

Two-vertical-line Energy Slope (TES) and Its Application in Real-time Flow Measurement and Discharge Calculation



LI Chenxi ZONG Jun MA Zhan YAN kai
Nanjing Hydraulic Research Institute

Content

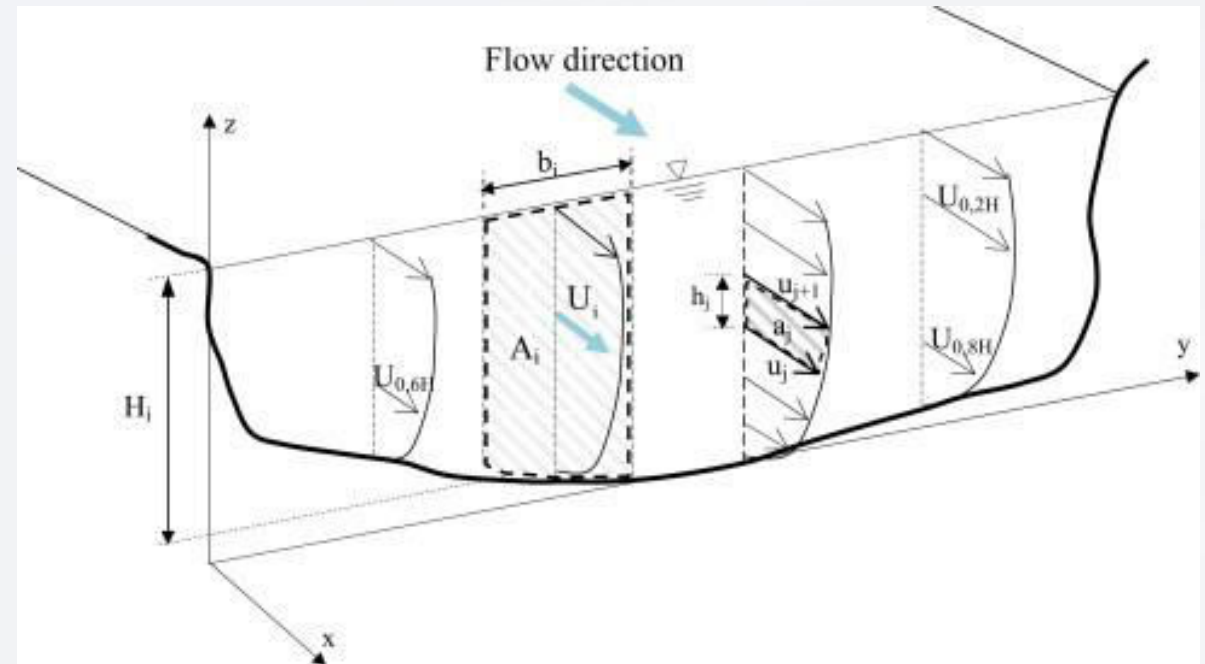
- Why this method
- Principle
- Cases

Discharge measurement means calculating the volume of an irregular water body along a cross-section

- ◆ an essential and routine task in daily hydrological survey
- ◆ provides crucial information about basic hydrological characteristics of rivers
- ◆ helps in adapting to climate change

Unfavourable natural conditions:

- flows with floating debris
- extremely high floods
- other dangerous conditions for measurement
- Ecological protection



Manning Equation

$$Q = \frac{1}{n} A (R^{2/3}) (S^{1/2})$$

Where:

- Q is the flow rate or discharge (cubic meters per second, cubic feet per second, etc.).
- n is the Manning's roughness coefficient (a dimensionless parameter that represents the channel's roughness or resistance to flow).
- A is the cross-sectional area of the flow (square meters, square feet, etc.).
- R is the hydraulic radius (the ratio of the cross-sectional area to the wetted perimeter; meters, feet, etc.).
- S is the slope of the channel (the change in elevation per unit length; meters per meter, feet per foot, etc.).

— use the S (gradient/ change in elevation) of the channel and the **roughness** of the channel bed and banks to calculate the flow velocity.

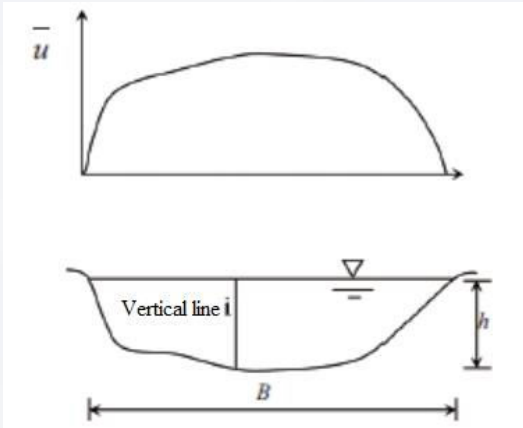
TES

With velocities of two vertical lines (flow velocities at specific points in the channel) as **known conditions**

Reverse calculation to find S

★ **Significantly improve the accuracy**

especially when **roughness** of the channel is non-uniform or when the flow conditions are not steady.

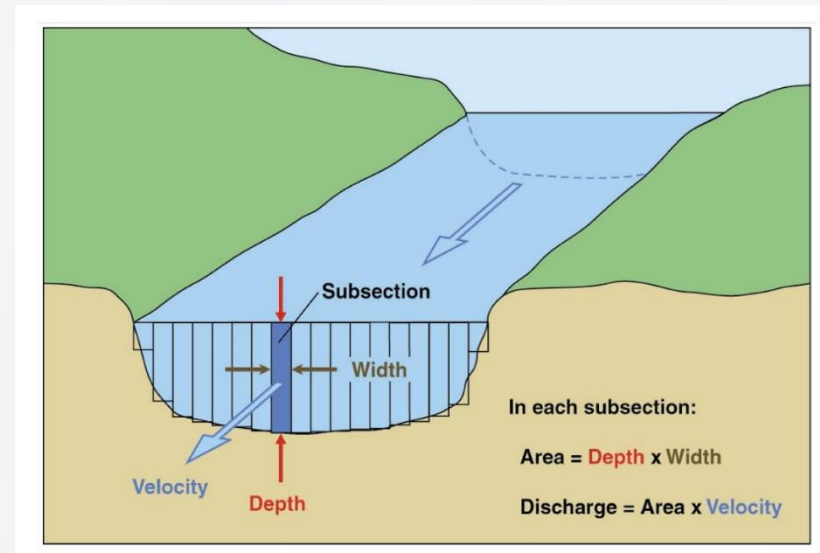


T: calculate the flow velocity of vertical line *i*

Partial Velocity-Area Method

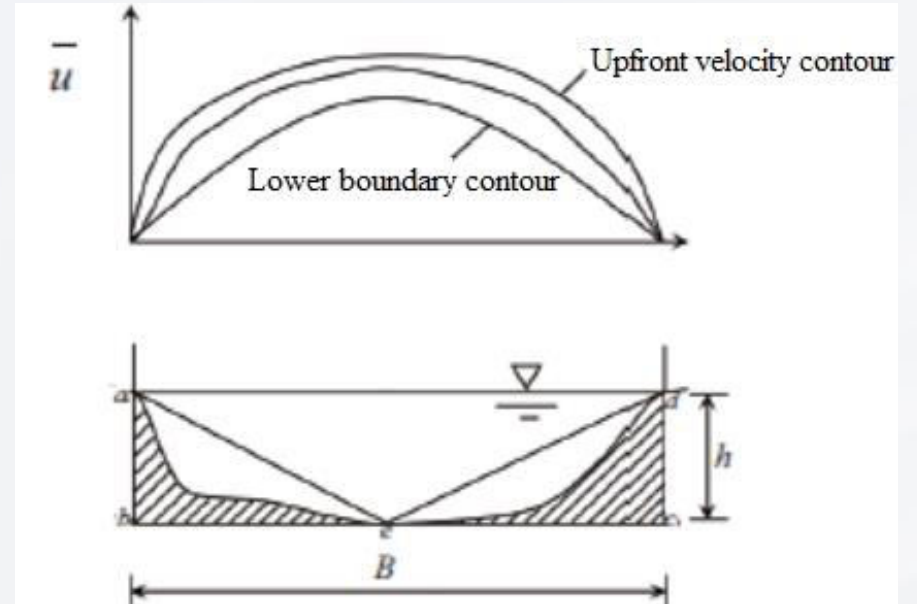
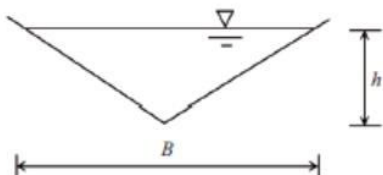
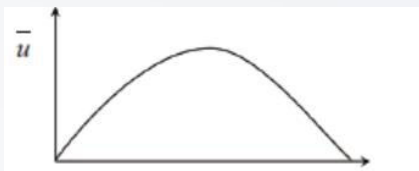
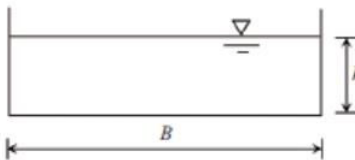
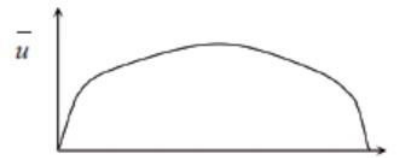
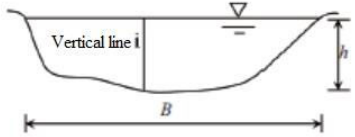
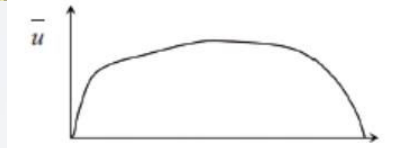
It's called "partial" because it deals with individual sub-sections of the cross-section rather than the entire cross-section.

