

团 体 标 准

T/AOPA 0072—2024

架空输电线路绝缘子污秽状态 无人机多光谱巡检技术规程

Technical code of practice for multi-spectral inspection of overhead transmission line
insulators by unmanned aerial vehicle

2024-11-15 发布

2024-11-15 实施

中国航空器拥有者及驾驶员协会 发布

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 作业要求 2

 4.1 人员要求 2

 4.2 系统要求 2

 4.3 环境要求 3

 4.4 技术要求 3

5 作业准备 3

 5.1 方案编制 3

 5.2 空域申报 3

 5.3 技术准备 3

 5.4 设备调试 4

6 作业实施 4

 6.1 拍摄悬停点 4

 6.2 绝缘子污秽状态光谱影像拍摄 4

 6.3 数据质量检查 4

 6.4 设备撤收 4

7 数据处理与分析 5

 7.1 处理流程 5

 7.2 数据处理 5

 7.3 巡检结果 5

附录 A(资料性) 绝缘子污秽状态无人机多光谱巡检报告 7

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国航空器拥有者及驾驶员协会（中国AOPA）提出并归口。

本文件起草单位：国网青海省电力公司超高压公司、国网青海省电力公司、国网浙江省电力有限公司、国网浙江省电力有限公司杭州供电公司、国网福建省电力有限公司漳州供电公司、国网上海电力有限公司超高压公司、青海送变电工程有限公司、青海德泓电力科技有限公司、国网青海省电力公司西宁供电公司、西宁电力实业有限公司、四川恒创天地智能科技有限公司、成都蓉汇安歌科技有限公司、西宁九正电子科技有限公司、国网青海省电力公司电力科学研究院、青海瑞丰科技有限公司、国网智能科技股份有限公司、西安交通大学、武汉大学、杭州子曦科技有限公司、国网青海省电力公司海东供电公司、国网青海省电力公司海南供电公司、国网青海省电力公司海北供电公司、国网青海省电力公司海西供电公司、北京鲲鹏宏远航空技术有限公司。

本文件主要起草人：赵云龙、罗龙、姜云土、丁建、魏继东、操亮、于涛、郭培恒、胡奇、王欣庭、陈杰、马超、贺诚昊、刘丹、何倩、董大初、张毅、刘礼波、胡强、夏昌杰、李强、雷嘉、张大明、孙德志、林永璘、贾明辉、潘超、郑显亚、严德全、王伟、何海川、王文斌、周玉姣、林鑫、张旭东、苏伟、赵继磊、刘洋、杨振、陈明、葛陕行、胡海涛、陈鑫、马全嵘、朱俊玉、贾才行、郭林业、田生辉、范丽歌、刘卫华。

引 言

绝缘子是输电线路中重要的机械支撑和电气绝缘设备，由于其长期处于户外开放环境中，绝缘子表面与空气中各种污秽颗粒接触而造成表面积污，在特定条件下形成污闪，影响输电线路安全运行。光谱检测技术是在可见光和近红外、红外和热红外波长范围内用多个极窄的电磁波，周期获取物体连续光谱图像的检测技术，实现了图像技术和光谱技术的融合，能够准确地描述物体的反射光谱，提高了对物体的分类和识别能力。结合无人机，可以无接触、安全地获取绝缘子光谱影像，基于光谱污秽评估模型可以快速得到绝缘子污秽状态。

随着绝缘子污秽状态检测需求的不断增长，对该技术目前行业标准的完善和行业规范度的提高有急切要求，本文件依据国家有关法律、法规和行业相关的标准和经验而制定。本文件是绝缘子污秽状态多光谱检测技术推广应用的基础，科学合理地规范绝缘子污秽状态多光谱检测系统组成、通用要求及数据分析处理。

