

无人机输电线路巡检 应用发展报告 (2016)

全国输配电技术协作网(EPTC)

输电线路无人机技术工作组

组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

无人机输电线路巡检 应用发展报告 (2016)

全国输配电技术协作网(EPTC)

输电线路无人机技术工作组

组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《无人机输电线路巡检应用发展报告(2016)》梳理并汇总无人机相关的最新信息,主要包括三篇:第一篇现状篇,介绍国内外无人机巡检技术发展现状与电力行业应用、国内外无人机输电线路巡检政策现状、无人机巡检系统现状、管理及应用现状;第二篇成果篇,介绍无人机输电线路巡检应用、检测、培训等方面成果,以及专利技术路线布局;第三篇展望篇,介绍国家电网公司、南方电网公司、内蒙古电力(集团)有限责任公司电力应用展望。另外,附有无人机相关标准目录、专利技术路线布局相关图表、无人机相关供应商名录、无人机输电线路巡检相关产品介绍,方便查询使用。

本书内容全面、技术先进,适用于无人机输电线路巡检技术人员和涉及无人机输电线路巡检方面的相关人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

无人机输电线路巡检应用发展报告. 2016 / 全国输配电技术协作网(EPTC)输电线路无人机技术工作组组编. —北京:中国电力出版社, 2017. 8

ISBN 978-7-5198-0817-4

I. ①无… II. ①全… III. ①无人驾驶飞机-应用-架空线路-输电线路-巡回检测-研究报告
IV. ①TM726.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第133604号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:罗 艳(010-63412315, 965207745@qq.com) 马玲科

责任校对:常燕昆

装帧设计:张俊霞 赵姗姗

责任印制:邹树群

印 刷:北京瑞禾彩色印刷有限公司

版 次:2017年8月第一版

印 次:2017年8月北京第一次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:17.25

字 数:380千字

定 价:198.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

《无人机输电线路巡检应用发展报告（2016）》

编写组人员名单

主 编 韩文德

副主编 黄建峰 王 森 刘伟东 李超英

张 捷 陈俊吉 高文婷 胡明辉

成 员 丁 建 刘 壮 张 巍 刘 佺 马建国 周 杰

张滢滢 王伟伟 柏 杨 王万国 刘 越 杨伟旗

周 军 周伟才 杨 静 王和平 黄海鹏 姜云土

王海跃 陈艳芳 李一鹏 翟 禹 陈 杰 石生智

李 敏 何 冰 王 辉 刘继承 李峥嵘 杨鹤猛

戴永东 尹维崑 赵云龙 刘 博 徐晓轶 周双勇

胡 川 李 宁 陈 银 张 迈

PREFACE 前言

输电线路覆盖区域广，穿越区域地形复杂，自然环境恶劣，因此对输电线路运维水平的要求越来越高。由于输电线路设备长期暴露在野外，为了掌握线路的运行状况，并及时排除线路故障、缺陷或潜在隐患，我国每年都要投入大量人力、物力进行线路巡检。传统的输电线路巡检为人工巡检，人工巡检具有以下特点：地面人工巡视方式应用广泛，发现铁塔基础缺陷能力强但技术含量低；传统的地面人工巡视工作量大、效率偏低。山区地形时，每人每天只能巡视 3~5 基铁塔；平原地区时，每人每天巡视 6~8 基铁塔；部分地区无法开展地面人工巡视；线路红外检测难度大；巡视作业人身伤害风险高等。

近年来，我国国民经济的持续快速发展对我国电力工业提出了越来越高的要求。为了安全、可靠的供电，巡检维护自动化和现代化已日益显示出其迫切性。传统的人工巡检方法工作量大、条件艰苦，特别是对于山区和大跨越的输电线路巡检存在很大困难。直升机巡检作业效率较高，但公司系统直升机数量有限，巡检成本和技术门槛高，主要对重要线路开展巡检。无人直升机（简称无人机）具有体积小、质量轻、便于携带和制造、使用成本低、操作性和灵活性好等特点，无人机输电线路巡检能有效弥补人工巡检和直升机巡检的弊端，发展前景良好。

