

拱坝泄洪表孔工作弧门支撑结构设计研究

谭毅¹, 肖妮², 贾嘉鑫³

(1. 江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029; 2. 水利部农村电气化研究所, 浙江 杭州 310000;
3. 江西省萍乡市建筑设计院, 江西 萍乡 337000)

摘要: 本文对带孔口拱坝整体模型进行有限元分析, 研究同一工况下, 弧门支座结构不同对拱坝孔口应力的影响。计算得到了不同结构形式下孔口群应力的分布范围等。比选两种形式的弧门支座结构形式, 分析不同结构形式下应力分布, 为表孔弧门支座结构设计提供参考。

关键词: 工作弧门; 支撑结构; 有限元; 应力分析

中图分类号: TV34

文献标识码: A

文章编号: 1004-4701(2017)02-0112-05

1 概述

某水电站位于雅砻江中游河段上, 水库总库容为 5.125 亿 m^3 , 正常蓄水位为 2 094.00 m, 调节库容为 0.5385 亿 m^3 , 水电站为一等、大(1)型工程。工程枢纽主要由混凝土双曲拱坝、泄洪消能建筑物和地下引水发电系统等组成, 主要水工建筑物为 1 级建筑物, 坝后水垫塘及其它次要建筑物为 3 级建筑物, 其中混凝土拱坝坝顶高程 2 102.00 m, 最大坝高 155.00 m。

拱坝坝身布置 3 个泄洪表孔和 4 个泄洪中孔。每个表孔尺寸为 12.00 m $\times$ 8.00 m (长 $\times$ 宽), 堰顶高程为 2 080.00 m。每个中孔尺寸为 5.50 m $\times$ 7.00 m (长 $\times$ 宽), 堰顶高程为 2 029.00 m。表、中孔出口处最大单宽流量分别达 176 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ 和 222 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ 。

根据狭河谷、陡边坡、高水头、大泄量等特点, 工作弧门的支撑结构设计是水利枢纽建设的关键, 它影响着整个水利枢纽的安全运行^[1-4]。本文对泄洪表孔工作弧门支撑结构设计形式进行研究。

2 计算模型

为研究表孔弧门支座结构型式对闸墩应力的影响, 分别计算表孔弧门支座采用支撑大梁式及普通锚块式

时, 孔口群应力分布及闸墩应力的分布范围等, 并优选支座结构方案。

2.1 有限元计算模型

根据施工过程和计算分析要求需要, 模拟坝身 3 个表孔、4 个深孔以及相应的闸墩结构, 建立了网格模型, 地基沿上坝面与建基面交线最低点往下取 1.5 倍坝高, 坝前取 2 倍, 坝后取 2.5 倍, 大坝两侧取一倍坝高。拱冠梁坝踵上游坝体根据右岸坝体不同材料交界面分层, 将大坝分为 8 层, 坝体地基根据表 1 变模系数不同分层, 将左右岸地基均分为 9 层。坝底拱上游面拱冠处坐标为 (0, 0, 1 947)。整体有限元模型节点数为 129 749, 单元数为 111 368, 其中坝体单元数 59 774。网格模型如图 1 ~ 图 4 所示。 x 轴取为顺河向, 指向下游为正; y 轴取为横顺河向, 指向左岸为正; z 轴取为竖向, 向上为正; 坐标系符合右手螺旋规则。采用六面体八结点等参单元进行离散。

2.2 材料参数及计算荷载

根据工程设计要求, 本文考虑的工况是: 正常蓄水, 弧门全关。荷载有: 自重、静水压力、弧门推力、温度荷载、泥沙压力。上游正常蓄水位为 2 094.00 m, 下游水位为 1 988.50 m, 淤砂浮容重为 0.5 $\times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 淤砂内摩擦角为 0°。材料主要采用 C₃₀ 混凝土, 混凝土的弹性模量取为 22.0 GPa。主要参数见表 2。结构钢筋采用 HRB400 钢筋, 抗拉强度设计值采用 360 N/mm²;

