

考虑气象条件的无人机电网应急救援实时决策支持系统的开发与应用

卢自强

(国网山西省电力公司超高压输电分公司)

【摘要】近年来极端天气频发,给电网安全带来严峻挑战。传统电网应急救援手段在复杂气象条件下的局限性日益凸显,亟需创新技术方案。文章聚焦电网应急救援场景,深入探讨融合气象条件的无人机实时决策支持系统开发与应用,详细阐述系统开发与应用方法,结合实际案例展现其在提升电网应急救援效率、保障电力供应稳定性方面的显著优势,为电网突发事件处置提供创新有效的技术支撑,具备重要实用价值与广阔推广前景。

【关键词】无人机;电网应急救援;气象条件;决策支持系统

中图分类号:TM73;TP391

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.157

Development and Application of Real-time Decision Support System for Emergency Rescue of UAV Power Grids Considering Meteorological Conditions

LU Zi-qiang

(State Grid Shanxi Electric Power Company Ultra-High Voltage Transmission Branch)

【Abstract】In recent years, extreme weather events have occurred frequently, posing severe challenges to power grid security. The limitations of traditional power grid emergency rescue methods under complex meteorological conditions have become increasingly prominent, creating an urgent need for innovative technical solutions. This paper focuses on power grid emergency rescue scenarios, delves into the development and application of a UAV real-time decision support system integrated with meteorological conditions, and elaborates on the methods of system development and application in detail. Combined with practical cases, it demonstrates the system's significant advantages in improving the efficiency of power grid emergency rescue and ensuring the stability of power supply, providing an innovative and effective technical support for the disposal of power grid emergencies, and possessing important practical value and broad promotion prospects.

【Keywords】drones; power grid emergency rescue; meteorological conditions; decision support system

1 引言

自然灾害、设备故障及其他突发事件,严重影响电力供应的可靠性与稳定性。无人机凭借机动灵活、作业效率高、不受地形约束的优势,在电网应急救援中发挥着愈发关键的作用。但强风、暴雨、大雾等恶劣气象条件,会显著影响无人机飞行安全与作业成效。为此,研制融合气象条件的无人机电网应急救援实时决策支持系统,对提升无人机在复杂气象环境下的适应性与应急救援能力具有重要意义。

2 系统开发与应用需求

气象条件对无人机作业效能与飞行安全至关重要。近年来,极端气候引发的电力系统故障屡有发生,相关数据显示,部分地区由恶劣气象导致的电力

中断事件占总故障事件的30%~40%,凸显了应急救援工作中纳入气象因素的紧迫性^[1]。

无人机执行电网巡检、故障排查、物资运输等任务时,其飞行性能、续航能力及图像采集质量均受气象条件制约。例如,强风环境下无人机飞行稳定性显著下降,易偏离预设航线甚至失事;低能见度天气会干扰无人机视觉导航与图像识别功能,导致电网故障点无法精准定位;高温、高湿、严寒等天气还会影响无人机电池性能与电子元件可靠性,缩短续航时长、增加设备故障率。

3 系统开发方法

3.1 精准气象数据的获取和处理技术

在电网边缘及作业区域部署风速仪、温度计、湿

度计、气压计、能见度仪等各类气象传感器,构建分布式气象监测网络,实现气象参数的实时连续监测^[2]。例如山区等地势复杂区域,建议每 5km~10km 布设一处气象观测站,确保精准捕捉局部气象变化。

对采集的气象数据开展预处理与分析,借助数据融合算法融合多传感器数据,提升数据精度与可靠性。采用克里金插值法等先进气象数据插值技术,可基于有限监测站点数据反演全域作业区域气象场分布,将气象数据空间分辨率提升至 100m 及以上,为无人机提供详尽精准的气象支撑,助力选取最优作业时段与飞行航线(见图 1)。

