

# 输电线路直升机巡线技术现状及应用探讨

刘 洋, 周志成, 魏 旭, 伍雪峰, 文乐斌

(江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103)

**摘 要:** 介绍了国内输电线路直升机巡线开展情况, 梳理了国内外电力巡线技术现状, 归纳总结目前电力巡线成熟有效的可见光、红外及紫外光等带电检测技术, 对开展直升机巡线所具备的条件以及直升机电力作业应用范围进行分析探讨, 为电力系统开展直升机电力作业应用提供参考。

**关键词:** 直升机巡线; 输电线路; 无人机

## 0 引言

随着全国联网和超高压、特高压远距离输电技术的发展, 以及输电线路通道资源变得越来越紧张, 输电线路越来越远离城市和交通道路, 线路长、工作量大, 运行维护困难。超高压、特高压输电线路从设计到施工, 从日常运行维护到检修, 从故障检测到带电作业, 都需要采用先进技术才能提高整体质量, 保障主网的安全运行。

直升机巡线方式与传统人工巡线方式相比, 具有快捷、灵活、不受地形、交通等因素影响。传统的人工巡线方式需要耗费大量的时间、人力, 效率低, 在当今输电线路飞速发展的年代, 仅通过人工巡线难以满足运行维护的要求, 随着通用航空的普及以及低空飞行管制的开放, 直升机巡线作业得到迅速发展。

## 1 国内直升机巡线开展情况

### 1.1 华北电网直升机巡线情况

2009年12月底, 华北电网公司全资收购北京首都通用航空公司组建成立国网通用航空公司, 是国网系统内唯一一家具有通用航空经营资质的专业直升机电力作业公司。现有电力作业直升机3架, 专业航检员14人, 4个电力作业组, 包括3个巡线作业组和1个带电水冲洗、带电检修作业组。

直升机巡线主要依靠直升机底部吊舱系统, 吊舱内有可见光相机、红外成像仪、陀螺稳定仪等, 巡线时由一名航检员操作对线路进行检查和录像, 另一名航检员操作防抖望远镜、紫外成像仪对线路进行巡视观测。另外, 国网通航公司还开展了直升机带电水冲洗线路绝缘子作业、带电检修作业、线

路激光三维扫描作业、灾情普查和辅助放线作业等, 具备丰富的经验和完善的工作队伍。

### 1.2 浙江电网直升机巡线情况

浙江电网直升机巡线工作最早是由绍兴电业局牵头, 于2005年采用租赁方式租用中信海直公司的直升机开展电力巡检。经过3年的直升机巡线应用, 2008年浙江电网公司申报了国网公司《直升机(智能)巡检技术的研究》科技项目, 经过一年多的开发研究, 将红外成像仪、紫外成像仪和可见光相机进行集成, 应用目标自动跟踪等新技术, 研制了一套机载智能巡检系统, 实现直升机巡检的数字化、自动化和智能化。目前浙江电网已经成熟应用红外、紫外和可见光等诊断技术, 开展了直升机巡线, 取得了一定的成效。

## 2 电力巡线技术现状

### 2.1 无人机

无人机是一种由无线电遥控设备或自身程序控制装置操控的无人驾驶飞行器, 无人机最早出现主要用于军事方面, 利用无人机进行输电线路巡线是一项刚刚起步的新技术。2009年青海、重庆等地开展了无人机试飞。国内无人机型号已经从Z-1、Z-2、Z-3型发展到Z-5型, 在载重量和续航时间和稳定性方面有了一定的提高, Z-5型无人机机体除传动机构外主要采用高强度复合材料, 主旋翼及尾旋翼的桨叶均采用复合材料模压成形, 以提高抗疲劳能力并减轻重量, Z-5型无人机载荷为50-80kg, 续航时间4-6h。无人机巡线的优点是成本低、不受地域的影响, 在山区、湖泊等人工难以巡视的地方能体现出一定的优越性, 但无人机同时也有着载荷量低、巡视半径小、飞行危险性高等缺点, 无人机巡线必须

