

基于 ADCP 反向散射强度 估算悬沙浓度在洋山港的应用研究

张志林¹, 邓乾煥², 朱巧云¹, 钱峰³

(1.长江水利委员会长江口水文水资源勘测局, 上海 200136;
2.长江航务管理局长江宜宾航道局, 四川 宜宾 644002; 3.水利部水文局, 北京 100053)

摘要:洋山深水港地形差异大,流态复杂,在宽阔的西口门和窄深东口门,以传统方法同步开展悬沙输移监测十分困难。详述了在颍珠山汉道应用 ADCP 走航测沙的实现方法,结论显示,与传统代表垂线法成果相比,通过 ADCP 声反向散射信号计算的垂线平均含沙量,其对比标准差约为 6%,随机不确定度在 12%(置信水平为 95%)左右,误差分布基本成正态,两种方法之间的断面输沙率相关系数达到 0.96,可见,利用 ADCP 的声反向散射信号,只要标定得当,在洋山港区得到的垂线平均含沙量和断面输沙率是可信的,该技术将为洋山港区关键控制断面悬沙监测提供新思路。

关键词:ADCP;声反向散射;含沙量;洋山深水港;颍珠山汉道

中图分类号:TV123;TV148 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0852(2011)02-0062-07

1 引言

上海国际航运中心洋山深水港建在多岛屿、多汉道、强潮流、高含沙的自然环境中,水文泥沙问题是港口运营维护的关键技术难题。多船同步、沿水深分层采集水样进行实验室分析的传统水文泥沙测验方式,具有工作量大、同步性差、代表性低等局限性。而洋山港区受两侧岛链的约束,流态复杂,在宽阔的西口门和窄深东口门,以传统方法同步开展悬沙输移监测尤其困难。而利用声学多普勒流速剖面仪(ADCP)输出数据中的声学信息,通过少量实测水样的率定,计算出整个断面的实时输沙率,是潮汐海域水文泥沙监测的一次创新。为此,在上海市科委的资助下开展了专题研究,研究区域见图 1 和图 2。研究分两部分,首先,验证声学仪器 ADCP 在洋山港区开展测沙工作的可行性,研究区域为颍珠山汉道的 ADCP-9 断面;其次,在洋山港区应用 ADCP 开展大范围悬浮泥沙监测,评估洋山港区总体冲淤环境。本文为第一部分研究。

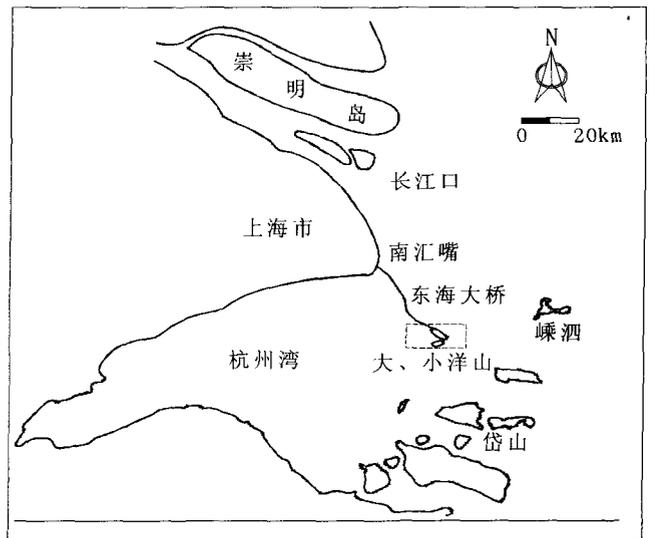


图 1 大、小洋山岛所在位置

Fig.1 The location of large and small Yangshan islands

2 工程区水文泥沙条件与变化特征

本节资料来源于洋山建港前后,自 1992 年始的

收稿日期:2010-09-06

基金项目:上海市科研计划项目课题(No.09231200504)

作者简介:张志林(1968-),男,江苏南通人,教授级高级工程师,主要从事水文测绘、河口海岸及自然地理研究。E-mail:cjkzzl@126.com

294 次的定点观测和自 2002 年起的 23 期 ADCP 断面流场跟踪监测成果。

2.1 水文条件

洋山海域水流具有明显的潮周期运动特征,落潮流占优。涨、落潮流按 WNW—EES 方向,流经崎岖列岛,穿越洋山海域主通道和众汊道,进出杭州湾,以半日周期往返流动,半日分潮率约为 0.1 左右,往复性非常强。