收稿日期: 2016-12-27

作者简介: 谭毅 (1991-), 男, 硕士, 助理工程师。

钢绞线采用 1×7 类型,公称直径 15.2 mm,抗拉强度标准值为 1 860 N/mm²,抗拉强度设计值为 1 320 N/mm²。

拱坝坝基可分层概化模拟,综合变模取值见表 1,拱坝各特征高程温度荷载如表 3,弧门推力作用如表 4。

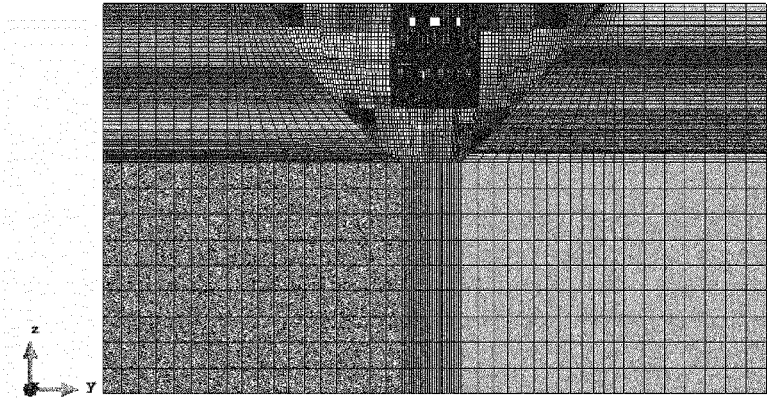


图 1 拱坝主视图

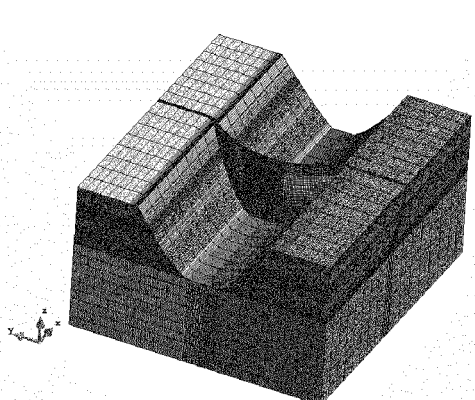


图 2 拱坝等轴视图

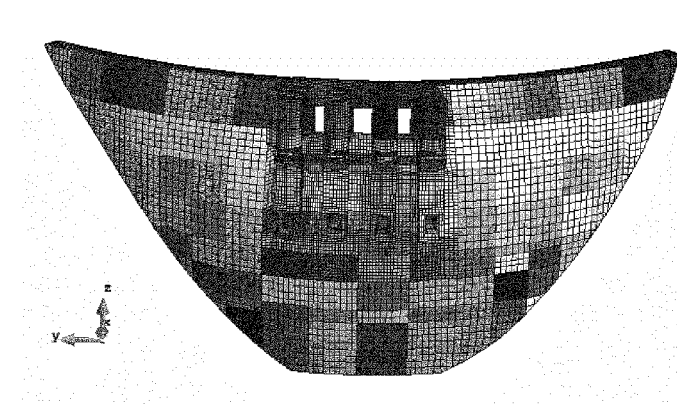


图 3 拱坝上游面立视图

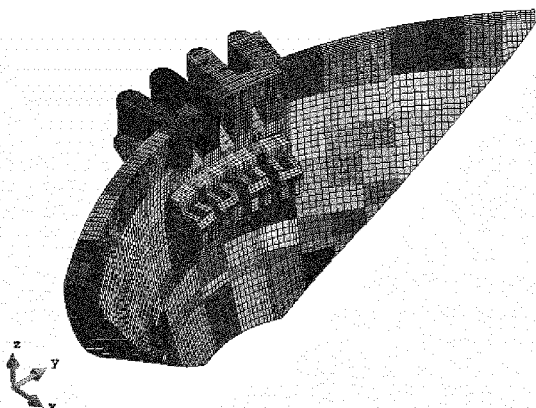


图 4 拱坝视图

表 1 拱坝坝基综合变模设计取值

高程/m	左岸		右岸	
	综合变模/GPa	泊松比	综合变模/GPa	泊松比
2 102	10.4	0.25	10.7	0.25
2 080	11.2	0.24	11.4	0.24
2 060	11.7	0.24	12.1	0.24
2 040	12.5	0.23	12.4	0.23
2 020	12.5	0.23	12.6	0.23
2 000	13.6	0.22	13.3	0.22
1 980	14.7	0.21	13.6	0.22
1 947	15.0	0.20	13.9	0.21

3 弧门支铰结构形式对比分析

图 5 ~ 图 9 列出支撑大梁式与普通锚块式表孔应力比较图。

3.1 支撑大梁式

弧门支座结构形式采用支撑大梁式时,最大拉应力在 3[#]表孔右侧边墩与大梁结合部位(高程 2 089.60 m),其值为 1.72 MPa。且此区块应力较为集中,拉应力大于 1 MPa 区域从坝顶延伸至溢流面。

