

# 输电线路无人机与人工协同巡检模式分析

王俊

国网山西省电力公司朔州供电公司

**摘要:**随着无人机巡检的持续深化,“无人机+人工”协作巡检方式已实现,巡检效率大幅提高,然而现有的运行与检测方式仍面临数据价值挖掘不足、数据未共享、效率低、可视化程度低、对一线作业控制能力不足等问题,无法满足新科技对效率提高与管理需求的需求。在运用无人机巡检作业时,受到有关方面的限制,常常会出现一些“盲区”,难以确保巡检工作的整体性,此时必须依靠人工巡检来弥补。基于此,本文就输电线路无人机和人工协同巡检模式进行了探讨。

**关键词:**无人机;输电线路;巡检模式;人工协同

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2022.07.075

在社会经济快速发展的背景下,输电线路的可靠运行问题越来越引起社会的重视,为了提高供电可靠性,巡线维护自动化和现代化已日益显示出其迫切性。在输电线路中采用人工方式进行巡检,工作量大、条件艰苦,尤其是在山地、江河等大型电力系统中更是难上加难。近年来,基于无人机的输电线路巡检成为一种新型的巡检模式。采用携带巡视器的无人机巡检可以有效地减少人员的损失,从而大大地提高了巡视的速度。该方案具有高效、经济和安全等优点,已逐渐引起人们的关注。

当前,对无人机巡检技术的研究主要集中在无人机导航、飞行控制、红外探测以及通信链路干扰等领域;但是,当无人机携带航空装备巡测输电线路杆塔时,受空中巡检装置监控范围限制,会出现巡查“盲区”,因此缺乏必要的协作巡检。日前,国家电网公司印发了关于输电线路直升机、无人机和人工协同巡检模式试点工作方案的通知。当三种巡检方式同时运行时,其中的载人直升机由于飞机尺寸和经济性等原因,无法适应短程传输和多条平行的线路通道狭窄条件下的巡视检测。

通过对常规人工巡检和无人机巡检方式的比较,以及两者在巡检中存在的疵点程度的比较研究。通过对一条传输线进行实例计算,得出两种方式协同作业时的巡检范围,为实现地面、空中一体化立体巡检工作奠定基础。

## 一、输电线路巡检方式及巡视目的

当前,输电线路巡检的作业按其要求可分为常规巡视、故障巡视和专项巡视三种。常规检查:由巡检人员定期对线路所做的检查,主要是对线路设施(即线路主体及辅助设施)及线路保护区的检查。故障巡检:由运营部门进行的线路巡查,以确定线路的故障点、原因和发生的条件。专项巡视:指在特殊条件或必要时,采取特别巡视方式的巡视。

巡查的目标就是要对线路本体及附属设备存在的问题和隐患进行检测,在线路保护区内进行建房、修路、

铺设管线等工作,有没有可能危害到人员的生命和线路的正常运转,同时也可以为线路的检修、维修和状态评估等工作提供参考。

## 二、巡检模式的简介、相应特点及无人机巡检的重要性

### 1. 人工巡检

人工输电线路是指依靠手持望远镜和背上携带的红外热成像等巡视仪器进行巡视。高压输电线路的运行管理模式和常规的作业方式,输电线路的巡检工作存在着劳动强度大、工作条件艰苦、工作效率低下等问题,在遭遇电网突发故障或天气情况时,线路工作人员并不具备良好的运输条件,这样的巡检方法已不能充分满足现代电网建设和发展的需要。目前迫切需要一种先进、科学、高效的输电线路巡检方法。

### 2. 无人机巡检

无人机是一种通过无线远程控制装置或者自己编程的方式来操纵的无人机。基于无人机的输电线路巡检是当前新能源科技发展的新趋势,可分为三大类:小型旋翼机、无人直升机和固定翼无人机。每一种类型的无人机都有自己的优势和劣势,这就导致了它们的应用领域也各不相同。基于对输电线路巡检的特殊要求,应按实际情况选用适合不同类型的无人机。

#### (1) 小型旋翼机

小型、重量轻、操作灵活、易于起飞和降落,对交通环境的需求较少,但其持续时间较短、充电周期较长、可搭载的观测和探测装置较少,且单个任务可执行的巡视任务较少。此类机型可配备到巡线班组,跟随班组深入线路现场,去执行那些人力很难去到的高山或者陡峭的岩壁上进行巡线,这是对人工巡线的一个有力的辅助。

#### (2) 固定翼无人机

航程长,速度快,适合空中侦察和大范围的地形侦察,但是由于速度太快,不能看到详细的情况。它具有

尺寸大、重量大、航程远、可搭载的观测和探测装置多、巡检效率高、加油便利等优点，但需配备大型运载工具，起降需要有专门的跑道，而且对地面的路况也有很高的需求。该型号与遥控装置相结合，非常适合在长线路上进行快速、高效率地巡检，具有较好的应用前景。