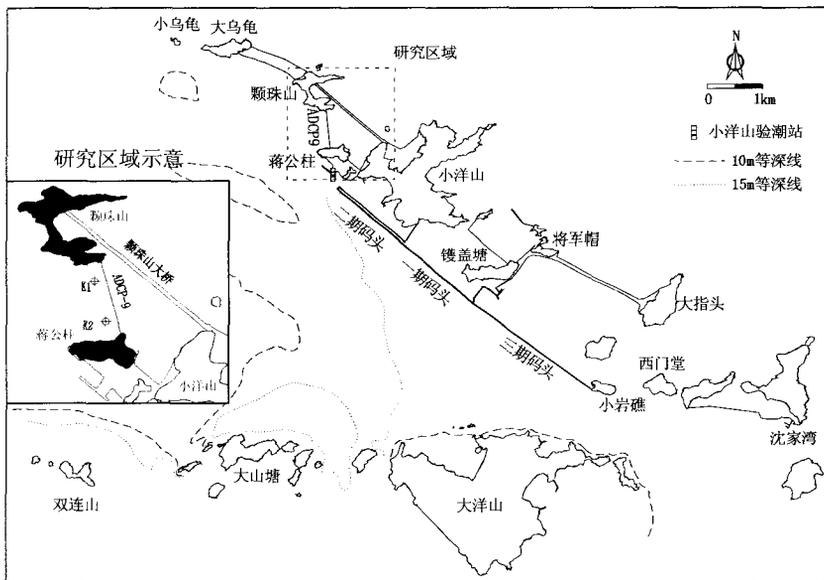


图 2 研究区域示意图

Fig.2 The sketch map of the study area

洋山海域工程前西口门落潮流速较大,向东至通道中段渐减,后渐增至东口达最大;涨潮流速东口最大,自东向西递减;流速横向分布以通道中央较大,近岛链岸侧较小;通道中央以涨潮流略占优势,而两岸侧则落潮流明显占优。以 1992 年 2 月大潮测次为例,本海域内实测落潮垂线平均流速 0.90~1.20m/s,最大达 1.47m/s,在列岛两侧;涨潮平均流速介于 0.80~1.20m/s,最大流速介于 1.48~1.54m/s,在小洋山岛链东北侧。

三期工程完成后(2007 年 10 月),本海域落潮和涨潮阶段平均流速在西口断面分别为 1.04m/s 和 0.84m/s,落涨流速比为 1.23,落潮流明显占优;在东口断面分别 1.16m/s 和 1.14m/s,落涨流速比值为 1.01,落、涨潮流呈均势。

小洋山验潮站 2001~2007 年的潮位资料统计和分析表明,工程后年平均高潮位略增,低潮位略降;主要半日分潮 M_2 和 S_2 的振幅增加 4%~5%,潮性

指标 $F=(H_{k1}+H_{01})/H_{M2}$,增幅 5%,与建港前相比,潮动力略有增加,但潮汐性质未变。

2.2 泥沙变化特征

据小洋山验潮站(见图 2)定点长期观测资料,崎岖列岛内海区含沙量年平均为 0.8~0.9kg/m³,年内逐月分布具有明显的季节性变化,冬季高、夏季低,与本区风浪强度的季节性变化基本一致。

洋山海域泥沙属黏土质粉砂类型。近岛屿周边底

部泥沙较粗,以砂—粉砂—黏土为主,中值粒径 D_{50} 为 0.019~0.054mm;主通道海域底沙以黏土质粉砂为主, D_{50} 介于 0.0042~0.022mm;悬沙 D_{50} 介于 0.0063~0.0147mm。风浪对本海域含沙量具有明显影响,底沙在波浪作用下悬扬,在潮流作用下搬运,因此,本海域泥沙运动以“波浪掀沙,潮流输沙”为主要运动形式。

