

Research on the Testing Method for the Opening and Closing Force of Hydraulic Metal Steel Gates

Baoshun Feng Jiabao Song Ting Lou Yimin Yu

Huadian Electric Power Research Institute Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310030, China

Abstract

When constructing hydropower stations, different forms of water outlets will be built at multiple locations such as spillways, water inlets, and maintenance ports. The water outlets are usually closed by steel gates, which need to be lifted and released at specific times. At this time, the gate needs to be lifted by a hoist, and the spillway steel gate also plays a role in flood discharge, ensuring that the normal operation of the hoist not only affects power generation production but also plays an important role in flood control. The opening and closing force detection is to obtain the opening and closing force and its process line of the gate during the opening, closing, and holding process, determine the maximum opening and closing force and gate imbalance force, and ensure the safe operation of the opening and closing machine. In the actual testing process, there may be certain deviations in the measurement results obtained using different methods. This requires us to analyze each measurement method, understand its principles, and analyze the advantages and disadvantages of each method, in order to select more scientific testing methods for experimentation.

Keywords

steel gate; opening and closing force; strain gauges; test method

水工金属钢闸门启闭力测试方法研究

冯宝顺 宋家宝 楼挺 余益民

华电电力科学研究院有限公司, 中国·浙江 杭州 310030

摘要

建设水电站时,在溢洪道、进水口、检修口等多处会建设不同形式的出水口,出水口平时通过钢闸门进行封闭,钢闸门在特定的时间需要进行提升放水,此时就需要启闭机将闸门提起,其中溢洪道钢闸门还起到泄洪的作用,确保启闭机的正常运行不光关系到发电生产还在泄洪调控时发挥重要的作用。启闭力检测是获得闸门开启、关闭及持住过程的启闭力及其过程线,确定最大启闭力和闸门不均衡力,确保启闭机的安全运行。在实际检测过程中采用不同的方法测量结果存在一定的偏差,这就需要对每种测量方法进行分析,了解其原理后分析出各种方法的优缺点,从而选用更加科学的检测方法进行试验。

关键词

钢闸门; 启闭力; 应变片; 测试方法

1 启闭力检测的具体意义

启闭力检测是获得闸门开启、关闭及持住过程的启闭力及其过程线,确定最大启闭力和闸门不均衡力,确保启闭机的安全运行。闸门运行多年后,由于支承装置和止水装置的变形、损坏等原因,闸门启闭时的摩阻力变大,启闭力将会增加,从而容易引起启闭机超载,造成启闭机失事。通过实测启闭力,经分析计算出设计水位下的启闭力,并与启闭机的额定启闭力相比较,可得到启闭机启闭闸门的安全系数,判断启闭机启闭闸门的可靠程度^[1]。

【作者简介】冯宝顺(1990-),男,中国山东曹县人,本科,工程师,从事电力企业,如火电厂、风电厂、水电厂特种设备的管理、检验检测及数字化运用等研究。

2 启闭力检测的具体方法

启闭力检测方法有很多种,目前常见的三种方法有:①传统的电测法,启闭机输出主传动轴上粘贴电阻应变计;②吊耳贴片法;③在两根起升钢丝绳上装设2个张力传感器。这三种检测方法的原理不同,通过不同方法的比较,可以让我们得出在实际工况下更加理想的检测方法。

下面就不同的检测方法从原理上进行分析 and 比较。

2.1 传统的电测法

通过在启闭机输出主传动轴上粘贴电阻应变计获取信号,利用导线传递,实现主轴扭矩的测量。电阻应变片通过绝缘速粘胶粘贴在被测受力构件上,并采用高级密封绝缘胶进行密封处理,以保证应变片具有良好的绝缘度。检测时动态应变片的温度补偿采用单个通道应变计的自补偿^[2]。

检测时动态应变计的温度补偿采用每个测点各用一个补偿。对单向应变片：

$$\sigma = \eta / \eta_1 E \varepsilon$$

当量应力采用第四强度理论计算。取 $E=2.06 \times 10^5$ 、 $\mu=0.3$ 。检测用应变计的灵敏系数为 $\eta=2.08$ ，应变计的灵敏系数为 $\eta_1=2.08$ 。检测仪器主要是动态应变测试系统和便携电脑。