This method involves **multiplying the average velocity for each sub-section by the corresponding flowing area** to calculate the discharge for that sub-section.



Three cross-sections share the same known conditions:

- ◆ h , water depth of vertical line i
- ◆ B , water surface width
- ◆ distribution of measured vertical lines along the X-section width



Use **proportional division** to interpolate the flow velocity of i

— establish ∞ between

➤ average velocity of i in \triangle \square

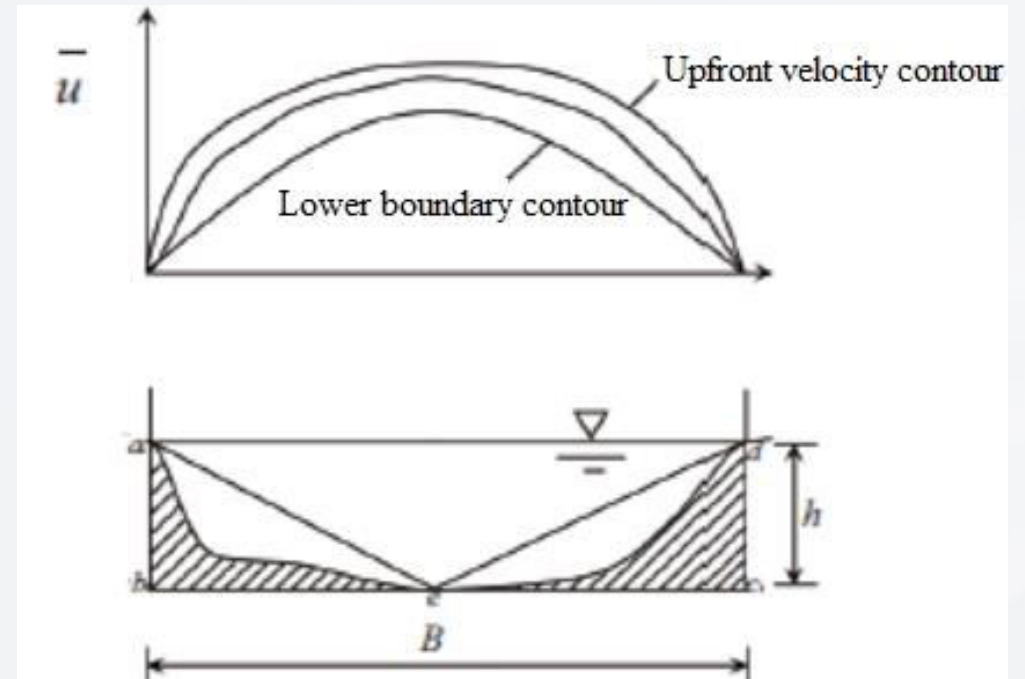
➤ average velocity of irregular X-section.

Considering two factors:

◆ The difference in flow velocity between \triangle and \square



◆ The area of **no water portion**

Estimate **Vertical flow velocity** in the irregular X-section by **allocating or dividing** the difference in flow velocity (\triangle & \square) proportionally based on the area of the **no water portion**



In the hydrological survey cross-section,

Step 1: starting distance of the vertical line, **water depth** and **water surface width**

Step 2: introduce virtual  and  X-sections under the same hydraulic conditions
calculate two vertical' s flow velocities in virtual X-sections

Step 3: use proportional division to estimate the average velocity of real X-section

CN 113280870 A 权利要求书 2/3 页

R_{L1} 为垂线左水力半径;
 R_{L2} 为垂线左水力
S为能坡。

4.如权利要求1所
法采用的公式为:

$$U = \frac{1}{2} [u_1 - (u_1 - v_1)]$$

其中:U为实际垂
 u_1 为矩形断面中
 u_2 为矩形断面中
 v_1 为三角形断面
 v_2 为三角形断面
 f_1 为夹在矩形断面
 f_2 为夹在矩形断面
 F_1 为矩形断面和
 F_2 为矩形断面和
5.如权利要求2所
采用下述公式计算的

$$\left\{ \begin{aligned} n &= \frac{n_1 + n_2}{2} \\ n_1 &= n_2 + \sum \Delta n \\ \Delta n &= \frac{(n_1 - n_2) \cdot h_1}{L_1 + 2h_1} \end{aligned} \right.$$

其中:n为糙率,是
 \bar{n} 河道中不同区
 n_1 为不同糙率沿
 n_2 为垂线所在区
 Δn 是河道中沿断
 n_1 为河道中沿断
 n_2 为不同区域糙
 L_1 为糙率H区域
6.如权利要求1所
流的位置C1和C2,是

7.如权利要求1所
范要求,根据如权利
算虚拟能坡,并按照
流量。

CN 113280870 A 权利要求书 1/3 页

1.一种虚拟二线能坡河渠流量测流法,用于各种均匀流、非均匀流态的过水断面中无死水、回流和畅流

体中,包括以下步骤
A.确定两条施
和C2;

B.测量两个垂
C.利用垂线流
D.根据河渠流
左岸一侧各垂线
之间各垂线的能坡
E.利用各垂线
F.根据各垂线
型,是将垂线套入
断面中垂线流速公
深相等,宽与实测
角形断面中该垂线
不过水面积,用内

2.如权利要求
线流速公式为:

$$u = \frac{u_1}{2} + \frac{u_2}{2}$$

其中:u为矩形
 u_1 为矩形断面
 u_2 为矩形断面
 α 为与矩形断面
n为糙率;
 R_{L1} 为垂线左水
 R_{L2} 为垂线右水
力能坡。

3.如权利要求
垂线流速公式为:

$$v = \frac{v_1}{2} + \frac{v_2}{2}$$

其中:v为三角
 v_1 为三角形断面
 v_2 为三角形断面
B为与三角形
n为糙率;

(19) 中华人民共和国国家知识产权局

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113280870 A
(43) 申请公布日 2021.08.20

(21) 申请号 202110131267.4

(22) 申请日 2021.01.30

(71) 申请人 无锡宏聚电子科技有限公司
地址 214000 江苏省无锡市高浪东路999-8-C1-201

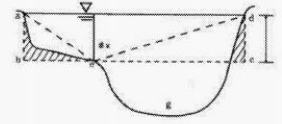
(72) 发明人 颜开 颜承浩
(74) 专利代理机构 连云港联创专利代理事务所(特殊普通合伙) 32330

代理人 刘刚
(51) Int. Cl.
G01F 1/00 (2006.01)

权利要求书3页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称
一种虚拟二线能坡河渠流量测流法

(57) 摘要
本发明公开一种虚拟二线能坡河渠流量测流法,属于河渠流量计量技术领域。在非均匀流条件下,采用在过水断面中测取两条(中泓两侧各一条)垂线流速,通过均匀流谢才—曼宁公式建立的垂线流速模型逆运算,得到两个虚拟均匀流能坡,代入垂线流速模型,计算出超出人工实测垂线条数数倍的垂线流速,最后用部分流速—面积法算出流量,为实现流量在线监测提供重大技术支撑。



