



无人机在电力线路巡视中的应用

汤明文¹, 戴礼豪¹, 林朝辉¹, 王芳东¹, 宋福根²

(1. 福州电业局, 福建 福州 350009; 2. 福州大学, 福建 福州 350108)

摘 要: 随着无人机技术的飞速发展, 无人机在远程遥控、续航时间、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。探讨了无人机在电力线路巡视中的选型原则、巡检模式, 概括了电力线路巡检作业中无人直升机和固定翼机应用特点, 同时对无人机飞行方式、通信链路系统中继模式、无人机巡检模式进行了深入探讨。对无人机巡检模式的讨论侧重各种不同巡检模式的应用特点及应用特性分析, 为不同情况下无人机巡检中继方式的选择提供指导。

关键词: 无人机; 电力线路; 选型原则; 巡检模式; 巡线

中图分类号: TM75

文献标志码: B

文章编号: 1004-9649(2013)03-0035-04

0 引言

近年来, 国内外电力企业纷纷开展无人飞行器在电力系统线路巡视应用的可行性研究, 无人飞行器巡检线路具有不受地形环境限制、费用与效率之比较高等优势, 同时无需顾虑其意外坠毁可能导致的机上人员伤亡等问题, 因此备受电力行业的欢迎^[1-2]。同时其搭载的光学吊舱任务系统(可见光、红外热成像设备)具有对运行电网的隐患能够准确地发现的能力。为此, 本文重点对无人机在电力线路巡视中的选型原则、巡检模式及应用特点进行探讨。

1 无人机巡检平台选型原则

电力线路巡检应用的无人机平台中的飞行器主要有直升机和固定翼无人机, 其主要参数对比如表1所示。

无人机在电力线路巡检作业中的特点应具备良好的续航时间、抗风能力, 且应具有搭载光学任务系统吊舱的能力。

此外, 无人机在电力线路巡检作业中, 首先飞到设定的钢塔或发现疑似缺陷点处, 为达到良好的巡检效果, 无人机应具备空中定点悬停功能。由表1可知, 直升机与固定翼机的最大区别在于是否具备悬停与原地的起飞降落功能及有效载荷能力。综上各种因素, 在电力线路巡检作业中无人直升机优势大于固定翼机。同时, 无人直

表1 中型无人直升机与固定翼机性能对比

Tab.1 Performance comparison between UAV (medium-size) and fixed wing aircraft

参数名称	中型无人直升机	固定翼机
续航时间/h	4	3~4
抗风能力	6级	>6级
有效载荷/kg	较大(40~50)	较小(6~8)
起降方式	垂直起降	滑跑
悬停方式	空中定点悬停	空中盘旋
起降场地	要求较低	要求较高
飞行和控制操作	较为复杂	较为简单
购置费用	价格较高	价格较低
巡航速度/(km·h ⁻¹)	30~120	80~140

升机具备自主起降功能^[3]。所谓自主起降功能, 即通过内控键盘的“降落”指令, 实现直升机的“一键降落”功能, 直升机触地后, 任务自动结束, 完成自动降落功能。该自主起降功能为内控自动飞行过程, 无需人工干预, 减小了外控操纵手的负担, 从而可进一步提高无人直升机在电力线路巡检应用中的可操控性。

根据不同的地形、巡检要求, 选择不同的无人直升机类型。各种类型无人直升机技术对比如表2所示^[4-5], 由表2可知随着无人机机型的增大和续航时间的增加及抗风能力的增强, 巡检范围和相应扩大。与此同时, 任务机需在超视距的条件下进行巡检飞行, 因此, 需增加其相应的通信中继设备, 也给现有的技术条件带来相应的技术

