

新型鱼腹桁架式大跨深水叠梁门有限元分析



郑铁恒, 朱召泉

(河海大学 土木与交通学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 依据某大跨深水船闸横拉门的门库检修口门的相关数据资料, 设计一种新型的鱼腹桁架式叠梁门, 并通过有限元软件 ANSYS 对其进行强度、刚度校核。最后将新型叠梁门的设计方案与传统的实腹式叠梁门设计方案进行对比, 证明该新型叠梁门的经济性和工程实用性。

关键词: 鱼腹式桁架; 叠梁门; 有限元

中图分类号: U 641.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)07-0112-04

Finite element analysis on a new fish-bellied truss type of long-span and deep-water stop-log gate

ZHENG Tie-heng, ZHU Zhao-quan

(College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the related data about the door at the access hole of gate chamber of the cross pulling gate for one long-span and deep-water navigation lock, this paper designs a new fish-bellied truss type of stop-log gate, and verifies its strength and rigidity through ANSYS, a finite element software. Furthermore, through the comparison between the design scheme of the new-type stop-log gate and the design scheme of the traditional solid-web stop-log gate, the results shows the economical efficiency and engineering practicability of the new-type stop-log gate.

Keywords: fish-bellied truss; stop-log gate; finite element

1 工程概况

由多节单独的梁式低矮闸门在门槽内从下至上叠合而成的挡水结构物称之为叠梁门。叠梁门结构简单、自质量小、起吊力小, 搬运方便, 常用作临时挡水或检修闸门^[1]。

某跨洋大运河超大跨深水船闸横拉门需设置门库检修口门以进行干室检修, 为减小门库检修口门的启闭力和各门库检修口门的可互换利用效率, 拟采用叠梁式检修门。初取叠梁门总高度为 44 m, 计算跨度为 22 m, 最大设计水头为 40.4 m。根据每节叠梁门水压力大小初步设计等厚度变梁高式叠梁门, 底部 8 节梁高均为 1.5 m, 上部 16 节梁

高均为 2 m。考虑到横拉门启闭方式及顶轨道布置, 还应尽量减小检修门的两端门厚, 故决定采用变截面的鱼腹桁架式叠梁检修门, 其结构布置见图 1。叠梁门主梁采用两榀鱼腹式桁架, 跨中截面高度为 4 m, 端部截面高度为 0.6 m, 上弦拱轴线为椭圆曲线, 下弦拱轴线为抛物线; 边梁采用实腹式 H 型钢, 截面宽 0.5 m、高 1.3 m。

本文将利用有限元软件 ANSYS, 分别建立不同梁高受荷载最大处单节叠梁门的三维有限元模型, 并进行静力分析。最后引用已有的实腹式叠梁门的分析结果与鱼腹桁架式叠梁门进行对比。

收稿日期: 2016-03-05

作者简介: 郑铁恒 (1993—), 男, 硕士研究生, 从事大型、超大型钢结构船闸设计与关键技术研究。

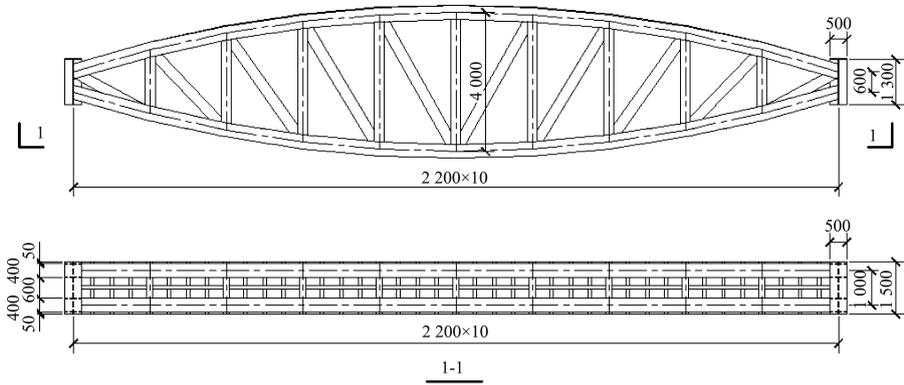


图 1 1.5 m 高单节鱼腹桁架式叠梁门结构布置 (单位: mm)

