

电 磁 计 程 仪

中国人民解放军 海军司令部航海保证部

一九八一年十二月

电 磁 计 程 仪

中国人民
解 放 军 海 军 司 令 部 航 海 保 证 部

一九八一年十二月

前 言

为适应航海仪器新的发展，提高广大航海仪器使用、维修人员专业技术水平，特委托第一水面舰艇学校电航教研室沈尧圻教员编写了这本《电磁计程仪》资料，供使用、维修及有关专业人员学习参考。

海 司 航 保 部

一九八一年十二月

目 录

第一章 电磁计程仪的基本工作原理	2
第一节 电磁感应原理与传感器	2
第二节 速度和航程的介算	6
第二章 JD—2 型电磁计程仪	13
第一节 性能和组成	13
第二节 速度介算系统	17
第三节 航程介算系统	22
第四节 航速、航程信号的发送	24
第五节 水门组与自动升降装置	26
第六节 计程仪的使用	28
第三章 JD—2 型电磁计程仪电路	31
第一节 放大器	31
附录：放大器的技术指标及检查	37
第二节 晶体稳频器	40
附录：晶体稳频器的检查	41
第三节 编码器与 17h 接线箱	42
第四节 电气原理总图	47
第五节 故障举例	49
附录：传感器故障对计程仪指示速度的影响	52
第四章 电磁计程仪的误差及校正	53

第一节	误差的产生	53
第二节	误差的测定	56
第三节	误差的校正	58
第四节	用模拟法测定剩余误差	63
第五章	38 号电磁计程仪	69
第一节	性能和组成	69
第二节	电气原理总图	72
第三节	计程仪的使用	82
第六章	DJ—1A 型电磁计程仪	86
第一节	性能、组成及基本工作原理	86
第二节	电气原理总图	89
第三节	计程仪的使用与调整	97
第七章	CDJ—4 型电磁计程仪	103
第一节	性能和组成	103
第二节	电气原理总图	104
第三节	计程仪的使用与调整	114

电 磁 计 程 仪

计程仪是指示舰船航行速度和里程的仪器，提供航海、武备、雷达、操纵等系统的需要，是舰船主要导航仪器之一。

现有计程仪的种类很多，按其不同的工作原理有拖曳式计程仪、转轮计程仪、水压计程仪、电磁计程仪和多普勒计程仪、声相关计程仪等。其中多普勒计程仪和声相关计程仪在一定水深范围内（如 200~300 米），能测定舰船航行对地的速度，又称绝对计程仪。其它类型的计程仪都是测定舰船航行对水的速度，又称相对计程仪。

由于相对计程仪所指示的是相对于水的速度，所以流对舰船航行的影响相对计程仪是不指示的，需要在航行中实际测定和修正。

目前我国各种舰船上所装备的计程仪主要是水压计程仪和电磁计程仪。水压计程仪是通过测定舰船航行时的动水压力指示速度的。根据伯努利方程，动水压力与速度平方成正比（ $P \propto V^2$ ）。所以水压计程仪的高速性能好指示精度较高，但低速性能差误差较大。电磁计程仪是应用电磁感应原理测定舰船航行时的水流速度的，所感应的电动势是与速度成正比的（ $\varepsilon_1 \propto V$ ）。所以电磁计程仪的线性度好，并具有灵敏度较高、使用方便、能指示倒车速度等特点。自 60 年代后期以来电磁计程仪在各国都得到了广泛的发展和使用的。

第一章 电磁计程仪的基本工作原理

第一节 电磁感应原理与传感器

电磁计程仪是应用电磁感应原理测定舰船航行时的水流速度的。传感器是电磁计程仪的敏感元件，安装在舰船底部，用以产生电磁场，接收并输出与舰船航行速度成正比的感应电动势——速度电势。

一、电磁感应原理

由法拉第电磁感应定律可知：当导体 L 在磁场中以速度 V 运动切割磁感线 B 时，导体两端会产生一定的电势差，称动生电动势 ϵ_1 。如图 (1—1) 所示。

在均匀磁场中，动生电动势 ϵ_1 的大小为

$$\epsilon_1 = \int_L (\vec{V} \times \vec{B}) \cdot d\vec{L} \dots\dots [1-1]$$

式中 $d\vec{L}$ 为导体 L 中的某一小段。

动生电动势 ϵ_1 的方向为 $(\vec{V} \times \vec{B})$ 的方向。可按右手法则确定。

当 $\vec{V}$ 、 $\vec{B}$ 、 $\vec{L}$ 三者相互垂直时，动生电动势 ϵ_1 等于

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= \int_L (\vec{V} \times \vec{B}) \cdot d\vec{L} = \int_L VBdL \\ &= BLV^{[1]} \dots\dots [1-2] \end{aligned}$$

