

超声波测河流流速

湖南省水文总站

在英明领袖和统帅华国锋主席为首的党中央领导下，在粉碎王张江姚“四人帮”篡夺党和国家最高领导权的阴谋取得伟大胜利的大喜日子里，我省榔梨水文站超声波测流试验基本成功。这是毛泽东思想的胜利，是粉碎“四人帮”反党集团取得的成果。

河川测流是水文测验的一项主要内容。做好这项工作，对兴修水利，开发水利资源，发展工农业生产和国家建设有着重大的意义。解放前，由于历代反动统治政府对水文工作漠不关心，使我国水文测验设备十分简陋，洪水测不了，枯水测得少，资料不可靠。解放后，在党和毛主席英明领导下，水文工作有了很大发展，测验设施逐步完善，人身安全有保障，资料精度高。特别是经过文化大革命，水文工作“莺歌燕舞”，振奋人心。测验设备由人工划船操作，到用机械化或半机械化，由河中操作逐步转到岸上操作测验，并向自动化发展，大大改变过去设备笨重简陋，劳动强度大，人身不安全，成果质量低的落后面貌。思想革命推动了技术革命。从1973年开始进行超声波脉冲时间差法测河川流速装置的研制与试验，用三年多的时间，完成了试验室原理研究，突破了测量洪水流速的难关，搜集了106次洪枯水对比测验资料，研制组装成我省第一台CLS-1型超声波测流仪。经过鉴定证明：在170米河宽的榔梨水文站，用32千周频率、800瓦功率的超声波测流仪，可以克服泥沙衰减，稳定地测到全部洪水水位下的流量。它和机械流速仪法相比，具有以下几个优点：（1）大大改善水文测验工作的劳动强度和保证人身安全。（2）不需要一般流速仪测流所需要的过河索、缆道或测船等设施，能够节省劳力和资金。（3）不受漂浮物影响，也不妨碍河流通航。（4）不破坏水流天然状态，方法简便，易于操作，测速历时短，一般只需十多分钟。（5）便于实现集中遥测，为迅速提供江河水情，及时作出洪水预报，正确指挥防洪抢险创造了条件。这一新技术在水文工作上的应用，为改变我国水文测验技术的落后面貌，加速实现水文工作现代化作出了贡献。

一、超声波测流的基本原理

1. 物理基础

超声波是指物体每秒钟超过20000次振动所产生的声波。超声波在水中传播速度，取决于水的密度和弹性性质。在温度25℃时，超声波在静水中的传播速

度是1497米/秒。超声波在流水中传播的速度，顺水时可以认为是超声波速度加上水流速度，逆水时可认为是超声波速度减去流速。如果已知静水中超声波传播速度，并测出超声波在河水中顺、逆流传播时间，用其时差，即可算出流速。这就是超声波能够测量河水流速的物理基础。

超声波在水中传播时，由于水存在内摩擦、粘滞性和热传导，引起了声吸收，尤其是泥沙对超声波的衰减较大。频率不同，超声波在水中衰减也不同。高频超声波被泥沙衰减快，低频超声波不易被衰减。例如：32000次频率的超声波在3公斤/立方米以内的低含沙量河流是可以穿透的。

2. 换能器

人工获得超声波是通过换能器进行的。换能器的

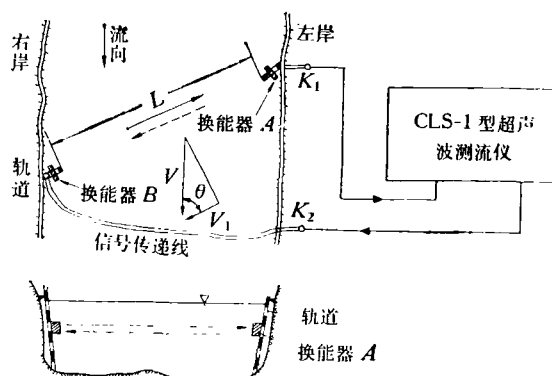


图1 超声波脉冲时间差法测流装置示意图

功能是将交变振荡电压转换成超声波，也能将超声波转换成振荡电压。我们采用的换能器是一种效能较高的压电晶体，是由名叫锆钛酸铅的材料做成的。在换能器的两个面上加交变电场，由于压电效应发生振动而产生超声波，或在换能器两个面上加超声波，就可产生交变电场。因此，换能器能够发出超声波，也能接收超声波。

