



大水位差拱形桥梁弧形自浮式防船撞设施 运行可靠性强化试验研究*

吴俊^{1,2,3}, 余葵³, 胥润生³, 李晓飏³, 刘洋³, 马希钦³

(1. 重庆交通大学 国家内河航道整治工程技术研究中心, 重庆 400074;

2. 重庆交通大学 内河航道整治技术交通行业重点实验室, 重庆 400074;

3. 重庆交通大学 西南水运工程科学研究所, 重庆 400016)

摘要: 弧形自浮式防撞设施能够有效解决大水位差拱形桥梁的防船撞问题, 其运行可靠性关系到防撞设施日常运行的灵活与稳妥, 对其进行研究尤为必要。采用性能可靠性评估模型评价防撞设施运行的可靠性, 将可靠性量化为防撞设施随水位变化自适应浮动的驱动力值大于浮筒阻力值的概率。为了提高试验的效率, 采用强化试验原理, 对试验方案进行了优化设计。建立了弧形自浮式防撞设施机构模型, 并在防撞带与浮筒连接部布置多个应变测量单元, 监测防撞设施随水位自适应浮动过程中的应变变化。强化试验条件下, 共进行了25个往复升降试验, 结果表明25次试验中均未出现应变输出结果异常的现象, 说明在25次试验中未出现一次浮筒卡住的情况, 证明所设计的防撞设施结构运行可靠度达到设计要求。

关键词: 弧形自浮式防撞设施; 可靠性; 强化试验; 机构模型

中图分类号: TP 212.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)01-0066-05

Operation reliability evaluation of arc-type ship's anti-collision facility

WU Jun^{1,2,3}, YU Kui³, XU Run-sheng³, LI Xiao-biao³, LIU Yang³, MA Xi-qin³

(1. National Engineering Research Center for Inland Waterway Regulation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Key Laboratory of Inland Waterway Engineering, Ministry of Communication, Chongqing 400074, China;

3. Southwest Water Transport Research Department, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400016, China)

Abstract: The operation reliability of arc-type ship's anti-collision facility directly relates to daily operational flexibility and security, so it is of great significance to study it. The operation reliability is quantified to the possibility that driving force is bigger than the resistance with the performance reliability evaluation model. In order to improve the test efficiency, the test program is optimized by the enhanced test model. The mechanism model is established, and four strain measurement units are laid on the junction between collision belt and buoy. The mechanism model test results show that, under the condition of strengthened test, no abnormal output occurs in 25 test cycles and the buoy stuck didn't appear in 25 test cycles. It proves that the design of the facilities meets the reliability requirements.

Key words: arc-type ship's anti-collision facility; reliability; enhanced test; mechanism model

西部地区水系丰富、江河众多, 为了有效利用水能资源, 提升航道等级, 促进地区经济发展, 西部主要江流上修建了多座梯级枢纽。梯级

枢纽建成后, 库区高水位蓄水时, 诸多桥梁就存在部分被水淹没的可能。蓄水后航道变宽、水深加大, 船舶载质量也越来越大, 一旦船舶失控或

收稿日期: 2012-05-23

*基金项目: 西部交通建设科技项目 (2011318350990)

作者简介: 吴俊 (1981—), 助理研究员, 主要从事桥梁防船撞结构动态响应特性及可靠性评价等方面研究。

走偏航道碰撞桥,就会引发恶劣的船桥事故^[1-2]。

西部山区河流具有航道窄深、流速大、水位变幅大等特点。特别是枢纽成库后,水位变幅高达几十米。迄今为止,针对大水位差下斜拉桥、连续箱梁等桥梁的防撞技术已较为成熟,由于该类桥梁桥墩具备较强的防撞能力,所以可以通过在桥墩上附加自浮式钢箱或其它柔性装置对船舶撞击力进行缓冲处理^[3-4],而拱型桥梁结构形式特殊,抵抗船舶撞击的能力较弱,采用常规的防撞技术难以对其进行有效防护。

“弧形水上升降式防撞装置”是针对西部山区河流特点,并结合大水差拱形桥梁防撞需求提出的一种独立式、区域性、自浮式防撞设施,该装置不附着于桥梁本身,自成一体,能够较好地适应成库后西部山区河流水位变幅大、河道窄深等特点。