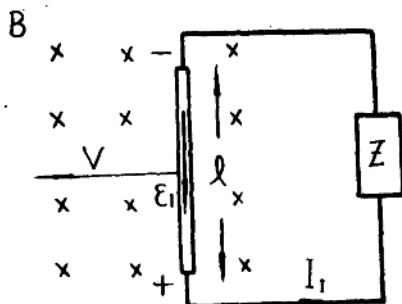
在 B 、 L 为定值时， ϵ_1 的大小与速度 V 成正比。

如果导体 L 在交变磁场 ($B = B_m \sin \omega t$) 中运动切割磁感线，所产生的动生电动势 ϵ_1 将与磁场 B 以相同规律变化

$$\epsilon_1 = BLV = B_m LV \sin \omega t \dots\dots [1-3]$$

可写为 $\epsilon_1 = \epsilon_m \sin \omega t$ ，其中 $\epsilon_m = B_m LV$ 。

即：动生电动势 ϵ_1 与磁感强度 B 的相位相同，振幅值 ϵ_m 在 B_m 、 L 为定值时与速度 V 成正比。



B 垂直向下

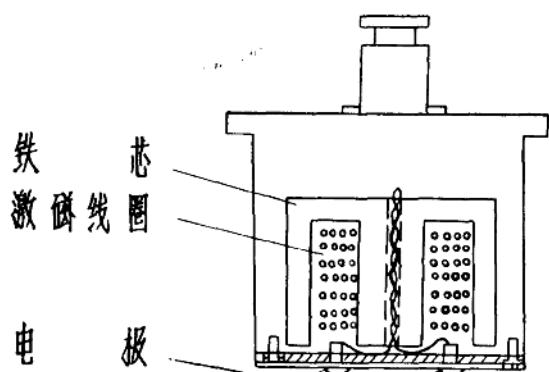
图 1—1

二、传感器

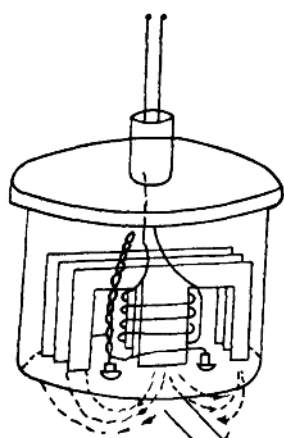
电磁计程仪的传感器常用的有平面式传感器和测量杆式传感器。

图 (1—2) 为平面传感器的结构及工作部位。平面传感器的外壳为非导磁性金属 (铜、不锈钢等)，内有激磁线圈绕在山字形铁芯上，底部有一对电极，浸在水中并以导线引出。平面传感器安装在舰船底部与船底齐平^[2]，二电极的连线与艏艉线相垂直。

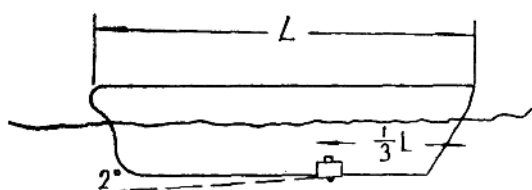
图 (1—3) 为测量杆式传感器的结构及工作部位。测量杆工作时一般伸出船底 350 mm~500 mm，以减小紊流层的影响。测量头内有激磁线圈绕在条形铁芯上，外面包有多层玻璃纤维包复层，是测量头的壳。在测量头的左右二侧



a 平面图



b. 示意图



c 工作部位

图 1—2 平面传感器

有一对电极，工作时浸在水中。

传感器工作时，激磁线圈通入 50 HZ 交流电，产生交变磁场。水是导体，内含有大量导电离子。当舰船航行，水相对传感器运动时，就如同连续导体在磁场中不断切割磁感线，产生动生电动势 ε_1 ，由浸在水中的一对电极引出。 ε_1 值一样等于

$$\varepsilon_1 = \int_L (\vec{V} \times \vec{B}) \cdot d\vec{L}$$

式中 L 为传感器二电极之间的距离。

若 B 为均匀磁场，当水流方向与船艏艉线平时，产生的动生电动势 ε_1 同样可以以

$$\varepsilon_1 = BLV$$

表示。在 B 、 L 为定值时， ε_1 与水流速度 V 成正比。所以在电磁计程仪中称动生电动势 ε_1 为速度电势。

在交变磁场中 ($B = B_m \sin \omega t$)，

速度电势 ε_1 等于

$$\varepsilon_1 = BLV = B_m LV \sin \omega t$$

与磁感强度 B 同相位。

传感器所输出的速度电势是很微弱的，一般为每节 $300 \mu V \sim 500 \mu V$ ($300 \mu V/\text{节} \sim 500 \mu V/\text{节}$)。以 $300 \mu V/\text{节}$ 为例，如舰船以 1 节速度航行时，传感器输出的速度电势为 $300 \mu V$ ，如舰船以 20 节速度航行时，传感器输出的速度电势为 $20 \text{ 节} \times 300 \mu V/\text{节} = 6 \text{ mV}$ 。经计程仪速度换算系统的放

