

先导安全阀脉冲管线接头泄漏故障分析及改进

郑伟静 王涛 王阳

中广核核电运营有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i3.13597

[摘要] 针对SEBIM安全阀控制柜脉冲管线接头泄漏故障,本文从密封原理角度对引起故障的原因进行分析,发现原因有密封垫片缺陷、密封面缺陷、安装不当等,从而制定应对措施。并提出结合应对措施优化接头安装工艺的短期建议和结合阀门压力整定试验改造脉冲管线增加三通阀的中长期建议以降低接头泄漏风险,提升设备可靠性,保障系统和设备安全稳定运行。

[关键词] SEBIM安全阀; 控制柜; 脉冲管线接头; 泄漏故障; 原因分析; 应对措施; 建议

中图分类号: C935 **文献标识码:** A

Leakage Fault Analysis and Improvement of Impulse Pipeline Joint of Pilot Safety Valve

Weijing Zheng Tao Wang Yang Wang

China Nuclear Power Operation Co., Ltd.

[Abstract] In view of the leakage fault of the impulse pipeline joint of SEBIM safety valve control cabinet, this paper analyzes the causes of the fault from the perspective of sealing principle, and finds that the causes include the defect of sealing gasket, the defect of sealing surface, and the improper installation, so as to formulate countermeasures. It gives the short-term suggestions of optimizing the joint installation process in combination with countermeasures and the medium and long-term suggestions of adding three-way valve to the impulse pipeline in combination with the valve pressure setting test, in order to reduce the risk of joint leakage, improve the reliability of the equipment and ensure the safe and stable operation of the system and equipment.

[Key words] SEBIM safety valve; Control cabinet; Impulse line joint; Leakage fault; Cause analysis; Countermeasures; Suggestions

引言

SEBIM安全阀是一种先导式安全阀,广泛应用于核电厂反应堆冷却剂系统(RCP)、余热排出系统(RRA)和化学和容积控制系统(RCV),为系统及其设备提供超压保护。某核电厂多年运维经验表明,SEBIM安全阀的常见故障有先导阀R1/R2泄漏、整定值漂移、启闭压差不稳定和针阀泄漏等,电厂针对这些故障进行了详尽分析并制定应对措施,使得这些故障可及早被发现并处理。而SEBIM安全阀控制柜脉冲管线接头泄漏故障出现较少,虽然电厂已制定一些应对措施,但相较常见故障的分析及应对不够全面,且该故障有机组状态后撤进行处理降低经济效益的风险及潜在的核安全风险,因此,对该故障进行详细原因分析并制定应对措施具有重要的意义。

1 设备简介

SEBIM安全阀一般采用2个阀门串联组成阀组形式(RCV除外)提供超压保护,位于上游具有泄压功能的阀门称为保护阀,为系统提供超压保护,位于下游提供隔离功能的阀门称为隔离阀,可防止系统过度泄压;单个阀门由主阀和控制柜(先导阀)组成,

主阀安装在所保护系统的管线上,控制柜通过脉冲管线与系统相连,两者通过动力管线连接^[1]。脉冲管线接头安装在控制柜过滤器顶部,由BANJO接头、单头螺钉和2个内外加强型橡胶密封垫片组成,其连接形式为2个密封垫片分别安装在BANJO接头上下密封面,其后单头螺钉穿过BANJO接头和密封垫片旋入过滤器顶部螺纹固定。

2 影响分析

从设备功能角度分析,脉冲管线接头泄漏造成的影响有以下4项:

- (1) 核电厂一回路泄漏量增加。
- (2) 机组状态后撤进行处理延误大修工期,降低经济效益。
- (3) 若漏量过大,会破坏一回路压力边界的完整性。
- (4) 若漏量过大,会导致接头上游冷凝罐中的液相冷凝水消耗严重,则一回路蒸汽直接进入控制柜,导致安全阀不可用,从而使所在系统失去保护功能。

3 故障原因分析及应对

脉冲管线接头密封形式为垫片密封,其密封原理为通过对

单头螺钉施加力矩压紧密封垫片，使垫片橡胶圈发生弹性或塑性变形，以填满各密封面上的微观凹凸不平来实现密封。即利用密封面上的比压使介质通过密封面的阻力大于密封面两侧的介质压差来实现密封。其密封按工况可分为初始密封和工作密封，因此脉冲管线接头泄漏可依此分为初始密封泄漏和工作密封泄漏。

3.1 初始密封泄漏原因分析

初始密封是指密封垫片作用于连接件密封面（单头螺钉螺头下表面与BANJO接头上密封面、BANJO接头下密封面与过滤器顶部表面）产生的初始装配密封。产生初始密封的基本要求为使密封垫片压缩在密封面间产生足够预紧力，以阻止介质通过垫片本身的渗漏；同时保证密封垫片对连接件有较大的适应性，即垫片压缩后产生弹性或塑性变形，能够补偿密封面变形及其表面粗糙而出现的微观凹凸不平，以堵塞介质泄漏的通道^[2]。由上述可知，初始密封泄漏的直接原因有密封垫片预紧应力不足（小于所需的最小垫片预紧应力^[3]）和密封垫片变形补偿不足。下面对其根本原因进行分析。

