

## MDCB 脉冲式电接测波仪\*

濮培民

(中国科学院南京地理研究所湖泊室)

江、河、湖、海水面的波浪对水上和岸边工程有巨大的冲击作用,也可造成船只的剧烈颠簸和振动。波浪对电磁波有复杂的散射作用,并对水中物质的扩散交换和泥沙运移产生重大影响等等。因此,在许多工程设计(如闸坝、湖岸加固,海底开发,海港、海岸工程)、船舶设计、航海保证及其它理论和实际问题中都需要确切的波浪资料。近20—30年来,各国已研制和采用了多种观测波浪的仪器和方法。主要可分为位于水上、水面附近和水下的三类测波仪。一切可从水上测量到水面距离和水面倾斜度的仪器和方法都可用来测量波浪,例如雷达、红外、声学、激光系统,光照摄影,立体摄影等。位于水面附近的有杆式测波仪和加速度计测波仪。位于水下的有压力式和向上看的声纳等测波仪。为满足生产和科研需要,我国也研制和生产了多种形式的测波仪。如光学岸用测波仪,重力加速度式、压力式、回声测深式和杆式电接测波仪等等。事物都是一分为二的,各类仪器在测量精度、资料分析处理、可测的波频范围和野外观测的适用性等方面都各有其优缺点。其中杆式电接测波仪如果设计得好,可以有自校性和精度高的优点。使它可以成为检验其它测波仪的手段。

通常,杆式电接测波仪是通过等间距安装的触点或磁性干簧管开关等方式,把水位连续变化转换成离散信号。为此可采用阶梯式地直接或通过电子机械(或晶体管)继电器间接串联(或并联)电阻(或电容),或者采用触发脉冲信号等方式。在这类仪器中,相邻两个阶梯式输出信号所对应的波面的铅直位移是相邻两触点间的轴向间距。因此,不需要对输出信号作其它校验或订正,只要仪器能保证每个电极接触或脱离水面时有确切的信号和阶梯式记录,就能使仪器具有与触点轴向间距相当的测量精度。为了使这类仪器能供野外长期使用,必需提高仪器稳定性以及对多变环境的适应性、自校性和测量的精度与范围,解决好电极极化、水膜残留和模拟量记录中的零点漂移和非线性以及数据处理自动化等问题。

本文介绍的脉冲式电接测波仪(按汉语拼音字简称MDCB)采用了一些特别的线路设计,在解决上述问题方面取得了一些进展。现将解决这些问题的办法和MDCB的结构原理、环境试验情况及其资料的整理分析问题概述如下。

### 一、对几个问题的讨论

#### 1. 利用水的导电性和等间距布置在测波杆上的电极触点可以简易地把水位的连续变

\* 本文系江苏省三河闸管理处和中国科学院南京地理所关于风浪观测研究协作项目的研究报告之一。参加MDCB研制工作的,还有江苏省三河闸管理处的张其泰、黄信昌、赵钰民、徐家荣和南京地理所的王银珠、范云崎、张圣照等同志;本文插图承周维功同志清绘,均此表示衷心感谢。

本刊编辑部收到稿件日期: 1979年3月17日。

化转换为线性的离散信号。但水的导电率随水质和温度的变化可以在很大的范围内变化,并且电极通以直流电后要极化(试验表明,约增加电阻率 40%)。所以,当水质、水温变化或电极上附着藻类、油污或其它杂物时,电极与水中公共电极间的电阻(或电位差)可有较大的变化。水位下降时,沿测波杆潮湿表面的漏电流也可引起误差(即所谓“水膜遗留问题”)。为妥善解决这些问题,使仪器能在多变的环境中正常工作, MDCB 采用晶体管脉冲开关电路。利用开关电路中开门电位和关门电位之间有较大幅度的特点,在一定的电极布置状况下,可选取适当的电参数,使开关电路能在较大幅度变化的环境中正常工作和适应信号的远距离传输。

图 1 是一种开关电路。基极电极位于射极电极上面。选择一定大小的电极,适当布置电极位置并选取一定的阴极电压(阴极电极置于水中)和电阻  $R_1$ 、 $R_2$ , 可使三极开关管  $T_1$  的状态具有

