

轻便海流计*

吴葆仁 宋文洋

(山东海洋学院)

海流是海洋水文要素之一,是海洋调查和物理海洋学研究的重要课题。此外,在海洋工程、海上军事活动、海洋渔业以及水产养殖等工作中,也经常需要测定海流的速度和方向。在一般性海洋调查中,主要要求能够简便而迅速地得到相当准确的测量结果。

就测流仪器的发展过程而言,最古老的是漂浮法中使用的浮子,现已发展成雷达或声纳追踪的测流装置。近代的电磁海流计和声学海流计也显示了各自独特的优点。然而,目前应用最广的仍然是机械转子型海流计。因为它们在制造和使用方面仍然比较简单、可靠。

机械转子型海流计的基本结构,是依转子受水流推动的转速来确定流速。其中厄克曼海流计,自1905年创制以来至今仍在用。目前,转子型海流计在讯号的传送和记录方面出现了许多改进,已达到自动化电子化的阶段^[2]。在转子本身的类型上也出现了多种型式,有些在性能上有所改进,如萨沃纽斯转子(Savonius rotor)^[1]。按照给出资料的方式,机械转子型海流计又可分为:厄克曼型、印刷型、照相自记型、磁带自记型、直读型、遥测型等^[3]。

厄克曼型海流计的优点是结构简单,使用深度不受限制。它的缺点是资料的连续性差,操作和整理资料烦琐,效率低。即使每小时只取一次资料,如果观测的层数较多时,操作作用的时间也很可观了。自记型海流计基本上克服了厄克曼型海流计的缺点,操作和资料整理都比较方便迅速,最重要的优点是资料的连续性好。由于工作时不需看管,减少了所需的人力。其主要缺点是仪器的工作情况没有指示系统,往往因故障而中断工作但又不能及时发现;此外,在进行多层测流时,需要的仪器数量较多。直读型海流计的优点是取得资料方便迅速,便于及时了解仪器的工作情况。其缺点是需要专人维持记录。因此,对于船用测流仪器而言,若观测深度不大(例如200米以内),采用直读兼自记的方案则利多弊,是比较适宜的。因为,在此深度范围内使用电缆不至于有派生的困难;仪器能具有直读和自记的优点;还可用一台仪器依次进行多层测流。

海流是一个复杂的自然现象。一般说来,海流可以看成是一个稳定的流动加上一些瞬时的扰动和周期性的运动。在实际的观测中不仅有长周期的变化,而且有一些短周期的变化以及无规律的变化^[2]。各种测流仪器的观测资料,是对海流以某种方式作的描述。例如,厄克曼型海流计的流速和流向均属平均值。而各种自记型和直读型海流计的性能则

* 本文承山东海洋学院赫崇本教授审阅并提出宝贵意见,仪器在研制过程中山东海洋学院王树温及姜开桃等有关同志做了许多工作,在现场试用中,国家海洋局北海分局调查队有关同志提供了许多宝贵的建设性意见。本刊编辑部收到稿件日期:1978年8月15日。

1) 见海洋科技资料,4: 1—12“国外海流测量仪器的发展概况”。

不尽相同,比较常见的是流速属于平均值,流向属于瞬时值;有些直读型海流计其流速和流向均属瞬时值。这里所说的平均值一般是数十秒或数百秒的平均值,所说的瞬时值只是相对于平均值而言,或者表示在更短时间内的平均值。从目前对资料的要求来看,常规的测流任务只需要流速和流向的平均值。随着近代科学的发展,流速和流向随时间的变化也已为海洋科学工作者所关心,希望能测出它们的瞬时值。

为了克服我国目前海流计产品中存在的困难并满足海流研究工作的需要,我们针对实际存在的问题进行了研制。在研制过程中,通过多次现场实验和征询使用单位意见,确定了以下三项要求:(1)直读和自记兼顾;(2)测量瞬时值和平均值兼顾;(3)轻便可靠。ZD-3型直读式海流计就是按上述要求研制的。

