



闸室异物对船闸人字门运行的影响及对策分析*

陈 鹏, 王锐锋, 熊锦玲

(长江三峡通航管理局, 湖北 宜昌 443000)

摘要: 针对船闸运行过程中伴生的闸室异物沉积现象, 分析闸室异物对人字门设备运行和通航效率的影响。通过研制人字门底止水防卡阻装置, 创新性地提出了一种防止异物掉落卡阻人字门的结构形式。在三峡船闸现场安装后, 证明该装置可有效保护人字门运行安全, 提高通航效率。该成果具有较大的推广应用价值, 可促进船闸行业人字门设计制造技术的发展。

关键词: 闸室异物; 船闸; 人字门; 防卡阻装置

中图分类号: U 641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)08-0107-04

Influence and countermeasure analysis of foreign body in lock chamber on operation of miter gate of ship lock

CHEN Peng, WANG Rui-feng, XIONG Jin-ling

(Three Gorges Navigation Authority, Ministry of Transport, PRC, Yichang 443000, China)

Abstract: Aiming at the deposition of foreign body in a lock chamber during the operation of ship lock, the influence of foreign body in a lock chamber on the operation and navigation efficiency of miter gate equipment is analyzed. The development of the stop-water anti-blocking device came up with an innovative structure type that could prevent foreign bodies from falling to block the miter gate. It is proved that the device can effectively protect the operation safety of the miter and improve navigation efficiency after the installation in the Three Gorges Ship Lock. The result has a great value of popularization and application, which promote the development of design and manufacturing technology of miter gate.

Keywords: foreign body in lock chamber; ship lock; miter gate; anti-jamming device

三峡船闸自通航以来, 船闸人字门运行受闸室异物卡阻现象时有发生。闸室异物的多样性、不可控性成为船闸不可忽视的安全隐患。根据以往排干闸室检查情况分析, 闸室底部异物主要聚集在闸室中心处、闸室爬梯通道底部、浮式系船柱附近、闸室下游侧人字门处以及闸墙水位标尺和警戒线附近^[1]。据不完全统计, 船闸自通航以来, 人字闸门底部异物卡阻多次发生, 门底局部会产生漏水现象, 并且部分水流受高水头压力影响, 形成射流, 导致过闸船舶无法正常抵近靠泊, 干扰船舶过闸的正常运行秩序, 不利于船闸安全、

高效运行。大多数情况下, 检修人员能够即时处置, 快速排除卡阻和漏水现象, 少数卡阻造成的止水部件部分失效也多利用停航保养、计划停航等时机予以处理^[2]。但闸室异物导致设备卡阻的即时处置过程不可避免地干扰船闸运行正常秩序, 过闸效率受到影响。

通过分析闸室异物对船闸人字门运行的影响, 研究设计了一种人字闸门底止水防卡阻装置, 该装置能防止异物进入到人字闸门底止水橡胶与底坎之间, 从而保护人字闸门设备安全运行, 提高通航效率, 保证通航安全。

收稿日期: 2020-12-01

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0402007)

作者简介: 陈鹏(1979—)男, 高级工程师, 从事通航建筑物设备管理工作。

1 闸室异物对船闸人字门运行的影响

1.1 对船闸设备运行的影响

1.1.1 橡胶轮胎导致人字门卡阻

人字门卡阻会导致人字门挡水不严，若卡阻部位射水过多还会导致过闸船舶无法正常抵近靠泊。2015 年因人字门底部出现大量射水现象而应急排干闸室检修时发现，底止水压板螺栓折断两颗，压板接头翘起，止水 P 头基本完好，垫层橡皮被冲出外翻。

根据现场情况对比分析，止水螺栓断裂非因材质或安装质量问题产生，而是轮胎卡阻致损的偶然事件。断裂螺栓断面呈典型的脆断性状，是该处止水装置受轮胎挤压而致螺栓剪断。由于卡阻轮胎体积较大，在人字闸门工作区域内造成卡阻，导致止水面受损。

