

水力自控翻板闸门设计参数分析

蒋磊¹,张庆华¹,翟兴涛¹,宋同广²,王秀霞²

(1. 山东农业大学水利土木工程学院,山东 泰安 271018; 2. 蓬莱市供水总公司,山东 蓬莱 265600)

摘要:利用水力学水静力学基本原理建立了水力自控翻板闸门的受力平衡方程,对闸门转轴高度、闸门倾斜角和闸门底部配件重力等设计参数进行了分析。结果表明:闸门转轴距闸门底的高度应为闸前水深的 1/3;在闸门为均质材料情况下,维持闸门平衡的条件是闸门配件重力应为闸门重力的 1/2;闸门倾斜角对闸门自动翻倒无影响,但在闸门挡水情况下对闸门受力有较大影响。

关键词:水力自控翻板闸门;受力平衡方程;倾覆力矩;转轴高度系数

中图分类号:TV34 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)01-0077-03

Design parameters analysis of hydraulic automatic flap gate//JIANG Lei¹, ZHANG Qinghua¹, ZHAI Xingtao¹, SONG Tongguang², WANG Xiuxia²(1. *Water Conservancy and Civil Engineering Colleges, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China*; 2. *Penglai Water Supply Corporation, Penglai 265600, China*)

Abstract: Based on the basic principle of hydraulic statics, the force balance equation of a hydraulic automatic flap gate was developed to study design parameters of the gate, including the shaft height, the angle, and the gravity of bottom fitting. The results show that the height from the gate shaft to gate bottom is a third of the depth of water in the front of the gate. When the gate is homogeneous, the gravity of fitting should be one half of that of the gate to maintain the balance of the gate. The gate angle has no effect on the overturning of the gate, but has a large effect on the load of the gate as the gate retains water.

Key words: hydraulic automatic flap gate; the force balance equation; overturning moment; coefficient of shaft height

水力自控翻板闸门是借助水力及闸门自身的重力等条件自动开启和回关的一种闸门形式。与其他闸门相比这种闸门制造简单,运行可靠,管理维护方便,节省电力,并且造价和管理维修费用低廉,在中小河道上应用较多^[1-3]。水力自控翻板闸门在国内外已经有较长的应用历史,我国从 20 世纪 50 年代开始研究和应用,闸门形式由传统的翻板闸门发展为弧形闸门、鼓形闸门、扇形闸门及舌瓣闸门等^[1]。20 世纪 80 年代初出现了连杆滚轮式和连杆滑块式等水力自控翻板闸门^[4]。练继建等^[5]对水力自控翻板闸门的稳定性进行了理论分析和计算;周经渊^[6]介绍了曲线轨道水力自控翻板门;肖段龙等^[7]推导了总水压力对液压启闭翻板闸门支铰的最大启门力矩计算公式;张月霞等^[8]通过试验研究提出了水力翻板闸门的流量系数;吴培军等^[9]分析了多泥沙河流淤沙压力对水力自控翻板闸门的影响;张

军^[10]提出了水力自控翻板闸门的选用方法。水力自控翻板闸门除受水力条件及闸门和各配件自重影响外,闸门与堰顶水平线方向的夹角(简称闸门倾斜角)对闸门受力也有一定的影响,本文通过建立水力自控翻板闸门受力平衡方程,对闸门转轴高度、闸门倾斜角和闸门底部配件重力等设计参数进行了分析。

1 抗倾力矩与倾覆力矩计算

1.1 计算条件

在力矩公式推导过程中,假设闸门为翻板均质闸门;下游水位相对较低,忽略不计;闸门开启与回关的转轴设在距闸门底一定高度处;取闸门的单位宽度计算作用力;计算力臂时忽略闸门的厚度以及转轴半径到闸门厚度中心的垂直距离。自控翻板闸门受力情况如图 1 所示。

1.2 抗倾力矩计算

抗倾力矩包括转轴以下作用在闸门上的水平水

基金资助:水利部公益性行业科研专项(201201022)

