

文章编号:1671-6833(2002)02-0089-03

小浪底 2 号进水塔工作门段预应力分析

胡良明¹, 李宗坤¹, 王宗敏¹, 王兴民²

(1. 郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002; 2. 商丘市水利局, 河南 商丘 476000)

摘 要: 利用 8~21 节点块体单元离散了小浪底 2 号进水塔, 针对工作门段 4 种不同方案进行了应力分析. 计算表明, 预应力方案 I 到方案 III 降低拉应力的程度在 5% 和 10% 之间, 其降低拉应力程度最大的方案 II 达到 9.2%, 方案 II 是最优的预应力锚束布置方案. 但就预应力方案来讲, 拉应力的降低程度不大, 采用预应力工程措施降低工作门段侧墙区域拉应力的效果不明显, 不适用于大型箱型进水塔结构, 建议设计单位采取其它的工程措施来解决侧墙大区域双向受拉应力问题.

关键词: 进水塔; 工作门; 预应力

中图分类号: TV 671 **文献标识码:** A

小浪底水利枢纽是黄河下游以防洪、防凌、减淤为主要任务兼顾供水、灌溉、发电等效益的一项重大工程. 进水塔群为组合式多功能型的 I 级建筑物, 9 座进水塔呈“一”字型排列. 2 号明流塔位于塔群的中间部位, 其左侧与 3 号孔板洞塔相邻, 右侧与 2 号排沙发电洞塔相接. 塔体四周有回填石渣、淤积泥沙等荷载以及塔群之间的相互作用等复杂的边界条件. 鉴于工程的重要性和问题的复杂性, 其工作门段的安全性对整个引水、泄水系统, 甚至大坝的安全起着举足轻重的作用. 根据 2 号明流洞进水塔原设计方案, 进行了三维有限元计算分析, 其计算成果及分析参见文献^[1]. 由于在计算中发现弧形工作门段侧墙内侧有一个较大的扇形区域, 其拉应力大大超过了允许拉应力; 在 275 m 水位, 工作门挡水时, 其最大主拉应力达 3.46 MPa. 为了降低该区域的拉应力, 我们在原有的计算工作基础上, 对弧形工作门段局部进行网络细化处理, 并施加预应力以进行研究分析.

1 网格剖分与计算方案

1.1 网格剖分

小浪底 2 号明流洞进水塔顶高程 283 m, 塔体宽 16 m, 进水口底部高程 209 m, 基岩面高程 175 m, 总高度 108 m, 最大长度为 52.8 m, 塔体对于顺河向对称. 塔体下游 230 m 高程以下与山体间用混凝土和石渣回填^[2]. 根据结构特点, 我们采

用 8~21 节点三维等参元对计算局部结构进行了剖分, 共用 2296 个节点, 1524 个单元, 自由度为 6745 个. 单元边长在弧门支座部分基本在 1 m 左右, 其余部分在 1.5~2.0 m 之间. 该区域细化与整体计算网格比较见表 1.

表 1 局部细化网格与整体计算网格比较

Tab. 1 Comparison between all calculated mesh and partial mesh

项目	局部	整体	细化倍数
单元	1524	115	13.25
节点	2296	565	4.06

由表 1 可以看出, 对工作门段进行计算时, 局部计算所采用的网格比整体计算所采用的网格要细得多, 完全可以满足细化计算的要求. 其网格剖分平面图如图 1 所示.

1.2 计算方案

根据黄委会设计院提出的计算要求, 我们对 2 号明流洞工作门段局部细化及预应力分析计算了以下 4 种工况. 工况 I: 基本方案, 高程 275 m 水位工作门挡水静力计算. 工况 II: 基本方案加预应力锚束布置方案一. 工况 III: 基本方案加预应力锚束布置方案二. 工况 IV: 基本方案加预应力锚束布置方案三.

1.2.1 预应力锚束布置

(1) 方案一: 预应力锚束均布置在 4 m 宽的侧墙上, 合力 $F=6 \text{ 根} \times 3 \text{ 排} \times 2.94 \times 10^6 \text{ N/根} =$

收稿日期: 2002-01-02; 修订日期: 2002-03-15

作者简介: 胡良明(1963-), 男, 河南省光山县人, 郑州大学讲师, 硕士, 主要从事水工结构及抗震分析方面的研究.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

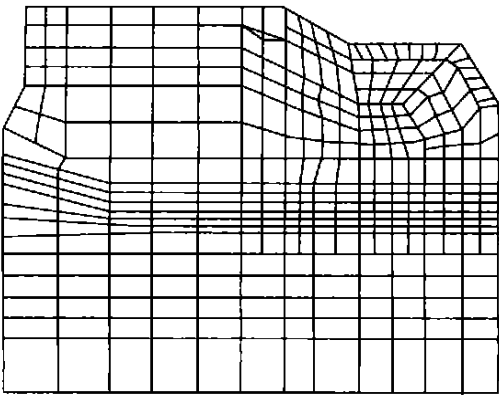


图 1 YZ 平面网格图

Fig. 1 YZ section mesh

$5.292 \times 10^7 \text{ N}$, 布置在弧门轴推力线上. 其坐标位置如表 2 和表 3 所示.

