

青岛远洋船员学院备课纸

第三节 回声测深仪 (echo sounder)

一、回声测深原理

1. 水声学有关知识

声波 (acoustic wave)

声源 (acoustic source)。

声波三个频率段：

20Hz 以下的声波称为次声波 (infrasonic wave)；

20Hz~20KHz 称为可闻声波 (voiced wave)；

20KHz 以上的称为超声波 (ultrasonic)。

频率高、抗干扰性好，被水声仪器广泛利用；

同一种均匀理想介质中恒速传播、直线传播；

在两种不同的介质面反射、折射或散射传播。

超声波在水中的传播速度

我国采用的计算公式： $C = 1450 + 4.06t - 0.0366t^2 + 1.137(\sigma - 35) + \dots$

国际威尔逊计算公式： $C = 1449.2 + 4.623t - 0.0546t^2 + 1.391(\sigma - 35) + \dots$

式中 t 为水的温度；

σ 为水的含盐度；

在公式的省略项中还含有水的静压力的因素。

回声测深仪测深原理中，超声波在水中的传播速度取值为 1500m/s。

影响超声波在水中传播速度的因素：

水温每增加 1℃，声速约增加 3.3m/s；

含盐度每增加 1‰，声速约增加 1.2m/s；

水深每增加 100m，声速约增加 3.3m/s。

其中，

水深的变化引起的静压力和温度的变化，所造成的声速变化值几乎相互抵消。

三个因素中，水温的变化对声速的影响最大，需要进行“补偿”。

超声波在水中传播时的能量损耗：吸收损耗和扩散损耗。

超声波在传播过程中受到的干扰：

海洋生物、海水运动、船舶本身等产生的海洋噪声干扰；

海水对超声波多次反射形成的混响干扰。

2. 回声测深原理

在船底安装发射超声波的换能器(transducer)A 和接收反射回波的换能器 B
回声测深仪的测深原理公式:

水深: $H = D + h$

h : 船底到海底的垂直距离;

D : 船舶吃水。

$$h = MO = \sqrt{(AO)^2 - (AM)^2}$$
$$= \sqrt{\left(\frac{1}{2}Ct\right)^2 - \left(\frac{1}{2}S\right)^2}$$

若使 $S \rightarrow 0$, 则 $\frac{S}{2} = 0$,

那么:

$$h = \sqrt{\left(\frac{1}{2}Ct\right)^2} = \frac{1}{2}Ct = 750t$$

测深原理: 将超声波在水中的传播速度 C 作为已知恒速, 换能器基线 S 看作零, 通过测量超声波往返海底的时间 t , 计算求得的水深 h 。

原理缺陷: 水深精度将受到超声波在水中传播速度 C 变化的影响和换能器基线 S 不为零的影响。

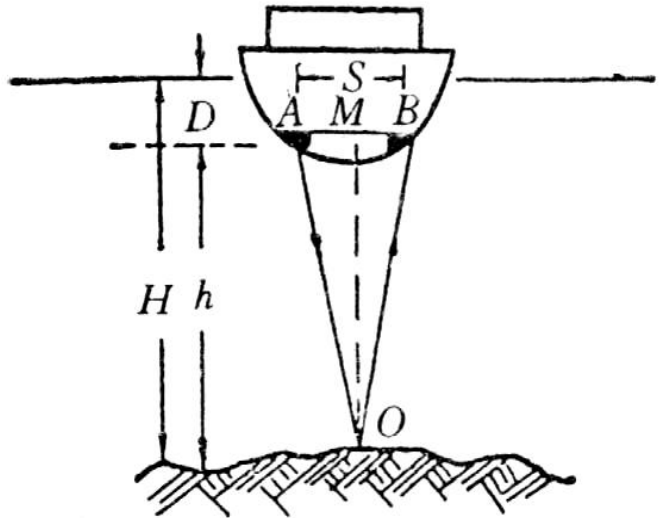


图 2-1-57

二、回声测深仪组成及各部分的主要作用

1. 回声测深仪组成及作用

1) 显示器(display unit)

显示系统、发射系统(transmitting system)和接收系统。

显示系统(display system): 脉冲产生器(pulse generator)以一定的时间间隔产生触发脉冲, 控制计时器开始计时和控制发射系统

发射系统(transmitting system): 产生具有一定功率和宽度的电脉冲, 推动发射换能器工作。

触发脉冲器: 机械触发、电磁触发、光电触发和数字触发器。

其中光电触发器使用较多, 数字触发器比较先进。

接收系统(receiving system): 将来自接收换能器的海底回波信号, 经放大处理后, 控制测量显示系统计算出所发射的超声波脉冲往返船底与海底之间的时间 t , 并按测深原理公式计算出船底到海底的水深(垂直距离), 以一定的方式显示。

显示方式(display mode): 闪光式(flash mode)(转盘式)、记录式(record mode)、数字式(digital mode)等。

闪光式显示比较直观、易读取, 不能保留水深数据, 且存在零点误差和时间电机转速变化引起的测量误差;

记录式显示方式可记录水深数据，较不直观易读，存在记录零点误差和时间电机转速变化引起的测量误差；

数字式显示方式是较先进，直观易读且可打印出来，不存在显示零点误差，也不采用时间电机计时。

2) 换能器

作用：是一种电、声能量相互转换装置，

分类：

按作用不同：发射换能器(transmitting transducer)和接收换能器(receiving transducer)；

按工作原理不同：磁致伸缩换能器(magnetostrictive transducer)和电致伸缩换能器(piezoelectric transducer)；

按制造材料不同：压电陶瓷材料（如钛酸钡、锆钛酸铅等）换能器(piezoceramic transducer)和铁磁材料(ferromagnetic transducer)（如镍、镍铁合金等）换能器。

安装注意事项：安装在船底龙骨左边或右边，距船首约 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 船长处。

