

铁路职业教育铁道部规划教材

# 铁路信号测量

TIELUXINHAOCELIANG

TIELU ZHIYE JIAOYU TIEDAOBU GUIHUA JIAOCAI

林瑜筠 主编

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



铁路职业教育铁道部规划教材

# 铁路信号测量

林瑜筠 主 编

陈煜德 主 审

中国铁道出版社

2008年·北京

## 内 容 简 介

本书系统介绍铁路信号测量常用的电测量指示仪表、较量仪器、电子仪表的测量原理和使用方法,主要铁路信号设备的电气特性测试方法,主要信号器材测量方法,信号微机监测系统的组成和使用方法。

本书为铁路高职、中专信号专业教材,也可供铁路信号工作人员学习参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

铁路信号测量/林瑜筠编.—北京:中国铁道出版社,  
2008.7

铁路职业教育铁道部规划教材

ISBN 978-7-113-09036-4

I. 铁… II. 林… III. 铁路信号—测量—职业教育—教  
材 IV. U284

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 100876 号

书 名: 铁路信号测量

作 者: 林瑜筠 主编

责任编辑: 武亚雯 刘红梅

电话: 010-51873132

电子信箱: wyw716@163.com

封面设计: 陈东山

责任校对: 孙 玫

责任印制: 金洪泽 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址: [www.tdpress.com](http://www.tdpress.com)

印 刷: 北京市兴顺印刷厂

版 次: 2008年8月第1版 2008年8月第1次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 13.75 字数: 340 千

书 号: ISBN 978-7-113-09036-4/TP·2943

定 价: 26.50 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187



# 前 言

本书由铁道部教材开发小组统一规划,为铁路职业教育规划教材。本书是根据铁路职业教育铁道信号专业教学计划“铁路信号测量”课程教学大纲编写的,由铁路职业教育铁道信号专业教学指导委员会组织,并经铁路职业教育铁道信号专业教材编审组审定。

信号设备特性测试是信号维护工作的重要内容之一。通过对信号设备特性的测试,掌握和分析设备的运用状态,对于及时发现设备缺陷、预防设备故障、指导维护工作、保证设备正常运用,具有十分重要的意义。为此,信号工作人员必须懂得常用仪表的测量原理,掌握各种常用仪表的使用方法和各种主要信号设备电气特性的测量方法,并了解信号测量的新技术、新方法。

本教材分为:信号常用仪表、主要信号设备测量、信号设备微机监测三大部分。

对于铁路信号所使用的仪表,教材介绍了常用的具有代表性的仪表,并着重介绍仪表的测量原理和常规使用方法。本教材删除了原有教材部分陈旧仪表的内容,补充了一些新型仪表的内容。至于各仪表的具体电路原理,本教材不作详尽介绍,读者如需了解可参阅有关书籍。在学习了本教材所介绍的测量原理和使用方法后,对于其他同类仪表,可举一反三,阅读使用说明书予以掌握。在熟悉仪表性能和测量原理后,可根据测量对象的具体情况和要求,在仪表性能所允许的范围内灵活运用以充分发挥仪表的使用效率。

信号设备电气特性测试,分为日常维修测试和入所修测试两部分。前者以《信号维护规则业务管理》规定的电气特性测试项目为根据,后者以相关器材的铁道行业标准为根据,介绍的都是基本测试方法,至于现场各单位自行研制的一些综合测试装置,因种类繁多,缺乏统一标准,本教材未能一一予以介绍。这里的信号设备,包括目前我国铁路大量采用的主要信号设备,尤其是新型信号设备,不包括趋于淘汰的设备。

对于信号设备微机监测,则介绍最新的铁道部统一设计的系统,包括 TJWX-2000 型信号微机监测系统、TJWX-2006 型信号微机监测系统和转辙机缺口报警装置。

本教材既可作为铁路职业技术学院、中等专业学校信号专业的教学用书,又可供现场技术培训作为教材,还可供现场工程技术人员和技术工人作为参考资料。教材中,用楷体编排的,中专可以选学。各校、各单位在组织教学时,应根据不同层次的实际需要,选择一定的深度;也应根据各地区信号设备的具体情况,确定适当的广度。

本教材由南京铁道职业技术学院林瑜筠主编,武汉铁道职业技术学院陈煜德主审。参加编写的有南京铁道职业技术学院薄宜勇、洪冠。其中林瑜筠编写第一、二、四、五章,林瑜筠、洪

冠编写第三章,林瑜筠、薄宜勇编写第六章。2007年11月在重庆召开了本教材审稿会,参加审稿的有内江铁路机械学校姚晓钟、向军,武汉铁道职业技术学院张仕雄、李俊娥,兰州交通大学谭丽,湖南交通工程职业技术学院李晓瑜,辽宁铁道职业技术学院张胜平,重庆铁路高级技工学校刘廷明、王宏、于久成。

