

核电厂贯穿件隔离阀泄漏问题分析及处理

Analysis and Treatment the Leakage of Nuclear Power Plant Penetration Isolating Valve

柴高浪

Gaolang Chai

大亚湾核电运营管理有限责任公司
中国·广东 深圳 518124
Daya Bay Nuclear Power Operations and
Management Co., Ltd.,
Shenzhen, Guangdong, 518124, China

【摘要】某核电厂机组核取样系统二环路安全壳贯穿件外侧隔离阀 REN104VP 在定期试验 T3RPA040 时发现存在 170L/h 的流量泄漏。论文通过对阀门阀腔建模,计算出阀门泄漏时下游的压力,进而得到阀门的泄漏率标准值。判断当前泄漏流量小于泄漏率标准值,允许开启阀门继续执行安全壳隔离阶段信号试验(T3RPA040),避免了机组不必要的后撤。

【Abstract】The flow leakage of 170L/h was found in the outer isolation valve REN104VP of the second ring containment perforator of the nuclear sampling system of a nuclear power plant during the periodic test of T3RPA040. By modeling valve cavity, the downstream pressure of valve leakage is calculated, and the standard value of valve leakage rate is obtained. Determine that the current leakage flow is less than the standard leakage rate value, and allow the valve to be opened to continue the containment isolation phase signal test (T3RPA040), avoiding unnecessary withdrawal of the unit.

【关键词】安全壳隔离;核取样;泄漏;泄漏率

【Keywords】containment isolation; nuclear sampling; leakage; leakage rate

【DOI】10.36012/peti.v2i1.1307

1 REN104VP 功能简介

如图 1 所示,REN 系统是按照允许为化学和放射化学分析手动或自动实施液体和气体集中采样而设计的,其中隔离阀 REN102/104VP 用于反应堆冷却剂系统经二环路的连续取样,下游连接硼表,以实时监测反应堆冷却剂系统的硼浓度。REN101/103VP 用于反应堆冷却剂系统经三环路的连续取样,仅有取样水流动,当二环路连续取样故障时,硼表连接到三环路,以实时监测反应堆冷却剂系统的硼浓度。

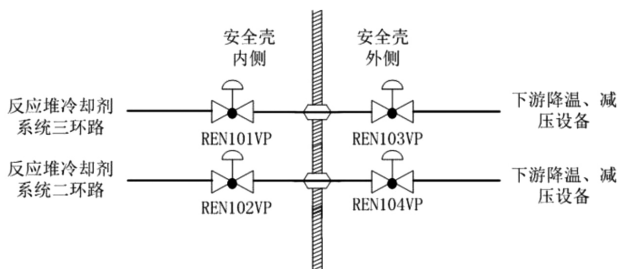


图 1 REN104VP 功能示意图

2 问题描述及原因分析

2.1 问题描述

执行 T3RPA040 试验,发现 REN104VP 处在关闭状态时,下游硼表显示流量为 170L/h,阀门存在泄漏。依据运行技术规范^[1],机组记第 1 组事件,需要在 14 天内开始向维修停堆模式(MCS)后撤。为保证安全将硼表投运在三环路(正常时硼表投运在二环路),REN102/104VP 关闭并实施运行隔离,结束第 1 组事件。

2.2 原因分析

REN104VP 阀门结构图如图 2 所示。该阀门类型为气动截止阀,由阀座(01)、阀瓣(03)、阀杆(04)、气动机构(05)、手轮(06)等组成,阀门阀瓣与阀座均为锥面。

阀门工作原理:阀门气动机构(05)进气后,隔膜室(09)压力升高,隔膜(08)压缩弹簧(07)带动阀杆(04)向上运动开启阀门,介质自上而下流动;阀门气动机构(05)失气后,隔膜室

(09)压力降低,弹簧(07)回复压缩隔膜(08)带动阀杆(04)向下运动关闭阀门,截断介质。

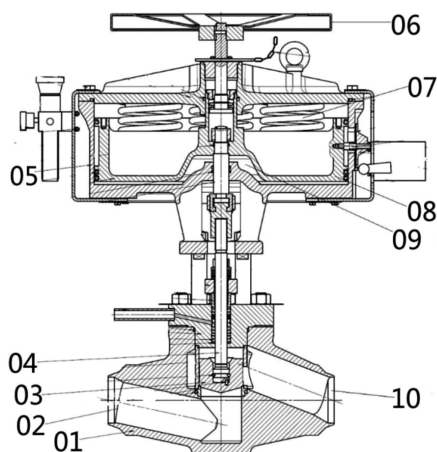


图 2 REN104VP 装配图

针对阀门泄漏问题,其可能的原因及验证结果如表 1 所示。

表 1 REN104VP 泄漏原因分析

可能原因	支持理由	反对理由	可能性
异物或者卡涩导致阀门泄漏	试验验证,阀门在管线带压力情况下,发生泄漏	试验验证,阀门在管线上下游无压差的情况下,无漏	无
阀门密封面损坏	阀门定期操作;同类阀门出现过投运后密封面变形或损伤导致泄漏	试验验证,阀门在管线上下游无压差的情况下,无漏	无
气动头或阀体摩擦力过大导致落座力不足	无	FRATOL 试验证明阀瓣落座力满足要求	低
阀门结构设计缺陷导致阀瓣、阀座出现对中偏差	同类阀门已多次发生相同的故障	无	高

