



# 某船闸工程船闸闸室结构优化设计

王鹏<sup>1</sup>, 卜丁<sup>2</sup>

(1. 西南大学工程技术学院, 重庆 400715;

2. 江门市交通工程质量监督站, 广东 江门 529000)

**摘要:** 船闸是通航建筑物的一种主要形式, 它一般用于保证船舶安全过闸, 因此, 其结构设计的合理性就显得格外重要。以某船闸工程为例, 利用Abaqus有限元软件对船闸闸室结构进行计算; 讨论影响船闸闸室结构设计安全性、稳定性的关键因子, 找出考虑这些关键因子的优化设计方法, 并进行结构优化设计。

**关键词:** 船闸结构; 有限元分析; 关键因子; 优化设计

中图分类号: TV 314

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)09-0142-03

## Optimization design for ship lock structure

WANG Peng<sup>1</sup>, BU Ding<sup>2</sup>

(1. College of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Jiangmen Traffic Engineering Quality Supervision Station, Jiangmen 529000, China)

**Abstract:** Ship lock is one of the main methods for navigation. It usually guarantees ships pass the lock safely. Therefore, the proper design of ship lock is extraordinarily significant. Taking one ship lock project as example, this paper discusses the ship lock structure by finite element analysis, and investigates key factors affecting ship lock's safety and stability. Moreover, optimization design for ship lock structure is provided.

**Key words:** ship Lock structure; finite element analysis; key factor; optimization design

船闸是通航建筑物的一种主要形式, 它一般用于保证船舶安全过闸, 因此, 其结构设计的合理性就显得格外重要。本文以某船闸工程为例, 利用Abaqus有限元软件对船闸闸室结构进行计算; 讨论影响船闸闸室结构设计安全性、稳定性的关键因子, 找出考虑这些关键因子的优化设计方法, 并进行结构优化设计。其中实例分析的工程为一个II等航电结合的综合利用工程, 该工程的主要建筑物为3级, 次要建筑物为4级。航闸的有效尺度(即闸室长度×闸室宽度×吃水深度)为120 m×16 m×3 m, 设计通航船队为2×500 t。电站装机容量84 MW(3×28 MW), 保证出力

23.5 MW, 多年平均发电量3.854 3亿kW·h, 年平均利用时间4 588 h。该工程的总投资130 473万元, 静态总投资127 154万元。

### 1 船闸闸室结构有限元模型

用Abaqus有限元软件建立船闸闸室结构三维有限元模型(图1)<sup>[1]</sup>。选取船闸闸室长度方向为两个相邻沉降缝之间的长度15 m; 宽度方向以闸室纵轴线为中心线, 两边各取60 m; 深度方向以闸室顶部为上边界, 向下取70 m。

在有限元模型中, 混凝土材料本构关系采用广义Hooke定律<sup>[2]</sup>; 土体材料本构关系采用Mohr-

收稿日期: 2012-03-30

作者简介: 王鹏(1978—), 男, 硕士, 讲师, 主要从事建筑结构研究。

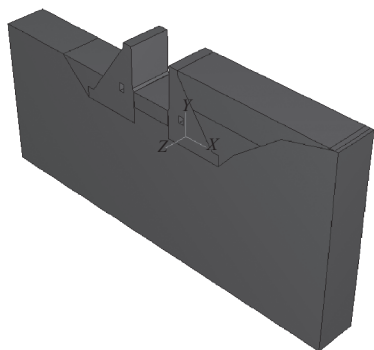


图1 船闸闸室模型

Coulomb模型<sup>[3]</sup>。模型考虑了船闸闸室结构与周围土体(岩体)的相互摩擦作用,取摩擦系数为0.45。各种材料物理参数见表1。

表1 材料物理参数

材料	弹性模量/GPa	密度/(t·m <sup>-3</sup> )	泊松比	内摩擦角φ/(°)
混凝土	20	2.4	0.3	
砂卵石	0.02	1.9	0.2	35
岩体	30	2.4	0.2	

