

某机组 ARE 给水阀阀位测量故障分析及解决方案

Fault Analysis and Solution of Valve Position Measurement of ARE Feed Water Regulating Valve of A Nuclear Power Unit

韦汇涵

Huihan Wei

中广核核电运营有限公司 中国·广西 防城港 538000

China Nuclear Power Operations Co., Ltd., Fangchenggang, Guangxi, 538000, China

摘要: ARE 气动给水调节阀在核电站起到了重要的作用,特别是在功率运行期间对其调节响应要求很严格,被列为核电站重要敏感设备。某核电机组 ARE 给水调节阀调试及日常期间发生多次阀位测量偏差大及异常问题。论文结合阀位反馈和定位器的原理对出现测量偏差和异常的可能原因进行分析,并给出了解决方案。

Abstract: The ARE pneumatic feedwater control valve plays an important role in nuclear power plants, especially with strict requirements for its regulation response during power operation, and is listed as an important sensitive equipment in nuclear power plants. During the debugging and daily operation of the ARE feedwater control valve in a certain nuclear power unit, there were multiple instances of significant valve position measurement deviations and anomalies. The paper analyzes the possible causes of measurement deviations and anomalies based on the principles of valve position feedback and locator, and provides solutions.

关键词: ARE; CTS-420 型阀位反馈; DVC6205 型定位器; 偏差异常

Keywords: ARE; CTS-420 valve position feedback; DVC6205 locator; abnormal deviation

DOI: 10.12346/etr.v5i12.8889

1 引言

气动调节阀有着较高的可靠性及稳定性,被广泛地应用在核电站的温度、压力、水位等调节系统。而阀位是对阀门调节来说较为重要的参数,阀位控制出现大的偏差,可能会引起温度、压力、水位等的异常变化。

2 问题简述及阀门基本情况介绍

2018—2022 年期间,某核电机组 ARE 给水调节阀多次出现阀位测量异常的问题,其主要故障模式可以归结为以下 3 点:①阀门阀位测量与实际阀位偏差大。②阀位测量显示超量程。③阀位测量指示大幅度波动及断线故障。

阀位测量偏差大出现的频率较高,其次为超量程故障,而阀位测量指示大幅波动及显示断线故障仅出现过一次。

ARE 给水调节阀主要包括阀门本体和气动控制回路仪控设备。气动控制回路与阀门本体采用分体式设计,仅有

DVC6215 位置反馈单元以及 LVDT 传感器安装在阀门上,其他设备安装在独立支架上。气动回路控制原理与多电站 ARE 阀门相同,主要不同点在于定位器等设备与阀门本体分离,定位器的反馈信号由安装在阀门本体上单独的阀位反馈提供。

3 主要部件的工作原理

3.1 阀位测量部分的工作原理

机组 ARE 调节阀上使用的阀位移测量传感器型号为 CTS-420,由安装在阀门本体上的传感器(LVDT)以及安装在独立面板上的信号调节器组成。联轴器连接到安装在阀门本体上的传感器,其信号调节器和定位器等设备一样安装在独立面板上。该传感器的结构为不锈钢,采用的是全密封焊接,并且使用非接触式可动金属棒铁芯,正常情况下不应出现磨损。

【作者简介】韦汇涵(1994-),男,壮族,中国广西南宁人,本科,助理工程师,从事核电站仪控技术研究。

LVDT 传感器内有一个初级线圈, 两个次级线圈和一个金属棒铁芯, 两个次级线圈反向串联。金属棒铁芯跟随阀门开度在传感器内上下运动, 改变两个次级线圈产生的感应电动势, LVDT 输出电压为两个次级线圈电压之差, 电压输出大小与金属棒铁芯的位移量呈线性关系, 然后经过信号调节器输出 4~20mA 电流信号, 作为阀门位置反馈阀门开度。LVDT 的反馈信号具有显示和控制功能, 控制功能主要是用于手自动信号跟踪和触发 OAF 的辅助功能, 一般情况下不直接参与阀门调节。传感器在安装时要保证传感器轴向与阀杆运动方向平行, 安装支架及与传感器铁芯连接的金属棒必须使用非磁性材质, 金属棒运动过程中不能有摩擦, 运行期间要避免强磁靠近。在安装时, 传感器和信号调节器距离不能超过 7.62m。

