

•水利与土木工程•

DOI:10.15961/j.jsuese.201600508

翻板闸流量系数变化特性试验研究

杨磊¹, 彭涛², 郑路¹, 王协康^{3*}

(1. 四川大学-香港理工大学 灾后重建与管理学院, 四川 成都 610065; 2. 国电大渡河公司 库坝管理中心, 四川 乐山 614900;
3. 四川大学 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室 水利水电学院, 四川 成都 610065)

摘要:翻板闸开启后, 门上门下两层泄流, 为堰、孔混合流, 复杂的流态给工程的水力设计带来了难度, 现有研究均是以求得综合流量系数为目标。为分开讨论在堰、孔独立出流时的相互影响, 通过开展模型试验, 基于翻板闸最大开度工况下的过流特性, 研究来流量大小和下游水深对翻板闸过流能力的影响。试验来流量分别为0.06、0.08、0.10、0.12 m³/s, 下游水深分别为0.50、0.55、0.60、0.65 m的工况组合, 共16种工况进行试验。试验结果表明下游水深一定时, 流量系数与来流量呈正相关关系; 来流量一定时, 流量系数与下游水深呈负相关关系。该研究成果基于大开度工况, 可进一步研究其他工况的流量系数。

关键词:翻板闸; 堰流; 闸孔出流; 流量系数

中图分类号: TV66

文献标志码: A

文章编号: 2096-3246(2017)03-0054-06

Experimental Study on Characteristics of Discharge Coefficient of Hydraulic Flap Gate

YANG Lei¹, PENG Tao², ZHENG Lu¹, WANG Xiekang^{3*}

(1. Inst. for Disaster Management and Reconstruction, Sichuan Univ.-Hong Kong Polytechnic Univ., Chengdu 610065, China;

2. Reservoir & Dam Management Center Guodian Dadu River Co. Ltd., Leshan 614900, China;

3. State Key Lab. of Hydraulics and Mountain River Eng., College of Water Resource & Hydropower, Sichuan Univ., Chengdu 610065, China)

Abstract: The discharge consists of both weir flow and orifice flow after opening a flap gate, which brings difficulty to hydraulic engineering design. The previous research was mainly aimed at determining the comprehensive discharge coefficient. To discuss the mutual influence of the weir flow and the orifice flow when they function separately, the physical model experiments were conducted to investigate the influence of the flow and the level of the tail water onto the flow passage ability through the flap gate, under the condition of the maximum opening of the gate. The tests involved the combinations of the flow rates of 0.06, 0.08, 0.10, and 0.12 m³/s and the levels of the tail water of 0.50, 0.55, 0.60 and 0.65 m, a total of sixteen testing conditions. The results showed that when the level of tail water was constant, the discharge coefficient and flow rate were positively correlated; when the flow rate was constant, the discharge coefficient and the level of downstream water were negatively correlated. While these findings were based on the maximum opening of the flap gate in this study, more experiments will be carried out to study the discharge coefficients under other conditions.

Key words: hydraulic flap gate; weir flow; gate outlet flow; discharge coefficient

翻板闸凭借其结构简单、造价低廉、景观效果佳、便于管理、运行维护费用少等特点, 在城市园林景观、旅游、环保等综合工程中得到广泛的应用^[1]。翻板闸门开启后, 门上门下两层泄流, 为堰、孔混合流。目前翻板闸泄流能力计算主要有两种方法, 一种是将闸孔出流和门顶堰流分别算出, 然后相加得出过闸流量; 另一种方法是将翻板闸视作河道中的障

碍物, 把堰孔混合流当作堰流处理, 通过模型试验确定综合流量系数。在泄流能力计算方面, 目前多根据试验确定综合流量系数方法进行分析, 如叶镇国^[2-3]以及雷明慧^[4]等均给出了综合流量系数的经验公式。叶镇国^[2-3]通过试验研究发现, 水力自控翻板闸门堰流、孔流相互影响, 提出泄流关联理论, 并给出计算参数。雷明慧等^[4]采用概化模型试验研究翻板闸门的

