



本方案仅供参考，实际以具体环境、设备为为准

输电线路无人机巡防防控 解决方案

基于多源感知、智能预警与协同防护的输电线路低空安全体系

摘要

本白皮书以输电线路低空安全风险识别、无人机入侵监测、分级预警、协同处置和平台化运维为核心，结合福建灵信科技的低空感知、频谱侦测、雷达探测、光电跟踪及无人机反制产品体系，构建适配不同电压等级、地理环境和线路运维需求的分层防控方案。

福建灵信信息科技有限公司

www.lingxin-tech.com

support@lingxin-tech.com

13306920033

1.1 建设背景

随着低空经济发展及消费级、行业级无人机应用普及，无人机在电力巡检、工程测绘、航拍及物流等领域的应用不断增加。与此同时，未经许可的无人机进入输电走廊、靠近输电塔架或在电力设施周边长时间飞行，可能对电网安全运行、线路检修和现场作业带来风险。输电线路具有覆盖范围广、线路距离长、跨越区域多、沿线环境复杂等特点。部分线路跨越山地、林区、乡镇、道路及施工区域，传统依赖人工巡查的方式难以持续覆盖全部线路空域。若沿线采用无差别、高密度固定设备部署，不仅会增加建设投资，还可能产生通信、供电、维护及设备利用率方面的压力。

因此，输电线路低空安全建设需要从单点设备防护转向线路级、区域化、智能化协同管理，构建集无人机探测预警、风险研判、自主巡检、图像核查、应急处置和运行管理于一体的综合防控体系。

本方案以福建灵信信息科技有限公司低空感知与无人机防控相关产品为基础，结合大疆机场（DJI Dock）及适配无人机，提出面向长距离输电线路的无人机巡飞防控解决方案。

1.2 建设目标

本项目围绕“看得见、判得准、查得清、管得住、可持续”的建设目标，形成以下能力：

- 低空目标感知能力：** 对输电线路重点区段及周边空域开展无人机无线电信号探测、目标识别及告警。
- 线路风险分级能力：** 根据线路重要程度、历史黑飞情况、施工活动、地理环境及设备探测能力划分风险区域。
- 无人机自主巡检能力：** 通过大疆机场及适配无人机执行输电线路例行巡检、重点部位复查和异常情况图像采集。
- 异常目标协同核查能力：** 对符合安全条件、具备有效定位信息的异常目标，生成核查任务，由授权人员审核后调度无人机前往目标区域采集图像。
- 统一指挥管理能力：** 通过平台实现告警接入、事件处置、无人机任务调度、巡检记录及闭环管理。
- 经济化建设能力：** 根据线路长度、有效探测距离、地形条件及风险等级进行设备布点，避免简单按照线路长度等间距配置设备。

1.3 总体建设原则

本方案遵循以下原则：

- 风险优先：** 优先保障重要输电通道、重点塔区、施工区域及历史风险区段。

- **分层建设：** 固定感知、机动巡查、无人机自主巡检相结合。
 - **有效覆盖：** 以现场验证的有效探测距离为依据，不以设备标称最大距离直接推算覆盖能力。
 - **协同核查：** 固定感知设备负责发现异常，无人机负责合规图像核查，平台负责统一调度。
 - **安全可控：** 无人机任务须经过授权、空域及现场安全校验，具备人工中止和返航机制。
 - **开放兼容：** 根据设备实际接口、协议及厂商能力开展系统集成，不预设未经验证的接口兼容性。
 - **全生命周期管理：** 统筹建设、通信、供电、维护、人员、升级及设备更新成本。
-