通过原因分析,泄漏的根本原因是阀门阀瓣与阀座均为锥面,阀门结构设计缺陷导致阀瓣、阀座出现对中偏差,密封接触面之间存在间隙导致泄漏。

3 泄漏处理意见

电厂不存在单个安全壳贯穿件的安全准则,必须个安全壳贯穿件的泄漏率标准值,否则无法开启 REN104VP 进行试验,将违反定期试验要求^[2]。综合考虑安全性和经济性,必须给出单个安全壳贯穿件的泄漏率标准。

4 REN104VP 泄漏解决方案

4.1 给定 REN104VP 泄漏率标准值

《安全壳机械贯穿件隔离阀密封性试验评估》对贯穿件试验(安全壳机械贯穿件隔离阀密封性试验简称为机械贯穿件实验)结果评价规定如下:将贯穿件试验结果与验收标准相比

较,如果所有机械贯穿件隔离阀的总泄漏率小于验收标准 8.414Nm³/h(对应气体压力:4.2bar·g,气体温度:20℃),就认为安全壳贯穿件的密封性是合格的,这是机械贯穿件试验的安全准则。对于单个贯穿件试验结果的评价,不存在单个安全壳贯穿件的安全准则,安全准则考虑的是安全壳的总泄漏。

依据保守决策原则,规定单个安全壳贯穿件隔离阀泄漏率标准值为安全壳机械贯穿件泄漏率限值扣除某次大修实测的安全壳机械贯穿件总体泄漏率值^[3-5]。即假设除 REN104VP 外,其他阀门泄漏率保持不变,剩余的安全裕量全部加在泄漏阀门 REN104VP 上。

假设 L_2 为安全壳机械贯穿件试验时 4.2bar 压差下的泄漏率标准值, L_1 为实际发生泄漏时的阀门对应压差下推算出的泄漏率标准值, P_1 为实际发生泄漏时阀门上游压力(为 155bar·a), P_2 为实际发生泄漏时阀门下游压力,根据泄漏率和压差的开方成正比值的计算模型,则:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{\sqrt{P_1 - P_2}}{\sqrt{4.2}} \quad (1)$$

$$L_1 = L_2 \frac{\sqrt{P_1 - P_2}}{\sqrt{4.2}} \quad (2)$$

设 L_0 为最近一次大修安全壳机械贯穿件隔离阀总泄漏率, L_c 为机械贯穿件泄漏率验收标准值(8.414Nm³/h),则:

$$L_2 = L_c - L_0 = 8.414 - L_0 \quad (3)$$

计算出的 L_2 为标准压力下(对应气体压力:4.2bar·g,气体温度:20℃)的气体泄漏率标准值,将其折算为水的泄漏率标准值,由于气体与水的转换系数为 171,则:

$$L_1 = \frac{8.414 - L_0}{171} \sqrt{\frac{155 - P_2}{4.2}} \quad (4)$$

P_2 通过数值模拟得出。因此, L_1 在 L_0 、 P_2 已知的情况下就可根据式(4)进行计算,并与实际泄漏流量进行比较,进而可评估阀门泄漏率是否超出标准。依据式(4),如果试验前发现泄漏流量增大(大于 170L/h),则 P_2 增大, L_1 减小,那么基于先前泄漏流量 170L/h 计算的 L_1 偏大,不够保守需重新进行评估;如果试验前发现泄漏流量减小(小于 170L/h),则 P_2 减小,那么 L_1 增大,基于先前泄漏流量 170L/h 计算的 L_1 偏小,是偏保守的,因而不需重新进行评估。所以应用上述公式计算的泄漏率标准值,试验前泄漏流量必须小于等于 170L/h。

4.2 REN104VP 阀腔建模计算

REN104VP 阀门阀腔建模,主要的假设如下:①流体流入阀门入口不考虑其湍流流动,出口不考虑阀笼对其影响。②由于阀门图纸无尺寸参考,仅根据其图纸参考比例尺,给出阀门的流通截面。③维修部门现场测量得到阀门的最高温度为

