

在役核电站蒸汽发生器水室内表面目视检验影响因素分析

李宁

身份证号码: 211481198608307614 山东核电设备制造有限公司

DOI:10.12238/ems.v7i7.14314

[摘要] 蒸汽发生器是核电站的关键设备,其主要作用是对一回路及二回路介质进行热交换。以五年为周期 停堆大修期间,都需要采用目视检查的方法对蒸汽发生器的水室内不同部位进行无损检查。蒸汽发生器所处位置环境剂量较高,需要使用间接遥控目视技术进行检查,本文详细阐述了对蒸汽发生器实施在役目视 检查的主要流程,并分析了在役检查中影响间接目视检查的主要因素。

[关键词] 蒸汽发生器; 目视检验; 水室内表面

引言

蒸汽发生器作为压水堆核电站一回路主要设备,处于高温高压及介质腐蚀工作环境,蒸汽发生器水室 长期在该工况下工作,会产生缺陷而严重影响运行安全。因此需要采用目视检测的方法对水室内部材料进行无损检查。目视检查是指用人眼或者借助于光学仪器设备对工业产品表面做观察或测量的一种检查方法。分为直接目视检查、间接目视检查和透光目视检查。在核电领域,目视检查主要用于发现设备在核电站运行过程中表面异常、设备是否存在变形、是否有异物以及是否有泄漏等情况。因为蒸汽发生器所处位置环境剂量较高,不便于人眼直接目视,所以该设备的目视检查应该采用远程监控设备实施间接遥控目视检查。

1 间接目视检查的特点

目视检查的工作原理相对来说比较简单,因此目视检查设备便于操作,易于理解及掌握。目视检查很少受被检产品的材质、结构、形状、位置、尺寸等因素的影响。检查速度比磁粉、超声等无损检测方法快,检测结果具有直观、真实、重复性好等特点,对于缺陷测量的精确度也比其他无损检测方法高。遥控目视检查方法应用于核电站在役检查,检测摄像头可以轻松 到达大部分检查人员无法到达的地方,帮助检查人员实施长时间目视检查,从而大幅度降低了工作人员辐射剂量,其优势显而易见。

间接目视检查也有一定的局限性,检验人员不能直接观察被检表面的真实情况,由于受到设备分辨力及摄像头技术水平的限制,一些非常细微的缺陷很难被发现。间接目视检查是通过观察摄像头采集的视频 图像来评判材料特性,这些采集的视频图像受到表面光照度及摄像头观察角度等因素的影响,在监视器中 看到的图像由于上述原因,一旦与实际表面状态发生偏差,容易发生缺陷漏检的情况,直接影响目视检验的结果。所以在间接目视检验中,必须要尽量保证所用的视频设备能够真实、客观、有效地反映出被检表面的真实状况。

2 间接目视在役检查

在核电站关键组件的制造过程中,焊缝和厚度变化等结构不连续处表面的加工应力和残余应力常常是 最大的,而且材料性能退化最有可能首先出现在暴露于促使缺陷出现和生长环境的内表面。所以,在很多 情况下,已知的退化过程很可能导致与安全相关系统组件的内表面萌生裂纹等缺陷。在缺陷发展到足够大 的尺寸以至于接近压力边界的安全厚度之前,检测系统必须能够发现这些裂纹,这样间接遥控目视检测才 能被认为是有效的。

蒸汽发生器水室内表面目视检查的主要部位包括:管板下表面、半球形封头内表面、分隔板两侧面、以及四个疏水管管口。

本文中所论述的蒸汽发生器水室目视检查设备采用闭路电视检查(Closed Circuit Television,简称 CCTV)的方式,主要包括:机械单元、控制单元、记录单元三部分,其中机械单元包括机械旋转臂及安装定位装置,位于蒸汽发生器房间,主要功能是安装固定检查设备并驱动监控摄像机按照设定轨迹运动完成视频检查。控制单元包括控制计算机、驱动接口盒、驱动箱,主要功能是驱动、控制机械 旋转臂运动。记录单元包括摄像机及其控制端、监视器等,主要功能是调整摄像头及录像参数、完成目视检测过程并对整个过程进行视频录制。