2 叠梁门有限元模型的建立

2.1 叠梁门有限元模型的单元选择

鱼腹桁架式叠梁门采用 Q345B 钢材, 且钢材厚度 ≤ 16 mm。面板属于薄板壳结构, 采用 SHELL63 单元模拟, 桁架的上下弦杆、边梁、面板区格肋梁采用 BEAM188 单元模拟, 腹杆视为二力杆, 采用 LINK8 单元模拟。采用边长为 0.1 m 的四边形单元进行自由网格划分。网格划分后的模型见图 2。

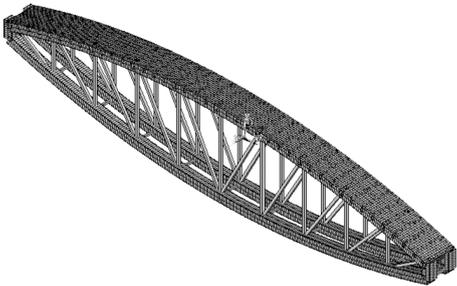


图 2 1.5 m 高单节鱼腹桁架式叠梁门有限元模型

2.2 荷载和约束条件的施加

1) 水压力。叠梁门受垂直于面板的静水压力作用, 水压沿深度方向呈直角梯形分布, 水深 h 处水压力计算公式为:

$$P = \rho gh \quad (1)$$

式中: ρ 为水的密度, 取 $1\,000\text{ kg/m}^3$; g 为重力加速度, 取 9.8 m/s^2 ; h 为水头高度。计算得 1.5 m 高单节叠梁门最大平均水压 $P = 388.570\text{ kPa}$, 2 m 高单节叠梁门最大平均水压 $P = 268.520\text{ kPa}$ 。

2) 自重。叠梁门自重荷载通过在模型上施加与重力场反向的重力加速度来模拟^[2]。

3) 约束。叠梁门工作时, 底部受竖直方向 (Z 方向) 的位移约束, 在端梁门槽支承处按简支梁施加约束。

3 叠梁门的强度和刚度分析

3.1 强度分析理论

根据 SL 74—2013 《水利水电工程钢闸门设计规范》^[3], 叠梁门的容许应力值 $[\sigma] = 225\text{ N/mm}^2$ 。考虑到叠梁门工作时, 弦杆受到弯矩和剪力的共同作用, 面板本身在局部弯曲的同时还受到整体弯曲作用, 二者均处于复杂应力状态, 故应按第四强度理论验算其折算应力。折算应力计算公式为:

$$\sigma_{zh} = [\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - (\sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x) + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]^{1/2} \quad (2)$$

式中: σ_x 、 σ_y 、 σ_z 为正应力; τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} 为剪应力^[4]。弦杆的折算应力需满足: $\sigma_{zh} \leq 1.1[\sigma] = 247.5\text{ N/mm}^2$ 。由于面板区格为四边固定, 长边 b 沿主梁轴线方向, 且边长比 $1.5 < b/a < 3$, 故面板折算应力需满足 $\sigma_{zh} \leq 1.1\alpha[\sigma] = 371.25\text{ N/mm}^2$, 其中 $\alpha = 1.5$ ^[3]。

3.2 强度分析

在分别完成 1.5、2 m 高单节叠梁门的建模、加载及施加约束后, 对两组模型进行静力分析。由于面板参与到叠梁门的整体受弯, 故桁架下弦杆受弯应力绝对值较上弦杆大, 所以仅输出其下弦杆折算应力云图及面板折算应力云图 (图 3)。