故障分析 Fault Analysis

200℃,因此,流体的参数采用 200℃,155bar·a。④假设流体在流经阀门时绝热,与外界没有热交换,流入与流出阀门的流体温度都是 200℃。

使用 FLUENT 软件进行有限元模拟计算,采用轴对称模型,建立 REN104VP 阀腔模型,对阀腔内部的流通面积进行了模拟。模型的边界条件要求固定模型的入口压力以及出口流量,得到阀门的下游压力。

阀门下游压力 P_2 计算结果:取阀门入口温度为 200℃,上游压力 155bar·a, 泄漏流量 170L/h, 计算得到下游压力 15.5bar·a。 L_0 取最近一次大修安全壳机械贯穿件隔离阀总泄漏率 $L_0=0.957824\text{Nm}^3/\text{h}$, 计算出 REN104VP 的泄漏率标准值为 251.3L/h。泄漏流量 170L/h 未超过泄漏率标准值,安全壳机械贯穿件总体泄漏率未超标。

5 结论

依据报告中的计算结果,作出下述决策:①T3RPA040 试验继续实施,在下次试验前做好 REN104VP 泄漏的干预预

案。②如定期试验中 REN104VP 泄漏未超过泄漏率标准值,则继续试验,如超标则重新确定后续处理措施。电厂在后续的试验中,REN104VP 泄漏未进一步扩大,该缺陷得到妥善解决,避免了机组后撤,实现了良好的经济效益,为后续处理类似缺陷提供了解决思路。

参考文献

[1]国核安发[2012]256号.《岭澳核电站3、4号机组运行技术规范》[Z].
[2]国核安发[2015]273号.《岭澳核电厂3、4号机组安全相关系统与设备定期试验监督要求》[Z].
[3]李尚科.核电厂反应堆功率运行工况下安全壳隔离阀泄漏对安全壳密封性影响的评价方法研究[J].科技创新与应用,2019(15):125-127.
[4]彭立新.核电厂安全壳泄漏率异常高分析与处理[J].科技视界,2016(7):270-271.
[5]惠爽爽,朱峰.核电厂安全壳隔离阀密封性检测与分析[J].科技创新与应用,2013(11):64-65.

(上接第 59 页)

5 外部接线图

自动售货机外部接线图简要,如图 2 所示。

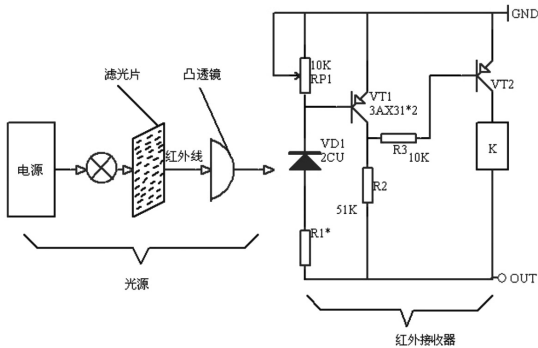


图 1 智能瓶类回收装置传送带上的红外传感器

表 1 自动售货机的 I/O 地址分配表

名称	代号	输入点
型号 1	SQ1	X000
型号 2	SQ2	X001
型号 3	SQ3	X002
型号 4	SQ4	X003
启动开关	SB1	X011
停止开关	SB2	X012
吐币三角接触器	SB3	X012
吐币五角接触器	SQ4	Y004
吐币一元接触器	SQ5	Y005
报警器	HL1	Y006
报警指示灯	HL2	Y000

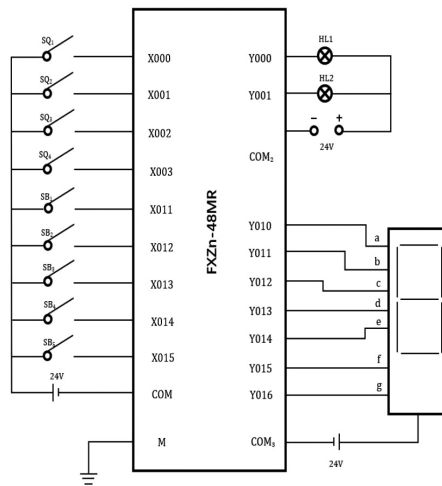


图 2 自动售货机外部接线图

5 结语

在工业控制中,某些输入量(如压力、温度、流量、转速等)是连续变化的模拟量,某些执行机构(如伺服电动机、调节阀、记录仪等)要求 PLC 输出模拟信号,而 PLC 的 CPU 只能处理字量。因此模拟器首先被传感器和变送器转换为标准的电流或电压,PLC 用 A/D 转换器将它们转换为数字量。本设计中的红外线扫描器的信号就采用了此原理进行转换。

参考文献

[1]邓磊.PLC 综合实训教学装置的设计与应用研究[J].计算机产品与流通,2020(5):167+199.