二、项目需求与风险分析

2.1 输电线路低空安全面临的主要问题

2.1.1 线路距离长，固定设备难以全线覆盖

输电线路可能延伸数十公里乃至数百公里，且线路走向并非直线。沿线山体、树林、建筑、地形起伏及电磁环境均会影响无线电探测效果。

若简单按设备标称距离进行等间距部署，可能出现实际覆盖不足、盲区集中、重复建设或投资过高等问题。

2.1.2 黑飞目标发现与现场核查存在时间差

固定探测设备可以发现特定无线电信号或识别部分无人机活动，但探测告警并不必然等同于获得准确的无人机实时坐标，更不代表已经获得遥控飞手的准确位置。

如果缺乏进一步核查机制，管理人员可能难以快速确认无人机类型、飞行方向、是否接近线路及是否存在实际风险。

2.1.3 传统人工巡线效率受限

传统人工巡线需要人员到达现场，受到交通条件、地形、天气和人员安排等因素影响。对于突发告警、复杂地形及长距离线路，单纯依赖人工巡查可能无法满足快速核查需求。

2.1.4 线路巡检与低空防控相对独立

常规线路巡检主要关注导线、绝缘子、金具、杆塔及通道环境；无人机防控主要关注异常飞行目标。若两类系统独立建设，可能形成数据分散、任务重复、资源无法共享等问题。

本方案将线路巡检与异常目标核查纳入统一任务管理体系，在满足安全要求的前提下，

提高机巢、无人机及平台的综合利用率。

2.2 主要风险场景

风险场景	典型表现	可能影响	建议防控方式
无人机靠近输电线路	无人机在导线、塔架附近飞行	增加线路运行及现场作业风险	固定感知、告警研判、现场核查
施工区域黑飞	无人机在吊装、施工现场附近活动	干扰施工及线路安全管理	重点区段布控、移动巡查
重要塔区异常飞行	无人机长时间停留或反复飞越	增加重点设施周边低空风险	重点感知、授权无人机复核
山区及林区盲区	地形遮挡、通信不稳定	发现延迟、核查困难	风险布点、机动补盲
大风、雷雨等特殊天气	飞行环境变化、任务条件不满足	巡检任务风险增加	气象校验、任务暂停、人工巡查
线路故障或灾害后巡查	需要快速确认线路及通道状态	人员到场时间较长	无人机自主巡检及重点部位复查

三、总体技术架构

3.1 总体架构

本方案采用“前端感知层—通信传输层—平台应用层—无人机巡检层—运行管理层”的总体架构。

前端感知层：部署灵信科技无人机无线电探测设备、侦测反制一体化设备及其他适配感知设备，负责重点空域的无人机活动发现、信号识别和告警。

通信传输层：通过有线网络、专网或经批准的无线通信方式，实现感知设备、无人机机场及平台之间的数据交互。

平台应用层：依托灵信科技低空感知与防控平台，整合目标告警、风险分析、任务派发、无人机任务状态、图像资料及事件处置记录。

无人机巡检层：采用大疆机场及适配无人机，执行输电线路自主巡检、重点区段复查及异常飞行活动的授权图像核查。

运行管理层：建立设备运维、巡检计划、飞行审批、人员权限、数据管理、应急处置

和绩效评估机制。

3.2 系统业务关系

系统组成	核心职责	输出信息
灵信科技低空感知设备	发现并识别符合设备能力范围的无人机活动	告警、信号特征、目标信息
灵信科技低空防控平台	汇聚告警、研判风险、管理任务与事件	事件工单、任务指令、处置记录
大疆机场及适配无人机	执行线路巡检、异常目标图像核查	可见光/红外图像、任务状态、巡检记录
运维管理系统	管理设备状态、人员、权限及维护计划	设备台账、运行记录、维护工单
电力业务系统（可选）	对接线路台账、杆塔编号、缺陷及检修计划	线路资产信息、巡检任务及缺陷数据

3.3 核心业务闭环

系统形成以下业务闭环：

目标发现 → 告警研判 → 风险定位 → 任务审核 → 无人机自主核查 → 图像回传 → 事件复核 → 处置归档。

其中，固定感知设备负责发现异常活动；平台负责对目标信息、位置可信度、线路风险及任务条件进行综合判断；大疆机场及适配无人机在获得授权后执行核查或巡检任务；最终由管理人员结合图像及其他信息完成事件认定与处置。

