

高港二线船闸闸门结构复核分析

谢瑞敏¹, 张楚楚¹, 王雪军²

(1. 江苏省泰州引江河管理处, 江苏 泰州 225300; 2. 泰州市海陵建筑设计院有限公司, 江苏 泰州 225300)

摘要:高港二线船闸工作闸门采用双扇对开三角门, 闸门由门体结构、支承系统、止水系统、润滑系统、防护系统等几大部分组成。通过对上下游闸门各模拟工况结果进行分析, 进一步了解闸门的结构性能和安全稳定性, 为闸门日常维修养护工作提供理论依据。

关键词:船闸; 三角门; 结构复核

中图分类号: TV663

文献标识码: A

文章编号: 1007-7839(2024)10-0044-0004

Analysis of the structural review of the gate of Gaogang Second Line Ship Lock

XIE Ruimin¹, ZHANG Chuchu¹, WANG Xuejun²

(1. Taizhou Yinjiang Canal Administration of Jiangsu Province, Taizhou 225300, China;

2. Taizhou Hailing Architectural Design Institute Co., Ltd., Taizhou 225300, China)

Abstract: The working gate of Gaogang Second Line Ship Lock adopts a double leaf double opening triangular gate, which is composed of several parts such as the gate body structure, support system, water stop system, lubrication system and protection system. Through the analysis of the simulation results of the upstream and downstream gates, the structural performance and safety stability of the gates are further understood, and the theoretical basis for the daily maintenance of the gates is provided.

Key words: ship lock; triangular gate; structural review

1 工程概况

1.1 概 述

泰州引江河高港枢纽位于高港区境内的泰州引江河引江入口处, 距江边 1 300 m。枢纽现已建成泵站、节制闸、送水闸、调度闸、一线船闸、二线船闸及 110 kV 变电所。高港二线船闸于 2012 年 12 月开工建设, 2016 年 12 月通过竣工验收, 位于一线船闸西侧, 为 III 级船闸, 其顺水流向中心线距一线船闸 70 m, 上闸首的上游边缘与一线船闸闸首的上游边缘齐平。

船闸尺度为 230 m×23 m×4 m(长×宽×门槛最小水深), 为双向水头通航建筑物, 设计最大过闸船

型为 1 000 t 级。工程主要包括上下闸首、闸室、公路桥工程、上下游导航墙及引航道、一线船闸西侧导航墙的加固、上游临时停泊点、电气设备安装、金属结构制作安装、液压启闭机设备安装及附属设施等^[1]。

1.2 闸门总体布置

二线船闸为双向水头, 船闸上、下闸首工作闸门选用三角门型。三角门承受双向水头, 正向设计最大水头 5.41 m, 反向设计最大水头 1.5 m。三角门能在不大于 40 cm 静水位差的情况下开通闸和在上、下游动水差不大于 10 cm 时关闭通闸。

二线船闸上、下闸首各设三角门 2 扇, 对称于船闸中心线, 面板朝向引航道侧。上闸首闸门门顶高

收稿日期: 2024-05-28

作者简介: 谢瑞敏(1988—), 女, 工程师, 本科, 主要从事水利工程管理工作。E-mail: 845769184@qq.com

程 6.7 m,门槛面高程-4.0 m,闸门高度为 10.7 m;下闸首闸门门顶高程 8.2 m,门槛面高程-4.5 m,闸门高度为 12.7 m。

1.3 设计水位组合

由于长江水位变化幅度较大,内河水位有时高于长江水位,泰州引江河二线船闸是承受双向水头的通航建筑物。二线船闸的设计水位组合见表 1。

1.4 三角门结构

船闸工作闸门采用双扇对开三角门,闸门由门体结构、支承系统、止水系统、润滑系统、防护系统等几大部分组成。门体结构采用空间钢网架结构,杆件采用无缝钢管,节点采用空心球节点,主要包括有面板系钢架、顶片钢架、底片钢架、自重钢架、空间联系钢架、端柱、浮箱、防撞结构和工作桥等几

表 1 船闸阀门特征水位与设计水位组合

工况	水位组合/m		水头/m	备注
	上游	下游		
特征水位	最高水位	3.0	6.82	
	最高通航水位	3.0	5.48	
	最低通航水位	0.5	-0.50	
上游闸、阀门	正向设计	1.0	-0.50	1.50
	正向校核	3.0	-0.50	3.50
	反向设计	1.0	5.48	4.48
	检修	2.0	闸室抽干检修	7.60 阀门底槛高程-5.6 m,检修闸门挡水
下游闸、阀门	正向设计	1.0	6.41	5.41
	正向校核	0.5	6.82	6.32
	反向设计	1.0	-0.50	1.50
	反向校核	3.0	-0.50	3.50
	检修	闸室抽干检修	3.31	8.31 阀门底槛高程-5.0 m,检修闸门挡水