由于编者水平所限,时间仓促,教材中不免有错误、疏漏,恳请读者提出批评及改进意见,以不断提高教材质量。

编者

2008年5月

绪 论	1
<b>第一章 电测量指示仪表</b>	<b>4</b>
第一节 电测量指示仪表的一般知识	4
第二节 万用表	14
第三节 钳形电流表	19
第四节 兆欧表	20
第五节 功率表	24
复习思考题	28
<b>第二章 较量仪器</b>	<b>29</b>
第一节 直流电桥	29
第二节 交流电桥	33
第三节 接地电阻测量仪	37
复习思考题	40
<b>第三章 电子仪表</b>	<b>41</b>
第一节 电子电压表	41
第二节 示波器	43
第三节 频率计	65
第四节 数字式多用表	72
第五节 失真度测量仪	76
第六节 信号发生器	83
第七节 电子仪表的选用	95
复习思考题	97
<b>第四章 信号设备电气特性测量</b>	<b>99</b>
第一节 色灯信号机的测量	99
第二节 转辙机的测量	99
第三节 轨道电路的测量	101
第四节 电源屏的测量	115
第五节 电缆的测量	117

第六节	地线及防雷元件的测量	124
	复习思考题	125
<b>第五章</b>	<b>信号器材的测试</b>	127
第一节	继电器的测试	127
第二节	自动闭塞器材的测试	135
第三节	电码化器材的测试	137
第四节	机车信号车载设备的测试	146
第五节	道口信号设备的测试	152
第六节	电源设备的测试	154
	复习思考题	158
<b>第六章</b>	<b>信号微机监测系统</b>	159
第一节	信号微机监测概述	159
第二节	TJWX-2000 型信号微机监测系统	161
第三节	TJWX-2006 型信号微机监测系统	198
第四节	转辙机缺口报警装置	208
	复习思考题	210
<b>参考文献</b>		211
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67		
68		
69		
70		
71		
72		
73		
74		
75		
76		
77		
78		
79		
80		
81		
82		
83		
84		
85		
86		
87		
88		
89		
90		
91		
92		
93		
94		
95		
96		
97		
98		
99		
100		
101		
102		
103		
104		
105		
106		
107		
108		
109		
110		
111		

## 绪 论

### 一、测 量

测量是为确定对象的量值而进行的实验过程,它用实验方法借助测量工具来获得未知量的大小,是人们对自然界客观事物取得数量概念的一种认识过程,也是人们认识自然最直接、最重要的手段之一。

在科学技术发展过程中,测量尤为重要。任何科技成就,离开科学实验中的测量是无法取得的。测量技术的不断完善、精度的不断提高,会使人们发现新的自然规律。而科学技术的发展又为测量技术的提高奠定了基础。

测量的原理和方法是多种多样的。其中,用电的原理和方法实现测量,称为广义的电测,它包括电磁测量、电子测量和非电量的电测量。电测是测量范畴里发展最快、应用最广的领域。可以说,几乎一切电量和非电量都可借助电测技术来进行测量,而一切先进的测量仪表也都直接或间接地采用了电测技术。

测量技术是研究测量原理、方法和仪器仪表等方面内容的技术。利用电磁技术所进行的测量,一般称为电磁测量;利用电子技术所进行的测量称为电子测量;通过传感器等变换技术将非电量转换成为电信号再进行的测量称为非电量电测。

按获得测量结果的方法,可分为直接测量、间接测量和组合测量。直接测量是无需对被测量与其他实测的量进行辅助计算而直接得到被测量的测量方法。间接测量是利用直接测量的量与被测量之间已知的函数关系,经计算得出被测量的测量方法。组合测量则是兼用直接测量与间接测量的方法。

按所用测量仪器仪表,分为直接测量法和比较测量法。直接测量法直接从仪器仪表上读出测量结果。比较测量法是在测量过程中通过被测量与标准量进行比较获得测量结果的。

按测量方式可分为自动测量和非自动测量,原位测量和远距离测量(遥测)。按精密程度可分为精密测量和工程测量。

采用正确的测量方法可以得到比较精确的测量结果。在选择测量方法时,首先要考虑被测量本身的特点和性质、所处的环境条件、所需要的精确程度及所具有的测量设备等因素,使测量方法和测量仪器仪表相配合,以正确选择测量方法、测量结果并编制合理的测量程序。

### 二、铁路信号与测量

信号维护工作的目的是为了掌握设备性能,预防设备故障,保证设备经常处于良好的运用状态。设备性能是通过其电气特性和机械特性体现出来的,设备故障也以其特性的变异为表现形式,因此只有通过电气特性测量,采集有关数据,才能准确地定量地掌握设备的运用状态,为发现设备缺陷、分析设备故障提供科学依据。所以,电气特性测试是信号维护工作的重要内容。在信号设备的研究、制造、施工过程中,电气特性测试同样是不可缺少的重要环节。

随着铁路信号向现代化发展,越来越多的新技术、新设备、新器材、新系统投入运用,它们



的使用和维护不仅离不开电气特性测试,而且对其提出了更高的要求。

铁路信号设备维护工作由维修、中修、大修三部分组成,测试工作是信号设备维护工作的重要内容之一,它含在维修、中修、大修之中。道理很简单,没有正确的、经常的电气特性测试,就不能明确把握信号设备的运用状态,就不能保证良好的设备质量和运用质量。因而,信号工作人员必须认真执行关于电气特性测量的有关规定,搞好各项测试工作。

