

二线能坡法流量测验方法探讨

熊珊珊¹, 潘 卉², 王光磊³

(1. 水利部水文局, 北京 100053; 2. 湖北省武汉市水文水资源勘测局, 湖北 武汉 430071;
3. 吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130021)

摘要:介绍了二线能坡法流量测验方法、基本原理以及相关参数的计算方法;以湖北省高坝洲水文站二线能坡法测流应用为实例,通过水文缆道实测流量成果对比统计分析误差,表明二线能坡法流量测验的各项误差指标均符合规范允许指标。采用能坡法在线测流系统,是解决水流条件复杂或受涉水工程严重影响的河(渠)流量测验理想途径之一。

关键词:二线能坡法;原理;方法;特点;流量测验

中图分类号:P339

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2015)06-0087-03

1 能坡法流量测验原理

能坡法流量测验方法的基本原理是以曼宁公式为基础,通过虚拟矩形、三角形断面中垂线平均流速与断面平均流速之间关系,建立与曼宁公式具有相同结构形式的垂线流速公式。在测验断面中,则根据垂线的起点距、水深和水面宽,引入相同水力条件下的虚拟矩形和三角形断面,计算出虚拟矩形和三角形断面中两个垂线流速,根据虚拟矩形与三角形断面面积差,用内插法求解测验断面垂线流速,称为测验断面垂线流速计算模型或垂线流速计算方法。

实际应用于流量测验时,则以一条实测垂线流速为已知条件,代入垂线流速模型,把谢才—曼宁公式中的比降作为未知数,进行逆运算求得比降,并称之为能坡,以此能坡替代均匀流条件下曼宁公式中的水面比降。然后再用垂线流速计算模型,计算若干垂线的平均流速,用“流速—面积法”计算断面流量。

2 基本公式

2.1 虚拟矩形断面垂线流速计算公式

$$\bar{u}_x = \frac{\alpha}{2n} (R_{xl}^{2/3} + R_{xr}^{2/3}) S^{1/2} \quad (1)$$

式中: \bar{u}_x 为虚拟矩形断面中垂线流速; n 为糙率; S 为能坡; R_{xl} 、 R_{xr} 为矩形断面中垂线之左和之右水力半径;

α 为垂线流速系数。

α 可用下式计算:

$$\alpha = V / V_{\text{计}} \quad (2)$$

式中: V 为曼宁公式直接计算的断面平均流速; $V_{\text{计}}$ 为式(1)去掉 α 系数后求出各垂线流速,并由此求得的断面平均流速。

当比降 S 、糙率 n 不变,断面宽深比变化时, V 和 $V_{\text{计}}$ 的比值也随之变化,因此, α 为随断面宽深比变化的系数。

2.2 虚拟三角形断面垂线流速计算公式

虚拟三角形断面中,由于水深沿断面宽是变化的,为此可根据三角形断面垂线水深做成不同水深的矩形水槽,如图1所示。

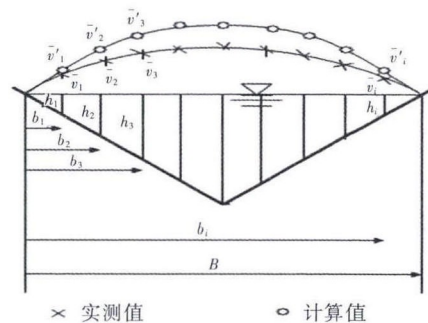


图1 三角形断面垂线分布

Fig.1 The vertical distribution of the triangular cross-section

于是得三角形断面内垂线流速公式:

$$\bar{v}_x = \frac{\beta}{2n} (R'^{2/3}_{xl} + R'^{2/3}_{xr}) S^{1/2} \quad (3)$$

式中: \bar{v}_x 为三角形水槽中的垂线流速;

$$R'_{xl} = \frac{xh_x}{x+h_x}; \quad R'_{xr} = \frac{h_x(L-x)}{h_x+L-x}$$

式中: h_x 为垂线水深; L 为水面宽; β 为三角形断面内垂线流速改正系数; R'_{xl} 、 R'_{xr} 是根据三角形断面中垂线 x 水深所做矩形水槽中垂线 x 之左和之右水力半径。

