

株洲航电枢纽溢流坝段边墩有限元分析

钱磊, 赵利平, 杜政, 闫冬

(长沙理工大学 水利学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 坝工设计中, 溢流坝闸墩设计是仅次于坝体设计的一个重要项目。对于此类结构采用普通杆件力学方法难以获得满意结果, 所以采用结构有限元分析软件 ANSYS 对株洲航电枢纽溢流坝段 25[#] 边墩进行正常水位和校核水位两种工况下的结构应力复核计算。通过计算可以得知在正常挡水工况下, 由于闸墩受到闸门推力、水压力和主动土压力的作用在牛腿处产生的拉应力集中, 而在背水面的拉应力区出现在边墩背水侧的上游面与迎水面拐角处。通过分析可以总结和归纳出应力、位移在闸墩上的分布规律, 为其配筋提供依据, 并验证其结构设计的合理性。

关键词: 水工结构; 三维有限元; 边墩

中图分类号: TV311

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2013)01—0180—04

Finite Element Analysis for Side Pier in Overflow Dam of Zhuzhou Navigation-power Junction

QIAN Lei, ZHAO Li-ping, DU Zheng, YAN Dong

(Water Conservancy College, Changsha University of Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

Abstract: In the design work of dams, the overflow pier is a significant project only next to the dam body. For this kind of structure, using a common bar mechanics approach is difficult to obtain satisfactory results, so the finite element analysis software ANSYS is used to check and calculate the structure stress at the normal water level and check water level for the pier 25[#] in the overflow dam of Zhuzhou navigation-power junction. Through the calculation, it is found that under normal water level condition, and because of the gate thrust, water pressure and active earth pressure, there appears the tensile stress concentration at the bracket, whereas in the dorsal surface, the tensile stress area appears at the corner of the upstream face and water face of the pier's back side. The distribution law of stress and displacement on the pier could be summarized through the analyses, which could provide some bases for the reinforcing, and verify the rationality of the structural design.

Keywords: hydraulic structure; three-dimensional finite element; side pier

0 引言

闸墩的作用是分隔闸孔, 并用以支撑闸门、工作桥、交通桥和胸墙。所以其自身必须满足一定的稳定和强度之外, 还需要满足上部结构的运用和水流条件。闸门是闸墩的重要组成部分, 其中弧形闸门是水工建筑物当中被运用得最广泛的闸门。弧形闸门上的活动部分为支臂上铰链, 固定部分是闸墩上固定的铰座和轴, 它的作用是承受水对闸门的压力

和起闭过程部分起闭力和门重, 这些荷载都是通过闸门到铰链再到铰座, 最后传至闸墩。所以, 闸墩支铰的混凝土应力以及变形决定闸坝的寿命。因此闸墩结构尺寸是否合理, 闸墩及牛腿应力是否满足要求, 将影响到泄水闸的结构安全, 所以对边墩进行应力复核分析是十分必要的。

在闸墩计算中, 存在有限元计算方法、模型试验法、弹性理论解析法、差分法、试荷载法及材料力学法等, 材料力学法在计算时会出现以下不足: ① 材

料力学计算方法对具有典型非线性特性的混凝土构筑物,不能揭示整个结构内力重新分布过程。② 对于一些形体或受力复杂的结构,不能显示其局部的应力状态^[1]。③ 对于计算需要作大规模的假设,得到的应力和结果都趋于保守^[2]。然而三维有限元计算^[3]能够考虑钢筋、混凝土、钢筋与混凝土等材料的非线性关系,模拟结构的破坏过程,是配筋设计或结构分析的一种有效方法。所以本文采用三维有限元数值分析方法,不仅仅能准确的模拟出结构体的边界条件,而且可以得到比较精确的应力、位移数值并能反映整个闸墩的应力、位移的变化规律,为设计提供依据。