主要信号设备指轨道电路、色灯信号机、转辙机、机车信号、电源、继电器、自动闭塞、电缆、地线和防雷元件等。对于它们的电气特性测量,归纳起来,就是对于电流和电压的测量,功率和电能的测量,频率和相位的测量,电阻的测量,交流阻抗、电容、电感的测量,磁测量等。

### 三、测量和仪表

电气特性测试是通过各种仪表的使用得以完成的,只有熟练、正确地使用有关仪表,才能搞好生产和维修中的各项测试工作。因此,信号工作人员,不仅要不断学习新技术、掌握新设备,运用现代管理方法,还必须熟悉各种有关仪表的性能、测量原理和正确的使用方法。

利用仪表进行测量,具有快速、连续测量、自动检测等一系列优点。

电测量可分为电工测量和电子测量两大类。所谓电工测量,就是把被测电量或磁量与作为测量单位的同类电量或磁量进行比较,以确定电量或磁量的过程。测量电量或磁量的仪器仪表则统称为电工仪表。

电工仪表是实现电工测量过程所需技术工具的总称,其测量对象主要是电流、电压、功率、电能、相位和频率等电量,电阻、电容、电感等电参量,磁感应强度、磁场强度和导磁系数等磁量。

电工仪表种类很多,根据它们的原理、用途等方面的特性,可分为指示仪表、积算仪表、较量仪器、记录仪表、数字仪表、测磁仪器等六大类。指示仪表是基于直读法的仪表,可由它们的指示器的偏转角位移直接读出测量结果。积算仪表用以测量与时间有关的电量,在测量时间内仪表对被测量进行累计,电度表就是用来积算电能的一种积算仪表。较量仪器是基于比较法进行测量的仪器。记录仪表把被测量与另一变量的函数变化关系连续记录下来。数字仪表是采用逻辑电路,用数码显示被测量的仪表。测磁仪器用于测量基本磁量和磁性材料特性。最常用的电工仪表是指示仪表和较量仪器。

随着生产和科学技术的飞跃发展,电工测量技术的测量对象也扩展到相当大的范围,如电流从 $10^{-16}$  A 到 $10^5$  A,电压从 $10^{-9}$  V 到 $10^7$  V,电阻从 $10^{-8}$   $\Omega$  到 $10^{16}$   $\Omega$  的数量级等,并且已生产了准确度高达0.05级的指示仪表。

近年来,综合了电子技术和计算技术的最新成果而发展起来的各种类型的数字仪器仪表,具有数字显示、高准确度、高灵敏度、高测量速度及适用于各种参数测量和集中控制等一系列优点,从而成为今天电工测量技术的一个新的领域和重要的发展方向。

电子测量的含义有狭义和广义两种。狭义地说,电子测量是指对于电子技术中各种电参量的测量。广义地说,凡运用电子技术对于一切电的和非电的参量所进行的测量均可称为电子测量。

对于电参量的测量包括电能量的测量(包括各种频率及波形的电压、电流、功率等)、电信号的测量(包括波形、频率、时间、相位、噪声及逻辑状态等)、电路参数的测量(包括阻抗、品质因数、器件参数等)、导出量的测量(包括增益、失真度、调幅度等)、图示特性曲线(包括幅频特性曲线、器件特性曲线等)。

随着电子技术的发展,许多非电量也都力图通过一定的传感器转换成电信号,再利用电子技术进行测量。

电子测量除了对上述参数进行稳态测量外,还可对自动控制系统的过渡过程等进行动态测量。

和其他测量技术相比,电子测量具有频率范围广、量程范围广、测量准确度高、测量速度快,易于实现遥测和测量过程自动化等明显特点。

电子测量仪器指参与电子测量工作的设备,包括各种直读仪器、比较仪器、测试用信号源等。电子测量仪器按被测对象可分为电平测量仪器(指电子电压表、数字电压表、电平表等),测试用信号源(供测试电子电路各种性能、指标用的信号源,如各种信号发生器),信号分析仪器(指频谱分析仪和失真度测量仪等),频率、时间及相位测量仪器(指数字式频率计、数字相位计等),波形测量仪器(指各种示波器),电路参数测量仪器(用于测量各种元器件的电参数,如晶体管特性图示仪)。

随着电子学特别是半导体技术的发展,电子仪器在性能、测量功能及结构方面都取得巨大的进展。新的测量技术和仪器不断涌现。电子仪器已经经历了电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路四个时期。近年来,电子仪器发展更快,取样技术、扫频技术、频率合成技术、锁相技术,特别是计算技术应用于电子仪器,使电子仪器正在向集成化、多功能化、数字化、自动化方面迅速发展。

同模拟显示仪器相比,数字显示具有明显的优点:直接读数,可免除人为的读数误差,有存储能力,响应速度快,分辨力高,测量精度高。但模拟显示仪器价格便宜,且能指示出被测量的变化方向,仍然很有用。现在几乎所有电子仪器都能数字化。