该仪器包括三个部分,如图1照片所示:水上指示器,重3kg;水下探测器,重8kg;电缆,重5kg/100米,故使用轻便。

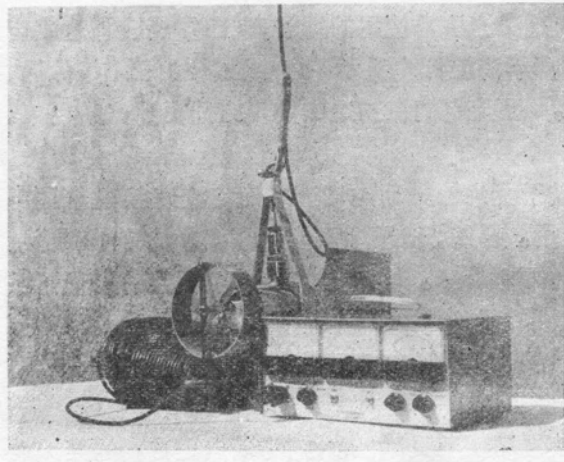


图 1

于在不同类型的船只上使用。

在船只锚定的条件下,可以用它测定200米以内所要求深度上的流速和流向,能够按瞬时值或平均值给出指示。配用满度值10mv的记录器(XWD-300型)即可进行自记。深度测量范围为0~200米或0~100米,准确度 $\pm 2\%$ 满度值;流速测量范围0.04~2米/秒,分两挡,准确度 $\pm 2\%$ 满度值;流向测量范围0~360°磁流向,准确度 $\pm 10^\circ$ 。电源可以用12伏直流,以干电池或蓄电池供电;也可以用220伏交流电源供电,便

仪 器 系 统

仪器用三芯轻便电缆传输讯号,并可负担水下探测器的重量。深度和流向采取直流测量系统,流速采取超低频脉冲系统,分别用微安表作指示器。仪器中普遍采用了贵金属的有接触型发讯器。这样,就能够在保证可靠性的前提下简化仪器的结构。

流向这个参数进行远距离传送是比较困难的。一些同步型传送系统不仅结构复杂,占用电缆芯数多,而且不便输出记录讯号。我们注意到以结构简单为特点的日本产品CM-2型海流计,其流向系统直接用磁罗经带动一个精密电位器,用通用的微安表作指示器。本仪器流向系统的基本原理与它相仿,但有所改进,增加了消除摆动取得平均值的效能。这个看来比较简单的流向发讯器,对所用材料和加工过程却有很高的要求。因为,一个小型磁罗经在偏离地磁场不超过 10° 的条件下,其复位力矩是很微弱的。尽管如此,它的优点却比较明显:结构简单,占用电缆芯数少,便于输出测得的讯号。

仪器的测量系统如图2所示,同轴多刀开关 K_{9-14} 用于动态特性的改变,以测量瞬时值或平均值。磁罗经带动的流向发讯电位器 R_1 ,通过电缆芯线3接入流向电桥。电桥在流向为 0° (磁正北)正好平衡。当流向为其它角度时,电桥即输出相应的不平衡电压,由用

作流向指示器的微安表给出指示。在平均值挡位“阻尼”单元被接入，这是一个并联的大电容，利用电容的充电和放电过程对微安表产生阻尼作用。采用约 10 秒的时间常数，即可消除风浪等因素带来的摆动。然而，当被测流向接近 0° 或 360° 时，不论流向发讯器在流向顺时针或逆时针转动时，其 0° 和 360° 并不是连续的，而是最小值和最大值，这时，并联电容的平均作用就会使指示器指到刻度的中部，即 180° 附近。显然，这样的假象是不能容许的。为此，在测量系统中设置了“辅助置零”单元。当流向发生 $0-360^\circ$ 的摆动时，这一电路便能产生动作，使指示器和记录讯号置于零。