β 为与三角形边坡系数 m 有关的参数, 计算公式为:

$$\beta = \frac{V'}{V'_{\#}} \quad (4)$$

式中: V' 为由曼宁公式直接计算的三角形断面内平均流速; $V'_{\#}$ 为三角形断面垂线流速公式中去掉 β 后, 求出各垂线流速, 再用部分流速——面积法求出的断面平均流速。在比降、糙率一定, 边坡系数 m 改变时, β 也随之改变。但边坡系数一定, 三角形顶点的水深改变时, β 是不变的, 其边坡系数 m 与 β 的关系可通过计算求得。

2.3 测验断面内垂线流速计算方法

测验断面中垂线流速计算方法可根据每条垂线的水深、水面宽和起点距, 套入矩形和三角形断面中分别计算流速, 按三角形与矩形断面之间所夹的不过面积比的权重, 用内插法计算不规则断面中的垂线流速。

2.4 糙率计算方法

2.4.1 糙率的分解

传统的曼宁公式中的糙率是指测流河段的综合糙率。能坡法流量测验模型研究报告中, 把河床糙率对垂线流速的影响问题, 专门在水力学实验室内做了加糙实验, 根据实验结果, 再对天然河道中由多种介质组成的综合糙率进行分解和分块。在假定河槽中沿断面宽不同部位由不同河床质组成, 且顺水流方向呈带状平行分布条件下, 再根据有关糙率表, 分别确定某种介质糙率值, 称为糙率分解。每一条带状中的糙率称为分块糙率。

2.4.2 垂线流速计算时的糙率计算公式

设图 2 为天然河道断面分块糙率示意图, 其中, 各分块糙率值可按有关查表选定, 把垂线 x 代入相同水深和水面宽的矩形和三角形断面中, 计算垂线 x 之左流速 \bar{u}_{xl} 、 \bar{v}_{xl} 时糙率要以 N_l 代入, 计算垂线之右的流速 \bar{u}_{xr} 、 \bar{v}_{xr} 时, 糙率要以 N_r 代入, N_l 、 N_r 计算公式如下:

$$N_{l(r)} = \frac{\bar{n}_{l(r)} + \hat{n}_{l(r)}}{2} \quad (5)$$

式中: $\bar{n}_{l(r)}$ 为垂线之左(右)的断面加权平均糙率, 即以垂线之左(右)各分块对应的过水面积为权重, 加权平均求得; $\hat{n}_{l(r)}$ 为垂线所在糙率区糙率与垂线之左(右)各部分糙率传递影响之和, 如下式:

$$\hat{n}_{l(r)} = n_i + \sum^{l(r)} \Delta n \quad (6)$$

式中: n_i 为垂线所在位置的糙率; $\sum \Delta n$ 为自左岸或右岸开始计算的各糙率分块之间沿断面横向干扰, 逐块传递至所求垂线流速处的糙率增值。相邻两糙率分块之间的 Δn 值的计算公式为:

$$\Delta n = \frac{(n_a - n_b)h_a}{l + 2h_a} \quad (7)$$

式中: $(n_a - n_b)$ 为相邻两块的糙率差; h_a 为相邻两块交界处水深; l 为相邻两分块糙率交界点至下一相邻两分块糙率交界点的距离。

在计算下一块传递影响时, Δn 应加上下一级的 n 值传递值。糙率公式(5)、(6)、(7)是由实验得到的经验公式。

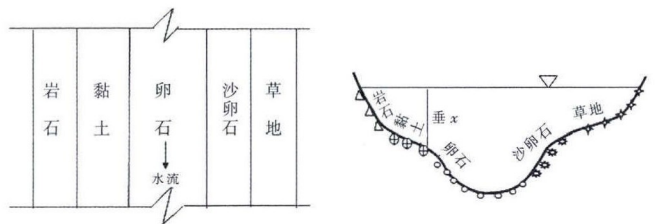


图 2 天然河道断面分块糙率示意图
Fig.2 Zoning roughness of the river

3 二线能坡法简介

3.1 二线能坡法原理

采用断面中 2 条垂线的实测流速作为已知条件, 把能坡作为未知数, 通过垂线流速公式进行逆运算, 得到 2 个能坡, 用内插法处理后, 分配到各条垂线流速计算中, 代替观测的水面比降, 然后用垂线流速模型, 计算各垂线流速, 并用部分流速面积法算出流量。