### (3) 无人直升机

其主要性能指标为固定翼和小转子，具有体积小、续航能力强、起飞降落容易、可实现定点悬停、便于对导线进行细致观察等优点。它可以与特定的巡视任务相配合，既可以进行长途巡线，也可以配合小队进行复杂的作业。多旋翼无人机重量轻、携带设备少、续航里程少，尽管可以完全替代人工巡检杆塔等作业，但其抗风性比较弱，无法取代表人直升机进行输电线路的全面巡检。

## 三、当前输电线路巡检现状

输电线路是输送电能的重要设备，同时也是保证人民生活用电的关键设备。随着我国输电线路建设规模逐年增大，因此，在恶劣的天气、地形情况下，进行输电线路巡检工作对电力企业来说是一件非常困难的事情。以下是关于国内输电线路巡检的情况。

### 1. 巡视环境复杂多变

近年来，国内的电力工业发展迅猛，许多地方都有了供电，但许多的输电线路都地处人迹罕至的地方，地形复杂、天气恶劣，比如，西北的输电线路多建在山顶，杆塔多在人迹罕至的地方，这就增加了巡检的困难，另外，由于山顶的天气多变，也给巡检工作造成了很大的障碍，供电公司不得不加大了人力、物力和财力的投入，同时由于巡检工作具有风险，因此，监督和成效并不理想。

### 2. 巡线内容不断增加

输电线路的巡检工作涉及许多方面，还包括了许多方面，比如，输电线路能否正常运行，环境腐蚀、回填土沉降是否超标，杆塔基础状况是否良好，保护装置能否正常工作等。同时也要对辅助设备进行检查，比如保护装置是否能够顺畅运行，紧固件是否完好、警示标志是否存在、监测设备是否能够正常运行等，因此，巡检人员的工作负荷非常重，并且这一工作对巡检人员的综合素质提出了较高的要求。此外，巡视人员还需要对线路的环境进行检测，其重点包括：检测地面活动情况、线路是否与周边物体保持一定距离、线路四周是否有沉降等。此外，由于输电线路的发展，巡检人员的工作也越来越多。

### 3. 人工巡检存在困难

目前许多供电公司使用的是人工巡检和无人机巡

检，不过，人工巡检的成本更高，风险也更大。巡检人员必须携带专门的仪器，对所安装的导线地点进行巡查，不管是在深山山谷，或是在无人之地，都要亲临现场、攀登杆塔，哪怕是在最坏的情况下也要坚守岗位，一旦出现了安全问题，就会有生命危险。无人机巡检可以降低工作风险，节约劳动力，但是培训周期太久，加之驾驶员技能高低不一，很可能导致“炸机”事件。另外，在操作员的指导下进行巡视，很可能造成错误，比如，每一名驾驶员拍摄的照片都不一样，拍摄的角度、位置也不一样，另外，巡检工作还会耗费大量的经费。然而该方法也具有一定的局限性，比如对人员的技术水平提出了较高的要求，同时还要求操作者长期专注于操作等。此外，随着无人机巡检任务的增多，作业人员在巡检过程中频繁出现意外。如果两名熟练程度不一的员工在同一线路上巡逻，则会得到不同的结论。为减少无人机巡检费用，提升巡检精度与工作效率，亟须研究更为先进、安全、可靠的巡检方法和策略，成为电网企业下一步要着力解决的难题。

## 四、线路巡视优缺点分析

### 1. 人工巡检的优缺点

常规的人工检查以地表检查为主，即在塔底下或在线路通道下用肉眼或望远镜观察，还需要了解塔上的小铁，是否完好，金具、瓷瓶、螺丝等有无缺失和破损，导线有没有损坏，有没有断股，需要爬上杆塔去查看；其次，部分的输电线路都是在山地上，一般的交通工具都是从山下开过去的，需要很久才能抵达，这不仅耗时耗力，而且巡逻的效率也很差。目前，对公路隧道保护区进行测量时，仅凭目测或凭经验进行估算，所得资料不够精确，且易产生错误判断。

不过，人工巡检也有它的特点，如果使用人工巡检，则可以让工人清楚地了解到路线的一些细微之处，以及一些基本的状况；可以熟悉每一级塔位的路径，在遇到意外的时候，可以第一时间和有关部门和工作人员联系，在巡检的时候还可以做好电力设施的防护，预防火灾的知识，并对某些问题进行应急处理。随着电网结构的日益强大，输电线路网的发展和升级，设备的数量也在增加，巡检任务也在增加，操作人员已经渐渐难以承受这样的负荷，迫切需要一种新的巡检技术来帮助他们。

### 2. 无人机巡检的优缺点

在科技发展的今天，无人机被广泛使用。它可以通过无线远程操控无人机，也可以通过编程来执行某些特定的任务。随着科技的进步，无人机的体积可以变大变小，它很容易携带，而且拥有很强的能力，可以完成各种各样的任务。例如，人工测量树木、竹子、风偏等的

距离,要借助全站仪等多种仪器,进行繁琐的运算,而使用无人机的测距镜头和内置的算法,在拍摄完图片之后,就能算出所需的数据。不需要人工攀爬,只要控制着无人机,一到两分钟就能将塔顶的每一个角落都拍下来。而且,部分杆塔都是建在山上的最高层,只要站在山脚下就能控制着无人机在山上拍照,这样就能极大地减少工人的负担。

