

基于有限元仿真的闸室结构 内力计算分析

李学德¹, 秦景洪^{1,2}, 赵津磊¹, 张孟颖¹, 蒋文志¹

(1. 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225127; 2. 扬州大学 水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要:结构应力计算在混凝土结构设计中占据重要地位,针对拆除重建地基上的水闸结构设计,建立闸室与地基土结构有限元模型,借助 ANSYS 中接触单元模拟底板与地基接触面进行非线性分析。对不同工况分别进行仿真计算,分析闸室位移及结构应力情况。

关键词:水闸;有限元;接触单元;非线性

中图分类号:TV222.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2020)10-0010-05

Calculation and analysis of internal force of lock chamber structure based on finite element simulation

LI Xuede¹, QIN Jinghong^{1,2}, ZHAO Jinlei¹, ZHANG Mengying¹, JIANG Wenzhi¹

(1. Jiangsu Provincial Water Conservancy Survey and Design Institute Co., Ltd., Yangzhou 225127, China;
2. College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: Structural stress calculation occupies an important position in the design of concrete structures. For the design of the sluice structure on the demolition and reconstruction of the foundation, a finite element model of the sluice chamber and the foundation soil structure was established, and the contact element in ANSYS was used to simulate the contact surface between the bottom plate and the foundation for nonlinear analysis. The displacement and structural stress of sluice chamber were analyzed by simulation calculation under different working conditions.

Key words: sluice; finite element; contact unit; nonlinear

近年来,我国不断推进水利基础设施建设。水闸工程多兴建于河道、水库、湖泊以及滨海地区,在供水、灌溉、排涝及防洪等方面发挥了重大作用。然而由于服役时间过长,加之在设计、施工及运行管理过程中存在或多或少的的问题,混凝土结构老化损害严重,严重影响了水闸的安全服役性能。根据《水闸安全鉴定管理办法》(水建管[2008]214号),需定期对水闸建筑物进行安全鉴定,评定的“四类闸”则需要拆除重建^[1-3]。现行水闸地基设计中多对闸室与基础分开考虑,在计算闸室底板及地基基础直接约束时,出现较大误差,影响了闸室结

构内力及变形计算结果。

随着三维计算力学的发展,其实用性不断提升,当前流行的商用软件主要有 ANSYS、ABAQUS、ADINA、HYPERMESH 等^[4]。三维有限元仿真可以基于不同的材料性质以及各种结构造型来分析静力、动力、弹性以及塑性等问题。水闸有限元计算时,一般运用刚性连接,难以模拟结构间的滑动情况,不符合实际工程情况。本文借助 ANSYS 软件,结合实际工程,单独建立闸室与地基有限元模型,不同材料结构间采用 ANSYS 中接触单元进行连接仿真^[5]。

收稿日期:2020-07-10

作者简介:李学德(1987—),男,工程师,硕士,研究方向为水工结构设计。E-mail:417389672@qq.com

1 工程概况

研究水闸位于江苏省淮安市淮阴区, 中运河与淮沭新河交汇处, 是分淮入沂综合利用工程之一, 为淮涟灌区和徐溜灌区引水渠首工程, 经专家组鉴定为四类闸, 须对该闸进行拆除重建。设计采用原规模拆除重建方案, 新建水闸单孔净宽 8 m, 共 3 孔, 为整体式平底板胸墙式水闸结构。闸室底板面高程为 7.5 m, 厚度为 1.3 m; 胸墙底高程为 12.0 m; 上游墩顶高程为 18.0 m, 下游墩顶高程为 16.0 m。由于边墩外侧挡土高度较高, 边墩做成变截面形式, 边墩上部厚度为 1.0 m, 下部至根部渐加厚至 1.5 m。闸室底板顺水流向长度 16.0 m, 垂直水流向总宽为 29.0 m。由于新建水闸闸室基础位于原有老闸的换填粗砂层之上, 设计时考虑将该层粗砂全部挖除, 采用 10% 的水泥土进行置换回填。

