



西津二线船闸阀门段空化特性及抑制效果

邓倩玉, 严秀俊

(南京水利科学研究院, 通航建筑物建设技术交通行业重点实验室, 江苏南京 210029)

摘要: 针对船闸阀门段空化问题, 以新建的西津二线船闸为例开展原型观测研究, 观测表明: 充泄水阀门采用设计阶段阀门模型推荐的门楣体型, 原型中实现了门楣自然通气, 充泄水阀门双边开启最大通气量分别为 0.11 、 $0.17 \text{ m}^3/\text{s}$ 。门楣通气抑制阀门段空化效果显著, 整个阀门开启阶段, 阀门未听见不通气存在的明显的空化泡溃灭声及雷鸣声; 与不通气相比, 门楣通气后充泄水阀门双边开启过程中空化噪声强度平均降低 60% 、 82% ; 充泄水过程中, 阀门顶声级计在开阀期间所采集的平均噪声分别为 68 、 79 dB ; 门楣通气后, 阀门吊杆振动得到明显改善。防空化措施能够有效保护阀门及阀门段廊道免受空蚀侵害, 保障船闸安全高效运行。

关键词: 西津二线船闸; 输水系统; 空化特性; 原型观测

中图分类号: U641.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)02-0086-08

Cavitation characteristics and suppression effect of valve section of Xijin Second Line Ship Lock

DENG Qianyu, YAN Xiujun

(Key Laboratory of Navigation Structures, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: The prototype observation study is carried out for the valve section cavitation problem of the ship lock, taking the newly built Xijin Second Line Ship Lock as an example, the observation shows that the valve slit type recommended by the valve model at the design stage is adopted for the water filling and draining valve, and the natural ventilation of the valve slit is realized in the prototype, and the maximum ventilation volume for the bilateral opening of the water filling and draining valve is 0.11 and $0.17 \text{ m}^3/\text{s}$ respectively. The effect of valve slit ventilation to suppress the valve section cavitation is remarkable: throughout the valve opening stage, the obvious cavitation bubble collapse sound and thundering sound which existed without ventilation are not heard at the top of the gate. Compared with no ventilation, the cavitation noise intensity during the bilateral opening of the valve is reduced by 60% and 82% on average after the valve slit is ventilated. The average noise collected by the sound level meter at the top of the gate during the valve opening process is 68 and 79 dB respectively. The vibration of the valve boom is significantly reduced after the valve slit is ventilated. The anti-cavitation measures can effectively protect the valve and the valve section corridor from cavitation and ensure the safe and efficient operation of the lock.

Keywords: Xijin Second Line Ship Lock; filling and emptying system; cavitation characteristics; prototype observation

1 工程概况

西津水利枢纽位于横贯两广的水上运输大动脉西江航运干线上, 是以发电、通航为主, 兼顾

灌溉效益的水利水电综合利用枢纽工程^[1]。作为一座中高水头船闸, 西津二线船闸的输水阀门段水流空化及闸室内船舶系缆力等水力学问题较为

收稿日期: 2023-05-20

作者简介: 邓倩玉 (1998—) 女, 硕士研究生, 从事通航建筑物相关领域研究。

突出, 且该船闸作为西江航运干线中南宁—梧州段4个渠化梯级的第1个梯级, 其性能优劣直接影响到西江黄金水道的航运畅通与否, 具有十分重要的航运地位。

阀门作为船闸输水系统的咽喉, 运行时承受着复杂的高速水流, 伴随而来的空化常常对阀门面板、门楣及阀门后廊道造成严重的空蚀破坏, 影响船闸的正常运行, 甚至引发重大安全事故^[2]。

研究实践表明, 阀门空化将直接影响船闸运行安全及效率, 是中高水头船闸设计中最为关键的技术问题。西津二线阀门最大工作水头20.3 m, 阀门空化特性及抗空化措施须重点关注。

近年来, 对于船闸阀门段空化的防护措施主要采用主动防护与被动防护相结合的“新型阀门段廊道体形+通气措施”, 此方法突破对空化“严防死守”的传统观点, 创新性地允许廊道体形发生空化的同时, 采取通气技术解决发生的空化^[3]。西津二线的船闸阀门段防空化设计也遵循该思路, 采用“顶部渐扩+平底”的廊道体形^[4], 具体廊道体形设计见图1。通过顶部渐扩增加门后压力、减少门后脉动、避免廊道顶部集气, 且简单的平底廊道体形与“底扩”、“顶扩”等廊道体形相比, 可减少工程成本, 降低施工难度, 同时避免跌坎和升坎自身空化的产生。对此体形下产生的空化则采用门楣自然通气抑制, 门楣采用通气量稳定的“扩散型”体形, 见图2, 阀门门楣通气管及廊道顶排气管布置见图3。

