

水闸安全始流曲线绘制计算与应用探讨

孙鹏明,王 飞,陈 浩,吕 犇,李 昱

(江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司,江苏 苏州 215000)

摘要:针对传统人工计算绘制“水闸安全始流曲线”存在计算工作量大、效率有待提高等问题,通过研究优化水闸安全始流曲线计算过程使其适用于程序化,利用 Visual Basic (VB) 编程语言及其可视化界面开发水闸安全始流曲线计算绘制软件。结合工程实例展示该软件的主要功能和曲线使用,验证软件操作简单直观、高效便捷,同时介绍了软件曲线使用方法流程,对于指导水闸闸门开启和安全泄流具有参考意义。

关键词:水闸;安全始流曲线;程序应用

中图分类号:TV663

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2024)11-0056-0006

Discussion on drawing calculation and application of sluice safety initial flow curve

SUN Pengming, WANG Fei, CHEN Hao, LV Ben, LI Yu

(Jiangsu Taihu Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Suzhou 215000, China;)

Abstract: In view of the problems of traditional manual calculation and drawing of "sluice safety initial flow curve", such as heavy calculation workload and efficiency that needs to be improved, the calculation process of the sluice safety initial flow curve is optimized through research to make it suitable for programming, using the Visual Basic (VB) programming language and its visual interface develops software for calculating and drawing the sluice safety initial flow curve. The main functions and curve usage of the software are demonstrated based on engineering examples, verifying that the software operation is simple, intuitive, efficient and convenient. At the same time, the method and process of using the software curve are introduced, which is of reference significance for guiding the opening of sluice gates and safe discharge.

Key words: sluice; safety initial flow curve; program application

1 概 述

闸门启闭是水闸工程管理的关键内容,特别是在引排水初始时,下游水位尚未壅高,水流流速相对较大,水跃越出消力池致使河床或海漫遭受严重冲刷^[1-2]。为避免下游冲刷,保障水闸工程安全,《水闸管理技术规程》(SL75—2014)及《江苏省水闸技术管理办法》等文件要求过闸流量应与上下游水位相适应,使水跃发生在消力池内,每次泄放的流量应根据“始流时闸下安全水位-流量关系曲线”确

定,并根据“闸门开高-水位-流量关系曲线”确定闸门开高。

传统的“安全始流曲线”绘制多采用手算手绘,需要不断地迭代计算,计算工作量大,效率较低,且只能绘制几条特征水位下的曲线,其余水位情况多采用插值获取,较为繁琐,不具有普适性且难以推广^[3]。鉴于此,本文通过理论分析计算并优化编程绘制“安全始流曲线”,利用计算机高效完成迭代计算工作并形成可视化界面,在输入水闸几何参数和水位参数后,可实时绘制安全始流曲线,方便高效,

收稿日期:2024-06-04

作者简介:孙鹏明(1992—),男,工程师,硕士,研究方向为水工建筑物。E-mail:spm12138@163.com

对于指导水闸闸门开启和安全泄流具有重要意义。

2 水闸安全始流计算

2.1 水位流量关系计算

水闸始流时刻闸下安全水位与设计控制流量关系计算以水闸消力池深度计算为基础,控制消力池内发生临界水跃,水闸消力池深度计算简图见图1。

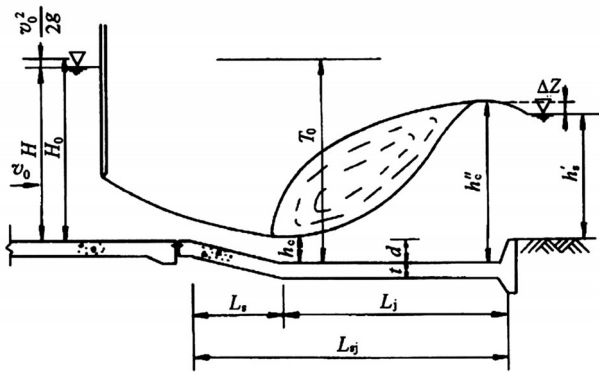


图1 水闸消力池深度计算简图

根据《水闸设计规范》(SL265—2016)附录B,相关计算式为

$$d = \sigma_0 h_c'' - h_s' - \Delta z \quad (1)$$

$$h_c'' = \frac{h_c}{2} \left\{ \sqrt{1 + \frac{8\alpha q^2}{gh_c^3}} - 1 \right\} \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^{0.25} \quad (2)$$

$$h_c^3 - T_0 h_c^2 + \frac{\alpha q^2}{2q\varphi^2} = 0 \quad (3)$$

$$\Delta z = \frac{\alpha q^2}{2g\varphi^2 h_s'^2} - \frac{\alpha q^2}{2gh_c'^2} \quad (4)$$