收稿日期: 2012-11-15

作者简介: 汤明文(1964—), 男, 福建连江人, 高级工程师, 从事电力网管理工作。E-mail: sfgalong@163.com



难题。目前，现有无人机平台多为小型无人直升机和微型无人直升机，并且中型无人直升机在输电线路巡检的应用还处于探索阶段。

表 2 各类型无人直升机性能对比

Tab.2 Comparison of various types of UAV

项目	中型无人直升机	小型无人直升机	微型无人直升机
续航时间/h	4	1	0.5
抗风能力	6 级	4 级	2—3 级
有效载荷/kg	50	10~15	3~5
通信中继设备	多级中继	1—2 级中继	无中继
适用范围/km	50~100	10~20	5
在巡线应用中的主要特点	抗恶劣气候能力强、续航能力强	机动性高、灵活	机动性高、灵活

2 无人机巡检模式的选择和应用

2.1 无人机飞行方式

无人机在飞行的过程中，为避免无人机在极端恶劣气候及其他因素影响下垂直坠落造成对线路的灾难性损坏，无人机沿线路飞行时与线路边线应具有一定的水平距离 D ，如图 1 所示。因光学任务吊舱系统安装于飞机下方，为满足巡视质量的要求，且避免无人机受线路电磁场的影响，保证无人机有充裕的飞行空间，无人机在线路上方飞行应具有一定的垂直距离 H ，如图 1 所示。综合上述各种因素，无人机在巡检作业中需在线路斜上方进行飞行。

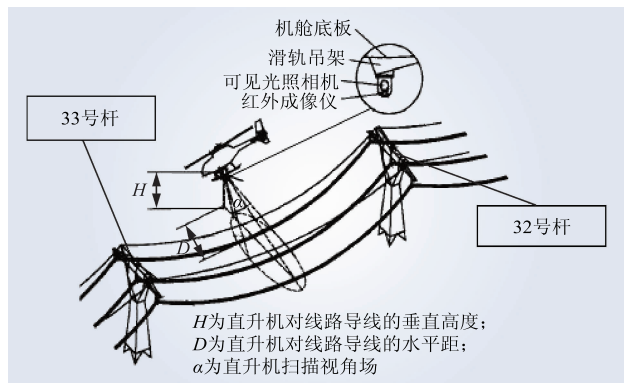


图 1 无人机巡线作业飞行方式示意

Fig.1 Flight mode of UAV in inspecting transmission lines

为提高巡线效率，在光学吊舱任务系统具有足够扫描视场角时，无人机可进行单向巡视，即沿线路方向巡视 1 次。在较高电压等级线路中（如 500 kV 及以上电压等级），因各相间距大、塔高，无人机光学吊舱任务系统受检测距离、视角范围的影响，常规的单方向巡检往往不能满足巡视质量的要求，此时无人机可在线路两侧进行往

返巡视。具体飞行方式如图 2 所示。

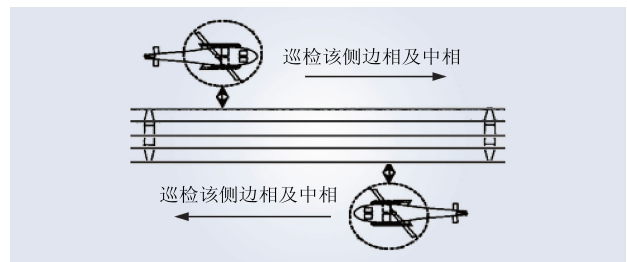


图 2 无人机在线路两侧往返巡检飞行方式

Fig 2 Flight mode of UAV in round-trip inspection on both sides of the transmission line

2.2 通信链路系统中继模式

在任务机距离地面测控车比较近，且没有障碍物遮挡的情况，通信链路系统为直通模式，即任务机可通过无线链路直接与地面车载设备进行数据通信。

为解决无线通信因山峰阻挡、多径效应、频率选择性衰落和输电线路强电磁干扰等影响，同时有效拓宽无人机巡线的测控距离，实现无人机在超视距条件下进行电力巡线需求，需采用中继转发模式，无人机中继模式主要有地面中继模式及空中中继模式。