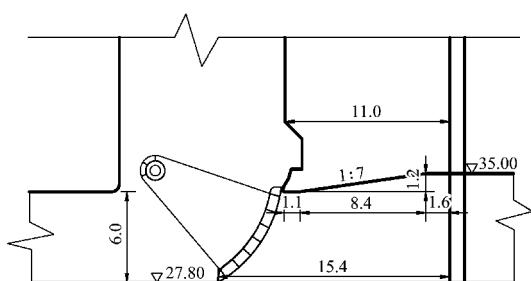


图1 西津二线船闸廊道体形 (单位: m)

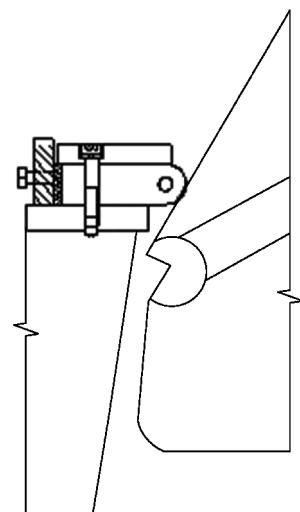


图2 西津二线船闸门楣体形

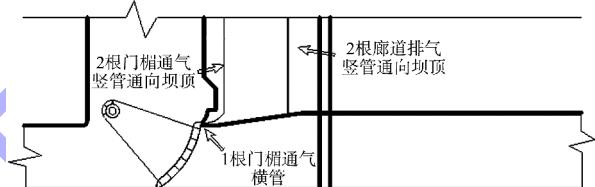


图3 西津二线船闸门楣通气管及廊道顶排气管布置

西津二线船闸输水廊道工作水头达20.3 m、阀门处廊道孔口尺寸为4.5 m×6.0 m(宽×高)、初始淹没水深仅8.0 m, 决定了阀门运行时, 水动力学条件复杂, 且作为高水头船闸缩尺效应明显, 原型的水力现象较模型更为强烈, 因此开展船闸原型调试与水力学观测十分必要。本文重点介绍西津二线船闸阀门段空化特性及主要观测调试成果, 验证在设计阶段阀门水力学模型提出的抗空化措施的效果。

为监测充泄水过程阀门井及下检修门井的空化特性, 在上游左侧充水阀门井、下检修门井、下游左侧泄水阀门井及下检修门井共布置4个水听器, 监测闸室充、泄水过程中阀门段空化状态, 2 MHz高频采集并保存空化溃灭过程产生的空化瞬态波形, 对每个波形进行标准偏差计算并实时图像显示, 无数个标准偏差形成连续图像, 称为空化噪声强度, 其较为客观地反映了空化初生和发展的过程。在各门楣通气管进口布置感应式电

阻风速仪，监测门楣通气管风速，计算门楣通气量。在阀门井下检修门井闸顶布设空气声级计，监测阀门段空化抑制后的闸顶空气噪声。在各充泄水阀门吊杆与启闭油缸活塞杆链接处安装三向振动加速度传感器，对比阀门空化抑制与否对吊杆振动特性的影响。

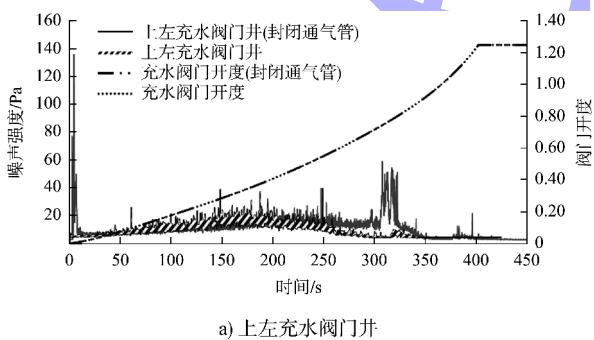
2 船闸充水空化特性

2.1 双边充水

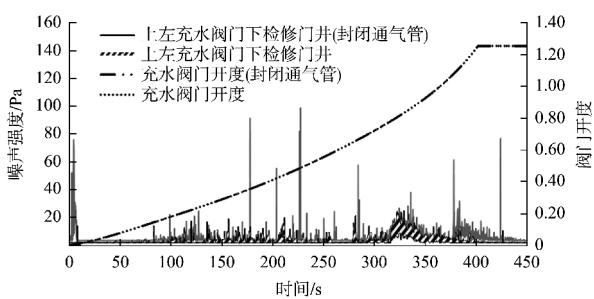
2.1.1 门楣自然通气管封闭与否空化特性对比

为了解西津二线船闸充水空化特性，首先将阀门门楣自然通气管封闭，运行工况为上游水位 61.4 m，闸室初始水位 43.1 m，船闸工作水头 18.3 m，双边阀门以 $t_v = 6.70$ min 速率开启至 1.25 开度（阀门超过全开行程，为初始编程及吊杆行程限位开关设置问题，不影响输水廊道空化特性的观测），其中 6.08 min 时开至 1.00 开度。再进行相同工况打开门楣自然通气管盖板对比观测。