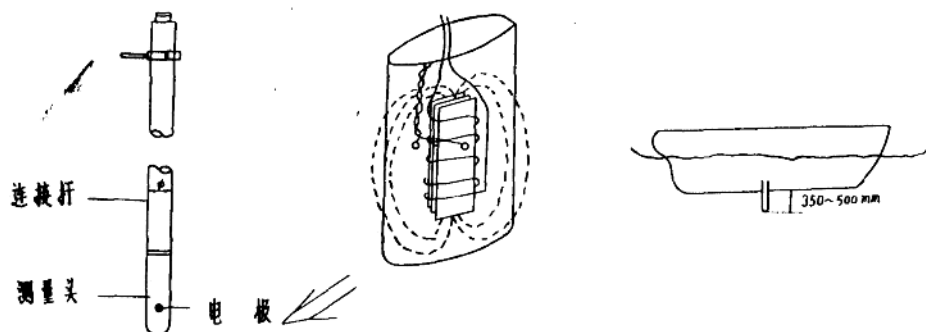


图 1-3 测量杆

大、介算后就可指示相应的速度值。这就是电磁计程仪应用电磁感应原理测定舰船航行速度的基本原理。

三、90°电势

1. 所谓“90°电势”，是指传感器在输出速度电势 ε_1 的同时，还存在与水流速度无关而相位与速度电势相差90°的干扰电势，又称变压器电势，在物理学中称感生电动势。

由楞次——法拉第电磁感应定律可知：当有交变磁场穿过导体闭合回路时，在回路中就会产生感生电动势 ε_2 。 ε_2 的大小与穿过回路的磁感应通量对时间的变化率（ $\frac{d\phi}{dt}$ ）成正比。即

$$\varepsilon_2 \propto \frac{d\phi}{dt}$$

可写为
$$\varepsilon_2 = - \frac{d\phi}{dt} \quad [3] \quad \dots\dots\dots [1-4]$$

式中负号表示感生电动势的方向总是对抗磁感应通量的变化的。

磁通量 $\phi = BS$ 。其中 S 为导体闭合回路面积， B 为磁感强度（ $B = B_m \sin \omega t$ ）。

$\therefore \phi = BS = B_m S \sin \omega t$ 代入〔1—4〕式

$$\begin{aligned} \varepsilon_2 &= - \frac{d\phi}{dt} = - B_m S \omega \cos \omega t \\ &= - B_m S \omega \sin (\omega t + 90^\circ) \quad \dots\dots\dots [1-5] \end{aligned}$$

可见，感生电动势的大小与水流速度无关，相位与速度电势的相位相差90°。所以，在电磁计程仪中称感生电动势 ε_2 为90°干扰电势。

传感器输出信号中之所以存在90°电势，是由于传感器在结构上不完全对称，电极引出线与磁感线 B 不完全平行等原因所产生的。

如图（1—4）所示，平面传感器的电极引出线与磁感线不平行。交变磁场穿过引出线所围平面就产生感生电动势（ $\varepsilon_2 = - \frac{d\phi}{dt}$ ），其相位与速度电势相差90°。

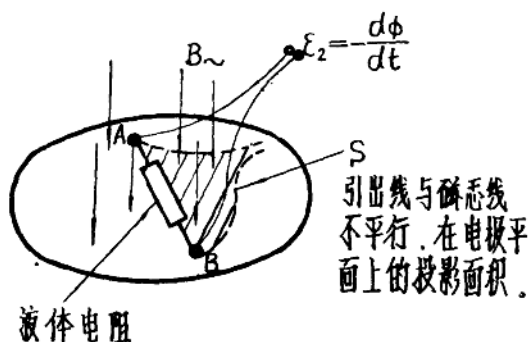


图 1—4

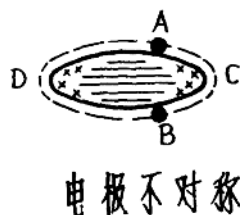
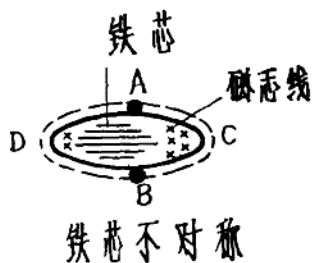