无人机输电线路巡检是指利用无人机搭载可见光相机、红外传感器等任务设备对输电线路进行飞行巡检，并实时将现场情况传回地面监控系统，以便做出正确判断，及时排除线路故障。这种巡检方式以无人机装备本身的控制程序为主，辅以无线遥控。在进行巡检之前，无人机需要根据巡检线路的不同情况设定最佳的飞行路线，并应将巡视路线设定为往返巡视，有利于工作人员从不同的角度对线路进行观察，提升巡检质量。航拍将是无人机未来发展的主要方向，它以先进的科学技术为依托，实现拍摄影像同步传送。届时，常规巡检将真正意义上被无人机巡检所取代，不仅解放了劳动力，还降低了事故发生率，提升了企业的经济效益。

编者

2017 年 6 月

CONTENTS 目 录

前言

- 第一篇 现状篇 1
 - 一、行业现状 3
 - (一) 国内外无人机巡检技术发展现状 3
 - (二) 国内无人机在电力行业的应用介绍 5
 - 二、政策现状 12
 - 三、无人机巡检系统现状 17
 - (一) 无人机本体 18
 - (二) 任务设备 21
 - (三) 通信 28
 - (四) 数据处理 38
 - (五) 其他 54
 - 四、管理及应用现状 67
 - (一) 空域问题研究 67
 - (二) 入网检测标准 69
 - (三) 无人机巡检岗位设置 78
 - (四) 人机协同巡检配置 80
 - (五) 安全管理 87
 - (六) 保险 99
 - (七) 维保 119
 - (八) 固定翼无人机维护检查 124
- 第二篇 成果篇 129
 - 一、电力公司应用成果 131
 - (一) 输电设备巡检应用成果 131
 - (二) 输电线路通道巡检应用成果 137

(三) 无人机创新拓展应用	147
二、检测方面成果	151
(一) 检测现状及目的	151
(二) 检测内容	152
三、培训成果	155
(一) 无人机培训现状及目的	155
(二) 培训资质	156
(三) 无人机培训内容	159
(四) 岗位技能培训	167
四、专利技术路线布局综述	170
第三篇 展望篇	181
一、国家电网公司电力应用展望	183
二、南方电网公司电力应用展望	184
三、内蒙古电力（集团）有限责任公司电力应用展望	185
附录 A 无人机相关标准目录	189
附录 B 专利技术路线布局相关图表	190
(一) 避障技术路线图	190
(二) 国内电力巡检无人机主要专利	191
(三) 国外电力巡检无人机主要专利	232
附录 C 无人机相关供应商名录	238
附录 D 无人机输电线路巡检相关产品介绍	252

第一篇 现状篇

一、行业现状

（一）国内外无人机巡检技术发展现状

1. 无人机巡检在国外的发展现状

无人机巡检技术的研究主要集中在发达国家。这些国家依托自身先进的科学技术，在无人机巡检领域处于领先地位。相比于国内主要处于硬件的开发层面，发达国家更加关注于后续的图像、数据处理方面的研究，甚至技术更高的激光雷达巡检技术也已应用于无人机上。

最早利用无人直升机巡检的是英国的威尔士大学和 EA 科技公司。英国威尔士大学班戈分校于 1995 年起与 EA 科技公司合作开始研制输电线路巡检飞行机器人，该机器人是在英国 Aerobotics 公司（前身为 ML Aviation 公司）的 Sprite 无人直升机的基础上开发的，整个系统包括微型直升机、导航系统、检测系统、地面控制系统、数据通信系统等。该机器人重 35kg，附加了稳定性控制系统以增加抗风干扰的能力，并安装了高分辨率的彩色图像传感器摄像机，实现基于视觉的导航和基于视觉的输电线路跟踪和在线检测。同时，英国威尔士大学和 EA 科技公司利用可见光摄像机获得的动态可见光图像进行障碍物测距。本方法是通过机器视觉技术，识别无人飞行器前方的障碍物，通过路径规划的算法，躲避障碍物。但此方法只能识别较大的障碍物，根据文献描述，此系统主要是避开树木等障碍物。此方法对导线识别和避障的可靠性不够，且要求飞行速度不能太快。

