



船闸三角闸门钢结构形式的商榷

许明¹, 王建民²

(1. 江苏省交通工程集团有限公司, 江苏 镇江 212016; 2. 江苏省交通运输厅航道局, 江苏 南京 210005)

摘要: 通过对船闸三角闸门2种结构形式在船闸中的使用情况分析, 对选取的几座三角闸门船闸在大修、抢修中发现的问题, 从闸门的制造性能、维修性能、抗船舶撞击性能及使用寿命等进行对比, 得出“传统的节点板、角钢、工字钢、槽钢组合的三角门要优于球节点、无缝钢管组合的三角闸门”的结论。

关键词: 船闸; 三角闸门; 节点板; 球节点

中图分类号: U 641.3⁺3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)08-0134-04

Discussion on steel structure in the form of ship lock sector gate

XU Ming¹, WANG Jian-min²

(1. Jiangsu Provincial Transportation Engineering Group Co., Ltd., Zhenjiang 212016, China;

2. Transportation Department of Jiangsu Waterway Bureau, Nanjing 210005, China)

Abstract: For problems found in the overhauling and repairing of some sector gate locks, we analyze the two different structure forms of sector gate used in the lock. Through the manufacture performance, maintenance performance, anti-ship collision performance and service life of sector gate, we find that the traditional sector gate which is a combination of the angle steel, I-steel, U-steel is superior to the sector gate which is a combination of the ball joint and seamless steel pipe.

Key words: ship lock; sector lock gate; gusset plate; ball joint

三角闸门以其能够承受双向水头和能在动水中启闭的特殊性能, 在国内外大中型船闸中得到广泛的应用。江苏省交通部门所属船闸(简称“江苏船闸”)三角闸门形式共计20座, 大多分布在主要航道上, 承担着重要的水上运输任务。目前船闸三角闸门按钢结构形式主要有2种: 1) 传统的由角钢、工字钢、槽钢组成的空间桁架节点三角闸门, 节点为钢板焊接节点^[1](简称“节点板结构”); 2) 近10多年由圆钢管构件球节点连接的空间网架式结构形式三角闸门在新建船闸中得到广泛运用, 节点是将圆钢管直接焊接到闭合的球形壳体上形成的节点(简称“球节点结构”)。大多观点认为, 与节点板结构相比, 球节点结构只要钢管垂直切割就能与球对中, 节点传力只有焊缝一道

连接, 受力较为均匀、可靠。为此, JTJ 308—2003《船闸闸阀门设计规范》^[2](简称“规范”)将三角闸门球节点结构作为推荐选用结构。

1 三角闸门的技术改造

早期的这2种门型的闸门设计均没有考虑船舶对闸门的撞击问题, 闸门在受到船舶撞击后宜造成门体变形、杆件损坏。近年来, 因船舶撞击门造成船闸停航抢修时有发生。另外, 已使用的几座球节点结构的三角闸门整体动刚度普遍不足。针对以上问题, 在船闸停航修理期间, 对存在问题的门体进行技术改造。主要措施是: 增设防撞板、增设浮箱和桁架(杆件)。增设防撞板的目的主要是为了在开门状态下, 当船舶进出船闸时保

收稿日期: 2013-12-16

作者简介: 许明(1965—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事船闸工程设计、检测工作。

护闸门的主要构件支臂或端柱等避免直接受船舶撞击, 以免主要构件出现强度破坏或变形过大。增设浮箱主要减小门体质量, 减轻运转件的磨损。增设桁架(杆件) 主要提高门体的刚度。

1.1 节点板结构

在此类船闸中, 谏壁一线船闸具有代表性。谏壁一线船闸于1981年投入使用, 期间共进行了3次大修。利用船闸大修对闸门进行改造, 主要内容有: 增设浮箱、增设防撞板和改造防撞板。提高了闸门的使用性能, 延长了使用周期。

