

[设备检测]

基于多旋翼无人机的紫外成像检测技术在电力巡检中的应用

文/安徽送变电工程有限公司 雷家杰 张太雷 刘小双 许家文

对于超高压输电线路中绝缘设备和导线损伤导致电晕放电的问题，传统的人工巡检难以发现。基于此，从电晕现象发生原理出发，阐述了常用的电晕检测方法，分析了紫外成像仪的检测原理和影响因素，说明了多旋翼无人机平台的优势，并在现场实际应用。

电气设备常由于设计、制造和安装等工艺，导致导体和绝缘设备表面产生毛刺，具有不均匀绝缘或者极不均匀电场的特征。在极不均匀电场中，当外加电压达到即将击穿的临界点时，电气设备表面产生一层薄薄的发光层，这种现象就是电晕放电。当电气设备发生电晕放电时，表明电力设备的外部或内部可能出现裂痕或者其他缺陷，影响电网的安全运行，因此寻找高效的放电设备检测方法，已成为亟待解决的问题。

根据电晕放电的特点，本文首先介绍了几种常用的电晕检测方法；其次分析了紫外成像检测的原理和影响因素；然后说明了多旋翼无人机作为搭载平台的优势；最后通过现场应用验证了多旋翼无人机搭载紫外成像仪的可行性，为电晕放电检测提供了全新的解决方案。

电晕放电检测方法

电晕放电伴随着电、热、光、声等现象产生。基于这些特征，对放电设备进行检测主要分为两大类：电量检测法和非电量检测法。电量检测法包含泄漏电流法、脉冲电流法和电场测量法等；非电量检测法包含观察法、红外检测法以及紫外成像法等。

1. 电量检测法

(1) 泄漏电流法

当绝缘设备存在缺陷时，产生泄漏电流，并且阻值急剧减小。泄漏电流法便是通过测量绝缘设备阻值大小并与标准值对比，判断绝缘设备是否存在缺陷。该方法在实验条件下能准确地判断设备的缺陷，但在现场实际应用中易受大气浮灰影响，需要对每个绝缘设备单独测量，效率低，经济性不高。

(2) 脉冲电流法

绝缘设备发生电晕放电时产生脉冲电流，通过判断脉冲电流的大小检测绝缘子是否正常即为脉冲电流法。由于电气设备放电时，放电电流脉动周期和运行电压一直存在，因此能够检测出绝缘设备的缺陷，但是脉冲电流出现的同时伴随着有一些谐波的干扰，导致测量结果不准确，难以定位放电点的位置。

(3) 电场检测法

正常绝缘子表面电场分布较为均匀，当有缺陷时，在缺陷位置电场位置分布不均。因此，通过测量设备的电场强度，观察电场分布是否均匀，便可确定是否存在缺陷。但该方法不适用伞裙破损检测，因为绝缘子伞裙破损不影响电场分布。

2. 非电量检测法

(1) 观察法

观察法是根据电晕放电过程中产生声、光的特性，检测人员利用肉眼或者借助望远镜等仪器直接对电气设备进行观察，如图1所示。



图1 观察法

在阴雨天气，观察法可以观测到放电点的位置，但在晴朗天气下，一些较为隐蔽和微小缺陷，观察法不再适用。

(2) 红外检测法

红外检测法是利用红外传感器对电气设备进行拍照，并根据发热点的热力图判断设备是否异常，如图2所示。

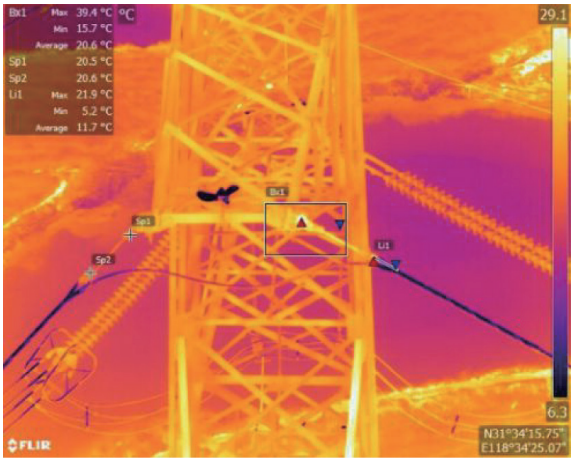


图2 红外检测法

红外检测法能够实现远距离测量电气设备表面的温度，保障测量人员的安全，但是该方法对于热的良导体不能准确测量，如瓷质绝缘子存在缺陷时表面温差只有1℃左右，运用红外设备难以判断。

