

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2010.06.001

春季河道武开河与文开河的判别准则初探

茅泽育 高 亮 马 壮 赵雪峰

(清华大学水利水电工程系 北京 100084)

摘要 根据春季河道武开河初始发生时的边界约束条件 提出以开河期水位增值作为河道开河方式的判别准则。对于某一特定河段 存在一个高于稳封期最高水位的水位增长值 该值可作为区别武开河与文开河的临界值 其大小近似与稳封期冰盖体最大厚度成正比。应用黄河昭君坟水文站原型观测资料对所提出的判别准则中的参数进行率定 使该准则可以用于河道武开河或文开河的判别。

关键词 开河 武开河 文开河 冰盖断裂 判别准则

中图分类号 :TV875 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2010)06-0001-03

Discrimination criterion for violent break-up and tranquil break-up of rivers in spring / MAO Ze-yu , GAO Liang , MA Zhuang , ZHAO Xue-feng (*Department of Hydraulic Engineering , Tsinghua University , Beijing 100084 , China*)

Abstract : According to the boundary constraint conditions for the onset of violent break-up of rivers in spring , a discrimination criterion for break-up modes of rivers was proposed based on the water-stage increment during the break-up period . For a special river reach , there would be a water-stage increment larger than the highest water stage during the freeze-up period . It was approximately directly proportional to the largest thickness of the ice cover during the freeze-up period and it could be regarded as the critical value for discriminating violent break-up and tranquil break-up of rivers . The parameters for the proposed discrimination criterion were calibrated by use of the observed data at Zhaojunfen hydrological station on Yellow River so as to make it applicable in the discrimination of the violent break-up and the tranquil break-up of rivers .

Key words : break-up ; violent break-up ; tranquil break-up ; ice-cover fracture ; discrimination criterion

春季河道开河对河流防凌防汛工作至关重要 , 不同的开河方式对是否形成冰坝影响较大^[1-2]。开河受许多因素影响 , 其中主要包括气温条件、水力条件以及河道地貌特征等。根据各种因素所起作用的不同 , 开河方式分文开河、武开河、半文半武开河等 3 种。文开河(也称热力开河)一般是在流量变化较小的条件下发生。随着太阳辐射的增加 , 气温及水温回升 , 冰盖吸收热量 , 强度降低 , 最终就地消融。因此 , 文开河是良性开河 , 通常不会造成危害。

相反 , 武开河是由水力作用导致开河。在气候仍维持寒冷的条件下 , 由于河道水力要素(流量或水位)剧烈变化出现冰盖断裂 , 最终导致武开河 , 此时热力作用促使冰盖厚度和强度减小的幅度很小。破裂后形成的冰块往往尺寸较大、强度较高 , 在向下游输移过程中容易卡堵堆积 , 形成大型且持久的冰坝 , 造成严重冰害。半文半武开河介于文开河与武开河之间。由于武开河和半文半武开河都发生冰盖机械破裂及输移 , 一般将二者统称为机械开河。

一般而言 , 河道武开河可分为 4 个阶段 : ①初始开河(河段上冰盖出现断裂且发生初始运动) ; ②冰块输运 ; ③冰坝形成及演变 ; ④冰坝体释放(溃决)及冰清。准确预测开河方式可为冰害防治提供应急时间 , 对于预报和防治开河期冰凌洪灾具有重要意义。笔者根据冰盖断裂及运动机理 , 探索性地提出了河道文开河与武开河的判别准则。

1 河道初始开河

如图 1 所示 , 文献[3]基于冰盖纵向及横向冰缝的形成机理 , 考虑河道边界对冰块运动的制约影响 , 提出了以下判别河道武开河初始发生的边界约束条件 :

$$W_B - W_i \geq \frac{\beta' \xi \sigma_{i0} h_{i0}}{8 R_m \tau} \tag{1}$$

其中

$$\xi = \frac{\sigma_i h_i}{\sigma_{i0} h_{i0}}$$

$$\tau = \tau_i + s_i \rho g h_i S_0$$

基金项目 国家自然科学基金(50579030)

