

工人技术理论教材

电工仪表与测量

(中 级)

王 远 明 编

船舶工程学院出版社



前 言

为了落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，搞好船舶工人技术理论教育工作，加强智力开发，提高职工素质，以适应社会主义现代化建设和振兴船舶工业的需要。中国船舶工业总公司人事部组织了上海船舶工业公司有关船厂，在调查研究和总结经验的基础上，根据总公司《船舶工业造船工人技术等级标准》的要求，编写了船厂二十一个工种的初级、中级《造船工人技术理论教育教学计划与教学大纲》。

根据这些教学计划与教学大纲的要求，我们组织一些船厂有实践经验的工程技术人员及有丰富教学经验的教师，编写了五十种船舶工人技术培训教材，并聘请技术水平较高、经验丰富的同志担任主审。在编写过程中，广泛地听取了各船厂的意见，增强了教材的适应性。

编写的教材有：放样号料工、冷加工、火工、装配工、焊接工、批铆和密性实验工、气焊气割工、船舶钳工、船舶管铜工、螺旋桨工、船舶板金工、船舶电工、船舶木塑工、除锈涂装工、船舶泥工、起重吊运工的工艺学及船体结构，船舶概论，船体制图，船体结构与识图，船体加工设备与工夹模具，企业管理常识，工程力学，电工常识，机械制图，船舶常识，船舶电工学，电工基础，船舶电气工程概论，电工仪表与测量，船舶电站与电力拖动，船舶导航

概论，木工制图，电起重原理及操作，金属材料及热处理，画法几何，船舶柴油机结构和修理等。

这些教材力图体现工人培训的特点，既考虑到当前造船工人的文化水平，做到通俗易懂，又要有一定的理论深度，适当考虑到长远的发展；既做到理论联系实际，又注意到知识的科学性、系统性和完整性；既体现船舶特色，又兼顾不同类型船厂的需要；既便于集体组织教学，也便于个人自学。

这套教材主要用于船舶工人相应工种的初、中级技术理论教育，也适用于对口专业职业高中和技工学校的教学，有的也可作为其它类型工厂的工人培训教材。相应专业的科技人员、专业教师及管理人员也可选作参考书。

这套教材的出版，得到了哈尔滨船舶工程学院、有关地区公司、船厂的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

编写船舶工人培训的统一教材还是第一次。由于时间仓促，加上编写经验不足，材料难免存在不少缺点和错误。我们恳切希望广大读者在使用中提出批评和指正，以便进一步修改、完善，不断提高教材质量。

中国船舶工业总公司教材编审室

一九八五年七月

目 录

第一章 常用电气测量指示仪表

第一节 概述	(1)
第二节 电气测量指示仪表的分类	(2)
第三节 仪表的组成	(3)
第四节 电工仪表的误差和准确度	(8)
第五节 电气测量指示仪表的主要技术要求	(13)
第六节 电气测量指示仪表的正确使用	(16)
第七节 电气测量指示仪表的表面标记	(16)
思考题	(23)

第二章 电气测量仪表的结构、原理、技术特性

第一节 磁电系仪表	(24)
第二节 电磁系仪表	(30)
第三节 电动系仪表	(37)
第四节 静电系仪表	(45)
思考题	(46)

第三章 测量用互感器

第一节 测量用互感器的用途	(47)
第二节 测量用互感器的构造原理	(49)
第三节 测量用互感器的正确使用	(52)
思考题	(56)

第四章 电流和电压的测量

第一节 电流和电压测量的一般知识·····	(57)
第二节 直流电流的测量·····	(60)
第三节 交流电流的测量·····	(72)
第四节 电压的测量·····	(76)
第五节 钳形电表·····	(84)
思考题·····	(86)

第五章 万用表

第一节 万用表的结构·····	(87)
第二节 万用表的直流电流测量线路·····	(91)
第三节 万用表的直流电压测量线路·····	(94)
第四节 万用表的交流电压测量线路·····	(96)
第五节 万用表的电阻测量线路·····	(98)
第六节 电平的测量·····	(102)
第七节 万用表的技术特性·····	(107)
第八节 用万用表测电感电容的方法·····	(107)
第九节 万用表的正确使用·····	(110)
思考题·····	(111)