式中: d 为消力池深度,m; σ_0 为水跃淹没系数,可采用1.05~1.10; h_c'' 为跃后水深,m; h_s' 为出水池河床水深,m; Δz 为出池落差,m; h_c 为收缩水深,m; α 为水流动能校正系数,可采用1.0~1.05; q 为过闸单宽流量, m^2/s ; b_1 为消力池首端宽度,m; b_2 为消力池末端宽度,m; g 为重力加速度, m/s^2 ; T_0 为由消力池底板顶面计算的总势能,m。

在已知工程设计参数和上游水位条件下,假定过闸流量,根据式(3)求解一元三次方程可得收缩水深 h_c ,常规工程计算时多采用Excel软件的单变量求解法等,但其求解结果与初始假定值密切相关,常无法得出结果或陷入局部解,局部解常为一元三次方程另外2个根,与实际收缩水深相差甚远^[4]。本文采用盛金公式^[5]编程求解一元三次方程,得出方程的3个精确解,通过判别得出收缩水深。

根据式(2)计算得跃后水深 h_c'' ,将式(1)和式(4)整合可得式(5)如下:

$$h_s' + \left(d - \sigma_0 - \frac{\alpha q^2}{2gh_c'^2} \right) h_s'^2 + \alpha q^2 = 0 \quad (5)$$

求解一元三次方程可得下游水深 h_s' ,其余符号含义同前,结合假定流量可得上游水位、下游水位、允许最大流量三者之间的关系曲线。

2.2 闸门开度

为指导水闸管理人员启闭闸门操作,在水闸始流时刻水位、流量关系计算基础上引入闸门开度概念。闸门开度计算以水闸孔流时闸孔总净宽计算为基础,水闸孔流时闸孔总净宽计算简图见图2。

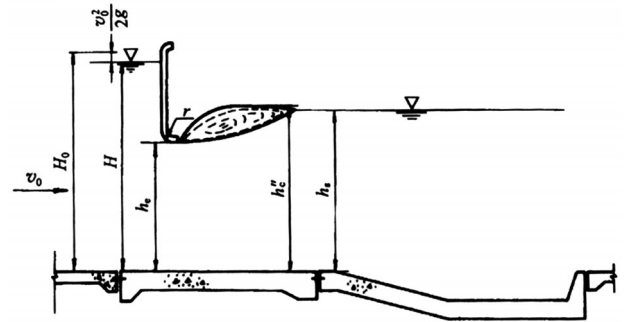


图2 水闸孔流时闸孔总净宽计算简图

根据《水闸设计规范》附录A,计算式为

$$\lambda = \frac{0.4}{2.78 \frac{16r}{h_c}} \quad (6)$$

$$\varepsilon' = \frac{1}{1 + \sqrt{\lambda \left[1 - \left(\frac{h_c}{H} \right)^2 \right]}} \quad (7)$$

$$\mu = \varphi \varepsilon' \sqrt{1 - \frac{\varepsilon' h_c}{H}} \quad (8)$$

$$Q = B_0 \sigma' \mu h_s \sqrt{2gH_0} \quad (9)$$

式中: h_c 为孔口高度,m; μ 为孔流流量系数; φ 为孔流流速系数,可采用0.95~1.0; ε' 为孔流垂直收缩系数; λ 为计算系数; r 为胸墙底圆弧半径,m; σ' 为孔流淹没系数(表1)。