船闸双边阀门开启，门楣通气管封闭与否充水阀门井及下检修门井空化噪声强度对比见图 4。充水阀门门楣自然通气量见图 5。门楣通气时充水阀门下检修门井闸顶空气噪声水平见图 6。



a) 上左充水阀门井



b) 上左充水阀门下检修门井

图 4 充水阀门井及下检修门井空化噪声强度对比

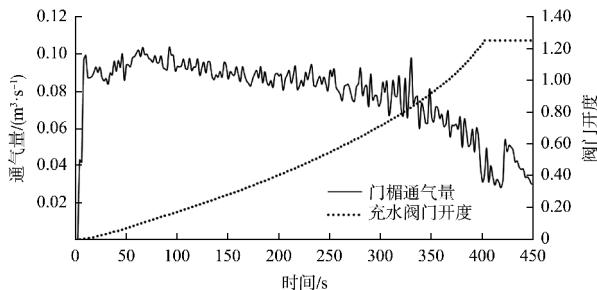


图 5 船闸双边充水阀门门楣自然通气量

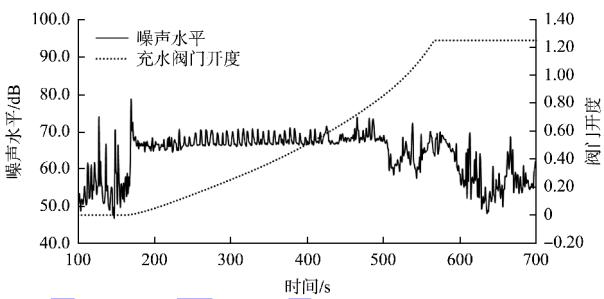


图 6 自然通气条件下充水阀门下检修门井闸顶空气噪声水平

在门楣不通气的情况下，双边充水时在阀门开启瞬间，充水阀门井监测到较强空化信号，为阀门顶止水脱离门楣初期，止水头部空化及启闭系统克服阀门由静而动的冲击荷载所致，该现象在其他中高水头船闸均存在，也是无法避免的；充水阀门井空化强度随阀门开启而逐渐增强，在 0.30~0.60 开度基本保持在 20 Pa 以上，有间歇性高脉冲信号；在 0.70~0.80 开度时噪声本底整体抬高，空化有所增强，空化噪声强度达 50 Pa；阀门全开后，偶有脉冲信号，为门井漩涡水流所致。充水阀门的下检修门井总体空化噪声强度较低，阀门开启过程中出现几次较大的间歇性空化，噪声强度均在 50 Pa 以上，最大达到 99 Pa。在闸顶能够明显听见空化溃灭的噼啪声及间歇性的闷雷轰隆声，说明西津二线船闸充水阀门段在门楣不通气时存在较强空化。

观测表明：西津二线船闸充水阀门采用设计阶段阀门模型推荐的门楣体形，原型中实现了门楣自然通气，平均通气量为 $0.08 \text{ m}^3/\text{s}$ ，最大通气量为 $0.11 \text{ m}^3/\text{s}$ ，门楣通气后输水廊道段空化噪声强度整体显著降低，阀门开启过程中充水阀门井空化脉冲信号过程线较为平稳，除个别脉冲外，

整体空化噪声强度在 20 Pa 以下, 阀门开到 0.88 开度后空化噪声基本消失, 全过程噪声强度脉冲不超过 40 Pa, 较门楣不通气工况空化噪声强度脉冲平均降低 60%; 充水阀门井下检修门井空化信号较门楣不通气工况大幅下降, 在 0~0.75 开度空化噪声强度除少部分脉冲外, 基本保持在 10 Pa 以下, 个别较大噪声强度均不超过 18 Pa; 在 0.75~0.85 开度空化噪声强度有一定的抬升, 最大不超过 20 Pa, 空化噪声强度较不通气工况脉冲平均降低 80%。整个阀门开启阶段, 阀门无明显的空化泡溃灭声和雷鸣声。闸顶空气声级计在开阀期间除开启瞬间外所采集的噪声水平基本保持在 65~72 dB, 整体较为平稳, 未出现较大脉冲。门楣自然通气能够有效抑制充水阀门段空化。

2.1.2 门楣自然通气抑制吊杆振动效果

充水阀门吊杆横向和纵向振动幅度不大, 因此选取振动相对较大的阀门吊杆垂向振动进行门楣通气与否对比, 以此观察门楣通气在抑制空化同时, 对吊杆振动是否也有抑制作用。门楣通气与否充水左侧阀门垂向振动加速度对比见图 7。相对于特意封闭通气管, 门楣在自然通气工况下, 吊杆最大振动加速度从 0.50 m/s^2 改善到 0.22 m/s^2 , 在振动幅度较大的阀门 0.30~0.80 开度, 平均振动加速度从 $-0.24 \sim 0.20 \text{ m/s}^2$ 减缓到 $-0.09 \sim 0.04 \text{ m/s}^2$, 通气后阀门吊杆整体振幅较发生空化工况降低了 70%, 门楣自然通气抑制阀门吊杆振动效果也较为显著。

