

JIAKONG SHUDIAN XIANLU
WURENJI XUNJIAN XITONG JISHU YU YINGYONG

架空输电线路 无人机巡检系统技术与应用

徐嘉龙 主 编

张祥全 周宏宇 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

JIAKONG SHUDIAN XIANLU
WURENJI XUNJIAN XITONG JISHU YU YINGYONG

架空输电线路 无人机巡检系统技术与应用

徐嘉龙 主 编
张祥全 周宏宇 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书立足于全面系统性的阐述输电线路无人机巡检系统应用及相关应用技术知识。本书共分六章,内容包括概述、架空输电线路无人机巡检系统、旋翼无人机巡检技术、固定翼无人机巡检技术、架空输电线路无人机巡检技术保障、架空输电线路无人机巡检深化应用。

本书可供从事输电线路工作的管理岗位人员、技术人员、一线员工和无人机研究制造行业相关人员使用,也可供对无人机巡检系统技术和发展感兴趣的社会大众读者学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

架空输电线路无人机巡检系统技术与应用 / 徐嘉龙主编. —北京: 中国电力出版社, 2017. 5

ISBN 978-7-5198-0522-7

I. ①架… II. ①徐… III. ①无人驾驶飞机—应用—架空线路—输电线路—巡回检测 IV. ①V279 ②TM726.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 051629 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: 刘丽平 (liping-liu@sgcc.com.cn) 盛兆亮

责任校对: 马 宁

装帧设计: 于 音 赵姗杉

责任印制: 邹树群

印 刷: 北京九天众诚印刷有限公司

版 次: 2017 年 5 月第一版

印 次: 2017 年 5 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本

印 张: 11

字 数: 236 千字

印 数: 0001—2000 册

定 价: 55.00 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

编 委 会

主 编 徐嘉龙

副主编 张祥全 周宏宇

编写组 姜文东 邵瑰玮 沈 洁 付 晶

徐 塑 丁 建 蔡焕青 姜云土

胡 霁 黄建峰 苏良智 曾 东

余向森 高朝霞

“十二五”期间，电网规模快速增长，至2015年，国家电网公司66kV及以上架空输电线路已达43663回，总计长度818010.9km，特高压电网发展迅速，特高压1000kV交流线路已投运14回、 ± 800 kV直流线路已投运4回。“十三五”期间，电网规模将继续快速增长，特高压网架将进一步成熟完善。同时架空输电线路还具有地域分布广泛，运行条件复杂，易受自然环境的影响和外力破坏等特点。

传统的输电线路运维管理模式和巡检作业方式，面临着劳动强度大、工作条件艰苦，劳动效率低等问题，遇到电网紧急故障和异常气候时，线路运维人员在不具备有利的交通条件时，只能利用普通仪器或肉眼来巡查设施，而超、特高压电网急需先进、科学、高效的电力巡线方式，因此传统的以人工为主运维模式已经不能完全适应现代化特高压大电网的安全运维需求。

为满足特高压大电网安全运维工作要求，国家电网公司运维检修部自2013年3月至2015年6月开展无人机巡检试点工作，通过大量无人机输电线路巡检实践经验表明，无人机作为一种新型巡检手段，对直升机和人工巡检形成有力补充，不仅降低了输电线路运维人员劳动强度，而且提高了巡检质量、效率和效益，是今后特高压电网输电线路运维管理方向。

通过2年多的无人机巡检试点工作，国家电网公司重点开展了无人机型配置，培育电力系统无人机市场，持续推进无人机现场实际应用，在电力行业创新性提出直升机、无人机和人工巡检相结合的立体化巡检模式，将无人机纳入架空输电线路状态巡视。建立了较为完备的管理制度和技术标准体系，其中直升机、无人机行业标准3项，企业标准6项。建成国内首个无人机性能试验检测体系，中国电科院检测中心已获中国计量认证（CMA）认证。除山东电力研究院作为中国航空器拥有者及驾驶员协会（AOPA-China）认定培训机构认定配合培训教学编制印发《架空输电线路无人机巡检技术》，国内尚无系统性的架空输电线路无人机巡检系统技术与应用著作，因此为全面总结开创性且经实践验证有效的输电线路无人机巡检系统技术与应用，向电力系统及相关行业人员交流经验知识，特编写本书。

