

反应堆厂房通风系统安全壳隔离阀缺陷定位处理

王勤伟 沈 杰 吴文同 于群利

(中核核电运行管理有限公司 浙江 嘉兴 314300)

摘要: 本文介绍在出现反应堆厂房通风系统安全壳隔离阀阀间泄漏率试验不合格后, 通过故障树分析法对缺陷表现以及系统、设备布置等因素进行层层递进式分析, 最终确认为单个阀门阀板沉降导致内漏致使阀间泄漏率试验不合格, 并在此基础上制作了安全壳隔离阀阀间泄漏率试验不合格故障原因对照表, 为 CANDU-6 型重水堆处理安全壳隔离阀阀间泄漏率试验不合格问题提供故障定位方法。

关键词: 安全壳隔离阀; 阀间泄漏率; 故障树分析法; 阀板沉降; 阀门内漏

1 项目背景

CANDU-6 型重水堆安全壳隔离系统属于电站专设安全系统, 正常运行时处于备用状态, 在发生一回路失水 (LOCA) 或岛内主蒸汽管线破裂 (MSLB) 事故时, 自动关闭安全壳隔离阀门, 减少放射性物质对环境的释放。

反应堆厂房通风系统的重要功能是: 保证反应堆厂房内的通风, 避免放射性物质的沉积; 为厂房提供新鲜空气; 保持反应堆厂房内的微负压, 以阻止厂房空气中的放射性粒子向辅助厂房泄漏。反应堆厂房进风空调机组设置两级过滤器, 即初效过滤器和高效过滤器, 使入口空气必须先经过过滤, 以防止颗粒杂质进入。反应堆厂房进风空调机组正常运行期间, 进风路径是“新风→初效过滤器→干燥器→高效过滤器→安全壳隔离阀→反应堆厂房”, 保证了进入厂房空气的洁净程度。当反应堆厂房进风空调机组处于检修期间时, 旁路阀打开, 进风路径为“新风→高效过滤器→安全壳隔离阀→反应堆厂房”, 此时送入反应堆厂房的新风经过了高效过滤器的过滤, 空气的洁净程度仍旧能够得到保障, 但因未经干燥器干燥, 所以仍具有一定的湿度。

安全壳隔离阀 7314-PV13 与 7314-PV14 串联布置于反应堆厂房通风系统 (进风) 管道上。两个阀门都在安全壳外侧布置, 7314-PV13 靠近反应堆厂房进风空调机组侧, 7314-PV14 靠近壳侧。反应堆厂房通风系统安全壳隔离阀阀间泄漏率试验 (7314-PV13/PV14 组) 不合格, 初步怀疑反应堆厂房通风系统两个安全壳隔离阀之一或全部存在泄漏; 结合之前进

行的安全壳整体低压泄漏监测试验合格 (即安全壳的泄漏率是符合要求的), 可以综合推断反应堆厂房通风系统的两个安全壳隔离阀中至多有一个存在泄漏。

2 阀门结构介绍

2.1 相关试验方法介绍

安全壳隔离阀阀间泄漏率试验的方法是通过每对安全壳隔离阀阀间管线加压至 124 kPa(g) 后维持不变, 通过测量补入间隙的空气流量计算该对阀门的泄漏率, 要求测量时间必须保证达 15min 以上, 如图 1 所示。相关标准: 设计最大允许泄漏率 < 7000 SCCM (Standard Cubic Centimeter per Minute, 标准立方厘米每分钟), 即最大允许泄漏率 < 7L/min。当时测得的泄漏率为 35