图 1—5

如图(1—5)所示：测量杆式传感器的铁芯(或电极)位置不对称。通过由水导体所围成的ACB回路和ADB回路的磁感应通量也不对称。使二回路所产生的感生电动势 $\mathcal{E}'_2 \neq \mathcal{E}''_2$ ，电极A、B有差值电势 ($\Delta \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}'_2 - \mathcal{E}''_2$) 输出，其相位同样与速度电势的相位差 90° 。

90° 电势的大小是与激磁电源的频率(频率高 90° 电势增大)，传感器的结构，电路所受干扰等因素有关。一般测量杆式传感器在 $100 \mu V \sim 300 \mu V$ 以下，平面传感器在 $500 \mu V$ 以下。虽然 90° 电势也很微弱，但它是干扰信号，会影响计程仪指示精度，甚至引起放大器饱和并使仪器不能正常工作。为此在电磁计程仪的传感器和速度介算系统中，都采取了相应的措施，以减小和消除 90° 电势对指示速度的影响。

2. 传感器减小 90° 电势的措施。为减小传感器输出信号中的 90° 电势，工厂在生产传感器时，除在结构上尽量做到对称均衡，电极引出线从铁芯中心绞绕引出并尽量与磁感线平行外，在平面传感器中还采取了“调零措施”，起到抑制 90° 电势的作用。

图(1—6)是平面传感器的调零电路。图中电极A不是直接引出，而是从相反方向引出二根线(在传感器底板上)与调零电位器 W_0 二端相接。传感器的输出信号由B、C点引出。

在电极A的引出线所围成的一匝线圈中有交变磁通穿过时，就产生感生电动势 $\mathcal{E}_2$ ，加在电位器 W_0 的二端 (a_1 、 a_2)，调节电位器 W_0 滑动触点的位置，就可改变C点的电位(相对 a_1 或 a_2 点的电位)。

在静水中 ($V=0$) 速度电势 $\mathcal{E}_1=0$ ，此时传感器所输出的是干扰电势。调节电位器

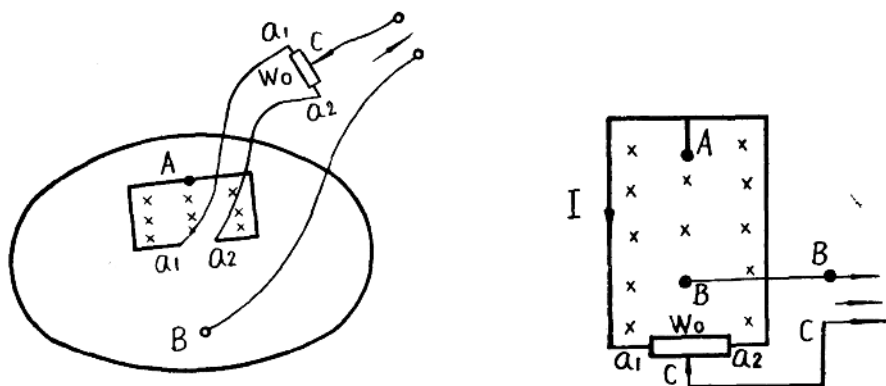


图 1—6

W_0 ，使 C 点电位与 B 点电位相等时，由 B、C 引出线所引出的干扰电势为最小（可调到 $50 \sim 100 \mu V$ ），起到抑制 90° 干扰电势的作用。

×

×

注 [1] 磁感强度 B 的单位是 $\frac{\text{伏} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2}$ 、 $\frac{\text{韦}}{\text{米}^2}$ 或高斯。单位之间的关系是：

$$1 \frac{\text{伏} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2} = 1 \frac{\text{韦}}{\text{米}^2} = 10^4 \text{ 高斯。当式中采用单位：B—高斯，L—厘米，V—厘米/秒，}$$

ε_1 —伏时，此式应为 $\varepsilon_1 = BLV \times 10^{-8}$ （伏）。

[2] 平面传感器应安装于吃水线以下，距船首为船长的 $\frac{1}{3}$ 左右处。传感器电极平面应超出导流罩 $0.5 \sim 2 \text{ mm}$ （不能凹入），并在水流方向上与所安装平面有 2° 倾角为宜。

[3] $\varepsilon_2 = -K \frac{d\phi}{dt}$ ，比例系数 K 与单位的选择有关，在国际单位制中磁感应通量的单位是韦伯，时间的单位是秒，电动势的单位是伏特，则比例系数 $K=1$ ，所以