表面必须水平，误差不得超过 1° 。

换能器表面应保持清洁，不得涂油漆，清洁时不得有任何损伤。

必须保持良好的水密性，否则将不能工作。

3) 电源系统

作用：将船电转换为测深仪的工作电源，可采用变压器、逆变器或变流机。

2. 回声测深仪工作原理

工作原理如框图：

显示器中的脉冲触发器以脉冲重复频率产生触发脉冲，控制计时器计时和发射系统工作；

发射系统产生具有一定功率和宽度的电脉冲送到发射换能器；

发射换能器将电脉冲转换为超声波脉冲向海底发射，经海底反射回来的超声波回波被接收换能器所接收，并转换为电信号送到接收系统；

接收系统将来自接收换能器的回波信号放大处理后送到显示器；

显示器的计时装置计算超声波脉冲的传播时间 t 并转换为水深 h ，以一定的方式显示；

电源系统供给各部分所需要的工作电源。

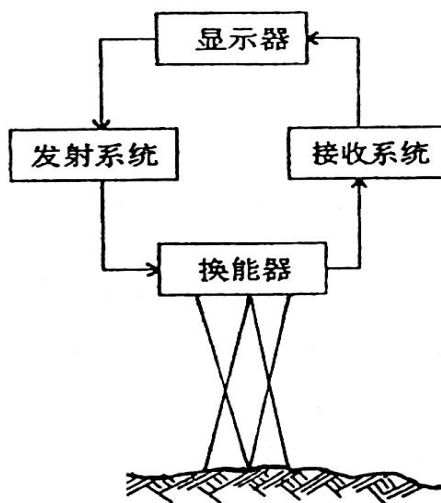


图 2-1-59

三、回声测深仪的使用

1. 回声测深仪的主要技术指标

1) 最大测深深度(maximum detectable depth, h_{\max})

青岛远洋船员学院备课纸

由发射功率和发射脉冲的重复周期 T 决定, 在发射功率足够大的情况下, 由脉冲重复周期 T 所决定。同时, 还必须考虑工作频率和发射功率的关系。

$$h_{\max} \leq 750T$$

例 2-1-3: 某船舶上的回声测深仪的脉冲重复周期 T 设计为 0.3s, 其最大测深深度为 225m; 另一船舶上回声测深仪的最大测量深度为 400m, 则其设计的脉冲重复周期 T 约为 0.6s。

远洋船舶的最大测深 400m 以上, 近海船舶的最大测深深 200m。海洋测量船舶的最大测深 2000~10000m 以上。

2) 最小测深深度 (minimum detectable depth, h_{\min})

由发射脉冲的宽度 τ 决定。

$$h_{\min} \geq 750\tau$$

例 2-1-4: 某船舶回声测深仪的脉冲宽度 τ 设计为 0.2ms, 其最小测深深度为 0.15m, 若某船上回声测深仪的最小测深深度为 1m, 则其设计脉冲宽度 τ 为 1.4ms。回声测深仪的最小测量深度一般为 0.1m ~ 1 m。

3) 脉冲重复频率 (pulse repetition frequency-PRF, F)

每秒钟发射脉冲的个数, 它的倒数称为脉冲重复周期 T (pulse repetition period-PRP), 是决定回声测深仪最大测深深度的因素之一, 一般为 0.3 s~0.6s。

4) 脉冲宽度 (pulse duration, τ)

持续发射超声波脉冲的时间称为脉冲宽度。脉冲宽度越窄, 最小测深深度越小, 但脉冲宽度越窄往往平均发射功率越小, 影响最大测深深度。

近海船舶回声测深仪一般采用窄脉冲发射, 其最小测深深度和最大测深深度都较小。

远洋船舶回声测深仪一般采用较宽脉冲发射, 其最小测深深度和最大测深深度都较大。

5) 工作频率 (operating frequency)

超声波的低频段频率即 20KHz ~ 60KHz, 最大为 200KHz。

6) 发射功率 (transmitting power)

是决定最大测深深度的因素之一, 一般为几十瓦至几百瓦。

2. 影响正常测深的主要因素

1) 水中气泡 (bubble) 的影响

当船舶倒车或处在风浪中时, 船底换能器周围水层中存在大量气泡, 吸收换能器发射的超声波能量和海底反射回来的微弱的超声波回波。

2) 船舶倾斜 (摇摆) 的影响

船舶倾斜或摇摆角度 (tilt or swing angle) β 大于波束开角 θ 的一半时 ($\beta > \frac{\theta}{2}$), 海底反射回来的超声波回波, 将不能到达接收换能器的接收面即接收不到回波信号, 测不到水深。

回声测深仪发射超声波的波束开角 θ 一般为 $20^\circ \sim 30^\circ$ 。

3) 海底底质 (undersea sediment) 的影响

光滑的岩石对超声波的反射效果最好, 淤泥对超声的反射效果最差, 碎石、沙子对超声波的反射效果一般。

4) 海底地形的影响

从回声测深原理可知, 回声测深仪是测量船底到海底的水深, 严格地说应该是测量船底换能器位置到海底的水深, 如果海底地形(bottom contour)不平坦时, 回声测深仪显示的水深并不是整个船底的水深。当船舶处于浅水区时, 应充分注意这种影响, 防止船舶搁浅。

5) 船底污物、杂草等的影响

将使换能器发射的超声波能量被衰减而减小了测深能力, 或直接将超声波反射回到接收换能器被接收, 使显示的水深不是海底水深而只是某一水层的水深。

3. 测深误差(sounding error)

1) 声速误差(acoustic velocity error)

实际声速与设计声速不相等。

实际声速大于设计声速, 测量水深小于实际水深; 实际声速小于设计声速, 测量水深大于实际水深。

设置“温度补偿”、“盐分补偿”、“水深补偿”, 来消除声速误差。

2) 基线误差(ground line error)

使用发射换能器与接收换能器分离的测深仪, 换能器基线是不为零的, 而测量显示的水深是利用 $h = 750t$ 计算得来的, 由此而产生的测深误差称为测深仪的基线误差。