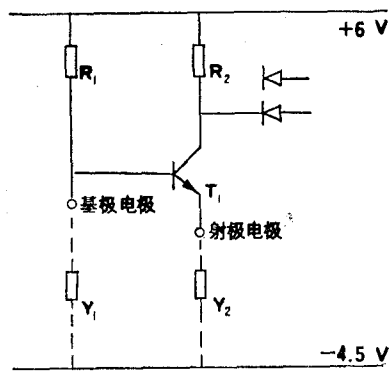


图 1 开关电路示意图

以下特点:当射极电极未入水时,它处于悬空状态,  $T_1$  截止;当射极电极入水一定程度后,  $T_1$  导通;当基极电极也入水后  $T_1$  又截止。在水位下降的情况下、基极电极出水时  $T_1$  导通;射极电极出水时  $T_1$  截止。这样,水位的升降就可触发  $T_1$  集电极有交替出现高低电位的脉冲信号。

2. 为把水位波动触发的脉冲信号转换为相应的水位值,可以有三种方法:一种是首先把水位的升降转换为不同性质(例如:正、负)的脉冲信号,然后对这些信息进行判别和加、减数处理。这种方法所用

传送信号的电缆芯数较少,但它只记录水位的相对变化,容易受干扰和产生积累误差。另一种是把整个量程的水位值编码,记录瞬时水位的绝对值。这种方法不会产生积累误差,但需要传送信号的电缆芯数较多,编码、译码也较复杂。第三种是前两种的结合。MDCB 采用的十进制奇偶数编码法就属于上述第三种方法。把基极与射极电极以轴向间距  $d$  相间排列。同一只三极管的基极电极比射极电极高  $5d$ 。每隔  $10d$  的射极(或基极)电极所对应的三极管的集电极分别接到共正二极管堆的负极。这样,在  $10d$  内十个电极分别接到五只三极管的射极和基极。当水位在  $10d$  内变化时,这五只三极管分别同时有不同的二只(奇数)或三只(偶数)处于导通状态。集电极需要五根导线以输出十组高低电位的不同组合;而水位每相差  $10d$ , 则都有相同的输出信号。

通常,根据脉冲信号发生的次序,可以判断水位的升降。为此,至少需要三根信号线。例如,倘若 1、2、3 三个信号的演变次序为 1, 2, 3, 1, 2, 3, 1, ……的循环变化时代表水位上升,则 3, 2, 1, 3, 2, 1, 3, ……表示水位下降。MDCB 的五根信号线中,有二根传输的是剩余信息,可以用来校正可能出现的错误。因为奇、偶数出错的条件不同,它们可以互相校正。这样做也便于把五个脉冲信号编译成 0—9 十个状态,必要时可由十进制加减计数器累计水位的升降变化。也可只记录个位数的变化。这可大大简化电路,同时又不影响对水位升降的判断(例如 9 变 0 表示水位上升, 0 变为 9 表示水位下降),反而便于读数并节约记录纸(参见图 3)。

3. 波浪资料的统计分析工作比较烦琐, 实现波浪观测数据处理自动化是很有现实意义的。除了直接配专用电子计算机外, 还可采用通用数字电子计算机能接受的方式(用纸带或磁带)记录资料, 随后按一定程序用通用数字电子计算机对资料做各种各样的统计处理。MDCB 采用快速纸带穿孔办法来实现数据处理自动化。国产快速纸带穿孔机一般有 100 行/秒的速度, 足以记录一位或二位波面数值。

## 二、结构原理

MDCB 主要由测波杆及脉冲发生器、脉冲加工控制器和记录器三部分组成(见图 2 及照片 1、2)。固定于水中的脉冲发生器和岸上的脉冲加工控制器之间用七芯电缆连接(二根电源线, 五根信号线)。当需要同时记录电极间距更大的“十位”数时, 还需增加五根信号线)。测波杆用长 2—3 米, 直径 5 厘米的玻璃钢管制成一节节独立单元。脉冲发生器位于每一节单元顶部的管子内。杆子总长度可根据需要由数根单元测波杆积木式地用电缆接头及法兰连接而任意延长。在管子表面上, 每隔沿轴向  $d$  厘米固定一个不锈钢丝电极。