每台 ARE 阀门安装有 3 个 LVDT 传感器以及安装在独立面板上的信号调节器, 3 个阀位反馈 (简称 MM) 的输出信号取大值后送 PICS 对应的信号点进行显示, 当两两偏差大于 5% 时出相应的阀位测量偏差大报警。MM 的输出不直接参与阀门的逻辑控制。在阀门全开和全关时, 若阀门触发跟踪模式, 则会跟踪 3 个 MM 测得的阀位实测值, 参与阀门手自动切换的逻辑。

3.2 DVC6205 型定位器的工作原理

ARE 阀门使用 DVC6205 定位器搭配 DVC6215 位置反馈器控制阀门开度, DVC6205 定位器与 DVC6200 定位器参数及功能一致。DVC6215 位置反馈器与 DVC6205 定位器之间的反馈连接由四根反馈信号线组成, 连接在定位器左侧接线盒的反馈端子上。DVC6205 定位器指令信号线连接在定位器上部接线盒内^[1]。

4 阀位测量异常的原因分析及解决措施

4.1 阀位测量与实际阀位偏差大的原因分析及解决方案

① 阀门位置传感器相关接线松动。

阀位移传感器型号为 CTS 420-4000, 由安装在阀门本体上的 3 个 LVDT 传感器以及安装在独立面板上的 CTS 信号调节器组成。联轴器连接到安装在阀门本体上的 LVDT 传感器, 每个传感器通过 5 芯电缆与安装在独立面板上的信号调节器相连。3 个信号调节器加上航空插头一共有近 18 处接线连接, 多的接线数量容易带来较高的接线松动问题, 同时航空插头处为垂直悬空, 接线不牢将导致 LVDT 及信号调节器输出不正常, 造成阀位测量偏差大。经统计, 2018 年就有 2 起异常与就地接线松动有关。此外, 也要注意防止初、次级线圈接线错误。

为避免接线带来的测量偏差, 可以采取以下措施: 一是使用合适的紧固工具。在紧固接线时, 使用合适的紧固工具, 螺丝刀的型号、规格需与紧固螺丝尺寸匹配, 避免过度紧固导致螺丝滑丝及过力矩。二是使用锁固装置。对于航空插头

处, 可以使用固定装置将电缆及传感器固定在一起, 防止松脱脱落。三是定期检查紧固部件。可以每个维修周期检查紧固接线端子及其紧固件, 如螺丝螺母等。如发现松动或状态不佳, 应及时进行紧固和更换。

② 铁芯上下移动卡涩、弯曲, 连杆固定件、密封件松脱, 晃动大, 导致输出突变。

这属于安装原因, 安装时 LVDT 的金属探杆与测量筒未装正, 导致后续金属杆在测量筒中移动时产生摩擦及损耗, 甚至发生弯曲, 从而引起非线性误差^[2]。

为减小安装带来的测量偏差, LVDT 传感器在安装时要保证传感器轴向与阀杆运动方向平行, 安装支架及与传感器铁芯连接的金属棒必须使用非磁性材质, 金属棒运动过程中不能有摩擦, 运行期间要避免强磁靠近。同时, 在安装时, 安装螺丝力矩不能超过 4N·m。外观检查通过对 LVDT 的安装位置和阀门微调开度时, 观察铁芯是否移动正常, 铁芯有无松脱剐蹭现象来判断 LVDT 是否工作正常。

