

技工学校电工仪表与测量课 教 学 参 考 书



第二版

中国劳动出版社

技工学校电工仪表与测量课 教 学 参 考 书

(第二版)

陈健南 主编

中国劳动出版社

(京)新登字 114 号

本书是根据全国技工学校电工类通用教材《电工仪表与测量》(第二版)编写的教学参考书。每章按目的要求、课时分配、教材分析、教学建议、参考资料、习题选解的顺序编写。

本书是技工学校有关教师的应备用书,也可作为工人培训时教师的参考书。

本书由陈健南、庄稼编写,陈健南主编;龙竞云审稿。

图书在版编目(CIP)数据

电工仪表与测量课教学参考书/陈健南等编著.-2版.

北京:中国劳动出版社,1995

ISBN 7-5045-1629-5

Ⅰ.电… Ⅱ.陈… Ⅲ.①电工仪表-教学参考书②电气测量-教学参考书 N.TM93-42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 00385 号

技工学校电工仪表与测量课 教学参考书

(第二版)

责任编辑 万 象

中国劳动出版社出版

(100029 北京市惠新东街1号)

北京北苑印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

1992年2月北京第1版 1995年4月北京第2次印刷

开本:787×1092毫米 1/32印张 3.25

字数:73千字 印数:3000

定价:2.80元

目 录

绪论

第一章 电工常用仪表的测量机构

- 一、目的要求 (3)
- 二、课时分配 (3)
- 三、教材分析 (3)
- 四、教学建议 (5)
- 五、参考资料 (10)
- 六、习题选解 (15)

第二章 电工仪表分类与测量方法及误差

- 一、目的要求 (17)
- 二、课时分配 (17)
- 三、教材分析 (17)
- 四、教学建议 (19)
- 五、参考资料 (21)
- 六、习题选解 (22)

第三章 电流与电压的测量

- 一、目的要求 (24)
- 二、课时分配 (24)
- 三、教材分析 (25)
- 四、教学建议 (27)
- 五、参考资料 (32)
- 六、习题选解 (34)

第四章 电功率的测量

一、目的要求	(35)
二、课时分配	(35)
三、教材分析	(35)
四、教学建议	(37)
五、参考资料	(42)
六、习题选解	(45)
第五章 电能的测量	
一、目的要求	(47)
二、课时分配	(47)
三、教材分析	(48)
四、教学建议	(50)
五、参考资料	(52)
六、习题选解	(58)
第六章 功率因数测量及相序检测	
一、目的要求	(60)
二、课时分配	(60)
三、教材分析	(60)
四、教学建议	(61)
五、参考资料	(62)
六、习题选解	(66)
第七章 频率和转速的测量	
一、目的要求	(67)
二、课时分配	(67)
三、教材分析	(67)
四、教学建议	(68)
五、参考资料	(70)
六、习题选解	(71)

第八章 电阻和电容的测量

一、目的要求	(73)
二、课时分配	(73)
三、教材分析	(73)
四、教学建议	(76)
五、参考资料	(78)
六、习题选解	(81)

第九章 万用表

一、目的要求	(84)
二、课时分配	(84)
三、教材分析	(84)
四、教学建议	(86)
五、参考资料	(87)
六、习题选解	(89)

第十章 电子示波器

一、目的要求	(91)
二、课时分配	(91)
三、教材分析	(91)
四、教学建议	(92)
五、参考资料	(93)
六、习题选解	(96)

绪 论

一、目的要求

1. 了解电工测量应用范围的广泛性和在经济建设中的重要作用。
2. 了解本课程的研究对象及学习后应达到的水平。
3. 了解学习本课程的方法及要求。
4. 明确学习目的,提高学习本课程的积极性,并树立学习信心。

二、课时分配

- 1 课时。

三、教材分析

绪论的思路是:从电工测量的广泛应用及在经济建设中的重要作用等方面讲叙,使学生明确学习本课程的重要性;介绍本课程的研究对象及需达到的目的,使学生明确学习方向;介绍本课程的学习方法及要求,使学生明确应如何学习本课程。从学习的重要性、学习方向和方法三方面使学生明确学习目的,提高学习的自觉性和积极性,树立起学习信心,这是学习绪论的主要目的。

