

悬挂式横拉门的设计探讨

高超

(上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200434)

摘要: 比较了各型式横拉门的优缺点, 对悬挂式横拉门的结构受力模式进行了分析, 提出了结构布置的原则, 并采用平面假定法对实际工程中的闸门进行计算, 借助有限元软件 ANSYS 对其结构进行静力分析, 验证计算结果及布置原则的正确性, 为此类门型的闸门设计提供参考。

关键词: 水利工程; 悬挂式横拉门; 结构布置; 有限元分析

中图分类号: TV34 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2017) 10-0009-05

Discussion on the design of hanging transverse pull door

GAO Chao

(Shanghai Investigation, Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200434, China)

Abstract: Comparing the advantages and disadvantages of all kinds of transverse pull doors, the structural force model of the hanging transverse pull door was analyzed. The principles of structure arrangement were put forward, and the plane hypothesis method was used to calculate the gate in actual project. Static analysis of the structure was carried out by using finite element software ANSYS, which verified the correctness of the calculation results and arrangement principles, and provided reference for the same type gate design.

Key words: hydraulic engineering; hanging transverse pull door; structural arrangement; finite element analysis

1 概述

横拉门是一种横向移动的平面闸门, 可以承受双向水头, 一般用作静水启闭的大、中型船闸的工作闸门, 也可以用于有泄洪要求的山区小型船闸上。随着国内水利工程建设的发展, 横拉门被作为控制上、下游水位的节制闸在水利工程上使用的也越来越广泛, 其门型与一般的直升式平面钢闸门大体类似, 主要区别在于移动的方向不同、闸门的结构布置不同^[1]。

正因为横拉门结构布置与常规直升式平面闸

门的不同, 其计算模式也略有不同。直升式平面钢闸门的计算模式目前已经比较清晰, 其计算方法也基本趋于一致, 并得到了广大设计人员的认可, 经受住了工程实际应用的考验。而横拉门的计算方法则多种多样, 没有较为一致的方法可循。本文主要就各型式横拉门的特点进行说明, 并着重对悬挂式横拉门的设计进行分析, 提出结构布置的原则, 并以实际工程中的应用为例, 采用平面假定法对其结构进行设计计算, 通过有限元软件 ANSYS 对计算结果进行对比及验证, 为今后类似闸门的设计提供参考。

收稿日期: 2017-06-22

作者简介: 高超 (1986-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事水利水电金属结构设计工作。

2 横拉门综述

横拉门是一种沿垂直水流方向移动的平面闸门,横拉门在布置时一般在门槽旁设有门库,为减少占地,优化布置空间,其操作设备一般采用集成式的液压启闭机,当闸门不挡水时由操作设备将其移动至门库内存放^[2]。

横拉门可根据其结构型式、开启方式、支承型式分为如表1所示的几类^[3]。

表1 横拉门的分类

分类方式	类型		
结构型式:	实腹式	桁架式	
开启方式:	单开式	双开式	
支承方式:	底轮式	上下轮式	悬挂式

实腹式横拉门自重较大,多用在孔口尺寸小,水头低的地区;桁架式横拉门则多用于孔口尺寸大,水头高的地区。桁架式横拉门的经济性较实腹式高,但其结构复杂,设计,制造难度较大。

