

大型光伏场空地协同巡检系统设计与实现

安文斌

中国能源建设集团山西电力建设有限公司 山西 太原 030000

摘要：随着光伏产业发展，大型光伏场巡检面临挑战。针对占地面积广、地形复杂等特性，设计并实现空地协同巡检系统。该系统遵循实用等原则，采用分层架构，在硬件选型适配需求、软件模块涵盖多方面的基础上，科学规划硬件部署、开发模块及实现空地协同功能，达成全域无死角巡检覆盖，提升巡检效率与精准度，降低运维成本，为大型光伏场稳定运行提供有力支撑。

关键词：空地协同巡检；大型光伏场；硬件部署；软件模块；巡检效率

引言：大型光伏场数量增多，其占地面积大、地形复杂、设备密集，传统巡检方式弊端凸显。人工巡检效率低、成本高且有盲区，单一空中或地面巡检也有局限。在此形势下，设计一套适配大型光伏场特性、实现全域无死角巡检的空地协同巡检系统，对提升巡检效率、保障光伏场稳定运行意义重大。

1 系统总体部署原则与架构落地

1.1 部署目标

结合大型光伏场空地范围广、地形复杂、设备分布密集的实际特点，系统部署核心目标为实现全域无死角巡检覆盖^[1]。这不仅要求对每一块光伏板、每一台配套设备进行细致检查，还需考虑到不同区域设备分布的疏密差异，合理规划巡检路径与频次，确保每一个角落都能被有效覆盖，杜绝故障隐患遗漏。同时，通过优化空地巡检单元的施工部署与联动机制，衔接空中与地面巡检流程，充分发挥二者优势，提升巡检实操效率，降低人工运维成本，保障光伏场长期稳定运行。

1.2 部署原则

系统部署严格遵循实用性原则，紧密结合大型光伏场实际巡检场景与施工条件，确保所有设备部署、流程设计均能落地见效，切实解决实际巡检难题。实用性原则贯穿于系统部署的各个环节，从设备的选型到施工方案的制定，都要充分考虑光伏场的实际状况，避免出现理论与实际脱节的情况。坚持可靠性原则，选用成熟稳定、适配户外复杂环境的设备，规范施工流程，保障系统长期稳定运行，减少故障停机频次。秉持实操性原则，优化设备部署与操作流程，降低运维人员操作门槛，提升系统现场应用便捷性。注重安全性原则，在设备安装、数据传输、现场操作等全流程采取安全防护措施，防止设备损坏、信息泄露及人员安全隐患。

1.3 总体架构与落地思路

系统采用分层架构设计并落地实施，结合大型光伏场巡检实操需求，明确划分数据采集层、数据传输层、数据处理层与应用层，各层设计均以施工落地和现场应用为核心导向，确保设计方案可直接指导实操。这种分层架构设计能够使系统各部分功能更加清晰，便于施工和维护，同时也提高了系统的扩展性和灵活性。数据采集层设计聚焦空地巡检设备的适配性，明确设备采集参数与安装标准，确保各类巡检数据精准采集；数据传输层采用“有线+无线”混合架构设计，兼顾传输稳定性与覆盖范围，适配光伏场复杂地形；数据处理层设计简化冗余算法，侧重快速数据清洗与融合，适配现场故障快速处置需求；应用层设计贴合运维人员实操习惯，优化界面交互逻辑。空地协同逻辑设计核心是结合光伏场布局，合理划分空中与地面巡检区域，明确二者施工部署范围与职责，设计任务衔接机制，实现巡检任务的无缝衔接，避免重复巡检与盲区，确保协同巡检高效落地。

2 系统硬件施工部署与实操适配

2.1 空中巡检单元施工部署

2.1.1 设备选型与施工适配

结合大型光伏场户外巡检需求与施工条件，空中巡检设备选型基于实用性设计原则，选用长续航、抗干扰、操作便捷的无人机，搭载高清摄像头与红外热成像仪，适配户外复杂气象与地形环境，减少频繁充电与人工操作频次。在选型过程中，要充分考虑光伏场可能出现的各种恶劣天气和复杂地形，确保无人机能够在这些条件下稳定飞行和准确采集数据。设备选型设计兼顾施工便捷性，选用体积适中、便于运输与安装调试的机型，明确机身尺寸、续航时长等核心参数，确保能在光伏场复杂地形中顺利部署，同时满足大面积快速巡检的实操需求。具体选型参数如表1所示。