日本关西电力公司与千叶大学联合研制了一套架空输电线路无人直升机巡检系统，该系统包括故障自动检测技术和三维图像监测技术，能够自动查巡雷击闪络点、杆塔倾斜、铁塔塔材锈蚀、钢筋混凝土杆杆身裂纹、导地线断股等主要缺陷。课题组成员还通过构建线路走廊三维图像来识别导线下方的树木和构筑物。把三维图像和线下物体 GPS 坐标储存在系统中，以检测导线下方树木、构筑物与导线的距离。据统计，在巡检费用方面，无人直升机比载人飞机节约近 50%。

西班牙马德里理工大学开展基于计算机视觉技术的无人机导航系统的研究并已开发完成。该系统借助 GPS 并利用图像数据处理算法和跟踪技术，实现架空输电线路无人机巡检导航，可以自动检测无人机相对于参照物的地理坐标和速度。在架空输电线路巡检试验中，计算机视觉技术、导航系统可以准确地对架空输电线路进行巡检。在此导航系统的基础上，还研发了无人机安全可靠着陆的数学物理模型。当燃料消耗完或与地面失去控制联系时，无人机可以自动检测与架空输电线路或其他障碍物的相对位置，从而避开障碍物实现安全降落。该数学物理模型的有效性在模拟试验中得到了验证。

澳大利亚 GSIRO（联邦科学与工业研究组织）通信技术中心的研究人员致力于小型的 T21 型巡检无人直升机的研发。其最大特点是由微型燃气轮机提供动力，与燃油机、电动机相比，其最大的优势是机体振动大幅度降低，将振动对巡检的影响降至最低。在无人直升机上安装激光测距仪，可以准确测量导线下方构筑物、树木等与导线之

间的距离。新型 T21 型巡检无人直升机虽然机身体积较小,但巡检功能齐全、性能先进,是今后架空输电线路巡检无人直升机的发展方向。

英国 Bangor 大学的 Jones、Golightly 等学者研发了一款新型的架空输电线路巡检垂直起降无人机。其外形结构采用管道风扇形,提升了无人机抗气流干扰的能力,降低了飞行过程中的发动机噪声。该机安装能源提取装置,可以从导线上获取电力能源,供巡检时直升机消耗。该款机型在开展巡检方面具有两大优点:一是可以自动从运行的线路上提取电力能源;二是与巡检线路距离非常近,不占用专用航道,不需要进行航空申请。虽然该款机型的研发还存在许多不足,但是依据在 AVS (一种专门用于无人机模拟训练的装置) 上进行的模拟试验,验证了该设计方案具有可行性。

2. 无人机巡检在国内的发展现状

2009~2013 年期间,国家电网公司及其下属公司、南方电网公司等电力企业相继开展了无人直升机巡检的研究和应用,取得了阶段性的成果。

国家电网公司电力机器人实验室进行了无人直升机的巡检研究,取得了阶段性的成果,研究人员利用无人直升机搭载高清相和红外热成像仪对线路进行了巡检实验,实验结果表明所拍摄的可见光图像上,能分辨出杆塔和导线上的物理缺陷。国网山东省电力公司于 2009 年初,开始从事无人直升机巡检技术的研究,研制出 ZN-1 与 ZN-2 两套小型无人直升机智能巡检系统样机,并成功应用于多条 500kV 和 220kV 输电线路的实地巡检工作中。2010 年 11 月,国网青海省电力公司检修公司开展了无人直升机巡检系统在高海拔地区的测试。2012 年,国网青海省电力公司、国网甘肃省电力公司联合开展了高海拔地区无人机巡检适用性的研究。国网辽宁省电力有限公司与中国科学院沈阳自动化研究所合作,开展了 120kg 级别的无人机巡检系统的研制。国网福建省电力有限公司和国网四川省电力公司开发了 450kg 级无人直升机巡检系统,以增加续航时间和抗风能力。此外,南方电网公司开展了固定翼无人机和四旋翼无人机巡检系统的研制。