3.2 普通锚块式

弧门支座结构形式采用普通锚块式时,表孔拉应力主要集中在 1[#]表孔左侧闸墩右边壁、3[#]表孔右侧闸墩左边壁、及最外侧两闸墩与坝体结合部位(最大拉应力出现在此),此处主要有 Y 向应力控制。

将整体模型中 3 个表孔提取出进行应力分析。最大拉应力出现在 3[#]表孔右侧闸墩与坝体结合部位,在坝顶的下游面侧,大小为 2.13 MPa,此处应力大主要是由于水推力引起拱坝整体变形,而最外侧闸墩由于大梁不连续,可往中间自由变形,引起外侧较大拉应力,采用

表 2 C₉₀30 混凝土主要参数

容重 /(kN/m ³)	弹性模量 /GPa	泊松比	导温系数 /(10 ⁻³ m ² /h)	线胀系数 /(10 ⁻⁶ /℃)	轴心抗压设计值 f_c /(N/mm ²)		轴心抗拉设计值 f_t /(N/mm ²)	
					运行期	施工期	运行期	施工期
24	22	0.167	3.0	10	17.16	14.3	1.72	1.43

表 3 坝体温度荷载

		℃								
高程/m		2 102	2 080	2 060	2 040	2 020	2 000	1 980	1 960	1 947
正常蓄水位 + 温降	Tm	-2.17	-0.45	-0.09	-0.42	0.48	0.41	0.00	0.20	-0.05
	Td	0.00	-0.48	1.09	2.52	3.43	3.92	3.93	3.03	2.86

注：Tm 为均匀温升，Td 为线性温差。

表 4 表孔弧门推力表(按弧门开启瞬间推力考虑)

部位	工况	总推力 P (kN)	P 推力 方向(°)	单铰侧推 力 N (kN)
表孔	静力	20 384	18.81	10 192

注：推力方向表示与水平方向夹角

支撑大梁式则没有这个问题,此处几乎均是压应力。

3.3 两种形式下孔口应力分析

采用支撑大梁式时,最大拉应力在 3[#]表孔右侧边墩与大梁结合部位(高程 2 089.60 m),其值为 1.72 MPa,采用锚块式时,最大拉应力在最外侧两闸墩与坝体结合部位,大小为 1.56 MPa。为研究引起边墩应力

的原因,本文另计算一种工况,即采用支撑大梁式时不计弧门推力,得到闸墩拉应力最值从 1.72 MPa 变为 1.50 MPa,故可知弧门推力引起的应力所占比例不到 15%。由此可知边墩应力值偏大,大部分原因是由于大梁与闸墩不协调形变引起的。

从上述分析可得出,采用普通锚块式,即大梁不连续可减少外侧闸墩与大梁接触部位的拉应力,主应力最值从 1.72 MPa 减小到 1.56 MPa,变化并不是太明显。但采用普通锚块式,外侧闸墩与坝体结合部位产生最值 2.13MPa 的拉应力,且范围较广,从坝顶向下 28.00 m,下游面面向坝体内侧延伸 4.00 m 范围内均为大于 0.5 MPa 的拉应力。故本文推荐采用支撑大梁式。