在绪论中还介绍了电工仪表的发展概况。从数字式电工仪表的优点说明了指示式电工仪表向数字式电工仪表发展的

必然趋势,使学生一方面对电工测量仪表有初步的总体了解,另一方面可使学生对今后数字电工仪表及其测量的学习更加重视,激励学生为掌握先进水平的测量仪表而勤奋地学习。

四、教学建议

对绪论课的讲授应重视,不能认为绪论课没有多少理论内容而可随便讲一下。因第一次给学生上新课,学生有着各种心态,讲得好,可使学生明确学习的重要意义及学习方向、方法,就能激发学生学习的自觉性和积极性,否则对本课程会缺乏认识而抱无所谓的态度。故绪论课上得好坏,对学生的学习态度有着重要的影响,必须引起教师的重视。

在讲解电工测量的广泛应用及重要作用时宜多举一些学生能够接受的常见实例,并可用提问的方式来讨论,以活跃课堂气氛及提高学生的学习兴趣。

介绍本课程研究对象及所需达到的目的时,建议按章介绍一下课程内容,使学生对本课程有一总体了解。在讲学习本课程重要性时,要使学生明确:作为维修电工,学习的优劣不仅影响今后从事的工作,而且会影响到生产的好坏,严重的还会造成设备人身事故,因此必须树立信心,下决心学好本课程。

对电工仪表发展概况的介绍可以从简,因学生还缺乏这方面的基本概念,如“精确度”、“频带宽度”等,宜用通俗例子或比喻来说明。

对学习方法及要求,还应特别强调实验和实习时测量仪表的实际操作及测量中的注意事项,以期使学生真正学会合理运用电工测量方法,掌握常用电工仪表的操作技能。

第一章 电工常用仪表的测量机构

一、目的要求

1. 了解电工指示仪表的组成,掌握指示仪表测量机构的一般结构和工作原理。

2. 掌握磁电系、电磁系、电动系和铁磁电动系测量机构的结构、工作原理和特点。

3. 了解数字基本表的组成和数码显示器及 A/D 转换器的作用,掌握数字基本表的显示值、基准电压、输入电压之间的关系。

二、课时分配

§ 1-1 测量机构的作用和原理	3 课时
§ 1-2 磁电系测量机构	2 课时
§ 1-3 电磁系测量机构	1 课时
§ 1-4 电动系测量机构	1 课时
§ 1-5 铁磁电动系测量机构	1 课时
§ 1-6 数字式电压基本表	2 课时
总课时	10 课时

三、教材分析

本章将常用电工仪表的测量机构集中加以介绍,这些内容是学习本课程的基础。本章重点是指示仪表测量机构的...

般构成和磁电系测量机构的具体结构、工作原理；难点是数字式电压基本表。

§ 1-1 本节从简要介绍电工指示仪表的基本结构——测量机构和测量线路入手，着重分析了测量机构的五个组成部分。这里，教材首先说明各类指示仪表测量机构的相同功能都是“在被测量（或过渡量）作用下产生转矩，推动可动部分偏转，指示被测量的大小”，进而介绍为了实现稳定偏转所必须的三个基本力矩和支撑装置，以及使偏转成为可量值的读数装置。三个基本力矩及其产生装置是本节的重点。本节难点是阻尼装置的作用和阻尼力矩的产生机理。

§ 1-2 本节和后面四节都是具体介绍测量机构的结构和工作原理，在内容安排上按“结构—原理—特点”这一顺序来展开叙述。由于磁电系测量机构的应用十分广泛，它的结构和工作原理又具有代表性，所以教材把它作为全章的重点加以介绍。

本节重点是磁电系测量机构的特点。教材列出的五点体现了该测量机构的结构和工作原理方面的基本内容，对于以用为主的技校电工类学生来说，掌握仪表测量机构的特点以及与此相关的正确使用方法，显然是十分重要的学习内容。本节难点是工作原理中式（1-4）的推导。

§ 1-3 本节内容安排虽然顺序上与§ 1-2 相同，但在结构部分中增加了和工作原理相关的内容，这固然是为了叙述上的方便，但同时也起到了把工作原理这一难点化整为零，便于学生理解的作用。偏转角与被测电流的关系是本节难点所在，教材采用定性分析的方法给出了两者之间的定量关系，这样做也有利于降低难度。本节重点是电磁系测量机构的特点。