地面中继模式即将数据链路上的中继设备安装在线路杆塔上。该中继模式成本较低，但工作模式复杂，需根据不同的地形地貌进行地面中继点的优化规划，同时，在运行维护方面存在一定的困难。

空中中继模式即在数据链路上增加 1 台中继飞机。该中继模式巡检灵活、范围广、系统结构简单、维护方便，然而需引入一架中继飞机，增加其相应成本。各中继模式工作方式如表 3 所示。

表 3 中继模式工作方式

Tab.3 The working modes of relay mode

工作模式	通信链路
直通模式	任务机终端⇌测控车终端
地面中继模式	任务机终端⇌塔架中继终端⇌测控车终端
飞机中继模式	任务机终端⇌中继机终端⇌测控车终端

2.3 应用模式

将不同的无人机类型、不同中继模式、不同的设备进行组合形成不同的工作模式，这些模式的组合可以完成平原地区、山区地带等复杂地形区域的巡线任务^[6-7]。无人机在输电线路巡视巡检作业中的应用主要有以下 5 种。

(1) 中型无人直升机(任务机)+地面中继模式。该模式适用于任务机无法直接与地面测控车进行数据通信的情况，即任务机距离地面测控车

距离超过直视范围，或任务机与地面测控车之间有障碍物阻隔，如图3所示。任务机采集到的图像和遥测信号首先通过无线链路发送给塔架中继终端，中继终端再转发给地面测控车载终端，地面测控车的控制指令也通过塔架中继终端转发给任务机终端，控制任务机的工作状态。

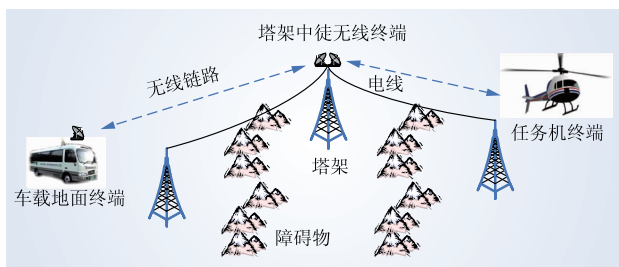


图3 中型无人直升机(任务机)+地面中继模式示意
Fig.3 UAV (medium-size) and ground relay mode

(2) 中型无人直升机(任务机)+空中中继(小型无人直升机)模式。该模式针对采用地面中继的不足，在数据链路上增加1台中继机，如图4所示。任务机采集到的图像和遥测信号首先通过无线链路发送给中继机，通过中继机转发给地面测控车载终端，地面测控车的控制指令也通过中继机转发给任务机终端，控制任务机的工作状态。

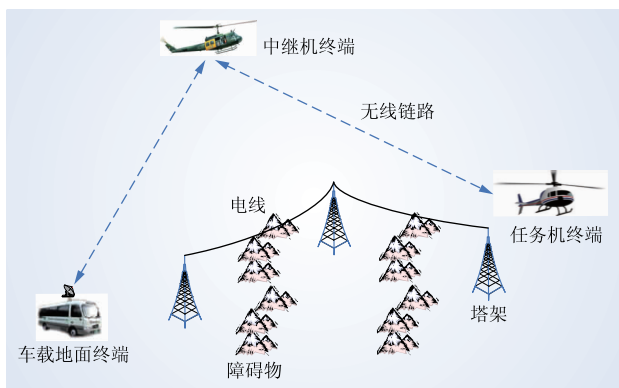


图4 中型无人直升机(任务机)+空中中继(小型无人直升机)模式示意

Fig.4 UAV (medium size) and air relay mode (small-size unmanned helicopter)

(3) 中型无人直升机(任务机)+空中中继(固定翼无人机)模式。该模式的中继机采用固定翼无人机，利用固定翼无人机续航时间长、抗风能力强、成本低、飞行和控制操作简单等特点，有效提高中继的灵活性，如图5所示。

