

超高分子聚乙烯板和钢板组合闸墙防护装置设计

郑红娟, 施小飞, 陈可然, 赵苏政

(江苏航运职业技术学院 船舶与海洋工程学院, 江苏 南通 226010)

摘 要:船舶大型化发展使船闸闸墙更容易受到船舶的碰撞而被破坏。目前较为常见的闸墙钢板防护方案在实验过程中发现防护钢板容易产生竖向接缝翘曲的问题,且破坏发展迅速,影响防护效果,对船舶安全带来隐患。为解决上述问题,在深入分析闸墙防护钢板发生翘曲原因的基础上,设计了一种由超高分子聚乙烯板和钢板组合的闸墙防护装置。该闸墙防护装置结构简单、施工容易、造价低廉、耐久性好,既适用于新建船闸的闸墙防护,也适用于老船闸的闸墙维修改造。

关键词:船闸闸墙;防撞;钢板防护;超高分子聚乙烯板;防护装置

中图分类号:U641.3

文献标志码:A

文章编号:2097-0358(2023)2-0044-05

0 引言

随着物流业的发展,国内货运量大幅提升,也使船舶向大型化发展,进而要求航道等级进一步提升。船闸作为航道的咽喉,其尺寸相对航道较小,在大型过闸船舶更加频繁的撞击下,闸墙(包括闸室墙、闸首墙、导航墙、靠船墩)混凝土损害严重,尤其在闸首两侧墙部位较为常见。^[1-3]因此,很多船闸选择在闸墙,特别是闸首墙部位采用粘贴钢板进行防护,并将钢板纵横接缝采用焊接连接^[4-6]。钢板防护在使用过程中出现的主要问题是,在过闸船舶的撞击力、船舷的摩擦力作用下,钢板与钢板的竖向接缝处首先产生开裂,继而发生钢板翘曲、卷曲,损伤过闸船舶,影响过闸船舶安全,并减小船闸的有效宽度。同时,由于钢板通过锚筋锚固在混凝土中^[7-8],随着钢板的卷曲,锚筋被拉出,混凝土闸墙也会受到不同程度的破坏,影响船闸结构的耐久性和抗渗性。对于上述问题,工程上目前常采取割除卷曲钢板的措施来暂时解决船闸的安全问题,但是卷曲部分割除后,由于钢板与混凝土闸墙平面不平整,钢板容易继续产生翘曲、卷曲,并发展快速,破坏加剧,目前尚无很好的解决办法。^[9]因此,钢板防护的这一严重缺陷深受船闸管理单位的重视,无论是老船闸的维修改造,还是新船闸的建造都亟须寻求有效的解决办法。^[10]

1 钢板防护的破坏原因分析

闸墙钢板防护的破坏通常发生在防护钢板的竖向焊缝处,其原因主要有四个方面。

(1)温度变化引起焊缝材料疲劳破坏。笔者通过现场调研发现,钢板防护的破坏总是发生在钢板接头的焊缝处。这是由于船闸灌泄水产生闸室水位频繁升降,导致闸墙防护钢板在水上、水下频繁交替,特别是冬、夏两季,钢板骤冷骤热交替,频繁热胀冷缩,产生温度附加应力,而防护钢板的纵横向接缝全部采用焊接连接,无法释放附加应力的作用,加之钢板焊缝材料脆性较大,在往复交替的热胀冷缩产生的循环拉、压应力作用下,极易产生疲劳破坏,从而使防护钢板在焊缝处出现裂缝和不平整现象,因而当有船舶通过船闸时,防护钢板容易在过闸船舶的护舷摩擦力作用下产生翘曲、卷曲现象。

(2)船舶撞击能在钢板平面方向传播引起焊缝脆性断裂。钢板和混凝土的导热、吸热性能不同,因此温度变化时,钢板与混凝土的变形量不同,导致船闸闸墙防护钢板背面与混凝土的黏结减弱,甚至脱离,进而

收稿日期:2022-07-27

基金项目:南通市基础科学研究和社会民生科技计划项目(MSZ2022197;JCZ2022111)

作者简介:郑红娟(1981—),女,江苏盐城人,江苏航运职业技术学院船舶与海洋工程学院讲师、工程师,硕士。

使得闸墙防护钢板在船舶撞击动力作用下,撞击能大部分由钢板平面的撞击点向四周扩散,而少部分向混凝土内部扩散。^[11]又由于钢板通常在现场焊接,无法进行热处理,导致焊缝处残余应力较大,^[12]因此,过大的撞击能使防护钢板在焊缝处更容易产生脆性断裂。