多年的水文测验结果表明,本海域含沙量总体有如下特点:①垂线分布为表层低,底层高,实测底层最大含沙量在 5.0 kg/m³ 以上;②时间分布一般为大潮含沙量大,中潮次之,小潮含沙量最小;③空间分布,列岛南部海域要高于北部,西部高于东部,主通道含沙量相对较低,平均约为 1.0 kg/m³ 左右。

3 试验区域与方法

3.1 试验区域与布置

本次研究的区域选择颗珠山与小洋山之间的汊道(颗珠山汊道),如图 2 所示。该汊道为原北岛链 4 大汊道之一,是北岛链目前仅存的未封堵的汊道,其断面形态单一(见图 3),近颗珠山侧陡深,涨潮流占优;近蒋公柱侧平缓,落潮流占优。

为检验 ADCP 进行输沙率测验的精度,本次试验利用 3 条测船。K1、K2 两点为固定测船,以常规六点法,整点测流速流向,并同步采集水样,测点位置见图 2 中插图和图 3(原计划起点距 300 m 处尚布置一条定点测船 K3,因通航安全问题,未得海事部门批准,因此 K1、K2 两条垂线代表性稍差);另布置一条动船,以 ADCP 进行走航流量测验,控制走航于断面中间时为整点,断面施测前后,分别于断面的两端固定点(与 K1、K2 接近)以六点法采集水样和利用 OBS-3A 记录

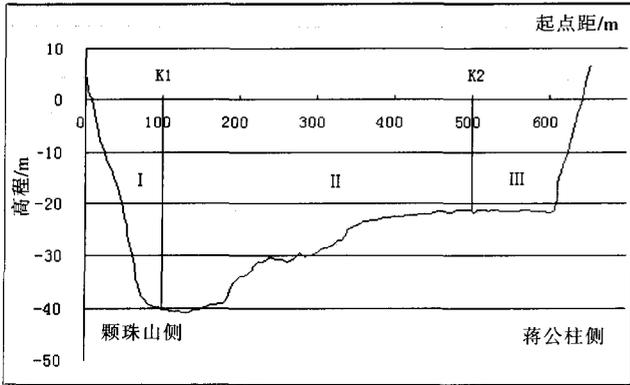


图3 颗珠山汊道(ADCP-9)断面图

Fig.3 The cross section of the Kezhushan inlet (ADCP-9)

采样点的水体参数,并记录 ADCP 数据,通过率定,计算出断面输沙率,与传统测验成果比较,评估在洋山港区应用 ADCP 进行输沙率测验的可行性。

3.2 仪器设备与参数

仪器设备在测船上的安装示意图 4。

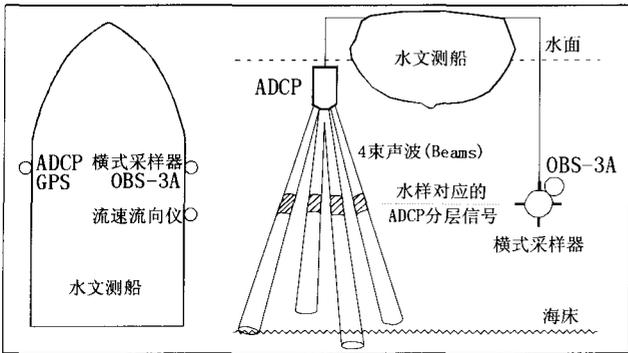


图4 仪器设备安装示意图

Fig.4 The schematic diagram of the equipped instrument

本次试验定点测流采用重庆水文仪器厂生产的 ZSX-3 直读式流速流向仪,其测速范围为 0.20~3.0 m/s。三台 ADCP 为美国 Teledyne 仪器公司的产品,频率均为 300 kHz,数据采集软件为 Winriver1.03 版,除采用 WM1 模式以及其它常用命令外,其余主要参数为:入水深度 1.0 m,分层单元 1.0 m,平均盐度 22‰,每组信号脉冲数 WP=4,底部跟踪信号数 BP=4,走航测验时,测轮速度小于 3.0 m/s。如图 4 所示,GPS 天线绑定在 ADCP 安装支架正上方,指导测船航行在预定的断面上。

悬沙采集采用 2000 ml 的横式采样器,OBS-3A 与横式采样器绑定在一起。测验时,OBS-3A 处于连续记录模式,其水深用来与同时刻的 ADCP 分层信号相