1.2 球节点结构

在此类船闸中, 九圩港船闸具有代表性。九圩港船闸于1993年12月投入使用, 期间共进行了一次大修和一次抢修。船闸投入使用后, 开关门时有振动现象, 闸门整体动刚度不足。2001年九圩港船闸进行第一次大修, 闸门加固为此次大修的重要技术改造项目。主要增加防撞板, 防撞板采用三角型钢桁架结构。由于球节点与节点板结构属于2种不同结构形式, 因此施工十分困难。此次大修增强了门体刚度和强度, 提高了闸门的安全使用性能。2011年初, 下游闸门运行时有阶段性异常声响, 且异常声响较大, 门头跳动量也较大, 经潜水员水下检查未发现任何问题。2012年4月对船闸进行了抽水抢修。抽水后检查发现: 下游闸门门体管件及焊缝裂缝及断裂现象很严重, 两扇闸门共计7根主梁及13根次梁焊缝脱落、圆管开裂、断裂和变形。

2 三角闸门的安全评价

CAE(计算机辅助工程)技术是当前国际上新兴的计算机辅助技术。在西方技术发达国家, CAE贯穿于工程、产品概念设计、详细设计和制(建)造过程的每一个环节中, 并对产品或工程性能、质量起着举足轻重的作用。有限元分析技术是CAE的核心, 通过将模型有限元化(网格化, 微观化), 可以计算出模型在各种状态下的应力、变形等, 为产品设计者改进产品提供了有效的手段, 同时可以节约时间和经费。

由于闸门受撞是近年来水上交通快速增长而发生的新问题, 在闸门设计中尚无明确的抗冲击要求, 目前还无法完全了解或确定闸门受重载大吨位船舶以一定速度撞击的后果, 也不清楚不同撞击部位、撞击角度受撞时门体各杆件受力和变形, 这对闸门维修维护和船闸运行管理都带来不良影响。前些年, 船闸管理部门委托有关单位对一些有代表性的三角门、人字门船闸闸门进行有限元数模分析。分析的主要目的是: 如何对船舶与闸门的撞击力合理计算并进行深入的分析研究, 对于正在服役的船闸闸门结构考虑船舶撞击情况下的合理加固和新建船闸闸门结构设计中科学合理的考虑船舶撞击的影响。

三角门闸门有限元分析得到的共同结果是: 不设防撞板的三角门端柱和主承重结构比较容易破坏, 而端柱和主承重结构破坏往往会带来意想不到的后果, 因此建议增设防撞板。防撞板受到撞击后, 大部分撞击力主要通过防撞板及其梁格将船舶撞击力传递到了中羊角的防撞支座和端柱上, 三角门的主承重结构支臂和支撑桁架以及面板梁格组成的门叶结构受撞击影响很小, 防撞板起到了保护作用。将应力和变形有效地传递给三角桁架结构是比较合理的, 因为三角桁架结构很稳定, 强度较大, 能抵抗较大的变形和应力破坏; 闸门防撞板将船舶撞击力有效地分解传递到闸首, 从而减小撞击力对三角门端柱和主承重结构的影响具有很大的帮助作用^[3]。

3 2种闸门门型性能对比

经过江苏三角门船闸多年来的运行得知, 由规范推荐的球节点结构三角闸门与节点板结构三角门对比综合性能没有明显的优越性。

3.1 制造性能

3.1.1 节点板结构

焊接板节点是我国空间结构史上最早出现的节点形式, 该节点构成方法简洁明了, 就是将杆件焊接在十字交叉板上。因此, 节点板结构的三角门制造工艺简单, 对一些杆件等零件的尺寸精度要求

