

ADCP 定点测流方法应用

刘双林 宋树东

(吉林省水文水资源局,吉林 长春 130022)

摘要:ADCP 可进行定点测流和断面流量测量,其应用解决了水文测验中库区复杂流况测流的难题,同时也解决了北方河流冬季无法走航的问题。以靖宇核电水文站水文测验为例,着重论述了 ADCP 定点测流方法在库区流量测量中的成功应用。实践证明,ADCP 定点测流数据可信,在复杂流况观测中比传统的机械式流速流向仪取得的测流效果更好。

关键词:ADCP; 定点测流; 水文测验; 水文站; 库区;

中图分类号:P332 **文献标识码:**A

1 问题的提出

核电水文站是为核电厂建设前期收集各项水文资料而设立的专用水文站,其目的在于提供厂址水域的水文数据,为冷却水取排水工程方案的制定、核电厂的安全用水系统取水可靠性分析、低排放废水扩散预测、核电厂可行性研究提供实测基础水文资料、技术参数和设计依据。核电工程需要建在库区附近,库区水流特性与一般河流相比,其显著特点是:水深大、水位落差大、流速小(几乎接近零)、水体大,在运动过程中容易形成多种流态,如漩水、回流、横流等。这些复杂流况的测量一直是水文测验所面临的难题,使得传统的机械式流速流向仪测流受到了测流时间的限制。按照规范^[1]要求,当出现多变流况时,必须进行 10 min 加密,这使机械式流速流向仪要合理工作更为困难。若使用 ADCP 仪器,就可以轻松解决这个难题。这是由两种仪器的测量原理及方式不同所决定的:机械式流速流向仪是单点式测量仪器,只能测出该层的流速;而 ADCP 是一种“剖面仪”,无论它布放在水面平台上(如锚系船),还是布放在海底,均能测出仪器所处位置的垂直剖面多点流速,特别在流速较小,水体较大的库区测流,更能显现其无可比拟的优点。

2 ADCP 定点测流基本原理

ADCP 是声学多普勒流速剖面仪的英文简称,即 Acoustic Doppler Current Profiler。ADCP 是测验水流速度剖面的仪器,除可走航测流外,还可以进行定点测流和断面流量测量。其原理是依据声波中的多普勒效应,即观察者与声源之间的相对运动会使观察者接收到的声波频率发生变化。声波是压力波,人们通过压力波对耳膜产生的振动感觉声波。内耳将压力波的机械能转化为大脑可识别的电信号。ADCP 一般配备有 4 个换能器,换能器与 ADCP 轴线成一定夹角。每个换能器既是发射器又是接收器。换能器发射某一固定频率的声波,然后聆听被水

体中颗粒物散射回来的声波。假定颗粒物的运动速度与水体流速相同,当颗粒物的运动方向接近换能器时,换能器聆听到的回波频率就比发射波频率高。当颗粒物的运动方向背离换能器时,换能器聆听到的回波频率比发射波频率低,这种颗粒物的运动引起频率的改变称为声学多普勒频移。根据此频移的大小和符号(正负),就能计算出流速和流向。计算公式如下:

$$\Delta f = \frac{2uc\cos\alpha}{c}f \quad (1)$$

式中 Δf 为多普勒频移; f 为声源所发射的声脉冲频率; c 为声波波速; α 为超声波波束方向与流速方向的夹角; u 为流体中悬浮粒子运动速度,即流体流速。根据(1)式可以计算出流体的速度为:

$$u = \frac{c}{2f\cos\alpha}\Delta f \quad (2)$$

3 观测实例

3.1 概述

靖宇核电水文站是为吉林靖宇核电厂建设前期收集各项水文资料而设立的专用水文站,地理坐标为东经 127°05',北纬 42°04'。流量测验断面位于白山水库库区的头道松花江上,测流工作面临着诸多困难,主要有以下几点:① 水位变幅高达 40 m; ② 测流断面流况复杂,漩水、回流、横流等多种流态并存; ③ 作业水深多达到 100 余米; ④ 资料提交时间紧,野外作业结束后,需马上提交中间成果。

3.2 测验方法优选

从理论上讲,用 ADCP 进行流量测量的原理与传统方法的原理是相同的,都是在测流断面上测出多条垂线的水深和流速,从而计算出流量。但是它们之间存在着很大的差别:

(1) 传统测量法中的测点数有限。传统的机械式流速流向仪是单点式测量仪器,无论用什么原理测流,当被布放在某一深

度层时,都只能测出该水深处的时均点流速。一般一个河流断面只设 5~7 条测速垂线。每条垂线施测 3~5 个不同水深的点流速。

ADCP 是一种“剖面仪”,无论它布放在水面平台(如锚系船)上,或布放在河底,它都能同时测出该仪器所处位置的垂直剖面的多个测点,为多点测量仪器。在一个垂直剖面上测点数最多可达 128 个。由此看来,布放 1 台 ADCP 相当于垂直悬挂多台单点测流仪,可见其效率是十分高的。

(2) 传统方法的测流断面通常要求垂直于河岸。ADCP 方法不要求测流断面垂直于河岸。在走航测量时,船只航行的轨迹可以是斜线或曲线,对定点测量也是如此,这极大地方便了水文施测作业。

此外,表 1 从其他几方面对传统的机械式测流和 ADCP 测流进行了比较,以证明采用 ADCP 方法的合理性。由于测流的最大水深为 100~150 m,故采用美国 RDI 公司生产的瑞江 300 kHz 宽带 ADCP,并利用测船进行定点测流。

