[运检作业]

# 小型无人机在电力线路巡检中的应用分析

文/国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司　涂　洁　冯智慧　梁文勇　王乐希　万家伟

*随着无人机技术的飞速发展，无人机在远程遥控、续航时间和飞行品质上有了明显的突破，从而为其在电力作业中的应用提供了良好的发展前景。分析了现有输电线路巡检模式存在的问题，介绍了小型无人机在电力线路巡检作业中的作业方式和应用特点，同时在效率和成本上对人工巡检和小型无人机巡检模式进行了分析对比。最后提出了后期无人机巡检需进行的关键技术研究，为小型无人机在电力巡检的进一步广泛应用提供指导。*

随着电网规模不断扩大，架空输电线路的覆盖区域越来越广。到2020年，我国输电线路总里程将从2014年的115万km增加至159万km以上，其中六成左右的输电线路在山区。电力线路、杆塔长期在野外暴露，加上机械张力、材料老化、雷击和污秽等外界因素影响，容易发生导线断股腐蚀、绝缘子破损炸裂、杆塔倾斜和线路走廊安全距离不足等设备缺陷或通道安全隐患，如不及时发现并处理，可能会导致严重事故，严重威胁电力系统的安全和稳定。人工巡检是现阶段运用最广泛的一种巡检方法。采用传统人工巡检需要耗费大量的时间、人力和财力，有些线路走廊甚至穿越地理环境复杂的无人区、交通死区和通信盲区，给线路的日常巡视和运维带来了诸多困难且巡检人员的人身安全无法保证。一名巡检员一天一般只能巡检8~10基杆塔，而无人机只用1 h的时间便可完成人工一天的巡检量，巡线效率提升十分显著。无人机巡线弥补了人工巡线的不足，同时利用自身独特的空中检测角度优势，从不同角度拍摄图像，使巡检数据资料更加完整。

## 现有输电线路巡检模式存在的问题

目前输电线路仍以人工巡检为主，国家电网以及南方电网部分地区输电线路开展了直升机巡检工作。直升机巡线虽在华北地区成熟应用，效果显著，但也由于使用技术门槛高、费用高和航管限制等原因，只能开展一年一次或一年两次的低频次作业，这种以人工巡检为主的巡检模式主要存在以下几方面问题。

（1）运维人员满足不了输电线路高速增长的需求

近10年，全国220 kV及以上输电线路年均增长率达到8%左右，总长度达到了近70万km，且未来还将以年增长率 6%以上的速度高速增长。然而，过去10年输电线路运维人员的年均增长率不足3%，远低于线路增长速度，而且未来由于人工成本日益趋高，不可能大量增加线路运维人员，已难以适应线路高速增长的需要。

（2）人工巡检效率低、难度大且安全风险高

输电线路大部分处在人烟稀少的山区和丘陵地带，线路塔位车辆难以到达，而人工步行距离远，路途艰险，部分山区线路人均每日只能巡检几基杆塔，巡检时虽然投入大批人员，使用大量装备，但效率却很低。而且在交通安全、人身安全等方面存在极大风险。

（3）人工巡检手段单一、缺陷发现率低

人工巡检时难以携带沉重的精确诊断设备进行精确测量，只能借助望远镜、照相机等便携设

备，利用肉眼寻找缺陷。尤其是对于杆塔瓶口以上的位置，由于其观测距离远、观测角度大，更是难以发现缺陷。而且巡检质量很大程度受主观判断影响，导致巡检结果差异性大，无法有效保障巡检质量，客观上增加了线路出现故障的概率和风险。

（4）巡检数据管理分散、应用水平低

在现有巡检模式下，巡检数据由输电线路运维部门自行管理，数据较为分散，缺乏有效的整合与共享机制，造成巡检数据无法实现多维度分析利用，不能为输电线路运维部门提供更为准确的决策依据。且目前巡检数据的判断主要以人工为主，无法对巡检数据进行智能判断分析，数据处理周期长，工作量大，效率低下。

## 小型多旋翼无人机巡检方案

小型多旋翼无人机巡检是通过搭载高清相机，在操作人员的操作下在指定位置悬停拍摄杆塔相应位置照片来完成巡检任务的方式。以某条220 kV交流单回直线塔为例，巡检拍照流程如图1所示。