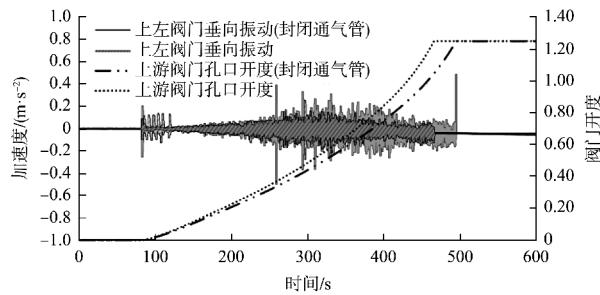


图 7 门楣通气与否上左充水阀门吊杆垂向振动对比

2.2 单边充水

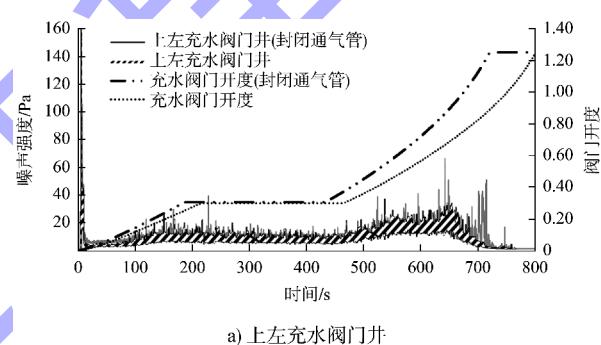
2.2.1 门楣自然通气管封闭与否空化特性对比

为对比门楣通气效果, 单边充水时先封闭阀

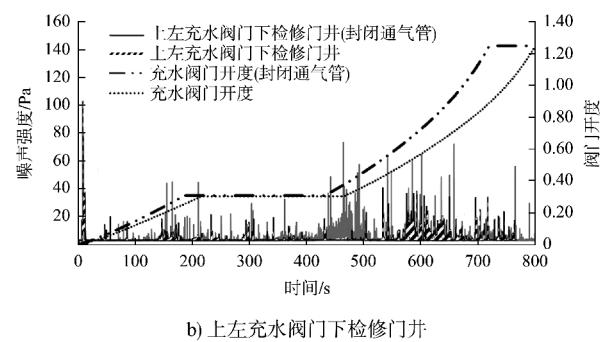
门门楣通气管, 运行工况为上游水位 61.5 m, 阀门初始水位 43.1 m, 船闸工作水头 18.4 m, 充水阀门间歇开启, 以 $t_v = 7.13 \text{ min}$ 速率开至阀门行程 2.16 m(阀门孔口开度 $n = 0.3$), 停机 4.17 min, 再连续开启至 1.25 开度。

打开门楣自然通气管盖板, 船闸单边运行工况为上游水位 61.5 m, 阀门初始水位 43.3 m, 船闸工作水头 18.2 m, 阀门以 $t_v = 7.58 \text{ min}$ 速率开至阀门行程 2.16 m(阀门孔口开度 $n = 0.3$), 停机 4.17 min, 再连续开启至 1.25 开度。

充水阀门井及下检修门井的空化噪声强度对比见图 8。通气条件下充水阀门下检修门井闸顶空气噪声水平见图 9。



a) 上左充水阀门井



b) 上左充水阀门下检修门井

图 8 充水阀门井及下检修门井空化噪声强度对比

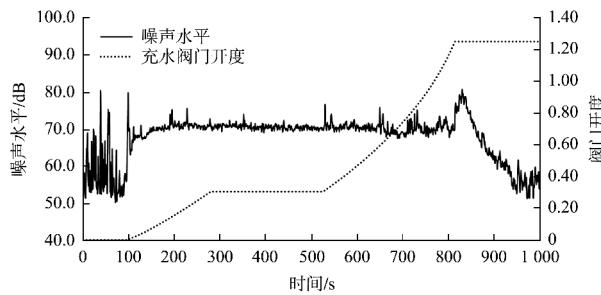


图 9 自然通气条件下充水阀门下检修门井
闸顶空气噪声水平

观测表明：门楣不通气情况下，单边充水时在阀门开启瞬间，充水阀门井监测到较强空化信号。阀门间歇开启停机阶段，充水阀门井空化强度基本保持在 15 Pa，随后阀门继续开启而空化噪声强度逐渐增强，在 0.50~1.00 开度基本保持在 20 Pa 以上，部分脉冲信号达到 40 Pa 以上，最高达到 66 Pa。阀门全开后，有较为集中的脉冲信号，部分脉冲信号达到 40 Pa，为门井漩滚水流所致。充水阀门的下检修门井空化噪声强度整体较低，但是阀门局部停机前后时段，由于“非恒定流到准恒定流”流态改变，重新开启前后时段，由于“准恒定流到非恒定流”流态改变，空化脉冲较为密集，脉冲均在 30 Pa 以上，最大达到 79 Pa。在闸顶明显听见空化溃灭的噼啪声及持续的闷雷轰隆声。门楣不通气时，单边充水时阀门段存在较强空化。

