

电动闸阀频发性无法开启问题处理

吴星龙, 刘瑜

中广核核电运营有限公司, 广东 深圳 518000

DOI:10.61369/ETQM.2025090006

摘要 : 针对电动闸阀频发性无法开启问题, 通过分级管理的技术处理策略, 根据不同的阀门类型和运行工况, 制定了短期、中期及长期措施, 短期措施为动作排水、回退操作、测绘计算与设定力矩优化; 中期措施为对所有常规岛电动阀设定力矩进行校核计算, 必要时对电动头或阀杆等进行替代; 长期措施为发起力学评估, 对单向密封的闸阀开泄压孔或发起阀瓣升级替代。相关措施已取得良好应用效果。所提相关方法及结论可为电动阀开关故障评价提供参考。

关键词 : 电动闸阀; 无法开启; 处理策略; 设定力矩

Frequent Failure to Open Problem Handling of Electric Gate Valves

Wu Xinglong, Liu Yu

CGN Nuclear Power Operation Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract : In addressing the frequent failure of electric gate valves to open, a hierarchical technical strategy was employed, tailored to different valve types and operating conditions. Short-term measures included optimizing set torque through mapping calculations, implementing retreat operations, and ensuring proper drainage during operation. Medium-term measures involved recalibrating the set torque for all conventional island electric valves, with necessary replacements of electric actuators or valve stems. Long-term measures encompassed initiating a mechanical evaluation, opening pressure relief holes for unidirectional sealed gate valves, or upgrading and replacing valve discs. These measures have yielded favorable results, and the proposed methods and conclusions offer valuable references for evaluating electric valve opening and closing failures.

Keywords : electric gate valve; failure to open; handling strategy; set torque

引言

某发电厂近年来在常规岛汽水系统电动闸阀频发动作异常问题, 需操作人员通过紧急干预才可顺利打开阀门。该类阀门无法正常远程电动开关, 将严重影响阀门正常执行其系统功能。几起典型的紧急干预案例如下:

2019年, 某发电厂2号机组GSS1203/2203VL阀门无法开启, 且GSS2203VL离合器故障无法手动。通过敲击振动阀体, 对阀门中腔进行泄压, 手动强制开启GSS1203VL, 电动开启GSS2203VL, 分析为锅炉效应造成摩擦力矩异常增大。

2021年, 某发电厂3号机组GSS2201VV阀门无法开启, 通过敲击振动阀体, 手动无法开启。最终通过分开电动头与阀架一定间隙后, 电动操作阀门顺利开启。分析为阀门关闭力矩过大造成闸板与阀座摩擦力过大。

2022年, 某发电厂4号机组GSS1302VV电动头堵转无法开启, 且无法切换至手动。现场检查电动头离合器损坏, 更换完成后, 手动开启顺畅, 电动全开。

电动闸阀作为管道上的重要启闭装置, 由于受安装空间及使用条件的限制, 要求该类阀门必须具有结构简单、密封性能好、开启灵活、抗冲击、使用寿命长、便于维修等特点^[1]。项目组对130余台电动闸阀进行分类管理, 根据不同阀门类型(楔形闸阀和平行板闸阀, 其阀体结构图见图1)和运行工况(温度、压力等), 给出不同的管理策略, 主要为对电动闸阀进行动作排水、回退操作及阀门的开关设定力矩优化。其中阀门的开关设定力矩优化作为主要优化方向, 通过对130余台电动闸阀设定力矩进行逐一核算, 最终, 有51台电动楔形

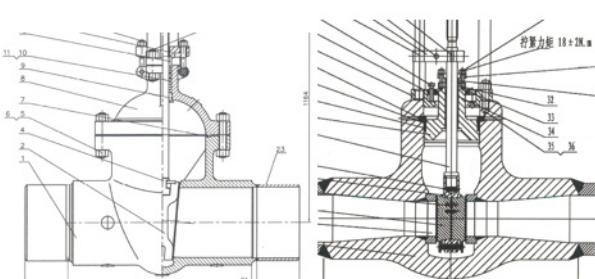


图1 楔形闸阀(左)和平行板闸阀(右)结构图

作者简介: 吴星龙(1992.10—), 男, 汉族, 四川岳池人, 本科, 工程师, 研究方向: 阀门管道维修。

闸阀需重新调整电动头设定力矩。该电厂按照上述技术策略，经多轮大修，已完成对电动闸阀的调整，目前电动闸阀运行良好，未出现动作异常问题。

一、故障分析

电动闸阀无法正常开启，从阀门开关动力学分析，其直接原因为有效开启动力不足，具体为电动头的输出力不足以克服阀体阻力。阀门开关过程的受力分析见图2，具体可从如下几个方面分析。