四、输电线路无人机防控系统设计

4.1 固定式低空感知系统

固定式低空感知设备主要部署于重点输电通道、重要塔区、施工交叉区域、交通枢纽附近及历史风险点位。

系统可根据产品型号和配置，采用无线电频谱探测、无人机信号特征识别及其他经验证的探测手段，实现重点空域无人机活动监测。

固定感知设备的主要作用包括：

- 1. 对覆盖范围内的无人机相关无线电活动进行持续监测。

2. 在设备能力及信号条件允许时，识别目标类型、信号特征或相关飞行信息。
3. 向平台上报告警及设备状态。
4. 为无人机协同核查提供初始线索。
5. 为重点区段风险统计和布点优化提供数据依据。

需要说明的是，不同设备的探测方式、频段、识别能力、定位能力及有效距离存在差异。项目设计应依据具体型号技术资料及现场测试结果确定，不能将单一型号的参数直接视为所有设备的统一性能。

4.2 机动式低空巡查系统

对于线路距离较长、沿线风险分布不均、固定部署成本较高的场景，建议配置机动式巡查设备作为固定感知系统的补充。

机动式设备可根据线路巡检计划、施工活动、临时风险或历史告警情况，在指定区域开展阶段性巡查。

适用场景包括：

- 固定设备覆盖不足的山区及林区；
- 临时施工、吊装或线路检修区域；
- 尚未完成固定感知建设的区段；
- 发生异常告警后需要加强监测的区域。

机动巡查不应被视为固定感知的完全替代方式。对于高风险、需持续监测的区段，仍应根据风险等级及现场条件评估固定部署必要性。

4.3 无人机反制设备的配置原则

在输电线路场景中，反制设备应纳入经过审批的安全管理体系，不宜将其作为全线常态化、无差别开启的设备。

涉及无线电干扰、导航诱骗或其他主动处置功能时，应重点核查使用权限、适用场景、对电力通信及周边合法无线电业务的影响，并建立授权、审批、操作留痕及应急中止机制。反制设备的配置应根据项目实际需求、法律法规、主管部门要求及现场电磁环境确定。不得将“发现目标”直接等同于“自动启动反制”。

五、灵信科技产品配置建议

本方案可根据输电线路风险等级及现场建设条件，选配灵信科技相关低空感知与防控产品。最终产品型号、数量、接口及技术参数以项目确认的产品规格书、合同技术协议和现场测试结果为准。

5.1 产品配置方向

产品类别	典型产品/系统方向	主要用途	建议部署位置
无人机无线电侦测设备	LX-TDS 系列及适配侦测设备	无人机信号监测与告警	重点塔区、线路走廊重点点位
频谱探测与干扰一体化系统	LX-WDS 系列	按型号能力开展探测及授权处置	经评估的重点防护区
固定式侦测反制设备	LX-WDS-FRA01 等适配设备	重点区域感知及经批准的处置	重点设施、关键区段
低空感知与防控平台	灵御低空智巡联防指挥平台 V1.0	告警汇聚、事件管理、任务协同	指挥中心、运维中心
大疆机场及适配无人机	DJI Dock 及适配机型	自主巡检、图像核查、复查任务	经评估的区域机巢点位

5.2 LX-TDS03 无线电侦测设备应用

LX-TDS03 可作为项目固定感知层的候选设备之一。根据已提供的产品资料，该设备采用无线电无源侦测方式，支持 360°监测，适用于室外长期部署；资料标注的工作频率范围为 25MHz-6000MHz，接收灵敏度≤-115dBm。

上述参数属于产品资料参数，不等于实际输电走廊中的保证覆盖距离。实际探测效果还会受到无人机类型、信号发射功率、天线安装高度、地形遮挡、周边电磁环境及目标飞行状态等因素影响。