门楣自然通气后，输水廊道段空化噪声强度整体显著降低，阀门开启过程中充水阀门井空化脉冲信号过程线较为平稳。阀门开启初期至停机阶段，整体空化噪声强度在 10 Pa 左右；阀门间歇开启后空化噪声随之抬升，除个别脉冲外基本不超过 23 Pa，最大空化噪声为 37 Pa，在阀门开到 0.76 开度之后，空化噪声强度逐渐降低，至 0.88 开度后基本消失。空化噪声强度大幅脉冲较不通气工况平均降低了 43%。充水阀门井下检修门井空化信号，较门楣不通气工况大幅降低，在 0~0.30 开度空化噪声强度基本保持在 3 Pa 以下，0.30 开度停机期间空化噪声强度除少部分脉冲外，基本保持在 3 Pa 以下，个别较大噪声强度均不超过 18 Pa，而后阀门继续开启至 0.45 开度期间，空化噪声强度仍维持相对稳定状态不超过 3 Pa，在 0.45~0.64 开度空化噪声强度随阀门开启有一定的抬升缓落，基本保持在 11 Pa 以下，最大不超过 40 Pa，在 0.64~1.00 开度阀门空化噪声强度基本稳定在 4 Pa 以下，个别脉冲超过 20 Pa，最大不超过 30 Pa，较不通气空化噪声强度脉冲平均降低了 78%。整个阀门开启阶段，闸顶未听见明显的空化泡溃灭声和雷鸣声。下检修门井闸顶声级计在开阀期间

所采集的噪声大小基本保持在 70~75 dB，整个过程噪声平稳，为水流漩滚引起。门楣自然通气能够有效抑制充水阀门段空化，保障单边间歇充水安全运行。

2.2.2 门楣自然通气抑制吊杆振动效果

门楣通气与否充水左侧阀门垂向振动对比见图 10。相对于特意封闭通气管，门楣自然通气工况下，吊杆最大振动加速度从 0.98 m/s^2 的变幅改善到最大 0.52 m/s^2 ，在振动幅度较大的阀门 0.40~1.00 开度，平均振动加速度从 $-0.47 \sim 0.21 \text{ m/s}^2$ 减缓到 $-0.19 \sim 0.09 \text{ m/s}^2$ ，通气后阀门吊杆整体振幅较发生空化工况降低了 59%，门楣自然通气抑制充水阀门吊杆垂向振动也较为显著。

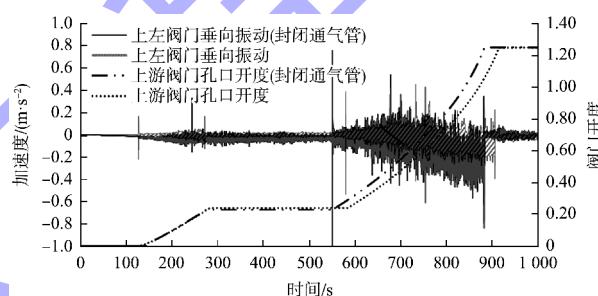


图 10 阀门吊杆垂向振动对比

3 船闸泄水空化特性

3.1 双边泄水

3.1.1 门楣自然通气管封闭与否空化特性对比

为了解西津二线船闸泄水空化特性，首先进行封闭阀门门楣自然通气管试验，运行工况为上游水位 61.5 m，闸室初始水位 43.1 m，船闸工作水头 18.4 m，阀门以 $t_v = 8.03 \text{ min}$ 速率开启至 1.25 开度，其中 7.35 min 时开至 1.00 开度；再进行打开门楣自然通气管封堵盖板观测，运行工况为上游水位 60.8 m，闸室初始水位 42.8 m，船闸工作水头 18.0 m，阀门以 $t_v = 5.62 \text{ min}$ 速率开启至 1.25 开度，其中 5.27 min 时开至 1.00 开度。

