

文章编号:1007-6492(1999)04-0022-03

进水塔复杂结构的有限元分析

赖永星¹, 成立社¹, 张 侃²

(1. 郑州工业大学数理力学系, 河南 郑州 450002; 2. 郑州市第二建筑工程公司, 河南 郑州 450002)

摘 要: 某水库泄洪工程进水塔为大体积的混凝土结构, 体型、受力情况及边界条件都较复杂, 塔体下部具有较大孔口泄洪引水通道, 基岩较软. 根据进水塔的结构特点, 利用空间块体单元对进水塔进行有限元离散, 计算了该进水塔在7种工况下的强度与变形, 给出了几个典型截面的应力等值线图, 得出一些可作为设计依据的有益结论.

关键词: 进水塔; 有限元; 应力; 变形

中图分类号: TV 314 **文献标识码:** A

该进水塔结构是为了增大水库泄洪排沙能力, 保持一定库容, 满足防洪保坝的要求而增建的泄洪建筑物, 其结构体型、受力情况及边界条件都较复杂, 塔体下部具有较大体积的混凝土结构, 并具有大孔口泄洪引水通道, 塔体截面有多处突变, 塔内布置了事故门井、工作门井. 塔体四周具有回填土料、淤积泥砂等荷载及复杂的边界条件. 采用简化分析难以反映基岩较大的变形、体型复杂、截面突变、刚度随高度及温度变化等因素对其力学性能的影响, 不可能准确反映各部位的应力状态, 采用有限元方法进行详细的结构分析是非常必要的.

1 计算模型及有限元离散化

由于该水塔结构体型复杂, 材料种类较多, 本文采用了大型结构分析程序 Super - Sap 91 进行结构分析计算.

1.1 对称性

在该泄洪工程进水塔三维有限元离散分析中, 根据结构对称, 基岩均匀完整的特点, 将结构作为对称结构取一半计算, 以减少大量的计算和繁琐的后处理计算分析.

1.2 单元剖分

考虑到基岩较软, 在塔体四周和塔体以下各截取约一倍塔高的基岩(44 m)和塔体一起进行整体分析. 本文采用空间块体单元^[1]对进水塔进行

有限元网格剖分, 在剖分单元时共考虑了复杂的塔体形状、可能产生较大应力的区域、荷载的方便施加和设计关心的断面. 整个塔体及地基共剖分 2839 个空间块体单元, 其中流道 635 个, 上部塔体 356 个, 基岩 1848 个, 共计 3687 节点. 三维有限元网格剖分消隐图见图 1.

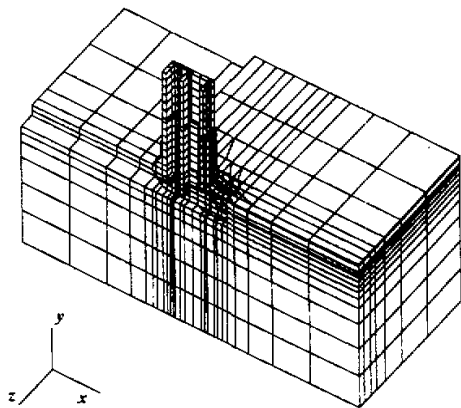


图1 三维有限元网格部分消隐图

计算时坐标原点选在高程▽1085.0 m 水平截面对称轴上的0+0.0桩号处. x 轴为顺河流向指向下游, y 轴为竖直向上, z 轴为横河方向. 在考虑对称荷载时, 在对称面和塔体四周基岩面上加水平约束, 在底部基岩面上加固定约束. 在考虑反对称荷载时, 在对称面上加反对称约束(对称面上的竖直约束), 塔体四周基岩面上加水平约束,

收稿日期:1999-05-04; 修订日期:1999-07-02

基金项目:河南省自然科学基金资助项目(974052200)

作者简介:赖永星(1960-),男,福建省永安市人,郑州工业大学讲师,硕士,主要从事结构振动及力学计算方面的研究.

在底部基岩面上加固定约束.材料参数见表1.

