人体干扰、输入端悬空干扰等。

(6) 元器件老化,如连接导线内部断裂、元器件参数值与标称值不符等。

二、故障的预防

为了能够顺利、安全地进行实验,减少或避免出现故障,应对实验中要用到的实验仪器设备、元器件进行必要的检查。

1. 通电前的检查

在连接实验电路前,先对所用的实验元器件、导线、实验仪器设备进行必要的检查。连接好实验电路后,不要立即通电,应先对实验电路进行以下几个方面的检查:

(1) 检查实验电路中的设备和元器件是否符合要求,对有极性的元器件(如二极管、晶体管、电解电容等),检查其接法是否正确。

(2) 检查实验电路的连接线是否正确,包括检查电源线、接地线、信号线连接是否正确;有无接触不良或短路现象;有无多接线或漏接的情况。

(3) 检查所用实验仪器的工作模式是否正确、量程是否合适。

(4) 检查电源电压是否正常。可用电压表检测电源电压是否符合要求。

2. 通电后的检查

接通电源后,要注意观察实验电路有无异常现象,如出现打火、冒烟、有异味、有异常声响时,应立即切断电源,并报告指导教师。待查出并排除故障后,经指导教师同意方可重新接通电源。

三、故障的检查与排除

故障的检查主要是找出发生故障的原因或发生故障的部位,进而排除故障。通常采用下面两种方法检查实验电路的故障。

1. 断电检查法

当出现具有破坏性的硬故障时,应采用断电检查法。首先切断电源,检查电路中是否有短路、开路、元器件损坏等情况。在排除故障之前,不能通电,以防止引起更大的损失。

2. 通电检查法

可用电压表、示波器等仪器对电路中某部分的电压或波形进行检测,找出故障点,加以排除。另外,电路中可能同时存在多个故障,这些故障又可能相互影响。所以,在检查电路故障时一定要耐心细致,逐个检查、排除。

第3节 电工技术实验安全

实验安全包括人身安全和设备安全,任何疏忽都可能造成人身伤害或设备损坏,因此,关注实验安全是电路实验的基本要求。

一、人身安全

1. 触电及其危害

当人体接触到输电线或电气设备的带电部分时,电流就会流过人体,造成触电。触电对人的伤害分为电击和电伤。

电击为内伤,电流通过人体主要是损伤心脏、呼吸器官和神经系统。轻者会引起针刺、压迫打击感,发生肌肉痉挛、恶心、呼吸困难、血压升高、心律不齐,重者会引起心室颤动、心跳停止、呼吸停止、昏迷,甚至死亡。

电伤为电流通过人体外部发生的烧伤,或是电路放电时,电弧或飞溅物使人体外部被灼伤的现象,主要是由电流的热效应、化学效应及机械效应作用的结果。常见的有电弧烧伤、金属蒸汽灼伤、误操作或拉开较大感性负荷的开关以及载流导体长期接触形成的电烙印等,一般危及生命的可能性较小。

触电的危害性与通过人体的电流种类、大小、频率和电击时间有关。一般来讲,直流电对血液有分解作用,交流电则破坏神经系统。通常情况下直流电危害性小于交流电。在工频 50Hz 下,10mA 以下的交流电流对人体还是安全的,人体可以忍受的电流极限值约为 30mA 左右;交流电压在 50V 以上,50~100mA 的交流电流就有可能使人猝然死亡。25~300Hz 的交流电对人体的伤害最重,当频率增高至 2000Hz 以上时,危险性相对降低,当达到 10^5 Hz 时,即使流过电流为 1A 时也无太大危险。

2. 安全电压

流过人体的电流大小与触电的电压及人体的自身电阻有关。人体电阻因人而异,也与皮肤的干湿程度、洁净与否、粗糙与细腻程度有关。当皮肤干燥、洁净、无损时,人体电阻可达 $(4\sim5)\times 10^4\Omega$;在潮湿的环境中,人体的电阻则只有 600~800 Ω 。根据这个平均数据,国际电工委员会规定了可长期保持接触的电压最大值,对于 15~1000Hz 的交流电,在正常的环境下,该电压为 50V。根据工作场所和环境的不同,我国规定安全电压的标准有 42、36、24、12、6V 等规格。一般情况下安全电压为 36V;在潮湿的环境下,选用 24V;在潮湿、多导电尘埃、金属容器内等工作环境下,安全电压为 12V;在特别危险的环境下(如人体浸在水中工作等),应选用更安全的电压,一般为 6V。

3. 常见的触电方式

常见的触电方式可分为单线触电、双线触电和跨步触电三种。

(1) 单线触电。当人体的某一裸露部位触碰到一根相线（俗称火线）或绝缘性能不好的电气设备外壳时，电流由相线经人体流入大地，这种触电方式称为单线触电（或称单相触电）。