本书从架空输电线路无人机巡检系统的发展历史、技术要求、作业组织、试验检测、维修保养、深化应用研究等几个方面论述了无人机巡检系统技术在架空输电线路的应用情况和发展方向。在架空输电线路无人机巡检系统方面，介绍了固定翼无人机和旋翼无人机等不同类型无人机的系统组成、技术指标和适用范围、技术要求、巡检作业条件等内容；在旋翼无人机巡检技术方面，介绍了巡检作业特点、无

前言

人机巡检与人工巡视测试、巡检作业标准、典型应用案例等内容；在固定翼无人机巡检技术方面，介绍了固定翼无人机的技术特点、山地飞行改进、固定翼无人机巡检要求、固定翼无人机应用案例等内容；在作业组织方面，介绍了作业前准备、现场巡检作业、作业后管理、异常情况管理等内容；在试验检测方面，介绍了固定翼无人机和旋翼无人机等不同类型无人机的试验检测项目和试验要求等内容；在维修保养方面，介绍了固定翼无人机和旋翼无人机等不同类型无人机的存放要求、维护保养要求、维修等内容；在深化应用研究方面，介绍了巡检安全保障、缺陷智能识别、特殊环境地区巡检技术、无人机巡检作业管理等内容。

在试验检测方面，介绍了固定翼无人机和旋翼无人机等不同类型无人机的试验检测项目和试验要求等内容；在维修保养方面，介绍了固定翼无人机和旋翼无人机等不同类型无人机的存放要求、维护保养要求、维修等内容；在深化应用研究方面，介绍了巡检安全保障、缺陷智能识别、特殊环境地区巡检技术、无人机巡检作业管理等内容。

在本书编写过程，中国电力科学研究院和国网浙江省电力公司相关人员给予了大力支持和协助，提供了十分难得的素材和相关资料，并提出了十分宝贵的建议和意见。在此，向为本书编写工作付出辛勤劳动和心血的所有同仁表示衷心的感谢。

希望本书能对从事架空输电线路无人机巡检技术研究和应用的同仁有所帮助。由于编写工作量大，时间仓促，书中难免存在不足之处，望广大读者批评指正。

前 言

■ 第一章	概述	1
	第一节 架空输电线路	1
	第二节 无人机系统简介	2
	第三节 电力行业无人机巡检应用发展情况	4
■ 第二章	架空输电线路无人机巡检系统	7
	第一节 架空输电线路运行安全需求	7
	第二节 无人机巡检系统	11
	第三节 无人机巡检作业条件	26
■ 第三章	旋翼无人机巡检技术	35
	第一节 旋翼无人机巡检特点	35
	第二节 旋翼无人机巡检作业标准	45
	第三节 旋翼无人机典型应用案例	54
■ 第四章	固定翼无人机巡检技术	60
	第一节 固定翼无人机的技术特点	60
	第二节 固定翼无人机山地飞行改进	64
	第三节 固定翼无人机电力巡检要求及应用案例	68
■ 第五章	架空输电线路无人机巡检技术保障	77
	第一节 架空输电线路无人机巡检作业保障条件	77
	第二节 检测技术	95
	第三节 维修保障技术	109
	第四节 无人机巡检作业管理规范	120
	第五节 异常情况处理	123
■ 第六章	架空输电线路无人机巡检深化应用	127
	第一节 巡检安全保障技术	127

