

新桥船闸闸门支铰连接螺栓断裂分析

杨光明¹, 卜现港¹, 孙长林², 胡金义²

(1. 水利部水工金属结构安全监测中心, 江苏 南京 210098; 2. 水利部长江下游水文水资源勘测局, 江苏 南京 210011)

摘要 针对新桥船闸闸门支铰连接螺栓存在的断裂问题, 结合现场检测结果, 分析了支铰连接螺栓断裂的原因, 指出其断裂主要是闸门上、中、下支铰轴不同心, 支铰轴同心度存在较大偏差所造成的, 同时, 螺栓材质选用不当及螺栓松动亦加速了螺栓的断裂。进一步分析了闸门在不同支承约束情况下构件应力的分配变化规律, 并提出了改进措施和建议。

关键词 船闸; 三角形闸门; 三支铰; 螺栓断裂

中图分类号: TV633+.4; TV34

文献标识码: A

文章编号: 1006-764X(2005)01-0041-04

Analysis of pivot bolt breaking for water gate of Xinqiao ship lock//YANG Guang-ming¹, BU Xian-gang¹, SUN Chang-lin², HU Jin-yi² 1. Hydraulic Metal Structure Monitoring Center, Ministry of Water Resources, Nanjing 210098, China; 2. Hydrology and Water Resources Surveying Bureau of Downstream Yangtze River, Nanjing 210011, China)

Abstract : In combination with the field investigation, the causes of bolt breaking were analyzed. It is indicated that the bolt breaking is mainly caused by un-concentricity of the three-support pivot, and that the unsuitable materials and the looseness of bolts accelerate the process of breaking. Furthermore, the regularities of stress distribution in gate components were analyzed under different support and constraint conditions, and some measures and suggestions for gate improvement were put forward.

Key words : ship lock; triangular gate; three-support pivot; bolt breaking

船闸往往具有航运、防洪、引水、排涝和挡潮等多种功能。船闸工作闸门及启闭机作为船闸的关键设备, 其性能直接影响船队的通行和船闸的管理。

新桥船闸建成于 1991 年 5 月, 位于安徽省和县, 坐落在连接巢湖与长江的牛屯河上, 闸室长 110 m, 宽 13 m, 闸首宽 8 m, 上闸首工作闸门尺寸 5.917 m × 7.5 m (宽 × 高), 下闸首工作闸门尺寸 5.917 m × 11.3 m (宽 × 高)。上、下闸首工作闸门均为三角形钢闸门, 焊接桁架结构, 闸门面板及梁格支承在以 3 片水平桁架为主体的空间桁架上, 桁架焊接在门枢端柱上, 门枢端柱通过螺栓与上、中、下 3 个门枢支承座相连接, 每个支承座又通过支承铰由 2 根支承杆支承在闸墩支承座上, 闸墩支承座通过预埋螺栓固定于闸墩上。上、下闸首工作闸门均采用 40 kN 齿条推杆式启闭机操作, 启闭机的齿条推杆与上片水平桁架铰接。

新桥船闸自建成后不久, 闸墩支承座的固定螺栓和门枢支承座的连接螺栓即发生多处断裂, 在进行更换处理后, 运行中又陆续发生螺栓断裂的情况, 致使闸门运行存在着严重的安全隐患, 对船闸防洪和通航构成了极大的威胁。本文在对新桥船闸工作闸门进行现场检测的基础上, 对其进行了进一步的

计算分析, 通过研究分析影响螺栓断裂的因素, 找出了螺栓断裂的主要原因, 并提出改进措施与建议。

1 检测内容、方法及成果

1.1 螺栓断裂及材料硬度检测

通过检查发现, 螺栓的断裂面平整或半边平整半边凹凸不平, 断面外圈平滑, 螺栓上没有缩径和剪切痕迹, 说明螺栓首先产生疲劳裂纹, 当外力足以拉断螺栓时, 螺栓即发生断裂。

对螺栓材料(原材料为 1 Cr13 不锈钢)进行硬度检测, 得到其硬度值在 HB 160 ~ 340 之间, 螺栓材料硬度值偏大且较离散, 表明螺栓韧性和冷变形能力较差并且螺栓材质性能不稳定。

1.2 变形检测

用全站仪对门体竖向位移和支承铰轴心的相对偏差进行测量。测量轴心相对偏差时, 选择一固定点为坐标原点, 以平行闸室指向下游的轴线为 x 轴正向, 测出上、中、下桁架支承铰轴心的坐标, 即可计算出轴心的相对偏差, 连结上、下支承铰轴心的直线与过中支承铰轴心的水平面相交于点 c , 则中支承铰轴心与点 c 的距离即为中支承铰轴心与上、下支承

铰轴心的相对偏差。

检测结果 ①闸门最大实测竖向位移为5.6 mm；②闸门 3 个支承铰同心度水平投影最大相差 13.5 mm，见图 1；③中支承铰轴心与上、下支承铰轴心的最大相对偏差为 8.9 mm，见图 2。由图 1 和图 2 可知，闸门上、中、下支承铰轴不同心，闸门不铅直。

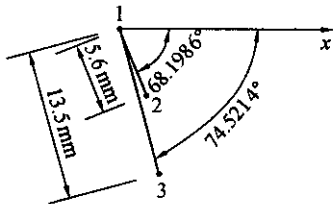


图 1 3 个支承铰轴心相对偏差值及方向

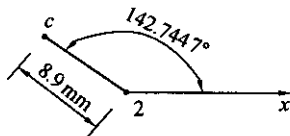


图 2 c 点与中支承铰轴心相对偏差值及方向

1.3 结构动应力检测

结构动应力检测是量测闸门在运动状态下各主要受力构件的应力变化情况，测点布置在 3 片水平桁架的支臂杆上。检测采用动态信号测试系统，见图 3。

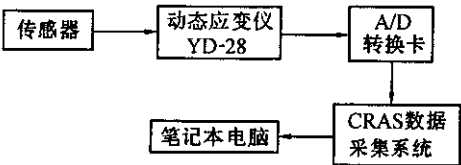


图 3 结构动应力测试系统

在闸门全开状态下检测系统调零，闸门从全开到全关，停 1 min 后，再由全关到全开为一个检测过程。测点的典型应力变化曲线见图 4。

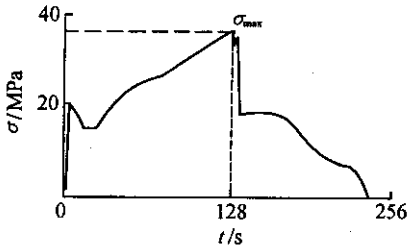


图 4 动应力典型变化曲线

检测结果显示 ①门枢附近支臂杆动应力(最大 - 96.94 MPa)明显大于与主纵梁连接处的支臂杆动应力(- 8.49 MPa)，这说明门枢附近存在较大的摩阻力；②门枢处支臂杆动应力在开门过程中逐渐增大，闭门过程中逐渐减小，而作为影响闸门支臂杆动应力主要因素之一的底止水摩阻力变化趋势正好相反。这说明还有其他因素影响支臂杆的动应力。结合变形检测结果，这个因素就是闸门上、中、下支承铰轴不同心或闸门不铅直。

1.4 启闭力检测

启闭力检测采用动态信号测试系统对启闭闸门的全过程进行采集，以确定闸门的最大启门力和闭门力。在启闭机的推杆上布置对称测点，通过检测推杆的动态应力，由式 (1) 可推算出闸门的启闭力：

$$F_{启(闭)} = EA\varepsilon_{启(闭)} \quad (1)$$

式中： $F_{启(闭)}$ 为闸门的启(闭)门力，kN； E 为弹性模量， $E = 206 \text{ GPa}$ ； A 为推拉杆的截面积， m^2 ； $\varepsilon_{启(闭)}$ 为推拉杆启闭闸门时的拉压应变均值。

根据实测最大应变值，可得到实测最大启门力和闭门力的计算结果，见表 1。

表 1 闸门实测最大启闭力

闸 门	最大启门力/kN	最大闭门力/kN
上闸首左闸门	47.81	20.03
上闸首右闸门	25.87	21.80
下闸首左闸门	38.95	23.02
下闸首右闸门	44.10	31.72

闸门的启门力与闭门力应该大致相等，但表 1 所示的检测结果表明，新桥船闸闸门最大启门力与相应的最大闭门力相差较大，最大相差 27.78 kN。说明除摩阻力外，还有其他因素影响闸门启闭力。结合上文分析，这个因素即是闸门上、中、下支承铰轴不同心或闸门不铅直。

2 断裂原因分析

由变形检测结果可知，新桥船闸闸门上、中、下支承铰轴不同心，闸门不铅直，闸门动应力和启闭力的检测结果亦进一步验证了这一结论。造成支承铰轴不同心的主要因素是：闸门制造安装存在较大误差，运行过程中螺栓松动、温度变形。

根据设计要求，上、中、下支承铰轴同心度公差 $\leq 2.0 \text{ mm}$ ^[1]，而三角闸门制造安装较为困难，它不但要同时满足弧形闸门和平面闸门的精度要求，而且 3 个支承铰轴心的连线既要同心还应与两羊角边平行，其直线度和平行度公差 $\leq 2.0 \text{ mm}$ ^[2,3]。因此，同心度偏差在闸门制造安装时就可能已经超标了。

从检修记录可知，在对连接螺栓进行检修处理时，发现闸墩支承座的固定螺栓和门枢支承座的连接螺栓有部分存在松动。

温度变形与环境温度及材料的热物理特性密切相关。由于结构尺寸、金属材料及其相邻的混凝土结构材料等的固有特性，随着气温、水温或太阳辐射引起的工作温度的变化，会产生微观尺寸的温度变形^[4]。

根据检测成果及其分析，可以认为引起螺栓断裂的主要因素是：闸门上、中、下支承铰轴不同心，同轴

度存在较大偏差,闸门不铅直,造成运行过程中闸门支铰处存在较大的摩阻力和附加应力。同时,由于螺栓材质性能不稳定,材料硬度值较大,导致螺栓韧性和冷变形能力较差,在制造安装过程中容易产生较大的残余应力,加之闸门运行过程中交变应力的作用,容易产生疲劳破坏,致使螺栓发生断裂^[5]。当螺栓松动后,因其失去压紧力而没有了结合面的摩擦力,就会大大降低螺栓抵抗闸门在运行过程中产生交变作用的剪切力的能力,从而加速了螺栓的断裂。

3 改进措施及建议

3.1 改进措施

三角闸门对于狭窄航道的船闸尤为实用,同时由于它的刚性强、操作方便、启闭力小等优点,颇受交通和水利部门的青睐^[6]。但三角闸门制造安装极为困难,尤其要满足3个支承铰铰轴同轴度的要求较为困难。三角闸门主要是通过交叉支铰的约束作用,将不同方向的水压力荷载有效地传递给水工结构。支铰固定螺栓的断裂将导致部分支铰支承约束条件失效,闸门受力发生改变,结构内力分配发生变化。根据这一思路,假定闸门支铰与闸墩之间可能存在的约束情况,对闸门进行空间结构有限元计算,分析在不同约束情况下闸门结构内力的变化规律。

闸门有限元计算(以下闸首设计正向水位组合为例)时,将面板、水平桁架的主横梁、次横梁、主纵梁、次纵梁的腹板划分为板单元,水平桁架的主横梁、次横梁、主纵梁、次纵梁的翼缘板划分为梁单元,端柱及水平桁架的支臂杆也划分为梁单元,而水平桁架及竖向桁架的其他杆件以杆单元模拟^[7]。整个闸门共划分5468个单元,节点总数4054个。

约束情况分为3种:①工况1:上、中、下支承铰支承在闸墩上;②工况2:上、下支承铰支承在闸墩上,中支承铰自由;③工况3:中、下支承铰支承在闸墩上,上支承铰自由。

计算荷载主要考虑作用于闸门的静水压力和闸门自重。

3种工况下水平桁架构件最大正向应力计算结果见表2,表中构件编号见图5。

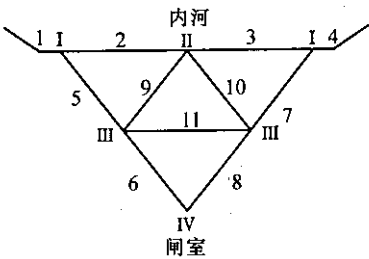


图5 水平桁架构件计算编号

从表2可以看出:①在3种计算工况下,面板、纵梁及次横梁的应力变化不大,应力变化主要发生在水平桁架和竖向桁架上。②与工况1相比,工况2时上、下片水平桁架支臂杆应力变大,而中片水平桁架支臂杆应力变小,竖向桁架构件的应力亦有较明显的变化,表明在解除中支承铰约束后,原中支承铰所承担的部分荷载由竖向桁架的构件传给了上、下片水平桁架,进而传递给上、下支承铰。③与工况1相比,工况3的3片水平桁架支臂杆应力变化不明显,这是由于3个支承铰支承时,上支承铰所承担的荷载相对较小,因此,解除上支承铰约束对中、下片水平桁架的应力影响较小。竖向桁架各构件的应力变化也较小,这是因为在解除上支承铰约束后,传给中、下片水平桁架的力较小。

3.2 建议

a. 由闸门在3种支承约束工况下的结构有限元计算分析可知,解除上支承铰或中支承铰对闸门强度影响不大,建议改变现有闸门支承型式,由3个支承铰改为2个,这样能较好地满足支铰轴同心度的要求,从而消除引起螺栓断裂的主要因素。

b. 闸门重新安装调整时,应保证支铰轴同心度,并将连接螺栓更换为韧性和强度综合性能较好

表2 水平桁架构件最大正向应力计算结果

构件编号	最大正向应力/MPa								
	工况1			工况2			工况3		
	上桁架	中桁架	下桁架	上桁架	中桁架	下桁架	上桁架	中桁架	下桁架
1	-2.9	10.0	20.8	0.6	5.8	22.5	-2.7	9.9	20.8
2	-1.9	10.9	32.3	1.6	6.9	33.4	-1.8	10.8	32.3
3	-1.9	10.9	32.3	1.6	7.1	33.4	-1.9	10.8	32.3
4	-2.7	10.9	17.4	0.6	6.6	19.1	-2.6	10.8	17.5
5	-4.2	19.8	44.0	7.6	12.5	49.5	-3.9	19.7	44.0
6	-3.0	26.0	64.6	21.2	6.7	82.1	-2.6	25.4	64.6
7	-3.9	20.6	47.6	7.6	13.8	52.9	-3.8	20.5	47.6
8	-2.8	24.6	61.5	20.7	7.0	78.0	-2.5	24.1	61.4
9	-3.4	17.0	42.8	-1.4	9.4	45.0	-3.2	16.8	42.9
10	-3.4	16.8	42.5	-1.5	9.4	44.6	-3.3	16.6	42.5
11	0.8	-16.0	-43.2	-2.5	-7.2	-46.8	0.6	-15.7	-43.2

的螺栓,同时应保证螺栓的紧密连接。

c. 螺栓的断裂是设计、制造、安装等各个环节问题的集中反映,应对闸门结构型式、支承铰数量、闸门底部支承行走轮的增加、闸门底槛形状以及闸门底止水型式等诸多问题进行进一步的研究并加以改造,以消除螺栓断裂隐患,确保闸门安全运行。

4 结 语

船闸闸门和启闭机是船闸的重要组成部分,其安全与否直接关系着船闸的航运畅通以及人民生命财产的安全。支铰连接螺栓的断裂严重影响到闸门结构的安全与稳定,对船闸防洪、通航构成了极大的威胁。

新桥船闸支铰连接螺栓的断裂主要是3个支承铰轴不同心、螺栓材质选用不当以及螺栓松动所引起的,是设计、制造、安装等各个环节问题的集中反映。由于3个支承铰安装困难,支铰轴同心度难以保证,而通过计算分析可知,解除上支承铰或中支承铰对闸门强度影响不大。因此,可以对闸门支承铰数量进行调整改造,解决支铰安装困难,保证支铰能较好

地满足同心度要求。同时,还有待于对闸门结构型式、闸门底部支承行走轮的增加、闸门底槛形状以及底止水型式等问题的进一步研究。

致谢 对参加该项目的全体成员表示感谢!

参考文献:

- [1] SL74-95 水利水电工程钢闸门设计规范[S].
- [2] 苏存明,王俊.三峡永久船闸人字门顶枢预应力锚杆安装的难点分析及方案优化[J].水力发电,2001(3):32—34.
- [3] 邴绍锋.三峡永久船闸一闸首人字门安装位置优化及底节门体安装[J].水力发电,2001(3):35—37.
- [4] 彭智祥.三峡永久船闸人字门温度变形浅析[J].水力发电,2003,29(5):27—29.
- [5] 汤长书,曾维,闫如义,等.大型船闸人字闸门的塑性疲劳和脆性断裂[J].中国三峡建设,2003(11):35—40.
- [6] 许建平.京杭运河扩容工程船闸人字门启闭机设计[J].水运工程,2003(5):58—62.
- [7] 曾又林,何文娟,张宏志,等.樊口船闸人字门背拉杆预应力优化计算与调试[J].武汉大学学报,2003,36(2):37—40.

(收稿日期 2004-01-09 编辑 骆超)

(上接第24页)

另外需要强调的是,这种计算所用的像片,不能有明显的光学畸变。如果像片有畸变,必须进行纠正,否则会对产状量测结果有较大的影响。

5 讨 论

a. 本文提出了测量结构面产状的灭点推导法,并进一步说明了灭线法。这是两种完全不同于传统的三点法(和转绘图法)的方法。其特点是不通过空间点的坐标的测量,而直接测量产状,从而可以在不做控制点测量的情况下,进行产状测量。它适用于要求有很大灵活性的地质编录和地质描述的摄影。随着测量技术的发展,控制点测量和加密会越来越方便简捷,这两种方法可以作为新的、补充的测量产状的手段。

b. 灭线法可以作为对某一重要结构面的专门量测的方法,比较方便,也比较准确。

c. 灭点推导法只要求在拍摄时,是沿一条方向确定的基线,进行多摄站拍摄,而与纵距的大小、基线的长短无关。在计算中不需要任何长度坐标的概念。在数据采集时,当然希望 α 比较大些; $\gamma_1 - \gamma_2$ 和 $\alpha_1 - \alpha_2$ 也比较大些,这样可以减少像片上 δ 和 x 量测的误差。纵距大小和基线的长短(两摄站的距离)的选择,与这种误差是有关系的。正因为如此,用于

测量产状的摄影测量,一般希望离露头近些。

d. 本文公式是针对正直摄影的。因为在摄站固定的条件下,像平面的方向可以任意变换,所以实际上沿基线各摄站所拍摄的像片,可以是任意方向的,但必须记录其准确的角方位元素,或用其他方法保证能确定其角方位元素。

参考文献:

- [1] 李冬田.遥感地质学[M].北京:地质出版社,1988.135—137.
- [2] 李冬田.岩坡摄影地质测量与岩坡空间信息系统[J].河海大学学报(自然科学版),1999,27(1):25—28.
- [3] 沈耀成.煤田地质小构造近景摄影测量[J].测量通报,1983(3):60—63.

(收稿日期 2004-04-16 编辑 熊水斌)