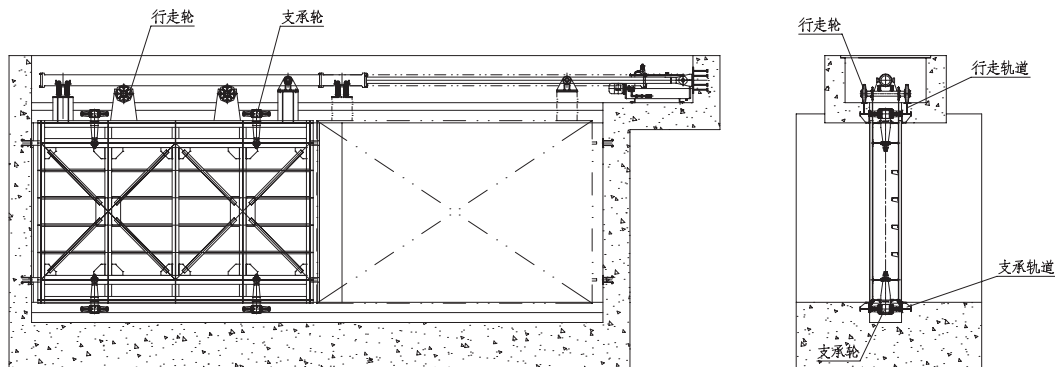


图1 悬挂式横拉门的布置

单开式与双开式横拉门的区别在于开启方向的不同。单开式仅朝一个方向开启,而双开式可朝两个方向开启。

底轮式横拉门的特点在于其行走轮设置在底部;上下轮式横拉门的行走轮则设置在闸门的前下方与后上方,呈对角线分布;悬挂式横拉门的行走轮则设置在闸门的顶部,并在闸孔上方设置一道横梁供行走轮行走。

底轮式横拉门常用作防汛墙闸门,由于行走轮设在底部,较易被堵塞,需要配备相应的冲淤装置。

上下轮式横拉门应用较为广泛,适用范围最

广,但由于其结构特点,闸门稳定性差,抗倾覆能力弱,设计难度也最大,同时,闸门的前下方也设置了一套行走轮,需配备冲淤装置。

悬挂式横拉门闸孔上方设置了一道横梁以供行走轮行走,一般不作为通航孔的工作门使用,但其稳定性较好,抗倾覆能力强,且上部无建筑物,景观性能好,在无通航要求的水利工程上应用最为适合。

3 悬挂式横拉门的设计

3.1 结构特点

悬挂式横拉门可承受双向水头,在静水中启闭,一般由液压启闭机推拉操作。闸孔上方设置一道混凝土横梁供设置在闸门顶部的行走轮行走。闸门工作挡水时,水压力由设置在闸门顶梁、底梁上的支承轮支承,轨道埋件由行走轨道、支承轨道组成,支承轨道在闸门行走时起到导向作用。

图1所示为悬挂式横拉门,横拉门工作位置的一侧一般设有门库。

由于悬挂式横拉门闸孔上设有一道横梁,故此类闸门一般用于无通航要求的节制闸上。

3.2 结构布置及设计

悬挂式横拉门主体结构由面板、梁系、支承零部件、行走零部件及水封组成,水封则由侧水封及底水封组成,呈U型布置,一般采用P型水封。

悬挂式横拉门在工作位置挡水时,其结构设计可按照平面假定法来计算,即:水压力由面板传递至主梁,次梁,垂直次梁,上、下横梁上;次梁支承在垂直次梁上;垂直次梁分别支承在上、下横梁及主梁上;上、下横梁及主梁经支承轮将水压力传递至闸墩上。水压力传递方向如图2所示。

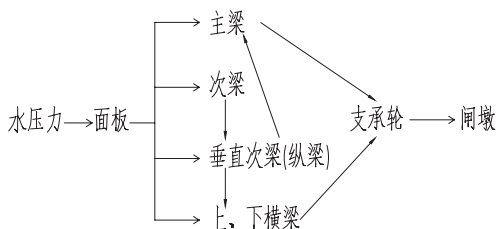


图 2 水压力在悬挂式横拉门梁系上的传递方向

其结构布置的难点在于支承轮、行走轮、启闭机支承座及梁系的布置, 梁系的布置应易于零部件的安装, 而零部件的布置, 特别是支承轮则影响到主、横梁的受力及变形, 主、横梁的变形则影响到水封的密封性。

闸门主、横梁的受力模式为带悬臂的简支梁, 其变形应在满足规范上的挠度允许用值的同时, 还应保证安装在闸门上的侧、底水封不应受闸门主、横梁的变形而脱开水封座板, 闸门主、横梁的受力模式详见图 3, 闸门侧水封安装位置对应于主、横梁的端部, 闸门底水封的安装位置对应于主、横梁整段。

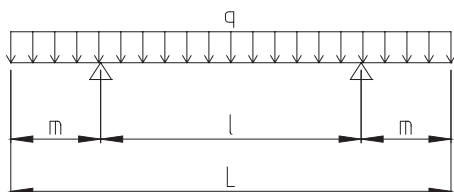


图 3 主、横梁受力模式

图 3 所示的计算模型, 其端部的变形及杆件跨中最大变形分别影响侧、底水封的位移, 其挠度值分别为:

$$\text{端部: } f_c = \frac{qml^3}{24EI}(-1+6\lambda^2+3\lambda^3) \quad (1)$$

$$\text{跨中: } f_{\max} = \frac{ql^4}{384EI}(5-24\lambda^2) \quad (2)$$

式中: $\lambda = \frac{m}{l}$ ($\lambda > 0$)

为保证水封不随闸门主、横梁的变形而脱开水封座板, f_{\max} 、 f_c 宜保证同号, 同时为正。即:

$$\begin{cases} (5-24\lambda^2) > 0 \\ (-1+6\lambda^3+3\lambda^3) > 0 \end{cases} \quad (3)$$

令 $g(\lambda) = -1+6\lambda^3+3\lambda^3$, 根据盛金公式, 当 $g(\lambda) = 0$ 时, 求得 $\lambda = 0.374$, 而 $g(\lambda)$ 在 $\lambda > 0$ 的条件下为单调递增函数, 要满足 $g(\lambda) > 0$, 仅需要保证 λ

> 0.374 即可。

由 $(5-24\lambda^2) > 0$, 可得: $\lambda < 0.456$ 。

因此, 为保证水封不随闸门主、横梁的变形而脱开水封座板, f_{\max} 、 f_c 同时为正, λ 需满足 $0.374 < \lambda < 0.456$, 即悬臂段 m 的长度占整个杆件 L 的长度的 $0.21 < \frac{m}{L} < 0.23$, 取整后 $\frac{m}{L} = 0.22$ 。

在悬挂式横拉门的布置中, 为满足水封不随闸门变形而脱开水封座板, 支承轮的位置(支承轮到侧水封的距离)宜布置在闸门止水总宽度的 0.22 倍处。当支承轮的位置不能满足 0.22 时, 建议加强相关梁系自身的刚度以保证闸门的密封性。

3.3 启闭力计算

悬挂式横拉门一般在静水条件下操作, 操作水头不易超过 50 cm 水头差, 在启闭力计算时, 应考虑闸门自重行走轮上产生的磨阻力 T_1 ; 风压力、水压力在支承轮上产生磨阻力 T_2 ; 水封磨阻力 T_3 。

闸门操作需要的启闭力^[4]:

$$F = K(T_1 + T_2 + T_3) \quad (4)$$

式中:

K —安全系数, 一般取 1.1 ~ 1.2

4 实例分析

上海松江某工程节制闸工作闸门门型为悬挂式横拉门, 其设计参数如下:

闸门孔口尺寸: 8 m × 4 m (宽 × 高)

闸门止水宽度: 8.16 m

设计水位组合: 1.5 m (内河)/3.73 m (外河侧)

底槛高程: 0.0 m

操作水位差: 不超过 0.2 m

闸门主要结构的材料: Q235B

材料许用弯应力: $[\sigma] = 160 \text{ MPa}$

材料许用剪应力: $[\tau] = 95 \text{ MPa}$

闸门梁系布置如图 4 所示。

按照图 3 所示的受力模式, 利用平面假定法, 得出闸门在挡水工况下, 其主要结构上的应力应变如表 2 所示。

闸门主要承重结构件的强度满足规范要求。

支承轮距离闸门侧水封的距离占闸门止水宽度为: $\frac{0.5 \times 8160 - 2400}{8160} \approx 0.2$, 不满足 0.22 的布置要

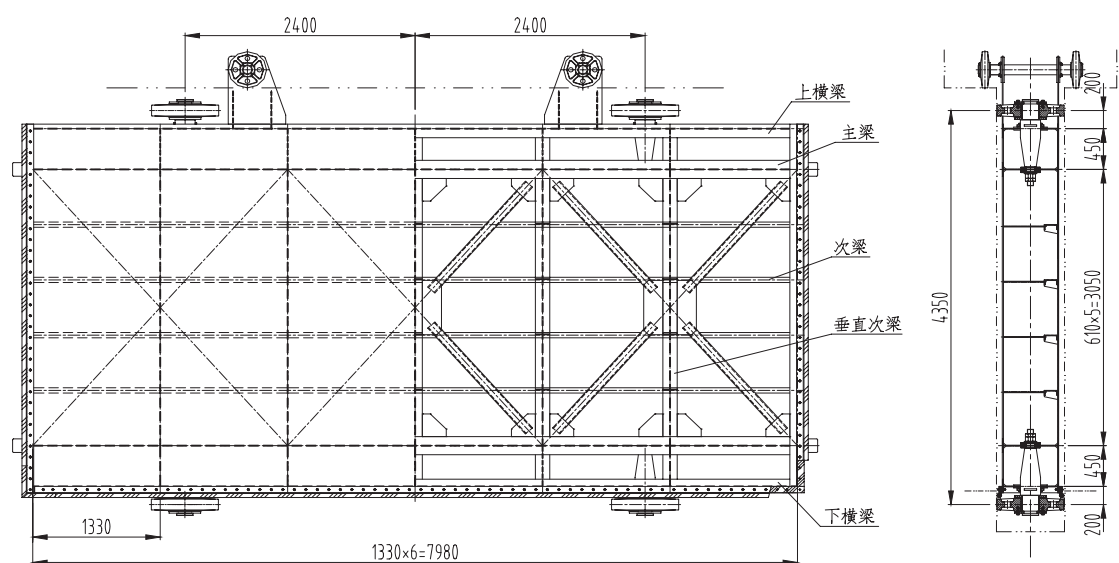


图 4 闸门梁系布置

表 2 平面假定计算结果

梁系	跨中弯应力	最大剪应力	支承处应力	折算应力	挠度
下主梁	32.5 MPa	20.8 MPa	15.1 MPa	48.5 MPa	0.9 mm（跨中） -0.36mm（端部）
下横梁	12.3 MPa	5.7 MPa	61.6 MPa	62.4 MPa	0.36 mm（跨中） -0.1mm（端部）
次梁	31.6 MPa	15.4 MPa	—	41.4 MPa	0.24 mm
垂直次梁	34.6 MPa	9.3 MPa	—	38.2 MPa	0.5 mm

求, 其侧水封与底水封的位移不同向, 根据计算, 侧水封反向变形最大位移量为 0.36 mm, 而闸门压缩量为 5 mm, 因此闸门水封的密封性能够得到保证, 闸门不会漏水。

5 悬挂式横拉门结构有限元分析

在闸门挡水工况下, 利用有限元软件 ANSYS 对其结构进行静力学分析, 模型建立时进行了适当简化, 即省略了行走轮、支承轮、节点板及背拉杆, 闸门面板侧受水压力作用, 支承在 4 个支承轮轴上。

闸门有限元模型主要采用壳单元 SHELL181 和梁单元 BEAM189 建成, 其中: 闸门面板、主梁、上下横梁、垂直次梁采用壳单元 SHELL181, 次梁、支承轮轴采用梁单元 BEAM189。划分网格后共有 9751 个节点。

静力学分析结果详见表 3 和图 5 ~ 图 8。

表 3 有限元计算结果

梁系	最大应力	挠度
下主梁	35.4 MPa (发生在支承轴处)	1.3 mm（跨中） -0.74 mm(端部)
下横梁	76.5 Mpa (发生在支承轴处)	1.2 mm（跨中） -0.69 mm(端部)
次梁	24.5 MPa	1.5 mm
垂直次梁	38.3 MPa	1.2 mm

闸门主要承重构件的强度满足规范要求。

支承轮距离闸门侧水封的距离约占闸门止水宽度的 0.2 倍, 不满足 0.22 的布置要求, 其侧水封与底水封的位移不同向, 根据有限元计算, 侧水封反向变形最大位移量为 -0.74mm, 而闸门压缩量为 5mm, 因此闸门水封的密封性能够得到保

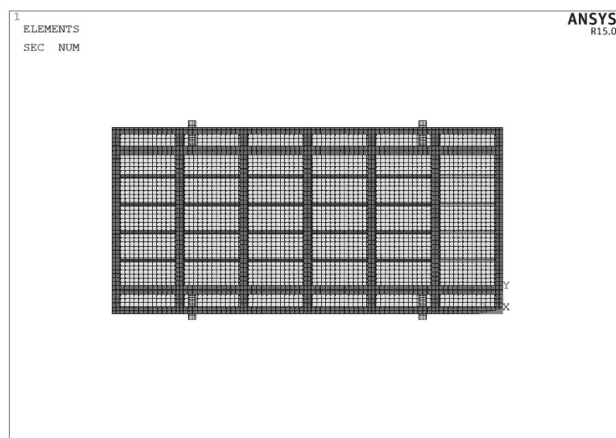


图 5 闸门有限元模型

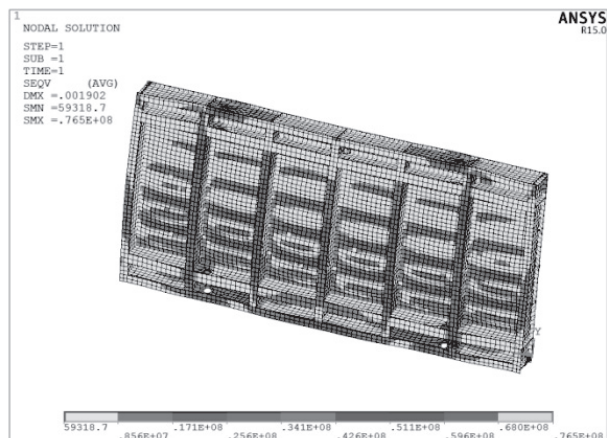


图 6 应力云图

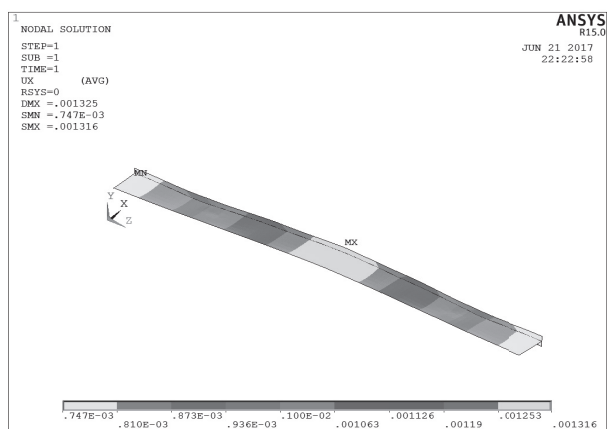


图 7 下主梁位移云图

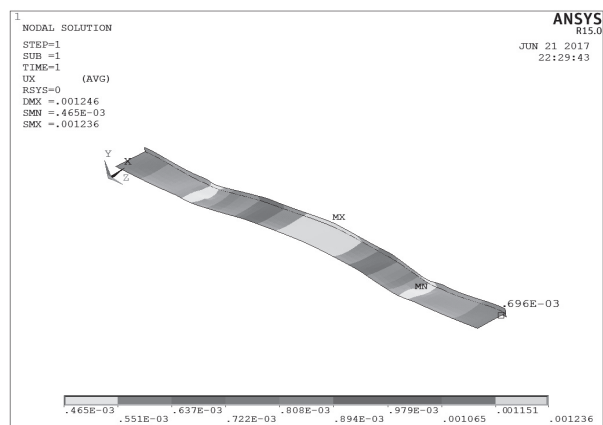


图 8 下横梁位移云图

证, 闸门不会漏水。

6 结语

根据盛金公式, 通过控制挠度值的大小与方向, 提出了支承轮的最优布置位置 0.22, 在设计不满足 0.22 的情况下, 应加强闸门结构自身的刚度, 保证闸门工作时的密封性。而通过分析计算可知: 强度方面, 传统平面假定法的计算结果与有限元计算较接近; 刚度方面, 平面假定法较有限元结果值小。因此, 在悬挂式横拉门设计时, 特别是当支承轮布置不满足 0.22 的原则时, 应在刚度方面

考虑一定的裕度, 以确保闸门在挡水情况下, 水封不脱离座板, 保证闸门的密封性。

参考文献:

- [1] 水电站机电设计手册编写组. 水电站机电设计手册: 金属结构(一)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1988.
- [2] JTJ 308-2003, 船闸闸阀门设计规范[S].
- [3] 邵春芬. 横拉门在节制闸中的应用设计[J]. 江淮水利科技, 2014(3): 26-28.
- [4] 蒋明. 长兴三号线横拉门设计计算及制造安装[J]. 水运工程, 2009(8): 130-134.

(责任编辑: 王宏伟)