目 录

第二节	缺陷智能识别技术	132
第三节	特殊环境地区巡检技术	143
第四节	全真可视化虚拟无人机巡线控制技术	145
■ 附录 A	架空输电线路无人机巡检作业现场勘察记录单	152
■ 附录 B	架空输电线路无人机巡检作业工作票	153
■ 附录 C	架空输电线路无人机应急巡检作业单	155
■ 附录 D	架空输电线路无人机巡检系统使用记录单	156
■ 附录 E	固定翼无人机标准操作票及样票示例	157
■ 附录 F	小型旋翼无人机操作票及样票示例	160
■ 附录 G	旋翼无人机巡检飞行前检查工作单	163
■ 附录 H	固定翼无人机巡检飞行前检查工作单	164
■	参考文献	165



第一章

概 述

本章主要介绍架空输电线路无人机巡检系统基本定义，架空输电线路的特点，无人机系统的组成、功能，以及无人机在电力行业应用发展的情况等内容。

第一节 架空输电线路

一、基本概念

1. 架空输电线路

架空输电线路作为电力系统中至关重要的组成部分，是电力系统中电能传输、交换、调节和分配的主要环节，更是主要的电力运输方式。输电是用变压器将发电机发出的电能升压后，再经断路器等控制设备接入输电线路来实现的。按照输送电流的性质，输电分为交流输电和直流输电。

2. 架空输电线路组成组件

架空输电线路主要组成部分有基础、杆塔、导线、绝缘子、金具、防雷保护设备（包括架空避雷线、避雷器等）及接地装置。目前的输电线路还安装有附属件，如设备绝缘地线、导线载波通信等。

（1）导线。导线用来传输电流、输送电能。一般输电线路单相采用单根导线，但对于超高压大容量输电线路，为了减小电晕以降低电能损耗，并减小对无线电、电视等的干扰，多采用相分裂导线，即采用两根、三根、四根甚至多根导线（常为环形固定）。

（2）避雷线与接地体。避雷线悬挂于杆塔顶部，并在每基杆塔上均通过接地线与接地体相连接。当雷云放电雷击线路时，因避雷线位于导线的上方，雷电首先击中避雷线，并借以将雷电流通过接地体引入大地，从而减少雷击导线的概率，保护线路绝缘免遭雷电过电压的破坏，起到防雷保护的作用，保证线路安全运行。一般只有 110kV 以上电压等级线路才会全线架设，其材料常采用镀锌钢绞线。

（3）杆塔。杆塔用来支持导线和避雷线及其附件，使导线、避雷线、杆塔之间，以及导线和地面及交叉跨越物或其他建筑物之间保持一定的安全距离。

（4）绝缘子和绝缘子串。绝缘子是线路绝缘的主要组件，用来支承或悬吊导线使之与杆塔绝缘，保证线路具有可靠的电气绝缘强度。由于它不仅受到机械力和电压作用，

而且还要承受大气中有害气体的侵蚀,因此要求它具有足够的机械强度、绝缘水平和抗腐蚀能力。

(5) 金具。输电线路金具在架空输电线路中起着支持、固定、接续、保护导线和避雷线的作用,且能使接线坚固。金具种类很多,按照金具的性能及用途可分为线夹、连接金具、接续金具、保护金具和拉线金具五大类。

(6) 基础。杆塔基础是将杆塔固定在地面上的设施,以保证杆塔不发生倾斜、倒塌、下沉等。

3. 电压等级

目前我国常用的输电电压等级有 35、66、110、220、330、±400、±500、750、±800、1000kV。通常将 35~220kV 的输电线路称为高压(HV)线路,330~750kV 的输电线路称为超高压线路(EHV),750kV 以上的输电线路称为特高压(UHV)线路。

二、架空输电线路的特点

架空输电线路是将输电导线用绝缘子和金具架设在杆塔上,使得导线对地面和建筑物保持一定的距离。架空输电线路具有投资小、建设速度快、施工简单方便、容易发现各种故障和隐患,并且能够及时地对各种故障进行维修和处理,便于维修等特点。