当测量水深小于 5m 时, 基线误差较大, 应考虑其对测深精度的影响。

3) 时间电机转速误差(speed of revolution error of timing-motor)

采用闪光式或记录式显示方式的回声测深仪, 时间电机就是计时器件, 由于时间电机实际转速不等于设计转速而产生的测深误差称为回声测深仪的时间电机转速误差。

时间电机实际转速小于设计转速, 测量水深小于实际水深; 时间电机实际转速大于设计转速时, 测量水深大于实际水深。

当发现存在时间电机转速误差时, 可通过时间电机调速装置将时间电机的转速调整为设计转速, 时间电机转速误差就被消除了。

4) 零点误差(zero point error)

有的回声测深仪显示水深时, 若显示的发射零点标志不在水深刻度零点的位置上, 使读取的水深数据存在误差。是一种固定误差。

通过零点调整装置将显示的发射零点标志调整到水深刻度的零点上, 零点误差就被消除。

4. 回声测深仪的使用

1) 阿特拉斯(ATLAS)型回声测深仪的使用。

(1) 主要开关、旋钮的名称及作用

ATLAS 型回声测深仪的操作面板如图 2-1-60 所示。

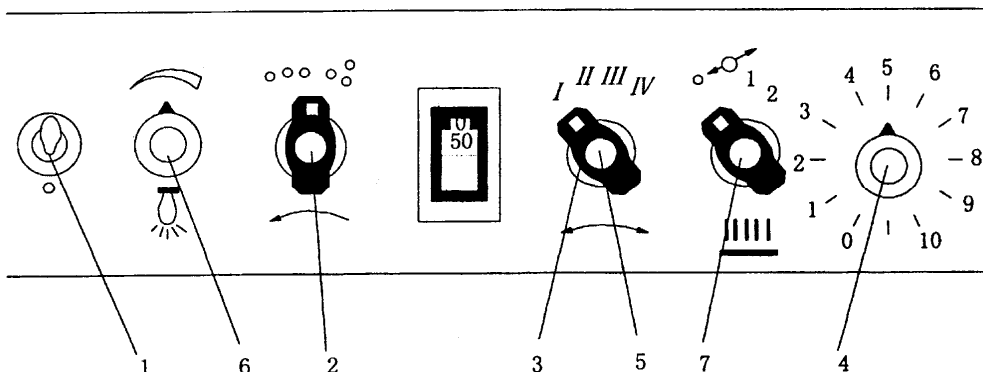


图 2-1-60

- ①主开关 (main switch): 控制电源的“接通”或“断开”。
- ②基本量程选择开关(basic range): 共有三档, 用于选择量程。
- ③移相量程选择(phasing range): 用于扩大量程选择。
- ④增益(gain): 调节回波清晰度。
- ⑤零位调节(zero line): 调整发射零点标志与水深刻度零点一致。
- ⑥照明控制(illumination control): 调节显示照明。
- ⑦灰/黑控制旋钮 (grey/black recording): 用于探测鱼群。

(2) 使用方法

- ①将“主开关”指示“1”位置, 接通测深仪电源。
- ②用“基本量程选择旋钮”和“移相量程选择旋钮”选择合适的量程。
- ③调节“增益旋钮”使回波清晰。
- ④必要时调节“照明控制旋钮”使显示照明合适。

(3) 使用注意

- ①及时更换记录纸。
- ②经常检查时间电机转速和显示零点, 若存在误差应及时消除。
- ③当测量浅水水深, 记录水深标志较宽时, 应该读取其前沿所对应的水深数据。
- ④船舶长期停泊时, 应每隔半月通电一次, 每次通电时间不少于 4h, 一是可以为电子器件去潮, 二是防止换能器表面孳生海生物。

⑤大风浪中航行或倒车时, 换能器周围存在大量气泡, 影响测深仪正常工作, 因此不宜测深。

2) SKIPPER ED-162 型回声测深仪的使用

(1) 主要开关旋钮名称及作用

① 电源/增益旋钮 (power/gain control) :

接通显示器电源并调节水深显示增益。

② 照明旋钮 (illumination control) :

调节记录显示和面板照明亮度。

③ 量程选择与记录器开关 (measurement range selector and recorder switch) :

选择显示方式和显示方式的档次。

④ 报警深度预置 (preselection of warning depth) : 使用数字键预置报警水深数据。

⑤ 记录纸速度控制 (record paper speed control) : 在 1.2~12m/min 范围内调节记录纸移动速度。

⑥ 时间增益控制 (TVG) : 抑制浅水回波的接收增益, 并随水深的增加而逐渐增加。

⑦ 定位标志按钮 (fixing mark key) : 在记录纸上标记读取的水深刻度位置。

⑧ 深度报警开关 (alarm of depth switch) : 开关报警器。

⑨ 零位线调节 (zero line adjuster) : 调节记录零点。

⑩ 电源选择开关 (power selector switch) : 选择交流电源或直流电源。

(2) 使用方法

① 接通显示器面板上的“电源与增益开关”, 整机工作。

② 根据需要调节“照明控制”, 使显示器照明合适。

③ 根据需要进行选择显示方式和量程, 当选择 O_1 或 O_2 时 ($O_1=0\sim99.9m$, $O_2=0\sim500m$) 只有数字显示。当选择 A、B、C、D 档 ($A=0\sim10m$, $B=0\sim25m$, $C=0\sim50m$, $D=0\sim500m$) 时, 有数字显示和记录显示。

④ 适当调节电源与增益旋钮, 使记录水深标志清晰而不出现多个水深标志。

⑤ 检查记录零点是否正确, 若零点标志不在“0”刻度, 应调整正确。

⑥ 根据需要进行记录纸速度。

⑦ 根据需要设置深度报警功能和深度报警数据。

⑧ 根据需要进行读取水深数据。

(3) 使用注意

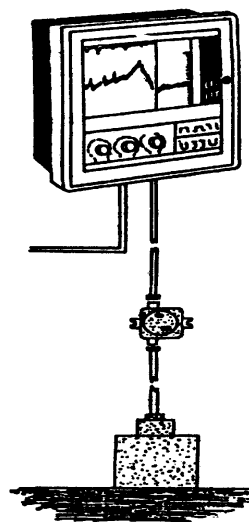


图 2-1-61

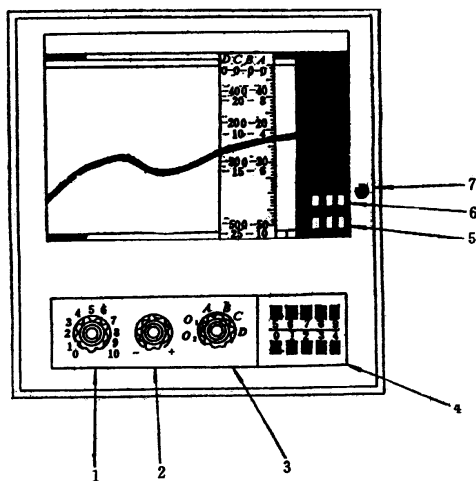


图 2-1-62

1-电源/增益控制; 2-照明旋钮; 3-量程选择与记录器开关; 4-报警深度预置; 5-报警深度显示; 6-深度数字显示; 7-面板开启按钮

青岛远洋船员学院备课纸

使用 SKIPPER ED-162 型回声测深仪时，应注意的事项有：

①做好日常显示器内部的清洁工作，去除灰尘与杂物，保持干燥。

②按说明书要求，定期对机械传动部件加注润滑油。

③船舶坞修时，应检查和清洁换能器工作面，不能用硬器敲打或刮伤换能器工作面，不得在换能器工作面涂油漆。

④记录笔经长期使用，金属丝有可能因磨损而不能与记录纸保持良好接触，应及时检查并予以更换。检查方法是按下定位标志按钮，观察定位标志线是否平直和连续，若发现定位标志线不平直或出现断续，则可将金属丝拉出一段距离（约 10mm），并调整记录笔与记录纸的夹角，一般调到 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 为宜。

⑤按要求检查馈电刷与馈电导板之间是否保持良好接触，若接触不良，会导致水深记录标志不连续，尤其浅水或信号弱时。因此，必须定期检查和维护。检查和维护的方法是用手向下转动传动皮带，检查记录笔与记录纸接触时，馈电刷的大多数金属丝应与馈电导板相接触，若只有少数金属丝接触，则必须调整或更换馈电刷。更换馈电刷时，应先将金属丝捆扎在一起，然后用钳子小心地将金属丝线弯曲，直到大多数金属丝都能与馈电导板相接触为止。

第四节 计程仪 (ship log)

定义：船用计程仪是用来测量船舶运动速度和累计船舶航程的仪器。

分类：船用计程仪按其测量参照物不同分为相对计程仪和绝对计程仪两种。

相对计程仪(relative log), 为对水跟踪, 计风不计流。

绝对计程仪(absolute log), 可以对海底跟踪, 计风计流; 水深很深时, 对水层跟踪。

历史沿革：

十九世纪船上主要使用拖曳式计程仪和转轮式计程仪(mechanical log), 现已被淘汰。

二十世纪船上主要使用本世纪初研制的水压计程仪(pitometer log),

50 年代研制的电磁计程仪;

70 年代研制的多普勒计程仪和声相关计程仪。

一、电磁计程仪 (electromagnetic log)

1. 测速、计程原理

利用电磁感应原理测量船舶相对水的速度和航程的计程仪。

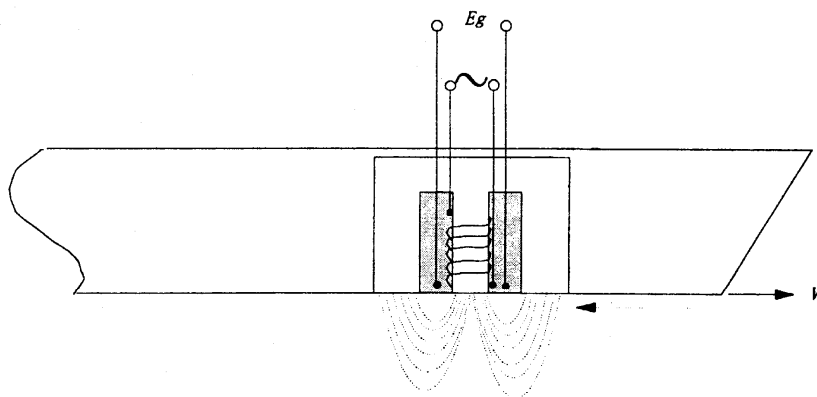


图 2-1-63

测速器件, 传感器(electromagnetic rodmeter)。由倒“山”字型铁芯、激磁绕组、信号电极等组成。

测速原理：

船舶以速度 V 前进或后退时, 水层切割传感器磁场的磁力线, 两个电极有感应电势产生:

$$E_{gM} = B_M L V$$

式中 B 传感器的磁感应强度; L 传感器两个电极的水平距离; V 传感器下水的流速

$$V = \frac{1}{B_M L} E_{gM} \quad \left(\text{令 } \frac{1}{B_M L} = K \right)$$

则 $V = K \cdot E_{gM}$ (电磁计程仪的测速原理公式)