1 工程概况

株洲航电是一个以航运为主、发电为辅的综合性大型水利枢纽,位于株洲县湘江干流的空洲,坝址上游距衡山县城约 80 km,下距株洲市约 24 km,坝址控制流域面积为 66 002 km²。枢纽正常蓄水位 40.5 m,相应库容 4.743 × 10⁸ m³,死水位 38.80 m,相应库容 3.49 × 10⁸ m³。水库为河槽型水库,洪水时敞开泄洪接近天然情况。工程总布置:枢纽建筑物从左至右依次为 220 kV 户外开关站、门机检修安装平台、厂房安装场及副厂房、主厂房、左汊泄水闸、空洲岛副坝、右汊泄水闸、右岸连接坝段、船闸。坝顶总长 1 180.15 m。主厂房段,安装 5 台转轮直径 7.5 m 的灯泡贯流式机组。左汊泄水闸段,包括 1 孔排污槽和 11 孔泄水闸。排污槽孔口净宽 5 m,堰顶高程 37 m,泄水闸单孔净宽 20 m,堰型为修正的 WES 实用堰,堰顶高程 28.5 m,闸墩厚度 3 m,闸墩上游设有检修闸门槽。工作闸门采用钢质弧门,闸门尺寸 20 m × 12.5 m(宽 × 高),闸门弧面半径 18 m,采用双主横梁型式。弧门采用 2 kN × 2 500 kN 液压启闭机操作,采用“一孔一泵站”的布置方式。检修门为钢质平板叠梁门,每套门 4 节,尺寸 20 m × 15 m,检修门由坝顶 2 000 kN 门机启闭和运输,平时置于空洲副坝上游翼墙的检修门存放槽内(见图 1)^[4]。

2 株洲航电枢纽 25# 边墩数值模拟模型建立

2.1 计算模型的假设及建立

在计算时,采用整体式模型假定,假设钢筋和混凝土结合良好,不存在滑移。将钢筋弥散到混凝土单元中,钢筋对结构的贡献通过调整单元材料属性来实现。同时根据圣维南原理,若闸墩的基础越大,

则基础边界约束条件变化的情况对闸墩中应力和位移的影响相对越小^[5]。所以,当闸墩的基础尺寸达到一定范围后,闸墩的应力和位移几乎不受计算范围的影响。所以我们提出如下对材料的假设:假设材料为均质弹性、各项同性的连续体。自重荷载主要考虑混凝土自重,不考虑闸门自重、门槽埋件、启闭设备荷载及坝顶辅助结构荷载等。

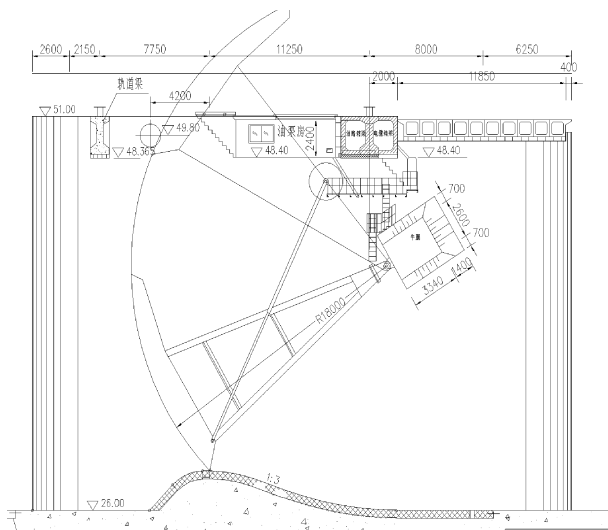


图 1 株洲航电闸墩计算参考断面图

模型建立如下:株洲航电 25# 边墩模型的建立采取基础、闸墩、墙后填土的计算模型。闸墩厚 3 m、高 25 m、延轴线长度 38 m,闸墩上、下游取 1.5 倍的闸墩高度,闸墩基础深度取 2 倍的闸墩高度。 X 正方向为指向下游的方向, Y 的正方向指向左岸的方向, Z 正方向垂直向上。边界条件的选取如下:闸墩的基础底边为固定边界,岩石基础的底边全部约束住其位移,基础上下游边分别约束住其顺河向水平的位移,两侧边分别约束住其横河向水平的位移(见图 2)^[6]。

2.2 单元类型和网格划分

由于八节点 solid65 号单元可以有效的模拟混凝土的开裂和压碎的性质,所以闸墩和地基均采用八节点 solid65 单元来进行模拟。而边墩后的回填土采用八节点的 solid45 号单元来进行模拟。因为 surf154 单元是一种像皮肤一样覆盖在网格表面的单元。使用表面效应单元可以方便施加与表面平行的荷载,同样也可以施加与表面成某一角度的荷载。表面效应单元也可以有效的处理二维模型和三维模型。所以闸门对牛腿的三个方向的推力用表面效应单元 surf154 单元来进行模拟。模型共计有 174 317 个节点,162 420 个单元。

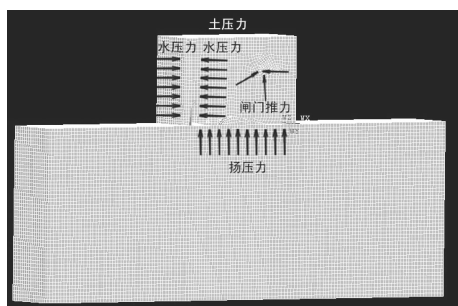


图 2 闸墩、基础有限元模型及受力示意图

2.3 力学材料参数指标

钢筋材料参数指标见表 1。

表 1 钢筋材料参数取值

材料	钢筋等级	含钢率 /($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa
钢筋	HRB335	60	335	455

计算区域材料物理力学参数指标见表 2。

表 2 物理力学参数取值

材料分区	材料名称	弹性模量/GPa	泊松比	重度 /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)
闸墩	C25 混凝土	28.0	0.167	25.0
堰体	C20 混凝土	25.5	0.167	24.0
基岩	泥质胶结砾岩	6.0	0.290	26.5
牛腿	C25 混凝土	28.0	0.617	25.0

3 计算工况及结果分析

3.1 计算工况

工况 1: 正常挡水:(上游水位 40.50 m, 下游水位 30.70 m) 结构自重 + 扬压力 + 主动土压力 + 闸门推力 + 静水压力。

工况 2: 校核洪水:(上游水位 48.40 m, 下游水位 48.16 m) 结构自重 + 扬压力 + 主动土压力 + 水压力。

3.2 位移结果分析

由于边墩在顺水流方向的刚度比较大, 所以边墩整体结构沿水流方向位移较小。

边墩的竖向位移主要是由边墩的自重和扬压力所引起的。工况 2 为校核洪水工况。弧形闸门位于全开的位置(支座受力方向向下), 且作用在闸墩的水压重, 所以其竖向位移较正常水位工况较大。其最大值出现在闸墩尾部, 峰值为 2.16 mm(垂直向下)。

边墩的侧向水压力、主动土压力、闸门推力是引

起边墩横向位移的主要原因。由于边墩背水侧的主动土压力大于溢流道一侧的水压力, 在正常水位下, 闸门推力较大, 抵消了部分主动土压力。边墩顶端的尾部刚度最低, 所以其沿河向的水平位移的最大值出现在尾部。最大值为 6.7 mm, 方向为指向溢流侧。

3.3 应力结果分析

正常挡水工况下闸墩迎水面和背水面第一主应力等值线图见图 3~图 4(仅显示出闸墩的等值线, 正为拉应力, 负为压应力, 应力单位为 Pa)。由图 3 可知, 在闸墩的中部、上中部为拉应力区, 且拉应力所表现的方向与弧形闸门的推力方向相一致。拉应力在闸墩面(溢流道侧)的应力范围显示出了闸门推力在闸墩上应力扩散的效应, 在闸墩上的拉应力区域大约占整个闸墩面(溢流道侧)的 40% 左右, 其中大于闸墩混凝土拉应力设计值 C25(1.3 MPa)^[7] 的拉应力区, 约占整个拉应力区的 16% 左右。最大拉应力 4.38 MPa 出现在牛腿部位。最大压应力出现在闸墩后趾处, 其值为 1.07 MPa。

由图 4 可知, 在闸墩的背水面一侧, 其中最大的拉应力区出现在边墩背水侧的上游面与迎水面拐角处, 其最大拉应力为 1.6 MPa。

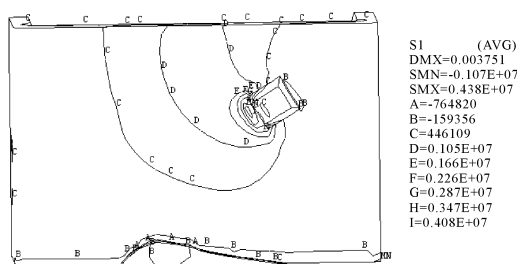


图 3 正常挡水工况下闸墩迎水面第一主应力等值图

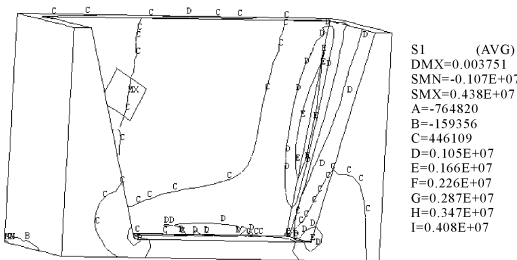


图 4 正常挡水工况下闸墩背水面第一主应力等值图

校核洪水工况下闸墩迎水面和背水面第一主应力等值线图见图 5~图 6。由图 5 可知, 闸墩中部为拉应力区, 且拉应力的方向与闸门推力方向一致, 拉应力区约占整个闸墩面(溢流道侧)的 40% 左右, 其拉应力峰值为 0.83 MPa, 均未超过闸墩混凝土强度