自动化测量包括仪器本身自动调整、自动减小测量误差、自动选择量程、自动转换极性、自动测量、自动计算、自动记录、自动显示结果、自动查找仪器故障等内容。

系统化测量指多种仪器通过接口设备组合成一种自动测试系统,由计算机进行控制。

随着科学技术的发展,测量项目越来越多,使用者往往希望能选用合乎他们需要的通用仪器,从而促使仪器向多功能方向发展。如通用计数器,通过插入单元的更换,可用来测量频率、周期、频率比、时间间隔、电压、电流、相位等多种参数。

#### 四、微机 and 测量

微机引入仪器仪表,既实现了仪器仪表的小型化、自动化、多功能化、智能化、系统化,又提高了测量精度和测量效率。由于微机具有收集数据和信息处理的功能,使复杂的测量结果能以不同的格式显示出来,从而进一步提高测量效率。这种“智能”仪器,将逐渐占主导地位。

在信号维修工作中,根据需求和长期积累的经验,逐渐采用了一些固定的测试装置,如轨道电路测试盘、电缆绝缘测试盘等,带来了一些方便。但这些装置分散使用,功能单一,不成系统,自动化程度低。随着科学技术的发展以及维修改革的深化,近年出现了信号微机监测系统,它除了具有自动测试功能外,还有故障记忆、再现、诊断、报警、打印等多种功能。

为了提高产品质量,还用微机参与产品各部件参数的检验,同时综合所检验的参数指标进行统计分析。如对继电器、转辙机、车辆减速器、自动闭塞元部件、机车信号器材、信号灯具等的检验。采用微机检验可大大提高工效,减少测量误差,降低劳动强度。

在信号测量工作中运用微机,是一大技术进步,是测量工作发展的方向,也是促进铁路信号及其维修技术现代化的有效工具。

# 第一章

## 电测量指示仪表

电测量指示仪表是最常用的一类电工仪表。电测量指示仪表直接将被测电量转换为仪表可动部分的机械位移,由连接在可动部分上的指针在标度尺上给出指示,反映被测量的数值。电测量指示仪表有相当长的发展史,基本结构和制造工艺已经很完善。电测量指示仪表具有结构简单、工作稳定、测量范围广、读数可靠、价格低廉、维修方便、体积小和适于大批生产的特点,又由于测量过程简便,因此在各部门得到广泛应用。

### 第一节 电测量指示仪表的一般知识

#### 一、电测量指示仪表分类

电测量指示仪表种类繁多,分类方法也很多。了解仪表的分类,有助于认识它们的特性。以下介绍几种常用的分类方法。

##### 1. 按工作原理分类

主要有磁电系、电磁系、电动系、感应系仪表。

##### 2. 按被测量的种类分类

主要有测量电流的电流表(安培表、毫安表、微安表),测量电压的电压表(伏特表、毫伏表),测量功率的功率表(瓦特表),测量电阻的欧姆表、兆欧表,测量功率因数的相位表,测量频率的频率表,测量电容的法拉表,测量电能的电度表(瓦时表),以及多种用途的仪表,如万用表等。

##### 3. 按使用方式分类

有安装式和可携式两类。安装式仪表又称开关板式仪表,固定安装在开关板或电气设备的面板上,一般准确度较低,价格也较低。可携式仪表,便于携带,一般准确度较高,价格也较贵。

##### 4. 按被测电流的种类分类

有直流仪表、交流仪表、交直流两用仪表。

此外,按读数机构可分为指针式和光标式。还可按准确度等级、对外电场磁场的防御能力、使用条件和外壳的防护性能进行分类。

#### 二、电测量指示仪表的组成及工作原理

##### 1. 仪表的组成

电测量指示仪表的种类很多,但它们的基本原理都是将被测电量变换为仪表活动部分的偏转角位移。为了将被测电量变换成角位移,电测量指示仪表通常由测量机构和测量线路两部分组成,其方框图如图1-1所示。

测量机构是指示仪表的核心部分,仪表的偏转角位移是靠它来实现的。测量机构分为两

部分,即活动部分和固定部分。用以指示被测量数值的指针就装在活动部分上。

测量机构的主要作用是:产生转动力矩,驱使指针转动;产生反作用力矩,使指针静止在平衡位置,从而指示出被测量的数值;产生阻尼力矩,使指针克服惯性更快地静止在平衡位置。

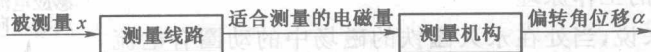


图 1-1 电测量指示仪表组成方框图

测量线路的作用是将被测量变换成为测量机构可以直接测量的电量和磁量。电压表的附加电阻、电流表的分流电阻等都是测量线路。

## 2. 磁电系仪表

磁电系仪表是利用永久磁铁的磁场与载流线圈的相互作用产生转动力矩的原理制成的。它具有灵敏度高、准确度高、标尺均匀、便于调整、功耗小、外磁场影响小、工作稳定可靠等一系列优点,应用非常广泛,在电测量指示仪表中占有极其重要的地位。它常用来测量直流电流、电压和电阻;加上整流器时,可用来测量交流电流和电压;采用特殊结构时,可构成检流计,用来测量极其微小的电流(如  $10^{-10}$  A)。