项目实施前应通过现场测试确认设备在目标线路环境中的有效探测距离、识别稳定性、告警延迟及数据接口能力。

5.3 灵御低空智巡联防指挥平台 V1.0

平台作为项目统一管理与业务协同入口，建议重点建设以下功能：

- 线路及杆塔基础信息管理；
- 感知设备在线状态监测；
- 无人机告警接入与事件管理；
- 目标位置、时间及可信度展示；
- 重点区域电子地图；

- 无人机机场状态与巡检任务管理；
- 异常目标图像核查任务管理；
- 告警与巡检记录关联；
- 事件处置、复核与归档；
- 用户权限、操作日志及运行统计。

具体功能以平台现有能力、项目定制开发范围及设备接口联调结果为准。

六、长距离输电线路经济化布点设计

6.1 布点核心原则

输电线路防控系统的建设成本与线路长度、设备探测距离、地形、通信条件、供电方式、风险等级及维护难度密切相关。

因此，不能简单按照“每隔固定公里部署一套设备”的方式确定最终配置，也不能直接使用产品宣传页中的最大探测距离计算全线覆盖数量。

本方案采用“风险分级、有效距离测算、重点区段优先、固定与机动结合”的布点方法。

6.2 输电线路风险分区

建议将线路划分为三级区域：

区域等级	典型范围	建设策略
一 级 重 点 防护区	重要塔区、枢纽附近、施工密集区、历史黑飞高发区	优先部署固定感知，必要时配置冗余监测及机动支援
二 级 重 点 关注区	城镇周边、道路交叉区、一般施工区及风险相对集中的线路段	采用适度固定部署与机动巡查结合
三 级 一 般 巡查区	风险相对较低、地形复杂且固定建设成本较高的区段	以周期性自主巡检、移动巡查及事件触发核查为主

风险等级应根据电网运行要求、线路重要性、历史事件、无人机活动情况和现场勘察结果动态调整。

6.3 有效探测距离与覆盖测算

设备标称探测距离通常是在特定测试条件下获得，不能直接视为复杂输电走廊中的稳定覆盖半径。

项目应通过现场测试，分别确定不同方向、不同地形条件下的有效探测距离，并对以下因素进行修正：

- 山体、树林、建筑等遮挡；
- 无人机型号及信号发射特征；

- 设备天线高度与安装方向；
- 多路径传播及周边电磁环境；
- 目标飞行高度、速度及停留时间；
- 设备告警稳定性与目标识别要求。

对于近似直线、探测条件较为均匀的线路区段，可采用以下初步估算方法：

单点沿线理论覆盖长度 $\approx 2 \times$ 有效探测半径 $-$ 相邻覆盖重叠长度

若线路长度为 L，单点有效探测半径为 R，规划重叠长度为 O，则初步点位数量可估算为：

$N \approx$ 向上取整 $[L \div (2R - O)]$

该公式仅用于初步方案估算，不适用于直接确定复杂地形中的最终设备数量。对于弯曲线路、山地走廊、多方向覆盖或存在明显遮挡的区段，应结合 GIS 线路数据、设备安装位置及现场测试结果开展空间覆盖分析。

6.4 100 公里线路布点示例

以下为纯粹用于说明布点方法的假设示例，不代表任何具体型号的实际性能或项目报价。

假设有效探测半径	理论单点沿线覆盖长度 (未计重叠)	100 公里直线区段初步点位估算
2 公里	4 公里	25 处
3 公里	6 公里	17 处
5 公里	10 公里	10 处
8 公里	16 公里	7 处

实际工程中需要考虑相邻覆盖重叠、地形遮挡、重点区段加密、通信接入和设备维护等因素，因此最终设备数量可能高于上述理论估算。

对于长距离输电线路，建议优先将预算投入到高风险区段的有效感知能力建设，而不是单纯追求沿线设备数量。

6.5 固定感知与无人机机巢的联合布点

固定感知设备与无人机机场承担不同任务，不应使用同一套距离参数进行配置。

固定感知设备的布点重点是探测覆盖、信号条件、安装条件和通信保障；无人机机场的布点重点则是安全任务半径、往返航程、巡检任务时间、续航余量、气象条件、起降环境和通信链路。