(3) 紫外检测法

当电气设备发生电晕放电时产生紫外光，利用紫外成像仪对电气设备进行检测，可发现放电点的位置，如图3所示。

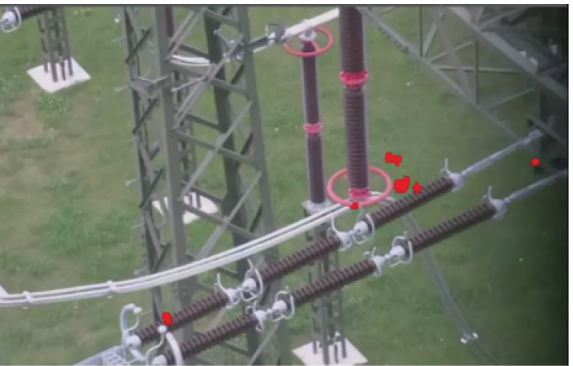


图3 紫外检测法

紫外检测法能够实时地检测出放电点的位置，并根据紫外光子数量判断放电强弱。该方法可以远距离检测出电气设备的绝缘水平，受环境因素影响较小。

紫外成像原理与影响因素

1. 紫外成像原理

紫外的波长介于X射线和可见光之间，光谱范围在10~400 nm区间。根据紫外波长的不同，可以细分为真空紫外、中紫外和近紫外。紫外光谱分段图如图4所示。

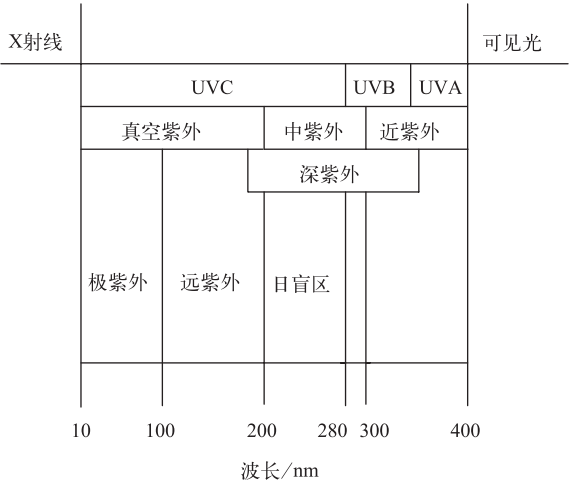


图4 紫外光谱分段图

波长在200 nm以下的紫外被大气分子吸收，称为真空紫外；当波长大于200 nm时可在大气中

传播,本文主要研究波长在200~400 nm之间的紫外。其中波段在280~300nm区间的紫外,若来自地球外部,则被平流层中的臭氧吸收,因而大气中观察不到此波段中天然产生的紫外,称此波段为“日盲区”。紫外成像检测仪利用“日盲区”的特点,对波段在280~300 nm紫外进行检测。这个波段的紫外有两个优点:一是微弱,若在电力线路附近检测,可确定检测出的紫外仅由电力设施放电产生;二是均匀,若电气设备发生电晕放电,产生较为均匀的紫外,利于仪器的检测。

2. 影响紫外成像的因素

紫外成像效果受多种条件制约,主要有仪器增益、距离、温度和湿度等。

(1) 增益

“日盲区”紫外成像仪的工作波段在280~300 nm。此波段在紫外光谱中占5.56%,因此在紫外成像效果不佳时,在一定调节范围内,提高增益能较好地检测出较弱的电晕放电。