低，普通的设备就能满足需要，制作成本较低^[4]。节点板结构的三角闸门顶片刚架结构见图1。

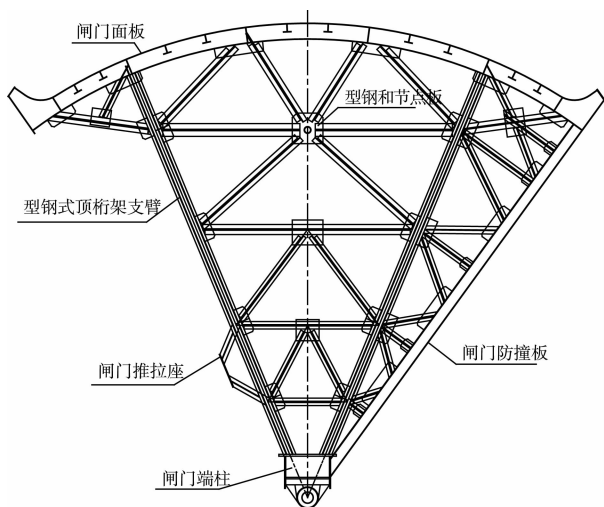


图1 节点板结构的三角闸门顶片刚架结构

3.1.2 球节点结构

相对节点板结构三角门而言，球节点结构三角门制作工艺要求高。一般制作球节点三角闸门方法是：制作样板、划线、人工放样、手工切割、人工打磨等操作工艺。由于相贯线和不规则零件的下料尺寸精度要求高，所以对于工人的技术要求也高，操作较费工时。近年来，一些企业已采用数控相贯线切割机来切割加工此类工件。另外，由于闸门在水下工作，焊接空心钢球节点和圆钢管杆件须进行气密性检漏，以防进水锈蚀。球节点结构三角闸门制作成本较高。球节点结构的三角闸门顶片刚架结构见图2。

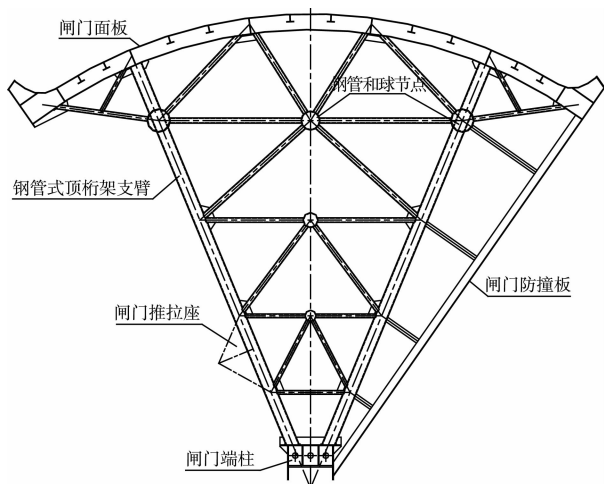


图2 球节点结构的三角闸门顶片刚架结构

3.2 维修性能

节点板结构三角闸门节点构成简单，杆件焊接在十字交叉节点板上，维修方便，损坏杆件易切割更换，维修成本低。

球节点结构三角闸门由管球组成的空间网架结构，在任何一个球节点处切割更换损坏杆件时，很难做到精确定位，如更换不当，整个空间结构将变形。因此损坏杆件更换较困难，只能进行矫正加固处理。对于断裂变形的杆件采用裂缝处处理后焊接，磨平，圆管分半（哈夫管）或者分若干片后套上再焊。由管球组成的空间网架闸门，就象是一个大的密封容器。空心钢球及圆钢管杆件大修时须进行检漏处理，由于球体及钢管数量较多，只对一些大的管件进行检漏。空心钢球及钢管漏水锈蚀问题将成为球节点三角闸门的长期隐患。从已大修的3座该类型的船闸闸门损坏情况统计，闸门杆件变形、断裂及漏水约占30%。江苏目前已有十余座球节点结构的三角闸门，其维修难度大，维修成本高，将成为今后船闸管理部门的一个新课题。

