



布置输水廊道的船闸闸室底板 受力分析及有限元计算

袁和平

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 布置输水廊道和消能设施的船闸闸室底板结构具有明显的三维特性。按《船闸水工建筑物设计规范》中的弹性地基上的框架或均布地基反力的框架进行受力计算时, 难以确定底板框架的刚度, 且无法模拟底板的三维受力特性。通过分析某船闸布置廊道的闸室底板受力情况, 采用有限元计算软件建立其三维有限元模型, 计算分析闸室底板的内力和变位。

关键词: 闸室底板; 输水廊道; 受力分析; 有限元

中图分类号: U 641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)09-0134-04

Force analysis and FEM calculation of lock chamber floor with filling culvert

YUAN He-ping

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: The lock chamber floor with filling culvert and energy dissipation facilities possesses the characteristics of 3D. According to method of the frame on elastic foundation or frame on uniform foundation in Lock hydraulic structure design specification, it is difficult to determine the stiffness of the frames and the 3D stress characteristics of floor is unable to simulate. This paper analyzes the force of ship's lock chamber floor with filling culvert, and establishes the 3D finite element model by FEM analysis software, and calculates the stress and displacement of lock chamber floor.

Keywords: lock chamber floor; filling culvert; force analysis; finite element method

岩基上的船闸常采用分离式闸室, 闸室边墙一般采用重力式结构, 边墙与底板不传递荷载。对于不布置廊道的闸室底板, 其结构和受力比较简单, 可采用常规的弹性地基梁法计算; 对于采用闸底长廊道输水的船闸, 闸室底板设有廊道和消能设施, 结构较为复杂且具有明显的三维特性, 在闸室运行的不同工况下, 底板承受各种荷载作用, 按 JTJ 307—2001《船闸水工建筑物设计规范》^[2]中的弹性地基上的框架或均布地基反力的框架进行计算时, 难以确定底板框架的刚度, 且无法模拟底板的三维受力特性。

笔者通过分析某船闸布置廊道的闸室底板在运行期不同工况下的受力情况, 采用有限元计算软件建立其三维有限元计算模型, 计算分析闸室底板的内力和变位, 为结构设计提供计算依据, 供类似船闸工程设计计算参考。

1 闸室底板结构

某船闸闸室底板与边墙分离, 底板宽 23.2 m, 单个结构段长 15 m, 船闸采用闸底长廊道输水系统, 闸室底板布置 2 道 2.6 m × 5.0 m (高 × 宽) 的输水廊道, 并在廊道两侧设有出水支孔和消能

收稿日期: 2014-12-31

作者简介: 袁和平 (1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 注册土木工程师 (港航), 从事港口航道工程设计研究工作。

明沟，消能明沟间还设有联系梁，闸室底板连同输水廊道和消能系统厚 4.6 m，整个底板形成一个较为复杂的钢筋混凝土空间框架结构，底板基面为弱风化岩层（图 1、2）。

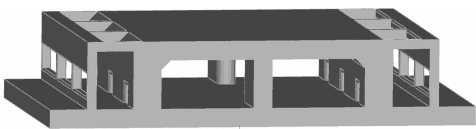


图 1 闸室底板单个结构段三维视图

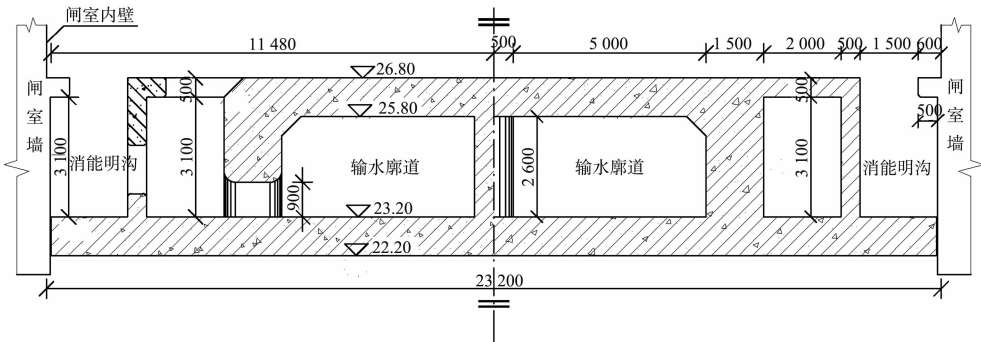


图 2 闸室底板结构断面（高程：m；尺寸：mm）

2 闸室底板受力分析

船闸运行期闸室底板主要受自重、静水压力、输水时的动水压力等荷载，由于运行期闸室中的水位和输水廊道的内水压力是变化的，运行期闸室底板结构计算时只考虑以下 2 种不利工况。