③ 电源供电不足或不稳定。

LVDT 的两个次级绕组反向串联, 其等效电路可以如图 1 所示。初级绕组的励磁电压为 U_1 , 输出为 U_2 。

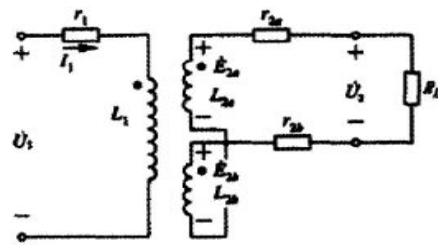


图 1 LVDT 等效电路

则当次级开路时, 初级线圈励磁电流 $I_1 = \frac{U_1}{r_1 + j\omega L_1}$, 根据电磁感应定律, 次级绕组中感应的电动势分别为: $E_{2a} = -j\omega M_1 I_1$, 和 $E_{2b} = -j\omega M_2 I_1$ 。变压器输出电压为: $U_2 = E_{2a} - E_{2b} = \frac{j\omega (M_1 - M_2) U_1}{r_1 + j\omega L_1}$ 。

由上式可以看出, LVDT 的输出也是频率及电源幅度的函数, 只有电源的频率及幅度稳定时, 其输出才与位移 ($M_1 - M_2$ 正比于位移) 呈线性关系^[3]。因此, 电源的不稳定将引起测量偏差。故在阀门检修中要注意采取检查电源接线是否紧固, 以及必要时测量电源供应是否满足 10~36VDC 的要求的措施, 以避免电源带来的测量影响。

④ 测量行程超出 LVDT 的线性范围。

CTS 420-4000 型 LVDT 工作过程中, 金属棒铁芯运动不能超出线圈的线性范围, 否则将产生非线性值, 导致测量偏差大。

CTS 420-4000 型 LVDT 线性范围为 0~101.6mm, 而 ARE 给水调节阀阀门最大行程为 101mm, 因此在安装正常的情况下, 其线性区刚好满足阀门全程测量, 因此这对于

金属棒的安装高度要求较为严格,安装稍微过高或过低都会造成测量影响,在实际测试中,我们也发现金属棒安装过高或过低,其输出就越来越非线性,测量的阀位与指令偏差就会越来越大。同时由于阀位传感器仅能够调节零点和量程点,因非线性的存在,若零点和量程完全对应,会导致中间各点超差,目前这个问题无法避免。

因此,出于尽可能减小此种情况的影响,在调整金属棒的初始位置时需要在多次全开全关阀门测量其输出线性在可接受范围后确定,并需多次对零点量程进行调整,调整后做好位置标记,方便后续的检修工作。

⑤环境温度变化导致测量偏差大。

温度变化可能会使得传感器的线圈及导磁体磁导率、线圈电阻、结构尺寸参数发生变化产生测量漂移产生偏差。同时温度变化也可能直接影响电源和测量电路的输出造成偏差。

LVDT 电子组件工作温度范围为 -40°C ~ 95°C , 传感器部分工作温度为 -55°C ~ 150°C 。现场 LVDT 传感器安装于阀体上,日常期间执行 ARE 调节阀阀体部件的测温,发现位置反馈传感器的温度超过 50°C ,保温表面超过 70°C ,同时检查 ARE 调节阀保温下半部分中空,容易引起烟囱效应,对传感器及电缆造成高温熏蒸,虽说测量温度在传感器的工作温度范围内,但长时间运行在较高温条件下也可能导致传感器尤其是航空插头电缆相关结构老化。

为减小高温带来的测量的影响,可以考虑在检修期对阀门本体及管道的保温改造,保温材质可选用保温效果较好、导热系数较低的柔性保温套(软材质)。同时改善通风条件,降低至适合的环境温度。

