

光纤传感技术在风电叶片载荷监测中的应用

Application of Optical Fiber Sensing Technology in Wind Power Blade Load Monitoring

陈涛 吴南冰 梁嘉裕

Tao Chen Nanbing Wu Jiayu Liang

深圳伊讯科技有限公司 中国·广东 深圳 518000

Shenzhen Yixun Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

摘要: 风力涡轮机叶片是风力涡轮机的主要部件,主要用于将风能转化为机械能,尤其是在高山地区、沿海地区等特殊地理区域。现有的检查和监测方法不容易,成本高。如果在一段时间内未看到叶片的反常运动情况,往往会带来很大的损失,所以需要一个合理的观察手段。采用了光纤传感器技术的风机工作状态检测装置可以达到对智能风机叶片安全工作的要求,可以实时判断叶片的负荷情况。另外,因结冰、动平衡差等不良气候,叶片的主要区域产生了裂缝,可防止在几个星期内产生的严重性损失。

Abstract: Wind turbine blades are the main component of wind turbine, mainly used to convert wind energy into mechanical energy, especially in alpine areas, coastal areas and other special geographical areas. Existing inspection and monitoring methods are not easy and costly. If the abnormal movement of the leaf is not seen in a period of time, it often brings a great loss, so a reasonable observation method is needed. The fan working condition detection device using the optical fiber sensor technology can meet the requirements of the safe work of the intelligent fan blade, and can judge the load situation of the blade in real time. In addition, due to ice, poor dynamic balance difference and other bad climate, the main area of the blade has produced cracks, which can prevent the serious loss caused in a few weeks.

关键词: 光纤传感技术; 风电叶片; 载荷监测

Keywords: optical fiber sensing technology; wind power blade; load monitoring

DOI: 10.12346/peti.v4i4.6970

1 引言

大多数叶片的使用寿命为20年,当在运行期间交替施加荷载时,小缺陷会扩展并发展为疲劳损伤,在恶劣天气条件下更为明显,在风机的实际使用过程中经常发生事故。此外,这可能会给叶片制造商、大型发动机制造商和风电场所有者带来巨大损失,因此有效防范操作风险已成为市场的迫切需要。

世界各地的风机都依靠定期检测来保证运行安全性,检验周期较长,检查时间不准确,无法实时预报和防止发动机故障。据不完全数据,这一损失约为风机正常运行和维修总成本的37.4%。由于常规的功率计算与控制手段,在严格的实际应用条件中仍存在着较大的技术局限,极易受电磁辐射

影响,连接设备多,附加重量高,工作寿命较短,无法适应现场应用的要求。因此需要发明具有抗接地装置、对环境适应性好、热绝缘性能好、应用期限长、集成程序度高的优势,这也是目前用来检测负载和叶片损伤的最有力的传感器之一。

2 对风力发电叶片进行运行状态监测的意义

2.1 光纤光栅传感原理及优势

光纤布拉格光栅(FBG)是一种在光纤波导介质中周期性分布物理结构以改变光传输行为的光学器件。光纤布拉格光栅(FBG)是最常用的波长调制FBG传感器之一,测量(失真、温度等)的变化,从而引起在光纤网格中波长的变化。

【作者简介】陈涛(1978-),男,中国广东深圳人,本科,助理工程师,从事光纤传感、光纤/无线通信—传感物联网技术研究。

光纤网络中,波长的变化与所检测数据之间存在着很明确的数学关系,利用精确测量路径波长变化,就可以预测传感器的外形、温度和位移等。该测量方法具有简洁朴实、计算简单、精确度好的特点。光纤光栅 WDM 传感器网络检测系统(见图 1)由宽带光源、信号传输线(光纤或电缆)、光纤光栅传感器网、光纤耦合器,以及波长解调检测装置等构成。宽带光源利用光耦合器,将有特定带宽的光加入光纤网络。通过改善光纤网络的长度选择性,改变的光被反射后再经由光纤耦合器传送到解调器,从而检测光纤耦合器反射长度的改变。当被测部分受振动或环境温度变动的作用,光纤网络的折射率或长度会改变,反射波段也会改变。所以,可以通过检测波长变化来估计测试样品的温度和电压变化,与传统的电阻应变测量方法相比,光纤光栅传感器技术具有无可比拟的优势^[1]。