1.1.2 钢丝绳导致人字门卡阻

虽然一般由钢丝绳卡阻造成的人字门区域射水的面积不大，但钢丝绳细长且材质坚硬，很难在卡阻后被水流或人字门的开关动作带走。一旦形成射水，自行消除的几率非常低，必须及时处理消除隐患。

钢丝绳卡阻时，钢丝绳与人字门门轴柱和斜接柱的钢止水、以及人字门底止水产生挤压和相互摩擦，对止水造成不同程度的损伤，导致止水效果减弱，形成少量射水现象。

1.2 对船闸通航效率的影响

三峡船闸人字门底止水受异物卡阻漏水的现象，每年都偶有发生。一般处理流程是：先运行观察，某些异物卡阻现象在人字门反复开关过程中会自行消除；如果异物卡阻现象不能自行消除，则须实施应急潜水作业清除异物。大部分卡阻异物能够利用船闸移泊间隙打捞，对船闸通航效率影响较小；有些不容易打捞的异物需要停航甚至排干闸室后进行处理。

多级船闸的运行工艺决定了船闸运行效率主要依赖闸次间隔时间。异物打捞对船闸通航效率的影响视异物卡阻情况而定。较简单的情况一般不影响船舶过闸效率，但对该闸次船舶的过闸历

时有一定影响；情况较复杂时该闸次船舶过闸历时及闸次间隔时间相对较长^[3]。

2 人字门底止水防卡阻装置设计

2.1 功能及技术要求

1)人字门底止水异物卡阻主要发生在底枢处，且无法随人字门的启闭自行清除，该装置应具备防止人字门底枢处底止水与底坎间卡住轮胎等异物的功能，防止轮胎掉落或漂浮至底止水与底坎闸挤卡后所造成的射水。

2)装置不能影响人字门的正常运行，人字门在任何运行位置均不能与闸墙、底坎、底止水发生挤压摩擦^[4]。

3)装置不能影响金属结构件和止水的检查和维护。

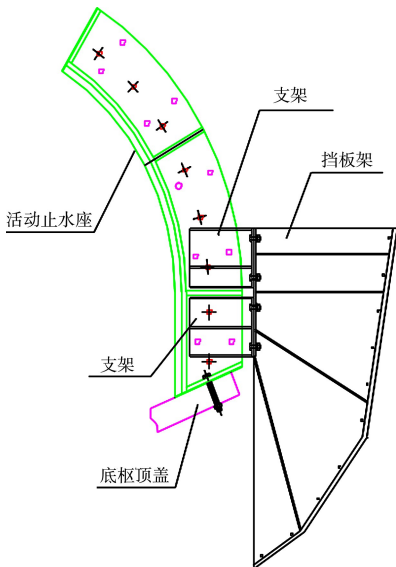
4)装置安装高度不能减少过闸船舶的吃水深度，不能因装置的使用造成船只碍航。

5)强度可靠，具有一定的刚度。

6)进行防腐处理，可在水下长时间使用。

2.2 装置结构

该人字门底止水防卡阻装置的结构见图 1，2 个支架通过螺栓与挡板架连接，在挡板架上设有多个与挡板架底面垂直的筋板。筋板的侧边为斜边。挡板架边缘下部设有橡胶垫层。支架、挡板架及筋板上均涂有防锈漆层。



a) 俯视图

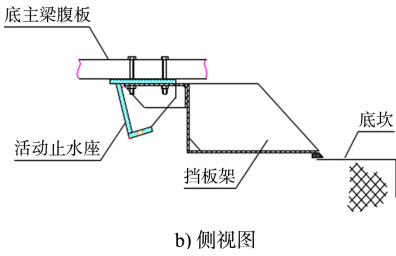


图 1 人字门底止水防卡阻装置结构

2.3 工作原理

装置通过螺栓与活动止水座连接, 并随之运动, 在人字门开闸时, 实现对底坎与底枢顶盖、活动止水座及底主梁腹板形成的一块近似三角形区域的覆盖, 有效防止异物掉落、关门时造成底止水卡阻并射水。筋板侧边的斜边设计方便将轮胎等异物铲除^[5]。