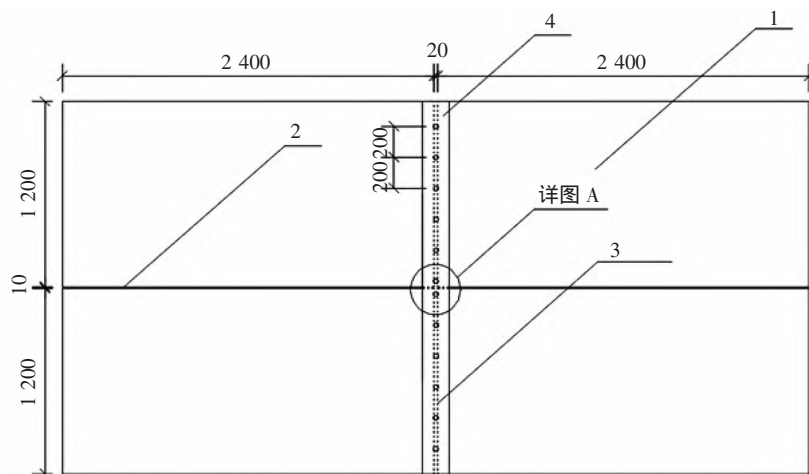
(3)钢板焊缝表面不平导致船舶防撞护舷与钢板摩擦力过大。船闸宽度远小于主航道,因此,船舶由主航道进入船闸时,容易产生碰撞、摩擦闸墙等问题,特别是在闸首位置,由于水流情况复杂,更容易发生碰撞。船闸防护钢板施工时,由于工艺问题很难使接缝绝对平整^[13],且当前运输船舶通常四周悬挂轮胎护舷保护船体,这些轮胎表面的凹槽使船舶与防护钢板的摩擦系数加大,进而导致防护钢板容易在接缝处被船舶轮胎护舷摩擦、卷拉产生翘曲、卷曲。

(4)实际过闸船舶超过船闸设计通过船型导致船舶荷载过大。2007年的《全国内河航道与港口布局规划》明确规定,内河高等级航道要达到约1.9万公里(约占全国内河航道里程的15%),其中Ⅰ级及以上航道14300公里,占75%。以Ⅰ级航道为例,其设计船型为1000t,而实际的过闸船舶超过1000t的情况越来越多,达到1500t、2000t、2500t甚至3000t。大型船舶过闸必然产生更大的船舶撞击力和摩擦力,超过了钢板防护的设计承载能力,会产生更大的变形和振动,使得防护钢板的初始开裂更容易发生,且一旦产生初始开裂,以后即使受到小型船舶的撞击和摩擦也可使开裂破坏加剧发展,进而产生钢板翘曲、卷曲。

2 船闸闸墙防护装置设计

2.1 船闸闸墙防护装置介绍

笔者设计了一种超高分子聚乙烯板和钢板组合的闸墙防护装置,如图1所示,该防护装置由闸墙矩形防护钢板、U形插筋、月牙形超高分子聚乙烯板、螺栓和聚氯乙烯弹性防水涂料填充体组成。闸墙矩形防护钢板背部焊接U形插筋与闸墙混凝土连接。^[14]闸墙矩形防护钢板包括N横排和M纵列(N和M的数量根据防护范围确定),钢板尺寸为1200mm、2400mm,横向设置。相邻的两横排钢板之间设置有10mm的横向接缝,相邻的两纵列闸墙矩形防护钢板之间设置有20mm的纵向接缝,横向接缝不焊接,纵向接缝间用月牙形超高分子聚乙烯板盖住,并用螺栓与闸墙混凝土连接,如图1(a)、(b)所示。月牙形超高分子聚乙烯板的圆弧半径为100mm,弦高为50mm,表面设置有圆形凹槽,凹槽底部有贯通的螺栓孔,螺栓的螺柱穿过凹槽和螺栓孔在防护钢板纵向接缝处与闸墙混凝土螺接,螺栓的螺帽顶陷入圆形凹槽内。横向接缝和纵向接缝内、闸墙矩形防护钢板与混凝土接触面之间,均设置聚氯乙烯弹性防水涂料填充体。螺栓采用SUS304不锈钢制作的12.9级M20内六角化学螺栓,中心孔距为200mm,螺栓的螺帽表面陷入月牙形超高分子聚乙烯板的圆形凹槽至少5mm。月牙形超高分子聚乙烯板的圆形凹槽顶口设置2mm倒角,螺栓与月牙形超高分子聚乙烯板圆形凹槽内壁间留有2mm的空隙,如图1(c)、(d)、(e)所示。



