



长沙枢纽船闸工作阀门门槽主轨 磨损修复方案研究

尹斌勇¹, 纪攀佳¹, 李超军², 夏伯羽¹

(1. 长沙市湘江综合枢纽工程办公室, 湖南长沙 410200; 2. 湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南长沙 410200)

摘要: 针对船闸工作阀门门槽 QU80 主轨磨损严重问题, 分析了主轨磨损的具体情况, 进行了整体更换主轨、修改主轮尺寸、主轨踏面堆焊、主轨踏面贴焊钢板等几种技术修复方案的研究, 采用对比法对材料选择、修复工艺、运行性能等多种因素进行综合性价比研判, 得出主轨踏面贴焊钢板修复方案为最优方案, 并对主轨踏面贴焊钢板修复方案的工艺要求进行了具体论述。结果表明: 通过使用 QU80 重轨进行线切割, 以解决市场无适配材料问题, 并实施分段贴焊以防止整段贴焊钢板脱落卡阻问题等措施, 快速、有效、经济地解决了 QU80 主轨磨损严重的修复问题, 为同类船闸的类似问题解决提供借鉴参考, 同时建议船闸检修中, 应重视工作阀门 QU80 主轨磨损情况的及时检查, 当磨损量大于 5 mm 时需进行修复处理。

关键词: 船闸; 工作阀门; 主轨磨损修复

中图分类号: U641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)03-0199-06

Wear repair plan for main rail of working valve slot of Changsha Hub Ship Lock

YIN Binyong¹, JI Panjia¹, LI Chaojun², XIA Boyu¹

(1. Changsha Xiangjiang Comprehensive Hub Project Office, Changsha 410200, China;

2. Hunan Provincial Transportation Planning Survey and Design Institute Co., Ltd., Changsha 410200, China)

Abstract: Regarding the severe wear problem of the QU80 main rail in the gate slot of the ship lock working valve, an analysis of the specific wear condition is conducted. Studies are performed on several technical repair solutions, including complete replacement of the main rail, modification of the main wheel dimensions, surfacing welding on the rail tread, and plate welding onto the rail tread. A comprehensive cost-effectiveness analysis is conducted using a comparison method to evaluate various factors such as material selection, repair techniques, and operational performance. This analysis determined that the plate welding repair solution for the rail tread is the optimal choice. Specific process requirements for the plate welding repair solution are elaborated. The results show that by using wire-cut QU80 heavy rails to solve the problem of the unavailability of suitable materials on the market and implementing segmented plate welding to prevent the detachment or obstruction during the entire welding process, the severe wear repair of the QU80 main rail is handled quickly, effectively, and economically. This provides a valuable reference for addressing similar problems in other ship locks of the same type. Additionally, it is recommended that during ship lock maintenance, timely inspection of the wear condition of the QU80 main rail on working valves should be emphasized. Repair should be undertaken promptly when the wear exceeds 5 mm.

Keywords: ship lock; working valve; main rail wear repair

船闸工作阀门是船闸运行频繁的主要设备之一, 在低水头(此处指低于 20 m)船闸中, 通常采

用钢结构定轮支承平板门结构形式, 对于门槽主轨, 各地船闸各有不同, 常用结构形式包括: 固

收稿日期: 2025-07-01 录用日期: 2025-07-25

作者简介: 尹斌勇(1979—), 男, 高级工程师, 从事航电枢纽建设及运行管理工作。

定式铸钢件、固定式 QU80 重轨、可拆卸式高级氮化合金结构钢等。无论哪种结构形式,在实际运行中都存在不同程度的磨损问题。对于可拆卸式主轨,修复时进行更换即可,但对于固定式主轨,修复处理较为困难。

长期以来,业内已有一些研究,彭旭昌等^[1]在桂平船闸主轨磨损修复中,提出采取 A3 钢板进行镶焊的方法,后续运行发生脱落并卡阻阀门的问题,采取凿除二期混凝土进行全部更换的处理方法。李利强^[2]在长洲 1# 船闸输水阀门门槽主轨材质为 ZG40Mn2 的磨损问题中,提出对磨损量大于 6 mm 的部位,将其统一打磨到 10 mm 深度,采用厚度为 10 mm 的锰钢板和 D707 高效碳化钨堆焊合金焊条塞焊和堆焊相结合方式进行修复。贺柏武等^[3]在船闸输水阀门工作异常原因分析及对策中,提到主轨磨损问题,但未详细论述修复问题。尹斌勇等^[4]在长沙枢纽工作阀门检修周期研究中,提出工作阀门轮系检修,但也未涉及到门槽主轨的磨损修复问题。