在无人机避障技术研究领域,北京理工大学为了实现小型无人机快速自主测距避障,在双目视差测距的基础上,提出了一种机载三目视差测距算法。利用各传感器成像间的相关性,北京理工大学提出了一种快速图像识别方法,通过缩小对图像中障碍物像元的搜索范围,有效地减小了目标搜索运算量。这种方法加快了搜索速度,为小型无人机快速自主避障系统的研制创造了条件。然而,视觉避障较难实现对小型障碍物的识别和避让。清华大学于 2012 年底提出一种无人机的视觉定位与避障方法及其系统,通过无人机机载相机获取无人机的视觉感知信息和通过无人机惯性测量单元获取惯导数据,远程控制系统根据障碍物信息和无人机位置信息规划无人机的飞行路径,并根据惯导数据和飞行路径生成飞行控制指令。该系统采用视觉定位和惯性测量方法,测量力度较大,对小型障碍物的识别效果较差。采用视觉感知单元和惯性测量单元,质量较大,中小型无人机难以搭载,实用化程度不高。南京航空航天大学于 2013 年初提出一种多重避障控制方法,通过建立无人机作业的安全约束区域,并采用信息处理模块对信息检测模块提供的无人机位置信息进行融合,以检测无人机与输电线路之间的相对距离,实现无人机电力巡检的多重避障。该方法目前仍处于理论验证阶段,没有经过实际应用的测

试和验证。

目前国内现有的旋翼无人机平台在稳定性、安全飞行控制策略、避障能力、精准航线规划等方面不能完全满足对输电线路巡检的要求。首先,现有中小型旋翼无人机巡检系统受限于载荷能力,很难搭载具有较高测距性能的传感器,普遍缺少避障系统和安全保护机制。现有固定翼无人机平台同样受限于载荷,对于避障、安全距离保持等方面,只能依赖于GPS模块,同样缺乏安全控制机制和策略。少数大型旋翼无人机实现了避障功能,但是由于缺少工程化应用,其性能和实用性还有待验证。其次,现有无人机系统普遍缺少安全的自主起降机制,起降过程通常需要较多的人工干预。少数无人机系统虽然实现了自主起降功能,但无论是安全性、稳定性,还是起降准确性方面,都不完全具备实用化的能力。

2013年开始,国家电网公司组织国网冀北电力有限公司、国网山东省电力、国网山西省电力公司、国网湖北省电力公司、国网重庆市电力公司、国网四川省电力公司、国网浙江省电力公司、国网福建省电力有限公司、国网辽宁省电力有限公司和国网青海省电力公司等10家试点单位、国网通用航空有限公司和中国电力科学研究院作为技术支撑单位,结合人工巡检、直升机巡检和无人机巡检各自的优缺点,开展了输电线路直升机、无人机和人工协同巡检模式试点工作。中国电力科学研究院作为技术支撑单位开展了直升机、无人机和人工协同巡检技术体系及效果评估和无人机巡检系统入网认证检测技术体系等方面的研究,编制了《输电线路无人机巡检技术导则》等多项标准并发布实施,并牵头开展了输电线路无人机巡检系统的性能试验检测体系建设,已在特高压交流试验基地(武汉)建成了国内首个无人机巡检系统性能试验检测体系,开展了多个批次的国家电网公司小型旋翼无人机巡检系统的入网检测和抽样检测工作。

在科技项目攻关研究方面,2014年国家电网公司组织中国电力科学研究院、国网山东省电力公司、国网浙江省电力公司、国网福建省电力有限公司、国网辽宁省电力有限公司、国网通用航空有限公司、南瑞集团有限公司等立项研究“无人机巡检实用化关键技术与检测体系”。该项目紧密结合协同试点工作,研究内容覆盖无人机巡检系统关键技术实用化、输电线路缺陷自动诊断技术、无人机巡检系统检验检测技术和协同巡检效果评估等方面。通过一年的研究,项目组在无人机避障技术实用化、基于三维GIS无人机的测控导航、输电线路典型设备的实时定位和跟踪、无人机检验检测专用设备研制等方面取得了进展。

2016年,依托中国电力科学研究院建成的智能巡检装置试验场,参照DL/T 1578—2016《架空输电线路无人直升机巡检系统》,开展了一系列全国首创且目的明确的试验项目,包括无人机抗风飞行性能试验、抗雨飞行性能试验、稳像精度试验、跟踪精度试验等,并通过试验场内安装的数字测量系统,对无人机空中飞行姿态和航线信息进行精确测量,掌握无人机实时航迹及位置偏差,指导其在电力巡检中的推广应用。

