



# 《低空经济基础设施发展白皮书（2026）》

—— 无人机机场从自动化作业到规模化运营的产业实践

V1.0

2026.05

# 目录

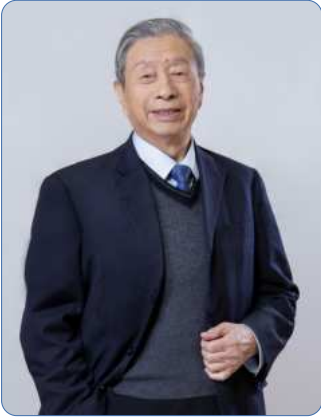
<b>序言</b>	<b>001</b>	1.4.3 载人 eVTOL：长期愿景，短期仍在 023
刘大响院士的序言	001	培育
向锦武院士的序言	003	
孙正良副会长的序言	005	
张文玉副主任的序言	007	
李琪所长的序言	009	
<b>1 低空经济发展态势</b>	<b>010</b>	<b>2 构建低空经济的运营底座</b> <b>024</b>
1.1 低空经济：从概念到国家战略	010	2.1 方案定位与整体架构 024
1.1.1 低空经济的定义与范畴	010	2.1.1 方案定位：无人值守一体化解决方案 024
1.1.2 国家层面政策演进与深度解读	012	2.1.2 "机场 + 飞行器 + 云平台" 三位一体 024
1.2 各地低空经济建设进展与政策扫描	<b>014</b>	架构
1.2.1 先行示范：深圳的系统实践	014	2.2 无人值守优势：全天候自动运行， <b>026</b>
1.2.2 各省市低空经济政策进展	015	一人管多站
1.3 低空经济发展模式分析：从基础设施	<b>016</b>	2.2.1 全天候环境适应 026
建设到常态化运营		2.2.2 全自动作业流程 027
1.3.1 基础设施先行：没有“路”就没有	016	2.2.3 多层安全保障体系 029
“车流”		2.3 数据优势：一次飞行采集多维数据 <b>030</b>
1.3.2 常态化运营：从初期验证到规模化应用	016	2.3.1 数据能力与应用场景的对应关系 030
1.3.3 无人机机场：连接基础设施与常态化运	018	2.3.2 "一次飞行，多维数据" 的采集效率 031
营的枢纽		2.3.3 数据从采集到价值的完整链路 032
1.4 低空经济应用分析：各赛道成熟	<b>019</b>	2.4 性能优势：高可靠性硬件平台， <b>033</b>
度对比		支撑多部门共享需求
1.4.1 行业无人机：已验证的增长引擎	019	2.4.1 长续航与大覆盖：减少站点数量， 033
1.4.2 物流无人机：商业闭环待验证	022	降低共享成本
		2.4.2 全天候可用：确保多部门排班不 034
		" 断档 "
		2.4.3 固定 + 车载双部署：兼顾常态化与机 034
		动性需求
		2.4.4 多站协同与权限管理：共享的制度化 034
		保障

<b>2.5 软件平台优势：AI 智能助力自 动化飞行</b>	<b>034</b>		
2.5.1 一站式无人机管理	035	3.3.1 从地面单点执法到空地全网覆盖	066
2.5.2 AI 智能与大模型	036	3.3.2 大疆机场支撑交警三大核心作业场景	068
2.5.3 系统集成与对接	040	3.3.3 大疆机场交警低空应用解决方案	071
<b>2.6 服务体系：保障低空基建长期稳 定运营</b>	<b>041</b>	3.3.4 湖南长沙许广高速规模化部署案例	074
2.6.1 低空基础设施对服务保障的特殊要求	041	3.3.5 江苏南京高速全域覆盖应用案例	075
2.6.2 大疆行业服务体系构成	043	3.3.6 湖北荆州城市智慧交管落地案例	077
2.6.3 服务网络：覆盖全域，分级响应	045	3.3.7 深圳福田交管大队空地联勤新型勤务模 式实践	078
<b>3. 全球超 80 个国家地区信赖的低空 解决方案</b>	<b>046</b>	<b>3.4 交通：全生命周期的低空巡护网络</b>	<b>081</b>
3.1 城市一网统飞：城市多部门共享的 低空基础设施	047	3.4.1 从人工巡检到自动化飞检	081
3.1.1 从 " 各部门分散采购 " 到 " 一网统一 调度 "	047	3.4.2 路面、桥梁、边坡多维度巡检作业	082
3.1.2 一套机场网络覆盖多部门核心需求	047	3.4.3 大疆机场智慧交通解决方案	083
3.1.3 大疆机场城市一网统飞解决方案	048	3.4.4 河南高速规模化应用案例	084
3.1.4 广州南沙区 36 套机场规模化部署案例	049	<b>3.5 林业： " 天空地 " 一体化管护的低空 基础设施</b>	<b>093</b>
<b>3.2 电力：低空智能运维网络</b>	<b>055</b>	3.5.1 从人力巡山到常态化空中巡护	093
3.2.1 从人工巡检到网格化无人值守	055	3.5.2 防火预警与自然资源调查应用	094
3.2.2 输电、变电、配电核心应用场景	056	3.5.3 大疆机场林业数字化解决方案	095
3.2.3 电力行业自动化机场解决方案	058	3.5.4 湖南省森林防火项目案例	097
3.2.4 泰州供电公司 207 套机场全域覆盖 案例	061	<b>3.6 自然资源：耕地保护与国土监管</b>	<b>102</b>
<b>3.3 交警：全路网低空交管基础设施</b>	<b>066</b>	3.6.1 从卫星监测盲区到空中实时核查	102
		3.6.2 耕地保护、调查监测与执法督察应用	103
		3.6.3 大疆机场自然资源行业解决方案	103
		3.6.4 山东省聊城市 108 套机场全域覆盖案例	105
		<b>4. 海纳百川，生态共赢</b>	<b>109</b>
		4.1 坚持 " 技术开放、合作共赢 " 战略方针	109
		4.2 产品技术深度开放	109
		4.2.1 云端接口开放：上云 API	110

4.2.2 硬件负载开放: Payload SDK	113	6.2 从自动化到自主化: 低空经济的智能演进路径	<b>144</b>
4.2.3 智能算力开放	113	6.2.1 四个阶段: 从规则驱动到完全自主	144
4.2.4 移动应用开放: Mobile SDK	115	6.2.2 云平台的角色跃迁: 从工具到智能体	148
<b>4.3 合作模式与生态展望</b>	<b>116</b>	6.2.3 产业启示: 智能空中作业网络	149
4.3.1 完善的开发者技术支持体系	116	<b>附录</b>	<b>150</b>
4.3.2 全球市场资源开放, 助力生态规模化发展	117	附录 A 专业名词与缩略语	<b>150</b>
4.3.3 生态未来展望	117	附录 B 主要引用来源	<b>153</b>
<b>5. 构建安全合规的低空作业新基石</b>	<b>119</b>		
5.1 大疆机场 3: 通过国标验证产品合规	<b>119</b>		
5.2 大疆机场 3: 匹配国家飞行合规要求	<b>119</b>		
5.3 飞行安全与空域管理	<b>120</b>		
5.3.1 全生命周期数据安全	120		
5.3.2 空域管理与飞行安全	124		
5.3.3 合规认证与第三方审计	137		
<b>6. 展望低空经济的下一站: 无人机互联网与智能自主化作业</b>	<b>139</b>		
6.1 从单机任务到群体智能: 无人机网络的演进方向	<b>139</b>		
6.1.1 范式转变: 从 "操控单机" 到 "编排群体"	139		
6.1.2 五层架构: 低空无人机网络的技术演进路径	140		

**说明:**

关于本书介绍的各大疆产品的参数与功能的条件或注意事项, 请参见官网页或对应用户手册”



## 刘大响

中国工程院院士  
北京航空航天大学教授

当我们谈论低空经济时，实际上是在谈论一个国家如何重新定义自己的战略空间。过去我们常说“国土等于陆地加海洋”，但现代国家的竞争维度早已扩展到空域。低空空域占我国国土立体空间的近三分之一，将其从“沉睡资源”转化为“价值高地”，既可培育万亿级产业，更能支撑公共安全、应急救援与民生服务。

我从事航空发动机研究工作已近六十年。回首中国航空工业的发展历程，从仿制到自研，从跟跑到并跑，每一步都走得艰难而坚定。过去谈航空强国，我们往往聚焦大型飞机、发动机、机载系统这些“国之重器”。但我越来越深刻地认识到，航空强国不仅仅是巅峰技术的突破，更是航空技术向国民经济各领域广泛渗透、创造实实在在价值的过程。低空经济的兴起，正是这一理念的生动实践。

我对低空经济的关注，始于 2008 年汶川地震。地震发生后，我与 26 位院士联名向中央提交建议书，直指航空应急救援的三大短板：基建不足、装备短缺、体系缺失。那时我们就意识到，中国的低空资源处于严重低效利用的状态——美国通用航空器共 21 万架，占全球约 70%，年飞行

2500 万小时；我国通用航空在册航空器仅 3000 余架，年飞行时长 120 万小时。这种差距不是能力问题，而是战略重视不足。但我更要说：差距就是机遇。

今天，低空经济已被纳入国家战略性新兴产业，无人机技术与人工智能的结合，正在开启一个全新的变革窗口。但我们必须清醒地看到，这一产业仍然面临三道坎：核心技术“卡脖子”、基础设施“跟不上”、民生与产业的“协同断层”。没有机场，飞机就是废铁；没有通信，飞行就是冒险。破解这些难题，需要掌握“技术突破、场景开放、协同生态”三把钥匙。

我在航空发动机领域就有过深刻的教训——急于求成、跳过基础研究，最终反而延缓了整体进度。低空经济也是如此：基础设施必须先行，合规体系必须完善，商业模式必须经得起真实场景的检验。只有打好这些地基，产业才能行稳致远，不能重蹈“先热后冷”的覆辙。

本白皮书的价值，正在于此。它没有停留在对低空经济的宏观叙事上，而是以无人机自动机场这一具体产品为支点，展示了低空经济如何从“能飞”到“常飞”再到“智飞”的完整路径。其中对多个行业场景的深入解剖，以及对安全合规体系的系统阐述，都体现了严谨务实的态度。

中国航空工业的每一步进步，都是几代人接力奋斗的结果。低空经济作为航空工业在新时代的延伸，承载着让航空技术更广泛地服务于国计民生的期待。我今年 89 岁了，但只要低空经济未真正“飞起”，我仍将为之奔走呼吁。真诚地希望产业界、学术界、投资界和政策制定者应以科学、理性、务实的态度，共同推动这一新兴产业的健康发展，让中国的低空真正成为国之重器、民之福祉。



---

## 向锦武

中国工程院院士  
北京航空航天大学教授、博士生导师

二十世纪以来，航空技术重塑了全球时空观念，将人类的生产生活向天空拓展。在民用航空的版图中，如果说商业航空是连接世界的“大动脉”，那么通用航空则如同深入人们日常生活、服务国计民生的“毛细血管”。人类对低空空域の利用从未停止，但真正将低空空域视为“战略性空间资源”并进行系统性开发，则是近年来中国产业版图中最引人注目的新篇章。今天，随着技术的演进，辐射多领域的低空经济正在我国从政策蓝图化为产业现实。一个万亿元的战略性增长极正呼之欲出，低空经济正在从政策概念走向产业现实。

我亲历和见证了我国无人机从特殊应用向民用场景的全面拓展，当前深刻地感受到，低空经济绝非传统通航的简单延续，而是新质生产力在航空产业的集中体现。无人机、低空互联网与eVTOL共同构成了低空经济产业的三大增长极。其中，民用无人机是低空经济发展的核心，无人化、智能化、电动化、网络化是其主要特征。正是这些技术的成熟，让曾经遥不可及的飞行器得以“飞入寻常百姓家”，在重塑现代城市运行逻辑的同时，也开启了社会治理与民生服务的全新维度。

然而，必须清醒地认识到，技术成熟不等于产业成熟，当前低空经济正处于从“验证性飞行”向“常态化运营”跨越的阵痛期，许多项目陷入了能“飞起来”却难“飞下去”的境地。其根本原因在于，缺少支撑无人机常态化、无人化运行的地面基础设施。无人机自动机场的出现，正是对这一瓶颈的系统性回应。

低空经济需要“修天路、筑天网”，正如地面交通离不开高速公路与接驳车站，大规模的无人机应用必须依托数字化、智能化的融合基础设施网。唯有实现设施网、航路网、通信网、管理网与服务网的“五网融合”，让低空空域变“可测、可控、可计”，才能支撑起一个繁荣且安全的产业生态。无人机自动机场正是这五张网在物理空间的交汇节点，是让“能飞”变成“常飞”的关键载体。

本白皮书以大疆机场产品为切入点，从低空经济的国家战略定位出发，系统梳理了低空经济的产业逻辑、技术架构、行业实践和合规体系。其中对电力、交通、林业、自然资源等场景的分析基于真实的规模化部署案例和运营数据，从实践中出发对当前低空经济的发展尤为重要。

发展低空经济，是一场面向未来的伟大探索，也是一项任重道远的系统工程。展望未来，无人机将从自动化走向自主化，从单机任务走向群体协同，从人在回路走向智能自决策。同时要特别注意的是，在这一进程中必须强化数据安全，建立数据安全管理制度，采取有效的加密和防护措施，防止数据泄露和滥用。我们要有仰望星空的远见，敢于定义天空的边界，更要有埋头苦干的韧性，扎根于低空基础设施建设。我坚信，在不远的将来，我们头顶的天空将会更为繁忙。

希望本白皮书能为政策制定者、研究者及产业参与者提供参考，共同推动中国低空经济的健康有序发展。



## 孙正良

现任中国道路交通安全协会副会长  
全国道路交通安全管理技术标准化委员会副主任委员

随着“交通强国”、“低空经济”等国家战略引领下，我国道路交通安全管理正经历深刻变革。面对机动车保有量快速攀升、路网规模持续扩大、群众出行需求多元等复杂态势，传统以“固定视频监控 + 地面执法人员巡逻”为主的管理模式，在应对突发事故、大范围拥堵及跨区域协同等场景时，常受限于信息获取滞后、视角受限与响应处置不快等问题。在此背景下，兼具高机动性、广阔视野与灵活部署特点的无人驾驶航空器，凭借其灵活机动、多维感知、快速响应等独特优势，迅速成为交通管理部门构建“空地一体”智慧交管体系的重要执法装备。特别是 2025 年以来，各地交通管理部门利用大疆机场 3 和司空 2 平台等产品实现与交通集成指挥平台的融合，探索从空中巡逻到智能执法取证、从交通事故现场勘查到道路交通隐患排查等场景应用，实现交通管理从“平面管控”向“立体治理”的跨越式转型。目前，无人驾驶航空器已从初期局部地区试点发展为全国近百个交管支队的常态化装备，应用涵盖空中日常巡逻及疏导、事故勘查、执法取证、应急指挥、大型活动安保等多个场景，已成为交通高峰时段和节假日期间保障路网畅通的重要工具。

作为深耕交通管理领域多年的实践者，我深切体会到无人驾驶航空器技术和产品的价值不仅在于装备本身的性能突破，更在于其与智能检测算法的协同进化、与行业管理流程的深度耦合。我高兴地看到，大疆提供的“硬件 + 软件 + 生态”全栈式解决方案，正在将低空数据采集推向实时化、智能化与自动化，必将极大地降低各行业的作业门槛与成本。

展望未来，从全自动无人值守的机巢系统、具备毫米级精度的激光雷达和更智能的视觉场景识别算法，到支持更长距离作业的工业级无人驾驶航空器的日趋成熟，无人机交管行业应用也将加速向“智能体集群”演进，真正形成覆盖交通态势感知、智能决策、精准执行的闭环管理体系，持续推动交通管理模式创新升级。

期待本白皮书能为交通管理领域开辟出“空地”一体化的治理新范式，为推动各地道路交通治理效能提升提供有益参考。



---

## 张文玉

交通运输部职业资格中心学术委员会副主任

当前，我国交通运输处于“十五五”开局起步关键时期，低空经济作为新质生产力重要载体，是推动交通运输高质量发展、加快交通强国建设的新引擎。推进低空经济规范有序发展，是深入贯彻党中央、国务院关于培育新质生产力、发展战略性新兴产业的决策部署，落实“十五五”规划纲要关于完善现代化综合交通运输体系的工作要求，契合交通运输“三个转向”发展导向和“一网四化”建设目标定位，对优化交通运输空间结构、提升行业治理现代化水平意义重大。

“十五五”时期是加快建设交通强国的关键五年，是我国交通运输高质量发展承前启后的关键阶段，以“三个转向”、“一网四化”为战略引领，加快打破传统平面交通运输发展格局，推动行业整体向一体化融合、安全化提升、数智化升级、绿色化转型，全面实现交通运输体系迭代升级。低空自动化凭借灵活高效、覆盖广泛的的优势，已在公路巡检、物流配送、应急处置等场景应用，成为衔接空地、打通服务“最后一公里”的关键，为低空领域新质生产力融入交通运输发展大局、实现产业化落地应用，提供了可复制、可推广的实践路径。

培育交通运输新质生产力、推动低空经济高质量发展，离不开标准规范引领。大疆公司深耕低空领域，其无人值守平台、行业无人机等产品，为交通运输领域低空自动化应用提供了有效技术支持。此次编撰《低空经济基础设施发展白皮书（2026）》，总结实践成果、梳理发展路径，是推动低空经济与交通运输深度融合、助力新质生产力培育的具体举措。

该白皮书紧扣“十五五”规划纲要关于完善现代化综合交通运输体系的要求，聚焦低空自动化与交通运输深度融合发展核心要义，兼具战略高度、理论深度与实践价值，将为行业规范有序发展、标准体系健全完善提供支撑与参考。希望其充分发挥引领示范作用，推动低空自动化技术更好赋能交通运输高质量发展，加快新质生产力在交通运输领域落地生根、开花结果，助力构建现代化综合立体交通网，为加快建设交通强国、奋力当好中国式现代化建设开路先锋注入新动能、贡献新力量。

谨为之序。



## 李琪

中国国土勘测规划院国土调查监测所所长

当前，空域管理日趋精细化，低空基础设施网络加速成形，低空经济正迎来规模化发展的战略机遇期。作为国土调查一线工作者，我深切体会到，空间数据的获取方式在很大程度上决定了调查监测的时效、精度与全域感知能力。低空自动化运行的逐步成熟，不仅为广域、高频、复杂环境下的自然资源全周期监管提供了新手段，更推动着国土调查业务向实时化、精细化和智能化方向演进。正是基于这样的背景，《低空经济基础设施发展白皮书（2026）》的编撰恰逢其时。白皮书系统梳理了低空自动化运行的技术演进路径，凝聚了来自产业一线的宝贵实践经验，为自然资源调查监测行业的同仁和技术人员提供了一本务实、前瞻的行动指南。相信这份白皮书将有力促进低空自动化运行从单点突破走向体系化、规模化发展，为筑牢低空经济的“数字底座”贡献智慧与力量。谨此推荐，是以为序。

# 01 | 低空经济发展态势

低空经济正从政策蓝图走向产业实践。自 2023 年中央经济工作会议首次将低空经济纳入战略性新兴产业以来，全国各地掀起了一轮以低空空域开放、基础设施建设、应用场景拓展为核心的产业建设浪潮。本章将系统梳理低空经济的政策演进脉络与战略意义，深入扫描各地建设进展与差异化路径，并分析当前低空经济三大领域：行业无人机、物流无人机、eVTOL。

## 1.1 低空经济：从概念到国家战略

### 1.1.1 低空经济的定义与范畴

低空经济是指以低空空域为依托，以各类有人驾驶和无人驾驶航空器的低空飞行活动为牵引，辐射带动相关领域融合发展的综合性经济形态。所谓“低空”，在中国现行空域管理框架下，通常指真高 1000 米以下的空域，部分地区根据实际需求可延伸至 3000 米。这一空域范围恰好覆盖了绝大多数无人机和 eVTOL（电动垂直起降飞行器）的运行高度，是低空经济活动的主要“舞台”。“低空经济”这一概念的提出有其特定的产业背景。长期以来，中国低空空域的开放程度远低于欧美国家，大量低空空域处于未充分利用的状态。与此同时，无人机技术的快速成熟和应用场景的不断拓展，使得低空空域的经济价值被重新认知。低空经济概念的核心，是将低空空域视为一种“战略性空间资源”——类似于土地资源之于房地产行业、频谱资源之于通信行业——并通过政策开放和基础设施建设，释放其经济潜能。

从产业链结构来看，低空经济涵盖三大层次：

**上游——航空器研发制造及核心零部件。**包括多旋翼无人机、固定翼无人机、垂直起降（VTOL）无人机、eVTOL 载人飞行器、轻型通用飞机等飞行器平台的研发与制造，以及飞控系统、动力系统（电机、电池、燃料电池）、机载传感器（可见光相机、红外热像仪、激光雷达、多光谱相机）、通信模块（图传、4G/5G 通信）等核心零部件的供应。大疆创新在多旋翼行业无人机领域有优异表现，其 Matrice 系列飞行器已成为电力巡检、公共安全、测绘等领域的标准化作业平台。

