

键槽形式对船闸闸室结构的受力影响

姜丞, 陶桂兰, 伊西凯

(河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 针对长江上游某船闸工程, 运用 ANSYS 软件分别模拟带键槽缝和带平缝的分离式闸室结构。缝的切向接触采用库伦摩擦模型, 法向接触具有传压不传拉的特性。探讨了接缝开度、结构的竖向位移及结构的应力状态等方面的规律, 综合分析了键槽缝对结构的影响。研究表明: 与平缝相比, 梯形键槽闸室结构接缝处的开度小、整体性好, 接缝两侧闸墙和底板位移连续, 地基应力分布较均匀。增大键槽角度有助于减小接缝开度, 使地基应力分布更趋均匀。

关键词: 船闸闸室; 键槽; 接触模型; 受力分析

中图分类号: TV 662

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)10-0129-05

Stress analysis on lock chambers with different forms of shear keys

JIANG Cheng, TAO Gui-lan, YI Xi-kai

(College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Taking a lock on the upstream of the Yangtze River for example, we simulate the separate lock with shear keys and separate lock with flat joints by software ANSYS. In this process the Coulomb friction model is used as the tangential contact constitutive model and it is thought that the joints can pass the contact pressure, but not the pull. We investigate the joints opening size, the vertical displacement and stress state of structure, and analyze comprehensively the impact of the shear keys. Studies show that comparing with flat joints model, the joints opening size of the shear keys model is small, and the integrity property is good; the displacement of the chamber wall and floor is continuous; the stress distribution of the foundation below the floor is uniform. Increasing the shear keys' angle is helpful in reducing the joint opening and uniform the ground stress distribution.

Keywords: lock chamber; shear keys; contact model; stress analysis

为解决大体积混凝土温度应力的释放及考虑到施工的需要, 大型船闸以及大坝等水工建筑物内通常设置施工缝^[1-6]。对于设置施工缝的船闸闸室结构, 不可避免地降低了闸室的整体工作性能, 为应对这一问题, 实际工程中常采取在缝内设置键槽的措施。这种带键槽的闸室结构在外荷载作用下受力特性如何, 目前为止研究还很少, 有必要进行深入的研究。

本文分别建立了带梯形键槽缝的和带平缝的闸室有限元计算模型, 运用 ANSYS 软件中提供的二维面接触单元 TARGET169 和 CONTAC171 来模拟闸墙与底板间接缝的接触, 对两种不同的闸室

结构进行了计算研究。

1 闸室结构键槽设置

以我国长江上游某船闸闸室为研究对象, 该船闸为双线单级船闸, 闸室采用混凝土重力式结构。闸室顶高程为 203.00 m, 建基面高程为 150.40 m, 底板顶高程为 164.90 m, 中间底板厚 14.5 m。闸墙顶宽 10 m, 两侧闸室底板及中间底板各宽 28 m。接缝位于距闸墙内侧 3.0 m 处, 闸室各部位高程及尺寸见图 1。带键槽的闸室结构梯形键槽具体尺寸见图 2。梯形键槽坡度为 1:1; 接缝的顶部与底部均设置止水。

收稿日期: 2014-04-02

作者简介: 姜丞 (1989—), 女, 硕士研究生, 从事港航工程结构研究。

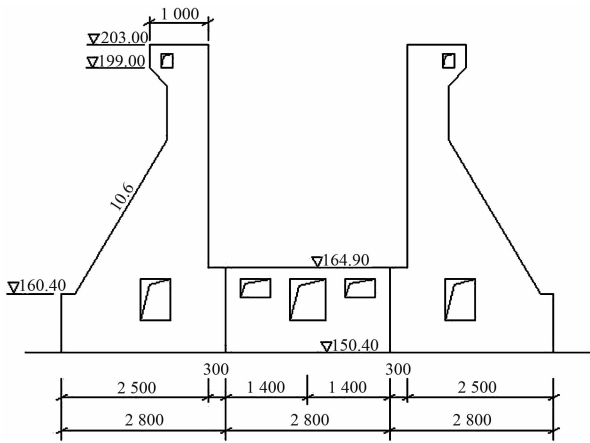


图1 闸室结构 (高程单位 m, 长度单位 cm)

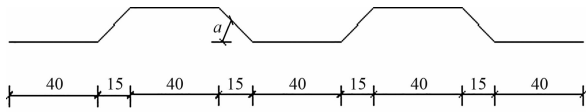


图2 键槽尺寸 (单位: cm)

