

南水北调东线工程省界断面测流方式选择

卞新盛¹, 成 立², 尚 颖², 梁文清¹, 张卫东¹

(1. 南水北调江苏水源有限责任公司, 江苏 南京 210029; 2. 扬州大学水利与能源动力工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要: 结合河道断面特点、实际条件、地域概况等多个方面, 对缆道自动测流、声学多普勒流速 (ADCP)、超声波时差法测流、水工建筑物 (涵闸) 推算流量、水位比降法推算流量、雷达水表面波流速测量再推算流量等测流方法进行初步比选。通过 CFD 数值模拟计算进行分析验证, 研究适合南水北调东线工程省界断面的测流方法, 为南水北调调水提供可靠的水量数据, 有效保障调水工程可持续运营。

关键词: 南水北调; 测流方法; 数值模拟

中图分类号: TV214

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2018) 04-0033-04

Selection of flow measurement mode in provincial section of South-to-North Water Transfer East Route Project

BIAN Xinsheng¹, CHENG Li², SHANG Ying², LIANG Wenqing¹, ZHANG Weidong¹

(1. Eastern Route for South-to-North Water Diversion Projects Jiangsu Water Source Limited Liability Company, Nanjing 210029, Jiangsu; 2. School of Hydraulic, Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu)

Abstract: In this composition, a preliminary comparison was made by combining the river cross-section features, actual conditions and geographical situation between Cableway automatic flow measurement, Acoustic Doppler Current Profile, time-difference method of ultrasonic flow meter, Hydraulic structures (culvert) flow calculation, Calculated discharge by water level drop method and Water surface wave radar velocity measurement. The CFD numerical simulation is used to analyze and verify. Select the flow measurement method suitable for the provincial section of the South-to-North Water Diversion Project. Provide reliable water data for the South-to-North Water Diversion Project to effectively ensure the sustainable operation of the water transfer project.

Key words: South-to-North Water Diversion; flow measurement method; numerical simulation

为更好实现南水北调东线省际调水计量, 在江苏省与山东省交界处江苏省辖区内的中运河梁王城水文自动采集站上设置省界测流断面, 测流断面的河道规整, 水位变化较小, 测流条件良好^[1]。但由于该断面属于浅宽型航道, 船舶运行影响较大, 如何确定合适的测流方法和提高在线测流精度是迫切需要解决的问题。本文采用现场试验和

CFD 相结合的方案, 对拟采用的 HADCP 进行了研究。

1 测流断面情况

中运河梁王城水文自动采集站位于中运河汴口闸上游约 2.5 km 处, 此处设站目的是监测通过

收稿日期: 2017-11-01

基金项目: 江苏省水利科技项目 (2015017)、江苏省优势学科、江苏省青蓝工程中青年学术带头人项目; 江苏省六大人才高峰计划; 扬州大学研究生培养创新工程资助项目 (xsjcx17_029)。

作者简介: 卞新盛 (1987-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事调水工程调度及水量计量工作。

中运河输水线路向山东省输送水量。站址上游约 500 m 长河道为直线段, 再接圆弧段河道。下游约 700 m 长河道为直线段, 再接 S 型河道。此处测验河段上下游顺直, 河床平整, 水流平稳, 河床底质为粉质壤土, 断面年际变化不大, 水文站选址可行。省界断面就位于该站上, 为苏鲁省界重要的计量断面。经过勘测, 测量断面选择在徐州韩庄山头, 苏鲁省界处。该断面 2000 年曾经进行过断面整治, 两岸为浆砌块石护坡, 河道规整, 测流条件良好。该断面最高通航水位 26.98 m, 最低通航水位 20 m, 供水最高水位 21.33 m, 河底高程 16.4 m。在最低通航水位 20 m 时水深为 3.6 m, 河宽近 80 m, 设计流量为 $150 \text{ m}^3/\text{s}$, 流速约为 0.4 m/s 。

2 测流方法的选择

现有的测流方法主要有 6 种: 缆道自动测流、声学多普勒流速 (ADCP)、超声波时差法测流、水工建筑物 (涵闸) 推算流量、水位比降法推算流量、雷达水表面波流速测量再推算流量。

(1) 缆道自动测流的测量精度较高, 且不需要率定, 主要适用于不规则断面的流量测量, 实现对主要测流断面的流量控制。但由于需要架设过桥缆道, 投资高, 工程量大, 测量周期长^[2], 故不适用于省界断面。