2 有限元模型

2.1 ANSYS 接触单元

结构与土体运行中多产生滑动甚至脱离现象, 闸室承载的变化将影响到接触状态, 引发接触面的应力及变形变化, 进而引发整个结构的应力场。本次仿真计算考虑闸室及土体间滑动接触面, ANSYS 软件中可设置三维面面接触单元对 CONTACT174 及 TARGET170, 采用标准接触^[6-7]。

2.2 计算参数及模型

(1) 计算参数

闸室混凝土构件力学参数取值见表 1。

表 1 闸室混凝土构件力学参数表

构件名称	材料名	弹性模量/MPa	泊松比	重度/(kN·m ⁻³)
底板	C25	2.8×10 ⁴	0.167	25
闸墩	C25	2.8×10 ⁴	0.167	25
胸墙	C25	2.8×10 ⁴	0.167	25

根据以往经验, 地基土力学参数对计算结果影响较大。地基土参数取值依据工程地质报告, 变形模量取值参照《土力学与岩土工程师》^[8]。置换 10% 水泥土变形模量、黏聚力及内摩擦角取值参照《地基处理手册》^[9]。各地基土力学参数见表 2。

(2) 有限元模型

为反映闸室整体效应, 将整个闸室结构和地基土作为整体进行计算。建模时地基选取范围为: 垂

直水流及顺水流方向分布延伸闸室宽度及底板长度 2 倍, 向下延伸深度取闸室高度 1.5 倍, 为保障计算结果精确, 模型做了一定的简化。

混凝土结构采用线弹性模型, 采取实体单元 SOLID65 模拟; 地基土应力应变本构关系设定理想弹塑性 D—P 模型, 采取 SOLID45 单元进行模拟^[10-11]。有限元模型单元共计 111 487, 节点共计 130 321。图 1 为结构有限元模型。

2.3 计算工况

对该水闸进行数值仿真计算, 主要承受结构自重, 外部荷载及边荷载作用。边荷载对底板应力影响较大, 数值模拟中基于地基属性以及可压缩层厚度来模拟边荷载。地基地面施加全约束, 四个侧面分别施加垂直于该截面方向的位移约束。通过数值仿真计算, 分析不同工况下闸室竖向位移及应力情况。

3 计算结果

按照上述的计算参数及模型, 对 3 种工况进行计算, 求解出水闸闸室结构的位移和应力。计算结果见图 2~4。

3.1 竖向位移分析

完建期工况没有上下游水荷载作用, 水闸结构自重和向下固定荷载是引起闸室竖向移动的主要因素。闸室竖向位移整体分布, 竖向变形较大的部位为上游段中墩顶部及之间的部分区域, 最大值出现在中墩顶部, 最小值出现在闸室边墩下游段外侧, 数值分别为 1.45 cm 及 1.23 cm, 不均匀沉降为

2.2 mm。

由表 4 可以看出, 完建期闸室竖向最大位移为 1.45 cm, 设计水位期为 1.81 cm, 校核水位期为 1.95 cm, 3 种工况下竖向位移相差不大, 因为水闸结构的自重和向下固定荷载是引起闸室结构竖向移动的主要因素。上下游水位差较大, 上游段底板受到较大水重, 在中墩上游段及之间的底板处出现较大竖向位移。

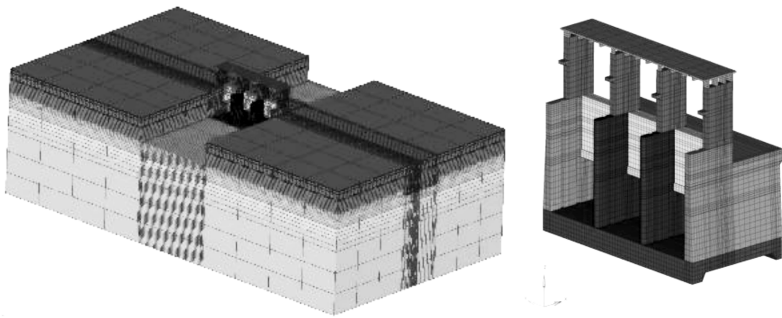


图 1 有限元模型

表 2 地基土力学参数表

地基土类别	材料名	变形模量/MPa	压缩模量/MPa	泊松比	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)
地基土 1	10% 水泥土	165.7	/	0.18	271	31
地基土 2	粉质黏土	12	6.95	0.25	40.7	13.2
地基土 3	粉砂	18	14.59	0.25	4.4	27.4
地基土 4	含砾细砂	36	13.47	0.30	4.9	30.4
地基土 5	含砾粉质黏土	11	8.15	0.3	62.4	12.3