(4) 小型无人直升机或微型无人直升机(近距离/通视/快速巡视)模式。该模式主要是执行巡线任务的任務机距离地面测控车较近，且没有障碍物遮挡，任务机可以通过无线链路直接与地面车载设备进行数据通信。任务机和吊舱拍摄到的2路

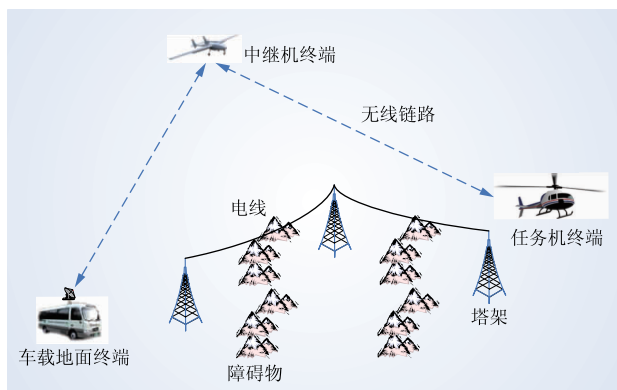


图5 中型无人直升机(任务机)+空中中继(固定翼无人机)模式示意

Fig.5 UAV (medium-size) and air relay mode (fixed wing aircraft)

视频信号和遥测数据经过任务机终端压缩和调制等处理后，传输到地面车载终端。地面车载终端的遥控数据也直接发送到任务机终端，控制任务机的工作状态。其工作方式如图6所示。

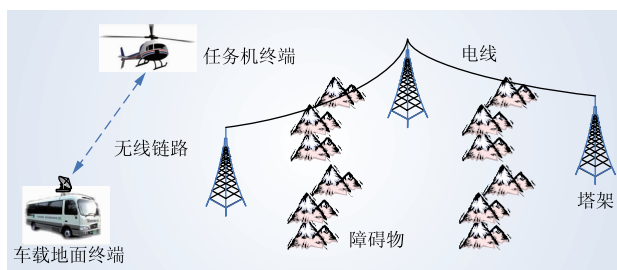


图6 小型无人直升机或微型无人直升机模式示意

Fig.6 Working mode of small-size or micro-size UAVs

(5) 固定翼无人机(远距离/大范围/快速巡视)模式。如图7所示，该模式主要是采用固定翼无人机在防灾减灾及输电线路应急巡检中应用，固定翼无人机可实现远距离、大范围、快速巡视。

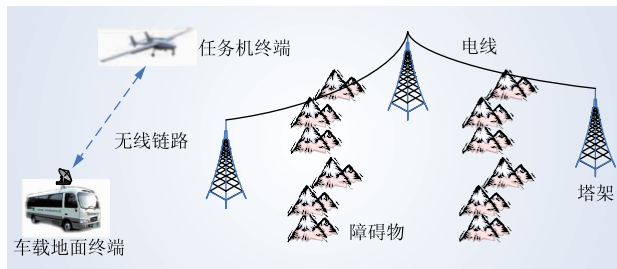


图7 固定翼无人机工作模式示意

Fig.7 Working mode of fixed wing aircraft

3 结语

针对无人机在电力系统中线路巡视方面的应用进行了详细的探讨。采用无人机进行电力线路



巡检作业能极大地降低电网故障率,有效降低电网运营成本,提高电网维护工作效率,变故障处为隐患控制。因此,该技术必将成为电网运行、监控、维护、地理图实时成像更新的有力工具,是一项体现电网运营单位自主创新能力的高科技项目,也是一次电网监控手段的重大革新。

参考文献:

- [1] 于德明,武艺,陈方东,等.直升机在特高压交流输电线路巡视中的应用[J].电网技术,2010,34(2):29-32.
YU De-ming, WU Yi, CHEN Fang-dong, *et al.* Application of helicopter patrol technology in UHV AC transmission line[J]. Power System Technology, 2010, 34(2): 29-32.
- [2] 邵允临,曹晋恩,尚大伟.直升机巡检华北电网超高压输电线路[J].中国电力,2003,36(7):35-38.
SHAO Yun-lin, CAO Jin-en, SHANG Da-wei. Patrol inspection of EHV electric power transmission line with helicopter in North China Power Network[J]. Electric Power, 2003, 36(7): 35-38.
- [3] 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.
ZHANG Ke, LI Hai-feng, WANG Wei. Analysis of helicopter

