

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20220026

二线能坡测流法能坡测速垂线组合分析

陈艳, 杨逸, 姚红军, 陆建军, 周向阳

(江苏省水文水资源勘测局南通分局, 江苏 南通 226006)

摘要:二线能坡测流法中, 计算能坡用的两条实测垂线流速, 经测速垂线不同组合实例分析表明, 除断面左右两岸边测速垂线外, 中泓两侧其它各位置的垂线流速不同跨泓组合, 能坡法测流精度均能满足流量测验规范要求。由于受测流河段顺直程度, 水下地形等水力条件复杂因素影响, 垂线位置的组合存在优与良的差异。为此在建立能坡法流量在线监测站时, 对确定两条能坡测速垂线起点距位置, 可以用历史实测流量资料进行验证分析, 做出最佳优化选择。

关键词:二线能坡测流法; 能坡测速垂线; 组合优化; 实例分析

中图分类号: TV123

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2022)05-0062-03

0 引言

根据二线能坡测流法原理, 两条能坡测速垂线的布设, 可以在中泓两侧任意起点距位置布设组合。在中泓两侧各设置一条能坡测速垂线的原因, 主要是为了控制中泓摆动产生横向流对测流精度的影响, 减小每条垂线对应的能坡参数计算误差, 尤其是一种减小系统误差的影响, 保障测流精度的措施^[1]。但在实际应用中, 因受非均匀流情况、测验河段顺直程度及水下地形等复杂水力因素的影响, 两条能坡测速垂线位置的不同组合, 对测流精度的确存在优与良的差异。现为进一步探讨两条能坡测速垂线不同组合与测流精度的关系, 用水文测验误差分析的方法^[2], 统计分析两条能坡测速垂线位置的最佳组合。本文应用浏河闸水文站、双江口水文站实测历史流量资料, 对两条能坡测速垂线的不同组合进行专题分析。

1 二线能坡测流法原理简述

1.1 二线能坡测流法原理

能坡测流法是一种不需要做任何参数率定、不建立相关关系的测流方法。可以实测历史最大和超历史大洪水, 实现真正意义上全自动化流量在线监测的方法^[3]。

源于在均匀流条件下, 采用水力学实验的方法创建与曼宁公式结构相同的垂线流速模型和能坡测流

法。通过水力学实验确立矩形断面和三角形断面中垂线平均流速与断面平均流速的关系。创建矩形过水断面垂线流速公式, 矩形断面中任意垂线流速等于该垂线之左、之右两部分断面平均流速的均值, 乘以与矩形断面宽深比有关的流速改正系数 α ; 创建三角形过水断面垂线流速公式, 三角形断面中任意垂线流速等于三角形水面宽与该垂线水深组成的虚拟矩形断面中, 垂线之左、之右断面平均流速的均值, 乘以与三角形断面边坡系数有关的流速改正系数 β ; 在不规则形过水断面中, 任意起点距位置, 以同一位置的垂线水深和水面宽, 作一虚拟矩形断面和虚拟三角形断面重叠在一起, 应用矩形断面垂线流速公式和三角形断面垂线流速公式, 分别计算出两个垂线流速, 与实际垂线流速相比, 一个偏大、一个偏小。然后用两个虚拟的断面之间(左、右两边分别计算)所夹的不过水面积 f , 与这两种断面的面积差 F 之比 f/F 做权重, 分别计算出垂线两边的断面平均流速, 最后计算出不规则形断面中垂线流速, 称为垂线流速模型^[1]。

如图1所示, A-E-G为不规则形断面; $\square ABCD$ 为虚拟矩形断面; $\triangle AED$ 为虚拟三角形断面; HE为虚拟断面中垂线。

1.2 二线能坡法在非均匀河道测流中的应用

拓展到非均匀流河道断面中测流应用时, 因河道水位升降变幅大, 水流产生摆动, 不符合曼宁公式的适用条件, 则以实测中泓两侧的两条垂线流速分别代入

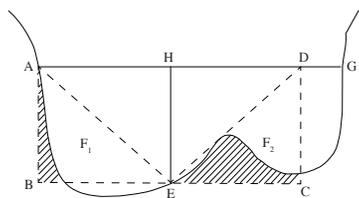


图1 不规则形测流断面
Fig. 1 The Flow Section of Irregular

垂线流速模型中,进行逆运算,反求两条实测垂线对应的虚拟均匀流河段中的能坡,再沿断面宽,用线性内插法计算出其它测速垂线对应的能坡,再回代入垂线流速模型中,算出各测速垂线的流速,最后用部分流速—面积法计算断面流量。此种方法定义为虚拟二线能坡测流法,简称二线能坡法^[1, 4]。