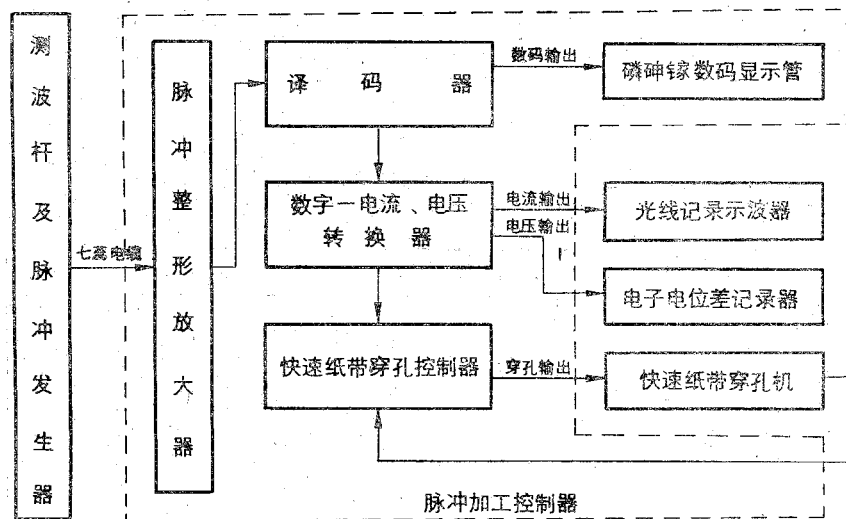
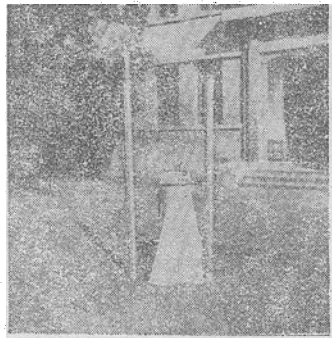
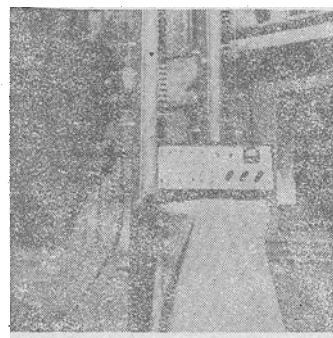


图 2 MDCB 脉冲式电接测波仪方框图



照片 1 MDCB 脉冲式电接测波仪(远景)



照片 2 MDCB 脉冲式电接测波仪(近景)

电极根部用电木压模绝缘以减少水膜遗留的影响。对淡水取  $d = 1, 2, 5$  厘米,对海水取  $d = 2, 5, 10$  厘米。为增加抗干扰能力,增加“十位”电极,其间距分别为  $d_{10} = 20, 25, 30$  厘米。相应的单元测波杆的长度为 2、2.5 和 3 米。电极分别与脉冲发生器内相应的三极管的射极和基极相连。连接方法如上节所述。连接导线及置于杆顶的脉冲发生器密闭在玻璃钢管内。管外固定一阴极不锈钢丝。玻璃钢管外涂有船底防污漆。试验表明,对盐度  $\leq 3\text{‰}$  的淡水和咸水及盐度为 10—40‰ 的咸水,只要分别适当布置电极和选择  $R_1, R_2$  及阴极电压的值,就可得到合适的高低电位输出。

