·施　工·

整体式闸首底板施工宽缝位置及合缝时间对底板的受力影响

杨　旭，宁庆臣

（中交第四航务工程勘察设计院有限公司，广东 广州 510290）

摘要：针对我国船闸规范中未对闸首底板设置施工宽缝的相关理论进行规定的问题，本文通过对浙江某船闸工程的案例进行研究，采用 ANSYS 有限元软件，对设置施工宽缝和未设置施工宽缝两种结构模型进行数值分析，研究施工宽缝的位置及合缝时间对底板受力的影响。研究结果表明：底板的负弯矩随宽缝位置由底板两侧向中间变化而减小，底板的负弯矩随合缝时间的推迟而减小，在设计中应在考虑施工便利等相关因素前提下，尽量使宽缝靠近底板中间轴线，并选择在边墩完成总沉降的 60%~80%时进行合缝，以降低弯矩，实现最大的综合效益。为施工宽缝的底板理论研究提供有益的参考，有助于规范设计和施工实践。

关键词：闸首底板；施工宽缝；合缝时间；生死单元；ANSYS 软件

中图分类号：U65　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1002-4972(2024)08-0323-06

Influence of position and jointing time of wide construction joints on stress of integral lock head bottom plate

YANG Xu, NING Qingchen

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou, 510290, China)

Abstract: To the issue that relevant theory of setting wide construction joints for the bottom plate of the lock head in China's ship lock regulations is not specified, this paper investigates a case of the ship lock project in Zhejiang province. ANSYS finite element software is used to numerically analyze two structural models with and without construction wide joints. The aim is to explore the influence of the position and jointing time of wide construction joints on the stress of the bottom plate. The research results indicate that the negative bending moment of the bottom plate decreases as the position of the wide joint changes from both sides towards the middle of the bottom plate, and decreases with the delay of joint time. In the design, it is necessary to consider factors such as construction convenience, and try to make the wide joint close to the middle axis of the bottom plate as much as possible. The joint should be selected when the side pier completes 60% to 80% of the total settlement to reduce the bending moment and achieve maximum comprehensive benefits. This research provides valuable reference for the theoretical study of wide construction joints in bottom plate, and helps to standardize design and construction practice.

Keywords: lock head bottom plate; wide construction joint; jointing time ; birth-death element; ANSYS software

施工宽缝在船闸设计领域应用广泛，其作用在工程实践中得到认可[1]。然而，在船闸工程中，关于如何合理设置和施工宽缝的规范尚未明确。施工宽缝的设计存在差异，大多数设计依赖于经验[2-3]，缺乏成熟的理论支持。

本文集中对某船闸底板内力进行研究。采用有限元软件，分析施工宽缝在底板上的设置位置，并深入探讨合缝时间的问题。

收稿日期：2024-03-20

作者简介：杨旭（1989—），男，硕士，高级工程师，研究方向为港口航道水工建筑物。

1 船闸概况

1.1 船闸尺度

某船闸有效尺寸为 260 m×23 m×4.0 m(长度×有效宽度×门槛水深)。闸首基础位于土质地基,闸首为采用钢筋混凝土底板和空箱型边墩构成的整体式结构。平面尺寸为 32.0 m×42.0 m(顺水流向×垂直水流向),其中口门宽 23 m、单侧边墩宽 9.5 m、底板厚 3.0 m。