3. 测流方法

超声波测流有多种方法，我们在榔梨水文站使用的是脉冲时间差法。其装置如图1所示。

在选定河流断面的两岸，斜向相对各设一个沿着岸坡伸入水中的轨道，提放换能器。换能器AB的间

距为 L , L 与水流方向夹角为 θ , 水流在平行 L 方向的分速度 $V_1 = V \cos \theta$.

在河流出现某一级水位, 算出平均水深, 把两岸换能器放到该水深的某一相对位置, 就可用电子仪器精确地测得该斜向断面水层内超声波顺逆流方向的传播时间, 得出时差, 代入下式, 可算出水层平均流速.

$$V = \frac{L \cdot \Delta T \cdot 10^{-4}}{2 \cdot \cos \theta \cdot (T_0)^2} \text{ (米/秒)}. \quad (1)$$

公式(1)是由 $V = \frac{L}{2 \cos \theta} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$ 导演和简化而来的.

- 式中: V ——某斜向断面水层平均流速, 米/秒;
- L ——两个换能器间距(米);
- T_1, T_2 ——为超声波顺逆水传播时间;
- ΔT ——为逆水传播时间减顺水传播时间(微秒);
- $T_0 = (T_1 + T_2)/2$, 以 0.1 秒计;
- θ ——为 L 方向与流向夹角, 在楔梨站 $\theta = 67^\circ 51'$.

用水层平均流速, 算出断面平均流速, 乘以断面面积, 即可求出某一时间内该断面通过的总流量.

举例如下: 1976 年 6 月 18 日 5 时 47 分实测水位 36.06 米, 断面平均水深 6.9 米, 相应过水断面面积为 1070 米². 在 0.2 水深处换能器间距 $L = 160.5$ 米, 在 0.6 水深处 $L = 151.2$ 米, 在 0.8 水深处 $L = 145.5$ 米. 顺逆水传播时间用 CLS-1 型超声测流仪测量, 结果如表 1. 求 6 月 18 日 5 时 47 分通过断面的总流量.

表 1 顺逆时间记载表

0.2 相对水深位置		0.6 相对水深位置		0.8 相对水深位置	
*上发(T_1) (顺水传播时间)	*下发(T_2) (逆水传播时间)	上发(T_1)	下发(T_2)	上发(T_1)	下发(T_2)
108274.4	108357.3	100634.7	100706.6	96966.2	97026.8
108273.2	108356.7	100635.6	100704.8	96966.5	97028.0
108273.7	108358.4	100635.2	100705.4	96965.1	97028.5
108273.4	108357.3	100636.4	100705.1	96964.5	97029.1
108275.9	108359.3	100634.3	100704.7	96964.7	97029.5

* 上发(T_1)为顺水传播时间, 下发(T_2)为逆水传播时间, 以微秒计, 以下同.

计算步骤:

(1) 求各水层平均流速:

先求 0.2 水层平均流速: 方法是取下发(T_2)五组读数平均值减去上发(T_1)五组读数平均值, 得出传播时差(ΔT)为 83.7 微秒. 已知 $L_{0.2}$ 处 = 160.5 米; $2 \times \cos \theta = 0.754$; $T_0 = 1.08$; 代入(1)式得 0.2 相对水层平均流速为 1.52 米/秒, 同样可算出 0.6 相对水层平均流速为 1.41 米/秒, 0.8 相对水层平均流速为 1.29 米/秒.

(2) 求断面流量:

先求断面平均流速, 它等于 0.2, 0.6, 0.8 各水层平均流速相加再平均.

$$\begin{aligned} \text{断面平均流速} &= \frac{V_{0.2} + V_{0.6} + V_{0.8}}{3} \\ &= \frac{1.52 + 1.41 + 1.29}{3} \\ &= 1.41 \text{ 米/秒}. \end{aligned}$$

已知过水断面面积为 1070 平方米, 乘以断面平均流速 1.41 米/秒, 则断面总流量等于 1510 立方米/秒.