表1 材料参数表

材料	静弹模/ MPa	砼体积质 量/(kN/m ³)	泊松比 μ	膨胀系数
250 [#] 砼	2.80×10^4	23.5	0.167	1.0×10^{-5}
200 [#] 砼	2.55×10^4	23.5	0.167	1.0×10^{-5}
基岩	1.50×10^3	25.5	0.250	1.0×10^{-5}

2 计算载荷及计算工况

2.1 计算载荷^[2-3]

进水塔的主要荷载包括塔体自重、静水压力和水重、泥沙压力、回填土压力、浪压力、风荷载、设备重(事故门启闭机基础荷载、弧形工作门启闭机基础荷载、启闭机房框架柱荷载、交通桥荷载)、弧形工作门水压力、扬压力、温度荷载.

2.2 计算工况

本文共计算了下列7种工况下的强度与变形,其中后2种是为了研究反对称荷载对塔体受

力的影响而增加的工况.工况1:建成无水;工况2:校核洪水位;工况3:关工作门蓄水;工况4:均匀温升;工况5:均匀温降;工况6:建成无水的反对称荷载;工况7:运行期的反对称荷载.

3 计算结果及分析

对于工况1~工况7,本文计算了每个节点处的应力、位移值,限于篇幅,只给出部分主要截面的应力等值线图和应力及位移值.

3.1 位移计算结果

工况1~工况3位移计算结果如表2所列.由位移计算结果可见,事故门槽槽壁的最大顺水位移为0.8670 mm,不会影响事故闸门的开启.建成无水时,由于塔体重心偏向上游和塔顶设备重,整个塔体前倾.随着蓄水位升高,塔体前倾逐渐减轻.横水向位移基本很小,主要发生在流道部分,工况1向塔内凹,工况2和工况3向塔外凸,均能满足规范要求.

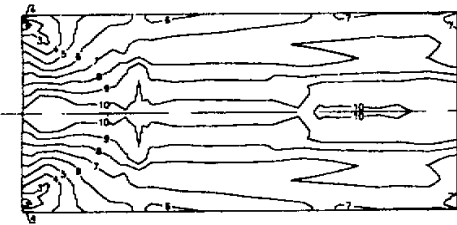
表2 塔体、工作门槽的最大位移及坐标

mm

工 况	塔体			工作门槽		
	<i>x</i> 方向	<i>y</i> 方向	<i>z</i> 方向	<i>x</i> 方向	<i>y</i> 方向	<i>z</i> 方向
1	-1.4560 (16.2,47.7,0)	-3.4090 (3.8,47.7,-5.0)	0.1997 (13.5,6.3,-2.5)	-0.8670 (6.0,30.0,-2.50)	-2.9670 (6.0,30.0,-3.2)	0.0678 (7.4,7.7,-2.5)
2	0.5672 (5.0,33.13,0)	-1.8790 (16.2,47.7,0.0)	-0.2510 (0.0,4.0,-4.0)	0.4141 (6.0,17.7,-2.5)	-1.5060 (6.0,30.0,-3.2)	-0.1225 (6.0,2.0,-3.2)
3	-1.0400 (17.4,47.7,0)	-2.0620 (3.8,47.7,-5.0)	-0.2329 (0.0,4.0,-4.0)	-0.4484 (6.0,30.0,-2.5)	-1.6270 (6.0,30.0,-3.2)	-0.2056 (6.0,2.0,-2.5)

3.2 应力计算结果

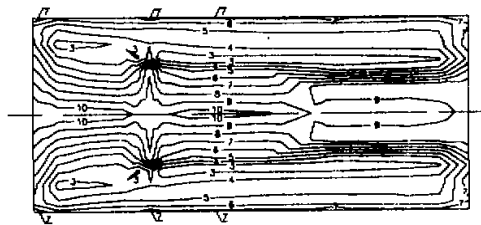
进水塔几个典型截面的主应力如表3所列,工况1~工况3高程▽1850.0 m水平剖面应力等值线图如2~图4所示.



$\sigma_{ymin} = -0.9 \text{ MPa}; \nabla \sigma_y = 0.08182 \text{ MPa};$
 $\sigma_{yi} = \sigma_{ymin} + i \cdot \nabla \sigma_y$

图2 工况1 高程▽1850.0 m水平剖面应力等值线

反对称荷载作用下产生的应力非常小,可认为整个塔体应力状态基本对称于塔体对称面.工

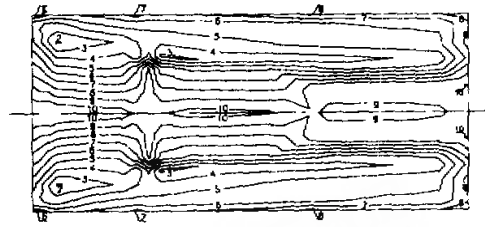


$\sigma_{ymin} = -1.0 \text{ MPa}; \nabla \sigma_y = 0.09091 \text{ MPa};$
 $\sigma_{yi} = \sigma_{ymin} + i \cdot \nabla \sigma_y$

