

## 无人机在带电水冲洗与带电喷涂技术的研究与应用

王 勇 刘 频

河南恒安电力股份有限公司, 河南 郑州 450000

**[摘要]**随着现代工业技术的不断发展,人们越来越依赖于对机器的运用。在广泛运用机器替代人工的社会背景之下,无人机以其灵活性、便捷性、高效性等特征,受到了人们的广泛青睐。特别是对一些具有较大危险性以及对人力资源消耗较大的工作来说,使用无人机进行相关操作不仅能够有效降低危险性,还能够一定程度实现对人力、物力资源的节约,同时还可以有效缩减工作时间,提高工作效率。输电线路无人机带电冲洗技术与无人机带电喷涂技术正是在此种背景下,产生的一种新兴技术,尤其是在输电线路紧急消缺方面。能够有效降低带电水冲洗及带电喷涂防污闪涂料的危险性,以及进一步提高工作效率。文中主要对无人机带电水冲洗技术与带电喷涂技术的可行性进行研究,希望能够为相关行业提供一些理论参考。

**[关键词]**无人机; 带电冲洗技术; 带电喷涂技术; 应用

DOI: 10.33142/hst.v6i6.9786

中图分类号: TM216

文献标识码: A

### Research and Application of Drones in Electric Water Flushing and Electric Spray Technology

WANG Yong, LIU Pin

He'nan Heng'an Power Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450000, China

**Abstract:** With the continuous development of modern industrial technology, people are increasingly relying on the use of machines. In the context of the widespread use of machines to replace manual labor, drones have been widely favored by people due to their flexibility, convenience, efficiency and other characteristics. Especially for jobs with high risks and high human resource consumption, using drones for related operations can not only effectively reduce the risk, but also achieve a certain degree of savings in human and material resources. At the same time, it can effectively reduce work time and improve work efficiency. The unmanned aerial vehicle live flushing technology and unmanned aerial vehicle live spraying technology for transmission lines are emerging technologies in this context, especially in emergency defect elimination of transmission lines. It can effectively reduce the danger of electric water flushing and electric spraying of anti fouling flash coatings, and further improve work efficiency. The article mainly studies the feasibility of unmanned aerial vehicle live water flushing technology and live spraying technology, hoping to provide some theoretical references for industries.

**Keywords:** drones; live flushing technology; electric spraying technology; application

#### 引言

带电水冲洗技术是一种用于对 220kV 及以下电压等级的变电设备及 500kV 及以下输电线路设备带电水冲洗防污闪的技术,近年来随着社会对电力需求的不断升高,电力线路停电检修越来越难,但有些输电线路运行多年,设备表面积了大量的污秽,给设备的安全运行带来了很大的隐患,在极端天气到来时,又不能停电开展清洗消缺工作,只能选择带电作业方式进行清洗消缺。但常规带电水冲洗工作局限性比较大,对操作人员资质要求也较高,实际操作起来风险性也较。由此,无人机带电水冲洗技术应运而生,当输电线路设备因污秽较多出现爬电、污闪等缺陷时,能及时针对缺陷点进行带电冲洗,以完成消缺工作,保障设备的安全运行。在输电线路喷涂工作时,有些设备因喷涂位置所限,施工难度大,周期长,所需要的人工成本较高,且有部分喷涂设备因喷涂时间长,电力设备涂层被破坏,需要进行补涂时,需要停电进行复涂,停电申请周期长,此时,就可以利用无人机开展带电喷涂作业,针对施工难度大位置及涂层缺陷点,进行带电喷涂,提高

了喷涂效率,降低喷涂成本。同时,减少了设备停电时间,增加了效益。由此可以看出,无人机带电水冲洗与带电喷涂技术对于促进相关行业的发展具有一定的现实意义。

#### 1 无人机带电水冲洗与带电喷涂技术的产生的现实条件

无人机技术是在近些年科学技术不断发展下,产生的一项新兴技术,可以通过远程控制的方式对无人机的运行状态进行自主调节,并且还能够将其他各种设备搭载在无人机上,来实现各种功能。例如,可以搭载摄像机,实现无人机摄像功能;可以搭载灭火设备,实现无人机灭火功能等。带电水冲洗技术是一种用于对 220kV 及以下电压等级的变电设备及 500kV 及以下输电线路设备带电水冲洗防污闪的技术,近年来随着社会对电力需求的不断升高,电力线路停电检修越来越难,但有些输电线路运行多年,设备表面积了大量的污秽,给设备的安全运行带来了很大的隐患,在极端天气到来时,又不能停电开展清洗消缺工作,只能选择带电作业方式进行清洗消缺。但常规带电水冲洗工作局限性比较大,对操作人员资质要求也较高,

