

长洲 1#船闸泄水工作阀门槽磨损分析处理探讨

李利强

(广西长洲水电开发有限责任公司, 广西 梧州 543002)

【摘要】介绍长洲 1#船闸泄水工作阀门首次检修中发现的设备磨损情况, 分析原因并提出和实施相应对策, 进一步从门槽设计、制造安装和运行等方面提出防范和改进建议。

【关键词】船闸泄水阀门; 磨损; 反向止水; 修复处置; 改进建议

The analysis and Research on 1# Sluice Gate Valves Attrition of Changzhou Navigation Lock

Li Liqiang

(Guangxi Changzhou hydropower development co.Ltd, Guangxi Wuzhou 543002)

Abstract: This thesis mainly introduces the the equipment attrition situation of Changzhou 1# sluice gate valves when overhauling for the first time, analysis the reason and proposes the corresponding countermeasures, further from the door slot design, manufacture, installation and operation, etc. to prevent and put forward suggestions for improvement.

key word: Sluice gate valve, Attrition, Countermeasure, improvement suggestion

长洲 1#船闸泄水工作阀门槽磨损分析处理探讨

长洲水利枢纽工程是珠江水系西江干流广西境内最后一个梯级开发。坝轴线横跨两岛(长洲岛和泗化洲岛)三江(内江、中江、外江),挡水建筑物总长 3521.18m。船闸工程在枢纽外江右岸台地上开挖建成,为 1×1000t+1×2000t 级双线单级船闸,双线船闸共用上下游引航道。船闸处在国家级内河航道西江干线梧州段,下游距离梧州市约 12km。枢纽正常蓄水渠化干线航道 159 公里,航运地位十分重要,有广西内河航运的“咽喉”之称。长洲水利枢纽的建设极大地促进了西江航运的繁荣与发展。枢纽 1#船闸自 2007 年 5 月投产至 2009 年 5 月输水工作阀门首次检修已运行 12700 多闸次。现就 1#船闸(2000 吨级)输水廊道右泄水阀门槽首次检查维修中发现的磨损问题及其处理进行分析探讨。

1 1#船闸输水廊道右泄水工作阀门及门槽基本结构与磨损现象

1.1 1#船闸泄水工作阀门及门槽主要设计参数

1.1.1 潜孔式平板工作阀门

门槽孔口尺寸: 4.3m×4.7m, 反向止水方式(即阀门水封安装在工作门上游侧,靠水封预压缩达到阻断漏水的目的)。设计工作水头为 9.50m,最大工作水头为 15.5m。主要部件及设计参数如下:

水封型号规格: 阀门侧止水封、顶止水封采用的是“凸”型实心水封(SF6674,“桥 60—1”型。水封总高 50mm 凸部高 32mm),橡胶水封外表面镀有 1.0~1.2mm 的聚四氟乙烯抗磨层。工作阀门的主轮: 轮外径 750mm, II 类铸钢件,滚轮踏面宽 180mm。表面硬度为 HB270~280,硬层深度不小于 13mm;主轮使用轴承是调心滚子油脂润滑轴承(23248CA/W33)。

工作阀门的导向定位侧轮: 简支式侧轮 JJT-BC₁-1^[1]

门页总厚度 1100mm(门厚 940mm+主轮高 100mm+水封座板 10mm+水封 50mm),门页总宽 5644±5mm。设计阀门在门槽止水工作段内在水流方向形成 4mm 的预压缩量保证止水效

果。

1.1.2 工作门槽侧轨设计参数

轨道使用为【200 型槽钢，工作面厚度 9mm，Q235 钢材。门槽两侧轨间距离 $5660 \pm 10\text{mm}$ 。

1.1.3 主轨、反轨设计参数

主轨为 II 类铸钢件，材质 ZG40Mn₂，轨面承压面宽 180mm，边缘厚度 34mm。轨面硬度要求 $\text{HB} \geq 290$ ，硬层深度不小于 13mm。主轨工作面接头错位值不得大于 0.5mm。

