

# 划子口大跨度弧形钢闸门 原型振动观测初探

朱 慧, 刘建华, 闵克强  
(江苏省秦淮河水利工程管理处, 江苏 南京 210002)

**摘要:**根据划子口钢闸门原型振动观测成果,从闸门结构的振动加速度、振动位移、振动应力、动水压力及启闭力观测等方面进行原型测量,评价弧形闸门在不同工况下闸门运行的安全性。提出大跨度弧形闸门运行中需要注意的事项,确保闸门安全运行,对其他类似弧形闸门的运行操作具有一定的参考意义。

**关键词:**大跨度;弧形;钢闸门;振动

**中图分类号:**TV663

**文献标识码:**B

**文章编号:**1007-7839(2023)11-0026-0004

## Preliminary study on vibration observation of the prototype of the long-span radial steel gate at Huazikou

ZHU Hui, LIU Jianhua, MIN Keqiang

(Management Division of Qinhuai River Hydraulic Engineering of Jiangsu Province, Nanjing 210002, China)

**Abstract:** Based on the vibration observation results of the prototype of the steel gate at Huazikou, this article conducts prototype measurements from the aspects of vibration acceleration, vibration displacement, vibration stress, dynamic water pressure, and opening and closing force observation of the gate structure, evaluates the safety of the radial gate operation under different working conditions, and proposes precautions to be taken during the operation of the long-span radial gate to ensure the safe operation of the gate. It also has certain guiding significance for the operation of other radial gates.

**Key words:** long-span; radial; steel gate; vibration

### 1 工程概况

划子口河闸工程属滁河防洪治理一期工程流域性治理项目,工程的实施可大幅提高南京市浦口、六合等地区防洪能力,对缓解滁河中上游安徽省沿滁河地区的防洪压力也有重要的作用,工程有着显著的防洪减灾效益<sup>[1]</sup>。

划子口河闸采用大宽高比弧形钢闸门,孔口尺寸较大(30.0 m×8.0 m),该大跨度闸门需作局部开启双向运行,以调节流量。双向挡水时,上下游水位变幅大,结构受力条件复杂。闸门在小开度时,液压启闭机活塞杆和闸门支铰对门叶形成约束,水流条件及流态比较复杂,水流对闸门结构动力作用复杂多变。

收稿日期:2023-07-20

作者简介:朱慧(1991—),女,工程师,硕士,主要从事河湖管理工作。E-mail:630282444@qq.com

工程投入运行后,为保障工程运行安全、方便管理、发挥效益,制定闸门合理运行操作规程,需要开展闸门结构的流激振动原型观测,通过对水工建筑物水力学和金属结构振动原型观测,取得水闸运行的实际动态资料,及时发现异常现象,分析原因,采取措施,通过系统分析评价,为水闸的安全运行管理提供科学依据,积累经验,制定更为合理的操作规程。因此,在水闸运行期进行系统原型观测十分有必要,具有重要的指导意义和参考价值。

## 2 原型观测的主要内容

### 2.1 原型观测的目的

为了比较全面地取得建成后的水闸结构运行特性,对闸门的运行安全性态进行科学评价,并为闸门的安全运行制定合理操作规程,本次原型观测遵循观测内容全面、测点量多的原则进行<sup>[2]</sup>。具体观测内容如下:

(1) 闸门结构门体应力、变形情况。

(2) 研究闸门在既定制造、安装及启闭机械等边界约束条件作用下,闸门发生振动的情况。

(3) 测试闸门在不同水位、开度条件下,作用于门体的水流脉动压力荷载。

(4) 对闸门在不同上下游水位组合、不同开度和运行条件下的振动安全性进行评价。

### 2.2 原型观测测试系统布置

#### 2.2.1 闸门结构振动加速度测点布置

闸门振动加速度的测量采用压电式加速度计,目前选用加速度计测量范围为 $0\sim 400\text{ m/s}^2$ ,采用低噪声电缆线连接到电荷放大器后,可以直接输出供测试系统采集。闸门面板部分配置2个三向加速度传感器,闸门支臂部分布置2个三向加速度传感器<sup>[3]</sup>。

#### 2.2.2 闸门结构振动应力测点布置

闸门振动应力的测量采用应变计,采用低噪声电缆线连接到应变仪后再接到采集系统测量<sup>[4]</sup>。

#### 2.2.3 闸门结构脉动压力测点布置

通过闸门体水流脉动压力测量,旨在考察闸门在不同运行工况下水闸各部位压力脉动荷载的作用情况,闸门脉动压力的测量常规采用压力传感器,采用屏蔽低噪声电缆线连接信号调理系统后再接到采集系统测量<sup>[5]</sup>。