2 能坡测速垂线组合实例分析

本文选择受感潮堰闸控制型的浏河闸水文站、河道畅流型的双江口水文站,两个不同水流特性的水文站做流量比测的例证分析。

2.1 受感潮堰闸控制型河道浏河闸水文站验证分析情况

浏河闸水文站位于江苏省苏州市太仓浏河镇,是娄江—浏河水流排泄入长江或引蓄长江水源入内河受堰闸控制运行的堰闸水文站,主要测验掌握浏河闸引(排)水流量、水量,为区域内防汛抗旱、水利工程运行、水源调度、水生态保护、区域内水利建设规划服务。引(排)水流量使用水文缆道测流法施测,缆道断面设在闸上游240m,水文常测法测速垂线设置7条。现应用浏河闸2018—2020年引(排)水常测法43次实测断面流量资料,按二线能坡测流法计算流量要求,除起点距68m为中泓垂线外,两边其它垂线用不同的跨泓两垂线组合方法,计算能坡法流量,并与水文缆道测流法流量进行比测。测流大断面见图2,垂线组合流量比测精度分析见图3。

(1)综合2018—2020年三年测流大断面分析,测流断面总体稳定,局部有冲淤,两岸边河底变化略大。因浏河河床质为淤泥砂土,易被水流冲刷,停水后又产生回淤。河道两岸水下均有抛石护坡。两条边垂线均布置在河边坡的陡坡位置上,若测速点略有

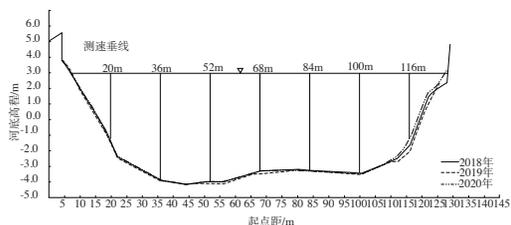


图2 浏河闸水文站测流大断面
Fig.2 The Section of Liuhe Sluice Hydrological Station

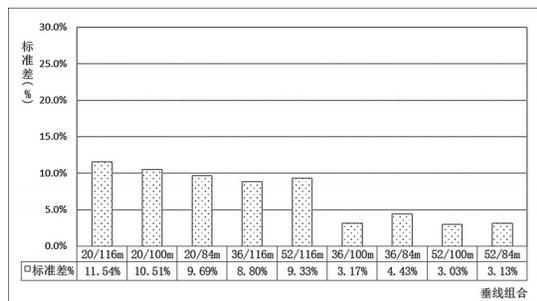


图3 浏河闸 2018—2020年不同垂线组合流量比测分析
Fig.3 The Figure of comparative measurement and analysis of different vertical combination flows of Liuhe sluice from 2018 to 2020

摆动测点水深将随之变化,不利于边垂线测速位置水深的稳定准确性。

(2)断面左、右岸边垂线作为能坡测速垂线,其流量计算结果误差均较大,断面中间各垂线的跨泓组合所计算的能坡法流量与实测流量之比值,标准差均达到了一类精度水文站标准以内^[2]。

初步分析认为,一是测流断面距离闸门较近。按规范规定,测流断面应离开涵闸控制位置距离为河宽的5倍^[2],浏河闸测流断面宽约120m,测流断面理想位置应在闸上游600m左右,现设在闸上游240m处。若19孔闸门不对称开启时,极易在测流断面处出现一岸边流速偏大,另一边偏小。因此两条靠近岸边的垂线不宜作为能坡测速垂线。二是在长江潮位快速上涨的高水下,过闸入河水流变化快,测速过程历时长,两边垂线的测速与中间垂线的测速同步性差。实测的边垂线流速是不在同一时刻断面流量下的流速。比如2019年8月21日引水潮,14:54时实测流量127 m³/s,到15:29时实测流量309 m³/s,只相隔时距35 min,而用常测法测一次全断面流量需25 min左右,这在稳定水流下是正常的,但在水流变化较大时,测速历时越长,两边垂线的流速代表性越低。所以,理论上要求应在接近稳定流时流量比测,而实践中情况多变,难以准确掌控。

2.2 畅流型河道双江口水文站验证分析情况

双江口水文站位于湖南省长沙市古港区杨潭乡双江口镇,测流河段水流畅流下泄入湘江。测流断面设在浏阳河上游大溪河和小溪河汇合口以下河段位置,常测法断面布设7条测速垂线,测流作业为水文缆道测流法。现选用1975—1977、1979年共32次实测断面流量资料,按二线能坡法计算各种垂线组合的能坡法流量,与缆道实测流量进行比测分析。测流大断面见图4,垂线组合流量比测精度分析见图5。分析结果表明:

(1)综合1975—1977年、1979年这四年测流大断面分析,双江口处于丘陵低山区,断面河床质多为卵

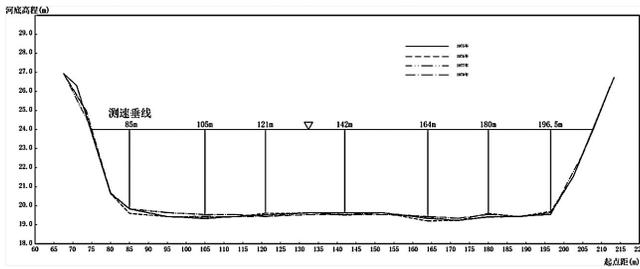


图4 双江口水文站测流大断面

Fig.4 The Section of Shuangjiangkou hydrological Station

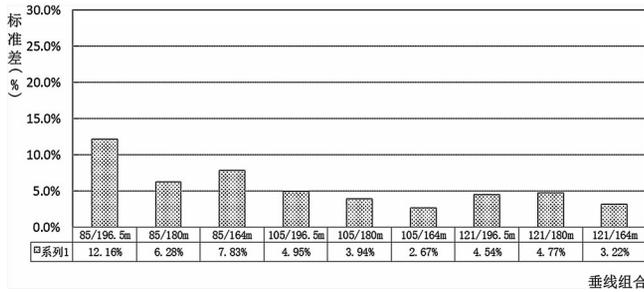


图5 双江口1975—1977年、1979年不同垂线组合流量比测分析

Fig.5 The Figure of comparative measurement and analysis of combined discharge of different vertical lines in Shuangjiangkou from 1975 to 1977 and 1979

石非常稳定,两岸边界基本稳定不变,比较适宜做二线能坡法测流的垂线组合。

(2)除了最靠近岸边的第一条垂线起点距85 m处的流速与其它垂线流速组合计算的能坡法流量比测标准差大于5%外,其它各垂线的跨泓组合计算的能坡法流量,与实测断面流量的比测标准差均达到了一类精度水文站标准^[2]。

3 结语

(1)能坡测速垂线选择应尽量避免靠近岸边垂线。综合以上分析,一般地靠近岸两边的垂线受岸边界及河底地形的影响,作为能坡测速垂线的流量计算结果

误差都比较大(岸边畅流条件好的边垂线除外),另考虑在河道水位涨落差变幅较大的断面边垂线水深条件得不到充分保障,在低(特低)水时,垂线流速相对误差大,带来能坡计算误差大。因此,在决策能坡垂线位置时,若条件许可应尽量避免靠近岸边第一条垂线位置,在中泓两侧其它位置垂线跨泓组合的二线能坡法流量均可获得较高精度的测流效果。

(2)垂线组合的优化分析,是勘查和设计二线能坡法测流方案时的一种重要前期工作。根据以上各种能坡垂线组合分析,各不同组合得出的各不同流量比测精度。因此,在具体决策实施建设能坡法流量在线监测站之前,应先开展对本断面历史流量资料进行垂线组合优化分析,避免发生对能坡测速垂线位置确定的盲目性,对提高能坡测流法的测流精度,保障建设项目成功运行是十分重要。

致谢:感谢原水利部水文局颜开教授对本文的指导。

参考文献:

- [1] 颜开.用谢才—曼宁公式计算均质边坡河道中垂线平均流速问题初探[J].水文,1993(2):29-35.(YAN Kai. Discussion on using Chézy-manning formula to calculate vertical average velocity in homogeneous side wall channel [J]. Journal of China Hydrology, 1993(2): 29-35. (in Chinese))
- [2] GB 50179—2015. 河流流量测验规范[S]. (GB 50179—2015. Code for liquid flow measurement in open channels [S]. (in Chinese))
- [3] 郭广涛,史靖雯.昭平台流量自动监测系统及应用[J].河南水利与南水北调,2018,47(12):74-75.(GUO Guangtao, SHI Jingwen. Automatic flow monitoring system of Zhaopingtai reservoir and its application [J]. Henan Water Resources and South-to-North Water Diversion, 2018,47(12):74-75.(in Chinese))
- [4] 封一波,武宜壮,胡菲菲,等.小许庄水文站二线能坡法自动测流系统应用与分析[J].治淮,2019(9):14-16.(FENG Yibo, WU Yizhuang, HU Feifei, et al. Application and analysis of automatic flow measurement system with two-vertical energy slope method in Xiaoxuzhuang Station [J]. ZhiHuai, 2019(9):14-16. (in Chinese))

Analysis of The Combinations of Velocity Measuring Vertical Lines in Two-Vertical Energy Slope Method

CHEN Yan, YANG Yi, YAO Hongjun, LU Jianjun, ZHOU Xiangyang

(Nantong Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Jiangsu Province, Nantong 226006, China)

Abstract: In two-vertical energy slope method, the case study of different combinations of velocity measuring vertical lines shows that the accuracy of flow measurement can meet the requirements of the flow measurement specification with the various combinations of velocity measuring vertical lines on both sides of the midstream of channel, except the velocity measuring vertical lines on both left and right sides of the section. However, due to the complexity of hydraulic conditions such as the straightness of the measured river section and underwater topography, the combination of vertical line position can vary from being excellent to being good. Therefore, when the online flow monitoring station based on the energy slope method is being established, the distance from initial point of the two velocity measuring vertical lines can be verified with the historical data of measured flow to make the best optimization choice.

Keywords: two-vertical energy slope method; vertical lines of velocity measuring; combinatorial optimization; Case study