在操控人员视线范围内, 机体稳定性和飞行控制技术  
要求高, 搭载设备少, 目前无人机巡线技术尚未  
成熟。

## 2.2 载人直升机

国内外载人直升机在直升机电力巡检、带电水  
冲洗、辅助架线施工、带电检修等工作中得到广泛  
的应用, 国外直升机电力作业已经成为一项常规的  
作业项目, 近年来直升机电力作业在国内取得了较  
快的发展。国内载人直升机主要进口美国、欧洲的  
直升机, 大致型号有法国欧直公司的 EC120、  
AS350B3, 美国贝尔公司 BELL206-L4、BELL206B,  
美国麦道 MD500E 等。载重量在1000kg 以上, 作业  
半径300km 以内, 租赁直升机费用约0.54万元/km。  
载人直升机巡线的优点是效率高、不受地域影响、  
载重量大、巡视半径长等, 直升机电力作业相对成  
熟, 但缺点是受天气制约, 成本高。

## 2.3 飞艇

飞艇是利用轻于空气的气体来提供升力的航  
空器。飞艇获得的升力主要来自其内部充满的比空  
气轻的气体, 如氢气、氦气等。现代飞艇一般都使  
用安全性更好的氦气来提供升力, 另外飞艇上安装  
的发动机提供部分的升力, 发动机提供的动力主要  
用在飞艇水平移动以及艇载设备的供电, 现代飞艇  
一般都是软式飞艇, 要保持它们的外形, 只能是通  
过气囊中氦气压力来实现, 其主要组成部分有: 气  
囊、辅助气囊、吊舱、推进装置、尾翼、方向舵和  
升降舵, 飞艇用于电力巡线: 需要在艇上安装云台  
和摄像装置等任务设备。地面监控系统主要为视频  
监控地面站、地面航路规划软件、飞行控制软件等。  
尽管同无人机相比, 飞艇显得大而笨, 易受风力影  
响; 但飞艇也有其突出的优点, 如具有较大的承载  
能力, 可以任意悬停、升降, 续航时间较长, 飞行  
速度较快, 安全性好, 且不因此消耗燃料, 噪音小,  
污染小, 经济性好, 而且随着飞艇广泛使用了氦气  
填充, 安全性也大大改善。正是飞艇的这些优点,  
使它在电力巡检方面日益受到重视, 并得到了广泛  
应用。

## 2.4 巡线机器人

巡线机器人的研究始于20世纪80年代, 它主  
要沿着输电线路行走, 检测导线表面情况, 国内从  
90年代末开始研究, 随着技术的发展, 巡线机器  
人在稳定性和越障技术方面取得了长足的进步。巡  
线机器人样机种类较多, 但总体结构都包括机械、供

电、图像扫描和控制这几个部分, 载重量在30kg 左  
右, 通信距离约4km, 爬行速度1.5km/h, 爬行坡度  
30°~75°左右, 采用自取电和蓄电池两种电源系统。

巡线机器人的优点是近距离观测精度高、成本  
低, 缺点是巡检目标单一, 巡视半径小, 效率低。  
目前巡线机器人应用较少, 在翻越障碍、通讯和控  
制技术方面尚未成熟, 仍需进一步研究。

# 3 电力巡线带电检测技术

## 3.1 红外巡检技术

红外成像仪主要用于检测线路异常发热点。利  
用红外仪巡检发现了绝缘子发热、导线耐张引流板  
发热、地线金具发热、合成绝缘子芯棒发热等缺陷。  
如图1所示。

另外, 湖南省电力试验研究院与湖南大学关于  
绝缘子污秽等级红外热像检测的研究, 主要是根据  
不同污秽等级的绝缘子红外图像灰度分布直方图  
的不同特点, 针对轻度污秽绝缘子以及严重污秽绝  
缘子, 通过去噪处理和图像分割方法进行特征量提  
取, 从而达到污秽状态诊断的目的, 目前该技术仅  
停留在实验室研究阶段, 还未应用于现场。