对于船闸工作阀门门槽 QU80 材质主轨的磨损如何修复,国内相关案例以及以上研究均未提及,若参照以上思路,采用贴焊或镶焊,存在市场无适配 QU80 板材问题,同时也存在运行时发生脱落卡阻工作阀门的风险。本文针对此问题,在长沙枢纽船闸检修过程中,针对工作阀门门槽磨损修复问题,结合船闸检修时施工时间有限、作业条件受限等因素,进行深入研究,选择采取主轨踏面贴焊钢板的技术方案,并采取使用 QU80 重轨进行线切割解决适配材料问题,通过分段焊接防止贴板焊接脱落问题等技术措施,快速、有效、经济地解决 QU80 主轨磨损严重的修复问题,为同类船闸类似问题的解决提供借鉴参考。

1 长沙枢纽船闸工作阀门概况

长沙枢纽船闸为单级双线 2 000 吨级船闸,闸室尺寸 280 m×34 m×4.5 m(长×宽×门槛水深),双向年通过能力 9 800 万 t,2012 年 10 月建成通航。2025 年 3 月,长沙枢纽二线船闸进行第 2 次抽水大修,发现 4 扇工作阀门门槽主轨(采用 QU80 重轨材料)磨损严重。

根据湘江长沙综合枢纽两阶段施工图^[5],长沙枢纽船闸工作阀门为钢结构定轮支承平板门结构,等厚门体。门叶为多主横梁结构形式,面板面向上游。闸门侧、顶止水设在下游面。侧、顶止水采用 P60 橡胶止水。门体正反向支承采用悬臂主轮,跨度 5.0 m,主轮直径 890 mm。

门槽形式采用矩形门槽,宽 0.92 m、深 0.50 m。门槽形式分为反轨、主轨、副轨、端槛、底槛和门楣。其中门槽上游侧布置反轨,门槽下游侧上部分 1 m 为副轨,下部分为主轨。主轨采用固定式 QU80 重轨,高 8.0 m。工作阀门主轮、主轨、水封装配见图 1,工作阀门特性见表 1。

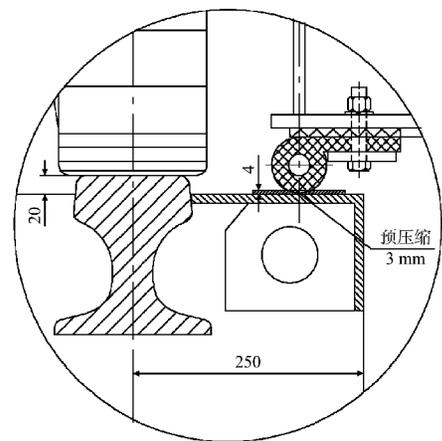


图 1 工作阀门主轮、主轨、水封局部装配示意(单位: mm)
Fig. 1 Schematic diagram of partial assembly of main wheel, main rail, and water seal of working valve(unit: mm)

表 1 工作阀门特性

Tab. 1 Characteristics of working valve

孔口尺寸/ (m×m)	运行工作 水头/m	检修水头/m	外形尺寸(宽×高×厚)/ (mm×mm×mm)	封水尺寸(宽×高)/ (m×m)	阀门 质量/t
4.50×5.00	9.3	上闸首 16.70,下闸首 16.76	5 344×5 420×910	4.64×5.07	14.5
总水压力/kN	启闭方式		启闭机械	启闭机容量与工作 行程之比/(kN·m ⁻¹)	数量(每线船闸)/ 扇
2 188(3 333)	动水启,静水闭,事故工况允许动水闭门		竖缸式液压启闭机	1 000/5.5	4