### (1) 磁电系测量机构

磁电系仪表结构的特点是具有固定的永久磁铁和活动的线圈。其固定部分包括永久磁铁、磁轭、极掌,活动部分包括圆柱形铁芯、活动线圈(动圈)、指示器(如指针和灯光反射镜)、转轴(或张丝、吊丝等)。磁电系仪表的测量机构的结构如图 1-2 所示。

磁电系仪表的磁路系统通常包括强磁力的永久磁铁、连接在永久磁铁两端的磁轭、磁轭两端的半圆筒形极掌、两极掌间空腔中固定于支架上的圆柱形铁芯以及极掌与圆柱形铁芯间的气隙。极掌和铁芯由软磁性电工钢制成。铁芯与极掌间的气隙内产生均匀的辐射磁场。

动圈是在一个铝框上用很细的绝缘铜线绕制而成的,其两端各连接一个轴。轴尖支承在宝石轴承上,可转动,指针固定在轴上。

反作用力矩由游丝产生。游丝有上、下两个,它们的绕向相反,内端固定在轴上,外端固定在支架上。当仪表的活动部分受到转动力矩的作用而转动时,游丝也随之被扭转变形,由于它是螺旋式弹簧,有力图恢复原状的特性,因而产生反作用力矩。通过动圈的电流越大,仪表活动部分的偏转角越大,游丝的反作用力也就越大。游丝还兼作将电流引入动圈的引线。

在指示仪表中,为使仪表指针起始在“零”位置,通常有一个调零器,它的一端与游丝相连。如果仪表使用前其指针不能指在零位,则可用螺丝刀轻轻调节露在表壳外面的调零器杆,使仪表指针逐渐趋于零位。

磁电系仪表设有专门的阻尼器,一般利用绕有动圈的铝框架(或在动圈上特意绕几匝短路线匝)来产生阻尼力矩。其作用原理是:当动圈在磁场中运动时,闭合的铝框架切割磁力线产生感应电势,从而在铝框中产生感应电流  $i_d$ 。该电流与气隙中的磁场相互作用产生力矩  $M_d$ ,该力矩的方向总是与动圈转动的方向相反,从而阻止动圈来回摆动,使动圈很快地静止下来,



图 1-2 磁电系测量机构的结构



参见图 1-3。

须指出,上述阻尼力矩只有在动圈转动时才产生,动圈静止下来后,它也就不存在了,所以它对测量结果没有影响。

### (2)磁电系仪表的工作原理

对磁电系仪表来说,当处在永久磁铁的磁场中的动圈有电流流过的时候,通有电流的线圈与磁场相互作用产生一定大小的转动力矩,使活动部分偏转;同时一端固定在活动部分上的游丝或张丝因扭曲变形产生反作用力矩,且该力矩随着活动部分偏转角的增大而增大。当反作用力矩增大到与转动力矩相等时,活动部分最终将停留在相应位置,指针即在标度尺上指示出被测量的数值。

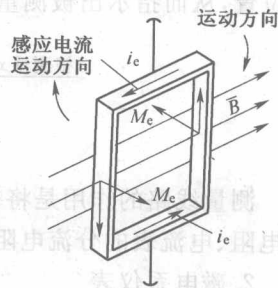


图 1-3 铝框的阻尼作用

由前述,极掌和圆柱形铁芯之间的气隙磁场呈均匀的辐射状分布,设其磁感应强度为  $B$ ,动圈中通以电流  $I$  时,作用在动圈与磁场方向相垂直的每一边的电磁力  $F = BIlw$  ( $l$  为动圈与磁场方向垂直的边的长度,  $w$  为动圈的匝数)。动圈与磁场方向垂直的两边受到相同大小的作用力,所以作用在动圈上的力矩  $M = 2Fr = 2BIlw r$  ( $r$  为铝框中心线到铝框的距离)。动圈所包含的面积  $A = 2rl$ ,所以  $M = BIwA$ 。

若指针的偏转角度为  $\alpha$ ,则游丝产生的反作用力矩  $M_a = D\alpha$  ( $D$  是游丝的反作用系数,其大小决定于游丝的材料性质和几何尺寸)。

指针静止在某一平衡位置时,转动力矩与反作用力矩相等,此时  $M = M_a$ ,则  $\alpha = M_a / D = M / D = BAwI / D = sI$ 。式中  $s = BAw / D$ ,是磁电系测量机构的灵敏度。对某一仪表而言,它是一个常数,因  $B$ 、 $A$ 、 $w$ 、 $D$  决定于仪表的结构和材料性质,它们的数值对于某一仪表来说都是固定的。

因此,磁电系仪表可用来测量直流电流以及与直流电流有联系的其他物理量,而且由于偏转角  $\alpha$  与通过动圈的电流  $I$  成正比,所以标度尺上的刻度是均匀的。

