

平板闸门小开度时侧收缩引起的水流现象试验研究

王海军¹, 陈海滨¹, 余佩义²

(1. 昆明理工大学 电力工程学院, 云南 昆明 650051; 2. 中国水利水电第十四工程局, 云南 昆明 650041)

摘要: 平板闸门小开度运行时, 闸后水流侧收缩现象比较明显. 侧收缩作用影响闸后水流流态, 降低泄水建筑物的过流能力, 因此需要采取一定的工程措施来改善过流条件, 减少侧收缩作用. 通过试验分析研究了闸后水舌的流态变化规律及其对泄水建筑物的影响; 采用涡流理论分析研究闸后水舌侧收缩角的计算方法; 根据侧收缩角计算出闸门槽的最优错距, 从而改善闸孔出流的水流条件.

关键词: 平板闸门; 水力计算

中图分类号: TV131.61 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2007)01-0028-03

Experimental Study on the Side Shrinkage Phenomena of Flat Gate on the Condition of Small Opening

WANG Hai-jun¹, CHEN Hai-bin¹, YU Pei-yi²

(1. Faculty of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China;
2. Sinohydro Engineering Bureau Fourteen, Kunming 650041, China)

Abstract: The side shrinkage phenomena of flat gate is obvious on the condition of small opening. The side shrinkage action affects the flow pattern and reduces the overflowing capacity, so it needs some engineering methods to improve the overflowing condition. Based on the experiment, the flow variation and impact on release works is studied. The vortex theory is adopted to study the side shrinkage angle and optimum step of the bulkhead gate to improve the overflowing condition.

Key words: bulkhead gate; hydraulic calculation

0 引言

水流受到泄水建筑物边界条件的影响, 发生侧收缩的现象, 从而改变了水流的出流流态, 减少了有效的过水面积, 增加了局部的水头损失, 影响到建筑物的过流能力, 这种影响常以侧收缩系数来反映. 关于侧收缩系数的研究并不多, 主要是针对闸墩引起的侧收缩现象进行试验研究, 由于影响侧收缩系数的因素很多, 大多数的研究成果是经验公式^[1]. 在研究泄水建筑物过流能力时可以将其纳入流量系数中, 不需单独进行计算^[2], 但是若要研究水流流态时, 对侧收缩系数的研究就十分重要.

高水头平板闸门水力特性比较复杂^[3], 侧收缩现象就是其中的一种. 水流受到闸门出口边界条件的影响而产生侧收缩现象, 在闸门大开度时此现象并不明

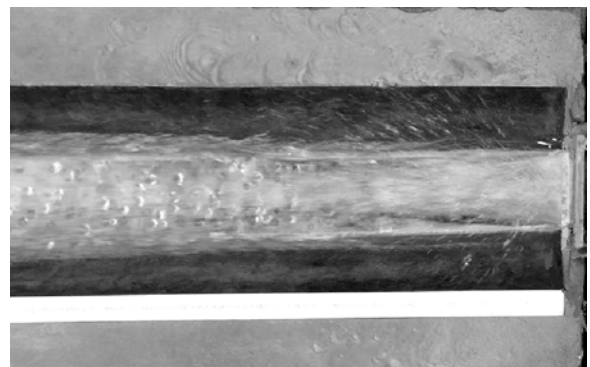


图1 高水头小开度闸孔自由出流闸后水流流态图
Fig.1 Picture of the free discharge flow pattern on the condition of high head and small opening

收稿日期: 2006-06-09. 基金项目: 云南省自然科学基金(项目编号: 2003E0024R).

第一作者简介: 王海军(1961~), 男, 硕士, 副教授. 主要研究方向: 工程水力学. E-mail: kungongshuili@yahoo.com

显,小开度时该现象就很明显了,如图 1 所示(该图为高水头闸室闸门水流特性研究的真实相片).基于模型试验研究,对平板闸门小开度时闸后水舌形态进行分析;基于涡流理论,对平板闸门小开度时闸后水舌侧收缩角进行了研究;提出了改善平板闸门闸后流态的工程措施,并确定闸门槽的最优错距比.