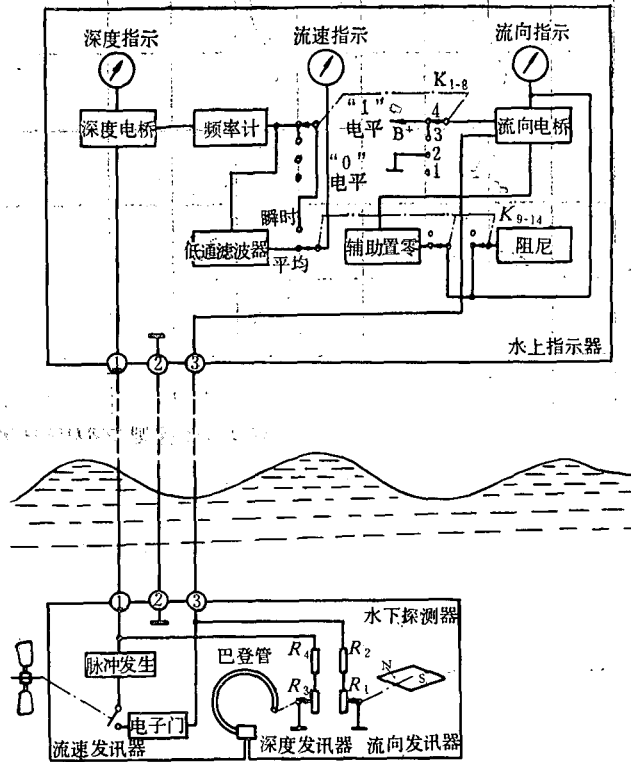


图 2

仪器用旋桨型转子感受流速，其转速与被测流速成正比。在整个测量范围内具有良好的线性，其特性余数约为 2.5 转/米。在满度流速下，旋桨转速 $n = 2.5 (\text{转/米}) \times 2 (\text{米/秒}) = 5 (\text{转/秒})$ 。旋桨通过磁性联轴器传动流速发讯器 K_0 (每周有四个触头的滑动开关)。仪器的工作状态用多刀开关 K_{1-3} 控制，第 1 挡为关机，第 2 挡为测深，第 3 挡测 $0.04 \sim 1 (\text{米/秒})$ 流速和流向，第 4 挡测 $0.04 \sim 2 (\text{米/秒})$ 流速和流向。在 3、4 两挡，流向电桥接通电源 B_+ ，流向电桥正常工作，同时使电缆芯线 3 处于“1”电平，水下探测器中的电子门输出为“1”电平。这时，开关 K_0 每动作一次都能触发脉冲发生器，使之产生一个电流脉冲，其频率正比于被测流速。

这些电流脉冲通过电缆芯线 1，在深度电桥中形成电压脉冲并输给频率计单元。频率计电路能够输出正比于脉冲频率的电流，即正比于被测流速的电流，由微安表给出读数。在测量瞬时值时，微安表直接与频率计的输出端相接；在测量平均值时，则被接到超

低通滤波器的输出端。滤波器对流速在短周期的脉动有很强的抑制,在它的输出端只留下长周期的变化。这样取得的平均值,具有“滑动平均”的意义。图 3 为本仪器配记录器用瞬时挡记录的流速和流向曲线;图 4 则为用平均挡记录的流速和流向曲线,测点都在胶州湾口。由图 3 可以看到,频繁的脉动都被本仪器记录下来。在图 4 中,小周期的脉动已被滤掉。

