电动执行机构过力矩保护动作异常的处理方法

王泽健　赵欣欣　雷震威
中广核核电运营有限公司　广东　深圳　518000

摘　要：电动执行机构过力矩保护是工业阀门设备的重要安全防护环节，运行中常出现误动作、拒动作、响应滞后等异常问题，严重影响设备工况与生产连续性。本文介绍机械与电子式过力矩保护的工作原理，明确异常判定标准，从机械、电气、环境及运维角度全面分析故障成因，制定分级排查、针对性处置及调试验收方案，配套完善长效运维策略，可为现场故障处理与设备稳定运行提供可靠技术支撑。

关键词：电动执行机构；过力矩保护；动作异常；处理方法

引言：电动执行机构是工业自动化控制系统的核心执行设备，过力矩保护可有效规避过载造成的阀体、传动结构损坏。在长期复杂工况下，受部件磨损、电气干扰、参数失配、环境侵蚀及运维疏漏等影响，保护系统极易出现动作异常，引发设备故障与生产波动。为规范现场处置流程、提升故障排查精准度，本文结合设备原理与实际工况，系统梳理异常问题成因，形成标准化处理方法与预防管控体系。

1 电动执行机构过力矩保护系统原理及异常类型

1.1 过力矩保护系统工作原理

（1）机械式力矩保护：通过力矩开关和弹簧传动结构感知负载扭矩，弹簧预紧力决定阈值，超限时力矩拨盘偏转推动微动开关切断电机电源，实现快速硬保护。抗干扰性强，但精度较低且阈值不可在线调节。（2）电子式力矩保护：采用霍尔传感器或应变式传感器实时监测电流或应变，信号调理放大后送入微处理器，与力矩-电流曲线比对，经滤波均值算法剔除尖峰干扰，精度达±1%，支持多段阈值和延时逻辑。（3）保护触发逻辑：正常启闭（力矩＜80%额定）不动作；过载临界（80%~100%）发预警并提高采样频率；故障过载（＞100%）时电子单元20ms内跳闸，机械开关同步后备保护，形成双通道冗余切断[1]。

1.2 过力矩保护动作异常主要类型

（1）保护误动作，设备正常启闭、负载未超标时，频繁触发过力矩保护停机报警(图1、图2）。常见于机械开关弹簧疲劳导致阈值漂移，或电子采样回路受变频器谐波干扰产生虚假大电流，致使正常启闭力矩被误判为过载，影响生产连续性。

（2）保护拒动作，设备严重过载、阀体卡死时，过力矩保护未触发，造成设备过载损坏。原因包括力矩开关触点粘连、传感器信号线断路、控制板程序死锁或阈值设定过高，导致保护通道失效，输出轴或传动齿轮承受极限扭矩而断裂。（3）保护动作滞后，过载故障发生后，保护装置延迟响应，无法及时规避设备损伤。滞后源于机械传动间隙积累、电子滤波时间常数过大或判断逻辑中延时设置不当，常见延迟时间超过200ms，虽最终动作但阀杆已发生塑性变形或密封面损坏。



图1 关力矩正常触发



图2 关力矩未正常触发(凸轮存在间隙)

1.3 过力矩保护异常判定标准

（1）额定工况判定依据，结合设备额定力矩、工况负载参数，界定正常与异常工作状态。以额定力矩为基

准，实际运行力矩持续超过额定值105%且持续1s以上即判为异常，同时参考阀门类型（闸阀、球阀等）允许峰值系数差异化设定。（2）故障数据判定指标，依据动作频次、响应时间、力矩偏差值等数据判定异常等级。误动作频次＞3次/周判为轻度异常，拒动作或动作延迟＞额定响应时间1.5倍判为严重异常，力矩偏差值＞±10%额定值需立即排查。（3）现场工况辅助判定，结合介质压力、阀体状态、运行环境综合判定异常诱因。高压介质冲击、阀座磨损卡涩、环境温度超限（＜-20℃或＞60℃）均可能改变实际负载特性，应结合DCS历史曲线与现场振动数据，排除外部因素后定位保护系统自身缺陷。