**中游——运营服务与基础设施建设。**包括飞行运营服务（巡检、测绘、物流配送、应急救援、农业植保等具体业务的执行与交付）和基础设施建设两大板块。

其中基础设施建设是当前低空经济发展的重中之重，具体涵盖：起降设施（固定式起降场、分布式起降点、无人机自动机场 / 机巢）、低空通信网络（4G/5G 低空覆盖增强、专用图传链路）、导航定位系统（北斗高精度定位服务、RTK 基准站网络）、气象监测网络（低空专用气象站、风场 / 降水实时监测）、以及空域管理与飞行服务系统。无人机自动机场正是中游基础设施层的核心产品形态，本白皮书讨论的大疆机场 3 即属于这一层次。

**下游——行业应用与消费市场。**涵盖多个行业的具体应用场景和终端消费市场。在行业应用方面，城市政务飞行、电力巡检、公共安全（治安巡逻、交通管理、应急救援）、测绘与国土资源调查、林业防火等是当前最为成熟的应用领域。在消费和新兴应用方面，低空物流配送（外卖、快递末端配送）、低空旅游（空中观光、航拍体验）、空中交通等场景正在快速培育中，部分已进入试运营阶段。

值得特别指出的是，低空经济与传统通用航空在多个维度上存在本质差异：

对比维度	传统通用航空	低空经济（以无人机为核心）
核心飞行器	有人驾驶固定翼飞机、直升机	多旋翼无人机、固定翼无人机
基础设施	机场跑道、直升机起降点、塔台、航油供给体系	分布式机巢 / 机场、4G/5G 通信、北斗定位
人员需求	持照飞行员现场驾驶	远程操控 / 自主飞行，少人化或无人化
覆盖逻辑	以机场为中心，辐射式覆盖	网格化部署，密集节点覆盖
经济特征	重资产、高门槛、低频次	相对轻资产、可快速部署、超高频次运行

表 1-1 低空经济与传统通用航空的核心差异对比

这一差异决定了低空经济不能简单套用通用航空的基础设施体系和管理模式，而需要构建一套全新的、适配无人机运行特点的基础设施网络。这正是本白皮书讨论的核心问题。

## 1.1.2 国家层面政策演进与深度解读

中国低空经济的政策推进经历了从“空域改革试点”到“产业顶层设计”再到“系统性落地实施”的三个阶段。

**第一阶段：空域改革试点期（2010-2020年）。**2010年，国务院和中央军委联合发布《关于深化我国低空空域管理改革的意见》，首次提出在部分地区进行低空空域管理改革试点，标志着低空空域从“全域管制”向“分类管理”迈出第一步。此后十余年间，低空空域改革虽持续在推进，但低空经济的概念尚未明确形成，无人机行业主要依靠企业自发推动，应用场景集中在航拍、农业植保等领域。

**第二阶段：战略确认期（2021-2023年）。**2021年2月，中共中央、国务院印发《国家综合立体交通网规划纲要》，首次在国家级规划文件中提及低空经济相关内容，提出“发展交通运输新业态新模式”，将低空交通纳入综合立体交通网的远景规划。这是低空经济进入国家战略视野的起点。2023年12月的中央经济工作会议则成为真正的“转折点”——会议明确将低空经济与商业航天、生物制造并列，纳入战略性新兴产业范畴，标志着低空经济从“行业议题”上升为“国家议程”。2024年3月，低空经济首次写入《政府工作报告》，被定位为“新增长引擎”，政策信号的明确性和力度达到历史最高。

**第三阶段：系统推进期（2024年至今）。**2024年是低空经济政策的“井喷之年”。3月，工信部、科技部、财政部、民航局四部门联合发布《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030年）》，首次提出2030年形成万亿级规模的通用航空产业市场的量化目标。此后，民航局发布了《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》等配套法规，为无人机常态化运行提供了具体的操作规范。与此同时，多个部委和地方政府围绕空域管理、基础设施建设、产业促进等方面出台了大量配套政策。

进入2025年，低空经济专项标准体系建设加速推进，涵盖无人机适航审定、飞行服务保障、低空通信导航监视、起降设施建设规范等多个领域。全国范围内的低空经济试点示范区数量持续增长，政策体系从“顶层设计”进入“细化落地”阶段。

时间	政策 / 事件	核心内容与意义
2010 年	《关于深化我国低空空域管理改革的意见》	国务院、中央军委联合发布，首次启动低空空域管理改革试点。
2021 年 2 月	《国家综合立体交通网规划纲要》	中共中央、国务院印发，首次将低空经济纳入国家交通规划体系。
2023 年 12 月	中央经济工作会议	将低空经济列为战略性新兴产业，与商业航天、生物制造并列。
2024 年 3 月	《政府工作报告》	低空经济首次写入政府工作报告，定位为 " 新增长引擎 "。
2024 年 3 月	《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030 年）》	工信部等四部门发布，提出 2030 年万亿级市场规模目标。
2024 年	《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》等	民航局出台系列配套法规，为无人机常态化运行提供操作规范。
2024 年	各省市密集出台低空经济产业政策	超过 20 个省份发布低空经济专项规划或行动方案。
2025-2026 年	低空经济标准体系与试点示范全面铺开	适航审定、飞行服务、通信导航等专项标准加速制定。

表 1-2 中国低空经济关键政策演进时间线（来源：公开政策文件整理）

对政策走向进行深度分析，可以提炼出三个关键判断：

**判断一：战略定位已经确立。**低空经济已获得与新能源汽车、5G 通信等重大产业相当的政策支持力度。中央经济工作会议和政府工作报告的 " 双重背书 "，意味着低空经济不是短期热点，而是国家层面的中长期产业布局。对于行业参与者而言，这一战略定位意味着未来 5-10 年将持续享受政策红利——包括空域开放、财政补贴、税收优惠、产业基金等多种形式。

**判断二：政策重心从 " 要不要做 " 转向 " 怎么做 "。**当前政策重心正从 " 鼓励发展 " 的宏观定调，转向 " 怎么建、怎么管、怎么用 " 的具体操作层面。适航审定规则、运行管理办法、建设标准规范等配套文件的密集出台，表明政策体系正在从 " 框架搭建 " 进入 " 填充细节 " 阶段。对于设备厂商和集成商而言，这意味着市场准入门槛在明确化——只有符合标准的产品和方案才能进入政策支持的采购通道。

**判断三：地方政策差异化明显，“因地制宜”是主旋律。**低空经济的政策推进呈现明显的“央地联动”特征——中央负责顶层设计和战略方向，地方负责试点探索和落地实施。这意味着不同地区的政策力度、开放节奏和产业侧重存在显著差异，行业参与者需要针对不同区域市场制定差异化的策略。下一节将详细展开各地的建设进展。

## 1.2 各地低空经济建设进展与政策扫描

在国家战略的引导下，各省市纷纷将低空经济纳入地方经济发展重点议程。截至 2025 年底，已有超过 20 个省份出台低空经济专项政策或行动方案，近百个城市启动了低空经济相关规划。各地的推进路径呈现“因地制宜、各有侧重”的特征，但在政策工具、基础设施建设方向和应用场景优先级上也呈现出若干共性规律。本节聚焦于与行业无人机应用和基础设施建设最直接相关的地方政策与实践。

### 1.2.1 先行示范：深圳的系统实践

深圳是中国低空经济发展的标杆城市，其领先优势体现在立法、产业、基础设施和应用场景四个维度。

**立法先行。**2024 年 2 月 1 日，《深圳经济特区低空经济产业促进条例》正式实施，成为全国首部低空经济产业促进专项法规。该条例共九章六十一条，从空域管理协调、基础设施建设、产业发展促进、技术创新支撑、安全监管保障等维度建立了较为完整的制度框架。

**产业集聚。**深圳拥有中国乃至全球最完整的无人机产业集群。大疆创新、丰翼科技（顺丰旗下）、美团无人机等头部企业的总部或研发中心均位于深圳。据深圳市无人机行业协会统计，2025 年深圳无人机相关企业达 2000 多家，年产值突破 1340 亿元，年增长率超 30%，围绕头部企业形成的供应链生态——从碳纤维材料、电机、电池到飞控芯片、图传模块——使得深圳成为全球无人机制造成本最低、供应链响应速度最快的地区之一。

**基础设施。**深圳在低空基础设施建设方面走在全国前列。一是规划建设覆盖全市的低空信息基础设施，包括低空导航设施、低空通信网络、低空飞行气象监测网络等；二是大规模布设低空起降

基础设施，包含 360 个城市治理无人机起降点、283 个直升机 /eVTOL 起降场（点）、205 个物流运输起降点，以及 413 个社区配送起降设施网等。

**应用场景。**深圳率先探索 "低空经济 + 城市治理" 模式，将无人机自动巡检纳入城管、环保、交通、应急等多个部门的常态化工作流程，在多个辖区内部署了大疆机场系列产品，实现了从日常巡逻到应急响应的无人机自动化作业。

### 1.2.2 各省市低空经济政策进展

自 2024 年低空经济写入《政府工作报告》以来，各省市密集出台了低空经济专项政策文件。已有超过 20 个省级行政区出台了低空经济相关政策文件。以下摘录部分省市已发布的低空经济相关政策：

省 / 市	代表性政策文件	核心要点
广东省	《广东省推动低空经济高质量发展行动方案（2024-2026 年）》	打造世界领先的低空经济产业高地，到 2026 年低空经济规模超过 3000 亿元
广州市	《广州市低空经济发展实施方案》	到 2027 年，广州低空经济整体规模达到 1500 亿元；建成广州第一个跑道型通用机场，新建 5 个以上枢纽型垂直起降场、100 个以上常态化使用起降点，数百个社区网格起降点
上海市	《上海市低空经济产业高质量发展行动方案（2024-2027 年）》	到 2027 年核心产业规模达 500 亿元以上，支持 10 家以上电动垂直起降航空器、工业级无人机和新能源通航飞机研发制造领军企业落地发展，培育 20 家左右低空运营服务领军企业、3-5 家行业领先的适航取证技术服务机构
北京市	《北京市促进低空经济产业高质量发展行动方案（2024-2027 年）》	到 2027 年，低空经济相关企业数量突破 5000 家，低空产业规模达到 1000 亿元

省 / 市	代表性政策文件	核心要点
湖南省	《关于支持全省低空经济高质量发展的若干政策措施》	加大传统通航运营补贴、加大新型航空器运营支持力度，拓展无人机应用场景
浙江省	《浙江省低空经济发展高地行动方案(2024—2027年)》	由政府主导，统一规划、分步建设公共无人机起降场、测试场、智能基站等设施，积极探索商业化运维模式。鼓励企业布设相应无人机起降点，支持各地利用园区、大型商场、公园等设施改造一批无人机起降点，满足各类无人机的起降、停放、充电、作业等功能。

表 1-3 各省市低空经济政策（来源：公开政策文件整理）

## 1.3 低空经济发展模式分析： 从基础设施建设到常态化运营

### 1.3.1 基础设施先行：没有“路”就没有“车流”

低空经济如果想要发展必须“先有基础设施、才能有规模化应用”。原因在于，低空飞行活动的开展依赖于一系列物理前提条件——起降场地、通信覆盖、导航定位、气象感知、能源补给——这些条件缺少任何一项，飞行器都无法安全、持续地运行。从各地实践来看，凡是低空经济落地效果较好的城市和区域，无一例外地在基础设施建设上率先投入。深圳能成为低空经济的标杆城市，关键不仅在于拥有众多低空经济相关的企业，更在于其从 2024 年起就系统性地推动低空通信覆盖、起降点网络规划和空域管理平台建设。

因此，基础设施建设不是低空经济发展的“配套”，而是发展的“前提”。低空经济的发展阶段应是先建设、后应用，先覆盖、后运营，基础设施的建设是低空经济发展的第一步。

### 1.3.2 常态化运营：从初期验证到规模化应用

低空经济发展中一个值得关注的现象是：不少项目在完成初期验证后，停留在了“示范展示”阶段，未能顺利过渡到真正的常态化运营。从验证到常态化之间的这段距离，是当前低空经济从“政策

驱动 " 走向 " 价值驱动 " 需要跨越的关键一步。

这一现象在各个赛道中均有体现。在物流无人机领域，多家头部企业已在深圳、上海等城市开通了外卖和快递配送航线，部分线路的单日配送量可达数百单。但如果仔细观察会发现，许多航线仍处于 " 试运营 " 状态——飞行频次受限于航路审批的逐条协调，覆盖范围局限在少数固定站点之间，遇到恶劣天气或设备维护则暂停运行。要让无人机配送真正成为物流网络的有机组成部分，而不是 " 锦上添花 " 的补充手段，就必须实现全天候、高频次、网络化的常态运营。这需要密集的起降站点、稳定的航路通道和可靠的地面保障设施作为支撑——任何一环的缺失，都会导致运营从 " 常态 " 退回 " 间歇 "。

常态化运营为什么难以实现？制约因素主要体现在以下几个层面：

1、相当一部分应用场景的实际价值尚未得到验证。低空经济的政策热度催生了大量 " 场景构想 "，但并非每一个被规划出来的场景都具备真实的业务需求和经济合理性。一些场景是从技术能力出发 " 找需求 "，而非从业务痛点出发 " 找方案 "。当一个场景本身缺乏足够的业务刚性，项目在完成展示和验收后自然失去了持续运行的动力。真正能支撑常态化运营的场景，必须是 " 不飞不行 " 而非 " 飞了更好 "——业务部门对飞行数据有刚性依赖，缺少这些数据会直接影响工作质量和决策效果。

2、部分领域的技术与产业成熟度离规模化商业运营仍有距离。比如物流无人机的航路审批机制尚未实现常态化，末端配送的衔接方案仍在探索，单均成本在多数场景中尚未优于传统方式；载人 eVTOL 的适航取证刚刚起步，专用起降设施和空中交通管理体系尚处于规划阶段，票价水平与大众出行的支付意愿之间仍存在较大差距。这些赛道的长期前景值得期待，但短期内尚未完成规模化运营。

3、工作流程繁琐，单次作业的人力消耗大。一次完整作业通常包括设备运输、现场组装检查、飞行前报备、手动起飞、全程控制、手动降落、数据回收、设备收纳等环节。整套流程执行下来，即使是一次 30 分钟的飞行任务，前后准备和收尾工作往往需要数倍于飞行本身的时间。

打破这些限制需要从两端同时发力。一端是场景与赛道的聚焦——短期内的低空规模化应用，视角优先放在业务部门有真实痛点、技术和产业条件已经成熟的领域。另一端是降低运营门槛——

从根本上减少每一次飞行的操作成本和人力消耗，让飞行活动从“需要专人组织的专项任务”变为“设备自动执行的日常流程”。后者要求基础设施本身具备高度的自动化能力：自动起降、自动充电、自动数据回传、远程任务管理，将人工干预降到最低限度。当一次飞行任务只需要在管理平台上点击“执行”，而无需任何人到达现场，真正有价值的场景才能顺利进入常态化运营，其效率优势也才能在持续运行中得到充分证明。这也正是下一节讨论无人机自动机场作为低空经济核心枢纽的逻辑起点。

### 1.3.3 无人机机场：连接基础设施与常态化运营的枢纽

前两节分析了低空经济发展的两个核心前提——基础设施必须先行，运营必须走向常态化。而要将这两个前提落到实处，需要一个具体的载体来承接，这个载体就是无人机自动机场。

所谓无人机自动机场，是一种集飞行器起降、自动充电、数据回传、远程管理等功能于一体的地面基础设施设备。它的核心价值在于，将原本需要人工完成的飞行保障工作——起飞准备、降落回收、电池充电、数据导出——全部交由设备自动完成，从而使无人机摆脱对现场人员的依赖，具备无人值守条件下持续运行的能力。从上一节梳理的制约因素来看，自动机场正是针对这些瓶颈的系统性回应：操作流程繁琐——机场将全流程自动化，无需人工介入。飞行结束后数据自动回传至云平台，直接接入业务系统。

更重要的是，自动机场改变了无人机在业务体系中的角色定位。在传统模式下，无人机是一件需要人携带和操作的“工具”；而部署了自动机场之后，它成为一个驻守在现场的“基础设施节点”——始终在线、随时待命、按需起飞。这一转变是前文所述的“从能飞到常飞”得以实现的技术基础。关于自动机场在低空经济中的具体角色定位、技术演进脉络以及大疆机场产品线的详细分析，将在后续章节中系统展开。



图 1-1 全自动作业的大疆机场 3



图 1-2 大疆机场 3 自动化作业云平台

## 1.4 低空经济应用分析：各赛道成熟度对比

低空经济的落地最终要靠具体的应用场景来承载。从应用形态来看，当前低空经济的飞行器应用可以主要划分为三大赛道：行业无人机 / 无人机机库、物流无人机和载人 eVTOL。三者和技术成熟度、商业化程度等方面处于不同的阶段。

### 1.4.1 行业无人机：已验证的增长引擎

行业无人机是当前低空经济价值产出的绝对主力。它在场景需求、产品成熟度和运营门槛三个维度上同时具备了落地条件。

**维度一：场景需求——提升作业效率。**行业无人机解决的不是“从无到有”的新需求，而是相对传统作业模式的进行效率提升。

作业场景	传统作业方式	行业无人机 + 机场方式	效率提升
输电线路 巡检	巡线员沿线徒步 / 登塔，每人每天巡检 3-5 基杆塔，高空作业风险大	机场自动起飞，沿线路自主飞行拍摄 + 红外检测，单架次覆盖数十基杆塔	效率提升数倍，降低高空作业安全风险
城市治安 巡逻	人工定点巡逻，覆盖范围有限，夜间视野受限	机场定时自动起飞，沿预设路线巡航拍摄，夜间红外 + 补光灯作业	单站覆盖数十平方公里，7 × 24 小时不间断作业

作业场景	传统作业方式	行业无人机 + 机场方式	效率提升
交通违法查纠	依赖固定摄像头，支路小巷大量盲区，违停难以全面监管	机场按时巡航拍摄，AI自动检测违停 / 占道，灵活调整巡航路线	覆盖摄像头盲区，巡查频率可按需动态调整
城管巡查	执法人员步行 / 骑车巡查，效率低且取证困难	机场自动巡航航拍，对比历史影像发现违建，全程影像留存取证	覆盖面积提升 10 倍 +，取证规范化
河道排污巡查	沿河岸步行排查，隐蔽排污口难以发现，夜间偷排无法发现	红外热成像检测温差定位异常排水点，可在夜间自动巡查	发现率显著提升，覆盖效率提升数倍
森林防火巡护	瞭望塔 + 人工巡山，视距有限，偏远林区难以覆盖	机场部署在林区边缘，定时自动起飞红外巡护，早期发现火点热源	覆盖面积提升数倍，确定火情时间提前数小时

表 1-4 行业无人机 + 自动机场 vs 传统人工作业方式对比

这些场景的共同特征是：传统方式效率低、成本高、覆盖不全、存在安全隐患，而无人机 + 自动机场方案能够以更低的边际成本实现更大范围、更高频率的覆盖。

**维度二：产品成熟度——从手动飞行到无人值守的完整进化。**行业无人机的产品形态已经经历了多代迭代，从早期的手动飞行到如今的自动机场无人值守，产品成熟度持续提升。以大疆产品线为例，可以看到这一演进路径：

对比维度	手动飞行模式 (飞手 + 无人机)	自动机场模式 (机场 + 无人机)
现场人员	必须 1-2 名飞手到场	无需现场人员，远程管理
作业频率	受人员排班限制，每天 3-5 架次	7 × 24 小时按需起飞，每天 10-20 架次
作业一致性	受飞手经验和状态影响，航线偏差较大	每次按预设航线精确飞行，数据采集标准化
天气窗口利用	飞手需在天气窗口内赶到现场	天气条件满足即自动起飞，不错过窗口

对比维度	手动飞行模式 (飞手 + 无人机)	自动机场模式 (机场 + 无人机)
数据回传	飞行结束后人工取卡或现场传输	飞行结束自动回传至云平台
充电 / 续航管理	人工更换电池或等待充电	自动降落充电，27 分钟即可再次起飞
多站协同	不支持	云平台统一管理、多台机场协同调度
应急响应速度	飞手到场需较长时间	收到指令后立刻起飞，数分钟内抵达现场

表 1-5 手动飞行模式 vs 自动机场模式能力对比

从上表可以看出，自动机场模式相比手动飞行在几乎所有维度上都有显著优势。飞行作业、起飞降落、充电、数据上传等步骤都从原有的手飞模式，变为了机场的自动模式，大幅度地解放了生产力。

尤其是在低空经济推广的当下，业务单位需要推广无人机的规模化应用，如果使用传统的无人机模式，需要培养一整个无人机飞手团队。而使用大疆机场，大部分任务为自动航线，操作员无需大量的操作，按需对大疆机场下达任务即可。

### 维度三：运营门槛低——规模化应用简单：

**资质门槛低。**根据《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》和 CCAR-92 的规定，微型和轻型无人机（起飞重量在 7 公斤及以下）在适飞区域飞行无需操控员执照。大疆机场 3 使用的 M4D 系列无人机重量为 1850 克，无需执照即可操控。

**部署门槛低。**大疆机场 3 的部署流程已经高度简化：固定部署模式下，接通电源和网络后即可完成安装调试并投入使用，不需要专用场坪和复杂的配套设施。也支持车载移动部署，化解临时场景中不便固定部署的难题。



图 1-3 机场车载移动部署

### 1.4.2 城市物流无人机：商业闭环待验证

物流无人机是低空经济中最受关注的赛道之一。美团、顺丰（丰翼科技）、京东等头部企业已在深圳、上海等城市开展外卖和快递无人机配送试运营。据报道美团无人机低空配送商业化订单已突破 90 万单，规模稳居全球第二，仅次于美国 Zipline 的 200 万单。

