

核电站主蒸汽安全阀水压试验方案制定与实施

郑伟静 李伟明 王涛

中广核核电运营有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i2.7191

[摘要] 对核电机组工程阶段蒸汽发生器(SG)二次侧水压试验过程中出现的主蒸汽安全阀泄漏问题进行原因分析,并制定改进方案,该方案优化设备的检修逻辑、量化零部件验收标准、改进主蒸汽安全阀的锁定方法、建立异常处理预案。机组商运后,该方案在采用该设备的A电厂3号机组的首次水压试验工作中得到应用,实施期间安全阀状态良好,系统转汽后设备也无泄漏发生。后续将该方案推广,成功应用于A电厂4号机组,B电厂1号、2号机组的水压试验工作。

[关键词] 主蒸汽安全阀; 水压试验; 泄漏; 改进措施

中图分类号: U261.154 **文献标识码:** A

Development and implementation of water pressure test plan for main steam safety valves in nuclear power plants

Weijing Zheng Weiming Li Tao Wang

CGN Nuclear Power Operation Co., LTD

[Abstract] analyzes the causes of the main steam safety valve leakage problem during the secondary hydraulic test of the steam generator (SG) of the nuclear power unit project, and make the improvement plan to optimize the maintenance logic of the equipment, quantify the acceptance standard of parts, improve the locking method of the main steam safety valve, and establish the abnormal treatment plan. After the commercial operation of the unit, the scheme was applied in the first hydrostatic test of unit 3 of A power plant using the equipment. During the implementation, the safety valve was in good condition, and there was no leakage of the equipment after the system turned steam. Subsequently, the scheme was promoted and successfully applied to the hydraulic test of Unit 4 of Power Plant A and Unit 1 and Unit 2 of Power Plant B Power Plant A.

[Key words] Main steam safety valve; hydrostatic test; leakage; and improvement measures

引言

某核电集团压水堆核电机组每10年进行一次蒸汽发生器(SG)二次侧水压试验(简称“水压试验”),旨在验证从SG二次侧至主蒸汽隔离阀的相关管道设备,在试验压力为102bar.g下的完整性和密封性^[1]。由于水压试验压力超过主蒸汽安全阀开启压力(84±1bar.g或86±1bar.g),为避免阀门起跳泄压影响试验,须在试验期间锁定阀门。

A电厂3~6、B电厂1/2号机组的主蒸汽安全阀为Si9507H型碟簧式安全阀,单台机组3个环路各配有7台安全阀^[2]。该型号主蒸汽安全阀在机组工程阶段水压试验期间曾多次出现泄漏故障,影响试验顺利实施。从相关机组商运至2022年底,A、B电厂均未进行水压试验。根据安排,计划在2023年的A电厂3号机组第5次大修(A305)实施电厂相关机组商运后的首次水压试验。为避免出现类似工程阶段的故障影响水压试验的顺利实施,进而导致大修延误,制定切实可行的锁定工艺重要且紧急。

