

气动闸阀故障研究及执行机构驱动力设计裕度分析

谭志 辜彬 吴厚勇

中广核核电运营有限公司 广东 深圳 518000

摘要：本文收集了近几年国内某1000型电厂辅助给水汽动泵蒸汽入口隔离阀发生的卡涩或拒动经验反馈，并结合多基地测试处理数据、理论计算数据、解体检查结果等进行对比分析后，提出针对高压介质环境下如何提高阀门可靠性的思考和探索。

关键词：卡涩；隔离阀；弹簧力；摩擦力；设计裕度

1 项目背景

2012年国内C电厂2号机热试阶段，发生X气动泵隔离阀卡涩和时间超时；

2014年，国内A电厂进行日常定期试验（系统压力约67bar），发现3X138VV卡涩；随后2014年7月再次执行月度试验时，主控发出3X138VV开启指令，阀门延时11min后才开启。

2014年，国内C电厂3号机热试出现3台X气动泵入口隔离阀，热停堆工况下卡涩（系统压力约75bar）；

2014年，国内B电厂2号机热试出现2台X气动泵入口隔离阀，热停堆工况下卡涩（系统压力约75bar）；

2015年，国内D电厂1热试期间1X138VV卡涩（系统压力约75bar）。

上述X气动泵入口隔离阀卡涩故障历史，证明其阀门故障是存在共模的。其故障（超时、或拒动）导致专项安全设施（X）不可用，给机组安全带来极大隐患^[1]。

2 分析及处理过程

2.1 A电厂阀门故障历史及背景：

◇A3X138VV在A304大修期间更换为国外先进制造厂新阀门，与B、D、E等电厂阀门相同。阀门在出厂前已在上游阀瓣钻Φ6孔，防止“锅炉效应”发生。离线试验及热停试验期间无任何异常。

◇在更换后不久，A电厂进行定期试验（系统压力约67bar），发现A3X138VV卡涩，手动干预后将阀门开启，随后继续试验时阀门恢复正常。对阀门气动头解体，未发现明显异常。

◇一个月后，执行月度试验，A3X138VV延时11min后才开启。再次动作时无异常，故障处理过程中排除电磁阀故障和气动头故障可能。

2.2 阀门故障可能原因罗列：

通过上述历史，我们可以得出阀门故障只发生在一定时间长度的高温运行后的首次动作，罗列可能原因如下：如表1

表1 阀门故障罗列原因

故障类型	控制回路异常	控制逻辑异常	阀门力值匹配异常	锅炉效应	活塞效应	设备长期运行影响 阀门开启力
是否排除	排除	排除	无法排除	排除	排除	无法排除
排除理由	电磁阀排气在3S内结束	11MIN后阀门可以打开	无	已在上游阀瓣打孔	阀杆活塞效应助开	无

可以锁定，阀门卡涩原因为力值匹配异常及长期高温运行后阀门状态的变化。到底改变了阀门哪个部位的状态，无法分析出来，需要进行数据采集及解体资料佐证。

2.3 数据采集分析：

◇对比A3X138VV在线、离线气动阀故障诊断（力值测量）数据：

◎离线测量（阀腔压力为0，常温）

◎在线测试（系统压力67bar.g，温度283℃）

数据对比：如表2

表2 数据对比

序号	数据名称	在线值（daN）	离线值（daN）
1	弹簧最大预紧力	1904.5	1871.6
2	盘根摩擦力	609.8	741.6
3	2倍气动头摩擦力	68.6	98.5

续表:

序号	数据名称	在线值 (daN)	离线值 (daN)
4	阀瓣关位静摩擦力	1224.8	
5	阀门开启力余量	77.3	
6	阀门开启力裕度最小弹簧力值 (不考虑阀体摩擦力、盘根摩擦力、长期高温运行的影响)	1813.19	1780.29
7	阀瓣密封面受力宽度 (mm)	7.15	