(a)闸墙防护装置正立面图

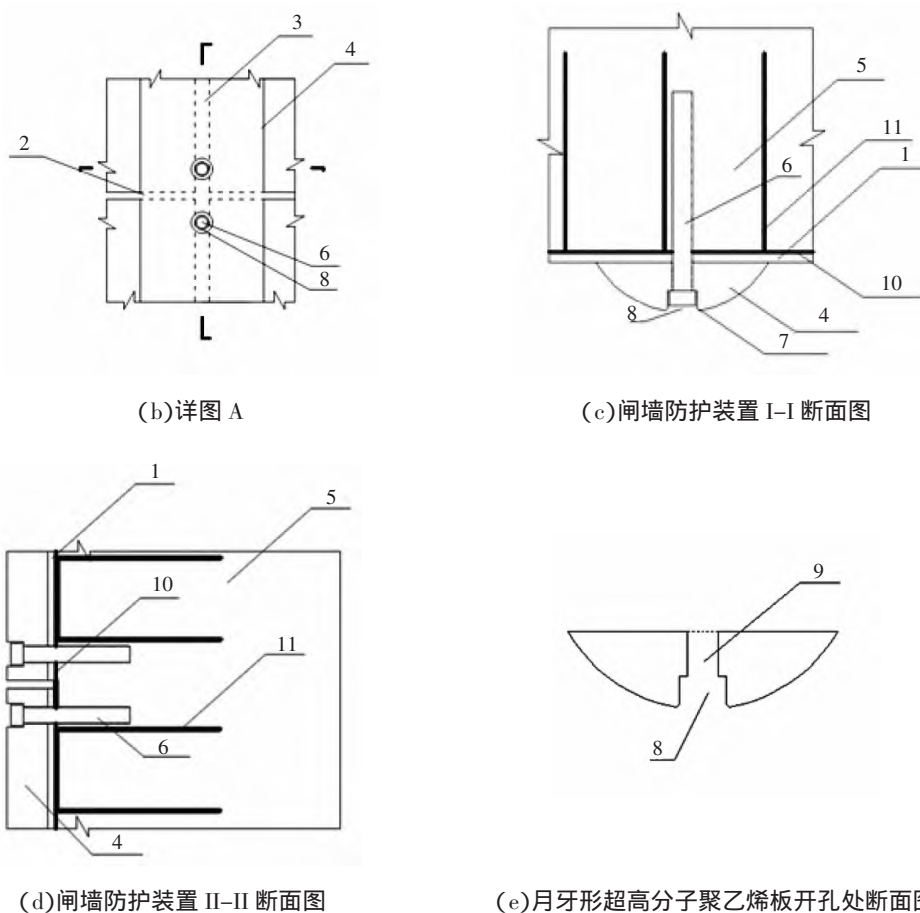


图 1 闸墙防护装置图

1—闸墙矩形防护钢板 2—横向接缝 3—纵向接缝 4—月牙形超高分子聚乙烯板 5—闸墙混凝土 6—螺栓 7—倒角 8—圆形凹槽 9—螺栓孔 10—聚氨酯弹性防水涂料填充体 11—U 形插筋

2.2 船闸闸墙防护装置设计方案

(1) 闸墙矩形防护钢板横向接缝宽 10 mm, 纵向接缝宽 20 mm, 均不焊接, 使钢板因各种原因引起的伸缩变形得以充分扩展, 减少钢板和混凝土的附加应力, 避免钢板与闸墙混凝土脱离。另外, 船舶对钢板的作用力主要是水平方向, 竖向作用力很小, 不易引起钢板的竖向翘曲, 而容易引起钢板水平方向翘曲的接缝用月牙形超高分子聚乙烯板覆盖, 船舶无法与钢板接缝接触, 不会导致防护钢板竖向接缝处的水平方向翘曲。