第六章 功率的测量

第一节 电动系功率表·····	(113)
第二节 三相电路的功率测量·····	(120)
思考题·····	(134)

第七章 相位和频率的测量

第一节 相位表·····	(135)
第二节 频率表·····	(144)
第三节 整步表·····	(154)

第四节 组合式同步表·····	(162)
思考题·····	(164)
第八章 电能的测量	
第一节 感应系仪表·····	(165)
第二节 三相电度表·····	(176)
第三节 电度表的正确使用·····	(179)
思考题·····	(180)
第九章 兆欧表	
第一节 兆欧表的结构和原理·····	(181)
第二节 兆欧表的正确使用·····	(186)
第三节 电网绝缘监测仪·····	(188)
思考题·····	(194)
第十章 电桥	
第一节 直流单臂电桥·····	(195)
第二节 直流双臂电桥·····	(199)
第三节 交流电桥·····	(205)
思考题·····	(222)
第十一章 直流电位差计	
第一节 工作原理和技术性能·····	(224)
第二节 直流电位差计的应用·····	(226)
第三节 使用注意事项·····	(230)
思考题·····	(231)
第十二章 常用无线电测量仪器简介	
第一节 电子电压表·····	(232)
第二节 电子示波器·····	(239)
第三节 低频信号发生器·····	(262)

第四节 晶体管特性图示仪.....	(274)
思考题.....	(289)

第一章 常用电气测量指示仪表

第一节 概述

随着我国四个现代化的飞跃发展，特别是造船事业的发展，船舶自动化程度日益提高，使电工仪表与测量在舰船上获得了极为广泛的应用。因为只有通过各种仪表的测量，才能保证船舶的安全航行和正常供电。

由于电气测量指示仪表具有快速测量、连续测量、自动检测和遥测等一系列优点，所以它不但能直接监视船舶电站的电分配，而且可以将船上某些设备的温度、湿度、压力、流量及船的深度、速度、方位和吨位以及海水盐度等非电量变换为电量加以测量。

凡是将被测电量或磁量和作为测量单位的同类电量或磁量进行比较，来确定电量或磁量的过程，称为**电工测量**。而测量电量或磁量所用的仪器仪表统称为**电工仪表**。

电工仪表分为二类：一类是直接指示出被测量的数值的仪表称为**电气测量指示仪表**。如电流表、电压表、功率表、频率表等都是这种仪表。带有记录装置的自动记录仪表也属这一类。船舶上广泛应用的就是这类仪表。另一类是在测量过程中需用标准量器参与工作，才能确定被测量数量的测量仪器，称为**较量仪器**。如电桥、电位差计等。这一类仪表常用于实验室或精确测量。目前我国不但能生产各种陆地上使

用的电工测量仪表，而且也能生产专用的与船舶配套的达到三防要求的电工仪表。

由于科学技术的飞跃发展，测量精度要求越来越高，而且要有直观感，因此数字式电工仪表也已随着科学发展而成为现今电工仪表发展的一个方向。

电气测量指示仪表因具有制造简单、成本低、稳定性和可靠性高，使用和维修方便等许多优点，目前船上仍主要使用这种仪表。

第二节 电气测量指示仪表的分类

电气测量指示仪表的种类繁多，分类的方法也不同。按国家标准GB776-76中规定有十几种分法。为了有助于认识它们所具有的特征，下面介绍几种常见的电气测量指示仪表的分类方法。

一、根据工作原理分类

主要有以下几种：磁电系、电磁系、电动系、感应系、静电系五大类。但测量机构加以改进或增加附加变换器后又增加很多种，如整流系、比率系、热电系、电子系、光电系、振动系等。

二、按被测量的名称（或单位）分类

电流表（安培表、毫安表、微安表）、电压表（伏特表、毫伏表、微伏表）、功率表（瓦特表、千瓦特表等）、高阻表（兆欧表）、欧姆表、电度表（瓦时表、千瓦特表）、相位表（或功率因数表）、频率表及万用表等。

三、按所测电流种类分类

直流仪表、交流仪表、交直流两用仪表。

四、按使用方式分类

开关板式仪表(通常固定安装在配电板或某一装置上)、可携式仪表(这种仪表误差较小,多用于实验室)。

五、按仪表准确度等级分类

0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0等七级

此外还有按仪表使用条件及仪表防电场或磁场能力分等等。

第三节 仪表的组成

一、仪表的组成

电气测量指示仪表的种类虽很多,但它们的主要作用原理都是将被测电量变换成能使仪表活动部分产生偏转的角位移。

为了使被测量转变成角位移,指示仪表通常由测量机构和测量线路二部分组成。

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。

测量线路的作用是将被测量 x (如电压、电流、功率等)变换成测量机构可以直接测量的电磁量 y 。可用方框图1-1表示。

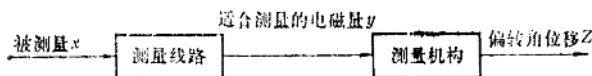


图1-1 指示仪表的组成方框图

二、仪表测量机构

凡是能把电磁量 y 转换为活动部分的偏转的机构称为

测量机构。显然，测量机构必然是由固定元件与可动元件两部分组成。用来指示被测量数值的指针就装在活动部分上。

测量机构由驱动装置（产生转动力矩）、控制装置（产生反作用力矩）和阻尼装置（产生阻尼力矩）等三部分组成。称为**测量机构的三要素**。

1. 驱动装置

它是使仪表活动部分发生偏转或者位移的能量机构。为了使仪表的指针转动，在测量机构内必须有转动力矩作用在仪表的活动部分上。转动力矩一般是由磁场和电流（或铁磁材料）的相互作用产生的（静电系仪表则由电场力形成），而磁场的建立可以利用永久磁铁，也可以利用通有电流的线圈。

不同形式的仪表产生转动力矩的方式也不同。如：

磁电系仪表——固定的永久磁铁的磁场与通有直流电流的可动线圈间的相互作用产生转动力矩。

电磁系仪表——通有电流的固定线圈的磁场与铁片的相互作用（或处在磁场中的两个铁片间的相互作用）产生转动力矩。

电动系仪表——通有电流的固定线圈的磁场和通有电流的可动线圈间的相互作用产生转动力矩。

感应系仪表——通有交流电流的固定线圈与在可动铝盘中所感应的电流的相互作用产生转动力矩。

静电系仪表——电场与带电导体的相互作用产生转动力矩。

有了转动力矩，可动部分就会发生偏转。为了减小因可动部分和固定部分之间的摩擦而损耗的能量，通常在活动部

分上装有一个转轴（或是两个半轴），在轴的两端是球半径很小的尖端，它装在宝石做的轴承里，如图1-2所示。同时，

为了使轴尖减少磨损，通常希望可动部分的重量越轻越好。

2. 控制装置

当仪表活动部分在转动力矩作用下产生偏转时，若没有一个反作用力矩与其平衡，则不管被测量为何值，都将使活动部分偏转到刻度的尽头，而达不到指示被测量大小的目的。

为了使仪表的指示值和被测量的值相对应，就必须加入一个与转动力矩相反的控制力

矩与之平衡。当两力矩相等时，转动部分即停下来，指示出被测量的数值。

在电气测量指示仪表中，产生反作用力矩的办法有：

（1） 利用游丝的弹力。

（2） 利用吊丝或张丝的扭力。

仪表的活动部分在使用吊丝或张丝支撑后，可以不再需要转轴和轴承，消除了其中的摩擦影响，使仪表测量机构的性能得到了很大改善。目前它们已得到越来越广泛地使用。

（3） 利用电磁力。

和利用电磁力产生转动力矩的办法一样，可以利用电磁力产生反作用力矩。这样正反两个力矩构成了流比计结构（或称比率表），这种仪表也很多，以后将详细介绍。

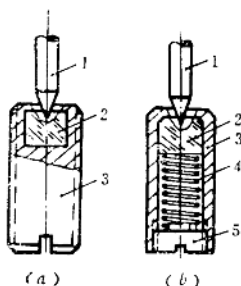


图1-2 仪表轴尖轴承图

(a) 普通轴承支承 (b) 弹性轴承支承

1—轴尖 2—轴承 3—轴承螺母

4—弹簧 5—螺塞

此外还有利用涡流产生反作用力矩。这种装置常用于感应系仪表中，如图1-3所示，其原理是基于铝盘在转动力矩作用下旋转，铝盘切割永久磁铁的磁力线，在铝盘中感应出涡流。此涡流和磁场相互作用产生转矩，其方向恰好为阻止铝盘旋转的方向，起到了阻止铝盘转动的作用。

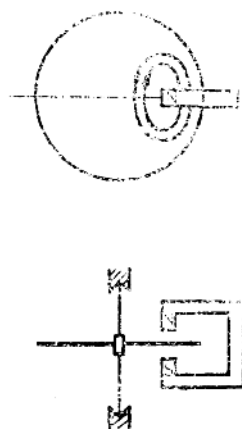


图1-3 磁感应阻尼器的工作原理

3. 阻尼装置

从理论上说，在指示仪表中，当转动力矩和反作用力矩相等时，仪表指针应停止在某一平衡位置，但由于仪表活动部分具有惯性，它不能立即停下来，而是在平衡位置左右摆动，造成读数困难。为了缩短摆动时间，必须在仪表的活动部分上增加一个附加装置，这个附加装置要能在仪表摆动时产生一个与转动方向相反的制

(1) 空气阻尼器

空气阻尼器如图1-4所示，它是利用仪表活动部分带动在阻尼箱内的阻尼翼片，因运动时受到空气的阻力作用来产生阻尼力矩。这种阻尼器由于结构复杂，制造维修复杂而逐步淘汰。

(2) 磁感应阻尼器

磁感应阻尼器如图1-5所示，它是利用仪表活动部分在运

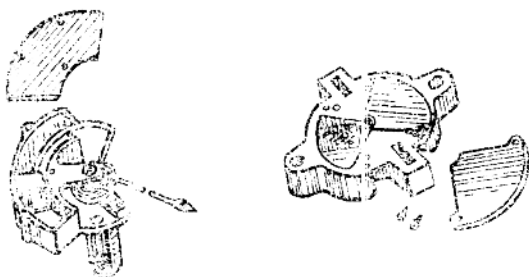


图1-4 空气阻尼器结构示意图

动过程中带动金属阻尼翼片切割永久磁铁的磁力线而产生阻尼力矩的。不过，在磁电式仪表中没有专用的阻尼器，是依靠缠绕动圈的动框架来起阻尼作用的（以后详细介绍），如图1-6所示。

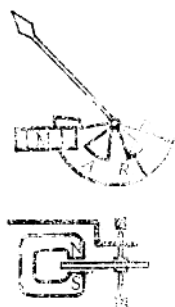


图1-5 磁感应阻尼器的结构示意图

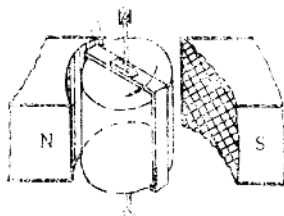


图1-6 磁电系仪表中阻尼力矩的产生装置

根据国家标准规定，凡热电系、静电系仪表、吊丝式仪表和指针长度大于150mm的仪表，其可动部分阻尼时间不大

于6秒，其余仪表的可动部分阻尼时间不大于4秒。

第四节 电工仪表的误差和准确度

任何一个仪表对某一个被测量进行有限次的测量，都不能求得被测量的真值。也就是说测量值（仪表的读数）和真值之间总存在着一定的差值，这个差值就称作**误差**。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，准确度越高。

一、误差来源的两个方面

1. 基本误差

指仪表在正常工作条件下，由于本身的内部结构特性和质量等方面的缺陷所引起的误差，称为**基本误差**。

正常工作条件是指：①仪表指针调到零点。②仪表按规定工作位置安放。③除地磁场外，没有外磁场影响，如仪表上标有地磁场的方向，应按规定方向安放。④周围环境温度为 $+20^{\circ}\text{C}$ 或仪表上所规定的温度。湿度应在80%以下。⑤对交流仪表来说，电流波形是正弦波，使用的频率应符合仪表的规定。

2. 附加误差

指仪表不在上述正常条件下工作而产生的误差称为**附加误差**。如温度、频率等不符合正常条件都会引起附加误差。具体情况见表1-1。

二、误差的表达式

为了进一步弄清楚仪表的误差和准确度的概念，首先介绍常用的误差表达式。

1. 绝对误差

表1-1 影响量变化时各级仪表附加误差的规定

影响量	影响量变化的规定	附加误差
工作位置倾斜影响	从规定的工作位置向任一方的倾斜的机械力作用的角度 吊丝式仪表为1° 光指示器式仪表0.1、0.2级仪表可拆式张丝仪表为5° 上述以外其他仪表为10° 可拆式仪表 0.5~1.0级20° 1.5~5.0级30° 0.5~1.0级30° 开关板式仪表 1.5~5.0级45°	指示值改变的误差与基本误差规定相同
温度影响	环境温度自额定值改变至工作温度范围内每改变10°C时，由此所引起的误差值 温度从额定值偏离为±10%时（对单相额定值为±2%，三相额定值为±5%）	允许的指示值改变% A组 ±0.1 ±0.2 ±0.5 ±1.0 ±1.5 ±2.5 ±5.0 B组 ±0.1 ±0.15 ±0.4 ±0.8 ±1.2 ±2.0 ±4.0 C组 — ±0.15 ±0.3 ±0.5 ±0.8 ±1.2 ±2.5
电压影响	电压从额定值偏离±20%时（对比率表为±10%）	指示值改变的误差与基本误差规定相同
外磁场影响	直流仪表加上4000安匝/米J的直流均向外磁场，且在最大不利方向的情况下交流仪表加上与被测量同频率的、正弦变化的交流均向外磁场，且在最大不利方向和相位的情况下，磁场强度：当仪表最大额定频率 $f \leq f_k$ 时为4000安匝/米， $f \geq f_k$ 时为100 f_k ， f_k （安匝/米）（ f_k 为1000Hz） 一定的外磁场额定频率，未注明时， $f_k = 1000\text{Hz}$ ）	指示值改变的误差与基本误差规定相同 准确度等级 I级 ±0.5 II级 ±1.0 III级 ±2.5 IV级 ±5.0

测量值与被测量的实际值之间的差值，即仪表的指示值 A_i 和被测量的实际值 A_0 之间的差值，叫做绝对误差，以 Δ 表示。

$$\Delta = A_i - A_0 \quad (1-1)$$

在计算时，可以用标准表的指示值作为被测量的实际值。绝对误差的单位与被测量的单位相同。

〔例〕用一只标准电压表检定甲、乙两只电压表时，读出标准指示值为100伏，甲、乙两表的读数各为101伏和99.5伏，求它们的绝对误差。

〔解〕由式(1-1)得

甲表的绝对误差为： $\Delta_1 = A_i - A_0 = 101 - 100 = +1$ 伏

乙表的绝对误差为： $\Delta_2 = A_i - A_0 = 99.5 - 100 = -0.5$ 伏

上例表明绝对误差还有正负之分。正的误差说明指示值比实际值偏大，负的误差则说明仪表的指示值偏小。显然，绝对误差 Δ 的绝对值愈小的仪表，测量结果就越准确。

由式(1-1)可得： $A_0 = A_i + (-\Delta) = A_i + C$ (1-2)

式(1-2)中 $C = -\Delta$ 称为修正值。修正值和绝对值误差大小相等而符号相反。引进修正值后，就可以对仪表指示值进行校正，以消除其误差。

2. 相对误差

相对误差就是绝对误差 Δ 与被测量的实际值 A_0 的比值，通常用百分数 γ 表示。

$$\gamma = (\Delta / A_0) \times 100\% \quad (1-3)$$

在相对误差的实际计算中，有时难于求得被测量的实际值，这时也可以用测量结果 A_i 代替实际值 A_0 ，而近似求得，即

$$\gamma = (\Delta / A_i) \times 100\% \quad (1-4)$$

〔例〕已知甲表测100伏电压时， $\Delta_1 = +1$ 伏，乙表测10伏电压时， $\Delta_2 = +0.5$ 伏，试求它们的相对误差。