

水工钢闸门振动现象及振动特性分析

刘长东¹, 徐爽²

¹ 国电电力发展股份有限公司和禹水电开发公司 辽宁本溪

² 中水东北勘测设计研究有限责任公司 吉林长春

【摘要】 闸门是水利水电工程建筑的重要组成部分, 在工程运行过程中, 应明确水工钢闸门振动现象产生的原因和振动特征, 在此基础上积极探索有效的防震措施, 为水利水电工程的稳定、安全运行奠定基础。基于此, 本文分析了水工钢闸门振动现象以及原因, 就相关的防振措施进行探究。

【关键词】 水工钢闸门; 振动等级; 振动现象; 防振措施

Vibration phenomenon and characteristic analysis of hydraulic steel gate

Changdong Liu¹, Shuang Xu²

¹Guodian Electric Power Development Co., LTD. And Yu Hydropower Development Co., LTD., Benxi, Liaoning

²China Water Northeast Survey, Design and Research Co., LTD., Changchun, Jilin

【Abstract】 Gate is an important part of water conservancy and hydropower engineering construction. In the process of engineering operation, the causes and characteristics of vibration phenomenon of hydraulic steel gate should be clarified, and on this basis, effective earthquake prevention measures should be actively explored, so as to lay the foundation for stable and safe operation of water conservancy and hydropower engineering. Based on this, this paper analyzes the vibration phenomenon and causes of hydraulic steel gate, and probes into the relevant anti-vibration measures.

【Keywords】 hydraulic steel gate; Vibration level; Vibration phenomenon; Vibration control measures

1 水工钢闸门振动概述

水工钢闸门振动现象时有发生, 如在水工影响因素值高于标准的情况下便会出现水工钢闸门振动现象, 但是这种振动通常都为轻微振动, 基本不会对水利水电工程建筑物造成影响。除此之外, 在水头以及流量超过标准值的情况下, 也会出现水工钢闸门振动的现象, 并且这种振动通常幅度较大, 会对水利水电工程建筑造成不利影响, 使其稳定性降低, 容易引发安全事故。

1.1 水工钢闸门振动分类

水工钢闸门振动有不同的类型, 以振动产生的原因为标准进行分类, 可以将水工钢闸门振动分为以下几类:

(1) 不稳定因素引发的振动

水流波会产生一定的作用力, 水流波动幅度不同, 产生的作用力也存在差异, 在水流波动幅度大时, 会产生较大的作用力, 容易引发水工钢闸门振

动现象。经过闸门底部的水流容易出现交变剪切流以及旋滚流, 二者会产生不同的作用力, 共同作用于水工钢闸门底部而导致水工钢闸门振动现象被称为不稳定因素引发的振动。

(2) 外部原因引发的振动

外部原因主要是指水流波动, 水流具有较强的波动性, 在水流波动速度慢的情况下通常不会引发水工钢闸门振动, 而随着水流波动速度加快, 则容易引发水工钢闸门振动。

(3) 运动力振动

运动力振动也是水工钢闸门振动的主要类型, 这种振动通常也被称为自激振动。闸门自身的结构是引发自激振动的主要因素, 是闸门结构的运动以及相互作用的结果。与其他水工钢闸门振动类型不同的是运动力振动会自行减弱, 并且最终消失。

1.2 水工钢闸门振动的原因分析

(1) 水封漏水引发振动

水封分为底水封、侧水封以及顶水封,三者都存在漏水风险,并且都会引发水工钢闸门振动。在底水封漏水的情况下,通常只会引起水工钢闸门出现轻微振动的情况,如果底水封漏水现象比较严重,则会引起水工钢闸门出现强烈振动,同时还会伴有较大的声响,这是底水封漏水引发振动的主要特征。侧水封漏水也会引发水工钢闸门振动,主要是指潜孔弧门转角处水封漏水会引发水工钢闸门振动,而处于明渠中的水工钢闸门侧水封如果发生漏水则通常不会引发水工钢闸门振动。侧水封漏水引发的振动频率如果与水工钢闸门自身的固有频率相近,则会引发比较强烈的振动,这种现象应给予高度的重视。在漏水冲击闸门顶部结构,或者高速射流冲击顶部水封的情况下,会引发水工钢闸门振动。除此之外,在定水封与胸腔不接触的情况下,会导致部分水流直接绕过门槽上部的顶水封,流入闸门下游侧,对闸门造成一定的冲击,进而引发水工钢闸门振动。