单线触电分两种情况，一种是中性点接地的三线系统的单线触电，如图 1-1 (a) 所示。在这种系统中发生单线触电时，相当于电源的相电压和人体电阻及接地电阻的串联电路。由于接地电阻较人体电阻小很多，所以加在人体上的电压值接近于电源的相电压。

另一种是中性点不接地的三线系统的单线触电，如图 1-1 (b) 所示。在这种系统中发生单线触电时，电流通过人体、大地和输电线间的分布电容构成回路。显然，这时如果人体和大地绝缘良好，流经人体的电流就会很小，触电对人体的伤害就会大大减轻。这种供电系统仅局限在游泳池和矿井等特殊场合应用。

因现在广泛采用前一种三线系统，所以发生单线触电的机会也最多。此时人体承受的电压是相电压，在低压动力线路中为 220V，这是很危险的。

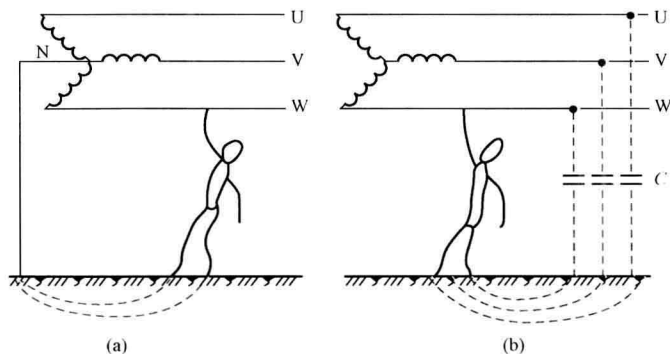


图 1-1 单线触电

(a) 中性点接地；(b) 中性点不接地

(2) 双线触电。当人体的不同部位分别接触到同一电源的两根不同相位的相线，电流由一根相线经人体流到另一根相线的触电方式称为双线触电（或称双相触电），如图 1-2 所示。发生双线触电时，人体承受的电压是线电压，在低压动力线路中为 380V，此时通过人体的电流将更大，而且电流的大部分经过心脏，所以比单线触电更危险。

(3) 跨步触电。高压电线接触地面时，在距高压线不同距离的点之间存在电压降。当人体接近此区域时，两脚之间因所处电压降区域半径不同，需承受一定的电压，此电压称为跨步电压。由跨步电压引起的触电称为跨步电压触电，简称跨步触电。

若人体双脚步距距离为 0.8m，则在 10kV 高压线接地点 20m 以外、380V 相线接地点 5m 以外才是安全的。跨步触电一般发生在高压设备附近，人体离接地体越近，跨步电压越大。因此在遇到高压设备时应慎重对待，如误入危险区域，应双脚并拢或单脚跳离危险区，以免发生触电伤害。

因此，为保证人身安全，实验过程中不允许用手接触没有绝缘的导线和接线端子，连接电路或改变电路时必须先断开电源，电路接通时应通知全组人员。

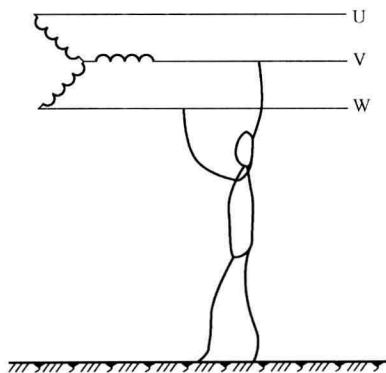


图 1-2 双线触电

4. 触电急救

触电急救的基本原则是动作迅速、救护得法，切不可惊慌失措、束手无策。当发现有人触电时，必须使触电者迅速脱离电源，然后根据触电者的具体情况，进行相应的现场救护。

(1) 脱离电源的方法。

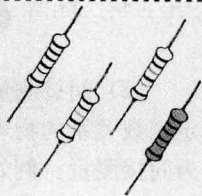
- 1) 拉断电源开关或闸刀开关。
- 2) 拔去电源插头或熔断器的插芯。
- 3) 用电工钳或有干燥木柄的斧子、铁锹等切断电源线。
- 4) 用干燥的木棒、竹竿、塑料杆、皮带等不导电的物品拉或挑开导线。
- 5) 救护者可戴绝缘手套或站在绝缘物上用手拉触电者，使其脱离电源。

以上通常用于脱离额定电压 500V 以下的低压电源，可根据实际情况选择。若发生高压触电，应立即告知有关部门停电；紧急时可抛掷裸金属软导线，造成线路短路，迫使保护装置动作以切断电源。