2 工作阀门门槽主轨磨损情况

船闸 2012 年 10 月通航,截至 2025 年 2 月,已运行 12.4 a,4 扇工作阀门自船闸通航以来,运行 64 840 次,年均约 5 229 次,月均约 436 次,日均约 14.5 次,根据船闸上下行流程不同,日均动水开启约 7 次,日均静水关闭约 7 次。对二线船闸 4 扇工作阀门门槽主轨进行检测发现:各工作阀门左右两侧主轨自底部约 0.9 m 处往上开始出现磨损(主轨 0.9 m 以下为主轮非工作段),磨损深度 8~9 mm,年均磨损量 0.64~0.75 mm,磨损长度约 6.3 m,主要磨损区在工作阀门孔口段。测量主轨表面硬度,磨损区约 HB240,未磨损区约 HB280,主轨磨损现场情况见图 2。

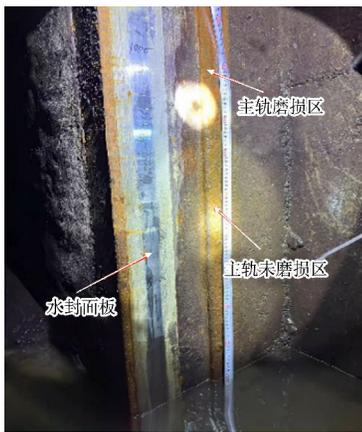


图 2 工作阀门门槽主轨磨损情况

Fig. 2 Wear status of main rail of working valve slot

根据文献[4]的论述,主轮和轴套、主轨的允许磨损量合计不大于 17 mm,考虑船闸在 5 a 大修周期内,主轮和轴套的磨损量合计约 12 mm,得出主轨磨损量不宜超过 5 mm,超过 5 mm 需进行更换或修复处理。现有工作阀门门槽主轨磨损量已达 8~9 mm,须进行修复处理。

3 主轨修复处理

3.1 修复处理技术方案

对于 QU80 主轨磨损的修复处理,拟定 4 种技术方案,具体如下。

1) 整体更换主轨,参考文献[1]对主轨磨损的技术处理方案,即将原有主轨及埋件凿除,更

换新主轨和配套埋件,重新浇筑二期混凝土。

2) 修改主轮尺寸,在不改变主轨前提下,将主轮尺寸加大(加大尺寸与主轨磨损量对应),在水封底部增加垫板(垫板厚度与主轨磨损量对应),以满足主轮与主轨、水封与水封面板的尺寸配合。

3) 主轨踏面堆焊,参考李利强在长洲 1# 船闸主轨磨损处理方式,采用与主轨 QU80 材料相匹配的焊丝或焊条对磨损部位进行堆焊。

4) 主轨踏面贴焊钢板,选用与主轨 QU80 材料相匹配的 8 mm×70 mm×500 mm(厚×宽×长)钢板,采用与主轨 QU80 材料相匹配的焊丝或焊条,将钢板贴焊在主轨踏面。

针对以上修复处理技术方案,从施工时间、预算费用、使用性能进行性价比及优缺点方面比较,具体比选见表 2。经比选,选用主轨踏面贴焊钢板技术方案为最优方案,施工时间 5 d,费用约 3 万元/扇。工期及费用具体情况:按照 1 扇阀门为 1 个工作面,安排 4 人作业;施工时间:第 1 天搭建施工平台(脚手架),第 2 天对原主轨磨损段表面进行打磨抛光处理,第 3、4 天进行焊接,第 5 天验收拆除施工平台(第 1 天同时进行贴焊钢板线切割加工)。所需费用:人工约 13 000 元,贴焊钢板材料及线切割加工约 7 000 元,其他材料、措施费等综合费用约 10 000 元。该方案具有施工周期短,综合成本低,可在船闸检修计划工期内完成,可行性好,性价比高。

表 2 主轨磨损修复处理技术方案优缺点对比

Tab. 2 Comparison of advantages and disadvantages of main rail wear repair technology solutions

技术方案	施工时间/d	预算费用/(万·扇 ⁻¹)	使用性能(寿命)/a	优缺点
整体更换主轨	30	约 30	10	优点:处置彻底,使用寿命较好 缺点:工程量较大,施工周期较长,费用较大
修改主轮尺寸	60	约 10	5	优点:实施难度较低 缺点:处理周期长,费用适中