表1

设备类型	核心选型参数	选型要求	施工适配要点
巡检无人机	续航 ≥ 120分钟，机身重量 ≤ 5kg，最大飞行高度 ≥ 150米	抗风等级 ≥ 6级，适配-20℃~60℃户外环境，支持自主起降	体积适中，便于运输调试，可适配光伏场复杂地形起降
高清摄像头	分辨率 ≥ 1920 × 1080，帧率 ≥ 30fps，支持变焦功能	抗逆光、抗干扰，可清晰捕捉光伏板表面破损、污渍	与无人机机身适配，安装牢固，不影响飞行稳定性
红外热成像仪	测温范围-20℃~150℃，测温精度 ±2℃，像素 ≥ 384 × 288	可快速捕捉光伏板热斑异常，数据实时传输	与无人机供电系统适配，功耗低，不影响续航时长

2.1.2 现场部署施工方案

施工前对光伏场进行全面地形测绘与障碍物排查，确定无人机起降平台的施工位置，优先选择场区中心开阔、无高压线路、无高大建筑物干扰的区域，采用混凝土浇筑平台，通过水平仪与激光测距仪校准平面度，确保无人机自主起降安全稳定。在确定起降平台位置时，要综合考虑无人机的飞行范围和巡检路径，确保能够覆盖到光伏场的各个区域。按照光伏场布局与设备分布，规划无人机巡检路径，明确飞行高度（50-100米）与速度（5-10米/秒），确保巡检覆盖无死角^[2]。同步完成无人机充电设备的安装部署，沿巡检路径合理设置充电点位，保障无人机持续巡检续航需求，衔接地面巡检覆盖范围，避免巡检盲区。

2.2 地面巡检单元施工部署

2.2.1 设备选型与施工适配

地面巡检设备选型遵循适配性设计原则，选用具备良好越障能力、自主导航功能的巡检机器人，配备电流电压传感器、温度传感器及近距离摄像头，设计适配光伏场不平整地面、杂物较多的现场环境，确保能精准采集设备运行参数与外观信息。巡检机器人的越障能力和自主导航功能是关键，要能够应对光伏场中可能出现的各种障碍物和复杂地形。设备选型设计适配现场施工与运维需求，设计便捷的充电接口与故障自检功能，明确机器人越障高度、导航精度等核心参数，降低现场维护成本。

2.2.2 现场部署施工方案

结合光伏阵列排布与检修通道分布，开展地面巡检机器人部署施工，机器人充电站沿检修通道均匀安装，采用磁吸式快速对接充电接口，减少人工干预，提升充电效率。磁吸式快速对接充电接口能够提高充电的便捷性和效率，减少因充电问题导致的时间浪费。针对光伏场高大植被、沟壑等复杂区域，优化机器人巡检路线，调整设备部署点位，确保机器人能顺利抵达每一个巡检区域。建立空地巡检设备联动机制，通过现场通信部署，确保地面机器人能及时接收无人机传回的疑似故障点信

息，快速前往现场核查，实现空地巡检协同联动。

2.3 数据传输设备施工部署

2.3.1 设备选型与施工适配

数据传输设备选型基于稳定性设计原则，选用抗干扰能力强、传输速度快、兼容性好的通信模块，设计适配光伏场复杂电磁环境，确保巡检数据（图像、运行参数等）实时、准确传输。光伏场中存在大量的电气设备，会产生复杂的电磁环境，因此数据传输设备必须具备良好的抗干扰能力。选型设计包含冗余备份功能，避免单点故障导致数据传输中断，明确传输带宽、抗干扰等级等核心参数，确保与空中、地面巡检设备及现场数据处理节点良好适配，保障系统整体联动。

2.3.2 传输链路施工方案

采用无线与有线相结合的方式，开展传输链路施工部署。在距离较近、条件允许的区域（如数据处理中心周边、充电站附近），采用光纤有线传输，保障数据传输的稳定性与安全性；在地形复杂、距离较远的区域，采用5G、Wi-Fi无线传输技术，覆盖全域巡检范围。无线与有线相结合的方式能够充分发挥两种传输方式的优势，满足不同区域的数据传输需求。沿光伏场巡检路径合理设置中继节点，增强信号覆盖强度，解决复杂地形下的信号衰减问题，确保巡检数据及时回传至现场数据处理中心，支撑运维人员快速决策。

3 系统软件实操优化与应用实现

3.1 数据采集模块实操优化

优化空中巡检数据采集流程，无人机按照预设巡检路径飞行，自动启动高清摄像头（分辨率不低于1920 × 1080）与红外热成像仪，按设定间隔采集光伏板图像与温度数据，捕捉表面破损、污渍、热斑等异常，采集数据实时存储并传输至现场处理中心，减少人工干预。高清摄像头和红外热成像仪能够提供清晰准确的图像和温度数据，有助于及时发现光伏板的潜在问题^[3]。地面巡检机器人沿规划路线行进，通过自带传感器实时采集设备运行参数，近距离拍摄设备外观，数据先本地存储再同步传输，确保数据完整、及时，适配现场巡检实操需求。