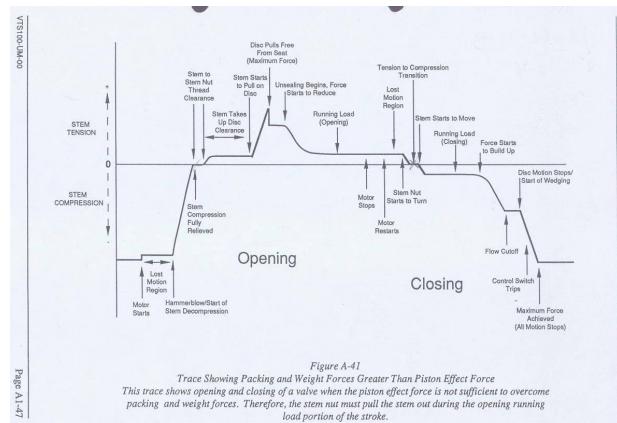


图2 阀门开关过程的受力分析

(一) 开启动力不足

电动头的设定力矩不足或电动头故障导致输出力矩不足。从故障频发性分析，电动头故障导致输出力矩不足的可能性极低，电动头也有定期校验工作。因此，应主要从电动头的设定力矩进行复核计算。设定力矩不足还可能跟电装选型不当有关，电装最大输出力矩不足，阀门存在无法开关的风险^[2]。

(二) 开启阻力过大

阀门开启过程中所受的阻力主要有阀杆螺纹摩擦力、盘根阻力、介质不平衡力、阀瓣摩擦力、锅炉效应等。从历次解体部件检查情况及运行工况来看，盘根阻力、介质不平衡力较为稳定，不会出现异常增大的情况。需对阀杆螺纹摩擦力、阀瓣摩擦力增大及锅炉效应做进一步分析^[3]。

1. 阀杆螺纹摩擦力偏大分析

阀杆的传动螺纹一般为单线或双线的T形螺纹，配合阀杆螺母进行传动，当螺纹出现润滑不良、磨损或损坏时，会导致传动效率降低，导致有效开启力减小。此种情况出现概率较小，可在阀门解体时发现并进行处理^[4]。

2. 阀瓣摩擦力增大分析

阀门开启时的阀瓣摩擦力主要由上下游介质压差及阀门关闭力决定（参见图3），当阀门关闭力过大时，会导致阀瓣阀座产生楔入力，以阀瓣下游密封比压进行反向计算，可得出最小的阀门关闭力，与当前设定力矩进行比对，可对阀门关闭力矩进行优化，进而达到降低阀门开启时的阀瓣摩擦力^[5]。

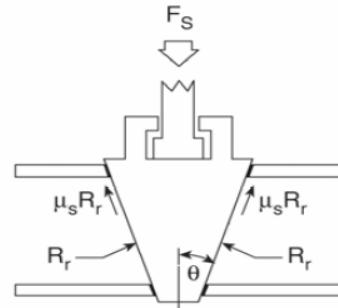


图3 阀瓣受力示意图

3. 锅炉效应分析

当闸阀处于关闭状态时，其上游或下游流体温度升高导致其阀腔流体温度也升高，从而产生热膨胀使阀腔压力升高，且升高的压力同时作用在两个阀座上，示意图参见图4。该情况适用于机组热态转换时，仍然处于全关的水介质高温阀门^[6]。