为了在不同水位条件下实现对大桥的防船撞保护,防撞设施中的防撞带与浮筒均设计为密闭结构,密闭结构自身具备自浮功能,能够随水位变化自动升降。由于船撞桥事件本身为小概率事件,防撞设施在设计达到一定防撞能力的前提下,自身日常运行的可靠性关系到整个防撞设施结构的稳定与可靠,决定整个设计的成败,所以必须充分重视防撞设施结构运行可靠性的研究,避免由于其自身的某些结构隐患导致整个防撞设施升降不畅或卡住等恶性事故的发生。为此,须专门对弧形自浮式防撞设施运行可靠性进行评价与试验研究。

1 弧形水上升降式防撞装置

“弧形水上升降式防撞装置”由防撞带、浮筒与导向井3部分组成,其布置形式如图1所示。

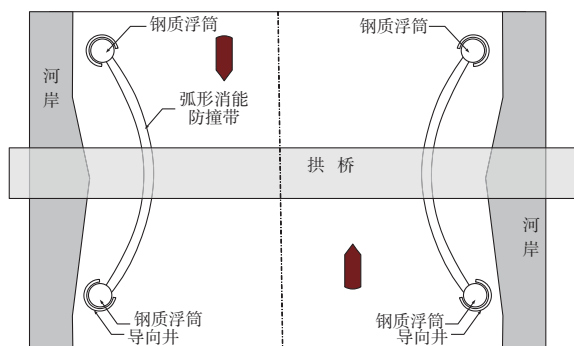


图1 弧形水上升降式防撞装置布置

防撞带为弧形布置形式,其主要功能:一是承担、吸收和传递船舶碰撞力,预防船舶进入桥梁保护区;二是可使船舶碰撞防撞带时适当拨开船头,使船舶改变航行方向,减轻船舶受损程度;三是保持水上浮态,适应桥区水位变化。

浮筒固定于防撞带端部,置于导向井内,可随水位沿导向井竖向槽口自适应水位上下升降。导向井勘建在大桥两岸的边坡上,导向井通过对浮筒的约束与定位,实现对防撞带的平面定位与竖向导向,并承担和传导防撞带经由浮筒传递至导向井的作用力^[5-6]。防撞设施随水位自动升降原理如图2所示。

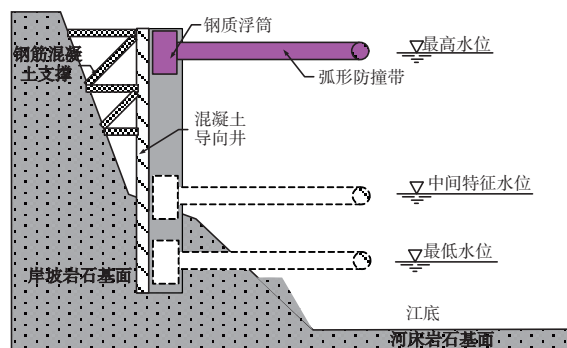


图2 防撞带随水位变化工作原理

“弧形水上升降式防撞装置”立体三维图如图3所示。

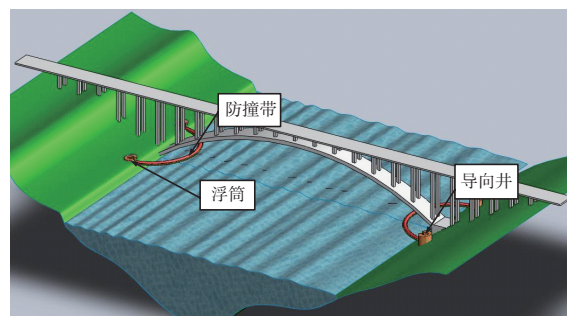
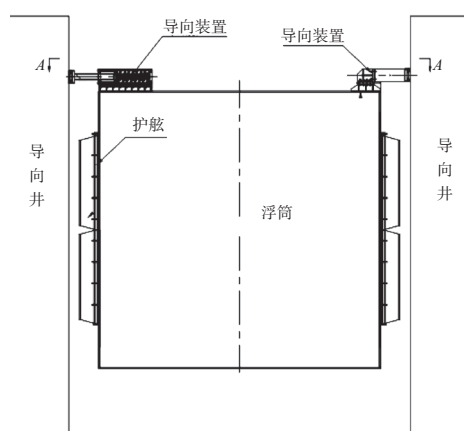
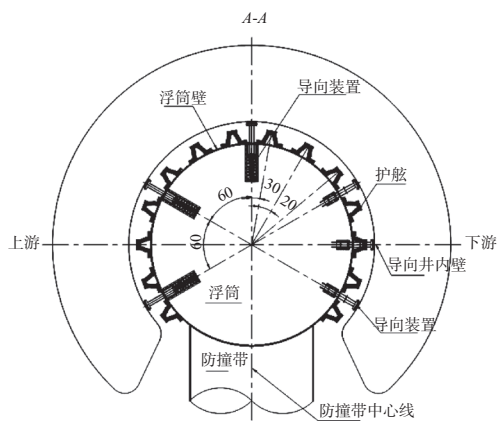