续表2

技术方案	施工时间/d	预算费用/(万·扇 ⁻¹)	使用性能(寿命)/a	优缺点
主轨踏面堆焊	15	约5	约5~8	优点:成本较低 缺点:施工条件差,周期较长,施工质量控制难度大
主轨贴焊钢板	5	约3	约5~8	优点:成本低,施工周期短 缺点:处理不彻底

注:施工时间指自发现问题启动处理开始起计算。

3.2 主轨踏面贴焊钢板

3.2.1 贴焊准备

原主轨材料为 QU80 重轨,经了解,市场无相同匹配性能板材。经多方研判分析,采取采购 QU80 重轨进行切割处理,通过对激光切割、等离子切割、火焰切割、锯片切割、砂轮片切割、线切割等切割方法比对,在以上切割方式中,选择线切割,相对而言,此方式虽然效率较慢,费用较高,但切割尺寸精度较高、无热变形,可较快加工适配尺寸和技术要求的贴焊板,切割方式见

图3。具体加工方法:市场采购长 12 m 的 QU80 重轨,按 0.5 m/节分段,共分 24 段,每段按 8 mm×70 mm×500 mm(厚×宽×长)尺寸进行切割,每段切割出 4 块钢板,共加工 96 块,每块钢板中心位置相距 250 mm 处钻 20 mm 塞焊孔。新购主轨与原主轨材料性能见表 3。线切割完成后,对贴焊钢板相关技术参数进行检测:表面硬度 280~340 HBW,表面粗糙度 Ra=3.6 um,平面度≤0.5 mm。

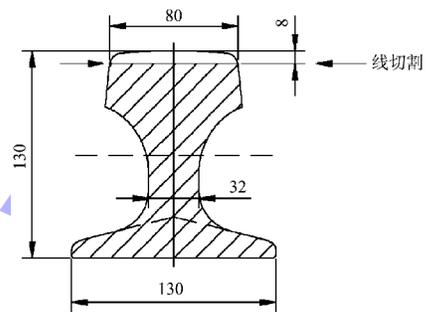


图3 QU80重轨线切割示意(单位: mm)

Fig. 3 Schematic diagram of QU80 heavy rail line cutting (unit: mm)

表3 新主轨与原主轨材料性能

Tab. 3 Material performance of new main rail and original main rail

材料来源	牌号	化学成分					抗拉强度/ MPa	伸长率/ %	布氏硬度/ HBW	生产 年份
		C	Si	Mn	P	S				
新主轨	U71Mn	0.71	0.25	1.17	0.026	0.005	998	11	280~340	2023
原主轨	U71Mn	0.68	0.26	1.17	0.020	0.012	930	14	无	2010

3.2.2 贴焊方案确定

主轨贴焊钢板的位置自底部往上 0.9 m 处开始,共贴焊 9 块钢板,钢板尺寸为 8 mm×70 mm×500 mm(厚×宽×长),每块钢板之间预留 10 mm 间隙,总长 4 580 mm,在两端进行堆焊过渡,下部堆焊处将贴焊钢板与原主轨堆焊平整过渡,上部堆焊处按 1:5 放坡,贴焊钢板接头之间 10 mm 间隙处,贴焊钢板与原主轨焊接并堆焊平整,具体方案见图 4。两侧采取角焊缝,钢板中间塞焊孔焊满,并将各处打磨平整,确保工作阀门启闭时,主轮在贴焊钢板与原主轨之间平滑过渡。具

体方案见图 5。

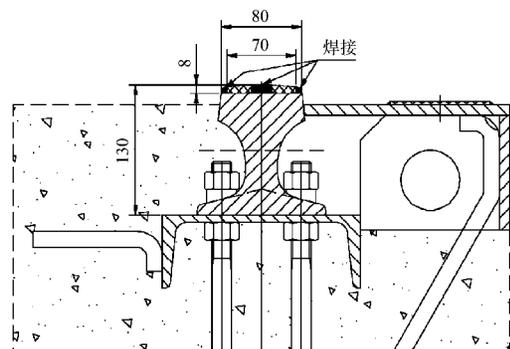


图4 主轨贴焊钢板横剖面(单位: mm)

Fig. 4 Cross-sectional of main rail welded steel plate (unit: mm)

