

汽轮机调门异动原因与对策分析

石嘉宝 朱珂皓 杜阳阳 何念
(中核核电运行管理有限公司维修二处 浙江 嘉兴 314300)

摘要: 某机组在运行期间多次发生汽轮机调门异常动作, 导致机组功率波动, 严重影响机组安全稳定运行, 最终通过更换调节阀油动机比例阀消除缺陷, 解体比例阀发现比例阀阀芯附着少量油泥。本文从阀门异常动作现象及产生机理进行分析, 明确调门出现动作异常的根本原因, 并提出针对性的改进措施, 彻底解决汽轮机调门异动问题, 提高了机组运行的安全性和稳定性。

关键词: 汽轮机; 调门; 异动; 油泥

0 引言

蒸汽通过 4 个高压进气阀和 4 个中压进气阀进入汽轮机。每个高压进气阀包括 1 个高压调节阀和 1 个高压主汽阀, 每个中压进气阀包括 1 个中压调节阀和 1 个中压主汽阀。蒸汽调节阀的开度关联着机组功率, 故保证调节阀处于平稳状态是维持机组安全稳定运行的关键。

1 概述

高压油动机及操纵座用于调节阀开度的连续控制, 调门的开启采用油动机内活塞下腔室的充油, 液压驱动活塞将压缩外部的弹簧, 使得阀门开启, 当二者力量平衡时, 阀门处于某一特定位置, 弹簧处于蓄能状态; 当液压缸下腔失去油泄压时, 油动机活塞反向运行, 阀门在弹簧的作用下关闭。

机组自 2020 年以来, 某调门多次发生机组运行期间由 100% 开度快速突关随后全开的现象。调门异动直接导致机组瞬时功率小幅波动, 严重影响机组安全稳定运行。

2 调门异动原因分析

2.1 卡件回路排查

阀门控制回路为 P320 控制器中, 汽轮机负荷逻辑根据机组目标负荷计算出阀门开度指令—输出至信号分配—信号分配卡输出至 VICKERS 卡—VICKERS 卡接收阀门开度指令、阀门位置反馈、比例先导阀位反馈、比例阀主阀位信号, 通过运算后输出阀门开度指令, 作用在比例阀上, 随后由比例阀控制油动机充 / 排油实现阀门开度变化。录波仪捕捉信号情况见图 1。

