

超声相控阵技术在输变电设备缺陷检测中的应用

罗兰德, 杨超群

(中国大唐集团科学技术研究总院有限公司水电科学研究院, 广西 南宁 530031)

摘要 我国电网规模日益扩大, 诸多大容量、高参数输电设备运用在电气工程中, 此类设备的运行质量与安全性将直接决定电网稳定性。但由于输变电装置结构复杂, 检修周期相对较短, 因此检测难度高, 传统无损检测技术经常出现缺陷检出率不达标的问题。本文将围绕超声相控阵技术的原理与优势开展分析, 阐述其在输变电设备与电站设备缺陷检测中的应用路径, 并提出超声相控阵技术发展前景, 以为促进其发挥多角度扫查、扇扫成像等优势提供参考, 从而提高设备缺陷检测效果, 保证检测精确性, 延长设备的使用寿命。

关键词 电气设备; GIS 罐体; 小径管; 超声相控阵; 换能器

中图分类号: TM72

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)07-0001-03

1 超声相控阵技术的原理与优势

超声相控阵技术可以理解为借助电子方式, 实现相控阵探头的控制, 利用合成声束完成超声波的发射与接收。该技术的基本思想源于雷达电磁波相控阵技术, 其采用的相控阵雷达由多个辐射单元组成, 能够通过控制单元幅度与相位的方式, 达到调整电磁波辐射方向的作用, 并迅速合成聚焦扫描的雷达波束。而超声相控阵技术便是基于此原理, 由多个压电晶片组成换能器, 依照一定规则与时序, 采用电控系统实现晶片单元的激发, 达到调控焦点位置与聚焦方向的目的。超声相控阵技术的扫描方式则分为以下几种: 电子线性扫描, 是指利用多路技术以同样的聚焦规则沿阵列实现扫描, 可以采用一个紧凑焦点完成快速覆盖; 扇形扫描, 是指利用同组压电元件, 利用编程改变时间延迟, 控制波束通过一系列角度完成扫查。虽然该方法可以用于焊缝的检验, 但要注意, 扇形的扫描角度存在一定局限, 因此需要合理调节阵列频率与压电元件之间的距离; 动态深度聚焦, 是指利用双阵列探头, 将其分布在焊缝两侧, 通过配置好扫查角度, 以及多种超声束, 实现多个波束的同时扫描。

超声相控阵技术的优势在于: 实时彩色成像, 利用多种扫描方法, 保证缺陷的准确判读; 通过结合线性扫查、扇形扫查、动态深度聚焦等方法, 以此提高检测速度, 增加检测精确性; 相较于其他无损检测技术来说, 相控阵的检测灵活性更高, 即便工件的形式与结构较为复杂, 也能保证极高的缺陷检出率; 扫描

设备的操作简单, 易于维护, 相关数据可以实现智能管理与存储; 探伤仪的成本较低, 探头的用处多样, 不仅可以自动生成图文缺陷报告, 也能利用互联网, 直接将报告传递至数据中心。

2 超声相控阵技术在输变电设备缺陷检测中的应用路径

2.1 GIS 罐体焊缝

GIS 是指封闭式组合电器, 可以理解为将多种电器, 依照接线要求, 打造成有机整体, 各电器仍能保持原有性能的封闭装置。其特点在于结构紧凑, 安装尺寸相对较小, 且应用方式便捷, 各电器性能可以实现协调配合。比如: 低压组合电器, 以熔断式刀开关、综合启动器为主。而 GIS 罐体则采用铝合金板卷材焊接而成, 罐体上存在多个手孔, 为保证罐体的密封性, 需要对手孔封头与筒体实现焊缝连接。至于焊接方法的选用上, 则以惰性气体保护焊为主。在焊接过程中, 由于铝材料的导热率相对较高, 一旦筒体厚度较大, 很容易引发热能的高速传导, 进而导致罐体焊缝坡口产生未熔合缺陷。如果焊缝清理不到位, 或者间隙设置不科学, 便会引发未焊透缺陷。此外, 铝合金本身的理化性能较为特殊, 若罐体壁较厚, 还会产生气孔等问题。由此可见, GIS 罐体容易因人为因素、环境因素产生焊缝问题, 因此在出厂前, 需要做好设备缺陷检测。

本文将以某地方变电站的 GIS 罐体焊缝作为研究对象, 由于 GIS 难以实现解体, 常规的 X 射线检测无

法准确检查设备缺陷问题,因此该变电站最终采用超声相控阵技术开展检测工作。检测装置采用相控阵检测仪,探头则采用自聚焦线阵相控阵探头,至于在楔块的选择上则以SD-NS-IH型号的楔块为主。在实际检测前,需要根据铝合金标准试块实现仪器延迟、探头前沿的校准作业,保证系统灵敏度满足测试要求。之后对封闭式组合电器的纵缝以及环焊缝进行缺陷模拟检测,梳理工艺的实施流程。本次检测对象壁厚为8mm,焊缝余高大约2mm,为了进一步降低焊缝余高对声波反射产生的不良影响,需要根据回波状况,进行壁厚修正,将其调整为8.2mm。同时根据设计图纸可以发现,GIS罐体坡口为V形,焊缝宽度达到12mm,坡口角度为35度。之后,结合信息技术、专家系统,打造焊缝模型,结合焊缝可视化功能,实现环焊缝的扇形检测,角度控制在40~70度之间^[1]。