3.2 二线能坡法适用条件

使用二线能坡法测流需要满足三个条件, 一是断面冲淤变化不大, 借用断面进行流量计算; 二是 2 条

用以计算能坡的垂线位置,一般选在中水位时 1/4~1/3 水面宽的地方;三是测流断面中无死水和回流。

3.3 二线能坡法特点

二线能坡法具有以下特点:(1)二线能坡法既不是相关关系法,也不是代表垂线法。因此无需率定相关关系,只要安装好仪器设备并比测合格后,即可投产运行。当用于一类精度测站,或测流精度要求很高时,可用 2~3 次精测法资料,对分块糙率系数进行微调。(2)测流精度一般比一线能坡法要高。分析表明,当水位变幅较大时,精度平均高出 10%~12%。(3)基本无土建工程,价格便宜。采用卧底式安装单波束多谱勒流速仪方式,不受漂浮物影响,并可极大提高测流能力,测速范围一般在正负 10m/s 之间。

4 实例研究

二线能坡法流量测验技术近年来在我国开始研究并应用,效果良好。如湖北省高坝洲水文站系统建成后,经与人工缆道测流成果对比,效果良好。

高坝洲水文站是清江流域控制站,集水面积 15 710 km²。测流断面上游 800m 为高坝洲水电大坝。大坝左岸为三孔发电机组,大坝中间为放水底孔,右岸为溢洪道,来水多变。汛期测流断面水位受长江干流水位顶托影响,水流条件极为复杂。该站采用二线能坡法在线测流较好的解决了流量测验难题。

在线自动化测流实施方法:仪器选型为 2 台 2DACM 声学多普勒流速仪,采用过河索牵引两条浮船的方式,将仪器挂在浮船上,分别测起点距 100m 和 250m 处的两个水面点流速,然后再根据水面流速系数换算为垂线流速。监测数据通过下载线、GSM 和 PSTN 数据通信机发到测站站房和中心站的监控计算机保存,在线系统软件自动读取水位和垂速流后,并算出流量。

通过用 2002~2004 年共 48 次历史实测流量资料

与二线能坡法计算结果的检验对比,系统误差仅为 -0.3%,规范允许值为 $\pm 2\%$;标准差为 6.9%,规范允许值 8.0%;综合不确定度 13.8%,规范允许值为 12.0%至 16.0%。可见各项误差指标均在规范允许范围之内。

自动化在线测流系统建成后,每 2min 测一次流,每次测流时间间隔设置为 5min。经同步比测误差分析,精度情况是系统误差为 1%,标准误差为 3.9%,综合不确定度为 7.8%,最大相对误差为 8.6%。全部符合规范规定的各项指标要求。因此,该系统自 2005 年 8 月建成,至今已有近 9 年的连续运行时间,测站由 4 名长驻站职工,变为 1 人留守。

5 结语

采用能坡法实现流量信息的实时在线,是解决水流条件复杂或受人类活动严重影响的河渠流量测验理想途径;随着中小河流水文监测系统大批流量站网投入运行,依靠传统方法监测河渠流量也不现实,能坡法测流为解决受漂浮物影响及特大洪水的流速采集提供了理想手段和方法,运用前景十分广阔。

参考文献:

- [1] 颜开. 用曼宁公式计算均质边壁河道中垂线平均流速问题初探[J]. 水文, 1993, (2): 29-35. (YAN Kai. Calculating vertical average velocity of midperpendicular in homogeneous side wall channel using Manning formula [J]. Journal of China Hydrology, 1993, (2): 29-35. (in Chinese))
- [2] 湖北省水文水资源局. 高坝洲水文站开颜法流量实时在线监测系统技术报告[R]. 2005. (Water Resources Bureau of Hubei Province Hydrology. Technical report of real-time online monitoring system using beam method for Gaobazhou hydrometry station [R]. 2005: 71-72. (in Chinese))
- [3] 南京灵快水测量技术有限公司. 安徽省界首水文站二线能坡法流量在线监测系统介绍[R]. 2012. (Nanjing Lingkuai Water Measurement Technology Co., LTD. Online monitoring system using two line Nengpo method for Jiesshou station in Anhui province [R]. 2012. (in Chinese))

Discussion on Flow Test by TWO Line Energy Gradient Method

XIONG Shanshan¹, PAN Hui², WANG Guanglei³

(1. Bureau of Hydrology, MWR, Beijing 100053, China; 2. Wuhan Hydrology and Water Resources Bureau of Hubei Province, Wuhan 430071, China; 3. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130021, China)

Abstract: This paper introduced the flow test by two line energy gradient method, its basic principle and calculation formula. Taking the Gaobazhou Station in Hubei as a case, the error analysis of the hydrological cableway observed flow indicated that the errors from the flow test by the two line energy gradient method are in the specification allow range.

Key words: two-line energy gradient method; principle; method; characteristics; flow test