对应,其时的浊度、盐度、温度等参数均为由 ADCP 信号计算含沙量时所必须。

需要注意的是,所有仪器的时间必须校准一致。

3.3 试验时间

本次试验与洋山港施工期第 22 期潮流跟踪监测同步进行,测验时间及小洋山验潮站的潮汐特性统计见表 1。

表1 测验时间以及潮汐特性

Table1 The measuring time and tidal features

潮型	开始时间 (2008 年)	结束时间 (2008 年)	潮汐特性	
			平均潮差/m	频率/%
大潮	5 月 5 日 16:00	5 月 6 日 20:00	3.90	7
中潮	5 月 10 日 8:00	5 月 11 日 11:00	2.73	52
小潮	5 月 12 日 11:00	5 月 13 日 14:00	1.99	80

4 声学方式测沙原理简介

本文提及的“ADCP 测沙”或“声学方法测沙”,均指利用 ADCP 的声反向散射信号 (Acoustic BackScatter,简称 ABS,下同),经过标定,计算出垂线平均含沙量。国外专家早于 20 世纪 70 年代即开展了该领域的研究,并由 Urick(1975)^[1]开发了简化声纳方程;国内如张叔英、李允武,在 20 世纪 90 年代开发出声学悬浮泥沙观测 ASSM 系统,并在长江口进行了实际应用,得到典型悬浮泥沙浓度剖面^[2]。因应用声学方法测沙具有受水生物污垢影响小、不扰动探头以下水体的流态、可同步提供流量及悬移质含量的剖面等诸多优势,为潮汐河段断面输沙率的实时监测提供了可行的方案。

4.1 基本原理

从 ADCP 测流原理^[3-5]可知,ADCP 输出数据中含有的 ABS 信息,使 ADCP 具备了推算走航测验断面悬移质含量 (Suspended Sediment Concentration, 简称 SSC,下同)的潜力。

Urick^[1]的声纳方程包括的项有声传播区、散射强度区、声源电平以及双向传输损失项。传输损失是至声传播区距离以及水体吸收系数的函数,包含了由于扩散和吸收导致的损失。实际应用中,获得声源的所有特征是不可能的,因此,简化声纳方程的指数形式为:

$$SSC_{estimates} = 10^{(A+B \cdot RB)} \quad (1)$$

式中:SSC_{estimates} 为率定后计算所得的悬移质含量。

方程(1)的指数项包含有:测量的相对声反向散射量 RB,以及表示截距 A 和斜率 B 的项。

4.2 实现过程

实现时,采取如下步骤:①从 ADCP 生产商那里获得每台仪器每个波束比例因子 K_c , 该值将 ADCP 信号的计数(Counts)转换成分贝(dB);②率定每个波束回波强度的参考电平 E_r , 即接收强度信号指标 RSSI, 方法为将仪器置入测验区域水中,在随机软件 Bbtalk 中发送 PT3 命令,可获得该值,应小心来自于船舶电机和无线电台等的干扰;③获取部分 ADCP 参数,它们是与每个信号组一起记录的,包括发射盲区、发射脉冲长度、水层单元、电压、电流、传感器实时温度、波束角度、回波强度等;④计算相关外部变量,包括每个水层单元的声吸收系数(dB/m)、每个信号组中每个水层单元的声音速度(m/s)(部分计算参数可由 OBS-3A 采集的同步数据提供);⑤进行声散射信号与悬移质含量的转换,声散射信号依赖于颗粒衰减,而颗粒衰减又依赖于悬移质含量,因此,要得到悬移质含量,必须进行递归计算。

荷兰 Aqua Vision 公司的 Visea DAS 软件首先采用标准的关系曲线将第一层的 ADCP 的声反向散射信号计算成悬移质含量,此时,仅考虑声学扩散和水体吸收,不考虑颗粒衰减等其他因素,得到的悬移质含量来计算颗粒衰减,这个值用来改正下一层的声散射信号,设定收敛条件,不断优化重复,从而计算出整个信号的垂线平均含沙量。

本次试验中,上述步骤的③~⑤部分,由 Visea DAS 软件完成,后续数据处理分析,由自编软件完成。

虽然利用声学方法计算悬移质含量有诸多优势,但也存在一些局限,如单频仪器无法分辨粒径分布变化带来的影响,以及当泥沙粒径过大或过小时计算结果会出现系统偏差等,因此,有必要在研究区域开展现场比测试验。