根据孔流条件,闸门开度 h_c 介于0~0.65H之间,利用计算机计算的高效快捷特性,以0.001为步长枚举 h_c 取值,依次计算上述各式,直至计算流量与假定流量误差小于0.005 m^3/s 。其中,孔流淹没系数 σ' 需查表取值,不利于计算机编程^[6],本文采用一元六次方程拟合 σ' 与 $\frac{h_s - h_c''}{H - h_c}$ (以下简称X)之间关系:

表1 孔流淹没系数

$\frac{h_s - H}{H}$	≤ 0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.92	0.94	0.96	0.98	0.99	0.995
σ'	1.00	0.86	0.78	0.71	0.66	0.59	0.52	0.45	0.36	0.23	0.19	0.16	0.12	0.07	0.04	0.02

$$\sigma' = \begin{cases} 1 & X \leq 0 \\ -1.96304X^6 - 0.02467X^5 + 7.55970X^4 - 9.96380X^3 + 5.22199X^2 - 1.81908X^1 + 0.99985 & 0 < X \leq 1 \end{cases} \quad (10)$$

对相关曲线进行拟合优度检测,判定系数 $R^2=99.987\%$,拟合精度高,孔流淹没系数拟合曲线如图3所示。

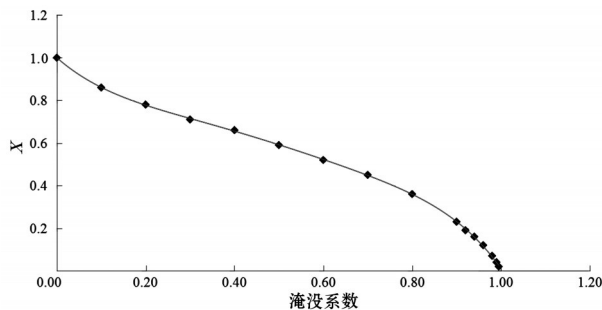


图3 孔流淹没系数拟合曲线

2.3 堰流水位与流量关系计算

当闸门开度 $> 0.65H$, 此时水流为堰流, 过闸流量与闸门开度无关, 仅与上下游水位相关。堰流流量计算以水闸堰流时闸孔总净宽计算为基础, 根据上、下游水位及工程设计参数按照《水闸设计规范》附录A公式依次计算可得堰流流量。以上游水位、下游水位、堰流流量计算值绘制堰流状态下水闸水位与流量关系曲线图作为水闸安全始流的补充曲线, 供水闸管理人员参考。

3 程序运用

软件以 Visual Basic 为编程语言集成开发, 充分利用 VB 的界面设计功能和面向对象的程序设计方法。软件主界面如图4所示, 二级界面如图5所示, 输入相关参数后点击绘图即可得出相应曲线和数据。