航速 V 与感应电势 E_{gM} 成正比。将传感器产生的感应电势 E_{gM} 送到显示器，经放大处理后可变为航速显示。

计程原理：船舶的航程是航速对时间的积累，设置航速积分器，测量航程并显示。

测速、计程原理框图：

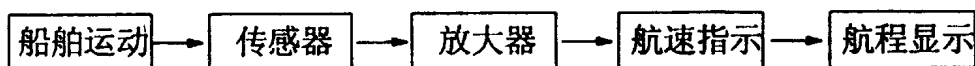


图 2-1-64

2. 主要组成及作用

1) 传感器

传感器是电磁计程仪的测速器件，分为平面型和导杆型两种。现多使用平面型。

作用是将非电量的航速转换为与航速成正比的电信号，便于传输、放大和处理。

使用与保养：激磁电源要稳定；传感器舱室避免高温和潮湿；进坞时，检查传感器电极有无损伤并进行清洁；在热带海域停泊时间较长时，应给传感器通电。

2) 放大器(amplifier)

组成：输入电路、放大电路、变换电路、分频电路、自校电路和电源电路。

作用：放大传感器送来的航速信号；抑制传感器本身的缺陷产生的干扰信号；检测放大器本身功能。

3) 显示器(display unit)

航速显示和航程显示。

3. 计程仪的使用与注意事项

以 CDJ-5 型电磁计程仪为例，由传感器、接线箱、放大器、开关箱和显示器五部分。

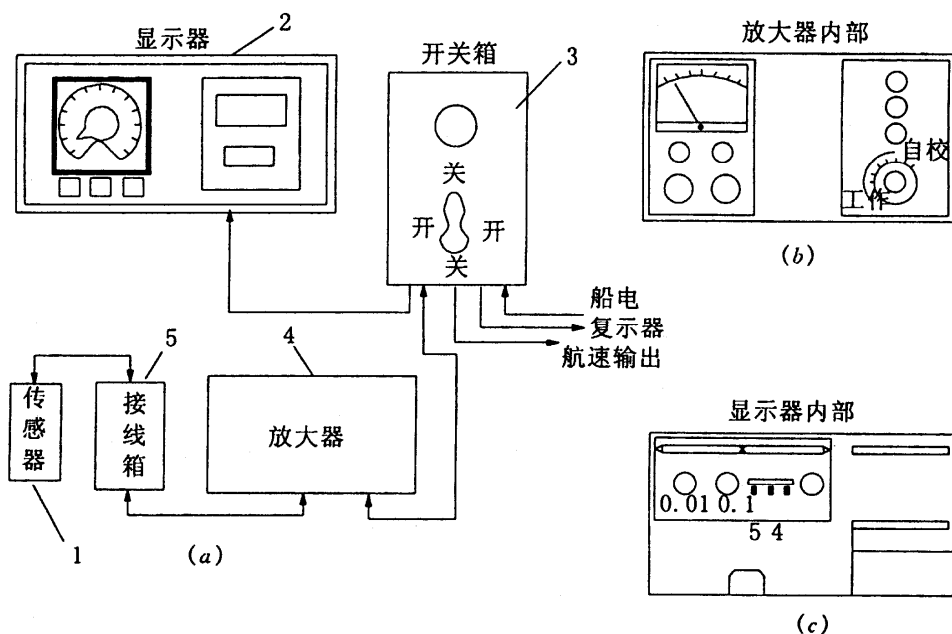


图 2-1-65

主要开关、旋钮分别位于开关箱、放大器 and 显示器上。

1) 开机

(1) 接通开关箱上的“电源”开关(main switch)), 传感器和放大器工作 (放大器内的电源开关平时应放在“接通”位置)。

(2) 接通指示器上的“电源”开关(power), 显示器工作, 航速表指示航速。

(3) 将显示器上的“储存-显示”开关(storage-display)置于“显示”位置, 航程显示窗口以数字显示航程; 若“储存-显示”开关置于“储存”位置, 则航程显示窗口不显示航程, 但仍继续累计航程。

(4) 当需要将航程复零时可按下“复零”按钮(reset), 航程显示为零。

(5) 使用显示器内的“航程选择”开关(distance change)根据需要进行航程显示的小数点位数为小数后 1 位或 2 位。

(6) 放大器内的“工作-自校”转换开关(operation-self correcting change), 平时置于“工作”位置, 当需要自校时转换到“自校”位置, 自校完成后仍放在“工 作”位置。

2) 关机

断开显示器上的“电源”开关和放大器上的“电源”开关。

3) 使用注意

(1) 按规定测量计程仪改正率。

(2) 电磁计程仪是相对计程仪, 只能测量相对航速与航程, 当需要求真航速和航程时, 需要按计程仪改正率进行改正。

(3) 必要时可利用仪器本身的“自校”功能, 对显示航速的准确性进行检测与校正。

(4) 按规定维护保养好传感器, 使其始终保持良好状态。

(5) 经常清洁放大器和显示器内, 防止灰尘等影响电子器件的正常工作。

二、多普勒计程仪 (doppler log)

利用多普勒效应测量船舶绝对速度和航程或对水层的速度和航程的计程仪。

1. 测速、计程原理

测速器件为超声波换能器(transducer)。

1) 多普勒效应(doppler efect)

多普勒效应: 当发射源与接收体之间存在相对运动时, 接收体接收的发射源发射信息的频率与发射源发射信息频率不相同的现象。

多普勒频移(doppler shift): 接收频率与发射频率之差。

$$\Delta f = f_R - f_T = \frac{V}{C} \cdot f_T$$

其中: V 为接收体与声源相互靠近或相互远离的速度,

C 为声速

接收体将发射源的声波再反射到声源后被接收的多普勒频移应为:

$$\Delta f = f_R - f_T = \frac{2V}{C} \cdot f_T$$

2) 测速、计程原理

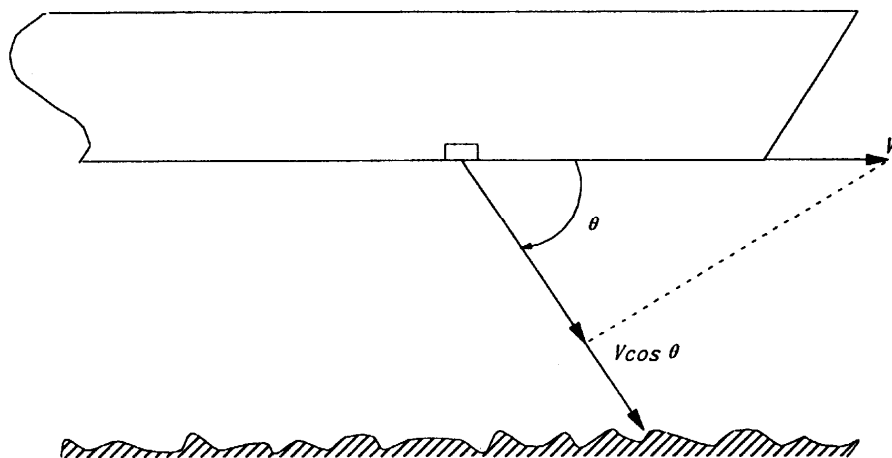


图 2-1-66

在船底安装发射超声波和接收反射回波的换能器, 发射、接收换能器以 θ 角向海底或某一水层发射超声波和接收反射回波。

船舶以航速 V 航行时, 航速 V 在超声波发射与接收方向的分量为 $V \cos \theta$, 接收换能器接收反射回波的多普勒频移为:

$$\Delta f = \frac{2V \cos \theta}{C} \cdot f_T$$

则： $V = \frac{C}{2f_T \cos\theta} \cdot \Delta f$ （测速原理公式）

测得回波的多普勒频移 Δf ，即可求得航速 V 。设置航速积分器就可以求得航程。

2. 多普勒计程仪的组成及各部分的主要作用

1) 换能器

声能与电能相互转换的器件，一般由压电陶瓷材料制成。安装在船底靠近龙骨并与船首尾线相平行的船舶纵剖面内，距船首船尾留有一定的距离。换能器的发射角（波束俯角） θ 一般约为 60° ，使船舶沿水平方向移动时，反射回波产生多普勒频移。换能器的作用是将收发器送来的电振荡信号转换为超声波信号发射，并接收被反射回来的超声波信号，转换为电信号送回收发器。

2) 收发器(transmitting and receiving unit)

包括发射系统、接收系统、计算电路、补偿电路、自校电路等单元。

发射系统产生具有一定频率、一定脉冲宽度和功率的电振荡信号，送给换能器；接收系统、计算电路和补偿电路将换能器送来的回波信号经放大处理后，求得多普勒频移并变为航速信号送给显示器。自校电路用于判断计程仪本身工作性能的好坏。

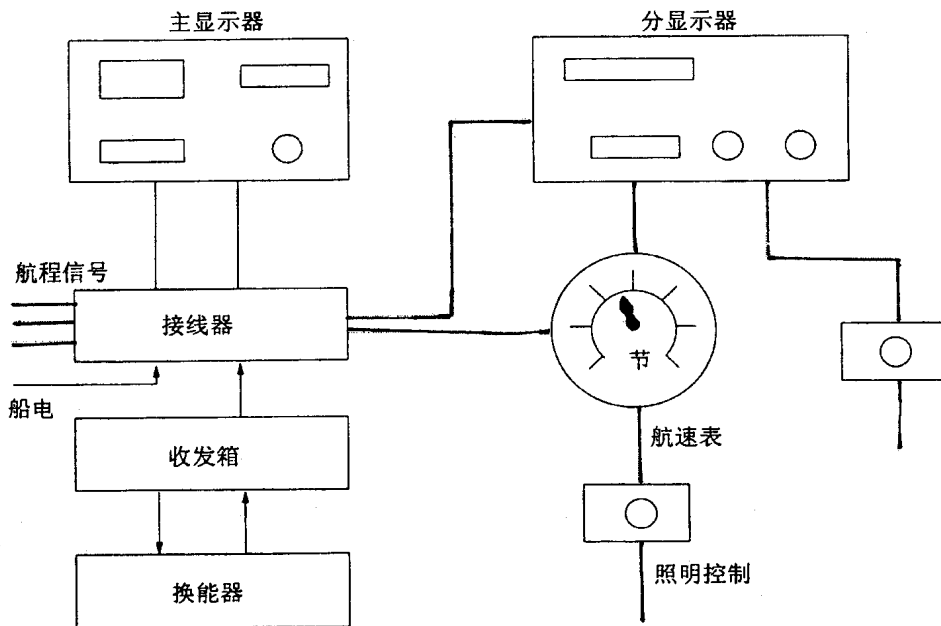


图 2-1-67

3) 显示器

3. 影响多普勒计程仪测速精度的因素

1) 声速变化的影响

声速变化的影响将是影响测量精度的主要因素。

2) 船舶上下颠簸的影响

如图 2-1-68 所示。设船舶上下颠簸的速度为 U ，当 U 朝上时，
单波束发射与接收回波信号的多普勒频移为：

$$\Delta f = \frac{2f_T}{C} (V \cos \theta - U \sin \theta)$$

双波束多普勒计程仪就是在船底安装以相同的 θ 分别向船首、船尾和向左舷、右舷发射和接收超声波，所测的多普勒频移 Δf 中消除了船舶上下颠簸速度 U 的影响，测得了较精确的航速。