2 闸室结构计算模型

2.1 接触本构模型

切向接触采用库伦摩擦模型, 该模型在库伦摩擦定义的基础上定义了一个等效剪应力:

$$\tau = \mu P + b \quad (1)$$

式中: μ 为摩擦系数; b 为粘结力; P 为接触面之间的法向压力。当接触面之间的剪应力小于等效剪应力时, 接触面不发生滑动而处于粘合状态。当剪应力超过此值, 两接触面即开始相对滑动。此外软件提供了人为指定的极限等效剪应力 τ_{max} , 不管接触压力的大小如何, 只要界面上剪应力达到此值, 接触面便开始滑动。接缝接触的法向条件为: 缝面传压不传拉。库伦摩擦模型见图3。

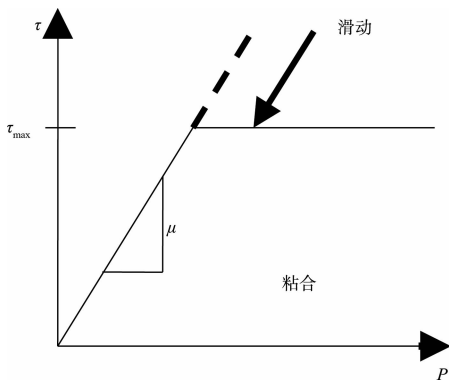


图3 库伦摩擦模型

2.2 闸室结构的有限元模型

考虑到闸室的受力特性, 建立二维有限元模型, 设置为平面应变模式。闸室及地基系统的有限元模型见图4。

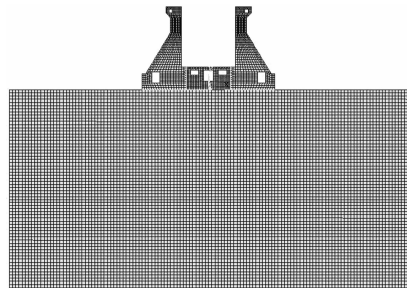
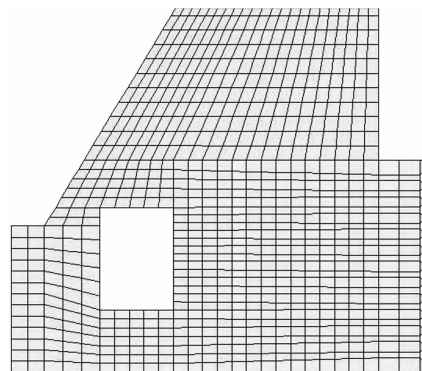
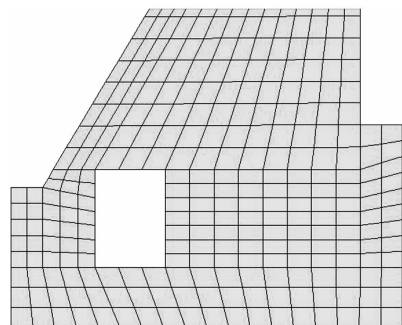


图4 闸室及地基的有限元模型

为研究键槽与平缝对结构的影响, 建立梯形键槽闸室模型 (其尺寸见图2, 简称模型1) 和平缝闸室模型 (简称模型2), 单元形状均为四边形。模型1划分单元总数为11 642个, 其中闸室单元数为3 384个, 地基单元数为7 938个, 接触单元数为320个; 模型2划分单元总数为9 506个, 其中闸室单元数为1 410个, 地基单元数为7 938个, 接触单元数为158个。模型1和模型2接缝处的有限元模型见图5。



a) 模型1



b) 模型2

图5 接缝处有限元模型

2.3 结构计算参数

计算采用的材料参数见表 1。

表 1 材料参数

| 结构 | 材料 | 弹性模量/ GPa | 密度/ ($t \cdot m^{-3}$) | 泊松比 |
|------|---------|--------------|-----------------------------|-------|
| 闸室结构 | C25 混凝土 | 28.0 | 2.45 | 0.167 |
| 地基 1 | 粉砂质黏土岩 | 2.5 | 2.50 | 0.350 |
| 地基 2 | 泥质粉砂岩 | 3.5 | 2.60 | 0.300 |