然而，城市物流无人机要实现规模化商业运营，仍面临几个关键瓶颈：一是航路审批尚未形成常态化机制——每条物流航线的开辟都需要进行航线规划并与空管部门协调，难以像地面快递网络那样快速扩展。二是末端配送的“最后 100 米”衔接问题——无人机送到楼顶或指定站点后，如何安全高效地将包裹送达消费者手中，仍缺乏标准化方案。三是商业模型的经济性——在当前技术条件下，无人机配送的单均成本（每单配送成本）是否能低于传统骑手配送，在多数场景中尚未得到验证。

因此，城市物流无人机在短期内更可能以“特定场景的增量补充”而非“全面替代地面物流”的方式发展：先在传统配送成本高或对运送时效要求极高的场景，如医疗物资配送，率先实现商业化，然后再逐步向更广泛的城市场景扩展。

### 1.4.3 载人 eVTOL：长期愿景，短期仍在培育

载人 eVTOL 代表了低空经济最具未来想象力的场景之一——城市空中交通。亿航 EH216-S 于 2023 年获得全球首张无人驾驶载人航空器型号合格证（TC），标志着这一赛道从概念走向商业化的起点。但目前 eVTOL 仅在部分城市试点运营，距离城市通勤级的规模化运营仍有较大距离。制约 eVTOL 规模化的因素包括：适航审定流程漫长（每个型号需要独立取证）、基础设施缺乏（专用起降场、充电设施、空中交通管理系统均需从零建设）、运营成本高企（当前单次飞行成本远高于地面出行替代方案）、以及社会接受度仍需培育。

# 02 | 构建低空经济的运营底座

## 2.1 方案定位与整体架构

### 2.1.1 方案定位：无人值守一体化解决方案

大疆机场 3 定位为面向城市治理、电力巡检、林业、测绘、油气、水利等行业场景的一体化无人值守作业方案。其核心目标是实现无人机作业全流程的自动化闭环——从任务下发、环境感知、飞行执行、数据采集到自动充电与数据回传，全流程无需人员到场。

### 2.1.2 "机场 + 飞行器 + 云平台" 三位一体架构

大疆机场 3 的整体方案采用四层技术架构，自下而上分别为数据采集层、飞控管理层、数据应用层和接口集成层。四层各司其职，协同构成从 "飞行采集" 到 "业务集成" 的完整链路。（整体架构如图所示）

大疆机场3 整体方案架构



注：具体产品功能及其限制条件详见对应官网产品页。

图 2-1 大疆机场 3 整体方案架构

**第一层：数据采集层。**数据采集层是整个方案的物理底座，由机场本体、飞行器和可选配件三部分构成，负责无人机的自动起降、充电维护、飞行执行和多维度数据采集。

机场本体（DJI Dock 3）承担飞行器的存放、自动起降和充电维护功能，集成了压缩机空调系统、RTK 基站、环境传感器组（风速 / 雨量 / 温度 / 水浸 / 湿度）和备用电池等模块。工作温度覆盖 -30°C 至 50°C，防护等级 IP56，支持固定部署和车载移动部署两种模式。配套飞行器为 Matrice 4D/4TD 系列，搭载三焦段相机系统（广角 + 中长焦 + 长焦，最高 112 倍混合变焦）和红外热成像模组（仅 M4TD），最长飞行时间 54 分钟，最大作业半径 10 公里。此外，大疆围绕机场 3 提供了探照灯、喊话器、避障雷达、D-RTK 3 基站、增强图传模块和车载云台等可选配件，针对夜间作业、应急喊话、线缆避障、信号中继和移动部署等特殊需求进行功能扩展。

**第二层：飞控管理与任务调度层。**飞控管理层以大疆司空 2（DJI FlightHub 2）云平台为核心，提供从设备管理到任务调度的全链路管控能力，是实现 " 一人管多站 " 运营模式的技术支撑。

该层包含五大功能模块：设备管理（设备状态实时查看、远程控制、固件升级）、任务调度（航线规划、定时 / 周期 / 事件触发任务配置）、实时查看（飞行器直播画面、飞行轨迹与遥测数据查看、紧急情况下远程接管）、数据回传（飞行器采集数据自动上传至云端，分类存储管理）以及多站协同与权限管理（在同一平台上管理分布在不同位置的多台机场，支持多用户分级权限，满足多部门共享同一套机场网络的需求）。司空 2 提供公有版（云端托管）和私有版（本地化部署）两种模式，其中私有版将全部数据存储于客户自有服务器上，满足安防、能源等对数据安全有严格要求的行业客户。

**第三层：数据应用与智能分析层。**数据应用层负责将飞行器采集的原始数据转化为可支撑业务决策的分析成果。

大疆在这一层提供了从机载端到云端的完整 AI 能力体系。在机载端，Matrice 4D/4TD 飞行器内置 AI 智能检测能力，支持在飞行过程中实时检测车辆、船舶等目标，无需依赖云端算力即可完成现场级的智能感知，满足安防巡逻、交通监测、水域管理等场景中对实时目标检测的需求。

在云端，司空 2 平台提供基于大模型的 AI 智能分析服务，支持对飞行器采集的影像数据进行自动化缺陷检测、异常检测和变化分析。

同时，司空 2 平台提供媒体数据的浏览、标注和下载管理功能。在数据后处理环节，司空 2 集成了大疆智图（DJI Terra）支持将采集照片处理为正射影像、三维模型和点云数据。此外，机场支持外接交换机进行边缘数据通信，为在机场侧部署本地计算节点预留了接口，满足对数据时效性要求较高的场景。大疆还通过上云 API 和开放数据接口，支持第三方生态合作伙伴在大疆数据采集能力之上开发面向特定行业的专用 AI 分析方案。

**第四层：接口集成层。**接口集成层是方案向外部行业系统开放的窗口，解决的是 " 如何让大疆机场 3 融入客户已有的管理体系 " 的问题。

该层主要由两个组件构成。上云 API（Cloud API）为集成商和开发者提供标准化的设备管理、任务调度、直播视频流和媒体数据等开放接口，支持将机场 3 的作业能力嵌入到客户自建的行业管理系统中。司空 2 Sync 同步服务则实现大疆平台与第三方平台之间的数据双向同步，确保机场采集的数据能够实时流入客户的数据处理管线。通过这一接口层，行业集成商可以在电网管理系统、消防 119 告警系统、城管数字化管理系统等既有平台中无缝集成大疆机场 3 的能力，避免因引入新设备而形成新的信息孤岛。

## 2.2 无人值守优势：全天候自动运行，一人管多站

---

无人值守是大疆机场 3 最核心的产品能力，也是其区别于传统手动飞行作业模式的根本差异。实现真正的无人值守，需要在环境适应、自动作业流程和安全保障三个维度同时达到工业级可靠性。

### 2.2.1 全天候环境适应

大疆机场 3 的工作温度范围为  $-30^{\circ}\text{C}$  至  $50^{\circ}\text{C}$ ，覆盖了从东北严寒到南方酷暑的全国主要气候带。IP56 防护等级确保机场在暴雨、大风等恶劣天气下保持密封可靠。机场内置的环境传感器组可实时采集风速、雨量、温度等数据，当环境条件超出安全飞行阈值时，系统自动推迟任务执行，无需人工干预。



图 2-2 大疆机场 3 低温测试

## 2.2.2 全自动作业流程

大疆机场 3 的一次典型作业流程涵盖十个步骤：任务下发、环境自检、开舱起飞、自主飞行、数据采集、返航降落、自动充电、数据回传、AI 分析和报告输出。在上述全流程中，仅“任务下发”一步需要操作人员远程操作，其余步骤均由机场和飞行器自动完成。对于配置了定时任务计划的场景，连任务下发步骤也可实现全自动化。



图 2-3 大疆机场 3 全自动化作业流程

在任务调度层面，司空 2 平台支持立即任务、周期任务、事件触发任务、接力任务等多种模式。周期任务适用于常态化巡检（如每日固定时间巡检输电线路），事件触发任务适用于应急响应（如接到告警后立即起飞），接力任务适合需要长时间不间断执行的任务（如大型活动安保、应急响应任务等）。多种调度模式的组合使得机场可以灵活适配不同的运营节奏。

**周期性自动化 workflow。** 用户可配置重复定时的飞行计划作为数据采集源，任务完成后媒体文件自动触发云端模型重建，重建成果自动导入分析器参与量测计算，并按预设报告模板定时生成分析报告通过邮件发送给指定人员。整个流程无需人工干预，支持 "飞行采集 - 模型重建 - 量测计算 - 分析报告" 的全链路串联，特别适用于矿区土方监测、工程进度跟踪、基础设施定期巡检等需要周期性重复作业的场景。连续执行模式还支持断点续飞，任务中断后可在原时间段内或跨时间段继续从中断点执行，确保大面积测绘任务的完整性。

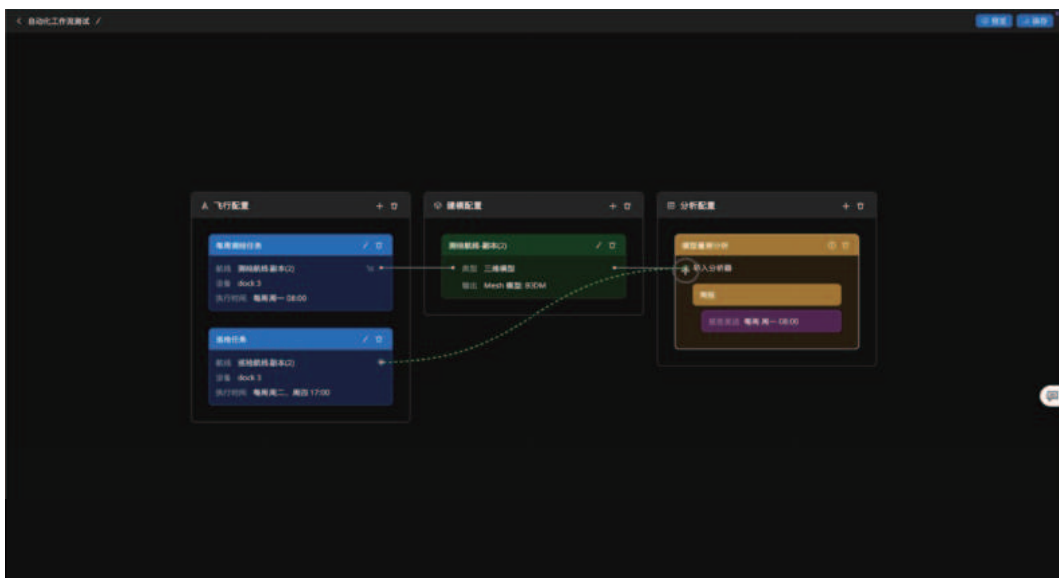
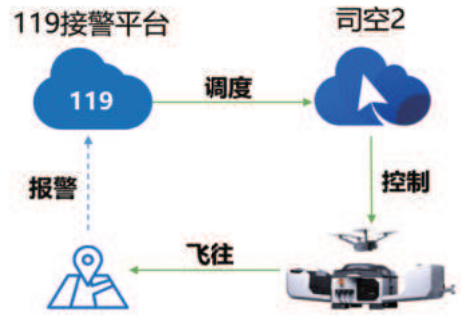


图 2-4 自动化作业流配置

**触发式自动派遣 workflow。** 平台新增自动派遣 workflow，支持通过外部系统 API 调用或在地图上手动触发，自动派遣飞行器飞抵指定坐标后执行预设动作序列。workflow 包含触发器、指令飞行、飞行器动作三个节点的灵活编排，支持边环绕边录像、边喊话边录像、全景拍照并放大拍照等多种动作模板，适用于应急响应与消防救援等时效性要求较高的场景。自动触发支持配置 1-5 级响应阈值，低于阈值时仅提示，高于阈值时自动派遣，实现了从 "告警触发" 到 "无人机自动出动" 的闭环响应。



三方系统触发告警 - 预设无人机飞行参数 - 预设无人机到达现场动作

图 2-5 与消防应急平台对接，完成自动化派遣任务

**接力任务与多机协同。** 平台支持接力任务功能，两台机场的飞行器可通过自动调度实现不间断接力观察指定目标，当主控飞行器电量不足时自动调度接力飞行器起飞接替，保障对重点区域的持续关注。多机安全起降功能则针对密集部署场景提供起降阶段的设备自动调度，避免近距离部署的机场在起飞和降落时产生碰撞风险。

### 2.2.3 多层安全保障体系

在无人值守运行条件下，飞行安全的重要性被进一步放大。大疆机场 3 通过飞行器避障系统、异常保护机制和远程查看能力三个层面构建安全保障。

M4D 系列飞行器标配全向双目视觉避障系统，覆盖前、后、左、右、上、下六个方向，前视最大可探测距离 200 米。针对电力巡检等需要近距离接近线缆的场景，可选配 Matrice 4 避障雷达（环扫激光雷达 + 毫米波雷达组合），支持在飞行速度不超过 15m/s 的条件下有效识别 12mm 钢芯铝绞线。即使在复杂的变电站环境，也可安心飞行。

通信中断时飞行器自动执行失联返航策略，电量不足时自动中断任务返航。机场本体配备 12Ah 备用电池，在市电断电后可维持基本功能运行超过 4 小时，确保在外作业的飞行器安全返航。操作人员可通过司空 2 平台实时查看飞行状态，必要时远程接管操控。



图 2-6 配备避障雷达，实现导线级避障

## 2.3 数据优势：一次飞行采集多维数据

行业无人机的核心价值产出在于数据。大疆机场 3 搭配的 Matrice 4D/4TD 飞行器集成了可见光、红外热成像、激光测距等多种传感器，能够在一次飞行中同时获取多个维度的数据。不同的数据类型对应不同的行业需求，这使得同一套机场方案可以同时服务于多个政府部门和行业场景。

### 2.3.1 数据能力与应用场景的对应关系

以下梳理大疆机场 3 的主要数据采集能力及其在不同场景中的具体应用。

数据类型	采集能力	服务场景	具体应用
高分辨率 可见光影像	三焦段相机覆盖 广角 / 中长焦 / 长焦 最高 112 倍混合变焦	电力巡检 城管巡查 测绘	杆塔设备细节拍摄、铭牌读取； 违建航拍对比、占道经营取证； 正射影像、三维建模
红外热成像 数据	640 × 512 分辨率 测温范围 -40° C 至 550° C (Matrice 4TD)	电力巡检 环保监测 消防 / 安防	设备过热检测、线路接头温升； 排污口温差定位、暗管排放发现； 夜间人员搜索、火点早期发现
实时视频流	高清直播回传 支持多路同时查看	治安巡逻 交通管理 应急响应	重点区域实时巡查画面； 拥堵路段实时监测、事故现场直播； 灾害现场态势实时回传

数据类型	采集能力	服务场景	具体应用
AI 目标检测结果	机载端实时检测车 / 船等目标	治安巡逻 水域管理 交通管理	可疑车辆自动标记告警； 非法采砂船舶检测； 违停车辆自动抓拍
高精度定位数据	RTK 厘米级定位 每张照片带精确坐标	测绘 城管 电力	高精度地形测量、国土调查； 违建精确定位取证； 杆塔坐标库建设
激光测距数据	正入射量程 1800m 精度 ± 0.2m	搜救 安防	被困人员坐标显示，与无人机距离显示； 目标物长度、高度测量、通道净空评估；
AI 智能分析成果	云端大模型 缺陷 / 异常自动检测	电力巡检 城管执法 环保	绝缘子破损、金具锈蚀 AI 检测； 违建 / 占道变化检测； 水体异常、扬尘超标分析

表 2-1 大疆机场 3 数据能力与应用场景对应矩阵

### 2.3.2 "一次飞行，多维数据" 的采集效率

大疆机场 3 的数据优势不仅体现在单一数据类型的质量上，更体现在多种数据的融合采集效率上。以一次城市综合治理巡查为例：飞行器沿预设航线飞行，可见光相机连续拍摄高分辨率照片用于违建对比和市容评估，红外热成像相机同步检测排污口温差异常，机载 AI 实时检测违停车辆和占道经营并自动标记，视频直播画面同步回传至指挥中心供值班人员实时查看。一次 30 分钟的飞行，同时产出了城管、环保、交通、安防四个部门可用的巡查数据。这种 "一次飞行，多维数据，多部门共享" 的模式，是大疆机场 3 区别于单一功能传感器设备的核心数据优势。



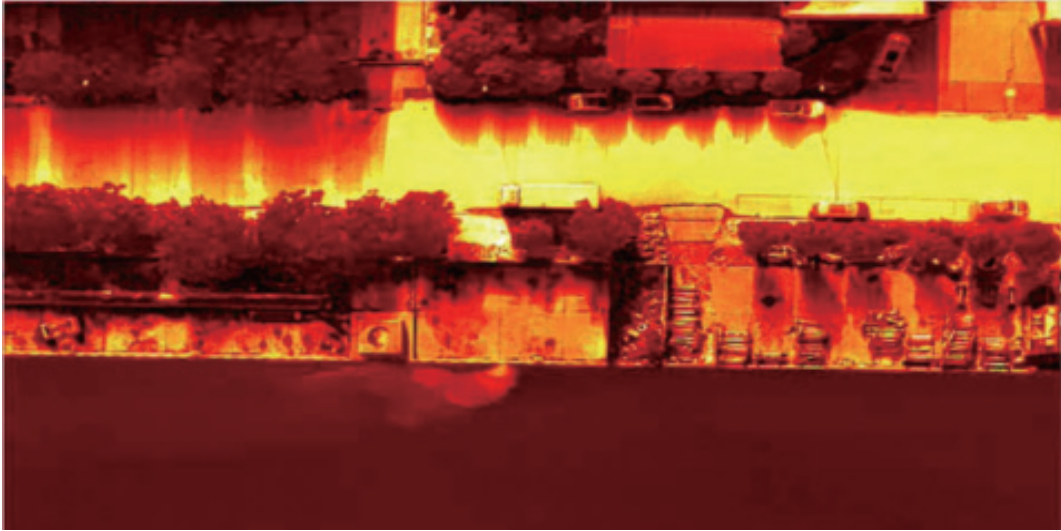


图 2-7 红外镜头发现非法排污并取证

### 2.3.3 数据从采集到价值的完整链路

大疆围绕数据的全生命周期提供了完整的工具支撑。在采集端，飞行器通过智能拍照功能确保每次采集的参数和角度一致，保证数据的标准化和可对比性。在传输端，飞行器降落后数据通过机场网络自动上传至司空 2 云端，无需人工取卡。在分析端，云端大模型 AI 支持对影像数据进行自动化缺陷检测；大疆智图可将照片处理为正射影像和三维模型。在应用端，分析结果通过司空 2 平台或上云 API 推送至相关部门的业务系统，形成 "采集→传输→分析→应用" 的数据价值闭环。



图 2-8 无人机采集数据生成的实景三维模型

## 2.4 性能优势： 高可靠性硬件平台，支撑多部门共享需求

当一套机场网络需要同时服务于执法单位、城管、交通、环保等多个部门时，对设备性能提出了远高于单一场景使用的要求：需要更长的续航来覆盖更大的区域，需要更高的出勤率来满足多部门排班，需要更强的环境适应性来保证全年可用，需要更灵活的部署模式来应对临时需求。大疆机场 3 在以下性能维度上为多部门共享提供了硬件保障。

### 政府多部门共享机场网络：采购服务模式



图 2-9 政务飞行服务模式

### 2.4.1 长续航与大覆盖：减少站点数量，降低共享成本

Matrice 4D 系列飞行器最长飞行时间 54 分钟，最大作业半径 10 公里，单站理论覆盖面积可达约 314 平方公里。较长的续航和较大的覆盖半径意味着实现同等面积覆盖所需的机场数量更少，这对于多部门共享模式尤为重要——站点越少，每个站点需要服务的部门任务就越集中，调度效率越高，单站的投资回报越好。充电效率方面，机场 3 支持约 27 分钟将电池从 15% 充至 95%，使得飞行器在执行完一个部门的任务后可以快速充电，切换至下一个部门的任务，最大化每日可用作业架次，一天轻松实现 20+ 次飞行任务。

## 2.4.2 全天候可用：确保多部门排班不“断档”

多部门共享意味着机场需要在全年各种天气条件下保持可用状态——安防的夜间巡逻不能因为低温而停飞，城管的汛期巡查不能因为大雨而中断。大疆机场 3 的工作温度范围覆盖  $-30^{\circ}\text{C}$  至  $50^{\circ}\text{C}$ ，防护等级 IP56。飞行器端，Matrice 4D 系列抗风能力达  $12\text{m/s}$ ，配备近红外补光灯和红外热成像支持夜间作业。这些性能指标共同确保了机场在一年四季、全天 24 小时的高可用性，为多部门的全时段排班提供了硬件基础。

## 2.4.3 固定 + 车载双部署：兼顾常态化与机动性需求

多部门共享场景中，不同部门的作业需求具有不同的时空特征：电力巡检和日常巡逻属于常态化需求，适合固定部署模式下的定时自动执行；应急响应、大型活动安保和城管动态执法属于机动性需求，需要机场能够快速到达非预设位置展开作业。大疆机场 3 通过固定部署和车载移动部署的双模式设计，在同一套硬件平台上同时满足了这两类需求。车载模式下，机场通过车载云台固定装置安装在车辆顶部，支持蛙跳作业（沿线路多点起降扩展覆盖范围）和接力任务（多台机场协同完成超远距离作业），进一步增强了共享网络的灵活性和覆盖弹性。