脉冲加工控制器先把脉冲发生器通过电缆传来的五个脉冲信号  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  用双稳态电路整形、放大,然后由二极管译码器把这五个并列的脉冲信号转换为四个并列的,分别用 8、4、2、1 权表示的二—十进制数码信号。当五个脉冲信号中有三个高电位时得偶数,三个为低电位时得奇数。依次可简便地把水位升降引起的  $a_1, \dots, a_5$  五根信号线的高低电位组合译成十进制数码(见表 1,表中数字下有短横者实际参予译码,其余均可省略)。随后又可直接把十进制数用 8、4、2、1 权二—十进制编码表示。进一步推动磷砷镓七段数码显示管并控制具有 8、4、2、1 权电流(电压)量的电子开关动作,实现数字—电流、电压模拟量的转换。最后经过纸带穿孔控制器和快速穿孔机把波面高度的数码在纸带上穿孔。

表 1 十进制奇偶数编码及 8、4、2、1 权二—十进制编码表

(数字下有短横者实际参予译码,其余均可省略)

十进制	五个脉冲信号					二 进 制			
	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	8	4	2	1
0	<u>1</u>	0	0	<u>1</u>	1	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
1	<u>1</u>	<u>0</u>	0	<u>0</u>	1	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>
2	1	<u>1</u>	0	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>
3	1	1	<u>0</u>	0	<u>0</u>	0	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
4	<u>1</u>	1	<u>1</u>	0	0	0	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
5	<u>0</u>	1	1	<u>0</u>	0	0	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>
6	<u>0</u>	<u>1</u>	1	<u>1</u>	0	0	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>
7	0	<u>0</u>	1	1	<u>0</u>	0	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
8	0	0	<u>1</u>	1	<u>1</u>	<u>1</u>	0	0	<u>0</u>
9	<u>0</u>	0	<u>0</u>	1	1	<u>1</u>	0	0	<u>1</u>

采用 SC 光线示波器记录时,可用 FC6-1200 或 FC-IID 振子。调节分流电阻可使记录幅度控制在每个阶梯 2 毫米,9 个阶梯共 18 毫米宽的范围。水面每波动 10d 记一斜线。不管测波仪的量程范围多大,记录纸宽度只用 4 厘米就够了。记录方式如图 3 所示。由于采用数、模结合的记录方式,使记录器的零点漂移和非线性以及扩大测量范围等都不会影响记录精度。

纸带穿孔方式要根据计算机的要求确定。对于 TQ-6 一类通用数字电子计算机,输入方式可用 8 单位国际自然码。它还要求数码之间用“,”号间隔。实际上,为提高穿孔效率,也可采取每连续取样 10 次个位数后加穿一个“,”号,然后由计算机把数码分解开的办法。(图 3a 为每 0.02 秒记录一位波面数值的穿孔纸带式样)。