收稿日期: 2016-05-19

基金项目: 四川大学“大学生创新创业训练计划”国家级资助项目(201410610074)

作者简介: 杨磊(1992—), 男, 硕士生, 研究方向: 岩土工程。

* 通信联系人 E-mail: wangxiekang@scu.edu.cn

开度对翻板闸门过流能力的影响,拟合综合流量系数。王倩^[5]把堰流当做薄壁堰与孔口出流叠加计算。于国兴等^[6]采用将堰流、孔流分别乘以差异系数后叠加计算,并拟合了差异系数值。刘晓庆等^[7]建议堰孔泄流时采用流量系数与相对开度的多项式函数关系式进行求解,在水力自控运行方式的堰流情况下,仍可采用传统的经验公式进行计算。就目前来看,所有研究均是以求得综合流量系数为目标,并未分开讨论在堰、孔独立出流同时又相互影响的情况下各自流量系数的改变。作者试验模拟翻板闸大开度工况,测定不同来流量及不同下游水深情况下闸下孔流和闸上堰流的水力学参数;在前人基础上,首次分开计算堰、孔流各自的流量系数,通过对比分析,探讨来流量及下游水深对堰流流量系数、孔流流量系数、总流量系数的影响。

1 试验模型

1.1 试验模型介绍

该研究采用概化模型试验探讨单扇水力翻板闸门运行过程中的过流特性。试验装置主要包括蓄水池、量堰、水池、试验水槽4个部分,同时还设置尾水渠,以便水的循环利用。来水量主要通过无侧收缩矩形薄壁堰控制,水流经过量堰后进入水池,水池设置两道花墙,以使水流平稳均匀地流入试验槽。试验水槽用有机玻璃制成,糙率较小,水槽长4.5 m、宽0.4 m、高1.0 m,设定坡比为0.15,试验模型如图1所示。

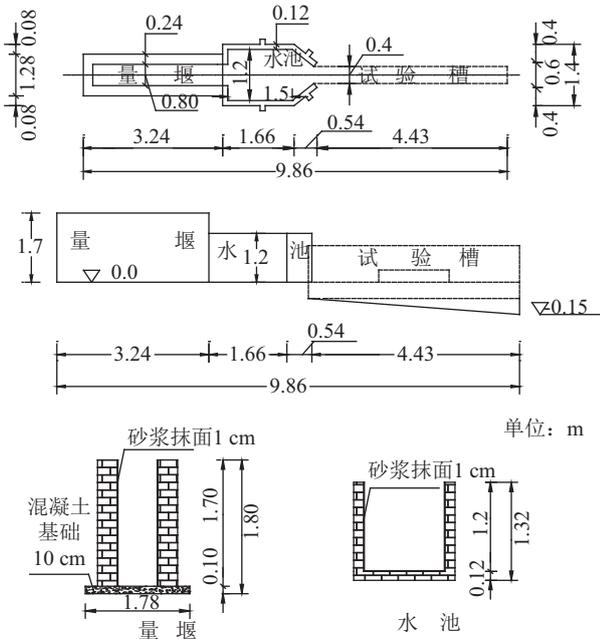


图1 试验模型结构尺寸示意图

Fig.1 Sketch of structural size of experimental model

1.2 试验设计

试验主要测量的数据包括总来流量、上下游水

深、流速等。来流量采用测针测量,通过矩形堰流公式(1)计算。上、下游水深的测量采用直接测量法,如图2所示,在典型试验段,测量断面分别设在距闸室段以上0.6 m的断面处及消力池段以下0.8 m断面处。每个测量断面读取3次数据,后取平均值作为该断面的水深。流速采用LGY-III型多功能智能流速仪测量,过水断面定义为与水流方向垂直^[11],测量断面位于闸门前端,闸门上测量流速时与水流通过闸门上流速方向一致,如图3所示。测点间距为0.05 m,通过测量闸上闸下多个流速,根据式(3),通过总流过水断面的流量等于多个微小流束的流量之和,由此可分别计算出闸上闸下流量。

