

水力自控翻板闸动水力矩的精确计算

马学东,滕杰,苏振东,孙德标

(辽宁科技大学机械工程与自动化学院,辽宁鞍山114055)

摘要:为研究水力自控翻板闸的水动力矩对闸板过流平稳性的影响,采用ANSYS软件的VOF模型计算了某翻板闸过流时的动水压力,并对动水力矩进行了精确计算。结果表明:闸板顶面上半部分形成有利于闸板平稳的顺时针力矩,大小为 $3\,169\text{ N}\cdot\text{m}$,而顶面下半部分形成破坏闸板平稳的逆时针力矩,大小为 $2\,553\text{ N}\cdot\text{m}$;闸板底侧面形成有利于闸板平稳的顺时针力矩,大小为 $1\,915\text{ N}\cdot\text{m}$,而背面和顶侧面形成的力矩很小。因此闸板顶面和底侧面所形成的动水力矩对闸板过流平稳性起决定作用。

关键词:水力自控翻板闸;动水压力;动水力矩;有限元分析

中图分类号:TV34 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)04-0065-03

Calculation of hydrodynamic moment of hydraulic auto-controlled tilting gate//MA Xuedong, TENG Jie, SU Zhendong, SUN Debiao (College of Mechanical Engineering and Automation, Liaoning University of Science and Technology, Anshan 114055, China)

Abstract: In order to study the effect of hydrodynamic moment of hydraulic auto-controlled tilting gate on its stability, the hydrodynamic pressure of a practical hydraulic auto-controlled tilting gate is calculated by finite element software ANSYS when it is overflowed by means of the VOF model, where the hydrodynamic moment is calculated accurately. The results show that the clockwise moment of $3\,169\text{ N}\cdot\text{m}$ is formed at the upper part of the tilting gate top, which is beneficial to the stability of the tilting gate. However, the counterclockwise moment of $2\,553\text{ N}\cdot\text{m}$ is formed at the lower part of the tilting gate top, which is unfavorable to the stability of the tilting gate. The clockwise moment of $1\,915\text{ N}\cdot\text{m}$ that is beneficial to the stability of the tilting gate is formed at the bottom side of the hydraulic auto-controlled tilting gate. While the moments formed at the back and top sides are very small. Therefore, the hydrodynamic moments formed at the top and bottom sides of the tilting gate play a decisive role in the stability when the tilting gate is overflowed.

Key words: hydraulic auto-controlled tilting gate; hydrodynamic pressure; hydrodynamic moment; finite element analysis

水力自控翻板闸是一种水工闸门,它依靠水压力形成的动水力矩和闸板重力矩完成闸门开启,具有结构简单、节省能源、造价低廉等特点,兼有泄洪和蓄水功能,因此在各种小型水利工程中得到广泛应用^[1-4]。水力自控翻板闸的水力特性较复杂,闸门的动水压力、动水力矩和运行的稳定性仍需深入研究^[5-7],而动水力矩是影响闸门过流平稳性的重要因素和闸门启闭的重要力学性能参数,因此有必要进行动水力矩的精确计算。

动水压力和动水力矩难以通过计算和实测得到,而数值模拟方法可以解决此难题。本文采用ANSYS软件的VOF模型计算闸板过流时的动水压力,在此基础上对动水压力形成的动水力矩进行计算。

1 水力自控翻板闸的工作原理

水力自控翻板闸的结构如图1所示,它由闸板、

支腿、支腿导轨、滚轮、连杆和支墩组成。

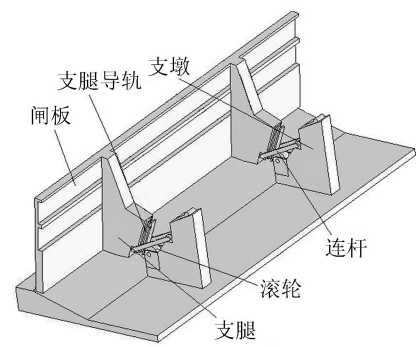


图1 水力自控翻板闸结构

忽略机构的摩擦力影响,当闸板和支腿的重力对滚切点形成的重力矩 M_g 大于闸板所受的水压力对滚切点形成的水力矩 M_w 时,闸板关闭。当水位升高、 M_g 不变、 $M_w > M_g$ 时,支腿导轨沿滚轮滚动,闸板在连杆的支撑下压向支墩。