图3 弧形水上升降式防撞装置立体三维图

浮筒结构与运行方式直接关系到整个防撞设施的可靠运行,经过优化后的浮筒结构与运行方式如图4所示。浮筒外壁竖直方向20°等间距设置拱形橡胶护舷,每个浮筒顶面均设置6个导向装置,其中下游侧3个,上游侧2个,靠岸侧1个。导向装置前端设置四氟块,浮筒日常运行中通过四氟块在导向井内壁敷设的不锈钢板上下滑动运行。



a) 立面图



b) 俯视图

图4 浮筒结构与运行方式

2 可靠性评估技术

2.1 性能可靠性评估模型

弧形水上升降式防撞装置的性能可靠性可量化为防撞带随水位变化自适应浮动的驱动力值大于浮筒阻力值的概率,可采用性能可靠性评估模型评价防撞设施运行的可靠性。

实际运行中,浮筒的阻力受浮筒与导向井接触关系、接触面积、运行方式、水流速度、水面比降、防撞带的不平衡性等多种因素的影响。水流速度、水面比降、漂浮物卡住等多因素的散布特性使得浮筒阻力呈一定的随机分布特性。根据浮筒的设计浮态,防撞设施随水位升降时的最大驱动力为浮筒自重 G 。

经统计分析,浮筒阻力值 Y 近似服从正态分布, $Y \sim N(\mu, \sigma^2)$ 。防撞设施运行可靠的概率模型如图5所示。

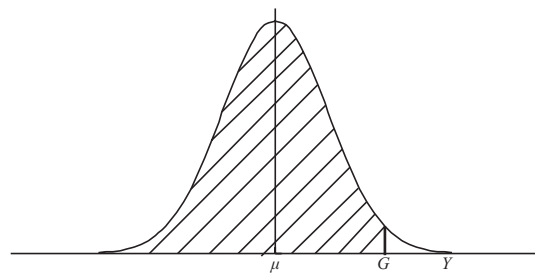


图5 性能可靠性模型

此时其性能可靠性为

$$R = P(Y < G) = \Phi\left(\frac{G - \mu}{\sigma}\right) \quad (1)$$

式中: $\Phi(x)$ 为标准正态分布函数; μ , σ 分别为正态随机变量阻力值 Y 的均值和方差。

2.2 强化可靠性试验理论模型

防撞设施可靠性评估可视为成败型系统,可用经典的二项式分布评定可靠性。按照常规的可靠性评定方法,在额定条件下进行试验,需进行上万次的防撞设施升降试验,不仅花费大量的人力物力,且时间上也不允许,所以必须采用强化试验的方法进行试验,以期在短期内对运行可靠性做出科学的评价。

强化试验的思想是将试验的某些条件进行恶化,进而降低试验组次的一种方法。针对防撞设施的运行可靠性,强化试验旨在将影响浮筒运行阻力的某些因素置于相对额定条件更为严酷的条件下,降低其可靠性,进而通过较少的试验次数推断出产品在额定条件下长期运行可靠性的一种技术思路,其原理如图6所示。其中, μ_p 和 μ_d 分别为强化条件和额定条件下的浮筒运行阻力均值^[7-8]。

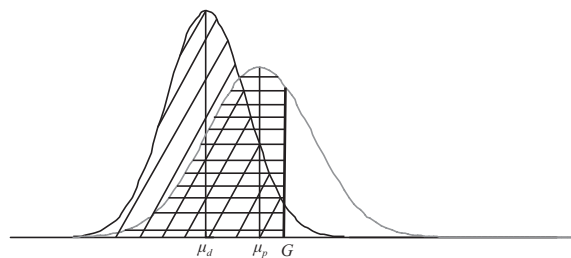


图6 性能可靠性强化试验模型

根据已知的额定条件下的可靠性下限 $R_{L,N}$ 以及对应的置信度 $\gamma=1-\alpha$,强化可靠性试验公式如(2), (3)式所示。

加严因子计算公式为

$$k = \frac{\mu_d}{\mu_p} = \frac{1 - \Phi^{-1}(R_{L,N})c_p}{1 - \Phi^{-1}(1 - \alpha^n)c_d} \quad (2)$$

强化试验次数计算公式为

$$n = \frac{\ln \alpha}{\ln \left[\Phi \left(\frac{\Phi^{-1}(R_{L,N})c_p + k - 1}{kc_d} \right) \right]} \quad (3)$$

