

国内相控阵 ADCP 技术的开发研究

丛卫华 沈斌坚

(第七一五研究所 富阳 311400)

摘要 声学多普勒海流剖面仪 (ADCP) 是海洋勘测领域的一项高新技术, ADCP 的相控阵技术在换能器阵体积重量不增大的条件下进一步提高了测量范围和测速精度。本文着重介绍我们开发相控阵 ADCP 的情况及实时处理的湖上试验结果。试验表明相控阵 ADCP 测流原理是可行的, 测量精度可达到 1cm/s。

关键词 声学多普勒海流剖面仪 (ADCP) 相控阵 实时信号处理

1 引言

声学多普勒海流剖面仪 (ADCP) 是利用海水反向散射信号的多普勒效应测量不同水层的海流速度, 随着科学技术发展对海流测量要求的不断提高, 快速、准确、实时、大范围测量海流是海流测量技术发展的主要方向。ADCP 是海洋勘测领域的一项重要技术, 目前已被国际海委会列为四种先进的海洋观测仪器之一。ADCP 的研究始于 70 年代初, 先后经历了以频谱分析为特征的窄带多普勒海流剖面仪 (NBADCP), 和以发射伪随机编码脉冲对的相干处理为特征的宽带多普勒海流剖面仪 (BBADCP) 两个阶段。

目前国内广泛使用的 ADCP 是基于 JANUS 结构形式的窄带多普勒海流剖面仪, 采用由 3 个或 4 个相同的换能器按一定的结构形成 JANUS 结构形式换能器阵。它的缺点是换能器阵的发射和接收旁瓣较大, 换能器阵的体积大、重量重, 由于波束指向性要求限制了工作频率的降低, 从而难于测量较深海域的海流。RD 公司在 1995 年首次推出型号为 VM0038HP 的 38kHz 宽带相控声学多普勒海流剖面仪, 相控换能器阵由近千个阵元组成, 相控形成 4 个所需的发射和接收波束。在国家海洋“863”计划课题的带动下, 我们不仅研制出了相控阵, 进行了相控原理的研究, 而且自行开发了一套相控阵 ADCP 的原理样机, 进行了实时处理的湖上试验。

2 ADCP 的测流原理以及相控技术

窄带 ADCP 通过分析回波信号的多普勒频率变化, 测量海流的流速。假定波源发射频率为 f_0 单频信号, 脉冲宽度 T , 波源相对于观察者的运动速度为 u , 以 c 表示波在介质中的传播速度, 则接收回波信号的多普勒频移为

$$\Delta f \approx \frac{2u}{c} f_0 \quad (1)$$

宽带脉冲信号在有多普勒效应时还会发生脉冲宽度 T 的展压

$$\Delta T = \frac{-2u}{c} T \quad (2)$$

宽带 ADCP 是利用一对宽带脉冲信号，通过测量该对脉冲信号的回波脉冲时间间隔变化来测量海流速度。为了测量海流的速度矢量，ADCP 需要同时向海水介质发射四个波束的声波脉冲信号，每个声波脉冲的传播方向与垂线的夹角都为 f ，如图 1 所示，ADCP 沿这四个方向发射的声波波束结构称为 JANUS 结构。以前的 ADCP 产品同时采用 4 个相同的换能器阵，发射 4 个 JANUS 结构的波束。针对每个波束需要对于每个换能器的发射信号进行独立移相（或时间延迟）处理，其相位控制量为

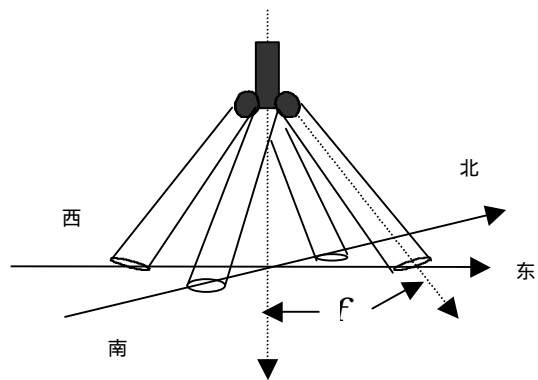


图 1 JANUS 波束结构

$$\Omega = \frac{2fd \times \sin(f)}{c} \quad (3)$$

式中 d 为换能器之间的间距， f 为波束倾角。

所谓相控阵技术是利用了波束形成的一种特殊情况即当 $d = \lambda/2$ ，且 $f = 30^\circ$ 时，由 (3) 式描述的相位控制量 Ω 只在 0° 、 90° 、 180° 、 270° 四个数据之间变化（因此相控阵上千个阵元中相位独立的换能器为数并不多）。相控阵的优点是体积比常见的 ADCP 声阵要小得多，它的直径只有常见的 ADCP 声学换能器阵中一个换能器的直径。因而在相同尺寸的条件下，相控阵式 ADCP 的工作频率可以更低，从而它的测量深度更深。它的主要缺点是需要专门的发射和接收波束形成电路，另外换能器阵的设计制造要求也较高。