当水力自控翻板闸完全打开时,如图 2 所示,闸板的动水力矩变为阻止闸板关闭的阻力矩,而闸板自身的重力矩变为促使闸板关闭的动力矩,当 $M_w > M_g$ 时,闸板平稳;当水流减小、水位下降、 $M_w < M_g$ 时,闸板关闭。

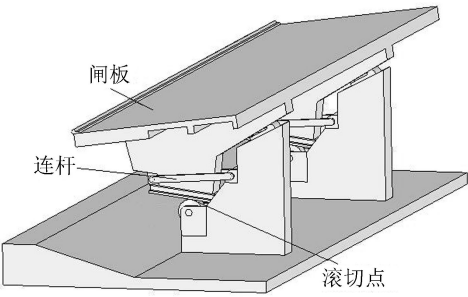


图 2 水力自控翻板闸完全过流

2 流场分析的理论基础

本文采用 VOF 模型进行模拟,VOF 模型采用流体体积函数,这个函数定义为目标流体的体积与网格体积的比值,只要知道这个函数在每个网格上的值,就可以实现对运动界面的追踪。VOF 模型多用于模拟潮汐流动、开闸泄水以及大坝溃坝等^[8-10]。开闸泄水时,流体遵从流体运动的动量守恒、能量守恒和质量守恒定律,分别对应 Navier-Stokes 方程、伯努利方程和连续性方程

3 流场的有限元分析

3.1 几何模型的简化

三维模型比二维模型更贴近于实际,但三维流场的计算规模是普通计算机难以承担的,因此取闸板的横截面作为模型分析区域。以辽宁某地的实际闸板为研究对象,闸板的倾动角度为实际过流时的倾动角度(10°)。由于过流时闸板水流在水力自控翻板闸上部会跃起水头和浪花,模型上部应留有足够的空间。水力模型高取 4.6 m。为使来流和去流得以充分的发展,闸板的前后应留有足够的空间,水力模型总长取 26 m。

3.2 有限元模型的设定

有限元网格划分采用流体 FLOTRAN141 平面单元,共划分单元 5 991 个。在 ANSYS 软件中,VFRC 载荷的边界条件由 VFRC 值和湿润条件组成,VFRC 仅允许取值 0 和 1,0 代表无水状态,1 代表有水状态^[11]。选择模型的来流边线,设定 VFRC 值为 1,在水坝底部和闸板边缘设定速度为零的条件: $v_x=0\text{ m/s}$, $v_y=0\text{ m/s}$,根据实际水文数据,在边线设定来流速度 $v_x=2.48\text{ m/s}$, $v_y=0\text{ m/s}$,选择闸板左下部单元,设定初始湿润条件,取 VFRC 值为 1,即

认为闸板刚开启时左下部充满水。求解需要考虑重力影响,设定足够的过流时间,激活 VOF 模型。

3.3 有限元计算结果

求解得到过流处的动水压力分布如图 3 所示,由图 3 可知,闸板上部动水压力分布类似于静水压力分布,水越深,动水压力越大,闸板背面动水压力很小,接近负压,由于闸板顶侧面部分出现脱流,形成局部负压,动水压力分布符合实际情况。整个闸板的最大动水压力发生在闸板底侧面,为 17 kPa 左右。