4 应用实例

4.1 工程概况

以位于太湖流域武澄锡虞区的某引水水闸工程为例, 单孔净宽 12 m, 布置 2 孔, 配升卧式平面钢

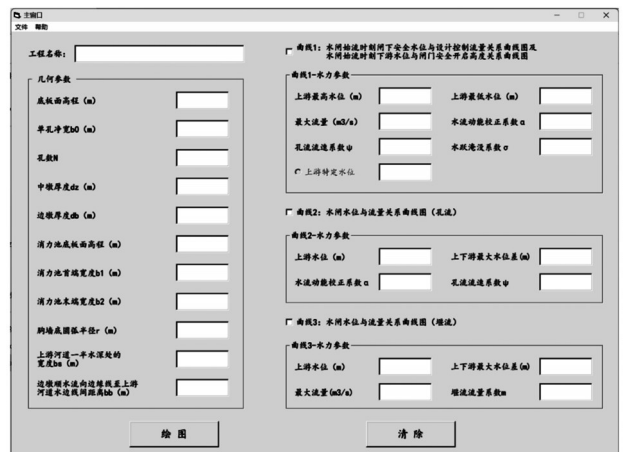


图4 软件主界面

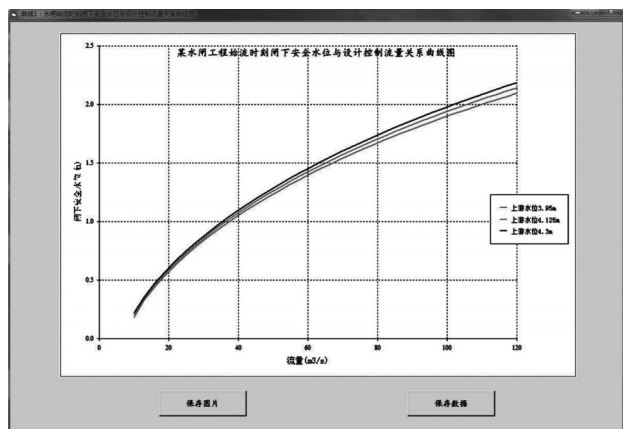


图5 软件二级窗口界面

闸门及卷扬式启闭机, 闸底板面高程为 -0.12 m, 边墩及中墩厚度分别为 1.3 m 和 1.2 m, 消力池首末端宽度分别为 25.2 m 和 29.4 m, 消力池面高程为 -0.62 m, 长度为 15 m。工程平面布置及剖面图如图6、图7所示, 工程特征水位如表2所示, 工程设计最大流量为 $120 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

4.2 软件曲线成果输出及运用

将工程参数输入软件中, 将自动生成一系列工程安全始流曲线, 如图8~图13所示。

图8为始流时刻闸下安全水位与设计控制流量关系曲线图, 图9为孔流状态下水闸水位与流量关系曲线图。图8曲线提供上游最高水位、最低水位、平均水位与下游水位组合下可引水的最大安全流

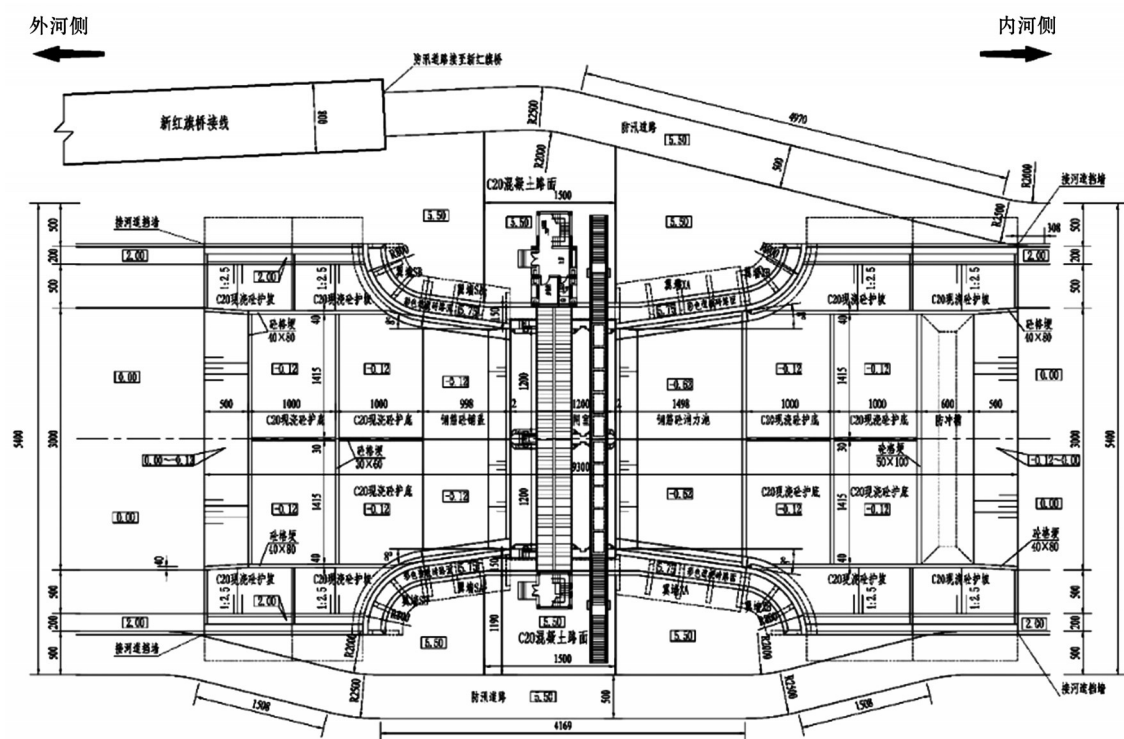


图 6 工程平面示意图(单位:mm)

