

水电站潜没式弧形闸门结构应力测试与分析

Stress test and analysis of submerged radial gate
structure of hydropower station

朱晨,徐要伟,于淑敏
ZHU Chen, XU Yaowei, YU Shumin

(华电郑州机械设计研究院有限公司, 郑州 450046)
(Huadian Zhengzhou Machinery Design and Research Institute Company
Limited, Zhengzhou 450046, China)

摘要:为准确测量水电站潜没式弧形闸门的结构强度,在水电站调节水位时,采用应变电测法对某水电站潜没式弧形闸门进行3个工况下的结构应力测试,考虑到潜没式弧形闸门的特殊工况,对电阻应变计进行了有效防护,以保证测试系统的稳定。测试结果显示,测试系统稳定,各测点数据正常。结合弧形闸门运行状态对测试数据进行分析,掌握弧形闸门的应力分布情况,评价弧形闸门的结构强度安全。

关键词:水电站;潜没式弧形闸门;应力测试;电阻应变片;防护;结构强度

中图分类号:TV 663⁺.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2019)09-0033-03

Abstract: In order to measure the structural strength of the submerged radial gate of hydropower station, strain electrical measurement method is used to test the structural stress of a submerged radial gate under three working conditions when hydropower station adjusts its water level. Considering the special working condition of submerged radial gate, effectively protection is made on resistance strain gauge to ensure the stability of the test. The test results show that the test is stable and the data of each test point is normal. The test data is analyzed in combination with the running state of the radial gate, the stress distribution is obtained. And the safety of structural strength of the radial gate is evaluated.

Keywords: hydropower station; submerged radial gate; stress test; resistance strain gauge; protection; structural strength

0 引言

闸门是水力建筑物中活动的挡水结构,用于关闭、开启或局部开启过水孔口,以控制水位、调节流量、过运船只、排放泥沙等。因此,在水利工程兴利除害过程中,闸门是发挥关键作用的结构物,它的安全性和适用性,在很大程度上影响着整个水力建筑物的运行效果^[1]。高水头水电站的表孔弧形闸门主要承受上游水载荷,应力测试过程中只需对应变计做简单防护,便可以达到较好的测试效果。而潜没式弧形闸门不仅承受上游水载荷,下游回水的载荷同时也对闸门结构产生影响,测试过程中,部分关键测点长期浸泡在水中,仅做简单的防护是不够的,需对应变计进行防护,以保证测试系统可获得准确的应力数据,从而评价闸门结构的安全性。

1 测试条件

1.1 闸门参数

某水电站由左岸河床式厂房、拦河闸坝和右岸连接坝等建筑物组成,装设6台灯泡贯流水轮发电机组。拦河闸坝坝段有5孔泄洪孔,共设有5扇弧形闸门。孔口尺寸为13.0 m×16.0 m(宽×高),底槛高程为528.0 m,正常蓄水位为554.0 m,设计水头为26.0 m,电站满发流量尾水位为538.1 m。闸门形式为主横梁、斜支臂、圆柱铰,面板曲率半径为26.0 m,主要材质为Q345B。闸门动水启闭,可局部开启。

1.2 测试系统

本次测试采用应变电测法,将电阻应变片粘贴在被测构件的测点处,使其随同构件变形,将构件测点处的应变转换为电阻应变计的电阻变化,便可确定测点处的应变,进而按胡克定律得到其应力^[2]。测试系统由电阻应变计、应变适调器、动态应变仪及

数据存储设备组成,如图 1 所示。电阻应变计采用 BE120-4AA(11)型单向电阻应变计、BE120-4BB(11)型双向电阻应变计及 BE120-2CA(11)型三向电阻应变花,应变适调器为 DH3810N-1 型,动态应变仪为 DH5922N 型动态信号测量系统,采用 1/4 桥接法进行测量,并设置温度补偿。

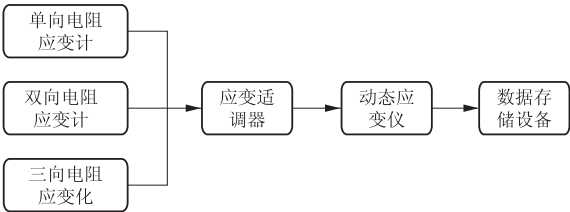


图 1 测试系统
Fig. 1 Test System

1.3 测点布置

在对弧形闸门运行工况进行基本受力分析的基础上,结合现场测试经验,此次应力测试将测点布置于水工钢闸门的主梁、边梁、支臂、面板、吊耳等受力构件上^[3]。#1 弧形闸门结构静应力测试共布置 32 个测点,其中上主横梁 6 个、下主横梁 6 个、面板 4 个、边梁 2 个、吊耳板 1 个、支臂 13 个,如图 2 所示。

