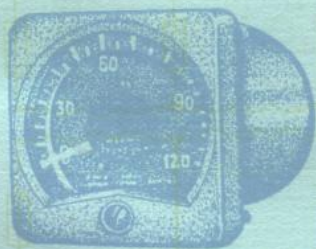


轮机业务知识丛书

(船舶电气设备部分)

船舶电工仪表

章季亮 编



人民交通出版社

轮机业务知识丛书

(船舶电气设备部分)

船舶电工仪表

Chuanbo Diangong Yibiao

章季亮 编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书着重介绍了船用直流类的电压表、电流表、功率表、高阻表及交流类的电压表、电流表、有功功率表、无功功率表、功率因数表、频率表、整步表的结构和原理。根据上述仪表的性质，书中对磁电系、电磁系、铁磁系、电动系仪表做了说明。

本书可供轮机人员、从事仪表安装和维修工作的工人和有关院校的师生参考。

轮机业务知识丛书
(船舶电气设备部分)
船舶电工仪表
章季亮 编

人民交通出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092_{1/32} 印张：2 字数：41千

1984年1月 第1版

1984年1月 第1版 第1次印刷

印数：0001—5,200册 定价：0.33元

前 言

随着交通运输事业的发展，迫切需要有一支与其相适应的、具有一定科学文化水平的职工队伍。搞好全员培训，加强职工技术教育，实为当务之急。当前矛盾是：学习不能都进学校，在职自学又缺少合适的书籍。因此中国航海学会为普及和提高广大海员的航海科学技术水平，以适应航海事业现代化的需要，特倡议组织编写航海知识丛书。中国航海学会编辑委员会与人民交通出版社于1980年在上海组成了航海知识丛书编审委员会，由陈有义、印文甫分别担任正副主任，王世忠、赵国维任秘书。编审委员会开展工作以来，已组织了企事业、学校等专业人员在业余时间分别进行编写，丛书将先后出版，陆续与读者见面。

航海知识丛书根据专业性质分为《航海业务知识丛书》和《轮机业务知识丛书》两套丛书。为了方便海员学习，力求结合实际，通俗易懂，并采用小册子形式分专题出版。希望这两套丛书能不断为海员们业务技术学习作出贡献，同时也希望广大海员和航运单位共同来支持它和扶植它，使这两套丛书在不断更新中成为广大海员所喜爱的读物。

《航海知识丛书》编审委员会

目 录

绪 论	1
§1 电工测量的意义	1
§2 电工测量仪表的分类及符号表	1
§3 对船用电工仪表的要求	5
第一章 电压的测量	6
§1 直流电压表	6
§2 交流电压表	12
第二章 电流的测量	20
§1 直流电流表	21
§2 交流电流表	23
§3 船用直流电流表、电压表, 交流电流表、电 压表介绍	25
第三章 功率的测量	27
§1 直流功率表	27
§2 交流功率表	28
§3 功率表的使用	29
§4 三相功率的测量	32
§5 无功功率的测量	33
§6 船用功率表介绍	36
第四章 绝缘电阻、功率因数和频率的测量	39
§1 高阻表(兆欧表)	39
§2 功率因数表($\cos\phi$ 表)	41

§3 频率表.....	46
§4 船用高阻表、功率因数表和频率表介绍.....	49
第五章 整步表.....	51
§1 整步表(同期指示表).....	52
§2 组合式三相同期指示表.....	54
§3 船用整步表、组合式三相同期指示表介绍.....	56

绪 论

§1 电工测量的意义

在近代的船舶上，都有很多的用电设备，例如电动机、电热器、照明灯具以及各种通信器材等等。为了满足这些用电设备的用电量，船上就要设置足够的发电设备；为了能把电能安全、合理、经济地分配到各用电器，在中间就必须要有输配电装置。上述的发电、配电、输电，以及用电器等各种设备按一定规律而构成的一个整体，称之为船舶电力系统。

由于船舶上的工作条件要比陆上恶劣得多，而环境条件对于电气设备的性能及寿命有严重的影响，而由此引起电力系统的不正常又将严重影响船舶的安全航行。因此，为了对电力系统的运行情况进行必要的监视，对电气参数进行经常的测量，船舶电工测量仪表是必不可少的有力工具。

船用电工仪表通常使用的有：电流表(A)、电压表(V)、功率表(W)、高阻表(MΩ)、功率因数表($\cos\phi$)、频率表(Hz)、整步表(S)等。有的船舶上用无功功率表(Q)来代替功率因数表。