1.2 计算工况

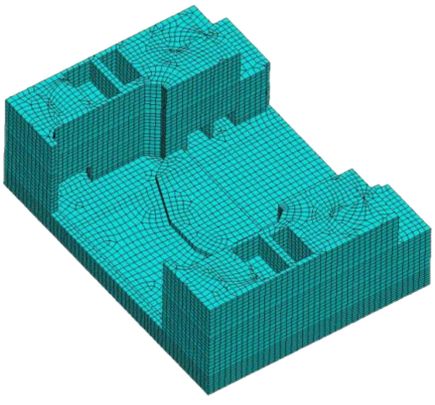
主要针对下闸首的施工期、完建期、运行期进行计算,计算工况见表 1。

表 1 计算工况

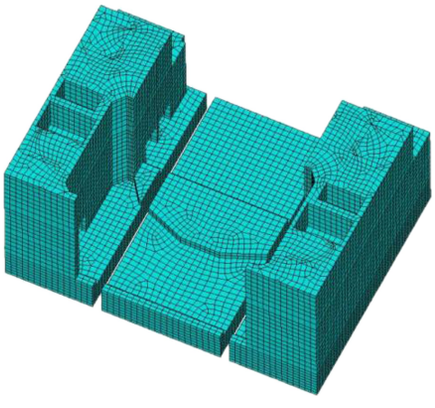
工况组合	上游水位(闸室)/m	下游水位/m	墙后水位/m	水头/m	备注
施工期	无水	无水	无水	-	部分回填
完建期	无水	无水	无水	-	下游、闸室内无水,陆侧回填已完成
运行期(正向水头、下闸门关)	59.5	53.0	54.2	6.5	上游通航高水位,下游通航低水位

2 模型建立

应用 ANSYS12.0 对船闸进行三维非线性有限元分析,采用生死单元、接触分析等非线性技术[4-5]建立船闸模型,见图 1。



a) 未设置施工宽缝



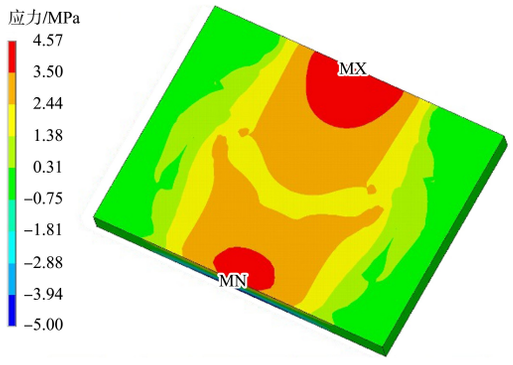
b) 设置施工宽缝(合缝前)

图 1 闸首有限元模型

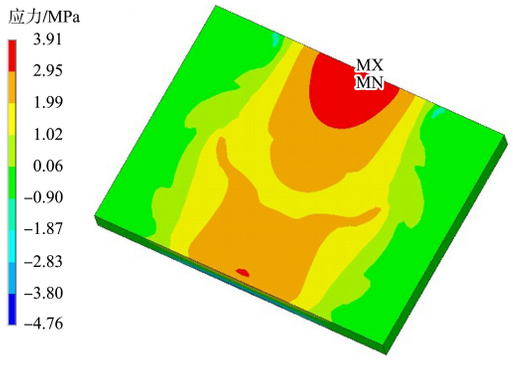
3 两种施工方法对比

3.1 未设置施工宽缝的闸首底板横向应力

在施工期、运行期两种工况下,未设置施工宽缝的闸首底板横向应力见图 2。



a) 施工期



b) 运行期

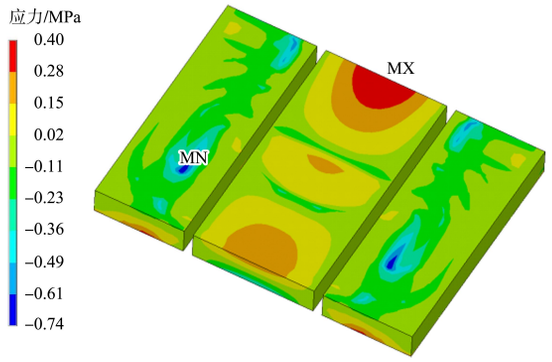
图 2 未设置施工宽缝的底板横向应力云图

在未设置施工宽缝的情况下,闸首底板上表面出现较大的拉应力。施工期内,上表面的最大拉应力达 4.57 MPa;在运行期,底板上水重力的作用在一定程度上抑制了底板上表面拉应力的生成,因此相较于其他工况,拉应力相对较小,但最大值仍达到 3.91 MPa,远超过 C25 混凝土抗拉强度标准值 1.78 MPa。由于闸首结构对称,因此