#### 2.2.4 周围建筑物位移测点布置

通过周围建筑物的位移测量,旨在考察闸门在不同运行工况下周围建筑物的位移情况,建筑物的

振动测量一般测量低频段的位移情况,采用位移传感器和屏蔽低噪声电缆线连接信号调理系统测量。

#### 2.2.5 流态观测测点分布布置

通过流态观察,旨在考察闸门在不同运行工况下水流流态是否存在不利情况,共设置5个测点。1#布置在启闭机控制房,观测启闭机操作面板及操作步骤;2#、3#、4#布置在河岸侧,用来观测闸后长江侧水流流态;5#布置在交通桥上,用来观测闸墩处的水流冲击情况。

### 2.3 闸门振动观测

本次原型观测主要对工作闸门的振动加速度、振动位移、动应力以及作用于闸门的水流脉动压力荷载、水工建筑物近河岸侧的振动位移、水流流态等方面进行测试,取得了重要的评价数据资料。

#### 2.3.1 闸门振动加速度观测

现场试验测量闸门固定开度及启闭等工况下的闸门振动加速度数字特征及其谱特征,取得了振动加速度的量级及其能量在频域的分布规律。

当长江侧为 $6.5\sim 6.7\text{ m}$ 、滁河侧为 $6.6\sim 6.8\text{ m}$ 时,闸门从全关到全开、全开到全关的启闭过程情况下,得出闸门振动加速度特征值。

#### 2.3.2 闸门振动位移观测

现场试验测量闸门固定开度及启闭等工况下的闸门振动位移数字特征,得到振动位移的量级及其能量在频域的分布规律。

#### 2.3.3 闸门振动应力观测

现场试验测量闸门固定开度及启闭等工况下的闸门振动应力数字特征,得到振动应力的量级及其能量在频域的分布规律。

#### 2.3.4 闸门动水压力观测

现场试验测量闸门固定开度及启闭过程等工况下的闸门脉动压力数字特征,得到脉动压力的量级及其能量在频域的分布规律。

#### 2.3.5 闸门运行过程中的启闭力观测

现场试验根据闸门在运行过程中液压启闭机油缸与活塞杆腔内的压强值,推算得到闸门启闭力值,油缸内径 $450\text{ mm}$ ,活塞杆杆径 $220\text{ mm}$ 。实测闸门在整个开门过程中的腔内压强值为 $10\sim 11\text{ MPa}$ ,有时变化大一点,但整体上均在这个范围内变化。按照“杆拉力=油压 $\times$ 有效面积”的关系换算后,得到闸门启闭杆拉力约为 $1\,210\sim 1\,331\text{ kN}$ ,启闭机容量为 $2\,000\text{ kN}$ ,当前启闭杆拉力测量值在启闭机容量范围之内。在两侧启闭力纠偏较短的时间段内,启

闭杆拉力会出现瞬间不对称波动现象,但纠偏完成后,两侧启闭力会趋于均匀。

### 3 闸门结构的振动模态特征

#### 3.1 实验模态分析的基本理论

闸门结构的运动可用离散化矩阵微分方程表示,通过测闸门各结点响应均可获得整个结构的传递函数矩阵。

#### 3.2 测试系统与设备

在此次实际工程原型观测中,较难选取合适的外荷载来进行闸门激励,因此通过环境激励(水力作用、风荷载作用)点并选取参考点来进行模态分析。

模态分析仪器采用Analyzer专用模态采集分析仪器,最后通过计算机进行处理。试验中将闸门结构离散为数十个结点,将离散化后的闸门结构置于柱坐标系考查其运动,共设有径向、切向、侧向3个方向,试验在进行信号采集和处理同时进行模态分析。通过闸门结构的动特性研究是确保安全运行的重要手段,本部分试验将揭示闸门结构的动态特性(模态频率、模态振型和模态阻尼)。

#### 3.3 测试结果与分析

当前通过环境激励,选取参考点递延的方法,按照加速度传感器的测试结果,初步对闸门作了低频段的模态分析,闸门在接近全关位时由启闭机约束,底部约束较弱,侧止水约束。为比较可靠地获取模态特性,采用了不同的分析方式。

当考虑低频段时,采用分析频率20 Hz、低通滤波30 Hz,在环境激励下数次试验的优势闸门模态特征值见表1。

表1 模态特征值

阶数	频率/Hz	阻尼比/%	阶数	频率/Hz	阻尼比/%
1	1.15	8.61	5	55.50	0.99
2	4.80	0.77	6	100.00	0.36
3	5.40	1.95	7	125.50	0.19
4	12.35	0.49	8	160.0	0.18

通过以上分析可知,在目前的约束状态下,闸门在低频段4~5 Hz存在主要反映闸门支臂部分的振型,而在12~13 Hz段也存在反映闸门支臂部分的振型,在更高频率段如50 Hz左右及更高时,存在反映闸门面板部分和支臂部分的振型。