### (3)磁电系电流表

磁电系测量机构所能允许流过的电流很微小,因动圈的导线很细,电流过大会因过热而烧坏绝缘;同时游丝所允许通过的电流也不能过大,否则游丝会因过热而变形,所以磁电系测量机构可以直接测量的电流范围一般为几十微安。如果要用它来测量较大的电流时,就必须扩大量限。

磁电系电流表是采用分流的方法来扩大量限的。就是在测量机构上并联一个分流电阻  $R_{fl}$ ,如图 1-4 所示。并联了分流电阻后,通过磁电系测量机构的电流  $I_c$  就只是被测电流  $I$  的一部分。设测量机构的电阻为  $R_c$ ,则  $R_c I_c = [(R_{fl} \cdot R_c) / (R_{fl} + R_c)] \cdot I$ ,故  $I_c = [R_{fl} / (R_{fl} + R_c)] \cdot I$ 。由于  $R_{fl}$ 、 $R_c$  均为常值,因此  $I_c$  和  $I$  之间存在着一定的比例关系。如果在电流表刻度时,考虑这一关系,便可直接读出被测电流  $I$ 。

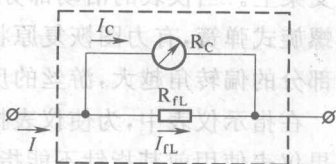


图 1-4 电流表的分流

若要将磁电系测量机构的量限扩大成  $n$  倍,所需分流电阻值  $R_{fl} = [R_c / (n - 1)]$ ,为测量机构内阻  $R_c$  的  $(n - 1)$  分之一。

如果采用大小不同的分流电阻,就可以制成多量限的电流表。

在实际工作中,当被测电流较大时(如 50 A 以上),由于分流电阻发热严重,将影响测量机

构的正常工作,而且体积也较大,一般将分流电阻做成单独的装置,称为外附分流器,如图 1-5 所示。它有两对接线端钮,粗的一对叫“电流接头”,串联于被测电路中;细的一对叫“电位接头”,磁电系测量机构和它并联。分流器上一般不标注电阻值,而标注“额定电流”和“额定电压”值。额定电压一般都统一规定为 75 mV 或 45 mV。当测量机构的电压量限(即电流量限与内阻  $R_C$  的乘积)也等于这一额定电压时,加上分流器后,它的电流量限就等于分流器的额定电流值。两者务必配套使用,为同一额定电压值。

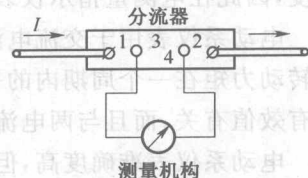


图 1-5 外附分流器

#### (4) 磁电系电压表

将磁电系测量机构并联在被测电压的两端点上,可测量电压,因  $I_C = U/R_C$ , 所以  $\alpha = (S/R_C)U$ , 根据仪表指针偏转即可直接测得被测电压。但是磁电系测量机构只能通过微小的电流,因此只能测量很低的电压,不能满足实际需要。

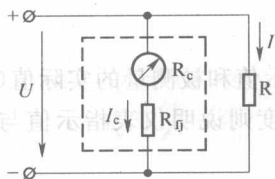


图 1-6 电压表的附加电阻

为了测量较高的电压,又不使测量机构中超过所允许的电流值,可在测量机构上串联一电阻  $R_f$  的办法来达到,  $R_f$  叫做附加电阻,如图 1-6 所示。这时通过测量机构的电流  $I_C = [U/(R_f + R_C)]$ , 只要  $R_f$  的阻值不变,  $I_C$  与被测两点间的电压成正比,偏转角  $\alpha$  仍能反映被测电压的大小。

将磁电系测量机构的量限扩大成  $m$  倍的电压表时,要串联附加电阻  $R_f = (m-1)R_C$ , 即为测量机构内阻的  $(m-1)$  倍。

串联不同的附加电阻,磁电系电压表就可以制成多量限的。

用电压表测量电压时,电压表内阻越大,对被测电路影响越小。对于电压表而言,每伏电压所对应的内阻的大小,称为电压灵敏度。各量限的内阻与相应电压量限的比值为—常数,即为电压灵敏度,它是电压表的一个重要常数。它主要由测量机构的满标度电流决定。常常在电压表的铭牌上标明电压灵敏度,其单位为“ $\Omega/V$ ”。在使用中,电压灵敏度对测量线路和测量结果至关重要。电压灵敏度越高,电压表对测量线路的分路影响越小,测量结果越准确。

要测量交流电,必须解决磁电系仪表在交流电作用下,转动力矩的大小和方向作周期性变化而无法读数的问题。解决该问题的方法有两种:一是从测量电路入手,即将被测交流电通过整流变换为直流电;二是从改变测量机构入手,即采用和磁电系仪表不同的测量机构,使其转动力矩的平均值能反映出交流电量的大小,属于这种类型的仪表有电磁系、电动系和感应系等。

### 3. 电磁系仪表

电磁系仪表是交、直流两用仪表,是利用可动铁片与通过电流的固定线圈(或与彼此线圈磁化的固定铁片)之间的作用而制成的。它具有结构简单、体积小、牢固、成本低、便于制造、电流不经过活动部分、过载能力强、不需加分流器等优点,因而得到广泛应用。