§ 1-4 电动系测量机构的工作原理是本节难点，对此，

教材先作了浅易的定性介绍，然后分别讨论直流测量和交流测量时偏转角与电流的关系式。本节重点是电动系测量机构的特点。

§ 1-5 教材通过与电动系、磁电系两类测量机构的简明对比，扼要介绍了铁磁电动系测量机构的结构、工作原理和特点，既引出了一种新的测量机构，又复习了学过的内容。

§ 1-6 教材新增的这一内容符合电工测量仪表的发展趋向。但是，由于数字式仪表涉及到数字电路和模拟电路等方面的理论均超出学过的知识基础，因此，这节内容较之本章其它各节，无论是教还是学，都有一定难度。教材充分注意到了这点，尽量避开电子电路原理方面的讨论，仅对与数字式电压基本表有关的知识作一些结论性的介绍；同时，列出的插图和相应的文字说明都有实用性，可供学生今后工作时查考。

本节重点是数字式电压基本表的基本结构和基准电压、输入电压、显示值三者之间的关系。

四、教学建议

本章是学生系统学习本课程的开端，应在绪论课初步引起学生兴趣的基础上，采用适当的教学方法，引导学生循序渐进，巩固和提高学习的兴趣。为此，应根据大纲要求，“多利用模型和挂图，原理的讲述……尽量采用定性分析”，启发学生观察、思考、讨论，从而得出相应的概念和结论；同时，针对本章体系结构上先一般后具体、具体之间重联系的特点，还要引导学生加以比较分析，在比较分析中重温学过的“具体”，认识新的“具体”。

§ 1-1 本节内容分为两个部分：电工指示仪表的结构和

电工指示仪表的测量机构。讲授第一部分内容时，应扣住电工指示仪表的任务来介绍测量机构和测量线路各自的作用，进而画出电工指示仪表的结构方框图，使知识要点凝固在可视的框图中。根据框图，教师再从总体上归纳，并不妨设问：被测量和过渡量、过渡量和偏转角之间为什么“都应保持一定的函数关系”？

第二部分内容是本节重点，教材按测量机构的功能对此划分成五个层次。讲授时应根据“指示来自偏转，偏转需要转矩”这一认识着重向学生介绍三个力矩的作用及其产生机理。关于转动力矩，只宜照教材安排点到为止：本质上都是电磁力矩。关于反作用力矩，可结合插图讲明三点：①反作用力矩对可动部分稳定偏转的必要性及与偏转角成正比；②可动部分稳定偏转的平衡条件；③由于转动力矩与被测电量有关（正比关系或其它函数关系），而稳定偏转时转动力矩又与反作用力矩相等，因此，偏转角就可以用来指示被测量的大小。关于阻尼力矩，只须让学生明白其作用以及它与偏转角的大小无关这两点；阻尼力矩的产生机理，建议略加提示即可。

指示仪表的测量机构还有两个组成部分就是读数装置和支撑装置，可安排学生课堂阅读，并结合教材图 1-6，重提前面的设问，稍加讨论就可给出如下结论：只有使偏转角和被测量之间保持一定的函数关系，才能对仪表标尺刻度。继而还可出示平方律标尺进行对比，为后面的内容预设伏笔。

§ 1-2 磁电系测量机构是学生接触的第一个具体的测量机构，其结构和工作原理又与另外三个测量机构存在着内在联系，因此，对本节内容宜讲得详细、全面。讲述结构应按固定的磁路系统和可动部分两个方面来介绍。对磁路系统，

