

重水堆核电厂蒸发器主液位控制阀内漏故障诊断及处理

张帆 廖骥晖 王明雪 张童满 李浩楠

(中核核电运行管理有限公司维修五处 浙江 嘉兴 314300)

摘要: 在重水堆核电厂蒸发器主液位控制阀在大修期间验证出内漏故障后, 本文通过故障树分析法, 对蒸发器主液位控制阀的阀门控制附件、气动执行机构和阀门本体的故障原因进行全面排查, 并对根本原因进行定位、制定合理的故障处理方法, 最终使修复后的主液位控制阀满足设计的使用要求, 确保主液位控制阀的稳定性及核电厂安全。

关键词: 蒸发器主液位控制阀; 内漏; 原因分析; 处理

0 引言

重水堆核电厂蒸发器给水系统的主要功能是向蒸汽发生器提供充足的给水, 以满足不同运行模式下要求的蒸发器二次侧液位控制要求。来自凝结水系统的供水在除氧器中完成对其中氧气及其他不凝结气体的去除后通过给水泵送至高压加热器, 高压加热器对给水进行加热后通过蒸发器给水阀站的控制阀组把水输送至蒸发器^[1]。

蒸发器作为核电厂的关键设备, 是一回路和二回路的接口部分。作为反应堆的第一热阱, 蒸发器受到出口蒸汽湿度限制, 因此稳定的蒸发器二次侧液位控制显得非常重要。每台蒸发器对应一个液位控制阀组及其各自的隔离阀, 每个液位控制阀组包括两台主液位控制阀和一台辅助液位控制阀, 通过执行蒸发器液位控制程序 (SGLC) 软件的调节指令达到控制蒸发器二次侧液位的目的。

在满功率情况下蒸发器液位设定值为 2.5m, 当液位达到 2.8m 时会出现高液位报警, 液位达到 2.96m 会导致汽轮机脱扣。在机组正常运行期间, 液位控制阀组中一台主液位控制阀优先控制进入蒸发器的主给水, 将蒸发器液位维持在设定值, 另一台主液位控制阀备用。在机组运行期间, 4 号蒸发器主液位控制阀作为备用阀门处于关闭状态且被电动隔离阀隔离, 运行人员无法通过蒸发器液位控制程序 (SGLC) 软件反馈出的阀门开度、给水流量及蒸发器液位等信息定位到阀门出现内漏^[1]。

在某次大修初期, 运行人员发现 4 号蒸发器主液位控制阀隔离阀全关的情况下液位持续下降, 通过

操作验证定位到 4 号蒸发器主液位控制阀阀门存在内漏, 因此需要分析并查找阀门内漏原因, 消除故障, 以保证系统的安全稳定运行。

1 蒸发器主液位控制阀结构

蒸发器主液位控制阀为 Fisher 12" EUT-2 型调节阀, 其压力等级为 CL600, 阀体材料为 WCB, 气动执行机构型号为 Fisher471 型, 阀门失效关闭。

蒸发器主液位控制阀由气动执行机构、调节阀本体及阀门控制附件组成。气动执行机构作为调节阀的动力部件, 通过活塞杆的上下动作, 带动阀塞阀杆组件动作。调节阀本体作为调节部件, 以圆筒形阀笼为导向, 装配一个能在轴向自由滑动的阀塞, 阀笼为多孔式, 阀笼上开有一定流量特性的圆孔, 当阀塞动作时, 通过阀塞与阀笼圆孔所形成的流通面积变化来实现流量调节。该阀门的流量特性为线性, 即流量变化直接正比于阀杆行程的变化, 其正常运行期间, 蒸汽发生器液位控制阀接受蒸汽发生器液位控制 (SGLC) 程序的控制, 调节蒸汽发生器给水流量, 满足蒸汽发生器液位控制的要求。

2 内漏故障原因分析

根据蒸发器主液位控制阀的结构, 阀门如果出现内漏的故障, 阀门控制附件、气动执行机构和阀门本体都可能存在问题。其中气动执行机构和阀门控制附件故障可能会引起阀门关闭不到位或阀塞与阀座压紧力不足从而导致阀门出现内漏故障, 阀门本体各密封面的损伤可能会引起系统介质无法被完全阻断从而导致内漏。本文通过分析各部件失效引起