(2) 超声波时差法测流适用于断面较稳定, 有一定水深的河道, 可以在线连续测量, 但不适用于断面较宽、水浅和含沙量较高的情况^[3]。而省界断面河宽近 80 m, 最低水深只有 3.6 m, 故该方法不适用。

(3) 水工建筑物 (涵闸) 测流计算简单方便, 通过人工标定来确定经验公式的相关系数, 但流量系数不易确定, 需要通过人工测量来确定流量关系曲线, 所以测量精度并不高, 对于南水北调工程而言, 精度要求较高, 故该方法不适用。

(4) 比降法测流方法精度不高, 当测流河道的水流不是自由流, 水位受上下游水工建筑物的影响较大时就无法推算流量^[4], 故不适用于一般河道的测流。

(5) 雷达水表面波流速测量再推算流量法测量精度不高, 易受外界影响, 而且雷达测速仪在水表面流速低于 0.5 m 时无法测量^[5], 所以用雷达测速仪做在线实时测量很难实现。

(6) 声学多普勒流速测流是利用声学多普勒原理进行研制的, 精度较高, 可以用于浅宽型河道^[6]。该方法又分为走航式声学多普勒流速法和水平声学多普勒流速法^[7]。该方法的测流仪器采用最新的声学多普勒技术, 具有结构简单, 安装方便, 可靠性高, 价格低廉等优点, 故比较适合河道测流^[8]。工作示意图如图 1 所示。



图 1 水平声学多普勒流速法工作示意图

根据以上各方法的优劣比较, 结合南水北调东线工程江苏段的情况, 综合分析, 初步选用声学多普勒流速测流方法。

3 测流断面流场计算

本文采用商用 ANSYS 软件, 以现场测试段河道为研究对象, 建立三维模型, 对河道进行研究。其中通过现场试验数据设置河道典型流量为 $112 \text{ m}^3/\text{s}$, 通过计算得出典型流量, 河道现有设置断面的流速云图、流速矢量图, 分析该断面流速分布。

3.1 控制方程

本文采用三维雷诺时均 N-S 方程来描述河道内不可压缩流体的湍流流动。湍流模型采用标准 $k-\varepsilon$ 模型。

3.2 网格划分

将河道分为 5 部分划分网格, 网格划分采用 ANSYS 软件中的 mesh 软件进行划分, 采用六面体网格。图 2 为其中第一部分的网格模型, 总体网格数 670 万。

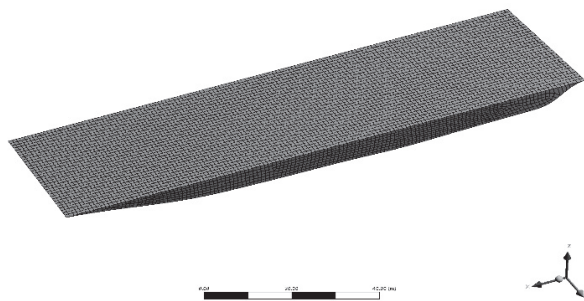


图 2 网格模型图

3.3 计算参数及边界条件

图3为计算实体造型图,图4为计算前处理设置界面,包括进口、出口及自由水面。其中断面3为现场 ADCP 测流断面,边界条件设置为进口采用质量流(112000 kg/s),出口采用静压流(1.0 atm)。

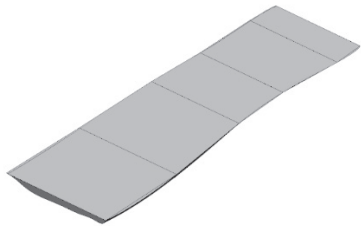


图3 计算实体造型图

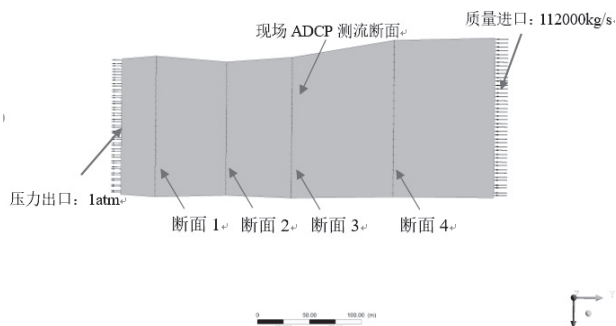


图4 前处理设置图

3.4 定常计算结果

图5为流量 $112 \text{ m}^3/\text{s}$ 时河道的流线图。由图可知,河道内水流流态平顺,水流收缩和转向较好,无旋涡、脱流等不良流态。图6为不同断面流速云图,由图可知,靠近出水口断面的流速较大,且变化不均匀,中间断面流速分布较为均匀,总体流速呈现边壁小,中间大的趋势。计算表明:测试段河道整体的流态较好,流速变化较为均匀,有利于数据的采集以及 HADCP 断面的流速分析。