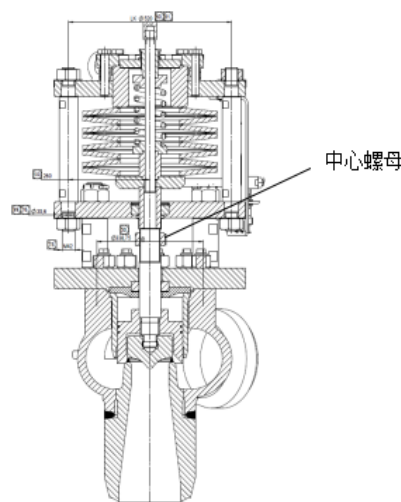


图1 主蒸汽安全阀结构示意图

表1 国内机组工程阶段历史信息

机组	锁定方法、简要过程及结果
A 电厂 4 号机组	1) 一环路采用扭矩法, 系统压力为 120 bar. g, 阀杆中心螺母紧固力矩为 800 N. m 时, 5 台安全阀泄漏, 力矩增大至 1 000 N. m, 1 台阀门仍存在轻微漏水 2) 二、三环路采用水压试验塞法, 试验顺利完成
A 电厂 5 号机组	三个环路均采用水压试验塞法, 试验顺利完成
A 电厂 6 号机组	三个环路均采用水压试验塞法, 试验顺利完成
B 电厂 1 号机组	1) 一环路采用扭矩法, 阀杆中心螺母紧固力矩为 100 N. m, 系统压力为 95 bar. g 时, 3 台阀门泄漏, 致使系统无法继续升压, 水压试验未完成; 再次试验, 增加力矩加至 600 N. m, 系统压力为 116 bar. g, 1 台阀门泄漏, 增加力矩至 700 N. m, 系统压力为 125 bar. g, 该阀门再次泄漏, 增加力矩至 800 N. m, 该阀门不再泄漏, 试验完成 2) 二环路采用扭矩法, 阀杆中心螺母紧固力矩为 700 N. m, 系统压力为 127 bar. g 时, 2 台阀门泄漏, 不影响升压, 试验完成 3) 三环路采用扭矩法, 阀杆中心螺母紧固力矩为 750 N. m, 试验顺利完成
C 电厂 5 号机组	三个环路均采用扭矩法, 试验升压前对阀杆中心螺母紧固力矩为 700 N. m, 2 台阀门出现泄漏, 试验完成
C 电厂 6 号机组	三个环路均采用扭矩法, 试验升压前对阀杆中心螺母紧固力矩为 700 N. m, 1 台阀门出现泄漏, 增加力矩至 750 N. m, 阀门消漏, 试验完成

表2 锁定工艺

锁定方法	采用阀门	锁定平台	初始力矩 /N. m	力矩增加梯度	解除锁定平台
扭矩法	未解体 阀门	水压试验升压至 65 bar. g	750	50 N. m	水压试验降压至 65 bar. g
水压试验塞 法	解体阀门	水压试验升压前	100	不适用	水压试验降压后

1 主蒸汽安全阀锁定信息介绍

1.1 锁定方法

主蒸汽安全阀锁定方法分为2种：扭矩法和水压试验塞法。

1.1.1 扭矩法

扭矩法：在一定压力平台, 通过上旋阀杆上的中心螺母(如图1所示)锁定阀杆并施加一定力矩, 以增加阀瓣与阀座之间的密封力来保证水压试验期间阀门的密封。阀门生产厂家推荐初始锁定力矩为550~600N. m, 若阀门泄漏, 则以50N. m阶梯增大力矩, 最大不超过1000N. m。该方法适用于阀门正常安装状态。

1.1.2 水压试验塞法

水压试验塞法：阀门解体后, 在阀座喷嘴上安装水压试验塞, 进行封堵承压, 通过0环密封。该方法适用于解体状态的阀门。

1.2 历史信息

收集汇总国内机组工程阶段(工程阶段水压试验压力为128bar. g)历史信息见表1。可见水压试验塞法的可靠性较高, 扭矩法存在一定的泄漏风险。

2 扭矩法阀门故障原因分析

综上所述, 水压试验塞法可靠性高, 但须阀门解体后实施, 且商运机组运行技术规范要求每个环路最多可检修3台阀门, 因此对于大修期间解体的阀门(每轮大修4~5台)采用水压试验塞法合适; 剩余阀门不可避免采用扭矩法, 因此提高扭矩法的可靠性是锁定工艺切实可行的关键。

根据阀门结构、检修工艺和历史信息, 阀门水压试验期间泄漏的可能原因有3个：密封面损伤、密封面平面度不足和密封力不足。

2.1 密封面损伤

对多台工程阶段水压试验期间泄漏的阀门进行解体检查,部分阀门密封面存在明显划痕,划痕由研磨或杂质导致,根据检修工艺,密封面须检查确认无异常才允许回装,因此划痕不可能由研磨导致,只能由杂质导致。杂质的来源可能是工程阶段系统内遗留的杂质、设备的锈蚀产物和回装过程中引入的杂质。因此,分析认为杂质是造成密封面损伤的根本原因^[3]。

2.2密封面平面度不足

历史信息中部分阀门的力矩(有1台阀门力矩达到上限)远超其余阀门仍泄漏且解体检查其密封面无明显缺陷,可认为密封面平面度不足。工程阶段厂家采用研磨砂纸对阀瓣、阀座密封面进行研磨、抛光。且密封面验收标准为目视检查即认定合格,对平面度无量化验收标准。

