

JD—5 型 电 磁 计 程 仪

汪人定 编

海 军 工 程 学 院

一九九三年四月



JD—5 型电磁计程仪

汪人定 编

海 军 工 程 学 院

一九九三年三月

JD—5型电磁针罗仪

陆人定 编

海军工程学院教材处 出版
海军工程学院印刷厂 印刷

787×1092毫米·1/16开本·6印张·153.6千字
1993年3月第1版第1次印刷 印数1—500册
院内统一书号 93404.07 定价 4.15元

前 言

《JD-5 型电磁计程仪》是依据本专业导航装备课程教学大纲编写的教材。能适应不同教学层次的需要,本教材较详细地介绍了 JD-5 型电磁计程仪的原理结构、电路、操作使用和维护保养等诸方面的内容。对仪器中应用的典型电子器件和线路进行了讨论。还简要地介绍了有关的设计知识。全书力求详细、明确、准确,因此,虽然是教材,但也可供航保修理人员参考。

JD-5 型电磁计程仪是新型装备,资料甚少。本教材是以高敬东同志编写的《电磁计程仪》为蓝本,仅作了少量的改动。新增的最后一章取材于 1991 年 12 月出版的《船舶导航仪器设计手册》(国防版),这一章简要地介绍了电磁计程仪设计中所涉及的一些主要问题。了解这部份内容有利于加深对装备的理解,教学中第八章的取舍视教学时数的安排而定。

受编者水平所限,再加编写时间仓促,书中的错误和不当之处在所难免,恳请读者批评指正,以便再版时修改完善。

编 者

1993 年 2 月

目 录

第一章 概 述	(1)
一、JD-5 型电磁计程仪技术参数	(1)
二、仪器的组成	(2)
三、JD-5 型计程仪的传动原理	(4)
第二章 测量杆与自动升降装置	(6)
§ 2—1 测量杆	(6)
§ 2—2 自动升降装置	(6)
一、球阀(船底阀)	(7)
二、气缸	(7)
三、气动三大件	(7)
四、电控气阀	(7)
五、控制箱	(8)
六、自动升降装置动作原理	(8)
第三章 主仪器	(10)
§ 3—1 主仪器的组成情况	(10)
一、航速部件	(10)
二、航程部件	(11)
三、校正器	(12)
§ 3—2 解算原理	(12)
一、航速解算原理	(12)
二、航程解算原理	(14)
第四章 操纵台	(17)
第五章 JD-5 型电磁计程仪电路	(20)
§ 5—1 放大器	(20)
一、前置放大器及输入电路	(20)
二、解调与调制	(26)
三、消磁电路	(28)
四、插件板 JD5-F-3	(29)
五、插件板 JD5-F-4	(31)
六、JD-5 型电磁计程仪放大器原理总图	(31)
七、FC3 集成运算放大器	(33)
§ 5—2 晶振电源	(34)
一、晶体振荡器	(36)
二、分频器	(36)
三、功率放大器	(40)

四、晶振装置电源电路	(41)
§ 5—3 反馈校正电路	(41)
§ 5—4 模拟电路及“模拟”状态下的电路原理	(44)
一、模拟电路	(44)
二、模拟状态下电路工作原理	(44)
§ 5—5 航行状态原理电路	(44)
§ 5—6 电原理总图	(45)
一、电源系统	(45)
二、速度解算系统	(46)
三、时间电机控制回路	(47)
四、航速航程信号的发送	(47)
第六章 复示器、接线盒及速度转换箱	(49)
§ 6—1 复示器及接线盒	(49)
一、航速复示器(SF-5)	(49)
二、航速航程复示器(CS-5)	(50)
三、主接线盒	(50)
§ 6—2 速度转换箱	(51)
一、技术性能	(52)
二、ZH-5B 型转换箱结构	(52)
三、转换箱系统工作原理	(55)
第七章 仪器的使用及维护	(59)
§ 7—1 仪器的使用	(59)
一、出航前的准备	(59)
二、启动	(60)
三、停机方法	(60)
四、操作注意事项	(60)
§ 7—2 仪器的维护保养	(60)
一、航行时的维护	(60)
二、码头停泊时计程仪的维护	(60)
三、停泊期间的日常维护	(61)
四、进坞时的维护	(62)
五、仪器的检查	(62)
六、关于测量杆的放弃和新测量杆的启用	(63)
七、常见主要故障的现象及处理方法	(64)
§ 7—3 调整方法	(65)
一、概述	(65)
二、叠标间航行	(65)
三、备用测量杆的调整	(67)
第八章 电磁计程仪的基本设计方法	(70)