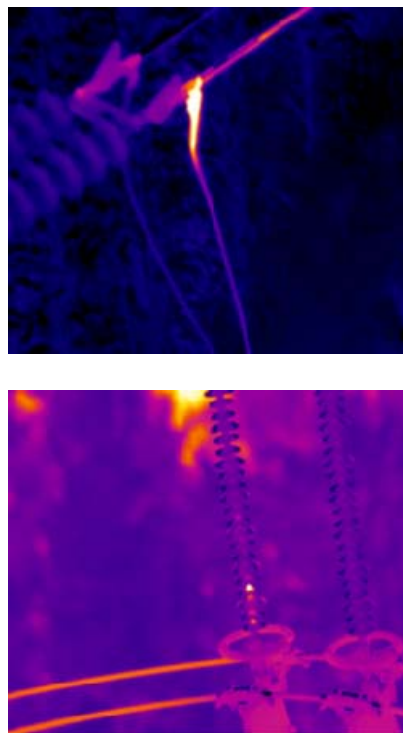


图1 红外检测典型缺陷图片

## 3.2 可见光巡检技术

防抖望远镜、照相机、机载可见光镜头主要用  
于跟踪拍摄线路走廊所有情况。利用可见光手段巡

线时,发现了导地线防振锤滑移、导地线防振锤不正、锈蚀、导线引流小间隔棒松动、破损、导线均压环不正、导线引流与均压环摩擦、导地线断股、引流线散股、线夹螺栓未露扣、导地线线夹不正、导地线线夹铝包带松动滑出线夹、金具缺销子、金具销子未开口、金具、线上有异物、放电间隙杆松动、铁塔塔材锈蚀等缺陷。如图2所示。



图2 可见光检测典型缺陷图片

### 3.3 紫外巡检技术

紫外成像仪主要对线路异常放电点进行检查。国网通航公司专业人员通过长期实践发现紫外仪巡检效果不佳,目前仅发现一起均压环不正导致的电晕放电,而该缺陷通过目测亦可发现。如图3所示。



图3 紫外检测典型缺陷图片

## 4 直升机巡线应用分析

### 4.1 直升机巡线应具备的条件

#### (1) 选择运作模式

开展直升机巡线可选择的运作模式有两种:一是成立专业的巡线公司,自行购买直升机和设备,培养飞行员;二是与专业的航空公司合作,涉及航空方面的直升机、航线、补给等由专业航空公司负责,电力公司仅在如何采用各种带电巡检技术检测输电线路缺陷和故障方面进行研究。

第一种模式一次性投资较大,筹备时间长,从最初组建到取得相关资质需要约10年时间,飞行员需取得相关执照,该模式的优点是运行费用低。然而由于国内空域和航线管制的影响,成立巡线公司申办手续繁琐,涉及飞行、地勤、加油、通讯、气象和维修等需要民航机场、空军协助,难度大。第二种模式较为理想,专业的航空公司不但具备相关资质,而且有专门的飞行员,电力公司只需负责巡线工作,目前国内专业航空公司有国网通航公司、中信通航公司和中瑞通航公司等。

#### (2) 建立直升机作业管理体系

开展直升机巡线,需要制定相关飞行作业规程,线路巡检技术实施细则,巡线飞行工作方案及应急预案,巡检员设备使用规定,制定巡检计划。直升机巡线对于巡线员的业务水平要求较高,需要组织专业队伍,开展有针对性的直升机巡线技术培训。

#### (3) 建设直升机补给站

开展直升机巡线,需要在省内建设1-2个直升机补给站,补给站内应具备停机坪、飞行指挥塔台、机库,维修站等配套设施,方便直升机起降、停放、加油、维修保养等,配备飞行员2-3名,机务维修人员3-5名,油车加油员2-4名,巡线员4-6名。