电磁式仪表的偏转角  $\alpha$  与交流电流的有效值  $I$  的平方成正比。因此它的刻度是不均匀的,标度尺的刻度前密后疏,以致其前面部分读数困难。

电磁系仪表的磁场是由固定线圈建立的,整个磁路系统几乎没有铁磁材料,磁阻很大,因而磁场很弱,外磁场对测量影响很大,为了防御外磁场的影响,必须采取一定措施。

### 4. 电动系仪表

如果用通有电流的线圈代替磁电系仪表的永久磁铁,便构成电动系仪表。固定线圈可通以直流电,也可通以交流电,因此电动系仪表的用途就较广泛。除了可做成交直流两用的准确

度较高的电流表、电压表外,还可做成测量电功率的功率表、测量相位的电动系相位表和测量频率的电动系频率表。其主要优点是交直流两用,有较宽的频率使用范围,并能达到很高的准确度,因此在电测量指示仪表中占有很重要的地位。

电动系仪表用于交流电测量时,转动力矩随电流的变化而变化,偏转角 $\alpha$ 的大小决定于瞬时转动力矩在一个周期内的平均值。当电流为正弦交流电时,偏转角不仅与通过两线圈的电流有效值有关,而且与两电流之相位差的余弦成正比。

电动系仪表准确度高,但过载能力差,标尺刻度不均匀(功率表除外),易受外磁场干扰,故精密的电动系仪表都采用磁屏蔽或无定位结构。

### 5. 感应系仪表

感应系仪表的转动力矩由一个或几个固定线圈的磁通与该磁通在活动部分中感应出的电流相互作用而产生。它只能用于测量交流电。感应系仪表一般在交流电路中作为测量功率和电能之用,以测量电能的电度表应用最为广泛。

## 三、电测量指示仪表的误差及准确度

任何一个电测量指示仪表在测量时都有误差,它说明仪表的指示值和被测量的实际值(通常以标准仪表的指示值作为被测量的实际值)之间的差异。而准确度则说明仪表指示值与被测量的实际值相符合的程度。误差越小,准确度就越高。

### 1. 仪表误差的分类

根据引起误差的原因,可将误差分为基本误差和附加误差。

#### (1) 基本误差

指仪表在规定的正常工作条件下进行测量时所具有的误差,它是仪表本身所固有的,是由于结构和制作上的不完善而产生的。所谓正常工作条件指:仪表指针调整到零点;仪表按规定的工作位置安放;周围的温度是 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 或是仪表上所注明的温度;除地磁场外,没有外磁场;对于交流仪表来说,电流的波形是正弦波,频率是所规定的数值。

产生基本误差的原因很多,其中主要是活动部分不平衡、轴承摩擦、标度尺分度和装置不精密、游丝的永久变形、内部电磁场影响等。

#### (2) 附加误差

当仪表不是在正常条件下工作时,仪表的读数与被测量实际值之间就产生了某些差异,此种差异是由于外界因素的影响破坏了仪表的正常工作条件而引起的,故称为附加误差。附加误差有温度误差、外磁场误差、频率误差和工作位置不正确误差等。

①温度误差是由于温度变化所引起的线圈电阻和仪表其他载流部分的电阻、游丝反作用力矩系统和永久磁铁磁场的变化等原因产生的。

②外磁场误差是由于外部永久磁铁、电流所产生的磁场加在仪表的固有磁场上而产生的。交变外磁场还可使仪表的某些部分产生感应电流而产生误差。仪表固有磁场越弱,外磁场影响越大。可采用磁屏蔽或无定位机构的仪表来减小外磁场附加误差。

③频率误差是由于频率变动引起电抗、电流、磁通、感应电势的变化而产生的误差。为消除频率对仪表的影响,可采用补偿线路的方法。

④工作位置不正确误差是由于仪表放置位置不符合规定所产生的误差。正确地使用仪表,可减小或消除附加误差,提高测量的准确性。在计算使用中的仪表误差时,应包括基本误差和附加误差。

## 2. 误差的表示方式

误差常用绝对误差、相对误差和引用误差来表示。

### (1) 绝对误差

测量值  $A_x$  与被测量的实际值  $A_0$  之间的差值称为绝对误差  $\Delta$ 。

$$\Delta = A_x - A_0$$

绝对误差是具有数量上的大小和正、负符号的一个量,它的单位与被测量相同。绝对误差不能反映出被测量的准确程度,这是绝对误差表示方法的不足之处,因此提出了相对误差的表示方式。

### (2) 相对误差

相对误差是绝对误差  $\Delta$  与被测量的实际值  $A_0$  之间的比值,它通常用百分数  $\beta$  来表示,即:

$$\beta = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$$

相对误差能衡量测量结果的误差大小,它给出了测量误差的清晰概念,便于对不同的测量结果进行比较。因此,它是误差计算中最常用的表示方法。在实际测量中,凡是要求衡量测量结果误差或估计测量结果的准确度时,一般都是确定测量结果的相对误差。