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\phi}{dt}。$$

第 二 节 速度和航程的介算

电磁计程仪传感器所输出的速度电势是很微弱的，需要经过速度介算系统的放大、介算后才能指示相应的船速 V 。航程 S 是速度 V 对时间 t 的积分（ $S = \int_0^t V dt$ ），需经航程介算系统介算后才能指示航行里程。

现有国产电磁计程仪对速度和航程的介算，有二种不同的工作系统。一种是全电子介算系统，通过放大电路介算速度，电气积分电路介算航程，如 DJ—1 A 型、CDJ—4

型电磁计程仪；另一种是机电结构介算系统，通过伺服电路介算速度，机械积分机构介算航程，如 JD—2 型、38 号电磁计程仪等。现将其基本工作原理叙述如下。

一、全电子介算系统的速度和航程介算

图 (1—7) 为系统方块图

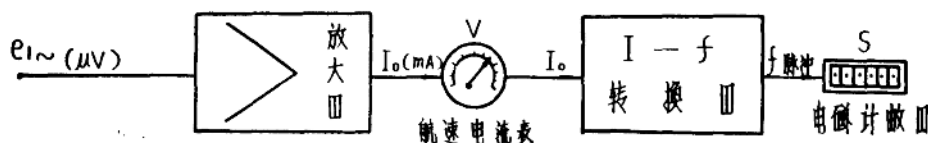


图 1—7

(一) 速度介算

传感器输出的速度电势 e_1 [1]，经放大器放大、整流后输出直流电流 I_0 。放大器为线性放大，输出电流 I_0 与输入电势 e_1 成正比 ($I_0 \propto e_1$)，在电流表上就指示出相应的速度值 V 。

若电流表的满量程为 10 mA，在 0~25 节的电磁计程仪中对应指示 25 节，可列出电流与速度的对应关系：

$$I_0 (\text{mA}) = \frac{10}{25} \cdot V (\text{节})$$

$$= 0.4 \cdot V (\text{节})$$

如表 1 所示。

(二) 航程介算

放大器输出的直流电流 I_0 ，输入 $I-f$ 转换器（电流——脉冲频率转换器），转换为频率与 I_0 成正比的脉冲信号输出，由电磁计数器累计脉冲数指示航行里程。

脉冲频率与直流电流 I_0 （速度 V ）之间的对应关系是：每节（0.4 mA）每小时 200 个脉冲（即 200 脉冲/漚）。在速度为 25 节（10 mA）时，输出脉冲数是每小时 5000 个脉冲。每个脉冲间隔都代表一小段航程，通过电磁计数器将它累加起来就得到航程数。

这种类型电磁计程仪的结构简单、使用方便，指示精度取决于电子线路的线性度和稳定性，尤其对放大器的总反馈元件和 $I-f$ 转换器的要求较高。

二、机电结构介算系统的速度和航程介算

(一) 速度介算

图 (1—8) 是速度介算系统的方块图

传感器输出的速度电势 e_1 ，与反馈装置输出的反馈电压 e_2 ，经比较元件比较后以差值信号电压 Δe 输入放大器。差值信号电压经放大器放大后输出，推动执行电机转动，使反馈装置所输出的反馈电压也随之变化。当反馈电压与速度电势相等时，差值信