5 计算公式

5.1 垂线平均含沙量

K1、K2 两点的垂线平均含沙量采用传统六点法的流速、含沙量加权计算成果,从 ADCP 通过标定得到的结果中抽取这两根垂线纵向位置一致的准同时刻值与之进行比较。传统垂线平均含沙量计算公式如下:

$$C_{SP} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \times C_{si} \times V_{zi}}{10V_p} \quad (2)$$

当处于憩流附近时,流速较小,流向紊乱,用公式(2)计算垂线平均含沙量可能会呈现不合理现象,故用测点含沙量加权计算,如下:

$$C_{SP} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \times C_{si}}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad (3)$$

式中: C_{SP} 为传统垂线平均含沙量(kg/m^3); C_i 为权重系数,六点法从水面至水底分别为 1、2、2、2、1; C_{si} 为测点含沙量(kg/m^3); V_{zi} 为测点流速(m/s); V_p 为垂线平均流速(m/s)。

5.2 断面输沙率

5.2.1 代表垂线法

如图 3 所示,颗珠山汊道断面上布置了 K1 和 K2 两条测流测沙垂线,以垂线为分界将断面划分为 I、II、III 三部分。流量计算采用《河流流量测验规范》(GB50179-93)第八节的公式(4.8.1-11~16),其中,左颗珠山侧的岸边流速系数取 0.9,右蒋公柱侧取 0.7。输沙率计算采用《河流悬移质泥沙测验规范》(GB50159-92)第七章第二节公式(7.2.1-1)。

5.2.2 ADCP 测沙

ADCP 与传统方法计算断面输沙率的原理相同,每两个信号之间即可构成一微子断面,分别计算各微子断面内的平均含沙量和输沙率,再将各微子断面的输沙率相加得到整个断面的输沙率。公式如下:

$$Q_{As} = \int_0^B \int_0^h \rho_v dh dB \quad (4)$$

式中: Q_{As} 为断面输沙率(kg/s); ρ_v 为断面上任一点的单位面积输沙率($\text{kg}/\text{s} \cdot \text{m}^2$); dh 为单位宽度(m); dB 为断面宽度(m)。

5.2.3 两种方法之间的区别

(1)传统方法是静态方法,即仪器总是固定于所测垂线处进行测量;而 ADCP 是动态方法,即随测船运动过程中进行测量。

(2)传统方法无法同时采集上下水层水样,而 ADCP 一个(组)信号即可得到某垂线处的垂线平均数据,时效性高。

(3)传统方法不可能在断面上布置很多垂线,取样点也不可能很多;而应用 ADCP 时,由于 ADCP 采样速率高,可以将子断面划分得很细,采样点也可以很多,能如实反映悬移质含量在整个断面上的分布。

(4) 传统方法可以采集表层和底层的水样, ADCP 表底层存在盲区。

5.3 误差统计

① 相对误差

$$\delta Y_{Ai} = \frac{Y_{Ai} - Y_L}{Y_L} \quad (5)$$

② 平均相对误差(系统误差)

$$\overline{\delta Y}_A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta Y_{Ai} \quad (6)$$

③ 标准差

$$S_e = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{Y_{Ai} - Y_L}{Y_L} \right)^2 \right]} \quad (7)$$

④ 随机不确定度

$$X_Q 2S_e \quad (8)$$

式中: Y_L 为实测值, 指传统垂线平均含沙量或代表垂线法计算的输沙率, 近似真值; Y_{Ai} 为 ADCP 计算的垂线平均含沙量或输沙率; n 为测次总数 (或统计样本总数); i 为测次; X_Q 为置信水平为 95% 的随机不确定度。

上述误差没有量纲, 以百分率 (%) 表示。

6 成果及精度评估

由前文可知, 洋山港区水文条件呈强流速高含沙特性, 本次试验, 大、中、小潮, 共收集了 81 组有效数据。

6.1 垂线平均含沙量

测验期间, K1 处平均含沙量为 1.78kg/m^3 , 平均中值粒径为 0.0087mm , K2 处分别为 1.46kg/m^3 和 0.0089mm 。以固定垂线实测垂线平均含沙量为近似真值, ADCP 计算值与之比较, 见表 2~3。