作者简介 茅泽育(1962—)男 , 浙江绍兴人 , 教授 , 从事水力学及河流动力学研究。E-mail :maozeyu@tsinghua.edu.cn

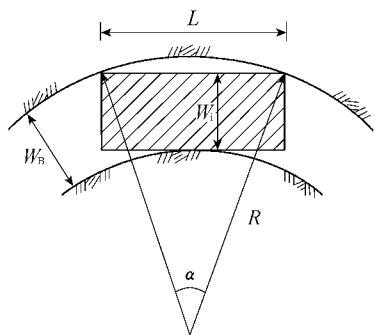


图1 岸壁边界约束示意图

$$s_i = \frac{\rho_i}{\rho}$$

式中: W_B 为初始开河时刻的水面宽度; W_i 为冰盖体宽度; β' 为无量纲系数, 变化范围为 $0 \sim 1.5$; ξ 为冰盖强度比值; h_{i0} 和 σ_{i0} 分别为稳封期(冰盖体尚未发生热力消融时)冰盖体最大厚度和最大抗弯强度; R_m 为河道无量纲曲率半径, 反映了河道平面几何形状的影响; τ 为作用于冰盖体的全部切应力; h_i 和 σ_i 分别为临近开河或开河前夕的冰盖体厚度和抗弯强度; τ_i 为作用于冰盖底部的水流切应力; s_i 为冰的相对密度, $s_i \approx 0.92$; ρ 为水的密度; S_0 为河道底坡; ρ_i 为冰的密度。

式(1)综合考虑了水力条件、热力条件以及河道地貌特征等对开河的影响, 因而为较全面地考虑各种影响因素的武开河判别准则。

式(1)中的参数 ξ 反映的是热力消融对冰盖厚度减小及强度降低的影响。由于影响因素众多, 至今仍没有准确的理论解析式表示其变化规律。但是这些影响可近似通过某一热力指数如累计热融度日(accumulated thawing degree-days)来表示^[4]。

本文采用以 -5°C 为基准的日平均气温差累计值 $\sum t$ (即累计热融度日)作为反映热力条件作用的指数。显然 $\sum t > 0$ 。图2为由黄河河曲段发生武开河事件时的实测资料得到的 $\beta'\sigma_{i0}\xi$ 与 $\sum t$ 的关系曲线^[3]。通过曲线拟合得到以下经验公式:

$$\beta'\sigma_{i0}\xi = 61.024e^{-0.0051\sum t} \quad (2)$$

由式(2)可见, 当 $\sum t = 0$ 时(即冰盖体尚未发生热力消融), $h_i = h_{i0}$ 且 $\sigma_i = \sigma_{i0}$, 所以此时 $\xi = 1$, 代

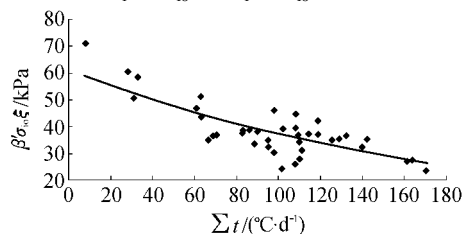


图2 $\beta'\sigma_{i0}\xi$ 与 $\sum t$ 的关系曲线

入式(2)得 $\beta'\sigma_{i0} = 61.024 \text{ MPa}$, 由此得到

$$\xi = e^{-0.0051\sum t} \quad (3)$$

由式(3)可以看出, 随着累计热融度日的增加, ξ 值不断减小, 即冰盖体厚度和抗弯强度不断减小, 从而体现了气温回升导致冰盖体热力消融的效应。

2 开河方式判别准则

从图2可见, 尽管 $\sum t$ 变化范围较大, 但没有实测数据点落在 $\beta'\sigma_{i0}\xi = 20 \text{ kPa}$ 以下, 因此, 根据上述实测资料可以推断, 当 $\beta'\sigma_{i0}\xi > 20 \text{ kPa}$ 或 $\xi > \xi_{\min} = \frac{20 \text{ kPa}}{\beta'\sigma_{i0}}$ 时, 不会发生文开河。显然, 当 $\sum t = 0$ 时,

