

# 核电厂蒸汽发生器水压试验集中监视系统研究

刘志伟 程钢 叶金梁 潘洪岩 葛飞

中广核核电运营有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i4.8387

**[摘要]** 本研究介绍了核电厂蒸汽发生器水压试验远程监视系统的研究内容和技术创新方向。由于核电现场的独有特点,比如特厚的钢筋混凝土墙、密集的设备、狭小的空间、多且分散的作业点等,通过对常规监视技术的分析,总结出多项不足之处,针对这些不足之处进行创新研究,提炼并完善工艺方法,解决了远距离无线信号传输稳定性、信号衰减大等系列问题,研发出核电厂蒸汽发生器水压试验集中监视系统,系统能够在远端实现长时间稳定的集中监视、实时数据存储等功能,满足大修期间蒸汽发生器水压试验各项监视需求。

**[关键词]** 蒸汽发生器; 水压试验; 创新研究; 工艺方法; 集中监视系统

**中图分类号:** TK24 **文献标识码:** A

## Study on centralized monitoring system for Hydrostatic test of steam generator in nuclear power plant

Zhiwei Liu Gang Cheng Jinliang Ye Hongyan Pan Fei Ge

CGN Nuclear Power Operation Co., LTD

**[Abstract]** This study introduces the research contents and technical innovation directions of the remote monitoring system for steam generator hydraulic tests in nuclear power plants, such as extra-thick reinforced concrete walls, dense equipment, narrow space, many and scattered work sites, through the analysis of conventional monitoring technology, summed up a number of deficiencies, in the light of these deficiencies, innovative research is carried out to refine and perfect the technological methods, and a series of problems such as the stability of long-distance wireless signal transmission and the large signal attenuation are solved, developed a centralized monitoring system for steam generator hydraulic tests in nuclear power plants. The system can provide long-term and stable centralized monitoring, real-time data storage and other functions at the remote end, monitoring requirements for steam generator hydraulic tests during major repairs.

**[Key words]** steam generator; hydrostatic test; innovative research; process method; centralized monitoring system

### 引言

核电厂蒸汽发生器水压试验是法国压水堆核电站(核岛)机械部件在役检查规范(简称: RSE-M)法定试验检查项目,在没有任何侧背压的情况下定期对蒸汽发生器二次侧承压边界进行法定水压试验,是评估主二回路承压和密封能力的重要试验,试验最长间隔为10年<sup>[1]</sup>。试验目的是验证从蒸汽发生器二次侧至VVP主蒸汽隔离阀,同时也包括APG、ARE、ASG、GCT、REN、SIR等系统,在设计压力85bar.g的1.2倍102bar.g,金属温度为35℃-60℃下的性能(包括承压能力和边界密封性能)在本次试验结束到下次试验实施之前的这段时间里蒸汽发生器二次侧承压边界在正常运行和设计的事故工况下是安全的,是满足核安全法规的。

核电厂蒸汽发生器水压试验项目特点: 蒸汽发生器共有三台,需逐个试验,耗时较长,工期一般为7天;工作点分散,跨区域作业,核岛、常规岛、连接厂房均有工作;现场环境复杂,路径管上有支架、管道、阀门、辅助设备、高压软管等,部分空间狭窄;同时试验存在的风险多,如高压力、高辐射、高温水、边界泄漏、跑水、异物等。

结合上述情况,现场布置集中监视系统有很强的必要性,可以有效节省人力、节约成本、降低安全质量风险和现场管理水平,但是常规监视技术在无线信号传输稳定性、信号衰减、摄像机整体功能等方面存在不足,通过对这些不足逐项分析,明确核电厂蒸汽发生器水压试验集中监视系统的研究方向。

### 1 核电厂蒸汽发生器水压试验主要工作

(1) 试验前的工作准备: 程序、质量计划、工作票、图纸及试验联合装置调试等; (2) 预热管板: 采用循环方式预热, 加热前, 从ASG001BA取50℃左右的水, 分别充入蒸汽发生器二次侧20m<sup>3</sup>、加热水箱8m<sup>3</sup>和循环管道2m<sup>3</sup>, 总计30m<sup>3</sup>水通过循环进水管线和加热水箱连接进行循环加热, 系统水温通过功率调节控制在90℃以内<sup>[2]</sup>; (3) 充水: 先大流量泵充水至VVP174VV下游出水, 再小流量泵充水至VVP601VV下游出水, 由于试验用水不满足蒸汽发生器二次侧水质要求, 在充水的同时需要化学人员同步开展加药工作, 使水质达标<sup>[3]</sup>; (4) 升压: 升压至3bar.g平台, 保压0.5小时, 进行泄漏率计算和试验边界检查、升压至72bar.g平台, 进行泄漏率计算和试验边界检查, 同步开展7个VVP安全阀锁定工作、升压至85bar.g平台, 保压0.5小时, 进行泄漏率计算和试验边界检查、升压至102bar.g平台, 保压1小时, 进行泄漏率计算和试验边界检查; (5) 降压: 降压至85bar.g平台, 保压0.5小时, 进行泄漏率计算和试验边界检查、降压至72bar.g平台, 进行泄漏率计算和试验边界检查, 同步开展7个VVP安全阀解锁工作、降压至0bar.g平台, 归还试验工作票; (6) 排水: 排水至湿保养液位。

