

# 船闸闸墙超高分子聚乙烯防护装置 设计及施工工艺

郑红娟<sup>1</sup>, 夏旭江<sup>2\*</sup>, 吕耘琦<sup>1</sup>, 钦鹏宇<sup>1</sup>, 葛坤玮<sup>1</sup>, 李凯<sup>1</sup>

(1. 江苏航运职业技术学院, 江苏 南通 226010; 2. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210024)

**摘要:** 航道等级的提升和船舶的大型化发展, 增加了船-闸碰撞的概率和强度, 而船闸闸墙常见的钢板防护存在碰撞后接缝翘曲的严重缺陷和安全隐患。为解决船闸闸墙的防护问题, 分析了钢板防护失效的主要原因, 总结现有船闸闸墙防护方案的特点, 发现现有防护方案的共性主要是从防船舶撞击的角度出发, 对摩擦力的影响考虑不足。因此, 采用超高分子聚乙烯材料, 利用其强度高、摩擦系数小的特性, 设计了一种横向设置的半圆柱形闸墙防护装置。该装置造价低、安拆更换方便、抗撞能力强、摩擦力小, 能快速调整船舶撞击后的运动方向, 对船舶损伤小, 可作为船闸新建与改造的优选方案。

**关键词:** 超高分子聚乙烯; 船闸; 闸墙; 防撞; 防护装置

中图分类号: U641

文献标志码: A

文章编号: 2095-7874(2025)05-0027-05

doi: 10.7640/zggwjs202505004

## Design and construction technology of ultra-high molecular weight polyethylene protective device for lock wall of navigation lock

ZHENG Hong-juan<sup>1</sup>, XIA Xu-jiang<sup>2\*</sup>, LÜ Yun-qi<sup>1</sup>, QIN Peng-yu<sup>1</sup>, GE Shen-wei<sup>1</sup>, LI Kai<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Shipping College, Nantong, Jiangsu 226010, China;

2. College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210024, China)

**Abstract:** The improvement of waterway grade and the large-scale development of ships have increased the probability and strength of collision between ships and the barrier wall of navigation lock. However, the common steel plate protection of lock wall has serious defects and potential safety hazards of joint warping after collision. In order to solve the protection problem of the lock wall of navigation lock, the main reasons for the failure of steel plate protection were analyzed, and the characteristics of the existing protection schemes were summarized. It was found that the commonness of the existing protection schemes was mainly from the perspective of ship collision prevention, and the influence of friction was not considered enough. Therefore, by using ultra-high molecular weight polyethylene material, which has the characteristics of high strength and small friction coefficient, a semi-cylindrical lock wall protective device with lateral setting was designed. The device has the advantages of low cost, convenient installation and replacement, strong anti-collision ability and small friction force. It can quickly adjust the movement direction of the ship after collision, and has little damage to the ship. It can be used as the preferred scheme for the new construction and renovation of navigation locks.

**Key words:** ultra-high molecular weight polyethylene; navigation lock; lock wall; collision avoidance; protective device

### 0 引言

随着全球经济的发展和互联互通, 航运业大

力发展。为了降低运输成本, 船舶逐渐走向大型化, 航道等级也逐步提升。船闸作为航道的咽喉,

收稿日期: 2024-09-28 修回日期: 2024-11-07

基金项目: 南通市社会民生科技计划项目 (MS2023079); 2023年江苏省职业院校学生创新创业培育计划项目 (G-2023-0440)