实际操作起来风险性也较。由此,无人机带电水冲洗技术应运而生。另外,在输电线路喷涂工作时,有些设备因喷涂位置所限,施工难度大,周期长,所需要的人工成本较高,且有部分喷涂设备因喷涂时间长,电力设备涂层被破坏,需要进行补涂时,需要停电进行复涂,停电申请周期长,此时,就可以利用无人机开展带电喷涂作业。由此可以看出,无人机带电水冲洗与喷涂技术具有相应的现实条件。

## 2 无人机带电水冲洗技术

无人机带电水冲洗技术主要用于对处于运行状态500kV及以下输电线路设备进行带电水冲洗施工。能够一定程度上减少带电水冲洗操作的风险,能大幅提高防污闪消缺的工作效率。目前,无人机带电水冲洗技术已广泛运用于高压输电线路的防污闪消缺。笔者主要从无人机冲洗方向、水柱形状、无人机清洗用水以及冲洗方式等方面对无人机带电水冲洗技术进行阐述。

### 2.1 无人机冲洗方向

在输电线路建设中,为保持绝缘,一般采用瓷质及玻璃绝缘子作为绝缘体,在长期运行中,绝缘体表面积累了大量的污秽,当极端天气到来时,当绝缘体表面污秽积累到一定程度,但受到雨水冲刷或者是受到其他水流冲刷,待冲洗的脏污就会在外力作用下,出现溶解现象。并且由于受到重力作用的影响,脏污会随着冲刷水流下沉至带电装置的底面,随着脏污的堆积,下表面则存在脏污凝结的现象。例如,输电线路由于长期受到雨水冲刷,大气中的污染物质往往随着雨水聚集在线路的下表面。当污秽积累到一定程度,潮湿天气就容易出现爬电现场,导致污闪事故发生,因此,在利用无人机对输电线里绝缘子进行冲洗时,就需要将水柱按照从下向上冲洗的角度,自导线侧向接地侧依次冲洗,冲洗时,根据积污程度采用多次回扫冲洗的方式进行冲洗,以达到较好的冲洗效果。另外,控制无人机冲洗角度,能够有效提升冲洗效果。当使水柱与无人机中心轴的夹角为90度时,往往能够达到较好的清洗效果。不过为了无人机在使用过程中的安全性,在实际的冲洗过程中,往往将其中心轴与水柱的夹角调整为60度。

### 2.2 无人机水柱形状

使用无人机对输电线路绝缘子进行冲洗时,其水柱形状应呈支柱状,这也是带电水冲洗过程中一种较为常见的水柱形式。但在实际的带电水冲洗工作中,也需要根据实际情况,来选择合适的水柱形状。当无人机承载力大,可以配置大压力水泵或者是加压装置来为无人机提供足够的动力时,冲洗单串耐张绝缘子时,也可采用扇形水柱对设备进行带电清洗。

### 2.3 无人机清洗用水

根据电力安全相关规程要求,带电水冲洗作业时,带电清洗用必须经过反渗透净化处理,并根据实际冲洗设备电压等级不同,选择相应的电阻率的清洗用水,从而保障带电水冲洗作业的安全性。无人机带电水冲洗作业时,每

次冲洗前都应用合格的电导率仪测量水电阻率,测量时应从水枪出口处取水样进行测量。进行线路带电水冲洗的水必须经过净化,净化后的水电阻率应该符合表1的要求(在本文中,主要以20摄氏度条件下,单位体积的水电阻为指标,设计无人机带电水冲洗作业用水标准)。

表1 无人机带电水冲洗作业用水标准表

| 电压等级                       | 110 kV    | 220 kV    | 500 kV     |
|----------------------------|-----------|-----------|------------|
| 水电阻率 ( $k\Omega\cdot cm$ ) | $\geq 50$ | $\geq 50$ | $\geq 100$ |
| 水电导率 ( $\mu S/cm$ )        | $\leq 20$ | $\leq 20$ | $\leq 10$  |