$h_i = h_{i0}$, $\sigma_i = \sigma_{i0}$, $\xi = 1$, 代入式(2)得 $\beta'\sigma_{i0} = 61.024 \text{ kPa}$,

因而 $\xi_{\min} = \frac{20 \text{ kPa}}{61.024 \text{ kPa}} = 0.323$ 。代入式(1)得

$$W_B - W_i \geq \frac{\beta'\xi_{\min}\sigma_{i0}h_{i0}}{8R_m\tau} \quad (4)$$

式(4)表明, 对于给定河段, 发生武开河时的河道余隙宽度 $W_B - W_i$ 与稳封期冰盖体最大厚度 h_{i0} 成正比。

实际工程中, 河道水位比河宽容易量测得到。假设河道断面形状为梯形, 如图3所示, 平均边坡系数为 m , 则有

$$\begin{cases} W_B = W_0 + \frac{2H_B}{m} \\ W_F = W_0 + \frac{2H_F}{m} \\ W_i = W_F - 2L_s \end{cases} \quad (5)$$

式中: W_F 为冬季稳封期河宽; H_F 为稳封期水位; W_0 为河道底宽; H_B 为初始开河时刻水位; L_s 为纵向冰缝到邻近岸壁的距离, $L_s = 18.447h_{i0}^{0.75[5]}$ 。

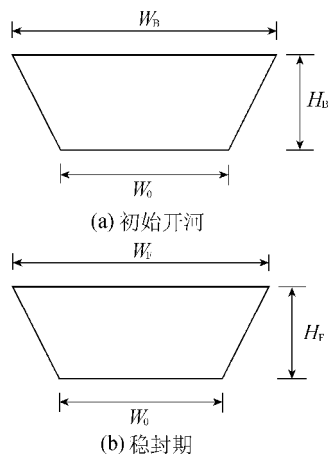


图3 河道梯形断面示意图

由式(5)可得

$$W_B - W_i = \frac{\alpha(H_B - H_F)}{m} + 2L_s \quad (6)$$

可以看出, 河道余隙宽度 $W_B - W_i$ 与水位增值 $H_B -$

H_F 成正比。这一结论与许多观测资料相吻合^[6]。

由式(4)、式(6)可得

$$H_B - H_F \geq m \left(\frac{\beta' \xi_{\min} \sigma_{i0}}{16 R_m \tau} h_{i0} - 18.447 h_{i0}^{0.75} \right) \quad (7)$$

式(7)即为河道开河方式的判别准则。当开河期水位增值满足式(7)时,发生武开河;否则将发生文开河。

式(7)可改写为

$$H_B - H_F \geq m h_{i0} \left(\frac{\beta' \xi_{\min} \sigma_{i0}}{16 R_m \tau} - 18.447 h_{i0}^{-0.25} \right) \quad (8)$$

一般来说,河道无量纲曲率半径 R_m 年际变化不很大。对于同一河段,常可假定 h_{i0} 、 σ_{i0} 年际变化也不大。因此,如果假设式(8)括号内的值与 h_{i0} 近似成正比,从而得到以下简单的判别表达式:

$$\Delta H = H_B - H_F \geq m \delta h_{i0} \quad (9)$$

其中
$$\delta = \frac{\beta' \xi_{\min} \sigma_{i0}}{16 R_m \tau} - 18.447 h_{i0}^{-0.25}$$