作者简介:蒋磊(1987—),女,山东海阳人,硕士研究生,主要从事水利工程建设与管理研究。E-mail:jianglei8171647@163.com

通信作者:张庆华(1960—),男,山东招远人,教授,主要从事水利工程建设与管理研究。E-mail:zqh@sdau.edu.cn

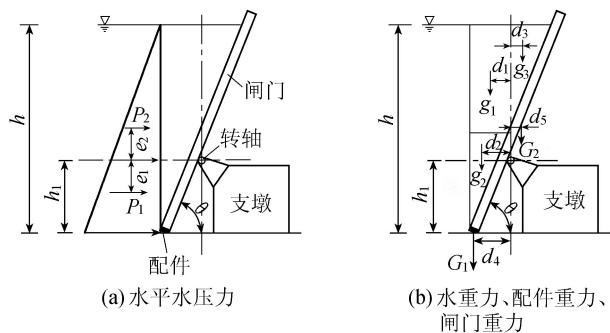


图1 闸门受力示意图

压力、水重力以及配件重力产生的力矩。

a. 水平水压力对转轴的抗倾力矩。 转轴以下作用在闸门上的水平水压力 P_1 为

$$P_1 = \frac{1}{2} \rho g \alpha h^2 (2 - \alpha) \quad (1)$$

式中: ρ 为水的密度; g 为重力加速度; h 为闸前水深; α 为转轴高度系数, $\alpha = \frac{h_1}{h}$, h_1 为转轴距门底高度。水平水压力对转轴的抗倾力臂 e_1 按梯形公式计算为

$$e_1 = \alpha h \frac{3 - \alpha}{6 - 3\alpha} \quad (2)$$

水平水压力对转轴的抗倾力矩 M_{K1} 为

$$M_{K1} = P_1 e_1 = \frac{\rho g \alpha^2 h^3 (3 - \alpha)}{6} \quad (3)$$

b. 水重力对转轴的抗倾力矩。 转轴以下作用在闸门上的水重力按转轴以上及以下两部分计算, 转轴以上水重力 g_1 及相应力臂 d_1 为

$$g_1 = \frac{\rho g \alpha h^2 (1 - \alpha)}{\tan \theta} \quad (4)$$

$$d_1 = \frac{\alpha h}{2 \tan \theta} \quad (5)$$

式中: θ 为闸门倾斜角(闸门直立时为 90°)。转轴以下水重力 g_2 及相应力臂 d_2 为

$$g_2 = \frac{\rho g \alpha^2 h^2}{2 \tan \theta} \quad (6)$$

$$d_2 = \frac{2 \alpha h}{3 \tan \theta} \quad (7)$$

水重力对转轴的抗倾力矩 M_{K2} 为

$$M_{K2} = g_1 d_1 + g_2 d_2 = \frac{\rho g \alpha^2 h^3 (3 - \alpha)}{6 \tan^2 \theta} \quad (8)$$

c. 闸门配件重力对转轴的抗倾力矩。 闸门配件有一定的高度和厚度, 计算闸门配件重力对转轴的力臂时应予以考虑, 但因实际工程中配件的高度和厚度较小, 对转轴的力臂影响较小, 因此不考虑闸门配件的高度和厚度对力臂的影响。因此闸门配件重力对转轴的抗倾力矩 M_{PZ} 为

$$M_{PZ} = G_1 d_4 = \frac{G_1 \alpha h}{\tan \theta} \quad (9)$$

式中: G_1 为闸门配件重力; d_4 为闸门配件重力对转轴的力臂。

1.3 倾覆力矩计算

倾覆力矩包括转轴以上作用在闸门上的水平水压力、水重力及闸门重力产生的力矩。

a. 水平水压力对转轴的倾覆力矩。 转轴以上作用在闸门上的水平水压力 P_2 为

$$P_2 = \frac{1}{2} \rho g h^2 (1 - \alpha)^2 \quad (10)$$

水平水压力对转轴的倾覆力臂 e_2 为

$$e_2 = \frac{h - \alpha h}{3} \quad (11)$$

水平水压力产生的倾覆力矩 M_{Q1} 为

$$M_{Q1} = P_2 e_2 = \frac{\rho g h^3 (1 - \alpha)^3}{6} \quad (12)$$

b. 水重力对转轴的倾覆力矩。 转轴以上作用在闸门上的水重力 g_3 及相应力臂 d_3 为

$$g_3 = \frac{\rho g h^2 (1 - \alpha)^2}{2 \tan \theta} \quad (13)$$

$$d_3 = \frac{h - \alpha h}{3 \tan \theta} \quad (14)$$

水重力产生的倾覆力矩 M_{Q2} 为

$$M_{Q2} = g_3 d_3 = \frac{\rho g h^3 (1 - \alpha)^3}{6 \tan^2 \theta} \quad (15)$$