其原理如下：

向船首方向发射与接收产生的多普勒频移为：

$$\Delta f_F = \frac{2f_T}{C} (V \cos \theta - U \sin \theta) \quad ,$$

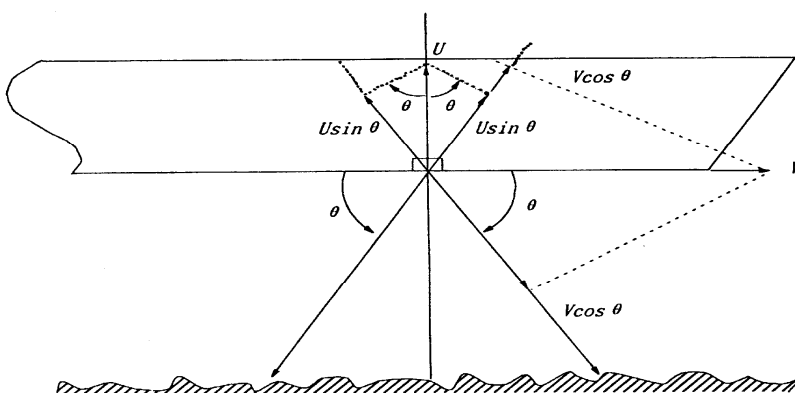


图 2-1-68

向船尾方向发射与接收产生的多普勒频移为：

$$\Delta f_A = \frac{2f_T}{C} (-V \cos \theta - U \sin \theta)$$

那么：

$$\begin{aligned} \Delta f &= \Delta f_F - \Delta f_A = \left[\frac{2f_T}{C} (V \cos \theta - U \sin \theta) \right] - \left[\frac{2f_T}{C} (-V \cos \theta - U \sin \theta) \right] \\ &= \frac{4Vf_T \cos \theta}{C} \end{aligned}$$

双波束多普勒计程仪的测速原理公式为：

$$V = \frac{C}{4f_T \cos \theta} \cdot \Delta f$$

式中 $\frac{C}{4f_T \cos \theta}$ 为常数

双波束多普勒计程仪不但能有效地消除船舶上下颠簸对测速的影响，还较好的消除了船舶纵摇对测速的影响和单波束计程仪的非线性测速误差。

4. 多普勒计程仪的分类

多普勒计程仪按其测量船舶不同航速可分为如下几种类型。

1) 一元多普勒计程仪(monogenesis doppler log)

青岛远洋船员学院备课纸

即单轴多普勒计程仪，简称为多普计程仪。它在船底安装有两个换能器，分别向船首方向和船尾方向发射和接收超声波，即采用双波束发射与接收，只能测量船舶前进和后退速度。

2) 二元多普勒计程仪(dual doppler log)

即双轴多普勒计程仪，又称为多普勒导航仪，它在船底靠近船首位置（距船首约 $\frac{1}{5}$ 船长处）安装有四个换能器，分别向船首、船尾和向左舷、右舷发射和接收超声波，即采用四波束发射与接收，能够测量船舶前进、后退速度和船首左右方向移动速度。

3) 三元多普勒计程仪(ternary doppler log)

即三轴多普勒计程仪 three-axial，又称为多普勒进港系统及速度计程仪。它除了在船底靠近船首位置安装有四个换能器，分别向船首、船尾方向和向左舷、右舷方向发射和接收超声波，即采用四波束发射与接收外，还在靠近船尾位置安装二个换能器，分别向左舷、右舷方向发射和接收超声波，即采用六波束发射与接收。除了能够测量船舶前进、后退速度和船首左右移动速度外，还测量船尾左右方向移动的速度。

5. 多普勒计程仪的使用与注意

1) SRD-401 型多普勒计程仪

SRD-401 型多普勒计程仪的速度门限为 0.01kn(0.5cm/s)，由于采用了自动“温度补偿”，测量精度为 $\pm 1\%$ ；最大跟踪深度为 90m；纵向速度范围为 0~35kn，横向速度范围为 0~10kn；航程范围为 0~9999.9 n mile；超声波频率为 400KHz。采用“kn”或“m/s”数字显示船舶前进、后退速度和船首、船尾横向移动速度。

使用：

一是将电子柜上的“电源开关”由“OFF”位置转换到“ON”位置；

二是将主显示器上的“电源开关”由“OFF”位置转换到“ON”位置，仪器即可正常工作。

在使用过程中，可根据需要选择显示器的显示速度单位是“kn”还是“m/s”。

2) MF100 型多普勒计程仪

（自学为主）

三、声相关计程仪(acoustic correlation log)

利用对水声信息的相关技术处理来测量船舶航速和累计船舶航程。

特点：不但能够测量船舶速度、航程，还可以测量水深，测量精度高。

1. 声相关计程仪组成及各部分的主要作用

一台声相关计程仪主要由换能器(transducer)（发射换能器 B_t 和接收换能器 B_f 、 B_a ）、电子柜(electronic unit)和显示器组成。

发射换能器 B_t 安装在船底中部，由电子柜中发射系统产生的电信号推动，以较大的波束宽度向垂直方向和船首、船尾（双轴声相关计程仪还向左右舷方向发射）方向发射超声波。安装在船底靠近船首的接收换能器 B_f 和靠近船尾的接收换能器 B_a ，分别接收反射回波信号并送到电子柜。

电子柜内包括电源系统(supply system)、发射系统(transmitting system)、放大器 I、

II (amplifiers) 和相关处理器 III (correlation processor) 等。电源系统将船电转换为计程仪所需要的电源；发射系统产生具有较大功率的电信号推动发射换能器工作；放大器 I、II 分别放大来自两个接收换能器的回波信号；相关处理器 III 对经放大后的两路回波信号进行延时、乘法、积分等相关运算处理，解算出航速信息、航程信息和水深信息，送给显示器。而航速信息还送给 ARPA 等其他航海仪器，作为其自动航速输入。