表 2 预应力锚束上部位置

Tab. 2 Prestress anchoring up position							m
项目	1	2	3	4	5	6	
水平距离	51.02	51.39	51.76	52.12	52.49	52.80	
高程	228.56	227.95	227.36	226.76	226.16	225.57	

表 3 预应力锚束下部位置

Tab. 3 Prestress anchoring down position							m
项目	A	B	C	D	E	F	
水平距离	25.60	26.47	27.63	29.07	30.77	32.69	
高程	217.14	214.79	212.58	210.54	208.70	207.11	

(2) 方案二: 合力 $F = 11 \text{ 根} \times 2 \text{ 排} \times 2.45 \times 10^6 \text{ N/根} = 5.39 \times 10^7 \text{ N}$, 上部布置在弧形门支座上部大梁高程 230.0 m 以上, 从桩号 0+38.7 m 每隔 1.0 m 的范围内, 下部布置在闸室底高程 205.0 m 上, 从桩号 0+25.0 m 到 0+51.0 m 每隔 2.6 m 的范围内, 其布置图参如图 2 所示.

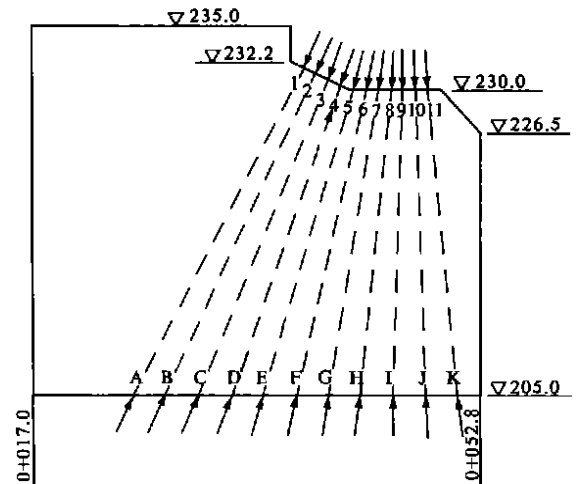


图 2 预应力锚束布置方案 II

Fig. 2 Prestress anchoring scheme II

(3) 方案三: 合力 $F = 5 \text{ 根} \times 3 \text{ 排} \times 2.94 \times$

$10^6 \text{ N/根} = 4.41 \times 10^7 \text{ N}$, 布置在弧门轴推力附近一个比方案一更大的、弧长为 6m 的弧形区域内, 其坐标位置见表 4 和表 5.

表 4 预应力锚束上部位置

Tab. 4 Prestress anchoring up position						m
项目	1	2	3	4	5	
水平距离	50.75	51.18	51.61	52.04	52.47	
高程	229.0	228.30	227.60	226.90	226.20	

表 5 预应力锚束下部位置

Tab. 5 Prestress anchoring down position						m
项目	A	B	C	D	E	
水平距离	24.20	28.27	33.39	39.17	45.16	
高程	217.37	212.97	209.84	208.21	208.21	

1.2.2 计算结构范围

细化计算的局部结构范围为: 顶部高程 232.25 m 到底部高程 205 m, 上游桩号为 0+18 m 至下游桩号为 0+52.8 m, 取结构对称轴左半部分进行计算.

1.3 计算荷载与材料特征

由于工作门段局部细化及预应力分析是在原整体计算的基础上进行的, 故计算荷载与材料特征同整体计算方案, 其具体数值可参见文献 [2].

2 计算成果与分析

2.1 应力分析

通过对 2 号明流洞工作门段局部细化及预加应力计算, 用自己研制的后处理程序计算了主应力及其方向. 对于四种工况的应力分量最大值及其发生部位见表 6, 表 7 则列出了 YOZ 平面主应力的最大值及其发生部位.

表 6 应力分量最大值及其发生部位

Tab. 6 Maximum values of stresses and location		
应力	最大值/MPa	发生部位
σ_x	4.55	(163, I)
	-11.14	(1401, II)
σ_y	2.53	(1219, I)
	-6.05	(178, II)
σ_z	3.60	(1229, I)
	-7.54	(210, IV)

说明: 表中括号内数, 第一个表示节点号, 第二个表示工况.