二、超声波测流装置和站址勘选

1. 测站选择

要对所在河段及其断面进行详细勘选, 使其满足安装仪器和使用要求, 以减少误差, 保证测验成果精度.

(1) 河段选择: 流向与超声路径夹角是否准确, 或高、中、低水流向变化很大, 都会给测验成果带来较大误差. 楔梨站河段(见图 2)大致顺直, 上下接近一致, 高、中水流向大致接近.

(2) 断面要求: 断面形状和流速大小变化及在断面内的分布, 对于超声测流关系重要. 楔梨站基本断面(如图 3)近似矩形. 左岸比右岸深 1 米左右, 主流

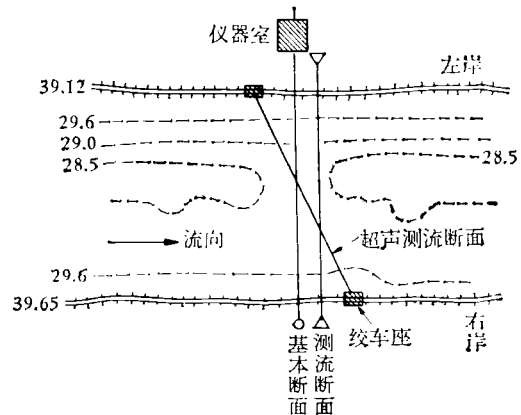


图 2 楔梨站河段平面示意图
偏于左岸. 流速分布随水位涨落发生相似变化.

2. 测流装置

(1) 轨道位置: 轨道要选在无急流漩涡处, 斜向相对安装. 轨道与流向夹角可在 $30^\circ - 70^\circ$ 间选用, 两

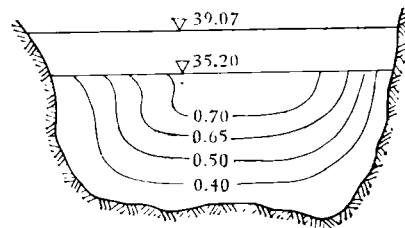


图 3 楔梨站断面流速分布图

个换能器要求频率、功率、灵敏度一致,以免发射接收电平不一致而错动波群位置,使时间差测不准。换能器装于行车上,行车在轨道上能灵活上下。换能器轴线能近似于同一直线内。流速大要加导流罩,防止汽泡影响换能器收发超声波。要防止水草缠绕轨道及行车。换能器的引线要等长,全部采用金属屏蔽线。

(2) CLS-1 型超声波测流仪:

(A) 性能: 脉冲发射功率为 800 瓦, 频率 32 千周; 换能器为锆钛酸铅, 收发分开, 指向角 32° , 功率 800 瓦, 频率 32 千周。电源为 110—220 伏。

(B) 电路结构: 我们组装的 CLS-1 型超声波测流仪由自动控制发射、超声振荡、前置放大、时间计数显示、整流稳压等五种电路组成(见图 4)。

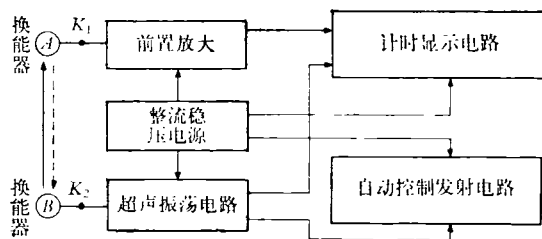


图 4 CLS-1 型超声波测流仪电原理方框图

(a) 自动控制发射电路: 由多谐振荡、放大整形、可控硅开关等组成。每 5 至 6 秒由可控硅甲开通脉冲管发射超声, 后由可控硅乙关断停发超声, 发射脉冲为

1 毫秒宽。

(b) 超声振荡电路: 由电子脉冲管 FM-30、回授变压器、输出变压器等组成。平时因脉冲管阴极被控制电路中的可控硅所切断而止振。当自动控制发射器的可控硅导通而形成超声振荡。