泄水阀门井及下检修门井对应的空化噪声强度对比见图 11。自然通气工况下双边泄水阀门门楣通气量见图 12。泄水阀门井下检修门井闸顶空气噪声水平见图 13。

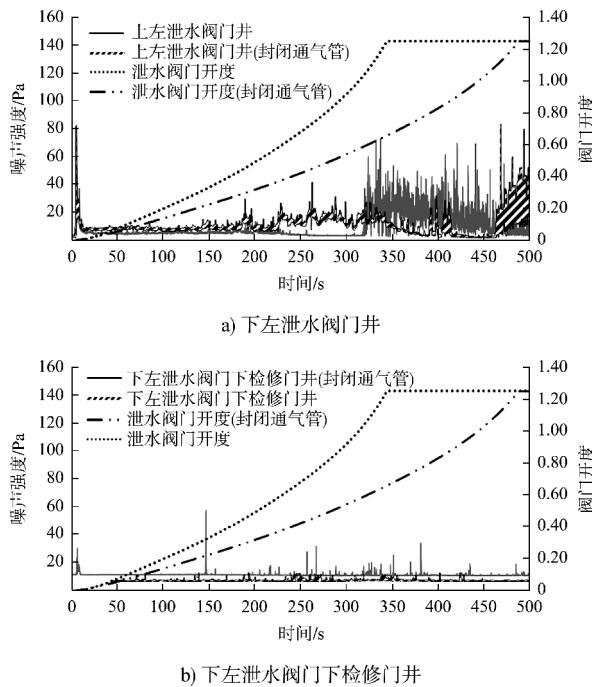


图 11 泄水阀门井及下检修门井空化噪声强度对比

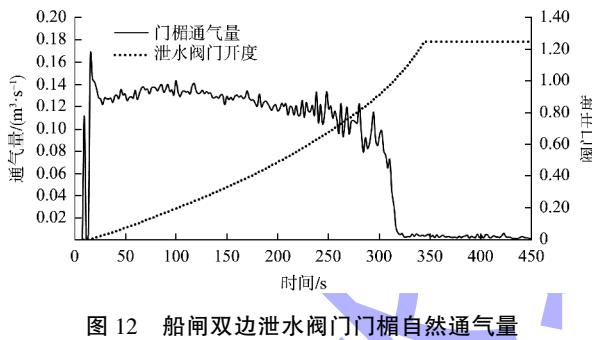


图 12 船闸双边泄水阀门门楣自然通气量

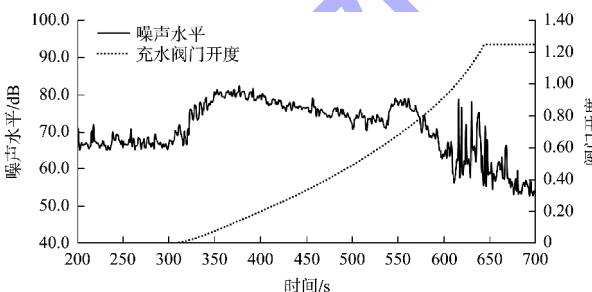


图 13 自然通气条件下泄水阀门井空气噪声水平

门楣不通气的情况下, 双边泄水时在阀门开启瞬间, 泄水阀门井监测到较强空化噪声。泄水阀门井空化强度在 0~0.21 开度基本保持在 11 Pa; 在 0.21~0.66 开度, 空化噪声强度整体有所抬升, 平均达到 22 Pa, 最大达到 42 Pa; 0.66~1.00 开度泄水阀门井空化噪声强度有所回落, 但仍有部分较强脉冲可达到 32 Pa。全开之后监测到的较强噪声为水流漩滚产生, 而非空化溃灭所致。泄水

阀门的下检修门井总体空化噪声强度较低, 但是阀门开启阶段持续出现几次间歇性空化脉冲, 强度均在 30 Pa 以上, 最大达到 58 Pa。在闸顶可明显听见空化溃灭的噼啪声及间歇性闷雷轰隆声, 说明泄水阀门段在不通气时存在较强空化。

自然通气条件下, 门楣最大通气量为 $0.17 \text{ m}^3/\text{s}$, 输水廊道段空化噪声强度整体显著降低, 阀门运行过程中泄水阀门井空化脉冲信号过程线较平稳, 除阀门开启瞬间止水头部空化外, 阀门运行全阶段, 整体空化噪声强度约 4 Pa, 个别脉冲超过 10 Pa, 最大空化噪声为 13 Pa, 较不通气工况空化噪声强度大幅脉冲平均降低了 82%, 阀门全开后采集到的较大脉冲为水流漩滚产生, 而非空化泡溃灭所致。泄水阀门井下检修门井空化信号除阀门开启初期不可避免的冲击荷载导致的脉冲外, 全过程基本保持在 7 Pa 噪声强度, 部分脉冲超过 10 Pa, 最大空化噪声为 12 Pa, 较不通气工况空化噪声强度大幅脉冲平均降低了 50%。整个阀门开启阶段, 闸顶未听见明显的空化泡溃灭声和雷鸣声, 在开阀期间闸顶声级计采集的噪声大小基本保持在 70~80 dB, 整个过程噪声平稳, 由水流漩滚产生。门楣自然通气可有效抑制空化, 保障双边连续泄水正常安全运行。

3.1.2 门楣自然通气抑制吊杆振动效果

门楣通气与否, 下游左侧阀门垂向振动对比见图 14。相对于特意封闭通气管, 门楣自然通气工况下, 吊杆最大振动加速度从 0.47 m/s^2 的变幅改善到最大 0.31 m/s^2 , 在振动幅度较大的阀门 0.30~0.80 开度, 平均振动加速度从 $-0.21 \sim 0.20 \text{ m/s}^2$ 减缓到 $-0.14 \sim 0.10 \text{ m/s}^2$, 通气后阀门吊杆整体振幅较发生空化工况降低了 41%, 门楣自然通气抑制泄水阀门吊杆垂向振动也较为显著。