表 1

电流 I_0 (mA)	速度 V (节)
1	2.5
2	5
4	10
6	15
8	20
10	25

号电压 $\Delta e = 0$ ，放大器没有信号输入，执行电机就停止转动。此时速度指针所指示的就是相应的速度值。

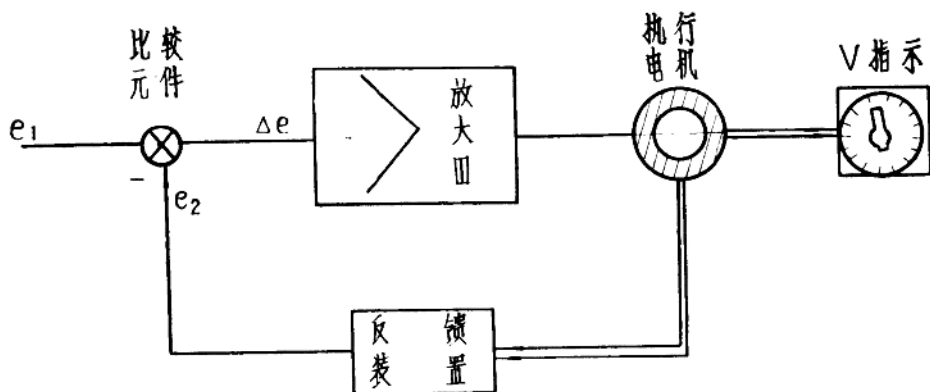


图 1—8 系统方块图

在实际电路中比较元件是比较变压器（变压比为 n ），反馈装置由反馈电位器等组成，如图（1—9）所示。

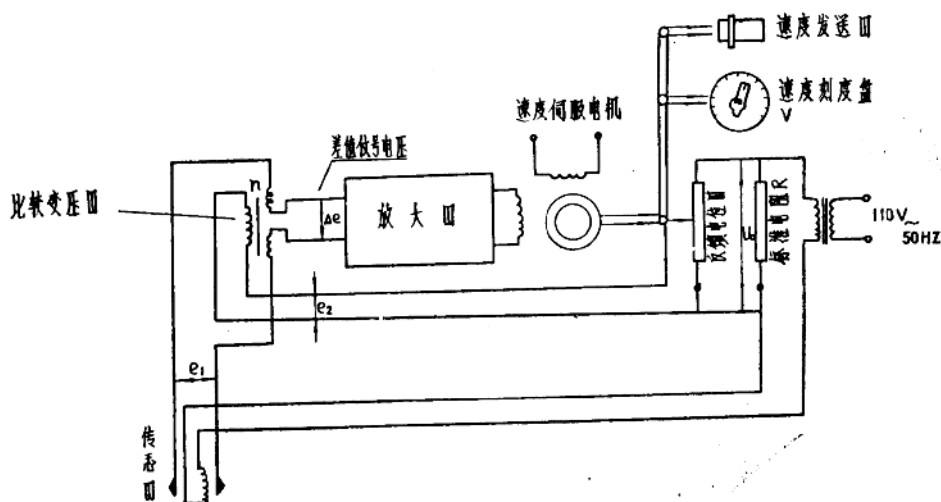


图 1—9 速度反馈系统基本原理图

图中标准电阻 R 串联在传感器激磁回路中，电阻两端电压 U 与激磁电流成正比。反馈电位器与标准电阻 R 并联，所以当执行电机转动，带动反馈电位器滑动触点移动时，就改变了所输出的反馈电压值 e_2 。反馈电压 e_2 的大小与电位器滑动触点的转动角度 θ 成正比（ $e_2 \propto \theta$ ）。

比较变压器初次级之间的匝数比为 n ，反馈电压 e_2 输入比较变压器后，次级感应

电压为 $\frac{e_2}{n}$ ，差值信号电压 Δe 为

$$\Delta e = e_1 - \frac{e_2}{n} \dots \dots \dots [1-6]$$

所以当 $e_1 = \frac{e_2}{n}$ 时， $\Delta e = 0$ ，放大器为零输入，伺服电机不转，系统处于平衡状态。当舰船增速 $e_1 > \frac{e_2}{n}$ 时， $\Delta e > 0$ ，放大器为正向输入，伺服电机向计程仪指示速度增大的方向转动，反馈电压 e_2 也随之增大，直至 $\frac{e_2}{n} = e_1$ 时， $\Delta e = 0$ ，系统又处于平衡状态，计程仪指示增速后的速度值。当舰船减速 $e_1 < \frac{e_2}{n}$ 时， $\Delta e < 0$ ，放大器为反向输入，伺服电机将向计程仪指示速度减小的方向转动，直至平衡。这是介算系统介算速度的基本工作原理。

这种类型的电磁计程仪，速度介算的精度主要取决于反馈电位器的线性度和分辨率。放大器在系统中是放大环节。所以，要求放大器有足够高的输入阻抗和放大倍数，以保证仪器的灵敏度，而对放大器的线性度和稳定性没有很严格的要求。由于仪器是机电结构，所以对齿轮传动系统的空回和静摩擦力矩等都有一定要求，以保证传递精度，减轻伺服电机的负载力矩，提高仪器的指示精度和灵敏度。

在系统中标准电阻 R 串联在传感器激磁回路中，电阻二端电压 U_0 与激磁电流 I 成正比。所以在电网电压波动或温度变化等原因使激磁电流在一定范围内波动时，并不影响仪器的指示精度。现对系统进一步分析如下：

标准电阻 R 与反馈电位器并联，由于 R 阻值很小（与反馈电位器阻值相比是个小量），所以标准电阻两端电压近似为

$$U_0 = RI \dots \dots \dots [1-7]$$

反馈电位器输出电压 e_2 与电位器转角 θ 成正比，可写为

$$e_2 = \frac{\theta}{K_1} \cdot U_0 = \frac{\theta}{K_1} \cdot RI \dots \dots \dots [1-8]$$

