

苏州河河口水闸边墩支承座三维有限元分析

张媛媛¹, 金秀华², 季永兴²

(1. 同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 上海市水务工程设计研究院, 上海 200063)

摘要 针对苏州河河口水闸工程的边墩结构建立了包含闸墩混凝土、基坑底部平面、垫板坡面处、人行通道、正面及背面墙等在内的三维有限元分析模型, 对该整体结构进行了计算分析, 得到了典型工况下结构整体位移、变形和结构重要部位的应力分布规律, 为水闸工程边墩结构的设计与优化提供了依据。

关键词 苏州河河口水闸; 闸墩; 数值模拟; 有限元法; 应力分析

中图分类号: TV662⁺.2 文献标识码: A 文章编号: 1006-764X(2007)S1-0025-04

苏州河河口水闸工程采用液压水下卧倒门, 单孔净宽 100 m, 工程满足防御黄浦江苏州河口千年一遇的高潮位、双向挡水, 其正向挡水设计水位差 3.76 m, 反向挡潮设计水位差 3.76 m, 水闸主要建筑物包括: 闸墩(兼启闭机房)、基础钢管桩、底板、防渗体、上下游护坦等。结构设计确定全长 99 m、总质量 6 800 t 的钢筋混凝土水闸底板(加底轴、闸门)搁置在 3 个闸墩之上, 但鉴于结构、施工等因素中闸墩不提供闸底板水平方向的约束, 水闸闸门承担的水压力通过闸门底轴、拐臂传递至两岸的闸墩上。闸墩内设置支承座(墩)承担和均布拐臂传递来的应力。因此, 边闸墩既要支承闸底板、闸门、底轴和水重等垂直力, 又要支承水压力、土压力等水平力, 其稳定与否直接关系到上部结构的稳定。同时, 由于水闸功能要求, 100 m × 9.76 m 的闸门须向江侧从 0°到 90°之间任意翻转并固定, 边闸墩支承座承受了很大的集中力和弯矩。

为保证结构安全, 笔者根据结构受力特点和结构布置, 采用三维有限元方法, 对边闸墩支承墩的结构应力和变形进行分析, 研究闸墩在挡内河水和挡潮两种运行工况下的效应, 从而为闸墩的设计提供参考。

1 边墩启闭机房结构布置

边墩启闭机房为边闸墩的一部分, 采用钢壳混凝土沉井作为闸墩基础结构的承台, 下设桩基础。闸墩沉井尺寸为 30 m × 16 m × 7 m, 以顺水流向为中心, 迎水侧搁置闸底板, 靠岸侧为启闭机房。根据高程及

净空要求, 启闭机房分 3 层, 高程分别为 -3.75 m, 0.0 m, 3.5 m。为了闸门正向挡水和反向挡潮, 在闸墩内的轴上下游侧分别设置支臂搁置的支撑墩, 支撑墩分别与沉井隔墙上部的隔墩连在一起。地面(3.5 m)以上为空间框架结构, 顶部恢复为现状。整个闸墩与现有防汛墙同高, 具体结构布置见图 1。

2 支承座计算模型建立

2.1 计算模型

边墩启闭机房主要的受力部位为启闭机底座及拐臂支撑墩。根据运行工况和受力情况, 支撑座双向受力基本接近, 局部受力分析以下游侧拐臂支撑墩为例, 计算块选取的计算区域为平面上取 5 500 mm × 5 500 mm, 其中厚度方向(沿 z 轴方向)取 5 500 mm, 而模型高度为 5 000 mm(沿 y 轴方向), 如图 2 所示(图中 p_1 为作用在坡面上的集中力)。

在 ANSYS 有限元分析软件中, 按上述边界条件进行建模, 模型主要由混凝土闸墩和钢结构支架两部分组成, 模型基本按照 1:1 的比例建成。采用八结点六面体块单元模拟闸墩^[1], 用薄板单元模拟钢结构支架。对模型进行网格剖分后, 共得到 16 728 个单元, 其中混凝土单元 15 440 个, 板单元 1 288 个。三维有限元网格剖分如图 3 和图 4 所示。

