

## 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；

$\sigma$  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°C，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。

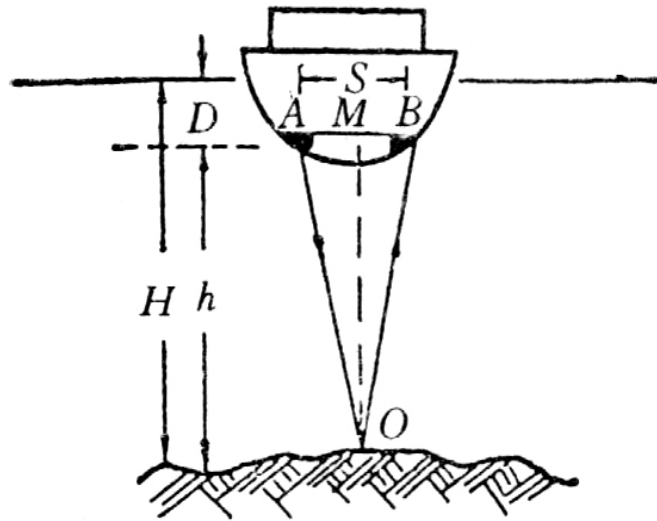


图 2-1-57

## 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(flashing 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。

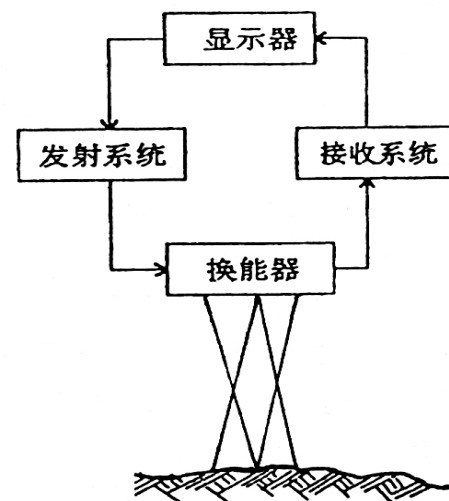


图 2-1-59

## 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 , $h_{max}$ )

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  $0.3\text{s}$ , 其最大测深深度为  $225\text{m}$ ; 另一船舶上回声测深仪的最大测量深度为  $400\text{m}$ , 则其设计的脉冲重复周期  $T$  约为  $0.6\text{s}$ 。

远洋船舶的最大测深  $400\text{m}$  以上, 近海船舶的最大测深深  $200\text{m}$ 。海洋测量船舶的最大测深  $2000\sim 10000\text{m}$  以上。

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

由发射脉冲的宽度  $\tau$  决定。

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

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

## 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  $0.3\text{ s} \sim 0.6\text{s}$ 。

## 4) 脉冲宽度 (pulse duration, $\tau$ )

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  $20\text{KHz} \sim 60\text{KHz}$ , 最大为  $200\text{KHz}$ 。

## 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)  $\beta$  大于波束开角  $\theta$  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  $\theta$  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。

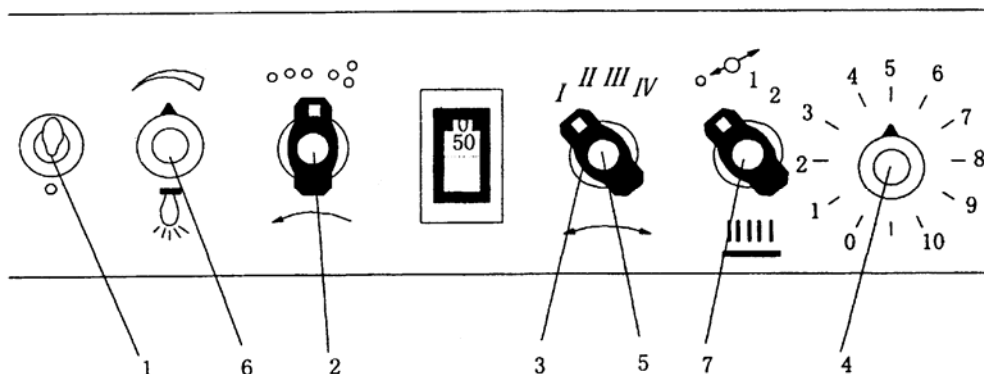


图 2-1-60

- 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记录纸速度控钮 (record paper speed control) : 在 1.2 ~ 12m/min 范围内调节记录纸移动速度。
- ⑥时间增益控钮 (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“照明控钮”, 使显示器照明合适。
- ③根据需要选择显示方式和量程, 当选择  $O_1$  或  $O_2$  时 ( $O_1=0 \sim 99.9m$ ,  $O_2=0 \sim 500m$ ) 只有数字显示。当选择 A、B、C、D 档 ( $A=0 \sim 10m$ ,  $B=0 \sim 25m$ ,  $C=0 \sim 50m$ ,  $D=0 \sim 500m$ ) 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根据需要选择记录纸速度。
- 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

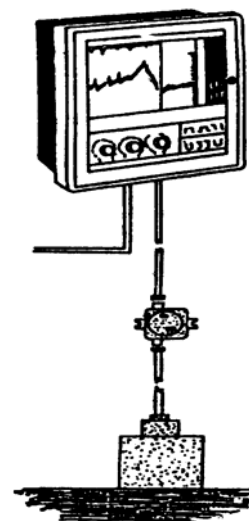


图 2-1-61

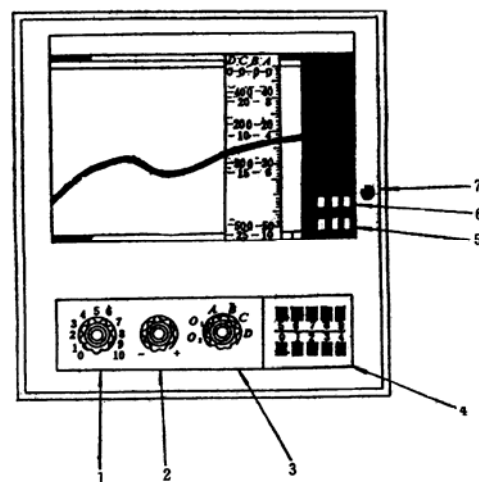


图 2-1-62

- 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

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。检查方法是掀下定位标志按钮，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。