3.3 抗船舶撞击性能

近年来，随着船舶的钢质化、大型化，只要是繁忙船闸，不论大小，均曾受到过船舶的撞击，有时撞击很严重。因此，闸门抗船舶撞击性能十分重要。如前所述，在船闸技术改造中增设防撞板等措施，提高了闸门的抗船舶撞击性能。通过船闸运行及养护情况统计，节点板结构的闸门的抗船舶撞击性能远高于球节点结构闸门。

节点板结构闸门是将型钢杆件焊接到十字板上，球节点结构闸门主杆件是钢管端部与空心钢球球表面连接，而次杆件则是钢管端部与钢管弧表面连接。这两种焊接形式相比，节点板结构的焊缝力学性能要高于球节点结构。从三角门船闸历年大修技术统计资料得知：节点板结构节点处焊缝开裂极少，而球节点结构大修修理的重点就是节点处裂开焊缝的修补。对已大修过的这2种类型的船闸闸门进行对比表明：无论是防撞板还是无防撞板的闸门，杆件的损坏数量球节点结

构是节点板结构的数倍。部分球节点结构闸门因杆件损坏较多, 闸门整体已发生变形。就闸门的整体动刚度而言, 节点板结构的三角门要高于球节点结构。

3.4 闸门钢材的选用

江苏船闸在 2001 年之前, 船闸闸阀门所用的钢材为普通碳素钢 Q235, 目前船闸闸阀门钢结构材料除球节点结构的三角闸门外, 其余均采用低合金钢 Q345 制作。由于球节点结构的闸门受钢管材料限制, 目前只能采用优质碳素钢 20 号钢制作, 其综合性能低于 Q345。材料 Q235、20、Q345 的力学性能比较见表 1。

表 1 材料 Q235、20、Q345 的力学性能比较

材料	抗拉强度/MPa	下屈服强度/MPa	冲击强度/J
Q235	375 ~ 500	235	27
20	≥410	245	31
Q345	470 ~ 630	345	34

3.5 使用寿命

江苏船闸已更换的江阴一线船闸闸门为节点板结构三角闸门, 使用了 48 a。目前仍在使用时间最长同类型的张家港一线船闸闸门为 43 a。这两座船闸的共同特点是运输繁忙, 具有放通闸的能力, 船舶碰撞的几率较大。球节点结构三角闸门使用时间最长的为九圩港船闸, 运行情况与上述船闸相同, 已使用 20 a。如上所述, 该船闸经过两次加固改造才得以继续使用。其下游闸门由

于杆件断裂较多, 闸门严重变形, 已接近报废。其余两座经过大修的同类型船闸其杆件修补较多, 杆件漏水问题无法解决, 使用前景很难预测。

4 结论

江苏船闸主要 2 种形式的三角闸门, 由其结构特点、选用材料决定, 从闸门的制造性能、维修性能、抗船舶撞击性能及使用寿命综合分析, 球节点结构三角闸门综合使用性能要低于节点板结构。江苏船闸 10 余座球节点三角闸门的船闸养护(技改)工作, 将成为船闸管理部门长期需解决的一个难题。

船闸设计部门一般根据规范在设计三角闸门船闸时首选球节点结构, 然而从多年来江苏这两种形式的船闸运行养护情况来看, 规范所推荐的球节点结构的三角闸门有待商榷。

参考文献:

- [1] 王作高. 船闸设计[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [2] JTJ 308—2003 船闸闸阀门设计规范[S].
- [3] 朱召泉, 陶桂兰, 殷小珠, 等. 船闸钢结构安全分析及加固技术研究[R]. 南京: 河海大学土木工程学院, 2009.
- [4] 王晓润. 江阴船闸三角门门体制作工艺及质量控制[J]. 江苏船舶, 2008, 25(6): 37-40.

(本文编辑 郭雪珍)

著作权授权声明

全体著作权人同意: 论文将提交《水运工程》期刊发表, 一经录用, 本论文数字化复制权、发行权、汇编权及信息网络传播权将转让予《水运工程》期刊编辑部。