远距离输电线路多采用架空输电线路,线路输送中容量较大,输送距离越长,要求线路电压就越高。

输电线路的阻抗能力逐步成反比,其在应用中存在的主要缺陷有容易受到风雪和雷击等自然因素的影响,从而容易引发各种安全事故。

由于架空线路分布很广,又长期处于露天运行,经常会受到周围环境和大自然变化的影响,故使线路在运行中会发生各种各样的故障。输电线路故障有雷击、风害、冰害、污闪、外力、舞动、鸟害等。

第二节 无人机系统简介

一、无人机系统的概念

无人机是无人驾驶飞机(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)的简称,是利用无线电遥控设备和自备过程控制装置操纵的不载人飞机。

无人机系统包括无人机机体、任务载荷、控制站(含有其他遥控站)、发射与回收分系统、保障系统、通信分系统、运输分系统等子系统。一般,无人机系统与有人驾驶飞机具有相同的组成部分,但是,对于机体部分,由于飞行员不在机上,设计时应考虑飞行员(作为一个子系统)通过人机接口控制机体,座舱位置被电子设备和控制子系统所替代。其他部分(如发射、着陆、回收、通信、保障、储运等设备)的设计与有人机系统是相同的。

一些媒体或宣传资料中经常将无人机与航模等混淆。但是无线电遥控航模飞机仅用于体育活动，其飞行需要在操控员的视线内，通常只控制航模的爬升、下降、转弯和盘旋等。而无人机则或多或少具有一定程度的“自主能力”，可以将任务数据（如将光电、红外、视频、图像等任务载荷数据，无人机的位置、速度、航向、高度等主要飞行状态信息）回传到地面。此外，还能根据实际需要回传飞机的剩余油量、发动机温度等工作状态参数信息等。

如果无人机任何一个系统或部件出现故障，无人机就会自动采取相应措施，或者向操控人员发出警报。例如，操控人员与无人机之间的通信链路中断，无人机可按照预先设计寻找无线电波，重新建立链路，如果有多条通信链路，还可以切换到另外一个不同频段的链路上，或者按照预先设定的路径继续飞行或返航。

二、无人机系统的组成及功能

1. 组成

绝大多数人认为无人机是一种用计算机和无线电链路取代飞机驾驶员的飞机。实际上，无人机要比该定义有更多的外延，无人机机体只是无人机系统中重要的组成部分，必须从一开始就按照无驾驶员、无座舱的模式进行恰当的设计。无人机作为一个完整的系统，其组成如图 1-1 所示。

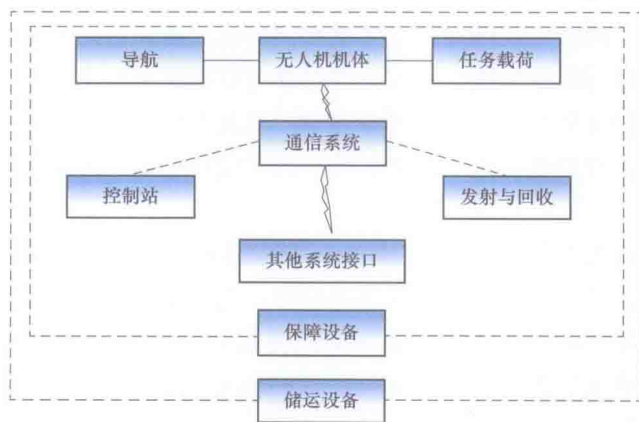


图 1-1 无人机系统组成框图

2. 功能

- (1) 控制站（Control Station, CS）。提供系统操控人员的工作环境、人机接口。
- (2) 无人机机体。携带任务载荷，可具有多种类型。
- (3) 通信系统。连接控制站与无人机机体，完成从控制站到无人机机体的控制输入和输出，从无人机机体到控制站回传任务载荷及其他数据信息。
- (4) 保障设备。包括维护和修理的设备。
- (5) 储运设备。用于无人机机体存储、运输的设备或器材。