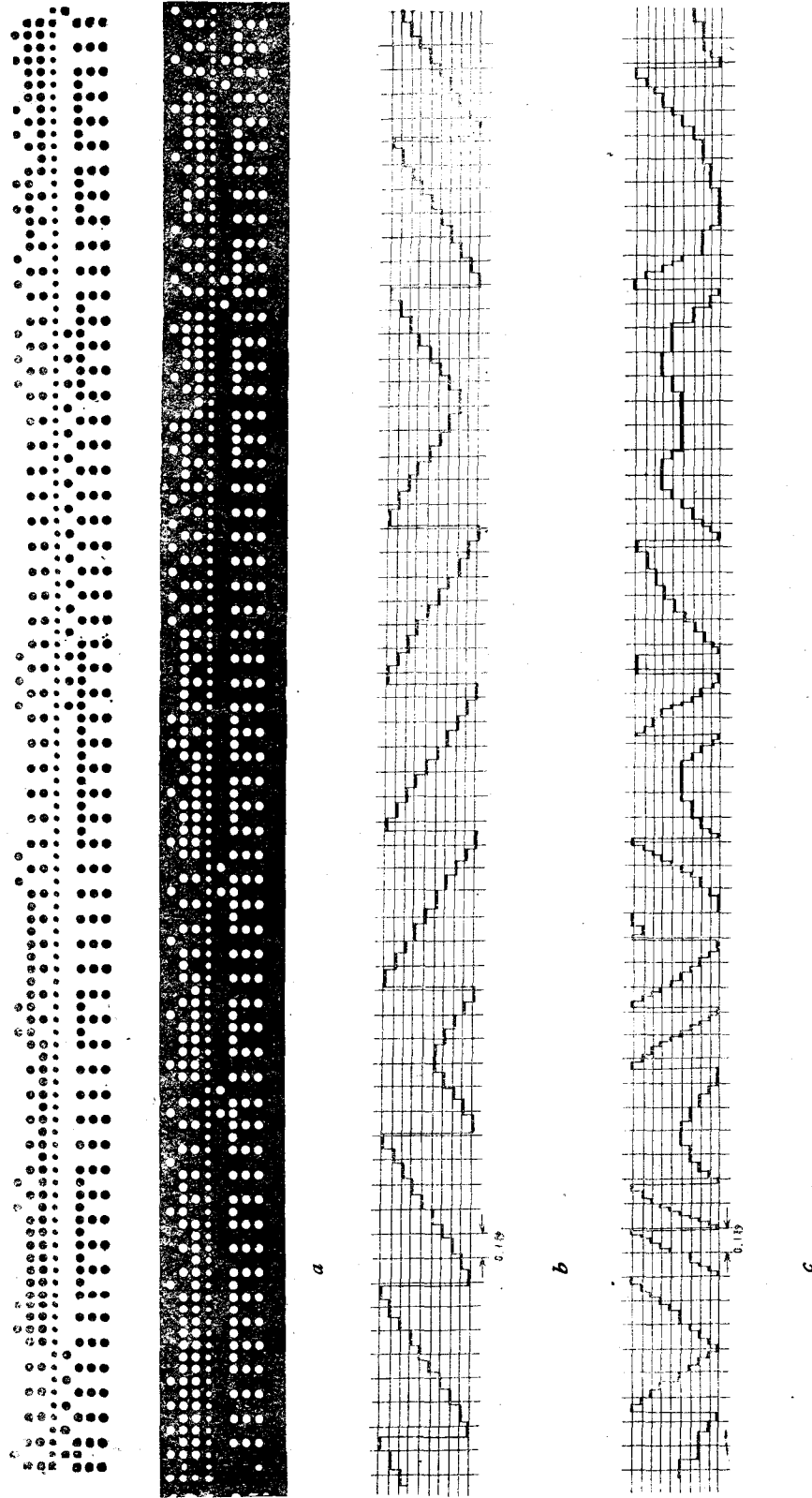


图 3 记 录 式 样

a. 穿孔纸带记录; b. 光线示波器实验室记录; c. 光线示波器实测记录(洪泽湖三河角, 1976年11月13日 20:45, 风速 80 m/s, NW, 纸速 50 mm/s)

纸带穿孔控制器的任务是在手动启动后,按一定时间间隔和程序采样并指令穿孔机按照一定方式穿孔。穿孔机在执行完穿孔指令后就给出回答信号。后者又成为纸带穿孔控制器的新的启动信号。如此往复循环,自动采样和穿孔。采用单稳态延时电路组成程序分配器。它控制“清除”,“,”号或数码控制,数码打入寄存器,奇偶数校验和触发穿孔等信号的程序。

仪器的电路结构采用半导体集成电路与分立元件相结合的方式。

### 三、环境试验情况

为了使 MDCB 能适用于野外观测,曾模拟野外观测中可能遇到的环境条件做试验并调整了有关电参数。MDCB 的供电电源可用交流 220V 或直流 24V。脉冲加工控制器的电源为直流 +6V,阴极棒电压需根据水质调整,可变化在 -2.5—-6V 之间;整机有交直流稳压装置。记录器需用交流 220V 或直流 24V 电源。

对盐度  $\leq 3\text{‰}$  的淡水和盐度为 10—40‰ 的咸水分别采用两种不同的电参数。曾用不同水质的淡水和盐度变化于 10—40‰ 之间的咸水,水温从 0—45℃ 做试验,仪器能正常工作。水中含沙量对仪器工作没有影响。水草、藻类杂物附着于电极一般均无碍仪器正常工作。在机油含量达 0.03 克/厘米<sup>2</sup> (水表可见明显油膜) 的实验筒中试验,输出信号仍正常。