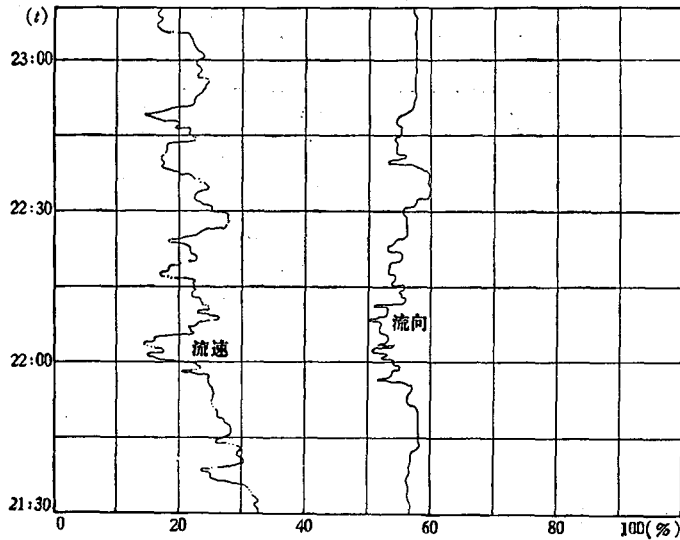


图 3

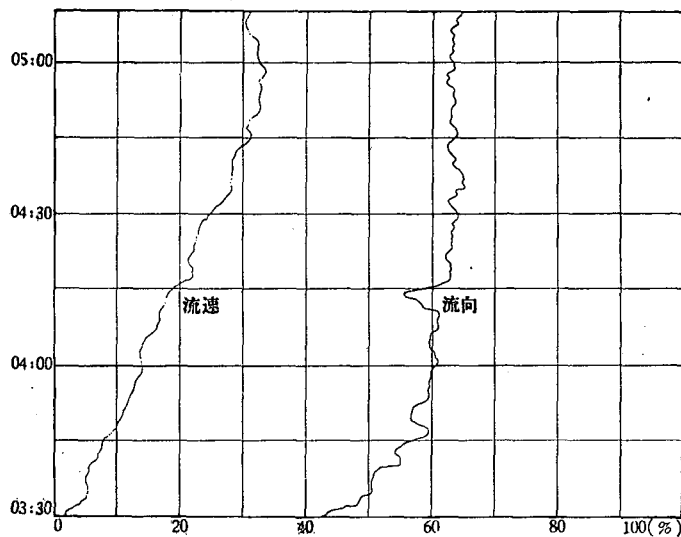
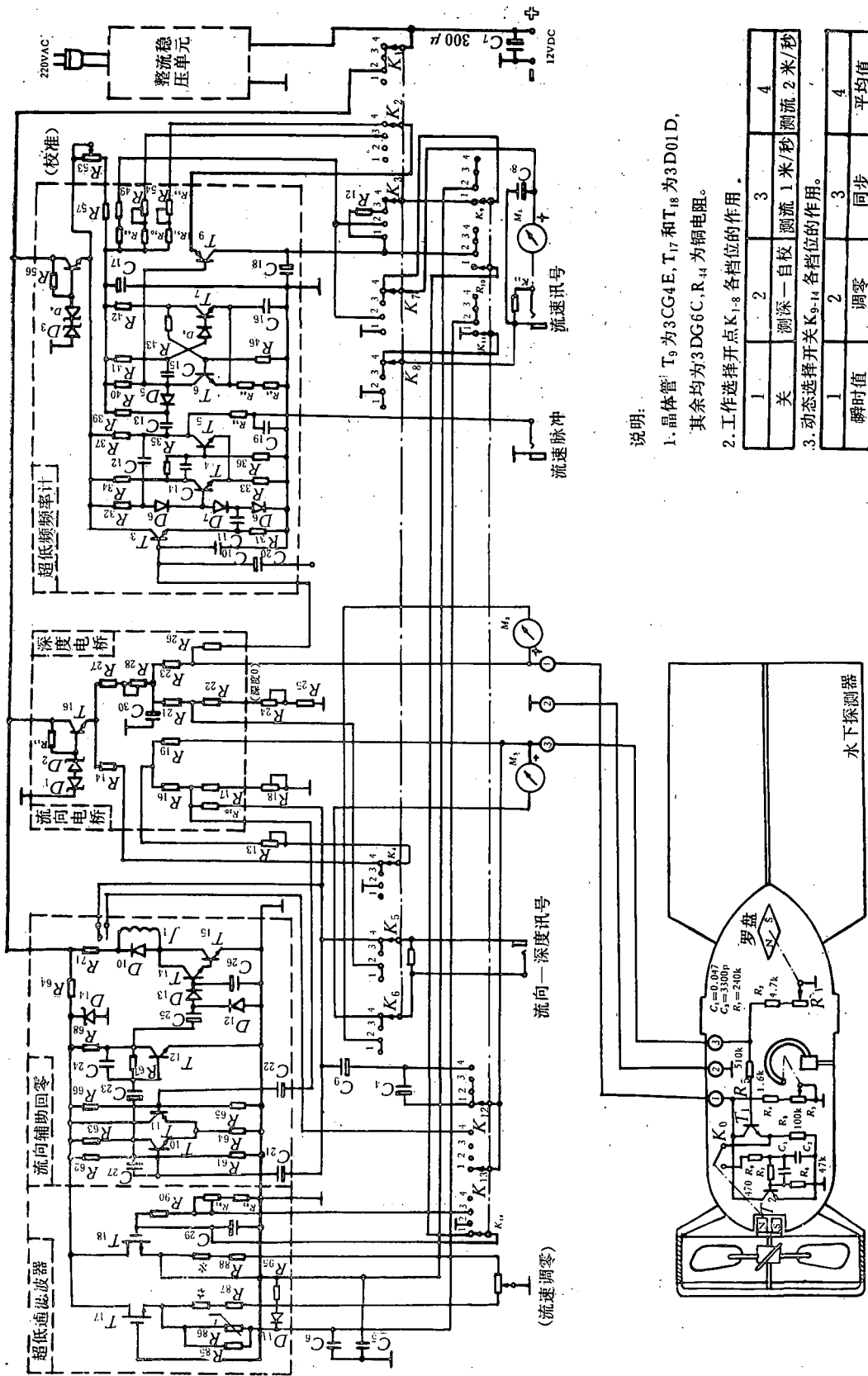


