

风电场风机叶片无人机巡检技术应用研究

吴建华¹ 刘启栋¹ 马金忠¹ 王智²
(1 青海黄河风力发电有限责任公司 青海 海南州 813099; 2 广州科腾信息技术有限公司 广东 广州 510627)

摘要: 本文重点研究如何利用无人机巡检手段以及携带可见光高清摄像机, 还有激光测距仪等多个检测传感器, 对叶片进行高空巡检, 从而能够以最快速度实施缺陷检测以及对缺陷信息进行确认, 实现叶片表面损伤初筛的目标。在进行风电叶片巡检的过程中充分应用无人机技术可以有效弥补传统巡检模式存在的突出不足, 大大提升巡检效率。

关键词: 无人机巡检; 无人机技术; 风电巡检; 风机叶片

0 引言

风能是清洁的可再生能源, 风力发电一直以来受到世界各国的广泛重视。风机叶片是有效保障风机正常运行最为关键之所在, 其可靠性以及安全性至关重要。充分应用无人机技术对风机叶片做出有效巡检, 可以更加快速地对故障进行检查, 也能够提升故障信息的确认速度, 从而实现对叶片表层出现的损伤情况进行初筛。

1 研究背景及现实意义

随着风电生产管理逐渐朝着精细化方向发展, 对风机核心部件的运维水平也提出了越来越高的要求。风机叶片因为制造缺陷以及运输、吊装、运行阶段造成的损伤难以在第一时间发现, 存在非常大的安全隐患。通常情况下, 对于风机叶片的质量安检只是在出质保的时候委托第三方厂家实施蜘蛛人检测。一般情况下, 风机叶片的巡检手段采取的是应用望远镜、吊篮以及蜘蛛人, 还有回形平台等等。这种巡检方式存在极大的缺点, 比如: 巡检效率普遍偏低, 而且工作强度很大; 巡检成本非常高, 且缺乏安全性; 巡检时间过长, 以及停机导致发电量存在极大的损耗。

通过无人机巡检能够携带不同的监测传感器。例如, 可以携带可见光高清摄像机、激光测距仪以及红外传感器等, 可以更加快速地实施故障检查以及信息确认。和传统的蜘蛛人以及叶片巡检平台检查进行对比, 采用无人机巡检最大的特点是启动速度非常快, 巡检效率很高, 尤其是成本较低, 以及机动灵活性特征明显。无人机应用于风电巡检, 对于提升风电行业巡检的整体效率以及运维水平都有着十分重要的现实意义。

2 研究内容及主要技术要求

2.1 叶片的损伤类型

风机叶片通常是由玻璃纤维复合材料共同制成, 由于其制造工艺十分复杂, 因此在成型阶段很容易产生缺陷。风力发电机组通常安装在偏远的山区, 叶片运行时往往会因为工作环境过于恶劣再加上工况十分复杂多变等, 出现各种不同情况的损伤。具体来说, 现场叶片出现的损伤类型主要有下面几种: 第一种是叶片前缘出现开裂以及腐蚀; 第二, 叶片后缘出现开裂以及破损; 第三, 叶片表面出现了横向或者是纵向的裂纹; 第四, 叶片外部的玻纤层出现了分层现象; 第五, 叶片表面涂料发生了裂纹、腐蚀或者是起皮以及剥落,

还有沙眼等情况; 第六, 叶片排水孔出现堵塞; 第七, 叶片表面因为雷击发生了损伤等。

2.2 巡检内容及主要技术指标

2.2.1 巡检对象

主要巡检对象包含了每支叶片的压力面(也就是工作面)以及吸力面(也就是非工作面), 还有前缘和后缘这几个主要部位。每台风机一共囊括了三支叶片, 巡检的时候要在这三支叶片进行巡检。

2.2.2 巡检内容

主要巡检内容包括: 叶片前缘以及后缘部位是否存在开裂或者破损情况; 叶片表面是否出现了裂纹、腐蚀以及剥落, 还有因为雷击导致的损伤; 排水孔是否出现了堵塞等等。

2.2.3 巡检过程

具体巡检过程包含以下几个步骤:

第一, 控制待检风机始终处在停机维护状态, 保持叶片呈现出倒 Y 形, 我们把竖直向上的叶片确定为 1 号叶片。第二, 应用无人机对 1 号叶片开展巡检任务。巡检的具体要求是, 无人机在距离叶片表面 5 ~ 15m 的距离实施高清视频拍摄, 分别对 1 号叶片的后缘以及吸力面, 还有压力面以及前缘等部位进行拍摄; 在拍摄过程中如果发现了缺陷或者是存在疑似缺陷的部位, 可以采用辅助激光测距仪实施缺陷定位, 完成以上所有工作内容即表示 1 号叶片的整体拍摄工作完成了。第三, 依次调整 2 号以及 3 号叶片到竖直向上位置, 重复以上操作, 实现对单台风机的叶片巡检工作。第四, 要对所有的巡检结果实施整理, 比如对无人机巡检数据实施归类存档, 做好相应的影响分析, 进一步确认叶片缺陷的具体种类以及位置, 还有尺寸以及分类等级等不同的信息, 同时针对不同性质的缺陷进行分析, 并且给出针对性的修复建议, 最终出具相应的检测报告。