抗拉设计值(1.3 MPa)^[7]。最大压应力出现在闸墩后趾处,其值为 1.1 MPa。

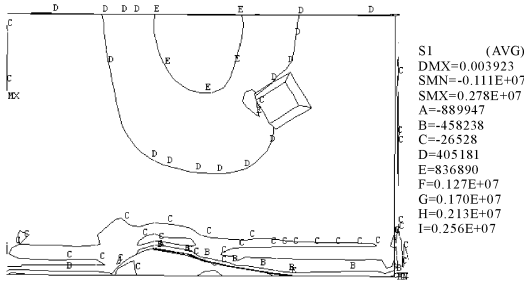


图 5 校核洪水工况下闸墩迎水面第一主应力等值图

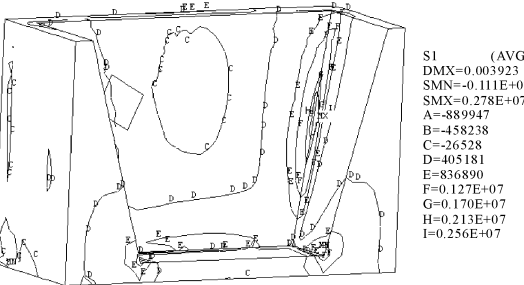


图 6 校核洪水工况下闸墩背水面第一主应力等值图

由图 6 可知,在闸墩的背水面一侧,其中整个闸墩最大的拉应力区出现在边墩背水侧的上游面与迎水面拐角处。其最大拉应力为 2.78 MPa,超过闸墩混凝土 C25 抗拉设计值,其拉应力范围基本占据了整个拐角。

4 结 论

本文通过对株洲航电枢纽的有限元结构计算可

得知:

(1) 闸墩在正常挡水工况下的拉应力区域,均大于校核洪水工况,所以在设计计算时,可以把正常挡水的工况作为控制工况^[8]。

(2) 闸墩的拉应力的最大值位于弧形闸门的铰支座处,且均大于 C25 混凝土强度拉应力设计值(1.3 MPa),需要对闸墩配置局部抗拉的钢筋设计。按工程中的一般做法,参考计算结果显示的拉应力值,应在牛腿受荷面与边墩连接处增设扇形筋予以加强,防止此处的混凝土材料发生开裂和破坏^[9]。

参考文献:

- [1] 万迪文.有限元法和材料力学法在闸墩门槽应力计算中的对比[J].建筑工程,2009,(2):51-52.
- [2] 陈亚鹏,周俊波.崔家营航电枢纽泄水闸闸墩有限元分析[J].中国农村水利水电,2006,(12):104-106.
- [3] 汪基伟,张雄文.水工钢筋混凝土结构有限元设计计算原则[J].水利水电科技进展,2005,25(5):44-47.
- [4] 湖南省水利水电勘察设计总院.株洲航电竣工验收设计工作报告[R].湖南省水利水电勘察设计总院,2006.
- [5] 彭知任.银珍水电站闸墩应力分析及补强加固[J].水利与建筑工程学报,2005,3(1):58-61.
- [6] 郝文化.ANSYS 土木工程应用实例[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [7] 中华人民共和国交通运输部.JTS 202-2011.水运工程混凝土施工规范[S].北京:人民交通出版社,2011.
- [8] 华东水利学院等.水工钢筋混凝土结构[M].北京:水利电力出版社,1975.
- [9] 武汉水利水电学院等.水工钢结构[M].北京:水利水电出版社,1980.

(上接第 104 页)

参考文献:

- [1] 王建鹏,薛春芳,解以扬,等.基于内涝模型的西安市区强降雨内涝成因分析[J].气象科技,2008,36(6):772-775.
- [2] 徐向阳,刘俊,郝庆庆,等.城市暴雨积水过程的模拟[J].水科学进展,2003,14(2):193-196.
- [3] 解以扬,李大鸣,李培彦,等.城市暴雨内涝数学模型的研究与应用[J].水科学进展,2005,16(3):384-390.
- [4] 孙慧修.排水工程(第四版)[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.

- [5] 刘金星.城市暴雨径流模型及透水式管道设计方法研究[D].杭州:浙江大学,2005:25-28.
- [6] 解以扬,李大鸣,沈树勤,等.“030704”南京市特大暴雨内涝灾害的仿真模拟[J].长江科学院院报,2004,21(6):73-76.
- [7] 张配亮.天津市暴雨径流模拟模型的研究[D].天津:天津大学,2007:53-55.