本文件为首次发布。

架空输电线路绝缘子污秽状态无人机多光谱巡检技术规程

1 范围

本文件规定了架空输电线路绝缘子污秽状态无人机多光谱巡检的作业要求、作业实施、数据处理及分析等。

本文件适用于110（66）kV及以上架空输电线路的复合、陶瓷、玻璃绝缘子污秽状态无人机多光谱巡检，作业场景包括交流和直流架空输电线路。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 4585-2004 交流系统用高压绝缘子的人工污秽试验
GB/T 18314 全球定位系统（GPS）测量规范
GB/T 22707-2008 直流系统用高压绝缘子的人工污秽试验
GB/T 26218 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定
GB 26860-2011 电力安全工作规程 发电厂和变电站电气部分
GB 26895-2011 电力安全工作规程 电力线路部分
CH/Z 3002 无人机航摄系统技术要求
DL/T 741 架空输电线路运行规程
DL/T 1122 架空输电线路外绝缘配置技术导则
DL/T 1248 架空输电线路状态检修导则
DL/T 1482 架空输电线路无人机巡检作业技术导则
DL/T 5138 架空送电线路航空摄影测量技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

多光谱相机 multispectral camera

同时获取光谱特征和空间图像信息等多个光谱波段图像的相机。

3.2

多光谱影像 multispectral image

每个像素采用两个及以上光谱标记的光谱波段或带图像。

3.3

绝缘子污秽等级 Insulator pollution level

根据绝缘子表面污秽物的电导特性和附着程度对绝缘子污秽程度划分的等级。

3.4

绝缘子污秽检测系统 Insulator pollution level detection system

由传感器、数据采集和数据处理单元以及显示或报告设备等组成，检测绝缘子表面污秽程度的系统。

4 作业要求

4.1 人员要求

作业人员应具备下列条件：

- a) 具备识别现场作业危险源、组织落实防范措施的能力，熟悉待检测电力线路情况；
- b) 身体健康、精神状态良好，个人工作服及安全用具齐全；
- c) 熟悉和掌握绝缘子无人机多光谱巡检工作原理、作业流程和管理要求；
- d) 应熟悉无人机巡检作业方法和技术手段，具备使用的无人机对应等级的民用无人驾驶航空器操控员执照；
- e) 熟悉和掌握绝缘子污秽检测系统数据处理单元的操作；
- f) 熟悉和掌握多光谱影像数据处理、分析等的工作流程，熟悉分析和报告编制。

4.2 系统要求

4.2.1 无人机平台

无人机平台应符合下列要求：

- a) 应具备增稳飞行模式，具备悬停作业能力；
- b) 应具备一键返航、链路中断返航等失效保护功能；
- c) 无人机系统挂载任务设备在无风环境悬停的最大续航时间不应小于40 min；
- d) 最大载重大于2.5 kg；
- e) 在离起飞点相对高度100 m、无干扰源、无遮挡区域，无人机的有效控制及图像传输距离不应小于5 km；
- f) 无人机抗风能力不宜小于6级风力；
- g) 无人机飞行航迹偏差不应大于4 m，悬停控制偏差水平方向不大于1.5 m；垂直方向不大于0.5 m；
- h) 具备水平4个方向的避障功能，并且具备自定义避障安全距离，触发避障后，无人机应立即悬停；
- i) 具备前置探路镜头；
- j) 支持ISO、EV曝光值、焦距、测光模式、曝光速度、画幅比例、畸变矫正等相机关键参数自定义功能，相机存储卡中影像文件名称、上级文件夹名称具备自定义重命名功能；
- k) 应具备异常情况报警和记录功能，动力故障、传感器故障、任务设备故障等，飞行控制、电池电压等信号模块或部件发生故障时，地面控制站上应通过明显的声光报警提示，出现影响飞行安全问题应禁止飞行；
- l) 当无人机地面遥控链路断开后，无人机应具备悬停任务功能。