(二) 国内无人机在电力行业的应用介绍

输电线路无人机巡检系统一般包括无人机、任务设备、地面控制模块和综合保障模块。

无人机多为旋翼直升机(也有固定翼直升机),以旋翼为推动方式,具有垂直起降和空中悬停的特点,可分为旋翼带尾桨、共轴反桨和多旋翼等形式,多旋翼无人直升机通常有四旋翼、六旋翼和八旋翼等结构。无人机按照空机质量又分为大型无人机、中型无人机和小型无人机。大型无人机指空机质量大于116kg的无人机,目前处于研究阶段,应用尚不成熟;中型无人机指空机质量大于7kg且小于等于116kg的无人机,一般是单旋翼带尾桨式无人机,适用于中等距离的多任务精细化巡检;小型无人机指空机质量小于等于7kg的无人机,一般是电动多旋翼无人机,适用于短距离的多方位精细化巡检和故障巡检。

任务设备搭载在无人机上,用于检测、采集和记录架空输电线路信息,可为转塔式光电吊舱,也可为云台搭载光电传感器。光电吊舱通过减振器能有效地降低无人机发动机振动对检测设备的影响,通过陀螺增稳系统的反馈控制,对无人机产生的晃动进行补偿,使输出的视频在高振动环境下保持稳定,获得相对惯性空间稳定的平台空间,以保持视角的有效性,满足对被检测系统的定位。在控制指令的驱动下,可实现吊舱对输电线路、杆塔和线路走廊的搜索和定位,同时进行监视、拍照并记录。有些吊舱还采用图像处理技术,实现对被检测设备的跟踪和凝视,已取得更好的检测效果。云台的主要功能是通过稳定平台隔离载机的摇摆、振动,使输出的视频在高振动环境下保持稳定;其增稳控制主要由速度控制器、电机驱动器、电机和编码器的四个设备的旋转速度构成速度环,由目标位置、前馈控制器、位置控制器、编码器的位置信息构成位置环实现。检测终端可为可见光、红外、紫外等成像设备,也可为激光雷达、合成孔径雷达等,功能是为地面飞行控制人员和任务操控人员提供实时数据,同时提供高清晰度的静态照片供后期分析输电线路、杆塔和线路走廊的故障和缺陷。其检测精度、效果以及检测系统的集成度是影响无人机巡检系统应用的关键因素。

地面控制模块由地面站、通信天线及控制软件等组成,通过遥控方式对无人机和任务设备进行控制。无人机通过地面站与机载通信天线实现远距离信号发送、接收及遥控遥测。信号传输主要是实时传输可见光视频和红外视频,任务人员通过控制软件操作无人机云台转动,获得最合适的角度进行视频拍摄。地面站和通信天线应实时性好、可靠性高,以便任务人员及时观察输电线路巡检的现场情况;应对高压线及高压设备产生的电磁干扰有很强的抗干扰能力;在城区、城郊、建筑物内等非通视和有阻挡的环境中使用,具有卓越的绕障和穿透能力;在高速移动的环境中,可以提供稳定的数据和视频传输。

综合保障模块一般包括供电设备、动力供给、专用工具、备品备件和车辆等。中型无人机巡检系统一般需配备专用车辆,小型无人机巡检系统可根据具体需要配备储运车辆。

无人机在电力行业的应用,除了实现输电线路巡检外,还能辅助实现异物处理、线路架设等。

1. 无人机输电线路巡检

随着科技的高速发展,相关数据和图像资料表明,在观察输电线路设备运行情况

时,无人机技术可以起到相当关键的作用,大大减轻了电力员工的作业负担。通过无人机,可以清楚判断重要部件是否受到损坏,保证输电线路的安全,保障居民的用电。除正常巡检和特殊巡检外,还可将无人机应用在电网灾后故障巡检。当灾害导致道路受阻、人员无法巡检时,无人机可以发挥替代作用,开展输电线路巡查,准确定位杆塔、线路故障,且视角更广,能避免“盲点”。无人机巡检提高了电力维护和检修的速度和效率,使许多工作能在完全带电的情况下迅速完成,比人工巡检效率高出数十倍。