c. 闸门重力对转轴的倾覆力矩 M_Z 为

$$M_Z = G_2 d_5 = \frac{G_2 (1 - 2\alpha) h}{2 \tan \theta} \quad (16)$$

式中: G_2 为闸门重力; d_5 为闸门重力对转轴的力臂。

2 设计参数分析

本文分析水力自控翻板闸门在 h 一定的情况下, 闸门转轴高度、闸门倾斜角和闸门底部配件重力等设计参数对闸门力矩的影响, 其中闸门转轴高度以转轴高度系数 α 为参数进行分析。

2.1 闸门受力平衡方程

由上述自控翻板闸门抗倾力矩与倾覆力矩计算公式可得闸门受力平衡方程:

$$M_{K1} + M_{K2} + M_{PZ} = M_{Q1} + M_{Q2} + M_Z \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \text{即 } & \frac{\rho g \alpha^2 h^3 (3 - \alpha)}{6} + \frac{\rho g \alpha^2 h^3 (3 - \alpha)}{6 \tan^2 \theta} + \frac{G_1 \alpha h}{\tan \theta} = \\ & \frac{\rho g h^3 (1 - \alpha)^3}{6} + \frac{\rho g h^3 (1 - \alpha)^3}{6 \tan^2 \theta} + \frac{G_2 h (1 - 2\alpha)}{2 \tan \theta} \end{aligned} \quad (18)$$

2.2 闸门转轴高度系数对力矩的影响

当闸门配件重力对转轴的力矩与闸门重力对转

轴的力矩相等,即 $M_{PZ}=M_Z$ 时,由式(18)可得

$$\frac{\rho g \alpha^2 h^3 (3 - \alpha)}{6} + \frac{\rho g \alpha^2 h^3 (3 - \alpha)}{6 \tan^2 \theta} = \frac{\rho g h^3 (1 - \alpha)^3}{6} + \frac{\rho g h^3 (1 - \alpha)^3}{6 \tan^2 \theta} \quad (19)$$

$$\text{整理得} \quad (3\alpha - 1) \left(1 + \frac{1}{\tan^2 \theta} \right) = 0 \quad (20)$$

a. 由式(20)可知闸门在极限平衡条件下 $\alpha = 1/3$,即闸门转轴距闸门底的高度为闸前水深的 $1/3$ 时,闸门所受的抗倾力矩与倾覆力矩相等。当闸前水深超过闸门顶时,闸门自动翻倒,当闸前水深低于闸门顶时,闸门处于挡水状态。

b. 当 $\alpha < 1/3$ 时, $\alpha^2(3-\alpha) < (1-\alpha)^3$,由式(19)可知在闸前水深等于闸门挡水高度时,作用在闸门上的抗倾力矩小于倾覆力矩,闸门翻倒。说明当闸前水深小于闸门一定的高度时,闸门便开始自动翻倒,此时闸门挡水高度低,闸门翻倒偏于安全。

c. 当 $\alpha > 1/3$ 时, $\alpha^2(3-\alpha) > (1-\alpha)^3$,由式(19)可知在闸前水深等于闸门挡水高度时,作用在闸门上的抗倾力矩大于倾覆力矩,闸门挡水,只有当闸门顶有较大的溢流水深才能使闸门自动翻倒。

