

# 改变启闭方式后的某闸墩加固有限元应力对比分析

胡国平<sup>1,2</sup>,王姣<sup>1,2</sup>,严卓<sup>1,3</sup>,周清勇<sup>1,2</sup>

(1. 江西省水利科学研究院,江西 南昌 330029;2. 江西省水工安全工程技术研究中心,江西 南昌 330029;  
3. 河海大学水利水电学院,江苏 南京 210098)

**摘要:** 本文通过三维有限元对比分析,随着闸门启闭方式改变、闸墩上部加固改造后闸墩的各部位最大拉、压应力值及应力分布均相比加固前有较大变化,尤其是在牛腿、闸墩新老混凝土及液压杆支铰座处等应力明显集中、增大,计算结果可为溢流坝段的安全运行提供技术支撑。

**关键词:** 启闭方式;改变;闸墩加固;有限元;应力分析

**中图分类号:** TV662+.2 O241.82 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4701(2016)02-0079-04

## 1 概述

某水库于1970年10月兴建,至1985年4月工程全部竣工,工程枢纽建筑物主要有大坝、输水隧洞、放空隧洞、发电厂房、渠系建筑物等,是一座具有灌溉、防洪、发电、养殖、旅游等综合利用的中型水利工程。2009年鉴定该水库大坝为三类坝,其中溢流坝段、工作桥、交通桥及启闭设备等存在诸多险情,需对其进行除险加固。

加固前有闸控制溢洪道位于大坝中间,堰型为克-奥实用堰,控制闸共设3孔,每孔净宽为12.00 m,采用3扇12.00 m×7.95 m弧型闸门控制,工作桥两根纵梁均为现浇T形梁,两端都简支于闸墩上,共3跨,每跨净宽12.00 m。工作桥启闭平台布置3台启闭机,型号为QPQ-2×25 t卷扬式启闭机。

根据金属结构加固设计,溢洪道3扇弧形闸门及启闭机均须更新。更新启闭机时有两种方案进行选择:①仍选用卷扬式启闭机,并设置工作桥,在工作桥下游的闸墩顶部新布置交通桥,并通过转折方式与自由溢流坝段的交通桥连接;②启闭机更换为液压式启闭机,启闭机直接布置在闸墩侧,墩顶布置启闭机控制房,不需设置工作桥,而在原工作桥位置布置交通桥。采用液压启闭机,省去了坝顶启闭机工作桥,坝面布置紧凑,不影响交通,经方案比选后采用液压式启闭机(QHLY-A-2

×500 kN)方案。

每个溢流孔口液压式启闭机布置于两侧闸墩边,启闭机通过液压杆件与弧形闸门底部纵梁加强焊件以铰链相连,液压杆件的另一端支铰固定部件则埋设于闸墩里。根据现有的闸墩上部结构情况,闸墩顶部需做局部的加高,以满足启闭机的布置要求,兼顾闸墩顶部的交通要求,闸墩加高顶面成台阶形,两侧设置防护栏杆,在原墩顶下游侧,紧靠加高部分新建启闭机配套控制设备房<sup>[1]</sup>。

## 2 加固前后有限元对比分析

更换启闭设施后,顶部新增闸墩体后需承受液压杆的全部作用力,为了研究加固处理后闸墩应力分布情况,本文根据加固后的实际受力条件及现状结构强度情况复核弧形闸门支撑牛腿的结构强度,并对比分析加固前应力状态。

### 2.1 有限元计算模型及参数

取溢流坝段中墩为研究对象,模型整体宽度14.50 m,顺河流向长69.00 m。模型x轴方向与河道方向平行,取顺河流向为正;取竖直向为y轴方向,向上为正;取坝轴线方向为z轴,水平向右为正(从上游往下游)。为使模拟时更能反映真实情况,在划分网格时,在闸墩牛腿及液压启闭机与闸墩链接处进行了局部加密。整