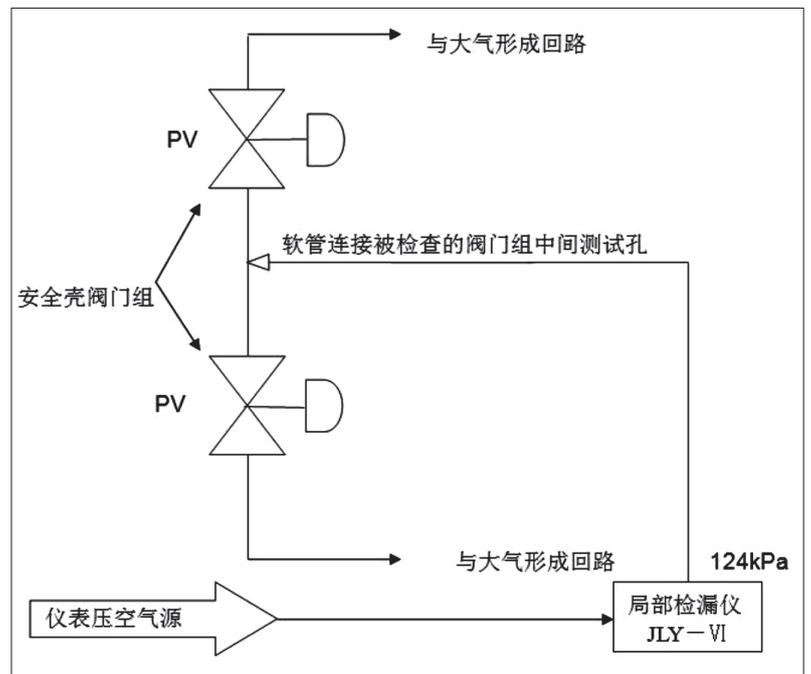


图 1 安全壳隔离阀阀间泄漏率试验方法

L/min, 故试验结果不合格。

安全壳整体低压泄漏监测试验要求: 在 1kPa 压力下, 24h 内安全壳整体泄漏率小于安全壳体积的 5% ; 如果泄漏率超标, 机组必须立即进入安静模式, 并在 8h 内将泄漏量恢复至要求范围, 否则, 机组立即开始执行进入 MODE 5b (冷停堆) 的操作。而当时测得的泄漏率为 0.09%VRB/24h, 小于标准值 1.05%VRB/24h, 试验合格。

2.2 安全壳隔离阀基本信息介绍

反应堆厂房通风系统安全壳隔离阀 (7314-PV13/PV14) 是 NH 公司生产的 30 蝶阀 (CL150 的核 2 级气动碳钢材料法兰连接软密封蝶阀, 阀门为 30), 主要由气动执行机构、适配器、填料函、阀体、上阀轴、阀板、密封圈、下阀轴、推力轴承和下端盖组成; 其执行机构为 Automax 核级重载型气动执行机构 (RN 系列), 失气关; 上阀轴采用填料函密封结构, 可防止介质外泄; 阀门阀座密封为 O 型圈密封, 材质为三元乙丙橡胶 (EPDM), 下轴承端盖的密封圈材质也为三元乙丙橡胶 (EPDM); 执行机构驱动阀轴带动阀板 90° 旋转, 下阀轴底部装有不锈钢衬柔性石墨推力轴承, 在阀门启闭过程中减少下阀轴与端盖之间的相对摩擦。

3 故障分析及处理

3.1 故障分析法简要介绍

从本次缺陷的现象看安全壳隔离阀阀间泄漏率试验不合格, 分析可能存在多种缺陷原因: 7314-PV14 存在内漏, 7314-PV13 存在内漏, 7314-PV14、7314-PV13 与管道法兰之间的密封面存在泄漏 (外漏), 7314-PV14 与 7314-PV13 之间的管道存在泄漏 (外漏), 7314-PV14 阀体外漏, 7314-PV13 阀体外漏, 阀门下端盖与阀体密封面存在泄漏 (外漏), 阀门填料存在泄漏, 等等。原因可能是其中的一个或者几个。针对缺陷原

因的多样性, 需要一种方法能将各种原因分析到最小割集, 并进行有层次地分析判断。故此次决定采用故障树分析法 (FTA) 对安全壳隔离阀泄漏自上而下逐层进行定性分析和排查。