为能够得到船闸闸室区域精确解,在模型关键部位加密网格。模型采用Tet C3D4单元,有23 234个单元,有23 263个节点,见图2。

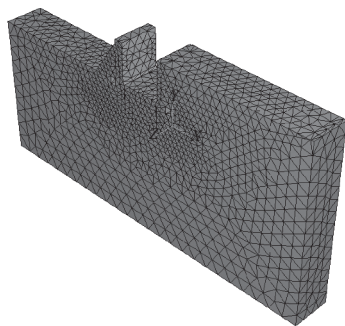


图2 船闸闸室模型网格

## 2 结构影响关键因子

通过前面的计算及对比分析,发现闸室自重及主动土压力为控制荷载。如何减小上述荷载则成为结构优化设计的主要目的。主动土压力系数计算公式<sup>[4]</sup>如下:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (1)$$

$$K_0 = 1.35K_a \quad (2)$$

$$K_{ax} = K_0 \cos(\alpha + \delta) \quad (3)$$

$$K_{ay} = K_0 \sin(\alpha + \delta) / \tan \alpha \quad (4)$$

式中:  $K_a$ 为主动土压力系数;  $K_0$ 为静止土压力;  $K_{ax}$ 为静止土压力系数的水平向分值;  $K_{ay}$ 为静止土压力系数的竖直向分值;  $\alpha$ 为闸墙背与垂直线的夹角;  $\varphi$ 为填土的内摩擦角,  $\delta$ 为闸墙背与土的摩擦角,  $\delta = \frac{2}{3}\varphi$  (斜墙),  $\delta = \frac{1}{2}\varphi$  (直墙);  $\beta$ 为填土表面与水平面所成夹角,  $\beta = 0^\circ$ 。

其中影响关键因子为回填土的内摩擦角 $\varphi$ 和闸墙背与垂直线的夹角 $\alpha$ 。若增加 $\varphi$ 值,或减小 $\alpha$ 值,则主动土压力系数减小;  $\alpha$ 值减小,则闸室截面变小、自重减轻。因此,影响船闸闸室结构设计关键因子为 $\varphi$ 和 $\alpha$ 。现对闸墙背与垂直线的夹角 $\alpha$ 由 $35^\circ$ 改为 $25^\circ$ ;将下层回填土改为回填开山石( $\varphi$ 为 $45^\circ$ ;密度为 $1.1 \text{ t/m}^3$ )。

## 3 船闸闸室结构优化分析

船闸结构优化设计所用材料及其物理参数见表2。

表2 材料物理参数

材料	弹性模量/GPa	密度/(t·m <sup>-3</sup> )	泊松比	内摩擦角φ/(°)
混凝土	20	2.4	0.3	
砂卵石	0.02	1.9	0.2	35
开山石	0.3	1.1	0.2	45
岩体	30	2.4	0.2	

荷载组合为建筑物自重力、土压力、静水压力、扬压力(包括浮托力和渗透压力)、船舶荷载(包括船舶撞击力和船舶系缆力)、活荷载。Abaqus有限元软件计算结果见图3~6。