(c) 前置放大电路: 由带通滤波器和选频放大器组成, 能将微伏级信号放大至几伏。

(d) 时间计数显示电路: 由产生时间基准的一兆晶振、控制电路、放大整形、计数显示电路组成。

(e) 整流稳压电路: 由电源变压器、二极管整流、三极管自动稳压电路组成。

(C) 仪器的使用: 测流前, 按实测时水位下的平均水深, 将换能器放到预定位置, 启动 CLS-1 型超声波测流开关, 通电预热二、三分钟后, 即可从仪器上读出超声波从一岸传至对岸所需时间。用人工转换换能器引线插头 K_1 、 K_2 (见图 1), 测得顺水传播时间 T_1 和逆水传播时间 T_2 , 代入 (1) 式即可算出某层平均流速。

CLS-1 型超声波测流仪逻辑原理如图 5 所示。

三、实测成果及资料分析

1. 实测成果

槲梨水文站系浏阳河控制站受湘江回水顶托, 水位流量不是单一线, 设站十八年来, 实测最高水位为 39.07 米, 水位变幅达 10 米以上, 最大平均流速接近

表 2 超声波实测流量成果摘录

年	月	日	时 分	水位	测 层	超 声 流 速	超 声 流 量	转子流速仪流量	误 差	最大测点流速	备 注
1976	5	15	21:52	34.11	三层	1.34	1020	1060	-3.6	1.75	流速单位: 米/秒; 流量单位: 米 ³ /秒; 水位单位: 米; 误差 = $\frac{\text{转子流速} - \text{超声仪流量}}{\text{转子流速仪流量}}$
		16	7:35	35.16	三层	1.42	1320	1350	-2.1	1.75	
		16	10:28	35.10	三层	1.36	1260	1270	-1.5	1.75	
	6	8	10:14	32.59	一层	1.10	597	571	+4.8	1.34	
		8	14:38	33.50	三层	1.14	776	776	0	1.41	
		8	18:10	33.67	三层	1.14	799	785	+1.8	1.44	
		19	8:00	33.35	三层	0.62	413	413	0	0.82	
1975	8	7	8:55	33.12	一层	0.28	172	188	-8.4		
1976	7	12	15:45	38.86	一层	1.54	2370	2480	-4.4	1.99	

2.0 米/秒, 最大河宽在 170 米内, 含沙量不大于 2 公斤/立方米。在完成超声波实验室的原理性研究后, 于 1973 年 7 月在槲梨站现场试验, 1975 年用 800 瓦功率 32 千周频率超声波首次测到了洪水。1975 年至 1976 年共对比测到过水面流速 62 次, 流量 43 次, 所测流量成果, 87% 的测次误差在 $\pm 5\%$ 以内, 最大误差未超过 $\pm 9\%$ 。超声波测到最高洪水位 38.86 米, 最大流量 2370 立方米/秒, 误差为 -4.4%, 实测最大流速 1.69 米/秒, 附实测流量成果摘录(见表 2)。

