



底板厚度对双铰底板式闸室结构 工作特性的影响

吴星¹, 杨斌²

(1. 绍兴市港航管理局, 浙江绍兴 312000; 2. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074)

摘要: 以工程实例为依托, 基于大型有限元软件 ANSYS, 考虑闸室的三维结构体系和复杂荷载工况, 对双铰底板式闸室结构进行数值模拟, 并对底板厚度对双铰式闸室结构工作特性的影响进行分析, 力图找到影响双铰式闸室结构的关键因子, 为船闸结构选型和设计优化提供科学依据。

关键词: 闸室结构; 双铰底板; 工作特性; 有限元法

中图分类号: U 641.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)03-0124-06

Impact of floor thickness on working characteristics of double-hinged lock chamber structure

WU Xing¹, YANG Bin²

(1. Administration for Port & Shipping of Shaoxing, Shaoxing 312000, China;

2. School of River & Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Based on the practical engineering projects, this paper sets up 3D finite element models with ANSYS. Using the numerical simulation analysis, this paper gets the deflections and stress distribution laws under different working conditions of double-hinged ship locks, trying to find the key factors influencing the design of ship lock by analyzing the impact of the floor thickness on the working characteristics of double-hinged lock chamber structure. It is of great importance for guaranteeing the safety and stability, and helpful for choosing the optional structures.

Keywords: lock chamber; double-hinged sole plate; working characteristics; finite element method

双铰底板式闸室结构是从整体式闸室基础上发展起来的结构形式, 一般适用于粉砂、细砂地基, 应用十分广泛^[1]。双铰底板式闸室结构的闸墙与底板分别受力, 减小了底板中部弯矩, 使得底板厚度较小, 造价较低, 当满足结构设计要求时, 双铰式是一种经济合理的闸室结构形式。然而双铰底板的受力对两侧闸墙的变位较为敏感, 适应沉降能力较差, 因此, 对双铰式闸室结构进行深入的研究, 提出结构受力更加合理、适应沉降变形能力较强的优化建议, 对于保障船

闸结构安全、为船闸结构选型及设计提供科学依据等方面具有重要的意义。

1 工程概况

某船闸为Ⅲ级通航建筑物, 建设规模 230 m × 23 m × 4 m (闸室长 × 口门宽 × 槛上最小水深), 设计最大船舶吨级为 1 000 t, 该船闸闸室采用双铰底板式结构, 闸室墙口宽为 23.2 m, 闸墙顶高程 5.7 m, 闸室底高程 -6.69 m, 闸室左右两侧砂质粉土均回填至 5.7 m 高程。船闸闸室结构

收稿日期: 2015-08-05

作者简介: 吴星 (1988—), 男, 助理工程师, 从事港航管理工作。

部分纵向、横向剖面见图1、2, 工程材料参数见表1。

表1 工程材料参数

材料	密度 $\rho / (\text{kg}/\text{m}^3)$	弹性模量 E/MPa	泊松比 ν	粘聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi / (^\circ)$	摩擦系数 f
混凝土	2 500	2.8×10^4	0.167			
回填土	2 000	20	0.330	13.5	25	0.3
地基	2 040	60	0.300	14.9	32	0.3

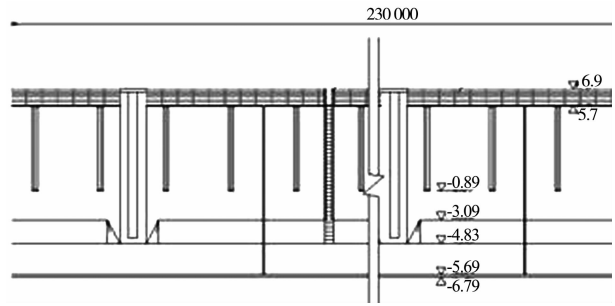


图1 闸室结构纵剖面 (高程: m; 尺寸: mm。下同)