2.2 边界条件

计算中桩基础底边均视为固定边界, 即桩基础底边约束全部位移^[2]。桩基础上下游边及两侧边均按平面应变问题边界处理, 即前后两侧施加力的边

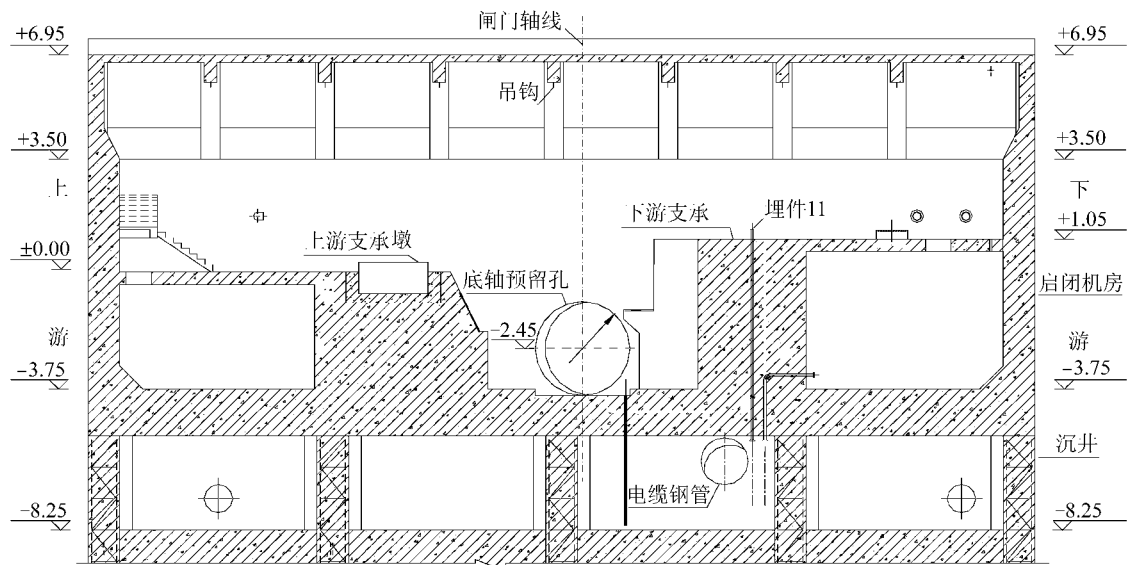


图 1 边墩启闭机房结构竖向布置

界条件,图 2 所示的闸墩计算范围平面图左侧为自由面。

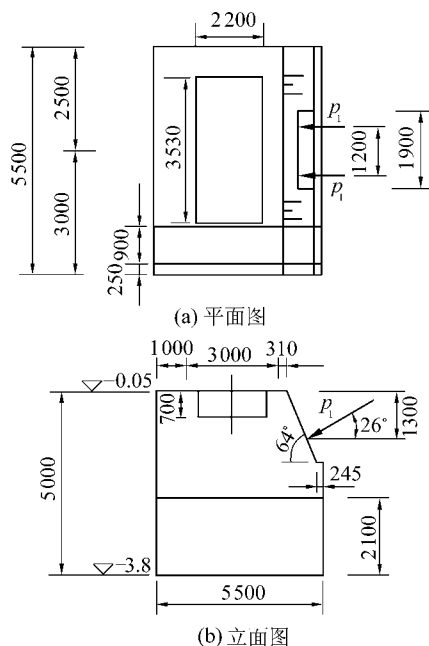


图 2 闸墩计算范围平面与立面(单位: mm)