个闸墩有限元模型总共有单元 12 356 个,总节点数为 13 925 个,其中大部分采用八节点线性六面体单元,单

元类型为 C3D8;部分区域采用六节点线性五面体单元,单元类型为 C3D6。

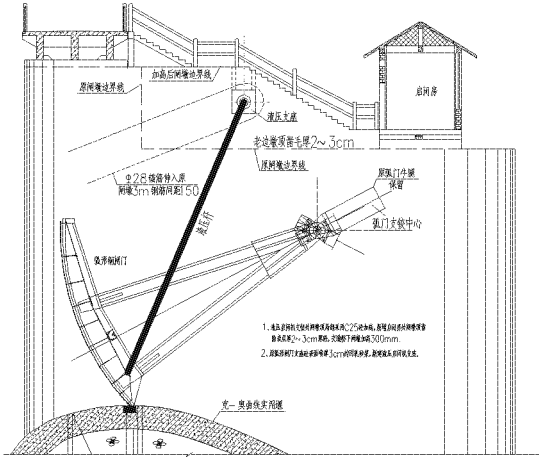


图 1 加固后闸墩上部结构剖视图

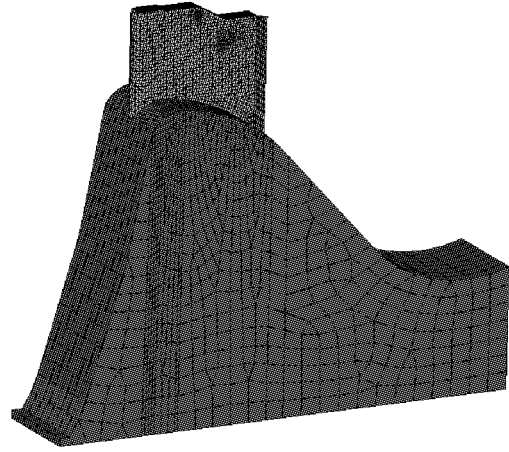


图 2 加固后闸墩有限元网格模型

### 2.1.1 材料参数及计算荷载

因工程运行时间较长,缺少闸墩处的配筋图,已很难确定钢筋的具体分布情况,在有限元建模时对该部分进行简化处理,闸墩部分的弹模值参照类似工程选取。闸墩混凝土为 C25,弹性模量取 28 GPa,泊松比 0.167,重度为 24.5 kN/m<sup>3</sup>;溢流坝砌石体部分弹性模量为 7.0 MPa,重度为 21 kN/m<sup>3</sup>。计算水压力时上游水位为 220.00 m 高程,下游水位为 169.65 m;交通桥荷载合计为 1 082 kN;启闭机及控制房自重合计 340 kN;根据计算得出,静水状态下即启闭机不工作时,沿牛腿轴向的闸门推力为 1 835.5 kN,启闭机工作时,沿牛腿轴向的推力为 1 962.16 kN,垂直于牛腿轴向的力为 107.83

kN;液压启闭机工作时,液压杆件传递给支铰处的拉力为 225 kN。

### 2.1.2 计算工况

闸墩应力有限元计算工况为①工况 1:全部闸门挡水;②工况 2:两侧闸门同时开启;③工况 3:一侧闸门开启。

### 2.2 加固后计算成果

经计算,各工况最大拉应力分布在牛腿与闸墩相交处,随着闸门开启,在启闭力的作用下闸墩外表面及新老混凝土结合面处最大拉应力亦随之增大。各工况典型截面最大拉应力及最大压应力如表 1 所示。限于篇幅,本文仅列工况 2 对应的闸墩应力云图如图 3 所示。

表 2 各工况典型截面最大应力

MPa

名称	外表面应力					新老混凝土结合面应力				
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$
工况 1	0.82	-0.50	0.16	1.05	-1.01	0.18	-0.14	0.02	0.19	-0.14
工况 2	0.85	-0.59	0.17	1.14	-1.09	0.20	-0.15	0.02	0.22	-0.16
工况 3	0.86	-0.59	0.17	1.13	-1.08	0.19	-0.16	0.02	0.23	-0.16