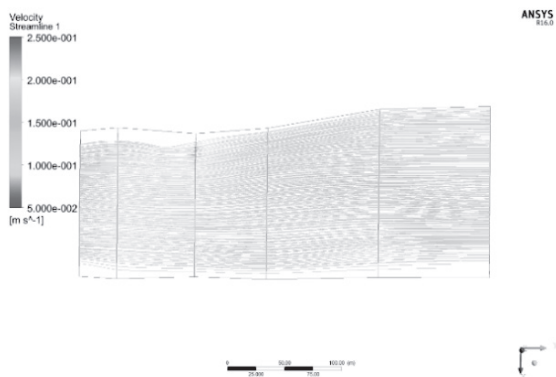


图5 河道流线图

4 HADCP 方案

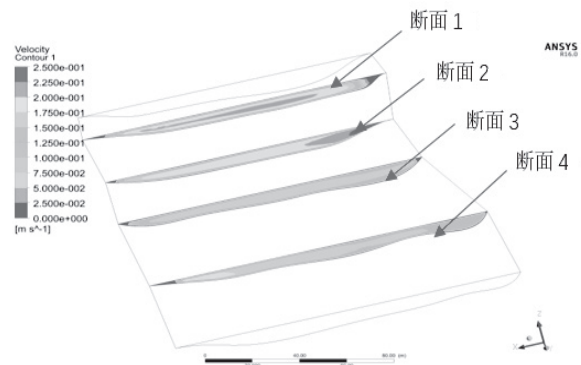


图6 设计流量断面流速云图

本文在设计流量 $112 \text{ m}^3/\text{s}$ 和流量为 $80 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $50 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ 的工况下,通过对 HADCP 断面流速分布的分析,进一步判断声学多普勒流速测流方法的可行性,从而确定南水北调东线工程省界断面的测流方式。

图7为流量 $112 \text{ m}^3/\text{s}$ 工况下 HADCP 断面流速矢量图,图8中的(a)、(b)、(c)、(d)分别为流量 $112 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $80 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $50 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ 工况下 HADCP 断面流速云图。由图中所示的数值模拟计算结果表明, HADCP 断面流速变化较均匀,流速呈现出边壁小,中间大,表层小,下层大的趋势。随着流量的减小,流速也变化较明显,故在流量较大时所采集的流速参考性更大。测流断面整体流态平顺稳定,符合声学多普勒流速测流环境。

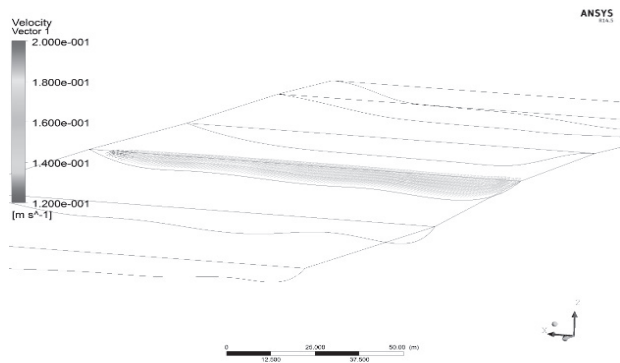


图7 HADCP 断面流速矢量图

通过在图8上不同水深处均匀取点,采集数据绘制流速曲线图,如图9中的(a)、(b)、(c)、(d)所示。从图中可以看出, $1.5 \sim 3.5$ 之间的流速均匀,流态稳定,水深为 0.5 m 的表层和边壁流速很小,在流量 $120 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $80 \text{ m}^3/\text{s}$ 的工况下,流速变化较稳定,而在低流量工况下,流速较不稳定,波动较明显。在岸边距 $0 \sim 40 \text{ m}$ 和 120 m 以外范围内,流速变化很不均匀,起伏变化较大,故可以选