部分。支承系统采用上、下两支承静定结构,闸门的水平力由上下拉杆承受。垂直力(闸门自重)及闸门上的动荷载由底枢蘑菇头承受,上支承采用花篮螺母拉杆,便于安装调试,下支承采用楔块式拉压杆以减小拉压杆的长细比和提高杆件的承压能力。轴套采用新型复合材料以提高轴套的承载力和使用寿命,闸门侧止水及底止水采用橡塑复合止水橡皮以加强止水橡皮的强度和耐磨性,中缝止水采用尼龙承压条兼止水。

考虑闸门自重的影响,上下闸首闸门在常水位以下设置浮箱增加浮力。为防止船舶对闸门的碰撞,在闸门迎水面设置防护板。改善运转件的润滑条件,设置集中润滑系统,每扇闸门设 1 台润滑泵分别对顶枢、底枢等部位进行定时供油润滑^[2]。

1.4.1 门体结构

门体结构包括面板系、顶底片桁架、自重钢架、空间联系钢架、端柱、浮箱和工作桥等几部分组成。面板系采用多主梁式弧形结构,纵向布置有纵

隔板和纵向“T”型次梁,水平向在主横梁之间布置有横向“T”型次梁。各部分采用空间网架结构,杆件采用无缝钢管,部分节点采用空心焊接球节点。端柱承受闸门自重并将网架传来的水压力传递给支承结构。通过端柱将上、下水平网架联接在一起。由于门体结构的重心位置远离支承中心,在面板附近设浮箱减少顶枢拉杆在运行过程的拉力^[3]。

1.4.2 止水布置

三角门止水共包括 3 个部分,三角门底止水采用双向止水,安装双“L”型止水橡皮;侧止水采用双向止水,在边羊角安装 V450 型橡皮,采用贴靠式止水结构;中间羊角设门缝止水兼作门缝支承,采用 MGE 型高分子材料的承压条。

1.4.3 支承系统

三角门上、下 2 片水平桁架位置的端柱布置上下拉杆,拉杆夹角 60°,端柱底部布置底枢,底枢采用蘑菇头支承。三角门上支承顶枢采用花篮螺母

结构,为防止螺母拉杆松动,在拉杆两端设锁紧螺母,在锁紧螺母外侧增加夹卡,拉杆与花篮螺母采用“T”型螺纹。下支承底枢采用整体式结构配楔型块,顶枢、底枢的轴套采用具有较高承载能力的自润滑复合材料。

1.4.4 防护系统

三角门在闸首墙迎水面布置安装防撞护板。

1.4.5 工作便桥

为方便三角门在关闭时过闸行走,在门顶设工作便桥,由旋转中心至面板系中心再分向两羊角,连接闸首两侧,工作便桥宽1.0 m。

1.4.6 闸门结构布置

船闸闸室口门净宽23.0 m,上闸首闸门尺寸为15.743 m×10.70 m(宽×高),下闸首闸门尺寸为15.743 m×12.70 m(宽×高)。

上闸首闸墩顶高程7.20 m,底板面顶高程-5.60 m,底槛顶高程-4.00 m;下闸首闸墩顶高程8.50 m,底板面高程-5.00 m,底槛顶高程-4.50 m。上闸首门顶高程6.70 m,门底高程-3.90 m;底枢安装面高程-4.18 m,底枢拉杆中心高程-3.59 m;顶枢上拉杆中心高程6.03 m,顶枢上拉杆中心高程5.81 m。下闸首门顶高程8.20 m,门底高程-4.40 m;底枢安装面高程-4.68 m,底枢拉杆中心高程-4.09 m;顶枢上拉杆中心高程7.53 m,顶枢上拉杆中心高程7.31 m。三角门全关时,中缝羊角中心与顶底枢中心连线,与闸室垂线的夹角为20°;闸门中心与顶底枢中心连线,与闸室垂线的夹角为70°,顶底枢中心至面板中心垂线的弧面半径为12.225 m。