支臂测点布置(视向顺水流方向):闸门右侧上、下支臂各布置 6 个测点(Y1-6—17),成对布置在支臂翼板和腹板上,裤衩处布置 1 个测点(Y1-5);每个测点布置 1 个单向应变计。主横梁测点布置:上、下主横梁跨中及支承部位各布置 6 个测点;上、下主横梁翼板各布置 2 个单向应变计(Y1-1—4),上、下主横梁腹板各布置 4 个三向应变花(Y3-1—8),测量主梁腹板 3 个方向的应变,通过计算可得到主应力 σ_1, σ_2 及夹角 θ 。面板测点布置:面板上、下主横梁跨中及支承部位共布置 4 个测点(Y2-1—4);每个测点布置 1 个双向应变计,测量 $0^\circ, 90^\circ$ 方向的应变,其中 0° 为沿主横梁长度方向, 90° 为垂直主横梁腹板方向。边梁测点布置:侧边梁靠近上主梁处的腹板、翼板各布置 1 个单向应变计(Y1-18—19)。吊耳板测点布置:左侧吊耳板处布置 1 个三向应变花(Y3-9)。

1.4 应变计防护

潜没式弧形闸门运行工况较特殊,在闸门关闭和小角度局部开启时,闸门部分结构淹没于下游回水中,部分测点位于水位以下,必须进行有效防护,确保应变计的稳定和采集数据的准确性。测试过程如下。

- (1) 记录测试的环境温度和湿度变化情况。
- (2) 在应变计试板上粘贴应变计。
- (3) 对试板上的应变计进行防护。在应变计和

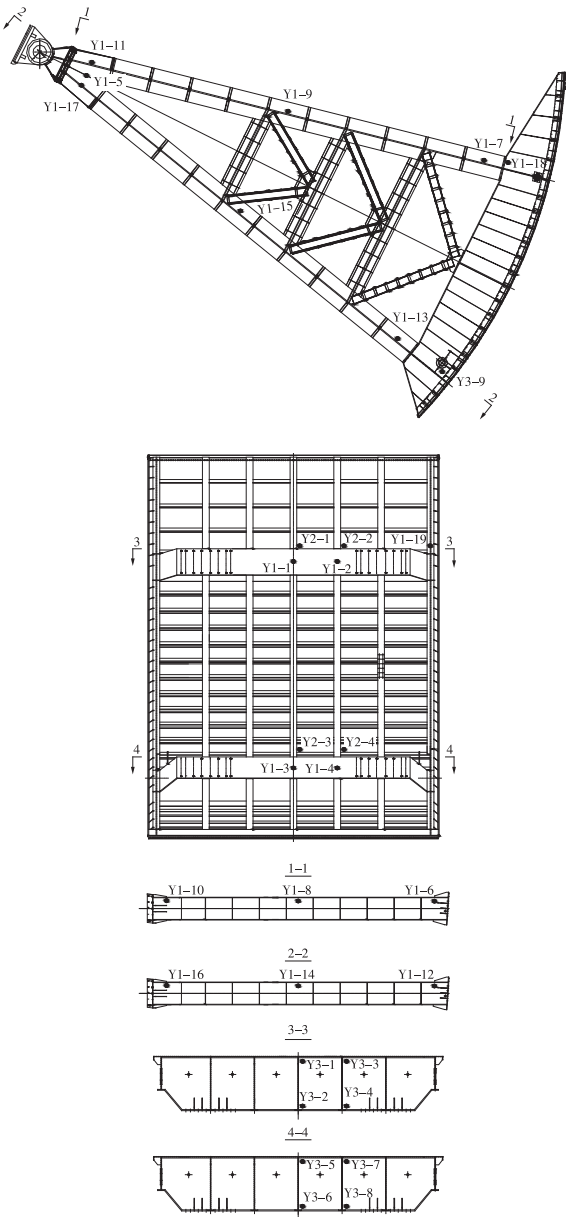


图 2 应力测试布点位置示意
Fig. 2 Location of stress test points

接线端子上覆盖防护涂层,防护涂层由溶剂 A 和溶剂 B 混合而成,具体配比根据现场测试的环境条件确定。涂层的厚度和面积根据应变计尺寸确定,试板上的涂层参数(厚度和面积)应和实际布点时保持一致。

- (4) 模拟现场环境,检验防护效果,检查接线端子是否短路或应变计是否进水。
- (5) 对试板加载,根据理论值和实测值的差异,确定防护处理后应变计的修正系数(如差异较大,应对实测数据进行修正)。
- (6) 通过以上步骤对防护方法进行验证后,采用验证的参数对实际测点进行防护。

2 测试过程与数据采集

为全面掌握弧形闸门工作状态的应力分布,考

虑潜没式弧形闸门的特殊工况,此次测试以上游检修闸门挡水,下游弧形闸门开度为 8.5 m 时为初始状态,整个测试过程包含以下 3 个工况。

工况 1:初始状态,上游水位 554 m,上游检修闸门挡水,弧形闸门开度为 8.5 m。此时闸门位于下游回水水位以上,只承受自重载荷,无其他载荷施加。测试系统平衡清零并进入采集状态。工况 2:弧形闸门由初始状态关至 0 m 开度。此时下游回水载荷施加于门体。工况 3:充水平压,上游检修闸门提起出水面。此时上游静水压力载荷全部施加于闸门门体,测试数据反映闸门最终状态应力分布情况,测试完毕。测试结果见表 1。