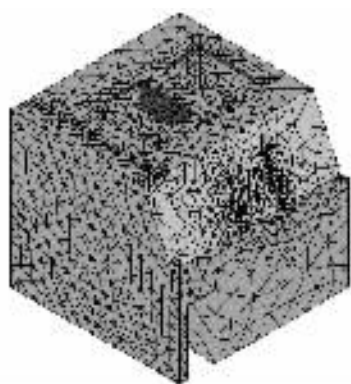


图 3 闸墩与机架网格划分

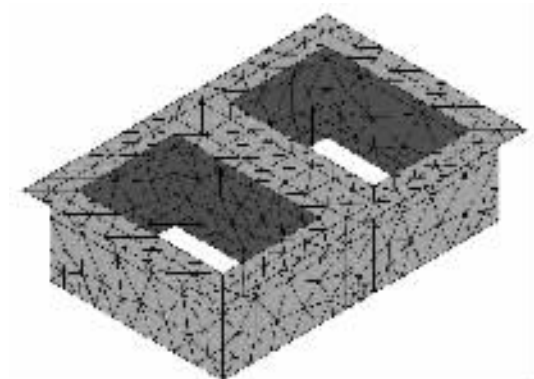


图 4 钢结构支架网格划分

2.3 计算参数

材料计算参数取值见表 1。

表 1 钢板和闸墩混凝土特性

材 料	弹性模量/GPa	泊松比 μ	密度 $\rho/(t \cdot m^{-3})$
闸墩混凝土	30	0.17	2.5
钢 板	206	0.28	7.85

注:钢板的厚度共有 4 种: 20 cm、30 cm、40 cm 和 60 cm。

2.4 计算工况与荷载组合

计算时考虑两种工况: 工况 1 为闸门挡最大潮时的闸墩受力工况; 工况 2 为闸墩运行最大持住力时的受力工况。

工况 1: 在模型的背面作用有渐变的水压力 q_1 , 在模型正面作用有渐变的土压力 q_2 , 在顶部作用有沿直线分布的均布力 q_3 , 在模型右侧的坡面上作用有两对集中力 p_1 , 在顶面的钢支架上作用有均布的面力 p_2 , 自重。

工况 2: 与工况 1 相同的 q_1, q_2, q_3 , 顶部钢支架上作用有面内集中力 p_1 , 弯矩 M_1 , 自重。

3 结果与分析

3.1 位移计算结果

由位移计算结果可知,在两种工况的作用下,墩体的变形均很小。工况 1 的位移变化规律是水平向上游倾斜,最大位移为 -0.67 mm ,竖直向下最大位移为 -0.14 mm ;工况 2 位移变化的总趋势是向下游倾斜,指向下游,最大位移 1.1 mm ,竖直向下最大位移 0.19 mm (图 5 和图 6)。由于边墩是由混凝土和钢支架两部分构成,墩体内部的最大位移出现在两者结合的角部。

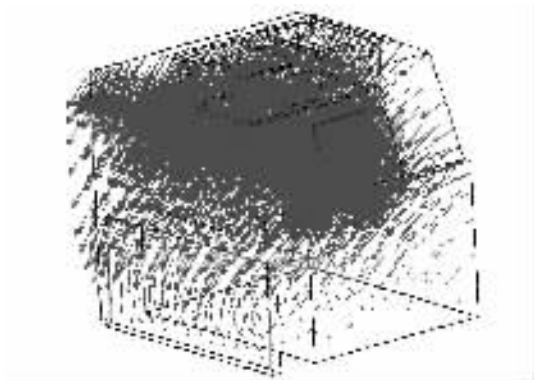


图 5 工况 1 位移矢量图(x 向)

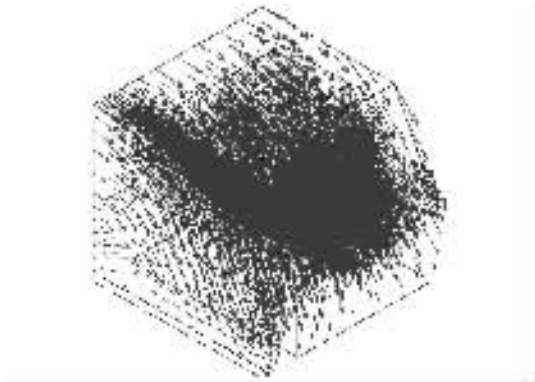


图 6 工况 2 位移矢量图(x 向)

3.2 应力计算结果

比较两种工况下的应力分布,整个支撑墩应力分布比较均衡(图 7),工况 1 为控制工况。计算结果见表 2,混凝土最大压应力为 19.1 MPa ,土峰值拉应力为 1.62 MPa 。根据计算结果,混凝土标号应高

表 2 不同工况下支撑墩的内力计算结果

工况	方向	位移/mm	最小应力 (受压)/MPa	最大应力 (受拉)/MPa
工况 1	x	0.46	-13.6	0.63
	y	0.49	-19.1	0.84
	z	0.14	-7.2	1.62
工况 2	x	0.77	-5.4	3.8
	y	-0.70	-15.9	3.1
	z	0.19	-4.9	1.6