2.3 闸门倾斜角对力矩的影响

a. 由图1及式(8)(9)(15)(16)可知,闸门倾斜角对水重力、闸门重力及闸门配件重力产生的抗倾力矩及倾覆力矩大小均有影响,在闸门挡水情况下闸门倾斜角越大力矩越小,当 $\theta = 90^\circ$ (闸门直立) 时,力矩为零。

b. 虽然闸门倾斜角对作用在闸门上的抗倾力矩及倾覆力矩大小有影响,但由式(18)可知闸门倾斜角对闸门受力平衡方程无影响,说明闸门挡水或翻倒与其倾斜角无关。

2.4 闸门配件重力分析

假设 $\alpha = 1/3$,由式(18)可得 $G_2 = 2G_1$,即闸门在平衡情况下,闸门配件重力为闸门重力的 $1/2$ 。

3 结 论

a. 自控翻板闸门转轴距闸门底的高度应为闸前水深的 $1/3$ 。

b. 在闸门为均质材料情况下,维持闸门平衡的条件是闸门配件重力应为闸门重力的 $1/2$ 。

c. 闸门倾斜角对闸门自动翻倒无影响,但在闸门挡水情况下对闸门受力有较大影响,在闸门倾斜角较小时,作用在闸门上的水重力将产生较大的弯矩,要求闸门有较大的断面。因此,自控翻板闸门的倾斜角不能过小,以 90° 最为理想。

参考文献:

- [1] 李利荣,周春生,梁栋等. 国内外水力自动闸门研究综述[J]. 内蒙古水利,2011(2):8-10. (LI Lirong, ZHOU Chunsheng, LIANG Dong, et al. Domestic and foreign hydraulic automatic gate research [J]. Inner Mongolia Water Resources,2011(2):8-10. (in Chinese))
- [2] 方子杰. 碧莲水电站水力自控翻板闸门溢流坝设计[J]. 水力水电科技进展,2000,20(2):59-61. (FANG Zijie. Bilian hydropower hydraulic automatic flap gate for spillway design [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2000,20(2):59-61. (in Chinese))
- [3] 侯石华. 水力自控翻板闸门门型发展概述[J]. 水利水电科技进展,2003,23(1):5-7. (HOU Shihua. Hydraulic automatic flap gate the gate type development overview [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2003,23(1):5-7. (in Chinese))
- [4] 高俊龙. 水力自控翻板闸门的应用[J]. 黑龙江水利科技,2011,39(4):126. (GAO Junlong. The hydraulic automatic flap gate applications [J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy,2011,39(4):126. (in Chinese))
- [5] 陈继建,李一平. 水力自控翻板门拍振机理的研究[J]. 水利学报,1997,28(11):56-64. (LIAN Jijian, LI Yiping. Research on mechanism of large amplitude self-excited vibration of hydro-automatic flap gate [J]. Journal of Hydraulic Engineering,1997,28(11):56-64. (in Chinese))
- [6] 周经渊. 水力自控翻板闸门的研究与应用[J]. 水力发电学报,2007,26(6):73-76. (ZHOU Jingyuan. Research and application of hydraulic automatic flap gate [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2007,26(6):73-76. (in Chinese))
- [7] 肖段龙,李国瑞. 总水压力对液压启闭翻板闸门支铰的最大启门力矩计算公式推导[J]. 广东水利水电,2002(5):5-6. (XIAO Duanlong, LI Guorui. Maximum moment of total water pressure on the hydraulic opening and closing the flap gate turning formula derivation [J]. Guangdong Water Resources and Hydropower,2002(5):5-6. (in Chinese))
- [8] 张月霞,冯宇,李克峰,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. (ZHANG Yuexia, FENG Yu, LI Kefeng, et al. Experimental study on the discharge coefficient of hydraulic flap gate [J]. Journal of Hydroelectric Engineering,2010,29(5):220-225. (in Chinese))
- [9] 吴培军,李玉建,王院生. 淤沙压力对多泥沙河流水力自控翻板闸门的影响研究[J]. 中国农村水利水电,2011(1):136-138. (WU Peijun, LI Yujan, WANG Yuansheng. Research on the effect of sediment pressure on hydraulic automatic control flap gate in sandy rivers [J]. China Rural Water and Hydropower,2011(1):136-138. (in Chinese))
- [10] 张军. 浅谈水力自控翻板闸门的选用[J]. 浙江水利科技,2010(6):51-52. (ZHANG Jun. On the selection of hydraulic automatic flap gate [J]. Zhejiang Hyrotechnics,2010(6):51-52. (in Chinese))

(收稿日期:2012-04-16 编辑:周红梅)