ADCP 实时信号处理的主要难点有两个：一是为了使海流剖面分层尽可能细，发射脉冲宽度 T 通常小于 10ms，从而使得信号处理提取海流多卜勒信息的难度增加。常规 FFT 处理的频率分辨率 $f = 1/T > 100\text{Hz}$ ，但是 1cm/s 的测流精度要求频率分辨率小于 1Hz。二是由于 ADCP 测量的是海水体积单元的后向散射回波的多卜勒频移，单次测量的随机误差较大，需要进行有效的统计平均。

3 ADCP 湖试系统及数据处理

在不破坏流场的情况下测量海流速度剖面是 ADCP 最重要的特征，它要求 ADCP 发射信号的波束宽度小、发射信号的脉冲宽度 T 小。但是太小的 T 使得信号处理提取海流速度信息难度增加，而且由于 ADCP 测量的是海水体积单元的后向散射回波的多卜勒频移，无疑增加了实时信号处理的难度。ADCP 的湖试系统如图 2 所示。原理样机包括了相控声阵、相控发射机、相控接受机和采用 AD21060 的实时信号处理系统。ADCP 的莫干山湖试是通过测量船运动测量湖水和湖底相对运动速度。

本次试验由于采用了相控阵技术，一方面大大地提高了声源级，另一方面降低了工作频率，使得 1m 尺度的声阵做到了波束宽度 5° 。并采用了 Zoom FFT 和多次发射测量的统计平均的多卜勒海流剖面测量的信号处理方法，实时处理的湖试结果如图 3 和图 4 所示。图中左半画面是四层速度剖面历程显示，纵坐标是时间历程，横坐标是深度分层剖面的速度（0~2m/s）；

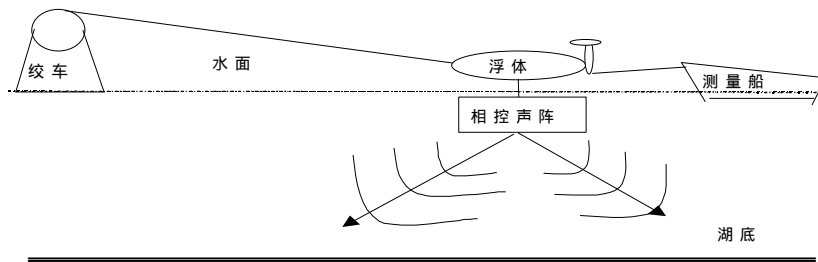


图2 ADCP湖试系统示意图

右半画面是不同深度剖面的速度矢量方位历程显示 ($-90^{\circ} \sim 90^{\circ}$)。由湖试结果可知,相控阵 ADCP 测流的原理是可行的,ADCP 测速精度可达到 1cm/s 。

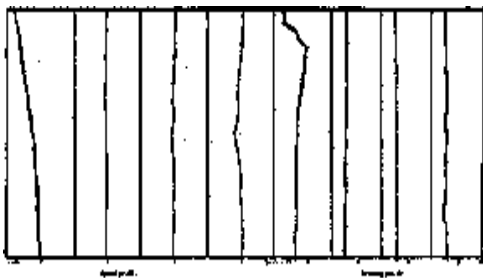


图3 ADCP湖试实时处理显示画面(船速 1.0m/s)

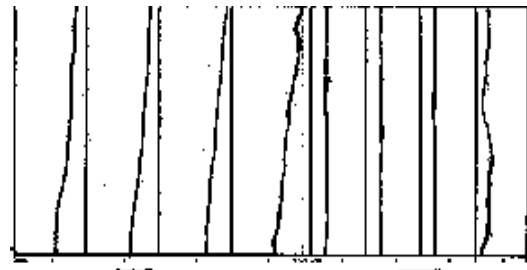


图4 ADCP湖试实时处理显示画面(船加速过程)

4 结束语

ADCP 的种类很多,不仅可对近岸、浅海、深海的海流速度剖面进行测量,而且可对江、河、湖泊的水流速度剖面进行测量。ADCP 除测流功能外,还可测量海洋表面的波浪参数以及海水介质中悬浮物浓度,特别是船载式 ADCP 可代替声学多普勒计程仪或其它计程仪,测量船相对于海底的运动速度。本次湖试成功为我们打开了海洋勘测领域的大门,但是宽带 ADCP 的相控技术和测流等信号处理技术,还有待进一步深入研究和海试验证。

参考文献

- 1 Acoustic Doppler Current Profiler Principles of Operation: A Practical Primer. Second Edition for Broadband ADCPs. R. Lee Gordon, RD Instruments, 1996
- 2 Albert J. Williams. Current Measurement Technology Development Progress in the 90's-A Review in Proc. Ocean'96
- 3 张道平. 多普勒测流技术的现状和发展. '99 浙、鲁、津声学技术交流会论文集. 北京: 海洋出版社, 1999.10