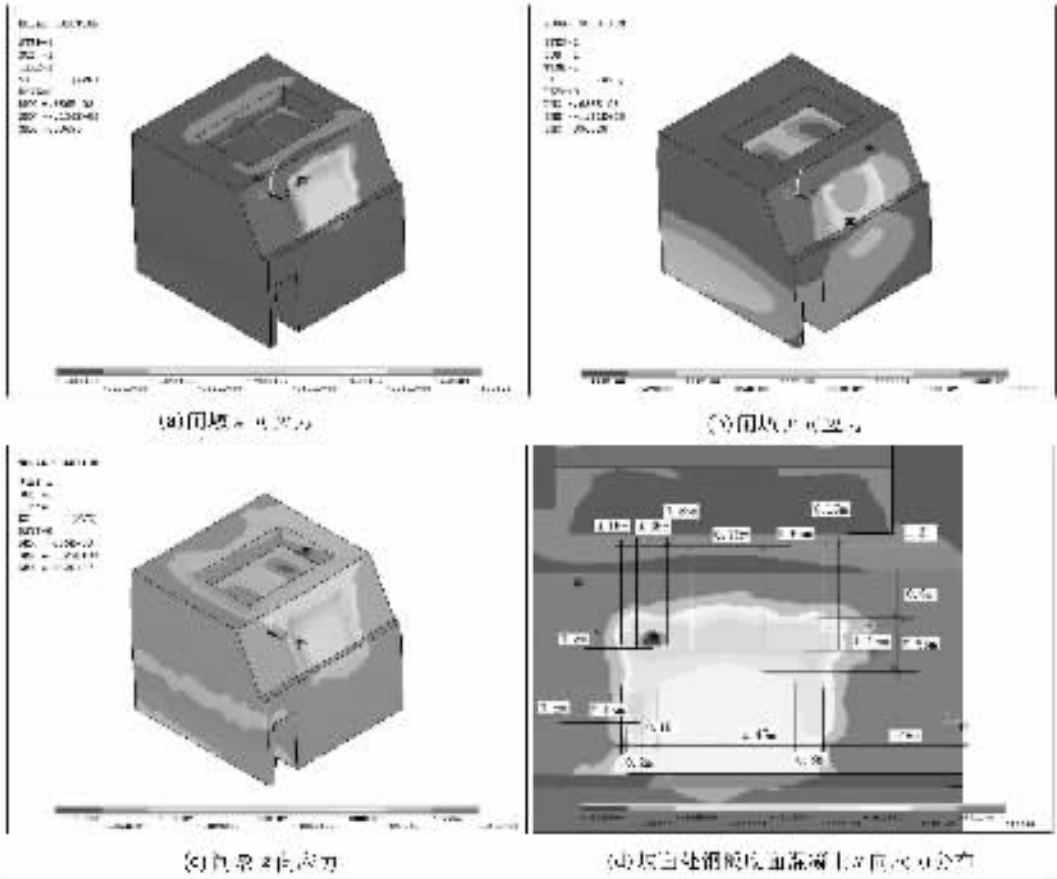


图 7 工况 1 闸墩应力分布

于 C30 ,局部受力位置采用钢筋网片进行加强 ,原考虑的闸洞取消^[3]。

3.3 集中力作用截面应力分布规律

在闸门挡最大潮时 ,在模型右侧的坡面上作用有两对集中力 p_1 ,其值达到了 11270kN ,将其分解为沿水平方向和竖直方向的分力加到节点上去。分析该集中力作用截面的 x 向和 y 向应力分布规律发现 , y 向应力最大值出现在钢板下的混凝土台阶处 ,为 19.1 MPa(竖直向下 ,即图 7 中的 MN 点处) ,作用在集中力作用点向下与台阶的垂直交点处。