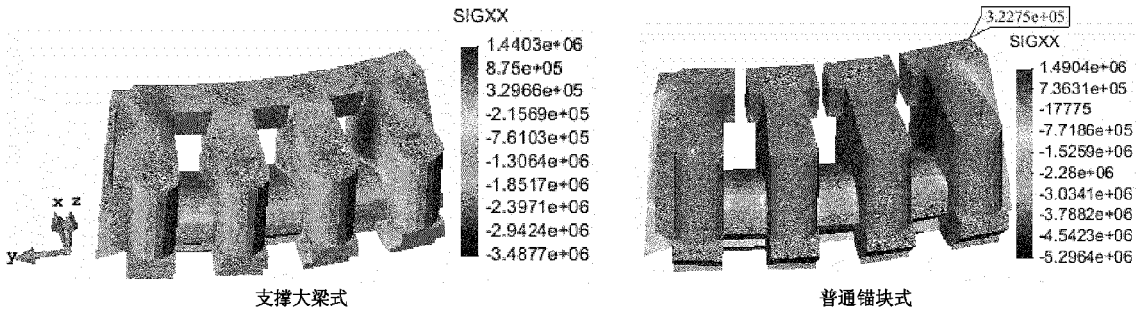


图 5 表孔 x 向应力/MPa

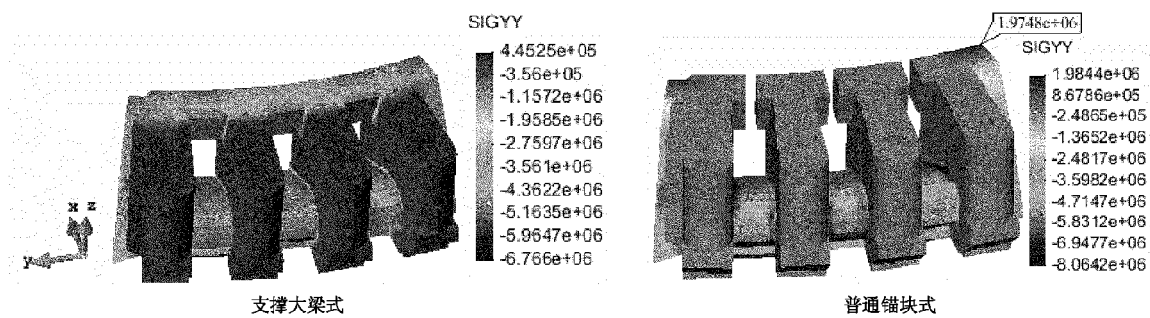


图 6 表孔 y 向应力/MPa

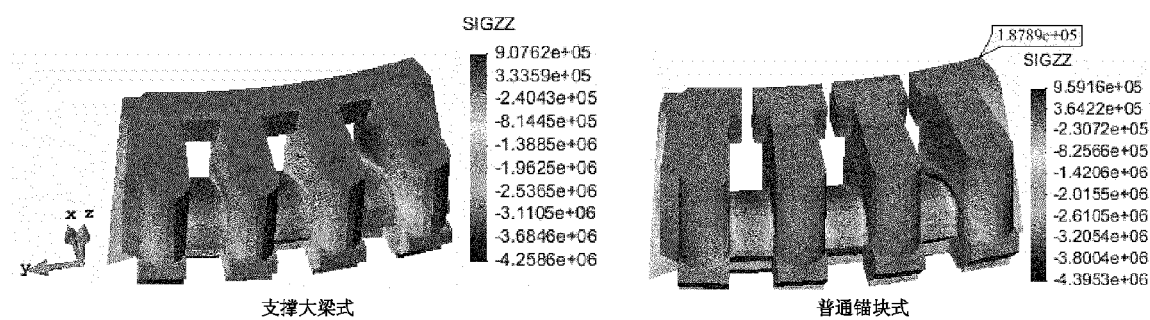


图 7 表孔 z 向应力/MPa

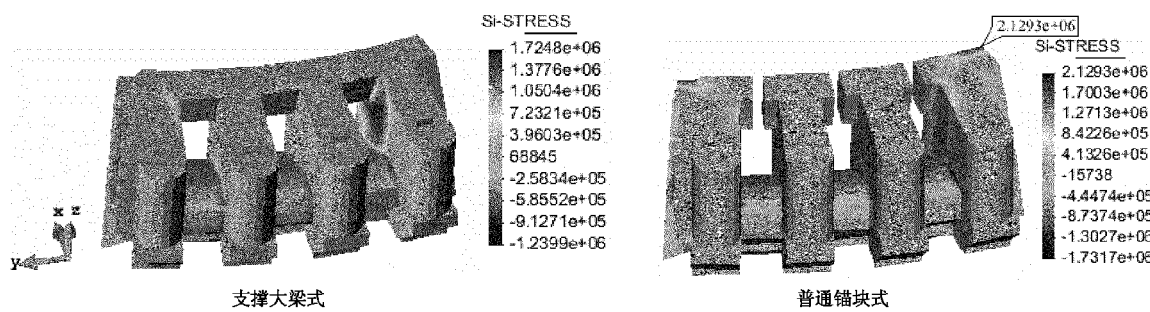


图 8 表孔最大主应力/MPa

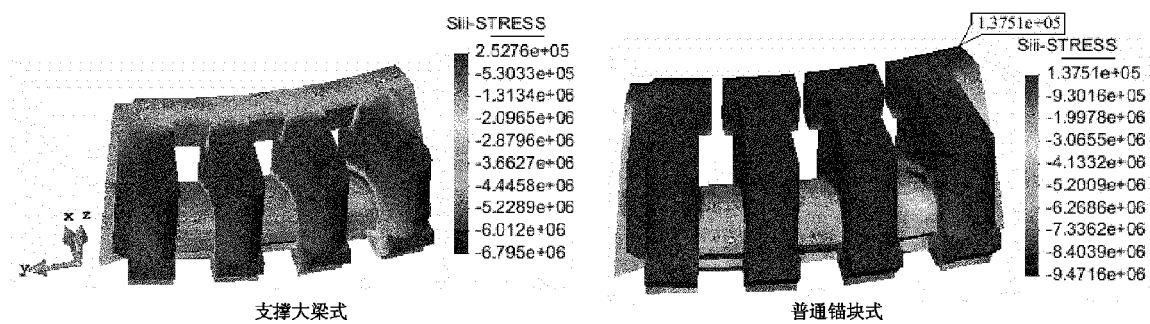


图 9 表孔最小主应力/MPa

4 结 语

通过有限元对比分析表孔弧门支座采用普通锚块型式和支撑大梁型式时的应力分布情况,结果表明:上述两种方案,无论采用何种,在1#表孔左侧、3#表孔右侧闸墩均会产生较大拉应力,且范围较广。引起边墩应力较大原因主要由于拱坝整体变形。采用普通锚块式,表孔外侧闸墩与坝体结合部位产生较大应力区,边墩应力较支撑大梁式减小并不明显。另外,考虑到大梁不连续闸墩在动力情况下振动幅度增加,不利于动力稳定,本

文推荐使用大梁连续的方案。

参考文献:

- [1] 陈秋华,杨云伟,陈丽萍.二滩拱坝泄洪中孔工作弧门支承结构及预应力锚索设计研究[J].四川水力发电,1993(03):45~50.
- [2] 李守义,杨胜,高菊梅.拱坝泄水孔应力影响因素分析[J].应用基础与工程科学学报,2010(01):20~27.
- [3] 李德玉,涂劲,欧阳金惠.孔口闸墩对溪洛渡拱坝静动应力的影响研究[J].水利学报,2013(11):1366~1371.
- [4] 王仁坤.二滩拱坝孔口应力分析[J].水电站设计,1988(04):14~23.

编辑:唐少龙

Design and research of bearing structure for service radial gate at upper outlets on arch dams

TAN Yi¹, XIAO Ni², JIA Jiali³

- (1. Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China;
2. Hangzhou Regional Center(Asia - Pacific) for Small Hydro Power, Hangzhou 310000, China;
3. Pingxiang Architecture Design Institute of Jiangxi Province, Pingxiang 337000, China)

Abstract: This paper focus on analyzing the influence of bearing structure for service radial gate at upper outlets on arch dam under the same construction condition, by doing the finite element analysis to the model of arch dam. The size and distribution range