显示器将电子柜解算出的航速信息、航程信息和水深信息转换为航速、航程和水深，并

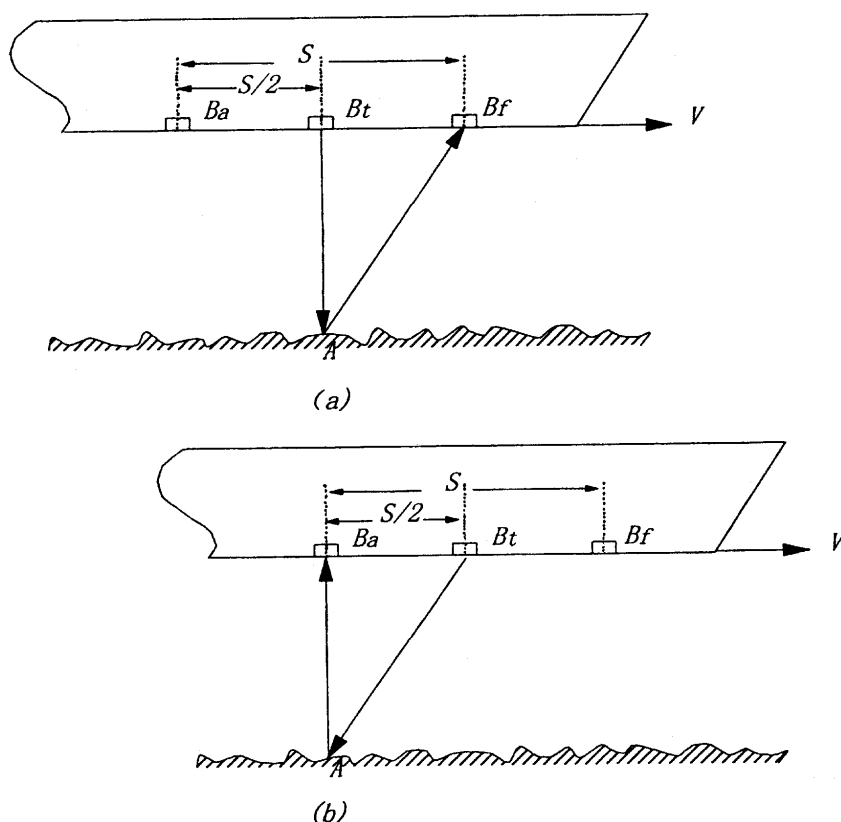


图 2-1-70

以数字方式显示。

2. 测速原理

声相关：在水中传播路径完全相同的两个回波信号，所含的水声信息也完全相同。

船首尾接收换能器 B_f 和 B_a 之间的距离为 S （换能器基线），接收换能器距发射换能器 B_t 的水平距离均为 $\frac{S}{2}$ 。

发射换能器 B_t 以较大波束宽度向水下连续发射超声波，当船舶以航速 V 航行时，位于船底船首部分的接收换能器 B_f 和 B_a 连续接收反射回波。

接收时刻 $t = t_1$ 时, 接收换能器 B_r , 接收到发射换能器 B_t 发射的沿垂直方向传播到海底 A 点后被反射的回波信号 $f_1(t)$ 。

接收时刻 $t = t_2$ 时, 经过时间间隔 τ (相关延时), 船舶航行 $\frac{S}{2}$ 距离, 船尾部分的接收换能器 B_a 接收到了来自同一海底位置 A 反射的, 传播路径与 $f_1(t)$ 完全相同的回波信号 $f_2(t)$ 。信号相关的。

船舶的航速应为:

$$V = \frac{1}{2} \cdot \frac{S}{\tau}$$

3. 声相关计程仪的使用 (SAL-865 型)

SAL-865 型声相关计程仪是瑞典札纳公司生产的一种最新双轴计程仪, 不但可以测量船舶纵向航行速度, 而且还可以测量船舶横向移动速度。在大型和超大型船舶进出港、靠离泊或进出坞时, 能够指示出人的视觉所无法测定的船舶极为微小的横移速度, 以确保船舶的安全。

SAL-865 型声相关计程仪由换能器(transducer)、微机(microcomputer)、信号分配箱(signal distribution box)和航速、航程、水深显示器(speed and distance and depth display unit)组成。跟踪方式分为海底跟踪和水层跟踪, 最大海底跟踪水深为 300m, 当水深超过 300m 时自动转换为跟踪水层; 测量纵向速度范围为 $-8 \sim +40\text{kn}$, 测量横向速度范围为 $-8 \sim +8 \text{ kn}$; 纵向航程指示范围为 9999.9 n mile, 横向航程范围为 999.9 n mile; 门限速度为 0.1 kn; 对海底跟踪时测深范围为 2 m~300 m; 工作频率为 150kHz。

SAL-865 型声相关计程仪使用非常方便。安装在驾驶台的显示器上设有“电源与亮度调节旋钮”和“跟踪方式选择旋钮”, 顺时针转动“电源与亮度调节旋钮”接通电源后, 仪器即可正常工作, 各显示窗口以数字方式显示航速、航程、水深等。当“跟踪方式选择旋钮”选择对海底跟踪时, 测量绝对航速和航程。水深超过 300m 时自动转换为对水层跟踪, 也可以通过“跟踪方式选择旋钮”直接选择对水层跟踪。

四、三种计程仪的比较与误差分析

电磁计程仪: 相对计程仪, 单轴计程仪, 只能测量船舶对水的纵向航速、航程。测量精度受水流、传感器工作性能、放大器线性程度和显示器的显示性能等影响。现代船舶上使用较少。

多普勒计程仪: 与电磁计程仪相比较, 测量精度高; 门限速度小; 能测船舶横移速度, 显示方式精确 m/s; 能测船舶绝对速度, 提供给其他航仪。测量误差主要由于超声波在水中的传播速度发生变化引起的, 误差相对较小(若具有“水温补偿”和“盐分补偿”功能, 误差可忽略不计)当水深较深超过其跟踪水深时, 计程仪只能对水层跟踪, 测量相对水层的航速、航程。

声相关计程仪, 功能比较齐全、比较先进。它与电磁计程仪比较具有测量精度高; 能够测量绝对航速、航程; 能够测量船舶横移速度等优点。与多普勒计程仪比较, 它除了具有与多普勒计程仪相同的优点外, 在海底跟踪状态下还可以测量水深, 即兼有测深仪的作用; 测

青岛远洋船员学院备课纸

速精度不受超声波在水中传播速度变化的影响，比多普勒计程仪的测量精度高。

多普勒计程仪和声相关计程仪是现代船舶上使用最多的两种计程仪。