建议采用以下方式：

- 在重点区段部署固定感知设备，形成持续监测能力；
- 在区域中心、运维站点或适宜的沿线位置部署无人机机场；

- 由无人机机场承担一定范围内的线路自主巡检；
- 对超出安全任务半径的区段，设置其他机巢或采用人工、机动方式补充；
- 对临时高风险区段，采用移动设备及临时巡查任务增强保障。

机巢数量应依据实际航线规划、飞行安全边界、任务效率及运维成本综合确定，不应简单按照固定的线路公里数配置。

6.6 建议采用的建设模式

模式一：重点区段固定感知 + 一般区段机动巡查

适用于线路跨度大、风险集中分布、预算需要分阶段投入的项目。

模式二：重点区段固定感知 + 区域机巢自主巡检

适用于需要同时提升线路巡检效率和异常事件核查能力的项目。

模式三：固定感知 + 区域机巢 + 移动防控设备

适用于重点设施较多、临时风险活动频繁、需要加强机动保障的线路。

项目可根据线路长度、风险等级、预算及运维条件组合选用，不建议将任何单一模式视为所有线路的统一配置。

七、基于大疆机场的无人机自主巡检与黑飞协同核查

7.1 建设目标

通过部署大疆机场（DJI Dock）及适配无人机，将无人机自主巡检能力与低空感知告警体系进行协同，形成“固定感知发现异常、平台研判并派发任务、无人机按授权开展图像核查”的业务机制。

该系统主要承担两类任务：

1. **输电线路日常及专项巡检：** 按计划巡查杆塔、绝缘子、金具、导线及线路通道。
2. **异常飞行活动协同核查：** 在目标信息具备可用性、飞行条件满足要求且任务获得授权后，调度无人机前往安全核查区域采集图像。

7.2 系统组成

组成部分	功能
大疆机场	无人机停放、充电、任务保障及远程运行管理，具体能力以型号为准
适配无人机	执行可见光或红外巡检、图像采集及授权核查任务
灵信科技感知设备	发现无人机相关活动并向平台提供告警信息
灵信科技低空防控平台	关联告警、线路及机巢信息，管理核查任务
任务管理模块	进行任务审核、航线校验、状态监控及结果归档
通信与数据系统	支持设备状态、任务信息、图像及结果回传

系统集成前，应核验具体大疆机场型号、无人机机型、开放接口、任务管理能力、第三方系统接入方式及项目授权条件。不得默认不同型号机场、无人机或软件平台均具备完全一致的接口和自动任务能力。

7.3 输电线路自主巡检业务

大疆机场可结合线路资产数据及巡检计划，按照预设航线执行例行或专项巡检。
主要巡检内容包括：

巡检对象	主要检查内容	建议数据形式
杆塔	塔体外观、构件异常、周边环境	可见光图像
绝缘子	外观破损、污秽及异常状态	可见光图像
金具	外观异常、缺失或疑似损伤	可见光图像
导线及地线	可视范围内的外观异常	可见光图像
线路通道	树障、施工活动、外部环境变化	可见光图像
灾害影响区域	山体滑坡、洪水、强风等造成的外部影响	可见光/适配传感器数据