通过对缺陷现象的分析, 拟通过从阀门缺陷的两个大特征, 即内漏与外漏入手进行调查。

3.2 确认泄漏方式

测量安全壳隔离阀阀间泄漏率是由两个蝶阀以及管道组成, 其中任何一个部件或零件出现问题, 均有可能导致阀间泄漏率试验不合格, 结合蝶阀的结构特点和常见缺陷, 通过采用故障树分析法, 对本次缺陷原因作了如图 2 的分析。

通过图 2 所示故障树分析法可知, 导致阀间泄漏率不合格的原因很多, 依次检查判断效率较为低下, 故拟主要先确认是外漏还是内漏。由于阀间泄漏率检查孔内径不具备内窥镜进入阀门的条件, 且附近没有可以直观看到阀门内部情况的开口设备, 故此次排查先从外漏检查进行排查。根据内外漏的缺陷表现现象, 针对此次缺陷先使用氦检查找漏点, 方法如下: 通过减压阀 (输出压力 124kPa) 连接氦气瓶到 7314-PV13 & PV14 阀间泄漏率试验接口, 安排人员分别对 7314-PV14 的 RB 侧 (7312-DF1 检修门)、7314-PV13 的反应堆厂房进风空调机组侧以及阀门本体附件实施氦检并记录。

后经现场管道充压氦检确认: 7314-PV14 的 R/B 侧氦气浓度为 $3.5 \times 10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$; 7314-PV13 的 ACU 侧氦气浓度为 $0 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$; 阀门本体附件的氦气浓度为 $0 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。通过泄漏量测量可以确认两阀之间存在泄漏, 同时可以确认泄漏点为 7314-PV14, 泄漏方式为内漏, 7314-PV13 及其他部件不存在泄漏。