的后果,建立了蒸发器主液位控制阀内漏的故障树^[2],从阀门控制附件故障、阀门执行机构故障和阀门本体故障三个方面进行故障原因分析。

2.1 阀门控制附件故障

蒸发器主液位控制阀借助阀门定位器等控制附件对信号进行处理,将气源压力传递给执行机构,通过改变作用于执行机构活塞的气源压力,使活塞杆带动阀杆阀塞组件产生位移从而调节流量。如果定位器等控制附件故障或附件连接管线出现损坏、漏气等现象都会引起供气压力不足导致内漏故障的发生。

在机组运行期间,运行人员可以通过程序正常控制操作阀门,且定位器的输入输出信号均确认正常。附属管线也未发现有损坏、漏气现象。对阀门进行在线诊断,利用在线诊断软件测试8个阶跃,每个阶跃15s,横坐标为时间,纵坐标为阀门行程,从阀门阶跃响应诊断分析图中可以看出两个曲线的吻合度良好,得出阀门对输入信号的响应能力良好。除此之外,驱动信号表示电路操作I/P和继电器的能力,正常范围为60%~80%,从驱动信号曲线图中得出阀门的驱动信号也在正常范围内。故排除阀门控制附件故障导致内漏的可能性^[2]。

2.2 执行机构故障导致内漏

蒸发器主液位控制阀的气动执行机构为活塞式,执行机构接收两路气源压力,通过上下气源压力形成的压力差推动活塞杆做上下运动。执行机构活塞杆与阀门阀杆通过联接夹连接,带动阀杆阀塞组件上下动作改变流体在调节阀内的流量,实现调节功能。在对阀门进行在线诊断前检查确认执行机构活塞杆与阀门阀杆对中和联接正常,连接临时气源动作阀门,阀门动作行程与限位标识一致,且活塞杆与阀杆均动作灵活无卡涩。

在线诊断得出的阀门特性曲线中曲线1、曲线2、曲线3三条曲线分别代表实际开阀曲线、设定理想曲线和实际关阀曲线。在阀门特性曲线图中关闭位置的曲线1与曲线3完全重合无间隙,由此可以推断出阀塞阀座密封面贴合紧密。且通过诊断结果可以看出克服阀塞不平衡力后的阀座受力,即工作阀座负载为60172.41N,满足阀门泄漏等级所需的阀座受力,即要求阀座负载为16878.98N,由此看出阀门在线诊断出的阀塞阀座压紧力远大于要求值,即工作阀座负载满足阀门泄漏等级所需的阀座受力,

不存在阀塞阀座压紧力不足的情况,且在阀门特性曲线中行程为0时对应的实际开阀和实际关阀特性曲线完全重合无间隙,说明阀塞阀座能够紧密贴合。执行机构解体后确认各组件、密封件完好,无磨损变形,验证了在线诊断软件的准确性,也因此排除执行机构故障导致内漏的可能性。

2.3 阀门本体故障导致内漏

阀门本体由于无法通过目视检查和在线诊断的方法定性原因,因此大修时通过解体检修对故障树分析出的阀门本体部分的可能原因进行逐一排查^[3]。

2.3.1 阀塞或阀座密封面损伤导致内漏

蒸发器主液位控制阀在阀门处于关闭状态时,通过阀塞与阀座密封面的紧密贴合,可以阻止系统中的介质进入阀体内部。故阀塞或阀座密封面的损伤均会导致阀门出现内漏故障。

在大修期间对4号蒸发器主液位控制阀进行解体检修,该阀门解体后,发现阀塞与阀座密封面上均无划痕、冲蚀、凹坑等损伤;对阀塞和阀体密封面进行蓝油试验,检查发现蓝油压痕均匀、连续、清晰,验证了在线诊断软件对阀塞阀座密封面诊断的准确性,也排除了阀塞或阀座密封面损伤导致内漏的可能。

2.3.2 阀塞和阀笼组件密封面损伤导致内漏

蒸发器主液位控制阀的阀塞与阀笼之间通过阀塞密封环实现密封,当阀塞密封环受到系统中介质作用时会胀开起到阻断介质流通的作用。阀塞密封环发生老化受损或阀笼内表面损伤都会导致阀塞密封环与阀笼内表面无法紧密贴合,从而导致内漏故障^[3]。