工况 1：闸室内为低水位，廊道内水压力由上游水位决定，包括静水压力和动水压力。

此时作用在底板上的竖向荷载为室内低水头，当廊道输水时，廊道内壁的静水压力为上下游的水头差，同时由于廊道中输水时的高速水流作用，廊道和消能设施还承受动水压力。动水压力一般由静水压力乘以由试验确定的动荷载系数，无水力学实测资料时可取静水压力的 0.3~0.5 倍^[2]，国内的一些已建船闸工程中，七里垅船闸采用 0.4，葛洲坝三号船闸采用 0.5，青铜峡船闸采用 0.3^[1]。结合已建工程经验，本工程计算时采用的动水压力取 0.4 倍的廊道静水压力。本工况廊道内壁所受水压力较大，底板受竖向力相对较小（图 3）。

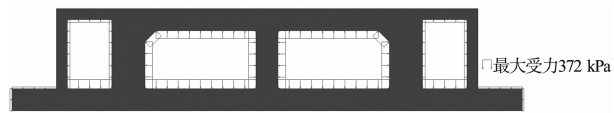


图 3 闸室低水位工况时底板受力简图

工况 2：闸室为高水位，廊道中的内水压力为下游水位。

此时作用在底板上的竖向荷载为闸室内高

水头，廊道中的内水压力为下游水位。本工况廊道内壁所受水压力较小，底板受竖向荷载相对较大（图 4）。

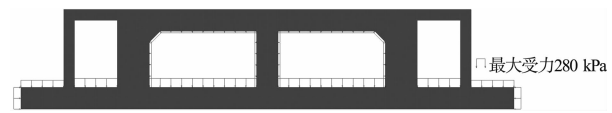


图 4 闸室高水位工况时底板受力简图

3 底板结构有限元建模

建立模型时采用笛卡尔坐标系，取垂直船闸轴线为 X 方向，顺船闸轴线为 Y 方向，竖直方向为 Z 方向。计算时采用的底板和基岩的材料参数见表 1。

表 1 材料计算参数			
材料	密度/(kg·m ⁻³)	弹模/MPa	泊松比
底板混凝土	2 450	30 000	0.167
基岩	2 520	4 000	0.300

根据闸室底板的结构尺寸、结构和基岩的材料特性和上述受力分析，利用 ADINA[®]有限元计算软件建立底板的三维有限元计算模型（图 5）。建模时底板结构作为整体，用混凝土单元模拟，底板以下为基岩，采用弹性体单元模拟，并对底板和基岩进行网格剖分和接触面设置。约束施加在基岩上，基础底面为 3 向约束，4 个侧面为法向约束。

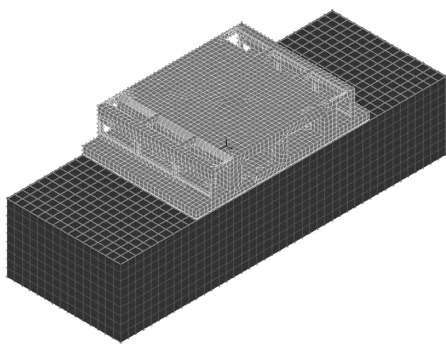


图 5 三有限元网格模型

4 主要计算结果

根据不同工况下底板所受外力，通过有限元软件计算分析各工况底板的应力、变位和地基应力，并能计算出底板内部框架各部位的应力值，找出受力最危险部位，为结构设计提供依据。这里仅列出船闸运行期上述 2 种不利计算工况闸室底板结构 X、Y 方向的应力分布云图，最大拉、压应力值和竖向变位（图 6 ~ 11）。