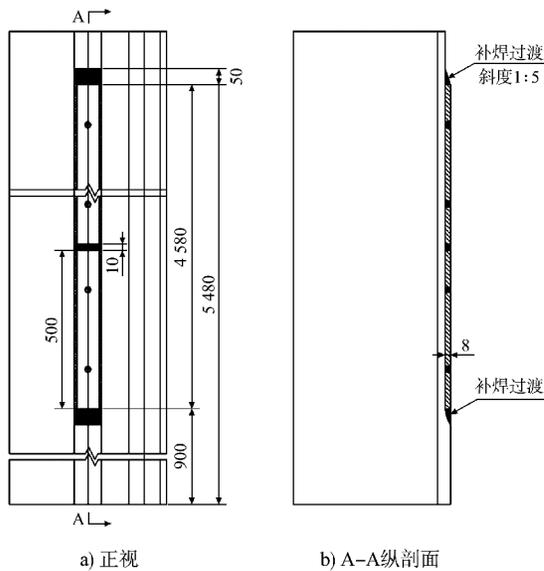


图5 主轨贴焊钢板图(单位: mm)

Fig. 5 Main rail welded steel plate diagram (unit: mm)

通过贴焊钢板采取分段钻塞焊孔的技术处理,一是便于线切割加工,提高工作效率;二是增加贴焊钢板与主轨焊接融合面积,提高贴焊结合强度,确保贴焊钢板牢固;三是当贴焊钢板受压变形或焊缝磨损到一定程度后发生脱落时,防止整块贴焊钢板卡在门槽内,对工作阀门运行产生卡阻,小尺寸分段钢板可在焊接处断裂后自行滑落,避免工作阀门卡阻问题发生。

3.2.3 焊接修复工艺

1) 原主轨处理。原主轨磨损段磨损平整均匀,经检测,工作段工作表面平面度 ≤ 2 mm,无需特殊加工和处理,采取钢丝球角磨机抛光打磨等方法,清除主轨表面锈蚀和杂物,直到可见金属色即可,并在焊接前用气割火焰对施焊位置进行均匀烘烤,保持焊接位置干燥。

2) 焊接要求。参考余选才等^[6]在起重机钢轨QU80开发实践,廖福龙等^[7]在QU80钢轨可焊性分析及窄间隙封闭式焊接工艺设计,吴雄先等^[8]在QU80起重机钢轨断裂原因分析中对QU80材料的相关性能论述,此处采用气体保护焊焊接方式,

选用CMC-80高强度焊丝,直径1.2 mm,该焊丝熔敷金属的抗拉强度最低值为800 MPa,焊接使用直流反接法,焊接电流200~230 A。

3) 焊接后打磨。焊接完成后,对焊接处进行检查,将高点磨平,检查修整后的轨道平面度,控制在标准范围内:2 m长度内平面度 ≤ 1 mm,局部 ≤ 2 mm,接头处顶面高低差 ≤ 1 mm。

4) 修复后检测。修复完成后,测量修复段门槽主轨与反轨之间的距离,均为920~925 mm(门槽主轨与反轨之间的设计值920 mm),大于主轮外径890 mm,满足设计和使用要求。同时参考陈景祥^[9]在飞来峡二、三线船闸人字门及阀门原型调试研究,以及胡亚安等^[10]在三峡船闸紧急关闭工况输水阀门工作条件原型观测中的论述,对工作阀门进行正常关闭和紧急关闭操作,工作阀门均运行平稳。

4 结论

1) 采取线切割主轨钢板贴焊技术措施,有效解决了QU80主轨修复中无适用板材、施工工期短等问题,技术方案可行有效,运行4个月后,进行水下摄像检查,贴焊钢板使用工况良好,工作阀门运行平稳。

2) 主轨贴焊钢板采取两侧角焊为主、中间塞焊加固、分段焊接防止钢板脱落卡门等技术措施,修复后的使用工况基本等同于原有主轨,可满足一个船闸大修周期(5~10 a)正常使用。

