

风机塔筒焊缝缺陷检测机器人

申扬¹, 王钰珏^{1,2}, 刘秀成^{1,2}, 吴斌^{1,2}

(1.北京工业大学材料与制作学部, 北京 100124; 2.北京工业大学信息学部, 北京 100124)

摘要: 风机塔筒主要通过卷板焊接成筒再由多筒分段焊接而成。焊缝是塔筒的力学性能薄弱区域, 在复杂载荷和大气腐蚀等多因素作用下, 易形成焊缝区域腐蚀和裂纹等缺陷, 严重威胁塔筒结构健康状态, 是在役风机塔筒运行中的重大安全隐患。但目前尚没有全面有效地风机塔筒焊缝缺陷检测仪器和手段。针对该问题, 提出了一种基于漏磁与磁扰动原理的一体式阵列传感器, 以实现不同种类缺陷的检出及交叉校验。在此基础上, 研发了适配一体化的多通道检测仪器及搭载传感器和仪器的风机塔筒焊缝检测机器人。该机器人在设计上采用模块化设计结构, 通过差速运动, 可以实现圆柱表面的左右转向运动。机器人搭载了视觉模块和激光轮廓扫描模块, 确保机器人沿着焊缝方向运动。该检测机器人为风机塔筒焊缝缺陷无损、快速检测提供科学手段和技术支撑, 具有较高的科学和应用价值。

关键词: 漏磁与磁扰动复合检测; 风机塔筒; 焊缝; 机器人

Defect Inspection Robot for Welding Seam of Wind Turbine Tower

Shen Yang¹, Wang Yujue^{1,2}, Liu Xiucheng^{1,2}, Wu Bin^{1,2}

(1. Faculty of Materials and Manufacturing, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. Faculty of Information Science, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: The wind turbine tower is mainly welded into a barrel by the rolling plate, and then welded into the tower by a few barrels. Regular inspection and maintenance of the wind turbine tower are required. The welding seam is the weak area of mechanical properties of the tower barrel. Under the action of complex load and atmospheric corrosion etc., it is easy to cause defects such as corrosion and crack in the welding seam area, which seriously threatens the structure health of the tower barrel and is a major safety hazard in the operation of the wind turbine tower. However, there is no comprehensive and effective testing instrument and means for inspection the defects in welding seam of wind turbine tower. To solve this problem, an integrated array sensor based on magnetic flux leakage and magnetic field disturbance methods is proposed to detect and cross-check different kinds of defects. On this basis, a multi-channel testing instrument and a defect inspection robot for welding seam of wind turbine tower equipped with sensors and instruments are developed. The robot adopts modular structure, and can

realize the left and right turning movement on the cylindrical surface through two-wheel differential driving. The robot is equipped with a vision module and a laser profile scanning module to ensure that the robot moves along the direction of the welding seam. The robot provides scientific means and technical support for non-destructive and rapid detection of defects in welding seam of wind turbine tower, which has high scientific and application value.

Keywords: Composite methods of magnetic leakage and magnetic field disturbance; Wind turbine tower; Welding seam; Robot

1 研究背景

风机塔筒作为风力发电机的重要支撑结构，由多段圆筒焊接而成，塔筒外径一般在 4m，高度 100m 以上，同时表面涂有 300 微米防腐层，塔筒的焊缝区域作为力学性能薄弱区域，在环境腐蚀等多因素作用下，易在焊缝区域产生裂纹与腐蚀等缺陷，这严重威胁塔筒结构健康状态，是在役风力发电机运行中的重大安全隐患。

风机塔筒焊缝区域由导磁性能较好的低碳钢焊接制成。焊缝区域的缺陷类型较为复杂，且缺陷的方向多样化，采用传统漏磁检测方法无法对平行于扫查方向的缺陷进行很好的检测。本论文提出了一种结合漏磁与磁扰动两种方法的一体式阵列传感器，以实现不同种类缺陷的检出及交叉校验。在此基础上，研发了适配一体化的多通道检测仪器及搭载传感器和仪器的风机塔筒焊缝检测机器人。

2 研究内容

(1) 传感器研制

论文研究采用了自主研发的基于漏磁[1]与磁扰动原理复合使用的一体化阵列传感器，传感器原理图如图 1 所示。该传感器在传统的 U 型磁轭基础上通过添加两路支路磁桥，一方面为 U 型磁轭中心的漏磁信号提供了较好的屏蔽效果，另一方面 U 型磁轭与试件形成的闭合磁回路经过磁桥位置时，会有少部分的磁通量会分流至磁桥，并在磁桥处进行垂直励磁，当传感器扫查缺陷并经过磁桥位置时，磁桥下方所产生的垂直磁场会产生磁扰动信号，从而实现漏磁与磁扰动原理一体化复合使用。