作者简介: 郑红娟 (1981—), 女, 江苏盐城人, 工程师, 讲师, 主要研究方向为船闸防撞、港口工程结构及基础。

\*通讯作者: 夏旭江, E-mail: 18260635129@163.com

尺寸相对航道较小,对船员的操纵能力要求高;且船闸建设相对航道滞后,存在很多船舶超标准过闸的情况<sup>[1]</sup>,使得船舶碰撞船闸闸墙的概率和强度大大增加,对船闸混凝土结构的防撞能力提出更高的要求。船闸闸墙混凝土表面在使用过程中,受到船舶不同程度的撞击、摩擦和含沙水流的冲击,将会产生一定程度的损伤、破坏,其部位主要发生在闸室、闸首、导航墙及靠船建筑物等结构物的临水侧竖向平面(以下简称闸墙)上及其连接边角处,其中,闸首的两侧墙尤为突出<sup>[2-3]</sup>。为此,很多船闸选择在闸墙,特别是闸首部位使用钢板进行防护<sup>[4]</sup>,防护钢板纵横接缝之间采用焊接连接。但在使用过程中,防护钢板接缝处常产生撕裂、翘曲,且缺口由小到大迅速发展,对过闸船舶造成极大安全隐患,甚至发生沉船事故。当出现上述问题时,目前常见的处理方法是把钢板的翘曲部分局部切割,也因此导致混凝土失去防护而暴露,使得闸墙损伤更加严重;且防护钢板的缺口在船舶撞击下更容易撕裂、翘曲,并愈演愈烈<sup>[5]</sup>。关于船闸的闸墙防护问题,深受船闸管理单位重视,无论是老船闸的维修改造,还是新船闸的建造都迫切需要解决此问题。

基于上述原因,本文分析了钢板防护失效的原因,总结现有闸墙防护方案的特点,设计了一种超高分子聚乙烯闸墙防护装置,为船闸闸墙的防护设计提供参考。

### 1 钢板防护失效原因

通过现场调研,发现钢板防护的失效首先发生在钢板接缝处,分析其失效的原因主要为<sup>[2]</sup>:

1) 由于高温焊接引起钢板接缝应力集中,在船舶撞击、摩擦、扯拉时,钢板在接缝处局部应力进一步加大,直至断裂。

2) 夏季暴晒和闸室灌泄水引起水位频繁升降,导致钢板冷热交替频繁,形成循环温度应力,引起钢板接缝处焊接钢板的脆性、疲劳断裂。

3) 由于钢板与混凝土收缩率不同,引起钢板与混凝土之间的接触面分离,导致撞击能量大部分在钢板平面内传播,少量传递到闸墙混凝土内部,从而使钢板振动过大,而钢板接缝在高温焊接后变脆,材质发生变化,振动波传播突变,导致钢板接缝损伤,后经历船舶摩擦、扯拉,产生钢板接缝断裂。

4) 过闸船舶主要采用轮胎护舷,其与防护钢

板之间摩擦系数大,产生摩擦力大,使有损伤的钢板接缝处应力进一步加大,促使钢板接缝的断裂、卷曲和发展。

### 2 现有闸墙防护方案

与船-闸碰撞类似的有船-桥碰撞,桥墩防护方案有很多种<sup>[5]</sup>,但通常体积较大,占用空间大,而船闸内部空间狭窄,桥墩防护方案不适合船闸闸墙的防护。目前船闸闸墙常用的防护方案主要从2个方面考虑:1) 优化钢板之间的连接方式,解决钢板的接缝翘曲,如文献[6]—文献[7];2) 采用新型防撞设施,如文献[8]—文献[10]。以上新型防撞设施均较复杂,且都假设船闸闸墙的破坏主要由撞击引起。根据船闸现场调研,船舶在船闸内的运行限速为1 m/s,船舶对闸墙产生的撞击属于高质量、低速、斜向撞击,碰撞接触时间长,压力大,而船舶的钢板或轮胎护舷与闸墙的混凝土或防护钢板之间的摩擦系数大,产生大而接触时间长的摩擦力,使闸墙混凝土或防护钢板产生局部拉应力不足而破坏,此为船闸闸墙破坏的主要因素。因此,船闸的闸墙防护在考虑防撞的同时,还要充分考虑摩擦力的影响,才能从根本上解决问题。

### 3 超高分子聚乙烯闸墙防护装置方案设计

为解决船闸闸墙防护问题,设计一种超高分子聚乙烯闸墙防护装置,如图1所示。该装置是一种设置于船闸闸墙混凝土临水侧的防护结构,用于防止闸墙受到过闸船舶撞击和摩擦产生的损坏,由防护木、橡胶缓冲垫、高强后膨胀螺栓3部分组成。

图1(a)—图1(c)中,防护木由超高分子聚乙烯材料制作而成,形状为半圆柱体,长度为500~1 000 mm,半径为100 mm,两端的半圆弧线设置长度为20 mm的45°倒角;圆弧面设置2个贯穿的螺栓孔,螺栓孔孔径在圆弧面出口处局部扩大形成凹槽(图1(f)),凹槽的深度为50 mm,凹槽与圆弧表面的相贯线设置45°倒角,倒角长度20 mm;防护木水平设置,半圆弧面朝向闸室空间。