3) 对于运行频繁的船闸,为了提高工作阀门工作可靠性以及使用寿命,建议采用高强度、高硬度、高耐磨性材料,或者为了检修方便,采用可拆卸式主轨,磨损后直接更换。

4) 船闸抽水检修中,应重视门槽主轨的检查检测,当磨损量大于5 mm时,需及时进行修复处理。

参考文献:

- [1] 彭旭昌, 梁振城. 船闸充泄水阀门门槽主轨道磨损原因分析及处理[C]//中国航海学会船闸专业委员会2008年年会论文集. 北京: 中国航海学会, 2008: 67-70.
- PENG X C, LIANG Z C. Analysis and treatment of wear and tear of the main track of the ship lock filling and discharging valve slot [J]. Proceedings of the 2008 Annual Conference of the Ship Lock Committee of the China Institute of Navigation. Beijing: China Institute of Navigation, 2008: 67-70.
- [2] 李利强. 长洲1号船闸泄水工作阀门槽磨损分析处理探讨[J]. 红水河, 2009, 28(6): 64-68.
- LI L Q. Analysis and treatment of worn sluice service valve slot of 1[#] ship lock at Changzhou Hydraulic Complex [J]. Hongshui River, 2009, 28(6): 64-68.
- [3] 贺柏武, 尹斌勇, 赵娜. 船闸输水阀门工作异常原因分析及对策[J]. 2009(10): 135-137.
- HE B W, YIN B Y, ZHAO N. Analysis of and countermeasures for work abnormalities of lock's valve [J]. Port & waterway engineering, 2009(10): 135-137.
- [4] 尹斌勇, 杜丁, 莫雄, 等. 基于设备运行可靠性理论分析确定船闸输水阀门检修周期[J]. 湖南交通科技, 2024, 50(3): 177-181.
- YIN B Y, DU D, MO X, et al. Based on the theoretical analysis of equipment operation reliability, the maintenance period of ship lock water delivery valve is determined [J]. Hunan communication science and technology, 2024, 50(3): 177-181.
- [5] 湖南省交通规划勘察设计院. 湘江长沙综合枢纽两阶段施工图[R]. 长沙: 湖南省交通规划勘察设计院, 2010.
- Hunan Provincial Transportation Planning Survey and Design Institute. Construction drawing for two stages of Xiangjiang Changsha comprehensive hub [R]. Changsha: Hunan Provincial Transportation Planning Survey and Design Institute, 2010.
- [6] 余选才, 郑赞峰, 董茂松. 起重机钢轨QU80开发实践[C]//第十四届中国钢铁年会论文集. 重庆: [出版者不详], 2023: 1-6.
- YU X C, ZHENG Y F, DONG M S. Development practice of QU80 crane rail [C]//Proceedings of the 14th China Iron and Steel Annual Conference. Chongqing: [s. n.], 2023: 1-6.
- [7] 廖福龙, 李秀业, 李建青, 等. QU80钢轨可焊性分析及窄间隙封闭式焊接工艺设计[J]. 机械制造, 2014, 52(11): 76-77.
- LIAO F L, LI X Y, LI J Q, et al. Weldability analysis and narrow gap closed welding process design of QU80 rail [J]. Machinery, 2014, 52(11): 76-77.
- [8] 吴雄先, 余腾义, 杨兵. QU80起重机钢轨断裂原因分析[J]. 理化检验(物理分册), 2010, 46(12): 787-790.
- WU X X, YU T Y, YANG B. Fracture reason analysis of a QU80 crane rail [J]. Physical testing and chemical analysis (part a: physical testing), 2010, 46(12): 787-790.
- [9] 陈景祥. 飞来峡二、三线船闸人字门及阀门原型调试研究[J]. 珠江水运, 2019(24): 51-53.
- CHEN J X. Research on prototype commissioning of miter gate and valve of Feilaixia second and third line ship locks [J]. Pearl River water transport, 2019(24): 51-53.
- [10] 胡亚安, 严秀俊, 薛淑, 等. 三峡船闸紧急关阀工况输水阀门工作条件原型观测[J]. 水运工程, 2021(1): 1-5.
- HU Y A, YAN X J, XUE S, et al. Field-observation on filling and emptying valve of the Three Gorges ship lock in emergency case of closing valve under hydrodynamic load [J]. Port & waterway engineering, 2021(1): 1-5.

(本文编辑 赵娟)