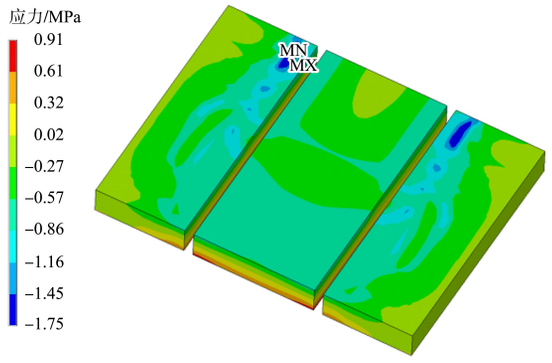
拉应力最大值均出现在底板纵轴所在断面。由图 2 可知，拉应力主要分布在边墩以外的中间底板区域，而在两侧边墩下的底板区域，由于边墩墙自重力的作用，底板上表面出现压应力。

3.2　设置施工宽缝的闸首底板横向应力

在施工期、运行期两种工况下，设置施工宽缝的闸首底板横向应力见图 3。



a) 施工期



b) 运行期

图 3　设置施工宽缝的底板横向应力云图

由图 3 可知，在设置施工宽缝的情况下，底板上表面的拉应力显著减小。在施工期合缝前，最大拉应力仅为 0.40 MPa。在运行期，底板受水重力的作用，拉应力进一步减小，跨中位置甚至出现了压应力，最大值为−0.57 MPa。

3.3　两种施工方法底板横向应力对比

由两种施工方法的底板最大横向拉应力分析可知，设置施工宽缝与否，底板横向应力分布及大小差异较大：

1）未设置施工宽缝时，闸首底板产生拉应力的区域较大，中间底板区域上表面几乎全部受拉，下表面全部受压；而设置施工宽缝后底板受拉区域大大减小，且底板上下表面均出现拉应力与压应力交替现象。

2）底板是否设置施工宽缝对底板产生拉应力的大小起决定性作用。设置施工宽缝后，施工期的最大拉应力由未设置施工宽缝时的 4.62 MPa 降为 0.33 MPa，由超过混凝土抗拉强度标准值变为不超过抗拉强度标准值。

由此可知，施工宽缝的设置对于减小底板表面的横向拉应力起着非常重要的作用[6]，对于改善底板受力状态十分有利。

4　施工宽缝不同合缝时间点的底板计算

4.1　计算方法

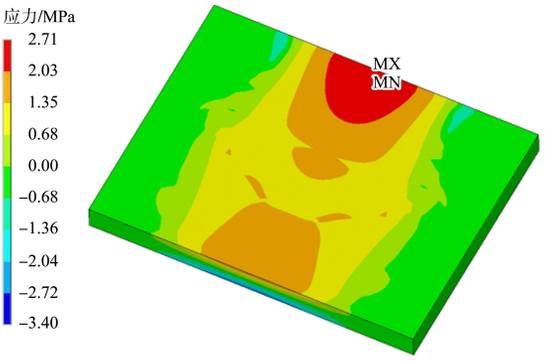
由于边墩下底板与中间底板存在较大沉降差，导致底板产生较大拉应力。考虑到地基土的沉降固结效应，采用位移控制确定施工宽缝合缝的时间点更加简便合理。

计算方法及假定：采用自重力折扣法模拟设置施工宽缝的闸首在不同时期合缝的过程。具体来说，对结构自重力和回填土在合缝前后进行不同程度的折减，通过施工期不同折减系数计算得到边墩沉降。取该沉降值与边墩最终总沉降的比值，即可确定边墩沉降达到其最终总沉降的某个百分比。在宽缝合缝前，假定边墩及中间底板均自由沉降。当边墩沉降达到最终总沉降的百分比时，进行施工宽缝的浇筑合缝。通过在不同沉降百分比时间点进行合缝计算，得到底板运行期的应力及内力值。本文选择的百分比范围为 30%～80%。