## 2.4.4 多站协同与权限管理：共享的制度化保障

硬件性能只是多部门共享的基础条件，软件层面的多站协同管理和权限控制同样不可或缺。司空 2 平台支持在同一管理界面中统一管控分布在不同位置的多台机场，实现跨站点的任务调度和状态查看。在权限管理方面，平台支持多层级的用户权限分配——管理员可以为不同部门设置不同的操作权限和数据访问范围，确保各部门在共享同一套硬件资源的同时，数据和操作互不干扰。例如，执法单位只能查看和调度安防巡逻相关的航线和数据，城管部门只能访问城管巡查任务的影像和分析结果。这种“硬件共享、数据隔离、权限独立”的管理模式，为多部门共享提供了制度化的技术保障。

## 2.5 软件平台优势：AI 智能助力自动化飞行

---

低空经济的规模化发展，不仅依赖于飞行器硬件性能的提升，更需要强大的软件平台作为智能化运营的中枢。以大疆司空 2 为代表的一站式无人机管理云平台，围绕“云端远控、多场景航线、智能算法、数据分析、自动作业、安全开放集成”六大核心能力，全面引入 AI 算法与大模型，构

建无人机智能体，为安防、应急、测绘、巡检、工程建设等多个行业构建空地一体、可视可控的无人化作业体系，将低空飞行作业从 " 人工操控 " 推向 " 智能自治 " 的新阶段。

### 2.5.1 一站式无人机管理

低空经济的产业化落地，要求管理平台具备覆盖全要素、贯穿全流程的一体化能力。

**云端远控，随时掌握。**平台提供虚拟座舱远程操控能力，支持一键起飞、指点飞行、智能环绕、一键返航等飞行操控，以及云台相机拍照、录像、变焦、红外测温等作业操作。虚拟座舱支持第一视角飞行、高低速切换、键盘快捷操控，配合实时画面和避障感知，实现 " 远在千里、如临现场 " 的体验。多机操控功能支持一人同时操控多台飞行器，快速切换控制权，提升多机协同效率。

**多场景航线，沉浸覆盖。**平台提供航点、面状、斜面、几何体、贴近摄影、带状、巡逻等多种航线类型，覆盖测绘、巡检测到精细化建模的全场景需求。航线编辑器支持鼠标和键盘移动虚拟飞行器进行沉浸式规划，导入 3D 模型后可基于模型调整航点与拍照角度，实现所见即所得。同时支持批量编辑、首尾翻转、航线拼接等高级操作，满足复杂场景的精细化规划。

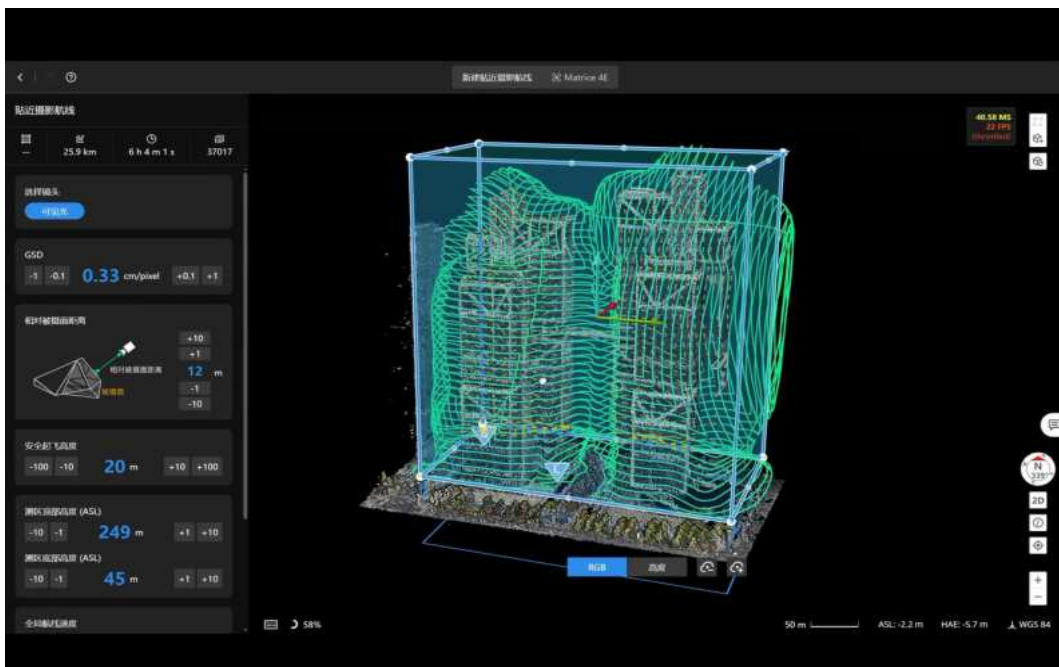


图 2-10 自动化航线生成

**团队协作与设备管理。**平台采用组织 - 项目两级管理架构，提供多种角色及精细化权限配置，满

足不同规模团队的分级管理需求。设备管理统一接入大疆机场系列及多款行业无人机，支持状态查看、固件升级、远程调试、异常反馈与售后报修等全生命周期管理。总览看板集中展示组织资产、设备状态、任务趋势、飞行数据及成果概览等核心信息，实现低空飞行运营的全局态势感知。

## 2.5.2 AI 智能与大模型

AI 能力正在深刻重塑无人机的作业方式，从被动的 " 工具执行 " 进化为主动的 " 智能感知与决策 "。司空 2 平台全面引入 AI 算法与大模型，围绕实时检测、目标追踪、智能搜索、变化检测、自然语言交互等核心场景，构建了多层次的 AI 智能体系。而这套体系指向一个清晰的核心价值——让非专业人员也能高效操控无人机完成复杂作业。这一目标的实现，依赖于 AI 系统性地降低了三重门槛。

### 感知门槛降低：用自然语言定义 " 看什么 "

传统的无人机 AI 检测依赖预训练模型和固定类别标签——系统只能检测算法预先 " 学过 " 的目标。这意味着每当出现新的检测需求，用户必须等待算法团队采集数据、训练模型、部署更新，周期长、成本高、灵活性差。

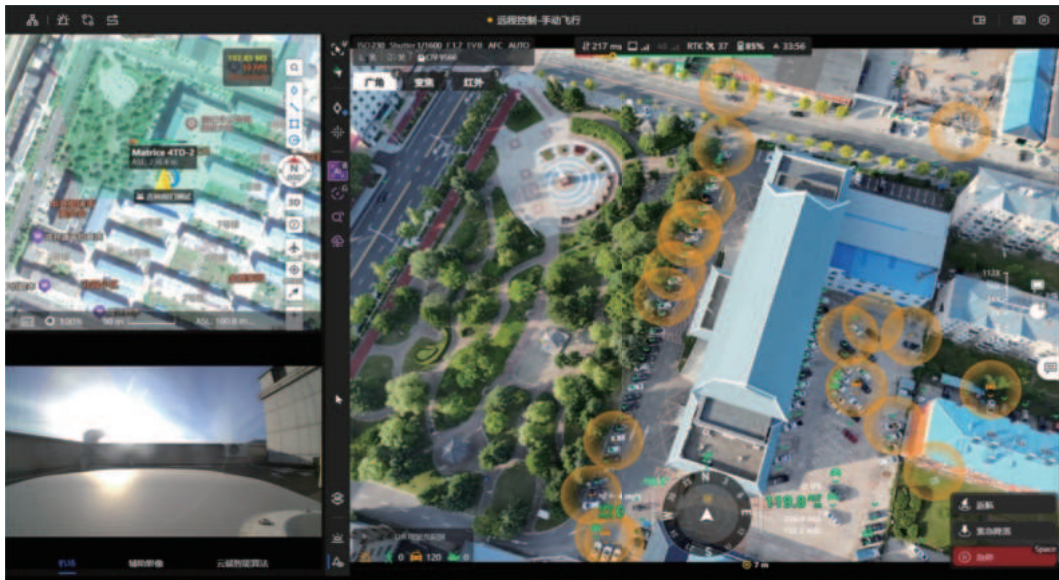


图 2-11 AI 检测及标注

司空 2 通过引入视觉语言大模型（VLM），从根本上改变了这一范式。用户可通过文本描述、上传图片或实时框选目标三种方式定义检测对象，由 VLM 实时理解并执行检测任务。一名水务巡检

人员无需理解目标检测算法，只需输入 " 河面漂浮物 " 或上传一张示例图片，系统即可在飞行过程中实时检测并告警。告警快照自动归档至媒体库专属文件夹并支持标签筛选，实现了从 " 预设规则检测 " 到 " 自然语言定义检测 " 的能力跃迁。



图 2-12 通过自然语言输入需要 AI 检测的目标

在此基础上，平台同时保留了完整的专业级 AI 检测能力作为底座支撑：DJI 官方可见光和红外码流检测，能够实时检测车、船及移动目标并自动告警；支持第三方机载智能算法的装载与管理，可在云端或机载端部署行业专用的 AI 检测模型，如电力缺陷检测、光伏组件异常检测等；虚拟座舱内的实时 AI 告警支持设置告警阈值，配合智能追踪功能，选定检测目标后即可持续锁定跟踪。航点航线支持添加智能检测动作，可在航线飞行过程中自动检测车、船及温度超限目标，并在检测到异常后自动执行拍照、录像、喊话、探照灯照明等预设告警动作。巡逻航线则可通过指定面状区域，搭配智能检测算法自动检测区域内的目标物并进行告警通知，实现无人值守的智能巡逻。AI 航线告警通知支持站内通知、短信、邮件、Webhook 等多种接收方式，确保异常事件能够第一时间触达相关人员。VLM 提供了灵活性，专业算法保障了精度与可靠性，两者互为补充，覆盖从通用场景到行业深度应用的完整检测需求。

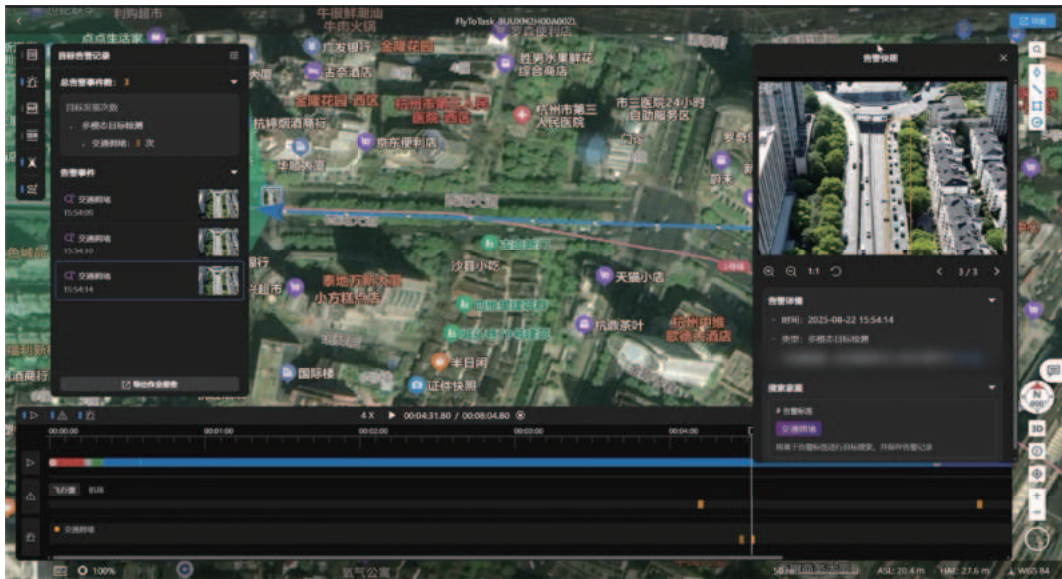


图 2-13 无人机执行自动航线，发现目标自动告警

## 操控门槛降低：用自然语言指挥“飞什么”

操控无人机执行复杂任务，传统上需要专业的飞行技能和对航点坐标、云台角度、变焦倍数等技术参数的深入理解。这道专业壁垒将大量潜在用户——安保人员、工地管理者、应急响应人员——挡在了高效利用无人机的门外。

司空 2 推出的 Copilot 智能无人机操控助手，正是为突破这道壁垒而生。用户可通过自然语言文本或语音输入，实时指派无人机完成飞行、拍摄、搜索等复杂操控任务。Copilot 支持智能飞向目标点、相对方向飞行、起飞/返航、POI 环绕飞行、VLM 智能搜索、全景拍照、切换镜头、喊话器控制等丰富能力，并通过位置确认和规划确认的双重交互机制保障操控安全。

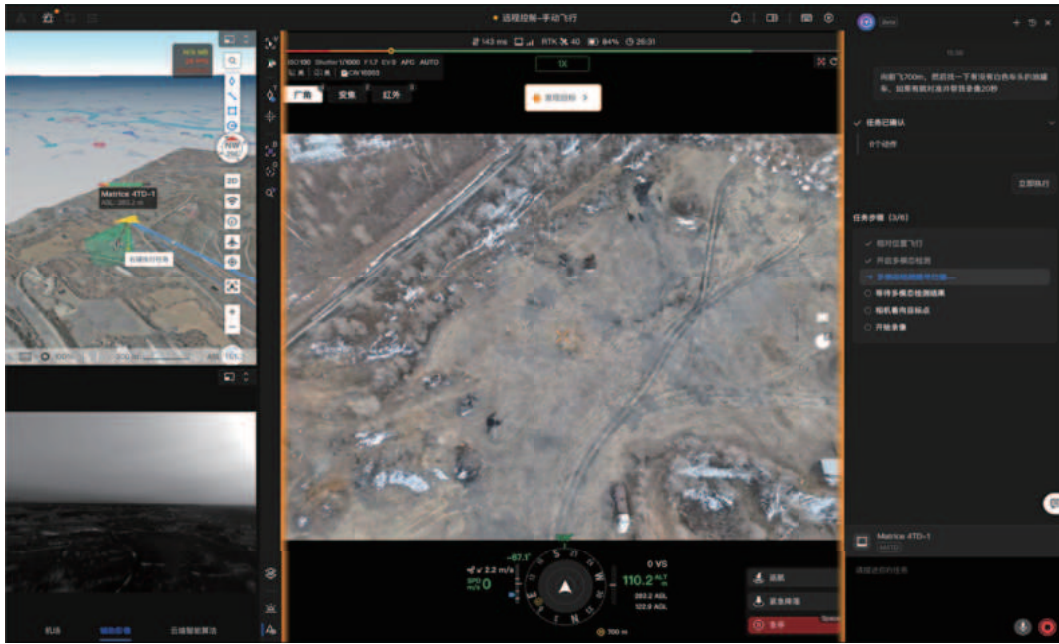


图 2-14 无人机执行通过自然语言输入的任务

Copilot 的深层价值在于其多步推理和任务分解能力。面对 "飞到公园南湖，搜索河流漂浮物，找到后拍照" 这样的复合指令，系统能够自动完成地点搜索、飞行规划、VLM 目标检测和拍照记录的全流程——用户表达的是业务意图，Copilot 完成的是从意图到一系列精确操控指令的认知翻译。这代表了低空飞行操控从 "专业技能驱动" 向 "自然语言驱动" 的范式跃迁。

### 分析门槛降低：用自然语言检索 "找什么"

无人机高效采集数据只是作业的前半程。面对单次任务可能产生的成百上千张照片和大量视频素材，传统方式需要人工逐帧翻看、肉眼比对、手动标注——这一后处理环节往往耗时耗力，成为整个作业链路中最隐蔽的效率瓶颈。

司空 2 的媒体智能搜索功能将 AI 理解能力注入数据后处理环节。用户可通过文字描述或图片上传进行搜索，由大语言模型理解用户意图并转化为高效的检索标签，从海量媒体文件中精准检测并标注特定目标，搜索结果支持导出为报告。一名工程管理人员无需逐张查看巡检照片，只需搜索 "外露钢筋" 或 "积水区域"，系统即可自动定位所有相关影像，显著提升内容检索与标记效率。

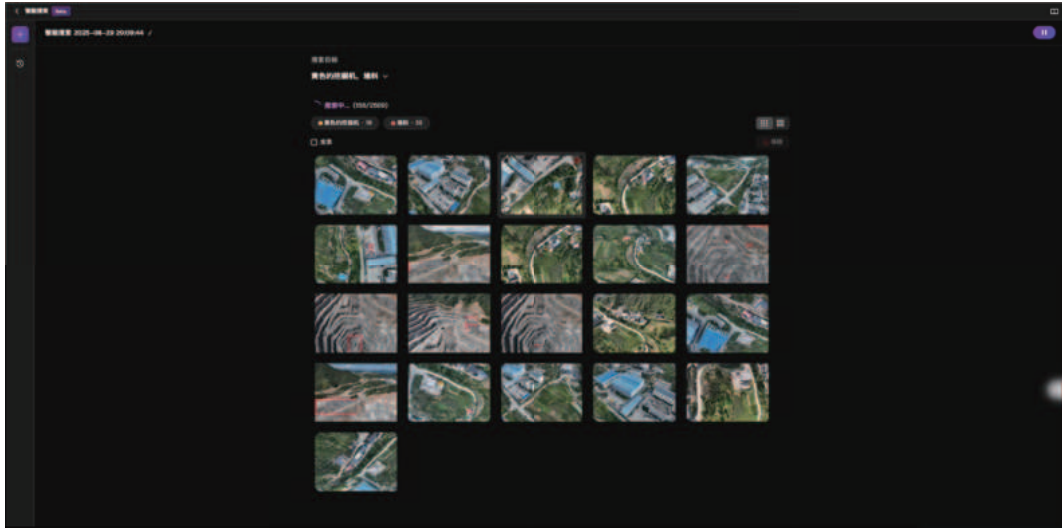


图 2-15 通过 AI 对已采集的数据进行批量检测

变化检测功能则进一步将 AI 分析从 " 单次查找 " 扩展到 " 时序比对 "。平台支持同一航线不同时期采集的媒体文件或二维模型的 AI 智能比对，自动标记变化区域并生成检测报告。变化检测 Pro 版本更升级 VLM 视觉大模型，打破视角限制，同航点非俯拍照片也能捕捉变化，适用于工程进度管理、环境变化监测、安防巡检复盘等场景。用户不再需要凭记忆和经验在两期影像间寻找差异，AI 自动完成比对并呈现结论，让数据分析从专业技能变为标准化能力。

三重门槛的系统性降低，使得无人机作业的完整链路——看什么、飞什么、找什么——都可以通过自然语言驱动，专业知识不再是高效利用无人机的前提条件。这不仅扩大了无人机技术的应用人群和场景边界，更为低空经济从专业市场走向大众化规模化运营奠定了关键的能力基础。

### 2.5.3 系统集成与对接

低空经济的产业生态高度分散，无人机管理平台必须具备 " 安全开放，灵活集成 " 的能力，才能融入各行业的业务系统并发挥数据协同的最大价值。司空 2 通过 OpenAPI、司空 Sync、EventAPI、MQTT 桥接、前端组件等多层次的集成接口，构建了全方位的系统对接能力。

OpenAPI 开放接口。司空 2 提供基于 RESTful 规范的 OpenAPI，涵盖认证鉴权、系统服务、组织项目、设备管理、直播管理、航线管理、任务管理、模型管理、标注管理等功能模块。第三方系统可通过标准 HTTP 接口实现设备状态查询、航线同步与下发、飞行任务创建与管控、直播拉取与转发、模型获取与下载等核心业务操作。建模 API 更支持第三方系统快速集成云端建模能力，

通过接口完成照片上传、重建任务创建、进度查询和结果获取的全流程。

司空 Sync 数据同步。司空 Sync 是平台与第三方云对接的统一数据同步服务，支持文件同步、直播转发、遥测数据推送和 EventAPI 事件通知等能力。文件同步支持将媒体文件、航线、模型、飞行记录等数据按项目维度双向同步至第三方存储桶（AWS S3、阿里云 OSS、MinIO），并支持配置同步完成后自动删除司空内源文件。直播转发支持 RTMP、RTSP 和 GB28181 三种协议，满足执法单位、交通、城管等行业平台的视频接入标准。遥测数据同步支持通过 MQTT 协议将设备姿态、位置等实时数据推送至第三方平台，实现设备状态的实时共享。

EventAPI 事件通知。EventAPI 支持配置灵活的通知规则，可自主选择订阅的事件类型（包括文件同步通知、AI 告警记录、媒体上传完成、航线更新、模型重建完成、异常退出返航、标注变更等），并指定全部项目或特定项目的数据推送范围。采用 HMAC-SHA256 签名验证确保请求来源的合法性，通过固定 IP 进行消息推送方便防火墙白名单配置，支持 7 天投递日志审计与 CSV 下载，为第三方系统的实时业务联动提供可靠的事件驱动基础。

私有化深度集成。在私有化部署场景中，MQTT 桥接功能支持将机场的 MQTT 信息透传至第三方系统的 MQTT Broker，实现设备全量遥测数据的实时同步。前端组件则支持将航线创建、航线编辑器、驾驶舱、项目地图等功能以可嵌入组件的形式集成到第三方 Web 系统中，提供航线创建、航线编辑和保存、地图标注、Cesium 地图开放、远程操控等能力，同时支持自定义主题色和样式，最大限度降低二次开发的技术门槛。第三方 OAuth 认证更允许用户通过已有业务系统的临时授权令牌访问司空，提高系统融合的安全性与便捷性。