单应变片检测启闭力方法一般用在卷扬式启闭机中，测点布置在减速箱输出轴的中部，该部位基本上处于纯扭状态。沿轴线 45° 方向两侧各贴一动态应变片作为测力工作片，如图 1 所示。

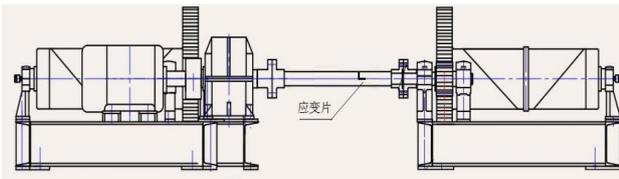


图 1 传动轴贴片示意图

取得测量值后，代入公式计算：

$$F_{拉} = \frac{E \cdot \varepsilon \cdot \eta}{1 + \mu} \cdot \frac{\pi}{16} \cdot d^3 \cdot \frac{i}{r} \cdot \eta_{齿轮} \cdot \eta_{卷筒}$$

式中： E ——弹性模量， 2.06×10^5 MPa；

ε ——所测应变值；

μ ——泊松比，0.3；

d ——传动轴直径，m；

i ——大小齿轮传动比；

r ——卷筒半径，m；

$\eta_{齿轮}$ ——齿轮传动效率，取 0.93；

$\eta_{卷筒}$ ——卷筒传动效率，取 0.95。

2.2 吊耳贴片

闸门启闭过程中启闭力不断变化，检测时各测点的应力应变数据应连续采集，以得到完整的启闭力变化过程线，以确定最大启闭力。测点对称布置在闸门顶部左、右两个吊耳的两块钢板上，在每块钢板的中轴线和边缘处各粘贴 2 个工作应变片。测试过程中要考虑温度影响，粘贴温度补偿片以修正测试结果^[3]，如图 2 所示。

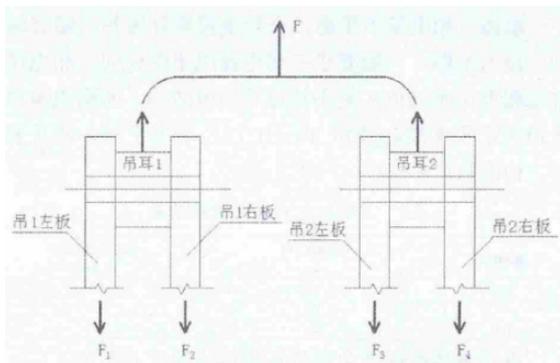


图 2 吊耳贴片示意图

检测数据处理：实测数据反映的是单块吊耳钢板在启闭作用下产生的拉伸应变值。第 i 块吊耳钢板所受的拉力由下式计算，即：

$$F_i = \sigma_i A_i = E \varepsilon_i A_i, \quad i=1 \sim 4$$

式中： F_i ——第 i 块吊耳钢板所受的拉力，kN；

σ_i ——第 i 块吊耳钢板上单向测点所在截面上的均布应力，MPa；

E ——钢材的弹性模量 ($E=2.06 \times 10^5$)，MPa；

ε_i ——第 i 块吊耳钢板上单向测点所在截面上的平均应变，me；

A_i ——第 i 块吊耳钢板上单向测点所在截面的面积 ($A_i=B_i \times t_i$ ， B_i 和 t_i 分别为第 i 块吊耳钢板的宽度和厚度)。

2.3 在钢丝绳上装设张力传感器

采用张力传感器分别安装在起升钢丝绳上，检修闸门开启，工作闸门全闭，工作闸门处于上游水位作用下，此时仪器调零。工作闸门做启闭过程：启门保持一段时间后一次性落闸门至全闭，在此过程中检修闸门一直处于开启状态。在起升过程中测得动态最大总启闭力，在起升停止时测得静态总启闭力，将测量数据与卷扬机的额定起重量进行比较^[4]。钢丝绳压力传感器安装如图 3 所示。



