DOI:10.11705/j. issn. 1672 -643X. 2016. 02. 36

施工宽缝对整体式闸首底板的受力影响研究

李 成[1a], 杨 旭[2], 徐 昕[1b], 王明阳[1b]
(1. 河海大学 a. 港口海岸与近海工程学院; b. 水利水电学院, 江苏 南京 210098;
2. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘　要: 鉴于整体式闸首底板在顺水流方向易出现裂缝,严重危害船闸的使用安全。本文提出的设置施工宽缝的施工方案可以有效改善整体式闸首底板开裂问题。首先运用 ANSYS 软件建立模型,对闸首结构进行有限元分析,进一步探索出施工宽缝对整体式闸首底板的应力与变形的影响,将应力计算结果转换成内力,最终研究出满足工程要求的最优合缝时间和设缝位置,从而为整体式船闸的施工提供参考。

关键词: 整体式闸首底板; 施工宽缝; ANSYS 软件; 合缝时间; 闸首底板承力
中图分类号:TV314　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1672-643X(2016)02-0193-05

Influence of construction wide joint on stress of integral lock head's floor

LI Cheng[1a], YANG Xu[2], XU Xin[1b], WANG Mingyang[1b]
(1. *a. College of Harbour Coastal and Offshore Engineering*; *b. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering*, *Hohai University*, *Nanjing* 210098, *China*; 2. *Fourth Harbor Engineering Investigation and Design Institute Co. Ltd of MOC*, *Guangzhou* 510230, *China*)

Abstract: The integral lock head's floor easily appears cracks in the direction of water flow, which seriously harms the use safety of locks. The scheme of construction wide joints can effectively improve the cracking problem of integral lock head floor . The paper first applied ANSYS software to set up model, carried out finite element analysis for lock head´structure and further researched the influence of wide construction joints on the stress and deformation of the floor. It converted the stress result into internal force and finally got the optimum closed time and location which could meet the engineering requirement so as to provide reference. The result can provide reference for the construction of integral lock head.

Key words: floor of integral lock head; construction wide joint; ANSYS Software; time of close joint; stress of integral lock head's floor

1　研究背景

随着我国经济不断发展,航道水深不断加大,船闸水头也越来越大,为使闸首结构受力条件更好,越来越多的船闸闸首采用整体式结构[1-2]。该结构由两侧边墩、底板和闸门构成,边墩和底板刚性连接在一起。由于边墩和中间底板的不均匀沉降会导致底板上部产生过大负弯矩,出现较大拉应力而开裂,这一现象在土基上的闸首结构中更为明显[3]。

为解决整体式闸首底板开裂这一问题,有关专家提出了底板预留宽缝的施工方法[4-5],即在闸首底板设置宽缝将底板分成中间底板和两侧底板。在施工前期,施工宽缝处闸首底板的混凝土是断开的,但在宽缝部位的钢筋是连续的。施工宽缝两侧的底板,在合缝前是各自变形和沉降;施工至一定阶段后,在施工宽缝处浇筑微膨胀混凝土,使两侧底板连成一整体,这种施工方案能改善边墩和中间底板的沉降差带来的不利影响,使底板上部拉应力大大减小[6]。这种"墩底分浇、预留宽缝、后期封合"的施工方案,如图1。

国内许多学者和专家对该施工方法做了广泛研究,周清华等[7]、冯大江[8]先后应用 Biot 固结理论,

收稿日期:2015-09-06;　**修回日期**:2015-12-07
作者简介:李 成(1991-),男,湖北孝感人,硕士研究生,主要从事港口工程结构方面的研究。
通讯作者:杨 旭(1988-),男,湖南岳阳人,硕士,工程师,主要从事港口航道水工建筑物设计。

对土基固结沉降特性及其对船闸结构内力影响进行了研究;曹周红[9]运用非线性有限元的方法,考虑了不同材料之间的相互接触作用,仿真模拟了不同施工过程对船闸闸首结构混凝土底板应力大小及分布的影响;苏超等[5]建立了粘弹性地基上基础梁计算方法,将该方法应用于软基上船闸底板的计算,有效地模拟了“墩底分浇、预留宽缝、后期封合”的施工效果。

