

基于 ADINA 的水闸渗流和结构稳定分析

叶建光, 李 曼, 顾伊娜

(江苏省淮沭新河管理处, 江苏 淮安 223001)

摘要: 为了对水闸设计计算过程中至关重要的渗流和结构方面进行科学的分析计算, 以淮阴闸为例, 采用 ADINA 三维有限元软件, 选取典型的有代表性的中孔建立三维数值模型, 并进行校核水位和设计水位工况下的渗流和应力应变分析, 分析结果为该水闸的除险加固提供了有益的参考。

关键词: 闸坝; ADINA; 渗流; 应力; 应变

中图分类号: TV66

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2020)01-0013-04

Analysis on the seepage and structural stability of sluice based on ADINA

YE Jianguang, LI Man, GU Yina

(The New Huaishu River Management Division of Jiangsu Province, Huai'an 223001, Jiangsu)

Abstract: In order to carry out scientific analysis and calculation of seepage and structure which were very important in the design and calculation of sluice, taking Huaiyin sluice as an example, ADINA three-dimensional finite element software was used and typical representative middle hole was selected to establish a three-dimensional numerical model, and the analysis of seepage and stress-strain under the conditions of checking water level and design water level were carried out, and the analysis results provided a useful reference for the danger-reinforcement of the sluice.

Key words: sluice dam; ADINA; seepage; stress; strain

0 引 言

水闸是一种具有挡水、引水、防洪、分洪等功能的水工建筑物。我国兴建水闸的历史可以追溯到公元前 500 年, 在世界范围内, 水闸也有着悠久的历史。我国自新中国成立后, 修建了大量的各种类型的水闸, 积累了丰富的水闸设计和施工经验。随着水利行业不断发展, 特别是近年来对生态环境的重视程度的提高, 人们对水闸的设计方案提出了更高的要求, 希望能达到生态环保、资源节约、功能多样等多种目的, 需要与水闸周边环境相协调, 并能形成一定的人文景观, 且要求结构稳定、耐久、外观美观实用。因此, 满足上述要求的水闸设计与研究已成为目前水利工程一个热点方向。水闸作为挡水建筑物, 其稳定与水有着密不可分的关系, 在水的

作用下, 会出现渗流稳定方面和结构稳定方面的问题, 影响水闸功能的正常发挥, 甚至会导致闸坝事故的发生^[1-6]。因此, 如何科学准确地进行水闸渗流和结构稳定方面的计算对水闸的设计就显得至关重要了。本文以淮阴闸为例, 采用 ADINA 有限元软件建立了水闸的三维有限元模型, 并对不同工况下的渗流稳定和水闸结构的应力应变进行了模拟分析, 旨在为该水闸的除险加固提供参考。

1 三维有限元模型的建立

1.1 基本概况

淮阴闸地处淮安市淮阴区王家营街道杨庄, 在中运河与淮沭新河交汇处, 淮阴闸是“分淮入沂、淮水北调”淮阴枢纽主体工程之一, 建成于 1959 年 10 月。闸总宽 345.4 m, 共 30 孔, 每孔净宽 10 m, 闸室

收稿日期: 2019-06-30

作者简介: 叶建光(1988—), 男, 工程师, 主要从事水利行业维修养护项目、安全生产工作。

总长 107 m, 闸孔净高 8.4 m, 闸底板高程 6.10 m (废黄河基准, 下同), 胸墙底高程 14.50 m, 闸顶高程 17.00 m, 设计流量 $3000 \text{ m}^3/\text{s}$, 校核流量 $4000 \text{ m}^3/\text{s}$, 设计洪水标准为 300 年一遇洪水。该闸工程规模为大(2)型, 1995 年加固按基本地震烈度 7 度设防, 承担排洪、灌溉、发电、调节航运水位作用, 在淮河洪水时泄 $3000 \sim 4000 \text{ m}^3/\text{s}$ 入新沂河, 以提高淮河下游的防洪能力, 一般年份和桃汛期泄 $400 \sim 500 \text{ m}^3/\text{s}$ 预降洪泽湖水位可保护淮沭河滩地 0.47 万 hm^2 农作物免遭水害, 为 3 个市 11 个县(区)工农业生产及人民生活提供水源, 为该地区的经济发展发挥了积极作用。工程区地势低洼, 地貌属于黄泛冲积平原, 根据勘察结果, 15 m 深度范围内无液化层。