(1) 巡检内容。

1) 无人直升机巡检。无人直升机具备悬停功能,可操控性强,能近距离对线路设备进行巡视检测,其巡检对象主要为线路设备本体。无人直升机巡检包括正常巡检、故障巡检和特殊巡检,具体巡检内容如下:

a. 正常巡检。主要对输电线路导线、地线和杆塔上部的塔材、金具、绝缘子、附属设施、线路走廊等进行常规性检查。巡检时根据线路运行情况、检查要求,选择性搭载相应的检测设备进行可见光巡检、红外巡检。可见光巡检主要检查内容包括导线、地线、绝缘子、金具、杆塔、基础、附属设施、线路走廊等外部可见异常情况和缺陷。红外巡检主要检查内容包括导线接续管、耐张管、跳线线夹及绝缘子等相关发热异常情况。

b. 故障巡检。线路发生故障后,根据故障信息,确定重点巡检区段和部位,采用无人直升机查找故障点及其他异常情况。

c. 特殊巡检。根据季节特点、设备内外部环境及特殊生产需要做出的加强性、防范性及针对性巡检,如鸟害巡检、树竹巡检、防火烧山巡检、外破巡检、灾后巡检等。

2) 固定翼无人机巡检。固定翼无人机巡检具有巡检速度快、巡检航程长等特点,其巡检对象主要为通道。固定翼无人机巡检也包括正常巡检、故障巡检和特殊巡检,具体巡检内容如下:

a. 正常巡检。主要对线路通道、周边环境、施工作业、沿线交叉跨越等情况进行巡检,及时发现和掌握线路通道环境的动态变化情况及线路本体的明显缺陷。

b. 故障巡检。发生线路跳闸后,根据实际情况使用固定翼无人机进行故障查找工作。

c. 特殊巡检。在灾后评估、计划外的巡检工作中,根据实际运行需要,合理安排特殊巡检。

(2) 巡检方式。

1) 无人直升机巡检。小型无人直升机巡检方式如图 1-1 所示。巡检时应始终保持通视状态下作业,不应采用手动飞行模式在巡检作业点进行巡检作业;可采用自主或增稳飞行模式飞至巡检作业点,然后以增稳模式进行巡检作业。不可长时间在设备正上方悬停,不可在重要建筑及设施、公路和铁路等的正上方悬停。巡检作业时,巡检飞行速度不宜大于 10m/s 。与线路设备距离不小于 5m ,与周边障碍物距离不小于 10m 。其巡检效果如图 1-2 所示,通过采集的影像可发现存在两处缺陷,即跳线断股、螺栓缺销子。



图 1-1 小型无人直升机巡检方式

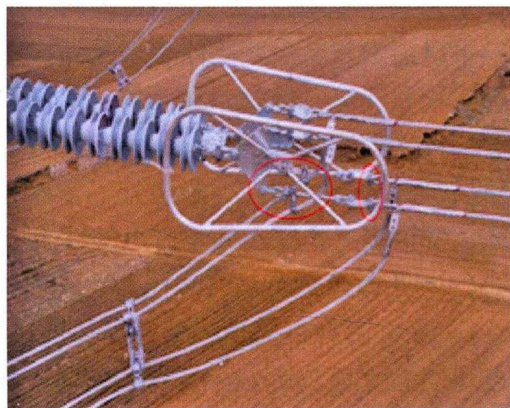


图 1-2 小型无人直升机巡检效果

中型无人直升机巡检方式如图 1-3 所示。宜采用自主起飞，增稳降落模式。起飞和降落点宜相同，且远离周边军事禁区、军事管理区、人员活动密集区、森林防火区、重要建筑和设施等。巡检飞行速度不宜大于 15m/s 。与线路设备距离不小于 30m ，水平距离不小于 25m ，与周边障碍物距离不小于 50m 。其巡检效果如图 1-4 所示，检测发现杆塔螺栓缺失。