3.3 内漏原因分析及处理

蝶阀内漏故障很常见且影响因素较多, 结合其结构, 采用故障树分析导致阀门内漏的原因。蝶阀内漏

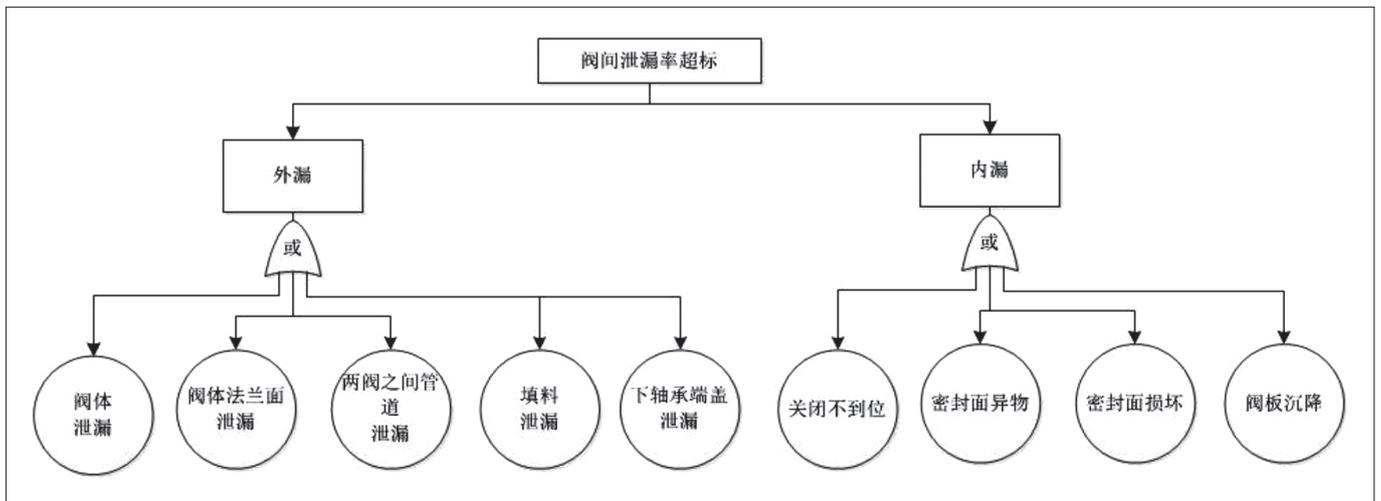


图 2 安全壳隔离阀阀间泄漏率不合格原因分析

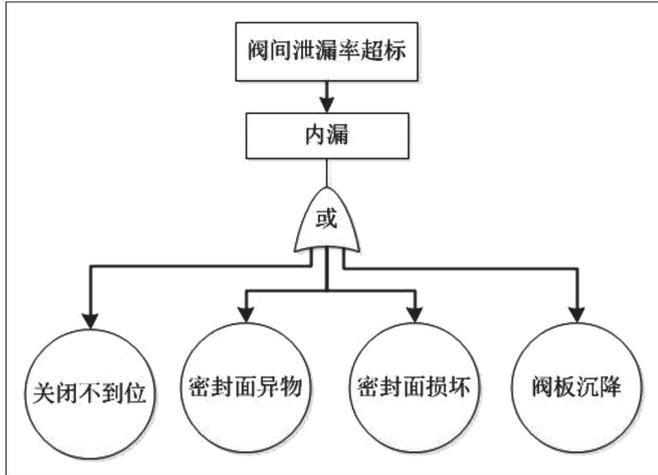


图3 安全壳隔离阀 7314-PV14 原因分析

故障分析如图3所示。

3.3.1 阀板关闭不到位导致泄漏

如果执行机构或者适配器存在缺陷，执行机构未在全关位置或适配器缺陷导致阀门未在全关位置，有可能引起阀门关闭不到位。此阀门为失气关，原理上执行机构失气后在弹簧力的作用下执行机构带动阀门到“关”位；现场检查执行机构阀位指示在“关”位，检查阀杆关位记号与阀体关位记号重合，则证明阀门也处于“关”位，基本排除阀板关闭不到位引起本次缺陷的可能性。

3.3.2 阀座与蝶板之间异物引起的泄漏

7314-PV14的密封依靠阀板与阀座上的密封橡胶圈实现。如果阀板与阀座之间夹杂异物，有可能导致阀板关闭不严，但此安全壳隔离阀位于反应堆厂房进风管，其进风来自于反应堆厂房送风机组，此送风机组正常模式下采用初效过滤器+高效过滤器对送入反应堆厂房的新风进行过滤，在送风机组处于检修期间时，采用高效过滤器对送入反应堆厂房的新风进行过滤，原则上在此过滤精度下不可能有较大的异物进入送风风管，同时通过对此台风机高效过滤器的检查，也未发现有过滤器缺损的情况，故基本排除密封面夹杂异物关闭不严导致泄漏的可能性。

3.3.3 密封面损坏引起泄漏

此阀门阀板材质为CF8M（铸造316），具有优异的耐腐蚀性能，同时系统工况环境较为良好，损坏的可能性较低，除非阀板本身有铸造缺陷，致使在后期的运行中产生缺陷；密封圈的材质为三元乙丙橡胶（EPDM），具有较好的耐腐蚀性、耐辐射性；反应堆厂房进风系统的空气经过两级过滤后存在较大杂质的可能性较小，但长期运行后不排除微小粉尘在密封圈处长期累积。厂家的维修手册给的最保守建议是每5~10年检查一次。CANDU-6型重水堆2#机组运行至今已超过10年，但

此阀门并未执行过阀门解体工作，故暂无法排除密封面损坏是可能引起阀门密封失效的原因。

3.3.4 阀板沉降引起阀门内漏

7314-PV14阀门为立式安装，上阀轴、蝶板的重量均作用在下阀轴上。阀门启闭过程中，下阀轴与端盖产生相对旋转摩擦，故在两者之间安装了不锈钢柔性石墨推力轴承，基于石墨的自润滑性，该推力轴承能有效减小端盖处的摩擦扭矩。但随着阀门长期运行，会产生磨损，最终导致下阀轴、蝶板、上阀轴同时向下掉落，当下落至一定高度后，蝶板密封副会出现缝隙，从而导致阀门内漏。现场检查阀门下端盖与阀体结合面发现有轻微锈迹，同时反应堆厂房送风机组处于检修期间时进入反应堆厂房的新风未经干燥器干燥，其有可能含有湿气，故推断有可能有湿气进入阀门内部并凝结。如有凝结水进入石墨推力轴承，其能进一步加速不锈钢柔性石墨推力轴承的损坏速率，导致阀板下沉，故初步怀疑推力轴承磨损导致阀门沉降而造成泄漏。