1.2 模型的建立

由于该闸的规模较大, 闸底板为分离式底板结构, 且地基土变化较小, 因此本次取水闸中间一个具有典型代表性的孔段建立三维有限元数值模型。模型上下游范围自上游混凝土铺盖至下游消力池前端, 垂直方向上自闸室底板向下延伸至弱透水层。模型采用笛卡尔直角坐标系, 坐标原点取模型下游右岸最底端, 水闸轴线自左向右为 X 轴正向, 自上向下顺水流方向为 Y 轴正向, 竖直向上为 Z 轴正向。模型底部及四周为不透水边界。水闸地基底部侧边为 $Z=0$ 、 $X=0$ 或 $Y=0$, 水闸轴线方向为 $Y=0$ 。为保证数值模拟计算的精度, 本次计算采用空间八节点六面体结构进行数值模型的单元划分, 共划分节点 21512 个, 单元 18140 个。计算模型网格划分如图 1 所示。

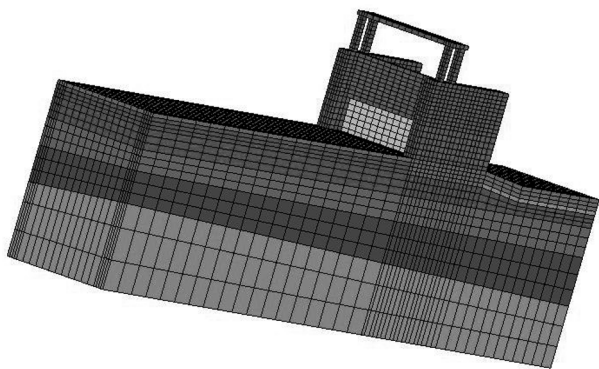


图 1 计算模型网格划分

1.3 计算参数及工况

根据水闸及所在位置的地层岩性, 将水闸和地基共划分为 6 种材料, 其中地基土按非线性材料, 水闸结构按弹性材料。材料参数如表 1 所示, 水闸

及地基材料划分如图 2 所示。

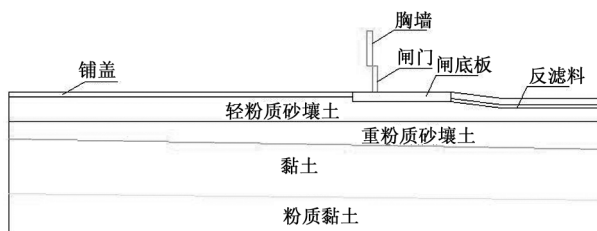


图 2 计算模型材料划分

在本次计算时, 荷载仅考虑结构自重和水荷载, 水的重度按 9.8 kN/m^3 选取。根据水闸设计和运行工况, 共分为 2 种工况, 分别为校核水位和设计水位, 如表 2 所示。