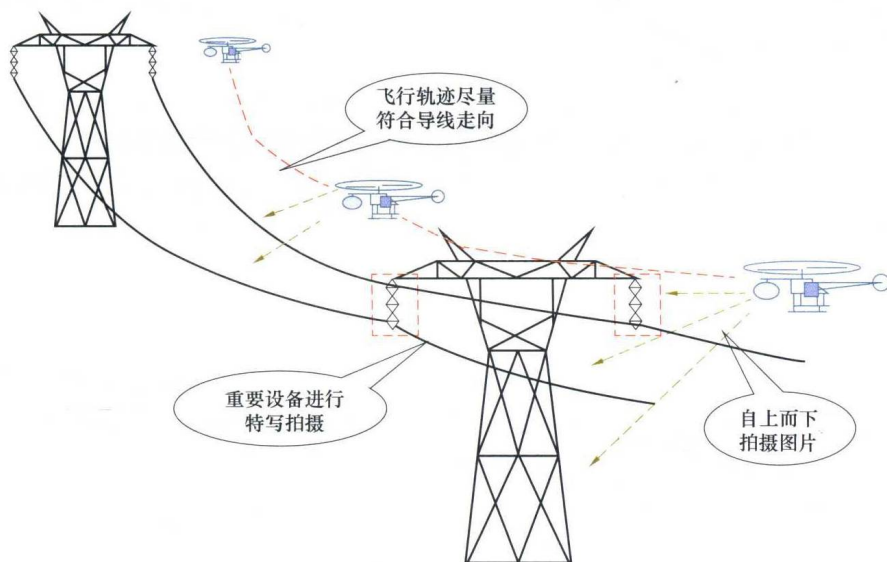


图 1-3 中型无人直升机巡检方式

2) 固定翼无人机巡检。固定翼无人机巡检方式如图 1-5 所示。固定翼无人机在线路侧上方沿线路包络线飞行，自上而下对通道环境进行拍摄，航线任一点应高出巡检线路包络线 100m 以上。巡检飞行速度不宜大于 30m/s 。其巡检效果如图 1-6 所示，从采集的影像上可检测倒塔情况。