注:表中以拉应力为正,压应力为负。

为了解新增二期混凝土部分的应力分布情况,对各工况闸墩上部即加固部分混凝土应力单独进行分析。

由于启闭力及启闭机房自重,各工况下加固部分混凝土最大拉应力均出现在混凝土上部折坡处。同时,由

于启闭机液压杆与混凝土铰接处有启闭力作用,出现明显应力集中情况。工况 2 加固混凝土部分应力云图如图 4 所示。

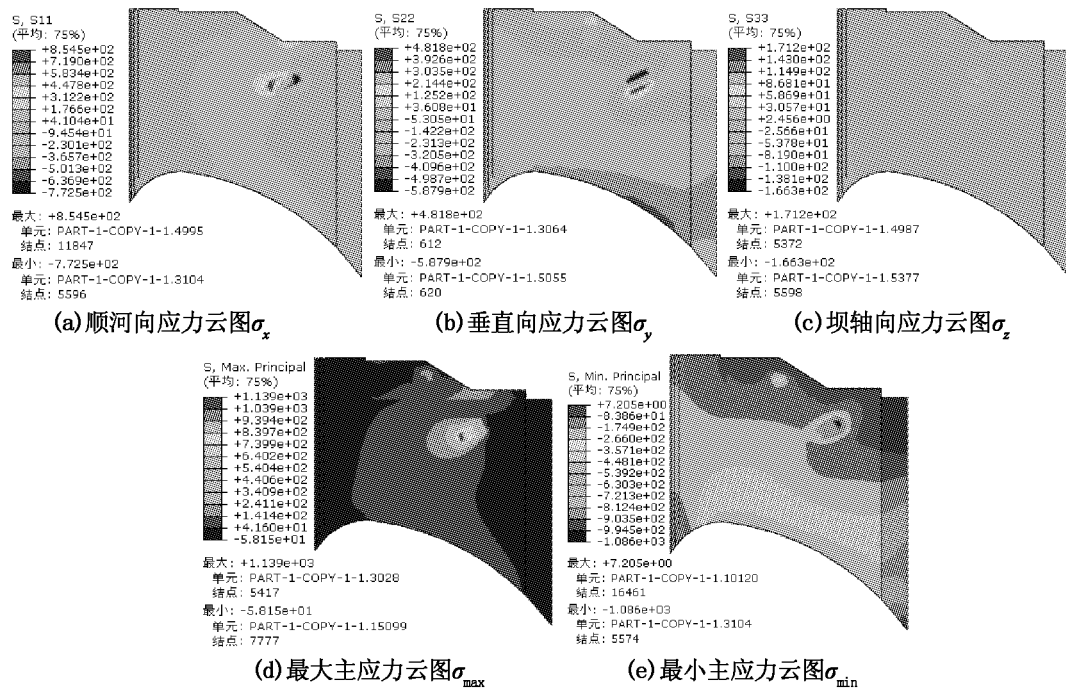


图 3 工况 2 两侧闸门同时开启时闸墩应力分布图

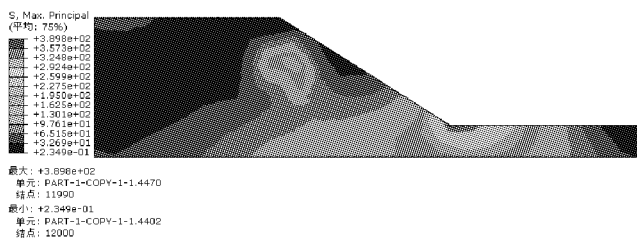


图 4 工况 2 闸墩加固部分混凝土应力云图

### 2.3 加固前闸墩应力复核

选取加固前的闸墩作为研究对象,由以上应力复核结果可知,闸墩两边闸门同时开启时为最不利工况。因此设定加固前闸墩应力计算工况为闸墩两边同时开启泄洪,此时闸墩受力有牛腿处闸门传递的水推力、闸门自重、上游水压力、工作桥及启闭机自重、启闭力、行人车辆自重等。对闸墩模型进行三维有限元应力复核,得到该工况下加固前闸墩部分的混凝土应力云图(如图 5 所示)。

在该开启工况下,由加固前闸墩的应力分布云图可知,闸墩的最大拉应力同样出现在牛腿处,最大值为  $0.21 \text{ MPa}$ ;最大压应力出现在闸墩与溢流坝面结合处,最大值为  $0.52 \text{ MPa}$ 。

### 2.4 计算成果分析

(1)在闸门挡水情况下,闸墩表面应力均较小,仅

在弧形闸门支座与闸墩相交处,由于结构形状变化很大,牛腿受到闸墩墙体的刚性约束,应力分布急剧变化,出现明显的应力集中现象。结构最大拉应力及最大压应力均出现这一区域,最大拉应力达  $1.14 \text{ MPa}$ ,最大压应力为  $1.09 \text{ MPa}$ 。由应力云图可知,随着沿牛腿轴向距离的增加,应力值衰减迅速。

(2)在新老混凝土结合面处,最大拉应力值为  $0.23 \text{ MPa}$ ,最大压应力为  $0.16 \text{ MPa}$ ,均满足规范允许值。

(3)在液压启闭杆拉力及各自重作用下,闸墩加固部分混凝土最大拉应力值均出现在混凝土上部折坡处,其中最大拉应力值为  $0.39 \text{ MPa}$ 。液压杆支铰处出现应力集中现象,最大拉应力在  $0.20 \text{ MPa}$  左右,应力值满足规范允许值。