在强化试验条件下,进行 n 组试验,若 n 组试验中不出现一次卡的情况,即可认为运行可靠度在 γ 置信度水平下达到 $R_{L,N}$ 的可靠度。

3 可靠性评价试验方案设计

3.1 可靠性试验强化因子的确定

影响防撞机构运行可靠性的因素很多,水流流速、水面比降、波浪、防撞设施破舱进水、漂浮物等都会对浮筒上下运行的灵活性产生影响。由于水面比降、波浪、漂浮物等因素难以在试验中进行定量的模拟,且水面比降、波浪、漂浮物等因素影响远小于水流流速,为了简便试验方案,试验中将水流流速确定为对浮筒运行阻力进行强化恶化的影响因子。

3.2 可靠性强化试验条件确定

根据可靠性强化理论模型,首先须根据统计资料分析确定额定条件下水流流速的中间值与标准差。由统计资料分析确定,西部山区河流中额定条件下水流流速中间值约为 $\mu_d=1.5$ m/s,水流流速标准差 $\sigma=0.8$ 。

服从的正态分布为: $Y \sim N(1.5, 0.8^2)$, $\frac{Y-1.5}{0.8} = N(0, 1)$ 。

强化条件下水流流速中间值为 $\mu_p=2.2$ m/s。根据强化试验公式,可靠性强化试验加严因子为 $k=0.8$ 。

3.3 可靠性强化试验次数确定

在置信度 $\gamma=0.95$,可靠性 $R=0.999\ 9$ 。根据航天火工机构变差系数设定值,确定本次试验的变差系数 $c_p=c_d=0.12$ 。

可靠性强化试验次数为:

$$n = \frac{\ln 0.05}{\ln \left[\Phi \left(\frac{\Phi^{-1}(0.999) \times 0.12 + 0.68 - 1}{0.68 \times 0.12} \right) \right]} = 23.33$$

所以在强化条件下,试验次数应大于24次。

4 可靠性评价试验

4.1 试验条件

弧形水上升降式防撞装置机构模型主要尺度

为:防撞带半径4.3 m,防撞带长度为12.3 m,浮筒直径0.26 m,浮筒高度0.27 m,浮筒外挂护舷高度0.025 m,浮筒顶部导向装置设置四氟板。整个防撞装置机构模型见图7。浮筒结构模型见图8。



图7 防撞装置机构模型

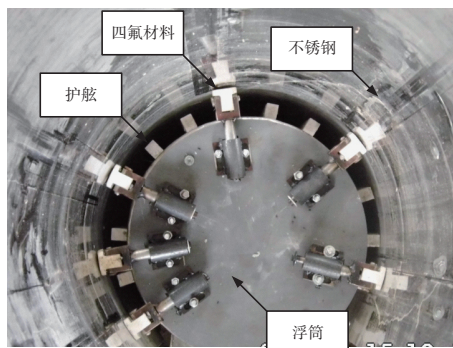


图8 浮筒结构模型

4.2 测试手段

如图9所示,在防撞带根部,即防撞带与浮筒的连接部位共布置2个应变测量单元。防撞带上下布置1个应变测量桥路,前后布置1个应变测量桥路。

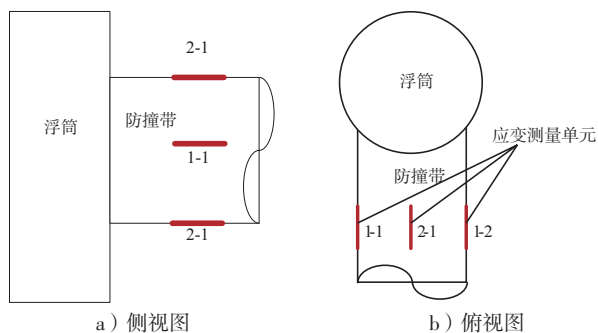


图9 应变测量单元布置

应变测量单元布置的实物图如图10所示。

布置于防撞带上下的应变测量桥路用于定量测量两个浮筒在运行过程中的不同步性,布置于防撞带前后部的应变测量桥路用于测量两个浮筒受到的导向井的支承力。由于一旦浮筒卡住,必然会导致应变测量单元输出信号的突变与变化异