4 结 论

通过合理的简化 ,应用三维有限元数值分析方法对边墩模型进行应力和变形计算 ,得到了典型工况下结构整体位移、变形和结构重要部位的应力分布规律。

a. 墩体在自重及运行荷载作用下的整体位移

(上接第 13 页) 在下游水位线附近 ,由于自由水面与水舌互相作用下的翻滚 ,引起水压力的变化。从测试数据看到脉动压力变化较大 ,就相对于静水头而言 ,最大达到了上下游水头差的 29.7% ,如此之大的压力脉动是不多见的 ,甚至于高速水流引发的压力脉动也没有到达这个程度 ,究其原因因为封闭气腔的压力变化所致。由于封闭气腔内的压力为负压 ,造成气腔内的水柱上升 ,到达一定程度 ,造成掺气水舌。气泡在上升到面板后不断破灭 ,压力传感器显示出很大的压力脉动 ,同时 ,对门叶造成较大的瞬间冲击载荷 ,由此产生较大的振动响应 ,并引起底轴扭矩的较大波动。

b. 在门叶顶部安装破水器后 ,脉动压力的优势频率已不十分明显 ,各频率段的激励强度比较均匀而且很小。从水力学原理分析 ,首先 ,破水器破坏了门后的封闭气腔 ,极大地削弱了压力波动范围 ;其次 ,破水器扰动了门顶水流 ,使得较均匀的流场变得紊乱 ,脉动压力的能量不至于集中在某个频率段 ,从而不易诱发闸门振动。

水流引起的动水压力、封闭气腔会造成底轴扭矩的增加 ,并诱发较大幅度的压力脉动。破水器的试验研究有助于了解安装破水器后的封闭气腔的压力变化 ,为设计破水器提供依据。在试验过程中 ,分别对高度为 50 cm 与 130 cm 的破水器进行比较试验。虽然长度 130 cm 破水器的破水效果较 50 cm 破水器明显 ,同时 ,在实验中还观察到一个现象 ,破水

器能够直接分开水流的现象仅仅在过流水舌厚度很小时才出现 ,但当过流量增加到破水器无法分开水流时 ,仍能够极大地减小门顶水舌的厚度 ,从而减小了水舌的弯曲刚度 ,同样能起到降低负压的效果。据此 ,考虑闸门原型的实际效果 ,设计最终选用了长度 50 cm 破水器。

b. 墩体在两种工况作用下闸墩混凝土、基坑底部平面、垫板坡面处、人行通道、正面及背面墙的应力情况整体上满足设计要求。

c. 集中力作用截面的局部压应力区的应力情况能够满足设计要求。

参考文献 :

[1] 梁清香 . 有限元与 MARC 实现 [M] . 北京 : 机械工业出版社 , 2003
[2] 赵会德 , 钱向东 . MSC Marc 软件在输水隧洞锚固开挖分析中的应用 [J] . 水利与建筑工程学报 , 2004 , 2(1) : 43-45.
[3] 缪圆冰 , 王瑟澜 , 夏才初 , 等 . 苏州河水闸工程大跨度箱型地板优化设计 [J] . 地下空间与工程学报 , 2005(1) : 112-116.

(收稿日期 2007-01-15 编辑 熊水斌)

器能够直接分开水流的现象仅仅在过流水舌厚度很小时才出现 ,但当过流量增加到破水器无法分开水流时 ,仍能够极大地减小门顶水舌的厚度 ,从而减小了水舌的弯曲刚度 ,同样能起到降低负压的效果。据此 ,考虑闸门原型的实际效果 ,设计最终选用了长度 50 cm 破水器。

c. 通气试验及效果分析 : 在各次试验中 ,同时进行了门后封闭气腔的通气定性试验 ,了解通气对负压的影响。试验中采用直径 1 cm 的空心钢管连接大气与封闭气腔。试验表明 ,通气后的负压均消失 ,而气道的气流速度均很小。

4 结 语

苏州河河口水闸闸门与底轴于 2004 年 3 月在上海重型机器厂开始制造 ,同年 10 月完成厂内制造及预组装 ,2005 年 6 月完成现场安装 ; 2005 年 7 月进行单机调试和启闭机带门联合调试 , 2005 年 10 月系统联合调试结束。通过参建各方的不懈努力 ,闸门与底轴的制造和安装均达到了设计要求 ,系统联合调试一次成功。经过了近 1 年的试运行 ,目前 ,闸门及启闭设备系统的各项技术数据均达到了设计要求 ,等待着千年一遇设计潮水位的考验。通过苏州河河口水闸的工程实践 ,为今后类似工程积累了宝贵的经验 ,证明采用底轴驱动式翻板闸门作为超大孔口跨度挡水建筑物的挡水设施是可行的。

(收稿日期 2007-01-15 编辑 熊水斌)