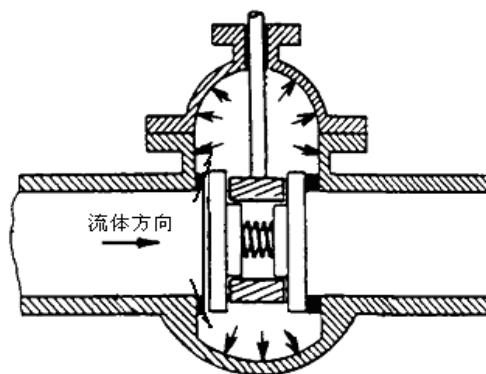


图4 阀门锅炉效应示意图

二、改进措施

通过上述故障原因分析，需从电动头的开关设定力矩、锅炉效应、阀瓣摩擦力增大进行针对性改进，并根据阀门检查检修窗口，分别给出短期、中期及长期措施^[7]。

(一) 短期措施

1. 动作排水

收集机组上行时容易发生开启异常的电动阀门清单（无中腔平衡阀的），当前轮次大修无解体工作的阀门电动开启一次阀门，排出阀门中腔内可能的积水，消除锅炉效应。

2. 回退操作

对于当次大修没有解体工作的楔形闸阀，根据系统投运状态分析存在卡涩风险的阀门。根据闸板的最大静摩擦力及阀杆应变计算电动闸阀回退量，在投运前最后一次电动关闭操作后，手动将阀门手轮进行回退操作，再恢复到电动状态，以减少开启时间。

瓣楔入力。此方法在电动头力矩复核优化后，可取消^[8]。

3. 测绘计算与设定力矩调整

对当前轮次大修有解体工作的阀门，测量相关零部件尺寸信息，将电动阀门关闭时的动能-冲量转换带来的附加关闭力以及闸板密封比压纳入计算考虑，对电动头设定力矩的计算方法进行优化。对阀门电动头力矩进行校核计算，根据计算结果，对电动头设定力矩调整。

(1) 阀门阀杆受力计算

阀门执行机构关闭或打开阀门时所需的最小推力，主要来源于阀瓣摩擦力、阀杆不平衡力、填料摩擦载荷和其他载荷，一般如阀芯重量、导轨摩擦等可忽略不计。

阀门关闭所需的最小推力：

$$F_{close} = F_{DP} + F_{SE} + F_{SP} + F_{AT}$$

阀门开启所需的最小推力：

$$F_{open} = F_{DP} - F_{SE} + F_{SP} + F_{AT}$$

其中：

F_{DP} ——阀瓣摩擦力

F_{SE} ——阀杆不平衡力 (Stem Ejection Load)

F_{SP} ——阀杆克服填料产生的摩擦载荷，即填料摩擦载荷

F_{AT} ——附加密封力

理论上阀门关闭时因截断流体，所需推力大于阀门开启的需求。另外，阀门开启初始阶段，在电气旁路的作用下，正常情况下也无需考虑阀门的开启力需求。因此，阀门设计推力仅考虑阀门关闭时的最小作用力。

(2) 阀瓣摩擦力计算

阀瓣摩擦力是指阀门运动过程中在流体压力作用下阀瓣与阀座之间产生的摩擦力，用如下公式计算：

$$F_{DP} = \frac{\mu_1}{\cos \theta \times (\cos \theta - \mu_1 \times \sin \theta)} \times (\Delta P + 2S_p) \times \frac{\pi}{4} D_s^2 \times 2F_r$$

其中：

ΔP ——阀门动作时上下游的最大压力差

θ ——密封面倾角 (V、W型闸阀 θ 为 0)

D_s ——平均密封直径

F_r ——弹簧施加于阀盘上的力，仅适用于 V 型闸阀，一般情况下可忽略不计

μ_1 ——阀瓣与阀座摩擦系数，介质温度小于等于 180°C 时，取 0.5，介质温度大于 180°C 时，取 0.4；

S_p ——活塞效应，仅适用于水介质的 W、V 型闸阀，C 型闸阀不考虑活塞效应。

(3) 阀杆不平衡力计算

阀杆不平衡力是由系统介质压力作用在阀杆横截面上产生的力，该作用力在关方向为正，开方向为负。

$$F_{SE} = (PMS + S_p) \times \left(\frac{\pi}{4} D_t^2 \right)$$

其中：

PMS——系统最大工作压力

D_t ——盘根位置的阀杆直径

(4) 填料摩擦载荷

阀门填料摩擦载荷的方向与阀杆运动方向相反，填料摩擦载荷是变化的，并且受填料材料、填料压盖预紧力的影响较大。所以，设计计算时输入的填料摩擦载荷值应选取其上限值。但是，如果填料摩擦载荷的实测值高于设计值，则应以实测值计算最小设计推力。所有柔性石墨填料的闸阀推荐如下公式计算：