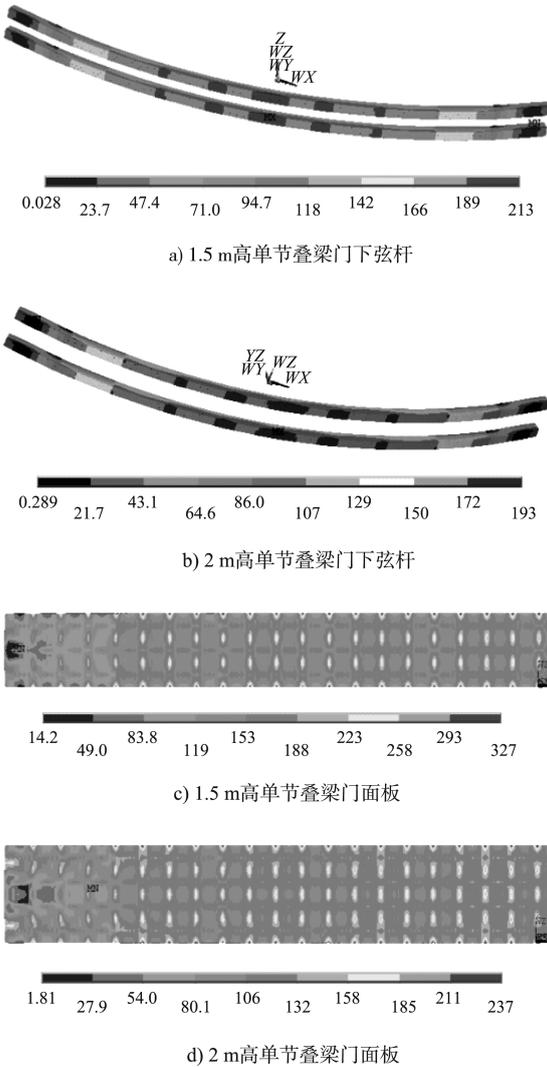


图3 叠梁门下弦杆和面板的折算应力云图 (单位: N/mm^2)

由于面板的应力云图呈对称分布,故图3c)、d)两图仅显示面板对称轴左侧的应力。由图3可知,叠梁门下弦杆的最大折算应力分别为213、193 N/mm^2 ,面板的最大折算应力分别为327、237 N/mm^2 ,均满足强度要求。

3.3 刚度分析

除强度分析外,还需要对叠梁门进行刚度验算。根据SL 74—2013《水利水电工程钢闸门设计规范》,检修闸门的最大挠度与计算跨度之比不应超过1/500。故叠梁门的容许挠度为 $[\omega] = 44$ mm。图4列出了两组叠梁门的位移云图,由图4可知,两组叠梁门的最大挠度分别为34.507、29.172 mm,均小于容许挠度,满足要求。

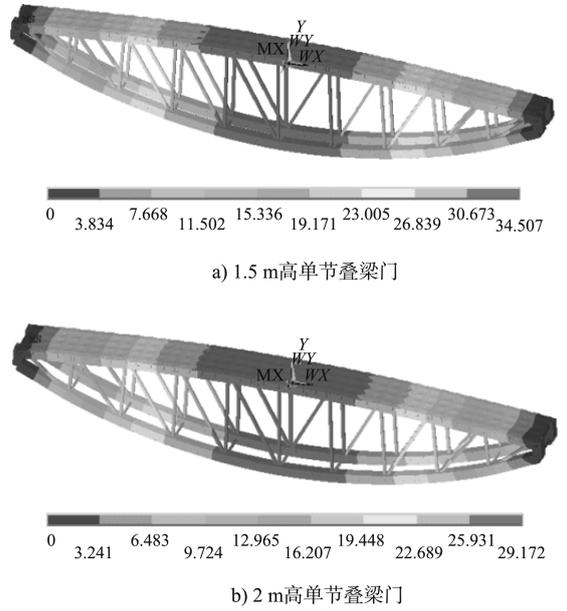


图4 叠梁门位移云图 (单位: mm)

4 新型鱼腹桁架式叠梁门与传统实腹式叠梁门的对比

叠梁门一般采用实腹式,这是由于大部分叠梁门的跨高比较小,且实腹梁格闸门的设计理论较为成熟^[5]。随着水利工程的建设规模越来越大,相应水工闸门的设计尺寸和所承受的水压力也越来越大。此时,实腹梁格闸门就显现出用钢量大、启闭力大及建造运行困难等缺点。故本文将新型鱼腹桁架式叠梁门与传统的实腹式叠梁门的ANSYS静力分析结果和用钢量进行对比分析,为新型鱼腹桁架式叠梁门的工程实用性提供理论依据。

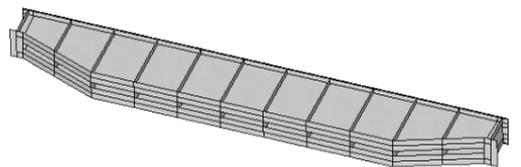


图5 1.5 m高单节实腹式叠梁门有限元模型

依托于本工程背景所编写的《超大型横拉门结构布置研究报告》^[6]采取跨中厚3 m、端部厚1.5 m的实腹式变截面叠梁门设计方案,其1.5 m高单节叠梁门有限元模型见图5。将《报告》中1.5 m高单节实腹式叠梁门与本文1.5 m高单节鱼腹桁架式叠梁门的静力分析结果和用钢量数据列于表1并进行对比。由表1可知,鱼腹桁架式叠