图3 工况2 高程▽1850.0 m水平剖面应力等值线

况1~3最大主拉应力均发生在高程▽1085.0 m水平截面3470节点,该点坐标(1.4,0,0).工况1最大主拉应力 $\sigma_{1max} = 0.37749 \text{ MPa}$,工况2最大主拉应力 $\sigma_{1max} = 0.9716 \text{ MPa}$,工况3最大主拉应力 $\sigma_{1max} = 1.1353 \text{ MPa}$,沿顺流方向逐渐减小.在高程▽1083.5 m至高程▽1085.0 m之间,从桩号0+01.0断面到桩号0+024.0断面,形成了一较大主

拉应力区域,在此区域应加强注意.最大主压应力主要发生在入水口附近的塔臂支墩上,工况1: $\sigma_3 = -1.5928$ MPa;工况2: $\sigma_3 = -2.010$ MPa;工况3: $\sigma_3 = -2.082$ MPa.在流道部分支铰后,混凝土大梁上也有较大的主压应力.工况5由于考虑了温降,产生了较大拉应力 $\sigma_1 = 1.336$ MPa,发生在迎水面塔基前角点很小的区域内.考虑混凝土徐变,可使温度应力减小60%左右,温度影响不算大,可安全进入蓄水运用期.



$$\sigma_{ymin} = -0.9 \text{ MPa}; \nabla \sigma_y = 0.08182 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_{ymin} + i * \nabla \sigma_y$$

图4 工况3高程 $\nabla 1850.0$ m水平剖面应力等值线

表3 进水塔应力成果汇总表

MPa

剖面	工况1		工况2		工况3	
	σ_{1max}	σ_{3min}	σ_{1max}	σ_{3min}	σ_{1max}	σ_{3min}
$\nabla 1115$ m水平剖面	0.231	-0.560	0.315	-1.581	0.337	-0.595
$\nabla 1100$ m水平剖面	0.117	-1.501	0.399	-2.023	0.173	-1.172
桩号0+006.7	0.341	-0.932	0.659	-1.230	0.964	-1.202
桩号0+010.7	0.326	-0.801	0.452	-1.647	0.830	-1.353
桩号0+018.2	0.340	-1.057	0.652	-1.386	0.408	-0.908
桩号0+020.5	0.257	-0.751	0.657	-1.328	0.488	-0.965
支铰后砧大梁距对称轴0+2.5截面	0.125	-1.303	0.224	-1.928	0.400	-1.815
支铰后砧大梁距对称轴0+0.0截面	0.124	-0.846	0.503	-1.290	0.281	-0.760

4 结束语

本文对进水塔这样的复杂结构在7种工况下的强度与变形进行了详细研究,采用有限元法作精细分析,才能得出符合实际情况的结论.经计算,强度、刚度满足规范要求.所得结论可供设计参考.

参考文献:

[1] 王勖成,邵敏.有限元法基本原理与数值方法

[M].北京:清华大学出版社,1997.

[2] 中国西南建筑设计院.现行建筑结构规范大全[M].北京:中国建筑工业出版社,1991.

[3] 华东水利学院.水工设计手册[M].北京:水利水电出版社,1992.

[4] 尹如君,花付南,吕西方,等.T形桥梁有限元强度分析[J].郑州工业大学学报,1999,20(2):100-102.

Finite Element Analysis of the Intake Tower

LAI Yong-xing¹, CHENG Li-she¹, ZHANG Kan²

(1. Department of Mathematics, Physics & Mechanics, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China; 2. Zhengzhou Second Construction Engineering Company, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The intake tower is a big concrete structure with complex shape, force and boundary condition. There is diversion canal for outlet at the bottom of intake tower. The rock under the intake tower is relatively soft. Space solid elements are used to divide the tower, in consideration of 7 different conditions, and the stress and displacement analysis is presented in this paper. The equally - strong - stress figure of section are given. Some useful conclusions are reached, which may serve as the basis of design.

Key words: intake tower; finite element method; stress; deflection