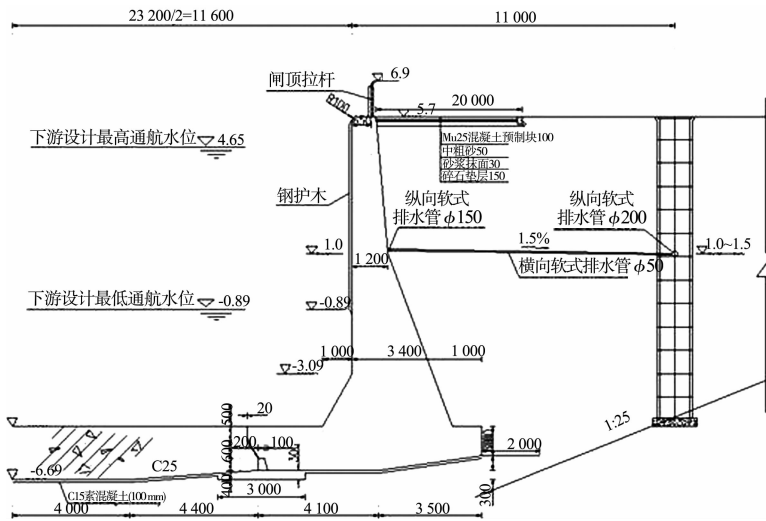


图2 闸室结构横剖面

2 计算模型的建立

本文建立有限元模型时, 取垂直于水流方向水平指向右侧为 X 轴, 铅垂向为 Y 轴, 沿闸室纵轴线方向为 Z 轴^[2]。闸室结构段长取 10 m, 地基深度取闸室底部宽度的 1 倍 25 m, 水平工作范围取闸室宽度的 2 倍即 46 m。在进行模型网格划分时, 采用 3D 实体单元 SOLID45; 目标单元采用 TARGE170 单元, 接触单元采用 CONTA173 单元, 进行模拟 3D 接触对, 其中, 不同的接触对通过设不同的实常数号进行识别^[3]。本模型中共有 56 410 个单元, 63 294 个节点, 整个模型网格见图3。

对有限元计算模型施加约束: 对土基左侧 ($x = 13.5 \text{ m}$) 的节点, 约束 X 方向的位移; 对闸室中轴线的节点 ($x = 60 \text{ m}$), 施加对称约束; 对土基底面 ($y = 27.3 \text{ m}$) 节点, 约束 X 、 Y 、 Z 方向的位移; 对前后两侧面 ($z = 0 \text{ m}$, $z = 10 \text{ m}$) 的节点选用对称约束。

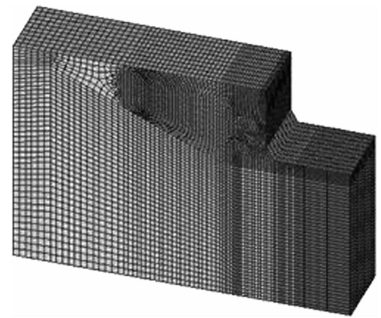


图3 船闸模型网格

3 计算成果分析

按照设计规范及资料, 本文计算了完建、运用低水、运用高水、检修 4 种工况。4 种不同工况下的荷载组合见表2。

表2 工况荷载组合及水位

工况	自重	水重	水压力	土压力	土重	扬压力	闸室水位/m	墙后水位/m
完建	√			√	√		无水	无水
低水	√	√	√	√	√	√	-0.89	1.00
高水	√	√	√	√	√	√	4.65	0.97
检修	√			√	√	√	无水	1.00

3.1 位移

4种工况下闸室结构位移分布规律基本一致:

1) 竖向位移。整个闸室向下沉陷,底板的竖向位移自闸室中心线向两侧逐渐增大,呈现出凸起的变形特征;闸墙及边底板的自重占整个闸室结构的比重较大,由于截面形状不规则,使得闸墙及底板的重心后靠,而闸室中间底板的自重较小,因此,各个工况下闸室竖向位移极值发生在闸墙后趾处。2) 水平方向位移。由于地基较软,闸室不均匀沉降导致闸墙向两岸倾斜;闸墙水平方向上的位移自底板至闸墙顶部逐渐增大,最大位移值出现在闸墙顶部,这是由于闸室结构沉降的不均匀性,以及闸室底板受到向上的浮托力,闸室整体向后倾斜,而闸墙顶距离转动点即闸室后趾的距离最远,因此,闸墙顶在水平方向的位移最大。