## 2.6 服务体系：保障低空基建长期稳定运营

---

低空经济的产业价值，最终要通过无人机在真实行业场景中的持续、稳定运营来实现。大疆机场作为低空经济的地面基础设施节点，其核心价值在于“能持续飞、能稳定飞、能在各种行业场景下规模化飞”。这一目标的实现，依赖于与硬件产品同等重要的服务保障体系。

### 2.6.1 低空基础设施对服务保障的特殊要求

与传统行业设备不同，低空经济基础设施在服务保障上面临四个显著的特殊性，决定了其服务体系的设计必须有别于普通售后模式。

**无人值守，故障无法自处置：**大疆机场通常部署于楼顶、塔台、野外站点等无人常驻的位置，设备发生故障时现场没有操作人员可以介入处置。这要求服务体系必须具备快速到场响应能力，同时通过意外保障和预防性维护将故障概率和影响降至最低。

**高频高强度，专业维保延长设备寿命：**低空经济场景下，大疆机场配套无人机每日可执行数十架次飞行任务，长期在极端温度、高湿、粉尘、强风等环境中持续运行。定期专业保养能够有效维持设备性能状态、预防故障积累、延长设备使用寿命，是保障设备长期稳定运行的必要手段，而非可选项。

**规模扩张快，运维复杂度指数级上升：**低空经济基础设施正从“单点试点”向“区域网络”快速演进。当部署规模从数台增长到数十乃至数百台时，分散的设备管理、分级的服务响应和统一的数字化运维平台，是保障整体网络稳定运行的基本前提。

**行业差异大，通用方案难以适配：**电力巡检需满足电网企业安全生产规范，公共安全需满足政务数据主权要求，应急救援需在极端条件下快速响应。不同行业对设备性能、数据安全、维保响应时效的要求存在本质差异，服务体系必须具备足够的行业纵深与灵活性。

以下表格展示四项特殊性与大疆行业服务体系对应解答的完整映射：

低空基础设施特殊性	核心挑战	大疆行业服务体系解答
无人值守 故障无法自处置	故障时无人在场处置，停机代价高	DJI Care 行业无忧 基础质保托底
高频高强度 专业维保延长设备寿命	每日数十架次，极端环境长期运行， 稳定运营依赖专业维保支撑	三类保养服务 基础 / 常规 / 深度保养
规模扩张快 运维复杂度上升	分散部署，统一管理难度大	三级服务网络 客户督导交付
行业差异大 通用方案难适配	各行业规范各异，数据安全要求不同	GEO 高阶测绘培训服务 客户督导交付(产品 / 使用培训)

## 2.6.2 大疆行业服务体系构成

大疆行业应用围绕低空基础设施全生命周期，构建了以下六项服务产品，将大疆机场从硬件产品升级为可持续运营的基础设施节点。

### 1) 基础质保：产品可靠性的官方承诺

大疆行业产品均提供官方基础保修服务，作为客户购机后开箱即享的质量保障底线，覆盖因产品自身质量问题导致的非人为损坏，整机保修期通常为 12 个月。保修期内客户可通过线上自助平台发起寄修申请，官方维修中心提供 1-3 个工作日内的标准响应，并出具维修报告，维修完毕后原路寄回。

### 2) 意外保障：DJI Care 行业无忧

DJI Care 行业无忧是 DJI 大疆推出针对 DJI 大疆行业应用产品的售后服务计划，提供全方位意外解决方案，覆盖多种原因导致的产品损坏情形。

在无人值守环境下，飞行意外是低空基础设施最大的不确定来源，DJI Care 行业无忧将不可控风险转化为可预期、可预算的固定服务成本，让每一次飞行更安心，让每一项作业无后顾之忧。

同时 DJI Care 行业无忧与基础质保形成互补，共同构成设备全生命周期的完整保障体系：基础质保覆盖产品质量问题，DJI Care 行业无忧覆盖飞行意外损坏。

针对大疆机场系列产品，DJI Care 行业无忧提供五大核心服务，并支持服务续订，保障不断档。

**免费维修次数不限：**保障额度内提供不限次数的免费维修服务，直至保障额度用完为止

**额度共享叠加无上限：**多台设备保障额度可叠加并共享，且绑定设备数量和叠加额度不设上限

**电池换新持久续航：**服务生效期间，每年为飞机提供一定块数电池免费换新服务，为长期高强度作业设备提供续航支持

**高效物流双向免邮：**服务生效期间，提供免费往返物流服务，寄送流程贴心、快捷

**专线专享优先服务：**设立技术服务专线，涵盖在线咨询、热线电话等多种渠道，快速提供帮助

### 3) 客户督导交付服务：全流程交付质量保障

大疆行业应用提供客户督导交付服务，以六个环节构成完整交付链条，确保每位客户项目完成后既拥有稳定运行的系统，也具备独立驾驭系统的完整能力。

**方案审核：**从选址安装、网络链路、航线空域、系统参数四个维度审核部署方案，出具书面报告，将风险消除在施工前。

**产品培训：**面向决策层，讲解系统架构、产品能力边界与服务政策，帮助客户在启动前建立正确认知。

**使用培训：**面向一线运营人员，覆盖设备管理、司空 2 操作、异常处置与行业作业规范。

**交付技能培训：**面向实施工程师，涵盖设备安装上线、系统调试与验收标准，确保规范部署与联调能力。

**现场验收：**大疆服务团队驻场，按硬件环境、系统功能、运营指标三阶段核验，出具正式验收报告后完成交付。

**专属服务 CC (Customer Coordinator)：**验收后指派专属服务协调员，统一协调服务资源、主动跟进运营状态、推送新功能更新，确保 " 交付结束 " 成为 " 长期服务的起点 "。

### 4) 支持服务：全天候技术响应与维修

在设备运营期间，大疆行业应用提供技术支持与维修响应服务，确保大疆机场系统发生任何故障时都能得到及时、专业的处置。

**产品技术支持：**覆盖大疆机场硬件故障诊断、司空 2 平台配置、固件升级、第三方系统集成等技术场景，服务热线 400-700-0303 全天候响应。

**一站式维修支持：**覆盖全国主要城市，支持自助线上寄修与维修进度追踪，官方维修中心提供 1-3 个工作日内完成的标准维修，并出具官方维修报告。

**数据安全保障：**对政府、电力、公共安全等数据敏感型客户，提供司空 2 私有化部署版本，全量数据存储于客户自有服务器，不经公共网络传输，满足政务合规要求。

### 5) 保养服务：预防性维护，保障作业不中断

对于长期高强度作业的低空基础设施设备，事后维修远不如事前预防。大疆行业应用提供三类专业保养方案，将设备故障率从根源系统性降低。

**基础保养计划：**含深度清洁 / 部件检测 / 升级校准，降低日常环境对设备性能的影响；

**常规保养计划：**增加易损耗零部件更换，维持设备卓越飞行性能；

**深度保养计划：**增加核心部件更换，确保动力系统长期健康运行。

## 6) GEO 高阶测绘培训服务

大疆行业应用目前提供 GEO 高阶测绘培训服务，面向测绘行业用户，系统提升其在高精度无人机测绘场景中的专业作业能力。培训内容涵盖高精度航测任务规划、RTK 定位校准、多光谱与激光雷达载荷使用，以及测绘成果数据处理与交付流程，帮助客户充分发挥大疆测绘产品的完整技术能力。

### 2.6.3 服务网络：覆盖全域，分级响应

<b>19</b> ↑ 全球官方 维修中心	<b>950+</b> 国内上门 服务商	<b>30+</b> 本地驻场 服务商	<b>94%</b> 用户 满意度	<b>98%</b> 故障一次 性解决率	<b>1-3</b> 天 厂内维修 周期
-----------------------------	----------------------------	---------------------------	-------------------------	----------------------------	----------------------------

大疆行业应用采用 " 官方维修中心—上门服务商—本地服务商 " 三级服务网络，全球布局 19 个官方维修中心，国内覆盖全国 31 个省级行政区，形成统一标准、分级响应的全域服务体系。

**官方维修中心：**技术中枢，负责复杂故障深度维修与核心配件供应；国内主要设于深圳（总部）、成都、惠州、南京等城市，出具官方维修报告，满足合规留档要求。

**上门服务商（国内 950+）：**覆盖全国省会城市及主要地级市，接报后 24-48 小时内到达现场，承担 " 属地快速响应 " 核心职责，将设备停机时间压缩至最低。

**本地服务商（国内 30+）：**深耕特定区域或行业，提供驻场日常巡检保养、应急处置协同与行业定制运维服务，是大规模机场部署项目的常驻保障力量。

低空经济的产业价值，最终要在无数个真实运营的飞行架次中积累实现。大疆行业应用以完整的服务产品体系为保障、以覆盖全国的三级服务网络为支撑，致力于让每一台大疆机场在任何部署位置、任何行业场景下都能持续、稳定、可靠地运行——这是大疆行业应用对低空经济产业的核心承诺。

# 03 | 全球超 80 个国家地区信赖的低空解决方案

自 2022 年首代大疆机场发布以来，大疆机场系列历经三代产品迭代，从无人值守自动作业的概念验证，发展为覆盖全行业的成熟基础设施平台。三年间，大疆机场的市场定位也随之演变——早期客户以单台试点验证为主，如今已进入多站联网、规模化部署的阶段，成为城市治理、电力、安防、测绘、油气等行业无人机自动化作业的标配基础设施。



图 3-1 大疆机场系列演进

截至目前，大疆机场系列产品已部署至全球 80 余个国家和地区，累计完成超过 800 万飞行架次、200 万小时以上的无人值守作业，并与超过 1000 个第三方生态软件平台实现集成对接。这些数字背后，是大量真实项目在复杂环境和多样业务场景中的持续运行验证。

<b>80+</b> 覆盖国家和地区	<b>800 万 +</b> 机场累计飞行架	<b>200 万 +</b> 机场累计作业小	<b>1000+</b> 生态软件集成平台
-----------------------	---------------------------	---------------------------	--------------------------

## 3.1 城市一网统飞：城市多部门共享的低空基础设施

### 3.1.1 从“各部门分散采购”到“一网统一调度”

#### 城市一网统飞概述

城市一网统飞是指在城市范围内，以低空物联网为基础，通过统一的无人机管控平台，实现多部门、多场景、多机型的无人机协同飞行与数据共享。其核心理念是将分散在城管、安防、交通、应急、环保等各部门的无人机资源进行统一调度和管理，构建“一张网、一平台、一套标准”的城市低空智能感知体系。随着城市精细化治理需求的不断提升，传统的人工巡查和单点监管模式已难以满足城市管理的时效性与覆盖度要求，一网统飞模式正在成为新型智慧城市建设的重要基础设施。

#### 国家政策

根据国家近3年密集发布的低空经济相关政策，城市一网统飞作为低空经济的重要落地形态，已上升为国家战略。多个城市已将“一网统飞”列入智慧城市建设专项规划，政策环境持续向好。

### 3.1.2 一套机场网络覆盖多部门核心需求

城市一网统飞重点关注的场景有三个，城市治理、公共安全、基础设施巡检。

#### 1) 城市治理

城市治理是城市现代化的核心任务之一，涵盖市容环境、违法建设、河道管理、绿化养护、渣土运输监管等多个领域。随着城市化进程加快，城市管理面临的挑战日益复杂，传统的人力巡查模式存在覆盖不全、响应滞后、取证困难等问题。无人机一网统飞能够实现对城市管理事件的高频次、全覆盖巡查，将城市治理从“被动应对”转向“主动发现”，显著提升城市精细化管理水平。

#### 2) 公共安全

公共安全是城市管理的底线任务，涵盖社会治安防控、重大活动安保、突发事件应急处置、消防救援等领域。城市一网统飞通过无人机快速响应和实时态势感知，为安防、应急管理等部门提供“空中视角”，实现事件发现、态势评估、指挥调度的一体化，大幅缩短应急响应时间，提升公共安全保障能力。

### 3) 基础设施巡检

城市基础设施是城市运行的 " 生命线 ", 包括电力线路、输油气管道、桥梁隧道、水利设施、通信基站等。这些设施点多线长面广, 传统人工巡检效率低、风险高、覆盖难。无人机一网统飞可对城市基础设施进行常态化、标准化巡检, 通过 AI 缺陷检测实现隐患的早期发现和预警, 保障城市安全运行。

#### 3.1.3 大疆机场城市一网统飞解决方案

##### 业务痛点

城市一网统飞所覆盖的城市治理、公共安全、基础设施巡检三大方向, 在传统作业模式下面临一组共性痛点:

痛点类型	城市治理	公共安全	基础设施巡检
覆盖与效率不足	城管人均管辖面积大, 巡查频次难以保障	大型活动安保需抽调大量人力, 影响日常勤务	人工巡检一条电路线路需要一整天, 交通不便、地形复杂
响应与发现滞后	违法建设平均发现周期长, 拆除成本成倍增加	突发事件后人员到达现场平均时间较长, 错过黄金处置窗口	微小缺陷肉眼难以发现, 隐患排查不到位
协同与数据割裂	城管、住建、环保等部门各自巡查, 系统不互通、数据标准不统一	辖区边界地带存在管控盲区, 信息传递延迟	巡检记录以纸质或照片为主, 历史数据难以追溯和对比
安全与成本压力	人力有限, 重复作业造成资源浪费	地面视角受限, 指挥决策缺乏全局态势信息	高压线路、桥梁等高空作业人身安全风险大

表 3-1 城市一网统飞三大方向业务痛点汇总

这些痛点的共性根源在于: 传统模式以人力驱动、地面视角为主, 覆盖范围有限、响应速度受制于人员调度、各部门之间缺乏统一的数据底座。大疆机场 3 通过一套共享机场网络, 为以上三大方向提供统一的基础设施支撑, 其核心功能可归纳为以下四个层面:

**自动化巡飞与快速响应。**机场网络 7 × 24 小时在线待命，支持定时自动巡航和一键应急起飞两种模式。在城市治理场景中，无人机按预设航线定期巡飞，主动发现违法建设、占道经营、垃圾堆放、河道污染等事件；在公共安全场景中，突发事件发生后可一键调度最近机场无人机，3-5 分钟到达现场实时回传画面；在基础设施巡检场景中，无人机按预设航线对电力线路、桥梁等设施自动巡检，采集高清影像，替代高空人工作业。

**AI 智能检测与分析。**飞行采集的影像数据经 AI 自动分析，针对不同场景输出相应结果：城市治理方向自动检测违建、占道、环境问题等城市管理事件；公共安全方向进行异常事件检测、车辆追踪等态势分析；基础设施巡检方向自动检测绝缘子破损、线路异物、桥梁裂缝等典型缺陷。AI 能力将人工“看不全、看不到”的问题转化为系统可自动发现、主动告警的标准化流程。

**多部门共享与协同调度。**一套机场网络通过云平台实现多部门分时共享——城管部门在上午巡查市容、执法单位在夜间巡逻治安、住建部门按计划巡检设施——同一套基础设施服务于不同业务需求，避免各部门重复建设。空中画面可实时共享至指挥中心和地面人员，实现跨部门、空地一体化的联动处置。

**数据闭环与数字化管理。**从问题发现到处置形成完整闭环：发现问题自动生成工单，推送至责任部门，跟踪整改进度。所有巡飞数据统一归档，建立城市面貌变化档案和设施数字化台账，支持历史数据对比分析，为城市更新决策和设施运维提供持续的数据支撑。各部门共享同一数据底座，打破信息孤岛。

### 3.1.4 广州南沙区 36 套机场规模化部署案例

#### 1) 项目背景

广州市南沙区作为粤港澳大湾区核心区域，辖区面积约 803 平方公里，下辖 10 个镇街，城市管理区域广、监管任务重、应急响应要求高。2024 年 2 月，南沙区政务服务数据管理局通过招投标确定，由广州市城市规划勘测设计研究院有限公司负责实施本项目，2024 年 4 月底开始试运营，部署了 36 套大疆机场。项目通过无人机自动航飞作业及数据服务的统一管理，减少重复建设和投入，提高飞行服务的复用率、安全性和专业性，向全区各无人机需求部门提供快捷高效、安全可靠、互联共享、专业规范的数据服务。



图 3-2 广州市南沙区机场部署示意图

## 2) 服务内容

下表展示了广州市南沙区政务服务和数据管理局机场服务项目的完整清单。该项目共包含 8 大类、17 个细分服务项目，横跨自然资源监测、城市管理监测、水务监测、城市交通及建设监测、应急监测、文化宣传、“百千万工程”飞行服务及其他飞行服务等领域。值得关注的是，这 17 项服务涉及的政府部门多达十余个，包括市规自局南沙区分局、区综合执法局、区水务局、区住建局、区委办、区统计局、区建设中心、区应急局、区气象局、区文广旅体局、区政数局、区商务局、区土发中心以及各镇街等。这些部门通过共享大疆机场，获取各自所需的飞行服务——同一批机场在不同时段为不同部门执行差异化的飞行任务，从正射影像测量、违建监测、河涌巡查、道路拥堵疏导，到森林防火、应急响应、宣传拍摄，真正实现了“一网统飞、多部门共用”的集约化运营模式，避免了各部门各自采购设备、重复建设的资源浪费。

序号	项目	服务部门	内容	单位	数量
1	自然资源监测服务	市规自局南沙区分局 / 区其他需求部门	0.1m 正射影像生产（包含像控点测量、航线规划、数字表面模型构建、数字正射影像图制作等内容）	平方公里	2560

序号	项目	服务部门	内容	单位	数量
2	城市管理监测服务	区综合执法局（含各镇街执法队）	无人机航线规划及操作管理、疑似违法建设（含河涌违建）线索、城市乱堆乱放线索的人工分析复核	平方公里	41236
			疑似违法用地监测（包括新增占用耕地、永久基本农田非农化违法用地；新增占用永久基本农田挖塘养鱼、发展林果业非粮化图斑）	平方公里	360
3	水务监测服务	区水务局 / 各镇街	水务施工工地监管航线规划、操作管理及线索人工分析复核（建议修改为河涌巡查）	架次	280
		区水务局	河涌巡查（含排污、水面垃圾）线索人工分析复核	平方公里	79.2
4	城市交通及建设监测服务	区住建局 / 区委办 / 区政数局	道路拥堵检测疏导（视频及直播，人工飞行配合疏导）	架次	150
		区委办 / 区统计局 / 区建设中心 / 区住建局 / 各镇街	南沙区新建项目、占道施工的监管线索人工分析复核	平方公里	2460
		区住建局、区统计局	突发事件的处置（视频直播，人工飞行配合处置）	架次	8
5	应急监测服务	区应急局 / 各镇街	森林防火监测线索人工分析复核	平方公里	811.2
		区应急局	化工区防范航线规划、操作管理及线索人工分析复核	架次	60
			灾情及突发事件应急航飞（事故现场实时回传）	架次	60
		区气象局	气象灾害后实地调查（灾害现场的正射影像、视频和照片，人工飞行配合航拍调查）	架次	60

序号	项目	服务部门	内容	单位	数量
6	文化宣传服务	市规自局南沙区分局、各镇街、区发展改革局、区文广旅体局	活动、宣传拍摄	架次	150
		各单位	假期景区景点应急指挥（视频直播，人工飞行配合指挥）	架次	81
7	“百千万工程”飞行服务	各镇街/区“百千万工程”指挥部办公室	定期采集各村（社区）全景图	架次	156
			定期采集重点项目、美丽圩镇“七个一”等重点场所图像，拍摄展示乡镇中心区域镇容镇貌的高清视频	架次	280
8	其他飞行服务	其他相关部门、区土发中心、区商务局等	执行无人机指挥调度任务，包括远程视频直播、图片拍摄、喊话等人工飞行技术工作	架次	548

表 3-2 机场服务内容（源自广州市南沙区政务服务和数据管理局 2025 年 -2027 年无人机服务项目（CZ2025-0907）招标公告）

### 3) 业务流程

南沙区无人机服务项目建立了从需求发起到成果交付的标准化六步业务流程，贯穿“申请 - 审批 - 规划 - 执行 - 处理 - 分发”全链条。各职能部门和镇街作为需求方，通过统一的无人机综合服务平台提交飞行服务申请，经政数局两级审批确认后，由服务团队完成航线规划并通过飞行管理系统远程操控大疆机场自动执行任务。飞行采集的数据经专业处理和 AI 智能检测后，通过数据管理系统按部门权限分类存储和在线分发。

这一流程的核心特征在于：前端入口统一（所有部门共用同一个申请平台）、中间资源共享（同一套机场网络响应所有部门的任务）、后端按需分发（各部门仅获取与自身业务相关的数据成果）。整套流程将十余个政府部门的差异化需求，收敛到一条标准化的服务链路上，既保障了各部门的业务独立性，又实现了基础设施的集约使用。



#### 4) 平台架构图

南沙区无人机服务项目采用 "一个平台对接多个系统" 的集约化技术架构, 以无人机综合服务平台为核心枢纽, 向上对接政府既有的数字化管理体系, 向下连接各类数据使用方。