2. 无人机输电线路除障

在供电部门基层单位，流行着这么一句话：“宁翻三座山，不登一级塔”，这句行业



图 1-4 中型无人直升机巡检效果

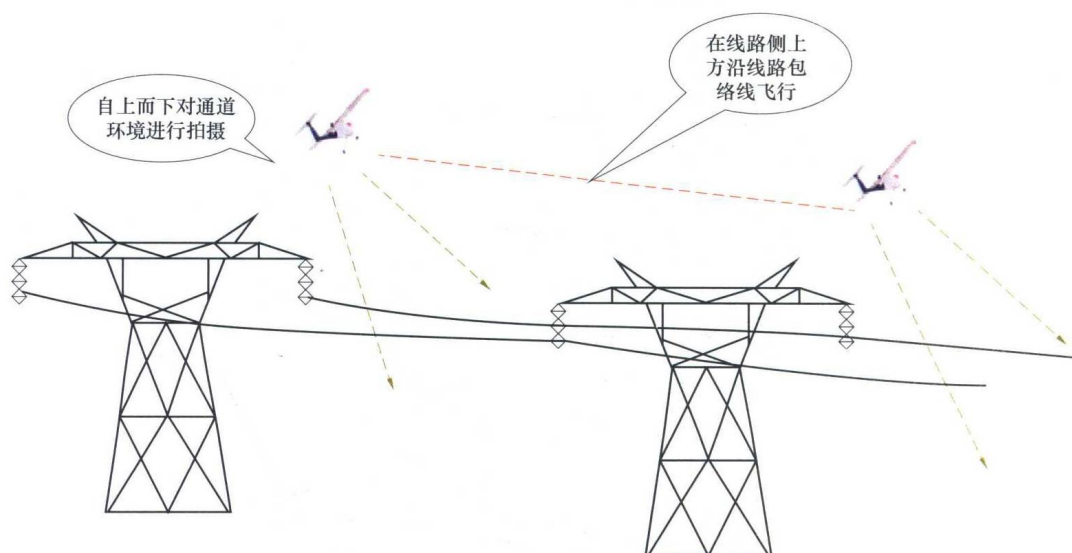


图 1-5 固定翼无人机巡检方式

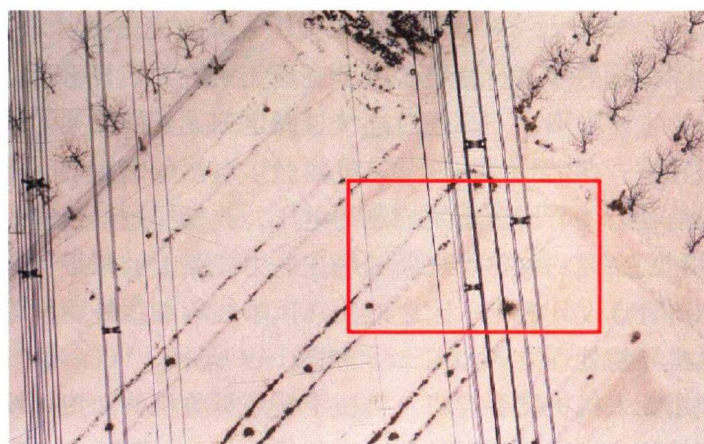


图 1-6 固定翼无人机巡检效果

谚语道尽了登塔的艰辛。近年来,随着城市化进程的加速,输电线路外飘异物隐患不断攀升,引起线路跳闸,影响电网安全经济运行。防范外飘隐患引起的线路事故,除了加大巡视、宣传力度外,在已发现隐患的情况下,按照传统的除障方法需要紧急申请线路停电以及人工高空作业登塔出线去摘除,这将消耗大量的时间以及人力、物力,人工处理类似隐患用时将近 5~8h,同时也存在较大的人身风险与电网风险。

无人机喷火是解决这一难题的可行方法。普通的无人机,只要火舌一接触或者靠近高压线,就会被直接吸过去,因而在带电环境下喷火,是一项极富挑战性的课题,以往在世界范围内都没有先例。近年来,随着无人机的推广应用,电力员工逐渐探索出一套行之有效的处理方式,即首先令无人机喷洒出雾化水珠状的汽油作为燃料,待线路悬挂异物充分浸染后,再使无人机点火,然后立刻熄灭,避免电场力作用,并适时再度喷洒燃料助燃,如图 1-7 所示。这种方法对无人机操控手的要求较高,却可使原来数小时的清障时间缩短到数分钟,不仅提高了工作效率,还降低了人身危险。

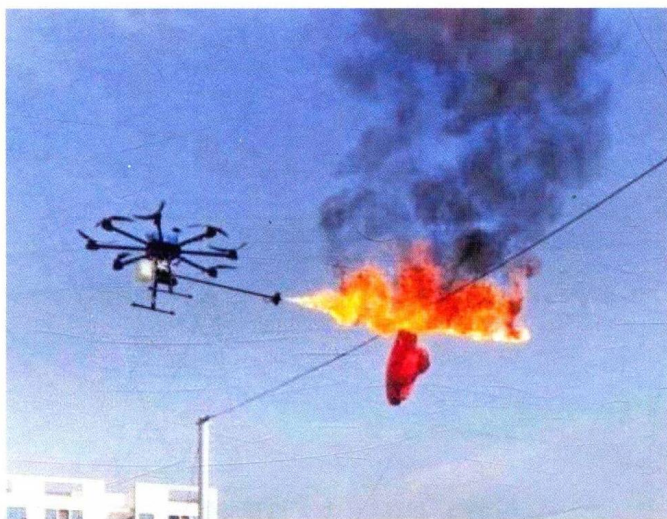


图 1-7 无人机喷火处理线路悬挂物

无人机电热丝除障是另一可行途径。以多旋翼无人机为飞行平台,利用材料轻、硬度强的碳纤维管作为主体支架,一端通过连接板固定到无人机机架上,另一端连接由碳纤维板制作成的引导槽,在引导槽内部装有电热丝。电热丝连接电子电压调节器,通过遥控接收机提供的信号,调节调压系统控制的电压,改变通过电热丝的电流,从而实现电热丝温度调节。利用高温的电热丝烧断缠绕在电力线路上的飘带、风筝线等。该方法根据大部分外飘物的特点设计而出,主要应用在风筝线等细线外飘物除障方面。传统异物处理方式与无人机异物处理方式如图 1-8 和图 1-9 所示。

此外,还可利用无人机机械手清障。机械手使用折叠机构和鱼丝线传动机构,刀具使用陶瓷材料,有效防止产生拉弧现象和减轻整体重量,保障无人机和操控系统的正常工作。机械手的制作要求严格的无人机配平调试,此设计有利于无人机的平衡和处理多