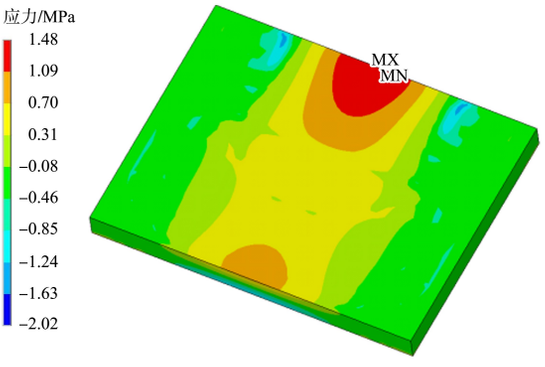
合缝与否的模拟采用 ANSYS 中的生死单元。计算得出底板运行期的应力分布后，进一步得到相应的弯矩[7]。

4.2　底板应力

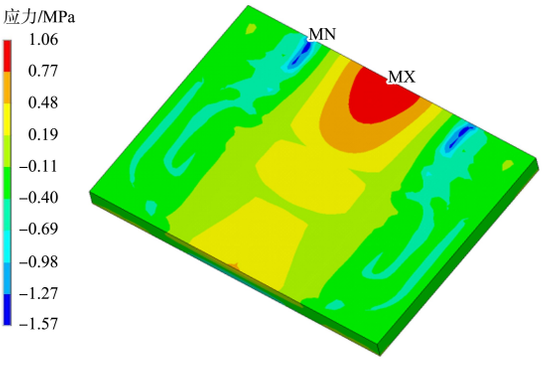
底板在不同沉降百分比(30%～80%)时合缝的应力云图见图 4。



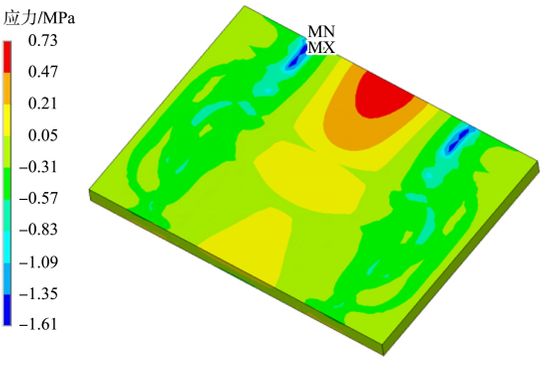
a) 30%合缝



b) 60%合缝



c) 70%合缝



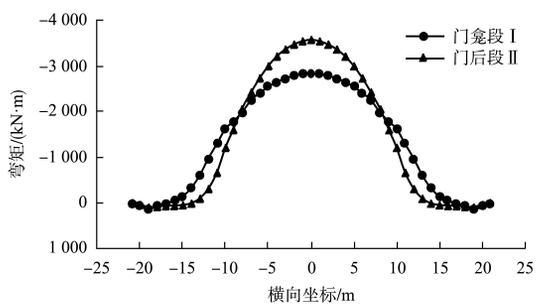
d) 80%合缝

图 4　底板横向应力

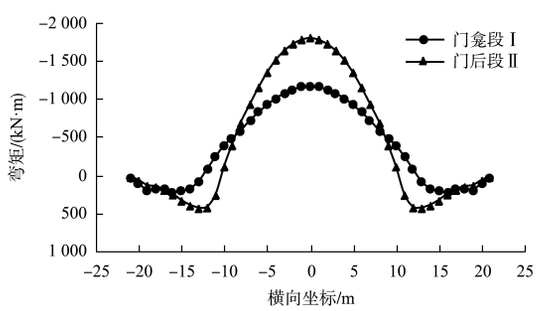
由图 4 可知，在边墩沉降达到最终总沉降的不同百分比（30%~80%）时合缝，底板上表面的拉应力差异较大，在边墩沉降达到总沉降的 30%时合缝，底板产生的拉应力最大，最大值达到 2.70 MPa；在边墩沉降达到其总沉降的 80%时合缝，底板上表面的最大拉应力仅为 0.73 MPa。