从表 6 可以看出, 应力分量 σ_x 的最大值主要控制于工况 II; σ_y 和 σ_z 的拉应力受工况 I 控制, 而其压应力分别在工况 II 和工况 IV 时最大. 因此, 工况 III 的应力分量较小, 是较理想的方案.

由表 7 可以看出, YZ 平面的主拉应力最大值

为 3.90 MPa,是最差的方案(也就是原来方案),而工况Ⅲ的最大值为 3.54 MPa,属于 4 种方案中最佳方案.因工况Ⅰ是基本方案,拉应力最大,而压应力最小;而其它工况因施加预应力措施,从而使其主拉应力减小,而相应增加了主压应力.

表 7 YZ 平面主应力最大值及其发生部位

Tab.7 Maximum values of principal stresses and location at YZ section

工况	σ_1	σ_2
工况Ⅰ	3.90(1229)	-6.84(1220)
工况Ⅱ	3.69(1229)	-8.82(170)
工况Ⅲ	3.54(1224)	-8.66(88)
工况Ⅳ	3.75(1224)	-8.26(210)

说明:表中括号内的数字表示其发生部位的节点号.

2.2 降低效率分析

为了更好地考查预加应力锚束布置方案对主拉应力降低的效果,我们列出了方案效果比较,如表 8 所示.

表 8 预应力方案主拉应力降低效率表

Tab.8 The principal tensile stresses decreasingly coefficient of prestress schemes

工 况	应力 σ_1 /MPa	乘子	降低效率/%
工况Ⅰ(基本方案)	3.90	0	0
工况Ⅱ(预方案Ⅰ)	3.69	1.02	5.5
工况Ⅲ(预方案Ⅱ)	3.54	1.0	9.2
工况Ⅳ(预方案Ⅲ)	3.75	1.22	4.7

值得指出的是,在表 8 中,由于各预应力方案的总吨位不同,以预方案Ⅱ的应力 $F=5.39\times 10^7$ N 为最高,为便于比较,我们将预方案Ⅱ作为

标准,简单地将预方案Ⅱ的应力除以各方案的应力,作为计算效率的乘子.其效率计算公式为

效率=
$$\frac{\text{基本方案应力}-\text{预方案应力}}{\text{基本方案应力}}\cdot\text{乘子}\times 100\%.$$

由表 8 可以看出:就三种预应力方案来说,工况Ⅲ(预方案Ⅲ) 使得侧墙内侧主拉应力降低效果最大,达 9.2%,这说明由于预方案Ⅱ的预加应力施加方向和塔外水压力产生的拉应力方向较为相近,以抵消塔外水压力所致;而预方案Ⅰ和预方案Ⅲ施加方向和弧门推力轴线一致,主要抵消的是弧门推力.证明抵消塔外水压力这一主要荷载的预应力方案Ⅱ是最优的预应力锚束布置方案.

3 结论

(1) 预应力方案Ⅱ是最优的预应力锚束布置方案.

(2) 就预应力方案Ⅱ来说,拉应力才降低 9.2%,这说明采用预应力工程措施降低侧墙内侧大区域拉应力的效果不明显,不适用于大型箱型进水塔结构.

参考文献:

[1] 周鸿钧,王宗敏,李世同.高进水塔弧门闸室段应力分析及改善应力状态的工程措施[R].北京:清华大学出版社,1995.1948~1954.
[2] 周鸿钧,胡良明.小浪底 2 号明流洞进水塔修改方案的静动力分析[J].郑州工学院学报,1994,15(4):13~19

Prestressed Analysis of Main Gate Section of the Tower of No.2in Xiaolangdi Project

HU Liang -ming¹,JI Zong -kun¹,WANG Zong -min¹,WANG Xing -min²

(1.College of Environment & Hydraulic Engineering ,Zhengzhou University ,Zhengzhou 450002,China ;2. Water Conservancy Bureau of Shangqiu ,Shangqiu 476000,China)

Abstract : In this paper ,8~21 node solid elements are used to divide the Xiaolangdi No.2 intake tower in consid - eration of 4 different schemes of main gate section the stress analysis is presented .The results show that the prestress schemes I to III decrease tensile stress at a degree from 5% to 10% the scheme II is maximum values of 9.2% for decreasing tensile prestress .It proves that the scheme II is optimum prestress anchoring schemes .However ac - cording to the prestress scheme it isn't obvious to take prestress engineering measures for decreasing tensile stress - es ,which isn't feasibility for massive structures of intake tower .The design agency should consider other engineering measures for controlling double tensile stresses of the sluice chamber sidewall .

Key words : intake tower ; main gate ; prestress