(2) 距离

距离是影响紫外检测成像关键因素,一般来说,在不受电力线路干扰的情况下,距离越近,成像效果越好;而距离越远,光子数就越少,成像效果便越差。从现场检测结果看,设备距离检测位置10~20 m效果最佳。

(3) 温度

在海拔一定的情况下,温度越高,气压越低,气体分子电离时的自由电子平均自由行程增加,自由电子的动能减少,从而电晕强度降低,紫外成像效果越差。反之,温度越低,电晕强度越高,紫外成像效果越好。

(4) 湿度

湿度对于电晕的影响较为复杂,一般情况下,湿度越大,电晕强度越强。但是在某些情况下,电晕湿度的增加反而减小电晕强度。例如,当干净的绝缘子表面平均分布一层水膜时,使电压在绝缘子表面均匀分布,反而使电晕强度减小。

多旋翼无人机平台优势

1. 高度智能

多旋翼无人机通常装载专业的飞行控制系统,配备IMU和GNSS模块,具有稳定可靠的飞行性能,能够在不同负载下保持稳定,如图5所示。



图5 多旋翼无人机

2. 全向感知

在多旋翼无人机机体加装双目视觉传感器和超声波雷达装置,使其具备感知能力,保障无人机飞行安全。

3. 轻巧便携

多旋翼无人机机身多采用碳纤维材料和模块化设计,能够折叠收纳,大幅降低机身重量和体积,运输更加便捷。

4. 扩展性强

多旋翼无人机通常拥有较高的适应性,能够提供多种电压和控制信号,满足一机多任务的专业需求。可在机腹部位加装各种云台,有效平衡无人机在飞行过程中由于振动造成成像不稳定的问题。

设备参数与现场应用

1. 设备参数

本文采用的无人机为多旋翼六轴无人机,具体参数见表1。

表1 多旋翼六轴无人机参数表

参数名称	数值
外形尺寸(全展开状态)	2 950 mm × 2 950 mm × 765 mm
自重(含电池)/g	53.6
最大起飞质量/g	115
最大荷载质量/kg	60
悬停准确度(P-GPS)/m	垂直±0.5, 水平±1.5
最大旋转角速度/s	俯仰轴300°, 航向轴150°
最大俯仰角度(°)	25
最大上升速度/(m/s)	5
最大下降速度/(m/s)	3
最大可承受风速/(m/s)	8
最大水平飞行速度/(km/s)	65(无风环境)
最大飞行时间/min	空载60, 满载20
最大作业半径/km	8

