

# ADCP的观测及资料处理技术

蒋松年

(国家海洋信息中心 天津)

## 摘 要

本文以RD—VM型ADCP为例,结合中美海气相互作用合作项目中的使用情况,介绍了ADCP的基本原理、特性,观测实施及资料处理,并指出了该仪器在使用中存在的问题。

## 1 前言

ADCP——声学多普勒海流剖面仪是目前观测上层海流剖面的最有效方法。其基本原理是测定声波入射到海水中微颗粒后向散射在频率上的多普勒频移,从而得到不同水层水体的运动速度。其特点是精度高、分辨率高,操作方便。自七十年代末以来,ADCP的观测技术迅速发展,国际上出现了多种类型的ADCP,如:AMETEK, FURUNO及RDI等。许多学者如: PINKEL (1979), T.M.Joyce等(1982), James L.Christemse (1983), Neal R.Pettigrow等(1983)、T. K. Chereskijn等(1989)等,对ADCP的制造、观测及资料处理、分析技术作了大量研究,发表了许多论文和技术报告,对ADCP的不断完善,提高观测精度,做出了贡献,促进了海洋环流,海洋内波,海气相互作用的研究。目前,国际上的大型海洋研究项目中如TOGA, WOCE, WEPOCS等都使用了ADCP。前不久,ADCP已被海委会正式列为四种新型先进海洋观测仪器之一。在我国,很早就开始了ADCP的研制工作,但目前还没有完善产品,据了解,目前我国只有两种进口船用ADCP,一为FURUNO(日本),另一种为RD型(美国)。本文就以RD—VM型船用走航式ADCP为例,结合在中美海气相互作用项目中的使用情况,介绍该仪器的特性,观测技术及资料处理。

## 2 基本原理、特性及功能

### 2.1 基本原理

ADCP根据测定水体中微颗粒声后向散射的多普勒频移来测量水体速度。在仪器坐标下,每一声束方向上每一深度段上的水体的流速分量可以根据在该段水体上测得的多普勒频率(D),由下面方程计算出:

$$V = D \frac{C}{F}$$

式中 $F_0$ 为发射频率,单位为kHz。 $C$ 为水中的声速,可按下列公式计算:

$$C=1449.2+4.6T-5.5\times 10^{-2}T^2+2.9\times 10^{-4}T^3 \\ +(1.34-10^{-2}T)$$

式中:

$D$ =深度,单位为m

$S$ =盐度,单位为 $10^{-3}$

$T$ =温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$

利用四声束(至少三束)测得的水体回反散射的多普勒频移,便可以求得三维流速, $V_x$ ,  $V_y$ 和 $V_z$ ,并且可以转换为地球坐标下的 $u$ (东分量),  $V$ (北分量)和 $W$ (垂直分量)。由于声速在一定水域中,在一定深度范围内(表层至几百米深度)的水体中的传播速度基本是不变的,根据由声波发射到接收的时间差,便可以确定深度。利用不断发射的声脉冲,确定一定的发射时间间隔及滞后,通过对多普勒频移及谱宽度的估计运算,便可以得到整个水体剖面逐层段上水体的流速。

## 2.2 系统组成

- a. 剖面仪——由探头单元,专用电缆及19英寸甲板电子仪器单元组成。
- b. 数据采集(DAS)系统——IBM-XT/AT兼容机,内存640Kb,8087协处理器, GPIB(IEEE488) I/O接口及两个360Kb软盘驱动器。DAS软件。
- c. 选配设备——航向、船左右,前后上下摇摆角度传感器。Loran-C, GPS接收机及其接口。

CTD传感器。

绘图仪及打印机。

数据流磁带机,20M硬盘。

或 $2\times 20$ 活动式硬盘。

稳压电源及不间断电流(UPS)。

## 2.3 系统特性

### a. 声学特性

——声学频率:153.6kHz。

——声束结构:4束JANUS构造,与垂向成30度角,每束间隔90度角。

### b. 测流特性

——剖面深度范围:最大达500m

——测速范围: $\pm 10\text{m/s}$

——测层数:最大达128层

——测层长度:1~32m

——长期精度: $\pm 0.2\% \pm 0.5\text{cm/s}$

——短期精度:11cm/s(8m测层长度情况下)

——脉冲速率:0.01~20脉冲数/s

——平均采样时间间隔:1~600s

### c. 散射水平测定

- 声波后向散射强度是在与剖面相同范围及流速相同深层分辨率下测定的
- 短期精度:  $\pm 3\text{dB}$ 。

### d. 底航迹

- 底航迹深度范围稍大于流速剖面范围
- 长期精度:  $\pm 0.2\% \pm 0.5\text{cm/s}$
- 底深度测量精度为一个深度层长度

### e. 电气特性

- 输入电源:  $90\sim 132\text{V}$ ,  $40\sim 60\text{Hz}$ ,  $100\text{W}$ 。
- 数据通讯接口: RS-422串行口,  $0.3\sim 19.2\text{K}$ 波特率。并可选用RS-423串行口或IEEE-488并行口。
- 通讯方式: ASCII控制命令, ADCP输出数据按首尾8比特字节传输。
- 输出数据: 流速及船速分量, 散射水平及各深层状态。时间, 水温, 两轴倾斜, 测试及其它辅助数据。
- 输入数据: 时间, 测深层数, 测深层长度, 发射率, 测量间隔及其它控制参量。

## 2.4 数据采集系统(DAS)功能

### a. 实时ADCP流速剖面数据处理

- 航向, 船左右及前后摇摆数据采集。
- 船左右, 前后摇摆补偿, 以减少船状态导致的误差。
- 分解为北/南和东/西坐标系
- 矢量平均

### b. 操作菜单

- ADCP设置
  - 层数, 脉冲重复率, 发射间隔, 测深层长度及ADCP控制。
- 数据采集参量
  - 平均间隔, 数据存贮控制。
- 图形数据显示
  - 可以固定式自动图形比例显示, 相对流剖面或绝对流剖面。
- 键入辅助数据
  - 设置日期, 时间及航次识别符。

### c. 数据记录

- 可选多个驱动器, 按ASCII或二进制记录各种数据类型, 存贮在软盘或硬盘上。

### d. 数据显示

- 绘制沿深度的矢量平均北/南及东/西流速分量
- 日期和时间
- 1航次识别符
- 平均采样时间间隔和剩余时间

- 船速
- 数据表输出
- e. 图形硬拷贝
  - 图形可以在屏幕上显示, 也可以在打印机或绘图仪上绘出。
- f. 导航系统选择
  - Loran-C或GPS接口
  - Loran-C或GPS初始化
  - 计算船速, 并从流剖面数据中减去平均船速。
  - 船位计算

### 3 观测实施

#### 3.1 系统安装

前面介绍了ADCP的基本配置组成等, 实际使用中, 由于受船上设备(如导航、罗经等)技术条件经费等客观因素的限制, 满足不了仪器制造公司所要求的全部系统配置, 只能根据实际条件, 尽可能达到其要求, 以提高观测精度。下面以向阳红14号船上的ADCP为例, 介绍其实施情况。

该系统由下列设备组成:

- a. 剖面仪: 由探头专用电缆及19英寸甲板电子仪器单元组成;
- b. 两台IBM-PC兼容机;
- c. 稳压电源及不间断电源;
- d. Epson打印机;
- e. GPS定位仪。