2 三角门结构复核

船闸三角门的结构布置简图如图1所示,三角闸门面板展开后为中心角70°,半径12.39 m,所用材料为Q235B。主梁、纵横次梁、甲乙丙型隔板、浮箱各梁均为“T”形梁截面梁,面板为10 mm钢板,其余构件为钢管。三角门模型空间结构见图2。

2.1 上游闸门模拟工况结果分析

上游计算工况拟定为内河侧水位1.0 m,闸室侧水位5.48 m,该工况为反向设计工况。根据前述的计算条件、荷载情况、约束等在三维软件的计算结果进行处理,对各构件的应力、变形,压杆稳定等分析验算^[4]。

图3所示为该工况下上游整体三角门模型的应力云图,三角门局部发生了应力集中现象,最大应力为175 MPa,发生在浮箱结构下端。

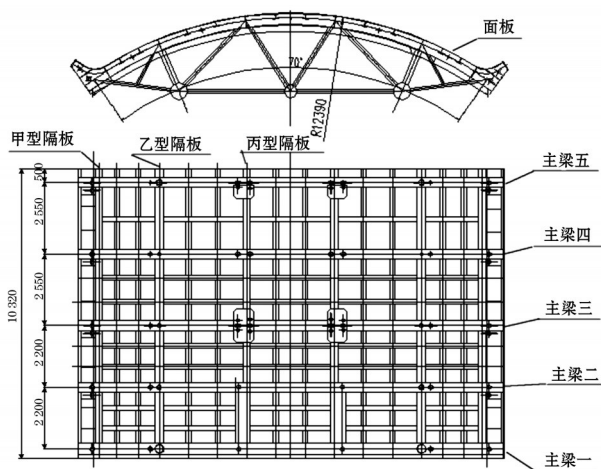


图1 闸门总体结构布置(单位:mm)

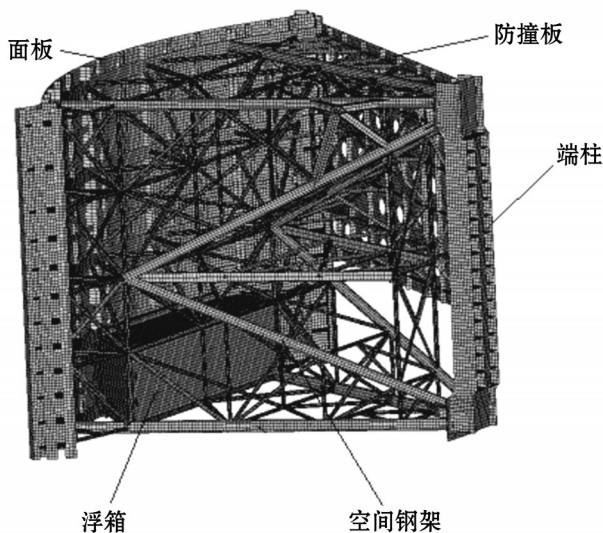


图2 三角门模型空间结构

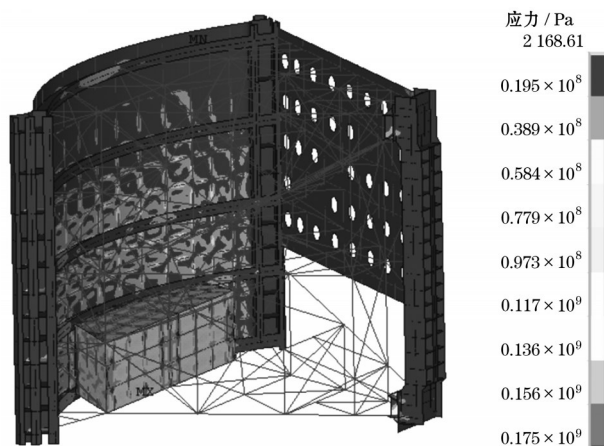


图3 上游三角门整体应力云图(单位:Pa)

图4所示为上游整体三角门模型的变形云图,三角门最大变形为6.768 mm,发生在浮箱结构上。

面板等效应力分布如图5所示,面板大部分区

域应力较小,应力较大的位置集中在闸门面板与主梁、次梁与隔板交接处,最大等效应力值为93.0 MPa,满足强度要求。

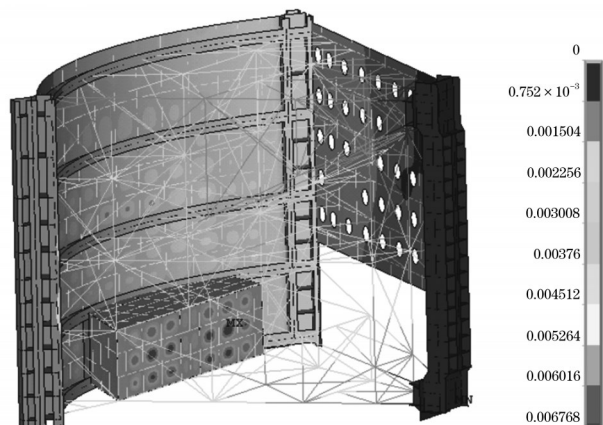


图4 上游三角门整体变形云图(单位:m)