- **无人机综合服务平台**: 整个架构的中枢节点, 通过大疆上云 API 搭建, 代替司空 2 实现机场管理, 集成 AI 算法实现自动化数据处理。平台承担任务调度、飞行管理、数据汇聚三重职能, 是所有飞行服务的统一入口和数据归集中心。
- **南沙区 "数字城市" 城市运营中心**: 南沙区政府建立的智慧城市服务平台, 各部门通过运营中心的审批系统实现无人机服务申请。各需求单位通过登录 "数字城市" 城市运营中心申请无人机相关服务, 无人机综合服务平台通过对接城市运营中心任务需求, 开展飞行作业。运营中心同时接收平台回传的数据成果, 实现业务申请与数据共享的双向流转。
- **城市管理子系统**: 无人机通过日常巡逻及 AI 检测对违建情况进行甄别, 并结合历史影像, 实现违法治理线索的推送、自动处理、统计、通报、督办以及疑难核实等相关功能。无人机综合服务平台将检测结果以工单形式自动推送至该系统, 执法人员可在手机 APP 程序中实现处置及闭环。
- **其他数据平台 (如南沙区大数据中心)**: 无人机平台提供数据目录, 其他数据平台可按需调用无人机平台的影像、分析结果等数据资源, 实现跨平台数据共享, 避免数据孤岛。



## 5) 项目成果

广州市南沙区无人机“一网统飞”服务项目，以“集约建设、统一管理、共享复用、专业运维”为核心理念，开创了区级政府无人机统一服务的新模式。项目自 2024 年 2 月启动、4 月底正式投入运营以来，36 套大疆机场持续服务于城市管理、自然资源、水务、交通、应急等多个领域，覆盖区规自局、综合执法局、水务局、住建局、应急局等十余个职能部门及南沙区各镇街。截至 2025 年底，项目累计完成超过 43450 架次飞行任务，产生超过 21.59TB 高价值数据，机场在线率保持 100%。该项目验证了“政府统筹 + 专业运营 + 部门共享”模式在区级政府层面的可行性和经济性，为广东省乃至全国其他地区的无人机城市治理应用提供了可复制的实践样本。

## 3.2 电力：低空智能运维网络

电力行业是低空经济中最成熟、最具规模化特征、也最能体现无人机机场基础设施价值的行业之一。输电、变电、配电设备广泛分布于城市、乡村、山区和沿海等多元环境，具有线路长、站点多、巡视压力大、安全要求严、作业标准化程度高等特征。正因如此，电力行业对低空能力的诉求，不只是单点应用效率优化，而是围绕设备巡视、通道管理、应急响应和综合督查所展开的长期基础设施升级。

过去十余年，无人机已从电力运维的辅助工具逐步发展为重要生产装备，而随着电网体系内自主巡检、智能巡检、网格化巡视和数字化运维能力持续深化，行业关注重点也正在从“会飞、能拍、可用”转向“常态运行、标准作业、规模覆盖、体系协同”。在这一演进过程中，无人机机场不再只是一个起降和充电设备，而逐渐成为电力低空作业网络中的关键节点，承担起自动作业、远程运维、数据回传、任务协同与全域覆盖的重要角色。

从行业实践看，机场正在推动电力无人机应用从“单机作业”走向“网络化部署”，从“项目制使用”走向“平台化运行”，从“现场飞行”走向“低空基础设施值守”。这使得电力行业成为大疆机场最具代表性的应用场景之一，也使其成为低空经济在垂直行业落地的典型样板。

### 3.2.1 从人工巡检到网格化无人值守

电力行业无人机应用的核心目标，是在保障电网安全稳定运行的前提下，提高设备巡视效率、提升缺陷发现能力、降低高危作业风险，并推动运维组织方式向更高频、更标准、更智能的方向演进。电力设备点多、线长、面广，输电线路跨越山区、林区、河谷和大跨度区段，变电站分布广泛、巡视频次高，配电网又具备数量庞大、贴近一线、场景碎片化等显著特征，这些都决定了低空能力在电力场景中具有天然的刚需属性。

从发展路径看，电力无人机应用大致经历了三个阶段：第一阶段是“手飞巡检”，飞手携机到场完成拍摄与取证；第二阶段是“自主巡检”，通过航线规划、RTK定位和点云建模推动标准化作业；第三阶段则是“机场网格化巡检”，依托固定式或移动式无人机机场，实现远程调度、自动起降、自动回传与多站协同。在多个实践场景中，机场正逐渐成为电力行业无人机规模化应用的主干基础设施。

从组织侧看，电力无人机的核心价值，不只是单次作业效率提升，更是运维体系的重组：原本依赖班组经验、飞手技能和现场响应的流程，正在被可复制的航线、平台、算法、设备和管理机制所替代。机场让无人机从“出任务时才被带到现场的工具”，转变为“部署在现场、可持续运行的低空基础设施节点”，这正是电力行业率先进入低空经济深水区的重要原因。

翻阅逐年迭代的行业政策文件，不难发现，电力行业已全面进入“标准牵引规模化推广、体系推动组织落地”的阶段：输电自主巡检覆盖率、配网无人机规模化应用、变电站智能巡检建设等，均已纳入明确的发展目标与管理要求。这意味着电力场景的低空基础设施建设，不是短期试点，而是面向未来运维体系升级的长期投入。



图 3-4 传统的人工巡检已逐渐被更智能的巡检方式替代

### 3.2.2 输电、变电、配电核心应用场景

如果把电力无人机应用按专业属性拆开来看，输电像“长距离高要求巡逻员”，变电像“高频高标准体检师”，配电则更像“数量庞大的基层网格管理员”。三类场景都依赖低空能力，但在作业逻辑、部署密度、自动化要求和基础设施形态上存在显著差异。

#### 1) 输电巡检

输电是无人机在电力行业应用最成熟，也最接近机场规模化的场景，其主要任务包括杆塔精细化巡视、通道巡视、树障排查、导线巡视、山火监测、覆冰观测以及突发灾后勘查等。输电线路跨越山区、林区、河谷和人口稀疏地区，巡视范围广、作业半径大、任务类型多，天然适合以机场为节点形成网格化覆盖体系。通过自动机场，输电无人机应用正从“单次到场作业”走向“线路级持续在线巡视”，使精细化巡检、重点区段巡视和应急特巡能够在统一平台上协同运行。



图 3-5 输电架空线路巡视的三类主要场景 - 通道、杆塔、导线

## 2) 变电巡检

变电场景的核心诉求是高频、标准、可重复的站内巡视,其关注对象包括主变、开关、套管、隔离刀闸、母线、构架及附属设备等,强调可见光、红外、夜间与特殊工况下的协同巡检能力。与输电相比,变电站空间范围更集中、部署条件更好、电源与网络配套更容易,因此更为适合固定式无人机机场长期驻守作业。当前变电无人机应用正从“辅助巡视”加速转向“无人值守巡检”,而机场在其中承担的关键作用,是把原本依赖人工到站的巡视流程,变成计划性、周期化、可追溯的在线作业。



图 3-6 基于高斯泼溅技术重建的变电站模型

## 3) 配电巡检

配电场景的特点是网络规模庞大、作业密度高、基层组织多、场景碎片化严重。相比输电和变电,

配电线路设备更贴近城市与乡村一线，杆塔低矮、支线繁多、环境复杂。近年来，在总部考核、配网精益化运检和基层减负诉求推动下，配电正快速进入无人机推广阶段，重点方向包括树障排查、通道巡视、红外测温等。配电对低空基础设施的核心要求，不只是单机能力，而是如何在供电所、变电站、基层班组之间建立更高频、更低门槛、更易复制的网格化支撑体系。

### 3.2.3 电力行业自动化机场解决方案

#### 1) 输电解决方案

场景价值：面向长距离输电线路和重要输电通道，机场能够将线路巡视从“到场执行”升级为“网络化运行”，实现精细化巡视、通道巡视、树障排查和应急特巡的一体化组织。

价值维度	具体表现	应用意义
全域覆盖	依托变电站、工区、供电所等支点形成线路级网格化部署	提升重要区段巡视频率与覆盖密度
自动化作业	自动起降、自动回传、自动归档，支持周期性任务执行	让输电巡检从项目制走向常态化运营
多任务融合	本体巡视、通道巡视、树障监测、山火观察可协同运行	提升单套基础设施的复用价值
远程协同	远程调度、在线复核、异常联动和应急响应效率提升	增强输电运维组织的统筹能力

#### 核心功能：

- 自动化精细巡检：依托机场与预设航线，对杆塔、金具、绝缘子、通道等目标开展周期性自动巡视。
- 树障与通道风险检测：结合可见光、激光雷达与点云分析能力，对树线距离、异物和山火隐患进行持续监测。
- 多站网格化部署：优先在变电站、生产工区、供电所及重点区段周边部署机场，形成重要线路的网格化覆盖。
- 应急联动与触发式作业：与可视化监测、山火预警等监测系统联动，实现“发现异常 - 调用机场 - 远程核查”的闭环。

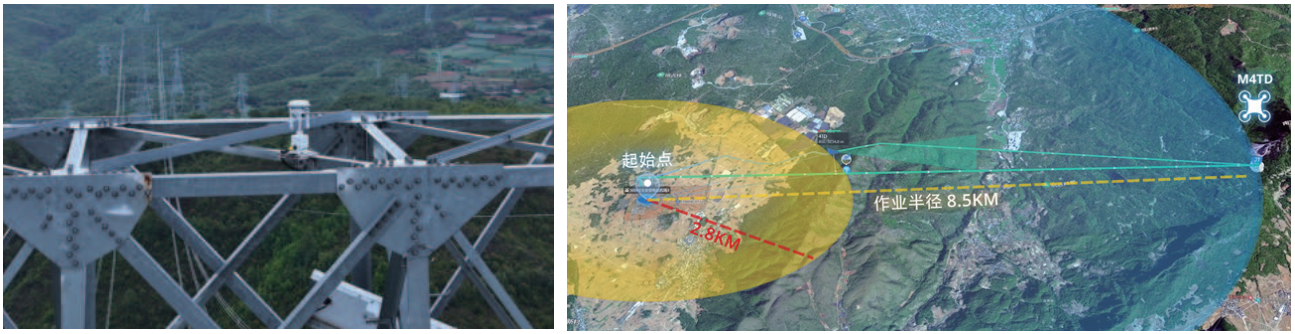


图 3-7 通过在输电杆塔塔顶部署图传中继站，机场覆盖范围得到有效延展

## 2) 变电解决方案

**场景价值：**变电站适合构建高频、标准、可复制的无人值守巡视网络。自动机场的引入，使站内巡视从“班组到站”升级为“设备驻站、任务在线、结果闭环”。

价值维度	具体表现	应用意义
高频巡视	根据设备等级和任务类型开展计划化巡检	保障站内巡视频率与一致性
多源感知	可见光、红外热成像、夜间补光协同作业	满足白天、夜间和特殊工况的立体化巡视需求
数字化台账	巡视数据自动沉淀归档，支持趋势对比和复检闭环	提升站内设备管理的精细化水平
远程运维	通过统一平台查看机场状态、下发任务、协同处理异常	降低现场值守压力，提升运营效率

### 核心功能：

- 无人值守站内巡检：在变电站内固定部署机场，实现按计划自主起降、自动巡检与自动回传。
- 多源感知融合：通过可见光、红外热成像、夜间补光等多种能力协同，对主设备与辅助设施开展立体巡查。
- 缺陷检测与台账管理：自动归档巡视数据，形成设备数字化台账，支持缺陷比对、趋势分析和复检闭环。
- 少人化远程运维：通过统一平台远程查看机场状态、下发任务、处理异常，降低运维人员驻场需求。

### 3) 配电解决方案

**场景价值：**配电网规模大、点位多、贴近基层，适合通过轻量级、可复制、供电所级网格化基础设施来推动无人机从“会用”走向“常用”。

价值维度	具体表现	应用意义
高频巡查	围绕架空线路、通道和典型缺陷建立周期性巡检机制	提升基层巡视效率与规范性
智能检测	围绕绝缘罩缺失、锈蚀、异物、外破等典型缺陷开展 AI	增强问题发现能力
快速到场	在停电、外破、通道异常等场景中快速获取空中视角	支撑基层高效处置
基层减负	以机场、平台和标准航线形成一体化作业体系	提升无人机应用可复制性与组织效益

#### 核心功能：

- 架空线路高频巡查：结合机场、轻量级 RTK 无人机和标准航线，对配电线路开展常态化巡视。
- 图像智能检测：围绕绝缘罩缺失、锈蚀、异物、外破等典型缺陷开展 AI 检测，提高问题发现效率。
- 故障研判与现场辅助：在停电、外破、通道异常等场景中，快速到场获取空中视角，辅助基层处置。
- 供电所级网格化支撑：以变电站、供电所、班组驻地为支点部署机场，推动配电无人机从“会用”走向“常用”。

综合来看，电力行业的智慧解决方案并不是简单“把无人机放到机场里”，而是以机场为节点，重构输电、变电、配电的作业组织方式。机场解决的是起降、充电和远程控制问题，但更重要的是，它让电力行业第一次具备了用基础设施思路构建低空作业网络的可能性。机场、无人机、平台、通信、算法、运维与业务系统等关键环节真正贯通，是率先从“设备应用”走向“体系化生产力”的关键。

### 3.2.4 泰州供电公司 207 套机场全域覆盖案例

#### 1) 项目背景

江苏泰州位于长江三角洲中心区，经济活跃、产业集聚，电网设备分布广泛，对输电、变电、配电巡视的时效性、标准化和覆盖能力提出了更高要求。为全面提升全市电网运维水平，国网泰州供电公司引入 207 套大疆机场无人值守设备，围绕输电线路、变电站和配电架空线路构建统一的智能巡检网络。



图 3-8 国网泰州供电公司引入 207 套大疆机场

项目综合考虑全域覆盖、信号通信、便捷接电和环境友好等因素，以城区 3 千米、郊区 5 千米为半径，选定 207 个机场布点位置，形成覆盖泰州全市约 5800 平方公里的低空作业网络。依托该网络，泰州公司将大疆机场应用于全市输变配设备综合巡视，巡检范围覆盖 6434 公里输电线路、181 座变电站和 19037 公里配电架空线路，每台大疆机场每日有效作业架次超 12 次，效率是人工现场机巡的 3 倍以上。

#### 2) 核心价值

- 全域覆盖：207 套机场形成市域级网格化布局，实现输变配设备协同巡视。
- 作业高频：每台大疆机场每日有效作业架次超过 12 次，整体效率达到人工现场机巡的 3 倍以上。
- 统一调度：在同一低空作业网络内统筹输电、变电、配电及综合督查任务，实现设备与平台复用。
- 多场景拓展：在保障电网主业巡视的同时，可灵活支撑应急消防、河湖监测、交通疏导、乡村治理等公共服务场景。

### 3) 输电线路综合巡视实录

在线路本体巡视方面，传统模式通常需要工作人员携带无人机前往现场开展作业，受转场和往返时间限制，单日有效作业时长有限。引入大疆机场后，输电巡视升级为自主化运行模式，机场具备全天候值守与自动作业能力，单台设备日均作业量提升至 30 基杆塔，相当于显著释放一线巡视人力。按泰州全市规模测算，最快 3 天即可完成全市所有杆塔的精细化巡视任务。

在输电通道巡视方面，泰州公司已完成适航区内 110 千伏及以下输电通道人工周期巡视全替代，无人机重点监测通道环境变化、施工活动和异物入侵等安全隐患。单架次平均可完成 4 公里通道巡视，在全域机场网络协同下，单台机场每日作业 5-8 架次，即可支撑泰州全域 500 千伏及以下输电通道巡视任务，体现出自动机场在大范围线路通道场景下的显著效率价值。



图 3-9 无人机巡检输电杆塔

### 4) 变电站智能巡视实录

在变电站场景中，泰州公司采用大疆机场 3 配套 Matrice 4TD 系列无人机开展站内综合巡视。飞行器集成毫米波雷达和高分辨率低光视觉传感器，具备导线级绕障能力，适合在变电站复杂环境中开展安全稳定作业。通过在铁塔或变电站女儿墙部署 D-RTK 3 中继站，可将站点周边 2.45 公里范围内的无线带宽稳定提升至 6Mbps 以上，为高清巡检视频实时回传和远程智能诊断提供稳定支撑。

在应用策略上，运维团队采用“地面高清视频为主、无人机为辅”的融合巡视方式，实现站内设

备全面巡视与关键设备重点巡视相结合。无人机通过高空视角获取多角度图像，精准覆盖主变压器、避雷器、电流互感器、母线等核心设备，有效补足地面视频检查盲区，形成变电站设备的三维立体化巡检能力。对于红外巡视，团队采用“普测单间隔电流致热型”的方式，按测温点位进行分相、多角度精细测温，再结合人工复核完成闭环。



图 3-10 无人机巡检变电站

## 5) 配电线路网格化巡视实录

在低于 30 米的配网作业场景中，泰州公司通过在部分 RTK 信号较弱的机场附近部署 D-RTK 3 中继站，进一步提升大疆机场 3 的通信保障能力：郊区可靠通信半径由原先的 4 公里扩展至 5 公里，城区由原先的 2.35 公里扩展至 2.85 公里。配套的 M4TD 系列无人机具备 3 倍光学变焦和红外热成像能力，可高效支撑夜间故障排查和精细化巡视任务。

在配电架空线路例行巡检方面，泰州公司建立了完善的周期性作业机制：适航区内通道周期巡视全替代，由无人机按月作业，人工聚焦危险源管控和隐患处置；本体巡视方面，由无人机承担主要精细化巡视任务。依托自动机场网络，泰州公司完成配电通道全域巡视仅需 21 天，完成本体精细化巡视约需 150 天，显著提升配电运维的计划执行能力。

在故障特巡场景中，自动机场全域覆盖后，系统可根据研判结果智能调度最近的机场执行任务，无人机 3 分钟内即可快速抵达故障点，以“先通道、后本体”的方式开展故障巡视，进一步增强配电运维的快速响应能力。

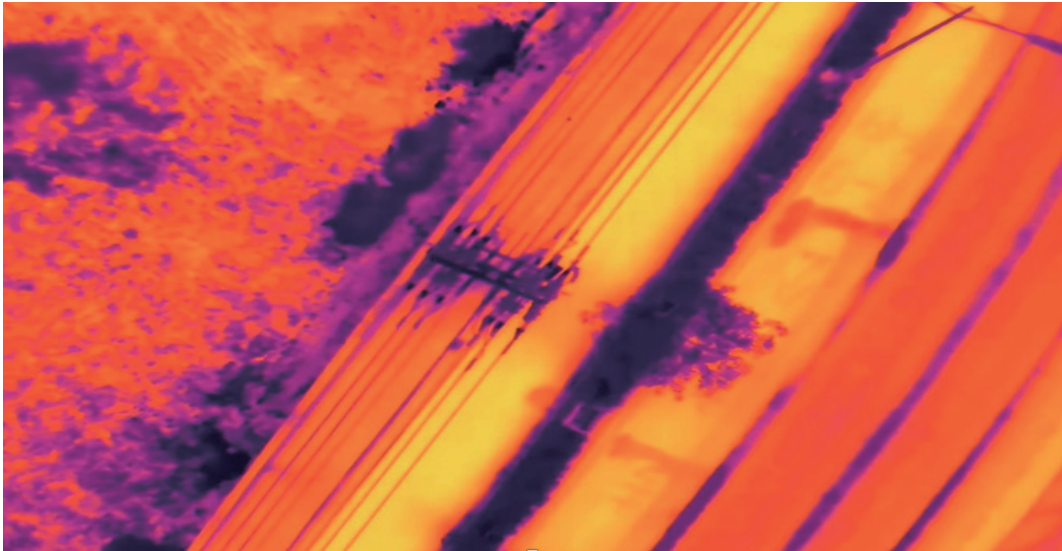


图 3-11 无人机红外热成像夜间巡检配网线路

## 6) 综合督查与多元拓展实录

在电力设施综合管控领域，泰州公司利用大疆机场 3 配合设备、配网、基建等管控中心开展智能化督查工作。机场具备开盖即飞、快速响应的能力，能够高效支撑远程督查、应急抢修等任务。在作业过程中，运维人员可通过“指令飞行”功能远程接入，实时调整飞行姿态、观测视角和变焦参数，获取多角度高清影像，并结合系统检测能力生成督查报告，进一步释放督查人力并提升效率。



图 3-12 无人机开展电力施工安全督查

大疆机场 3 同时支持车载移动部署，整机防护等级达 IP56，配套 Matrice 4TD 无人机具备热成像

功能，适用于多类任务形态。泰州公司在保障电力巡检主业的同时，充分利用作业间隙时间，高效支撑应急消防、河湖监测、交通疏导、乡村治理等多元化应用场景，实现基础设施高效复用，体现了电力行业低空基础设施向更广泛城市治理能力延展的示范意义。



图 3-13 无人机巡查河道

## 7) 项目推广价值

国网泰州供电公司通过部署 207 套大疆机场，打造了覆盖输变配设备巡检、综合管控和城市治理多场景协同的无人化作业示范区。其价值不仅体现在巡视效率提升和运维组织升级，更重要的是验证了“以自动机场为核心节点构建电力低空基础设施网络”的可行性。该案例表明，大疆机场 3 已不仅是单点设备，而是可支撑全业务协同、全域部署、持续运营的行业级基础设施解决方案。