4.2.2 多光谱相机

多光谱相机应符合下列要求：

- a) 多光谱相机重量不应大于2 kg；
- b) 传感器单色分辨率不应小于1280×960；
- c) 应具备不少于5个波段的多光谱成像能力，光谱响应范围宜为400 nm~900 nm，具备收集450 nm、带宽35 nm蓝光，555 nm、带宽25 nm绿光，660 nm、带宽20 nm红光，720 nm、带宽10 nm红边光，840 nm、带宽35 nm近红外光数据的能力，光谱分辨率不应低于5 nm；
- d) 重量和尺寸应在无人机荷载范围内，并具有抗震等防护设计；
- e) 运行不应碰撞到无人机部件，运动轨迹不遮盖无人机传感器和通风孔；

f) 装置内存不应小于64 G且满足连续工作1 h的要求。

4.2.3 污秽状态评估软件系统

污秽状态评估软件系统应符合下列要求：

- a) 具备标准反射数据的计算、标定功能；
- b) 具备多光谱影像上绝缘子区域的自动配准能力；
- c) 具有特征波段提取功能；
- d) 基于特征光谱波段的污秽状态，具备污秽等级分类和可视化结果显示能力。

4.3 环境要求

4.3.1 作业时天气应良好，宜在阴天或日出前、日落后作业。雾、雪、大雨、大风、冰等恶劣天气或出现强电磁干扰等不利于巡检作业时，不应开展无人机巡检作业。

4.3.2 巡检时应避免阳光直射或通过待测绝缘子发生镜面反射进入仪器镜头导致过曝。

4.3.3 巡检时宜避免杆塔、线路等背景在待巡检绝缘子表面形成阴影。

4.4 技术要求

4.4.1 拍摄角度和距离

拍摄角度和距离应符合下列要求：

- a) 将无人机飞至待拍摄绝缘子串，调整无人机方向和多光谱相机俯仰角，将绝缘子串放置于图像正中央，拍摄每串绝缘子的上下表面；
- b) 拍摄距离不宜超过10 m，在保证绝缘子完整性基础上宜保证绝缘子串在图像中的占比不低于20%。

4.4.2 校正灰板数据拍摄

每次起飞前应拍摄光线校正灰板，应一次性拍摄完校正板整个区域，确保无过曝、无阴影。

4.4.3 光谱信息库

光谱信息库应采集地区典型的绝缘子污秽光谱信息，并记录典型绝缘子的污秽等级对应的光谱信息，应建立a级污秽到e级污秽连续变化的光谱反射信息库。

5 作业准备

5.1 方案编制

作业方案应根据飞行目的、待检测线路踏勘情况以及采集数据要求制定。

5.2 空域申报

现场作业除了严格按照国家相关政策法规、当地民航军管等要求规范化使用空域，还要根据无人机作业计划，按相关要求办理空域审批手续，密切跟踪当地空域变化情况。

5.3 技术准备

技术准备应满足下列要求：

- a) 起飞前，应确认现场风速符合该机型作业范围；
- b) 无人机作业区域应无明显遮挡、飞行航线中无障碍点；
- c) 待拍摄绝缘子应现场勘查，并确定无人机起降点；
- d) 勘查内容应包括地形地貌、气象环境、空域条件、线路走向、通道长度、杆塔坐标、高度、塔型、绝缘子材质、交跨等。

5.4 设备调试

5.4.1 作业前应对无人机、多光谱相机等设备上电自检，无人机搭载荷载设备后应进行适应性飞行。

5.4.2 每一基杆塔数据采集前应拍摄校正板，校正板数据存在过曝、有阴影或未覆盖灰板完整区域时应重复拍摄。

6 作业实施

6.1 拍摄悬停点

无人机悬停位置宜满足下列要求：

- a) 对于模拟串绝缘子，无人机悬停点宜为杆塔大号侧或小号侧靠近模拟绝缘子侧上方的安全位置；
- b) 对于悬垂串绝缘子，无人机悬停点宜位于导线外侧，绝缘子串侧上方安全位置；
- c) 对于耐张串绝缘子，无人机悬停点宜位于绝缘子串上方安全位置。