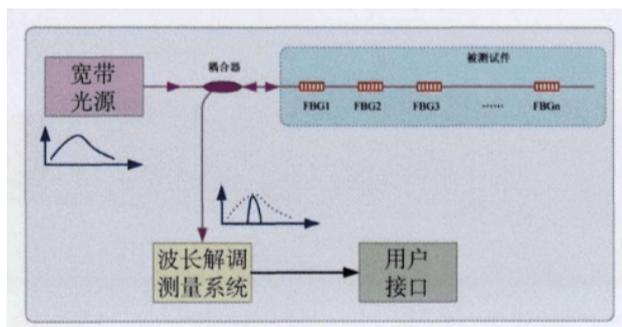


图 1 光纤传感器网络测量系统

在风电场的现场使用流程中,设备上和地面之间的信息交流往往使用手机或者对讲机完成,这也对传统的空气应变仪测试信号有明显影响。使用 FBG 传感器,能够减少检测数据的无效波动,检测结果更专业、更精准。

2.2 测点多,质量轻,安装易

基于波分复用的特点,光纤传感器能够从光缆中产生约二十个检测点,大大地减少了传输线,从而进行对风机叶片的热散射检测。如果结合了一组光扫描开关,四通道设备就能够处理几百至数千个的失真或温度检测问题。为适应测量条件,需要数千个应变计和多条光缆。而针对于光纤传感器的各种安装方式和被测结构的特性,也采用或安装了多种光缆,能够在极短期(约一天)内检测数百个点的变化和载荷。附加重量也较小,这显著降低了对作业机具结构和性能的影响,并节省了时间。

2.3 耐腐蚀,寿命长

片层是由玻璃钢的树脂基体制成,而纤维网材质则大部分是玻璃钢。因其与刀片的配套良好,长度约 0.155 mm,可方便插入刀片,或组成智能刀片。科学研究已经证实,在

复合材料中的光纤布拉格网格能够检测复合材料的载荷,并记录冲击情况,以反映系统损伤,从而为面板的安全检测提供了数据支撑。而玻璃纤维复合材料中主要为玻璃,也拥有极好的抗腐蚀性能。在其他国家,碳纤维复合材料中的应变检测主要使用光纤维网传感器^[2]。

3 对风力发电叶片进行运行状态监测的意义

3.1 获取实际承受载荷情况

在机翼设计阶段,可利用气动模拟分析飞机叶片的受力状态,机翼设计压力能否达到实际施工需要的理论值,可以利用机翼测试结果和飞机载荷特性进行反映。在实际工作中,因为外部环境的不确定性,叶片负荷数值往往背离了模型设计的理论值,因此理论载荷的正确性直接关系叶片安全特性的判断。通过获取风机叶片的载荷信息,对理论模型做出判断与修正,以提升风机叶片设计的质量与可靠性,并将风机叶片工作负荷数据作为风机控制策略的重要输入,以进行风机控制系统水平优化。

3.2 及时发现叶片运行状态的异常

风能平衡功率监测实时显示干扰,信号屏蔽测量线布置复杂,与各测量通道连接的测量单元使用寿命短,用于监测风速场载荷的电阻应变计使用寿命一般不到 6 个月。和常规的变形测量方法比较,光纤传感器产品的迅速开发有着如下好处。抗电磁干扰能力较高。可以基于光缆网格对波长的数据进行传输,从而避免受光频率变化以及因光缆变形所造成的系统损失的干扰。由于使用安全,传感器不致遭受闪电破坏。若将基于电磁测量的其他感应器设置在叶子内侧或外侧,则闪电撞击叶子的可能性增大,并由此造成感应器的叶子遭受闪电破坏。FBG 感应器头安装在没有电磁感应的金属片上,增加了控制设备和刀片之间的稳定性,它又小又轻便。而且感应器头构造简洁,体积小。裸网的长度也只有 0.125 mm,电镀纤维网的直径是 0.25 mm。在一根光纤中可以产生多个网格,可以实现对大型叶片结构分布的测量。测量点多,测量范围大,每个通道可以连接到几十个传感器。使用光纤传感器可显著降低传输线的重量,并可安装在较轻的测试板上。使用寿命长、可靠性高、耐玻璃纤维腐蚀、机械性能好的玻璃纤维是叶片的主要材料,非常接近,非常适合监测玻璃纤维增强塑料复合材料。目前,所使用的光纤布拉格光栅(FBG)在应变测试数据的线性、重复性、稳定性和可靠性方面表现出良好的性能,并显示出良好的应变检测性能。用于远程传输的光纤信号的衰减率非常低。与应变计相比,电缆长度不需要补偿,灵敏度和精度不受电缆电阻的影响,如图 2 所示的机舱—塔座网络图。