表3为各工况下闸室位移极值及不均匀沉降值。4种工况下闸室的位移极值均为负值,并且闸室在X方向上的位移极值均出现在闸墙顶部,即闸墙均向岸侧倾斜,其中检修工况下闸室的X方向位移极值最大,为13.4 mm,完建工况下最小,为8.6 mm;4种工况下闸室结构的沉降极值均发生在闸墙后趾处,其中最大值出现在完建工况下,为36 mm,高水运行工况次之。闸室结构在检修工况下的不均匀沉降最大,达到了9.5 mm,而其他工况下的不均匀沉降均在6 mm左右。在各个工况下,由于闸室水位及闸墙后水位的不同,位移在各个工况下差异较大:高水运行工况下,由于闸室水位较高,沉降和X方向的位移较大;检修工况下,闸室无水,而闸室受到的浮托力较大,所以沉降值较小,但X方向的位移较大。

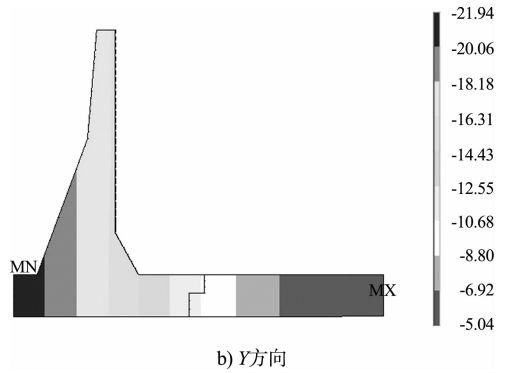


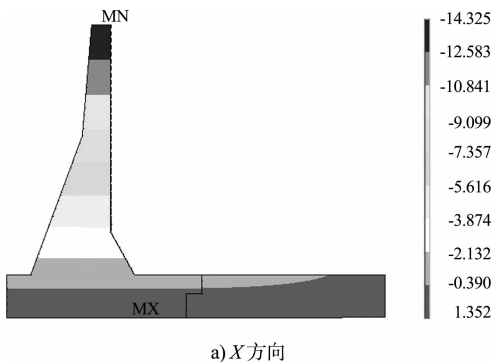
图4 检修工况闸室X、Y方向位移云图(单位: mm)

表3 各工况下闸室位移极值及不均匀沉降 mm

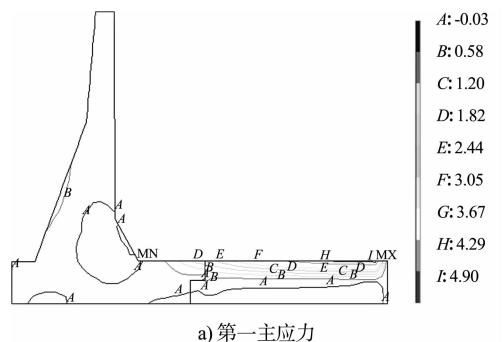
工况	X方向位移	Y方向位移	不均匀沉降
完建	-8.6	-36.0	6.0
低水运行	-10.0	-27.5	7.0
高水运行	-9.5	-35.0	5.8
检修	-13.4	-22.2	9.4