水膜遗留和电极极化对淡水影响较小,对海水影响较大。调整电参数后,对淡水  $d=1$  厘米和对 40‰ 盐度的咸水  $d=2$  厘米的情况,当水位下降速度在 200 厘米/秒以内时,水膜遗留不产生干扰。

信号远传问题也是值得重视的。计算表明,对于水位变化 1 厘米需要几毫秒的水面波来说,即使  $d=1$  厘米时,100 公里的电缆也可不作长线处理。试验表明当电缆直流电阻在 1 K $\Omega$  (约相应于截面为 1 毫米<sup>2</sup>,长 50—60 公里的铜芯电缆的电阻) 以内(实际曾以 5 公里电缆试用),对记录无影响。

近三年来,在洪泽湖三河闸进行的野外观测和试验表明,MDCB 的基本原理是可行的,性能稳定,使用方便。

### 四、资料分析问题

MDCB 记录的波形是阶梯形的。连接每一阶梯的中点的连续曲线为实际波形。当有干扰发生漏数情况时,可以按照波面连续演变原则中最大可能出现的情况来连接波形。例如波面由 3 变为 5,漏掉 4,可以判断为由 3 经 4 升为 5 的可能性远大于由 3 经 2, 1, 0, 9, 8, 7, 6 而降到 5 的可能性。当基极、射极电极在水位升降时开关动作次序有误或者当个别电极或脉冲发生器失灵时,可能发生数序突变的干扰。根据表 1 所示的编码规律,不难对误码和干扰发生的原因进行分析判断并对错误改正。

为了进行波浪频谱分析,在没有穿孔机的情况下,需要在记录纸上每隔时段  $\tau$  读取一波面数据。对于 MDCB 的记录,可读取某一时刻波面相对于该时刻前面最近的一个波峰或波谷的相对高度  $\eta_i$ 。水位上升取正值,下降取负值。可取记录上第一个显著波谷出现时刻为初始时刻  $t_a = a\tau$ ,取最后一个显著波峰出现时刻为终了时刻  $t_N = N\tau$ 。在  $t_i = i\tau$ ,

$i = a, a + 1, a + 2, \dots, N$ , 共  $N - a + 1$  个时刻都取  ${}^1\eta_i$  值。设波面相对于初始时刻波面的铅直位移为  ${}^2\eta_i$ , 波面极值出现时刻为  $i = m_j, j = 0, 1, 2, \dots, p$ ; 各波峰波谷相对于初始时刻波面的铅直位移为  ${}^2\eta_{m_j} \equiv {}^2\eta_{m_j}$ ; 平均水位相对于初始时刻波面的铅直位移为  $\eta_0$ ; 波面相对于平均水面的铅直位移为  $\eta_i$ ; 则显然有

$${}^2\eta_{m_j} = \sum_{k=0}^j {}^1\eta_{m_k}, \quad {}^1\eta_{m_k} \equiv {}^1\eta_i |_{i=m_k}$$

$${}^2\eta_i = {}^2\eta_{m_j} + {}^1\eta_i, \quad \eta_0 = {}^2\bar{\eta}_i = \frac{1}{N - a + 1} \sum_{i=a}^N {}^2\eta_i$$

$$\eta_i = {}^2\eta_i - \eta_0$$

有了  $\eta_i$ , 就可用通常的方法计算方差、分布函数、相关函数、谱函数、平均波高(波周)、各种保证率大波平均波高(波周)等等统计量。

如果不作波谱分析, 而只求上跨零点波高、波周的统计规律, 则计算工作简化。重点在确定平均水位和波面跨零点。按照各态历经的假定, 在某一观测点的波面时间剖面图上, 位于平均水位上、下的波形面积相等。若以某一水平面为基准, 则在某一时段内相对于这个基准的波形总面积除以该时段的商, 就是平均水位相对于这个基准水平面的高度。可借助求积仪或数值计算来求得面积。为了估算平均水位, 可以在波形记录的前、中、后三段分别求出三个平均水位, 取其平均值为全段记录的平均水位。也可根据在一段时间内波形在平均水位上、下的面积基本相等, 从上跨零点到下跨零点的时间间距, 和从下跨零点到上跨零点的时间间距基本相等, 以及在平均水位附近可能出现一些在平均水位上、下作对称运动的小波动等原则来大致确定平均水位。