$$Q = m_0 b \sqrt{2g} H_0^{3/2} \tag{1}$$

$$m_0 = 0.403 + 0.503 \frac{H}{P_1} + \frac{0.0007}{H} \tag{2}$$

$$Q = \int_Q dQ = \int_A u dA \tag{3}$$

式中: P_1 为上游堰高, P_1 取1.3 m; H 为堰顶水头; u 为 dA 面上流速。

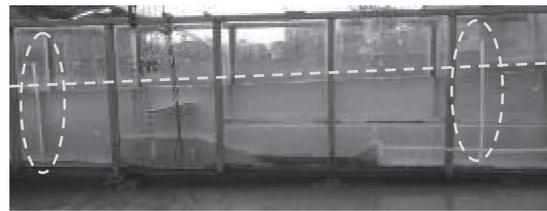


图2 上、下游水深测量位置

Fig.2 Measuring positions of upstream or downstream water depth



图3 流速测量断面位置

Fig.3 Section of flow measurement

试验工况的设计主要研究不同条件下翻板闸综合流量系数、闸上堰流和闸下孔流流量系数的变化特性。试验主要研究不同来流量和不同下游水深对流量系数的影响。

试验控制来流量分别为0.06、0.08、0.10、0.12 m³/s,同时通过调节试验槽下游闸门使每个流量对应下游

水深0.50、0.55、0.60、0.65 m 4种工况进行测量, S01~S16共16种工况组合。具体试验方案见表1。

表 1 翻板闸试验设计

Tab.1 Experimental design for hydraulic flap gate

组别	来流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	下游水深/ m	组别	来流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	下游水深/ m
S01	0.06	0.50	S09	0.10	0.50
S02	0.06	0.55	S10	0.10	0.55
S03	0.06	0.60	S11	0.10	0.60
S04	0.06	0.65	S12	0.10	0.65
S05	0.08	0.50	S13	0.12	0.50
S06	0.08	0.55	S14	0.12	0.55
S07	0.08	0.60	S15	0.12	0.60
S08	0.08	0.65	S16	0.12	0.65

2 试验现象及结果分析

试验得出,翻板闸在大开度工况下,当来流量大于某一临界流量时,出现堰孔混合流。通过测量所得流量,验证得到总来流量与闸上、闸下测得流量之和基本一致,进而计算出堰流流量系数、孔流的流量系数、总流量系数。其中堰流流量系数采用堰流基本公式(4)计算;孔流流量系数采用孔流基本公式(5)计算;总流量系数是将过流视为宽顶堰,按宽顶堰堰流基本公式(4)计算:

$$Q = mb \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (4)$$

$$Q = \mu be \sqrt{2g} H_0 \quad (5)$$

式中, m 为流量系数, b 为断面宽度, H_0 为堰顶全水头, Q 为堰流流量, μ 为闸孔流量系数, e 为闸孔开度, H_0 为闸孔全水头。

2.1 来流量的影响

从试验中发现,下游水深一定时,来流量大小对堰流、孔流混合影响较大。当下游水深一定,来流量较小时,闸后堰、孔混合流掺气现象不明显,见图4(a);来流量较大时,闸后堰、孔混合流掺气现象较明显,见图4(b)。试验测定得到:来流量越大时,测得通过闸孔的平均流速越大。经过分析,这是由于门顶水舌与下部孔流水面间存在楔形体负压空间,负压的存在使紊动的水流波及闸门,影响泄流,对闸下孔流有促进作用^[8]。同时,闸上堰流在跌落过程有向下的速度分量,对闸下孔流有顶托作用,对闸下孔流有阻碍作用。随着闸前水头的增大,过闸流量增大,门后楔形体空间内的负压对闸孔出流的促进作用加强,负压对闸孔出流的促进作用大于堰流对孔流的顶托作用,闸孔出流的流量增大^[9]。