具体巡检内容、图像分辨率、飞行距离、检测精度及任务频率应结合线路电压等级、作业规程、无人机载荷和项目需求确定。

对于需要精细检测的部件，应按照电力企业相关巡检规程及现场作业要求制定专门航线，不能仅依靠普通远距离图像完成缺陷认定。

7.4 黑飞目标协同核查业务流程

当灵信科技感知设备发现疑似未经授权的无人机活动后，系统按照以下流程开展协同核查：

第一步：异常目标发现

前端感知设备发现符合其探测能力范围的无人机活动，生成告警信息，并上报目标特征、发现时间、设备位置及可获得的目标位置等数据。

第二步：告警研判

平台结合线路电子地图、重点区域、历史告警、目标运动信息及设备可信度，对事件进行初步分类，判断是否需要启动无人机核查。

第三步：定位信息校验

系统核查目标位置的数据来源、时间戳、坐标系、定位精度及可信度。
必须区分以下信息：

- 无人机目标位置；
- 遥控器或飞手位置；

- 感知设备自身位置；
- 根据告警推算的疑似活动区域。

上述信息并不等价。若系统未获得可靠的飞手位置，不得将无人机目标坐标标注为飞手位置。若目标坐标存在较大误差、信息过期或无法验证，应以安全区域巡查或人工核查为主，不得直接生成精确追踪任务。

第四步：任务条件校验

平台检查拟执行任务的空域权限、线路安全边界、无人机可用状态、机巢位置、续航余量、天气条件、通信质量及周边障碍物情况。

第五步：任务审核与派发

符合条件的任务进入授权审核流程。经授权人员确认后，平台向适配的机场及无人机下发核查任务。

对于未完成审批、目标位置不可靠或存在明显飞行安全风险的任务，应暂停自动派发。

第六步：无人机自主核查

无人机按照批准的任务航线飞往安全核查区域，在不侵犯线路安全边界、不危及人员及第三方航空器的前提下采集图像。

任务目标是确认异常活动的现场情况，而非自动追逐、碰撞、迫降或干扰其他无人机。

第七步：图像回传与事件复核

无人机回传任务状态、图像及相关记录。管理人员结合感知告警和现场图像，对异常活动进行复核，必要时通知电力运维、安保或相关主管部门进一步处置。

第八步：事件闭环

系统保存告警、审核、飞行任务、图像资料及处置记录，形成可追溯的事件档案。

7.5 飞手位置与目标位置的使用边界

“根据飞手位置派无人机前往拍照”在实际工程中必须以定位能力和数据可信度为前提。并非所有无线电探测设备均能直接、持续、准确地获得飞手位置。部分系统可能仅提供无人机活动区域、信号方向或估算位置，相关结果还可能受到多径传播、遮挡及目标信号变化影响。

因此，建议将飞手位置作为可选的辅助信息，而不是无人机核查任务的默认唯一导航依据。

当飞手位置经授权获取且具备足够可信度时，可用于辅助事件研判或人员核查；无人机飞行任务仍应依据经审核的安全航线和任务区域执行。不得将无人机自动飞向未经验证的飞手坐

标作为默认策略。

7.6 机巢选址与任务半径规划

机巢选址应综合考虑：

- 输电线路走向及重点巡检区段；
- 机场至巡检区域的实际航线距离；
- 无人机往返航程及电量安全余量；
- 巡检载荷、图像采集时间及任务持续时间；
- 线路周边高压设施、建筑、树木及其他障碍物；
- 机巢供电、通信、网络及防护条件；
- 起降安全、运维可达性及应急处置条件；
- 当地空域管理要求及无人机运行限制。

对于长距离线路，建议采用多个区域机巢分段保障，而不是依赖单个机场承担超出安全任务半径的巡检任务。

八、平台软件与数据协同设计

8.1 线路数字化管理

平台应建立线路、杆塔、重点区域、机巢、感知设备及巡检航线等基础数据档案。

线路数据建议包括线路名称、电压等级、线路走向、杆塔编号、地理坐标、重点防护区段、运维责任单位及历史事件记录。

基础数据应由电力企业确认，并建立更新机制，避免因线路改造、杆塔编号变化或地图数据不一致影响任务执行。

8.2 告警与巡检数据关联

平台应支持将低空告警与线路巡检任务进行关联。例如，某重点塔区发生无人机告警后，平台可展示附近感知设备、机巢位置、最近巡检记录及可用无人机状态，为管理人员提供辅助决策信息。