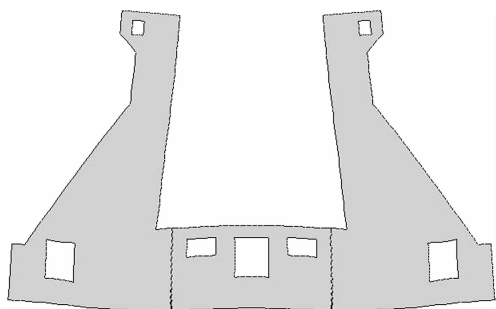
选取的坐标系为: y 方向竖直向上, z 方向顺河流向 (指向下游为正), x 方向垂直水流方向 (由左岸指向右岸为正), 坐标原点位于闸室与地基接触的中点。根据工程实际情况, 闸室外无回填土, 计算中考虑的荷载有结构自重、静水压力、扬场压力。

研究选取的工况为检修工况和高水工况。检修工况时闸室内无水, 闸室墙后水位为下游检修水位 178.00 m; 高水工况时闸室内水位为上游最高通航水位 196.00 m, 闸室墙后水位为下游最低通航水位 171.40 m。

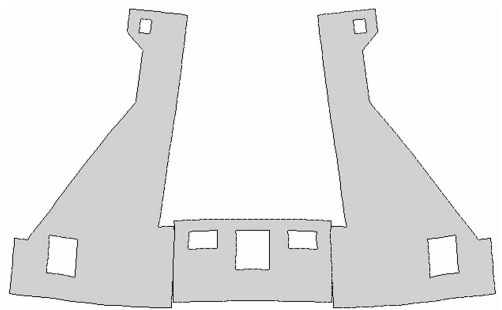
3 检修工况计算结果与分析

3.1 闸室底板接缝开度

图 6 给出了 2 种模型检修工况变形后的示意图。两模型接缝处的接触状态为: 底板顶端接触良好, 处于粘结状态; 底端处于不接触状态。表 2 列出了 2 种模型接缝开度大小随高程的变化规律, 两模型均随底板高程的增加开度减小, 在底板底部开度取得最大值。模型 1 最大值为 0.067 778 mm, 模型 2 为 0.176 000 mm, 在相同高程处模型 1 的开度小于模型 2, 梯形键槽接缝开度较小。



a) 模型1



b) 模型2

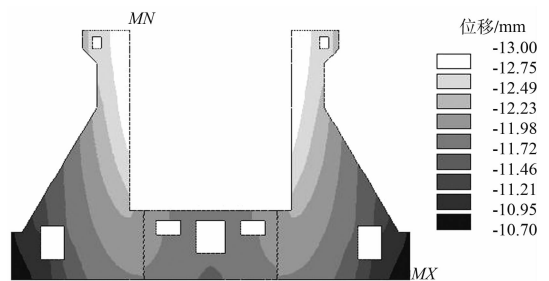
图 6 闸室变形

表 2 不同高程处接缝的开度

| 高程/m | 开度/ μm | | |
|-------|-------------|---------|---------|
| | 模型 1 | 模型 2 | 差值 |
| 164.9 | 0 | 0 | 0 |
| 160.6 | 0 | 0 | 0 |
| 157.3 | 0 | 0.067 | 0.067 |
| 156.2 | 0 | 2.203 | 2.203 |
| 155.1 | 1.573 | 24.209 | 22.636 |
| 154.0 | 5.918 | 58.971 | 53.053 |
| 152.9 | 11.595 | 96.414 | 84.819 |
| 151.8 | 22.840 | 135.630 | 112.790 |

3.2 闸室位移

图 7 为检修工况在外荷载作用下闸室竖直方向的位移云图。两模型闸墙最大位移均发生在内侧顶部, 模型 1 最大值为 13.00 mm, 方向向下, 小于模型 2。由于键槽的咬合作用增加了结构的整体性, 闸墙发生位移时受到中间底板的约束, 使得闸墙位移有所减少; 平缝结构由于整体性较弱, 接缝两侧变形相差较大。



a) 模型1

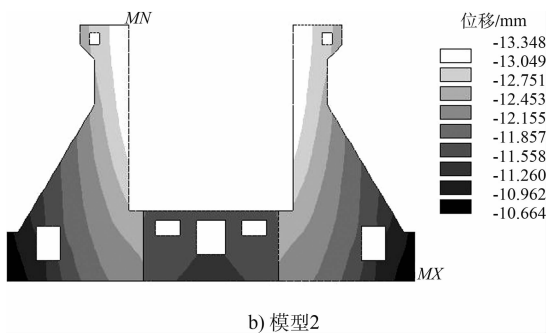


图7 闸室竖向位移

3.3 闸室结构应力

图8给出了检修工况两种模型闸室最大主应力云图。两模型最大主应力分布规律相同，最大压应力均发生在闸墙与底板相交的角点处。其最大压应力分别为600 kPa和544 kPa。两模型底板最大拉应力均位于两侧廊道边沿靠近接缝方向，其中模型1为277 kPa，比模型2略有增加。模型2在接缝上部产生了较大的应力。整理数据分析可知，模型1接缝两侧闸墙与底板的应力差值较小，这是由于键槽增加了闸室的整体性，使闸墙和底板共同工作。