第三节 电力行业无人机巡检应用发展情况

架空输电线路无人机巡检是指利用无人机搭载可见光拍摄、红外、紫外检测等任务设备对输电线路进行飞行巡检，并实时将现场的情况传回地面监控系统，以便做出正确判断并及时排除线路故障。无人机巡检系统具有应急启动快、巡检效率高、成本低、机动灵活、远程控制等特点。

一、无人机巡线在国外的发展现状

发达国家依托自身先进的无人机技术，在无人机巡线领域处于领先地位。与国内主要进行硬件开发不同，发达国家已经关注于后续的图像、数据处理方面的研究，甚至激光雷达巡线技术也已经应用于无人机上。最早利用无人直升机巡线的是英国的威尔士大学和仪埃电力咨询公司。英国威尔士大学班戈分校于1995年起与仪埃电力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 CCD 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，英国威尔士大学和仪埃电力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。该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。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。

英国威尔士班戈大学的 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，供巡线时直升机所消耗的能源。该款机型在开展巡线方面主要具有两大优点：①可以自动从运行的线路上提取电力能源；②与巡检线路距离非常接近，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。

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线系统，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、混凝土杆杆身裂纹、导地线断股等主要缺陷。研究人员还通过构建线路走廊三维图像来识别导线下方树木和构筑物，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、构筑物距导线的距离。

西班牙马德里理工大学开发了基于计算机视觉技术的无人机导航系统的研究。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线导航，

可以自动检测无人机相对于参照物的地理坐标和速度。在对架空输电线路巡检试验中,应用计算机视觉技术,导航系统可以准确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,从而绕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。

澳大利亚联邦科学与工业研究组织(GSIRO)通信技术中心的研究人员致力于小型的T21型巡线无人直升机的研发。其最大特点是由微型燃气轮机提供动力。比燃油机、电动机的最大优势是机体振动大幅度降低,把振动对巡线的影响降至最低。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型无人直升机机身体积虽然较小,但巡检功能齐全、性能先进,是今后架空输电线路巡线无人直升机的发展方向。

二、国内无人机巡线现状

2009~2013年,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机巡线的研究和应用,取得了阶段性成果。

国家电网公司电力机器人实验室进行过无人直升机的巡线研究,取得阶段性的成果,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线实验。实验结果表明,在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线技术的研究,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500、220kV输电线路的实地巡线工作。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研究。国网辽宁省电力公司与沈阳自动化研究所合作,开展120kg级无人机巡检系统的研制。国网福建省电力公司和国网四川省电力公司开展了450kg级无人机开发巡检系统,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,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,有效减小目标搜索运算量,加快搜索速度,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。清华大学在2012年年底提出一种无人机的视觉定位与避障方法及系统,通过无人机机载相机获取无人机的视觉感知信息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,测量粒度较大,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,重量较大,中、小型无人机难以搭载,实用化程度不高。南京航空航天大学在2013年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,实现无人机电力巡线的多重避障。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还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,但安全性、稳定性,起降准确性,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、山东、山西、湖北、重庆、四川、浙江、福建、辽宁和青海10家试点单位及国网通航公司和中国电力科学研究院,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DL/T 1482—2015《架空输电线路无人机巡检技术导则》、DL/T 1578—2016《架空输电线路无人直升机巡检系统》等多项标准,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。

在科技项目研究方面,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、国网福建省电力公司、国网辽宁省电力公司、国网通航公司、南瑞集团公司等开展无人机巡检实用化关键技术与检测体系研究“小型旋翼无人机巡检安全保障技术及作业方式优化研究”等项目。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。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和无人机检验检测专用设备研制等方面取得了很多进展。