系统不应仅依赖单一告警自动作出高风险处置决定。涉及飞行调度、主动反制或其他重要操作时，应按照项目授权及审批流程执行。

8.3 数据管理与安全

项目应建立统一的数据管理机制，包括：

- 用户身份认证与分级权限；
- 设备接入认证与通信安全；

- 飞行任务审核与操作留痕；
- 图像及视频资料分级存储；
- 重要数据备份与恢复；
- 数据访问、导出及共享审批；
- 系统故障与网络异常应急处理。

涉及飞手身份、人员影像或其他个人信息的数据，应遵循合法、正当、必要原则，明确数据用途、访问范围、保存期限及使用权限。

九、系统部署与实施方案

9.1 项目前期勘察

项目实施前，应组织电力运维、低空防控、无人机运行及系统集成相关人员开展现场勘察。

主要工作包括：

1. 收集线路长度、走向、电压等级及杆塔台账。
2. 识别重点塔区、施工区域、历史风险点及线路交叉区域。
3. 勘察设备安装位置、供电、通信及网络条件。
4. 对候选感知设备开展现场探测测试。
5. 对候选机巢位置开展飞行任务半径与安全条件评估。
6. 核验设备接口、平台对接方式及无人机机场开放能力。
7. 编制设备布点图、通信拓扑图、任务规划图及分期建设建议。

9.2 分阶段建设

建议先选择具有代表性的重点区段开展试点，验证有效探测距离、告警质量、无人机任务安全性及系统接口稳定性，再根据实际结果优化全线建设规模。

十、系统验收与测试要求

10.1 验收基本原则

系统验收应以合同技术协议、经确认的设计文件、适用标准及现场测试结果为依据。对于探测距离、定位精度、告警延迟、任务响应时间、图像质量及系统可用率等指标，应在项目实施前明确测试条件、测试方法、统计口径和合格标准。

10.2 建议验收项目

10.3 现场测试重点

验收类别	测试内容
------	------

感知设备	设备在线状态、目标告警、信号识别及现场有效探测能力
覆盖能力	重点区段覆盖情况、盲区分布及覆盖重叠情况
定位能力	位置来源、坐标一致性、时间戳及误差统计
平台功能	告警展示、事件管理、权限控制及日志记录
机场及无人机	远程状态、任务执行、图像回传及异常中止
业务协同	告警生成、任务审核、无人机核查及事件归档闭环
安全机制	空域及线路安全校验、人工中止、失联返航及任务终止
运维能力	设备故障告警、维护工单、数据备份及恢复

对于固定感知设备，应在不同方向、不同距离及代表性环境条件下进行测试，形成有效探测能力评估报告。

对于无人机自主巡检及异常目标核查，应在获得相应授权、满足飞行安全条件的前提下开展测试，重点验证任务审批、航线执行、图像回传、异常中止及返航机制。不得仅以设备能够开机、平台能够显示或无人机能够起飞作为系统整体验收合格的依据。

十一、运行维护与应急管理

11.1 日常运维机制

建议建立“平台监控、定期巡检、故障工单、备件保障、运行复盘”的运维机制。
日常运维内容包括：

- 感知设备在线状态与通信状态检查；
- 设备安装结构、供电及防护设施检查；
- 无人机机场及无人机健康状态检查；
- 电池、载荷、通信及返航能力检查；
- 平台数据备份、权限检查及日志审计；
- 巡检任务执行情况及异常记录复核；
- 设备故障处理、备件更换及维修记录归档。