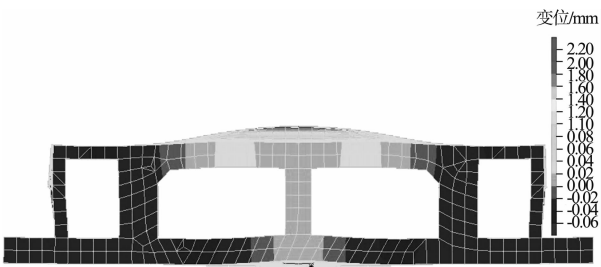


图 8 闸室内低水位时底板 Z 方向的变位

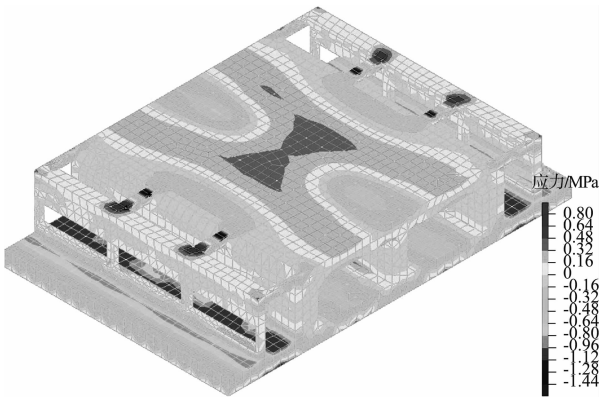


图 9 闸室内高水位时底板 X 方向的应力分布

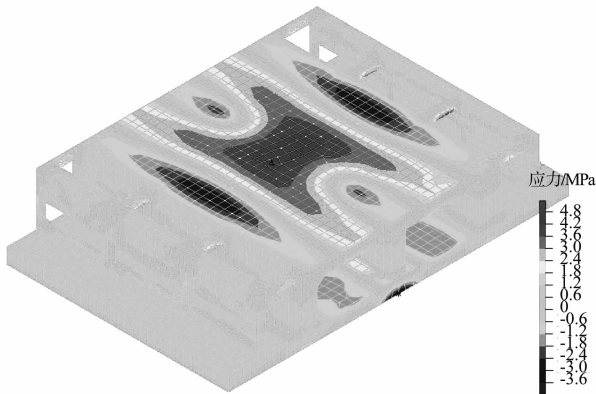


图 6 闸室内低水位时底板 X 方向的应力分布

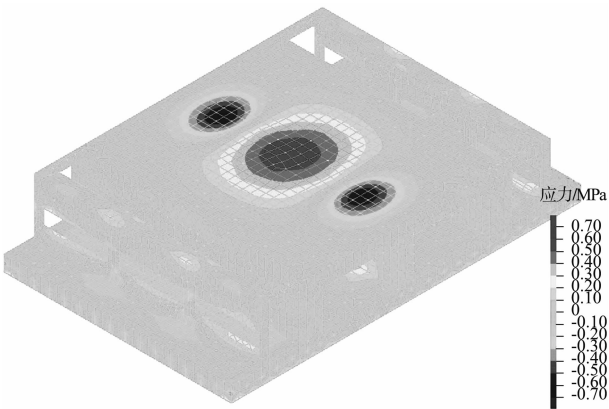


图 10 闸室内高水位时底板 Y 方向的应力分布

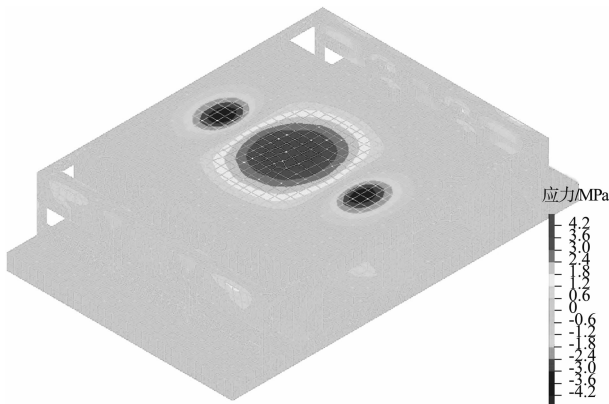


图 7 闸室内低水位时底板 Y 方向的应力分布

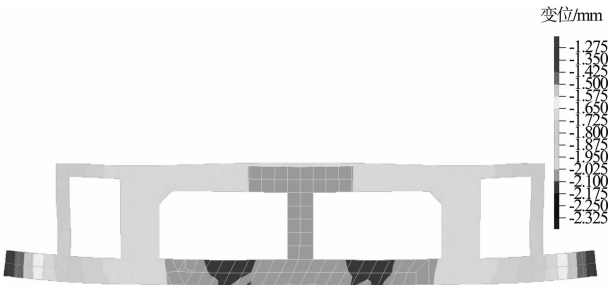


图 11 闸室内高水位时 Z 方向的变位

5 结论

1) 船闸运行期间室内低水位工况时作用在底板上的竖向荷载为室内低水头，廊道内壁承受静水压力和动水压力。廊道内壁所受水压力较大，底板受竖向荷载相对较小，此时最大拉应力出现在廊道上部板的顶部，廊道上部板的负弯矩（板顶部受拉）较大，运行期廊道上部板的负弯矩由闸室低水位工况控制。