反轨与门槽止水座面为组合作，采用 I 20a 工字钢（材质 Q235，宽 100mm，高 200mm）作为埋件支撑，在工字钢面板上加焊厚度 12mm 的 Q235 钢板作为工作阀门止水面向滑块的轨面，在面板上焊接 $4\text{mm} \pm 0.5$ 厚的不锈钢（1Cr18Ni9）止水座面。

设计门槽主轨与反轨间非止水工作段距离 1100^{+10}_{-4}mm ，止水工作段距离 1100^{+5}_{-2}mm ，门槽主轨与门槽止水板距离 1096^{+1}_{-2}mm 。

1.1.4 右泄水工作阀门及门槽检查测量情况

右泄水工作阀门吊出门槽检查门和门槽的情况如下。

(1) 右泄水工作阀门的四个主轮有不同程度的磨损，主轮轮缘顶部高出门体主梁背面板 103mm。下左主轮、下右主轮不能转动，轮缘出现卷边，下左主轮轮径磨损到 743~744mm（原轮径为 750mm），下右主轮轮径磨损到 744~745mm（原轮径为 750mm），两个主轮的轴、轴承及其附件全部损坏，轴承滚柱及内外套破碎。

(2) 门体“凸”型橡胶水封磨损量在 8~12mm；门体左梁上下游腹板侧面下部磨损最大处达 30mm。

(3) 四个侧轮中底部左右侧轮及支架不见；上左侧轮仅剩有被碰撞卷边痕迹的支架板；上右侧轮轮缘和轴承明显磨损。

(4) 右泄输水工作阀门的门槽磨损情况：

采用通过在轨道顶部平台处（▽23.6m）分别从右泄工作阀门井左、右门槽主轨、反轨和侧轨的轨道中心吊垂线至阀门井底部（▽-6.65m）进行垂度测量和磨痕部位的局磨损深度测量的方法进行检查。

1) 水封工作段右槽主轨与反轨距离（未磨损处）为 1095~1098mm，水封工作段左槽主轨与反轨距离（未磨损处）为 1095~1099mm。非工作段轨道均无磨损。

2) 右槽主轨在高程▽-5.1~▽-1.5 段存在较为严重的磨损现象，表现为主轨中心线外侧与门槽包边之间约有宽度 200mm，最大深度约为 10mm 的凹槽（如图 1），其余部位垂直度良好。

3) 左槽主轨道在高程▽-5.1~▽-1.5 段存在一定的磨损，程度较右槽轻，与右槽不同的是，左槽主轨面的磨损主要表现为主轨中心线内侧与二期混凝土之间约有最大深度约为 6mm 的磨损（图 2），

4) 侧轨、反轨垂直度较好，测得两侧轨间距离 5652~5672mm。在左槽侧轨局部区域存在较小的凹陷变形（高程约▽-1.5m 处有三处连续小型凹坑）；在左槽侧轨左右两侧从底部往上的二期混凝土面上，对称分布两条明显的刮痕，最大刮痕尺寸 $5.0\text{m} \times 0.05\text{m} \times 0.02\text{m}$ 。