§2 电工测量仪表的分类及符号表

电工测量仪表的种类繁多，分类方法也不少，了解仪表的分类有助于认识它们所具有的特性，常见分类方法有：

按工作原理分类，主要有磁电系、电磁系、电动系、感应系、整流系、静电系、热电系、电子系等。

按被测量的名称分类，主要有电流表、电压表、功率表、功率因数表、频率表、高阻表、欧姆表、电度表等。

按使用方法分类，主要有开关板式和可携式仪表，前者主要是固定在某一装置上，后者常在实验室内使用。

按仪表工作电流的种类分类，有直流仪表、交流仪表、交直流两用仪表。

按仪表的准确度等级分类，有0.1级、0.2级、0.5级、1.0级、1.5级、2.5级、5级等共七级。

什么是电表的准确度呢？简单说来，在正常工作条件下，仪表进行测量时可能出现的最大绝对误差 ΔA_d 与该仪表的最大读数 A_d （即量限）之比，称之为仪表的引用误差 γ ：

$$\gamma = \frac{\Delta A_d}{A_d} \times 100\%$$

式中： γ ——仪表的引用误差，用百分数表示；

ΔA_d ——仪表读数的最大绝对误差；

A_d ——仪表的量限，即标度尺上的最大读数。

将这个引用误差作为仪表准确度的等级。例如一只量限为250伏的电压表，它在测量时的最大绝对误差是2.5伏，那么它的引用误差就是：

$$\gamma = \frac{2.5}{250} \times 100\% = 1\%$$

我们就说，这只电压表的准确度是1.0级。

电工仪表符号表

A、测量单位的符号		A、测量单位的符号	
名 称	符 号	名 称	符 号
千 安	kA	相 位 角	ϕ
安 [培]	A	功率因数	$\cos\phi$
毫 安	mA	无功功率因数	$\sin\phi$
微 安	μA	微 法	μF
千 伏	kV	皮(微微)法	pF
伏 [特]	V	亨 [利]	H
毫 伏	mV	毫 亨	mH
微 伏	μV	微 亨	μH
兆 瓦	MW	摄 氏 度	$^{\circ}C$
千 瓦	kW		
瓦 [特]	W		
兆 乏	Mvar	B、仪表工作原理图形符号	
千 乏	kvar	名 称	符 号
乏	var	磁电系仪表	
兆 赫	MHz	电磁系仪表	
千 赫	kHz	电动系仪表	
赫 [兹]	Hz	铁磁电动系仪表	
兆 欧	MΩ	感应系仪表	
千 欧	kΩ	静电系仪表	
欧 [姆]	Ω		
毫 欧	mΩ		
微 欧	$\mu\Omega$		

续上表

B、仪表工作原理图形符号		E、工作位置的符号	
名 称	符 号	名 称	符 号
整流系仪表		标度尺位置垂直	
热电系仪表		标度尺位置水平	
		标度尺位置与水平面倾斜成一角度例如60°	
C、电流种类符号		F、端钮、调零器的符号	
名 称	符 号	名 称	符 号
直 流	—	负 端 钮	—
交流（单相）	~	正 端 钮	+
交直流两用	~	公共端钮（多量程仪表）	✱
		接地用的端钮（螺钉或螺杆）	
D、准确度等级符号		与外壳相连接的端钮	
名 称	符 号	与屏蔽相连接的端钮	
以标度尺量限百分数表示的准确度等级，例如1.5级	1.5	调 零 器	
以标度尺长度百分数表示的准确度等级			
以指示值的百分数表示的准确度等级			

§3 对船用电工仪表的要求

船舶机舱内的环境条件是比较恶劣的，温度高，相对湿度大，油雾，盐雾的存在，以及船舶的摇摆及振动等等，都要求船用电工仪表具有良好的水密性，良好的抗颠簸、抗振动和抗冲击的性能。所以船用电工仪表在结构上都考虑了这些要求，同时为了便于观察，大多数船用电工仪表都制成广角度开关板式仪表，在仪表标度盘上的数字和符号均为白色，如有特殊要求也可以是带夜光的。

本书结合我国实际情况，介绍主要船用电工仪表的简单工作原理及实际使用情况。从目前看来船用仪表主要还是直读指针式的，且准确度不是很高，大都为 2.5 级。但随着船舶自动化程度的提高，对船用电工仪表的准确度要求将会逐步提高，目前已有使用 1.5 级的电工仪表了。

第一章 电压的测量

船舶电力系统中电站是核心，而发电机则是电站的核心。它的工作好坏将直接影响到船舶的安全航行。因此必须对发电机的工作进行测量及监视。电压表是用来测量发电机所发出的电压值，看其是否在正常范围内运行。电压的符号用 V 表示，单位是伏(V)或千伏(kV)，船用电压表常用伏作单位。根据船舶应用的电能种类不同，电压表分为直流电压表和交流电压表两种。