2) 船闸运行期间室内高水位工况时作用在底板上的竖向荷载为室内高水头，廊道中的内水压力为下游水位。廊道内壁所受水压力较小，底板受竖向荷载相对较大，此时最大拉应力出现在廊道下部板的底部，廊道下部板的正弯矩（板底部受拉）较大，运行期廊道下部板的正弯矩由闸室高水位工况控制。

3) 由于分离式闸室两侧闸墙的力不传递到闸室底板且底板基础为岩基，因此闸室底板的基底

应力分布比较均匀且底板竖向变位较小。

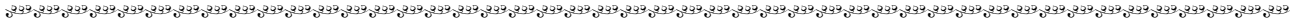
4) 布置有输水廊道和消能设施的船闸闸室底板，结构较为复杂且具有明显的三维特性，因此采用三维有限元法对其进行结构受力计算是适宜的。

5) 运用有限元软件建立闸室底板的三维计算模型，可计算出底板在各工况下的应力和变位，并能根据计算结果分析各工况下整个底板结构的受力最危险部位，为结构设计提供计算依据，特别是对平面框架计算中的盲点能给出定性的应力值。

参考文献：

[1] 王作高. 船闸设计[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.
[2] JTJ 307—2001 船闸水工建筑物设计规范[S].
[3] JTS 151—2011 水运工程混凝土结构设计规范[S].
[4] 岳戈, 陈权. ADINA 应用基础与实例详解[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.

(本文编辑 郭雪珍)



(上接第 116 页)

2) 水流条件计算表明：3 个方案的流速、比降相差不大。但新槽方案水流流向与挖槽轴线间夹角大于老槽方案，且水流动力轴线偏离航槽的程度较大，同时新槽方案 1 与拟建岷江二桥通航孔的衔接不够顺畅，而新槽方案 2 未能利用该桥主通航孔（航线规划为左侧副通航孔）将影响桥区的通航安全和通航能力。另外，新槽方案 2 滩段左、右两岸众多的长短丁坝可能对中水期船舶航行造成不利影响。

3) 河床冲淤计算表明：老槽方案依托主导河岸，沿深泓布置挖槽，工程后泥沙回淤量相对较少。而新槽方案在左岸（凸岸）边滩上布置航槽，泥沙回淤量相对较大，航槽不易稳定。

4) 从整治效果看（通航水流条件、航槽稳定等），3 个方案各有优劣，相对而言，老槽方案稍好，新槽方案 1 次之，老槽方案更能满足航道通航条件要求。

参考文献：

[1] 韩其为. 非均匀悬移质不平衡输沙的初步研究[J]. 科学

通报, 1979(7): 804-808.

[2] 徐国宾, 张丽. 平面二维非恒定非均匀泥沙数学模型[J]. 天津大学学报, 2008(8): 991-995.
[3] 曹文洪, 何少苓, 方春明, 等. 黄河河口海岸二维非恒定水流泥沙数学模型[J]. 水利学报, 2001 (1): 42-48.
[4] 陆永军, 王兆印, 左利钦, 等. 长江中游瓦口子至马家咀河段二维水沙数学模型[J]. 水科学进展, 2006, 17(2): 227-234.
[5] 王建军, 张明进. 长江南京以下 12.5 m 深水航道二期工程口岸直河段选槽数学模型[J]. 水运工程, 2013(12): 1-7.
[6] Benoit Cushman-Roisin, Christopher E Naimie. A 3-D Finite-Element Model of the Adriatic Tides; J]. Journal of Marine Systems, 2002(37): 279-297.
[7] 倪志辉, 易静, 张绪进. 倒运海水道航道整治工程潮流数值模拟[J]. 人民黄河, 2013, 35 (8): 15-18.
[8] 倪志辉, 刘亚博, 张绪进, 等. 北江白石窑枢纽坝下航道稳定性初步分析[J]. 水运工程, 2014(6): 90-95.
[9] 费晓昕, 张绪进, 倪志辉, 等. 北江白石窑水利枢纽坝下变动回水区航道整治试验研究[J]. 水运工程, 2013(4): 146-150.

(本文编辑 武亚庆)