当 $1.5PMS \leq 100\text{bar}$ 时：

$$F_{SP} = 10S$$

当 $1.5PMS \geq 100\text{bar}$ 时：

$$F_{SP} = 10S \times 0.01 \times 1.5PMS$$

$$S = \pi D_t h$$

其中：

F_{SP} ——填料摩擦载荷 (daN)

10——压紧修正系数 (daN/cm^2)

S——填料的有效摩擦面积 (cm^2)

h ——盘根有效高度 (mm) $h = D_t + 15^{+5}$

(5) 附加密封力 F_{AT}

阀门为保证阀瓣、阀座的密封性，驱动机构需在硬密封接触时能提供足够的密封力，闸阀阀瓣、阀座接触时不需要附加密封力。所以，通常 $F_{AT}=0$ ，除非有其它规定。

(6) 阀杆系数

阀杆通过阀杆螺纹将力矩转化为推力，两者之间的关系是由螺纹的几何尺寸和两者表面的摩擦系数决定，ACME 梯形螺纹的阀杆系数确定方法如下：

$$S_F = \frac{d \times (\cos \beta \times \tan \alpha + \mu_2)}{2000 \times (\cos \beta - \tan \alpha \times \mu_2)}$$

式中：

$$\tan \alpha = \text{Lead} / (\pi \times d)$$

$$\text{Lead} = P_p \times n$$

S_F ——阀杆系数；

μ_2 ——阀杆螺纹摩擦系数，取值 0.12；

β ——螺纹牙型角的 1/2；

Lead——阀杆螺纹导程，mm；

P_p ——阀杆螺纹螺距；

n——阀杆螺纹螺纹头数；

d——螺纹中径；

(7) 最小设计设定值的确定

设计最小设定值的确定即将驱动机构需求转矩和阀杆推力进行换算，换算方法如下：

$$T = \frac{F \times S_F \times K_1}{K_2}$$

T——驱动机构设计力矩

F——阀杆推力
K₁——安全系数
K₂——远机传动效率

(二) 中期措施

对所有常规岛电动阀设定力矩进行校核计算，如有设计不合理的，提出调整方案并对可能造成的影响进行评估，方案明确后对电动头设定力矩进行修改，必要时对电动头或阀杆等进行替代^[9]。

(三) 长期措施

对于机组热态转换时，仍然处于全关的水介质高温阀门。发

起力学评估，对单向密封的闸阀开泄压孔或发起阀瓣升级替代。另外，引入电动阀在线诊断技术，能够在以后阀门运行中提前发现其隐性缺陷，保障设备安全运行，并使阀门的检修更具针对性。^[10]

三、结束语

针对常规岛电动闸阀频发性无法开启问题处理给出了短期措施、中期措施及长期措施，按该技术策略实施后，目前电动闸阀运行良好，未出现动作异常问题。

参考文献

- [1] 周丽琴, 吕召政, 张娜, 等. 电动闸阀阀杆断裂失效分析 [J]. 理化检验 - 物理分册, 2019, 55 (6): 412-418.
- [2] 柏冰, 成云龙, 王淑红, 等. 阀门诊断技术在核电厂设备采购中的应用 [J]. 化工自动化及仪表, 2012, 40 (3): 387 - 389.
- [3] 沈云海, 谭术洋, 周宁, 等. 电动闸阀温度场有限元仿真分析研究 [J]. 科技视界, 2022, (12): 30-36.
- [4] 徐仁义, 王航, 彭敏俊, 等. 核电厂电动闸阀外漏故障预测方法研究 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2022, 43(12): 1759-1765.
- [5] 万耀阳. 电动闸阀直驱永磁电机研究 [D]. 沈阳工业大学, 2023.
- [6] 童法松, 李志杰, 金菊, 等. 核级闸阀闸板脱落原因分析 [J]. 阀门, 2023, (03): 364-369.
- [7] 童法松, 王树森. 某型电动闸阀流阻系数数值模拟与计算 [J]. 阀门, 2023, (03): 370-373.
- [8] 高丽艳, 曲洛剑, 祝彬, 等. 电动闸阀关阀反弹的机理分析与结构改进 [J]. 阀门, 2024, (07): 820-826.
- [9] 王璐璐. 基于有限元分析法的电动闸阀故障分析应用 [J]. 甘肃科技, 2024, 40(10): 35-39+45.
- [10] 王力军. 电动闸阀力矩开关频繁动作根本原因分析 [J]. 化学工程与装备, 2018, (1): 169 - 174.