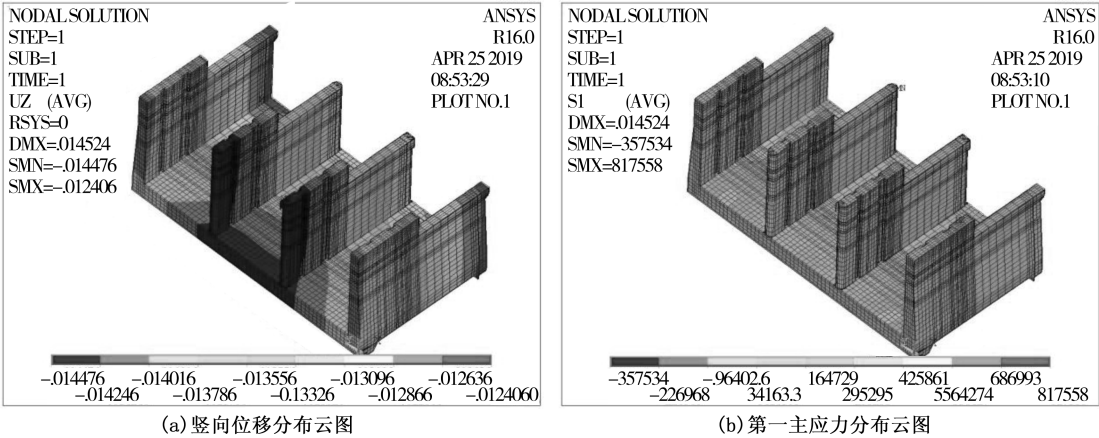


图 2 完建期竖向位移分布云图及第一主应力分布云图

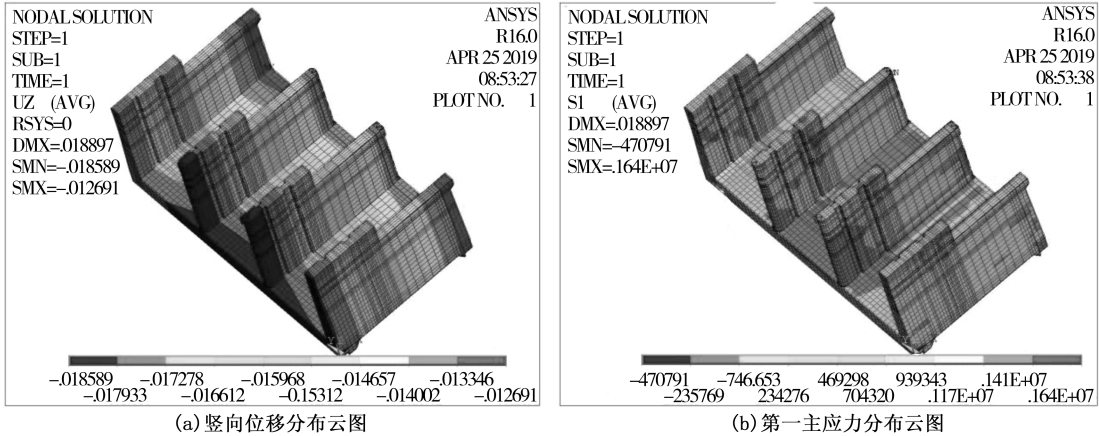


图 3 设计水位期竖向位移分布云图及第一主应力分布云图

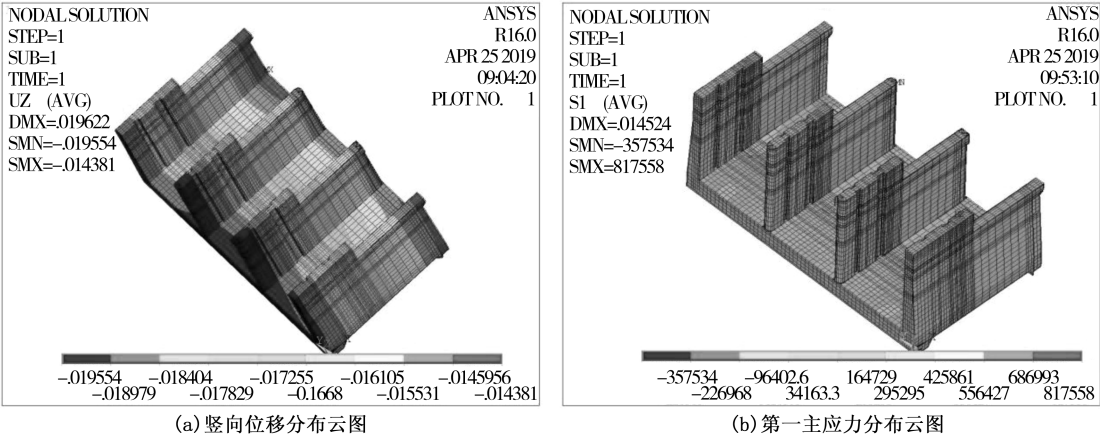


图 4 校核水位期竖向位移分布云图及第一主应力分布云图

表 3 计算工况

工况	水 位/m	
	上游	下游
完建期	—	—
设计水位期	15. 40	8. 50
校核水位期	16. 43	8. 50

表 4 不同工况下闸室 Z 向位移及最大主应力值

工况	U_{zmax}/cm	U_{zmin}/cm	σ/MPa
完建期	1. 45	1. 23	1. 19
设计水位期	1. 81	1. 27	1. 64
校核水位期	1. 95	1. 43	1. 65

3.2 应力分析

完建期工况水闸仅受到自重及上部结构传递下来的载荷作用,闸墩呈现受压状态。闸底板靠近边墩处出现应力集中现象,越靠近现象越明显,出现 0.67 MPa 拉应力,但未超过 C25 混凝土抗拉强度值。

设计水位期工况受到上下游水荷载作用。闸底板承受竖向水重,底板上部承受了压应力和拉应力,最大拉应力值为 0.81 MPa,最大压应力值为 0.8 MPa。闸墩在上游水推力作用下承受压应力作用。闸门在水平向水压力作用下,门槽处压应力达到 0.42 MPa,拉应力单元点存在 1.43 MPa,其余区域均小于 0.7 MPa。边墩内侧与闸底板衔接处承受较大的拉应力,最大拉应力值为 1.21 MPa,这是因为闸墩承受闸门传递的水平向水压力与侧向土压力相互作用造成,但该处拉应力小于 C25 混凝土抗