Inventor: YAN Kai

发明人: 颜开

DOI:10.19797/j.cnki.1000-0852.1993.06.007

用谢才——曼宁公式计算均质
边壁河道中垂线平均流速问题初探*

颜开
(水利部水调中心)

提 要

传统的谢才——曼宁公式只能计算断面平均流速,不能计算垂线平均流速,但垂线平均流速的研究对于解决断面流速分布以及对水力学理论研究等方面都有很重要的意义。作者通过对均质边壁矩形、对称三角形断面的垂线平均流速与断面平均流速之间关系的分析和水力学试验,建立了用谢才——曼宁公式计算上述断面的垂线平均流速公式,进而通过虚拟手段求出均质边壁不规则断面的垂线平均流速,经用实验资料验证表明,计算与实验点拟合良好。

一、均质边壁矩形断面内垂线平均
流速沿断面宽的分布公式

关于规则断面的流速分布和流速场理论,前人有过广泛深入的研究⁽¹⁾,但一般说来,这些理论公式的结构形式大都比较复杂,同时由于边界条件的限制,参数较多,而且不易确定,应用不便。为此,本文以均匀流条件下的矩形断面内垂线平均流速(以下简称垂线流速)与断面平均流速之间存在着关系⁽²⁾为基础,通过分析研究和水力学实验,找出两者之间的数学求解方法,然后,用人们熟知的谢才——曼宁公式来计算垂线流速,具体做法如下。

在如图1所示的矩形断面中,设断面中央B/2处的垂线流速为 \bar{u}_ϕ ,全断面的平均流速为V,则 \bar{u}_ϕ 与V之间的关系为:

$$\bar{u}_\phi = \alpha V = \frac{\alpha}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (1)$$

式中: I为水面比降; n为糙率; R为水力半径; α 为与矩形断面宽深比有关的垂线流速改

正系数。
通过对式(1)的分析可知:位于断面中央的垂线把整个断面一分为二,使式(1)中的水力半径既是全断面的水力半径,同时又是中央垂线之左和之右各自半个断面水力半径的均值,其数学关系表达式为:

$$\begin{aligned} R &= \frac{hB}{2h+B} \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{h(\frac{B}{2})_L}{h+(\frac{B}{2})_L} + \frac{h(\frac{B}{2})_R}{h+(\frac{B}{2})_R} \right] \\ \text{或 } R &= \frac{hB}{2h+B} = \frac{h(\frac{B}{2})_R}{h+(\frac{B}{2})_L} \\ &= \frac{h(\frac{B}{2})_L}{h+(\frac{B}{2})_R} \end{aligned} \quad (2)$$

*有水利学试验,由南京水文水资源研究所颜开、颜承浩同志共同完成。

Jiangsu Province Hydrology and Water Resource Investigation Bureau-Nantong Branch 江苏省水文水资源勘测局南通分局

@ Liuhe Gate Station, Suzhou 苏州浏河闸

64 水文 第42卷

误差都比较大(岸边流速条件好的边垂线除外),另考虑在河道水位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开近岸边第一条垂线位置,在中泓两侧其它位置垂线跨距组合的二线能坡法

第5期 隔栅等,二线能坡测流法能坡测速垂线组合分析 63

图5 垂线流量对应的虚拟内插法计算流量垂线流量二能坡法

石垂流二能坡法

的流二能坡法

标准差

本二能坡法

道畅通站做流

2.1 结论

受堰闸引排)行、水

引面设在

应用

除起

跨距

道流

合流

(1) 流断面

大,因

后又产

边垂线

Abstract: the tions of on both measured good. The initial pos best optio Keyword

(C)1994-2023

第42卷第5期 水文 Vol.42 No.5
2022年10月 JOURNAL OF CHINA HYDROLOGY Oct., 2022
DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.202202026

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,除中泓左右两侧测速垂线外,中泓两侧其它各位置的垂线流速不同跨距组合,能坡法测流精度均能满足流量测验规范要求。由于实测河段流程短,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劣的差别。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跨距位置,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侧产生侧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劣的差别。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标定,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]。

基于在均匀流条件下,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

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、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修正系数 α ;创建三角形断面垂线流速公式,三角形断面中任意垂线流速等于三角形水面宽与水深乘积的虚拟矩形断面中,垂线之左、右两部分平均流速的均值,乘以与三角形断面边数系数有关的流速修正系数 β ;在不规则形断面中,任意起点位置,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 β/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^[4]。

如图1所示, A-E-G 为不规则形断面; □ABCD 为虚拟矩形断面; △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人

收稿日期: 2022-04-14 网络首发日期: 2022-10-08
网络首发地址: https://cnki.net/ViewFullText.aspx?url=/journals/0852/2022/05/026.html
作者简介: 陈艳(1977-),女,高级工程师,主要从事水文勘测、水文分析评价方面的工作。E-mail: cnyj@163.com

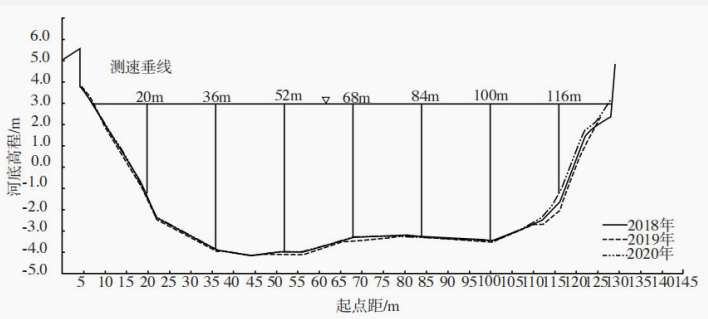


图2 浏河闸水文站测流大断面
Fig.2 The Section of Liuhe Sluice Hydrological Station

@ Shuangjiangkou Station, Changsha 湖南长沙双江口水文站

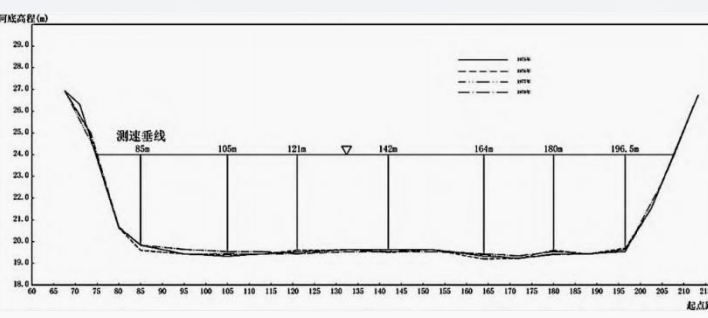


图4 双江口水文站测流大断面
Fig.4 The Section of Shuangjiangkou hydrological station

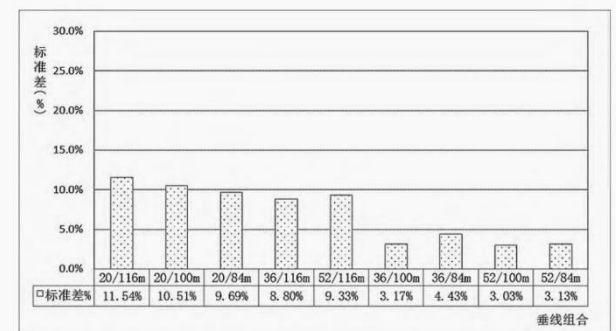


图3 浏河闸 2018—2020年不同垂线组合流量比测分析
Fig.3 The Figure of comparative measurement and analysis of different vertical combination flows of Liuhe sluice from 2018 to 2020

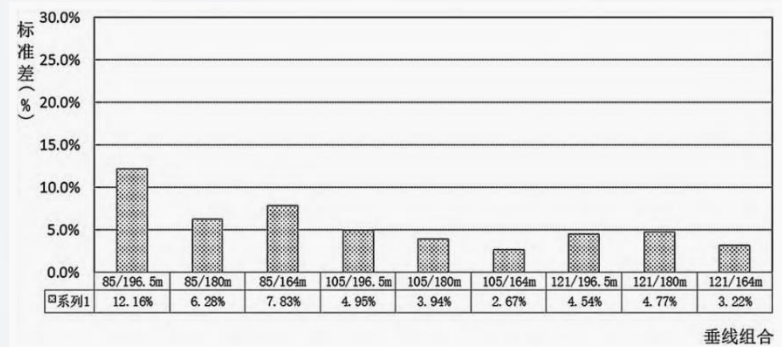


图5 双江口 1975—1977年、1979年不同垂线组合流量比测分析
Fig.5 The Figure of comparative measurement and analysis of combined discharge of different vertical lines in Shuangjiangkou from 1975 to 1977 and 1979