宜用教材图 1-11 向学生指明“磁感应强度处处相等,且方向和圆柱表面垂直”的意义,为原理部分引用的电磁力公式作出关于 $\sin\alpha=1$ 的注释。对可动部分,要讲清两点:①矩形线圈和矩形铝框的作用是分别产生转动力矩和磁阻尼力矩;②游丝的作用是产生反作用力矩,同时为矩形线圈导入被测电流。工作原理中三个关系式的推导是本节难点,但不是重点,正如前述,技校电工类学生应当注重应用,因此,只须掌握和定性分析教材式(1-4)即可。但是,了解或理顺这些关系式的来龙去脉,可起到承上启下的作用,有助于培养学生运用已有知识去探讨新问题的能力。因而教师在介绍这一部分内容时,虽以讲授为主,仍应穿插必要的启发讨论。磁电系测量机构的特点是本节重点,尤宜以讨论的方式引导学生加以认识,最后由教师归纳出这五个特点各由什么决定。这样,既突出了教学重点,又使学生感受到知识之间内在的有机联系。

§ 1-3 电磁系测量机构的结构介绍可从教材图 1-12 和 1-13(最好用挂图)着手,按以下层次首先讲授吸引型的构成:①转动力矩的产生装置和机理;②反作用力矩的产生装置和转矩平衡;③阻尼力矩产生装置。然后以教材图 1-14 和 1-15 引导学生分析排斥型测量机构的构成和原理。最后由教师从磁场的建立、转动力矩产生、转动力矩的方向三个方面对电磁系测量机构的两种基本型作出对比。

工作原理的介绍,关键在建立转动力矩与被测电流的关系式。建议先向学生指出电磁系和磁电系测量机构在结构上的基本区别,由此启发学生:电磁系测量机构的转动力矩取决于哪两个因素,而这两个因素(在吸引型 B 是线圈磁场的大小和可动铁片磁化极性的强弱;在排斥型 B 是固定铁片和

可动铁片磁化极性的强弱)又都和什么(被测电流)有关,进而定性并且粗略地得出转动力矩和被测电流的平方成正比这一结论。在此基础上,教师再由磁势的概念去导出教材式(1-5)。

考虑到教材内容的连续性,介绍电磁系测量机构的特点时,建议先讲第三个特点(标尺刻度的平方律特性),然后由易而难介绍第二个特点和第一、第四和第五个特点。特点四论及磁滞特性的概念,建议只从剩磁角度,以排斥型为例解释:当被测直流电流减小到接近零时,因为固定铁片和可动铁片的剩磁依然存在,指针便不会回复到零位,所以指示值偏高;而测量交流量时没有磁滞误差的原因只宜如教材介绍给出结论即可,不必就磁滞回线展开叙述,否则,学生会囿于电工原理知识的局限而越听越糊涂。特点五还是容易介绍的,相应的两种防磁措施可作为学生选学内容,对无定位结构则要酌情给予适当的提示。

§1-4 教材对电动系测量机构的介绍是从比照磁电系测量机构开篇的,而上节的结构介绍则以比照磁电系测量机构作为小结。建议并排挂出两个测量机构的挂图,采用讨论形式启发学生认识电动系测量机构的基本点(两个固定线圈和一个可动线圈)。工作原理的定性分析凭借教材图1-19就能奏效,仍然用讨论方式引导学生从图上去理解如下两点:①两个电流产生了转动力矩;②两个电流同时反向,转动力矩的方向不变。并由此再让学生接受电动系测量机构的偏转角与两个电流乘积成正比这一定性概念。显然,这是本节工作原理的基本内容;对教材式(1-9)和(1-10)则没有必要去分析推导。围绕上述基本内容,教师还可再作两点阐述:①如果固定线圈和可动线圈串联,那么,偏转角与电流的关系

就和电磁系测量机构相同；②当用于交流测量时，电流的乘积应是交流电流有效值的乘积，而且还要打个折扣——乘以两交流电流相位差的余弦。这样处理教材内容，可以在较短的课时内较好地解决工作原理这个教学难点。

本节重点是电动系测量机构的特点，介绍时仍要尽量结合结构和原理方面的内容，有些特点和后面的知识有关，须向学生作一说明。

§ 1-5 本节内容较少，宜紧接上节进行讲授，两节合计授课为二课时。对照电动系测量机构转矩小、受外磁场影响大这些缺点，讲述铁磁电动系测量机构能够加以弥补的道理所在——固定线圈内部介质不是空气而是铁磁物质。学生由此会明白，这正是电动系和铁磁电动系在结构上的区别所在。这样，借助教材图 1-20，教师以“转动力矩如何产生”这一发问，就可进而引导学生明确铁磁电动系测量机构和电动系测量机构的工作原理相同的结论。最后，教师再作如下归纳：铁磁电动系测量机构本质上仍属电动系，由于固定线圈绕在铁芯上，因此就冠以“铁磁”之称，而结构上的这一变化，虽然增大了转动力矩，避免了外磁场的影响，但同时也给测量机构带来磁滞和涡损误差，使它的准确度下降。