橡胶缓冲垫(图1(c)—图1(e))为矩形薄片,一面与防护木的矩形平面紧贴,一面与闸墙混凝土紧贴,平面尺寸与防护木半圆柱体的矩形平面相同,厚度由过闸船舶撞击能量大小确定,其上设置2个贯穿的螺栓孔,孔的位置与防护木的螺栓孔重合。

高强后膨胀螺栓(图 1(e))包括嵌入套筒、螺栓以及螺母 3 个组成部分。套筒和螺栓一起嵌入在闸墙临水侧的混凝土中, 防护木和橡胶缓冲垫的螺栓孔套在螺栓上, 螺栓端头用螺母拧紧, 螺母陷入防护木的凹槽中, 螺栓头部应低于防护木表面至少 20 mm。

防护木水平设置, 安装的高度范围为上至闸墙顶部向下 50 mm(图 1(a)、图 1(b)), 下至最低通航水位以下 300~1 000 mm, 竖向间隔布置, 间距由过闸船舶撞击力大小确定。横向相邻护木之间的间距为 10 mm, 若遇到船闸变形缝, 间距与变形缝缝宽一致。

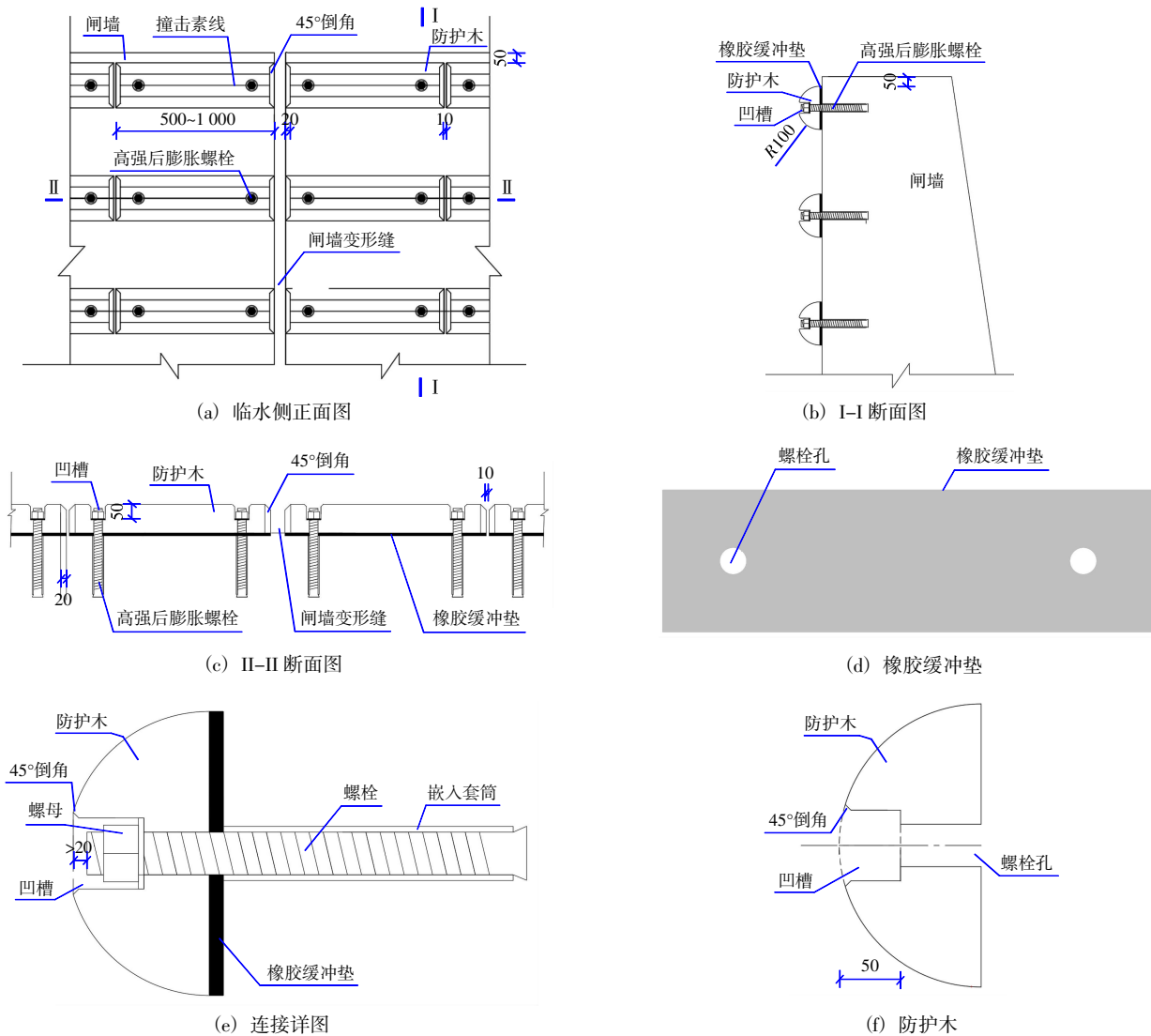


图 1 超高分子聚乙烯闸墙防护装置(mm)

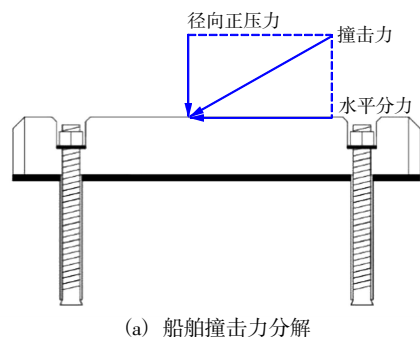
Fig. 1 The protective device for ultra-high molecular weight polyethylene lock wall(mm)

#### 4 超高分子聚乙烯闸墙防护装置工作原理

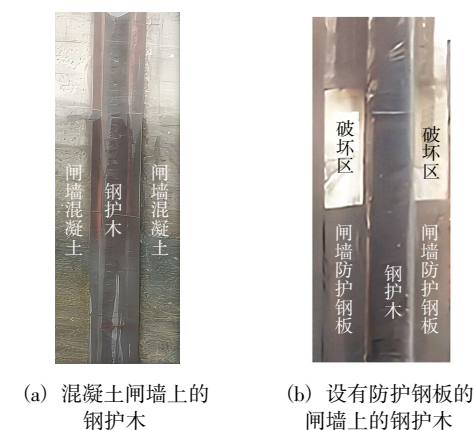
