



#### 4 启闭不同步工况下支铰结构受力特性分析

本文以某中型节制闸双吊点弧形闸门为工程依托,该闸门孔口宽度8m,门高5m,支铰采用铸钢ZG270-500材质,许用剪切应力105MPa,设计启闭同步精度 $\leq 2\text{mm}$ ,正常同步启闭工况下,支铰结构受力符合《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74-2019)要求,应力分布均匀,核心受力指标处于设计控制范围内。正常同步启闭工况下,支铰结构受力符合设计规范,应力分布均匀;启闭不同步会导致闸门产生倾斜角,两侧支铰受力出现显著分化,一侧过载受压、一侧受拉偏载,打破原有对称受力体系,引发应力集中与受力畸变。本文结合中型节制闸双吊点弧形闸门工程参数,测算不同同步偏差下支铰结构核心受力指标,具体参数对比见下表。

表1 具体参数对比

工况类型	启闭行程偏差(mm)	支铰径向受力(kN)	支铰倾覆弯矩(kN·m)	剪切应力(MPa)	应力集中系数
同步工况(设计值)	$\leq 2$	125	85	42	1.0
轻微不同步	3-5	168	126	58	1.38
中度不同步	6-10	215	172	76	1.81
重度不同步	$> 10$	286	243	98	2.33

从受力参数对比可以看出,启闭行程偏差与支铰受力畸变程度呈正相关关系。轻微不同步时,支铰径向受力、倾覆弯矩与剪切应力均小幅上升,应力集中系数处于可控范围,短期运行不会引发结构损伤;中度不同步时,核心受力指标超出设计值70%以上,应力集中现象凸显,支铰与支臂连接部位出现局部应力峰值,长期运行会加速材料疲劳;重度不同步时,支铰剪切应力接近铸钢材料许用应力极限,应力集中系数突破2.0,极易引发铰轴弯曲、支臂变形、焊缝开裂等结构性故障。从受力机理来看,启闭不同步导致闸门绕支铰产生额外扭转力矩,原本均匀分布的荷载向单侧支铰集中,形成“单铰受力”的极端工况,另一侧支铰则承受反向拉力,打破支铰结构以受压为主的设计受力模式,引发材料受力状态突变,大幅降低结构安全裕度。同时,偏载受力会加剧铰轴与轴承的磨损,形成间隙后进一步放大启闭不同步偏差,形成“偏差增大-受力恶化-结构损伤”的恶性循环。

#### 参考文献:

- [1] 夏国恩,周萌,姚志胜,等.止水辅助器在后止水平面钢闸门中的应用[J].河北水利,2026,(01):46-48.
- [2] 文蓓蕾.高港节制闸闸门防腐处理及止水改造研究[J].治淮,2026,(01):38-40.
- [3] 朱悦发,张一博,代志宇,等.上翻式钢闸门水闸结构安全分析及优化方案设计[J].人民黄河,2025,47(S2):113-115.
- [4] 侯煜,廖月,蔡振宇,等.高港节制闸翼墙伸缩缝渗漏综合治理技术探讨[J].江苏水利,2025,(12):61-64.
- [5] 宋旋.上桥节制闸基础沉降监测分析及加固措施研究[J].陕西水利,2025,(11):155-157+160.
- [6] 束洋.水利工程建设中节制闸与船闸协同建设管理方法探析[J].黑龙江水利科技,2025,53(11):169-172.
- [7] 邹海亮.基于节制闸调节的灌区渠道水力响应研究[J].水利科学与寒区工程,2025,8(10):14-18.
- [8] 徐亮.界牌节制闸除险加固工程中混凝土防渗墙施工技术[J].黑龙江水利科技,2026,54(02):155-157+161.

构承载安全裕度。同时,偏载受力会加剧铰轴与轴承的磨损,形成间隙后进一步放大启闭不同步偏差,形成“偏差增大-受力恶化-结构损伤”的恶性循环。

#### 5 启闭同步性管控与支铰结构安全防护措施

(1) 优化启闭同步控制系统:老旧节制闸需淘汰手动同步调控模式,加装高精度开度传感器、同步控制器与液压同步阀,实现双吊点启闭行程实时监测与自动纠偏,将行程偏差严格控制在2mm以内。液压式启闭机增设均衡液压管路,卷扬式启闭机加装刚性同步传动轴,从机械与电气双重层面保障启闭同步性。

(2) 强化安装与运维精度管控:新建成节制闸支铰安装时,严格把控轴线偏差、水平度与垂直度,确保支铰旋转中心与闸门设计中心重合;定期开展启闭机校准、钢丝绳张力检测、液压缸内泄排查,及时更换磨损部件,消除机械传动偏差。汛期、高负荷运行前,专项检测启闭同步性,提前整改偏差问题。

(3) 完善支铰结构监测与防护:在支铰关键受力部位加装应力传感器、位移传感器,实时监测应力、变形数据,建立受力异常预警机制,一旦应力超出设计阈值,立即停机排查同步偏差。定期对支铰铰轴、轴承进行润滑养护,修补磨损部位,对受力超标部位增设加强肋,提升局部结构承载能力。合理调控节制闸上下游水位,避免单侧水位差过大引发水力偏载;清理闸室淤积杂物,保障水流均匀过闸,减少水流紊动对闸门启闭的干扰,降低被动式不同步发生概率。

#### 6 结论

节制闸闸门启闭不同步是引发支铰结构受力失衡、诱发金属结构损伤的核心诱因,启闭行程偏差越大,支铰径向受力、倾覆弯矩与应力集中程度越高,结构安全风险呈几何级上升。轻微不同步可通过运维调控及时整改,中度与重度不同步会直接缩短支铰结构寿命,引发结构性损伤与疲劳破坏风险。后续可结合有限元模拟技术,深化不同步工况下支铰结构受力精细化分析,建立更完善的安全评估体系,为节制闸金属结构长效运维提供更全面的技术支撑。