§ 1-6 根据本节内容的特点和学生的接受能力，建议仅作粗略的科普性介绍，尽量不作数字电路和模拟电路原理方面的解释。本节开始应简要介绍什么是模拟量，什么是数字量以及模-数转换、译码、十进制显示等概念，然后板画一个框图（见图 1-1），对数字式电压基本表的结构作一粗略的描述。

就这一框图，教师向学生介绍，有一种大规模集成电路可以完成框图中的前二个功能，亦即将被测电量转换成仪表

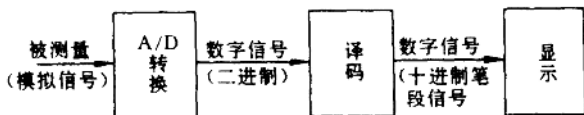


图 1-1 数字式基本表的结构框图

可以接受的中间量(数字量),通过显示器提供读数。由此引出本节第一部分内容。对教材图 1-21,没有可能也无必要详细讲解,只须挑选模拟量输入端和个、十、百、千笔画显示输出端,结合这个框图,让学生明白从被测电量到显示值的粗略的转换过程即可。介绍数码显示器时,除了根据框图指出它的作用外,还应出示数字表实物,若有条件还可演示数码的翻转。对数字式电压基本表,建议将图 1-1 和教材图 1-26 结合起来介绍,还是侧重于以框图示明从模拟量到显示读数这个粗略的测量过程。教材为基本表电路图配写的引脚和元件功能,建议作为选学或参考内容。式 (1-11) 虽然应当掌握,但只宜以结论介绍给学生。

五、参考资料

1. 电磁系测量机构转动转矩与交流电流有效值关系的推导

当固定线圈中通入交流电流 $i = I_m \sin \omega t$ 时,作用于测量机构可动部分的瞬时转动转矩为

$$\begin{aligned}
 m &= K_1 (Ni)^2 \\
 &= K_1 (NI_m \sin \omega t)^2
 \end{aligned}$$

$$=K_1 (NI)^2 - K (NI)^2 \cos 2\omega t$$

由于可动部分具有惯性，它的偏转角度由瞬时转动力矩的平均值决定。转动力矩的平均值

$$\begin{aligned} M_{AV} &= \frac{1}{T} \int_0^T m dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T [K_1 (NI)^2 - K (NI)^2 \cos 2\omega t] dt \\ &= K_1 (NI)^2 \end{aligned}$$

可见，电磁系测量机构的转动力矩与被测交流电流有效值的平方成正比。

2. 关于电动系测量机构转动力矩定量关系式的推导

电动系测量机构用于交流测量时，固定线圈和活动线圈同时通以交流电流。活动线圈处在固定线圈电流 i_1 产生的磁场 B_1 内，活动线圈上作用有电磁力，并产生转动力矩 m

$$m = C' B_1 i_2$$

式中 i_2 是活动线圈电流， C' 是比例常数。由于 B_1 正比于 i_1 ，因此上式又可写成

$$m = C i_1 i_2$$

瞬时转动力矩 m 的大小、方向虽然都随时间变化，但可动部分由于惯性的原因，其偏转情况只与 m 的平均值有关，平均转动力矩

$$M_{AV} = \frac{1}{T} \int_0^T m dt = \frac{1}{T} \int_0^T C i_1 i_2 dt$$

若 $i_1 = \sqrt{2} I_1 \sin (\omega t + \varphi_1)$ ， $i_2 = \sqrt{2} I_2 \sin (\omega t + \varphi_2)$ ，则

$$\begin{aligned} M_{AV} &= \frac{2}{T} \int_0^T C I_1 I_2 \sin (\omega t + \varphi_1) \sin (\omega t + \varphi_2) dt \\ &= C I_1 I_2 \cos (\varphi_1 - \varphi_2) \end{aligned}$$