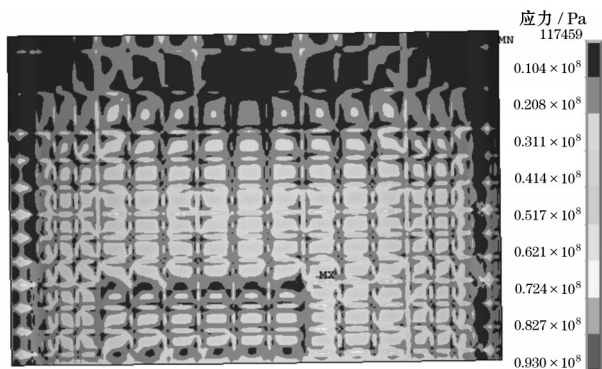


图5 面板等效应力图(单位:Pa)

通过对主梁的分析计算可知,在水压和自重作用下,底主梁 y 方向(径向)的变形最大,如图6所示,底主梁最大变形出现在底主梁中间位置,最大挠度约为3.631 mm。

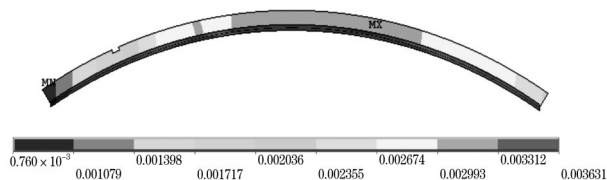


图6 底主梁 y 方向(径向)位移(单位:m)

主梁的强度与面板应力分布类似,主梁除了在交接部位有应力集中外,大部分应力较小,底主梁、主梁二、主梁三、主梁四、主梁五的应力分别为:106、95.8、68.7、40.7、54.5 MPa,其中底主梁应力值最大,满足强度要求。

底片钢架主钢管轴力如图7所示,底钢片主钢

管为受拉构件,最大轴力为810.473 kN。由底片钢管主钢管的等效应力图(图8)可知,最大轴力处经验算此处的稳定性等效应力为48.66 MPa,底片主钢管满足强度与稳定性要求。

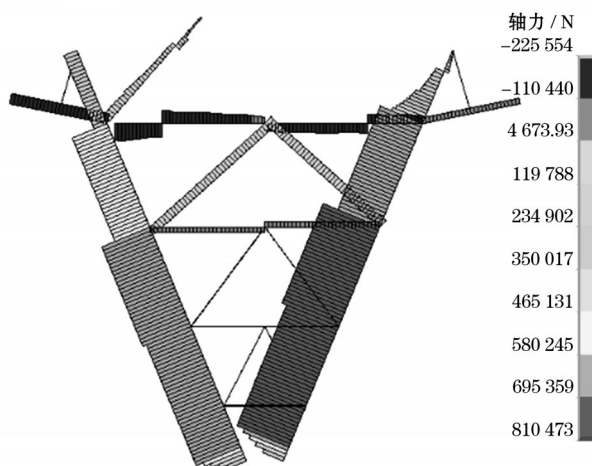


图7 底片钢架主梁轴力图(单位:N)

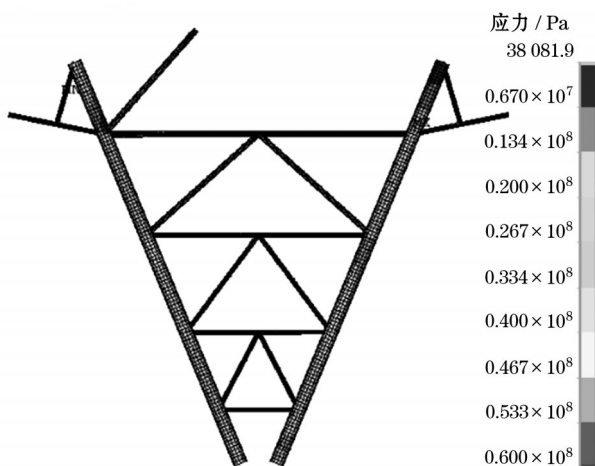


图8 底片钢架主梁等效应力图(单位:Pa)