2. 几项试验资料的分析

(1) 超声波测的流速和天然流速之间有一个良好的关系。流速大, 测的时差也长, 反之, 则短。静水测的时差为零(见表 3)。

表 3 说明, 因静水流速等于零, 所以用超声波时差法测的前后传播(往返传播)时间平均之差也等于零。

(2) 电子计时关门所收到的固定波群位置是测准洪水的键。由于惰性影响, 32 千周的换能器收到的

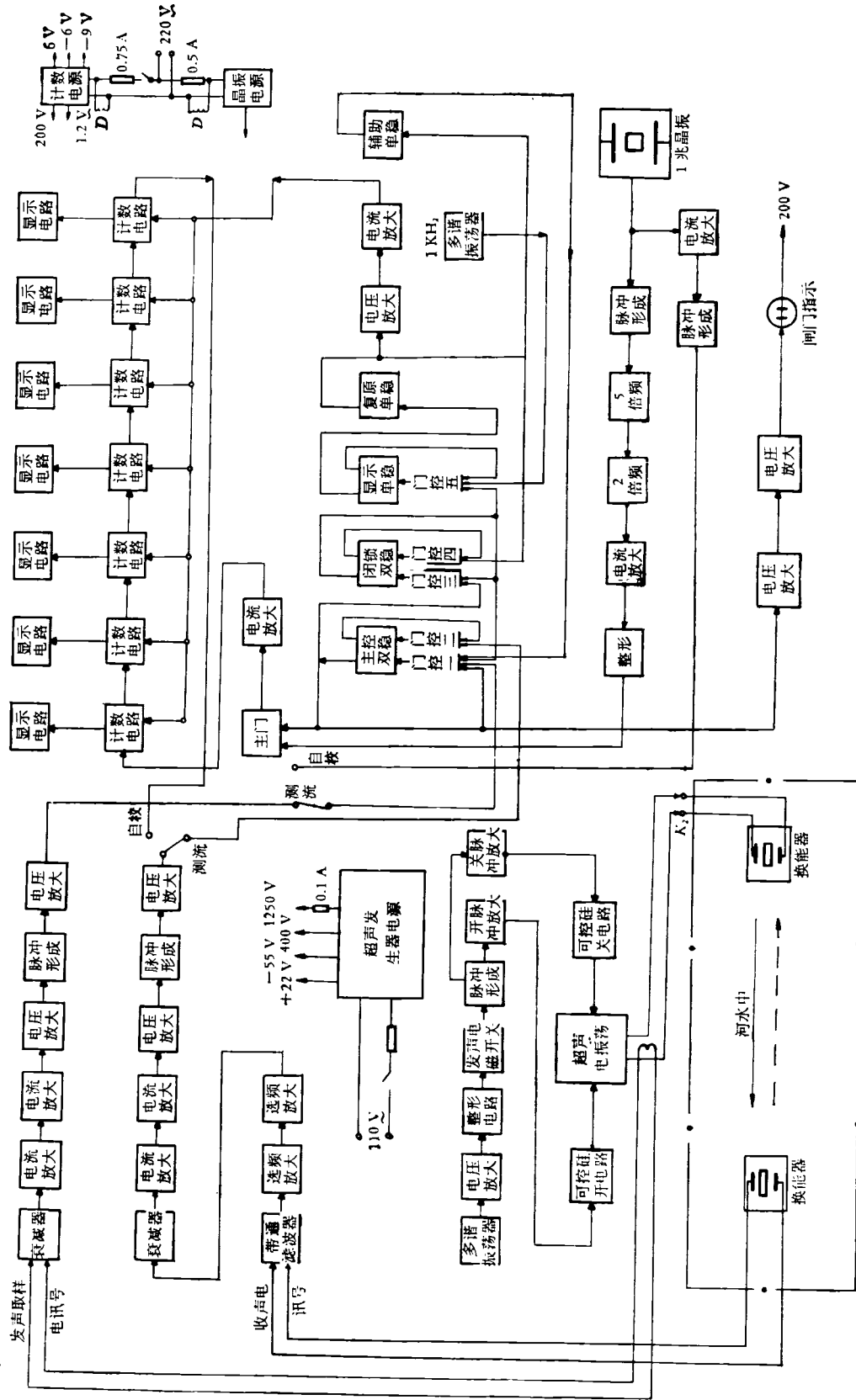


图5 CLS-1型超声波测流仪逻辑原理

表3 超声波时差法测静水记录

测量地点	距 离	前发后收	后发前收	时 差
水 槽	150 米	97426	97426	
		97427	97426	
		97425	97425	
平 均		97426	97426	0

超声波转换成电压波形大约要 20 多个上升波形后才达到等幅值,而在 20 多个上升波群中,前面上升较快,后面变化平缓.测流中上游发射下游能收到第五个波,则测的洪水流速是对的.若转换过来是收到第六个波,则测流时多了 30 微秒(相当于 32 千周频率的一个波),造成流速偏大很多. 解决这个难题的方法是将 CLS-1 型超声波测流仪接到电阻不大于 4 欧姆的良好接地体上,极大地降低了杂散干扰信号电压,相对地提高了超声波上升较陡的前面波群电压,使顺逆流对发都能收到某一个上升较陡的固定位置波形电压,避免了多 30 微秒(或少 30 微秒)的误差,从而能稳定地测到流速.