3 参数 δ 的确定

采用黄河昭君坟水文站的原型观测数据^[7-8]对上述判别准则进行验证。分析昭君坟水文站1962—1980年的开河观测记录资料,其中共有4年发生文开河事件。图4为 ΔH 与 h_{i0} 的关系曲线。可以看出,文开河与武开河2组实测数据都明显地被直线

$$\Delta H = H_B - H_F = 1.04 h_{i0} \quad (10)$$

所分隔,即当 $\Delta H > 1.04 h_{i0}$ 时,发生武开河;当 $\Delta H < 1.04 h_{i0}$ 时,发生文开河。

将式(9)与式(10)相比较,得到式(9)中的参数 $m\delta = 1.04$,即 $\delta = 1.04/m$ 。这样就确定了 δ 值,同时也证实了上述假设,即开河期河道水位增值与稳封期冰盖体厚度呈线性关系。

上述分析结果表明,对于某一特定河段,存在一个高于稳封期最高水位的水位增长值 $\Delta H = H_B - H_F$,该值可作为区别武开河与文开河的临界值,其大小近似与稳封期冰盖体最大厚度 h_{i0} 成正比。

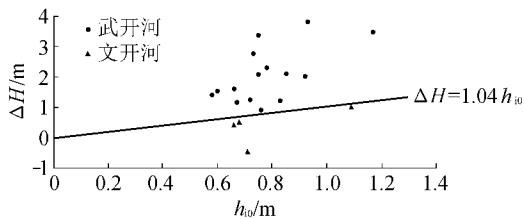


图4 ΔH 与 h_{i0} 的关系曲线

4 结论

根据冰盖体断裂及消融机理,提出了河道开河

方式判别准则。研究结果表明,高于稳封期水位的水位增长值可作为区别武开河与文开河的临界值,其大小近似与稳封期冰盖体最大厚度成正比。文开河一般应满足2个条件:①开河期最高水位与稳封期冰下最大水位差值较小;②开河初期累计热融度日较大,表明冰盖体发生热力消融时间较长,这样冰盖体厚度及强度较小。今后有必要采用更多观测资料对上述判别方法的适用性进行进一步验证,并确定不同河段 $m\delta$ 的变化范围。

参考文献:

- [1] 茅泽育,赵雪峰,王爱民,等.武开河的边壁阻力判别准则[J].冰川冻土,2008,30(3):508-513.
- [2] 茅泽育,许昕,王爱民,等.开河期冰坝预测方法研究进展[J].水利水电科技进展,2007,27(3):76-80.
- [3] 茅泽育,赵雪峰,胡应均,等.武开河的边界约束判别准则[J].水利水电科技进展,2009,29(4):1-4.
- [4] BELTAOS S. Threshold between mechanical and thermal breakup of river ice cover[J]. Cold Regions Science and Technology, 2006, 40: 183-196.
- [5] 茅泽育,赵雪峰,王爱民,等.开河期冰盖纵向冰缝形成机理[J].水科学进展,2009,20(3):434-437.
- [6] ASHTON G D. River and lake engineering[M]. Littleton, Colorado: Water Resources Publications, 1986.
- [7] 赵雪峰.开河期冰盖体断裂机理及开河判别准则研究[D].北京:清华大学,2008.
- [8] 山西省河曲县防汛抗旱指挥部.黄河河曲冰塞观测资料汇编[R].河曲:山西省河曲县防汛抗旱指挥部,1993.

(收稿日期:2010-06-08 编辑:骆超)

·简讯·

河海大学成立水文化研究所

河海大学于2010年11月8日正式成立了水文化研究所。河海大学水文化研究所的主要任务是:积极开展水文化研究,提高水文化宣传和教育工作水平,加强与水利系统在水文化领域的合作交流,承担水利部相关研究课题,组织广大师生及业余爱好者开展与水文化有关的社会实践活动和课外活动,进一步扩大水文化的影响力。

近年来,河海大学积极开展水文化的研究、宣传和教育工作,形成了一支水文化研究骨干队伍,开设了水文化选修课,编辑出版了《水文化教育系列丛书》,举办了江苏省大学生水文化创意设计大赛,在校内外产生了较大的影响。

(本刊编辑部供稿)