检验实施前,首先应对目视检查系统的灵敏度进行校验。人眼应能清晰分辨监视器画面以及录像中 18% 中性灰度分辨率卡上宽度 $\leq 0.8\text{mm}$ 宽的黑线,并且能够清晰地分辨卡上的 7 种颜色块。校验结束后,准备实施检查。将机械单元、摄像及记录单元等设备送入蒸汽发生器房间,调试机械设备、视频监控设备的功能 并观察视频图像输出,确保设备各功能正常。完成调试后,将各运动关节回归零点开关位置,准备将设备 安装至蒸汽发生器水室。使用辅助安装系统将检查设备安装至蒸汽发生器人孔法兰面上,并使倾角仪上 X/Y 的显示值为 0 度,此时即已通过机械臂将监控摄像机送入蒸汽发生器水室内。安装过程中,需要仔细检查 设备上的器件,

防止松动, 安装过程要避免工具与检查对象碰撞。

整个检查过程中, 运动速度以及图像的放大倍数应有所限制, 以保证获取的画面清晰、不变形为最低要求。另外, 应保证检查的视角大于 30 度。

如果发现异常或者可疑显示, 应暂停自动扫查, 改为手动扫查, 对异常显示区域进行更细致观察。当发现可记录或达到记录标准的缺陷显示时, 应静止(定格)观察和录像至少 10~20 秒钟。并在检验报告中给出缺陷显示的坐标及缺陷显示的性质。如果有观察不到的盲区, 也应记录在检验报告中。

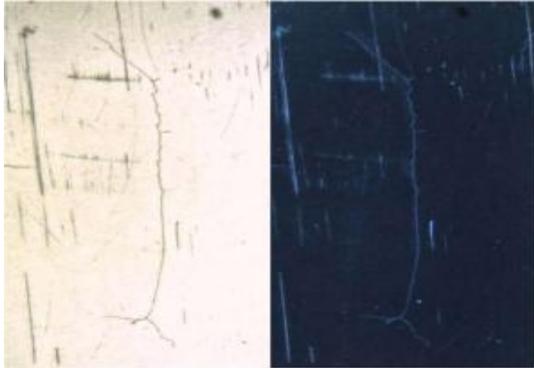


图1 亮视场与暗视场成像



图2 亮视场与暗视场共同存在的现象

3 目视检查主要影响因素

影响目视检查结果的因素是多方面的, 在实际工作中发现, 影响因素比较明显的是成像对比度、成像视场以及扫查速度。

3.1 成像对比度

蒸汽发生器目视检查的主要目的是发现和正确的判断表面裂纹。对比度是影响裂纹检出率的主要因素。目视设备数字摄像机系统锐度越高, 图像的对比度越高。图像稍微不清楚(锐度降低), 整个对比度就会下降。低对比度、模糊不清的线仍然可以检测但是很难准确观察与测量。高对比度的裂纹很容易看到和确认, 低对比度裂纹容易遗漏或者与其他表面特性混淆。因此, 裂纹和背景之间必须有足够的对比度以使裂纹形态精确成像。

3.2 成像视场

暗视场成像与亮视场成像是利用光去检测材料表面特性的两种方法。

对于目视检测成像, 最常用的方法是亮视场成像。亮视场成像就是直接对检测表面照明, 使检测表面背景光亮, 而各种表面异常特性将会呈现或明或暗的线条。亮视场成像中, 相对于亮背景, 裂纹看起来像一条黑线。划痕则由于它们的深度和照明角度而或明或暗(如图1左所示)。