- patrol application prospect in China's UHV grid[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(6): 45-46.
- [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.
LI Guo-xing. Present situation and development of helicopter power job in China[J]. Electrical Equipment, 2006, 7(3): 41-45.
- [5] 林志和.超高压输电线路采用直升机巡线的探讨[J].福建电力与电工, 2004, 24(4): 16-18.
LIN Zhi-he. The discuss of EHV electric power transmission line helicopter patrol inspection[J]. Fujian Power and Electrical Engineering, 2004, 24(4): 16-18.
- [6] 邱国新.在直升飞机上应用红外热像技术巡视检测高压输电线路设备的回顾[J].广东电力, 2005, 18(3): 71-73.
QIU Guo-xin. Review on using infrared thermal imaging technique on helicopters to inspect equipments of HV transmission lines[J]. Guangdong Electric Power, 2005, 18(3): 71-73.
- [7] 张柯,周朝阳,李海峰,等.直升机作业在我国特高压电网中的应用前景分析[J].河南电力, 2006, 34(1): 18-19.
ZHANG Ke, ZHOU Zhao-yang, LI Hai-feng, *et al.* Analysis on helicopter patrol application prospect in China's UHV grid[J]. Henan Electric Power, 2006, 34(1): 18-19.

(责任编辑 张子龙)

Application of Unmanned Aerial Vehicle in Inspecting Transmission Lines

TANG Ming-wen¹, DAI Li-hao¹, LIN Chao-hui¹, WANG Fang-dong¹, SONG Fu-gen²

(1. Fuzhou Electric Power Industry Bureau, Fuzhou 350009, China; 2. Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: With the rapid development of Unmanned Aerial Vehicle (UAV), the UAV has made important breakthroughs in remote control, cruising time and flying quality, which provides a very good prospect for UAV's application in transmission line maintenance. The UAV's application in inspecting power transmission lines was discussed in detail in this paper in terms of the model selection principle, the patrol mode, the application features of the unmanned helicopter and the fixed-wing UAVs, the flight type and the relay model of the communication link system.

Key words: unmanned aerial vehicle; transmission line; model selection principle; patrol mode; transmission line inspection

电力动态

▲到 2022 年世界范围内新型蓄电池的用量将是现在的 200 倍 随着发电技术的更新换代和电源形式的多样化,新型蓄电池的独特益处将会愈加凸显,诸如为电力公司、电网运行公司及供电公司改进电网的灵活性、统调接纳非碳电源(通常是间断性电源)及缓解电力需求增长压力等。然而蓄电池应用的最大障碍是费用太高。尽管如此,美国 PikeResearch 咨询机构的调查显示,新型蓄电池市场在未来 5 年内将每年都翻倍增长,并且一直攀升,到 2022 年,电站用规模的新型蓄电池将达到 16 GW,几乎是现在的 200 倍。

新型蓄电池市场持续增长的驱动力有 2 个:不断增加的电力需求和各种可再生能源电力向电网的不断渗透。其实,新型蓄电池的价值远不止这些,虽然现在电力公司和电网运行公司还没有认识到新型蓄电池是未来电力发展的关键,但已有很多专业人士都认为,从长远的观点看,目前的电源形式和数量是远远不够的。现在的新型蓄电池的种类还不是很多,在交易时从性能和价格上有多种选择。一般而言,锂离子蓄电池的化学性能更安全,响应时间快,液体蓄电池的功率和电能的解耦性更好。具体的应用还需根据实际情况进行选择。

(李新捷译自 <http://tdworld.com>)