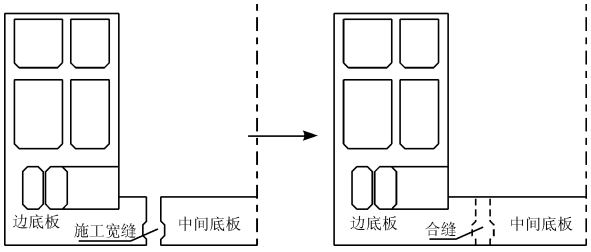

图 1 施工方案示意图

目前,针对施工宽缝的设置位置,以及合缝时间的研究较少。本文将利用 ANSYS 建立闸首模型,通过有限元分析探究出施工宽缝的最优设缝位置和合缝时间。

2 船闸概况

以浙江某船闸为例,该船闸按三级航道通航标准设计(结构及水深满足千吨级船舶通航要求),船闸有效长度×有效宽度×门槛水深为:260 m×23 m×4.0 m。选取该船闸的下闸首进行计算,计算工况为完建期。下闸首基础位于土质地基上,为了保证闸首的足够强度,避免闸首不均匀变形影响闸门的正常使用,下闸首采用钢筋混凝土底板和空箱型边墩构成的整体式结构。平面尺度为: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。底板底高程 45m(国家 85 高程),底板厚 3.0 m。下闸首剖面图和平面图,如图 2、3 所示。

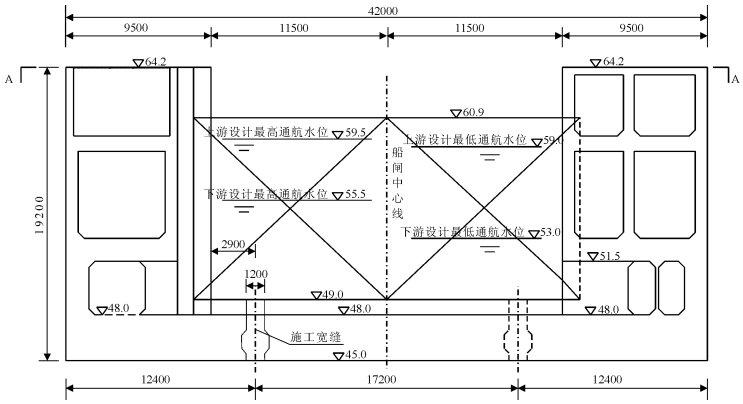

图 2 下闸首剖面图

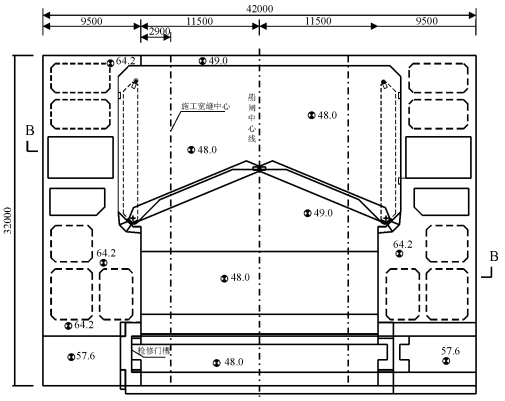

图 3 下闸首平面图

根据底板的纵向分段原则,将下闸首底板分成门龛段Ⅰ(16.6 m)和门后段Ⅱ(15.4 m),如图 4 所示:

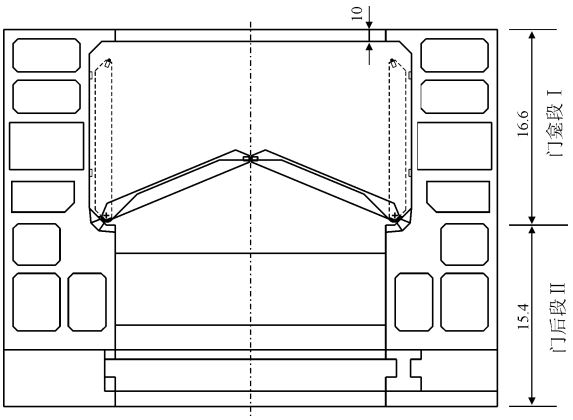

图 4 闸首纵向分段图

3 设置施工宽缝与否的求解分析

3.1 模型资料

地基土体与闸首土体都选用 SOLID45 单元,闸首采用线弹性材料模拟,进行线弹性计算,地基土体采用非线性的弹塑性 D-P 本构模型,闸首与地基间设置接触,进行非线性计算。

该船闸修建在土质地基上,地基主要由两层土体组成,地基土由上至下依次编号为Ⅰ、Ⅱ,具体材料参数见表 1。根据工程场地地质情况,闸首回填土采用砾砂和卵石,土压力计算参数见表 2。闸首结构采用标号为 C25 的混凝土,少量特别部位采用标号为 C30 的混凝土,为计算方便,本文闸首结构均采用 C25 混凝土,混凝土材料的具体参数见表 3,下闸首完建期水位分布见表 4。