通过“3.3内漏原因分析”可得出有可能导致阀门密封失效的两个原因都需要对阀门进行解体才能确认并消除缺陷，故安排对阀门进行解体检查。

将阀门从系统上拆除后，检查发现阀板有轻微下沉，用透光法检查，发现在阀板与阀座上部密封面10点至1点方向有轻微透光现象；离线打开蝶板后检查阀座密封圈未发现明显损坏，弹性较好；推力轴承有明显的减薄，下端盖内部较为湿润且有较多石墨粉末；下端盖与阀体的结合面有锈蚀，如图4所示；根据以上检查现象，确认本次缺陷是由于推力轴承在湿润的环境下过度磨损导致下阀轴以及阀板沉降致使密封不严造成泄漏。

随即对阀门进行解体清理，对腐蚀部位进行在线机加工并更换密封件后进行离线打压测试，测试压力123kPa，保压2min，未发现泄漏；后将阀门组件回装至系统并进行阀门动作试验，阀门关闭时间小于2s，满足TS要求，EMI指示正常；阀门开启关闭动作过程平稳无卡涩。执行阀间泄漏率试验，测量泄漏率值为103mL/min，远低于标准值7000mL/min，试验合格。

4 结语

根据现场检查情况分析，由于反应堆厂房进风空调机组在检修时，反应堆厂房送风由旁路阀进入，室外湿空气仅经过高效过滤器过滤并未经干燥器干燥直接进入送风风管，由于辅助厂房温度较低，湿空气可能凝结，进入下阀轴端盖内，推力轴承在潮湿的工况下磨损速度会加快，过度磨损导致下阀轴以及阀板沉降致使密封不严造成泄漏。

针对此次在阀间泄漏率试验过程中发现的阀间泄漏

率不合格的问题,采用故障树分析的方法,分层次较为全面地对故障原因进行分析,较为快速、精准地定位了缺陷原因,处理了设备缺陷,消除了设备隐患。后续根据安全壳隔离阀阀间泄漏率不合格故障原因对照表,完善了安全壳隔离阀解体检修的检查以及离线试验内容;以减小此类情况再次发生的概率和便于后续安全壳隔离阀阀间泄漏率不合格故障诊断及处理。

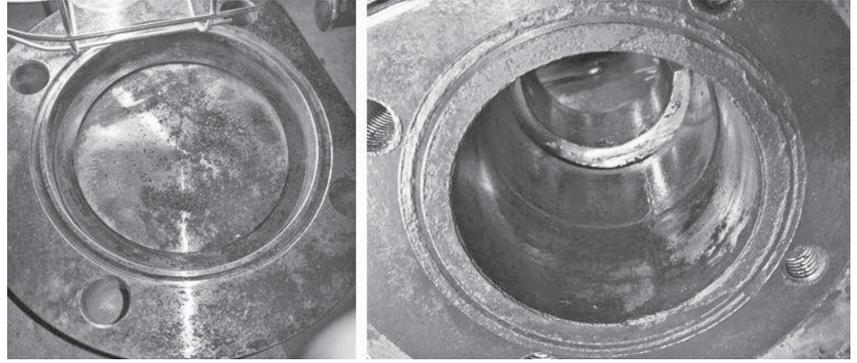


图4 下阀盖与阀体结合面的磨损、锈蚀情况

参考文献:

[1] 陆培文, 阀门设计入门与精通 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
 [2] Newman Hatteraley. Newman 阀门安装、操作和维护手册 [Z]. 2000.
 [3] 王大伟. 安全壳隔离阀阀间泄漏率试验(第2组) [Z]. 2019.
 [4] 王大伟. 安全壳整体低压泄漏监测试验 [Z]. 2019.