在实际计算中,有时难于求得被测量的实际值,在已知误差较小、要求不太严格的情况下可以用仪表的指示值  $A_x$  代替实际值,即  $\beta_x = (\Delta/A_x) \times 100\%$ ,称为示值相对误差。

### (3) 引用误差

电测量指示仪表的准确度是用相对误差来衡量的,但采用相对误差的表示方法是难以实现的,因为仪表是在某一规定范围内对被测量进行测量的,如果绝对误差在仪表标尺的全长上保持恒定,那么仪表标尺的各个不同部位相对误差不是一个常数,而且变化很大,无法表示仪表的准确度。为了方便地表示仪表的准确度等级,引出了引用误差的概念。

引用误差  $\beta_m$  是仪表的绝对误差  $\Delta$  与其测量上限  $A_m$  之比的百分数,即:

$$\beta_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\%$$

相对于仪表标尺工作部分所出现的最大绝对误差  $\Delta_m$ ,有最大引用误差  $\beta_m = (\Delta_m/A_m) \times 100\%$ 。

## 3. 仪表准确度

当仪表在规定工作条件时,在它的标度尺的工作部分(指标度尺上仪表指示值误差保证在允许的误差以内的部分)的全部分度线上出现的最大引用误差  $\beta_m$  的百分数值,就称为仪表的准确度等级。若以  $K$  表示仪表的准确度等级,则有

$$\pm K\% = \beta_m = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\%$$

对于欧姆表和万用表的欧姆挡,因为它们的上量限为  $\infty$ ,不便计算,故以标度尺的长度百分数来表示。又因为它们的标度尺是非线性的,也可以用指示值的百分数来表示。

仪表的准确度用来表示基本误差的大小。仪表的准确度越高,基本误差越小。

根据国家标准规定,目前我国生产的电测量指示仪表的准确度分为七级,即 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 级。我国旧标准中准确度的最后一级为 4.0 级,所以使用仪表中 5.0、4.0 级都有。此外,由于仪表工业的不断发展,目前已出现准确度 0.05 级的指示仪表。

各等级准确度的指示仪表在规定条件下使用时的基本误差不应超出表 1-1 所规定的



数值。

表 1-1 各级仪表的基本误差

仪表的准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差(%)	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0

#### 4. 应用仪表准确度估计测量误差

在运用电测量指示仪表直接进行测量时,可根据仪表准确度等级来估计测量结果的误差。

若仪表的准确度等级为  $K$ ,则仪表在规定条件下进行测量时,测量结果中可能出现的最大绝对误差为  $\Delta_m = \pm K\% \cdot A_m$ 。

那么用该仪表测量时,若得到的读数为  $A'_x$ ,则测量结果可能出现的最大相对误差为:

$$\beta'_m = \frac{\Delta_m}{A'_x} \times 100\% = \pm \frac{K\% \cdot A_m}{A'_x} \times 100\%$$

例如:用准确度为 0.5 级,量限为 5 A 的电流表,在规定条件下测量某一电流,读数为 2.5 A,求测量结果的准确度(即求测量结果的相对误差)。

解:用准确度为 0.5 级,量限为 5 A 的电流测量时,可能出现的最大绝对误差为:

$$\Delta_m = \pm K\% \cdot A_m = (\pm 0.005) \times 5 = \pm 0.025 \text{ A}$$

故测量结果可能出现的最大相对误差为:

$$\beta_m = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% = \frac{\pm 0.025}{2.5} = \pm 1\%$$

可见,仪表的准确度对测量结果的准确度影响很大。但一般说来,仪表的准确度并不就是测量结果的准确度,后者还与被测量的大小有关。只有仪表满标度偏转时,测量结果的准确度才等于仪表的准确度。因此,应注意不要将两者混为一谈。

#### 四、仪表的灵敏度和仪表常数

在测量过程中,如果被测量变化一个很小的  $\Delta X$  值,引起测量仪表活动部分偏转角改变  $\Delta \alpha$ ,则  $\Delta \alpha$  与  $\Delta X$  的比值称为该仪表的灵敏度,用符号  $s$  表示,即  $s = \Delta \alpha / \Delta X$ 。若仪表为均匀刻度,则  $s = \alpha / X$ 。这时灵敏度的大小就等于一个单位被测量引入测量仪表所引起的偏转格数。例如将 1 mA 电流引入某毫安表,如果引起该毫安表一个小格的偏转,则其灵敏度为  $s = 1$  格/mA。

灵敏度的倒数称为仪表常数,用  $C$  表示,即  $C = 1/s$ 。例如,上述毫安表的仪表常数为  $C = 1/s = 1 \text{ mA/格} = 1 \times 10^{-3} \text{ A/格}$ 。

灵敏度是电测量指示仪表的重要技术特性之一, $C$  的数值越小,也就是  $s$  的数值越大,仪表的灵敏度越高。

对仪表的灵敏度要求要适当,灵敏度高能反映微小的变化量,但灵敏度太高,将造成读数困难,而且造价高。

#### 五、电测量指示仪表的表面标记

每一电测量指示仪表的表面上都有多种符号的标记,它们表示了仪表的基本技术特性,只有在正确识别它们以后,才能正确地选择和使用仪表。