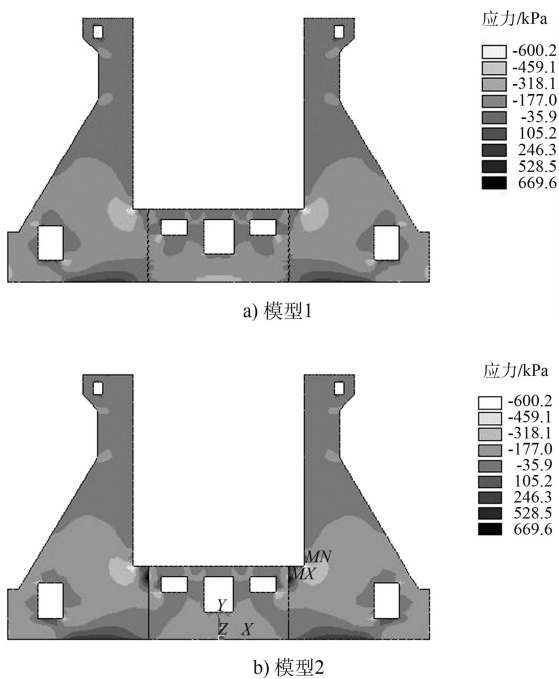


图8 闸室最大主应力云图

3.4 地基应力

图9给出了检修工况两种模型闸室底板下地基应力分布。两种模型地基应力均为压应力，两

侧闸墙边墩底部地基应力较大。模型1地基应力变化曲线沿底板宽度分布比较均匀；模型2中间底板部分与闸墙边墩部分地基应力在接缝处有很大的突变，中间底板地基应力小于闸墙边墩底部地基应力。上述结果表明，对于模型2，由于为平缝接缝，边墩与底板的共同作用效果较弱；而模型1，由于键槽的咬合作用使闸室整体性更强，地基应力分布较为均匀。

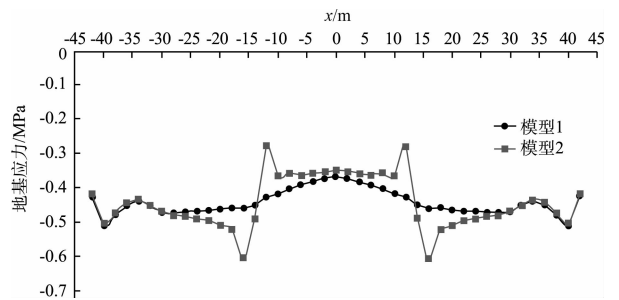


图9 闸室地基应力

4 高水工况计算结果与分析

4.1 不同角度键槽闸室底板接缝开度比较

由表3中45°键槽和平缝结构计算结果分析可知：在高水工况下，闸墙有向外转动的趋势，且接缝开度较大，这种效果会影响闸墙与底板的协同作用。为解决上述问题，取高水工况下不同角度的键槽进行分析。保持图2中键槽深度不变，取 α 角分别为60°和90°。不同键槽角度下接缝开度见表3，从表3可以看出3种不同角度键槽结构接缝处开度变化规律相似，均随高程增加而增大，3种角度键槽的开度均小于平缝结构。对于键槽结构，随着键槽角度的增加，相同高程处接缝的开度有所减小，90°键槽开度最小，且比其它两种小很多。由此可见增大键槽角度可有效提高闸墙与底板的整体性。

表3 不同高程处不同角度键槽接缝的开度

| 高程/m | 开度/ μm | | | |
|-------|-------------------|--------|-------|--------|
| | 45°键槽 | 60°键槽 | 90°键槽 | 平缝 |
| 162.8 | 13.669 | 11.644 | 0.186 | 19.824 |
| 160.6 | 12.774 | 10.887 | 0.121 | 18.584 |
| 158.4 | 11.953 | 10.193 | 0.102 | 17.445 |
| 156.2 | 11.142 | 9.504 | 0.082 | 16.328 |
| 154.0 | 10.322 | 8.807 | 0.061 | 15.203 |
| 151.8 | 9.488 | 8.274 | 0.051 | 14.065 |