2.2 管母线焊缝

管母线是指电力输变电系统中的关键材料,对输变电系统的安全、可靠运行具有重要作用,应用在电力工程中电网输电导线与变电站变压器之间的导体连接、线路跳线、设备连接导体。由于其采用稀土铝合金以及耐热铝合金,因此管线导体的加工效果优良,可焊接,具有极强的耐热性能,且导体的表面光滑,尺寸精度高,抗拉强度大。在实现焊接时通常采用钨极气体保护焊、熔化极惰性气体保护焊,具体的焊接方法需要充分遵循我国制定的母线焊接技术规程。

以某地方变电站输变电工程作为研究对象,该工程的管母线材质为6063铝合金,内径为250mm,外径为230mm,采用超声相控阵检测技术进行母线焊缝的检查。检测仪器为PC相控阵检测仪,探头采用0.5×10晶片自聚焦相控阵探头,楔块为SD-NS-IH楔块。管母线的厚度在10mm左右,由于焊缝余高会对声波发射产生影响,因此在测试时需要将管母线厚度提升至10.4mm。之后设置好焊缝规格,开启焊缝可视化功能,完成超声相控阵检测,确认焊缝是否存在未焊透的问题。对管母线进行解剖,比对内部焊缝形貌与检测结果,便可确定超声相控阵检测技术的精确性。

2.3 GIS高压直线导体

GIS高压直线导体同样属于变电站的核心设备之一。根据实际调查显示,许多电气企业经常出现因焊缝开裂引发的安全事故。为了解决此类问题,需要做好相关设备的缺陷检测,但由于GIS高压直线导体的焊缝结构相对复杂,若采用传统的超声检测技术,会

同时产生螺纹回波、缺陷波,进而加大区分难度,影响检测结果的准确性,不利于缺陷的准确检出。同时,GIS高压直线导体的长度较长,且经常在户外使用,若采用射线检测,也难以有效完成导体的防护,检测难度较高。为了更好地完成设备结构的分析,需要采用超声相控阵方法,将探头反装,确保即使在取付台空间较小的环境下,也能焊缝检测。并且,为了处理圆管声束扩散较为严重的问题,还要结合晶片自聚焦探头,定制专门的曲率楔块^[2]。

2.4 铝制线夹

电网铝制线夹是指固定在导线上的铝制金属附件,需要具备极强的抗拉能力,并保证电气方面接触良好。其作用在于连接导线与电气装置,组成结构为紧固导线与用于连接电气设备的导线,前者属于管型结构,而后者则属于端子板结构。此类线夹的成型方式大多表现为焊接与铸造。由于管型结构与端子板的连接区域属于薄弱环节,容易产生缺陷,因此需要对其进行缺陷检测。

铝制线夹的类型较多,存在大量不规则圆弧面,容易在运行时产生缺陷扩散,所以常规的超声探头难以准确检测缺陷问题,普通的探头也无法保证检测精确性。

为此,本文认为可使用柔性探头的阵列晶片,该物质的特点在于能够根据工件表面形状的变化进行任意弯曲,可实现曲率的改变。探头厚度只有3mm,能够进入狭小空间进行检测^[3]。

3 超声相控阵技术在电站设备无损检测中的应用

电站设备的特点在于厚壁零件相对较多,且结构较为复杂,比如厚壁集箱与轮槽等,若采用常规的超声监测,往往会存在较大的局限性,甚至无法完成数量众多小径管焊缝的检测,为此便需要将超声相控阵技术运用在电站设备无损检测中。

3.1 小径管焊缝

小径管是指外径小于100mm的管道,在焊缝检测时存在以下不足之处:由于工程工期较紧迫,检修工期被不断压缩,因此射线检测的实施存在众多限制,难以及时实施;小径管的壁厚较薄,且曲率较高,经常会在超声声场中产生畸变问题,进一步加大了缺陷识别难度,也会影响检测的灵敏度,且缺少数据记录,最终使检验结果失去真实性与客观性;超临界机组中,受热面小径管的出现频率较高,若采用射线检测的形