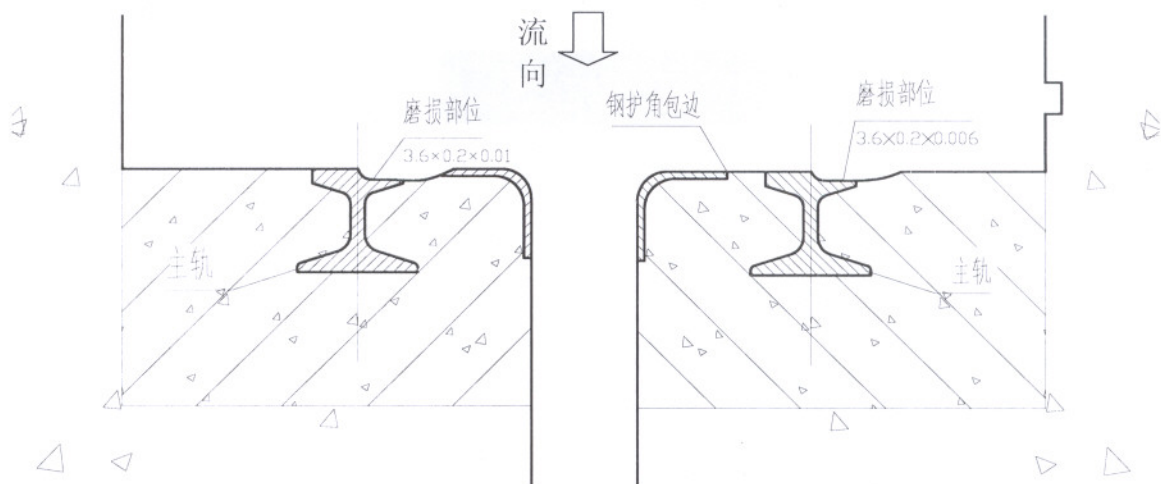


图1 右门槽主轨磨损示意图

图2 左门槽主轨磨损示意图

2 造成磨损的原因分析

门体及门槽制造装配及安装偏差过大是导致设备一系列磨损的主要原因。门体制造与装配的正偏差大于设计允许偏差。根据现场测得主轮磨损 3mm（半径方向），磨损后主轮轮缘仍高出门下游面板 103mm 的数据复原门体原装配总厚度为 1106mm（设计值为 1100mm）。而主轨与反轨侧不锈钢止水座板间安装间距的负偏差大于设计允许偏差。根据测得水封工作段未磨蚀部位主轨与反轨间距值 1095~1099mm，不锈钢止水座板按照比反轨高出 4 ± 0.5 mm 焊接加工，则推算出主轨与反轨侧不锈钢止水座板距离为 1091~1095mm（设计值为 1094~1100mm）。综上分析，原门体总厚比止水工作段的主轨与止水座板间距大 9~15mm。而设计的水封预压缩量仅为 4mm，水封厂家要求的该型号规格产品止水间隙预压缩量仅为 3mm。^[2]由此可见，门体水封在门槽工作段的被压缩量远大于设计值和橡胶水封厂家要求值。门体主轮、轨道和橡胶水封门体水封在运行中受压严重超载，导致主轨面、主轮面和水封工作面磨损严重。门体下方的主轮最先进入工作段，且主轨槽越往下槽间距越偏小，因此这也是门体下方主轮受超载最大，主轮轴承碾子、轴套、压盖全部开裂变形的主要原因。由于实际安装的右门槽比左门槽更窄，闸门下落时，门体下右主轮（受损最严重）被卡住，门体在自重和启闭机连杆重力作用下往左侧倾斜下落，导致门体左侧导轮与侧轨碰撞，从而留下了“左槽侧轨局部区域存在较小的凹陷变形（高程约▽-1.5m 处有三处连续小型凹坑），上左侧轮被撞脱，侧轮支架板有被撞成卷边”的痕迹。这也是右主轨磨损程度大于左主轨的原因所在。门体落不到位，在水位差作用下的高速水流冲击门体下方的左右侧轮，形成局部强烈振动，侧轮的装配螺栓被振动松脱，导致侧轮及支架被整体冲走。失去侧轮导向的门体在提落门过程中受卡更加发生侧向晃动，特别是在提门时仍然是右侧被卡的阻力大，门体向右倾斜，导致门体左梁上下游腹板侧面下部直接刮磨在左侧轨两侧的二期混凝土上，从而留下了“门体左梁上下游腹板侧面下部磨损最大处达 30mm；在左槽底部往上的侧轨左右两侧二期混凝土面上，对称分布两条明显的刮痕”的磨损情况。