1 侧收缩作用对闸后水流流态的影响

由于侧收缩的影响,使得闸后水舌流态变得极其复杂.水流经过闸孔后,形成了周围环境为大气的一种复杂的附壁射流,如图 2 所示.

从平面图看,水流受到闸门槽的影响作横向收缩运动,流线与中线的夹角为侧收缩角 θ .由于水流运动速度大,惯性作用很强,在平面上看横向收缩角基本上保持不变,同时由于这种横向收缩导致水舌横断面上水流两侧的高度大于中间的高度.水流收缩到最大收缩处后,受到自身的紊动扩散作用、重力作用和空气阻力作用而向两侧扩散.由于侧收缩角 θ 的存在,使得闸门的过流能力降低,因此,需要对其进行深入研究.

从立面图看,水流受到闸门底缘的影响在立面上产生了垂直收缩运动,当水流达到了垂直的最大收缩处后,在立面上将产生扩散运动.在深孔闸门小开度运行时,水流受到横向收缩作用的影响,加大了沿射程的水深,如果没有考虑到侧收缩的作用,甚至会造成“冲顶”现象.因此,在深孔闸门运行中,我们要避免闸门处于小开度的状态,不断改善闸孔出流的条件,防止闸门振动和水舌冲顶,以免建筑物遭到破坏.

综合平面和立面上的影响因素,从试验观测来看,闸后水舌从 1-1 断面至 6-6 断面形态变化如图 3 所示.

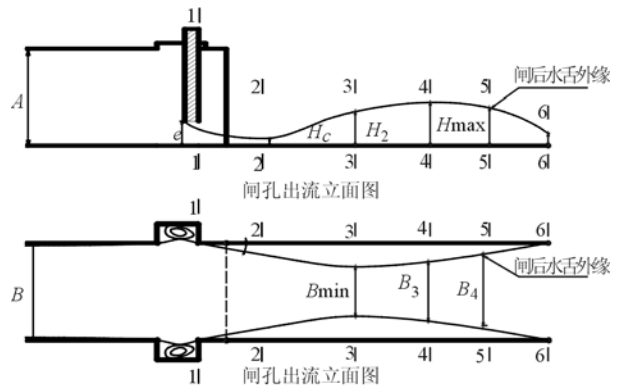


图2 闸孔自由出流立面与平面示意图
Fig.2 Vertical and flat sketch map of the flow pattern of the free discharge

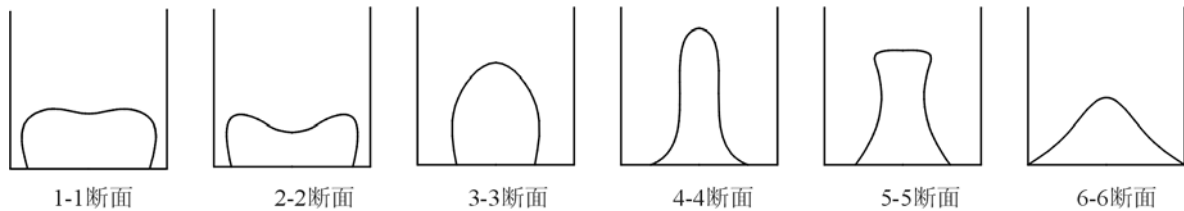


图3 闸后水舌典型断面变化示意图
Fig.3 Sketch map of the type cross-section of the nappe

其实,在水舌沿程演变的过程中,任一断面的水舌形态与闸门板前水头、闸门开度及闸门槽宽深比有关.在上游水位较高、闸门开度较小的情况下,水舌在闸门板出口两侧处上缘挑得较高,水舌紊动剧烈,掺气较充分.

2 闸后水舌横向收缩角的分析研究

2.1 闸门槽内旋涡形成的原因

高水头小开度闸孔自由出流时,水流受到闸门槽的影响,流线发生改变,出闸后从两边向中心收缩,同时闸门槽内的水流作旋涡运动,如图 4 所示.

