

文章编号:1671-6833(2003)04-0072-03

小浪底 1 号进水塔弧门段局部细化应力分析

胡良明¹, 王 涛², 王宗敏¹, 周鸿钧¹

(郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002; 2. 北京水利科学研究院, 北京 100044)

摘 要: 利用 8~21 节点块体单元离散了小浪底 1 号进水塔, 对工作门在挡水荷载作用下弧门段的应力进行了分析, 计算了 10 个截面的内力值和闸室侧墙的应力状态. 计算结果表明, 细化计算所得弯矩在许多处有不同程度增加, 而轴力和剪力则有相当程度减小. 在侧墙内侧存在一个较大的拉应力区, 其最大值为 2.08 MPa, 建议设计单位采取其它的工程措施来解决侧墙大区域的双向受拉应力问题.

关键词: 进水塔; 细化; 有限元法; 应力分析

中图分类号: TV 671 **文献标识码:** A

0 引言

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骨干工程. 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”字型布置在左岸风雨沟东侧. 1 号明流进水塔位于塔群的最右侧, 其左侧与 1 号孔板洞塔相邻, 塔体四周有回填石渣、淤积泥沙等荷载以及塔群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, 其弧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 1 号明流洞进水塔架的整体三维有限元静动力分析, 其顺河流向水平最大应力为 1.07 MPa, 由于工程设计需要, 要求对该塔架弧门段局部结构做进一步的分析计算工作, 我们在北京水科院整体计算工作的基础上, 对弧门段局部结构做了网格细化处理, 并对其应力、内力和位移进行了研究分析.

1 网格剖分与计算方案

1.1 网格剖分

根据 1 号明流洞进水塔的结构型式, 采用 8~21 节点三维等参元对计算局部结构进行了剖分, 其剖分结果见表 1.

由表 1 可以看出, 细化后的单元数约为原单元数的 18 倍, 而结点数是原来的 11 部, 在弧门支

较附近的扇形区域内, 单元数达到原来单元数的 40 倍, 因此, 局部计算所采用的网格较整体计算时的网格要细得多, 完全可以满足细化计算的要求. 其网格剖分平面图参见文献[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	1 292	73	17.70
节点	1 992	181	11.00

1.2 边界条件

在原有网格基础上进行网格细化, 传统的方法是采用过渡单元, 这种方法不增加边界上的结点个数, 边界条件的引入较为方便, 但由于本项细化计算要求在较少的区域内布置较密的网格, 采用过渡单元的办法将不能满足计算要求, 为此我们改进了网格细划办法, 在计算的局部区域边界上增加了大量结点, 对整个局部结构都作了细化, 使整个区域都增加了网格密度.

这样处理的结果, 提高了局部结构计算的精度, 但却给边界条件的引入带来了许多困难. 由于局部计算需要引入的边界条件是原整体计算所得出的位移值, 而这些位移值仅在原网格的结点处为已知, 在单元其他位置的值需由结点位移经插值计算得到. 由于我们在局部结构的边界上增加了许多结点, 这些新增边界结点的位移值需要插值求出, 这是一个相当繁杂的工作. 为保证计算精

收稿日期: 2003-08-20; 修订日期: 2003-09-30

基金项目: 郑州大学青年骨干教师基金资助项目

作者简介: 胡良明(1963-), 男, 河南光山县人, 郑州大学副教授, 博士研究生, 主要从事水工结构及抗震分析方面的研究.

度和插值计算结果的可靠性,我们针对这一问题在理论上做了深入探讨,推导了插值公式,并开发了相应的计算机程序.采用这一程序仅需准备少量数据即可方便快捷地得到所有边界结点的位移值,而且产生的数据文件可以直接供有限元计算时采用.关于边界位移插值计算的理论原理可参阅文献[2,3].

1.3 计算工况及计算荷载

按照设计任务的要求,应分别计算弧门段在静荷和地震荷载作用下的应力与内力,但在实际计算过程中,由于有限元方法及所用程序功能的限制,动荷载在细化时无法考虑,这主要是因为局部计算任务是在原整体计算的基础上进行的,需要采用整体分析时得出的位移成果作为局部计算的边界条件,而在动力分析中,位移边界条件随时间变化,无法给出结构在动力荷载作用下各振型的位移值.经与黄委会设计院协商,我们计算了 275m 水位弧形门挡水时静荷载作用下弧门段结构的应力与内力.