(2) 月牙形超高分子聚乙烯板顶面比防护钢板平面高出 50 mm, 船舷的撞击力不易作用在月牙形超高分子聚乙烯板和钢板的接缝处, 减少了接缝损坏的可能性。同时, 月牙形超高分子聚乙烯板的圆弧能将作用在其上的船舶撞击力分解为指向圆弧圆心的径向分力、与之垂直的切向分力和竖向分力^[15], 而圆弧的圆心在闸墙混凝土内部, 径向分力由混凝土承受, 巧妙利用了圆弧承压能力强和混凝土抗压强度高的特点。月牙形超高分子聚乙烯板圆形凹槽顶部设置 2 mm 倒角, 以减小船舶撞击时的摩擦力和自身尖角的损坏。

(3) 月牙形超高分子聚乙烯板由超高分子量聚乙烯材料制成, 具有摩擦系数小、重量轻、抗冲击能力强、耐磨损、耐腐蚀、抗紫外线、耐老化、安装维护方便等特点。摩擦系数小, 减小了船舶撞击力作用在月牙形超高分子聚乙烯板圆弧上的水平切向分力和竖向分力, 进而减少船舶与闸墙的损伤, 增强船舶对自身撞击闸墙产生横摇和纵摇的适应性; 重量轻, 减少了月牙形超高分子聚乙烯板的锚固螺栓数量, 也减少了月牙形超高分子聚乙烯板因开螺栓孔而造成的承载力削弱; 抗冲击能力强, 保证了月牙形超高分子聚乙烯板在船舶撞击力径向分力作用下的强度; 耐磨损、耐腐蚀、抗紫外线、耐老化等, 降低了月牙形超高分子聚乙烯板长期使用的更换频率, 使之更加经济。

(4)防护钢板横向接缝和纵向接缝内、闸墙矩形防护钢板与混凝土接触面之间均设置聚氯乙烯弹性防水涂料填充体。聚氯乙烯弹性防水涂料固化后形成无缝、无接头的防水防腐层,可形成连续封闭体系,且能与各种干燥基面粘接牢固,对形状适应性强,弹性高,能防止防护钢板背部因进水而产生腐蚀,并能吸收船舶撞击能,既起到封闭防水作用,又起到缓冲作用。

(5)月牙形超高分子聚乙烯板与闸墙混凝土采用 SUS304 不锈钢制作的 12.9 级 M20 内六角化学螺栓连接,该种螺栓强度高、不易生锈、连接效果好、便于更换,可用于老船闸的闸墙防护改造和新建船闸的防护设置,施工简单、方便,造价经济。螺栓的螺帽表面陷入月牙形超高分子聚乙烯板凹槽至少 5 mm,以确保在月牙形超高分子聚乙烯板有一定磨损的情况下螺帽不外露,有效防止螺帽高出而损伤撞击船舶。螺栓与月牙形超高分子聚乙烯板圆形凹槽内壁间留有 2 mm 的空隙,以方便旋转。

3 船闸闸墙防护装置施工流程

(1)在闸墙矩形防护钢板背部焊接 U 形插筋,插筋的数量和长度根据船闸的设计船舶撞击力大小计算确定;

(2)在闸墙矩形防护钢板背部及 U 形插筋上涂抹聚氯乙烯弹性防水涂料;

(3)将闸墙矩形防护钢板横向排列,设置 N 横排和 M 纵列的闸墙矩形防护钢板(N 和 M 的数量根据防护范围确定)相邻的两横排闸墙矩形防护钢板之间设置 10 mm 的横向接缝,相邻的两纵列闸墙矩形防护钢板之间设置 20 mm 的纵向接缝,横向接缝和纵向接缝均不焊接;

(4)浇筑闸墙混凝土;

(5)闸墙矩形防护钢板的横向接缝和纵向接缝处用聚氯乙烯弹性防水涂料填充;

(6)用月牙形超高分子聚乙烯板盖在闸墙矩形防护钢板上,根据月牙形超高分子聚乙烯板的孔位在闸墙上画定定位孔,然后取下月牙形超高分子聚乙烯板,在混凝土闸墙上钻孔、清孔,最后塞入化学螺栓的化学药剂;

(7)安装月牙形超高分子聚乙烯板,拧紧螺栓,使螺栓的螺帽陷入圆形凹槽内。

4 结论

(1)本文针对传统的船闸钢板防护存在的钢板翘曲、卷曲破坏问题,分析得出四个方面的原因:①温度变化引起焊缝材料疲劳破坏;②船舶撞击能在钢板平面方向传播,引起焊缝脆性断裂;③钢板焊缝表面不平导致船舶防撞护舷与钢板摩擦力过大;④实际过闸船舶超过船闸设计通过船型导致船舶荷载过大。这四个因素将为船闸钢板防护的优化设计提供参考。