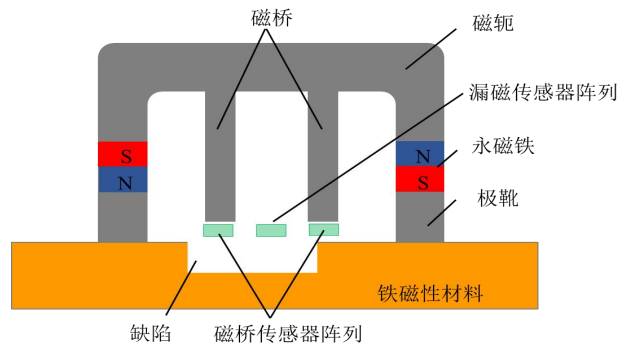


图1 漏磁与磁扰动一体化传感器原理图

(2) 多通道检测仪器

为满足漏磁和磁扰动信号的采集需求，定制化研制了多通道采集电路及相应调理电路。多通道采集卡的 AD7606 将从传感器采集到的模拟信号转换为数字信号，STM32 通过 FMC 接口读取四片 AD7606 转换完的数据，再通过高速 USB 接口将转换完的数据传输给上位机。通过漏磁和磁扰动传感器来感知焊缝中的缺陷，传感器模块中集成了 16 个漏磁传感器和 16 个磁扰动传感器。TMR 传感器输出的是差分信号，由于采集系统只能输入单端信号，需要通过减法器来将差分信号转为单端信号；减法器与信号放大均采用 AD8065 来实现。

(3) 风机塔筒攀爬机器人

攀爬机器人[2]使用双驱动轮，双从动轮的运动方案，平台围绕驱动轮中心能够实现原地旋转运动。同时，机器人通过差速运动，可以实现圆柱表面的左右转向运动。为了确保机器人运动时一直沿着焊缝方向，机器人底盘增加焊缝跟踪模块，目的是使机器人能够实时跟踪焊缝进行位姿调整。激光轮廓仪对测量型面的识别最小分辨能力为 5~20 μm ，测量精度可以满足现场测量使用。机器人上安装差分定位模块，利用 GPS 进行粗定位，再通过与基站之间的电台辅助定位，实现目标点的厘米级定位。使用全球定位基站服务，实现 RTK 差分定位，机器人的定位精度能够到达经纬度定位精度 $\pm 1\text{cm}$ ，高程定位 $\pm 1.5\text{cm}$ 。为实现扫查区域焊缝的实时观测，机器人底盘安装有数字图传系统，可实现扫查区域图像实时、清晰的回传与存储。攀爬机器人结构示意图如图 2 所示。

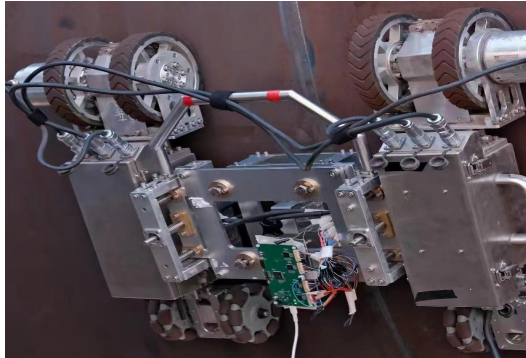


图2 风机塔筒攀爬机器人

3 结论

本文研发了一种基于漏磁与磁扰动复合机制的一体化传感器，在实现对不同种类缺陷检测的同时两种检测方法相互校验防止漏检、误检。在此基础上，研发了多通道检测仪器和风机塔筒焊缝缺陷检测机器。多通道检测仪器可满足 32 通道同步数据采集与存储。机器人采用模块化结构，通过差速运动，可以实现圆柱表面的左右转向运动。机器人采用视觉探头和激光轮廓仪模块，使机器人能够实时跟踪焊缝进行位姿调整。通过 GPS 和 RTK 定位系统实现厘米级别定位。本文所述的风机塔筒焊缝检测机器人对降低风机塔筒的运维风险避免倒塔事故发生，维护风机安全稳定运行有着重大的意义。

参考文献

- [1] Pham H Q, Tran B V, Doan D T, et al. Highly sensitive planar Hall magnetoresistive sensor for magnetic flux leakage pipeline inspection[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2018, 54(6): 1-5.
- [2] 王杰,麦志恒,费跃农.焊缝检测机器人的研究现状及其发展趋势[J].传感器与微系统,2020,39(02):1-3+10.