(a) 来流量0.06 m^3/s 、下游水深0.50 m



(b) 来流量0.10 m^3/s 、下游水深0.50 m

图 4 不同来流量掺气情况

Fig.4 Aeration phenomenon under different flow

分析得出,孔流的流量系数跟上游来流量和下游水深呈一定的相关关系。当下游水深一定时,孔流流量系数与来流量呈单一的递增关系,且接近于线性关系,增长系数约为2.40。堰流的流量系数跟孔流流量系数变化相似,即与上游来流量和下游水深呈一定关系。当下游水深一定时,堰流流量系数与来流量近似呈正相关关系,且堰流流量系数明显大于孔流流量系数和总流量系数,增长系数约为4.00,增幅更大。变化特性及各工况公式拟合情况见图5。

2.2 下游水深的影响

试验发现:来流量一定时,下游水深对闸门处流态影响较大。以来流量为0.12 m^3/s 为例,当下游水深为0.50 m时,闸上闸下泄流相互影响下,闸上闸下流速都很大,水流紊动,掺气现象很强,见图6(a)。当下游水深为0.60 m时,水流平稳得多,掺气现象明显减弱,见图6(b)。

分析得出,随着下游水深的增加,闸后掺气现象减弱。当来流量一定时,孔流流量系数随下游水深的增加而递减,也近似线性关系,变化率在-0.69~-0.91之间。堰流流量系数与下游水深呈负相关关系,堰流流量系数较孔流流量系数变化大,变化率大于-2.30,变化区间较大;总流量系数与孔流的流量系数较为接近。具体变化特性及各工况公式拟合见图7。通过对比发现,堰流的超泄能力比孔流强。试验