指标	数值	说明
机场部署规模	207 套	形成覆盖泰州全市约 5800 平方公里的智能巡检网络
输电巡视范围	6434 公里	覆盖全市输电线路综合巡视
变电巡视范围	181 座	覆盖全市变电站无人机巡视作业
配电巡视范围	19037 公里	覆盖配电架空线路例行巡视与故障特巡
有效作业频次	12 架次 / 日 / 台以上	整体效率达到人工现场机巡的 3 倍以上
输电效率提升	2 倍以上	最快 3 天完成全市杆塔精细化巡视任务
故障响应速度	3 分钟到场	配电故障特巡可快速飞抵目标点

## 3.3 交警：全路网低空交管基础设施

### 3.3.1 从地面单点执法到空地全网覆盖

#### 1) 交通行业背景及趋势

当前，全国交管系统正深入推进数智赋能建设，无人机技术作为立体化交通治理的核心装备，已成为破解传统交管模式痛点、提升实战处置能力的重要抓手。

2020年起，全国32个交警总队启动无人机应用专项调研，联合行业企业制定配置标准与使用规范，划定三大核心应用方向，为行业应用提供顶层政策支持。2023年后，无锡所牵头搭建标准化执法体系，确立“认证平台+标准化设备+全流程自动化”的智能执法模式，明确无人机系统与交管核心业务平台的标准化对接架构，打通从前端取证到后端执法归档的全流程数据链路，并在多座城市打造首批落地样板，验证了“机场式为主、手飞式为辅”作业体系的可行性。根据《交通管理发展“十五五”规划》，“十五五”期间全国将建成空地一体化交通治理感知网络，无人机空中感知节点将与地面交管设施深度融合，实现全路网执法管控全覆盖；2030年将实现无人机智能化装备对全国路网的全面覆盖。

#### 2) 传统交通管理行业核心痛点

##### 人力供需严重失衡

全国机动车、驾驶人数量年均增长8%，公路通车里程年均增长2%，执法管理范围与强度持续扩大，但交警队伍编制增速远低于管理需求，一线人力缺口持续扩大，大量高速偏远路段、农村道路无法实现常态化管控。

##### 队伍结构与能力短板突出

全国交警系统40岁以上交警占比超半数，欠发达地区老龄化问题更突出。高强度路面巡逻对体力要求高，老龄化交警难以适配；同时部分基层交警对新装备操作能力不足，难以支撑无人机常态化、专业化应用。



图 3-14 省级交管队伍组织架构形式

### 执法覆盖存在大量空白

固定电警、卡口仅能覆盖城市主干道、重点路口，背街小巷、高速匝道、偏远路段、农村道路普遍存在执法盲区，人工巡逻无法实现全覆盖、全时段管控。传统监测存在视野局限、易受遮挡等问题，突发警情时无法快速获取全局信息。

### 传统作业模式效率瓶颈显著

传统人工巡逻响应滞后、覆盖有限、成本高昂，城郊及高速路段警车抵达现场平均需 15-25 分钟，极易错过处置黄金时间。传统手飞式无人机高度依赖专业飞手，出勤准备流程长、续航有限、无法 7 × 24 小时待命，难以适配交管高频次、快响应的实战需求。

## 3) 交警行业无人机应用发展历程

我国交警行业无人机应用已历经三个核心发展阶段，逐步从试点探索走向规模化、标准化、智能化全域覆盖：

1. 初期调研与规划阶段（2020-2023 年）：启动全国专项调研，联合行业企业制定配置标准与使用规范，明确三大核心应用方向，完成顶层设计与政策铺垫。此阶段以手飞式无人机应用为主，仅用于特定场景，未形成常态化作业体系。

2. 标准化试点落地阶段（2024-2025 年）：无锡所牵头搭建标准化执法体系，完成无人机系统与交管核心业务平台的对接规范制定，在多座城市打造首批机场式自动化作业样板，完成核心执法场景的闭环验证。交警与交投、高速集团联合共建模式成为行业新趋势，实现“执法 + 运维”一机多用的价值最大化。

3. 智能化应用与全域覆盖阶段（“十五五”期间）：行业将全面建成空天地一体化交通治理感知网络，无人机空中节点与地面交管设施深度融合，实现全路网执法管控全覆盖，彻底消除传统执法盲区。形成全流程自动化、智能化的交管作业体系。

### 3.3.2 大疆机场支撑交警三大核心作业场景

交通管理执法工作的核心业务可归纳为三大类：交通违法非现场执法、交通事故快速处置、道路交通安全常态化巡查，这也是无人机技术在交管行业落地的核心高频场景。同时，在交通拥堵治理、突发应急处置、大型活动交通安保三大特定场景中，无人机可充分发挥机动灵活、全局感知的优势，形成对传统管理模式的有效补充。

#### 1) 非现场执法场景

非现场执法是交通管理的核心业务之一，大疆机场 3 与司空 2 平台组成的自动化执法体系，可精准破解传统执法盲区多、移动取证难、人工执法效率低等痛点，全流程符合交通执法规范要求，实现非现场执法的合规化、自动化、全流程闭环管理。

标准化作业流程如下：

1. 航线规划与任务设置：针对辖区违停高发路段、违法多发区域、传统监测盲区，规划自动化巡检航线，明确重点巡查点位与路段，结合违法高发时段设置飞行频次与执行计划，实现重点区域全时段覆盖。

（大疆司空的违停抓拍功能预计在 2026 年中旬发布）

2. 合规化证据自动生成：发现目标后，通过光学变焦完成车牌与事件全过程高清拍摄，系统自动生成符合无锡所执法标准的证据包，包含带时间戳、经纬度防伪水印的 4 张关键取证照片及 15 秒完整过程视频。

3. 分级化违法预处置：针对违停场景，系统支持分级处置：对车内有人员的违停车辆，通过机载喊话器与爆闪灯实时劝离警示；对车内无人员的违停车辆，自动检测车牌并向车主发送限时驶离短信，超时未驶离的将取证包同步至执法平台，兼顾执法力度与人性化管理。



【上海交警】您的小型汽车...  
 于2024年9月30日17:19  
 在青浦区...东路13号门南侧，  
 被交通技术监控设备记录了「不按规定  
 停车且驾驶人虽在现场拒绝立即驶  
 离」的违法行为。请于收到本告知之  
 日起30日内接受处理。(温馨提示)您  
 在处理交通违法后，可登录“交管  
 12123APP”，参加“学法减分教育，减  
 免交通违法记分。”

图 3-15 自动航线检测违停 + 发短信

4. 执法数据全流程闭环流转：所有取证数据通过司空 2 平台自动同步至交通集成指挥平台，经人工复核后可直接对接六合一综合应用平台，无需人工跨平台操作，实现从取证到处罚归档的全流程自动化闭环。

## 2) 事故快处场景

交通事故快速处置是保障道路通行效率、防范二次事故的核心环节，无人机自动化系统可实现交通事故“快勘、快撤、快处、快赔”，大幅缩短处置时间，降低现场安全风险，提升道路通行效率。

标准化作业流程分为两类核心场景：

### 轻微交通事故快撤保畅场景

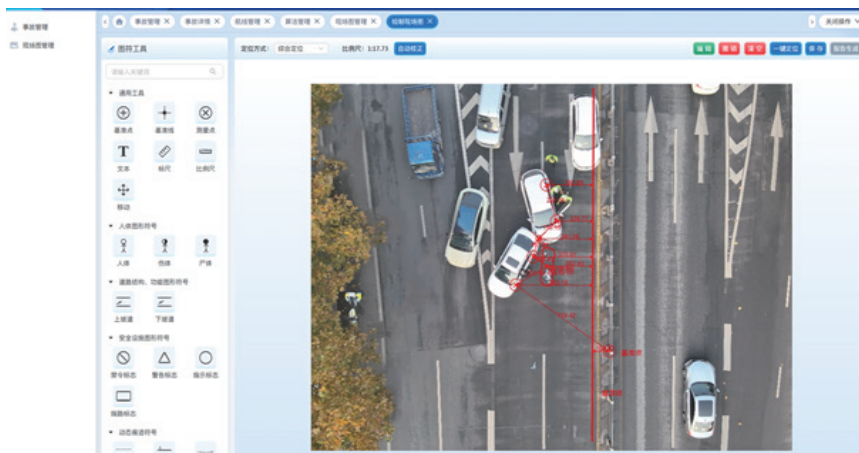
指挥中心接到事故报警后，向距离最近的大疆机场 3 下发飞行指令，无人机较传统警车出警速度提升数倍。抵达后，通过机载喊话器引导当事人撤离至安全区域，远程指导其完成现场拍照取证并快速挪移车辆，避免主路长时间拥堵，全程画面实时回传指挥中心。事故现场视频、照片自动归档至事故处理平台，为后续定责、理赔提供完整证据支撑，无需执法人员到场即可完成前期处置。



图 3-16 大模型发现事故车辆

### 重特大交通事故精细化勘查场景

无人机抵达现场后，在来车方向上空悬停，开启爆闪警示灯与语音喊话，警示后方来车减速避让，构建空中安全防护屏障。同时对事故现场进行全景航拍，完整采集车辆位置、刹车痕迹、散落物分布等全维度数据，可生成三维实景模型实现精准尺寸量测，为事故责任认定提供高精度基础数据，较传统模式效率大幅度提升。



道路交通事故现场实景俯瞰记录图

到达事故现场时间	2025年10月14日09时58分	天气		路面性质	
事故发生地点	安徽省合肥市蜀山区蜀山大道西科大新校区警务中队附近道路北侧一次路				
说明					
绘制时间					
勘察员:	绘图员:	当事人签字:	见证人签字:		

图 3-17 现场快速绘图插件功能

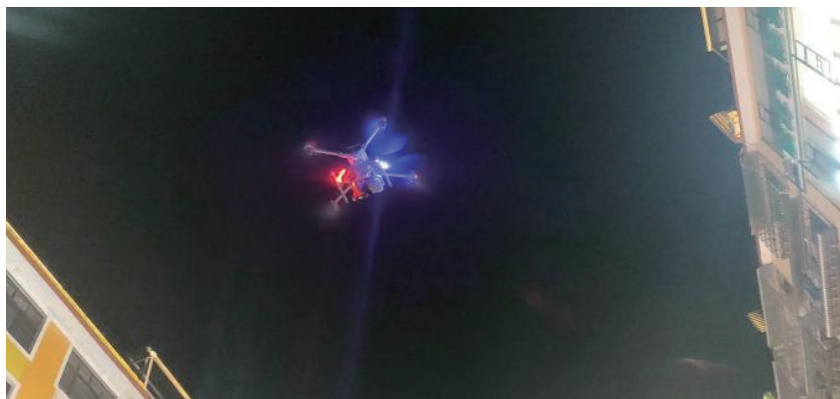


图 3-18 警示灯亮尾效果

### 3) 道路安全巡查场景

道路交通安全常态化巡查，是提前发现路面隐患、防范交通事故、保障路网通行安全的基础性工作。无人机自动化巡查体系，可实现道路全时段、全覆盖、无死角的常态化巡查，将基层执法人员从高强度路面巡逻工作中解放出来，实现路面隐患早发现、早预警、早处置。

飞行过程中，可见光相机采集路面显性隐患，红外热成像相机检测隐蔽风险，可自动检测路面抛洒物、边坡落石、设施损坏、行人违规进入高速等各类安全隐患，夜间全黑环境下仍可精准检测。

### 4) 其余补充适配场景

#### 交通拥堵治理场景

针对早晚高峰、节假日车流高峰的拥堵问题，无人机可快速抵达现场，通过高空全局视角精准定位拥堵源头，实时回传车流状态与成因。指挥中心可通过无人机喊话引导车辆有序通行，调度路面执法人员处置，联动调整信号灯配时，多维度实现拥堵快速疏导。

#### 突发应急处置场景

针对路面火情、危险品泄漏、车辆坠坡等突发应急事件，无人机可先于执法人员抵达现场，穿透烟雾、黑夜等环境限制，清晰掌握现场全貌与关键风险信息，为指挥处置提供决策依据。同时可通过喊话器安抚、引导被困人员转移至安全区域，助力精准救援，避免盲目进入现场引发安全风险。

#### 大型活动交通安保场景

针对马拉松、赛事、展会等大型活动的交通安保需求，可通过多机场联动实现网格化空中巡逻，全局掌控车流状态，通过 AI 算法自动检测车流聚集、拥堵等风险并提前预警。指挥中心可提前调度执法人员分流疏导，无需大量路面巡逻，通过空中画面即可实现全局管控，大幅提升安保效率与精准度。

### 3.3.3 大疆机场交警低空应用解决方案

交通管理领域无人机应用长期面临三大核心痛点：一是执法取证流程不规范，采集素材无法作为法定执法证据；二是平台数据链路不通，与交管核心业务系统无法无缝对接；三是设备操作门槛高，基层人员难以快速掌握，导致设备闲置。

本方案以大疆机场 3+ 司空 2 平台为核心，专为交管执法场景打造，核心优势突出：一是通过无锡所执法认证，全流程符合执法规范，采集的证据具备法定效力；二是与交通集成指挥平台、六合一综合应用平台实现标准化无缝对接，执法数据全流程自动流转；三是操作门槛低、运维便捷，基层执法人员可快速上手，为交管行业提供可落地、可复制的低空执法解决方案。

## 1) 核心硬件：大疆机场 3——自动化空中执法节点

大疆机场 3 是整套系统的前端核心载体，是部署在路面的无人值守自动化空中执法节点，可实现无人机自动起降、智能充电、环境监测与远程运维，支持 7 × 24 小时全天候待命，接警即可响应，无需人工现场值守操作。

其核心能力围绕交管执法实战需求设计：

1. 极速应急响应能力：接收指令后 10 秒内即可完成无人机快速起飞，1min 可抵达 1000 米外的地点，较传统警车出警速度提数倍，实现警情分钟级响应。
2. 全流程无人化作业能力：无人机完成任务后自动精准归巢、自动充电，27 分钟即可完成 15%-95% 的电量补充，单机单日可执行飞行任务 20 架次以上，全程无需人工现场维护。
3. 全环境适应能力：设备具备 IP56 级防水防尘能力，可在 -30°C 至 50°C 极端温度环境稳定运行，6 级大风、中雨天气仍可正常作业，搭载红外热成像负载，可适配夜间、沙尘等复杂环境，实现全天候值守。
4. 轻量化部署与低门槛运维能力：设备尺寸小巧，机房、高速服务区、收费站、岗亭、派出所楼顶均可部署，支持车载移动部署，接电接网即可使用，无需复杂基建。设备状态可通过司空 2 平台远程查看，固件升级、故障排查等均可通过可视化界面完成，基层交管大队即可完成日常运维。

配套执法负载方面，机场 3 搭载 Matrice 4TD 行业无人机，配备 7 倍光学变焦相机，可在 250 米外清晰检测机动车号牌，红外热成像相机可实现夜间低光环境下的精准检测，同时可适配喊话器、探照灯等专用配件，一套设备即可满足全场景应用需求。

## 2) 核心平台：司空 2——执法全流程管控指挥中枢

司空 2 平台是整套系统的核心指挥中枢，专为交管行业打造的空中执法管控平台，采用 Web 端无客户端设计，通过浏览器即可登录使用，全终端适配，无需安装专用软件，操作便捷。

平台已与交通集成指挥平台、六合一综合应用平台实现标准化无缝对接，彻底解决了无人机执法“不合规、通不了、用不了”的核心痛点。

围绕交管执法实战需求，平台核心功能如下：

1. 航线任务可视化管理：平台内置专业执法地图模块，执法人员无需掌握复杂飞控技术，仅需在地图上标注巡查点位，即可快速生成自动化巡检航线，设置飞行参数与执行计划，零基础人员 5 分钟即可完成操作，大幅降低使用门槛。
2. 远程操控与实时直播：无人机飞行过程中，平台可实时回传高清画面，端到端最低延迟可至 50ms。遇突发交通事件，执法人员可随时远程接管无人机，快速抵达目标点位完成相关操作。直播画面支持通过 GB/T28181 国标协议推送至视频平台，满足多部门协同指挥需求。
3. AI 智能检测与合规化取证：平台内置实战优化的交通违法 AI 检测算法，可自动检测十余类常见交通违法。检测到目标后，系统自动生成符合行业标准的证据包，无需人工二次编辑，可直接用于执法处罚。（预计 2026 年中旬发布）
4. 精细化组织与权限管理：平台可完全适配交通管理体系，支持搭建地市支队 - 区县大队 - 中队三级管理架构，针对不同岗位人员配置精细化角色权限，实现权责清晰、层级分明的指挥调度，保障执法流程规范可控。（预计 2026 年 Q3 实现）
5. 标准化系统对接能力：平台与交管核心业务平台完成全流程标准化对接，交通执法证据包可自动同步至交管集成指挥平台，复核通过的交通违法数据可直接对接交管综合应用平台（六合一平台）完成处罚归档，指令可直接下发至平台自动调度无人机，实现执法全流程闭环。同时平台提供标准化接口，可与各地自建业务系统灵活对接，适配个性化需求。

### 3) 核心能力：非现场执法合规化自动化全流程闭环

“大疆机场 3+ 司空 2 平台”解决方案，核心价值在于为交管行业构建了合规化、自动化、全流程闭环的非现场执法体系，将传统多环节人工操作的繁琐流程，升级为“系统自动执行、数据自动流转、全程合规可控”的智能化闭环，彻底解决了无人机执法的核心痛点。

全流程闭环分为 6 个核心环节，全程仅需执法人员完成最终证据复核：自动化巡航、智能化检测、合规化取证、分级化预处置、数据自动同步、执法闭环归档。该体系落地后，执法人员仅需完成最终的证据复核，其余流程均由系统自动完成，执法效率较传统模式提升数倍，真正将基层执法人员从繁琐的基础性工作中解放出来，聚焦执法核心业务。

### 4) 轻量化部署与运维方案

整套方案场景适配性强，部署方式灵活，无需大规模基建：高速路网场景每隔 10 公里部署一套，服务区、收费站均可安装；城市道路场景按执法需求按需部署，单套设备可覆盖周边 7 公里范围；应急移动场景支持车载部署，可随到随用，所有场景均接电接网即可投入使用。

设备运维方面，平台配备可视化运维界面，设备状态一目了然，固件升级、故障排查等均可一键操作，无需专业技术背景，基层大队内勤人员即可完成日常运维。

## 3.3.4 湖南长沙许广高速规模化部署案例

1) **项目背景**: 许广高速长沙段及周边路网里程长、车流量大，传统管理盲区多、事故处置响应滞后、人力缺口突出，亟需构建空地协同的智慧交管体系。

2) **方案设计**: 项目采用“大疆机场 3+ 司空 2 平台 + 第三方定制化执法软件”一体化解决方案，在许广高速长沙段部署 7 台大疆机场 3，设置南北双向巡检航线，辐射周边高速路网，实现路段全覆盖；设备配备图传增强模块，无人机挂载探照灯与喊话器，适配实战需求。平台采用“1 个核心平台 + 多设备联动 + 多部门协同”架构，结合 AI 智能检测技术，打通与交管平台的数据链路，围绕核心场景建立标准化处置流程，实现空地高效协同。

3) **实战成效**: 项目构建起高速路段 7 分钟响应圈，出警时间从 15 分钟缩短至 7 分钟；2 个月试

运营期间累计巡飞 1000 余次、里程超 10000 公里，发现各类交通事件 200 余起，处置率达 90% 以上。自动化巡飞彻底消除了地面监测盲区，有效降低了二次事故与大面积拥堵发生率，大幅释放了人力资源，形成了可复制的高速场景应用模式。



图 3-19 大疆机场执法场景

### 3.3.5 江苏南京高速全域覆盖应用案例

1) **项目背景：**南京高速路网发达、通车里程长，传统执法模式存在管理盲区多、人力不足、节假日车流高峰处置压力大等痛点，亟需构建全域覆盖的无人机自动化执法体系。

2) **方案设计：**项目采用“大疆机场 + 司空 2 管理平台 + 一体化执法负载 + AI 智能应用”全链路解决方案，全线部署 23 台大疆机场，实现高速主干道及重要环线路段全域覆盖；机场搭配喊话照明一体式负载，依托公网 + 专网构建双数据链路，实现多端互联互通。配套司空 2 平台与 AI 检测系统，打通与交管核心业务平台的数据链路，构建全流程闭环作业体系，建立常态化全覆盖巡检、突发事故极速应急响应两大核心应用模式，实现 7 × 24 小时自动化管控与分钟级应急响应。



图 3-20 作业 workflow

**3) 实战成效:** 项目落地后成为江苏省首个高速交警无人机机场应用体系, 累计飞行 70000 余小时, 成功处置交通违法行为 980 余起、处理交通事故 436 起。自动化巡检使传统管理盲区交通违法行为发生率下降 60%, 有效减少了事故发生率, 构建起无死角、全天候的高速监管网络, 同时大幅释放了人力资源。项目被列为江苏省交警行业推广项目, 规划 2030 年底前累计完成 150 台机场部署, 实现南京全市高速路段无死角感知。