式, 难以避免地会产生低检出范围的问题, 不仅会影响机组的正常运行, 也会造成电厂的巨大经济损失。

而采用相控阵技术, 可以充分利用声束性能提高控制效果, 超声探头晶片的组合是依照一定规律分布排列的, 之后根据预先设定的延迟时间完成晶片激发, 使全部晶片发射的超声波形成波阵面, 以此控制超声束的形状与方向, 达到超声波波束扫描、聚焦的目的。将其运用在小径管中, 可以充分发挥检测技术灵敏度高、信噪比大的优势, 保证信号的准确识别, 通过扇形检查的模式, 使双探头同时从焊缝两侧实施扫查。之后将数据进行多角度成像, 使缺陷问题被及时发现。

3.2 管座角焊缝

压力容器制造过程中, 接管与筒体的焊缝便是最典型的管座角焊缝, 由于管子曲率相对较高, 且焊缝形式为马鞍状, 其特点在于焊接难度大, 空间曲线复杂, 往往需要采用手工焊接的形式, 劳动强度较高, 且难以保证焊接质量与稳定性, 只能实现单侧扫查。并且此类焊缝的缺陷信号无法准确识别, 定位难度较高。上述因素都会造成超声检测结果可靠性较低, 随机性偏大的问题。尤其是疏水管座等长期遭受热应力作用的部位, 经常会出现焊接缺陷, 膨胀不畅的情况, 加大裂纹形成的概率。为此, 便需要采用超声相控阵技术进行检测, 首先要设置专门的扫查架, 准备好专用的曲面线阵探头。其次要在检测过程中做好探头的控制, 避免前后移动, 只需沿着焊缝转动一圈即可, 操作较为简易。至于收集到的数据则要存储在数据库以及云端, 将其用于多角度成像, 实现检测结果的可视化呈现。相较于传统声波检测来说, 超声相控阵技术能够利用多种阵元转换器产生与接收超声波束, 利用换能器中阵元发射脉冲的延迟时间, 实现声波抵达某点时的相位关系调整, 之后采用多种扫描形式实现图像成像。该方法能够实现缺陷长度方向的精确测量^[4]。

3.3 纵树型叶根

根据实际调查显示, 纵树型叶根通常运用在大机组当中, 其结构特点在于合理利用叶根与轮缘部分的材料, 具有极高的承载能力, 强度适应性优良。采用轴向单个安装, 装配与更换更加方便。缺点则在于接合面较多, 加工复杂, 对精度、材料塑性的要求较高。纵树型叶根在运行过程中需要承受强大的离心力、蒸汽弯曲应力, 也需要遭受高温、振动、腐蚀带来的影响, 因此在长时间使用时, 容易形成裂纹。一旦纵树型叶根出现断裂, 势必会产生巨大的经济损失, 甚至对人

身安全产生威胁。纵树型叶根存在一定的规律变化, 在不拆卸状态时, 无法有效实现表面检测, 导致传统的超声检测受到一定空间限制, 检测所需角度较大, 回波信号难以有效辨别。为此, 需要结合超声相控阵技术, 采用专用探头, 将其放置在叶片位置, 激发扇形扫查, 进行探头的缓慢平移, 以此进行纵树型叶根的检测; 或是将探头放在扫查架上, 达到自动检查的目的。该方法能够保证纵树型叶根缺陷的完整呈现, 易于分辨。

4 超声相控阵技术前景分析

随着我国火力发电机组的高速发展, 电网规模的不断扩大, 设备参数的持续提升, 对于设备缺陷检测的要求越来越高, 传统的超声检测、声线检测已难以满足现场需要。

因此, 各企业需要加快推广超声相控阵技术, 充分发挥其灵活控制、信噪比高的优势, 将检测数据处理为多角度图像, 保证检测结果的直观性, 确保设备缺陷得到及时探查^[5]。

5 结论

综上所述, 本文通过对超声相控阵技术的原理与优势展开分析和讨论, 阐述其在 GIS 罐体焊缝、管母线焊缝、铝制线夹等输变电设备, 以及小径管焊缝、管座角焊缝、纵树型叶根等电站设备中的应用路径, 并提出超声相控阵技术的发展前景, 以此保证技术优势的充分呈现, 提高检测精确性, 深入挖掘超声相控阵技术的应用价值, 拓展技术的应用范围。

参考文献:

- [1] 张东波, 王卓琳, 张永群. 基于超声相控阵技术的钢板混凝土缺陷识别研究 [J]. 施工技术 (中英文), 2023, 52(03):4-9.
- [2] 王仕强, 于佩航, 徐勇军. 闸板防喷器壳体侧门超声相控阵检测技术 [J]. 石油机械, 2022, 50(12):20-25.
- [3] 李一轩, 汪小凯, 董新宇. 轮毂轴承滚道成形缺陷超声相控阵检测技术 [J]. 塑性工程学报, 2022, 29(11):61-66.
- [4] 曹燕亮, 云维锐. 超声相控阵多聚焦技术在奥氏体不锈钢检测中的应用 [J]. 无损探伤, 2022, 46(06):43-45.
- [5] 马文杰. 超声相控阵技术在油田注汽锅炉检测中的应用 [J]. 设备管理与维修, 2022(06):153-155.