2 计算结果分析

2.1 渗流稳定分析

通过对水闸进行整体渗流稳定分析, 得到了校核和设计水位下的总水头云图和压力水头云图, 如图 3 和图 4 所示。

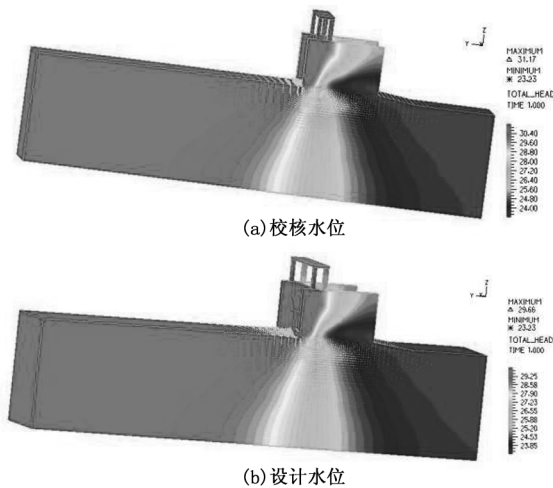


图 3 总水头云图

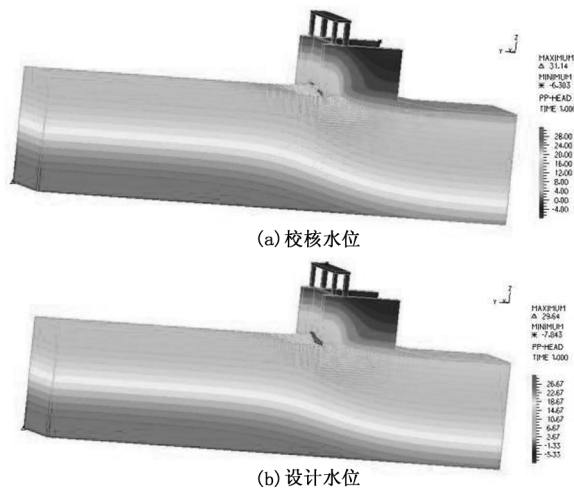


图 4 压力水头云图

表 1 各材料计算参数

岩性	重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量/ MPa	泊松比	黏聚力/ kPa	内摩擦角/ ($^{\circ}$)	渗透系数/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
粉质黏土	17.90	8.0	0.34	19.2	21.2	1.80×10^{-6}
黏土	18.00	8.1	0.35	14.1	21.0	6.00×10^{-6}
重粉质砂壤土	18.90	11.8	0.25	8.5	32.0	1.60×10^{-5}
轻粉质砂壤土	18.70	10.5	0.28	11.1	28.5	6.60×10^{-5}
反滤料	19.00	14.3	0.43	8.9	33.0	2.00×10^{-5}
底板	24.00	23000	0.166	0	0	7.00×10^{-9}
闸墩	24.00	23000	0.166	0	0	7.00×10^{-9}
闸门	24.00	23000	0.166	0	0	2.00×10^{-10}

表 2 计算工况

计算工况	上游水位/m	下游水位/m
校核洪水位	15.20	7.50
设计洪水位	14.60	7.50

由图 3 和图 4 可以看出:在渗流分析时,首先设置初始水头即位置水头,模型的初始水头比 Z 向的最大值稍大一点,总水头等于压力水头和位置水头两者的和,因此,可以看出在校核水位和设计水位下,水闸的渗流特点基本一致,均在闸室底板处闸门附近发生集中渗流,且渗透坡降较大,总水头在 Y 轴正方向呈递减的趋势,在 Z 轴方向上呈曲线等值线分布,即在高程方向上,随高程的增加,压力水头逐渐减小。随着水位的降低,渗流的等值线向上游扩展,渗流坡降逐渐减小。在各计算工况下,渗透坡降在允许的范围内,满足要求。各计算工况时的渗透坡降如表 3 所示。