are calculated under the different structural forms. This paper analyzes the stress distribution in different structural forms and provides a reference for the design of the bearing structure for service radial gate at upper outlets.

Key words: Service radial gate; Bearing structure; Finite element; Stress analysis

翻译:郭庆冰

(上接第97页)

- [4] 韩金旭,黄福贵,卞艳丽.明渠水流速横向分布抛物线律及其应用[J].人民黄河,2013(5):83~84.

- [5] 张利田,卜庆杰,杨桂华.环境科学领域学术论文中常用数理统计方法的正确使用问题[J].环境科学学报,2007,27(1):171~173.

编辑:张绍付

The intelligent flow measuring device with velocity of self calibration

YANG Nan, YI Wei, CUI Dan, WU Nianhua

- (1. Jiangxi Institute of Water sciences, Nanchang 330029, China;
2. Jinan lufangyijia Automatic Control Technology Co., Ltd, Jinan 250000, Shandong)

Abstract: Due to the wide spread use of the channel is in an opening shape, and the water level in the channel height is a changing value, which brings great difficulties to open channel flow measurement of water. This paper introduces a kind of intelligent open channel flow device with velocity of self calibration, according to the water level value, automatically adjust the height velocity sensor in the water and correct the the average velocity in two sections of open channel, it realizes the accurate measuring of water level, instantaneous flow and cumulative flow in open channel.

Key words: Open channel flow measurement; Current speed; Self correction

翻译:郭庆冰