由于弧门段局部细化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,其具体数值参见文献[2].值得指出的是:由于整体计算之后结构尺寸的调整,弧门支铰的高程由原来的▽210.0 m 改为现在的 209.5 m,弧门的总推力采用 $P=7.60\times10^7\text{ N}$,力与水平面的夹角为 29.7° ,弧门推力化为均布力加在计算结构上,其强度为 3.324 MPa.

1.4 计算结构范围

根据整体计算结果,塔体左侧的应力较大,为争取尽可能细地剖分网格,取结构的左半部进行计算.细化计算的局部结构范围为:顶部高程为 227.6 m,底部高程至 190.0 m,上游为 0+34.4 桩号,下游到 0+70.0 桩号.

2 计算成果与分析

2.1 内力分析

根据计算任务的要求,共计算了十个断面的内力值,其中垂直断面 6 个,水平断面 4 个,其最大静内力计算结果参看表 2 和表 3.

由表 2 和表 3 可知:弧门段计算断面的最大轴力为 $-2.05\times10^7\text{ N}$,为压力,发生在 10 截面, 209.0 高程,0+70.0 桩号处.此处为大梁支铰位置附近,最大剪力值为 $6.57\times10^6\text{ N}$;该处为弧门胸墙的顶部,最大弯矩为 $1.71\times10^7\text{ N}\cdot\text{m}$;且该处位于流道侧墙中部,其作用是使墙内侧受拉.

表 2 YZ 截面最大内力及发生部位

Tab.2 Maximum internal force and location at

YZ section		
内力	最大值	发生部位
$N/10^7\text{ N}$	-1.63	(6,197)
$Q/10^6\text{ N}$	6.09	(3,214)
$M/(10^7\text{ N}\cdot\text{m})$	1.71	(2,205)

说明:括号内数字,第一个表示所在断面,第二个表示所在高程.

表 3 XY 截面最大内力及发生部位

Tab.3 Maximum internal force and location at XY section

内力	最大值	发生部位
$N/10^7\text{ N}$	-2.05	(10,209)
$Q/10^6\text{ N}$	6.57	(10,209)
$M/(10^7\text{ N}\cdot\text{m})$	-1.15	(10,209)

为了考查单元剖分粗细对内力的影响,我们对桩号 0+70.0 m 处的内力值进行了对比,如表 4 所示.

表 4 最大静内力值对照表

Tab.4 Comparison of maximum static internal force

内力	整体计算	细化计算	提高率/%
$N/10^7\text{ N}$	-2.36	-1.59	-32.49
$Q/10^6\text{ N}$	5.48	4.73	-13.76
$M/(10^7\text{ N}\cdot\text{m})$	1.25	1.42	13.53

由表 4 可以看出:整体计算的最大弯矩为 $1.25\times10^7\text{ N}\cdot\text{m}$,而细化计算为 $1.42\times10^7\text{ N}\cdot\text{m}$,其提高率约 14%,但对轴力与剪力的影响都有相当幅度的减小.

2.2 应力分析

本文计算了弧门段侧墙内外侧的主应力与方向,其计算结果见表 5.

表 5 弧门段侧墙主应力最大值及其发生部位

Tab.5 Maximum values of principal stress and location at radial gate section side wall

所在平面	最大值/MPa	发生部位
内侧	2.08	(1 210,53.89)
内侧	-5.12	(1 780,95.32)
外侧	1.49	(127,64.10)
外侧	-4.80	(1 363,93.54)

说明:表中括号内数字,第一个表示节点号,第二个表示与水平轴夹角.