§1 直流电压表

直流电压表用来测量直流发电机所发出的直流电压值，因此在发电机的控制屏上装有直流电压表。直流电表通常采用磁电系仪表。

一、磁电系仪表的结构

磁电系仪表是根据通电线圈在磁场中受到电磁力作用而偏转的原理制成的。因此，磁电系测量机构的主要部分是固定的永久磁铁和活动的通电线圈。这是磁

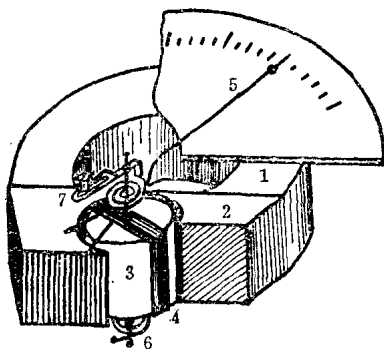


图1-1 磁电系测量机构的基本结构

电系仪表的核心部分。图 1-1 显示了它的基本结构。

1. 固定部分

主要是一块磁性很强的马蹄形永久磁铁 1，它的极面 2 是圆弧形的。在两个磁极的中间装着一个圆柱形的软铁铁芯 3。由于铁芯的磁性很强，而且它和极面之间的空气隙很小，所以永久磁铁的磁力线几乎全部通过铁芯，并均匀地分布在空气隙中，见图 1-2。

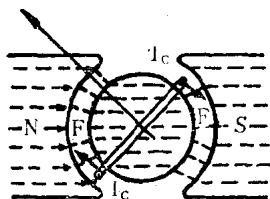


图1-2 磁电系测量机构内的磁场

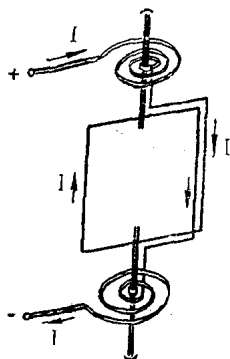


图1-3 磁电系测量机构中的电流通路

2. 可动部分

在圆柱形铁芯的外面，绕着一个线圈 4，它和转轴连接在一起，因此可以跟着转轴在极面和铁芯之间的空气隙中来回转动。在转轴上还装着游丝(螺旋形弹簧) 6，指针 5 和零位调节器 7。线圈 4 绕在铝框上，线圈两端分别与两个游丝连接，被测电流 I 从一个游丝进入线圈，而从另一游丝出来。见图 1-3。

二、磁电系仪表的工作原理

载流线圈在磁场中要受到力的作用。因此当电流通过测量机构中的线圈时，线圈在永久磁铁的磁场中就要受到力的

作用，于是围绕转轴而转动，并带动指针偏转。受力的方向由左手定则确定，所产生的力矩称为电磁力矩，其大小与通入线圈的电流成正比。

$$M_{dc} = K_1 \cdot I$$

当线圈转动时，游丝被旋紧，游丝和弹簧一样，有力图恢复原来形状的特性。因此产生了反抗力矩，其方向与电磁力矩相反，大小与指针偏转角 α 成正比。

$$M_{fk} = K_2 \cdot \alpha$$

当两个力矩平衡时，线圈已转过 α 角并稳定在平稳位置，和线圈固定连接的指针就在刻度盘上指出一定的数值。

$$M_{dc} = M_{fk}$$

因此

$$\alpha = \frac{K_1}{K_2} \cdot I = K \cdot I$$

式中： K_1 ， K_2 ——比例系数。

可见磁电系仪表指针的偏转角是与线圈中电流大小成正比的，因此刻度也是均匀的。

为了使指针偏转时的来回摆动很快的停止，必须在线圈运动过程中形成一个阻尼力矩，这个力矩作用在转动部分上以阻止指针的摆动。磁电系仪表是利用线圈的铝框来产生阻尼作用的，当线圈偏转时，铝框切割永久磁铁的磁力线，在铝框中就会产生感应电势，见图 1-4。

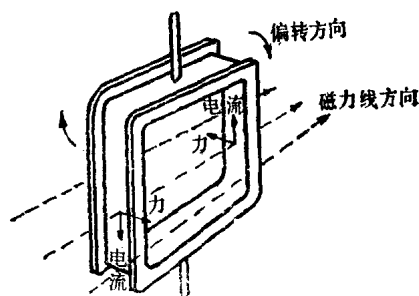


图 1-4 铝框的阻尼作用

的，当线圈偏转时，铝框切割永久磁铁的磁力线，在铝框中就会产生感应电势，见图 1-4。

由于铝框本身是一个电阻很小的闭合电路，所以在铝框中产生了较大的感应电流，电流方向由右手定则确定。这个感应电流在磁场中也会受到力的作用，对于转轴产生一个力矩，受力方向仍由左手定则确定。可见这个力矩的方向恰恰和铝框的偏转方向相反，因此阻碍了线圈的继续偏转，使它很快静止下来。