当闸门开启时,水流经闸门槽口处高速运动,对闸门槽内静止的水产生剪切作用,在此作用下,使得闸门槽内的水作旋涡运动^[4].当闸孔出流为恒定流时,形成稳

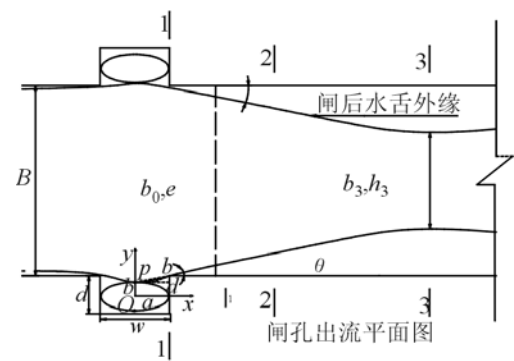


图4 闸孔自由出流平面示意图
Fig.4 Flat sketch map of the free discharge

定旋涡.

2.2 横向收缩角的求解

根据力的相互作用原理,闸门槽内作旋涡运动的水流同样对下泄水流做功.使得主流在闸门槽出口处也形成一定的涡动.局部放大闸门槽内的水流流态,如图5所示.

作2项假定:假定1,闸门槽内的旋涡近似呈椭圆形,其旋涡中心 O 点在闸门槽的几何形心上.旋涡的长、短半轴的长度分别为 a, b ;假定2,涡线 \hat{P} 近似为圆弧线,过 P 点处的切割角 $\angle BPD$ 为 θ_1 ,流线经过闸门槽下沿后的出射角为 θ ,该角即为侧收缩角.

由几何关系可得:

$$\theta = 2\theta_1 = 2\arctan \frac{|2BD|}{w} \quad (1)$$

其中, d 为闸门槽深度 w 为闸门槽宽度, $|BD| = \frac{d-2b}{2}$.

由(1)式可以求得

$$\theta = 2\arctan \frac{d-2b}{w} \quad (2)$$

由文献[5]可得旋涡的速度大小关系式:

$$V_x = mk^2 y \quad (3)$$

$$V_y = mx \quad (4)$$

其中, m, k 为参数, m 与闸门开度、闸前水头、闸门槽宽深比有关, $k = \frac{a}{b}$.由运动连续条件得:

①主流在 P 点的流速近似相等 $V_p \approx V_0$,可得: $mk^2 b = V_0$;

②旋涡的环量与主流在曲线 \hat{P} 上的环量近似相等,可得: $\frac{1}{2}\pi mk(1+k^2)b^2 = 2V_0\alpha\xi$.其中 ξ 为参数,由实测确定.

由条件①,②得

$$\xi = \frac{\pi(1+k^2)}{4k^2}, b = \frac{(4\xi-\pi)V_0}{m\pi} \quad (5)$$

根据以(5)试方程,可以求出

$$\theta = 2\arctan \frac{d-2(4\xi-\pi)V_0/m\pi}{w} \quad (6)$$

3 改善平板闸门闸后流态的工程措施

在高水头平板闸门小开度工况下,由于有闸门槽的影响闸后水流流线向主流中轴线弯曲,产生横向收缩,使得水流与固体边界脱离,导致闸门槽受到空蚀破坏.改善闸门槽的体形能消除或减弱这种不利的影响.由于门槽附近的水力学现象实际属于紊动分离流,是一种有边界约束的高速水流扩散问题^[6],如图6所示.水流流线经门槽在上游角隅开始扩散后形成一自由剪力层,当流至门槽下游角隅时形成一扩散宽度增量 Δ' .如果门槽错距 $\Delta < \Delta'$,那么扩散水流就要冲击门槽下壁. $\Delta > \Delta'$,扩散水流就直冲斜坡. $\Delta = \Delta'$,则水流以最优的流态下泄.由此可见,门槽宽度一定时,错距 Δ 的大小直接影响槽内的流态.