作者简介: 王勤伟(1987.01-), 男, 汉族, 浙江海盐人, 本科, 工程师, 研究方向: 电站机械设备; 沈杰(1987.09-), 男, 汉族, 浙江海盐人, 本科, 工程师, 研究方向: 电站机械设备; 吴文同(1991.11-), 男, 汉族, 甘肃白银人, 本科, 工程师, 研究方向: 电站机械设备; 于群利(1992.10-), 男, 汉族, 山东乳山人, 本科, 工程师, 研究方向: 电站机械设备。

(上接第82页)

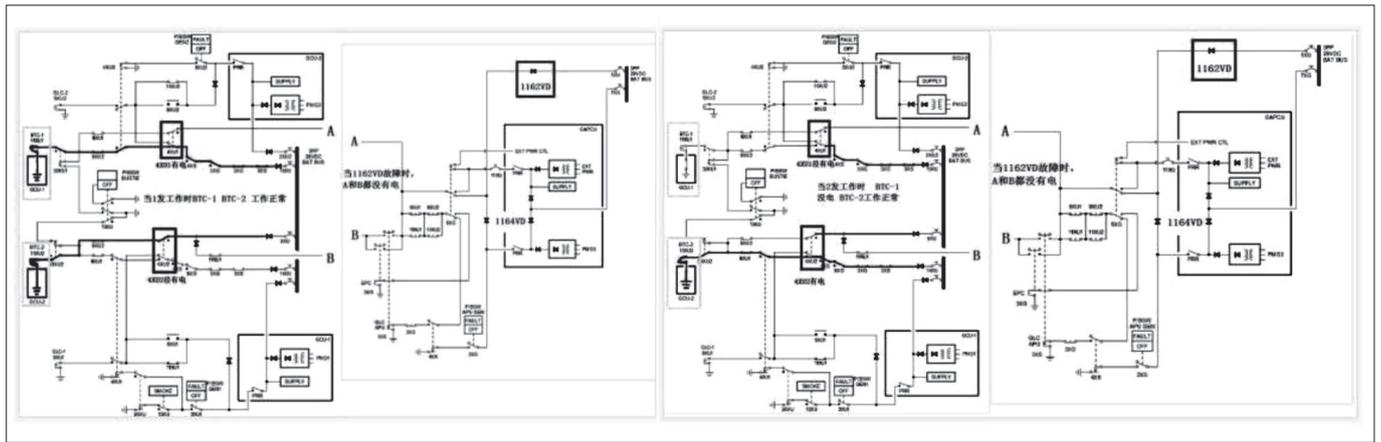


图3 供电逻辑图

有电。当1发工作时, BTC-1和BTC-2可以正常工作, 供电正常。当2发工作时, BTC-1不能正常工作, BTC-2能正常工作。IDG2不能与AC BUS1互联, 从而导致了AC BUS1没有电, 出现了TR1 FAULT的故障, 见图3。

3 结语

APU GEN不能供电故障, 将TSM排故手册与故障现象分析相结合来判断故障源, 把排故的重点放在最有可能出现故障的地方。可以提高排故速度和准确度。二极管可能产生这么复杂的故障现象, 因为故障现象特殊, 希望此文能对大家在排除此类故障时有所帮助, 拓

宽排故思维。

参考文献:

[1] 谭小伍, 陈建军, 蒋丽. 某型飞机主电源系统慢车状态不供电故障分析 [J]. 航空维修与工程, 2015(6): 58-60.
 [2] 周洁敏. 飞机电气系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
 [3] 刘建英, 杨建忠. 飞机电源系统 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 2004.

作者简介: 章勇杰(1986.10-), 汉族, 女, 上海人, 本科, 工程师, 研究方向: 航空维修。