2.2 下游闸门模拟工况结果分析

下游计算工况拟定为闸室侧水位0.5 m,长江侧水位6.82 m,为正向校核工况。根据前述的计算条件、荷载情况、约束等在三维软件的计算结果进行处理,对各构件的应力、变形,压杆稳定等进行分析验算。经复核,上、下闸首三角门强度及钢管桁架主要杆件强度与稳定性均满足规范要求。

3 结 语

经复核计算可知,上、下闸首三角门门体外观良好,结构完整,无明显锈蚀。橡胶止水良好,顶框

(下转第53页)

场处理。

7.2.3 断路器拒分或拒合的处理

(1)检查直流电源是否消失,如未消失,检查仪表柜内的二次接线是否松动,断路器储能信号是否储能,或开机执行前重载接插件是否接插到位(上位机的接插件指示为灰色)。

(2)如未能检查出故障点原因,应及时上报,运行中紧急情况可按照紧急停机操作执行停机,现场手动按机械按钮断开断路器或者停止开机操作票任务,待查明原因再继续执行。事故原因也可能是储能电机烧坏或内部线圈烧毁,停机完成后,彻底检查真空断路器。

7.2.4 断路器合上后瞬间跳开或开关柜断路器跳闸的处理

(1)检查断路器是否为保护跳闸或变频器保护跳闸。保护跳闸即是高压开关室主机保护跳闸动作,表现为电流速断、过电流、过负荷、单相接地保护,需要查明事故原因,禁止继续硬合断路器。变频器保护跳闸,主要检查变频器是否有报警故障,复位取消报警信息,取消变频器报警故障后,不可立即执行操作票,等待 30 min 后再次合闸,按后续操作票任务执行。

(2)如未能检查出故障点应及时上报,运行中的紧急情况可按照紧急停机操作执行停机,停止开机操作票任务,查明原因再继续执行。

8 结 语

通过同步切换运行,可以检验 5 套高压变频器的技术性能是否满足设计要求,5 台贯流式水泵机组的运行状况与各项技术性能是否满足设计要求,检验与其相关的监控保护系统、高低压配电系统、闸门启闭液压系统等设备的运行状况与技术性能。同时,也要认识到贯流泵机组变频运行同步切换与数字孪生和智慧水利要求仍存在一定的差距,尚须进一步加以研究完善。总体来看,同步切换能够有效延长高压变频器及电抗器的寿命,同时提高泵站效率,降低能源单耗,对同类型泵站机组变频运行同步切换有良好的指导作用。

参考文献:

- [1] 李杰,李华奎. 一种适用于变频器电源切换装置的合闸方法[J]. 电气技术,2022,23(2):105-108.
- [2] 张仁田,朱峰,刘雪芹,等. 变频调速灯泡贯流泵性能与控制方式[J]. 排灌机械工程学报,2022,40(2):136-143.
- [3] 马晔锦. 南水北调泗洪站变频调节灯泡贯流泵运行性能分析[J]. 中国水能及电气化,2021(6):47-51.
- [4] 徐书涛,李崇坚,王成胜,等. 交流电机变频软启动及并网系统研究[J]. 电气传动,2017,47(1):51-54.
- [5] 郑少将,罗仁俊,彭力,等. 高压变频器中变频切工频方式的应用研究[J]. 大功率变流技术,2012(5):28-30.

(上接第 47 页)

轴及轴套无严重磨损,活塞杆外观良好,运行正常。上、下闸首三角门闸门面强度满足强度规范要求,上、下闸首主梁的强度与挠度满足规范要求,钢管桁架主要杆件满足强度与稳定性要求。

参考文献:

- [1] 刘冬山,曹艳华,韦晓蕾,等. 泰州引江河高港枢纽二线

船闸工程项目划分[J]. 江苏水利,2015(增刊1):35-36.

- [2] 杨本. 虞山一线船闸通航能力分析与技术改造研究[D]. 南京:河海大学,2005.
- [3] 邢述炳,戴振华. 邵伯三线船闸闸门设计[J]. 交通科技,2012(6):64-67.
- [4] 徐莉萍. 高港枢纽二线船闸工程安全复核报告[R]. 南京:高港枢纽二线船闸工程安全鉴定会,2023.