对着检测表面以倾斜的角度照明就是暗视场照明。由于是倾斜照明, 材料表面不会产生光反射进入摄像机而影响或阻碍检测人员对表面异常的判断, 整体背景将呈现黑色, 而裂纹或划痕等表面特性在显示屏上表现为明亮的线条(如图1右所示)。对于表面状况良好条件下的目视检测, 暗视场成像是一种有效的方法。

如果从表面的特定角度进行照明, 并以不同的摄像头角度观察, 裂纹会同时产生亮视场和暗视场效应。这种作用的例子见图2。裂纹的边缘相对于背景较亮可以反射光产生亮视场, 裂纹的中间相对于背景较暗产生暗视场。

在实践中发现, 暗视场照明只在光滑且平坦的表面有用。对于弯曲表面、焊接件以及机加工状况不光滑表面, 暗视场照明的效果并不理想。出于这个原因, 蒸汽发生器遥控目视检测可以采用亮视场照明作为主要照明手段。对于难以判断的显示, 使用暗视场局部照明, 作为对亮视场检测的补充。明、暗视场的结合更有助于检测人员对于裂纹与划痕等其它表面特性的区分与判断。

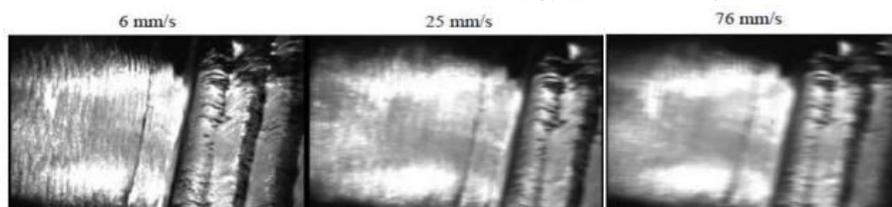


图3 COD 为 125 μm 的裂纹在三种速度下得到的扫查图像

3.3 扫查速度

扫查速度对摄像机的影响比较复杂。主要通过影响灰度、分辨率等参数影响图像质量。

使用变焦摄像机在 6mm/s 到 76mm/s 的速度范围内对 COD (弹性材料受到张开型载荷时, 原始裂纹部位张开的距

离) 为 125 μm 的裂纹进行摄像记录, 评价相应图像。试验中截取的样本图像如图3所示。从图中可以看出, 使用 6mm/s 的扫查速度进行扫查, 几乎不会对图像产生任何影响, 使用 25mm/s 的扫查速度进行扫查时, 图像开始变得模糊, 当以 76mm/s 速度扫查时, 已经不能从图像中识别出任

何对判伤有价值的信息。对由于扫查速度变化引起裂纹和背景之间的灰度对比等级变化进行了测量,与使用相同摄像机拍摄裂纹的静止图像进行对比。实验表明,扫查速度较低时,灰度对比度较高,随着扫查速度增加,灰度对比度下降非常明显,甚至低于静止时图像灰度对比度的一半。按照上文的理论,在低对比度条件下,不能完全准确的对材料表面特征进行目视检查。

分辨率测试中,摄像机使用不同扫查速度对某一分辨率卡进行扫查,记录每次扫查记录可分辨的最小尺寸及相应线数。扫查结果如图4所示。静止扫查时,可以清晰的分辨出

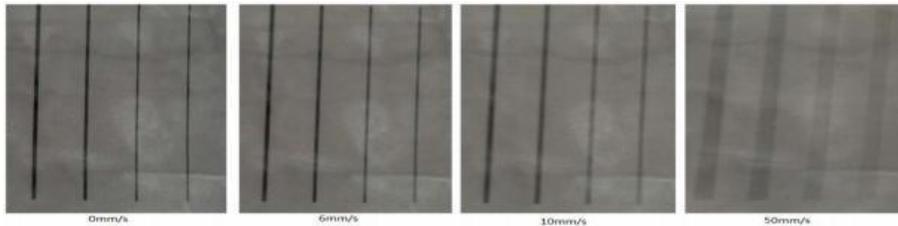


图4 分辨率卡在四种扫查速度下得到的图像

4 被检对象对目视检查的影响

蒸汽发生器 CCTV 在役检查过程中,除了检测设备对图像质量的影响,被检对象本身的各种固有特性对于缺陷检查的影响也是至关重要的。缺陷尺寸的大小直接决定了缺陷能否被检出,被检设备的表面状况和由于光照反射产生的耀斑等则会影响缺陷检查的难易程度。