从设计图纸分析，也存在设计对门体、门槽制作和安装的误差要求不合适，无法可靠保证门体与门槽之间的止水配合达到设计目标值。如：设计标注门体总装后的厚度要求为 1100mm，而标注的水封允许厚度偏差是 ± 1 mm。标注的止水工作段主轨与反轨安装距离 1100⁺³₋₂mm，主轨与门槽止水板安装距离 1096⁺¹₋₂mm。标注的不锈钢焊接在反轨上的厚度偏差是 4 ± 0.5 mm，这些标注之间数值关系存在不能相互印证。当门槽主反轨距离发生最大允许正偏差时水封与止水座间会出现 1mm 的间隙，或者运行中水封与主轨、主轮的磨损厚度之和大于安装时的预压缩量时水封与止水座间也会出现间隙。由于闸门设计为反向止水方式，间隙无法通过水压差压紧闭合。在水压差作用下通过水封间隙形成的高速水流造成对门体、主轮侧

轮的冲击振动,同时高速水流夹带的泥沙颗粒通过间隙缝对水封和止水座表面产生磨蚀作用,使输水工作门运行工况越来越恶化。

3 问题处理

3.1 对主轨磨损的处理

据了解,对磨损严重的主轨,目前最好处理方法是拆除磨损件和该部位二期混凝土,安装新的轨道,重新浇筑二期混凝土,使修复后的轨道门槽达到设计和规范要求。在应急修复方面,也有使用 A3 钢板补焊的处理方式,但效果不理想。鉴于受损主轨为铸轨,制造周期长;主轨更换工程量大,工期长,前期准备工作多;主轨更换的施工最好是结合闸室排干水后进行,此情况下可利用检修门槽的通道作为施工通道等综合因素,我们决定还是采用修补的应急处理方式。为提高处理效果,探索修复新工艺新方法,重点从选材和焊接工艺控制上进行创新和把关。

3.1.1 修复方案

3.1.1.1 主轨修复材料的选择

根据设计提出的主轨轨面硬度要求 $HB \geq 290$,选择焊接性能和力学性能良好的 Q345 锰钢板(HRC25 左右或 HB300 左右)作为修补的主材。为提高焊接的质量,要求施工中采用具有与母材熔合性好、抗冲击耐磨性能好、焊缝成型好、塑性、韧性好的焊条,据此选择 GB984—85EDTW-A-15 D707 高效碳化钨堆焊合金焊条,此焊条焊可用于堆焊耐岩石强烈磨损之机械零件,堆焊层可达到硬度 $HRC \geq 60$ 。

3.1.1.2 修复处理原则

为了尽可能减少对主轨的维修工作量,对磨损量不大于 2mm 的部位,仅作过渡打磨消除轨面台阶处理;对磨损量大于 2mm 小于 6mm 的部位,对磨损表面打磨清理后采用 D707 高效碳化钨堆焊合金焊条堆焊修复;对磨损量大于 6mm 的部位,将其统一打磨到 10mm 深度,采用锰钢板和 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。

轨道焊接修复后对表面进行打磨处理达到规范要求,保证过渡面平顺。轨道焊接修补势必因高温破损其周边的二期混凝土,因此对修复的轨道两侧二期混凝土要求进行化学灌浆加固,确保整个轨道平整,支撑牢固。

3.1.1.3 焊接修复工艺要求

1、将主轨受压磨损部位分 3 个深度类型进行角磨机(碳弧气刨或氧割)处理,彻底打磨清根修整,使主轨磨损面平整规则,高差 $\Delta h \leq 2mm$ 。

2、对补强锰钢板按现场打磨深度 10mm 的范围大小加工好,补强钢板平直无翘曲。在补强板上钻不小于 $\Phi 35mm$ 塞焊孔,孔距约 100~150mm,然后将补强钢板与原主轨打磨部位镶嵌贴紧,对补强钢板与主轨面按要求进行塞焊和补强钢板四周围焊。

3、要求焊接使用直流反接法,参考焊接电流(DC):焊条直径(MM) 3.2 4.0 5.0 焊接电流(A) 70~120 140~180 180~220。

4、焊前焊条须经 300~350℃烘焙 1h,对主轨堆焊和补板塞焊焊接前,应对焊接部位预热,温度为 400~500℃。

5、焊接打磨处理后检查修整后的轨道平面度控制在标准范围内。

3.1.1.4 环氧类化学灌浆补强加固

由于焊接高温可能导致的支撑主轨的二期混凝土发生煅烧破坏以及二期混凝土可能存在的局部脱空、不密实等现象,在完成对主轨加焊钢板的焊接工作之后,对主轨两侧的二期混凝土部位进行纯压式环氧基液固结化学灌浆。