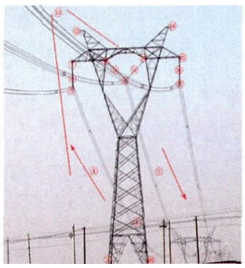

图1　交流单回直线塔巡检流程图

表1　交流单回直线塔巡检拍照明细表

| 编号 | 项目名称 | 照片数量/张 |
|---|---|---|
| 1 | 塔号牌 | 1 |
| 2 | 左侧大/小号塔基 | 2 |
| 3 | 大号通道 | 1 |
| 4 | 小号通道 | 1 |
| 5 | 左相绝缘子导线挂点 | 1 |
| 6 | 左相绝缘子串 | 1 |
| 7 | 左相绝缘子杆塔挂点 | 1 |
| 8 | 中相绝缘子导线挂点 | 1 |
| 9 | 中相左/右侧绝缘子串 | 2 |
| 10 | 中相左/右侧绝缘子杆塔挂点 | 1 |
| 11 | 中相左侧绝缘子杆塔挂点 | 1 |
| 12 | 左侧地线挂点 | 1 |
| 13 | 左/右塔身 | 2 |
| 13 | 整塔/塔头 | 2 |
| 14 | 右侧地线挂点 | 1 |
| 15 | 右相绝缘子杆塔挂点 | 1 |
| 16 | 右相绝缘子串 | 1 |
| 17 | 右相绝缘子导线挂点 | 1 |
| 18 | 右侧大/小号塔基 | 2 |

从表1可知，多旋翼巡视交流单回直线塔总计拍摄23张图片，巡视完毕由图像导入子模块将机载检测设备中的图像导入到地面站系统中，通过图像拍摄时间与地面站各部位拍照命名记录数据进行比照，从而将图像与杆塔各部位一一进行匹对，从而将图像按照杆塔对应部位进行命名，再由图像分析子模块对各部位图像进行针对性的智能分析，发现缺陷并生成缺陷报告。

## 小型固定翼无人机巡检方案

固定翼无人机一般用于输电线路通道巡视和灾后电网评估等。通过给定线路KML及坐标点信息，划分固定翼飞行航段及起落点，完成对整条线路的通道巡视任务。固定性巡视飞行轨迹图实例如图2所示。

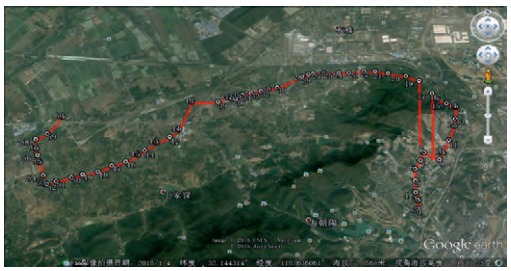

图2　固定性巡视飞行航迹图

固定翼通道巡视每100 m拍摄1张高清通道图，每个航段巡视完毕由图像导入子模块将机载检测设备中的图像导入到地面站系统中，通过图像中的GPS 信息与数据库杆塔数据进行比照，从而将图像与杆塔一一进行匹对，并在图像标记相应杆塔号，再由图像分析子模块对图像进行智能分析，发现缺陷并生成缺陷报告。将拍摄图片根据杆塔模型自动进行拼接，最终生成整个线路走廊的高清晰图像。巡视线路走廊高清拼图如图3所示。

图3　巡视线路走廊高清拼图

## 不同巡检方式对比分析及相互配合

以某条总长500 km，1 200级杆塔的500 kV线路为例，该线路山区、平原地形各一半。如果采用人工巡检，每人每天巡维平原线路8~10基杆

塔，山区线路3～4基杆塔，按照每3天作为一个巡维周期，则完成500 km 巡检任务，每年需配备15人的巡维队伍，按每人年人工成本8万元计算，人工巡检总费用明细如表2所示。

表2　人工巡检费用明细表

| 序号 | 费用名称 | 费用金额/万元 | 小计/万元 |
|---|---|---|---|
| 1 | 人员工资 | 8×15 | 120 |
| 2 | 车辆费用 | 20 | 20 |
| 3 | 差旅费 | 0.6×15 | 9 |
| 4 | 总计 | | 149 |