阀门解体后对旧的阀塞密封环进行检查,发现密封环表面平整,无贯穿性划痕和老化现象。随后对阀笼内表面进行检查,发现阀笼内表面无划痕、凹坑等故障,因此排除由于阀塞与阀笼密封面损伤导致内漏的可能。

2.3.3 阀笼组件和阀体密封面损伤导致内漏

蒸发器主液位控制阀阀笼组件的阀座与阀体之间通过阀座密封环实现密封。阀座密封环受到阀前介质作用胀开与阀体内壁紧密贴合,阻止介质流入阀后管道,当阀座密封环老化受损或阀体内壁出现凹坑,阀体密封环与阀体内壁无法紧密贴合,就会出现阀前介质流入阀后管道的现象。故阀笼组件与阀体密封面损伤会导致阀门出现内漏故障。

对阀门进行解体后,对旧的阀座密封环进行检查,发现密封环表面有多处凹坑,并存在贯穿性损伤。对阀座密封环对应的阀体位置进行检查,发现阀体密封面也存在多处凹坑和贯穿性划痕,且与阀座密封环上的损伤一一对应。在旧的阀座密封环上涂抹一薄层蓝油,与阀体进行配合后,检查发现阀体对应的位置上蓝油痕迹部分位置存在模糊、断线的现象,因此将内漏故障定位在阀座密封环与阀体密封面损伤上^[3]。

2.4 内漏故障原因总结

采用故障树分析法对蒸发器主液位控制阀内漏原因自上而下逐层由简及繁、由易到难分析和排查,结合在线诊断的方法排除阀门控制附件故障、执行机构故障和阀塞阀座密封面损伤造成内漏的可能性,将内漏发生的原因锁定到阀塞组件与阀笼密封面损伤和阀笼组件与阀体密封面损伤,而后通过大修解体检修最终将内漏发生的原因定位到阀座密封环与阀体密封面损伤。其根本原因是阀体密封面长期受到系统内高温介质的冲刷,导致表面出现很多凹坑,且凹坑多位于阀体与阀座密封环接触面的下边缘,该阀门自安装投运以来还未触发预维解体,阀座密封环无法完全补偿阀体密封面的损伤,从而导致内漏故障。

3 内漏故障处理及结果

根据原因分析结果,制定故障处理措施。

3.1 整体更换阀门

该阀门体积较大,与管道为对焊连接,受现场空间限制切割与焊接的难度较大。且仓库中无该阀门的备件库存,若等待购买备件,时间周期较长,经济损失较大。在阀座密封面损伤可修复的情况下暂不考虑该方法。

3.2 对故障处表面层进行补焊和在线机加工修复

受损的阀体密封面为一个直径 336mm,高度 50mm 的圆环形立面,若对故障处的表面层进行补焊和在线机加工修复,因受现场空间的限制,对阀体故障处的打磨和焊接难度较大。阀体表面凹坑并不深,但分布较分散,补焊时可能存在对阀体密封面进行局部的、不均匀的加热导致阀体产生裂纹的弊端,且补焊后无合适的在线机加工装置,无法在短时间内处理好故障,不满足大修进度要求,故将该方法作为备选方案。

3.3 对阀体故障处进行刷镀修复

结合阀体密封面的位置、密封面受损的情况以及补焊和在线机加工修复方案的弊端,考虑采用冷焊结合刷镀等冷加工工艺修复阀体密封面的方法处理该故障。与补焊和在线机加工修复相比,刷镀修复方法具有如下优点:

(1) 工艺简单,操作灵活,受现场空间的限制较小。

(2) 刷镀过程是在常温下进行,阀体材料的本身属性不受影响,且阀门阀体材质为 WCB,其表面硬度为 HRC30 ~ 45,刷镀后的阀体密封面表面硬度最高可达 HRC45,满足阀体材质硬度的要求,提高了阀体密封面的耐磨性、表面防腐性和抗高温氧化性。

(3) 刷镀修复过程中会对阀体进行遮蔽处理,不会有异物进入系统的风险。

(4) 冷加工工艺可以使材质表面获得更好的表面光洁度,改善材质强度属性,提高设备使用的可靠性。且与补焊热加工和在线机加工修复方法相比,刷镀修复方法所用时间短,能满足大修进度要求,最终确认使用该方法对阀门进行修复。