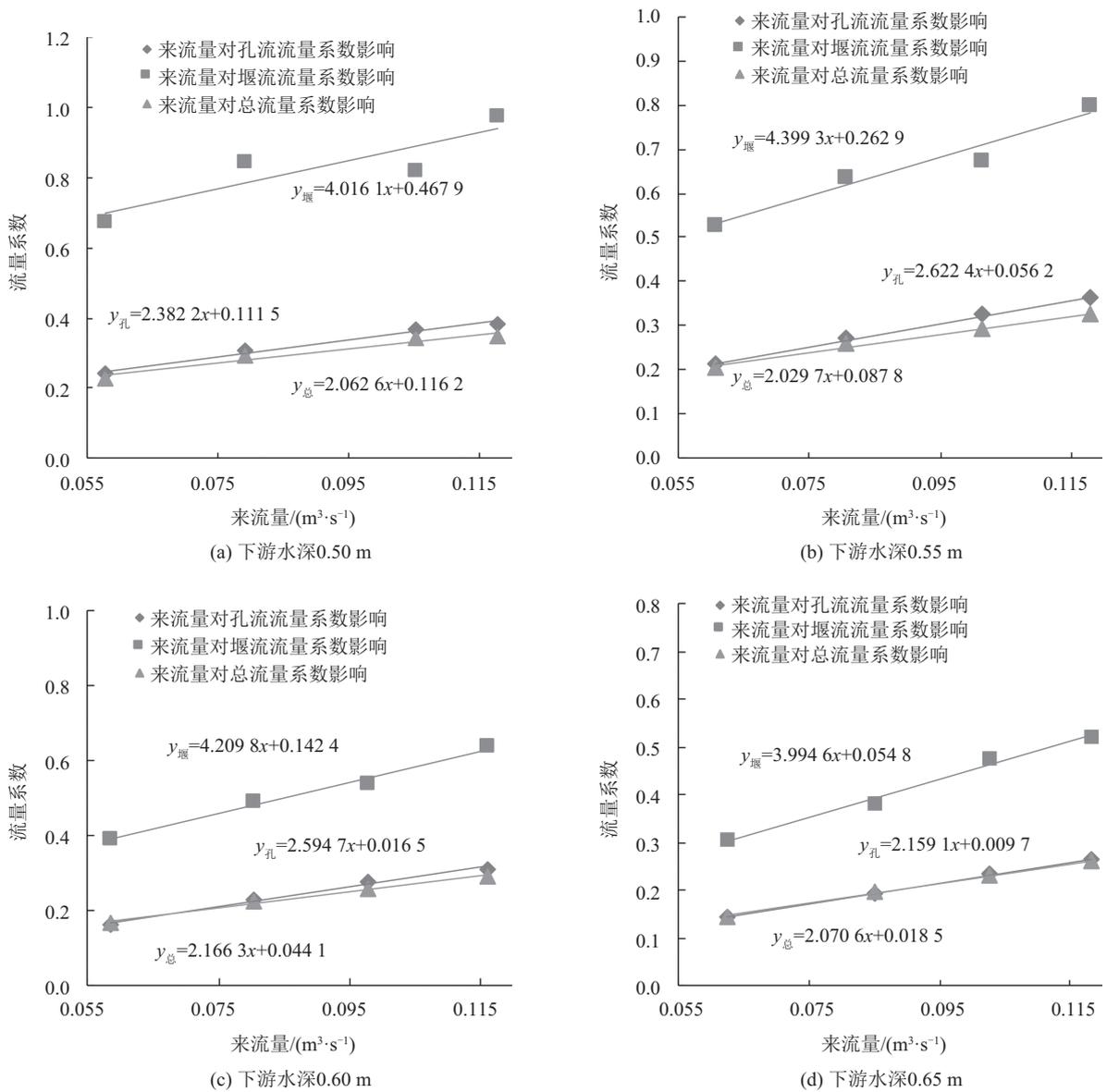


图5 来流量对流量系数的影响

Fig.5 Influence of flow on the discharge coefficient

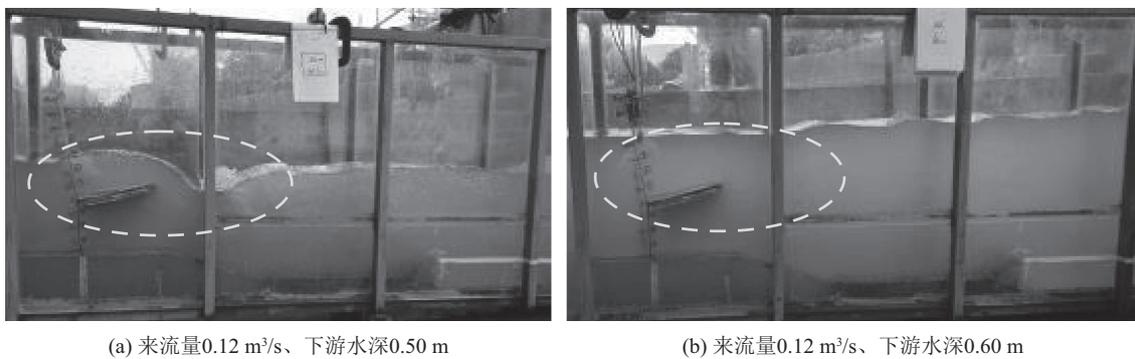


图6 不同下游水深掺气情况

Fig.6 Aeration phenomenon in the case of different downstream water level

中继续增加下游水深,发现闸门对水流影响逐渐减弱,水流趋于平稳。由此可见,要使翻板闸更好地发