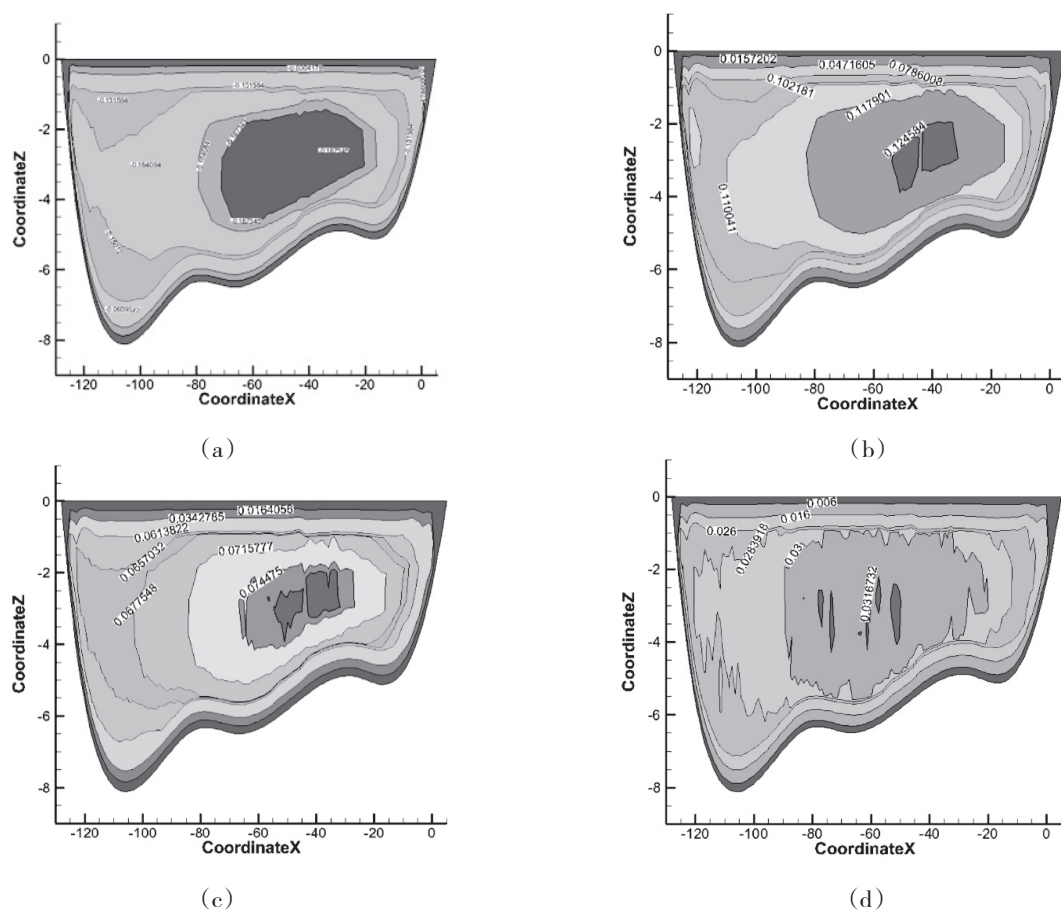


图 8 HADCP 断面流速云图

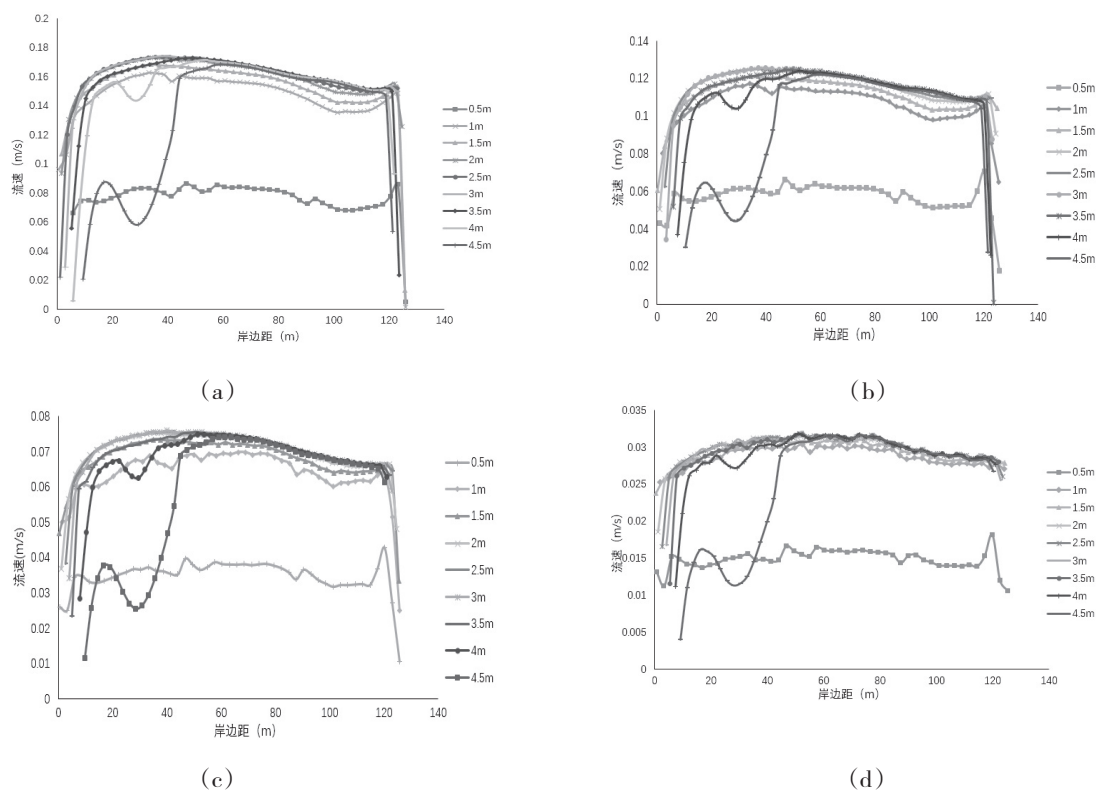


图 9 同一断面不同水深流速变化曲线

(下转第 41 页)

（上接第36页）

择 60 ~ 80 m 范围内的流速作为指标流速。在水深较浅和较深的情况下,流速数据较不理想,受地形和外界因素影响较大,故选择水面下 2 ~ 3 m 的水位放置声学多普勒测速仪较为合适^[9]。

5 结论

本文通过分析数值模拟计算分析,取得主要结论如下:

(1)通过对各种测流方法的优劣比较,结合南水北调东线工程江苏段省界断面现场实际情况,初步选定声学多普勒流速测流;

(2)测流断面数值模拟结果表明,河道水流流态平顺,流速均匀,无漩涡、脱流等不良流态,利于数据的采集以及 HADCP 断面的流速分析;

(3)HADCP 断面数值模拟结果表明, HADCP 断面流速呈现边壁小,中间大,表层小,下层大的趋势,流速变化均匀,水位变幅不大,符合声学多普勒流速测流环境。通过流速曲线图可以看出,在大流量工况下,流速变化更具有代表性,可以作为流速采集的标准,60 ~ 80m 范围内的流速可以作为指标流速,水位在水面下 2 ~ 3m 范围内可以放置声学多普勒测速仪。

参考文献:

- [1] 盛家宝.南水北调东线江苏段工程简介[N].中国水利报,2002-12-31.
- [2] 王洪彦,霍小虎.黄河上游水文缆道测流技术的现状与发展[J].甘肃水利水电技术,2002(04):291-292.
- [3] 兰纯纯.时差法超声波流量计的研究[D].重庆:重庆大学,2006.
- [4] 文其义,颜跃红,陶苏平,等.特征比降法推流的原理与应用[J].水文,1991(06):29-36.[2017-10-06].
- [5] 王文华.雷达测流仪比测分析[J].人民黄河,2016,38(05):6-9.
- [6] 周翠翠.ADCP 流速数据质量控制及系统的误差修正[D].南京:东南大学,2016.
- [7] 齐勇,吴玉尚,张可可,等.ADCP 的分类及其研究进展[J].气象水文海洋仪器,2016,33(01):110-114.
- [8] 阮芬,马树升,白清俊,等.超声波流量计的测流原理及其应用研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2006(01):99-104.
- [9] 丁昌言,徐明,司存友.泾河水文站 HADCP 流量关系率定校正及应用[J].人民长江,2009,40(16):22-24.