2.2.4 主要技术指标

主要的巡检技术指标内容及其对应的要求如表 1 所示。

2.2.5 巡检标准

针对叶片缺陷不同等级的判定标准内容如表 2 所示。

2.3 巡检效果

充分应用无人机飞行平台实现对风机叶片巡检, 同时对拍摄视频进行解析成数据帧再做处理, 能够有效判定叶片存在哪种具体的缺陷, 同时也能够对存在缺陷的叶片位

表 1 巡检技术指标内容及对应的要求

技术指标	指标内容及具体要求
巡检设备	大疆 M600Pro 无人机飞行平台
相机型号	30 倍光学变焦相机，搭载激光测距仪
续航时间	单组电池 30min
巡检时间	单台机组叶片巡检时间是 50min，每天巡检 3 ~ 4 台
抗风等级	12m/s
天气要求	拥有较高能见度，无雷电及大风天气
飞行距离	距离叶片表面约 5 ~ 15m 的位置，飞行高度保持 30 ~ 120m
缺陷识别	可以检测出毫米级别的缺陷
巡检队伍	2 人以上，其中，飞行员和云台手分别 1 人

表 2 叶片缺陷等级判定参考标准（部分内容）

缺陷等级	判定标准	可能导致的后果	是否停机	维修紧急程度
1	表面不良，未见损伤	美观度受影响，可能发生叶片效率降低的情况，不会发生严重后果	否	不用立即维修，通常只记录，根据具体实际做分别处理
2	表面有小范围涂料损伤，且玻璃纤维层裸露在外	叶片表面没有了保护力，玻纤层存在进水或者是损坏的情况，且损坏程度不断加重	否	不用立即维修，但是需要制定相应的维修计划
3	一般性损伤开裂	损伤持续加重，叶片维修级别不断加重	否	短期之内做好维修计划
4	严重损伤开裂	损伤愈发严重，以至于叶片无法继续维修	立即停机	停机就地维修
5	重大结构性损伤	叶片发生断裂现象，危及风机、人员以及其他设施的安全	立即停机	停机就地检查维修，有必要的情况下可以更换叶片

置以及尺寸，还有分类等级等诸多信息进行记录。叶片发生缺陷的主要位置具体可以精确到厘米级，缺陷叶片的尺寸可以精确到叶片缺陷的长度以及宽度，单位也是毫米级。2021 年 2 ~ 5 月期间，应用无人机巡检技术分别对 32 台已经运行了将近 10 年的风电机组叶片实施检测，共捕捉到了 66 处缺陷，其中缺陷较为严重的位置有 20 处，涉及 12 台机组，其中有 1 台机组需要立即停机实施叶片维护工作，通过无人机巡检技术对叶片进行巡检，效果十分显著。此外，无人机搭载可见光以及红外双光摄像机可以对杆塔实施细节以及发热点检测，同时也能够搭载激光雷达实现对送出线路通道开展交叉跨越以及净空距离危险点等作出有效检测。

3 应用研究及展望

无人机巡检可以快速地实施故障检查以及故障信息确认，同时也能够对风机叶片巡检表面损伤进行初步筛选。然而，不管是传统的叶片巡检模式，或者是无人机叶片巡检模

式，当下对于风机叶片可能存在的缺陷巡检都还基于人工巡检基础之上才能完成，未来关于巡检技术的发展和研究依然拥有巨大的空间。

随着人工智能的快速发展，尤其是随着机器视觉以及模式识别技术的持续深入研究，建立在机器视觉研究的基础之上将其应用到工业检测当中，在很多领域已然实现了自动识别以及非人工检测的划分，有效提升了检测效率，从而避免了因为人工操作失误导致的监测失效。把机器视觉以及模式识别技术广泛应用到风电领域，可以更加精准地对缺陷进行检测和识别，同时也能够更加自动地给出相应的诊断分析报告，提升巡检效率。将无人机自动巡航技术以及模式识别技术，还有机器视觉技术等和风电巡检进行结合，有效实现巡检和缺陷识别全面自动化，这必定是未来巡检技术发展和研究的重要趋势。

4 结语

将无人机技术充分应用到风机叶片巡检当中，可以有效弥补应用高倍望远镜观测无法实现的精细化程度，有助于提升叶片目视检测的整体效率，充分实现风机叶片的低成本、低强度以及快速化、少停机式巡检。此外，无人机叶片巡检手段能够更加快速地发现叶片表面存在的缺陷，也可以对有问题的叶片实施有效处理，从而把事故消灭在萌芽状态，切实保障设备以及系统运行的可靠性以及安全性。

基金项目：基于无人机的风力发电叶片及塔筒自动化巡检与 AI 智能识别技术应用研究，项目编号：2020-004-HHS-KJ-X。

参考文献：

[1] 张静,张洁,燕正亮,张增,王利伟,闫皓炜.面向无人机风机巡检的光照条件分析方法[J].计算机系统应用,2021,30(06):162-167.

[2] 赵春溢,郭洪涛,郭涛,梁国,荆海城.一种风机叶片图像采集及缺陷检测系统[J].红外技术,2020,42(12):1203-1210.

[3] 毛希玮,徐莹莹.基于无人机的风机叶片缺陷自动检测技术[J].复合材料科学与工程,2020,(09):85-89.

[4] 潘佳捷.风机叶片的无人机自主巡检系统[D].电子科技大学,2020.

[5] 杨龙.风力发电机组无人机巡视检查技术研究[J].产业科技创新,2020,2(04):72-73.

[6] 张越.风力发电机叶片表面损伤图像识别方法研究[D].昆明理工大学,2019.