3.2 应力

在闸室整体沉降以及在墙后土压力的作用下,闸墙内侧与底板的连接处也出现小范围的应力集中,其余闸墙部位应力分布比较均匀;由于地基较软,在基础变形以及与两侧闸墙变位的不均匀性的作用下,底板凸起,其上边缘处于受拉状态,下边缘处于受压状态,自铰接部位至跨中所承受的拉、压应力越来越大,靠近闸室中心线处最大。拉应力、压应力极值在检修工况下最大,低水工况次之,高水工况最小。由闸室位移计算结果可知,检修工况下闸室基础发生不均匀沉降,沉降差较大,闸室向后发生明显的倾斜,加剧了底板凸起的趋势,由此可见,不均匀沉降对闸室底板上的应力有着重要的影响。



a) X方向



a) 第一主应力

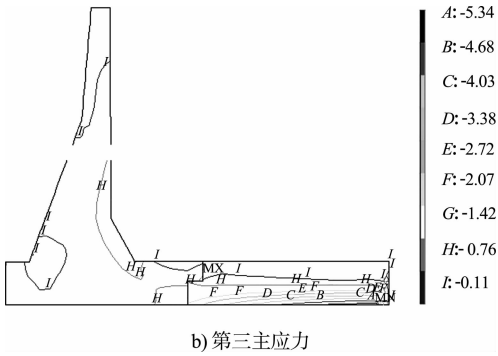


图5 检修工况闸室第一、三主应力等值线 (单位: MPa)

4 底板厚度对双铰底板式闸室结构工作特性的影响

由《船闸水工建筑物设计规范》可知, 双铰底板式闸室结构的底板厚度可取中间底板宽度的 $1/12 \sim 1/8$ ^[4], 规范推荐的取值范围较宽。底板作为闸室重要的组成部分, 其尺寸的变化定会对闸室的工作性能产生较大的影响。因此, 为了探究底板厚度在规范推荐的取值范围内的变化对双铰式闸室结构工作性能的影响, 根据规范, 本文选取了6个不同底板厚度方案来进行深入的分析研究, 分别为1.5、1.6、1.7、1.8、1.9、2.0 m。

4.1 位移

4.1.1 水平位移

随着闸室底板厚度的增加, 各个工况下闸室水平方向上的位移分布规律并没有发生较大的改变(图6)。闸墙均发生向岸侧的位移, 位移值均呈现出自底板至闸墙顶逐渐增大的规律; 位移极值出现在闸墙顶部, 底板上的位移极小。

图7为各工况闸室X方向位移极值随底板厚度的变化趋势, 从图中可以看到: 1) 随着底板厚度增加, 结构抵抗变形的能力提高, 各工况下闸

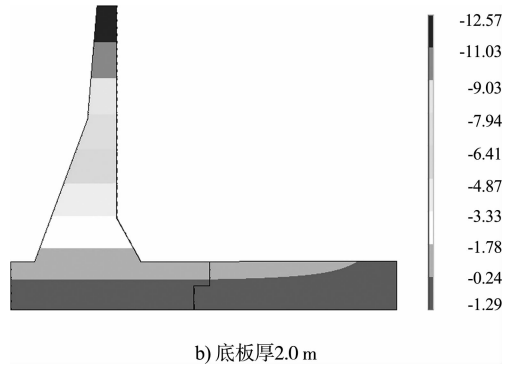


图6 检修工况下闸室X方向位移云图 (单位: mm)