§ 8—1 电磁计程仪传感器	(70)
一、工作原理	(70)
二、传感器的结构形式	(71)
三、传感器设计中考虑的几个问题	(72)
§ 8—2 电磁计程仪航速解算系统的设计	(72)
一、连续系统实现航速解算的设计	(72)
二、数字系统实现航速解算的设计	(76)
§ 8—3 速度测量误差的修正与电模拟	(82)
一、误差修正与线性输出指示	(82)
二、函数的电模拟原理	(83)
§ 8—4 船舶摇摆对仪器指示精度的影响和抑制方法	(84)
§ 8—5 航程的解算	(84)
一、机械摩擦式积分装置	(84)
二、数字积分器设计	(85)
§ 8—6 计程仪的检查和调整	(86)
一、出厂前的检查与调整	(86)
二、计程仪的实船试验与调整	(87)
§ 8—7 计程仪安装位置的选择及使用注意事项	(89)
一、安装位置的选择与要求	(89)
二、使用注意事项	(90)

第一章 概 述

计程仪是在航行中测量船舶速度和累积航程的普通航海仪器。现在船舶上许多部门(如航海、操纵、武备等)都需要计程仪提供速度或航程的实时信息。计程仪也是各种形式的组合导航系统不可缺少的组成部分。计程仪的种类很多。而近代舰船主要应用电磁计程仪和声多卜勒计程仪,本教材仅讨论 JD-5 型电磁计程仪。

电磁计程仪应用法拉第电磁感应定律进行工作。在磁场中,运动的导体产生与其速度成比例的电动势。电磁计程仪通过其速度敏感元件——传感器在海水中建立一交变的磁场,当海水(作为连续导体)流过该磁场时,就产生一电动势,此电动势由速度传感器的两个电极所接收,通过放大、解算可求得海水与传感器的相对速度。在考虑海水的流向流速等因素后,即可求得船舶航行速度。

由法拉第定律可知:

$$E = dBV \times 10^{-7} (\text{V})$$

式中: E ——感应电动势(V);

d ——电极间距离(cm);

B ——磁感应强度(mT);

V ——船速(cm/s)。

由上式可求得船速 V 并进而解算得出航程 S , 供显示和运用。

电磁计程仪不受海水盐度、压力、温度变化的影响。仪器的主要部分是速度传感器和解算装置。

JD-5 型电磁计程仪是测量舰船相对于水的航行速度并记录航行里程的仪器。它能把测量的结果以各种不同的形式(转角、电压、数字、脉冲等形式)发送到需要提供航速、航程信息的战位上。JD-5 型电磁计程仪的两种规格(JD-5A 型和 JD-5B 型)的测速范围及输出,能满足现在各型水面舰艇配套的需要。若将测量杆换成平面传感器,也能为潜艇配套使用。

一、JD-5 型电磁计程仪技术参数

JD-5 型计程仪有两种型号,它们的技术参数分别见表 1.1

表 1.1 JD-5 型电磁计程仪主要技术性能参数表

I	测速范围	JD-5A 型	JD-5B 型
		-5—+25 节	-10—+50 节
2	航速精度	-5—0 为 ± 0.1 节	-10—0 为 ± 0.1 节
	实验室精度	0—25 节为 ± 0.04 节	0—50 节为 ± 0.04 节
	测速场精度	0—25 节为 ± 0.15 节	0—25 节为 ± 0.15 节 25—50 节为 ± 0.2 节