式中 K_1 为比例系数，（是反馈电位器的最大转动角度）。

传感器激磁线圈产生的磁感强度 B ，在一定范围内与激磁电流 I 成正比

$$B = K_2 WI \dots \dots \dots [1-9]$$

式中 W 为激磁线圈匝数， K_2 为比例系数^[2]（在一定范围内 K_2 为常数）。

所以传感器输出的速度电势 e_1 可写成

$$e_1 = BLV = K_2 WILV \dots \dots \dots [1-10]$$

当系统处于平衡状态时 $\Delta e = 0$ ，此时

$$e_1 = \frac{e_2}{n}$$

将〔1—8〕式和〔1—10〕式代入可得：

$$K_2 WILV = \frac{RI}{K_1 n} \cdot \theta$$

$$\text{经整理后 } V = \frac{Rl}{K_1 K_2 W l n} \cdot \theta = \frac{R}{K_1 K_2 W l n} \cdot \theta = K \theta \dots \dots \dots (1-11)$$

式中 $K = \frac{R}{K_1 K_2 W l n}$ 为常数。

由〔1—11〕式可见：

(1) 反馈电位器的转角 θ 与速度 V 成正比，所以与反馈电位器同轴转动的速度指针即可指示速度值。

(2) 计程仪指示速度 V 与激磁电流的大小无关，所以在电网电压波动或温度变化等原因使激磁电流在一定范围内波动时，并不影响仪器的指示精度。

(二) 航程计算

图(1—10)为机械积分机构的工作原理图。

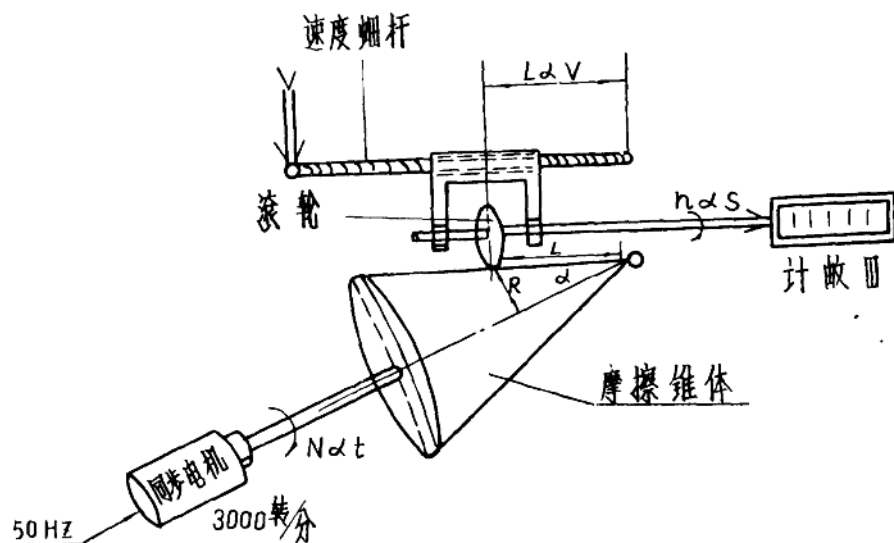


图 1—10 摩擦积分机构

图中摩擦锥体由时间同步电机带动作等角速旋转，锥体的转数 N 与时间 t 成正比。滚轮与锥体之间为滚动摩擦，随锥体转动，转动圈数 n 也与时间 t 成正比 ($n \propto t$)。

滚轮相对锥体的位置是可以左右移动的，由速度螺杆的转动量所决定。当船速为零时，滚轮在锥体的顶点。这时锥体虽然仍作等角速度旋转，但滚轮并不转动。当船速增加时，速度螺杆的转动使滚轮离开锥体顶点向左移动，移动距离 L 与速度 V 成正比。这时滚轮的转速将随移动距离 L 的增加而增大，所以在一定时间内滚轮的转动圈数 n 又与速度 V 成正比 ($n \propto V$)。

由以上分析可见，滚轮转数 n 与时间 t 成正比，又与速度 V 成正比，所以可列出以下表达式

$$n \propto Vt$$

$$n = KVt = KS \dots\dots\dots (1-12)$$

式中 K 为比例系数。

即，在机械积分机构中滚轮的转数 n 与航程 S 成正比，通过机械计数器累计滚轮转数 n 就可指示航程 S 。

现对〔1-12〕式证明如下：

因滚轮的转动是由摩擦锥体通过滚动摩擦传动的，所以滚轮与锥体在接触点的线速度相等。

$$\frac{n \cdot 2\pi r}{t} = \frac{N \cdot 2\pi R}{t} = \frac{N \cdot 2\pi L \sin \alpha}{t} \dots\dots\dots (1-13)$$

$$\text{经整理后 } n = \frac{L \cdot \sin \alpha}{r} \cdot N \dots\dots\dots (1-14)$$