对阀体故障处进行刷镀处理,并对修复后的密封面设计专用研磨工具进行研磨,测量对比修复前后的阀体密封面内径大小满足安装要求,且确保修复后的密封面表面平整,粗糙度小于 1.6 μm 。修复完成后在旧的阀座密封圈上涂抹一薄层蓝油,与阀体进行配合,检查确认阀体对应的位置上蓝油痕迹存在连续、均匀、清晰。阀门回装后,运行人员验证 4 号蒸发器在液位控制阀隔离阀全关的情况下未出现液位下降的现象,确认内漏故障消除。

4 后续改进措施

通过蒸发器主液位控制阀的内漏原因分析和处理,对今后的检修方式和预维策略提出一些可以改进的方向:

(1) 根据蒸发器液位控制运行手册的要求,运行人员在大修前后使用不同的主液位控制阀门以保证 A、C 组阀门有相同的使用频度及可靠性。针对机组运行期间在使用的阀门,运行人员可以通过阀门开度图的变化趋势判断阀门是否存在内漏故障,但对于备用的阀门,运行人员无法在运行期间判断阀门状态。因此建议每次切换阀门后,可以对比一下该阀门与上个使用期间的开度是否有明显变化,在阀门开度有明显变化时考虑阀门是否存在内漏故障。

(2) 在此次解体检修时发现目前正在使用的维修规程中没有明确的对阀体密封面进行检查的步骤,而阀体密封面又存在损伤,后续需将对阀门阀体密封面的检查内容增加到维修规程中,同时在后续大修中安排其他几台蒸发器主液位控制阀的解体检修,汇总对比各阀门阀体密封面的损伤程度,判断是否需要缩短阀门解体检修的预维周期^[3]。

(3) 为便于完善蒸发器液位控制阀内漏的故障排查,制作蒸发器液位控制阀内漏故障原因及可采取的处理方法对照表。当蒸发器液位控制阀出现内漏故障时,按照对照表对所有可能导致蒸发器液位控制阀内漏的原因进行逐一排查:

①对于阀门控制附件故障的情况,若定位器、减压阀等附件输出异常,则检修阀门控制附件,必要时进行更换;若附属连接管线受损、漏气,则更换附属连接管线。

②对于气动执行机构故障的情况,若执行机构内部件损坏,则解体执行机构,对损坏部件进行更换;若执行机构活塞杆与阀杆连接不正确,则重新对中调整,并正确连接。

③对于阀门本体故障的情况,若阀塞密封面损伤,则修复阀塞密封面,必要时对阀塞组件进行更换;若阀座密封面损伤,则修复阀座密封面,必要时对阀笼组件进行更换;若阀塞或阀座密封环损伤,则更换阀塞或阀座密封环;若阀笼内表面损伤,则修复阀笼内表面,必要时对阀笼组件进行更换;若阀体密封面损伤,则修复阀体密封面,必要时进行整阀更换。

根据此次在线诊断结合解体检修的处理方案,考虑后续编写《蒸发器主液位控制阀内漏故障排查

规程》,对于可以通过在线诊断定位的故障,则直接通过在线诊断方法进行定位处理,在线诊断后仍无法定位故障再进行解体检修检查,从而降低检修成本。

(4) 在后续其他阀门解体检查过程中,如出现密封面损伤可修复,但补焊和在线机加工受空间等因素限制无法实施时,可以考虑将刷镀修复和研磨工艺作为一种切实可行的故障处理方案,运用到类似的故障处理中。

5 结语

此次针对蒸发器液位控制阀内漏的故障,本文采用故障树分析法,对故障原因进行全面排查,准确定位出故障原因为阀体密封面受损,根据此故障原因制定合理的处理方案,消除了设备隐患,并提出了现有的检修方式和预维策略中可以改进的方向,确保了设备的稳定运行及安全可靠。

参考文献:

- [1] 刘毅. 蒸汽发生器液位波动的原因分析及响应 [J]. 科技视界, 2019 (05): 135-136.
- [2] 陈常锋, 罗贤龙. Fisher EWT 型调节阀内漏原因及改进分析 [J]. 南方农机, 2019, 50 (20): 152.
- [3] 李克. Fisher 调节阀产品整修技术的研发 [D]. 大连: 大连工业大学, 2019: 93.

作者简介: 张帆 (1992.06-), 女, 汉族, 山东潍坊人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 阀门检修。