(下转第35页)

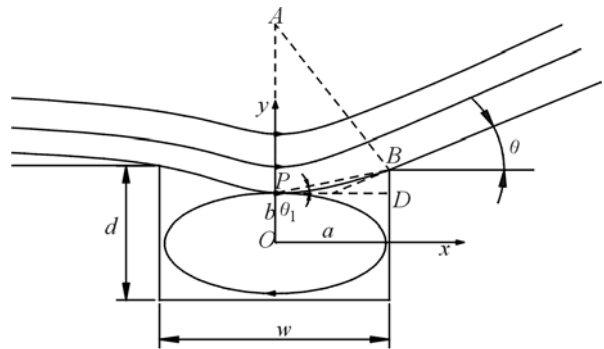


图5 闸门槽内流态示意图
Fig.5 Sketch map of the flow pattern in the strobe groove

参考文献:

- [1] 王锡凡. 电力系统优化规划[M]. 北京:水利电力出版社,1990.
 [2] 林娇燕. 运用遗传算法的输电网规划[J]. 华南理工大学学报,2002,30(8):36-39.
 [3] 王秀丽,王锡凡. 遗传算法在输电系统规划中的应用[J]. 西安交通大学学报,1995,29(8):1-9.
 [4] 岑文辉,赵庆. 遗传算法在电网规划中的应用[J]. 电力系统自动化学报,1995,7(2):1-9.
 [5] 周明,孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京:国防工业出版社,1999.

(上接第30页)

依据几何关系,可以根据侧收缩角和闸门槽宽度来计算.

$$\Delta' = \frac{w}{2} \times \tan\theta \quad (7)$$

其中 w 为闸门槽宽度, θ 为侧收缩角.

从一些试验结果表明,当时 $\Delta/W < (0.1 \sim 0.15)$, 扩散水流会冲击门槽下壁, 如图6(a)所示. 在闸门槽下缘水流流线会向中间突然弯曲, 产生横向收缩现象, 影响闸后流态. 当 $\Delta/W > (0.1 \sim 0.15)$ 时, 扩散水流冲击斜坡, 如图6(b)所示. 在闸门槽下缘处水流流线不会发生突然弯曲, 与前面的流线基本能保持直线, 因此闸后水流的横向收缩能明显减少, 对于改善闸后抛射的水舌流态有很好的作用.

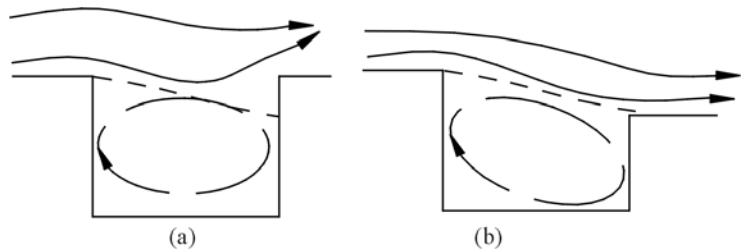


图6 闸门槽有无 Δ 的流态对比较
 Fig.6 Comparison between the strobe grooves with of without Δ

4 结论

本论文在试验的基础上,分析研究了平板闸门小开度时由侧收缩引起的闸后水流流态的变化规律,得出了水舌沿水流方向各断面的变化情况.采用涡流理论求解出了侧收缩角的计算方法,其计算公式为:

$\theta = 2 \arctan \frac{d - 2(4\xi - \pi)V_0/m\pi}{w}$, 并在此基础上,根据几何关系,计算出闸门槽最优错距 $\Delta = \frac{w}{2} \times \tan\theta$, 为水利水电工程中闸门槽的设计提供参考.

参考文献:

- [1] 武汉水利电力学院水力学教研室编. 水力计算手册[M]. 北京:水利电力出版社,1980.
 [2] 肖兴斌. 高水头平板闸门水力特性研究[J]. 中南水力发电, 2002(3):45-50.
 [3] 杜屿,戴荣法. 闸孔流量系数综合分析[J]. 水文,1997(5):38-44.
 [4] 倪汉根,陈霞. 凹槽中的旋涡及初生空化数的估算[J]. 水利学报, 2000(2):16-20.
 [5] 倪汉根,陈霞. 平面旋涡(中心型奇点)水力特性的探讨[J]. 水利学报, 1998(11):50-56.
 [6] 张云,杨永全. 平面闸槽区涡流场的数值模拟[J]. 水利学报,1994(9):47-53.