梁门的梁系最大折算应力和最大挠度均小于实腹式叠梁门, 说明其具有较优的力学性能。在材料使用上, 鱼腹桁架式叠梁门较实腹式叠梁门节省了15%的用钢量。这些数据充分体现了鱼腹桁架式叠梁门的优越性。

表1 鱼腹桁架式叠梁门与实腹式叠梁门的静力分析结果和用钢量对比

叠梁门形式	面板最大折算应力 $/(N/mm^2)$	梁系最大折算应力 $/(N/mm^2)$	最大挠度/mm	用钢量/t
鱼腹桁架式叠梁门	327	213	34.507	36.5267
实腹式叠梁门	325	253	37.563	42.7844

5 结论

1) 利用有限元软件 ANSYS 对两组不同梁高的鱼腹桁架式叠梁门进行静力分析, 并进行强度、刚度校核, 结果均满足规范要求。

2) 对新型鱼腹桁架式叠梁门和传统实腹式叠梁门的静力分析结果及用钢量进行对比发现, 鱼腹桁架式叠梁门具有刚度大、承载力高、节约钢材等优点, 具有较高的工程实用价值。

参考文献:

- [1] 孔福鑫, 朱召泉. 大跨深水叠梁门三维有限元分析[J]. 低温建筑技术, 2014(8): 87-89.
- [2] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [3] SL 74—2013 水利水电工程钢闸门设计规范[S].
- [4] 曹平周, 朱召泉. 钢结构[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [5] 朱世哲. 双拱型空间钢管结构闸门的分析理论和试验研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [6] 朱召泉. 超大型横拉门结构布置研究报告[R]. 南京: 河海大学, 2014.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 111 页)

3 结论

1) 洪水期泄流能力, 设计方案、修改方案 1 和 2 均能满足洪水期过流能力要求, 修改方案 2 堰型综合流量系数略小于设计方案。

2) 洪水期沿程压力分布, 各流量下沿程测点均为正压, 没有出现负压, 均满足工程需要。

3) 控泄泄流能力, 设计堰型的流量系数在 0.653~0.710, 修改方案 1 堰型的流量系数在 0.614~0.723, 修改方案 2 堰型的流量系数在 0.658~0.716。总体来说, 修改方案 3 的流量系数略大于设计方案。

4) 控泄沿程压力分布, 设计方案和修改方案 1 堰顶以下至消力池上游范围内, 在控泄时产生较大负压。修改方案 2 在 2 孔 2 m 开度工况下, 消力池中部 7#测点有轻微负压, 其余各工况测点均为正压。

5) 控泄流速, 各方案下堰面下坡段至消力池上游流速在 18~20 m/s 之间, 建议对该段结构进行加强设计。通过流速测量及流态观测, 修改方案 2 在小于 2 m 开度下各工况下水跃均不出消力

池, 消力池上游水流旋滚强烈, 下游流速衰减明显, 说明消能效果较好。

6) 控泄时, 严禁大开度集中开启, 以避免流速超过消能工设计标准而导致消能工受损破坏。

7) 从水力条件和消能效果, 修改方案 3 优于设计方案和修改方案 1, 将修改方案 3 作为推荐方案。

参考文献:

- [1] 孟德臣, 黎国森, 邢顺敬, 等. 葫芦湾枢纽泄水闸泄流能力研究[J]. 水道港口, 2010, 31(4): 281-284.
- [2] 段文姣. 巨亭水电站断面模型试验及数值模拟分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [3] 熊智, 邹开明. 土谷塘航电枢纽泄水闸堰型比选试验研究[J]. 湖南水利水电, 2013(4): 34-36.
- [4] 奚斌, 周济人, 成立, 等. 橡胶坝下消力池的断面试验研究[J]. 灌溉排水, 2002, 21(4): 66-77.
- [5] 黎剑明. 低佛氏数水跃紊流结构及典型消能工优化的试验研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2009.
- [6] SL 155—2012 水工(常规)模型试验规程[S].

(本文编辑 郭雪珍)