由表 5 可以看出:侧墙内侧最大主拉应力发生在左侧墙中部附近,其值为 2.08 MPa,且在该点附近的局部范围内为双向受拉区;最大主压应力为 5.12 MPa,发生在侧墙和底板交界处的下游.侧墙外侧基本处于受压状态,最大压应力为 4.80 MPa;在闸室顶部外侧及大梁外侧出现少量

拉应力,其最大值为 1.49 MPa 。由于此处结构尺寸的变化,这一结果应慎重采用。

2.3 位移分析

在细化计算的局部范围内,顺河流向最大水平位移为 -1.9 mm ,高程 227.6 m ,桩号为 $0+43.45\text{ m}$;垂直河流向最大水平位移为 6.2 mm ,高程 $\nabla 227.6\text{ m}$,桩号 $0+34.4\text{ m}$;竖向最大位移为 -7.3 mm ,高程 $\nabla 227.6\text{ m}$,桩号 $0+34.4\text{ m}$ 。

以上各位移分量的最大值均发生在局部计算结构范围的顶部,这正好符合结构位移的规律。

3 结论

(1) 在所计算的局部结构内,最大主拉应力值为 2.08 MPa ,发生在侧墙内侧中部,该最大主拉应力是由于外水压力和弧门推力共同作用下产生的,该主拉应力值超过了混凝土的容许抗拉强度。同时,在侧墙内侧,还存在一个较大的拉应力区,为防止出现拉裂裂缝,应在此拉应力区内加强配筋。另一方面,侧墙的最大主压应力值为 5.12 MPa ,仍出现在侧墙的内侧,由于此压应力值远小于混凝土的容许抗压强度,故可以认为侧墙的最大主压应力在安全界限以内。

(2) 在 10 个计算断面上,计算了结构的内力值,其中轴力最大值为 $2.05\times 10^7\text{ N}$,为压力,发生在大梁支铰附近,由于大梁支铰处承受的荷载是由弧门上承受的水压力传来的,此处压力最大是可以理解的。剪力最大值为 $6.57\times 10^6\text{ N}$,发生在

弧门胸墙的顶部,弯矩最大值为 $1.71\times 10^7\text{ N}\cdot\text{m}$,发生在侧墙上,其作用是使侧墙内侧受拉,该弯矩产生的拉应力,亦在上述侧墙内侧的拉应力区内,在侧墙的配筋设计中,应充分注意最大弯矩所产生的影响。

(3) 通过与整体计算成果的比较可以发现,细化计算所得弯矩成果在许多处有不同程度的增大。例如,在流道侧墙的 205.0 高程,整体计算最大弯矩为 $1.56\times 10^7\text{ N}\cdot\text{m}$,而细化计算得出的最大弯矩值为 $1.71\times 10^7\text{ N}\cdot\text{m}$,位于 $0+55.19\text{ m}$ 处,而轴力和剪力则有相当程度的减小,其规律与文献[4]相同。

综上所述,在 1 号进水塔弧门段的设计中,应特别注意侧墙内侧的配筋设计,以保证弧门段在挡水工况下能正常工作。

参考文献:

[1] 张五岳.大型进水塔的应力分析[D].郑州:郑州工学院,1990.
[2] 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.
[3] 胡良明,董跃星,周鸿钧.小浪底水利枢纽 3 号进水塔架的静动力分析[J].郑州工业大学学报,1998, 15(4):13~18.
[4] 胡良明,李宗坤,王宗敏,等.小浪底 2 号进水塔工作门段预应力分析[J].郑州大学学报(工学版), 2002,23(2):89~91.

Stress Analysis of Particular Division about Radial Gate Section
of No.1 Intake Tower in Xiaolangdi Project

HU Liang-ming¹, WANG Tao², WANG Zong-min¹, ZHOU Hong-jun¹

(1.College of Environmental & Hydraulic Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. Beijing Institute of Hydraulic Science Research, Beijing 100044, China)

Abstract :In this paper , 8~21 node solid elements are used to divide the Xiaolangdi No.1 intake tower . Under water loading , in consideration of main gate shutting scheme , the stress analysis of radial gate section is presented . The internal force of 10 sections and the stress state of the sluice chamber side wall are calculated . The result shows that bending moment increases at different degree in particular division calculation , normal force and shear force both decrease at rather degree . There is a larger tensile stress zone with the maximum value of 2.08 MPa . The design agency should consider other engineering measures for controlling double tensile stress of the side wall 's larger zone .

Key words : intake tower ; particular division ; finite element method ; stress analysis