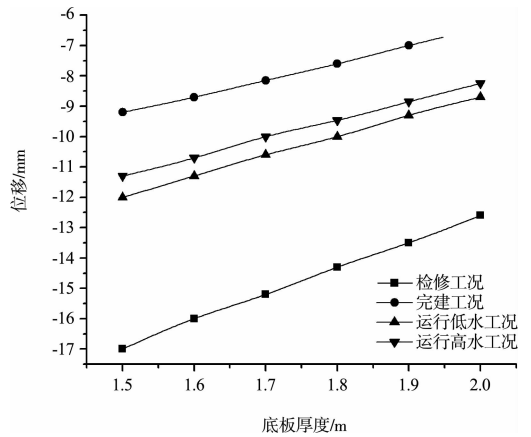


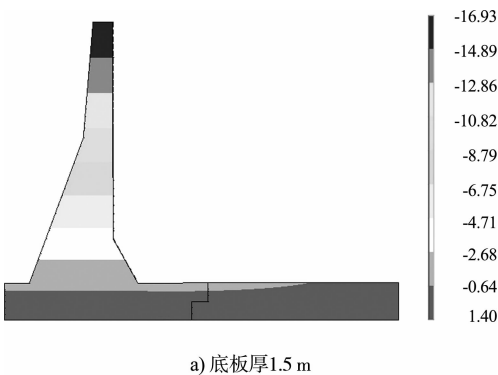
图7 各工况下闸室X方向位移极值随底板厚度变化

室X方向位移极值均逐渐变小, 如检修工况下从底板厚为1.5 m的17 mm减小到2.0 m时的12.6 mm; 2) 当闸室底板厚度相同时, 检修工况下的闸室X方向位移极值最大, 运用低水工况下次之, 完建工况下最小。

4.1.2 竖向位移

图8为完建工况下底板厚为1.5、2.0 m时闸室Y方向位移云图, 可以看出, 各个工况下闸室竖直方向上的位移分布规律在不同底板厚度下基本相同: 整个闸室向下沉降, 最大位移发生在闸墙后趾处; 闸墙上的竖向位移自外侧至内侧逐渐减小; 底板的沉降变形自闸室中心线向两侧逐渐增大, 底板呈现出凸起的变形特征; 底板的最大应变发生在铰接处。

各工况下闸室竖向位移极值及不均匀沉降随着底板厚度变化有如下特征(图9、10): 1) 随着底板厚度的增加, 闸室沉降极值几乎没有发生变化, 如



a) 底板厚1.5 m

在运用高水工况下，闸室的沉降极值均为 35 mm。由此可以看出，底板厚度的变化对于闸室沉降极值的影响较小。2) 当闸室底板厚度相同时，完建工况下闸室垂直方向上的位移极值最大，运用高水工况下次之，检修工况下最小。3) 4 种工况下，闸室不均匀沉降均随着闸室底板厚度的增加而减小，如检修工况下的不均匀沉降从底板厚度为 1.5 m 时的 11.5 mm 减小到 2.0 m 时的 8.1 mm。4) 当闸室底板厚度相同时，检修工况下闸室不均匀沉降最大，低水运行工况下次之，高水运行工况下最小。

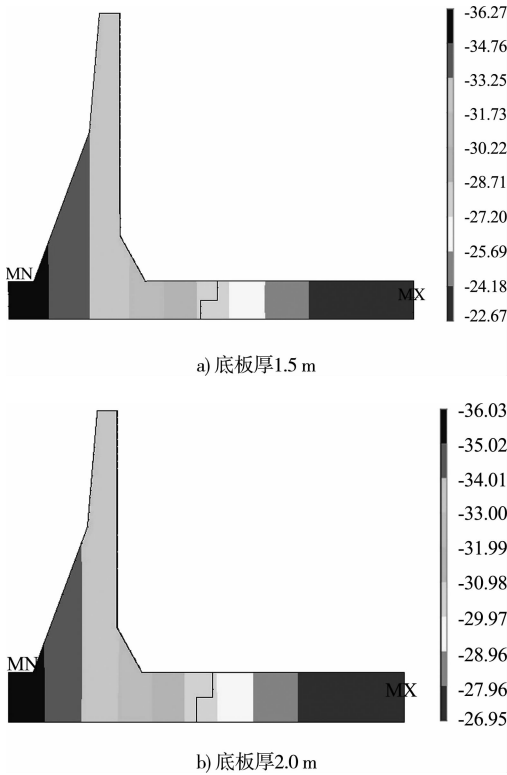


图 8 完建工况下闸室 Y 方向位移云图 (单位: mm)