2.4 强度、刚度验算^[6]

2.4.1 受力分析

可将防卡阻装置看作一个受均布静载荷的悬臂梁, 其受力见图 2。

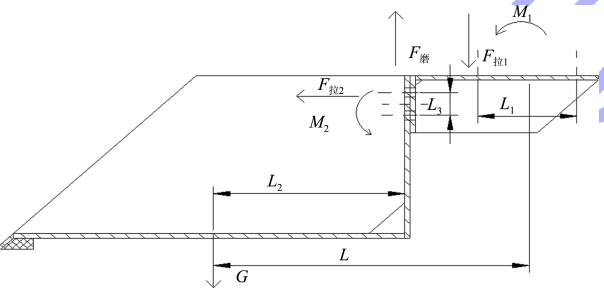


图 2 防卡阻装置受力分析

单个防卡阻装置质量 138 kg, 假设其上压有轮胎或其他重物, 总质量按 500 kg 计算, 则 $G=4.9\text{ kN}$ 。

2.4.2 支架与活动段止水座架间连接螺栓的强度验算

$$M_1 = GL \tag{1}$$

$$F_{拉1} = \frac{M_1}{L_1} \tag{2}$$

$$F_1 = F_{拉1} + \frac{G}{2} \tag{3}$$

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{\frac{\pi}{4}d_1^2} \tag{4}$$

式中: M_1 为 M24 螺栓承受弯力矩; L 为重力力臂长; $F_{拉1}$ 为 M24 螺栓承受拉力; L_1 为 M24 螺栓间

距; F_1 为 M24 螺栓受力总和; d_1 为 M24 螺栓直径; σ_1 为 M24 螺栓承受应力; $[\sigma]$ 为 8.8 级螺栓许用应力。计算得 $\sigma_1 = 44.8\text{ N/mm}^2$, $[\sigma] = 320\text{ N/mm}^2$, $\sigma_1 < [\sigma]$, 选用的连接螺栓强度符合要求。

2.4.3 支架与挡板架间连接螺栓的强度验算

$$M_2 = GL_2 \tag{5}$$

$$F_{拉2} = \frac{M_2}{L_3} \tag{6}$$

$$\sigma_{拉} = \frac{F_{拉2}/4 + F_{预紧}}{\frac{\pi}{4}d_2^2} \tag{7}$$

$$F_2 = G - F_{磨} \tag{8}$$

$$\tau_{剪} = \frac{F_2/4}{\frac{\pi}{4}d_2^2} \tag{9}$$

式中: M_2 为 M16 螺栓承受弯力矩; L_2 为重力力臂长; $F_{拉2}$ 为 M16 螺栓承受拉力; L_3 为 M16 螺栓间距; d_2 为 M16 螺栓直径; $F_{预紧}$ 为 M16 螺栓预紧力; $\sigma_{拉}$ 为 M16 螺栓承受拉应力; $F_{磨}$ 为 M16 螺栓承受摩擦力; F_2 为 M16 螺栓受剪切力总和; $\tau_{剪}$ 为 M16 螺栓承受剪应力; σ_2 为 M16 螺栓承受总应力。 $\sigma_2 = \sqrt{\sigma_{拉}^2 + 3\tau_{剪}^2} = 82.6\text{ N/mm}^2$, $\sigma_2 < [\sigma]$, 选用的连接螺栓强度符合要求。