3.2 空地协同控制模块实操优化

优化巡检任务分配逻辑设计,结合光伏场设备分布、故障高发区域,预设任务优先级,设计空中与地面巡检任务衔接流程,空中无人机优先完成大面积快速筛查,发现疑似故障点后,自动推送信息至地面机器人,地面机器人自动调整路线,前往现场开展详细核查,实现空地协同联动。通过预设任务优先级,能够合理分配巡检资源,提高巡检效率。设计设备状态监测逻辑,实时反馈无人机、机器人的运行状态与电量情况,设计任务动态调整机制,出现故障或电量不足时,自动调整巡检任务,确保巡检工作不中断。优化巡检路径实操调整功能设计,支持运维人员根据现场实际情况,通过操作界面手动调整巡检路径,适配现场突发情况。

3.3 数据处理模块实操优化

简化数据预处理流程,聚焦现场实操需求,对采集的原始数据进行快速清洗、去噪处理,去除异常值与干扰信息,统一数据格式,确保数据精准可用。数据预处理是数据处理的重要环节,能够提高后续数据分析和故障诊断的准确性。优化数据融合算法,将空中与地面采集的多源数据进行整合分析,快速挖掘故障关联信息,提升故障诊断的准确性与效率,为现场运维人员提供清晰、直观的故障提示,支撑快速处置。

3.4 系统交互模块实操优化

优化操作界面设计,采用简洁直观的布局,贴合运维人员实操习惯,清晰呈现巡检任务进度、设备运行状态、故障信息等核心内容,便于快速查看。操作界面的设计要充分考虑运维人员的使用体验,提高操作的便捷性和效率^[4]。完善指令下发功能,运维人员可通过操作界面,向无人机、机器人发送调整路线、启动/停止检测等控制指令,实现巡检过程的实时管控,同时支持故障信息导出、巡检记录留存,方便现场运维复盘。

4 系统施工调试与现场应用落地

4.1 硬件施工与调试落地

严格按照施工方案,完成空中巡检设备、地面巡检设备、数据传输设备的安装部署,重点把控无人机起降平台平面度、机器人充电站安装精度、传输链路接口衔接等关键施工环节,确保设备安装规范、牢固。这些关键施工环节直接影响到设备的运行稳定性和数据传输的准确性,必须严格把控。调试阶段,重点验证设备联动性与数据采集准确性,通过NTP协议统一空中与地面设备时钟,确保多源数据时间对齐;模拟户外复杂环境,测试设备运行稳定性与抗干扰能力,排查施工隐患,优化

设备部署点位,确保设备适配现场巡检需求。

4.2 软件调试与实操适配

搭建现场开发调试环境,完成各软件模块的集成调试,重点测试数据采集、协同控制、数据处理等核心功能,优化操作流程,解决软件运行中的卡顿、数据传输延迟等问题。软件调试是确保系统正常运行的关键步骤,要全面测试各个功能模块,及时发现并解决问题。组织运维人员开展实操培训,确保人员熟练掌握系统操作方法,结合现场巡检场景,模拟各类故障情况,调试软件故障识别与处置能力,确保软件适配现场实操需求,提升运维效率。

4.3 现场应用效果与优化

系统现场应用过程中,严格按照巡检流程开展空地协同巡检,无人机快速完成大面积区域筛查,地面机器人精准核查疑似故障点,实现全域无死角巡检。空地协同巡检能够充分发挥无人机和地面机器人的优势,提高巡检的效率和准确性^[5]。通过现场应用验证,系统有效提升了巡检效率与精准度,大幅减少人工巡检工作量,降低运维成本,及时发现并处置光伏板破损、设备异常等故障隐患,保障光伏场稳定运行。针对应用中出现的问题,持续优化设备部署与软件功能,完善协同联动机制,提升系统现场适配性与实操性。

结束语

大型光伏场空地协同巡检系统,凭借科学设计、精准硬件选型部署与完善软件模块开发,达成了空地巡检高效联动与数据协同。在实际应用里,切实提升了巡检效率与精准度,有效降低运维成本,及时处理故障隐患,保障了光伏场稳定运行。该系统在光伏巡检领域展现出重要应用价值,具备广泛推广意义,为行业巡检提供了优质范例。

参考文献

- [1]唐明,张宇宁,李夏叶,等.基于高斯模型和YOLOv3的光伏电场巡检无人机避障目标检测方法[J].计算技术与自动化,2025,44(1):141-146.
- [2]王波,管仁明,郭鹤魁,等.光伏运维场景中割草巡检机器人设计与应用验证[J].机器人技术与应用,2025(2):45-49.
- [3]黄迪威,罗晓.无人机在光伏电站巡检中的智能化场景识别[J].内蒙古科技与经济,2024(24):146-148.
- [4]何文滨.光伏电站储能电站施工现场安全巡检与远程监控系统开发[J].电力设备管理,2024(14):146-148.
- [5]张超.基于光纤通信技术的风电光伏场站运维巡检系统设计[J].通信电源技术,2024,41(14):191-193.