如图 2 所示, 根据船闸运行现场调查, 船闸闸墙的防护钢板和混凝土都容易产生损坏, 但是竖向钢护木却很少损坏, 其主要原因是钢护木采用的是半圆柱体结构, 利用了拱形结构承压能力强的特点, 受力条件好, 且过闸船舶无法接触钢板与混凝土的接缝位置, 不会导致接缝处的钢板撕裂。因此, 本防护方案的防护木亦采用半圆柱

结构, 半径为 100 mm, 与常规的船闸钢护木半径一样, 不会改变原船闸设计的有效宽度。不同的是, 本防护方案所用的防护木水平设置在闸墙上, 由上而下设置多排, 均匀分布, 使得过闸船舶只会与防护木的侧向拱形最高点接触, 即撞击力的作用位置相对固定, 在半圆柱体防护木的侧向最高点形成的一条水平线上(图 1(a)), 撞击力方向为斜向水平力(图 3(a)), 受力位置更加明确。作

用在防护木上的船舶撞击力可分解为指向圆弧圆心的径向正压力和与之垂直的水平分力(图 3(a))。其中, 径向正压力(图 3(b))通过圆的圆心作用在橡胶缓冲垫上, 经过橡胶缓冲垫吸能后再向闸墙混凝土内部传递, 有效利用了拱形结构承压能力强、闸墙混凝土抗压强度高和橡胶吸能大的特点, 能有效提高船闸闸墙的抗船舶撞击能力; 水平分力沿着船闸闸室纵向分布, 由于防护木采用超高分子聚乙烯材料, 其摩擦系数小, 摩擦力小, 可调节船舶的行进方向, 对闸墙影响不大, 也不会对船舶产生额外的横摇和纵摇, 有利于闸室空间内的水流平稳。