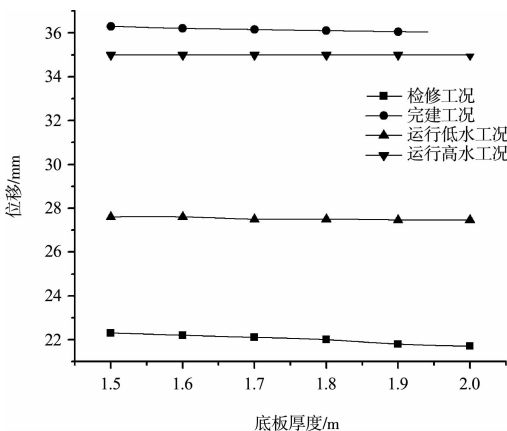


图 9 各工况下闸室 Y 方向位移极值随底板厚度变化

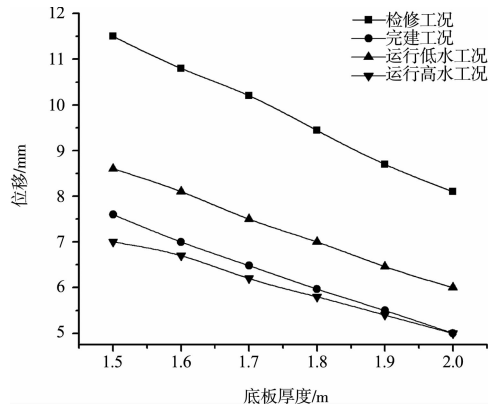


图 10 各工况下闸室不均匀沉降随底板厚度变化

4.2 应力

闸室底板厚度的变化对底板上的第一、三主应力分布规律影响较小 (图 11、12)。闸室底板上边缘均处于受拉状态，拉应力自铰接部位至跨中逐渐变大，拉应力极值出现在底板跨中；闸室底板下边缘处于受压状态，压应力极值位于底板跨中下边缘处，与拉应力极值出现位置相对应。

闸室底板厚度的变化对闸墙上的第一主应力分布有一定的影响，但对第三主应力分布影响较小。当底板厚度为 1.5 m 时，闸墙外侧下部出现较大范围的拉应力，随着底板厚度的增加，拉应力的分布范围逐渐缩小。

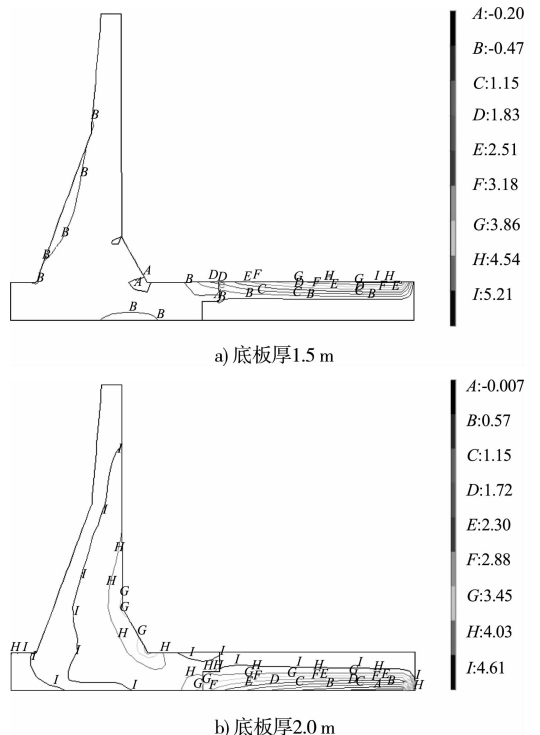


图 11 检修工况下闸室第一主应力等值线 (单位: MPa)

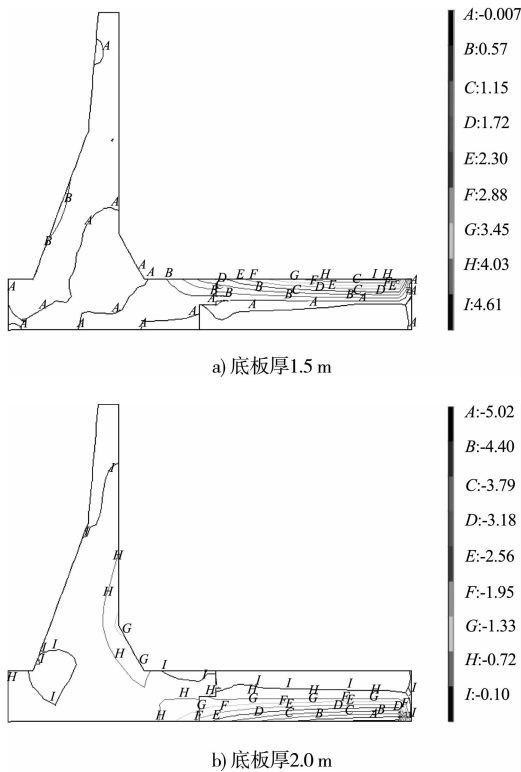


图12 检修工况下闸室第三主应力等值线(单位:MPa)