分析可知，在边墩发生较大的沉降后再合缝，底板上表面的拉应力已经很小，甚至已无拉应力产生，反而产生了压应力，因此，可不必按传统常规施工方法中等待边墩完成绝大部分沉降后才合缝，而考虑提前进行施工宽缝的浇筑合缝[8]。

4.3　底板弯矩

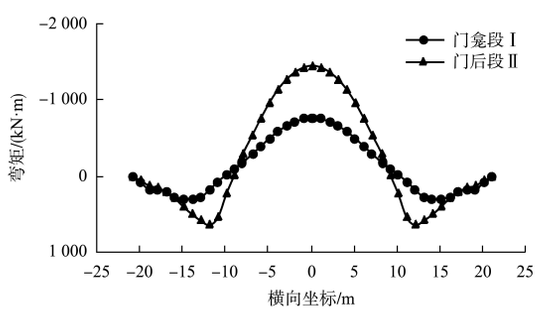
根据底板的应力计算结果，得到各沉降百分比(30%~80%)的底板弯矩。弯矩分为门龛段Ⅰ和门后段Ⅱ计算。合缝时边墩沉降达到总沉降不同百分比(30%~80%)的底板弯矩见图 5。图中横向坐标为 0 m 的位置为底板跨中处。



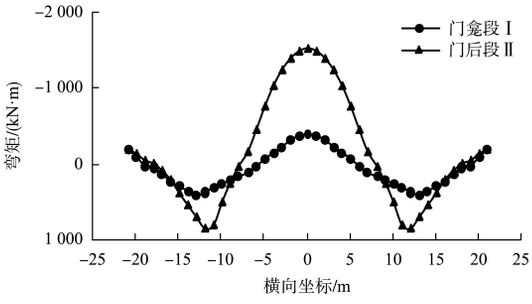
a) 30%合缝



b) 60%合缝



c) 70%合缝



d) 80%合缝

图 5　底板弯矩

由图 5 可知，弯矩随沉降百分比的变化规律与应力变化规律一致，即随着合缝时边墩沉降达到其总沉降的百分比变大，底板跨中最大负弯矩减小，由沉降比为 30%时的−3 582.4 kN·m 减小到沉降比为 80%时的−1 094.8 kN·m，而在负弯矩减小的同时，正弯矩却随之增大。