续表 1.1

		JD-5A 型	JD-5B 型
3	航速复示精度	± 0.15 节 负航速时为 ± 0.25 节	± 0.15 节 负航速时为 ± 0.25 节
4	航速指示跟随时间	从 0~满刻度所需时间 < 2 分钟	同左
5	计程范围	0~9999.99 海里, 再从零开始	同左
6	航程精度	0~5 节(包括 5 节) 时为 0.5% 5 节以上为 $\pm 0.3\%$ 负航速时航程不计数	0~10 节(包括 10 节) 时为 $\pm 0.5\%$ 10 节以上为 $\pm 0.3\%$ 负航速时航程不计数。
7	航程复示精度	± 0.01 海里	± 0.01 海里
8	电源	220V50Hz 若舰电为 110V50Hz 时本仪器可直接使用, 若舰电为 220V50Hz, 需配船用变压器。	220V50Hz
9	功耗	200VA (不包括复示器)	200VA (不包括复示器)
10	环境条件 温度	舱室内仪器 -10℃ ~ +50℃ 舱室外仪器 -30℃ ~ +60℃ 低温贮存 -30℃	舱室内仪器 -10℃ ~ +50℃ 舱室外仪器 -30℃ ~ +60℃ 低温贮存 -30℃
	湿度	95 $\pm$ 3%	95 $\pm$ 3%
11	噪声	不大于 70 分贝	不大于 70 分贝

二、仪器的组成

JD-5 型计程仪由主仪器、操纵台、主接线盒、分接线盒、航速复示器、航程航速复示器、前置放大器、测量杆(传感器)升降装置等组成, 具体配套情况见表 1.2。

表 1.2 JD-5 型电磁计程仪配套数量一览表

序号	名称	JD-5A			JD-5B		
		代号	数量	重量 kg	代号	数量	重量 kg
1	主仪器	ZY-5A	1 台	44	ZY-5B	1 台	63
2	操纵台	CT-5	1 台	24	CT-5	1 台	24
3	主接线盒	JX-5-1	1 台	6.5	JX-5-1	1 台	6.5
4	分接线盒	/		/	JX-5-1	1 台	7
5	航速复示器	SF-5A	2 台	6	SF-5B	2 台	6
6	航速航程复示器	CS-5A	1 台	8	CS-5B	1 台	8

续表 1.2

序号	名称	JD-5A			JD-5B		
		代号	数量	重量 kg	代号	数量	重量 kg
7	前置放大器	FD-5	1 台	5.5	FD-5	1 台	5.5
8	测量杆	CL-5	2 根	6	CL-5	2 根	6
9	升降装置	SJ-5	1 套	47	SJ-5	1 套	47
10	控制箱 1	KZ-5-1	1 个	3.5	KZ-5-1	1 个	3.5
11	控制箱 2	KZ-5-2	1 个	3	KZ-5-2	1 个	3
12	气动三大件	DQ-5	1 套	9	DQ-5	1 套	9
13	电控气阀	DQK-2432	1 台		DQK-2423	1 台	
14	备件箱	BJ-5(II)	1 个	20	BJ-5(II)	1 个	20
15	备附件箱	BJ-5(I)	1 个	7	BJ-5(I)	1 个	7

除配套仪器外,为满足不同需要,航速复示器可增至六台,航速航程复示器可增至四台。此外,JD-5B 型电磁计程仪主仪器上部的转播站,考虑到单个仪器的体积重量以及装配传输的方便,根据用户需要,可提供主仪器与转播站分立的配套。

JD-5 型电磁计程仪的配套如图 1-1 所示。

JD-5A 与 JD-5B 是同一型号两种规格,主要的差别是指示航速的范围不同。5A 型的测速范围为-5 节—+25 节,而 5B 型则为-10 节—+50 节。两者的工作原理和基本结构完全相同。此外,5A 型配套中没有分接线盒(JX-5-2),主仪器上部也没有转播站。下面简单介绍配套中各部分的主要作用。

1. 测量杆

它是仪器的灵敏元件,它的作用是将舰艇相对海水的速度转换成与速度相应的电势信号,是整个仪器对航速这个非电量进行电测量的转换元件,是仪器的关键部件之一。

2. 主仪器

作用是对测量杆感受到的电信号进行解算并指示航速航程值,它也是一个变换装置,将与速度相对应的电信号,变换为机械转角(由速度电机实现),在刻度盘上指示相应的航速。并将航速、航程信号用发送器同步传输给复示器和用户。

3. 操纵台

作用是负责向整个系统供电,并控制仪器的工作状态(启动与停止)。

4. 接线盒

发送器与复示器的中转装置,主要为接线方便和多路传送。

5. 前置放大器

对测量杆信号进行前置放大。由于仪器精度较高,要求测量杆灵敏度也高,而其敏感的信号比较弱,为防止传输过程中信号损失而影响精度,前置放大器安装在离测量杆较近的位置,在结构上前置放大器是独立的。其它放大器安装在操纵台之内。按设计安装要求,前置放大器与测量杆之间的连接电缆长度应在 3 米之内,以减小信号损失和干扰。

6. 复示器

作用是接受发送系统的航速、航程信号,复示主仪器解算出的航速、航程值。仪器中

分别配有航速复示器和航速航程复示器。

7. 自动升降装置

在指挥舱及计程仪室自动升降测量杆用。当通过鱼网区或进港时将收起测量杆。它由控制箱 A, 控制箱 B, 内螺纹球阀, 电气控制阀, 气动元件等组成。

关于各仪器的内部组成、结构、及工作原理, 后面将详细讨论。

三、JD-5 型计程仪的传动原理

JD-5 型电磁计程仪的传动原理, 是指计程仪各主要仪器及其内部各部件之间的机械、电气联动关系。也称机电传动原理。

图 1-2 为 JD-5B 型计程仪机电传动原理图。其传动原理如下:

当舰艇以某一速度航行时, 水相对于测量杆的运动(切割磁力线), 在测量杆的一对电极上感应出与舰艇相对海水运动速度成正比的航速电压 e_1 (把航速 V 这个非电物理量, 变换成为电压信号, 完成了非电量电测量的转换), 此电压经电缆传输到前置放大器输入端的比较变压器中, 与主仪器反馈电位计模拟速度成正比例的反馈电压 e_2 作比较, $e_1 - e_2 / n = \Delta e$, 得到的差值电压 Δe 输入到前置放大器, 经电压放大, 输入操纵台放大器中经相敏解调, 调制, 功放输出具有一定功率的电压信号, 电压加在航速电动机的控制绕组上, 使速度电机转动, 从而又将电气信号转换成一个机械转动。(实现了 $\Delta e \rightarrow \theta$ 的变换, 即实现了对 e_1 的记忆)。航速电机转动时, 带动航速刻度指针指示航速; 还带动发送器, 把航速信号发送给航速复示器; 带动机电码盘, 输出数字量信号; 同时带动航程解算装置中的航速输入轴转动, 为航程解算提供航速模拟量。另一方面, 航速电机还将带动反馈校正电位器的活动臂转动(实现了反变换), 直到反馈电位器的反馈电压 e_2 与测量杆得到的讯号电压 e_1 相等时, 速度电机停转, 速度刻度盘示出了舰艇的航速 V 。可见无差平衡测量电路的反变换器件(电位器)本身的精度及稳定性对系统指示精度影响相当大。理

想情况是使 e_2 与 e_1 有相同的变化趋势与速率, 即 $\frac{de_1}{dt} = \frac{de_2}{dt}$ (对外界影响而言), 事实上, 我们希望 e_1 受外界影响应越小越好, 即测量杆本身性能应十分稳定, 所以要求反馈电位器本身的电阻特性应十分稳定。在平衡测量电路原理中我们知道, 在无差平衡测量电路中, 原理上不存在系统的不平衡性。但它与误差的存在及大小是毫不相关的。(我们将在校正、调整内容中详细分析)。

速度电机的转向, 决定于比较信号电压的极性。 $e_1 > e_2$ 电机正转, 刻度盘指示增加, 反之速度指示减小, 图 1-3 为 JD-5B 系统原理图。

第二章 测量杆与自动升降装置

§ 2—1 测量杆

测量杆 (CL-5) 是电磁计程仪的灵敏元件, 用来测取与舰艇航速成正比的讯号电压, 是仪器的关键部件之一, 它的输入——输出特性及其稳定性直接影响着仪器的精度和能否正常工作。

测量杆由连接电缆、杆体和敏感头组成。敏感头是由非磁性材料玻璃丝布和环氧树脂成型的外壳, 内装产生交流磁场的电磁铁及接收航速信号的一对装在壳体两侧的电极。敏感头固定连接在杆体上, 见图 2-1。

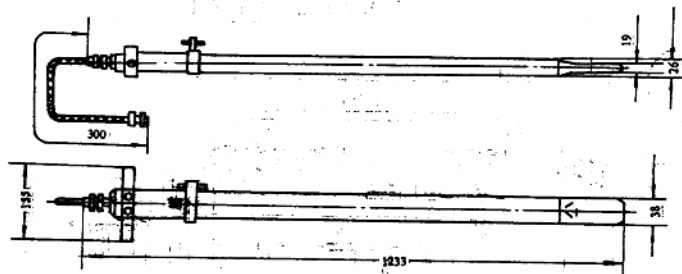


图 2-1 测量杆外形图

壳体内装有产生交变磁场的电磁铁, 为增加强度, 提高绝缘强度玻璃铜与铁芯浇注成一体, 为减小阻力, 消除涡流, 测量杆外形近似为流线型。

杆体为椭圆铁黄铜杆, 与敏感头固定连结。杆体是将敏感头伸出船外海水中的椭圆形支撑管 38×26 , 上端装有插座和把手, 在杆体上刻有“首”及箭头, 安装时使箭头指向船首。连接电缆为四芯双屏蔽电缆, 其中两芯为电磁铁线圈励磁用。两芯为航速信号电压引出给前置放大器用。电缆两端有插头, 连接到杆体上和前置放大器上。

测量杆本身长 1190mm, 伸出舰底长度为 350mm。

§ 2—2 自动升降装置

自动升降装置由球阀、气缸、气动三大件、电控气阀和控制箱组成, 它以舰艇上的压缩空气为动力, 其作用是在指挥室和计程仪室内执行远距离控制测量杆的自动收放和球阀的开启及关闭。

一、球阀(船底阀)

测量杆通过球阀伸出船外,并保证在测量杆收放时海水不进入舱内。它由阀体、上支座和球组成。阀体和上支座为铸造黄铜,当测量杆伸出船外时,在上支座有填料函水密。当测量杆收回时,将球旋转 90° 即可关闭船底阀,在阀体下部有一个与测量杆外形一样的椭圆导向套,保证椭圆长轴与船首尾线一致。

球阀与升降装置的气缸在同一底板上,在底板与船底垫板中间装一导向套,以减轻测量杆振动。

二、气缸

气缸是测量杆升降的主要执行机构,共有升、降两种状态,活塞杆上方与测量杆联接,也可脱开,测量杆上端装有把手,供手动升降测量杆和取出测量杆用。

球阀和气缸装在同一底板上。

三、气动三大件

由气源开关球阀、分水滤气器、减压阀、油雾器组成,气源开关球阀用于开关舱内气源,分水滤气器将压缩空气中的污物和水份滤去,以确保气体纯净。当内部有污物和水时,可定期通过下面阀放掉,减压阀将舱内压缩空气由 $8-10\text{kg/cm}^2$ 减压到 6kg/cm^2 (以压力表读取)。油雾器可自动将油喷成雾状给电控气阀和气缸润滑。油雾大小通过油雾器上面的旋钮调节,油雾器内要定期加油 (10 号机油)。气动三大件的外形如图 2-2 所示。

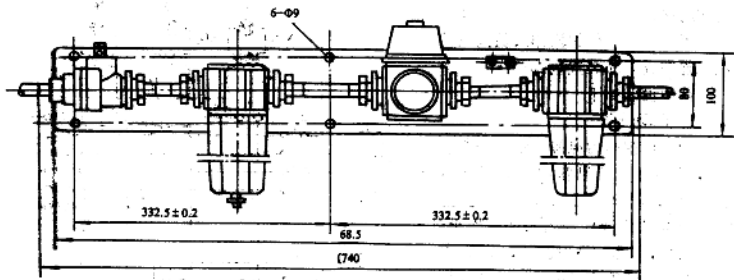


图 2-2 气动三大件外形图

四、电控气阀

电控气阀的作用是通过改变气路方向控制气缸动作,即控制测量杆的升降。可远距离由控制箱电控,也可以用外壳上部的推杆手动操作,将手动推杆按下旋转 90° 即可自锁,安装时推杆上必须有塑料帽保护。电控气阀的外形如图 2-3 所示。

五、控制箱

控制箱的作用是远距离操纵测量杆的升降，在驾驶室如发现鱼网或其它障碍物时，用控制箱可在 2-3 秒钟之内将测量杆升起，控制箱内有升降指示灯，指示测量杆位置以及升降装置工作状态。

控制箱有 2 个，控制箱 A 安装在计程仪室，控制箱 B 安装在驾驶室。

六、自动升降装置动作原理

采用自动升降装置就可以通过“控制箱”远距离操纵测量杆的“升”或“降”及球阀的“关”或“开”。因为是由气压控制，所以比较安全。在舰艇高速航行时可以随时以敏捷迅速的动作完成测量杆为“升”或“降”、球阀“关”或“开”的全部动作。

为了满足各种情况下测量杆的升或降，自动升降装置有三种控制形式：

自动升降：通过控制箱内的“升”“降”按钮，完成全部动作；

气动控制：当电控线路发生故障时，可通过电控气阀的手动装置完成全部动作；

手动控制：依靠操作人员操纵机械装置完成升降装置全部动作。

具体说明如下：

1. 自动升降

计程仪操纵台电源接通，控制箱中电源接通，控制箱中电源指示灯亮。电原理图如图 2-4 所示。

当要求测量杆伸出船外工作时，此时按控制箱的“降”按钮“AN₂”，使电控气阀“A”线圈通电，电控气阀接通 A 管路气源，使压缩空气进入气缸活塞上部。同时打开球阀，使气缸活塞杆收进缸体内，从而带动测量杆经过球阀伸出船外，当伸出长度达到设计要求时，有挡块压在行程限位开关“K₃”上，使控制箱内之“降”指示灯“XD₄”亮，表示测量杆已伸毕，告

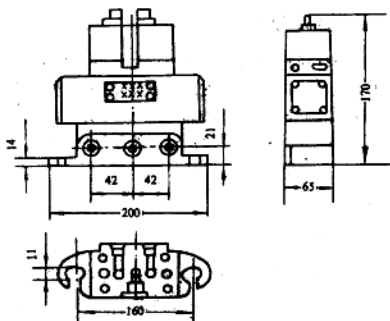


图 2-3 电控气伐外形图

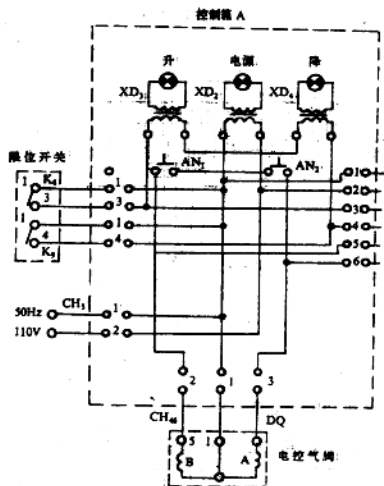


图 2-4 控制箱电原理图

拆操纵人员此时应松开“降”按钮。这时，电控气阀“A”线圈断电，A管路停止继续进气，测量杆放在工作位置。

当要将测量杆升起时，先按控制箱上的“升”按钮“AN₁”，使电控气阀B绕组通电，接通B气压管路，B管路从气缸下端给气缸输入气压，使气缸活塞杆上升，带动测量杆上升。当升到设计高度时，又有挡块使行程限位开关“K₂”接通，使控制箱中“升”指示灯ZD₁亮，表示测量杆已收进舱内。即可松开“升”按钮。在XD₁亮之前，挡块还使气压管路中的气压将球阀自动关闭，以防海水进入舱内。