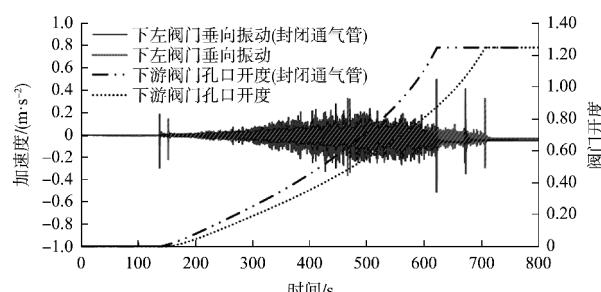


图 14 阀门吊杆垂向振动对比

3.2 单边泄水

3.2.1 门楣自然通气管封闭与否空化特性对比

为了对比门楣通气效果,先故意封闭阀门门楣通气管进行对照试验,运行工况为上游水位 61.5 m,闸室初始水位 43.1 m,船闸工作水头 18.4 m,充水阀门间歇开启以 $t_v = 5.87$ min 速率开启至 1.25 开度,其中至阀门行程 2.16 m(阀门孔口开度 $n=0.3$),停机 4.17 min,在 10.25 min 时阀门开至 1.00 开度。

打开门楣自然通气管封堵盖板,运行工况为上游水位 61.5 m,闸室初始水位 43.1 m,船闸工作水头 18.4 m,阀门以 $t_v = 7.58$ min 速率开至阀门行程 2.16 m(阀门孔口开度 $n=0.3$),停机 5 min,再连续开启至 1.25 开度。

泄水阀门井及下检修门井此工况下对应的空化噪声强度对比见图 15。自然通气工况下泄水阀门井下检修门井闸顶空气噪声水平见图 16。

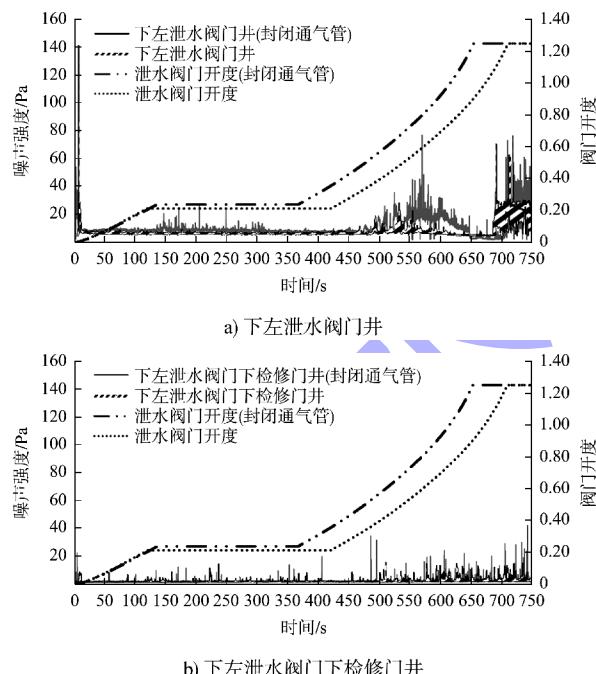


图 15 泄水阀门井及其检修门井空化噪声强度对比

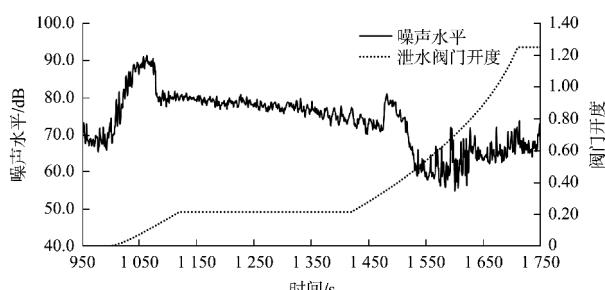


图 16 自然通气条件下泄水阀门下检修门井闸顶空气噪声水平

观测表明:在门楣不通气的情况下,单边泄水时在阀门开启瞬间,泄水阀门井监测到头部空化所产生的较强空化噪声。泄水阀门井空化强度在 0~0.51 开度时基本保持在 7 Pa,停机阶段有多次空化脉冲达到 20 Pa,最大 27 Pa;在 0.51~1.21 开度空化噪声强度整体先抬升后缓落,平均达到 23 Pa,最大达到 77 Pa;阀门全开后空化噪声强度回落保持在 2 Pa 附近波动。泄水阀门的下检修门井总体空化噪声强度较低,但是阀门开启阶段持续出现几次较大的间歇性空化,其强度均在 20 Pa 以上,最大达到 35 Pa。在闸顶可明显听见空化溃灭的噼啪声及间歇的闷雷轰隆声,说明西津二线船闸输水廊道段在门楣不通气时发生较强空化。

门楣自然通气下,输水廊道段空化噪声强度整体显著降低,阀门运行过程中泄水阀门井空化脉冲信号过程线较为平稳,除阀门开启瞬间监测到头部空化外,在阀门 0~0.30 开度整体空化噪声强度约 6 Pa,在 0.30~0.70 开度空化噪声强度有一定抬升,整体强度不超过 15 Pa,个别脉冲超过 15 Pa,最大空化噪声为 26 Pa,较不通气工况空化噪声强度大幅脉冲平均降低了 50%。阀门全开后采集到的较大脉冲为水流漩滚产生,而非空化泡溃灭所致。泄水阀门井下检修门井空化信号除阀门开启初期同样不可避免的冲击荷载导致的脉冲外,全过程噪声强度基本保持约 2 Pa,部分脉冲超过 10 Pa,最大空化噪声为 16 Pa,较不通气工况空化噪声强度大幅脉冲平均降低了 90%。整个阀门开启阶段,闸顶未听见明显的空化泡溃灭声和雷鸣声,闸顶声级计在开阀期间所采集的噪声大小基本保持在 75~90 dB,两次噪声突升是工地施工器械声音,其余过程噪声平稳,为水流漩滚产生。门楣自然通气下可有效抑制空化,保障双边间歇泄水正常安全运行。