图2 机舱—塔座网络

后通过来自控制与反馈模块的信息将数据直接发送给风电场系统。即滑环与其他传送节点在初始安装阶段拥有充足的传送带宽。

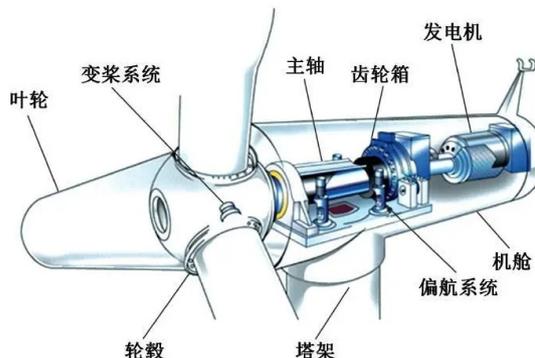


图3 风机内部图

4 对风力发电叶片进行运行状态监测的意义

4.1 传感器粘贴

光纤布拉格光栅张力传感器可以蚀刻在光纤上，从该光纤可以蚀刻，传感器的数量可根据叶片的长度和实际测试要求确定。安装传感器有三种方法。玻璃纤维被光缆屏蔽，光纤布拉格光栅传感器用环氧树脂胶粘在风车叶片表面。该方法主要应用于模具固定后的板材，是一种真实的实验室板材测试方案。埋置表面的玻璃纤维直径等于材料板的玻璃纤维的直径。通过在复合材料表面嵌入玻璃纤维，风力涡轮机叶片成为智能结构。然而，该过程需要较长的叶片制造周期。铺设和浇筑叶片层时，必须特别注意保护外露的玻璃纤维接头。为了尽量减少玻璃纤维对复合材料结构性能的影响，可以采用表面镶嵌法。使用一层或两层玻璃布将传感器黏合到板材的内腔中，然后黏合到板材内表面^[3]。

4.2 系统硬件布置

光纤监测系统在机组中的布置如图3所示，如传感器根件、传感器外壳和远光灯，解调器连接到集线器的正确位置，并从集线器旋转。解调器必须安装牢固，以避免与机械旋转部件碰撞和摩擦。解调器的电源可以提供大电流、强磁噪声和强辐射等恶劣环境。它还可以解决许多现有传感器无法解决的问题，光纤传感器技术被广泛应用。尽管中国一些科研机构在这方面做了研究，但在提高监测系统分析模型的准确性和成本效益方面仍有很大的空间。光纤传感器检测技术可以达到智能风力发动机叶片的安全工作条件。该技术的继续发展有着重大的现实意义和重要的朝阳行业。它是利用装配在桨毂上的特殊滑环进行的。最近，有两个类型，从解调仪到信息储存和数据传输系统。无线发射和接收的系统分别设置在解调仪、数字存储设备以及点对点通信网络中的数据传输装置上。而到达数字存储器的数据传输装置的信息则能够使用固定的 IOT 网络或者 SIM 卡经由移动网络的传送至手机上的应用中。该技术接受了设置在风电场上的移动基站的信息能力的影响。另一个技术则是利用滑环传送的数据，然

4.3 控制和分析软件

在支持软件中，管理员可以通过系统设置传感器、系统可以标定参数和各种报警阈值系数，可以了解风机的工作情况，自定义该系统的特性，可以查询历史数据并进行控制，并管理系统。该控制系统可以进行多风机和不同风力场的实时信息计算与管理。针对上述两种风扇，三个刀片上的不同传感器的波长信号都能够进行即时检测和储存，并利用相应的计算公式转化为叶片上畸变的负载信息并加以提示。而一旦检测数据出现异常，计算机就能够利用闪烁的信号和警示框提示操作者继续检测诊断相关的风扇叶片。

通过历史数据，维修技术人员和其他维护技术人员能够进行事故分析、寿命预估以及风扇控制。可以以报表打印的方式输出历史数据，也可进行备份和输出保存到服务器上的历史数据。

5 结语

目前，风机的主要发展方向是向更高性能、低成本的兆瓦级机组方向发展。由于风机更大的扫掠面积和孔径，为提高电能传输提供了潜在的设计挑战。另外，由于在叶片的扫掠区域，受到地形等各种因素的影响，风力不平衡，对叶片产生了过大的风荷载，易造成扇车叶片过度疲劳和抖动，进而降低了发电效果。与电阻应变片比较，其有着优异的电绝缘能力、抗接地装置、高灵敏度、远程检测能力、高集成度等优势，并且尤其适合于高压传感器。

参考文献

- [1] 谢怀勤,卢少微,王武娟.固化于CFRP的光纤布拉格光栅应变传感特性研究[J].哈尔滨工业大学学报,2020(10):1813-1815.
- [2] 李继超.基于光纤光栅风电桨叶健康监测系统的研究[J].科技创新导报,2019(8):27-28.
- [3] 王文娟,宋昊,盛楠,等.基于光纤光栅传感的风电叶片监测技术浅析[J].风能,2020(6):78-81.