图 3 钢丝绳压力传感器安装示意图

3 不同检测方法的比较

吊耳贴片的不足之处：影响左、右吊点不平衡性的因素很多，闸门因素如门体尺寸、导轮的灵活性、吊耳的位置，钢丝绳的因素，周边约束如边导轨尺寸、表面不平整等，外界附加因素如波浪和风荷载等。在钢丝绳上装设张力传感器的不足之处：大应变时的非线性输出；较弱的输出信号；钢丝绳的腐蚀、变形、弯折和磨损；安装角度不对，在使用过程中随着时间的推移，安装角度也会出现偏移。传统的电测法具有受外界环境影响小的特点，所以在实际应用中多选用该方法。

4 工程实例

某水工钢闸门由 2 个吊点进行启闭，吊点间通过主传动轴连接，设计启闭力为 2×400 kN。本次启闭力检测选用传统的电测法，通过在启闭机输出主传动轴上 45° 方向粘

贴电阻应变计获取信号,实现主轴扭矩的测量,检测时各测点的应力应变数据应连续采集,以得到完整的启闭力变化过程线,以确定最大启闭力。应变片粘贴如图4所示,钢闸门启闭时应力变化过程如图5所示。

在应力测试监测图表中找出启门和闭门过程中的最大

应变值,通过公式计算出启闭力,将测的值与设计值进行比较,从而分析出闸门的安全系数(表1)。

在钢闸门启闭力测试过程中,闸门启闭动作平稳,能够正常开启和关闭。实测工况下钢闸门启闭力小于启闭机容量,满足设计要求。



图4 应变片粘贴示意图

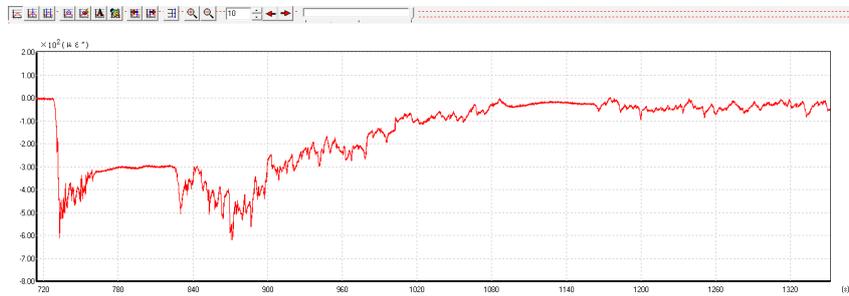


图5 钢闸门启闭时应力变化过程

表1 启闭力检测结果对比表

名称		启门过程最大力 (kN)	闭门过程最小力 (kN)	启门力 (kN)	闭门力 (kN)	额定容量
钢闸门	左侧吊点	232	203	467	403	2 × 400kN
	右侧吊点	235	200			

5 结语

启闭力检测的方法有很多种,不同的方法测量结果存在一定的偏差,这就需要对每种测量方法进行分析,了解其原理后分析出各种方法的优缺点,从而选用更加科学的检测方法进行试验。但是并不是每次都选用同一种方法,我们要结合实际情况,选择符合现场工况需求的检测方法,同时具备对检测结果进行分析的能力。

参考文献

- [1] 郭浩,张建,徐建洪.一种应用在抽水蓄能电站中的固定式启闭机控制技术[J].四川水利,2024,45(3):114-118.
- [2] 蔡杰龙,张君禄,李伟康,等.基于不同启闭形式的水工钢闸门启闭力检测方法适应性探讨[J].广东水利水电,2021(9):56-61.
- [3] 段立辉.恰甫其海电站中孔泄洪闸门应力检测及分析[J].水利建设与管理,2014,34(11):65-69.
- [4] 薛宇飞,褚永朋,王恺,等.基于无线传输技术的钢丝绳状态监测系统设计与实现[J].电子技术,2024,53(5):172-173.