表 3 各计算工况时的渗透坡降

工况	校核水位/m	设计水位/m
渗透坡降	0.32	0.29
允许值		0.40 ~ 0.50

2.2 应力应变分析

在水闸整体渗流稳定分析的基础上,选取闸室中间纵断面进行水闸结构的应力应变分析,得到了校核和设计水位下的 Y 方向位移云图、Z 向位移云

图、最大主应力云图、最小主应力云图和 Z 向主应力云图,如图 5~9 所示。

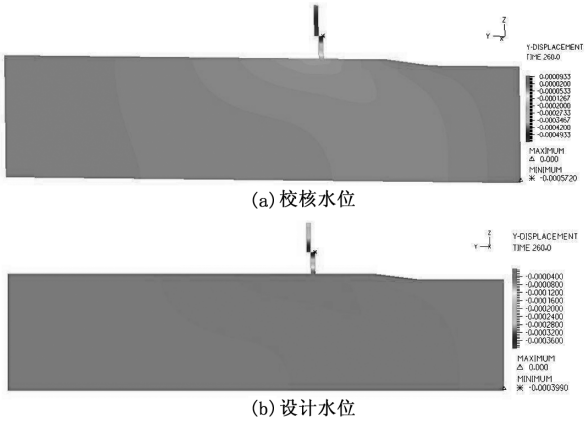


图 5 Y 向位移云图

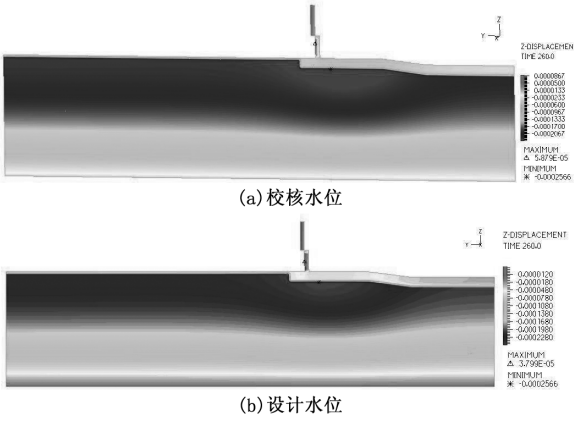


图 6 Z 向位移云图

由图 5~9 可以看出:

Y 向(顺水流方向)位移:在水荷载的作用下,校核和设计水位时水闸和胸墙在 Y 方向位移均较

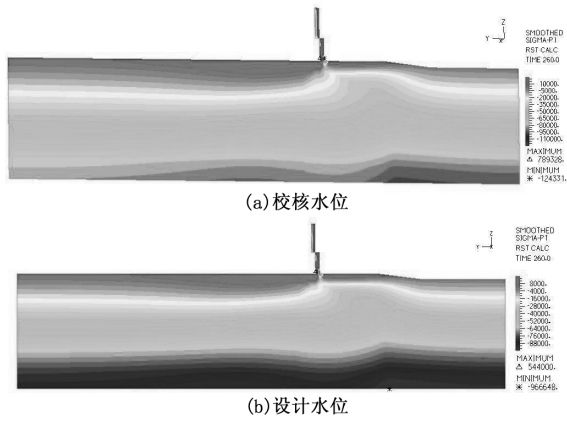


图 7 最大主应力云图

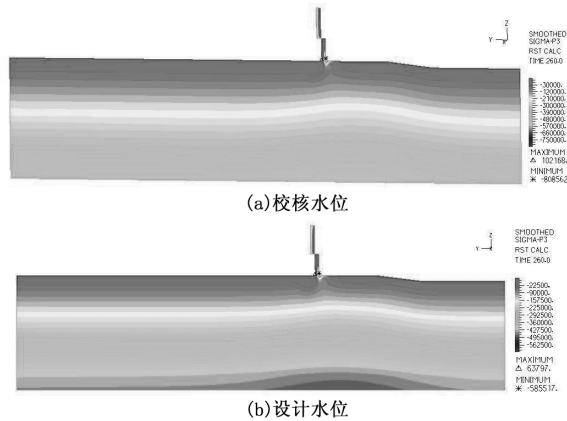


图 8 最小主应力云图

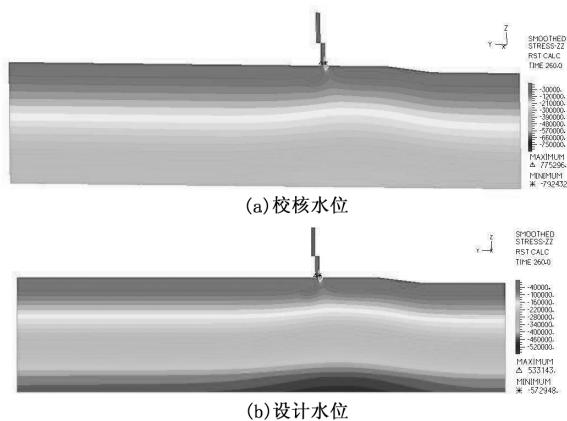


图 9 Z 向应力云图

大,校核水位时最大位移为 0.58 mm,设计水位时最大位移为 0.41 mm,最大位移均位于闸门背水面,此外,在水渗透压力的作用下,校核和设计水位时闸门与底板接触部位也呈现出大小不等总体较小的顺水流位移。