3.1.1 密封垫片预紧应力不足

当密封垫片预紧应力足够时，其可使橡胶圈更加密实，从而阻断介质从橡胶圈本身存在微小缝隙和细微的毛细管处渗漏，实现良好密封。因此可知橡胶圈表面质量差（微小缝隙、毛细管多）和接头力矩不足是密封垫片预紧应力不足的原因。结合图2所示接头结构和连接形式进一步分析，造成密封垫片预紧应力不足的根本原因有：

（1）密封垫片橡胶圈存在贯穿性划痕、破损、断裂、翻边、老化等缺陷；

（2）安装不当导致密封垫片橡胶圈出现缺陷造成泄漏，如该电厂曾出现的RRA SEBIM阀控制柜脉冲管线接头泄漏事件的根本原因为安装不当导致密封垫片橡胶圈被BANJO接头凸台切断、RCP SEBIM阀控制柜脉冲管线接头泄漏事件的根本原因为安装时拖曳BANJO接头造成其与密封垫片接触摩擦导致橡胶圈翻边；

（3）单头螺钉、过滤器螺纹存在缺陷或其中有杂质时，会造成单头螺钉无法安装到位，导致其力矩不足，进而导致密封垫片预紧力不足造成泄漏。

3.1.2 密封垫片变形补偿不足

密封垫片补偿不足形成泄漏通道的原因有密封面缺陷过大和垫片压缩量不当。结合接头结构和连接形式进一步分析，造成密封垫片变形补偿不足的根本原因有：

（1）单头螺钉螺头下表面、BANJO接头密封面或过滤器顶部表面存在贯穿性划痕、点坑、异物、平面度不足等缺陷，会导致密封垫片橡胶圈受压无法完全补偿，造成泄漏，如该电厂曾出现的RCV SEBIM阀控制柜脉冲管线接头泄漏事件的根本原因为BANJO接头密封面存在缺陷；

（2）密封垫片自身压缩量过小，会导致橡胶变形补偿不足，造成泄漏，压缩量过大，会导致橡胶压溃无法补偿，造成泄漏；

（3）多次维修后BANJO接头凸台至密封面深度过大，会导致密封垫片变形补偿不足，造成泄漏；

（4）各密封面间的平行度较差，会导致密封垫片变形对密封面局部补偿不足，造成泄漏。

3.2 工作密封泄漏原因分析

工作密封是指在介质压力作用下（密封垫片内侧直接和介质接触）的密封，其要求在设备运行周期内保持良好密封。当接头受到介质压力作用时，密封面被迫分离，此时需要密封垫片释放足够的弹性应变能，以弥补分离量，并且留下维持密封所需的垫片应力。此外，弹性应变能还能够补偿接头在运行周期内，任何可能发生的密封垫片应力的松弛。理论上，密封垫片预紧应力越大，弹性应变能越大，因此工作密封泄漏的直接原因为密封垫片预紧应力不足（小于所需的最小垫片工作应力^[3]），其根本原因除了3.1.1节所述原因，还有单头螺钉由于受热引起应力松弛而导致其作用在密封垫片上的应力减小。

3.3 应对措施

根据上述原因分析，逐条制定应对措施，具体如表1所示。

表1 脉冲管线接头泄漏应对措施

泄漏分类	直接原因	根本原因	应对措施
初始密封泄漏	密封垫片预紧应力不足（小于垫片最小预紧应力）	1、密封垫片橡胶圈划痕、破损、断裂、翻边、老化等缺陷	安装前进行检查，确保其满足要求，否则更换合格垫片
		2、安装不当导致密封垫片橡胶圈出现缺陷	BANJO接头与过滤器顶部螺纹孔对中时使用工具将脉冲管线抬起，保持悬空，禁止出现接触滑动现象，防止下部密封垫片受压摩擦翻边；单头螺钉旋入1/3~2/3行程时，用塞尺验证密封垫片可自由移动无卡涩；单头螺钉能用手动顺利拧紧，禁止使用扳手强行旋入，过程中密封垫片无翻边、损伤
		3、单头螺钉、过滤器螺纹缺陷	修复螺纹，清理螺纹内杂质，试旋无异常
	密封垫片变形补偿不足	4、密封面划痕、点坑	研磨密封面至满足要求
		5、密封面异物	清理异物并在安装前检查清洁度满足要求
		6、密封面平面度不足	研磨密封面至满足要求
		7、密封垫片自身压缩量不当	安装前测量垫片钢圈和橡胶圈厚度，依此计算垫片压缩量，应在15%~30%
		8、BANJO接头凸台至密封面深度过大	更换凸台至密封面深度满足要求的BANJO接头
		9、各密封面间平行度较差	研磨密封面至满足要求，必要时校正脉冲管线或更换各部件
工作密封泄漏	密封垫片预紧应力不足（小于垫片最小工作应力）	10、单头螺钉应力松弛	机组上行阶段复核力矩，确认满足要求
		11、同本表根本原因1~3	同本表根本原因1~3应对措施