如图13所示,各个工况下闸室的第一、三主应力极值均随着底板厚度的增大而减小,变化较平顺,检修工况下闸室的第一主应力极值从底板厚度为1.5m时的5.55MPa减小到2.0m时的4.89MPa;完建工况下的第三主应力的极值从底板厚度为1.5m时的4.65MPa减小到2.0m时的3.83MPa。当底板厚度相同时,检修工况下闸室结构的第一、三主应力极值最大,低水运行工况下次之,高水运行工况下最小。

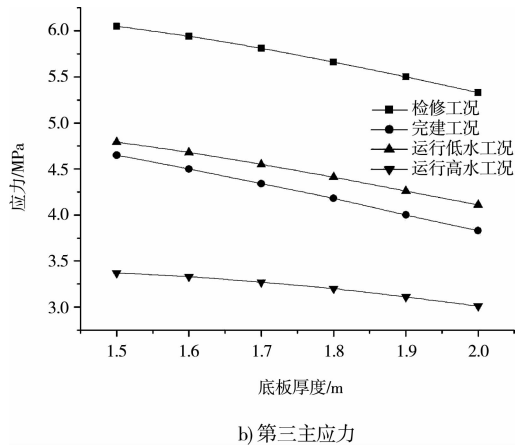


图13 各工况下闸室主应力极值随底板厚度变化

5 结语

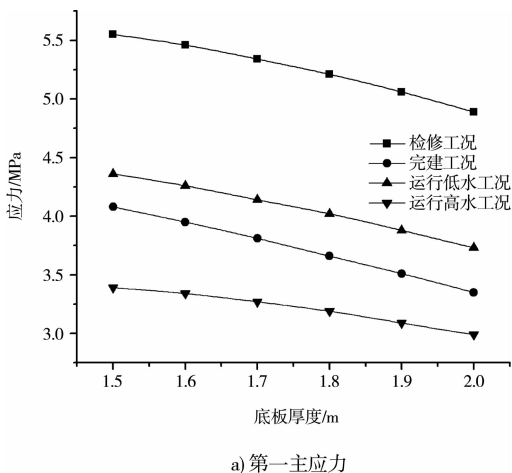
本文针对双铰底板式闸室结构进行数值计算,研究了不同工况下闸室结构变形特点及应力分布规律,发现双铰底板的应力对闸室不均匀沉降较为敏感,闸室不均匀沉降愈大则双铰底板的应力愈大。

通过对双铰底板式闸室结构位移、应力随底板厚度变化的规律进行深入研究,探讨底板厚度对闸室结构工作性能的影响,发现闸室底板厚度的增大对减小闸室不均匀沉降、改善双铰底板式闸室结构的工作性能有着明显的效果。综合考虑技术、经济等方面因素,建议双铰底板式闸室结构可适当增大底板厚度。

闸室设计是个系统、复杂的工程,依然有很多因素可以影响到双铰底板式闸室结构的工作性态,做进一步的深入研究十分必要。

参考文献:

- [1] 徐明磊. 双铰底板式船闸闸室结构与土体的动力相互作用[D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [2] 代红礼, 卢文静, 魏伟. 安谷船闸坞式结构三维有限元分析[J]. 水运工程, 2009(5): 108-113.
- [3] 张蕊. 不对称闸墙双铰底板式闸室结构仿真分析[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2011.
- [4] JTJ 307—2001 船闸水工建筑物设计规范[S].



a) 第一主应力