表 1　地基土体材料力学参数

土体类别	弹性模量/MPa	泊松比	黏聚力/kPa	容重/(kN·m^{-3})
地基土Ⅰ	35	0.30	15	15.0
地基土Ⅱ	40	0.35	5	18.0

表 2　回填土土体材料参数

土体类别	泊松比	黏聚力/kPa	摩擦角/(°)	容重/(kN·m^{-3})
水上	0.30	0	32	18.5
水下	0.35	0	32	10.0

表 3　混凝土材料力学参数

土体类别	弹性模量/MPa	泊松比	抗压强度标准值/MPa	抗拉强度标准值/MPa	容重/(kN·m^{-3})
C25 混凝土	28	0.167	16.70	1.78	24.0

表 4　下闸首计算水位组合表

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
完建工况	无水	无水	无水	无	下游、闸室内无水 陆侧回填已完成

结构荷载包括以下几个方面:自重(因地基在施工前已在重力的作用下产生沉降变形,故不再考虑地基土的重力),回填土压力,边荷载,闸门推力[10]。

3.2　地基建模

根据有限元计算要求,地基计算顺水流方向的边界为从闸首上下游端面分别延伸至 1 倍闸首长度即 32 m,垂直水流方向边界为闸首左右边墩墙分别延伸至 1 倍闸首宽度即 42m,地基计算厚度取闸首宽度的 1.2 倍即 50 m。地基底部设置全约束即固定约束,地基其余四个侧面边界全部设置法向约束。闸首与地基整体模型如图 5 所示。

3.3　无施工宽缝的闸首模型分析

根据闸首地板整体浇筑的施工方法,建立有限元模型,见图 6。并求得该施工方案下地基沉降云图(图 7)和闸首地板应力云图(图 8)。

由图 7 可知,边墩下底板和中间底板下地基均存在沉降差,而底板为一个整体,该沉降差必然产生较大拉应力;由图 8 可知,闸首底板上表面出现较大拉应力,最大拉应力达到 4.54 MPa,已远超过 C25 混凝土抗拉强度标准值 1.78 MPa。

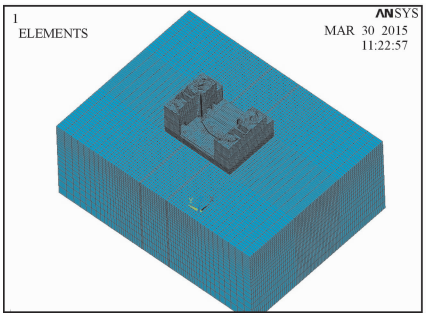

图 5　闸首与地基整体有限元模型

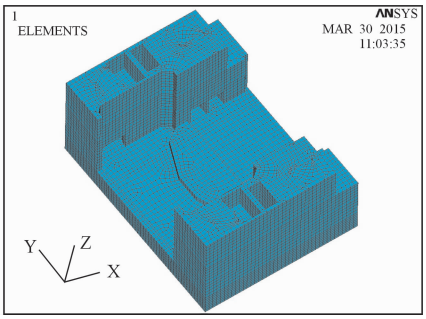

图 6　未设置施工宽缝的闸首有限元模型(完建期)

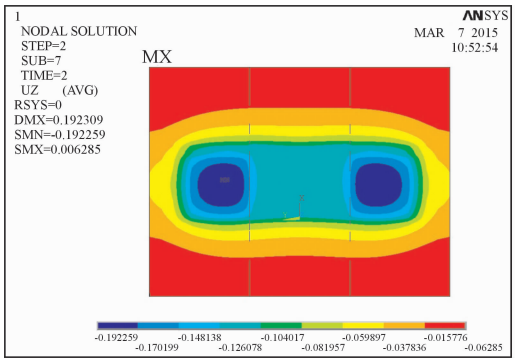

图 7　未设置施工宽缝的闸首地基沉降(完建期)

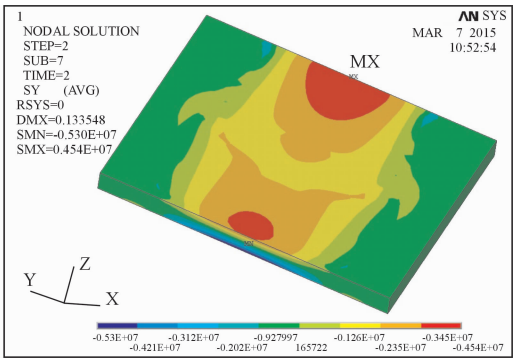

图 8　未设置施工宽缝的闸首底板横向(Y)应力(完建期)