11.2 异常事件处置

当系统发现疑似黑飞活动时，应根据事件等级启动对应处置流程。
一般流程为：

告警接收 → 信息核实 → 风险分级 → 通知相关人员 → 授权核查 → 现场处置 → 事件

归档。

涉及输电线路运行风险、人员安全风险或疑似违法飞行活动时，应依照电力企业应急预案及相关管理要求，及时通知相应责任部门或主管机构。

未经授权，不得擅自实施无线电干扰、导航诱骗或其他可能影响电网通信、航空安全及第三方合法设备的主动处置措施。

十二、建设效益分析

12.1 提升线路低空风险发现能力

通过重点区段固定感知与机动巡查相结合，提升输电走廊对异常无人机活动的发现能力，为风险研判及后续核查提供信息支撑。

12.2 提高线路巡检效率

通过区域机巢及适配无人机执行例行巡检和专项复查任务，减少部分场景下人员反复往返现场的需求，提升巡检任务组织效率。

实际效率提升幅度应通过试点前后任务工时、巡检里程、人员投入及任务完成率等指标进行评估。

12.3 缩短异常事件核查链路

将感知告警与无人机图像核查任务关联，减少从异常发现到现场信息获取之间的组织环节，为管理人员提供更及时的现场图像和事件信息。

12.4 优化长距离线路建设成本

采用风险分区和有效探测距离测算，优先建设重点区段固定感知能力，并通过区域机巢、机动巡查及分期部署补充一般区段能力，有助于避免无差别全线密集布设造成的投资压力。

12.5 促进巡检与防控业务融合

通过统一平台管理线路资产、感知告警、无人机任务和事件记录，推动线路巡检与低空安全管理形成协同机制，为后续数字化运维及智能化管理提供数据基础。

十三、标准规范与合规要求

项目设计、实施、运行及验收应结合国家法律法规、电力行业标准、民用无人驾驶航空器管理要求及电力企业内部制度执行。

可重点核对以下标准及规范：

标准/规范	主要关联内容
DL/T 1482—2023《架空输电线路	架空输电线路无人机巡检方式、作业及资料管理

无人机巡检作业技术导则》	
DL/T 2692—2023《电网设备无人机自动巡检技术导则》	电网设备无人机自动巡检、任务航线及异常处置
DL/T 2693—2023《架空输电线路巡检用小型多旋翼无人机系统通用技术条件》	小型多旋翼无人机巡检系统组成及技术要求
DL/T 2697—2023《架空输电线路无人机巡检数据自动采集及处理规范》	巡检数据采集、处理、存储与管理
现行民用无人驾驶航空器相关法规及运行管理要求	无人机飞行活动、空域、人员及运行安全管理
电力企业现行安全生产及线路巡检制度	线路运行安全、作业许可及现场管理

其中，DL/T 1482—2023、DL/T 2692—2023、DL/T 2693—2023 及 DL/T 2697—2023 的标准状态、适用范围及实施信息，可通过全国标准信息公共服务平台等渠道核验。

项目正式实施前，应再次核对标准的现行状态、适用范围及电力企业内部规范。若标准更新或项目所在地存在更严格的管理要求，应以最新有效规定为准。

本方案为技术与建设思路文件，不替代项目专项设计、飞行活动审批、电力安全审查、无线电管理审批及其他法定程序。

十四、总结与建议

输电线路无人机巡飞防控不是单一设备采购项目，而是涉及低空感知、线路巡检、无人机运行、平台集成、通信保障及电力安全管理的系统工程。

针对输电线路长距离、跨区域、环境复杂、建设成本敏感等特点，本方案建议采用：**重点区段固定感知 + 一般区段机动巡查 + 区域机巢自主巡检 + 异常目标授权核查 + 平台统一管理。**

灵信科技低空感知设备可为输电线路重点区段提供无人机活动监测与告警能力；灵御低空智巡联防指挥平台可承担告警管理、任务协同及事件闭环；大疆机场及适配无人机可执行

线路自主巡检和符合条件的异常目标图像核查。

项目建设应坚持以现场有效探测距离为依据，以风险分区为基础，以安全任务半径为边界，以试点验证为前提，逐步形成适应不同线路长度、地形条件和预算要求的分级建设模式。

通过科学布点、系统协同及规范运维，构建覆盖重点区段、具备机动补盲能力、支持自主巡检与异常核查的输电线路低空安全管理体系，为电网安全运行及线路数字化运维提供持续支撑。