### 2.4 无人机冲洗方式

在对带电设备进行冲洗时,需要按一定的顺序(见图2)开展水冲洗工作。无人机原则上应在输电线路外线侧进行清洗,清洗前应进行试枪,保证水柱长度足够、不散,并注意清洗枪严禁触碰导线。当冲洗输电线路垂直安装的悬式绝缘子串时,应从导线侧向接地侧依次冲洗,此时往往采用由下至上的顺序开展冲洗工作。当冲洗横向安装的耐张绝缘子串时,应先从导线侧绝缘子向接地侧,横向进行清洗。冲洗绝缘子时,应逐片冲洗,水柱冲洗行进时要缓慢,应根据污秽类型,积污程度,及时回扫,回扫要迅速,不留死区。冲洗双联绝缘子时,应采用单枪交替法进行冲洗。

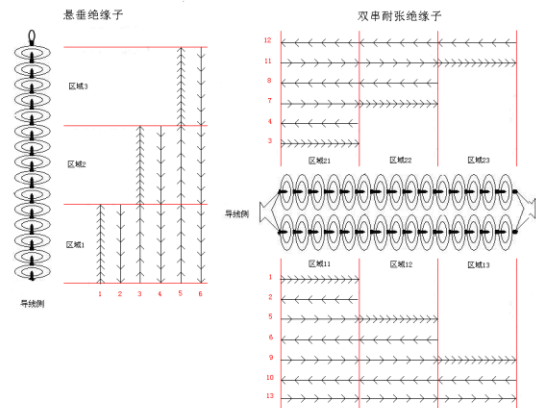


图1 一冲三回(单枪冲洗)、一冲三回(单枪交替)冲洗顺序

注:图中数字顺序为冲洗顺序,密集箭头表示逐片冲洗,动作需要缓慢;非密集箭头表示回扫,动作需要迅速。

## 3 无人机喷涂技术

无人机喷涂技术是无人机和喷涂作业相结合的一种技术,通过对无人机进行操控,来实现带电喷涂作业。当需要喷涂的面积小或喷涂位置人力难以到达时,采用无人机喷涂技术将能够有效减少人力物力成本,并且能够有效提高喷涂效率。笔者主要从无人机喷涂操作方式以及无人机喷涂控制方式等方面来对无人机喷涂技术进行阐述。

### 3.1 无人机喷涂操作方式

在采用无人机技术开展喷涂作业时,无人机一般先定位至需要喷涂部位的顶端,然后,操作人员再设定无人机的飞行线路以及飞行姿态。常见的无人机喷涂飞行模式主

要有上下竖排飞行以及左右横排飞行两种。无人机喷涂技术采用的操作控制系统主要为四轴螺旋桨操作系统,在这一系统的控制下,无人机上搭载的摄像头会对操作面实际情况进行图像采集,并通过采集情况,调节喷头,从而完成喷涂作业。将摄像头技术与无人机技术结合来进行喷涂作业,可以有效的完成输电线路绝缘子破损涂层的绝缘修复。并针对部分喷涂死角,也能达到较好的喷涂效果。

### 3.2 无人机带电喷涂控制方式

无人机带电喷涂控制主要利用在无人机平台设置图像瞄准系统、姿态传感器及补偿控制装置等仪器,通过调整其中各种参数,使其共同发挥相应控制作用。图像瞄准系统,主要是会依据预设喷射距离参数来控制无人机平台行驶至喷涂装置与目标点对准的定点空间位置;姿态传感器,主要作用就是能够实时采集无人机平台的飞控姿态数据;补偿控制装置,主要是用于根据预设喷射距离参数、无人机平台的定点空间位置、目标点对准的空间坐标信息以及飞控姿态数据生成补偿控制角度,并依据补偿控制角度将喷涂装置的喷射方向调控至与初始对准方向相同或相互平行。

### 4 无人机带电水冲洗与喷涂技术的应用

在无人机带电水冲洗与喷涂技术产生之后,随着技术的进一步成熟,其逐渐被广泛使用。无人机带电水冲洗技术目前主要用于高电压等级输电线路。无人机喷涂技术主要被用于喷涂面积小以及受到喷涂位置限制的喷涂作业中,例如,输电线路绝缘子涂层修复及复杂的铁塔防腐等,以下是对无人机带电水冲洗与喷涂技术的应用的具体阐述。