本文所采用的云台为防抖三轴云台，结构图如图6所示。

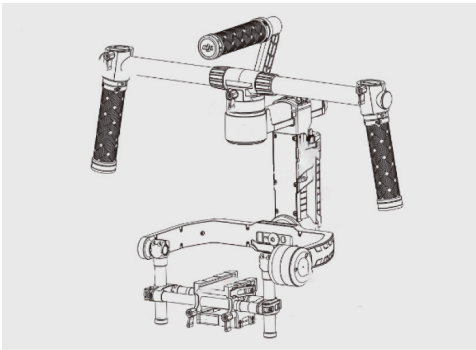


图6 防抖三轴云台结构图

本文所采用的一体化紫外成像检测仪由可见光相机、紫外相机、偏光滤镜和控制系统等部分组成，功能示意图如图7所示。

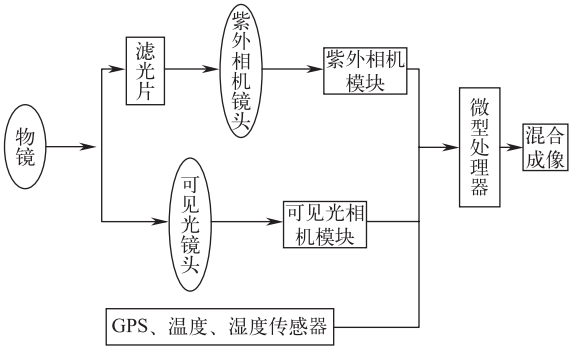


图7 一体化紫外成像仪功能示意图

其中，滤光片可以滤掉“日盲区”之外的紫外，并与可见光传感器采集的图像融合显示，在显示器上直观地看到设备缺陷部位产生的紫外，具体技术指标见表2。

表2 一体化紫外成像仪技术指标

参数名称	数值
屏蔽太阳光	所有天气条件下，目标都可以在太阳下进行检查
最小放电检测	3pC @ 10 m
最低紫外线灵敏度	7.8 x 10 ⁻¹⁸ watt/cm ²
小无线电干扰电压检测	30 dBμV (RIV) @ 1 MHz@10m
视场	H: 20° x V:11.25°
聚焦	手动和自动对焦，紫外光从属于可见光
紫外变焦	3倍数字从属于可见光通道，连续变焦
紫外集成	开，可从一个范围中选择 关
紫外显示颜色	可从多种颜色中选择
紫外斑点计数	每分钟紫计数，3个视场尺寸

(续)

参数名称	数值
紫外/可见覆盖准确度	偏差<1毫弧度
最低可见光灵敏度	0.03 Lux
视场	H: 20° x V: 11.25°，紫外光和可见光通道同步
可见光变焦	3 × 光学
降噪声	是
聚焦范围	5 m到无限，自动和手动聚焦

2. 现场应用

本文利用紫外成像检测仪对安徽境内多条超高压输电线路进行巡检，现场检测场景如图8所示。



图8 现场检测场景

(1) 输电线路表面放电检测

高压输电线路运行在野外，环境恶劣，长导线易发生断股、毛刺和散股等现象，影响线路的安全。而导线的损坏容易引起电晕放电现象，因此可以采用紫外成像检测仪来检测导线电晕放电情况。某500 kV线路导线受损放电的紫外图像检测结果如图9所示，其中现场空气湿度为89%，检测距离为15 m，增益为218 dB。



图9 某500 kV输电线路破损放电

图9中，导线表面的红点即为放电现象。这是由于线路在长期运行过程中发生磨损，导致电场分布不均匀，引起放电。

(2) 绝缘子放电检测

绝缘子作为连接杆塔和导线的桥梁，具有能够耐受高电压和机械应力的作用。绝缘子的种类繁多、形状各异，按照材料划分，主要有陶瓷绝缘子、玻璃绝缘子以及复合绝缘子。绝缘子放电主要

原因有表面附着污秽、绝缘子裂化和复合绝缘子老化等缺陷造成。某500 kV线路直线塔瓷质绝缘子紫外检测情况如图10所示，其中现场空气湿度为67%，检测距离为9 m，增益为216 dB。



图10 某500 kV瓷质绝缘子放电情况

图10中，绝缘子下挂点处的红点即为放电现象。这是由于线路在长期运行过程中表面污秽过大形成闪络，造成绝缘子的绝缘性能降低。

某500 kV线路耐张塔玻璃绝缘子紫外检测情况如图11所示，其中现场空气湿度为56%，检测距离为10 m，增益为250 dB。



图11 某500 kV线路耐张塔玻璃绝缘子放电

图11中，绝缘子近线端的红点即为放电现象。这是由于线路在长期运行过程中玻璃绝缘子表面裂化，从而造成绝缘子的绝缘性能降低。

3) 紫外成像能够实时地将放电情况呈现在显示屏上，可以根据紫外光斑的大小初步判断缺陷的严重性。

本文提出的紫外成像检测方法能有效发现绝缘子和导线表面由于裂纹、毛刺和破损产生的放电现象。但具体放电量的多少，严重性的多少只能依靠人工评估，并没有对放电现象进行量化。如何在现有的基础上，将检测结果以数值的方式呈现出来，是今后的研究方向。**EA**

(收稿日期：2021.03.08)

结束语

1) 紫外成像仪搭载在无人机上，能够借助无人机的机动性对输电进行多角度检测，避免了人工检测的死角。

2) 与人工检测相比，紫外成像能够对巡检过程中发现的缺陷进行影像资料存档，为后期的检修提供了可靠的依据。