图10 应变测量单元布置实物图

常, 所以通过实时监测应变测量单元的输出信号就可以实现对浮筒运行可靠性的评价。

4.3 试验结果

根据试验条件, 利用建立的防撞设施机构模型, 进行了可靠性试验, 试验结果如图11所示。

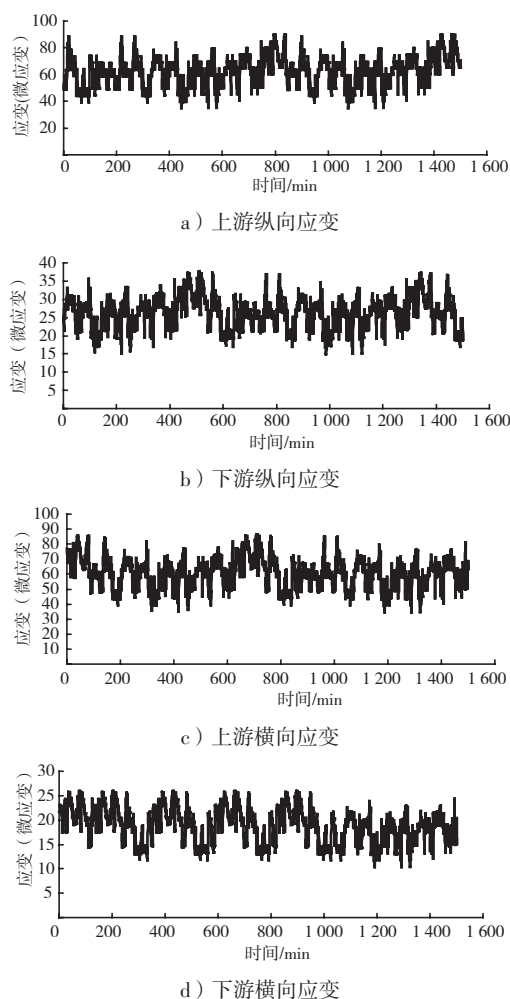


图11 应变测量试验结果

由图11可见, 上下游浮筒受到的作用力呈交替变化的趋势, 且上游浮筒作用力为下游浮筒作用力的3倍左右, 该趋势的产生与水位升降过程中水流流速的交替变化趋势有关, 水流流速越大,

浮筒受力越大。从试验结果与现场观测结果来看, 在25次试验中均未出现应变输出结果异常的现象, 说明在25次试验中未出现一次浮筒卡住的情况, 证明所设计的防撞设施结构运行可靠度达到设计要求。

5 结论

在建立的防撞设施机构模型上, 进行了防撞设施运行可靠性强化试验, 试验结果表明上下游浮筒收到的作用力呈交替变化的趋势, 且上游浮筒作用力为下游浮筒作用力的3倍左右, 该趋势的产生与水位升降过程中水流流速的交替变化趋势有关, 水流流速越大, 浮筒受力越大。从试验结果与现场观测结果来看, 在25次试验中均未出现应变输出结果异常的现象, 说明在25次试验中未出现一次浮筒卡住的情况, 证明所设计的防撞设施结构运行可靠度达到设计要求。

由于水面比降、波浪、漂浮物等因素难以在试验中进行定量的强化模拟, 且水面比降、波浪、漂浮物等因素影响远小于水流流速, 为了简便试验方案, 本试验仅针对水流流速进行了强化处理, 虽然试验结果证明强化试验方案的正确性, 但在强化试验理论体系方面仍存在一定的不足。

参考文献:

- [1] 范鸿乔. 船桥碰撞事故原因浅析和安全对策[J]. 中国港监, 2000(2): 21-25.
- [2] 王增忠, 张宇鑫, 王君杰, 等. 基于风险的桥梁防船撞措施分析[J]. 公路交通科技, 2011(8): 257-261.
- [3] 张茜, 耿波, 杜细春. 西部山区桥梁防船撞系统设计探讨[J]. 公路交通技术, 2010(5): 62-65.
- [4] 肖波, 李军. 船桥碰撞中桥墩防撞装置性能研究[J]. 水运工程, 2010(3): 17-20.
- [5] 余葵, 胥润生, 李晓飏, 等. 重庆万州长江公路大桥弧形水上升降式防装装置初步研究[M]//王君杰. 桥梁船撞研究与工程应用. 北京: 人民交通出版社, 2010: 375-380.
- [6] 余葵, 胥润生, 李晓飏, 等. 水上升降式防撞装置: 中国, 200920293771. 9[P]. 2010-08-10.
- [7] 荣吉利, 张涛. 航天火工机构可靠性的强化试验验证方法[J]. 宇航学报, 2009, 30(16): 2 426-2 430.
- [8] 董海平, 蔡瑞娇. 火工品可靠性评估小样本试验设计方法[J]. 含能材料, 2007, 15(6): 609-611.

(本文编辑 武亚庆)