(2) 闸门下游淹没出流的水跃引发振动

如果在下游淹没水流的情况下关闭水工钢闸门或者开启水工钢闸门,则会导致闸门下游出现水跃现象,这种水跃现象具有不稳定的特点,如果直接作用在水工钢闸门上,或者作用在水工钢闸门的梁格上,都会导致水工钢闸门振动现象发生。因此在水工钢闸门应用过程中,应尽量避免引发水跃现象,如果无法规避这种现象,则需要强化闸门自身的刚度,同时也要适当提升水工钢闸门相关链接件的刚度,以便更多的抵御水跃作用造成的影响,消除或者减弱水跃作用引发的水工钢闸门振动。

(3) 门槽空蚀引起的水工钢闸门振动

受高速水流的影响,容易出现空化现象,进而使门槽空蚀受到不利影响。再加之门槽的宽深比不科学,便会导致门槽中水流产生的负压作用到水工钢闸门上,进而使其出现振动现象。

(4) 不气不足引发的水工钢闸门振动

如果空气补充不足,随着夹带于水流下面的空气流出,会导致水流下部出现负压。压力的降低会使流过闸门的水流量增加,而在压力恢复的情况下,流经闸门下部的水流便会减少,水流流量的变化会形成流量波动,进而导致水工钢闸门出现振动现象,并且这种振动现象比较强烈,甚至还会波及水工钢

闸门接触的土建结构,导致其稳定性降低,容易引发安全事故。

2 主要的水工钢闸门振动研究方法

2.1 原型观测法

(1) 动水压力观测

动水即水流,是指流动的水,水的流动会对水工钢闸门造成一定的压力,如果水流产生的压力超过相关标准便会引发水工钢闸门振动。另外,如果水压频率与水工钢闸门结构产生共振,也会使水工钢闸门出现振动现象。因此应加强动水压力观测,监测动水压力方面的数据,实时掌握水流的最高、最小以及平均值,同时了解水流的频谱特征等。以便为相关振动防范措施的制定和实施提供参考依据。压电式脉动压力传感器是动水压力观测的主要设备,借助该设备可以帮助工作人员掌握水流压力特征等方面的数据信息。

(2) 动力响应观测

动力响应观测的对象是水工钢闸门本身,主要观测水工钢闸门的振动应力情况、振动位移情况以及振动加速度等。在动力响应观测过程中,需要借助压电式加速度传感器直接获取闸门动力响应相关数据。除此之外,在动力响应观测过程中也可以应用三维拍摄测量技术来获取水工钢闸门振动位移相关信息。完成数据信息获取后,再借助随机函数理论对水工钢闸门振动的特征进行分析,并合理划分水工钢闸门振动的等级。

(3) 结构动力特征观测

结构动力特征观测的对象为水工钢闸门结构,闸门共振是引发水工钢闸门振动的主要原因之一,通过对水工钢闸门结构动力特征的观测,可以更好地掌握水工钢闸门振动相关情况。实验模态分析法以及工作模态分析法是结构动力特征观测的主要方法,前者又可以细分为共振法、锤击法以及脉动法。在实际的结构动力特征观测中,对锤击法的应用作为广泛。

2.2 模型试验法

模型试验法的应用不仅需要构建水工钢闸门模型,而且还需要模拟水流条件,然后进行试验测试。该方法的应用会受模型质量的影响,同时水流条件的模拟难度较高,难以准确还原实际水流条件情况,因此耐模型试验法的精度不足。模型试验法主要用

于解决水工钢闸门与水体的流固耦合作用问题, 因为应用模型试验法不涉及流固耦合振动理论。但是模型试验法具有成本高、试验复杂以及试验周期长等方面的不足, 这是该方法应用的主要制约因素。

2.3 数值分析法

为解决模型试验法存在的不足, 在计算机技术的支持下, 应用有限元分析软件, 可以水工钢闸门结构以及应力状况等进行计算与分析。以往只能按平面体系进行计算, 但是随着计算机更新的完善, 目前在数值分析法应用过程中会结合完全空间体系建模, 然后结合三维模型进行计算分析。相较于以往的平面体系分析, 全空间体系分析的精准度更高。