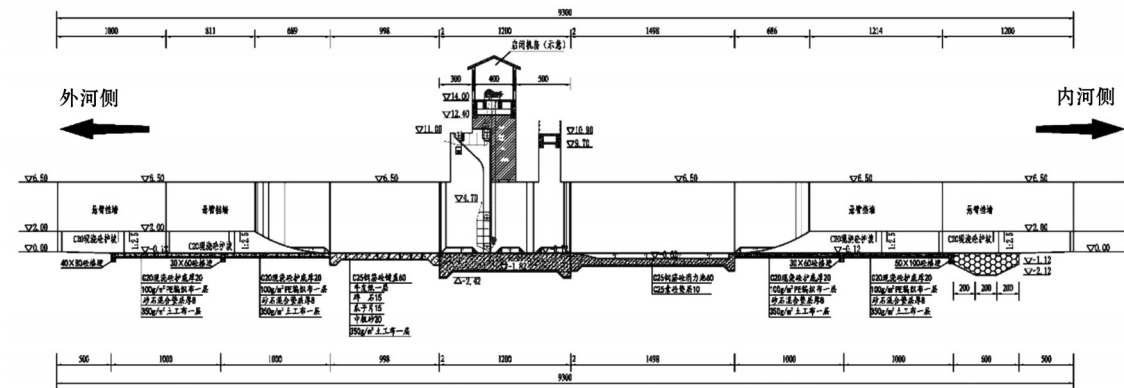


图 7 工程纵剖视图(单位:mm)

表 2 工程特征水位		
工程水位		特征值/m
外河侧	50年一遇设计洪水位	5.05
	引水校核水位	4.30
	引水设计水位	3.95
内河侧	常水位	3.50
	控制低水位	3.00

量,若安全流量小于指令流量,水闸管理人员需分级开启闸门。根据图9曲线查询当前上、下游水位组合条件下,引水安全流量对应的闸门开启高度,并将闸门提升至相应高度,随着下游水位的上升,根据曲线分级开启闸门^[6]。