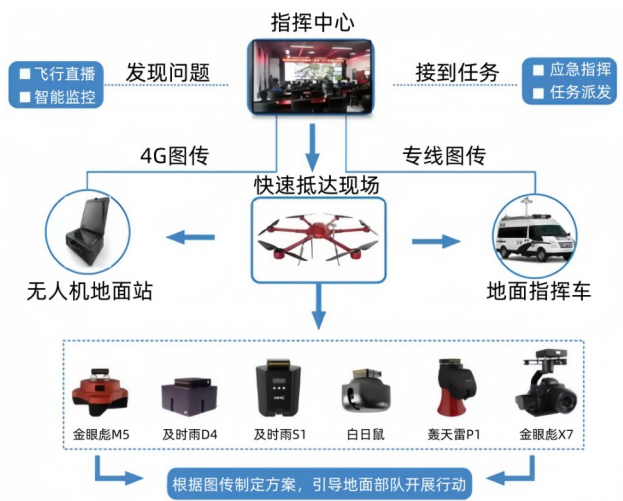


图1 数据获取

3.2 无人机适航性能的气象适配模型

需结合不同类型无人机的结构特性、动力系统性能及飞控系统稳定性,分析气象条件作用规律^[3]。依托海量实验与实际飞行数据,结合神经网络、支持向量机等机器学习技术,构建无人机在不同风速、温度、湿度条件下的飞行性能模型,涵盖最大飞行速度、续航时间、爬升率与抗风能力的关联及其他气象影响规律。

以常用多旋翼无人机为例(见图 2),风速达 5m/s 时,其续航时间可能缩短 10%~15%,最大飞行速度约下降 10%;温度低于 0℃时,电池放电性能衰减,导致无人机综合性能下降约 20%。基于该模型,系统可依托实时气象数据快速评估无人机当前气象条件下的适航性,确保无人机在安全作业的同时发挥最优效能。



图2 多旋翼无人机示意图(图片来源:https://baijiahao.baidu.com/s?id=1824288258159738732&wfr=spider&for=pc)

4 系统应用

4.1 恶劣天气快速故障诊断运用

暴雨、暴雪、大风等恶劣气象条件下,决策支持系统可支撑无人机快速开展电网设备巡检作业。以台风过后场景为例,若风速维持在 8m/s~10m/s,无人机凭借优异抗风性能与实时气象数据支撑,能沿优化航线抵达故障区域。通过搭载高清摄像头与红外热像仪,对输电线路、杆塔开展全方位图像采集与温度监测,快速定位线路断线、绝缘子断裂、金具松脱等故障点。

实际应用案例统计显示,过去无系统支持时,恶劣天气下故障排查平均耗时 4h~6h;应用本系统后,故障诊断时间缩短至 1h~2h,故障排查效率大幅提升,为后续紧急抢修争取了宝贵时间,助力快速恢复供电,有效降低停电对社会生产生活的不利影响。

4.2 复杂气象环境物资配送应用

在山区、丛林等地形复杂、气象条件多变的地区,决策支持系统可基于实时气象数据与地形信息,规划合适的无人机物资配送飞行路径。假设以电网抢修效率提升系数(E)衡量整体效果:无人机配送速度提升倍数(S)为传统运输时间与无人机运输时间的比值(本例中 $S = \frac{5.5}{1.5} \approx 3.67$);延误避免率(A)取值范围为[0,1](本场景中取 0.8),则效率提升公式为:

$$E = S \times (1 + A)$$

将上述数值代入公式可得:

$$E = 3.67 \times (1 + 0.8) = 3.67 \times 1.8 = 6.61$$

这意味着该场景下,无人机配送相比传统运输方式,电网抢修效率提升了约 6.61 倍,极大加快了抢

修进度,保障电网及时恢复供电,减少停电对居民和生产生活的影响,体现了无人机在电网抢修物资配送中的显著优势与价值。

4.3 极端情况下辅助抢修决策的运用

暴雨引发的洪涝灾害、震后次生灾害等极端场景,给电网抢修带来严峻挑战。辅助抢修决策支持系统可向抢修人员提供全面信息支撑与决策建议。例如洪涝灾害发生时,抢修人员依托无人机传回的信息,能精准判断电网设备损毁严重、暂不具备抢修条件的区域,以及可通过临时架设应急供电线路开展局部抢修的区域,据此制定科学抢修方案,优先保障重要用户及关键区域供电。