图 4

在有的文献中提到,转子和触头有时可能产生附加的往复运动而造成多余的脉冲^[2]。这种现象在流速较低时是较易发生的,因此在本仪器的水下探测器中,所用的脉冲发生器仅能在 K_0 刚接触的瞬间通过电容 C_1 充电而触发,因为电路参数的设计使得 R_1 和 R_2 的分压比在 K_0 接通时也不能使 T_1 导通。即使在 K_0 脱离接触以后,还需要有一段恢复时间



说明:
 1. 晶体管: T₉ 为 3CG4E, T₁₇ 和 T₁₈ 为 3D01D, 其余均为 3DG6C, R₄₄ 为铜电阻。
 2. 工作选择开关 K₁₋₈ 各档位的作用。

1	2	3	4
关	测深—自校	测流 1 米/秒	测流 2 米/秒
1	2	3	4
瞬时值	调零	同步	平均值

图 5

($R_7 \cdot C_1$) 才能再次被触发, 因此能抑制快速的重复触发。在频率计电路中, 又设置了 T_4 和 T_5 构成的加宽整形电路, 它也能起到抑制多余脉冲的作用。

多刀开关放到第 2 挡, 流向电桥被切除电源停止工作, 电缆芯线 3 变为“0”电平, 水下电子门的输出也变为“0”电平。这时, 尽管旋桨仍带动 K_0 动作, 却不能触发“脉冲发生器”, 因而流速测量系统停止工作。深度测量系统在没有流速脉冲干扰的条件下进入正常工作。其原理是用波登管把海水的压力变为管端位移, 由它驱动的深度发讯电位器 R_3 经电缆芯线 1 接入深度电桥。电桥在深度为 0 米平衡。当深度为其它数值时, 电桥即输出不平衡电压, 给出深度指示¹⁾。

仪器的实际电路如图 5 所示, 其中 K_{1-8} 实际是 8 刀 4 位开关, K_{9-14} 实际是 6 刀 4 位开关。电路中各部分的作用, 已按系统图的单元加以标注。各晶体管的作用简述如下: T_1 为水下电子门; T_2 为脉冲发生器; T_3 为射极跟随器; T_4 、 T_5 为脉冲加宽触发器; T_6 、 T_7 为流速脉冲整形触发器; T_8 为频率计的脉冲恒流开关; T_{10} 、 T_{11} 为流向过零度讯号放大; T_{12} 为选通放大; T_{14} 、 T_{15} 为继电器驱动器; T_9 、 T_{16} 为减生式稳压; T_{19} 、 T_{20} 为场效应管差动跟随器。