(2) 触电急救。触电者脱离电源后，应立即进行现场紧急救护。触电者受伤不太严重时，应保持空气畅通，解开衣服以利呼吸，静卧休息，不要走动，同时请医生或送医院诊治。触电者失去知觉，呼吸和心跳不正常，甚至出现无呼吸、心脏停跳的假死现象时，应立即进行人工呼吸和胸外按压。

二、设备安全

电工仪器仪表属精密设备，使用或存放不当都会引起损坏或精度下降，因此在每次实验前，必须对所用设备的使用方法进行了解。实验中对所有实验仪器应轻拿轻放，选择合适的量程，如事先不能确定所选量程的大小，应从最高量程开始测量。闭合开关时应迅速而准确，此时应注意各仪表状态。在整个实验过程中，要随时注意有无异常的现象及焦糊气味，发现异常应立即切断电源，查找原因。



在自然界中,对于任何被研究的对象,若要定量地进行评价,必须通过测量实现。在电工电子技术领域中,正确的测量更为重要。电工仪表和电工测量是从事电工专业的技术人员必须掌握的一门知识。本章介绍电工测量和电工仪表的基本知识。

第1节 电工测量基础知识

一、电工测量的意义

电工测量就是借助于测量设备,把未知的电量或磁量与作为测量单位的同类标准电量或磁量进行比较,从而确定未知电量或磁量(包括数值和单位)的过程。

一个完整的测量过程,通常包含如下几个方面。

1. 测量对象

电工测量的对象主要是反映电和磁特征的物理量,如电流(I)、电压(U)、电功率(P)、电能(W)以及磁感应强度(B)等;反映电路特征的物理量,如电阻(R)、电容(C)、电感(L)等;反映电和磁变化规律的非电量,如频率(f)、相位(φ)、功率因数($\cos\varphi$)等。

2. 测量方式和测量方法

测量方法的正确与否直接关系到测量工作能否正常进行和测量结果的有效性。根据测量的目的和被测量的性质,可选择不同的测量方式和测量方法。

3. 测量设备

对被测量与标准量进行比较的测量设备,包括测量仪器和作为测量单位参与测量的度量器。进行电量或磁量测量所需的仪器仪表,统称电工仪表。电工仪表是根据被测电量或磁量的性质,按照一定原理构成的。

电工测量中使用的标准电量或磁量是电量或磁量测量单位的复制体,称为电学度量器。电学度量器是电气测量设备的重要组成部分,它不仅作为标准量参与测量过程,而且是维持电磁学单位统一、保证量值准确传递的器具。电工测量中常用的电学度量器有标准电池、标准电阻、标准电容和标准电感等。

除以上三个主要方面外,测量过程中还必须建立测量设备所必需的工作条件;慎重地进行操作,认真记录测量数据;并考虑测量条件的实际情况进行数据处理,以确定测量结果和测量误差。

二、常用电工测量方式和测量方法

1. 测量方式的分类

测量方式主要有如下两种:

(1) 直接测量。在测量过程中,能够直接将被测量与同类标准量进行比较,或能够直接用事先刻度好的测量仪器对被测量进行测量,从而直接获得被测量的数值的测量方式称为直接测量。例如,用电压表测量电压、用电能表测量电能以及用直流电桥测量电阻等都是直接测量。直接测量方式广泛应用于工程测量中。

(2) 间接测量。当被测量由于某种原因不能直接测量时,可以通过直接测量与被测量有一定函数关系的物理量,然后按函数关系计算出被测量的数值,这种间接获得测量结果的方式称为间接测量。例如,用伏安法测量电阻是利用电压表和电流表分别测量出电阻两端的电压和通过该电阻的电流,然后根据欧姆定律 $R=U/I$ 计算出被测电阻 R 的大小。间接测量方式广泛应用于科研、实验室及工程测量中。

2. 测量方法的分类

(1) 直接测量法。在测量过程中,能够直接将测量与同类标准量进行比较,或能够直接用事先刻度好的测量仪器对被测量进行测量,从而直接获得被测量的数值的测量方式称为直接测量。例如,用电压表测量电压、用电能表测量电能以及用直流电桥测量电阻等都是直接测量。直接测量方式广泛应用于工程测量中。直接测量法具有简便、读数迅速等优点,但是它的准确度除受到仪表的基本误差的限制外,还由于仪表接入测量电路后,仪表的内阻被引入测量电路中,使电路的工作状态发生了改变,因此,直接测量法准确度较低。

(2) 比较测量法。将被测量与度量器在比较仪器中直接比较,从而获得被测量数值的方法称为比较法。例如,用天平测量物体质量时,作为质量度量器的砝码始终都直接参与了测量过程。在电工测量中,比较法具有很高的测量准确度,可以达到 $\pm 0.001\%$,但测量时操作比较麻烦,相应的测量设备也比较昂贵。