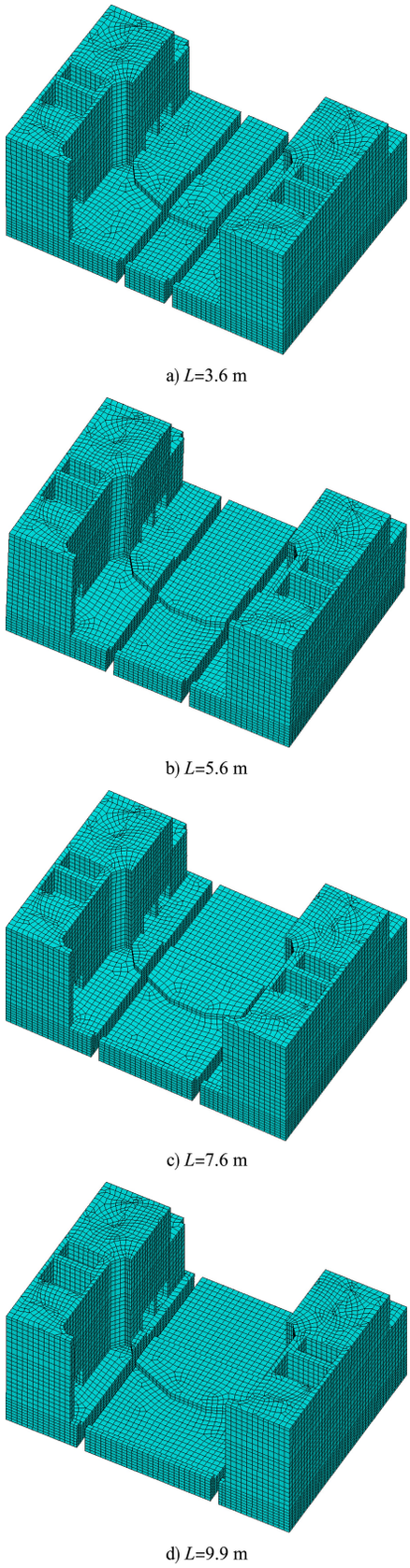
随着合缝时边墩沉降达到总沉降的百分比的增加，底板的最大负弯矩随之降低，此变化过程是非线性的。从提高基础的安全角度考虑，应尽可能降低底板弯矩，即边墩完成较大的沉降后再合缝，但合缝时间的推后将导致工期延长、施工成本的增加等问题，因此一味地降低底板内力并不是最经济的决定。另外，施工宽缝处连通的钢筋长期外露锈蚀也会导致强度的损失。当沉降比小于 60%时，底板横向最大负弯矩变化较大，而在 60%～80%逐渐趋于平缓。

因此，建议将底板施工宽缝合缝选择在边墩沉降达到总沉降 60%～80%时进行。根据分析，可以推断出工程在 60%～80%间存在一个最经济点，这一点需根据具体工程的情况确定。在实际施工过程中，地基在经过处理到达结构的承载力和变形要求后，当实际观测的沉降量达到理论沉降量的 60%～80%时，即可浇注施工宽缝[9]。

5　施工宽缝不同设置位置的底板计算

5.1　不同宽缝位置的闸首模型

以宽缝中心线距离闸首中心线的距离 L 为变量，分析不同 L 的宽缝对底板受力的影响。考虑 L 的取值为 3.6、4.6、5.6、6.6、7.6、8.6、9.9 m。根据以上分析结论，计算时宽缝合缝时间节点选择在边墩沉降达到其总沉降的 70%时。宽缝位置 L 为 3.6、5.6、7.6、9.9 m 的闸首有限元模型见图 6。