## 4 研究成果及建议

划子口水闸具有双向挡水、泄水和引排水要求,依据原型观测数据,对闸门的运行操作提出建议,以确保水闸结构的运行安全。

#### 4.1 调度运行原则

汛期:当长江水位高于滁河水位时,关闸挡水,控制滁河水位在7.0 m左右;当滁河水位超过7.0 m,开闸泄洪;当滁河水位低于7.0 m时,关闸蓄水。

非汛期:滁河水位高于长江水位,关闸蓄水,控制滁河在6.5~7.0 m。

灌溉期:当滁河水位低于6.5 m、长江水位高于滁河水位时,开闸引水,控制滁河在6.5~7.0 m。

#### 4.2 闸门开启要求

在消力池及下游海漫段确保设计强度和施工质量的前提下,需对水闸的运行调度高度重视,尤其是泄洪开始阶段,下游水位低,若较大偏离下泄流量和下游正常水位的关系,闸门大开度开启运行时,因下游水深小,河道底流速会大大超过抗冲流速,将影响消力池及下游海漫防冲安全,并进一步加大河床局部冲刷深度。因此,当水闸泄洪时,需将闸门逐级提升、缓慢到位,使下游水位尽可能满足设计条件,以确保下游消能工程和防冲设施的安全。

在滁河水位为7.0~7.85 m、外江水位在3.3~3.66 m之间,当闸门开度为0.8~1.0 m时,闸门结构振动出现峰值,因此应该尽量避免。其他开度闸门结构的振动量一般较小。

#### 4.3 工程运行条件

工程运行条件变化主要是指水闸运行多年后,出现了工程自身的老化或水闸上下游河道冲淤演变等引起的上下游水位、泄流量和流态等的变化。本工程的模型试验研究结果显示,防冲槽前后的流速在闸门开度为1.0 m时,上游滁河侧7.0 m、下游长江侧3.3 m水位情况下,最大值出现过1.55 m/s的量级,上游7.85 m、下游3.66 m水位情况下最大值出现过1.32 m/s的量级。显然,闸门开度愈大,防冲槽前后的水流流速会更大。

通常情况下的水闸防冲槽前后的抗冲流速约为1 m/s,工程如果长期在出现大于抗冲流速情况的工况下运行则可能发生危险。因此,水闸运行时需跟踪观察泄洪运行的全过程,水闸泄水运行后进行常规水下检查,如发现问题,需及时分析原因并予

以解决,尤其对损坏部分需及时修补,以防事态扩大,影响闸室安全<sup>[6]</sup>。

## 5 结 语

闸门原型观测在实际中还涉及很多工作,如前期的数学模型计算和各种水位状况下闸门的位移、压力等变化。本文简要对闸门原型观测的关键步骤和后期数据进行分析,并提出闸门运行相关对策措施,以确保闸门安全、平稳运行<sup>[7]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 奚肖亚,刘海祥,叶小强,等.划子口河闸弧形钢闸门三维有限元分析与安全评估[J].水利水运工程学报,2012(5):6-9.

- [2] 张步新,朱明昕,孟庆奎,等.大跨度大宽高比平面钢闸门原型观测研究[J].华电技术,2003,25(4):12-13.
- [3] 姬锐敏,蒋昌波,许尚农,等.弧形闸门流激振动原型观测方法探讨[J].交通科学与工程,2013,29(2):8-11.
- [4] 盛旭军,胡木生,张兵,等.弧形闸门流激振动原型观测试验技术研究[J].水利技术监督,2016(3):13-17.
- [5] 胡玮,冯晓波,朱锐,等.南水北调中线某节制闸弧形门小开度振动观测与安全评价[J].南水北调与水利科技,2018,16(5):6-8.
- [6] 史喆琼,李继栋.闸门振动分析及防振措施[J].科技视界,2018(18):37-39.
- [7] 严根华.水工弧形闸门动力特性的试验模态分析[J].水利水运科学研究,1990,9(3):245-256.

(上接第20页)

(工程)档案资料管理规定》(苏水办〔2003〕1号)等规范性文件,在鲁班奖创建过程中,为了满足复查资料准备要求,根据资料复查表和抽查重点,在编制目录时,将已编入水利工程档案的房屋建筑工程资料内容单独编制资料查阅目录,指向明确,便于复查过程中工作人员协助专家查阅档案。据统计,瓜洲泵站创优资料准备中形成目录近700条,极大便利了现场档案查找和专家评分。

### 参考文献:

- [1] 汪燕,董京京.鲁班奖工程施工资料全过程管理[J].建筑科技,2020,4(5):70-72.
- [2] 刘艳.建设工程档案的完整性和准确性[J].城建档案,2014(10):33-34.
- [3] 国家档案局.建设项目档案管理规范:DA/T 28—2018[S].北京:国家档案局,2018.