表 1 #1 弧形闸门应力测试结果

Tab.1 Stress test results of No.1 radial gate

测点编号		测试应力值/MPa		测点编号	测试值	
Y1-1		39		Y3-1	σ_1/MPa	-35
Y1-2		26			σ_2/MPa	-71
Y1-3		34			$\theta/(^{\circ})$	19
Y1-4		23		Y3-2	σ_1/MPa	15
Y1-5		-56			σ_2/MPa	-21
Y1-6		-95			$\theta/(^{\circ})$	21
Y1-7		-92		Y3-3	σ_1/MPa	-9
Y1-8		-93			σ_2/MPa	-67
Y1-9		-95			$\theta/(^{\circ})$	40
Y1-10		-94		Y3-4	σ_1/MPa	19
Y1-11		-91			σ_2/MPa	-45
Y1-12		-79			$\theta/(^{\circ})$	33
Y1-13		-76		Y3-5	σ_1/MPa	-27
Y1-14		-85			σ_2/MPa	-78
Y1-15		-82			$\theta/(^{\circ})$	39
Y1-16		-73		Y3-6	σ_1/MPa	14
Y1-17		-79			σ_2/MPa	-44
Y1-18		-92			$\theta/(^{\circ})$	20
Y1-19		-91		Y3-7	σ_1/MPa	-14
Y2-1	σ_x	-46			σ_2/MPa	-56
	σ_y	-24			$\theta/(^{\circ})$	14
Y2-2	σ_x	-30		Y3-8	σ_1/MPa	23
	σ_y	-11			σ_2/MPa	-48
Y2-3	σ_x	-80			$\theta/(^{\circ})$	35
	σ_y	-76		Y3-9	σ_1/MPa	-50
Y2-4	σ_x	-78			σ_2/MPa	-76
	σ_y	-70			$\theta/(^{\circ})$	27

表 1 中:双向片 σ_x, σ_y 分别对应测点 0° 方向和 90° 方向的应力值;三向片 σ_1, σ_2 分别为测点最大主应力和最小主应力; θ 为最大主应力与应变计 0° 方

向夹角;应力值“-”表示压应力。

3 数据分析

(1) #1 弧形闸门最大静应力值为 -95 MPa, 分别位于测点 Y1-6(右上支臂从面板向支铰方向,第 1 梁格内侧翼板上靠近腹板处)和测点 Y1-9(右上支臂从面板向支铰方向,第 6 梁格腹板上靠近内侧翼板处);面板最大应力点为测点 Y2-3(下主梁上部左起第 3 纵梁与第 4 纵梁之间面板中心),应力值为 -80 MPa(σ_x ,沿面板宽度方向);主梁最大静应力点为测点 Y3-5(下主梁左起第 3 梁格,主梁腹板靠近面板处),应力值为 -78 MPa;边梁最大静应力点为测点 Y1-18(左侧边梁与上支臂相交处),应力值为 -92 MPa;吊耳最大静应力点为测点 Y3-9(左侧吊耳板处),应力值为 -76 MPa。

(2)测试数据表明,弧形闸门的构件中支臂的工作应力相对较大,在运行中应重点关注。

(3)通过对比上、下支臂的应力数据可知,下支臂的应力值较上支臂的应力值小,主要原因是受下游回水施加的反向载荷作用,使其结构偏于安全。

(4)弧形闸门工作状态下,结构最大应力值为 -95 MPa。按 NB 35055—2015《水电工程钢闸门设计规范》的要求,该测点许用应力值为 220 MPa^[4],实测值低于许用应力值,满足要求且安全裕度较大。

4 结论

测试过程中各测点数据稳定,无异常点,说明应变计的防护效果良好,满足特殊工况下的测试要求。各测点数据的变化趋势与弧形闸门荷载的变化趋势一致,说明测试系统稳定。对应测点的数据一致性较好,说明测试效果良好。通过应力测试,掌握了弧形闸门工作状态下的结构应力分布情况,与许用应力进行对比,评价弧形闸门结构强度安全。

参考文献:

[1]范崇仁.水工钢结构设计[M].北京:中国水利水电出版社,1999.
[2]孙训方,方孝淑,关来泰.材料力学[M].北京:高等教育出版社,2002.
[3]水工钢闸门和启闭机安全检测技术规程:DL/T 835—2003[S].
[4]水电工程钢闸门设计规范:NB 35055—2015[S].

(本文责编:刘芳)

作者简介:

朱晨(1986—),男,河南西峡人,工程师,从事特种设备起重机械产品的型式试验和电力工业金属结构设备的质量检测工作(E-mail:zhuc@chec.com.cn)。