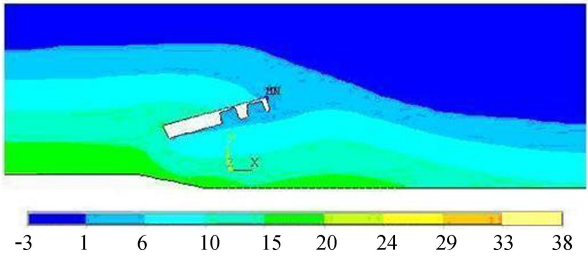


图 3 过流处动水压力分布(单位:kPa)

4 动水力矩的计算

闸板各处的动水压力不同,对闸板平稳性的贡献也不同,而动水压力形成的动水力矩可作为判定闸板平稳性的依据。因此,动水力矩的计算显得尤为重要。

4.1 动水压力的提取

如图 4 所示,过滚切点 A 作 bd 和 af 的垂线,分别交 bd、af 于 c 和 e,加上两个侧面,把闸板分成 6 段,即 ab、bc、cd、ae、eo、od。

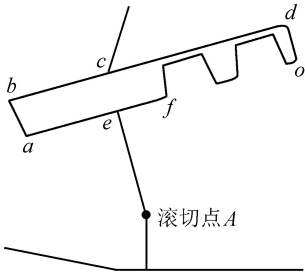


图 4 闸板边缘路径和分区示意图

选取沿闸板边缘的节点形成两条路径,即路径 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ 和路径 $a \rightarrow e \rightarrow f \rightarrow o \rightarrow d$ (图 4),提取动水压力分别如图 5 和图 6 所示。

4.2 动水力矩的计算

单位宽度下,对闸板 ab、bc、cd、ae、eo、od 这 6 段的动水压力对滚切点 A 取矩,得到各段对滚切点 A 的力矩贡献。

闸板顶面上半部分 cd 形成有利于闸板平稳的顺时针力矩,大小为 $3\,169\text{ N}\cdot\text{m}$,而顶面下半部分 bc 形成破坏闸板平稳的逆时针力矩,大小为 $2\,553\text{ N}\cdot\text{m}$ 。闸板底侧面 ab 形成有利于闸板平稳的顺时针力矩,大小为 $1\,915\text{ N}\cdot\text{m}$,而背面 ae 和 eo 及闸板顶侧面

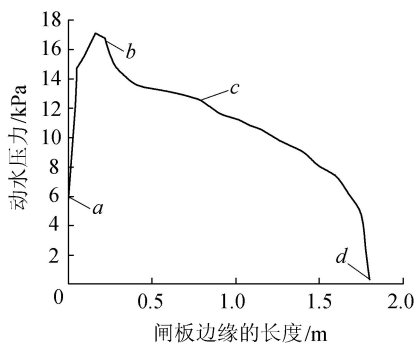


图5 闸板底侧面和顶面动水压力沿路径的分布

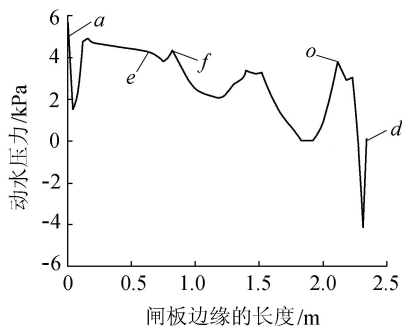


图6 闸板背面和顶面动水压力沿路径的分布

od 形成的合力矩为逆时针方向,不利于闸板平稳,但其值仅为 $74 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

由此可知, ab 和 cd 段形成的力矩为顺时针方向力矩,在闸板过流时起稳定作用, bc 段形成的力矩为逆时针方向力矩,闸板过流时起破坏稳定作用,背面 ae 和 eo 及顶侧面 od 的合力矩很小,所以,水力自控翻板闸的稳定性取决于闸板顶面和底侧面动水压力和动水力矩的大小。