Hydrology Bureau, Ministry of Water Resources 水利部 原水文局

@ Gaobazhou Station in Hubei Province 湖北省高坝洲水文站

TES vs cableway with 48 MSs 2002~2004

Measured by ADCP

Item of comparison	TES	Specification	GB 50179 - 2015 河流流量测验规范 Specification for Flow Measurement in Open Channels
Systematic error	-0.3%	±2%	
Standard error	6.9%	8%	
Comprehensive uncertainty	13.8%	12~16%	

Measured by automated on-line monitoring system

Item of comparison	TES	Specification	GB 50179 - 2015 河流流量测验规范 Specification for Flow Measurement in Open Channels
Systematic error	1%	±2%	
Standard error	3.9%	8%	
Comprehensive uncertainty	7.8%	12~16%	

第6期
熊珊珊等:二线能坡法流量测验方法探讨 89

用以计算能坡的垂线位置,一般选在中水位时 1/4~1/3 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±2%;标准差为 6.9%,规范允许 3.3 二线能坡法

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流量测验应用为实例,通过水文观测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沙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

$$\bar{v}_n = \frac{\alpha}{2n} (R_n^{2n} + R_n^{2n}) S^{1/n} \quad (1)$$

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

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。

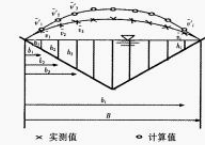


图 1 三角形断面垂线分布
Fig.1 The vertical distribution of the triangular cross-section

收稿日期:2014-09-08
作者简介:熊珊珊(1982-),女,江西南昌人,工程师,主要从事水文监测行业管理与科研工作。E-mail:xsst@mw.gov.cn

第35卷第6期
2015年12月
水文
JOURNAL OF CHINA HYDROLOGY
Vol.35 No.6
Dec., 2015

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流量测验应用为实例,通过水文观测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沙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

$$\bar{v}_n = \frac{\alpha}{2n} (R_n^{2n} + R_n^{2n}) S^{1/n} \quad (1)$$

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

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。

Jiangsu Province Hydrology and Water Resource Investigation Bureau- Lianyungang Branch 江苏省水文水资源勘测局连云港分局

@ Xiaoxuzhuang Station on Shuhe River of Huai River 淮河沔河小许庄水文站

科技论坛

小许庄水文站二线能坡法自动测流系统应用与分析

尉一健 戚震出 顾辉涛 姚必豪
(江苏省水文水资源勘测局连云港分局 连云港 222004)

【摘 要】 基于二线能坡法原理，设计并应用了二线能坡法自动测流系统，该系统由流量式 ADCP 测流仪、数据采集器、计算机等组成。该系统在淮河流域应用广泛，满足生产实际需求。

【关键词】 流量式 ADCP 测流仪 二线能坡法 自动测流

1 引言
二线能坡法测流是水文监测的重要技术手段，是实现天然河道流量自动测流的重要手段。随着水文监测技术的发展，二线能坡法测流系统已广泛应用于水文监测领域。

2 测站基本情况
小许庄水文站位于淮河流域沔河支流小许庄河上，为淮河流域重要支流，流域面积 1000 km²，最高流量约 200 m³/s，在汛期流量约 400 m³/s 左右。测站位于河道宽约 130m 左右，河床坡度变化较小，基本稳定，无淤积现象。小许庄水文站测流系统。

3 自动测流系统设计
3.1 系统结构
该系统由流量式 ADCP 测流仪、数据采集器、计算机等组成。其中流量式 ADCP 测流仪安装在河道断面，通过测流仪采集流量数据并传输至数据采集器，数据采集器通过计算机进行数据处理。

3.2 测流原理
二线能坡法测流原理是基于二维能量守恒原理，通过测量断面上下游两个断面的水位差和断面面积，计算出断面流量。

3.3 流量式 ADCP 测流仪
流量式 ADCP 测流仪是一种新型的测流仪器，具有精度高、稳定性好、维护方便等优点。该系统采用流量式 ADCP 测流仪，能够实现流量自动测量。

3.4 应用与分析
该系统自 2017 年 12 月建成运行至今，连续采集流量数据并传输至计算机进行数据处理。通过对比传统测流方法，该系统具有精度高、稳定性好、维护方便等优点。

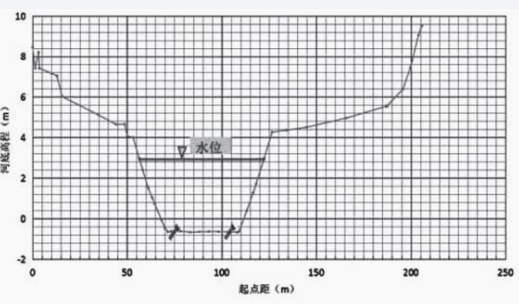


图 1 小许庄水文站实测大断面图

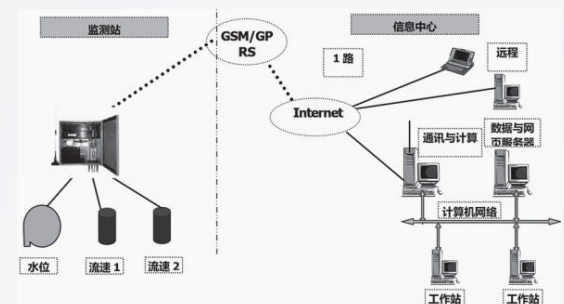


图 2 小许庄水文站流量自动监测系统结构设计图

基于二线能坡法的自动测流系统设计与应用研究

王德伟, 胡必勇, 周 冉, 冉四清
(江苏省水文水资源勘测局连云港分局, 江苏 连云港 222004)

摘要: 主要研究了基于二线能坡法的自动测流系统的设计, 并在小许庄水文站进行应用。该系统通过一台 ADCP 测流仪、数据采集器、计算机等组成。该系统在淮河流域应用广泛，满足生产实际需求。

关键词: 二线能坡法; 自动测流; 系统设计; ADCP 测流仪; 水文站

中图分类号: TV123 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2016) 05-0033-06

Abstract: Design of automatic flow measurement system based on two-lines energy slope method is mainly studied, which has been applied in Xiaoxuzhuang hydrological station. The method obtains two measured vertical velocity by two ADCP, then gets the slope parameter, and lastly calculates the section discharge by the velocity-area method. The system can achieve automatically collecting, storing, transmitting, real-time querying, error analyzing and other functions, which provides a condition for hydrological station management model of "few people care, no people on duty".

Key words: two-lines energy slope method; automatic flow measurement; system design; ADCP hydrological station

0 引言
传统的流量测验是沿河道宽在上游水面上用测流仪测量断面流速，然后利用断面流速法求断面流量。这种传统方法广泛应用于天然河道的流量测验，其优点是结构简单、操作方便。

天然河道遇到大洪水的时候，流速大、漂浮物多，测流仪无法实施。此时常用浮标法代替。但浮标在河道中不仅经常移动，还会出现多个浮标被冲刷到中区的情况。而且，浮标法所测到的上下比测断面之间的时段平均流速，不是测流断面的实际流速，所以精度不高。当遇到特大洪水的时候，还可以采用比降面积法作为备用方案。但由于比降不易测量准确，所以精度比浮标法更差。

近年来，国外声纳测流技术发展很快，但声纳测流仪在我国有所应用，与传统测流仪比较，技术先进、测流时间短，但价格要比传统的机械式测流仪昂贵许多。采用传统相关关系建立流量在实时监测系统也存在一定困难，且建设

200 MSs 2017.12~2018.9

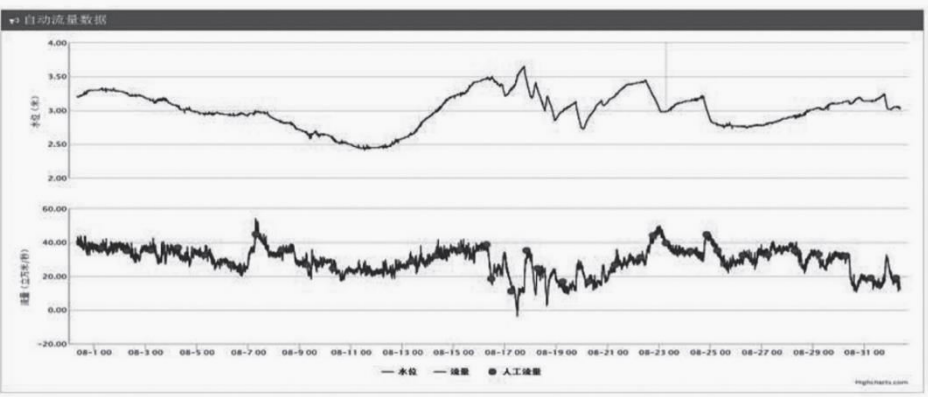


图 4 实测流量与自动测流流量关系图

Field MS vs TES

34

汛期长和高水外延的缺点也不易克服。

因此，在汛期等回水涨潮的复杂流况下，流速测量是水利科流测站多等水等年测人《水文测流规范》(SL 85-07)。因此，二线能坡法，通过 2 条测流断面流量数据，即可把原来在测站中测 2 条测流断面流量，在测站中测 2 条测流断面流量。

1 二线能坡法测流原理

1.1 基本原理
二线能坡法测流以能量守恒公式为基础，力学实验方法，从断面、三角形断面入手，线流量与断面平均流速的关系，建立与断面平均流速的断面流速公式。其次，利用三角形断面分解原理，并建立 2 条测流断面流量数据(水流能量守恒)参数，基于公式中流速与流量的比值关系，从而得到断面流量，并得到断面流量。

1.2 测流原理
天然河道断面一般都是不规则的，测流断面流量公式中的断面面积，其特点是“不规则”，按照三角形断面的测流原理，建立方法，根据断面流速、水面宽度、断面平均流速、断面流量等参数，建立断面流量公式。断面流量公式由断面流量并得到 1 条测流断面流量，由于断面不规则，无法用传统的修正系数对上述的“修正”修正。

不规则断面如图 1 所示，图中 θ 为断面宽度， a 为断面宽度， b 为断面宽度， c 为断面宽度。

图 1 不规则断面流量测流原理图

Hefei Hydrology and Water Resource Bureau 合肥水文水资源局

@ Taoxi Station on Hangbu River, Chaohu System of Yangzi River 长江流域 巢湖水系 杭埠河 桃溪水文站

Chuzhou Hydrology and Water Resource Bureau 滁州水文水资源局

@ Tianchang Station at Chuzhou City 滁州市天长水文站

第 7 期
周福建: 天长水文站二线能坡自动测流系统率定分析

行充气, 就可以让设备自动浮出水面, 而不需要在水下进行检修操作, 检修以后再进行充气, 设备就会自动沉入水底, 大大提高了检修的效率, 也节省了设备的维护成本。⁴

图 1 天长水文站流量实时在线监测系统断面布置图

3. 本文定义和术语
流量自动监测是实现水文监测现代化的关键, 也是水文监测的一项重要基础工作, 是保证流量自动监测中投资换取最佳测效的可靠方法, 它在流量自动监测中具有十分重要的地位和作用, 减轻人工测流压力, 更好的投入水文其它研究, 笔者从流量自动测流率定安装准备、工作要点、精度评价, 采用数理统计法进行全过程分析。

三、率定分析
1. 资料分析
二线能坡自动测流系统自 2015 年 7 月运行至今, 共有两段时间故障, 2016 年 7 月 23 日~2017 年 5 月 17 日, 按该系统使用在测流期间, 2019 年 6 月 22 日~2019 年 11 月 17 日, 探头线缆被过船口损坏, 至 2022 年 2 月, 完成比例流率定 120 次, 人工流量均为规范流速仪测法, 水位变幅在 5.44~8.80m, 流量区间在 4.26~43.4m³/s。⁴

2. 率定分析
根据流量率定成果, 绘制出实测流量与在线流量关系点分布于 45° 线情况, 见图 2。

图 2 天长站在流量量与人工流量相关关系图

根据图 2 可以看出: 实测流量与在线流量并不是 45° 线的相关分布, 当流量小于 200m³/s 时, 测点主要分布在 45° 线的右下方, 说明在线流量系统偏小; 当流量大于 200m³/s 时, 测点集中在 45° 线附近, 说明在线流量系统精度提高, 并借助等效流量原理, 解决多种非恒定、非均匀条件下流量测量问题。⁴

实际应用于流量率定时, 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, 进行运算, 计算出的比降并定义为能坡, 同时以此能坡代替均匀流速条件下谢才-曼宁公式中的水面比降, 然后

第 22 卷 第 7 期
2022 年 7 月
中国水运
China Water Transport
Vol. 22 No. 7
July 2022

天长水文站二线能坡自动测流系统率定分析

周福建
(滁州市水文水资源局, 安徽 滁州 239000)

摘要: 本文选取天然河道站水条件下, 利用单垂式 (ADCP) 实测两条垂线流速分布, 以二线能坡原理为基础实现断面流量在线监测, 对其二线能坡流量成果与规范流速仪传统方法测得的流量成果进行比较, 经数理统计方法率定及应用分析, 二线能坡流量精度较高, 流量自动测流成果通过线性分析相关系数修正后, 基本满足整编要求, 是保证流量自动监测以最小的投资换取最佳测效的科学方法, 减轻人工测流压力, 更好的投入水文其它研究。
关键词: 二线能坡原理; 声学多普勒流速仪; 数理统计
中图分类号: TV123 文献标识码: A 文章编号: 1006-7673 (2022) 07-0094-04

一、测站基本情况
天长站位于滁州市天长市城区, 是入江河道水系江淮准陵区代农灌白塔河控制站, 测站集水面积 1,159km², 于 1955 年 5 月设站, 该站历史最高水位 10.23m, 最大流量 710m³/s, 曾成水位 8.50m, 该站为二类站, 测流河段为人工河槽, 较宽直, 河床为淤积土, 复式河槽, 断面较稳定, 两岸有堤和滩地, 两岸滩地高约 6.30~6.80m, 堤顶高程约 12.50m, 测验断面上游 458m 处为双向立交大桥一座, 下游 348m 处有二凤北路大桥一座, 下游 14km 处为河口入高邮湖, 该站洪水受流域内水利工情及高邮湖水量的影响, 流量涨落不定, 1988 年流量停测, 2015 年 7 月恢复测流, 测流断面较长, 测流断面长, 平均水深约 5m 高邮湖水影响, 流量涨落不定, 1988 年流量停测, 2015 年 7 月恢复测流, 测流断面较长, 测流断面长, 平均水深约 5m

1 测站基本情况

桃溪水文站位于杭埠河的一级支流丰乐河, 属长江流域巢湖水系, 丰乐河桃溪水文站以上流域面积 1510km², 主河道长 70.9km, 流域平均高程 57.4m, 河道坡度 0.63‰, 流域面积坡度 0.87‰, 流域形状系数 0.47。

桃溪水文站测验河段为顺直, 控制条件较好, 上游 900m 为 G206 跨丰乐河大桥, 上游 1500m 有龙潭河汇入; 下游 150m 为河湾段, 下游 2km 有二里半河汇入。桃溪水文站测流断面为复式断面, 主槽窄深, 河底高程在 6.0m~12.5m; 水位 12.5m 开始滩漫, 左滩地宽约 10m, 堤顶高程在 18.9m 左右, 堤防迎水坡为干砌块石护坡, 杂树较多; 右滩地宽约 60m, 堤顶高程 18.8m, 堤防坡面陡峻, 生态防护, 无杂物。桃溪测验河段平面图、实测断面见图 1、图 2。

2 流量在线监测布局

2.1 二线能坡监测探头布置
本站测流河段为复式断面, 主槽平均水深在 9.0m 左右, 12.5m 以上河段滩地常年无水, 现状地形为人工滩地和路堤, 测验河段冲淤变化小, 断面基本稳定。

二线能坡监测探头布置在测验河段主槽内, 分别位于起点距 30m、50m 处, 流速传感器采用美国 kin-coast 公司生产的平面阵列型声学多普勒测流仪 (K10m-coast2000 型) 安装在水平, 实测断面垂线平均流速, 通过实时水位和二线能坡法流量计算模型, 实现流量实时在线监测, 二线能坡监测探头设置的两侧垂线断面位置见图 2。

2.2 率定方法
计算流量所采用的流速垂线位置尽量选择控制断面形状变化和流速分布变化的转折点, 依据二线能坡法测流

第 7 期
周福建: 天长水文站二线能坡自动测流系统率定分析

行充气, 就可以让设备自动浮出水面, 而不需要在水下进行检修操作, 检修以后再进行充气, 设备就会自动沉入水底, 大大提高了检修的效率, 也节省了设备的维护成本。⁴

图 3 天长站在线流量与人工流量关系图

根据图 3 可以看出: 实测流量与在线流量并不是 45° 线的相关分布, 当流量小于 200m³/s 时, 测点主要分布在 45° 线的右下方, 说明在线流量系统偏小; 当流量大于 200m³/s 时, 测点集中在 45° 线附近, 说明在线流量系统精度提高, 并借助等效流量原理, 解决多种非恒定、非均匀条件下流量测量问题。⁴

实际应用于流量率定时, 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, 进行运算, 计算出的比降并定义为能坡, 同时以此能坡代替均匀流速条件下谢才-曼宁公式中的水面比降, 然后

第 7 期
周福建: 天长水文站二线能坡自动测流系统率定分析

行充气, 就可以让设备自动浮出水面, 而不需要在水下进行检修操作, 检修以后再进行充气, 设备就会自动沉入水底, 大大提高了检修的效率, 也节省了设备的维护成本。⁴

图 4 天长站在线流量与人工流量关系图

根据图 4 可以看出: 实测流量与在线流量并不是 45° 线的相关分布, 当流量小于 200m³/s 时, 测点主要分布在 45° 线的右下方, 说明在线流量系统偏小; 当流量大于 200m³/s 时, 测点集中在 45° 线附近, 说明在线流量系统精度提高, 并借助等效流量原理, 解决多种非恒定、非均匀条件下流量测量问题。⁴

实际应用于流量率定时, 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, 进行运算, 计算出的比降并定义为能坡, 同时以此能坡代替均匀流速条件下谢才-曼宁公式中的水面比降, 然后

第 22 卷 第 7 期
2022 年 7 月
中国水运
China Water Transport
Vol. 22 No. 7
July 2022

天长水文站二线能坡自动测流系统率定分析

周福建
(滁州市水文水资源局, 安徽 滁州 239000)

摘要: 本文选取天然河道站水条件下, 利用单垂式 (ADCP) 实测两条垂线流速分布, 以二线能坡原理为基础实现断面流量在线监测, 对其二线能坡流量成果与规范流速仪传统方法测得的流量成果进行比较, 经数理统计方法率定及应用分析, 二线能坡流量精度较高, 流量自动测流成果通过线性分析相关系数修正后, 基本满足整编要求, 是保证流量自动监测以最小的投资换取最佳测效的科学方法, 减轻人工测流压力, 更好的投入水文其它研究。
关键词: 二线能坡原理; 声学多普勒流速仪; 数理统计
中图分类号: TV123 文献标识码: A 文章编号: 1006-7673 (2022) 07-0094-04

一、测站基本情况
天长站位于滁州市天长市城区, 是入江河道水系江淮准陵区代农灌白塔河控制站, 测站集水面积 1,159km², 于 1955 年 5 月设站, 该站历史最高水位 10.23m, 最大流量 710m³/s, 曾成水位 8.50m, 该站为二类站, 测流河段为人工河槽, 较宽直, 河床为淤积土, 复式河槽, 断面较稳定, 两岸有堤和滩地, 两岸滩地高约 6.30~6.80m, 堤顶高程约 12.50m, 测验断面上游 458m 处为双向立交大桥一座, 下游 348m 处有二凤北路大桥一座, 下游 14km 处为河口入高邮湖, 该站洪水受流域内水利工情及高邮湖水量的影响, 流量涨落不定, 1988 年流量停测, 2015 年 7 月恢复测流, 测流断面较长, 测流断面长, 平均水深约 5m 高邮湖水影响, 流量涨落不定, 1988 年流量停测, 2015 年 7 月恢复测流, 测流断面较长, 测流断面长, 平均水深约 5m

1. 测站基本情况

天长站位于滁州市天长市城区, 是入江河道水系江淮准陵区代农灌白塔河控制站, 测站集水面积 1,159km², 于 1955 年 5 月设站, 该站历史最高水位 10.23m, 最大流量 710m³/s, 曾成水位 8.50m, 该站为二类站, 测流河段为人工河槽, 较宽直, 河床为淤积土, 复式河槽, 断面较稳定, 两岸有堤和滩地, 两岸滩地高约 6.30~6.80m, 堤顶高程约 12.50m, 测验断面上游 458m 处为双向立交大桥一座, 下游 348m 处有二凤北路大桥一座, 下游 14km 处为河口入高邮湖, 该站洪水受流域内水利工情及高邮湖水量的影响, 流量涨落不定, 1988 年流量停测, 2015 年 7 月恢复测流, 测流断面较长, 测流断面长, 平均水深约 5m 高邮湖水影响, 流量涨落不定, 1988 年流量停测, 2015 年 7 月恢复测流, 测流断面较长, 测流断面长, 平均水深约 5m

2. 率定方法

计算流量所采用的流速垂线位置尽量选择控制断面形状变化和流速分布变化的转折点, 依据二线能坡法测流

Yishusi Water Conservancy Bureau, Huaihe River Commission 淮河水利委员会沂沭泗水利管理局

@ Liangji Cannal Station 梁济运河水文站

Fuyang Hydrology and Water Resources Bureau, Anhui Province 安徽省阜阳市水文水资源局

@ Jieshou Station 界首水文站

科技推广与应用

面流量。该法测流以曼宁公式为基础,借助水力学实验方法,从矩形、三角形断面入手,寻求垂线流速与断面平均流速的关系,建立与曼宁公式具有相同结构形式的垂线流速公式。改天然河道中综合系数为分解系数,并以2条实测垂线流速为已知条件反求能坡(水流能量坡度)参数,代替曼宁公式中比降与糙率的比值关系,从而使测流精度显著提高,并借助等效流量原理,解决多种非恒定、非均匀流条件下流量测量问题。

曼宁公式如下:

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$
 式中:V—断面平均流速;
 n—转换常数,国际单位制中值为1;
 R—曼宁系数,是综合反映管壁粗糙程度情况对水流影响的一个系数。其值一般由实验数据测得,使用时可查表选用;

$R_n = \frac{A}{P}$ —水力半径,是流体截面积与湿周长的比值,湿周指流体与明显固壁接触的周长,不包括与空气接触的湿周部分;
 S—明渠的坡度。

2 梁济运河(后营)自动监测站

梁济运河(后营)测站是国家水资源监管能力建设二期项目中的组成部分,建设位于后营水文站自计水位井附近。南四湖是南水北调东线工程输水通道,梁济运河是南水北调东线工程调水南四湖上级的输水通道,该测站能够很好地应用于南水北调东线一期工程调水水量的监测。

梁济运河(后营)测站的自动流量监测系统选用的是Flowcon2000型声学多普勒测流断面仪(ADCP),它是用于河渠和渠道流速、流量实时监测

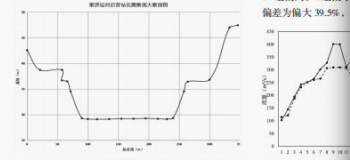


图1 梁济运河(后营测站)比测断面实测大断面图

的声学多普勒仪,是最先进信号处理技术。Flowcon2000不定的特点,而且监测类产品的监测单元都安装在被测河渠或渠情况任意位置上,度,从而准确测出到右不同距离上,上出现场河流及供水管水利传统测流方法,上有了质的飞跃。本由河底向水面发射声水面每隔0.25m一个

3 自动监测站建设
 3.1 比测断面建设
 梁济运河(后营)基本水尺断面测流断面距离仅为20m,实测大断面见图1。
 3.2 流量采集对比分析
 根据河道监实际年以来后营水文站2018年8月10—27日流量监测资料,控制流量量过程对照图,性分析,并计算各由图2、图3和河(后营)站二能基本一致,曲线拟合24组大、8组小偏差为偏大39.5%,

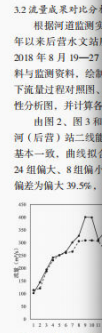


图2 梁济运河(后营测站)比测断面实测大断面图

ADCP 二线能坡法测流在沂沭泗梁济运河(后营)自动监测站中的应用

李素¹ 王秀庆² 姚欣明¹
 (1. 淮河水利委员会沂沭泗水利管理局 徐州 221000 2. 沂沭泗水利管理局水文局(信息中心) 徐州 221000)

【摘要】本文介绍了ADCP二线能坡法的测流原理以及在沂沭泗梁济运河(后营)自动监测站中的应用。通过将2018年梁济运河(后营)站自动监测数据与人工比测数据进行对比分析,结果表明ADCP二线能坡法的测流数据较为合理准确,以此为依据对测站系统参数进行科学调整,提高测站的测流精度,能够为沂沭泗直管区水资源管理工作以及南水北调东线一期工程调水监管工作提供技术支持。

【关键词】ADCP 二线能坡法 自动监测 比测

国家水资源监控能力建设二期项目沂沭泗局实施部分(2016—2018年),完成了21处流量在线监测站建设,其中在梁济运河(后营)站等9处采用二线能坡法测流,在东鱼河口等12处采用雷达波测流。为验证测站自动测流精度,提高国家水资源监控能力建设二期项目中所设测站流量在线监测工作的可靠性,选择已经建成的梁济运河(后营)测站进行数据比测分析,梁济运河(后营)测站采用的是ADCP二线能坡法测流,通过2016年监测站建设

(五)加强队伍建设,推动沂沭泗局政府采购事业可持续发展

政府采购管理工作涉及面广,专业性强,政策性强,对工作人员综合能力和素质要求高。“十四五”时期,沂沭泗局要加强政府采购管理人才队伍建设,打造专业化的干部队伍。要提高工作人员专业素质水平,加强采购法规、市场调查、需求标准制定、采购合同风险控制、合同履约和绩效管理等方面的专业能力培训,提高全局政府采购管理队伍专业水平,推动沂沭泗局政府采购工作高质量发展。

(六)加强党风廉政建设,保障政府采购改革健康发展

政府采购是各方关注的热点,是廉政风险防控的重点领域,要时刻绷紧廉政风险防控这根弦。一要强化政治武装,从思想上抵御风险隐患,要深入学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想和党的十九大、十九届二中、三中、四中、五中全会精神,

完成后的自动监测数据与水文资料、实测资料的对比分析,找出同时段流量数据的差别和关系,并详细分析数据差别的原因,依据水文资料、实测资料对流量自动监测站点的系统参数进行科学调整,以提高测站的自动测流精度。

1 ADCP 二线能坡法原理

二线能坡法是通过两条实测垂线流速获取垂线流速模型参数,把常规流量测验测测多条垂线流速变为计算多条垂线流速,通过流流—面积法计算

把防范风险隐患统一到“两个维护”的政治高度上来,不断提升党员干部政治素养和抵御风险的能力水平;二是要进一步识别分析政府采购领域廉政风险点,研究提出风险防范措施,有针对性地优化内部控制制度,从制度上防控风险隐患;三要持续改进政府采购监管手段,充分发挥财政监督、内部审计、纪检监察的职能优势,形成监管合力。

五、结语

20年的风雨兼程,从萌芽到生根再到枝繁叶茂,沂沭泗局政府采购改革一路走来,披荆斩棘,靠着对法律法规的恪守遵循,对党的大政方针的严格执行,政府采购已深入人心,成效显著。新时代要有新的作为,要坚持依法采购,勇于改革创新,筑牢廉政防线,以更远的格局,更坚强的担当,更深切的情怀,为构建沂沭泗局政府采购新发展格局作出更大的贡献

(作者单位:淮河水利委员会沂沭泗水利管理局 221000)

统相关参数进行配置,持续获取流量数据,文章选用2018年度自动流量数据成果进行单次、日、月、年流量分析。

2.1 流量数据整理
 二线能坡自动流量系统每5min采集1组数据,2018年度数据量为99211组数据,并对数据按照不影响特征值和日均流量的原则进行了精简,处理数据,采用精简后的数据进行日、月、年及特征流量整编,水文站全年实测流量用逐次测流过程线法对流量数据进行整编,自动流量过程线与水文站整编流

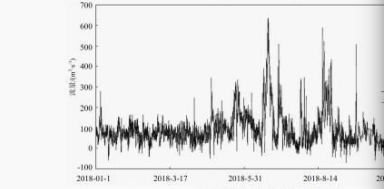


图1 自动流量与水文站整编过程线对照

由图1可看出,因水文站实测数据偏少,故其过程线在短时间内的变化是比较丰富,其过程线显示短时间内有较大流量变化,但从全年整体来看自动流量变化趋势是一致的。

2.2 数据对比分析

从逐次流量对照来看,本年度实测流量364次,其中有11次处于自动流量与自动流量进行对比分析,具体如表1所示,因水文站实测流量是河道流量进行监测,监测需要一个时段,因此将这个时段中的自动流量进行平均来看,92.7%的测次差值在50%范围内,仅有25.8%的测次差值在5%范围内

范围/%	测次	占比/%
[0,5]	93	25.8
(5,10]	67	18.0
(10,30]	89	25.2
(30,50]	80	22.7
(50,100]	28	7.3

逐日平均流量对照如表2所列,由表2可知,全年日流量差值在5%范围内差值在50%以内的占比95.7%,最大日流量相差为159% (10月5日)。

范围/%	天数	占比/%
[0,5]	68	24.8
(5,10]	77	21.1
(10,30]	90	24.7
(30,50]	96	26.3
(50,100]	18	4.3

(作者单位:阜阳市水文水资源局,工程师,主要从事水文测验与水资源管理工作。

界首水文站自动流量比测分析

李旭东
 (安徽省阜阳市水文水资源局,安徽 阜阳 236000)

摘要:文章通过对二线能坡法流量自动监测系统获取的流量数据与实测流量数据进行比测和分析,证明了自动流量数据的可靠性,为获取流量数据提供了新的途径。
关键词:二线能坡法;自动流量;实测流量;对比分析
 DOI:10.3969/j.issn.1671-6221.2021.04.008
 中图分类号:P32.4 文献标识码:A 文章编号:1671-6221(2021)04-0028-03

Analysis of automatic flow ratio measurement in Jieshou Hydrological Station

LI Xudong
 (Fuyang Hydrology and Water Resources Bureau of Anhui Province, Fuyang 23600, China)

Abstract: Through comparing and analyzing the flow data obtained by the two-lines energy slope method automatic flow monitoring system with the measured flow data, this paper proves the reliability of the automatic flow data and provides a new way to obtain the flow data.
Key words: two-lines energy slope; automatic flow; measured flow; comparison and analysis

该站作为省界站,准委水文局从2012年起就在尝试开展自动流量系统建设工作,该站水位流量关系主要受上下游闸门启闭影响,中低水位时上下游闸门启闭频繁,水位流量关系紊乱无规律;高水位时,上下游闸门全部提出水面,水位流量关系主要受洪水涨落影响。目前常规采用实测流量过程线法进行流量测次布置,年平均流量测次350次,本文主要探究该站的自动流量监测系统的可用性和精度。

1 自动流量监测系统工作原理

能坡法流量测验方法是采用曼宁公式为基础,建立断面的垂线流速模型,二线能坡法自动流量监测系统是在能坡法流量测验方法的基础上进行的创新,采用2台坐底式的声学多普勒流速仪实时监测断面中2条垂线的平均流速,从而获得所需要的流量数据。

2 数据比测分析

通过对界首站历史实测流量垂线流速分布代表性等情况进行分析,对二线能坡法自动流量监测系

收稿日期:2021-09-01;修回日期:2021-05-27
 作者简介:李旭东(1971—),男,安徽阜南人,工程师,主要从事水文测验与水资源管理工作。

Cross section

A river cross-section is a representation of the river's width and depth taken perpendicular to the flow direction. It provides information about the shape and dimensions of the river at a specific location.