流 速 平 均 值

在频率计电路中, T_6 和 T_7 将流速脉冲整形到一定的幅度 u 和宽度 τ , 驱动恒流开关 T_8 , 频率计的输出电流为:

$$I_M = f \cdot \tau \cdot \frac{u}{R_e} \quad (1)$$

式中: f 为流速脉冲的频率; R_e 为在 T_8 射极回路中的电阻。可见, 频率计的输出电流正比于流速脉冲的频率, 即正比于被测流速。

前面已经提到, 在实际的海流中包含着很多不同周期的变化。在测量平均值的挡位, 频率计的输出电流 I_M 在电阻 R_{91} 和 R_{92} 上变为正比于被测流速的电压讯号。流速的平均值, 就是用低通滤波器滤除其中短周期的脉动而取得的。滤波器由 $R-C$ 网络构成, 用场效应管跟随器变换为低输出阻抗, 以驱动作为指示器的微安表。在电路中,

$$R = R_{90}, \quad C = C_{29}$$

这个 $R-C$ 网络的振幅频率特性是

$$A = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} \quad (2)$$

式中, ω 为滤波器的输入讯号之角频率, 即被测流速中脉动成份的角频率。对于周期为 T 的脉动成份来说, $\omega = 2\pi/T$, 换用周期表示就是:

$$A = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi RC}{T}\right)^2}} \quad (3)$$

所以这个滤波器的转折周期是:

1) 见宋文祥、吴葆仁, 1976。《一个简单可靠的深度传感器的设计及其性能分析》一文。海洋仪器 1:22~32。

$$T_0 = 2\pi RC \quad (4)$$

在电路中,实际所用的 $R = 2.1 \text{ M}\Omega$, $C = 47 \text{ }\mu\text{f}$, $RC \approx 100$ 秒,故 $T_0 \approx 630$ 秒。这就是说,对于周期为 630 秒以上的脉动成份,才不会受到明显的抑制。为了使仪器在放到预定水层中以后能迅速进入正常工作,切换动态特性的 K_{9-14} 在第 3 挡为“同步”。 K_{14} 将电阻 R_{90} 短接,电容 C_{29} 上的电压便迅速与输入讯号同步。在此挡停约 3 秒钟,再拨到平均值挡位,可以缩短滤波器的过渡过程。

发 讯 器

一般说来,无接触型的发讯器和测量系统是人们都感兴趣的,因为它可以避免因接触不良引起的故障,以及因接触带来的摩擦力等不理想因素。然而,采用贵金属的接触元件,则可以在很小的接触压力下保持良好的电接触。这样,既可以克服接触不良,也可以减小摩擦带来的呆滞。同时,还可以使仪器的结构和测量系统得到简化。

在本仪器的水下探测器中,比较普遍地采用贵金属的有接触型发讯器。这样做可以在保证可靠性的前提下,简化仪器的结构。深度发讯器为弧形精密铂铱线绕电位器;配钽铀合金丝的电刷。流向发讯器为一小型环状镍金线绕电位器,配钽铀合金丝电刷,并密封在一个充油容器中。流速发讯器采用钽银合金的滑环和触头,也配钽铀合金丝电刷,密封在另一个充油容器中。为了保证工作的可靠,所有的电刷都是双触头的。

结 语

海洋仪器与一般仪器仪表的工作条件是不相同的。一种海洋仪器是否能够得到肯定,除了满足一般仪器仪表的要求之外,还要求能在海上恶劣的环境中正常工作,并正确地反应海洋被测参数的特性。本仪器在研制过程中也曾进行了多次试验和改进,研制完成后曾制造了若干台交付海洋调查、海洋水产、海洋工程等部门使用,继续在现场进行考验,效果较好。今后还需在使用过程中继续改进、提高以满足客观的要求。该仪器除了用于一般测流任务之外,经初步试验表明,还可以用浮子将水下探测器漂离船体进行表层流的观测。

参 考 文 献

- [1] Paquette, R. G. 1963. Practical problems in the direct measurement of ocean currents. *Marine Sciences Instrumentation* 2: 135—146.
- [2] Smith, P. F. & E. Fredkin, 1963. Computers and Transducers. *Marine Sciences Instrumentation* 2: 81—86.

A PORTABLE CURRENT METER

Wu Baoren and Song Wenyang

(Shandong College of Oceanology)

ABSTRACT

Some rotor current meters are reviewed briefly and the mechanism of the portable current meter is elucidated. The measuring system and the dynamic characteristic of the instrument are discussed.

The flow velocity and direction can be shown on the indicator of this instrument simultaneously either in terms of transient value or mean value. The output signal can be recorded continuously by a recorder. The depth indicator can measure depths down to 100 meters or 200 meters. A directreading system is equipped as a monitor.