灌浆流程:准备工作→灌浆孔钻孔($\Phi 14$,孔深 20cm)→埋设灌浆管($\Phi 8$)→压风压水试验(压力控制在 0.2MPa 左右)→化学灌浆(压力不宜高于 0.3MPa)→屏浆→封孔→灌浆结束。

3.1.1.5 工期控制及其他

本项目打磨、焊接、钻孔灌浆由于工作面狭小,工作环境恶劣,难度较大,所需工期相

对较长，评估控制工期为 9 天。由于修补的工艺要求高，专门设置旁站监理对每一道工序进行现场监督和确认。

由于施工区域在地面以下 34m 的井式潮湿环境，工作面要开展打磨、焊接、灌浆、吹扫、设备加热等一系列作业，施工安全保证尤其重要，要求必须具备以下安全措施：1) 对井下工作照明采用行灯变供给 12V 行灯照明；2) 对施工器具用电通过漏电开关接入；3) 使用带电工具作业的人员必须使用绝缘防护用品（绝缘手套、绝缘鞋、防尘面具、护目镜等）；4) 在井下搭设脚手架工作平台，做好防坠落措施；采用空压机向井下布设风管正压式送风换气；5) 采用“门机+吊篮”作为上下井交通工具和应急工具，设置专人全程监护；6) 采用对讲机作为井上井下通讯联络方式，保证信息畅通。

3.1.2 修复的结果

修复后测得修复段的门槽主轨与反轨之间的距离：左槽为 1100~1102mm，右槽为 1100~1102mm，符合设计要求（见表 1）。

表 1 修复结果表

项 目 区 段		磨损情况描述	采取的修复方案
左槽主轨 ▽-5.25~▽-3.65		主轨靠内一侧主轨磨损，磨损程度较轻，深度在 5mm 以内	堆焊处理，长度 1600m；
右槽主轨	▽-5.15~▽-5.02	该段总长，是磨损段与未磨损段之间的过渡段外，磨损深度整体在 5mm 以内	堆焊处理，长度 130mm；
	▽-5.02~▽-4.36	该段总长，磨损深度较为严重，大部分深度在达 10mm，局部深度较浅，在 5mm 左右	加焊锰钢板补强，钢板厚度 10mm，长度 660mm。
	▽-4.36~▽-3.80	该段总长，除上）下过渡段外，原磨损深度整体在 8mm 左右	加焊锰钢板补强，钢板厚度 10mm，长度 560mm。
	▽-3.80~▽-3.20	该段总长 600mm，是磨损段与未磨损段之间的过渡段外，磨损深度整体在 5mm 以内	堆焊处理，堆焊长度 600mm；

3.2 对门体附件磨损的处理

对门体安装新的四个侧轮及轮座，为防止侧轮及轮座的装配螺栓再次被泄漏的高速紊流冲击震动造成螺母松动脱落导致侧轮或轮座脱落，对侧轮轴卡板螺母和轮座螺母紧固后再点焊锁固。鉴于门体止水封橡胶整体磨损均衡，未有撕裂、缺口现象，水封凸面仍高出水封压板约 10mm 左右；主轮虽然磨损了 3mm 左右（半径方向），但实测轮缘最高处仍高出 103mm（设计值 100mm），更换主轮轴承复测门体总厚度为 1093—1096mm。补焊处理后的主轨水封工作段与反轨的距离为 1095~1102mm。为减轻工作中门体对主轨修复面的正压力，本次门体检修未更换新的橡胶水封和主轮，仅更换了两个破损的主轮调心滚子轴承及其附件，对全部主轮轴承加注润滑脂，调整限偏螺栓，修正主轮轮缘卷边和圆度，保证修复后主轮、侧轮转动良好无跳动卡阻。