3 水工钢闸门防震措施

防止水工钢闸门振动, 应从闸门的设计入手, 通过科学的设计来提升水工钢闸门防振能力, 消除或者降低水工钢闸门振动。在闸门底缘设计过程中, 要保证设计的规范性, 无论是事故闸门还是工作闸门, 其下游倾角均应大于 30° 度, 如果倾角小于 30° 度, 则应采取在底梁上开孔等方式进行补气。另外, 针对利用水柱的平面闸门, 在设计过程中, 应将其上游倾角控制在 60° 度。如果水流的流速较快, 在设计过程中可以将闸门底部主梁设计成为封闭结构。封闭结构可以为水流创造更加平滑的过流面, 有助于水流的顺利通过, 减少对水流的阻滞, 对于改善水流具有十分重要的作用。

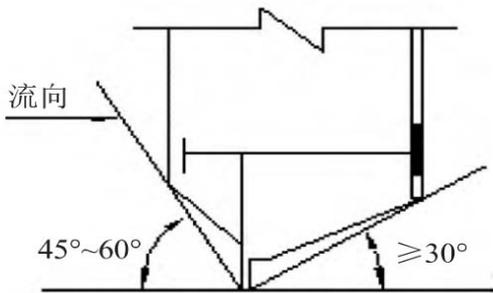


图1 水工钢闸门底缘上下游倾角

在设计平面闸门的过程中, 应注重科学选择门槽型式, 同时要合理确定门槽的尺寸, 这是规避空蚀现象的重要基础。尤其要重点关注 I 型与 II 型门槽的尺寸, 应尽量缩小门槽尺寸, 但是需要确保门槽尺寸能够满足错距比以及宽深比的要求, 同时还要确保门槽的尺寸能够符合买件施工要求, 在此基

础上, 设计时应尽量缩小其尺寸。针对高压闸门或者链轮闸门, 在设计过程中, 由于其属于异形闸门, 并且存在高水头以及高流速的现象, 为保证设计的科学性, 设计时可以借助减压试验或者数值模拟试验的方式获取相关数据, 为设计工作提供参考, 保证异形门槽设计的科学性。

在水工钢闸门设计阶段还需要重点关注止水型式, 加强对闸门漏水量的控制, 通过这种方式来避免射流的发生。另外在设计过程中还要确保止水橡皮的质量。中等水头闸门或者设置在明渠中的水工钢闸门, 在设计过程中应将底水封设计成矩形, 并将硬度标准合格的橡胶作为底水封材料, 通过压制的方式将橡胶材料制作成水工钢闸门底水封。针对该水头水工钢闸门, 底水封同样可以采用矩形形式, 并且应用橡胶压制成型。与中水头水工钢闸门底水封不同的是, 高水头水工钢闸门底水封材料的硬度更强。前者应用的橡胶材料邵氏硬度为 $55-65$ 之间, 而后者应用的橡胶材料的邵氏硬度应为 $75-80$ 。但无论是高水头水工钢闸门还是中水头水工钢闸门, 在设计过程中都应注重把控水封橡皮的渗出量, 通常应将其控制在闸门面板底缘 5 毫米高度范围之内。在高水头闸门设计过程中, 为了避免闸门在启闭过程中不会产生射流, 需要设置防射水水封。

防止水工钢闸门出现振动现象, 除了要做好闸门的设计工作之外, 在操作过程中也要保证操作的规范性与科学性, 如避免在小开度区泄水, 并且在闸门启闭过程中应保证闸门快速通过强振区, 这也是防止水工钢闸门振动的有效措施。再比如, 针对水跃现象不可避免的情况, 则需要提升闸门的刚度等。

4 结束语

振动是水工钢闸门比较常见的现象, 但是强振动不仅会对水工钢闸门本身造成损坏, 引发水工钢闸门故障, 而且还会威胁水工建筑稳定, 甚至会引发重大事故。因此要明确水工钢闸门振动的特性, 分析水工钢闸门振动的原因, 在此基础上探索有效的防振措施, 规避有害振动。

参考文献

- [1] 陈小强, 陈勇, 孙逊, 张磊, 张迅炜, 周建方. 基于三标度法的水工钢闸门综合安全评价[J]. 水利与建筑工程学报, 2021, 1

9(06):113-118.

- [2] 蔡杰龙,李伟康,蔡灿旭,王梓鑫.动态应力分析法在水工钢闸门启闭力检测中的应用[J].广东水利电力职业技术学院学报,2021,19(04):1-4.

收稿日期: 2022 年 10 月 12 日

出刊日期: 2022 年 11 月 16 日

引用本文: 刘长东, 徐爽, 水工钢闸门振动现象及振动特性分析[J]. 工程学研究, 2022, 1(5): 27-30

DOI: 10.12208/j.jer.20220157

检索信息: RCCSE 权威核心学术期刊数据库、中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS