

浅谈走航式 ADCP 的应用

苏文清

(福建省港航勘察设计研究院, 福建 福州 350002)

摘要 本文介绍了 ADCP 的基本工作原理和流量计算方法, 并对其优缺点进行了分析, 同时对 ADCP 未来改进的方向进行了探讨。

关键词 走航式 ADCP 流量测验 优缺点

中图分类号: P229

文献标识码: B

文章编号: 1672-4097(2011)05-0037-02

1 走航式 ADCP 简介

ADCP(声学多普勒流速剖面仪)是目前世界上最为先进的水流流速、流量实时测量设备, 与传统流速仪不同, ADCP 是一种遥测仪器。它利用多普勒效应原理, 进行高分辨率的瞬时流速测量, 并测量水流深度或水流宽度, 能直接计算出河道的断面流量。ADCP 通常包括: 换能器(四波束探头)、操作系统、计算机及连接设备等 3 个主要部分。

2 ADCP 的工作原理

2.1 基本工作原理

在工作时, ADCP 向水体发射固定频率的超声短脉冲, 这些超声波脉冲碰到水中的散射体(浮游生物, 泥沙等)将发生散射。从散射体返回的信号在频率上与发射波之间的频率改变, 称作多普勒频移, 可据此计算出水流相对于 ADCP 的速度。而从每个波束接收到的回波信号可得到水流的东向、北向和垂向速度分量。同时, 还向水底发射底跟踪脉冲, 测出测船的运动速度以及水深, 然后将水流相对速度扣除船速得到水流的绝对速度。

按多普勒频移方程:

$$F_d = 2FV/C \quad (1)$$

式中: F_d —多普勒频移;

F —发射频率;

C —超声波在水体中的传播速度, 与温度、含盐度有关;

V —水流的运动速度。

从公式可知, 发射频率 F 为已知, 只要测定声速 C 和频移 F_d , 即可求出水流速度。

从理论上讲, ADCP 流量测量原理与传统人工船测、桥测、缆道和涉水测量的基本原理相同。它们都是在测流断面上布设多条垂线, 在每条垂线处测量水深并测量多点的流速从而得到垂线平均流速, 从而得到整个断面的流量。

2.2 流量计算

ADCP 基于如下公式计算流量:

$$Q = \iint_S u \cdot \xi ds \quad (2)$$

Q —流量

s —河流断面面积

u —河流断面某点处流速矢量

ξ —作业船航迹上的单位法线矢量

ds —河流断面上微元面积

公式(2)可以重新写为:

$$Q = \int_0^T \left[\int_0^H u \cdot dz \right] \cdot \xi \cdot |V_b| \cdot dt = \int_0^T \int_0^H (u \times V_b) \cdot k \cdot dz dt \quad (3)$$

T —跨断面航行时间

k —垂向单位矢量

将沿航迹的断面离散为 m 个微断面, 则:

$$Q = \sum_{i=1}^m [(V \times V_b) \cdot k]_i \cdot H_i \Delta t \\ = \sum_{i=1}^m [V_x V_{by} - V_y V_{bx}]_i \cdot H_i \Delta t \quad (4)$$

H_i —微断面 i 处水深

Δt —相应于微断面的测量时间平均步长

m —断面内总的微断面数目

V —相应于每一微断面的深度平均流速矢量

深度平均流速的 x 方向分量由下式算出(y 方向分量类似):

$$V_x = \frac{1}{H} \int_0^H u_x \cdot dz = \frac{1}{H} \left[\int_0^{\xi} u_x dz + \int_{\xi}^{\eta} u_x dz + \int_{\eta}^H u_x dz \right] \\ = \frac{1}{H} [Z_1 V_{x\beta} + (Z_2 - Z_1) V_{xM} + (H - Z_2) V_{xT}] \quad (5)$$

V_{xT} —表层平均流速(x 方向分量)

V_{xM} —中部平均流速(x 方向分量)

$V_{x\beta}$ —底层平均流速(x 方向分量)