从表 2 可以看出, 与传统垂线平均含沙量相比, 通过 ADCP 声反向散射信号计算的含沙量, 在颗珠山汊道 K1 垂线处的标准差为 6.3%, K2 垂线处为 5.8%, 随机不确定度均在 12% 左右, 精度类似。从表 3 可知, 计算值与实测值之间的误差分布基本成正态, 误差在 $\pm 10\%$ 之内的样本, K1 占 94.1%, K2 占 92%, 高度集中。可见, 利用 ADCP 的声反向散射信号, 只要标定得当, 在洋山港区得到的垂线平均含沙量成果是可信的。

6.2 断面输沙率

传统代表垂线法 (即方法 I) 和由 ADCP 测沙 (即

表2 计算与实测垂线平均含沙量相比较的精度统计

Table2 The statistical analysis of calculated and measured mean sediment concentration at a vertical

垂线	平均相对误差/%	标准差 se /%	随机不确定度($\alpha=5\%$)
K1	-0.42	6.3	12.5
K2	-0.66	5.8	11.6

表3 计算与实测垂线平均含沙量之间的误差分布/%

Table3 The error distribution between the calculated and measured mean sediment concentration at a vertical /%

垂线	<-20	[-20~-10]	[-10~-3]	[-3~-3]	(3~10]	(10~20]	>20
K1	0.0	2.9	30.4	39.1	24.6	2.9	0.0
K2	0	4.8	25.4	44.4	22.2	3.2	0

方法 II) 所得的输沙率成果见表 4, 两者之间的相关关系见图 5。

由图 5 可知, ADCP 声学方法和代表垂线法所得的断面输沙率之间高度相关, 相关系数达到 0.9599。而由表 4 可知两者之间的平均相对误差为 26.6%, 其中 3 个误差较大的测次分别为大潮 5 月 5 日的 23:00 (大潮序 7)、5 月 6 日的 6:00 (大潮序 14) 以及小潮 5 月 13 日的 5:00 (小潮序 19), 这 3 个测次均处于转流阶段, 因颗珠山汊道两侧涨落潮时间不同步, 即颗珠山侧 (K1) 涨潮, 蒋公柱侧 (K2) 尚处于落潮阶段, 因此固定垂线法的代表性较差, 与之对应, ADCP 沿断面连续测验, 准确地表征了当时的断面整体流态, 代表性明显优于固定垂线法, 若剔除这 3 个测次, 两种方法断面输沙率之间的平均相对误差仅为 6.9%, 相关系数达 0.9656。

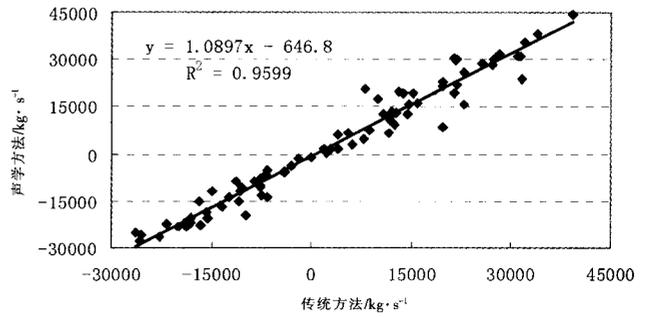
7 讨论与结论

在洋山深水港颗珠山汊道所做的代表垂线法和 ADCP 走航测沙试验表明, 通过 ADCP 声反向散射信号计算的垂线平均含沙量值, 与传统方法相比, 标准差约为 6%, 随机不确定度在 12% 左右, 误差分布基本成正态, 误差在 $\pm 10\%$ 之内的样本, K1 占 94.1%, K2 占 92%, 高度集中, 若剔除 3 个转流阶段误差较大的测次, 断面输沙率的平均相对误差仅为 6.9%, 可见, 只要标定得当, 利用 ADCP 的声反向散射信号, 在洋山港区得到的垂线平均含沙量和断面输沙率是可信的。

计算过程中发现, 颗珠山汊道左右端悬移质含量

分布极不均匀,无论涨落,近颗珠山深槽大部分时间悬移质含量均大于蒋公柱侧,因此,方法 I 中 K1 和 K2 两根垂线并不足以代表整个颗珠山汉道的水流特性和泥沙场分布,相比较而言,ADCP 声学信号,因其不扰动流场以及连续测验的特性,与传统方法相比,计算的输沙率可能具有更高的可信度。

若使用常规方法,要想在洋山港区宽达 7.7 km 的西口门和深达 81.2m 的东口门断面取得可信的成果是不现实的,甚至是无法实现的,因此,应用 ADCP 声反向散射信号与悬移质含量之间的成功转换,为洋山港区关键控制断面悬沙监测提供了新的思路。



5 颗珠山汉道两种方法所得断面输沙率关系图

Fig.5 The relationship of suspended sediment discharge with the two methods for the Kezhushan inlet

表4 计算与实测断面输沙率 (kg/s)

Table4 The calculated and measured suspended sediment discharge (kg/s)

大潮 (5-5 17:00~5-6 19:00)				中潮 (5-10 9:00~5-11 11:00)				小潮 (5-12 11:00~5-13 13:00)			
序号	方法 II	方法 III	相对误差	序号	方法 II	方法 III	相对误差	序号	方法 II	方法 III	相对误差
1	9992	17514	0.753	1	22891	15771	-0.311	1	3897	6182	0.586
2	-6867	-6491	-0.055	2	-9801	-19549	0.995	2	-2929	-3626	0.238
3	-18955	-21860	0.153	3	-16699	-22735	0.361	3	-7582	-13476	0.777
4	-15614	-20564	0.317	4	-15835	-18878	0.192	4	-10633	-11788	0.109
5	-26389	-25172	-0.046	5	-10934	-15246	0.394	5	-7601	-10422	0.371
6	-22684	-26569	0.171	6	-11228	-8784	-0.218	6	-4084	-5377	0.317
7	-6662	-13650	1.049	7	2983	1697	-0.431	7	1964	1622	-0.174
8	7827	4904	-0.373	8	13192	19727	0.495	8	10738	12442	0.159
9	21538	29557	0.372	9	22932	25964	0.132	9	12608	13054	0.035
10	19612	21312	0.087	10	31399	31057	-0.011	10	5500	6537	0.189
11	28260	31871	0.128	11	27190	28405	0.045	11	12389	9371	-0.244
12	33909	38029	0.122	12	19736	8600	-0.564	12	11633	6542	-0.438
13	30926	31212	0.009	13	-21791	-22510	0.033	13	4014	1740	-0.567
14	8104	20458	1.524	14	-25694	-27949	0.088	14	-8471	-8734	0.031
15	-7488	-7698	0.028	15	-25433	-25954	0.020	15	-14968	-11846	-0.209
16	-16799	-15204	-0.095	16	-18708	-23023	0.231	16	-12546	-10421	-0.012
17	-18113	-22030	0.216	17	-13560	-16500	0.217	17	-7616	-7848	0.030
18	-18048	-20680	0.146	18	-13465	-17057	0.267	18	-4072	-5877	0.443
19	-12394	-13523	0.091	19	-2031	-1347	-0.337	19	-76	-1091	13.355
20	2256	300	-0.867	20	13748	19200	0.397	20	8678	7396	-0.148
21	15830	16000	0.011	21	25744	28890	0.122	21	11872	11929	0.005
22	21920	21767	-0.007	22	27357	30031	0.098	22	14408	12269	-0.148
23	32121	35554	0.107	23	21810	30220	0.386	23	14675	15744	0.073
24	39213	44596	0.137	24	31511	23666	-0.249	24	15253	19092	0.252
25	21376	30346	0.420	25	19737	22683	0.149	25	21486	19363	-0.099
26	6121	2970	-0.515	26	12059	13170	0.092	26	11834	10497	-0.113
27	-199963	-23385	0.171	27	-7762	-10038	0.293	27	-6567	-5069	-0.228

注:表中正值为落潮,负值为涨潮。

参考文献:

- [1] Urick, R.J., Principles of Underwater Sound (2nd ed.)[M]. McGraw Hill, New York, 1975.
- [2] 张叔英,李允武.声学悬浮泥沙观测系统的研制和应用[J].海洋学报, 1998,5:114-119. (ZHANG Shuying, LI Yunwu. The research and application about acoustic observation system of suspended sediment [J]. ACTA Oceanologica Sinica, 1998,5:114-119. (in Chinese))
- [3] 田淳,刘少华.声学多普勒测流原理及其应用[M]. 郑州:黄河水利出版社,2003. (TIAN Chun, LIU Shaohua. The Measuring Principle and Its Application of Acoustic Doppler [M]. Zhengzhou: The Yellow River Conservancy Publishing House, 2003. (in Chinese))
- [4] 张志林,史芳斌,胡国栋. ADCP 反向散射强度估算悬移质浓度的原理及其应用 [M]. 武汉: 长江出版社, 2008. (ZHANG Zhilin, SHI Fangbin, HU Guodong. The Principle and Its Application of Calculating Suspended Sediment Concentration based on Acoustic Backscatter of ADCP [M]. Wuhan: Changjiang Press, 2008. (in Chinese))
- [5] 张志林,高敏,廖建英. 徐六泾站悬移质含沙量比测与精度分析[J]. 人民长江, 2010,3:48-52. (ZHANG ZhiLin, GAO Min, LIAO Jianying. Comparing measurement of suspended sediment concentration at Xuliujing station and its accuracy evaluation [J]. Yangtze River, 2010,3:48-52. (in Chinese))

Application of ADCP Backscattering Intensity to Estimate Suspended Sediment Concentration in Yangshan Port

ZHANG Zhilin¹, DENG Qianhuan², ZHU Qiaoyun¹, QIAN Feng³

(1. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Changjiang Estuary, Changjiang Water Resources Commission, Shanghai 200136, China; 2. Yibin Waterway Bureau, Changjiang River Administration of Navigational Affairs, Yibin 430010, China; 3. Bureau of Hydrology, MWR, Beijing 100053, China)

Abstract: Yangshan deep-water port possesses great variation in topographic, and the flow regime is complex. Synchronical monitoring of the suspended sediment transport by using traditional methods is very difficult in the broad west section and the narrow deep east section. Application of ADCP backscatter was made to estimate suspended sediment concentration at Kezhushan inlet. It was found that comparing the traditional results with the estimation from ADCP backscatter, the standard deviation is about 6% and the uncertainty is about 12% (confidence level is 95%), and the error distribution presents normal. The correlation coefficient of sediment transport rate between the two methods achieves 0.96. Therefore, estimating suspended sediment transport from ADCP backscatter with appropriate calibration is authentic in Yangshan port area. The technology will provide new method for monitoring suspended sediment in key control section of the Yangshan deep-water port.

Key words: ADCP; acoustic backscatter; suspended sediment concentration; Yangshan deep-water port; Kezhushan inlet

(上接第 83 页)

Study on Distribution Characteristics of TDS and Hydrochemical Type of Shallow Groundwater in Henan Plain

ZHANG Yan^{1,2}, DONG Weihong^{1,2}, LI Manzhou³, ZHENG Zhaoxian^{1,2}, SHI Xufei^{1,2}, GUO Zixun³

(1. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China;
2. Institute of Water Resources and Environment, Jilin University, Changchun 130026, China;
3. Institute of Geo-Environment Monitoring, Zhengzhou 450016, China)

Abstract: The distribution characteristics of TDS and hydrochemical types of shallow groundwater in the Henan Plain have been studied on the basis of analyzing 75 hydrochemical samples (38 samples in wet seasons and 37 samples in dry seasons). The results show that fresh water (TDS < 1g/L) is rather rich in the Henan Plain. In dry seasons, the groundwater of TDS > 1g/l mainly distributes in the east of Xinxiang-Kaifeng-Luohe belt and Anyang City. The hydrochemical type is mainly HCO₃. In wet seasons, the groundwater of TDS > 1g/l mainly distributes in the east of Xinxiang, Lankao and Taikang. The main hydrochemical type is HCO₃ in both the south and north of Henan Plain, with the central south of HCO₃-SO₄. The distributions there are the great differences in distribution characteristic between the dry season and wet season due to the climate (precipitation, evaporation, etc.) and human activities.

Key words: shallow groundwater; hydrochemistry; total dissolved solids; Henan Plain