4.2 阀位测量显示超量程

在汇总的故障信息中,有多次阀门显示超出 DCS 测量限值的情况,这些情况都是阀门处于全开或全关位置时出现的。

阀位反馈测量的调整要求为 $\pm 2.5\%$ 以内,而 DCS 上下限监视设置为 3% ,也就是说阀门全开时阀位显示大于 103% 、全关时小于 -3% 时显示无效。在实际的检修调整过程中,由于阀位传感器仅能够调节零点和量程点,因非线性的存在,中间各点会有超差,故在全开位置往往习惯在合格范围内偏高,全关位置在合格范围内偏低,这就导致当阀位调节或阀位测量出现些许偏差时,全开全关位置的阀位测量输出就超出监视值。因此,在没有特别要求的情况下,可适当放宽 DCS 上的上下限监视。另外,也可以考虑提高阀门在全开和全关时阀位测量的偏差要求。

4.3 阀位测量指示大幅度波动及断线故障

在某次阀位反馈的故障中,发现在阀门开度指令信号为 50% 情况下, PICS 显示 75% 并持续在 75% ~ 90% 间波动,查询趋势,此 MM 显示先由 49% 突然阶跃至 100% ,随后缓慢波动至 75% 左右指示,并一直存在波动。不久后直接显示断线故障。在排除接线松脱、传感器松动、金属棒刚磨

等因素后,测量 CTS 信号调节器板件初次线圈、S1/C1、次级线圈间电压数据发现,初/次级线圈输出电压均存在异常。比对新旧板件,发现旧板件初级线圈供电模块处 V2 晶体管反向电阻阻值约 200Ω ,正常应为无穷大,判断 V2 元件异常,导致板件初次线圈、S1/C1、次级线圈间电压异常,从而使输出电流与 LVDT 探头测量值不匹配。

导致电路板原件异常的原因,可能是静电、潮湿、过载、过热等;可以考虑以下几点措施:①检修或安装过程中能尽量佩戴防静电手环,对电路板轻拿轻放;②就地安装风扇或增加通风,改善散热条件,同时在信号调节器内电路板周围防止干燥剂,防止房间内外温差产生的冷凝水带来的影响;③若出现过载导致元件频繁烧毁的故障,应重新评估设计选型级电流大小,反馈厂家提高电路板元件的抗击穿能力,确保板件正常工作。

5 结语

鉴于此型号阀位测量装置的故障频率及故障原因较多,从多维度采取预防及处理措施无法从根本上解决故障,影响机组稳定运行;同时,同一个阀门使用 3 个阀位测量传感器带来了高的故障率,多次进行检修处理也带来了较高的维护成本。综上,建议可取消 ARE 阀门的 3 个阀位反馈装置,改用 DVC6200 系列智能定位器自带的阀位输出信号进行监视,原因如下:

①原设计测量冗余的理念,对于逻辑上不设计进行阀门控制的阀位反馈来说,重要程度较低。就算失去阀位反馈,影响的只有阀门手自动切换时的阀位跟踪(目的是完成无扰切换)、触发 OAF 辅助功能以及出现相关偏差报警,在运行状态下对阀门的控制调节影响甚小。

②三个阀位测量装置的设计带来较高的维护成本及故障频率,取消三个阀位测量所涉及的电缆接线改造、组态画面修改、报警逻辑取消等工作带来的效益长远来看远高于检修维护。

③ DVC6200 系列定位器自带的阀位输出信号多电站应用广泛,可靠性及维护的便利性方面得到有力验证。

对 CTS-420 型阀位测量装置的深入探讨及分析,为气动调节阀的检修和故障处理提供了良好的案例;同时论文所提出的相关解决方案,是减小测量偏差及故障,提高测量可靠性的必要措施。

参考文献

- [1] Emerson Introduces Remote-Mount Digital Valve Controller for Hostile Environment Installations[J]. Paper Asia, 2013, 29(3):10.
- [2] 王成良.台山电厂高压调门LVDT故障对机组运行造成的影响与处理[J].电子世界,2014(18):99+100.
- [3] 廖先碧.LVDT测量系统误差因素分析与补偿[J].科技视界,2012(26):264-265.