ADCP 走航测流技术已经比较成熟,而定点测流还没有广泛应用。为了检验 ADCP 定点测流结果的可信性,此次定点测流后又进行了走航测流,将定点测流成果与走航测流成果进行比较,目的是研究 ADCP 是否适合于库区定点测流。

表 1 两种测流方法比较

使用仪器(方法)	主要附属设施	安装设备	测量水深	速度	采用频率	记录
机械式流速	手柄+传输线	水文绞车	依赖传导线和	不同步	固定	手工
流向仪	(100 多米长)	(重约 150kg)	绞车绳索长度			记录
ADCP	电源线+传输线	1 付撑杆+ 架子	跟频率、设置 有关,可调节	同步	根据需要 进行	计算机 存储

3.3 瑞江 300kHz 宽带 ADCP 的应用

(1) 安装。直接用 1 副撑杆及绳索固定在测船船舷,探头垂直朝下,距离船舷 1 m,见图 1。作为测量平台的测船用 100 多米绳抛石固定,船形尽量保持不变。



图 1 安装在测船上的 ADCP

(2) 作业过程。ADCP 直接用计算机连接,进行定点 100 s 连续观测、自动存储。

(3) 测速垂线布设。根据 ADCP 走航断面形状,按照《河流流量测验规范》(GB50179-93)关于测速垂线布设的规定,断面共布设 6 条测速垂线,利用徕卡 TC1202 全站仪确定起点距。测速垂线布设能够控制河底高程及流速变化转折点。全断面施测 6 条垂线,垂线布置见图 2。

(4) 测流成果。瑞江牌 ADCP 的 Window 运行软件操作十分方便。在测量过程中,ADCP 原始测流文件中包含了 ADCP 测流时所记录的所有信息,内容包括:测流时间、沿船航向角、温度、航行距离(包括向东方方向分量和向北方向分量)、各探头

实测水深、累积流量(包括上、中、下 3 层)、各水层水深、各水层流速(包括流向角、东分量和北分量)、各探头的回声强度等,这些参数可清晰地计算机屏幕上显示出来,非常直观;同时实测数据都储存在计算机中,可以进行各种必要的后处理作业,根据需要整理成不同形式的成果。

靖宇核电水文站定点测流成果见表 2,3。

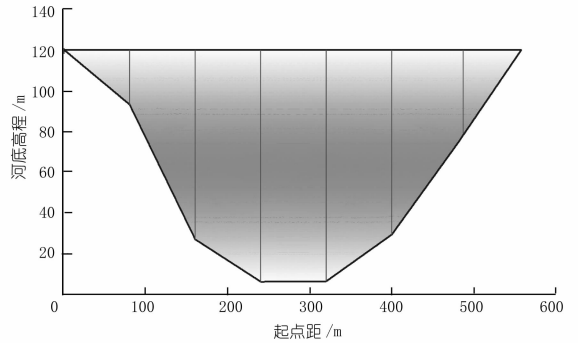


图 2 靖宇核电水文站断面垂线布置

(5) 成果可信性。在测量过程中,ADCP 仪器采用前后绳索抛石固定方法,这样理论上船速接近于零。由于受条件限制,只能在观测水位不变的情况下,先定点测后走航测,虽然在时间上不同步,但水位是相同的,所以理论上比测结果应该是可信的。

表 2 靖宇核电水文站 8 断面实测流量计算(2008 年 6 月 26 日 12:15)

垂线号	起点距/m	应用水深/m	测深间距/m	部分面积/m ²	垂线流速/(m·s ⁻¹)	部分流速/(m·s ⁻¹)	部分流量/(m ³ ·s ⁻¹)
1	80	26.8	80	1070	-0.004	-0.003	-3.07
2	160	93.2	80	4800	0.005	0.000	2.20
3	240	114.0	80	8290	0.008	0.006	51.90
4	320	113.8	80	9110	-0.003	0.002	22.40
5	400	90.8	80	8180	0.010	0.004	31.80
6	480	46.2	80	5480	-0.003	0.004	21.50
7	558	0	78	1800		-0.002	-3.15

注:左岸起点距为 0;7 号垂线为右岸。

表 3 流量计算成果

断面流量/(m ³ ·s ⁻¹)	水面宽/m	开始水位/m	断面面积/m ²	平均水深/m	终了水位/m	平均流速/(m·s ⁻¹)	最大水深/m	平均水位/m	最大测点流速/(m·s ⁻¹)	相应水位/m
124	558	401.28	38700	69.3	401.28	0.003	114.0	401.28	-0.046	401.28

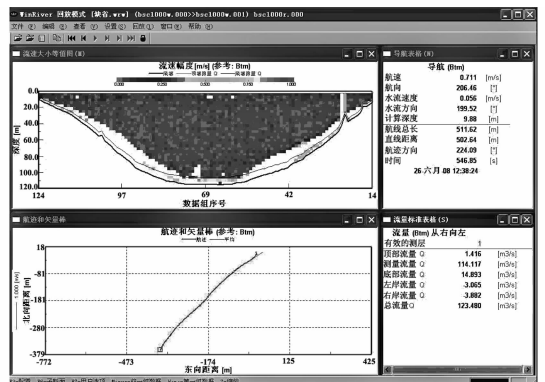


图 3 走航式测流成果