此外, 还利用船上的航向磁罗径及卫星导航系统MAGNAVOX1105R。该系统没有

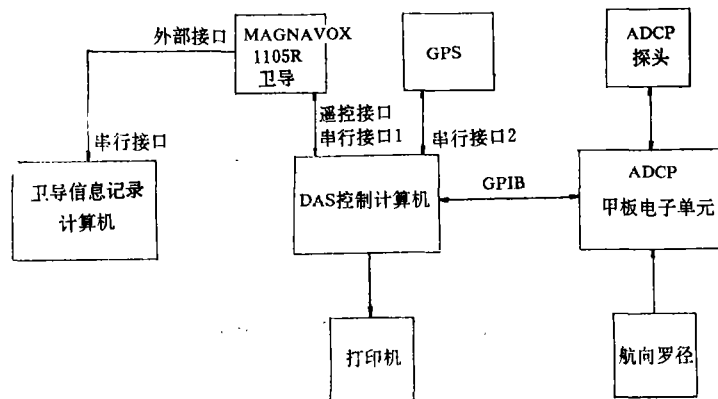


图1 向阳红14号船上的ADCP系统连接框图

配置船左右及前后摇摆传感器, 没有Loran - C及CTD传感器, 给观测精度带来影响。图1为ADCP系统联接框图。

探头的安装位置对观测精度影响很大, 应尽量选在船体摇摆小, 噪声小及水体扰动小的位置。实际使用中, 探头安装在船前甲板货仓下面, 船龙骨附近, 利用一垂向伸向海的钢管井, 将探头安装在船底。图2为探头安装示意图。

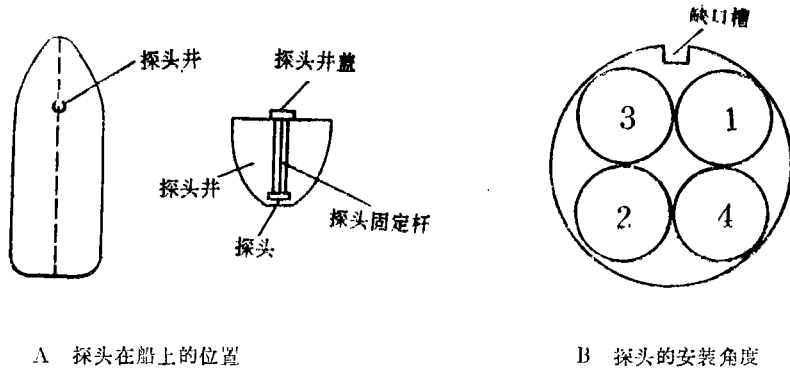


图2 探头安装示意图

### 3.2 实际操作

RD—VW型ADCP具有高效的数据采集系统, 菜单式DAS软件使系统功能及操作参量方便地在屏幕上修改。一旦各种参数确定, ADCP便自动地进行观测。操作人员所要做的工作是: 设置参数, 观察仪器工作状态, 换记录数据软盘及记录日志。主要操作设备有: 1.ADCP DAS系统; 2.MAGNAVOX - 1105R卫星系统; 3.GPS定位仪; 4.卫星导航信息记录计算机。实际中, 主要参数的设置如下:

- a. 采样间隔300s;
- b. 层数58;
- c. 层长度8m
- d. 脉冲长度16m;
- e. 脉冲周期1s;
- f. 在水深小于500 m时, 设置Bottom Track (底航迹) 为ON; 在水深大于500m时设置为OFF;
- g. MAGNAVOX-1105R卫星信息输出时间间隔为5min。

## 4 资料处理

ADCP观测数据量大, DAS数据采集系统将原始数据按二进制记录, 每5min采样一次, 大约30h可以记满一张360Kb软盘, 另外由于观测在时间、位置上的随机性, 使得ADCP的资料处理不同于传统海洋观测资料。数据处理系统是建立在由C语言编制的分层数据库基础上的, 在数据库中进行数据编辑, 删除, 质控, 标定, 计算等, 处理过程全部在IBM-PC机上完成。

资料处理的第一步是读取由DAS采集的原始二进制数据文件,以用于检验错误,并将包含有PC时钟与卫星时钟时间差的检测信息写出,这个信息用于时间修正,时间修正公式如下:

$$t-correct = t_0 + clock-rate * (t-recorded - pc-time)$$

式中:

- t-correct为修正后的正确时间;
- t<sub>0</sub>为正确时间的起算点;
- pc-time为t<sub>0</sub>时刻的PC时间;
- t-recorded为记录在原始文件中的时间;
- Clock-rate为时钟速率;
- clock-rate=1.0时钟速率正确;
- >1.0时钟慢;
- <1.0时钟快。

时间修正与将原始文件转换为数据库同时进行。下一步则是对剖面编辑以消除明显的误差。程序根据下面几个条件浏览每一个剖面:1.随深度AGC水平大幅度增加;2.垂向速度分量突变;3.水平速度分量沿垂向的二阶差分值较大。当这些情况发生时,有关的信号便被写入输出文件,用以指出是由于底干扰,还是其它异常。被怀疑的剖面也可以绘出图,利用人工检验,去除有错误的层次或整个剖面。

根据探头相对于航向罗径的夹角及探头安装几何位置的微小偏差,校正水体相对于船的速度。

资料处理的最后一步是利用导航数据计算船速,用于估计绝对海流速度。如果数据的连续性较好,则计算相对简单,如果有缺测,则计算相对复杂。导航资料来自于Magnavox-1105R及GPS,下列条件用于对Magnavox-1105R 卫星资料的质控:1.卫星仰角高度低于7°或高于70°;2.迭代数超过3;3.定位点超过卫星过顶位置4英里以上。当上述情况发生时,数据则是不可靠的予以删除。此外,经过第一次导航计算,发现有异常点,利用人工清除。

通常绝对流速剖面的计算,首先要计算参考层的绝对速度,使用5~20层,大约50~170m作为参考层(Kosro, 1985; Wilson and Leetman, 1988)。位于两个定位点的平均参考层速度可以由船相对地的速度(由导航定位计算出)与船相对参考层的速度(由ADCP计算出)之差求得。介于两个定位点之间的初步估计的参考层速度是一个常量,然后用Blackman窗函数W(t)(Blackman and Tukey, 1958),按宽度T对整个观测序列进行平滑,

$$W(t) = 0.42 - 0.5 * \cos(2\pi t/T) + 0.8 * \cos(4\pi t/T)$$

对于不同的卫星定位质量,T分别取为12小时,6小时或几十分钟。

平滑后的相对地的参考层速度加到船相对于参考层的速度,则得到了最后的船速。对每一相邻连续的ADCP数据积分,拟合出每一块数据所在的位置,则生产了船迹。

在上述的计算过程之前,剖面的底层数据要进行编辑,删除等,以减少误差。编辑,

删除的准则一是根据百分比好的数据界限来检验所有深度层,一般百分比界限值的范围为20~80%,通常取30%;另一准则是根据Chereskin等(1989)的深层误差分析观点,即为了减少噪音误差,在噪音床以上,AGC水平低于其界限值的深度以下的数据被删除。通常AGC界限值为7计算(一计数大约为0.45dB)。

由于仪器设定的声速与实际声速不同,利用附近的CTD测站资料计算实际声速,对深度进行订正,用线性内插方法由实际观测层数据求得标准层的数据。

## 5 结束语

几年来的观测实践,使我们对RD-VM型ADCP的性能,观测实施及资料处理有了进一步的认识。该仪器性能稳定,故障率低。尽管该仪器的实验室精度非常高。但实际使用中的情况则取决于环境条件及辅助设备。其观测精度受以下几方面因素影响:

- 5.1 **海况:** 条件恶劣、船摇摆大,精度低,否则,船行平稳,精度高。
- 5.2 **水质:** 海水中精度大于淡水中精度,在海水中测深可达500m,而在淡水中最大只能测到300m,因为海、淡水中的微颗粒浓度不同。水中气泡也影响其观测精度。
- 5.3 **噪音及船速:** 噪音主要是指船发出的噪音,噪音大、精度低。在观测中发现,当船速大于16kn时,测深定浅,数据质量下降。
- 5.4 **船速估计:** 这是目前ADCP在大洋中使用所遇到的最大问题。ADCP测得的是船相对于水体的速度,绝对流速应由测得的相对速度减去船速。在水深小于500m的近岸,ADCP可以测得底流速,也可以利用Loran-C定位系统,来求得船速,因而其测流精度较高;在大洋,只能利用卫星导航系统,以往使用的Magnavox-1105R定位时间间隔长,精度低。GPS是一种新型全球定位系统,但由于卫星数目少,其覆盖面及时间受限制,如在西太平洋,其覆盖时间为每天18~22h。
- 5.5 **探头三维摇摆测定**

a. 探头安装位置的标定。由于安装角度偏差 $\phi$ 及振幅因子A的影响使观测精度受影响。其结果使绝对流速的计算误差与船速成正比。 $\phi$ 为 $1^\circ$ 造成的船弦向绝对流速误差为船速的1.7%;A为1%造成的船头向绝对流速误差为船速的1%。

b. 探头随船摇摆的测定,由于受经费,设备的限制,只利用航向罗径来测定水平摇摆,而没有测量沿船头及船舷的上、下摇摆,假设其摇摆角度为零,影响了精度。应加设三维摇摆传感器。或在船上设三个GPS接收器,来测定船体的三维摇摆。

综上所述,为了提高观测精度,一是要提高ADCP本身的性能;二是要提高定位的精度。随着卫星定位技术的提高,ADCP的观测也将进一步完善。

## 参 考 文 献

- 1 Acoustic Doppler Current Profiler (RD-VM Model) with IBM Compatible DAS Operation and Maintenance Manual, Prepared by RD Instruments, April 1,

- 1988.
- 2 Bahr, F, and E. Firing and Songnian Jiang. Acoustic Doppler Current profiling in the western Pacific during the US—PRC TOGA cruises 2, 3 and 4. Joint Institute for Marine and Atmospheric Research (JIMAR) Data Report NO. 5
  - 3 Blackman, R.B, and J.W. Tukey. 1959. The measurement of power spectra. Dover Publications, 190PP.
  - 4 Chereskin, T, E. Firing and J. Gast, 1989. On identifying and Screening filter Skew and noise bias acoustic Doppler Current profiler measurements. J. Atmos. Oceanic and Technol., 6, 1040—1054.
  - 5 Firing, E., and Songnian Jiang. 1989. Variable currents in the western Pacific, measured during the US/PRC Bilateral Air—Sea Interaction Program and WEPOCS. Proceedings of the Western Pacific International Meeting and Workshop on TOGA—COARE OSTROM, Numea, New Caledonia.
  - 6 James L. C. Theory and Performance of a Doppler current Profiler. CH1926—5/83, 1983IEEE.
  - 7 Joyce, T.M. 1982. Shipboard acoustic profiling of upper ocean currents. Deep Sea Research, Vol. 29, No. 7A PP903—913.
  - 8 Kosro, P.M. 1985. Shipboard acoustic current profiling during the Coastal Ocean Dynamics Experiment. PH.D. thesis, SIO Ref 85—8, 119PP., Scripps Inst. of Oceanogr., La. Jolla, Calif.
  - 9 Pinkel, R. 1983. Doppler Sonar Observation of Internal Waves., Wave—Field Structure. J. of Physical Oceanogr. Vol. 13. May. PP804~815.
  - 10 Wilson, D., and A. Letman 1988 Acoustic Doppler current profiling in the equatorial Pacific in 1984. J. Geophys. Res., 93, 13, 947—13, 966.

## ADCP Observation and Its Data Processing Technique

Jiang Songnian

(National Marine Data & Information Service, SOA, Tianjin)

### Abstract

Taking the RD-VM model ADCP for example, and its using the PRC/US TOGA Project, the principle, Characteristics, Observation and data processing of ADCP are introduced in this Paper. Also, the Problems in recent performance of ADCP are given,