6.2 绝缘子污秽状态光谱影像拍摄

多光谱影像拍摄应符合下列要求：

- a) 在安全距离允许的条件下，多光谱成像仪宜靠近被测设备，拍摄应避免逆光且将绝缘子串放置于图像正中央。在保证完整性的基础上，应保证绝缘子串在图像中的占比不低于20%；
- b) 调整无人机方向和多光谱相机俯仰角，应分别采集绝缘子上表面和下表面数据，得到2组数据；
- c) 发现绝缘子可能存在污秽状态异常时，应调整无人机方向和多光谱相机俯仰角，再次确认绝缘子污秽状态；
- d) 应记录被检测绝缘子的线路名称、杆塔编号、绝缘子相序、光照情况、绝缘子材质和光谱影像编号。

6.3 数据质量检查

多光谱影像数据采集结束后，应检查数据文件，检查应包括下列内容：

- a) 原始数据完整性。每串绝缘子应确保多光谱影像数据完整无漏拍，无文件损坏；
- b) 数据格式宜为tiff；
- c) 影像拍摄角度应符合4.4.1的规定。

6.4 设备撤收

6.4.1 数据采集结束后，应检查设备正常。

6.4.2 无人机降落后，应检查外观及零部件，恢复储运状态并填写无人机巡检系统使用记录单。

6.4.3 撤收前，电动无人机应将电池取出。

6.4.4 人员撤离前，应清理现场，核对设备和工器具清单，确认现场无遗漏。

7 数据处理与分析

7.1 处理流程

多光谱影像数据采集结束后,应对每组各谱段影像数据进行融合处理,形成融合的绝缘子光谱影像。绝缘子污秽等级应根据校正灰板数据,融合影像与绝缘子污秽样本库对比得到。

7.2 数据处理

7.2.1 数据准备

数据准备应满足下列要求:

- a) 应具备环境光标准反射率校正光谱数据,应包含地物准确的反射率和辐射率等真实物理模型参数;
- b) 应具备绝缘子原始光谱影像,无过曝、过暗和缺失波段,数据应无损坏。

7.2.2 校正数据计算

在污秽状态评估系统中,应进行辐射、大气、正射、几何校正等预处理,获得地物准确的反射率和辐射率等真实物理模型参数。

7.2.3 原始影像融合

原始影像融合时,应采用图像配准方法实现不同光谱波段图像空间维度的一致性,应保证配准后的光谱图像无错位,绝缘子宜处于图像中央位置。

7.2.4 目标区域选定

绝缘子污秽状态分析的目标区域应选定融合光谱影像上整串、几片或单片绝缘子的范围。

7.2.5 光谱信息库构建

已有待检测地区光谱信息库时,可直接采用。未构建待检测地区光谱信息库时,应采集待检测地区绝缘子污秽光谱信息并记录对应污秽等级,构建包含a级污秽到e级污秽连续变化的光谱信息库。

7.2.6 污秽状态分析

将图像信息融合后的多光谱图像数据输入绝缘子污秽状态分析模型,可得到绝缘子表面像素级污秽等级值与绝缘子污秽等级。

7.2.7 分析结果复核

分析结果复核时,应通过待检测绝缘子的污区分布记录对分析结果进行校验。分析结果与污区分布记录的污秽等级存在2个等级及以上的差异时,应采用等值盐密法等实验室分析方法对待检测绝缘子污秽等级复核。

7.3 巡检结果

7.3.1 成果资料应包括下列内容:

- a) 架空输电线路杆塔绝缘子原始光谱影像;
- b) 架空输电线路杆塔绝缘子光谱污秽等级报告,格式见附录A。

7.3.2 原始数据应单独保存,并记录使用情况;成果数据应采取分级备份管理。

7.3.3 存储设备应选择性能好、稳定性高的介质。

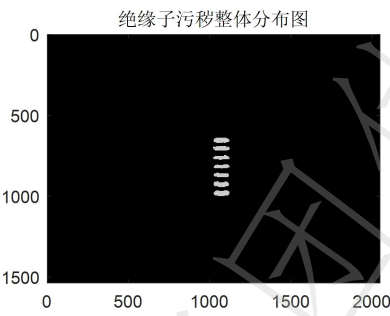
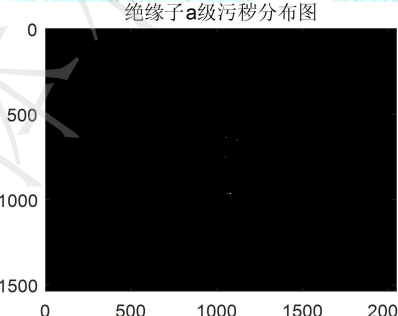
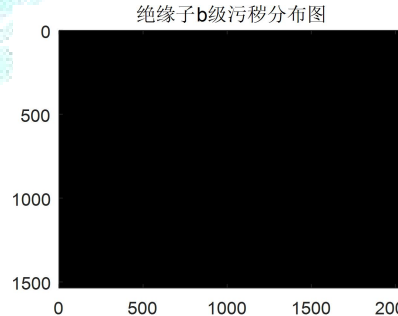
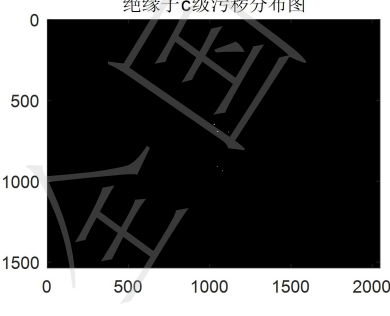
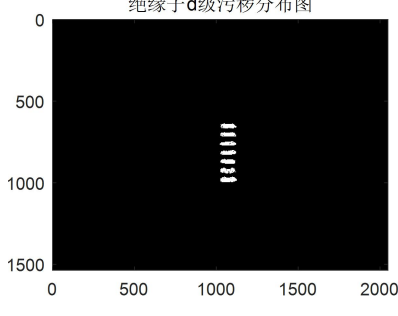
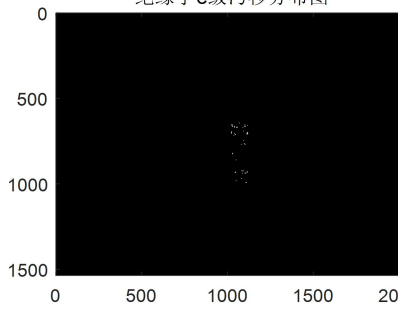
采用网络传输原始数据、成果数据时，应采用加密处理。



附录 A
(资料性)

绝缘子污秽状态无人机多光谱巡检报告

绝缘子污秽状态无人机多光谱巡检报告可参照表 A. 1。

序号	单位	电压等级 kV	线路 名称	杆塔 编号	巡检日期	绝缘子相序	班组需要		
							设备 编号	飞行 类型	飞行 人员
多光谱相机原始图像：									
 a) 450 nm 波段图像  b) 555 nm 波段图像  c) 660 nm 波段图像  d) 720 nm 波段图像  e) 840 nm 波段图像									
绝缘子污秽分布重构图像：									
 绝缘子污秽整体分布图  绝缘子a级污秽分布图  绝缘子b级污秽分布图  绝缘子c级污秽分布图  绝缘子d级污秽分布图  绝缘子e级污秽分布图									
该绝缘子污秽等级为：d 级									
评估结果：该绝缘子污秽较为严重，湿润条件下绝缘子的闪络电压严重下降，易发生闪络现象，宜对绝缘子清洗。									