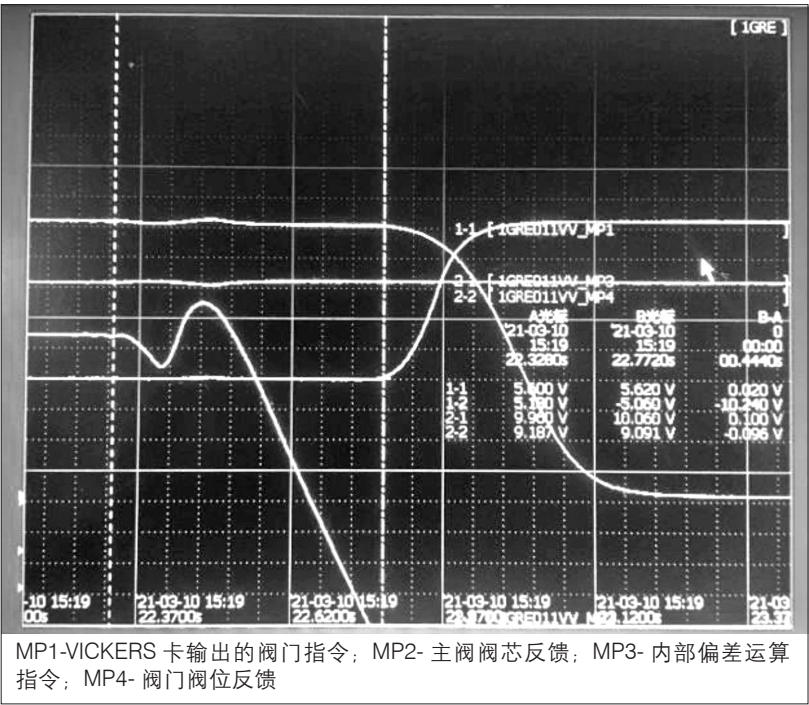


图 1 录波仪捕捉信号

查看录波仪, 显示信号出现震荡的起始在于比例阀主阀的位移信号 (MP2), 而不是卡件输出的控制信号 (MP1)。因此, 卡件指令信号回路异常的可能性较小。

2.2 卸载阀故障排查

根据油动机油路图, 电磁阀得电后, 安全油压供油失去后, CVS 和 CVP 卸载阀在弹簧力复位的作用下将油动机调节油泄掉, 实现阀门快关。在机组随后的消缺处理中, 对油动机卸载阀进行拆除, 检查卸载阀各部件正常 (图 2), 无油泥、异物, 卸载阀动作灵活无卡涩, 对卸载阀进行清洗后回装。

若卸载阀发生故障, 则油动机内部油液从回油管线泄压, 阀门保持关闭, 不会造成阀门突关后再突开, 与本次缺陷阀门异常动作情况不符, 因此可排除卸载阀故



图 2 卸载阀解体图

障原因。

2.3 调节油系统油路排查

抗燃油从油箱经主油泵和过滤器进入油动机。根据调节油系统油路图（图 3），油箱抗燃油经油泵加压通过软管，主油泵进口设有 2 个滤网，过滤精度为 149μm，滤网材质为不锈钢；主油泵出口设有 2 个过滤器，过滤精度为 5μm，滤网材质为合成纤维；油动机抗燃油进口无滤网装置。滤芯孔径较小，异物无法通过滤芯进入系统。油动机内部油路节流孔板孔径主要有 φ 0.5mm、φ 2mm、φ 4mm 等尺寸。若油动机内部存在异物，导致节流孔板堵塞，阀门将突关，但不会突关后再次突开，与实际情况不符，因此可排除油管路内存在异物导致阀

门异动。

2.4 比例阀原因排查

根据录波器对信号的监测显示，阀门异动期间，首先是 MP2 比例阀主阀阀芯动作异常，随后 MP1 VICKERS 卡输出的阀门指令响应动作。因此，阀门异动是由比例阀故障引起的可能性较大。

3 月 12 日，对缺陷调门比例阀进行更换。比例阀解体后，发现阀芯上附着有尺寸约为 0.01mm×0.02mm×1.5mm 的黑色异物（图 4），阀芯与阀座配合间隙约为 0.03mm。该异物尺寸小于阀芯阀座配合尺寸，运行期间比例阀保持在固定位置，且阀芯拆除时轻松无卡涩。使用酒精对阀芯阀座进行清洗后，阀芯、阀座无明显划痕。因此，可排除该异物导致比例阀卡涩。

在解体检查比例阀时，发现有多颗直径约为 1mm 的油泥，如图 5 所示。

将比例阀各部件使用酒精清洗后，置于试验台上进行响应试验，其阀位响应曲线正常，测试报告见图 6。

根据比例阀解体情况，比例阀内部控制油路油泥堵塞导致比例阀异常动作的可能性较大。结合阀门工作流程，推测异常事件的动作过程为微调模式下，比例阀主阀阀芯和先导阀阀芯均左右持续性短程移动，当出现阀芯的卡涩后，阀芯的运动受到阻滞，输出液压信号恒定，不再变向，

这样阀位控制的油动机行程持续放大，控制卡接收到的位移反馈信号持续与预定输出偏离，不断加大对此运动的抑制信号，如实际是开的过程，将加大关的信号，反之亦然，直至造成 0% 或 100% 的控制要求。这种控制的不断加大即将克服阀芯的阻滞，完成阀门的动作。

调门关闭后，系统自动给出的电信号加大，放大器上淤积油泥被冲开，比例阀恢复正常。由于上游卡件指令阀门开度持续为 100%，故当比例阀恢复正常后，阀门迅速突开至 100% 开度，与现场缺陷情况一致。

3 调门异动改进措施

机组多次发生调门异动根本原因因为调门油动机比例阀阀门油泥淤积。EH 油劣化过程中，水解、低温氧化、高温降解以及金属等其它污染物均会产生油泥，积蓄在整个 EH 油系统中。尤其对于运行时间较长