#### 4.1 无人机带电水冲洗技术的应用

无人机带电水冲洗技术主要广泛应用于对 500kV 及以下输电线路的冲洗工作。目前我国高压输电线路众多,且大都处于露天环境中,长期的带电运行,受风吹雨淋。又由于空气污染情况日益加剧,空气中的颗粒物含量日益增加,受到雨水冲刷作用的影响,输电线路绝缘子表面积了大量的污秽、盐分。这些污秽、盐分不仅影响输电线路的美观,还会对输电线路的安全运行造成极大隐患,从而影响输电线路的可靠性,影响电力输送。但是,随着经济发展,对电力的依赖日趋严重,大面积停电开展清洗,越来越难以实现,加上输电线路往往位置较高,停电检修也有很大的作业风险,由此,利用无人机带电水冲洗技术来对输电线路的污秽、盐分进行带电清洗,很好地解决了输电线路停电清洗消缺困难的难题,有效保证输电线路的安全,在一定程度上提高配电系统的可靠性,减少供电中断而导致的停电情况。

在高温多尘环境下的输电线路上的积污往往较多,处于此种环境下的输电线路在遇到极端天气下,经常容易出现爬电,闪络,给设备的安全运行极大隐患。采用无人机带电水冲洗技术,对输电线路进行带电冲洗,将能够在不影响输电线路运行的情况下,及时清除输电线路上的污秽,从而保证输电线路安全。另外,带电水冲洗无人机还具备

高度智能化的控制系统,可装配高清摄像头以及红外热像仪,在作业过程中,将输电线路绝缘子积污情况及时回传至操作台,方便相关操作人员掌握输电线路积污及清洗状况,从而更好地开展工作。针对不同的污秽和积污程度,选择相应的清洗方式。同时,带电水冲洗无人机还能够根据飞行控制系统对清洗路径进行规划,进一步提高清洗效率。

#### 4.2 无人机喷涂技术的应用

无人机喷涂技术主要被用于喷涂面积较大以及受到喷涂位置限制的喷涂作业中。随着无人机技术的进一步发展,无人机的搭载能力不断提升,其控制的精确性也在不断提升。在此种背景下,各种无人机技术应运而生。例如,将无人机与喷涂装置进行结合就形成相应的无人机喷涂技术,利用无人机进行喷涂,能够进一步提高喷涂效率。无人机喷涂技术常被用于低空或者高空的油漆及防污闪涂料喷涂作业中。相关人员通过操纵无人机,就能够实现相应的喷漆作业。很多时候,如果喷涂面积较小,并且喷涂位置较高时,此时采用人工喷涂方式进行喷涂,不仅需要耗费较大的人力、物力资源,并且喷涂人员还具有一定的危险性。而利用无人机来开展喷涂作业,不仅能够有效降低喷涂作业的危险性,还能够进一步提高喷涂效率。据相关试验表明,采用无人机开展喷涂作业比人工喷涂作业的耗时情况和用料情况皆降低二分之一左右。由此可以看出,无人机喷涂技术不仅可以有效缩短喷涂作业的时间,还能够节约资源的使用量。另外,将摄像头技术与无人机技术结合来进行喷涂作业,可以完成对喷涂死角的喷涂,从而达到较好的喷涂效率。

### 5 结语

随着无人机技术的进一步发展,无人机的搭载能力不断提升,其控制的精确性也在不断提升。在此种背景下,各种无人机技术应运而生。无人机带电水冲洗技术以及无人机喷涂技术就是在无人机技术不断发展进程中,出现的新兴技术。本文主要对无人机带电冲洗技术与喷涂技术进行研究,首先阐述了无人机带电水冲洗与喷涂技术的产生的现实条件,接着分别具体阐述了无人机带电水冲洗技术和无人机喷涂技术,最后,阐述了无人机带电水冲洗与喷涂技术的具体应用,希望能够为相关行业提供一些理论参考。

#### 【参考文献】

- [1] 贺欣,凌志刚,陈超,等. 无人机带电水冲洗与喷涂技术的研究与应用[J]. 机电信息, 2023(6): 76-79.
  - [2] 钟梓聪,梅俊哲,陈涛,等. 配电网带电水冲洗无人机[J]. 科技风, 2020(6): 1.
  - [3] 曹璟玉,王嘉宇,及廷行,等. 新型外墙喷涂无人机设计[J]. 现代盐化工, 2019, 46(5): 2.
- 作者简介: 王勇 (1986.4—), 毕业于中州大学应用电子专业, 当前就职于河南恒安电力股份有限公司, 职务: 工程公司经理, 职称级别: 中级职称。