2 电动执行机构过力矩保护动作异常成因分析

2.1 机械系统故障成因

（1）阀体卡滞。阀芯结垢、介质杂物堵塞、阀杆弯曲或填料过紧使运行阻力超标。垢层增大摩擦，杂物卡入密封面产生干涉，阀杆弯曲致旋转阻力非线性上升，填料过紧增加轴向摩擦，负载可达额定值2倍，触发保护。（2）传动部件磨损。齿轮箱磨损、轴承锈蚀、传动间隙异常致机械负载突变。齿面点蚀与磨损使啮合间隙增大，产生周期性冲击负载；轴承锈蚀增大摩擦转矩；键槽磨损使力矩传递出现跌落后骤升尖峰，易被误判过载。（3）手动机构卡涩。手轮离合器未完全脱开或拨叉卡滞，电动运行时半咬合产生附加阻力，叠加于正常力矩之上，使总负载接近阈值，引发误动作。

2.2 电气与控制系统故障成因

（1）力矩参数设置不当。设定值过小、未匹配实际工况，调试沿用出厂默认值，未考虑介质压力波动与启动冲击，正常负载变化即超限，高黏度或高压差下频繁停机。（2）检测元件故障。力矩传感器漂移、损坏或开关接触不良致检测失真。应变式传感器受温度影响产生零点和灵敏度漂移；霍尔传感器线性度变差；机械开关触点氧化或弹簧疲劳使动作阈值偏移±20%，引发误报或漏报[2]。（3）控制回路异常。主板故障、线路虚接、缺相供电使保护逻辑错误。控制板电容老化致供电纹波增大，影响采样精度；端子氧化虚接使信号断续或引入干扰；缺相运行时电流畸变，电子单元将不平衡电流误判为过载。

2.3 环境与运维人为成因

（1）运行环境影响。高温、潮湿、粉尘、腐蚀加速元件老化与参数偏移。高温加剧敏感栅漂移，高湿降低绝缘产生漏电流，粉尘影响散热和触点导电，腐蚀气体致弹簧和触点锈蚀，各项参数逐步偏离初始设定。（2）日常运维缺失。未定期校准力矩参数、未及时润滑传动部件、未排查阀体隐患。校准超期使累积误差未修正；润滑失效后摩擦阻力上升30%~50%；未检查阀座磨损和填料松紧，隐患积累引发严重过载，保护异常随之发生。（3）人为调试失误。检修后参数误调、安装对位偏差致持续性保护异常。误将保护旋钮调至最小档位，或更换传感器后未标定即投运；执行机构与阀杆连接套对中偏差超限，产生额外径向力叠加于输出力矩，保护频繁动作且排查困难。

3 过力矩保护动作异常标准化处理方法与预防策略

3.1 分级故障排查处理流程

（1）初步故障确认：核对报警、观察运行状态、手动盘车。调取历史报警记录，明确过力矩时刻、频次及关联信号；现场听声音、测振动与温升，异常噪音或温升骤升提示机械负载问题；断电后手轮盘车全程感受阻力，若顺畅则转向电气侧排查，若卡顿或阻力不均则重点检查阀体及传动机构。（2）分层溯源排查：遵循“机械优先、电气其次、参数最后”原则。第一层拆卸连接套，空载盘车执行机构确认无卡涩，单独盘车阀门判断阀芯活动度；第二层机械无异常后，用万用表检测力矩传感器输出信号、力矩开关通断及供电线路；第三层核对力矩设定值、延迟时间等整定参数；第四层检查现场温湿度、腐蚀状况及近期维护记录[3]。（3）故障定位验证：逐项排查后试运行，确认诱因并排除假性故障。每完成一项即点动试运行，观察力矩反馈变化；所有可疑项处理完毕，进行连续3次以上全行程启闭验证，同步记录实时力矩曲线，若曲线平滑且峰值低于保护阈值的90%，则确认故障诱因已定位并消除，避免多重因素叠加误判。

3.2 不同类型异常针对性处理方法

（1）误动作故障处理：重新校准力矩设定、检修更换检测元件、优化控制回路接线。先查历史数据，将力矩设定值调为现场实测峰值力矩的1.1~1.2倍，增加启动延迟（50~100ms）规避冲击；若仍误动，检测传感器零点和满量程输出，漂移超标则更换，同时检查机械开关触点电阻，大于0.5Ω时打磨或换新；针对干扰，确认屏蔽层单端接地可靠，信号线与动力线分开敷设。（2）拒动作故障处理：排查保护闭锁、修复失效力矩开关与传感器、升级保护逻辑参数。先检查保护是否被禁止或旁路，若闭锁则解除；用标准力矩源测试传感器线性度，损坏则更换并重新标定；触点粘连的力矩开关更换同规格元件并调整动作行程；硬件正常则排查控制程序，检查过力矩判断阈值是否被误设为无效值（如“999”），