(4)通过对比加固前后两侧闸门同时开启时闸墩应力分布可知,加固后闸墩应力分布相比加固前都有较大变化。其中闸墩最大拉应力值均出现在牛腿与闸墩结合处,但加固后最大拉应力值明显增大,加固前最大拉应力值为  $0.21 \text{ MPa}$ ,加固后的值为  $1.14 \text{ MPa}$ ;加固前最大压应力出现在闸墩与溢流坝面结合处,值为  $0.52 \text{ MPa}$ ;加固后最大压应力出现在牛腿与闸墩结合处,值为  $1.09 \text{ MPa}$ 。说明由于受力条件的改变,加固后闸墩的最大拉、压应力相比加固前都有所增大。

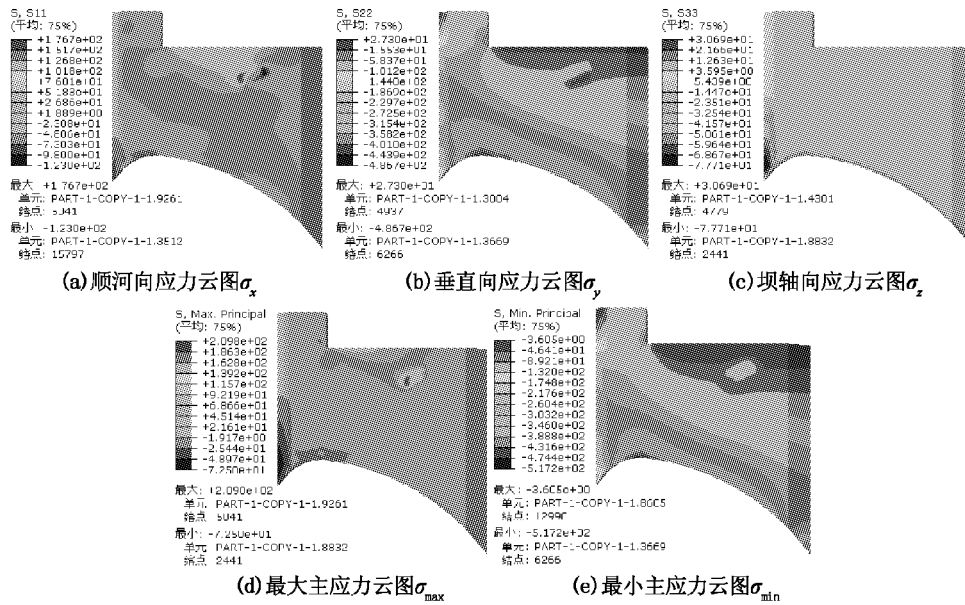


图5 加固前两侧闸门开启时闸墩应力分布云图

### 3 结 语

通过有限元对比分析闸墩加固前后各部位应力分布情况发现,闸墩的各部位最大拉、压应力值及应力分布均相比加固前有较大变化,最大拉、压应力值有所增大,出现应力集中区域更明显,这反映了随着闸门启闭方式的改变、闸墩上部加固改造后,闸墩应力已发生了显著的变化,尤其是在牛腿、闸墩新老混凝土及液压杆支铰座处等应力明显集中、增大。基于此,为了溢流坝段正常泄洪、闸门及

启闭设施的安全运行,建议在闸墩新老混凝土接触部位埋设测缝计;采用高标号水泥砂浆填塞弧形闸门支铰座与牛腿之间空隙;加强对金属结构及启闭设备的检查、维护,防止闸门发生卡、堵现象,尤其是闸门开启运行时,密切关注其变化,确保闸门正常工作。

#### 参考文献:

[1] 江西省上饶市水利电力勘测设计院. 广丰县军潭水库水库除险加固工程初步设计报告[R]. 2011, 6.

编辑:张绍付

## Comparative analysis of stress in the reinforced pier with changed operation style by using the finite element method

HU Guoping<sup>1,2</sup>, WANG Jiao<sup>1,2</sup>, YAN Zhuo<sup>1,3</sup>, ZHOU Qingyong<sup>1,2</sup>

(1. Jiangxi Provincial Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China;

2. Jiangxi Provincial Engineering Technology Research Center on Hydraulic Structures, Nanchang 330029, China;

3. Hydraulic and Hydroelectrical School, HOHAI University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Through 3D finite element comparative analysis, this paper finds out that after reinforcement and changing the way of opening and closing, the largest tensile and compressive stress and the stress distribution in the pier changes a lot. Especially in the bracket, new and old concrete and the ground base of hydraulic lever, the stress concentrates and increases obviously. The calculation results can provide technical support for safe operation of the overflow dam.

**Key words:** Open/close way; Change; Pier reinforcement; Finite element; Stress analysis

翻译:邹晨阳