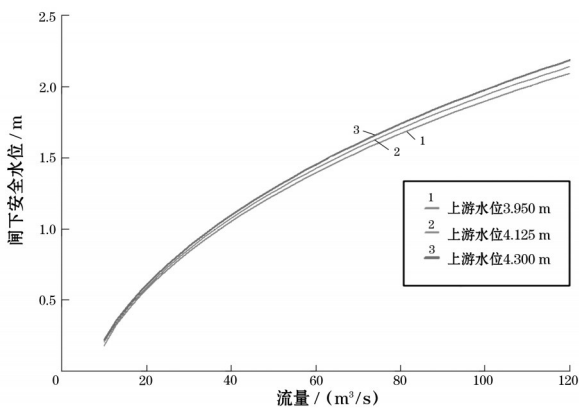


图 8 始流时刻闸下安全水位与设计控制流量关系曲线

为精确查询不同上、下游水位组合下的引水最大安全流量,软件提供特定上游水位下始流时刻闸下

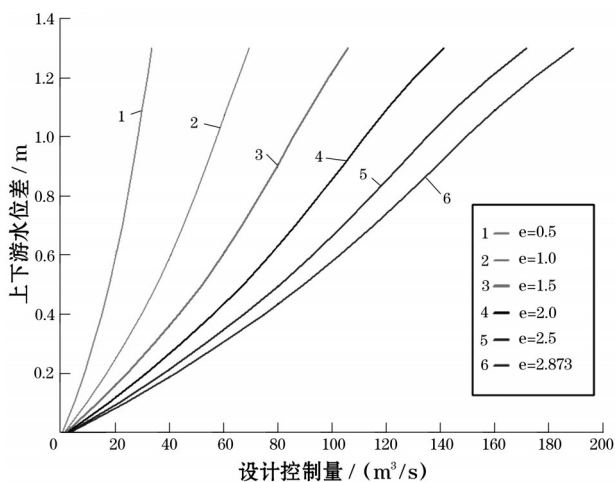


图9 孔流状态下水闸水位与流量关系曲线

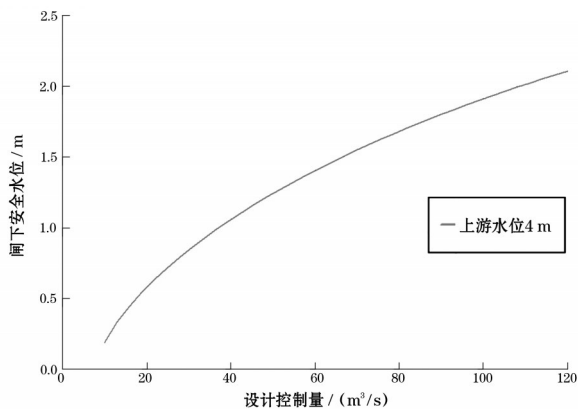


图10 特定上游水位始流时刻闸下安全水位与设计控制流量关系

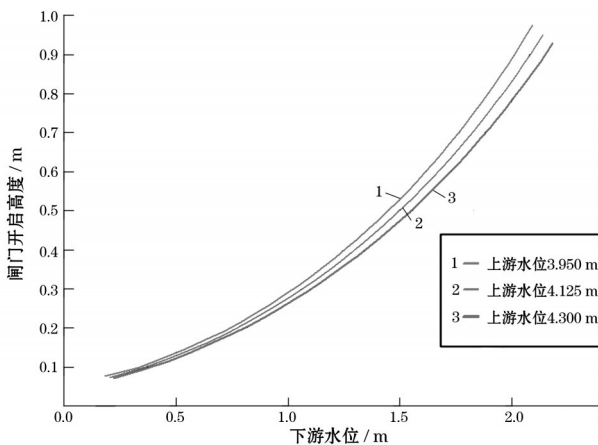


图11 始流时刻闸下安全水位与闸门安全开启高度关系曲线

安全水位与设计控制流量关系曲线图,如图10所示。

可进一步综合图8、图9中“闸门开度-水位-流量关系曲线”,绘制“上游水位-下游水位-允许最大闸门开启高度曲线”,如图11、图12所示。水闸管理人员可根据上、下游水位直接查询闸门最大开启高度,对于控制闸门开启更具直观性。

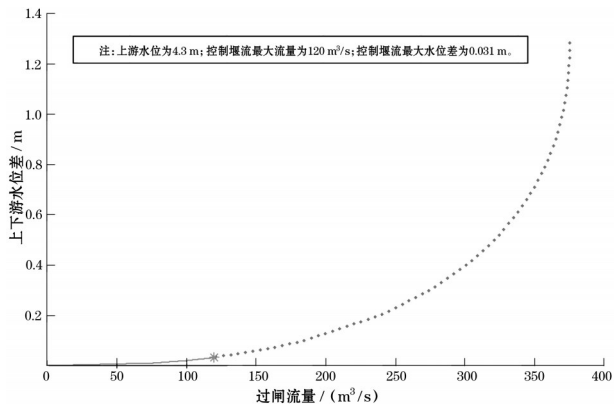


图12 特定上游水位始流时刻闸下安全水位与闸门安全开启高度关系

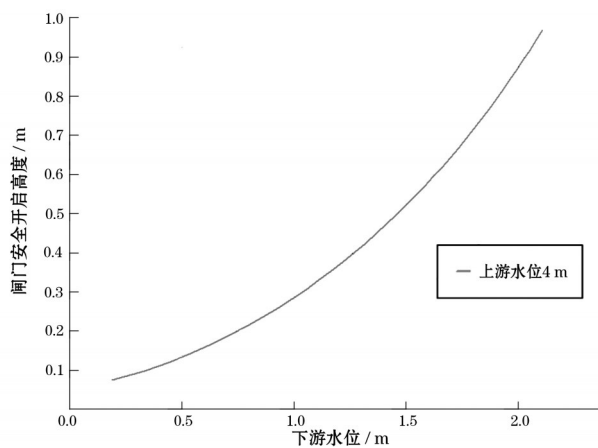


图13 堰流状态下水闸水位与流量关系曲线

图13为堰流状态下水闸水位与流量关系曲线图,此时,水闸引水流量已不受闸门开启高度影响。过闸水流为淹没出流,对水闸消能防冲无安全影响,曲线仅表达不同上、下游水位组合下堰流计算流量,供水闸管理人员参考。曲线的使用流程如图14所示。