无人机在电力输送线的巡逻中起到了很大的作用,不过因为科技的进步,无人机也有自己的局限性,比如它的持续时间很短,所以它必须要用人手才能抵达,同时它的飞行距离也受到了限制,除此之外,它的科技也很发达,因为森林和树林的遮挡,它的视野会受到很大的限制,如果没有足够的应急措施,很有可能会导致无人机坠毁。

## 五、巡检工作面的分析及巡检模式的配合

### 1. 巡检工作面的划分

为了达到真正的无人机和人工协作巡视,确保电力系统的安全、有效地运行,需要对巡视范围和作业面进行分区。通常情况下,在实际的巡检工作中,有关工作人员应该结合输电线路的具体巡视内容,根据特定的规则将两种巡视方式的巡视范围和工作面进行划分,从而最大限度地两种方式的各自的特点与优势都得到了最大限度地利用,从而提高了巡检工作的效率。

按照输电线路巡检的详细内容,可以将无人机和人工巡检的工作接口按照特定的规则进行分割,使二者各自具有优势和优势,实现优势互补,相互协作,提升效能。

人工巡线与无人机巡线,可将其分为不同的工作区域,其中,无人机主要监测位于塔架顶部的地线、导线、绝缘子串、间隔棒、震击锤等,而人工巡检则主要监测塔顶及下方各种类型的缺陷。即在观测目标上,对导线、金具、绝缘子等进行观测,无人机在高空采取俯视方式巡视,而人工利用望远镜进行仰视观测。从不同的角度来看,这种巡视方法可以很好的检测到单个的缺陷和危险。

无人机能够在作业区域内保持较高的悬停高度,贴近巡视目标,实现低飞;在飞机因引擎失效而停止时,通过旋转翼的旋转实现了无人机的平稳降落,巡视期间不会对输电线路造成任何干扰。

### 2. 巡检模式的配合

无人机巡逻的方式有很多,最简单的一种为把小型摄像机和照相机固定在吊舱内。拍摄电线及绝缘子时,只能由一人操纵,返回后可观看视频。一种是利用无人机对数据链路进行监控,将可见光和红外热成像的远程图像传输到监控画面上,进行分析,如果有疑似目标,可以在空中盘旋、仔细搜索,可以同步监控视频,返

后再对其进行分析。对某些可疑点,经分析仍无法确认,可结合现场人员巡视现场检查,如有需要可到杆塔上进行操作。在进行巡视时,如果要进行人工巡检,首先要进行无人机巡检,鉴于上述的故障疑视点,需要人工巡检返回到故障疑视点,将会影响到巡线的效率。因此,在制订无人机巡检计划时,必须先制订人员巡视计划,并在塔底开展巡检工作,并对无人机探测到的可疑地点进行巡视。

某输电线路在无人机选型方面,通过对线路进行调研,对线路的走向、断面以及走廊宽度进行分析,最终选定了一种最大承载能力8kg,最大起飞质量15kg,机翼长1840mm的无人直升机。在此基础上,建立了无人机与人工协同巡检作业,并制订了巡视程序,以避免漏检、再检等现象。在巡视过程中,巡视的重点是杆塔。对杆塔头部及以上部位出现的故障,采用自上而下的检查方式,对地线、导线、绝缘子及金具进行检查。人工巡检是对地表巡检作业的一项重要工作,也必须制订出一套完整的地表巡检程序。针对塔架头部以下常见故障,从下至上进行了接地类故障、通道类故障、拉线类故障、基础类故障及杆塔类故障的排查。至于出现的问题,则采取了两种不同角度的巡逻方式。

## 结论

(1)人工巡线受地形、气候等因素的制约,作业量大,作业环境恶劣,作业效率低下。这样的巡视检测方法,已不能满足现代电力系统的建设和发展需要。(2)无人机巡检可以很好的检测到塔架顶部的缺陷,而人工巡检则可以很好的检测到塔架底部的缺陷。(3)根据输电线路的典型失效情况,研究基于海拔分割的两种监测方式,确定两种方式协同作业方式下的作业面和作业过程,为实现地、空一体化立体监测奠定基础。

## 参考文献

- [1]黄谨益.电力输电线路巡检中无人机的应用[J].电子技术与软件工程,2019(1):233-233.
- [2]李安泉.论基于地理信息的输电线路无人机巡检系统[J].通讯世界,2017,23(15):103-104.
- [3]李宁,郑仟,谢贵文,陈炜.基于无人机图像识别技术的输电线路缺陷检测[J].电子设计工程,2019,27(10):102-106.
- [4]张昌赛,刘正军,杨树文,左志权.大型无人机输电线路巡检数据采集与处理关键技术[J].测绘通报,2017(S1):136-139.
- [5]诸葛葳.无人机巡检输电线路技术的应用探析[J].科技经济市场,2015(5):16-16.
- [6]黄慧杰,詹斌.小型无人机在电力线路巡检中的技术应用[J].电工技术,2017(11):97-98.