测量杆“升”或“降”所需时间约为2秒钟左右。

2. 气动控制

在停电或电源发生故障，无法用电控自动升降时，则采用电控气阀的手动按钮进行控制。

测量杆“降”，须先开球阀后降测量杆。它是利用电控气阀上的手动按钮接通气压管路A，使测量杆伸出船外。

测量杆“升”，须先升测量杆后关阀门，是利用电控气阀的手动按钮，接通气压管B的通路，使气压从气缸下面的进气孔进入气缸，推动活塞杆上升，带动测量杆收入舱内。再关闭球阀，完成收的任务。

3. 手动

在气压管路发生故障或无气时，采用手动升降测量杆。

手动就是通过艇员，直接将测量杆推出或提进船舱。球阀也同样由艇员用手打开或关闭。

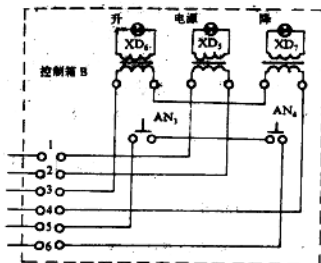


图 2-5 测量杆升降原理图

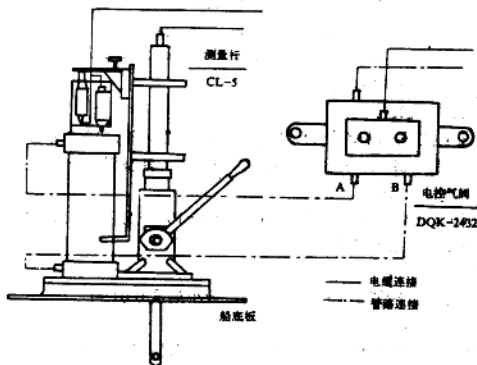


图 2-6 升降装置气流图

第三章 主仪器

主仪器是系统的解算装置,用来解算舰艇的速度和航程,并把指示的舰速和解算的航程用发送器发送给复示器和配套仪器。主仪器分主体部分和转播站部分。转播站是与用户信息匹配的发送器,主仪器可带转播站和不带转播站。主仪器主体部分由航速部件,航程部件,校正器等组成。

主仪器盖和壳体用铰链轴孔连接,可旋转 180° ,并可取下。盖的上部有一圆玻璃孔,用来观察速度指示的读数。长方形玻璃孔用来观察航程,下部的玻璃圆孔用来观察、检查 CJ-21 航程电机的转数。盖的四周槽内有橡皮垫圈以防止水的浸入。

打开主仪器及转播站前盖,主仪器内部布置如图 3-1A、B、C 所示。它们依次为 JD-5B (带转播站)、JD-5A 以及 JD-5B (主仪器本身不带转播站)。

§ 3-1 主仪器的组成情况

一、航速部件

航速部件由下列部件组成

航速电机: ADP-262

航速电机 ADP-262 为两相非磁性空心杯形转子交流异步机,其主要参数如表 3.1 所示。

表 3.1 ADP-262 主要参数

名称	型号	额定电压 (伏)	控制电压 (伏)	频率 (Hz)	启动转矩 (g·cm)	移相电容 (μ f)	输出功率 (W)
航速电机	ADP-262	110	125	50	900	2.5	9.5

航速电机转速为 $5/384(5/76.8)$ 节/转

反馈电位器: WXD7-12K Ω

反馈电位器为多圈电位器,转速为 $60/11(30/11)$ 节/转,10 圈中间有 10 个抽头每隔 330° 一个抽头。阻值 $12K\Omega \pm 5\%$,线性偏差 $\pm 0.7\%$,抽头误差 $\pm 0.5\%$ 。

粗刻度盘: 60 节 (30) / 转

粗刻度盘转速为 $60(30)$ 节/转,工作 330° ,从 $-10(-5)$ 节 $\sim 50(25)$ 节。最小刻度 1 (0.5) 节。黑底白字,指针白色。

精刻度盘: 1 (0.5) 节/转

精刻度盘工作为 360° 。转速 1 (0.5) 节/转,最小刻度 0.01 节。

航速发送器: BD-501A。

航速发送器 BD-501A 为自整角机,转速为 $55(27.5)$ 节/转,其主要参数见表 3.2。