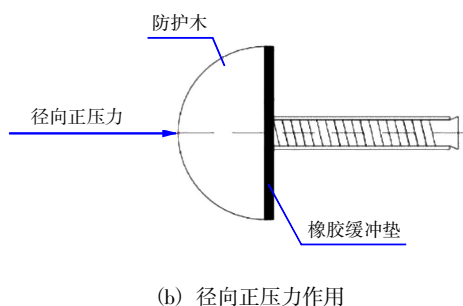
(a) 船舶撞击力分解



(a) 混凝土闸墙上的钢护木 (b) 设有防护钢板的闸墙上的钢护木

图 2 闸墙上钢护木

Fig. 2 Steel fender on the lock wall



(b) 径向正压力作用

图 3 船舶撞击力示意图

Fig. 3 Schematic diagram of ship collision force

防护木结构设置的高度范围符合文献[11]的安全防护要求。防护木比闸墙平面高 100 mm+橡胶缓冲垫厚度, 足够抵抗船舶及其轮胎护舷的撞击变形, 因此能有效隔开船舶与闸墙混凝土, 避免船舶直接与闸墙混凝土接触而产生破坏。防护木上下间隔布置, 可以减少超高分子聚乙烯材料的用量, 从而减少造价, 还能避免闸墙在满铺超高分子聚乙烯平板情况下, 可能出现船舶轮胎护舷撞击防护木后, 接触面因空气排出产生过大的吸力, 导致船舶轮胎护舷和防护木间的摩擦力增大的现象。

防护木结构由超高分子聚乙烯材料制成, 这种材料具有抗冲击能力强、摩擦系数小、重量轻、耐磨损、耐腐蚀、抗紫外线和耐老化等特点。其中, 抗冲击能力保证了防护木在船舶撞击力径向分力作用下的强度。摩擦系数小, 减小了船舶撞击力的径向分力产生的摩擦力, 由于船舶在船闸内有限速要求, 产生的撞击属于高质量、低速撞击, 接触时间长, 摩擦力小, 可以大大减小船舶与闸墙彼此的损伤。重量轻, 可减少防护木的锚

固螺栓数量, 也减少了防护木因为开螺栓孔而造成的承载力削弱及应力集中, 且更换方便。由于防护木的工作环境具有露天强紫外线、水上水下交替、有一定的水污染、船舶高频率磨损等特点, 对防护木的耐久性要求高, 超高分子聚乙烯材料耐磨损、耐腐蚀、抗紫外线、耐老化等特点能提升防护木的使用寿命, 减少防护木更换频率, 使之更加经济。

防护木和橡胶缓冲垫采用高强度、耐腐蚀的后膨胀螺栓固定, 该螺栓工程应用效果好, 锚固牢固, 承载力大, 不易腐蚀生锈, 便于防护木更换, 新、老船闸皆可使用, 施工简单、方便, 经济性好。

防护木的螺栓孔凹槽顶部边缘设置 2 mm 倒角, 可以减小船舶撞击时的摩擦力和自身尖角的损坏。防护木的圆形凹槽处, 螺栓表面陷入防护木表面至少 20 mm, 以确保防护木在有一定变形和磨损的情况下, 螺栓不会露出防护木表面, 以免损伤船舶。防护木凹槽直径比螺母直径大 5 mm, 留有孔隙以便使用套筒拧紧螺母。

## 5 超高分子聚乙烯闸墙防护装置施工工艺

超高分子聚乙烯闸墙防护装置可用于船闸新建和改造中的闸墙防护,具体的施工工艺为:

1) 厂家按图纸制作防护木、橡胶缓冲垫和高强后膨胀螺栓,并运至施工现场。

2) 船闸新建:在闸墙混凝土施工时,采用橡胶缓冲垫作为模具,在模板上标记出螺栓孔位并开孔;根据开孔位置,在闸墙钢筋上固定好螺栓及套筒;浇筑混凝土,使螺栓及套筒预埋在闸墙混凝土内。船闸改造:以橡胶缓冲垫为模具在闸墙上标记出螺栓孔位及其中心点,用钻头直径与螺栓套筒直径相同的电钻从中心点开始钻孔,钻孔深度等于螺栓套筒长度加螺栓露出套筒部分的长度,然后把螺栓及套筒一起锤入孔内,使螺栓端部顶到孔的顶端。