#### (4) 选择机载吊舱系统

吊舱系统可以选择租赁或自主研发,目前国内有香港科仪等机载吊舱租赁公司,租赁的吊舱系统主要集成了红外成像仪和可见光摄像机,系统较为成熟,已发展到第三代产品,若选择租赁方式,巡线人员只需培训相关设备的使用。若选择自主研发方式,则需要1-2年时间进行开发。

#### (5) 设立飞行标识牌

直升机巡线需要在巡线的线路杆塔上安装标识牌,以便于飞行员提前预知前方线路情况,通常在交叉跨越、有相邻线路或高大建筑物、转角等位置安装标识牌。开展直升机巡线,需要先制定巡线的线路,并在沿线的杆塔上安装标识牌。

### 4.2 可开展的工作

江苏跨江滨海,水网稠密,河流湖泊纵横交错,水域面积占69%,是水域面积最大的省区。江苏电网地处华东电网腹地,是一个以500kV超高压为骨干网架、供电能力强、输电走廊密集、具有大容量电厂远距离接入和超高压交直流混合特征的特大型电网。直升机电力作业范围广,针对江苏电网的特点,可开展以下工作:

#### (1) 直升机电力巡线

对江苏地区超、特高压线路、长江大跨越等重要输电通道、巡视困难地域开展直升机电力巡线工作,对绝缘子、复合绝缘子芯棒、引流板、地线金具异常发热,绝缘子自爆、金具松动、锈蚀、螺栓/锁紧销缺失、均压环安装不正、导地线断股、散股,悬挂异物、塔材锈蚀,基础破损等进行检查。减轻运行维护人员的工作强度,提高巡检效率。

#### (2) 直升机应急抢修

在出现自然灾害、大雪封路等恶劣条件时,应用直升机吊运大型抢险设备、应急物资,运送抢修人员进行救灾、抢险、抢建,在灾害发生后进行灾情普查,便于电网经济损失的评估以及故障定位后快速修复。在湖南冰灾、汶川大地震抢险中,由于

交通中断,直升机快速响应,在电力抢修中发挥了重要作用。

#### (3) 直升机电力施工

在大跨越工程、大型线路建设施工时,应用直升机进行铁塔、拉线塔的整体吊装、展放导引绳、放线滑车等电力施工,加快施工进度。

## 5 结论

(1)直升机用于电力作业的方式为运行维护工作提供了先进可靠的新途径,实现线路的按时巡查、及时维护,能有效发现地面巡视难查找的缺陷,成熟用于可见光、红外和紫外检测技术,能有效保障电网安全稳定运行,另外直升机还可用于电力施工、应急抢修等,为电力生产提供强力支撑。

(2)开展直升机作业需投入一定的人力、物力、财力,需要选择适宜的直升机运作模式,建立规范的直升机作业管理体系,建设适当的直升机补给站,完成机载吊舱、飞行标识牌以及维护人员的配置等工作。

#### 参考文献:

- [1] 尚大伟. 华北电网直升机电力作业的现状与发展[J]. 电力设备, 2007,8(4):33-35.
- [2] 张柯, 李海峰, 王伟. 浅议直升机作业在我国特高压电网中的应用[J]. 高电压技术, 2006,32(6):45-46,55.
- [3] 于德明, 沈建, 汪骏, 等. 直升机与人工巡视效果对比分析[J]. 中国电力, 2008,41(11):25-28.
- [4] 李国兴. 我国直升机电力作业的现状与发展[J]. 电力设备, 2006,7(3):41-45.

#### 作者简介:

刘 洋(1982-), 男, 江西景德镇人, 博士, 工程师, 中国电工技术学会电工测试委员会委员, 主要从事输电线路专业技术管理及科研工作, E-mail: 15105168820@163.com。