(2)本文设计了一种超高分子聚乙烯板和钢板组合的闸墙防护装置,巧妙地利用了超高分子聚乙烯材料的摩擦系数小、抗冲击能力强、耐磨、耐腐蚀、耐老化的特性和月牙形(即拱形)结构分散外力的特征,能有效改善防护钢板接缝处的承载能力。

5 结束语

根据交通运输部水运“十四五”发展规划对航道等级提升提出的新要求,将有一大批船闸需要新建和维修改造。本文设计的超高分子聚乙烯板和钢板组合的闸墙防护装置,能够有效解决传统闸墙钢板防护的翘曲、卷曲破坏问题。该装置结构简单、施工容易、造价低,既可以用于新船闸的建造,也可以用于老船闸的维修改造,具有巨大的应用潜力。

参考文献:

- [1]陈晓峰,陈达,廖迎娣.过闸船舶撞击力研究[J].水运工程,2010(9):48-50.
- [2]汪国勤.船闸闸首闸室墙面损坏修理技术[J].水运工程,1993(1):34-36.
- [3]唐修生,黄国泓,卢安琪,等.某船闸加固防护技术措施研究[J].人民长江,2006(2):22-24.
- [4]洗润全,刘火光.闸墙加设钢板防护在沙口船闸的应用[C]//中国航海学会船闸专业委员会.船闸科技 2002—2005 年度优秀论文集,2006:96-98.
- [5]郑春锋,戚伟志,刘毅.粘钢植筋组合加固技术在望亭水利枢纽运河直立墙防护中的应用[J].水利科技与经济,2007(5):349-350.

- [6]马小园.船闸闸室钢板保护工程中的监控措施和对策[J].城市道桥与防洪,2005(1):69-71,1.
- [7]姚正平.锚固钢板护面在石泉小导墙修补工程中的应用[J].水利技术监督,2000(4):33-34.
- [8]高兴和,常语锋.粘钢、植筋技术在水利枢纽防护加固中的应用[J].江苏水利,2006(6):10-12.
- [9]陈驰.船舶碰撞问题研究综述[J].东北水利水电,2016(4):67-71.
- [10]张倩.邵伯三线船闸闸室墙倒角裂缝原因分析及防治[J].水运工程,2011(4):136-139.
- [11]张鹏翔.铁路重力式桥墩钢板加固抗震性能试验研究[D].兰州:兰州交通大学,2013.
- [12]李岗,齐文宽,史伟,等.模拟焊后热处理温度对 Q345R 钢板焊接接头的焊接残余应力及力学性能的影响[J].理化检验-物理分册,2022(3):10-13.
- [13]马骏.船闸工程闸室墙钢板贴面施工质量控制[J].珠江水运,2016(20):92-93.
- [14]徐志峰,金明东.闸室墙整体钢板护面设计及施工方案优化[J].建材与装饰,2016(43):271-272.
- [15]鄢亚军,陶桂兰.船闸闸室结构的船-墙碰撞三维有限元分析[J].水运工程,2017(1):131-135,142.

(责任编辑 张 利)

Design of Lock Gate Wall Protective Guard with Ultra-High Polymer Polyethylene Plate and Steel Plate Combination

ZHENG Hong-juan, SHI Xiao-fei, CHEN Ke-ran, ZHAO Su-zheng

(School of Ship and Marine Engineering, Jiangsu Shipping College, Nantong 226010, China)

Abstract: The large-scale development of ships makes the lock gate wall more vulnerable to ship collision and damage. Presently the more common lock gate wall steel plate protection program experimental process reveals that the protection of steel plate is prone to emerging the problem of vertical joint warping, and the rapid development of damage affects the protective effectiveness and brings about the hidden danger to the safety of a ship. In order to solve the above problems, based on an in-depth analysis of the reasons of the warping of the gate wall protection steel plate, a lock gate wall protective guard combined with ultra-high polymer polyethylene plate and steel plate has been designed. The lock gate wall protective guard is simple in structure, easy in construction, cheap in cost and good in durability, which is suitable for both the new lock gate wall protection and old lock gate wall repair and reconstruction.

Key words: lock gate wall; anti-collision; steel plate protection; ultra-high polymer polyethylene plate; protective guard