式中 r ：滚轮半径，

n ：滚轮转数，

R ：锥体与滚轮接触点的圆周半径，

L ：滚轮偏离锥体顶点的距离，（ $L \propto V$ ），

α ：锥体的半锥角，

N ：锥体的转数，（ $N \propto t$ ）。

因滚轮半径 r 、锥体半锥角 α 为常数，所以〔1-14〕式可写成

$$n = k_1 L \cdot N \quad \text{其中 } k_1 = \frac{\sin \alpha}{r} \text{ 是常数。因锥体转数 } N \text{ 与时间 } t \text{ 成正比}$$

（ $N \propto t$ ），可写成 $N = k_2 \cdot t$ ；滚轮偏离锥体顶点的距离 L 与速度 V 成正比（ $L \propto V$ ），可写成 $L = k_3 \cdot V$ 。代入上式可得：

$$n = k_1 k_2 k_3 Vt = KVt \dots\dots\dots (1-12)$$

式中 k_1 、 k_2 、 k_3 及 K 均为比例系数。所以〔1-12〕式就是航程积分机构的数学表达式。

由〔1-12〕式和〔1-14〕式可见：

计程仪指示里程的精度，取决于速度 V 、时间 t 及积分机构本身的介算精度。现有电磁计程仪的时间同步电机，一般都由晶体稳频装置供给频率稳定的 50 HZ 电源，可认为时间同步电机的转速（3000 转/分）没有误差。指示速度 V 的精度由速度介算系统保证，若不考虑指示速度所存在的误差，则航程精度就取决于积分机构本身的介算精度。

积分机构的介算精度在结构上与锥体的半锥角 α 、滚轮半径 r 及滚轮偏离锥体顶点距离 L 的精度有关。现有积分机构的介算精度，一般可达 $\pm 0.2\%$ ，在速度 $V < 3 \sim 5$ 节时（滚轮在锥体顶点附近时）介算精度为 $\pm 0.5\%$ 。在仪器技术性能中所列出的“航程精度”，一般所指的是航程积分机构本身的介算精度。

注〔1〕在第一节中速度电势——动生电动势，所用符号为物理学中常用符号 ϵ_1 ，此处及今后为与仪器说明书所用符号尽量一致，采用符号 e_1 。

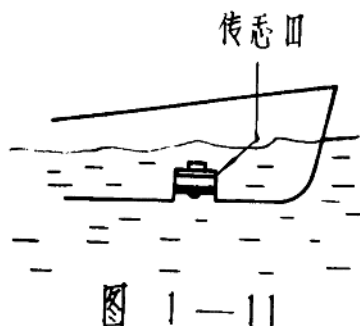
〔2〕 $K_2 = \frac{\mu}{L}$ ， μ 为导磁系数， L 为激磁线圈长度。导磁系数 $\mu = \frac{B}{H}$ ，在铁磁性材料中 μ 不是常数，但当工作在 $B-H$ 磁化曲线的直线段时， μ 为常数。所以激磁电流 I 在额定值附近一定范围内波动时，只要仍工作在磁化曲线的直线段，则〔1—9〕式成立。

复 习 思 考 题 (一)

1.1 导体在磁场中运动，如果 $V \parallel B$ 或者 $V \parallel L$ ，试分析导体二端是否有动生电动势 e_1 产生？

1.2 安装传感器时二电极间的连线与艏艉线之间应成什么角度为好？试分析比较当电极连线与艏艉线之间夹角 θ 分别为 0° 、 45° 、 90° 时，传感器的输出电势。

1.3 如果平面传感器电极平面凹入舰底平面时（如图 1—11），或者传感器电极平面上长满海生物时（如海蛎子等），对传感器输出的速度电势值有什么影响？



1.4 传感器输出的速度电势 e_1 一般以 $300 \mu V/\text{节}$ 作为标准数据，如果实际使用的传感器所输出的速度电势 $e_1 < 300 \mu V/\text{节}$ （例如 $270 \mu V/\text{节}$ ），或者 $e_1 > 300 \mu V/\text{节}$ （例如 $330 \mu V/\text{节}$ ），试分析计程仪指示速度各有什么变化？

1.5 舰船航行，计程仪指示速度为 28 节，现舰船减速为 18 节，试分别分析二种不同类型电磁计程仪的工作过程。

1.6 如果摩擦积分机构的锥体表面，在常用速度所对应的位置上磨出一个凹槽，试分析对航程指示有什么影响？如果滚轮有时有打滑现象，试分析对航程指示有什么影响？

1.7 如果机电计算系统的反馈电位器所输出的反馈电压，比正常情况偏低或者偏高，对指示速度各有什么影响？