采用无人机巡检，用多旋翼无人机对每基杆塔进行精细化拍摄巡检，固定翼对线路通道走廊进行全方位扫描，相互配合完成整条线路的立体化、全方面巡检任务；按照完成 500 km 线路常规巡视任务测算，需配备一组多旋翼无人机和一组固定翼无人机，500 km 线路每年相比人工巡检可节约成本投入39 万元，费用具体明细如表3所示。

根据前述分析以及现场经验总结人工巡检与无人机巡检优劣势如表4所示，无人机巡检在成本、效率以及安全性上都大大优于人工巡检。但目前无人机巡检存在部分地区空域管制严格、图像后台智能缺陷识别系统不完善以及无人机相关法律保障体系未建立等弊端，因此，对于受空域管制限制的线路区域需人工配合巡检，同时在后台缺陷识别方面需经验丰富的线路运维人员的指导，充分发挥两者的特点与优势，达到优势互补、互相配合及提高效率的目的。

表3　无人机巡检费用明细表

| 序号 | 费用名称 | 费用金额/万元 | 备注 |
|---|---|---|---|
| 1 | 无人机折旧费 | 30 | 无人机折旧按4年计算 |
| 2 | 车辆费用 | 20 | |
| 3 | 人员工资 | 50 | 按每个机组 3 人，飞控手 20 万元，载荷操作 15 万元，数据后端处理人员 15 万元 |
| 4 | 配件费 | 5 | |
| 5 | 其他费用 | 5 | |
| | 总计 | 110 | |

表4　人工巡检与无人机巡检优劣势对比

| 巡检模式 | 优势因素 | 劣势因素 |
|---|---|---|
| 人工巡检 | 拥有经验丰富的人员队伍<br>已形成人工运维体系 | 运维成本逐年攀高，增幅超过线路里程增幅<br>各种人员安全事故频发<br>巡检效率低下 |
| 无人机巡检 | 运维成本低，设备运输方便<br>运维效率较高，覆盖范围较广<br>无需人员登塔，安全性较高<br>数据能够及时传输 | 核心技术尚未攻克，实现全面运营尚需时日<br>尚未建立无人机保障体系<br>后台智能缺陷识别系统不完善<br>空域管制尚未解禁 |

## 小型无人机巡检系统关键技术研究

### 1．无人机自主避障系统的研究

无人机是通过GPS方式进行导航的，由于GPS存在误差，所以无人机在执行任务的过程中可能会出现偏离预定航向的情况，造成无人机与输电线路或其他障碍物的发生碰撞；在经过交跨线时，如果无人机的飞行高度不够，同样存在与线路发生碰撞的危险。因此，为了保障无人机巡线系统及输电线路的安全，提升巡线作业的可靠性，有必要开发一套无人机避障系统，实现无人机巡线系统的自主避障功能。

### 2．小型无人机长续航保障技术的研究

目前小型无人机多采用锂电池提供飞行动力，受载荷和电池能量密度限制，续航时间普遍不长。一般多旋翼续航时间在20～30 min，小型固定翼在40～60 min左右；因续航里程短，导致每次无人机巡检都需要携带十几块电池进行更换作业，而且在野外电池用完无法快速充电，巡检效率大大降低。因此，为了提高无人机巡检效率，对无人机续航保障技术的研究是非常必要的，例如氢燃料电池以及远距离激光充电技术在小型无人机上的应用研究等。

### 3．无人机巡检图像智能处理技术研究

随着无人机巡检塔数的增加，巡检图像后期处理与缺陷识别的工作量也大大增加。每基杆塔平均拍摄几十张不同部位的照片，需人工过滤、分类、编号和命名，并利用人眼逐一判读识别，编制缺陷分析报告，效率低下，给运维人员带来了沉重的工作负担，运维单位亟需新技术提升巡检图片处理分析的自动化程度，降低劳动强度，提升工作效率。

## 结束语

目前电网公司输电线路巡检仍然以人工巡检为主，直升机巡检为辅，式势必逐步取代人工巡检和有人机巡检模式。**EA**

（收稿日期：2016.06.10）
（编辑：刘群垚）