当线圈中不通过电流时，指针应该指在零位上。如果指针不指零，可以旋零位调节器的螺钉，见图 1-1 中的 7，或见图 1-5。调节游丝的松紧程度，可以使指针指零，调零螺钉装在电表的外壳上。

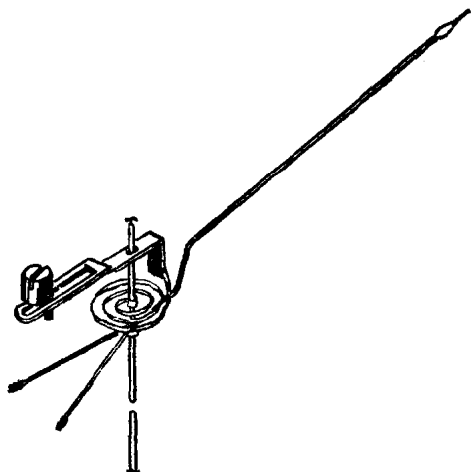


图1-5 零位调节器

三、磁电系仪表的特点

磁电系仪表的准确度较高，刻度均匀，读数比较方便，本身的磁场比较强。所以不大受外界磁场的影响。但其结构比较复杂，价格也比较贵。近年来出现一种所谓内磁式的磁

电系仪表，即把图 1-1 中的圆柱形铁芯换成一个永久磁铁，而其余部分的磁路则用软磁材料做成闭合的圆环形。它的工作原理同上述完全一样，但外界磁场对它的影响更小，而且体积和重量都大大减小。不过由于它本身的磁场弱，灵敏度不高，做成的电表级别也就不高，应用还不太广泛。

由于磁电系仪表中永久磁铁的极性是固定的，当通入线圈的电流方向改变时，指针偏转方向也改变。在测量时，为了不使指针倒转，仪表的电流流入端和流出端，一般都标上“+”和“-”的标记，使用时不要接错。

磁电系仪表一般用于直流电量的测量，如果通入交流电量，则由于同一个周期内电磁力矩的平均值为零，指针因惯性较大而不偏转。如果通过整流电路把被测交流电量整流为直流，再用磁电系仪表测量，就成为整流式仪表。一般这种仪表的准确度较差，通常在万用表中使用。

四、直流电压的测量，附加电阻

磁电系仪表可以用来测量电压而成为电压表，其方法是将测量机构并联在电路中被测电压的两端。如果要测量直流发电机发出的电压值，可以将直流电压表并联接在发电机输出端上，见图 1-6。

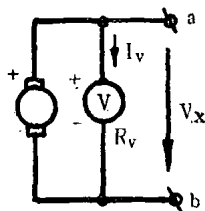


图1-6 测量电压接线图

这时通过仪表的电流为

$$I_v = \frac{\text{被测电压}}{\text{电表内阻}} = \frac{V_x}{R_v}$$

当电表内阻 R_v 为定值时，流过电表的电流正比于被测

电压，因此指针的偏转就代表了被测电压的大小。

已知 $\alpha = K \cdot I$

现 $I = I_v$

所以得 $\alpha = K \cdot I_v = \frac{K}{R_v} \cdot V_x$

因为 K 、 R_v 都是常数，所以根据电表指针的偏转，可以直接确定被测电压 V_x 的值。

直流电压表在联接时应注意“+”“-”极性，以免指针反转。

由于磁电系仪表测量机构中的线圈仅能通过很小的电流，所以它只能测量很低的电压，这在实际上是不能满足要求的。为了测量高压，又不使测量机构中超过容许的电流值，可以用在测量机构中串联附加电阻 R_{ti} (fj——“附加”的汉语拼音字头) 的办法来达到。采用不同的 R_{ti} 值就可以得到不同的电压量程。

从图 1-7 可知

$$I_v = \frac{V_x}{R_v + R_{ti}}$$

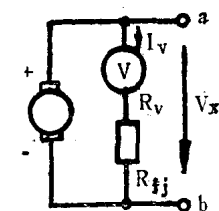


图1-7 电压表的附加电阻

只要 R_v 和 R_{ti} 恒定不变， I_v 就与被测电压 V_x 成正比，偏转角 α 仍然能反应出 a 、 b 两点间的电压大小。

如何来确定量程扩大 m 倍的电压表要串联多大的 R_{ti} 呢？

已知 $(R_{ti} + R_v) \cdot I_v = V_x$

令 $R_{ti} + R_v = m \cdot R_v$

则 $R_{ti} = (m - 1) \cdot R_v$