多次极端场景下的电网抢修实践表明,系统应用推动抢修决策更趋科学合理,强化了抢修工作的针对性与实效性,降低抢修成本与作业风险,对保障极端条件下电网应急供电能力发挥着决定性作用。

5 系统的发展前景与挑战

从发展前景来看,随着科技持续迭代,系统将朝着更智能、更高效的方向演进。

一方面,气象数据获取的精准度与覆盖范围将进一步提升。未来有望通过卫星遥感、微型气象站等多元手段,在全球范围内高分辨率实时采集气象数据,既能够获取更精准的大气参数,也可精准监测云层厚度、雷电活动及其他复杂气象信息,为无人机运行提供更全面详实的气象支撑。例如,通过接入气象卫星实时数据,系统可提前数小时至数天预判区域气象变化趋势,进而提前规划无人机巡检、应急救援等任务,显著提升电网运行的安全性与稳定性。

另一方面,无人机技术将持续革新升级。新型无人机将具备更优的环境适应性与作业效能,例如研发可在极端低温、强电磁干扰及其他苛刻环境中稳定工作的机型,其飞行性能、续航能力与负载能力将显著提升。依托新型电池技术与轻量化材料应用,无人机续航时间有望从当前数小时延长至数十小时,有效拓展单次作业覆盖范围,更好适配大规模电网应急抢险需求。同时,随着人工智能、机器学习等技术的深度应用,系统决策能力将进一步增强,可依据实时气象、电网状态等信息自动生成最优救援方案,实现无人机自主作业与协同联动,大幅提升应急救援效率与响应速度。

然而,该体系在研发与应用过程中仍面临诸多

挑战,首要为数据安全与隐私保护。系统海量收集与传输气象数据及电网运行数据,使其安全性面临严峻挑战。防范数据泄露、篡改及非法访问,保障电网运行数据的保密性与完整性,是系统研发的重点关注方向。需构建严密的数据加密与访问控制机制,强化数据安全防护技术研发与应用,保障系统稳定运行与数据安全。其次是法律法规与监管政策尚不完善。无人机应用于电网应急救援涉及空域管理、飞行安全等多个维度,现有相关法律法规与监管政策仍不健全,存在较多监管空白与模糊地带。例如复杂天气条件下无人机飞行许可、责任界定等问题尚未明确,给系统推广应用带来一定不确定性。

尽管面临诸多挑战,但基于气象条件的无人机电网应急救援实时决策支持系统仍具备广阔发展潜力。通过持续攻克技术难题、健全法律法规、强化人才培养等举措,该系统在保障电网安全平稳运行、提升应急救援能力等方面将发挥更大作用,为电力行业可持续发展提供有力支撑。

6 结语

开发和应用考虑到气象条件的无人机电网应急救援实时决策支持系统,为电网应急救援提供了创新高效的技术方案。通过气象数据实时采集分析、无人机路径智能规划、决策模型优化构建及系统实际应用验证等举措,显著提升了复杂气象环境下无人机参与电网应急救援的能力与效能。该系统有效增强了电网应对突发事件的韧性与可靠性,更好适配未来电网应急救援工作需求,对保障电力系统安全稳定运行发挥着重要促进作用。

参考文献

- [1] 邢发男.面向电网巡检的无人机任务卸载策略研究[D].江苏:南京信息工程大学,2024.
- [2] 刘枫琪,汪鼎杰,杨磊,高阳,孟斌.无人机电网巡检关键技术研究与发展[J].中阿科技论坛(中英文),2024(1):94-97.
- [3] 叶圣尧.基于VR技术的无人机电网巡检应用研究[J].电气时代,2023(5):105-107.