2.4 设计缺陷分析:

◇设计缺陷1: 通过2.3数据发现阀门盘根摩擦力远大于设计值 (478daN)。

◇设计缺陷2: 阀门设计时密封面直径选取错误

厂家认为阀瓣在受介质压力下会发生如图1变形, 所以选取密封面直径为内径。但是图2测得阀门在离全关

还有7.15mm时, 阀门开始截断流体, 压差瞬间上升。且动作到最后7.15mm行程时 (如图4中的7到8点), 斜率有变化, 说明最后7.15mm行程时, 阀瓣受力增大, 对应阀瓣受力面积同步增加。通过诊断试验结果可以判断: 阀门密封面有效宽度为7.15mm, 阀门真实密封直径, 接近密封中径。如图:

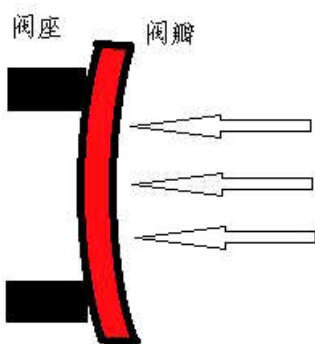


图1 阀瓣在受介质压力

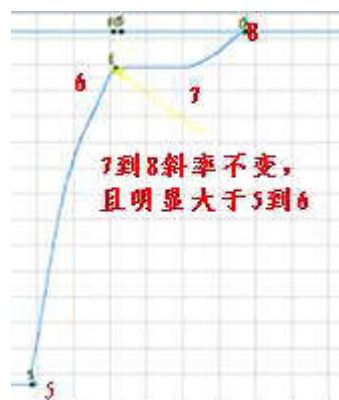


图2 阀门截断流体 压差瞬间上升

设计缺陷3——没有进行阀门开启过程, 力值裕度最小点分析:

由于阀门结构为平行闸阀, 气动装置由弹簧蓄能, 在阀门开启时, 弹簧蓄能是处于不断释放、减小弹簧力的过程。且一般阀瓣密封面宽度比阀座密封面宽度大, 加之上下游压差大, 开启过程中力值裕度最小点应为阀瓣运动开启到部分行程 (即将失去密封) 的区域。根据图2测试结果, 力值裕度最小点在阀门行程7.15mm时出现。侧得弹簧斜率为12.77daN/mm, 那么弹簧裕度最小力应为 $1850-12.77*7.15 = 1758.6\text{daN}$ 。

◇密封面直径选取为密封面中径并考虑力值裕度最小点后分析得出, A3X138VV的弹簧力裕度为4.45%, 与实测结果吻合。在摩擦力少许波动或长时间不动作时, 极易发生卡涩。

◇主要可优化方向:

①增大弹簧力;

②降低盘根摩擦力: 核算可降低盘根紧固力矩3~4N.m, 或使用低摩擦阻力盘根;

2.5 大修处理结果: 如表3

表3 大修处理结果

功能位置	阀门状态	最大开启力	盘根摩擦力	摩擦力总和	弹簧斜率 (daN/mm)	最终空载余量	运行压力下弹簧力裕度	设计压力下弹簧力裕度
3X137VV	原厂盘根7N.M紧固	1823.6	448	495.5	9.5	1328.1	21.94%	9.11%
3X138VV	低阻盘根10N.M紧固	1880	313.7	348.7	9.4	1531.3	32.09%	19.65%
3X237VV	原厂盘根7N.M紧固	1818.6	216.6	268.6	10	1550	34.20%	21.34%
3X238VV	原厂盘根7N.M紧固	1828.9	336.7	375.9	10	1453	28.70%	15.91%

经过18个月运行验证, 不再出现卡涩异常, 测试结果:

功能位置	阀门状态	最大开启力	盘根摩擦力	弹簧斜率 (daN/mm)	摩擦力总和	最终空载余量	运行压力下 弹簧力裕度	设计压力下 弹簧力裕度
3X137VV	原厂盘根7N.M紧固	1909	147	9.5	190	1719	41.43%	29.18%
3X138VV	低阻盘根10N.M紧固	1912	405	9.4	443	1469	28.29%	16.06%
3X237VV	原厂盘根7N.M紧固	1909	222	10	263.5	1645.5	37.58%	25.33%
3X238VV	原厂盘根7N.M紧固	1906	184	10	217.5	1688.5	39.90%	27.63%

注：

1. 力值相关数据中没有特殊说明的均为daN；

2. 运行压力下最大值，系统压差对阀瓣的推力产生的摩擦力为1029.5daN；

3. 设计压力下最大值，系统压差对阀瓣的推力产生的摩擦力为1304.1daN

3 长期高温运行对设备的影响分析：

3.1 长期高温运行对盘根的影响分析：

通过上述2.5数据收集来看，长期高温运行后，阀门盘根摩擦力并未增大，反而稍许降低，说明长期高温运行对阀门盘根摩擦力改变有限。

3.2 长期高温运行对阀瓣密封面积的影响：

通过大修解体检查阀门阀瓣来看，由于高温运行的影响，不锈钢阀瓣表面均有一层氧化物。分析：研磨平整的阀瓣与阀座接触初期，在介质压力作用下，阀瓣会发生图1的轻微变形。叠加阀瓣、阀座本身金属面会因为较大密封比压而局部变形，此时阀门密封面有效直径应当小于密封面中径，大于密封面内径。在较长时间高温运行后，密封面缝隙间产生部分氧化物，氧化物填满部分密封面缝隙，导致阀瓣密封有效直径增加，此时密封面受介质作用力增大。从而在长期高温运行一段时间后，首次动作时，介质作用在阀瓣密封面的摩擦力，大于运行初期阀瓣密封面摩擦力^[2]。可以解释为什么机组上行验证功能正常，而运行一段时间后首次动作会出现卡涩。

4 针对气动闸阀执行机构驱动力设计裕度思考

通过本次故障处理发现，厂家进行气动闸阀设计时，存在较多未考虑妥当的地方。如何能避免在后续类似阀门设计时重蹈覆辙，我想应该从阀门设计方法上进

行一些改进：

4.1 目前核电厂阀门设计未考虑高温系统长期不动作对密封面受力的影响，基本按照密封面中径选取。在设计裕度较小的情况下，可能故障现象。因此，使用在高温系统的平面密封结构阀门，密封面有效密封直径应当按密封面外径选取；

4.2 弹簧蓄能执行机构平行闸阀设计，应考虑阀瓣密封面最大直径与阀座密封面最大直径不等时，阀门开启过程最小弹簧力裕度点的分析；

4.3 目前核电厂弹簧蓄能平行闸阀，阀门设计手册中没有对运行最恶劣工作下执行机构提供驱动力的裕度标准。如果设计压力与阀门运行最恶劣工况压力相差较大时，阀门可以正常工作。反之，如果压力相差较小，则阀门在摩擦因子改变时，卡涩风险增加，不利于设备长期运行^[3]。因此，弹簧蓄能执行机构平行闸阀设计计算，需进行运行最恶劣工况下最小弹簧力裕度计算。考虑阀瓣摩擦因子、盘根摩擦因子的变化影响，建议预留20%的裕度。

结束语

通过长期的数据测试、试验，理论计算分析，此故障的处理研究具备完善的离线、在线数据支撑，完整的论证、分析过程，也取得了阶段性进展。也期待本文的论点能够为同行在设备缺陷分析、阀门设计制造方面提供借鉴意义。如有不妥当之处，欢迎联系本文作者。

参考文献

- [1]EDF研究说明文（E-N-M-RE/93 3075）
- [2]某阀门厂2K1727设计计算报告
- [3]《阀门设计手册》杨源泉主编