因存在上、下盲区, 垂线平均流速的计算分为中层、表层和底层 3 部分。中部平均流速由 ADCP 直接测出, 其值为所有有效单元所测流速之平均。

x 方向流速分量由下式算出(y 方向分量类似):

$$V_{xM} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_{xj} \quad (6)$$

U_{xj} —单元 j 中所测的 x 向流速分量

n —有效单元的数目

由于 ADCP 换能器必须浸入水中一定深度,系统不能直接测出这部分水流速,形成表层盲区;由于河底对声束的干扰,在河底存在一干扰区(底盲区),其流速数据不能使用。表层和底层平均流速和流量借助于指数流速剖面来推算表层或底层平均流速及流量:

$$\frac{u}{u^*} = 9.5 \cdot \left(\frac{z}{z_0}\right)^b \quad (7)$$

u —高度 z 处的流速

u^* —河底剪切流速

z_0 —河底粗糙高度

b —经验常数=1/6

2.3 岸边流量估算

在作业过程中,测船不可能紧靠岸边测量,ADCP 不能测出近岸边的流速和流量,可利用内插法来确定岸边流量。根据流量测验规范,岸边区域流量可由下式估算:

$$V_a = \alpha V_m \quad (8)$$

V_a —岸边区域平均流速

V_m —起点微断面(或终点微断面)内的深度平均流速

α —岸边流速系数

$$Q_{NB} = \alpha A_a V_m \quad (9)$$

α —岸边系数

A_a —岸边区域面积

V_m —起点(或终点)微小断面内的垂线平均流速

断面总流量即为 ADCP 流量与岸边估算流量之和。

3 ADCP 在应用中的优缺点

ADCP 作为当今世界上最先进的水文测验设备,已得到广泛的应用。与传统流速仪相比 ADCP 具有较大的优势,亦有自身的缺点。

3.1 优点

(1) 传统的流速仪适合采用静态方法,只能进行定点观测;而 ADCP 可采用动态方法,亦可采用静态方法,可分别用于走航式和定点观测。

(2) 与传统流速仪测流相比,ADCP 的仪器分辨率、测速精度大大提高,且可连续不测量。以瑞江 600kHz ADCP 为例,在标准工作模式下,采用的深度单元最小尺寸可为 0.5m,也就是说在水深为 5m 时测流,可将垂线划分为 10 个单元,相当于“十点法”,仪器分辨率大大提高。

(3) ADCP 流量测量速度快、效率高。当 ADCP 测船完成一个断面的航行后,即可直接测得断面的流量值,无需再进行人工计算,大大降低了劳动强度,还节省了人力物力资源。

(4) ADCP 流量测量精度更高。传统流速仪法一个断面只能布设若干个测点,且需进行人工计算流量值,而 ADCP 法则相当于在断面上布设了密度更大的测点,由于采样率更高,获得的流量数据自然精度更高。

(5) 与传统流速仪相比,ADCP 易于保养,且故障率更低,可靠性好。

3.2 缺点

(1) ADCP 是声学测验设备,水体中较多的泥沙颗粒将会削弱仪器声波的发射和接收,所以测量成果一定程度上受水体含沙量的影响。这时需要采用较低频率的系统才能达到较大的剖面深度和保持底跟踪。然而一般低频系统分辨率较低。随着技术的进步,一些采用宽带信号处理技术的系统在较高含沙量情况下具有较好的穿透性,并且分辨率较高。

(2) 在流态较乱时,比如出现逆流、死水等情况时,ADCP 后处理软件的处理能力较差,需进行人工分析干预,以便获得更为准确的数据。

4 结语

ADCP 有着较大的优势,亦满足现阶段高精度、高效率的要求,尽管在特定条件下具有一定的缺点,如果在信号处理技术改进以及后处理软件的优化方面有所突破的话,ADCP 会有着更为广阔的应用前景。

参考文献

- 1 国家技术监督局,中华人民共和国建设部. 河流流量测验规范[S]. 北京:中国标准出版社,1993.

Discussed the Application of ADCP

SU Wen-qing

(Fujian Port & Waterway Investigation & Design Institute, Fuzhou Fujian 350002, China)

Abstract The paper introduces the basic working principle of the ADCP and the method of the flow calculation, and analyze the advantages and disadvantages of the ADCP, and also, the future improving direction of the ADCP is discussed here too.

Key words vessel-mounted ADCP; discharge measurement; advantages and disadvantages