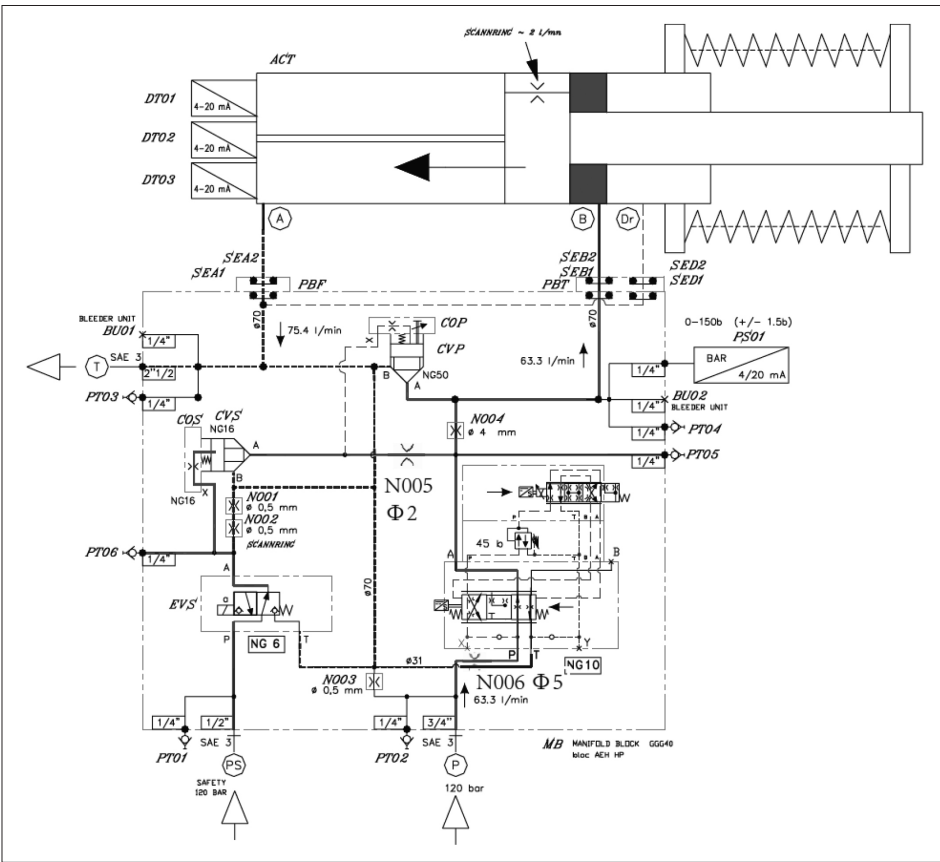




图4 比例阀内部异物

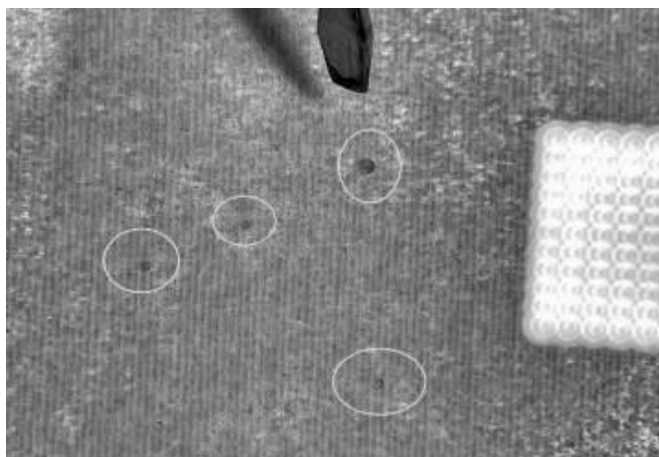


图5 油泥

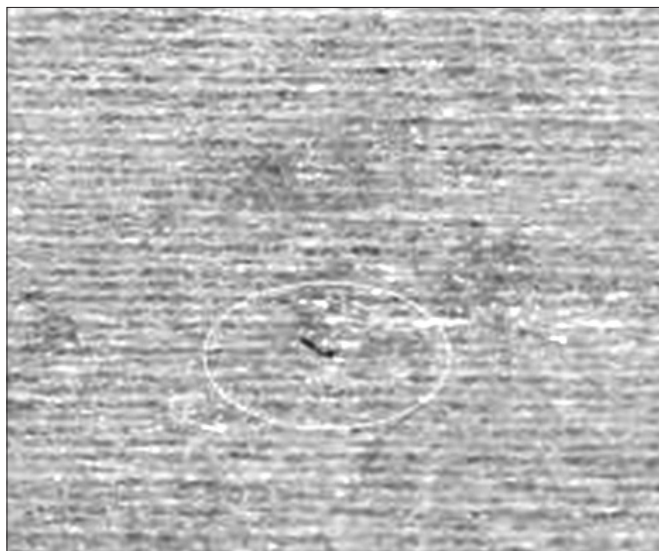


图6 油动机测试报告

的机组，油泥问题日益凸显，经常引起过滤器堵塞、电磁阀卡涩等问题。

油泥是一种薄的、不溶性的胶状沉淀物，具有极性且溶解度随温度变化。油泥形成前（油泥前体）75%以上是小于 $1\mu\text{m}$ 的软颗粒。随着时间的推移，油泥前体逐渐附着在管道、阀门等表面，形成油泥。当油泥超出其在EH油中的溶解度时，不溶性的油泥从EH油中析出。

当更换或添加新油时，管道、阀门等系统中附着的油泥会快速析出，引起过滤器堵塞或电磁阀卡涩。

由于汽轮机调门直接关联机组运行功率，为保证机组安全稳定运行，保持调门处于正常可控状态，建议可以从以下几个方面进行管控。

3.1 定期更换油动机比例阀

由于比例阀在机组运行期间保持相对稳定的状态，阀芯内部调节油不存在大流量充排现象，内部油液长期静置极易形成油泥。油泥附着在阀芯表面，积累到一定程度将影响阀门正常动作。因此，比例阀作为阀门开度控制重要部件，需定期更换，保持内部阀芯清洁。

3.2 机组大修期间进行长时间油冲洗