拉强度值。校核水位期与设计水位期应力分布趋势相似,应力值略有增大。

3.3 完建期闸室基底应力

由于完建期闸室地基应力较大,设计中往往需要根据完建期地基应力情况,考虑是否需要的基础处理。完建期地基应力分布见图 5。

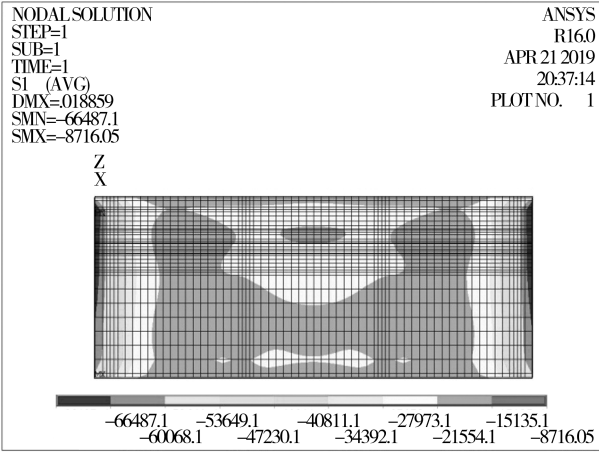


图 5 完建期基底应力分布图

根据计算结果知,完建情况下水闸闸室基底应力均为受压,不存在拉应力;闸底板在闸室中墩、边墩、齿墙附近出现应力集中分布现象,底板其它部位分布较为均匀,其中闸室基底最大压应力为 66.5 kPa,靠近边墩上游齿墙附近,主要原因是由于闸底板要承受不平衡剪力和闸墩及闸室上部结构的重力。除靠近边墩上游齿墙附近部位,闸室基底最大压应力为 47.2 kPa、最小压应力为 28.0 kPa,可求得不均匀系数为 1.69,闸室稳定性较好。

4 结 语

(1)借助 ANSYS 软件,将水闸底板、闸墩和地基作为一个整体,建立水闸整体有限元结构计算模型。结果表明闸室变形呈现出中部大,周边小的特

点;闸墩靠近底板处有应力集中的现象。

(2)对水闸结构进行分析时,地基模拟较为粗糙,土层分层较为明确,各层参数随着深度变化而改变,渗流性能也会变化,此时应在模型中引入渗流场,考虑渗流对闸室结构的影响,该问题还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 周建平,党林才. 水工设计手册第二版[M]. 北京:中国水利电力出版社, 2011.
- [2] SL265—2016, 水闸设计规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2016.
- [3] 陈宝华,张世儒. 水闸[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2003.
- [4] 张汝清,詹先义. 非线性有限元分析[M]. 重庆:重庆大学出版社, 1990.

- [5] 李妍. 基于 ANSYS 软件的接触问题分析及在工程中的应用[D]. 长春:吉林大学, 2004.
- [6] 殷晓曦,张强. 软弱地基上井字梁底板式水闸的有限元分析[J]. 水利水电技术, 2016, 47(3):39-41, 46.
- [7] 崔朕铭,蔡新,黄海田,等. 软土地基上水闸整体结构优化设计[J]. 水利水电科技进展, 2016, 36(1):86-89.
- [8] 高大钊. 土力学与岩土工程师—岩土工程疑难问题答疑笔记整理之一[M]. 北京:人民交通出版社, 2011.
- [9] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2008.
- [10] 苏超,牛先玄,尹晓明,等. 不同加载方式对水闸改造工程结构应力的影响[J]. 水电能源科学, 2014, 32(4):96-98, 95.
- [11] 苏超,戴丽媛. 三维有限元法在病险水闸整治工程中的应用研究[J]. 水力发电, 2015, 41(3):41-44.

(上接第 9 页)

“上蓄、中滞、下泄”的治理原则,提出在充分利用上游中小型水库拦蓄洪水的条件下,进一步实施通胜地区骨干河道(通济河、胜利河以及简牍河)整治。通胜治理方案实施后,遇 2015 年型 20 年一遇洪水,宝堰、旧县和直溪的最高洪水位降至 9.29m、8.74m 和 7.13m,均已达到通胜地区防洪设计水位目标,可见治理对策符合通胜地区实际与需求。

参考文献:

- [1] 施顺成,展永兴,方国华,等. 太湖湖西山丘区中小流域产汇流模型研究[J]. 人民长江, 2018(增刊):11-14.

- [2] 詹道江,徐向阳,陈元芳. 工程水文学[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2010.
- [3] 衣秀勇. DHI MIKE FLOOD 洪水模拟技术与研究[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2014.
- [4] 李卫东,周宏,陈睿星,等. 特小流域设计洪水计算方法在山谷型干灰场中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2017(1):80-83.
- [5] 刘鑫. 传统与现代水文方法相结合在水系规划中的应用研究[J]. 城市道桥与防洪, 2019(2):113-116.
- [6] 周洁,董增川,朱振业,等. 基于 MIKE FLOOD 的洪泽湖周边滞洪区洪水演进模拟[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(5):56-62.