## 2 常规监视技术

### 2.1 常规监视系统介绍

核电工作现场常规监视系统由固定式摄像头、无线传输设备和监控中心组成, 设备相对简单。工作过程为作业点(A点)现场布置的摄像头, 实时录像, 无线图传设备连接设置在作业点厂房门口, 在距离作业点50m以外区域设置监控中心(H点), 监控中心通过无线图传设备接收图像信号(现场有若干工作点: A点、B点、C点、D点等), 经过4G录像机(集成4G网卡、无线路由器、交换机、录像机功能)组成无线局域网, 最终在监控中心观看摄像头实时画面, 监视作业现场动态和设备状况。

### 2.2 存在的不足

(1) 核电工作现场管道、阀门、构筑物多且密集, 常规摄像头发射的无线Wi-Fi信号强度小, 易受到障碍物影响, 信号衰减大, 信号存在不稳定现象; (2) 厂房内照明不足或夜晚时, 摄像头开启红外夜视模式, 视频显示黑白画质, 清晰度降低; (3) 常规的传输模式为路由器配合网桥, 网桥对网桥之间不能有障碍物遮挡, 现场实际环境会存在遮挡, 传输信号经常出现卡顿; 如遇到墙壁阻挡(墙壁通常为厚度大于50cm的钢筋混凝土墙), 信号衰减程度大, 甚至完全阻隔; (4) 路由器配合网桥传输方式较为复杂, 使用的设备多, 设备转接方式增加, 增加信号的不稳定因素; (5) 网桥对网桥之间, 为了保持直线无遮挡, 需要给网桥定制专门的支架, 调整相应的高度和角度; (6) 摄像头固定需要安装支架, 在有限的工期内, 需要投入更多人员和资源才能完成目标; (7) 摄像头单独供电, 现场需要布置电源线, 地面部分的电源线需要设置过桥保护。

### 2.3 创新研究

#### 2.3.1 远距离无线信号传输研究

在远距离情况下, 敷设信号线需要放置电缆过桥, 并安排人

员对信号线的路径进行定期巡检; 使用450Mbps的Wi-Fi路由器, 发射功率10dBm, 无线信号在与接收器超过30m后, 信号逐渐衰减, 无法满足试验要求; 在民用通信领域远距离传输较好的方法是使用无线网桥, 无遮挡情况下可实现500m距离, 但是无线网桥的天线具有一定的方向性, 有集装箱等物体遮挡情况下无法实现传输。

针对远距离无线信号传输存在的不足, 提出如下解决方法:

(1) 在距离控制中心电脑端主机50m范围内, 所需要监视的区域, 使用无线图传终端, 将信号传至作业管理中心; (2) 在距离控制中心电脑端主机50m至2000m范围内, 所需要监视的区域, 使用无线图传发射器采集布控球图像数据, 在控制中心端布设无线图传接收器, 收集信号, 连接4G录像机, 接入4G电信网络, 将信号传至作业管理中心; (3) 在空旷或较少障碍物遮挡的条件下, 使用布控球, 插入4G物联卡, 视频信号接入云端, 将信号传至作业管理中心。

#### 2.3.2 网络构架研究

针对网络构架存在的不足, 提出如下解决方法:

(1) 在现场多区域厂房内监视, 使用布控球、图传发射端、图传接收端、交换机、服务器等设备, 作业管理中心显示现场所有工作点监视画面; (2) 简化网络构架, 减少使用设备的数量, 现场布置更灵活, 自带电池工作时间能够延长; (3) 特殊情况下, 混凝土墙内使用Wi-Fi信号收集到路由器, 然后路由器通过高导电铝和铜包银网线传输到混凝土墙外。

#### 2.3.3 信号衰减研究

在大区域有钢筋混凝土墙壁遮挡情况下, 普通Wi-Fi摄像头信号衰减严重, 图像存在卡顿; 在设备密集区域(支架、管道、阀门等), Wi-Fi信号衰减较大; 在混凝土墙内, 现有的无线路由器无法穿透墙壁, 不能将信号传输至墙外。

针对信号衰减存在的不足, 提出如下解决方法:

(1) 模拟现场试验环境, 对传输距离和穿墙能力做试验, 对试验结果进行分析; (2) 根据试验结论, 对图传发射和接收设备进行升级, 功率提高至合适数值, 升级后的图传设备可以穿透现场工作区域内任一堵墙壁, 同时在未完全封闭的条件下, 信号可以在2000m内实现稳定的无线传输。