专业使用平面平晶配合单色灯对厂家认定合格的密封面进行平面度检查,发现部分密封面的平面度并不理想,存在干涉图像有尾边、无干涉带、干涉带过多等问题。

2.3密封力不足

历史信息中部分泄漏阀门稍加力矩就消漏且解体检查密封面无明显缺陷,可认为密封力不足。从阀门结构分析,水压试验时,密封面所受的密封力为弹簧预紧力减去介质作用力再加上锁定力。介质作用力由系统压力提供,锁定力由阀杆中心螺母锁定力矩决定,从历史信息看,锁定平台与锁定力矩并不合理。

3 改进措施

3.1密封面损伤的改进

工程阶段系统内遗留的杂质,其本身存量很少,且随着系统的投运,介质流动会将这些杂质带至过滤系统或排污系统,其存量会随着系统的运行逐渐减少,对在线设备几乎没有影响。

回装过程中引入的杂质,需在回装前对阀门上方及周边的杂物进行清理,回装过程中阀瓣落座前对密封面进行清洁度检查,确保密封面无杂质存留。

多年来,专业严格执行上述改进措施,消除了主蒸汽安全阀因杂质引发密封面损伤导致泄漏的问题,改进效果良好。

3.2密封面平面度不足的改进

针对砂纸研磨存在的问题,专业在A电厂301大修即开始采用研磨膏研磨替代砂纸研磨,研磨膏最细的研磨颗粒为 $2\mu\text{m}$,研磨过程中研磨颗粒在稀释液的作用下会均匀散开,磨削产物能随研磨板运动轨迹被及时推送到研磨区域外,可获得更好的平面度与光洁度。

针对较低无量化的密封面平面度验收标准,专业在A电厂301大修即开始采用平面平晶配合单色灯(钠光灯)来量化检查密封面平面度。一条干涉带对应的平面度为 $0.3\mu\text{m}$,要求研磨后密封面的平面度 $\leq 0.9\mu\text{m}$ 。

多年来,专业已对A电厂3/4/5/6、B电厂1/2号机组全部主蒸汽安全阀的密封面重新研磨,消除了机组功率运行期间因阀门平面度不足导致的泄漏问题。

3.3密封力不足的改进

从阀门实际工况分析,机组功率运行时,系统介质压力约为65 bar.g,密封面所受的密封力F1为弹簧预紧力减去介质作用力,F1可认为是保证阀门密封的最小密封力;停机状态下,系统压力为0,密封面所受的密封力F2为弹簧预紧力,F2可认为是最大密封力,因此F1与F2之间可认为合适的密封力。

水压试验时,密封面所受的密封力F为弹簧预紧力减去介质作用力再加上锁定力,大小应在F1与F2之间。F中存在介质作用力和锁定力2个变量。介质作用力由水压试验锁定平台压力决定,锁定力由阀杆中心螺母锁定力矩决定,为保证同一力矩产生的加载力相同,需对锁定螺母润滑方式进行固化,固化后计算出锁定力矩范围为713.22~1272.28N.m。经校核该力矩阀杆强度满足,设备密封面强度满足。

为保证水压试验后设备状态可靠,将锁定与解锁的压力平台定为65bar.g,初始锁定力矩为750N.m。

4 工艺制定与实施

4.1工艺制定

经扭矩法的改进,理论结合实际,专业制定A电厂305大修配合水压试验锁定主蒸汽安全阀工艺如表2所示。

4.2实施

在A电厂305大修及后续的B电厂105、205大修水压试验中,专业按上述工艺实施了主蒸汽安全阀的锁定与解锁,水压试验全程所有阀门无异常,未进行加力矩操作,一次成功,且机组上行阶段,所有阀门状态良好,取得了良好效果。

5 结束语

本文对核电机组工程阶段水压试验过程中主蒸汽安全阀的泄漏故障原因进行了分析,制定了针对性改进措施并实施,提升了扭矩法锁定阀门的可靠性,从而制定了较完善的水压试验锁定阀门的工艺。该工艺在A电厂305、B电厂105和205大修水压试验中顺利实施,取得了良好效果,保障了水压试验的顺利实施,切实可行,也为集团内外同类主蒸汽安全阀在水压试验期间的锁定提供了参考。

[参考文献]

[1]吴雷,李夏书,代巍巍,等.蒸汽发生器二次侧水压试验管板加热研究及应用[J].压力容器,2021(3):73.

[2]广东核电培训中心.900MW压水堆核电站系统与设备[M].北京:原子能出版社,2005:337.

[3]杨家兴,刘滔,邢孟.海南核电主蒸汽安全阀内漏问题分析[J].设备管理与维修,2015(S2):166.

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,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。