2.4.4 挡板架的变形量验算

挡板架有效截面见图 3, 其相邻筋板间距 b_0 为 150 mm, 挡板架长 l 取 600 mm, 则 $l/b_0=4$, 取挡板架的有效宽度系数 $\xi=0.9$ 。

$$B = \xi b_0 \tag{10}$$

$$e_1 = \frac{aH_2 + bd_2}{2(aH + bd)} \tag{11}$$

$$e_2 = H - e_1 \tag{12}$$

$$I = \frac{1}{3}(Be_1^3 - bh^3 + ae_2^3) \tag{13}$$

$$f = \frac{Ql^4}{8EI} \tag{14}$$

式中: B 为有效宽度; H 为挡板架高度; e_1 为重心到底边高度; e_2 为重心到上边高度; a 为筋板厚度; d 为面板厚度; I 为截面轴惯性矩; E 为材料弹性模量; f 为挠度, 计算值为 6.6 mm。

根据计算, 挡板架底板距底坎设计高度为

10 mm，大于其受力变形后的下挠度，设计可行。

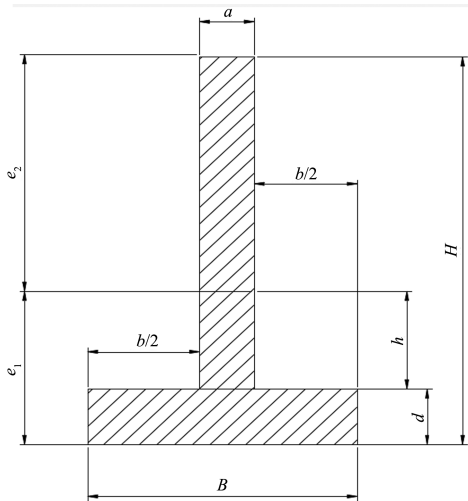


图 3 挡板架有效截面

3 人字门底止水防卡阻装置应用

将轮胎放置在开终的南五人字门上，用安全绳沿南五人字门门轴柱处检修爬梯下放轮胎入水，沉至人字门底枢处，正常关闭五闸首人字门，开六闸首输水阀门正常泄水，待南线五闸首底坎露出后，查看轮胎位置，观察人字门底枢处无射水、轮胎无卡阻，则防卡阻装置起到了防护作用(图 4)。



图 4 人字门底止水防卡阻装置安装效果

目前，三峡船闸人字门均已安装了底止水防卡阻装置，运行平稳，未卡阻异物，无异常。该止水装置改善了人字门底止水性能，提高底止水使用寿命，也在一定程度上提高了船闸通航效率；延长了三峡船闸排干闸室检修周期，减少停航检修时间，节约检修费用。

4 结论

- 1) 闸室异物对船闸人字门运行的影响主要有：
①异物卡阻影响人字门底止水的工作性能和寿命；
②打捞异物影响船闸的通航效率。
- 2) 人字闸门底止水防卡阻装置在三峡船闸的使用情况表明，装置可有效防止异物进入到人字闸门底枢处底止水橡胶与底坎之间造成射水，保护了人字闸门设备安全运行，提高通航效率，保证通航安全，取得了较大的社会 and 经济效益。
- 3) 装置安全可靠，效益明显，可推广应用到采用人字结构闸门的船闸。

参考文献：

[1] 钮新强, 童迪, 宋维邦. 三峡工程双线五级船闸设计[J]. 中国工程科学, 2011, 13(7): 85-90, 122.

[2] 张元刚, 马洪生, 钱文君. 运东船闸人字门顶、底枢修理关键技术浅析[J]. 江苏水利, 2010(12): 23-24.

[3] 张义军. 船舶过闸组织方式对三峡船闸运行效率的影响[J]. 中国水运, 2015(3): 48-50.

[4] 魏文炜. 三峡永久船闸人字门启闭机设计[J]. 人民长江, 1998(12): 7-8, 48.

[5] 曹利群. 某枢纽船闸人字门安装与调试方案探讨[J]. 大科技, 2017(34): 247-248.

[6] 唐金松. 简明机械设计手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2009.

(本文编辑 武亚庆)

征订通知

2022 年《水运工程》杂志征订工作已经开始，请登录《水运工程》杂志社官方网站 www.sygc.com.cn 首页下载中心下载“2022 年《水运工程》征订通知单”，有关要求和反馈信息一应俱全。