4 技术探讨与进步

通过对上述磨损问题的分析与处理，笔者认为，为提高工程的运行可靠性和工程设施后续检修便捷、降低工程维修成本，首先应严格控制输水工作门体和门槽制造安装误差和施工质量，通过调试优化工作门的运行方式达到改善动水启门的水流流态。另外在船闸输水廊道工作阀门及门槽的设计和施工上存在以下值得商榷改进的方面。

1、船闸输水门主轨属于预埋的磨损件，在输水门提落过程中轨面发生磨蚀现象是必然的。为

避免在轨道修复时破除原主轨二期混凝土,提高维修效率、降低维修成本、缩短工期,建议将目前主轨整体铸造安装浇筑改为主轨分层设计制造安装^[3]:即将主轨设计成轨道基座层和轨道抗磨工作层,轨道基座层在船闸建设或改造时通过二期混凝土及预埋筋安装浇筑固定,轨道工作层则通过可拆卸装配方式安装在轨道基座层上。这样当轨道发生磨损时只需要更换轨道抗磨工作层即可,不用破除轨道基座及其二期混凝土。在主轨埋件设计时应重点考虑轨道基座层和轨道抗磨工作层易装拆、固定和尽可能消除高水头紊流对轨道突出部分的冲蚀。

2、由于船闸输水门水下工作环境恶劣,主轮轴承采用需要油脂润滑的调心滚子轴承很难实现对轴承的润滑和密封维护,目前能适应水下环境工作的免维护自润滑轴承的制造和使用寿命均有很广泛的运用,建议在船闸输水门主轮设计改造方面优先选择免维护的滑动免维护轴承。提高轴承工作可靠性,减少检查维护工作量。同时,为减轻单个主轮对轨道的压力,建议对大型平面式输水门采用台车轮的结构形式,将原来的4个轮改为4组8个轮的形式,从而改善轮和主轨的受力工况。

3、侧轨作为预埋件,要对在动水紊流状态下几十吨重的阀门起到导向作用必然会受到侧轮的导向摩擦发生磨蚀,目前设计施工使用的普通槽钢(Q235钢)显然易被磨损。被磨损后进行轨道的更换修复需要凿除原二期混凝土重新安装轨道重新浇筑,需要投入大量的人力物力财力,增加了后续生产成本和检修维护工作量。建议设计建设时采用硬度高、抗磨蚀性能好的锰钢材料,同时增加侧轮厚度,改善侧轨的受压力,从而提高门槽的使用寿命。也可以考虑主轨与主轮的配合形式参照火车轨道与车轮的配合方式,即主轮与主轨同时起到导向作用。这样可以取消侧轨和门体侧轮的设计和施工。减少工程建设时预埋件和二期混凝土施工量和后续维护量。

4、输水门的正向止水方式因水封设在门体下游面,与主轮同侧,具有在水位差作用下压紧水封,即使水封无预压缩量门同样通过水位差实现可靠止水;同时当主轮和门槽的磨损可补偿橡胶磨损时的可压缩量。输水门及门槽轨道的受力情况和水封止水可靠性明显优于反向止水结构方式。因此在输水工作门止水方式的设计选择方面建议优先使用正向止水方。

作者简介: 李利强(1973—),男,工程师,学士,毕业于湖南省水利水电学校水电站动力设备专业,广西大学电气工程及其自动化专业,在广西长洲水电开发有限责任公司主要从事水电站工程建设与生产运营管理工作。

通信地址: 广西梧州市新兴三路金苑时代广场16楼 广西长洲水电开发有限责任公司 543002 联系电话: 13977488765 E-mail: zgxcw@163.com

参考文献:

- [1] 原水利水电部水电规划设计院,全国水工金属结构产品行业规划技术委员会.水工闸门侧轮反向装置定型设计图册[M].1988年.
- [2] 陈启内.水利水电工程闸门水封应用手册[R].成都:成都市蜀都水利水电工程配件总厂,2006年.
- [3] 陈国军,沈伯明.船闸阀门主轨道的改造及其应用[A].高雄.船闸科技2002—2005年度优秀论文集[C].湖北宜昌:中国航海学会船闸专业委员会,2006年.14—18.