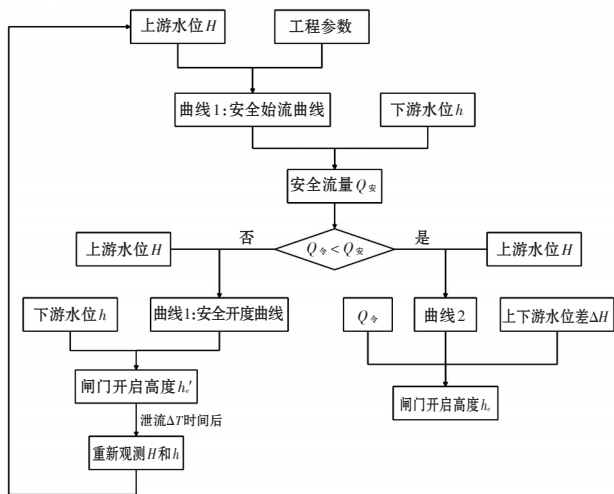


图14 曲线使用流程

5 结 语

利用 Visual Basic 可视化界面编程开发水闸安全始流曲线计算绘制软件,在输入水闸几何参数和水位参数后,可实时绘制安全始流曲线,方便高效,对于指导水闸闸门开启和安全泄流具有重要意义。鉴于本文根据《水闸设计规范》理论公式计算绘制安全始流曲线,水闸运行管理单位可结合实际运行采集的上下游水位、流量、闸门开度等数据予以修正,以便更精准地指导水闸运行管理。

参考文献:

[1] 吴月,杨亮,王泽,等. 水工消能设施消能率的理论分析

及计算方法[J]. 水电能源科学,2021(4):40-43.

[2] 吴玉江. 浅析高良涧不良流态下安全始流曲线确定[J]. 江苏水利,2012(6):36-37.

[3] 李炜. 水力计算手册[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.

[4] 奚斌,王贺,陈倩倩,等. 汇流口水闸进水流态试验研究[J]. 扬州大学学报(自然科学版),2022,25(3):57-60

[5] 朱要亮,宋力锋. 基于VB计算的倒角梁截面转换等应力法[J]. 湖南理工学院学报(自然科学版),2015,28(1):1-3.

[6] 王晓升,陈毓陵,孙靖康. 分水闸站枢纽分水池流态改善措施研究[J]. 灌溉排水学报,2018,37(12):107-113.

(上接第51页)

持续赋能各行各业,不断催生各种新场景、新模式、新应用,改变人们的生产生活方式,推进社会高质量发展。智能运管系统的建立助力邵仙套闸成功应对发展中所面临的各种挑战,也为后续发展奠定了良好基础。

一方面,随着智能手机、移动通信网更新换代,移动应用形态也在发生转变,手机APP将往小程序“轻应用”方向演化,更加方便船员安装使用。另一方面,随着系统深化应用,信息资源不断积累,在数据挖掘分析、智能预测调度、安全监测预警、全自动化运行和内部考核管理等工作中都将能够发挥更大作用。与此同时,智能运管系统的研究实践为水利枢纽工程数字化、智能化发展提供了有益探索,

后续工作中可加大信息化建设力度,进一步提升行业数字化服务水平。

参考文献:

[1] 范子星,张峰. 船闸ETC管理系统可行性研究[J]. 上海水务,2014(9):69-71.

[2] 李曼. 引用ETC技术完善水利船闸自动收费控制系统的探索[J]. 江苏水利,2015(1):38-40.

[3] 李向前,董海英. 水上ETC服务智能航运系统总体架构的研究与应用[J]. 中国管理信息化,2018(21):69-71.

[4] 王莹,马金标. 基于计算机视觉的水上ETC船舶不上岸登记核查系统研究[J]. 计算机产品与流通,2020(6):142.

[5] 黄征宇. 水上ETC“驶来”[J]. 中国信息化,2013(23):56-57.