必要时升级固件并恢复出厂参数后重新整定。（3）动作滞后故障处理：清理传动卡顿、校准响应参数、更换老化元件。滞后多因机械间隙或滤波常数过大，先拆检传动连接键及花键套，清除碎屑并调整啮合间隙；随后将滤波时间常数由200ms调至50~80ms，软件比较周期由100ms缩至20ms；对电解电容鼓包、继电器动作滞后的控制板，更换整板或对应老化元件，确保电气响应恢复出厂指标[4]。

3.3 故障修复后调试与验收方法

（1）机械系统调试，清理阀体杂物、润滑传动机构、校正阀杆同轴度，消除运行阻力异常。彻底清除阀腔内垢层和异物，更换老化填料并控制压盖螺栓扭矩至规定值；对齿轮箱加注指定牌号润滑脂至油位中线；用百分表检测执行机构输出轴与阀杆同轴度，偏差超过0.05mm时调整底座垫片或重新对中找正，确保全程转动无附加偏载。（2）力矩参数标定，结合现场工况精准设定力矩阈值，完成空载、负载双工况测试。断开阀门连接，执行机构空载运行，记录空载力矩值作为系统偏置量；连接阀门后在实际介质压力下进行全行程启闭，采集全程力矩曲线，以峰值力矩的1.15倍设定保护阈值；分别进行3次空载和3次带载测试，验证设定值下保护动作准确率为100%[5]。（3）整机试运行验收，连续多次启闭测试，核查保护动作精度、响应速度，确保故障彻底消除。执行不少于10次连续全行程启闭循环（含5次紧急停止操作），采用高速录波仪记录过力矩动作实际响应时间，要求与设定值的偏差不超过±10%；验收合格标准为：无一次误动或拒动，动作响应时间 ≤ 25ms，力矩偏差 ≤ ±3%，各方签字确认后归档验收报告。

3.4 长效预防与运维优化策略

（1）建立定期巡检机制，常态化排查阀体、传动机构、电气元件运行状态。制定月度巡检表，检查项目包括阀体有无泄漏异响、润滑油位及颜色、接线端子温度、传感器信号是否稳定，发现异常即录入隐患台账并限期整改，同时结合在线监测系统实现实时预警。（2）定期参数校准与设备保养，周期性标定力矩参数、更换润滑油脂、老化配件。每半年进行一次力矩传感器在线比对校准，使用便携式标准力矩源校验各点误差；每年更换齿轮箱润滑脂并检查轴承游隙；每两年更换控制板电解电容组和继电器，对力矩开关进行动作阈值复测，确保全系统长期处于性能稳定期。（3）规范安装调试与运维操作，统一作业标准，规避人为操作失误引发的故障。编制《过力矩保护系统调试作业指导书》，明确力矩阈值计算公式、传感器标定流程、验收测试项目及合格判据；严格执行检修后双人复核制度，一人操作、一人确认参数设定无误后方可投运；建立检修记录数据库，实现故障类型、处理措施、材料更换的全程可追溯，不断提升运维人员专业技能和标准化作业水平。

结束语

电动执行机构过力矩保护动作异常存在多因素叠加的特点，单一排查方式难以彻底根治故障。通过落实分层溯源的标准化排查流程，针对误动、拒动、滞后等不同故障精准整改，配合修复后的规范调试验收，可有效消除设备隐患。常态化开展巡检校准、部件保养与标准化作业管理，能够从源头降低异常故障率，保障电动执行机构安全平稳运行，提升工业自控系统运行可靠性。

参考文献

[1]吴伟,李勇,王鑫.电动阀门执行机构过力矩保护异常故障分析与整定优化[J].自动化仪表,2024,45(8):76-80.

[2]陈浩,周凯.智能电动执行器力矩采样异常导致保护误动的整改技术[J].电力自动化设备,2023,43(11):188-193.

[3]王健,孙志远.工业过程电动执行机构卡涩引发过力矩误保护的综合治理[J].化工自动化及仪表,2022,49(9):112-116.

[4]李俊杰.罗托克电动执行机构过力矩故障排查与参数优化设置[J].电工技术,2023,16(14):156-158.

[5]赵磊.智能电动执行机构力矩保护失效原因及应急处理方法[J].仪器仪表用户,2024,31(6):89-92.