表4 某次不接地和接地测速比较

不 接 地				接 地			
下 发	上 发	时 差	流 速	下 发	上 发	时 差	流 速
96639.0	96565.8	73.2		96711.2	96668.8	42.4	
96637.3	96539.7	97.2	1.95 米/秒	96709.8	96668.4	41.4	0.89 米/秒
96649.7	96547.4	102.3		96710.9	96668.5	42.4	

从表4可以看出:不接地测的流速是1.95米/秒,同一时间接地测的流速是0.89米/秒;而转子流速仪实测流速是0.9米/秒,和接地超声波测的0.89米/秒只相差1.1%,不接地测的误差可达117%.因此,良好屏蔽接地是测准的重要条件.

(3) 在一定河宽、水流、含沙情况下,超声波必须有足够大的功率和一定的频率. 解决这个主要矛盾,超声波方能克服洪水流速和泥沙等影响而传到对岸,使上游和转换后的下游接收换能器都能准确地收到固定的某一超声波,而转换成电能. 在橈梨站条件下,170米河宽,含沙量在2公斤/公方内,最大平均流速为2米/秒,使用32千周频率、800瓦脉冲功率即可达

表5 800瓦32千周超声仪测量洪、枯水情况

枯 水				洪 水					
断面	距 离	下 发	上 发	时 差	断面	距 离	下 发	上 发	时 差
过 河 斜 断 面	143 米	94832.7	94820.8	11.9	过 河 斜 断 面	160 米	108357.3	108274.4	82.9
		94832.7	94820.7	12.0			108356.7	108273.2	83.5
		94832.7	94820.7	12.0			108358.4	108273.7	84.7
		94832.4	94820.6	11.8			108357.3	108273.4	83.9
		94832.5	94820.9	11.6			108359.3	108275.9	83.4

到稳定地测到各级洪水水位下流速的目的.

用 800 瓦功率、32 千周频率超声波能在橈梨水文站稳定地测到各级洪水水位下的流速(见表5).

从表5可以看出:在170米河宽的橈梨站,用800瓦32千周的超声波测洪水,时差变动只在正负百万分之一秒内.同时枯水测量精度更高,一次测量时差变动只为正负百万分之零点一秒.

若是把超声发射功率从800瓦功率降到一百瓦,频率用低频48千周,则洪水测不好(见表6).枯水稳定,洪水变动大,时差变动110微秒,无法测准流速.同样,说明要准确地测量洪水流速,超声波发射器要有足够大的功率.

表6 100瓦48KC超声波仪器测洪、枯水情况

枯 水				洪 水					
断面	距 离	下 发	上 发	时 差	断面	距 离	下 发	上 发	时 差
临 时 过 河 斜 断 面	150 米 内	97307	97290	17	临 时 顺 直 断 面	150 米 内	95382	95282	100
		97307	97291	16			95298	95308	-10
		97308	97291	17					
		97308	97290	18					
		97309	97291	18					

(4) 水内筑一道拦水坝,流速大时在水面引起较大漩涡气泡,换能器入水0.3米和0.5米处的对比测试结果见表7.

从表7可以看出:水面漩涡大时,换能器入水0.3米处测不准,时差跳动达29.6微秒.若换能器入水0.5米处,则漩涡和气泡减小,测量时差稳定在1.2微秒,符合精度要求.换能器入水过浅,气泡多,影响大.因为超声波通过水与气泡的界面产生折射,严重地损失超声能量,造成波群位置不固定,使记录多一个波或少一个波,记不准.解决办法是:换能器要避免在急流漩涡处,入水要大于0.5米,换能器加导流罩.

表7 因人工挡水设备引起漩涡气泡时,不同入水深度测量结果

入 水 0.5 米			入 水 0.3 米		
上 发	下 发	时 差	上 发	下 发	时 差
97668.0	97722.0	54.0	97951.0	98004.8	53.8
97668.1	97721.7	53.6	97979.0	98032.2	53.2
97668.7	97721.9	53.2	97950.6	98033.4	82.8
97668.0	97722.2	54.2	97950.9	98032.3	81.4
97669.0	97722.0	53.0	97979.2	98032.8	53.6