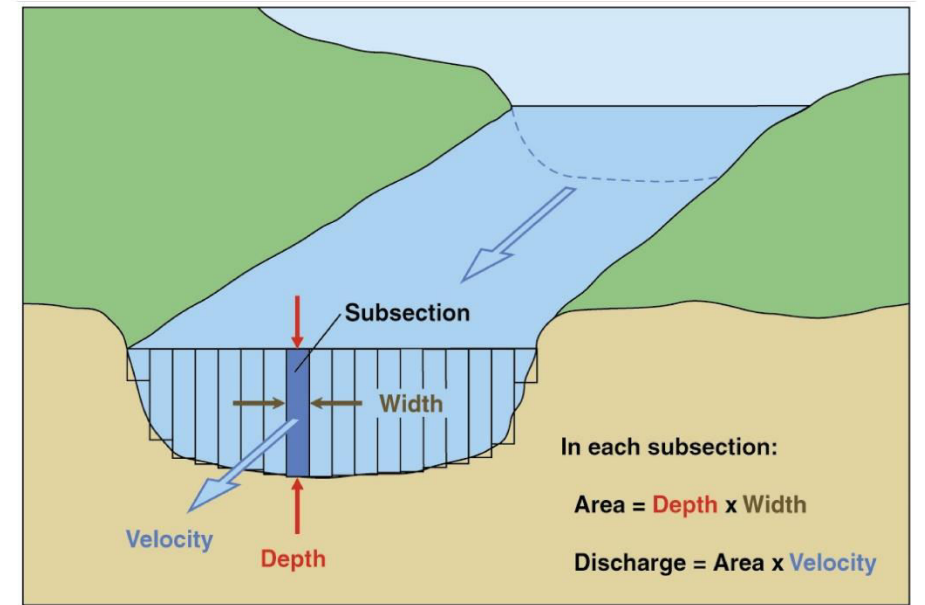
Finite Sum Solution

When approximating the total discharge of a river or stream, we sum up a finite number of velocity measurements taken at specific points within a cross-section. This approach is used when it's not feasible or practical to measure velocity continuously across the entire cross-section.

Partial Velocity-Area Method

It's called "partial" because it deals with individual sub-sections of the cross-section rather than the entire cross-section.

This method involves **multiplying the average velocity for each sub-section by the corresponding flowing area** to calculate the discharge for that sub-section.



Energy Slope (also known as flow energy gradient):

- a crucial factor in understanding how water flows in a channel.
- quantifies how the energy of the flowing water changes with respect to its position in the channel.
- related to the change in **elevation** (slope) along the channel and the **flow velocity** of the water.
- shows how much energy is lost as water moves downstream due to factors like friction with the channel bed and banks.

CN 113280870 A 权利要求书 2/3页

R_{L1} 为垂线左水力半径;
 R_{L2} 为垂线左水力
S为能坡。

4.如权利要求1所
法采用的公式为:

$$U = \frac{1}{2} [u_1 - (u_1 - v_1)]$$

其中:U为实际垂
 u_1 为矩形断面中
 u_2 为矩形断面中
 v_1 为三角形断面
 v_2 为三角形断面
 f_1 为夹在矩形断面
 f_2 为夹在矩形断面
 F_1 为矩形断面和
 F_2 为矩形断面和
5.如权利要求2所
采用下述公式计算的

$$\begin{cases} n = \frac{n_1 + n_2}{2} \\ n_1 = n_2 + \sum \Delta n \\ \Delta n = \frac{(n_1 - n_2) \bar{h}_1}{L_1 + 2\bar{h}_1} \end{cases}$$

其中:n为糙率,是
 \bar{n} 河道中不同区
 n_1 为不同糙率沿
 Δn 为垂线所在区
 Δn 是河道中沿断
 n_1 为河道中沿断
 \bar{h}_1 为不同区域糙
 L_1 为糙率沿区域
6.如权利要求1所
流的位置C1和C2,是
7.如权利要求1所
范要求,根据如权利
算虚拟能坡,并按照
流量。

权利要求书

2/3页

CN 113280870 A 权利要求书 1/3页

1.一种虚拟二线能坡河渠流量测流法,用于各种均匀流、非均匀流态的过水断面中无死水、回流和畅流

体中,包括以下步骤
A.确定两条垂
和C2;

B.测量两个垂
C.利用垂线流
D.根据河渠流
左岸一侧各垂线
之间各垂线的能坡

E.利用各垂线
F.根据各垂线
型,是将垂线套入
断面中垂线流速公
深相等,宽与实测
角形断面中该垂线
不过水面积,用内

2.如权利要求
线流速公式为:

$$u = \frac{u_1}{2} + \frac{u_2}{2}$$

其中:u为矩形
 u_1 为矩形断面
 u_2 为矩形断面
 α 为与矩形断面
n为糙率;
 R_{L1} 为垂线左水
 R_{L2} 为垂线右水
S为能坡。

3.如权利要求
垂线流速公式为:

$$v = \frac{v_1}{2} + \frac{v_2}{2}$$

其中:v为三角
 v_1 为三角形断面
 v_2 为三角形断面
B为与三角形断
n为糙率;

(19) 中华人民共和国国家知识产权局

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113280870 A
(43) 申请公布日 2021.08.20

(21) 申请号 202110131267.4

(22) 申请日 2021.01.30

(71) 申请人 无锡宏聚电子科技有限公司
地址 214000 江苏省无锡市高浪东路999-8-C1-201

(72) 发明人 颜开 颜承浩

(74) 专利代理机构 连云港联创专利代理事务所
(特殊普通合伙) 32330

代理人 刘刚

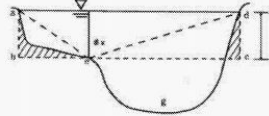
(51) Int. Cl.
G01F 1/00 (2006.01)

(54) 发明名称

一种虚拟二线能坡河渠流量测流法

(57) 摘要

本发明公开一种虚拟二线能坡河渠流量测流法,属于河渠流量计量技术领域。在非均匀流条件下,采用在过水断面中测取两条(中泓两侧各一条)垂线流速,通过均匀流谢才—曼宁公式建立的垂线流速模型逆运算,得到两个虚拟均匀流能坡,代入垂线流速模型,计算出超出人工实测垂线条数数倍的垂线流速,最后用部分流速—面积法算出流量,为实现流量在线监测提供重大技术支持。



权利要求书3页 说明书7页 附图3页

Inventor: YAN Kai

发明人: 颜开

DOI:10.19797/j.cnki.1000-0852.1993.06.007

用谢才——曼宁公式计算均质 边壁河道中垂线平均流速问题初探*

颜开

(水利部水调中心)

提要

传统的谢才——曼宁公式只能计算断面平均流速,不能计算垂线平均流速,但垂线平均流速的研究对于解决断面流速分布以及对水力学理论研究等方面都有很重要的意义。作者通过对均质边壁矩形、对称三角形断面的垂线平均流速与断面平均流速之间关系的分析研究和水力学试验,建立了用谢才——曼宁公式计算上述断面的垂线平均流速公式,进而通过虚拟手段求出均质边壁不规则断面的垂线平均流速,经用实验资料验证表明,计算与实验点拟合良好。

一、均质边壁矩形断面内垂线平均
流速沿断面宽的分布公式

关于规则断面的流速分布和流速场理论,前人有过广泛深入的研究⁽¹⁾,但一般说来,这些理论公式的结构形式都比较复杂,同时由于边界条件的限制,参数较多,而且不易确定,应用不便。为此,本文以均匀流条件下的矩形断面内垂线平均流速(以下简称垂线流速)与断面平均流速之间存在关系⁽²⁾为基础,通过分析研究和水力学实验,找出两者之间的数学求解方法,然后,用人们熟知的谢才——曼宁公式来计算垂线流速。具体做法如下。

在如图1所示的矩形断面中,设断面中央B/2处的垂线流速为 \bar{u}_p ,全断面的平均流速为V,则 \bar{u}_p 与V之间的关系为:

$$\bar{u}_p = \alpha V = \frac{\alpha}{n} R^{2/3} J^{1/2} \quad (1)$$

式中:J为水面比降;n为糙率;R为水力半径; α 为与矩形断面宽深比有关的垂线流速改

正系数。

通过对式(1)的分析可知:位于断面中央的垂线把整个断面一分为二,使式(1)中的水力半径既是全断面的水力半径,同时又是中央垂线之左和之右各自半个断面水力半径的均值,其数学关系表达式为:

$$\begin{aligned} R &= \frac{hB}{2h+B} \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{h(\frac{B}{2})_L}{h+(\frac{B}{2})_L} + \frac{h(\frac{B}{2})_R}{h+(\frac{B}{2})_R} \right] \\ \text{或 } R &= \frac{hB}{2h+B} = \frac{h(\frac{B}{2})_k}{h+(\frac{B}{2})_k} \\ &= \frac{h(\frac{B}{2})_L}{h+(\frac{B}{2})_L} \end{aligned} \quad (2)$$

*有关水力学试验,由南京水文水资源研究所颜开、徐春晓同志共同完成。

Two-vertical-line Energy Slope (TES) and Its Application in Real-time Flow Measurement and Discharge Calculation

LI Chenxi ZONG Jun MA Zhan YAN kai
Nanjing Hydraulic Research Institute



lichenxi@nsy.com.cn