大修期间，调节油系统油箱、阀门、软管等部件可以单独清洗、更换，但系统长期运行，附着在管壁上的油泥、杂质无法有效去除。运行过程中，若油泥、杂质从管壁脱落，极易形成异物进入油动机，影响阀门控制。机组大修期间可以单独对系统油管路进行大流量油冲洗，去除系统管路上存在的异物、油泥。油冲洗时间越长，效果越好。

3.3 严控调节油油质

对EH油低温氧化和高温降解、水解、金属污染的劣化机理分析可知，EH油劣化后会直接引起EH油酸值增加和油泥生成。酸值增加会导致EH油电阻率降低，进一步引起伺服阀、电磁阀等部件的电化学腐蚀，使EH油系统中金属离子增加；而在使用硅藻土过滤器、强极性过滤器除酸过程中，也会进一步引入金属离子。金属离子的增加会进一步引起EH油的劣化，使酸值升高并生成金属皂化物。油液中的酸和金属皂化物使EH油的空气释放值和泡沫特性等指标劣化，进一步促进EH油氧化。因此，需定期对EH油油质取样分析，对其酸值、水分、颗粒度和电阻率进行监测。若油质存在劣化倾向，应及时进行滤油或更换油品。

4 结语

汽轮机调门异动原因存在多种可能，本文通过机组实际运行情况，从调门卡件控制回路、油动机模块、系统油路排查等多方面分析，最终定位缺陷原因，并提出针对性改进措施，对于发电机类似缺陷的排查处理具有一定的借鉴意义。截至目前，机组调门运行情况稳定，未再发生异动现象。

参考文献：

- [1] 刘剑. 728MW 汽轮机调门卡涩原因分析与处理措施[J]. 科技视界, 2021(15): 52-54.
- [2] 张振宇. 汽轮机调节油运行期间油质监督的优化[J]. 中国仪器仪表, 2020(11): 90-93.