由于 MDCB 的波形记录是在铅直方向平移了  $n \times 10d$  的图形, 所以在波形与某一数码直线相交的点中, 只有那些相对于极大、极小对称的点才处于同一水平面上。如图 4 上的  $a_1, a_2, a_3$  和  $b_1, b_2, b_3$  都分别位于各自的水平面上。考虑了这个特点后, 就不难确定与平均水位相交的跨零点了。

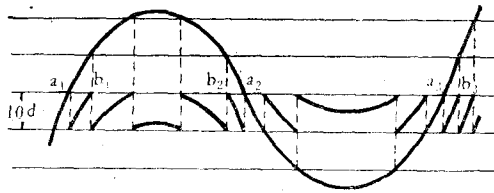


图 4 MDCB 的波形记录示意图

## 五、结 论

本文介绍的 MDCB 脉冲式电接测波仪, 采用了脉冲技术和晶体管开关电路, 利用剩余信息做自校并设计了特殊的十进制奇偶数编码法, 即能用较简便的线路实现波动水面的模(拟)—数(字)和数—模转换。该仪器于 1975 年制成, 在洪泽湖三河闸前进行现场观测。现正由工厂小批试制生产。实验室和野外试验表明, MDCB 具有以下特点: 没有零

点漂移问题和非线性误差;它的频率响应特性好;有供判别及纠正错误的剩余信息;电极极化不影响测量;水膜遗留在可能发生的水面下降速度时,对记录不产生实质性影响;测波杆总长度(可测的水位变幅范围)可根据需要把数根单元测波杆连接起来任意延长;感量可减到淡水 1 厘米,海水 2 厘米,且不受测量范围影响;能适用于不同水质(不同水温、盐度、含沙量和有一般油污、杂草等漂浮物的淡水、海水)和遥测;并能控制快速纸带穿孔,实现数据处理自动化。它可供在江、河、湖、海中定点或半定点观测波面时间变化以及在布置测波杆阵列时确定波面的时空变化特点。根据记录可计算波浪的高度、周期、长度、方向和速度等要素的统计规律以及频谱和方向谱。由于仪器具有长期稳定性,也可用作一般水位和潮位的远传观测记录仪器。当水位变化不连续,出现倒卷式波浪或者个别电极或脉冲发生器损坏时, MDCB 的记录上即出现干扰。这时需依据编码表(表 1)对波形前后演变特点进行分析,才能正确判断实际波形。测波杆在水中的固定,电缆的铺设也常有许多困难,故 MDCB 的应用范围是有局限性的。

### 参 考 文 献

- [1] International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, 1974. vol. 1, Waves 74, New Orleans, Louisiana, U.S.A.  
 [2] Штайгер, Е. В., Каплюк, В. Я. Кривцова, Э. Н. и Б. И. Гордеев, 1973. Электроконтактный волнограф на транзисторных реле. *Труды Союзморнишпроект* 34(40):64—69.

## A STEP-PULSE TYPE WAVE STAFF GAGE OF MODEL MDCB

Pu Peiming

(Limnological Division, Nanjing Institute of  
 Geography, Academia Sinica)

### ABSTRACT

The step-pulse type wave staff gage of model MDCB is an automatic recorder which may be used to distant measurement of the time-spatial changes of the wave water surface in the rivers, lakes and oceans. The structure principles of this apparatus, the states of its environmental experiments and the problems on the analysis of the record data are described in this paper. The sensibleness or accuracy of this instrument is 1 cm for the fresh water and 2 cm for the salt water. The whole staff consists of some sections in equal construction. These sections may be connected own self and so that the measurement sphere may be arbitrarily increased. The photographic recorder and the digital paper tape recorder have been used to simultaneously record the analogue (step type) and digital value of the wave water surface.