3) 将橡胶缓冲垫和防护木对准孔位,依次套在螺栓上。

4) 将平垫圈和螺母依次套在螺栓上,用套筒扳手拧紧螺母,直至螺栓将套筒的膨胀端胀开,形成牢固的锚固体系。

5) 重复以上操作步骤,直到将所有防护木安装完成。

## 6 结语

本文对船闸闸墙常见钢板防护的失效原因和现有闸墙防护方案的特点进行分析和总结,利用超高分子聚乙烯材料的高强度和摩擦系数小等特性,设计了一种横向设置的半圆柱形闸墙防护装置,结论如下:

1) 钢板防护失效的主要原因有:钢板焊缝处因焊接引起应力集中;循环温度应力引起焊缝疲劳;撞击能使钢板振动过大;轮胎护舷摩擦力过大等。

2) 现有防护方案的设计主要从闸墙防船舶撞击的角度出发,对摩擦力的影响欠考虑。

3) 水平设置的半圆柱体超高分子聚乙烯闸墙防护装置,利用了拱形结构抗压能力强的特点和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。

本文设计的超高分子聚乙烯闸墙防护装置,既能防撞还能防摩擦,能快速调整船舶撞击后的运动方向,对船舶损伤小,造价低、结构简单、施工容易、更换方便,具有巨大的应用潜力。

## 参考文献:

- [1] 陈达,谢春秋,廖迎娣,等. 闸墙碰撞分析及其混凝土性能指标研究[J]. 水运工程, 2013(5): 120-123.  
CHEN Da, XIE Chun-qiu, LIAO Ying-di, et al. Collision impact on lock wall and property indices of concrete used in lock wall[J]. Port & Waterway Engineering, 2013(5): 120-123.
- [2] 郑红娟,施小飞,陈可然,等. 超高分子聚乙烯板和钢板组合闸墙防护装置设计[J]. 江苏航运职业技术学院学报, 2023, 22(2): 44-48.  
ZHENG Hong-juan, SHI Xiao-fei, CHEN Ke-ran, et al. Design of lock gate wall protective guard with ultra-high polymer polyethylene plate and steel plate combination[J]. Journal of Jiangsu Shipping College, 2023, 22(2): 44-48.
- [3] 郑红娟,张凌宏,温奕凯,等. 非一体式钢球型钢板防翘曲装置研究[J]. 南通职业大学学报, 2018, 32(3): 78-82.  
ZHENG Hong-juan, ZHANG Ling-hong, WEN Yi-kai, et al. Research on anti-warpage device made of non-integrated steel ball for protective steel plate of lock wall[J]. Journal of Nantong Vocational University, 2018, 32(3): 78-82.
- [4] 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.  
MA Jun. Construction quality control of steel plate veneer of lock chamber wall in ship lock project[J]. Pearl River Water Transport, 2016(20): 92-93.
- [5] WANG J J, SONG Y C, WANG W, et al. Evaluation of flexible floating anti-collision device subjected to ship impact using finite-element method[J]. Ocean Engineering, 2019, 178: 321-330.
- [6] 郑红娟. 一种船闸闸墙防护装置及其方法: CN201810365438.8 [P]. 2023-05-26.  
ZHENG Hong-juan. A lock wall protection device and its method: CN201810365438.8 [P]. 2023-05-26.
- [7] 张凌宏,温奕凯,黄轩宇,等. 一种非一体式钢球型闸墙钢板防翘曲装置: CN201810335539.0 [P]. 2023-12-22.  
ZHANG Ling-hong, WEN Yi-kai, HUANG Xuan-yu, et al. A non-integrated steel ball-shaped anti-warpage device for protective steel plates on lock walls: CN201810335539.0 [P]. 2023-12-22.
- [8] 翟明超. 一种内河港航用船闸防碰撞结构: CN2023-22254699.1 [P]. 2024-04-26.  
ZHAI Ming-chao. An anti-collision structure for inland port navigation lock: CN202322254699.1 [P]. 2024-04-26.
- [9] 王颀轩. 一种水利船闸闸室用防护装置: CN2018-10473344.2 [P]. 2020-11-24.  
WANG Qi-xuan. A protective device for the lock chamber of a water conservancy ship lock: CN201810473344.2 [P]. 2020-11-24.
- [10] 万俊. 一种船闸闸室防护装置: CN202322242591.0 [P]. 2024-05-28.  
WAN Jun. A protection device for lock chamber of ship lock: CN202322242591.0 [P]. 2024-05-28.
- [11] JTJ 305—2001, 船闸总体设计规范[S].  
JTJ 305—2001, Code for master design of shiplocks[S].