3.4　有施工宽缝的闸首模型分析

设置施工宽缝的闸首有限元模型,见图 9,以此求得该施工方案下地基沉降云图(图 10)和闸首地板应力云图(图 11)。

由图 10 可知,设置施工宽缝后中间底板与两侧边墩下地基沉降差更大,但是,这种沉降差是在两侧底板与中间底板分离的状态下完成的,因此不会使底板上部产生较大拉应力。

由图 11 可知,在设置了施工宽缝的情况下,底板上表面拉应力已大幅减小,仅为 1.2 MPa,远小于 C25 混凝土抗拉强度标准值 1.78 MPa。

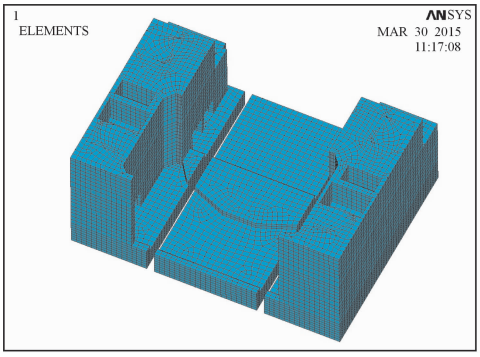

图 9 设置施工宽缝的闸首有限元模型(完建期)

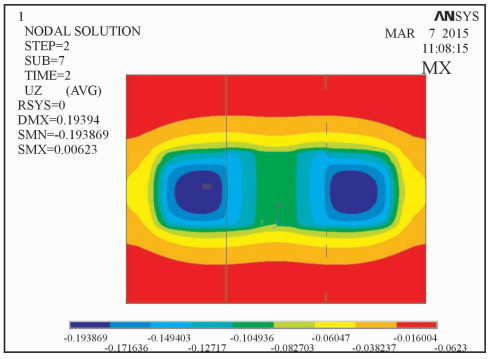

图 10 设置施工宽缝的闸首地基沉降图(完建期)

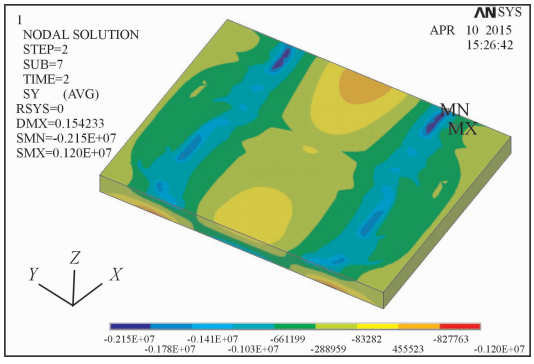

图 11 设置施工宽缝的闸首底板横向(Y)应力(完建期)

3.5 两种施工方案的闸首底板内力比较

在实际的工程设计中,工程人员往往关心的是底板内力的大小及分布,根据弯矩、剪力的大小来配筋从而满足结构强度要求。

(1)基本原理。

根据材料力学内力与应力的关系,有:

$$M = \int_A y\sigma \mathrm{d}A$$

(2)内力计算

根据上式,应用 ANSYS - APDL 语言编写内力计算程序,利用有限元结构计算的应力结果,实现船闸闸首底板的弯矩计算。两种施工方案的闸首地板弯矩分布,见图 12、13(图表中横向坐标:底板横断面上的位置点,零点位于底板横断面的中心)。

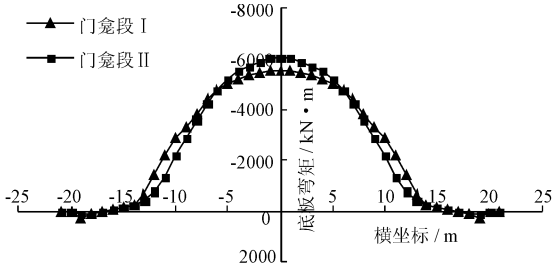

图 12 未设置施工宽缝的闸首底板横向弯矩图

由图 12 可知,在未设置施工宽缝时,底板将产生较大负弯矩,其最大值在底板横断面的中心,达到 -6 029 kN · m。

由图 13 可知,设置施工宽缝后,该点的负弯矩降为 -795 kN · m。同时,设置施工宽缝后,在边墩与中间底板交界处却产生了较大的正弯矩,最大正弯矩为 1 302 kN · m。