(1) 缺陷尺寸

随着缺陷长度的增加,缺陷特征更明显,缺陷也就更易于被发现。但是,缺陷与背景之间的对比度不会随长度的增加而提高。随着缺陷宽度的增加,缺陷与背景之间的对比度增加,缺陷特征随对比度的增加更容易被识别。

(2) 表面状况

实践证明,蒸汽发生器水室的内部表面状况对缺陷检测有很大影响。表面状况良好的部件,可以检出非常微小的裂纹。然而,如果水室内部硼结晶与水迹或其它杂质等比较多,就会影响录像质量,干扰检查人员对缺陷的判断,从而使微小缺陷的检查变得非常困难,甚至会遮盖部分缺陷。因此在役检查中,蒸汽发生器水室内部的表面状况对检查结果影响很大。应尽量采取不同的角度对异常显示进行确认,以提高检查的准确性,降低表面状况异常对结果的影响。

(3) 表面耀斑

在 CPR1000 机组中,蒸汽发生器内部水室堆焊层为不锈钢材料,如照明角度不当,极易在受检表面产生镜面反射,反射光线进入摄像头后,在图像中就会形成耀斑。耀斑会大大降低缺陷与背景之间的对比度,可能导致漏检或误判。遇到这种情况,通过调整照明亮度,采用多角度检查等措施来降低表面耀斑的影响。

5 结语

根据上述总结,现场检验时可采取以下方面对 CCTV 目

视检查设备、检测工艺进行适当调整或改进:

(1)在役检查及役前检查蒸汽发生器水室内表面状态不同。在役环境下,由于水室内表面长期工作在高温高压环境中,加上介质氧化等化学作用,其内表面颜色相对于役前来说较灰。所以针对这种情况,可通过提高灰度对比度等级来提高检查准确度。在役检查及役前检查应采用不同的光照度,在役检查光照度较役前检查强。光照度也不宜过高,这样容易产生反光耀斑,反而会影响检查人员对异常显示的识别。

(2)水室照明质量对检查结果的影响非常大,对水室照明设备进行了改进。通过控制照明设备电压,使照明设备变为亮度可调。并对不同角度区域的照明设备分别设置开关功能。检测人员可根据实际需要对照明进行开关及亮度调节。例如水室中的凹坑反应在视频图像中往往较黑,而凸起的杂质却很明亮。这两种情况都会影响视频检查质量,此时即可根据实际情况调整照明条件使其局部形成明、暗视场,从而提高视频检查的准确度。

(3)对于蒸汽发生器目视检查来说,由于摄像头拍摄角度、摄像头与被检查面距离、被检查面的曲率变化、被检环境等因素的不确定性,对检查中发现的显示进行尺寸测量是比较困难的。目前,规范中尚无相关要求对 CCTV 目视检查发现的显示进行尺寸测量,但对 CCTV 发现的显示进行尺寸测量对于缺陷评估来说是十分有必要的,对于蒸汽发生器的长期稳定运行也有十分重要的意义。目前市场的机器视觉尺寸测量系统可以作为参考技术手段与无损检测需求进行融合是对 CCTV 发现的显示进行准确尺寸测量与评估是一个非常有意义的研究方向。

[参考文献]

- 1]RSE-M 压水堆核电站核岛机械在役检查规则(1997 版及 2000 补遗)