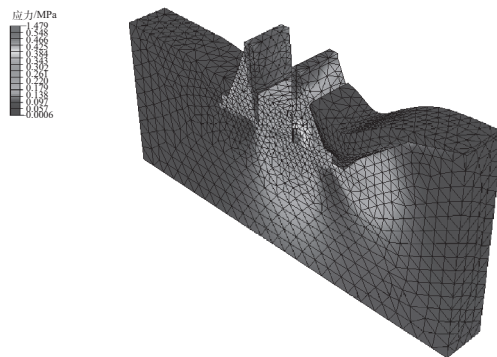


图3 结构优化后运行情况船闸闸室mises应力云图

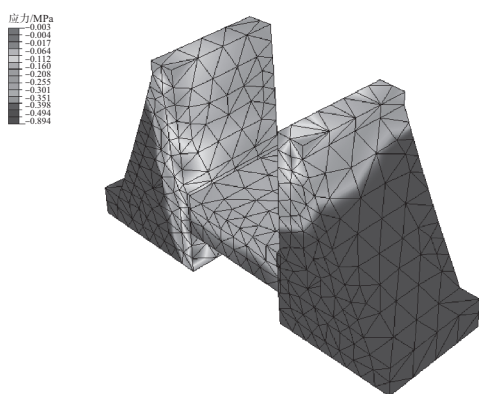


图4 结构优化后运行情况闸墙及底板y方向应力云图

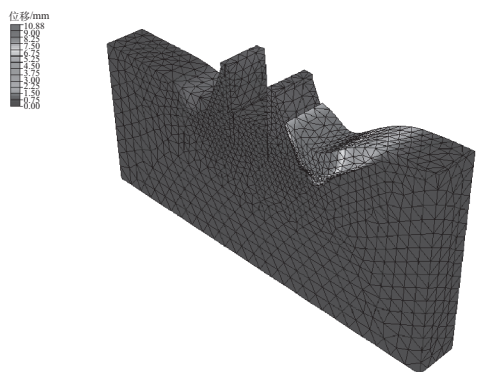


图5 结构优化后运行情况船闸闸室位移云图

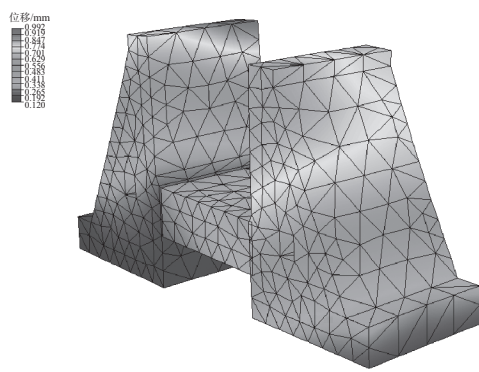


图6 结构优化后运行情况闸墙及底板位移云图

结构优化后运行情况下，通过有限元计算可得，船闸闸室结构最大Mises应力产生在岩石基础内部，为1.48 MPa；船闸内闸墙前端y方向最大压应力为0.89 MPa，最小压应力为0.76 MPa；内闸墙后端y方向最大压应力为0.31 MPa，最小压应力为0.20 MPa；由于土压力的作用，船闸闸室最大位移产生在外闸墙上端，最大位移为0.99 mm；闸墙外回填土在其上活荷载及自重的作用下，因自身刚度较小，与闸墙背发生相对摩擦滑移和沉降位移，最大值分别为7.60 mm和10.88 mm。

### 3.1 结构优化设计前后应力计算结果对比分析

将应力计算结果与结构优化设计前结果进行对比分析，见表3。

表3 结构优化设计前后应力计算结果对比

优化情况	前趾		后趾		稳定性
	$\sigma_{\max}/\text{MPa}$	$\sigma_{\min}/\text{MPa}$	$\sigma_{\max}/\text{MPa}$	$\sigma_{\min}/\text{MPa}$	
优化前	0.94	0.67	0.37	0.16	满足规范要求
优化后	0.89	0.76	0.31	0.20	

经结构优化设计后，前、后端最大压应力减小而最小压应力增大，应力分布更加均匀。但由于减小了闸墙背倾斜角，减轻了结构自重及墙后土体开挖（回填）量，为船闸工程节省了资金，加快了施工进度。

### 3.2 结构优化设计前后位移计算结果对比分析

将位移计算结果与结构优化设计前结果进行对比分析，见表4。

表4 结构优化设计前后位移计算结果对比

运行情况	土体位移/mm		船闸闸墙位移/mm	
	摩擦滑移	自由沉降	水平方向	垂直方向
优化前	6.97	10.34	0.91	0.36
优化后	7.60	10.88	0.99	0.40

经结构优化设计后，由于竖向主动土压力增加，结构优化设计后的位移值较优化前位移值稍大。

## 4 结语

本文讨论了船闸闸室结构设计影响关键因子，并改变关键因子的参数进行了结构优化设计。通过结构优化设计前后的应力及位移计算结果对比分析，验证了影响关键因子对船闸闸室结构设计的重要性。结果表明关键因子对船闸闸室结构设计起到经济、效率等多方面重要影响。为今后设计工作起到帮助作用。

### 参考文献:

- [1] 庄茁. ABAQUS有限元软件6.4版入门指南[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [2] 徐芝纶. 弹性力学简明教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [3] 江见鲸. 混凝土结构有限元分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [4] 李广信. 高等土力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

(本文编辑 武亚庆)