第二章

架空输电线路无人机巡检系统



架空输电线路无人机巡检是指利用无人机作为载体,通过搭载可见光照相设备、红外热像仪、紫外探测仪等设备,对架空输电线路杆塔或导线破损、覆冰、本体缺失、弧光放电、污闪等危险情况进行经常性检查的工作。架空输电线路无人机巡检系统是运用无人机对架空输电线路进行巡检所应用的无人机、机载任务设备、通信设备及地面保障设备等的总和。本章从架空输电线路运行安全需求出发,主要介绍无人机巡检系统的组成、技术要求、作业方式及作业条件。

第一节 架空输电线路运行安全需求

架空输电线路的安全影响到人们的正常生活、关系到国家地区经济生产、甚至会对国家安全造成威胁。影响输电线路安全运行的因素较多,其发生的条件、特征及产生的后果各不相同,对不同条件下的危害开展维护的方式方法也有区别。

一、影响输电线路安全运行的因素

影响输电线路安全运行的因素较多,本书主要介绍雷击、外力破坏、鸟害、覆冰、污闪、风害和本体缺陷七类危害。

1. 雷击

高压输电线路在雷雨季节遭受雷击的可能性很大。线路遭受雷击通常有三种情况:

- (1) 雷击于线路导线上,产生直击雷过电压。
- (2) 雷击避雷线后,反击到输电线上。
- (3) 雷击于线路附近或杆塔上,在输电线上产生感应过电压。

无论是直击雷过电压还是感应过电压,轻则可引起线路绝缘子闪络,从而引起线路单相接地或跳闸,重则引起绝缘子破裂、击穿、断线等事故,造成线路较长时间的供电中断。

2. 外力破坏

外力破坏电力线路引起的故障分布面广,情况较复杂,而且越来越多。例如:在山区,开山炸石很容易炸伤绝缘子、炸断导线;在线路经过的下方燃烧农作物、森林火

灾,火焰和浓烟易导致线路跳闸;在线路保护区内施工的大型吊车、挖掘机有时会碰断导线、撞坏塔杆等。此外,盗窃塔材、拉线等电力设施及在输电线路下钓鱼、违章施工等均会造成输电线路的外力破坏。

外力破坏对输电线路造成的破坏由于其具有很大的不确定性,所以其对输电线路的危害也较大。

3. 鸟害

鸟害是指鸟类繁衍和活动给输电线路造成的危害,如鸟类筑巢、鸟类飞行、鸟粪闪络等。

随着人类对自然生态环境保护意识的加强,鸟类繁衍数量逐渐增多,活动范围日趋扩大,其活动对输电线路造成了极大危害,近年的统计资料表明,由于鸟类活动引起的线路故障仅次于雷害和外力破坏,占线路故障总数的第三位。

4. 覆冰

覆冰是电力系统冰冻灾害的一种,是在低温雨雪天气里,由于湿度高,大量水气凝聚在导线表面造成的。覆冰带来的危害包括:

(1) 杆塔两侧的张力不平衡,出现导线断落冲击荷载造成倒杆。

(2) 结冰的电线遇冷收缩,风吹引起震荡,电线会因不胜重荷而断裂,即使不断舞动时间过长,也会使导线、塔杆、绝缘子和金具等受到不平衡冲击而疲劳损伤。

由覆冰、舞动引起的输电线路倒杆(塔)、断线及跳闸事故会给电力系统的输电线路造成重大的损害,更会威胁到电网的安全稳定运行和供电系统运行的可靠性。

5. 污闪

污闪是输电线路绝缘表面附着的污秽物在潮湿条件下,其可溶物质逐渐溶于水,在绝缘表面形成一层导电膜,使绝缘子的绝缘水平大大降低,在电场作用下出现的强烈放电现象。

污闪形成的原因主要是在输电线路经过的地区,由于工业污秽、海风的盐雾、空气中的尘埃等污秽物渐渐积累并附着在绝缘子表面,形成污秽层。这些污秽物含有酸碱和盐的成分,在干燥时导电性不好,遇水受潮后,具有较高的导电系数。当下雨、积雪融化、下雾等不良天气时,污秽绝缘子的绝缘强度大大降低,引起绝缘子在正常运行电压下发生闪络。