(5) 开动电子微秒计的误差问题. 比如百米赛跑,起跑开动秒表,到终点时止动秒表,记录的时间就是运动员跑一百米所需时间.若起跑计时不准,则整个时间也不准确.超声波在水中,传播每秒大约1500米,河宽150米只要0.1秒.假若要正确记录150米

斜断面的一厘米流速，则要求计时精度达百万分之一秒。开始试验时，用 50 次频率的交流电开动电子计时器，该电压经常变动 0.5% 则可带来 100 微秒的计时误差。后来我们改用 32 千周频率的讯号电压开门，使计时精度达到 1 微秒内，比较理想。这一电路改进，使计时精度提高了近百倍，为以后洪水测量打下了良好基础。

从室内试验到现场试验，从多次失败到基本成功，是毛主席《实践论》的光辉思想指引我们一步一步向前进，是党组织给我们攻克困难的力量，是群众集体智慧的结晶。实践、认识、再实践、再认识，直至成功。这

就是我们的基本体会。事实又一次雄辩地证明：“世上无难事，只要肯登攀”。

几年来，我们在超声波脉冲时差法测河川流速的试验中，虽然取得了一点成绩，但离党和人民的要求还相差很远，与兄弟单位比较，差距很大。有些问题，还需要进一步研究实践，例如高速、宽河站的应用问题，换能器的研究制造问题，CLS-1 型超声仪把人工换插头变成自动化问题。总之，今后要在华主席为首的党中央英明领导下，坚持以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，认真学习马列和毛主席著作，深揭狠批“四人帮”的反革命罪行，为超声波测流不断完善而努力。

为人民探索预测预报地震的规律

郭公庄中学地震观测小组

(北京市丰台区)

我校地震观测小组是在 1975 年 4 月份建立的。在毛主席革命路线指引下，在上级有关部门的指导、帮助和学校党支部的直接领导下，一年多来我们遵照伟大领袖毛主席关于“实践、认识、再实践、再认识”的教导，运用多种手段，进行综合分析预报，做了一些工作，取得了一定的成绩，曾受到上级表扬，现将我们的部分工作简介如下。

一、土地电电极处理和埋设技术

东、南、西、北、东北、东南、西北、西南八个方向土地电电极共用十六块铅板，要求材料质量一致，面积和厚薄一致(铅板的规格是 100×300×1 毫米)。在铅板埋设前，先将极板上的氧化物去掉。接线的方法是，先在极板上打眼，把导线一端的铜线插入孔内，用锤砸实，把铜线挤压紧，然后用环氧树脂密封。导线一律采用地下线，这样可以减少高压线、广播线和风雨、温度的影响，简化校正数据的工作。为了能使所埋设的土地电电极较为准确地反映方向性，需要在了解本地的地质构造的基础上把电极埋设在跨断层和平行断层处。如果不了解地质构造，可按磁北极指向，先埋设南北方向电极，然后找出各方向的夹角。电极要埋在不存水、向太阳(背太阳) 2.5 米以下的黄土层，太浅了受温、湿度影响较大，不易区分真假异常。

为了进行平行电流强弱对比，做好数据分析和判断发震方向，我们在埋设铅板、碳棒异性材料东南西北四个方向土地电电极时，极距 70 米；在埋设铅板同性材料四个方向土地电电极时，极距 50 米；在埋设铅板

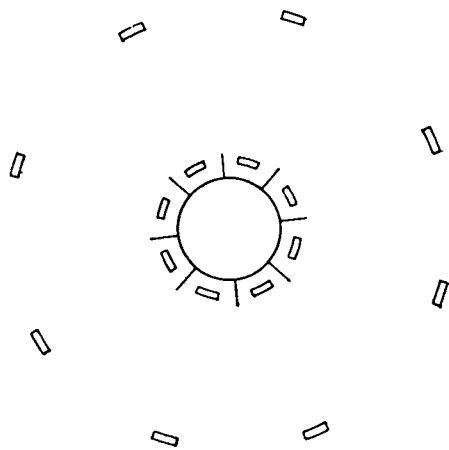


图 1(a) 八方向土地电电极布极方法

同性材料八个方向土地电电极时，极距 34 米。布极方

1) 毛泽东，《实践论》，《毛泽东选集》1 至 4 卷本，人民出版社，(1969)，273。