#### 2.3.4 摄像头技术研究

现场摄像头需要固定在支架上, 支架要打孔安装, 耗费时间也耗费人力; 固定式摄像头拍摄角度调节范围有限, 输出画面不是完整的工作区域, 存在监视盲区; 在光线不足的情况下, 不能显示彩色图像, 画面像素较低; 需要现场提供电源给摄像头供电和存储空间不足等。

针对摄像头技术存在的不足, 提出如下解决方法:

(1) 研制高度可调节的支架, 底部由三角腿支撑, 增加稳定性, 支架上设置摄像头连接点; (2) 研制摄像头底板专用工装, 采用强力磁铁磁吸的方式, 能够快速在支架或碳钢上安装和拆除; (3) 采用全景角度并可调节和远近焦距可调节的摄像头, 不再局限固定位置安装; (4) 设置摄像头补光灯, 在照明不足或夜

晚的情况下,自动开启补光灯,实现全彩夜视画面;(5)选择可充电式的摄像头,具备12个小时以上续航能力;(6)配合大容量移动电源,可在3小时内充满摄像头电池,同时具备至少可充满2次摄像头电池的能力。

### 2.3.5 自由组网的平台研究

通过Wi-Fi无线网络,搭建局域网,实现内部通讯,根据设备位置的不同,布置摄像头和各个区域的无线传输方式也不同,可以提供最合适的布置方案。

例如现场有4个区域A、B、C、D,A区域接入2个摄像头,距离作业管理中心较近,可以使用无线路由器接入局域网;B区域接入4个摄像头,距离作业管理中心较远且中间无遮挡,可以使用网桥接入局域网;C/D区域分别接入5个摄像头,距离作业管理中心较远且中间有遮挡,可以使用超级路由器加中继路由器的方式接入局域网。

## 3 系统现场应用

核电厂蒸汽发生器水压试验集中监视系统由图像采集单元、无线图传单元和作业管理中心组成,能够在不同的核电厂环境下应用,具备特点如下:

(1)采用射频图传技术,最大实现2000m远距离无线信号传输,同时能够克服厂房之间、密集设备及管道等带来的信号衰减;(2)对于核电特有的厚墙壁,通常为厚度大于50cm的钢筋混凝土墙,信号波可以穿透墙壁,实现无线传输;(3)安装磁铁和匹配三角支架,根据需要监视的设备位置和角度,因地制宜能够快速、便捷的布置摄像机;(4)摄像机安装大容量锂电池,可以长时间(12小时以上)持续工作;(5)在没有4G电信网络、外网的情况下,实现局域网内通讯;(6)搭建自由组网的平台,根据项目和设备的位置分布不同,不同型号布控球自由组网。

在蒸汽发生器水压试验期间,集中监视系统摄像头布置在如下九个区域,现场采集到的数据通过一系列转换,最终传送至作业管理中心大屏幕,工作人员可实时对现场动态和设备情况等进行监控:

(1)RX厂房蒸汽发生器顶部,监视作业现场动态、压力表数值及管线是否有水泄漏;(2)MX厂房常规岛地面0m,监视作业现场动态、上方管线及阀门是否有水泄漏;(3)MX厂房常规岛地坑位置,监视作业现场动态、ARE管道的疏水管线是否有水流出;(4)WX厂房VVP主蒸汽隔离阀盘根区域,监视作业现场动态、阀门盘根是否泄漏;(5)WX厂房GCT消音器区域,监视作业现场动态、消音器上游阀门是否泄漏;(6)WX厂房ASG逆止阀区域,监视作业现场动态、水压试验临时进水装置和橡胶软管是否泄漏;(7)WX厂房ASG水源取水点区域,监视作业现场动态、水压试验临时取水装置和橡胶软管是否泄漏;(8)厂房外蒸汽发生器水压试验联合打压装置区域,监视作业现场动态、泵组集装箱、橡胶软管、隔离区域状态;(9)在各现场高压边界区域,监视作业现场动态,重点关注是否有人误入试验区,同时现场张贴红白警示带。

## 4 结语

本文结合核电厂现场环境的特点,通过对常规监视技术的深入分析,总结出不足之处,通过对不足之处的逐项研究分析,提出针对性的解决方法,研发了核电厂蒸汽发生器水压试验集中监视系统,系统在核电大修中的应用,对蒸汽发生器水压试验项目人力的节约、成本的控制、安全质量风险管控和现场管理水平的提升有着重要意义。

### [参考文献]

[1]法国压水堆核电厂核岛机械设备在役检查规则:RSE-M[S].FRANCE:AFCEN,1997(C):7-9.

[2]程钢,王东,张涛,等.蒸汽发生器二次侧水压试验工期研究与工艺创新[J].中小企业管理与科技,2019(08):145-146.

[3]肖波,刘东勇.蒸汽发生器二次侧打压试验水温控制与水质调节[J].中国核电,2014(9):252-253.

### 作者简介:

刘志伟(1990--),男,汉族,吉林省洮南市人,本科,工程师,中广核核电运营有限公司,研究方向:水压试验、在役检查等。