4.2 不同角度键槽地基应力

图 10 给出了不同角度键槽结构及平缝结构地基应力的分布。由图 10 可知, 4 种结构地基应力均在闸墙处较大, 底板处较小。45°键槽和 60°键槽结构、平缝结构应力大小和分布规律十分相近, 在底板和闸墙接缝处应力有突变。90°键槽应力大小与其它 3 种结构相差较大, 该结构地基应力沿闸室整个长度上分布较均匀, 在接缝处应力无突变, 且最大值比其他 2 种键槽结构小 0.2 MPa 左右。可见键槽角度对地基应力有一定的影响, 随着键槽角度的增加地基应力分布更趋均匀。

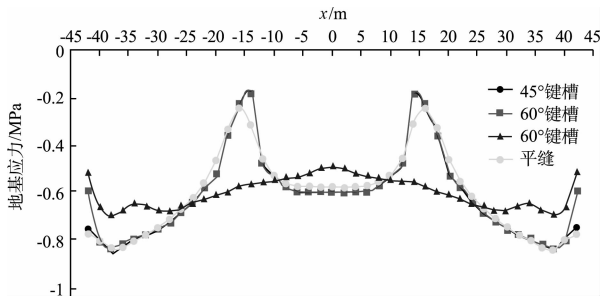


图 10 不同角度键槽结构闸室地基应力分布

5 结论

本文运用 ANSYS 软件对接缝为梯形键槽和平缝的 2 种分离式船闸闸室结构检修工况、高水工况闸室受力特性进行分析, 得到以下主要结论:

1) 检修工况下梯形键槽闸室结构相同高程接

缝处的开度小于平缝结构; 接缝两侧结构竖直方向的位移变化连续。

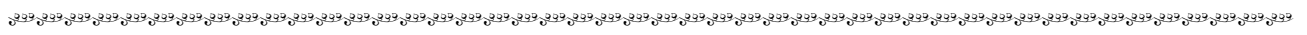
2) 检修工况梯形键槽闸室结构地基应力分布均匀, 平缝结构两闸墙底部地基应力较大, 中间底板地基应力较小, 地基反力在底板接缝处有较大的突变。

3) 高水工况下键槽结构开度小于平缝结构, 且随着角度增大相同高程处开度减小, 地基应力分布趋于均匀。综合以上分析可知, 梯形键槽能增加结构的整体性, 增强闸墙与底板的协同作用, 减小闸墙与底板的位移差。

参考文献:

- [1] 朱伯芳. 大体积混凝土温度应力与温度控制[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- [2] 肖先琼. 长江葛洲坝二号船闸工程设计(下)[J]. 水运工程, 1981(8): 1-6.
- [3] 邱敏. 万安工程船闸接缝灌浆施工[J]. 万安水电, 1991(12): 42-47
- [4] 桂全良, 童迪. 三峡双线五级船闸第 6 闸首结构设计[J]. 水利水电快报, 2003, 24(15): 6-8.
- [5] 闫晓荣, 林皋, 陈健云. 一种考虑横缝非线性的接触模型[J]. 中国农村水利水电, 2006(3): 78-85.
- [6] 张栋. 拱坝横缝及键槽形式对坝体地震响应的影响分析[D]. 大连: 大连理工大学, 2007.

(本文编辑 武亚庆)



· 消 息 ·

三航局承建的长兴岛横沙渔港主体完工

日前, 由三航局承建的长兴岛毛竹圩大堤横沙渔港综合功能区岸段保滩二标工程顺利完成主体施工。该工程包括新建顺坝长度 1 191.93 m; 保滩平台面积约 88 亩, 平台顶高程 3.50 ~ 5.30 m; 台地景观建设约 9 930m²; 承台后侧吹填约 22 万 m³, 回填土方约 3.7 万 m³, 回填至高程 5.0 ~ 5.3 m; 防浪墙开缺 4 处, 长度 8 ~ 12 m, 防浪墙闸门 4 座; 排水涵洞 2 座。工程造价约 1.21 亿元。

该工程建成后, 将有助于推动横沙渔港综合功能区的整体建设。据悉, 国家一级渔港——横沙渔港是集渔业产业、贸易、休闲旅游为一体的亚洲一流精品渔港, 将于 2014 年 10 月正式启用。

(摘编自《中国交通新闻网》)