根据被测量与度量器进行比较时的不同特点又可将比较法分为零值法、较差法和替代法三种。

1) 零值法又称平衡法,它是利用被测量对仪器的作用,与标准量对仪器的作用相互抵消,由指零仪表做出判断的方法。即当指零仪表指示为零时,表示两者的作用相等,仪器达到平衡状态;此时按一定的关系可计算出被测量的数值。显然,零值法测量的准确度主要取决于度量器的准确度和指零仪表的灵敏度。

2) 较差法是通过测量被测量与标准量的差值,或正比于该差值的量,根据标准量来确定被测量的数值的方法。较差法可以达到较高的测量准确度。

3) 替代法是分别把被测量和标准量接入同一测量仪器,在标准量替代被测量时,调节标准量,使仪器的工作状态在替代前后保持一致,然后根据标准量来确定被测量的数值。用替代法测量时,由于替代前后仪器的工作状态是一样的,因此仪器本身性能和外界因素对替代前后的影响几乎是相同的,有效地克服了所有外界因素对测量结果的影响。替代法测量的准确度主要取决于度量器的准确度和仪器的灵敏度。

(3) 间接测量法。当被测量由于某种原因不能直接测量时,可以通过直接测量与被测量有一定函数关系的物理量,然后按函数关系计算出被测量的数值,这种间接获得测量结果的方式称为间接测量。例如,用伏安法测量电阻,是利用电压表和电流表分别测量出电阻两端的电压和通过该电阻的电流,然后根据欧姆定律 $R=U/I$ 计算出被测电阻 R 的大小。间接测量方式广泛应用于科研、实验室及工程测量中。

测量过程中,到底选用哪种测量方法,要由被测量对测量结果准确度的要求及实验条件是否可能等各种因素决定。

第2节 测量误差与准确度

在测量过程中,由于受到测量方法、测量设备、实验条件及观测经验等多方面因素的影

响,测量结果不可能是被测量的真实数值,而只是它的近似值;即任何测量的结果与被测量的真实值之间总是存在着差别,这种差别称为测量误差。

一、测量误差的分类

根据产生测量误差的原因,可以将其分为系统误差、偶然误差和疏失误差三大类。

1. 系统误差

能够保持恒定不变或按照一定规律变化的测量误差,称为系统误差。系统误差主要是由于测量设备、测量方法的不完善和测量条件的不稳定而引起的。系统误差按照误差来源可分为以下四种:

- 1) 基本误差。由于测量仪器仪表本身结构和制作上的不完善而产生的误差。
- 2) 附加误差。由于仪器使用时未能满足其所规定的使用条件而产生的误差,如电压、频率、温度、仪器安装位置等都会引起这种附加误差。
- 3) 方法误差。也称理论误差。由于测量方法不完善或测量所依据的理论不完善等原因而造成的误差。
- 4) 人身误差。也称个人误差。是由于测量人员感觉不完善而导致的误差,这类误差往往因人而异,并与个人当时的心理和生理状态密切相关。

由于系统误差表示了测量结果偏离其真实值的程度,即反映了测量结果的准确度,所以在误差理论中,经常用准确度来表示系统误差的大小。系统误差越小,测量结果的准确度就越高。

2. 随机误差

随机误差又称偶然误差,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,各次测量结果服从某种统计分布;这种误差的处理依据概率统计方法。产生随机误差的原因很多,如温度、磁场、电源频率等的偶然变化等都可能引起这种误差;另外,观测者本身感官分辨能力的限制,也是随机误差的一个来源。随机误差具有如下几个特点:

- 1) 有界性。在一定测量条件下,随机误差的绝对值不会超过一定的界限。
- 2) 单峰性。绝对值小的误差出现的机会多于绝对值大的误差。
- 3) 对称性。当测量次数足够多时,正负误差出现的机会相等。

系统误差和随机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;而随机误差则反映在一定条件下误差出现的可能性。

3. 疏失误差

疏失误差又称过失误差,是测量过程中操作、读数、记录和计算等方面的错误所引起的误差。显然,凡是含有疏失误差的测量结果都是应该摒弃的。

二、测量误差的消除方法

测量误差是不可能绝对消除的,但要尽可能减小误差对测量结果的影响,使其减小到允许的范围。

消除测量误差,应根据误差的来源和性质,采取相应的措施和方法。必须指出,一个测量结果中既存在系统误差,又存在偶然误差,要截然区分两者是不容易的。所以应根据测量的要求和两者对测量结果的影响程度,选择消除方法。一般情况下,在对精密度要求不高的工程测量中,主要考虑对系统误差的消除;而在科研、计量等对测量准确度和精密度要求较高的测量中,必须同时考虑消除上述两种误差。