3.2.2 门楣自然通气抑制吊杆振动效果

门楣通气与否下游左侧阀门垂向振动对比见图 17。相对于特意封闭通气管,门楣自然通气工

况下, 阀门吊杆垂向振动显著降低, 从原本最大 0.92 m/s^2 的变幅改善到最大 0.51 m/s^2 , 在振动幅度较大的阀门 $0.23\sim1.00$ 开度, 平均振动加速度从 $-0.59\sim0.51 \text{ m/s}^2$ 区间减缓到 $-0.30\sim0.20 \text{ m/s}^2$, 通气后阀门吊杆整体振幅较发生空化工况降低了 55%, 门楣自然通气抑制泄水阀门单边开启时的吊杆垂向振动也较为显著。

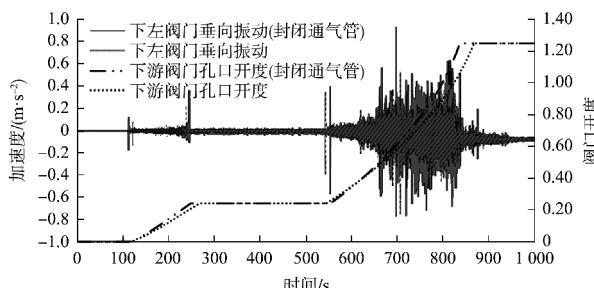


图 17 阀门吊杆垂向振动对比

4 结论

1) 通过封闭门楣通气管观测可知, 西津二线船闸所采用的“顶部渐扩+平底”廊道体形及低淹没水深的布置, 不能完全减免阀门段空化的发生, 也说明设计阶段阀门水力学模型提出的“门楣自然通气”的必要性, 需要在施工和日常维护中确保门楣通气管的通气顺畅, 否则阀门的运行过程中存在空化振动等安全隐患。

2) 西津二线船闸门楣实现了自然通气。充水阀门双边开启平均通气量为 $0.08 \text{ m}^3/\text{s}$, 最大通气量为 $0.11 \text{ m}^3/\text{s}$; 泄水阀门双边开启平均通气量为 $0.12 \text{ m}^3/\text{s}$, 门楣最大通气量为 $0.17 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3) 自然通气量可有效抑制空化, 除阀门开启瞬间的顶止水头部空化难以避免外, 充水阀门在双(单)边阀门开启过程中较不通气工况空化噪声强度大幅脉冲平均降低 60% (双边)、43% (单边); 充水阀门下检修井空化噪声强度, 较不通气工况空

化噪声强度大幅脉冲平均降低 80% (双边)、78% (单边); 泄水阀门在双(单)边阀门开启过程中阀门井空化噪声强度, 较不通气工况空化噪声强度大幅脉冲平均降低 82% (双边)、50% (单边); 泄水阀门下检修井空化噪声强度, 较不通气工况空化噪声强度大幅脉冲平均降低 50% (双边)、90% (单边); 各工况下检修门井闸顶声级计测得空气噪声较为平稳, 充水阀门双(单)边运行时, 噪声水平基本维持在 $65\sim72 \text{ dB}$ (双边)、 $70\sim75 \text{ dB}$ (单边); 泄水阀门双(单)边运行时, 噪声水平基本维持在 $70\sim80 \text{ dB}$ (双边)、 $75\sim90 \text{ dB}$ (单边), 测得噪声较为平稳, 由水流漩滚所致。

4) 观测表明: 门楣自然通气抑制阀门段空化的同时, 改善阀门吊杆振动效果也较显著, 自然通气与不通气, 充泄水阀门吊杆垂向振动整体振幅分别减少约 70% (双边充水)、59% (单边充水)、41% (双边泄水)、55% (单边泄水)。

参考文献:

- [1] 李君, 宣国祥, 黄岳. 西津水利枢纽二线船闸工程可行性研究阶段输水系统水力学模型试验研究 [R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2016.
- [2] YAN X J, LI Z H, CHEN L. Prototype Monitoring of Cavitation in ValveCulvert of Qianwei Shiplock [C]// Proceeding of PIANC-SMART Rivers Conference. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2022: 553-564.
- [3] 左卫广, 崔浩朋. 船闸输水系统台阶型廊道研究 [J]. 水利电力机械, 2007, 29(4): 42-44.
- [4] 胡亚安, 王新, 严秀俊. 西津水利枢纽二线船闸工程初步设计阶段输水廊道阀门水力学模型试验研究 [R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2016.

(本文编辑 赵娟)