a) L=3.6 m

b) L=5.6 m

c) L=7.6 m

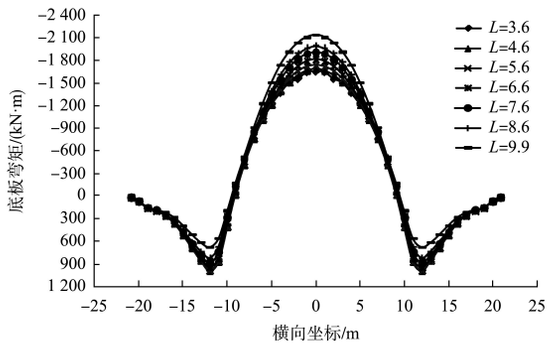
d) L=9.9 m

图 6　不同宽缝位置的闸首模型

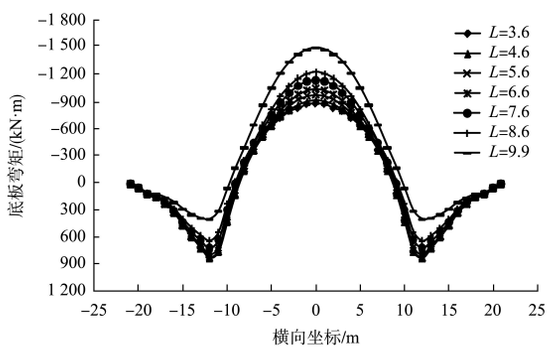
5.2　底板弯矩分析

运用 APDL 语言编制的应力转换内力程序，

将不同宽缝位置计算得到的底板横向应力转化为弯矩，绘制完建期和运行期不同宽缝位置底板弯矩对比见图 7。



a) 完建期



b) 运行期

图 7　不同宽缝位置底板弯矩对比

由图 7 可知：完建期和运行期两种工况下，不论 L 为何值，底板弯矩整体趋势不变，即位于两宽缝中间的底板出现负弯矩，宽缝两侧底板出现正弯矩。随着 L 的增大，即宽缝位置由中间向靠近边墩变化，底板负弯矩逐渐增大，而正弯矩逐渐减小[10]。

完建期和运行期底板跨中最大负弯矩几乎随 L 的增大呈线性增加。宽缝位置 L 由 3.6 m 增加至 9.9 m，完建期的负弯矩值由−1 650 kN·m 增加至−2 134 kN·m，增幅为 29.3%；运行期的负弯矩由−884 kN·m 增加至−1 498 kN·m，增幅为 69.4%。由此可知，底板施工宽缝位置对底板弯矩影响很大，进行宽缝设计时应在综合考虑施工方便等相关因素后使宽缝靠近底板中轴线[11]。

6　结论

1）施工宽缝的设置对底板产生横向拉应力的影响至关重要。设置施工宽缝后底板上表面横向拉应力分布范围减小，拉应力值显著减小，从而有助于改善底板的受力状态。

2）不同合缝时间下的闸首底板计算结果表明，随着合缝时间的推迟，底板最大拉应力及最大负弯矩呈线性减小。然而，在确定施工宽缝的合缝时间时，需要综合考虑基础的安全度、持续降水增加的费用以及推迟宽缝合缝对施工带来的不便等因素。建议选择边墩沉降达到总沉降的 60%～80%中某个时间点进行施工宽缝的合缝，以达到最高的综合效益。

3）不同设置位置的施工宽缝对底板的影响差异较大。施工宽缝在底板中设置的位置显著影响底板弯矩分布，底板的负弯矩随宽缝位置由底板两侧向中间变化而减小。在设计中，应考虑施工便利等相关因素的前提下，使宽缝靠近底板中间轴线，以减小弯矩，使施工宽缝发挥最大的作用。

参考文献：

[1] 张丽华. 微山一线船闸改建工程上下闸首施工工艺[J]. 山东交通科技, 2010 (3): 62-64.

[2] 韩勇先. 船闸闸首砼宽缝设置及施工[J]. 中国水运(下半月), 2010, 10(4): 181-182.

[3] 郭云, 邱勇, 向敏, 等. 某船闸上闸首底板裂缝产生原因分析及处理[J]. 中国农村水利水电, 2013(1): 132-134.

[4] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.

[5] 周清华, 边立明, 徐泽中. 墩底分浇式船闸闸首底板算法研究[J]. 水运工程, 2003(1): 43-46.

[6] 杨斌, 朱旭. 船闸闸首非线性有限元计算分析[J]. 水道港口, 2010, 31(5): 537-542.

[7] 徐炳林. 船闸闸首三维非线性有限元计算分析与工程应用[D]. 南京: 河海大学, 2008.

[8] 苏超, 王仙美, 曹建中, 等. 船闸结构仿真计算方法研究[J]. 水运工程, 2010(9): 97-99, 104.

[9] 曹周红, 胡峰军, 孙保虎, 等. 坞式船闸底板自重在其内力计算中的折减问题研究[J]. 水运工程, 2012(4): 158-161.

[10] 徐闪. 沂北船闸底板宽缝封缝条件分析[J]. 现代交通技术, 2011, 8(S1): 161-163.

[11] 刘晓平, 曹周红, 桑雷, 等. 不同地基坞式船闸结构底板预留宽缝施工方法效果分析[J]. 水力发电学报, 2007, 26(3): 54-58.

（本文编辑　赵娟）