挥作用,下游水深应该得到控制,下游消能防冲设计尤为重要。

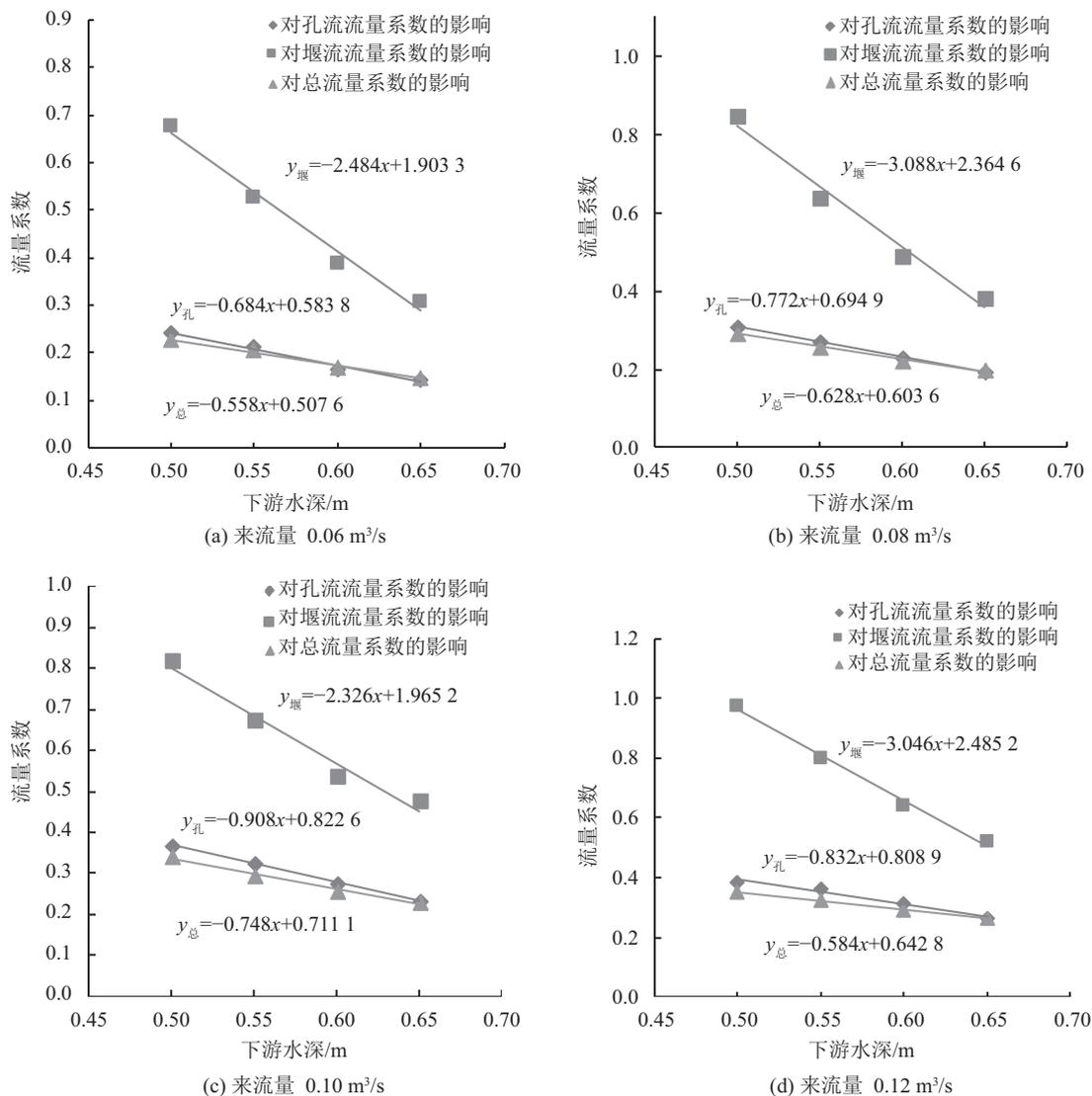


图 7 下游水深对流量系数的影响

Fig.7 Influence of downstream water depth on the discharge coefficient

3 结论

试验在前人基础上,分别测量了闸门底部孔口出流流量与闸门顶部堰流流量,然后将两者相加得出翻板闸过流流量,计算出各流量系数,对比分析孔流流量系数、堰流流量系数及总流量系数的变化特性。主要结论如下:

1)在同一下游水深情况下,随着来流量的增大,孔流流量系数、堰流流量系数及总流量系数都呈增大的趋势。

2)在同一来流量情况下,随着下游水深的增大,孔流流量系数、堰流流量系数及总流量系数都呈减小的趋势。

3)相同测量条件下,堰流流量系数变化较孔流流量系数和总流量系数变化大,孔流流量系数和总

流量系数的变化较为接近。

4)随着流量的增加,堰孔混合流开始向堰流流态转变,当流量大于特大流量时,闸门对泄流不起控制作用,流态趋于平稳。

试验结论可为翻板闸泄流能力的进一步研究提供参考价值,对翻板闸的设计及下游消能防冲设计具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] Chen Lihuan, Wang Dalin. Discharge capacity analysis of Pingwu flap[J]. Sichuan Water Resources, 2012(5): 13-15. [陈李欢, 王大林. 平武翻板闸泄流能力计算分析[J]. 四川水利, 2012(5): 13-15.]
- [2] Ye Zhenguo. The flow characteristics of hydraulic flap gate[J]. Journal of Hunan University, 1984(3): 58-75. [叶镇

- 国.水力自控翻转闸门过流特性[J].湖南大学学报,1984(3):58-75.]
- [3] Ye Zhenguo. Effective way to prevent flap of hydraulic flap gate[J]. Zhongnan Shuili Fadian, 1994(4):11-13. [叶镇国.水力自控翻板闸门的防拍打有效途径[J].中南水力发电, 1994(4):11-13.]
- [4] Lei Minghui, Nie Ruihua, Liu Jiafu, et al. Research on the mixed discharge capacity of new hydraulic flap gate[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2013, 45(Supp 2):47-50. [雷明慧, 聂锐华, 刘家富, 等. 新型水力翻板闸堰孔混合泄流能力研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2013, 45(增刊2):47-50.]
- [5] Wang Qian. Discussion about the flow capacity and energy dissipation of hydraulic flap gate[J]. Hunan Hydro & Power, 2010(2):23-26. [王倩. 关于采用水力自控翻板门水闸的过流能力及消能防冲的探讨[J]. 湖南水利水电, 2010(2):23-26.]
- [6] Yu Guoxing, Liu Yuxia, Li Mengli. Flow formula of hydraulic flap gate[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2001(1):65-68. [于国兴, 刘玉霞, 李孟黎. 水力自动翻板闸门过闸流量公式[J]. 黑龙江水利科技, 2001(1):65-68.]
- [7] Liu Xiaoqing, Li Kefeng, Yi Wenmin, et al. Research on discharge coefficient of hydraulic tumble gate[J]. Water Resources and Power, 2011, 29(11):122-125. [刘晓庆, 李克锋, 易文敏, 等. 水力翻板闸门流量系数的探讨[J]. 水电能源科学, 2011, 29(11):122-125.]
- [8] Zhang Liwei, Wang Gaihui. Application of hydraulic automatic flap gate in modern water conservation[J]. China Rural Water and Hydropower, 2005(12):73-75. [张礼卫, 王改会. 水力自控翻板闸门在现代水利中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2005(12):73-75.]
- [9] Zhang Yuexia, Feng Yu, Yi Wenmin, et al. Experimental study on the discharge coefficient of hydraulic flap gate[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2010, 29(5):220-225. [张月霞, 冯宇, 易文敏, 等. 水力翻板闸门流量系数的试验研究[J]. 水力发电学报, 2010, 29(5):220-225.]

(编辑 李轶楠)

引用格式: Yang Lei, Peng Tao, Zheng Lu, et al. Experimental study on characteristics of discharge coefficient of hydraulic flap gate[J]. Advanced Engineering Sciences, 2017, 49(3):54 - 59. [杨磊, 彭涛, 郑路, 等. 翻板闸流量系数变化特性试验研究[J]. 工程科学与技术, 2017, 49(3):54 - 59.]