4 改进建议

根据该电厂现状及可行性提出2项建议，短期建议为对脉冲管线接头安装工艺进行优化，中长期建议为对脉冲管线进行改造以消除其接头在机组上行阶段泄漏的风险。

4.1 安装工艺优化

该电厂现安装工艺未涵盖所有表1所述应对措施,因此建议对安装工艺进行优化,以进一步降低接头泄漏的风险,具体如下所述:

(1)安装前:执行如下检查①密封垫片:无橡胶圈划痕、破损、断裂、翻边、老化等缺陷;钢圈厚度满足要求;压缩量在15%~30%;②单头螺钉:螺纹无异常;螺头下表面平面度满足要求;③过滤器:顶部螺纹无异常;顶部平面度满足要求;④BANJO接头:密封面无划痕、点坑等缺陷;凸台至密封面深度、密封面平面度、上下密封面平行度、上下密封面与单头螺钉螺头下表面、过滤器顶部平行度满足要求;与过滤器顶部螺纹孔对中无异常,单头螺钉可用手轻松旋入;⑤使用标准器校验力矩扳手,无异常;⑥各部件清洁度无异常。

(2)安装过程中:①BANJO接头与过滤器顶部螺纹孔对中时使用工具将脉冲管线抬起,保持悬空,无接触滑动现象;②单头螺钉旋入1/3~2/3行程时,用塞尺验证密封垫片可自由移动无卡涩;③用手顺利拧紧单头螺钉;④对单头螺钉施加要求力矩,检查BANJO接头与过滤器顶部平行度满足要求。

(3)安装后:①检查单头螺钉、过滤器顶部与BANJO接头之间均存在间隙以确认密封垫片为受压状态;②使用标准器校验力矩扳手,无异常;③机组上行阶段复核单头螺钉力矩,无异常。

4. 2脉冲管线改造

在该电厂,SEBIM安全阀每个燃料循环均需执行压力整定试验,工艺为拆开控制柜脉冲管线接头,从拆开的过滤器顶部螺纹孔连接试验台,操作试验台往控制柜内注入高压水至100bar压力平台检查各部件无泄漏,继续升压验证阀门整定值。因此脉冲管线接头无法在100bar压力平台检查密封性,这也是其泄漏往往在机组上行阶段对阀门进行充水排气时才能发现的原因,而处理则须机组状态后撤进行,从而导致电厂经济效益降低。因此,提出的建议思路为利用压力整定试验100bar压力平台检查脉冲管线接头密封性,具体措施为在冷凝罐和脉冲管线接头之间的脉冲管线上增加1个三通阀,该阀门设置3个通道,通道1连接上

游至冷凝罐,通道2连接下游至控制柜脉冲管线接头,通道3对空,其上安装堵头,各通道间的连通由阀芯控制。当系统正常运行时,三通阀通道1和2连通,通道3由阀芯关闭,与堵头一起提供双重防护以防止介质泄漏;当进行压力整定试验时,三通阀通道3和2连通,通道1由阀芯关闭,此时拆开堵头,连接试验台升压至100bar即可验证包括脉冲管线接头在内的控制柜所有零部件的密封性,从而消除脉冲管线接头机组上行阶段泄漏的风险,进而提升设备可靠性。此外,若在系统正常运行时控制柜出现故障,可利用该改造关闭三通阀通道1截断流道后对残水排空以及时处理故障,实现控制柜故障的在线检修,从而避免机组状态后撤降低经济效益(控制柜故障在线检修工期较机组状态后撤检修预计节省约10天)。

5 结束语

本文分析了SEBIM安全阀控制柜脉冲管线接头泄漏故障的原因,总结了应对措施,提出优化接头安装工艺和改造脉冲管线的建议,应对措施和建议可大幅降低电厂经济效益损失的风险及潜在的核安全风险,有效保障系统和设备的安全稳定运行,也为同类电厂相同故障处理提供参考。

[参考文献]

[1]邓冬,张发云,赵立彬,等.核电厂稳压器SEBIM安全阀自主化检修经验反馈[J].核安全,2017,16(4):17.

[2]蔡仁良,蔡暖姝,章兰珠,等.螺栓法兰接头安全密封技术(二)——基于控制泄漏率的垫片应力及其试验方法[J].化工设备与管道,2012,49(5):1.

[3]蔡仁良,蔡暖姝,尤子涵,等.螺栓法兰接头安全密封技术(一)——安装螺栓载荷[J].化工设备与管道,2012,49(3):12.

作者简介:

郑伟静(1988--),男,汉族,浙江省丽水市人,本科,中广核核电运营有限公司,高级工程师,从事核电厂阀门维护管理及相关策略优化方面的研究。