Z 向(竖直方向)位移:在水荷载的作用下,Z 向向上的最大位移均位于胸墙下部的闸门处,校核水位时最大位移约为 0.07 mm,设计水位时最大位移约为 0.05 mm,Z 向向下的最大位移均位于闸底板与地基土接触部位,校核水位时最大位移约为

0.31 mm,设计水位时最大位移约为 0.27 mm,另外还可以看出,受材料影响,校核和设计水位时 Z 向位移均随高程的不同具有明显的梯度变化。

最大主应力:在水荷载的作用下,校核和设计水位时最大主拉应力最大值均出现在闸底板与闸门的接触部位,校核水位作用下最大拉应力 0.80 MPa,设计水位作用下最大拉应力 0.55 MPa,最大的主压应力则位于消力池处地基最下部,Y 向(顺水流方向)在闸门附近均会产生较大的拉压应力,其中闸门与底板接触部位拉应力最大,Z 向自闸底板向下压应力逐渐变大,自闸底板往上压应力则逐渐变小,其中也是闸门与底板接触部位达到最大。

最小主应力:在水荷载的作用下,最小主应力的分布规律与最大主应力接近,其最大拉应力值位于闸门上游迎水面与底板接触部位,校核水位时最大拉应力 0.11 MPa,设计水位时最大拉应力 0.07 MPa,其最大压应力则位于闸门下游与底板接触部位,校核水位时最大压应力为 0.82 MPa,设计水位时最大压应力为 0.60 MPa。

Z 方向应力:Z 方向应力的分布规律也与最大主应力接近,拉应力最大值位于闸门上游迎水面与底板接触部位,校核水位时最大拉应力 0.79 MPa,设计水位时最大拉应力 0.54 MPa,最大压应力位于闸门下游与底板接触部位,校核水位时最大压应力为 0.81 MPa,设计水位时最大压应力为 0.58 MPa。应力应变计算结果如表 4 所示。

表 4 各工况时的应力应变计算结果

应力应变(以拉应力为正)	校核水位 设计水位	
	最大值	最小值
Y 向位移(顺水流方向)/mm	0	0
	-0.58	-0.41
Z 向位移(竖直方向)/mm	0.07	0.05
	-0.31	-0.27
最大主应力/MPa	0.80	0.55
	-0.13	-0.11
最小主应力/MPa	0.11	0.07
	-0.82	-0.60
Z 向主应力/MPa	0.79	0.54
	-0.81	-0.58

(下转第 22 页)

(上接第 16 页)

综上所述,在 2 种工况下水闸的应力应变的分布规律相似,且均在允许的范围内,在闸底板与闸门的接触部位以及胸墙底部会出现较大的拉压应力。因此,需要在这些部位采取合理配筋等手段,减少应力对水闸结构的不利影响。

3 结 论

通过采用 ADINA 三维有限元软件对准阴闸典型中孔进行数值模拟分析,在校核水位和设计水位下,水闸的渗流特点基本一致,均在闸室底板处闸门附近发生集中渗流,渗透坡降在允许的范围内,满足要求;在两种工况下水闸的应力应变的分布规律相似,且均在允许的范围内,在闸底板与闸门的接触部位以及胸墙底部会出现较大的拉压应力。因此,需要在这些部位采取合理配筋等手段,减少应力对水闸结构的不利影响。

参考文献:

- [1] 安普太. 土基水闸渗流稳定分析与防渗措施探讨[J]. 水利规划与设计, 2015(10):77-79.
- [2] 王国华. 旗岭水闸砂砾石地基渗透变形特性[J]. 水利规划与设计, 2013(1):37-39.
- [3] 马飞, 马兆会, 李永春. 基于 ASNSYS 的孟家闸闸室稳定有限元分析[J]. 水利规划与设计, 2013(11):54-55.
- [4] 林志文. 水闸底板的内力分析[J]. 水利规划与设计, 2013(9):53-58.
- [5] 陈立新, 聂世虎, 王子朝. 水闸消力池深度与长度计算中应注意的问题[J]. 水利技术监督, 2005(4):16-19.
- [6] 陈秀青. 水闸基本尺寸设计方案比较[J]. 水利技术监督, 2013(4):49-52.