鞍山成坤水利有限公司的试验翻板闸采用以上算法确定动水力矩,并进行了试验,实测过程中闸板过流平稳,间接验证了本文计算方法的正确性。

5 结 论

a. 采用 VOF 模型模拟了闸板过流,并提取了动水压力的数值,解决了传统算法难以精确计算动水压力的难题。

b. 精确计算了闸板各处动水压力所形成的动水力矩,结果表明:闸板各处所形成的动水力矩对闸板过流平稳性的贡献是不同的。闸板顶面和底侧面动水压力所形成的动水力矩数值较大,对闸门过流的平稳性起决定作用。

c. 基于 VOF 模型计算结果设计了试验翻板闸,实际运行过程中闸板过流平稳,验证了本文计算方法的可靠性。

参考文献:

[1] 魏恒华,杨淑梅. 浅谈翻板闸在东北地区的应用[J]. 水

利科技与经济,2010(1):116-117. (WEI Henghua, YANG Shumei. On the flag gate using in the northeast region[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy,2010(1):116-117. (in Chinese))

[2] 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(6):73-76. (ZHOU Jingyuan. Study and application of hydraulic automatic flap gate[J]. Journal of Hydroelectric Engineering,2007(6):73-76(in Chinese))

[3] 肖良锦,曹磊芳. 水力自动翻板闸在地花水电站中的应用[J]. 人民黄河,2010,32(7):124-125. (XIAO Liangjian,CAO Leifang. The using of hydraulic automatic flap gate in Dihua station[J]. Yellow River,2010,32(7):124-125. (in Chinese))

[4] 谭立清,刘锐,王立明. 鞍山南沙河3#翻板闸坝泄流计算剖析[J]. 黑龙江水利科技,2010,38(2):79. (TAN Liqing,LIU Rui,WANG Liming. Calculated profiling of 3# flap gate dam discharge in Anshan Nansha River[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy,2010,38(2):79. (in Chinese))

[5] 钟庆英. 某电站拱坝水力平衡自控翻板闸设计探讨[J]. 广东科技,2007(增刊1):38-39. (ZHONG Qingying. Design of a power plant arch dam hydraulic balance controlled flap gate[J]. Guangdong Science & Technology,2007(Sup1):38-39. (in Chinese))

[6] 李树宁,杨敏. 水力自动翻板门稳定性数值模拟研究[J]. 水力发电学报,2012,31(1):135-138. (LI Shuning,YANG Min. Numerical simulation of the stability of automatic tilting water gate[J]. Journal of Hydroelectric Engineering,2012,31(1):135-138. (in Chinese))

[7] 曲峰. 水力自动翻板门的理论分析与实验研究[D]. 南京:河海大学,2005.

[8] 郭立栋,孙大鹏,吴浩. 基于 BEM 与 VOF 耦合模型的潜堤附近波浪变形研究[J]. 水运工程,2012(2):21-24. (GUO Lidong, SUN Dapeng, WU Hao. Wave deformation around a submerged breakwater by coupling BEM and VOF model[J]. Waterway Engineering,2012(2):21-24. (in Chinese))

[9] 王晓玲,孙宜超,陈华鸿. 基于 VOF 法的风暴潮洪水演进三维数值模拟[J]. 中国工程科学,2011,13(12):56-62. (WANG Xiaoling,SUN Yichao,CHEN Huahong. Three-dimensional numerical simulation of floodwater evolution with storm surge based on VOF method[J]. Engineering Sciences,2011,13(12):56-62. (in Chinese))

[10] 王均星,陈规划,王雯. 平面闸门有压出口段突扩突跌三维流场数值模拟[J]. 武汉大学学报:工学版,2010,43(3):325-329. (WANG Junxing,CHEN Guihua,WANG Wen. Numerical simulation of 3D flow field at plane gate region with suddenly lateral enlargement and bottom drop[J]. Engineering Journal of Wuhan University,2010,43(3):325-329. (in Chinese))

[11] 许洋,党沙沙,胡仁喜. ANSYS11.0/FLOTRAN 流场分析实例指导教程[M]. 北京:机械工业出版社,2009:196-199. (收稿日期:2012-07-17 编辑:骆超)