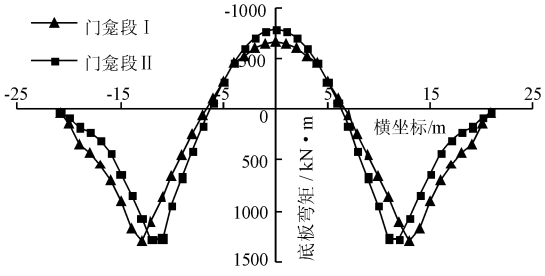

图 13 设置施工宽缝的闸首底板横向弯矩图

4 闸首底板施工宽缝合缝时间及设置位置分析

4.1 施工宽缝不同合缝时间点的底板受力计算

计算方法及假定:假定在宽缝合缝前,边墩及中间底板均自由沉降。当边墩沉降达到其最终沉降的 x % 时对施工宽缝进行浇筑合缝,计算出该时间点下的地板最大负弯矩, x % 取值范围为 30% ~

80%,如图 14 所示:

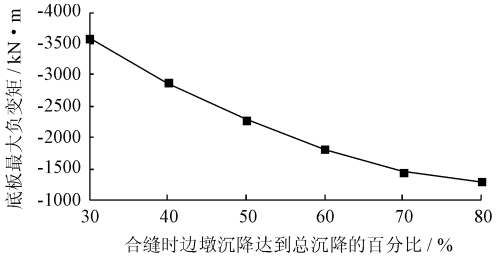

图 14　底板最大负弯矩与合缝时边墩沉降达到总沉降百分比的相关曲线

由图 14 可知,随着合缝时边墩沉降达到最终沉降的百分比(x %)的增加,底板的最大负弯矩随之降低,这一变化过程是非线性的。x % 在 60% ~ 80% 区间内,曲线趋于平缓。

4.2　施工宽缝不同设置位置的计算分析

以宽缝中心线与闸首中心线的距离 L 为变量,分析不同 L 对底板受力的影响。L 的取值为 3.6、4.6、5.6、6.6、7.6、8.6、9.9 m;选择时间点为:边墩沉降达到其最终沉降的 70%,求得闸首地板最大负弯矩与 L 的关系曲线,见图 15。

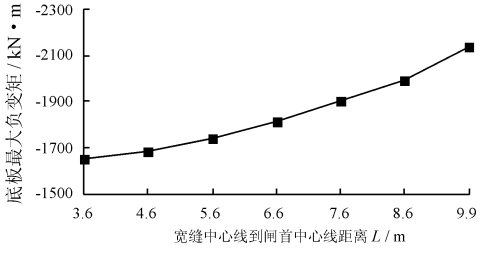

图 15　底板最大负弯矩与宽缝位置 L 关系图

由图 15 可知,闸首底板最大负弯矩几乎随 L 的增大呈线性增加。宽缝位置 L 由 3.6 m 增加至 9.9 m,底板最大的负弯矩值由 −1 650 kN · m 增加至 −2 134 kN · m,增幅达到 29.3%。

5　结论与展望

(1)未设置宽缝的闸首底板将产生较大拉应力,导致底板出现裂缝;施工宽缝的设置使底板上表面拉应力分布范围减小,拉应力值也大幅减小,从而解决了底板的开裂问题。

(2)设置施工宽缝后,闸首底板最大负弯矩大幅减小,但在边墩与中间底板交界处却产生了较大的正弯矩,在设计中应加强该部位的配筋。

(3)施工宽缝的合缝时间对底板弯矩影响较大,施工宽缝的合缝时间越晚,底板的负弯矩越小,但合缝时间需考虑“工程进度”,故建议:以实际的“工程进度”为依据,选择边墩沉降达到其最终沉降的 60% ~80% 中的某一时间点进行合缝,从而发挥最大综合效益。

(4)施工宽缝设置的位置对底板弯矩分布影响较大,工程设计中应该以“施工便利”为前提,使宽缝位置尽可能的靠近底板中轴线,从而充分发挥其降低底板弯矩的作用。

(5)本文的分析过程仅考虑底板和边墩的不均匀沉降,而没有考虑温度应力,在今后的研究中将以此为重点,即研究设置施工宽缝后温度应力的变化对底板受力的影响。

参考文献:

[1] 叶小可. 预留宽缝施工方法对船闸底板的影响[J]. 南昌大学学报(工科版),2002,24(4):19 −23.

[2] 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.

[3] 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.

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

[5] 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.

[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] 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.

[8] 冯大江. 应用 Biot 固结理论的船闸闸首结构非线性有限元分析[D]. 南京:河海大学,2005.

[9] 曹周红. 不同施工过程对坞式船闸结构影响的仿真模拟研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2005.

[10] 何良德,梅 霆,周俊波,等. 基于分层地基模型的闸首分缝底板计算方法[J]. 河海大学学报(自然科学版),2013,40(6):698 −703.