由于污闪而造成的大面积停电,称为线路的污闪事故。

6. 风害

风害是指当风速超过或接近设计风速,加之线路本身的局部缺陷(如超过杆塔机械强度),使杆塔倾倒或损坏、导线产生振动、跳跃和碰线,从而引起输电线路故障。此外,同塔双回线路若不同步风摆可能造成混线短路故障。

台风是高压架空输电线路安全运行的重大威胁。

7. 本体缺陷

本体缺陷是指由于线路工艺、电气距离等问题,或材料质量等本体缺陷原因,在长时间受微风振动、气温变化的影响下造成的线路故障。

二、输电线路的运行维护

输电线路的运行维护是通过巡视检查方法对线路设备进行运行监视、发现缺陷,从而掌握线路运行状况及周围环境的变化,及时发现设备缺陷和危及线路安全的因素,以便及时消除缺陷,预防事故的发生。

输电线路巡视是为掌握线路的运行情况,及时发现线路本体、附属设施及线路保护区出现的缺陷或隐患,并为线路检修、维护及状态评价(评估)等提供依据,近距离对线路进行的观测、检查、记录工作。

1. 巡视类型

根据不同的需要线路巡视可分为正常(定期)巡视、故障巡视、特殊巡视三种。

(1) 正常巡视。经常性的线路巡视工作用来掌握线路各部件运行情况及沿线情况,及时发现设备缺陷和威胁线路安全运行的隐患。正常巡视的目的在于经常掌握线路各部件运行状况及沿线情况。

(2) 故障巡视。故障巡视是为了查明线路发生故障(接地、跳闸)的原因,找出故障点并查明故障原因及故障情况而开展的巡视工作。

(3) 特殊巡视。特殊巡视是在气候剧烈变化(大雾、导线覆冰、大风、暴雨等)、自然灾害(地震、河水泛滥、森林起火等)、线路过负荷和其他特殊情况时,对全线某几段或某些部件进行巡视,以发现线路异常现象及部件变形损害而开展的工作。

特殊巡视根据需要应及时进行,一般巡视全线、某线段或某部件。特殊巡视还包括夜间、交叉和诊断性巡视、登杆塔巡查、监察巡视。

2. 巡视内容

无论是正常巡视、故障巡视,还是特殊巡视,其检查的内容均应包括:

- (1) 检查沿线环境有无影响线路安全的情况。
- (2) 检查杆塔、拉线和基础有无缺陷和运行情况的变化。
- (3) 检查导线、地线(包括耦合地线、屏蔽线)有无缺陷和运行情况的变化。
- (4) 检查绝缘子、绝缘横担及金具有无缺陷和运行情况的变化。
- (5) 检查防雷设施和接地装置有无缺陷和运行情况的变化。
- (6) 检查附件及其他设施有无缺陷和运行情况的变化。
- (7) 检查相位、警告、指示及防护等标志缺损、丢失,线路名称、杆塔编号字迹不清。

3. 巡视的方法

我国国民经济的持续快速发展对电力工业提出了越来越高的要求。近年来,架空输电线路里程不断增加,但是输电线路基层运检人员的数量并没有成比例增长,线路运维工作日益繁重,运检部门迫切需要自动化、现代化、高效率的巡线技术和手段。目前关于架空输电线路的巡检工作主要有有人工巡检、直升机巡检、无人机巡检三种巡检方式。

(1) 人工巡检。人工巡检是指电力巡检人员通过徒步、车辆等方式到达架空输电线路附近,在线路下方或通过登塔在杆塔上利用携带的可见光、红外灯巡检设备进行线路