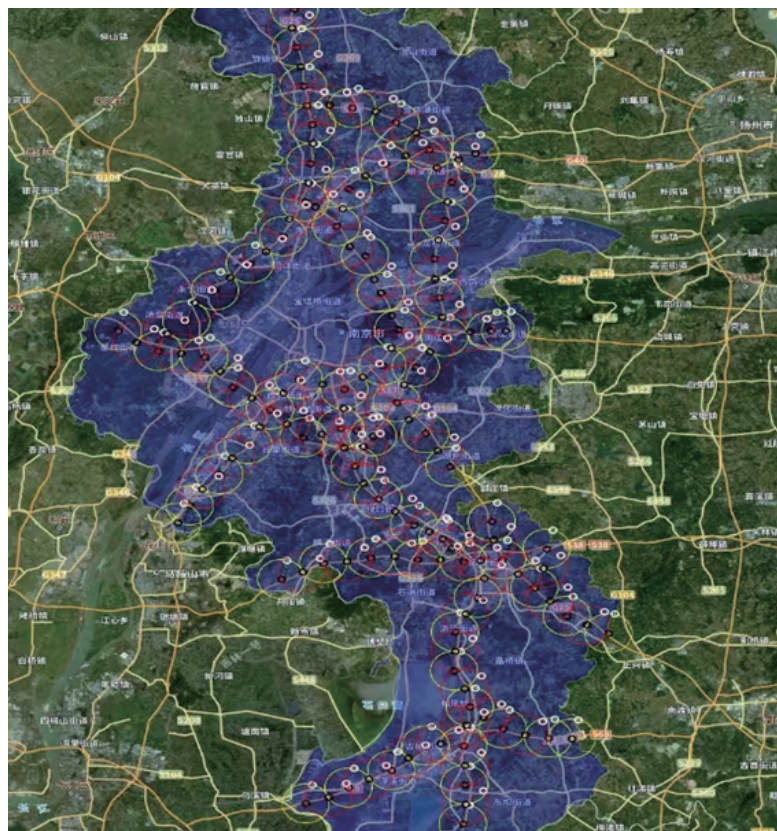


图 3-21 大疆机场实现南京高速全覆盖

### 3.3.6 湖北荆州城市智慧交管落地案例

1) **项目背景:** 荆州市机动车数量持续增长, 交通拥堵治理与违法监管压力加大, 传统事故处置响应慢、效率低, 执法取证存在盲区, 亟需通过无人机技术打造立体化智慧交通管理新模式。

2) **方案设计:** 荆州市交通管理支队部署 3 套大疆机场系统, 配套 M4TD 无人机与司空 2 管理平台, 打通与交警情指中心的指令与数据链路, 打造“情指中心统一调度 + 无人机自动巡航 + 地面执法人员协同”的作业体系, 核心落地事故快勘快撤、非现场精准执法、全场景全天候管控三大应用场景。

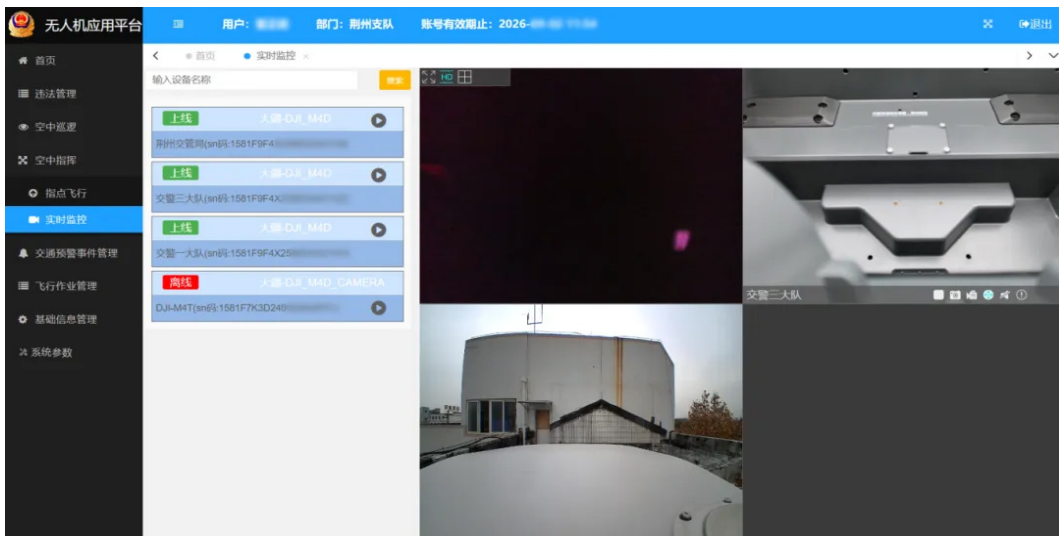


图 3-22 无人机应用平台

3) **实战成效:** 项目落地后实现了交通管理模式全面升级, 事故现场平均处警时间由 26 分钟压缩至 8 分钟, 现场撤离效率提升 3 倍, 事故引发的拥堵及二次事故发生率显著降低。同时实现了传统执法盲区全覆盖管控, 有效提升了执法能力与智能化水平, 全面覆盖交管全业务场景。

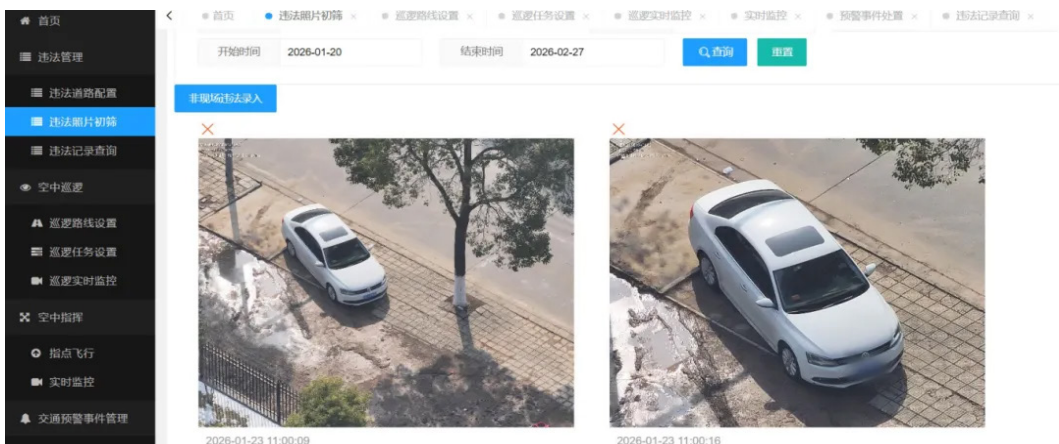


图 3-23 无人机发现违章停车

### 3.3.7 深圳福田交管大队空地新型勤务模式实践

#### 1) 项目背景

福田区是深圳市政治、经济、文化核心区，同时也是全市建筑密度最高、人流车流最为密集的中心城区。随着城市化进程深入推进，传统地面执法人员巡逻已难以满足精细化交通管理的现实需求——监管盲区多、高峰期违法行为响应慢、事故快处人力消耗大等痛点长期制约着辖区勤务效能的提升。2025年5月，福田交管大队向区政府申请建立交通管理示范引领中心城区专项工作，正式启动以无人机为核心的空地联勤新型勤务模式探索，致力于打造全空间、全时段、全闭环的高密度中心城区全域空地联勤勤务示范区，推动从交警向交管系统治理的战略转型。

#### 2) 部署方案

项目以2025年全年22万起警情数据及历史信访记录为基础，系统梳理辖区事故多发路段与投诉集中片区，科学选点布局无人机机巢网络。截至2026年1月推进应用阶段，福田辖区已累计部署65台大疆机巢无人机，实现平均每1.2平方公里覆盖一台无人机的高密度网格化布防，构建起覆盖全区的低空感知与快速处置体系。依托无人机服务平台实现统一调度管理，所有任务均可远程规划、一键派飞、实时监控。



图 3-24 无人机在城市主干道实施早高峰悬停喊话（左）与夜间自主巡航（右）

#### 3) 核心应用场景

项目围绕可见、可感、可处、可达四大能力目标，落地六大核心应用场景。

### ①日常巡逻与悬停喊话

针对早晚高峰重点路段路口规划 50 条悬停喊话航线，无人机定时定点悬停广播提示驾驶人及非机动车规范通行，有效震慑违法行为；另设 40 条自主巡航航线，每台无人机每天执行不少于 5 小时巡飞任务，实现全区主次干道的持续覆盖。

### ②大型活动安保保障

发挥无人机机动灵活、高空视野广的优势，为节庆活动、赛事演出等大型聚集性场景提供空中安保支援，项目运行期间已累计完成 45 场次大型活动的无人机保障任务，有效弥补地面人力覆盖不足的短板。

### ③AI 异常事件检测

搭载智能交通系统接口，无人机实时回传视频经 AI 算法自动分析，可精准检测非机动车进入机动车道、逆行、违反标线、占用应急车道、人行道不礼让行人等多类违法，自动生成违法记录并推送至指挥中心，实现非现场执法全链路闭环。

### ④占道施工安全巡查

无人机定期对辖区道路施工现场开展高空巡查，精准核查施工单位是否落实安全防护措施，累计巡查施工路段 216 处次，发现并督促整改安全隐患 34 处，有效降低施工占道引发的交通事故风险。

### ⑤车流感知与智能信控

通过无人机搭载的高清广角与变焦镜头对重点路口进行实时车流采集，结合 AI 算法完成车辆计数、排队长度分析及拥堵研判，所得数据直接反哺信号灯配时优化，形成空中感知、数据分析、智能调控的闭环交通治理链路。

### ⑥交通事故快速处置

对接深圳星火智能交通指挥中心接处警系统，警情推送后无人机自动规划沿公路飞行路线，快速抵达事故现场完成取证拍照（远景全景图加近景车牌图）、喊话疏导、悬停盯警等全流程处置，每天可协助处理至少 30 起交通事故，覆盖伤人事故快勘绘图、财产事故远程引导理赔与自助处理等多类场景。



图 3-25 无人机高空鸟瞰城市占道施工路段，实时掌握施工现场安全状况



图 3-26 事故快处界面，展示无人机实时飞行状态与现场画面

#### 4) 应用成效

项目推进以来，福田辖区交通管理效能显著提升。在巡查覆盖率方面，无人机全天候巡逻弥补了传统地面执法人员因班次轮换产生的覆盖间隙；在处置效率方面，事故快处响应时间大幅压缩，无人机到场速度远超地面执法人员，有效遏制了二次事故的发生；在执法质量方面，AI 算法自动检测与非现场执法闭环的结合使监管取证更加客观准确，同时大幅减少了执法人员在高风险路段的人工执法暴露；在隐患治理方面，施工占道巡查整改了 34 处安全隐患，道路施工安全管理水平明显提升。

## 5) 未来规划

福田交管大队将持续深化空地联勤勤务模式，依托 65 台机巢的规模化部署基础向三大方向演进：一是前端采集升级，针对不同管理场景自定义航线，系统采集录入地理信息与违法数据，构建辖区交通管理数字底图；二是智慧运行深化，实现 24 小时不间断自定义航行与远程智能执法，进一步提升任务的自动化与无人化水平；三是精准勤务转型，依托无人机智能执法释放人力，推动勤务资源向更高价值任务集中，最终实现人力成本不增加前提下，巡查覆盖率和管事率的持续提升，将福田打造成全国高密度中心城区空地联勤勤务的可复制示范样本。

## 3.4 交通：全生命周期的低空巡护网络

### 3.4.1 从人工巡检到自动化飞检

交通基础设施——包括公路、铁路、桥梁、隧道、城市道路及配套设施等——是国民经济运行的基础支撑。随着交通网络规模持续扩大、设施运行年限不断增长，管养和运营面临的压力也在同步加大：巡检覆盖不足、隐患发现滞后、应急响应偏慢、数据采集手段单一等问题，在传统人工巡检和地面监管模式下日益突出。无人机技术的引入，为交通行业提供了一个从“地面视角”向“空中视角”跃迁的机会。旋翼无人机凭借空中机动性和多传感器数据采集能力，能够快速覆盖公路长线路、桥梁高空结构、隧道周边环境等传统手段难以高效触达的区域，将原本依赖大量人力、耗时长、风险高的巡检和监测工作，转变为可规划、可重复、可自动化执行的标准化作业流程。结合无人机自动机场的常态化部署，这一能力正在从单次任务响应走向网络化的持续运营，成为交通基础设施数字化管养体系的重要组成部分。

这一趋势也得到了国家政策的明确支持。交通运输部 2023 年发布《关于推进公路数字化转型加快智慧公路建设发展的意见》（131 号文），提出重点推进自动化巡查和无人机巡查，采用激光雷达、无人机及车载终端等新型感知手段，强化对地理信息、线性指标、桥隧设施等关键数据的采集能力。2024 年，交通运输部进一步发布《关于支持引导公路水路交通基础设施数字化转型升级的通知》（96 号文），明确提出力争实现繁忙国家高速公路的数字化转型升级，推动大数据、物联网、北斗等新技术与交通深度融合，加快新一代信息采集技术的规模化应用。目前，全国已有 20 个省份入选数字化转型试点，政策落地正在加速推进。

### 3.4.2 路面、桥梁、边坡多维度巡检作业

公路养护巡检经过多年发展，传统的人工巡检和视频检查模式正面临越来越大的压力：公路里程持续增长，巡检覆盖率难以保障，隐患发现依赖人员经验，恶劣天气和复杂地形下的作业效率和安全性都受到制约。无人机技术从早期的有人操控逐步走向无人值守的自动化作业，在公路巡检中的价值日益凸显。本章聚焦路况巡检、桥梁巡检和边坡巡检三个核心应用场景，分别阐述其业务需求和无人机的核心作用。

#### 1) 路况巡检

路况巡查是公路养护中最基础也最关键的环节，核心目标是保障通行安全、预防事故、维护设施完整性。在实际运营中，路面障碍物、积水、路基沉降等问题如果不能及时发现和处置，往往会演变为严重的安全事故。近年来多起案例印证了这一点：2024 年陕西商洛因山洪导致桥梁垮塌，暴露了日常巡查对防范极端天气灾害的必要性；2025 年河北邢衡高速暴雨期间，通过现场与视频结合的方式排查桥梁伸缩缝和隧道排水系统隐患，有效避免了积水引发的交通事故；同年山西路政巡查及时发现并清除路面障碍物，防止了二次事故的发生。这些案例的共性在于：巡查频次越高、发现越早，处置成本越低、安全保障越充分。

#### 2) 桥梁巡检

桥梁是公路网络中结构最复杂、维护要求最高的设施类型。长期的车辆荷载、自然侵蚀和极端天气作用会导致桥面铺装老化、伸缩缝损坏、支座位移、梁体裂缝等病害逐步发展，如果不能通过定期检查及时发现并干预，将直接影响桥梁的结构安全性、承载力和使用寿命。桥梁定期检查的价值不仅在于排查既有病害，更在于为养护决策提供量化依据——通过持续积累的检测数据，评估结构状态变化趋势，制定科学合理的维修方案，将被动抢修转变为主动预防性养护。

#### 3) 边坡巡检

高速公路沿线的高边坡稳定性直接关系到道路安全运营。自然侵蚀、降雨渗透、地震等因素会导致边坡结构持续变化，存在滑坡、崩塌等地质灾害风险。2024 年广东梅大高速滑坡事故前，周边国道养护人员已通过巡查发现多处小型塌方并及时处理，说明常态化的边坡监测能够在灾害发生前捕捉早期征兆。边坡巡检的意义涵盖多个层面：安全层面，及时发现隐患、预防灾害事故；经济层面，通过早期干预减少因边坡失稳造成的道路损毁和高额维修成本；环境层面，提前预警并

采取生态修复措施，减轻水土流失和植被破坏；应急层面，在极端天气等突发事件中为快速决策提供数据支撑。

### 3.4.3 大疆机场智慧交通解决方案

#### 1) 业务痛点

路况巡检、桥梁巡检和边坡巡检是公路养护中三个最关键的场景，在传统人工作业模式下均面临一组共性痛点：

痛点类型	路况巡检	桥梁巡检	边坡巡检
巡检覆盖不足	人工巡检及管理盲区大，夜间巡检困难	桥下空间、索塔顶部等位置难以达到	高位裂缝、植被覆盖区、背阴面覆盖率低
安全风险高	快车道作业危险性高	高空攀爬坠落、车流中被撞风险	陡坡滑坠、滚石击中、暴雨天泥石流风险
发现与响应滞后	路面裂缝漏检率高，保畅响应层层上报时效低	微小缺陷肉眼难以发现，隐患排查不到位	发现裂缝到处置完成周期长，时效性差
数据管理薄弱	巡检结果以人工记录为主，缺乏系统化管理	巡检记录纸质化，历史数据难以追溯对比	缺乏多期变形数据对比，难以评估趋势

表 3-3 公路三大巡检场景业务痛点汇总

这些痛点的共性根源在于：传统人工模式受限于地面视角和人员可达性，在复杂地形、高空结构、恶劣天气等条件下均存在明显局限。大疆机场 3 通过自动化无人值守作业，为以上三大场景提供统一的解决方案，其核心功能可归纳为以下四个层面：

#### 2) 核心功能

- **自动化巡检与智能检测。** 机场按预设航线自动执行巡检任务，AI 自动检测各类病害和异常：路况场景中检测路面裂缝、护栏破损变形、标志线缺失、地面抛洒物及异常拥堵；桥梁场景中检测绝缘子破损、桥面裂缝、支座位移等结构性缺陷；边坡场景中通过可见光和激光雷达检测裂缝发展和地表形变。

- **多源数据采集与精细化建模。** 搭载可见光、红外热成像、激光雷达等多传感器，实现全维度检测。桥梁场景中通过倒斜摄影和点云采集构建精细化三维模型，对各部件进行结构化提取，为后续巡检航线规划提供基础；边坡场景中激光雷达可穿透植被进行多期对比，精确监测地表形变量。
- **无人值守常态化作业。** 机场自动设定巡检计划，定时执行巡检任务，无需人员到场。路况场景实现日常高频巡查，及时发现并处置影响通行的异常；桥梁场景按周期自动执行结构化巡检航线，替代人工高空作业；边坡场景根据天气预报在极端天气前自动触发巡检，提前排查隐患。
- **数字化台账与决策支撑。** 所有巡检数据自动归档，建立设施数字化台账，支持历史数据对比分析。巡检结果自动生成报告，病害发展趋势可追溯，为养护决策提供量化依据，将被动抢修转变为主动预防性养护。

### 3.4.4 河南高速规模化应用案例

#### 1) 项目背景

河南省交通运输厅印发《智慧高速技术指南》，省发改委实施《低空经济发展实施方案》，形成省级层面“智慧交通建设 + 低空经济发展”的政策支撑体系。

1.提升交通管理智慧化水平。加强公路智能运营养护管理，以无人机及配套专业设备（可见光、热成像、多光谱相机等）为依托，推进高速公路主要构造物状态信息数据采集、巡检数据管理，应用大数据、图像识别、神经网络等人工智能技术，提升数据分析能力。加强港珠澳大桥智能运维，突破基础设施全息立体感知、服役状态评估及智能维养、智能运行与应急处置、桥岛隧多模态数据协同互联及知识化、智联平台构建等关键技术。加强城市智慧交通服务，优化交通运输组织智能分析，创新城市交通服务保障模式，推进出行信息个性化精准触达，优化出行路径分配。提升

图 3-27 智慧高速技术指南

河南省交通投资集团郑州分公司主要负责郑州市辖区内京港澳高速 k651-677 路段、连霍高速 k553-k633 区间路段保通及路产、交警联动等事宜，甲方希望通过引入无人机，在道路巡查，道路养护，道路事故处理，交通疏导等方面构建“无人机采集 + 智能管控”体系。



图 3-28 高速路段

## 2) 核心痛点

项目需要对京港澳高速郑州市域内 G4 京港澳高速及 G30 连霍高速段区间实施常态化巡航，重点监测路面裂缝、桥梁伸缩缝病害、边坡塌方隐患等，与高速交警部门共建 5G 图传指挥中心，无人机搭载喊话器与声光报警装置，在交通事故处置中执行“空中警戒 + 地面引导”任务。



图 3-29 道路裂缝

特殊区域巡查难题较多，高速公路主线、匝道及互通区路基，桥梁下部、隧洞洞口顶部，高边坡、高填方和人员不能到达的其他区域。

传统巡查技术落后，巡查手段单一，发现问题应急反应慢，针对道路病害仅依靠肉眼观测及拍照后记录。



图 3-30 传统巡检方案

### 3) 解决方案

本项目硬件采用大疆机场 3 与 M4TD 无人机，配套喊话照明二合一负载，软件使用大疆司空 2。大疆机场 24 小时自动化机动值守现场情况，无论白天还是黑夜守护高速路况，无人机搭载喊话器探照灯进行常态化巡检、应急处置。节假日车流高峰喊话引导提醒与夜间照明。

### 4) 作业流程

①**特殊点位标注。**依据作业范围，结合现场情况，引导客户对无人机飞行区域周围特殊区域，如禁飞区、限飞区、军事管制区、道路公里数标牌等进行标注，设置区域地理围栏，设置限飞高度等



图 3-31 自定义飞行区

②**巡检航线规划**。依据巡检范围，对航线做出规划，同时避开区域内军事禁区、高铁等特殊设施。针对甲方需求，对甲方人员引导进行航线规划，对于区域内重要点位，如匝道口，易堵点位、事故高发区域等进行重点巡查，同时进行试飞并全程关注无人机飞行情况进行航线验证。在航线运行前一周均由管理人员进行人工监看，确保航线安全。



图 3-32 自动航线规划

③**AI 检测算法**。利用平台算法，对边坡垮塌、拥堵等情况进行 AI 检测，使用 AI 找不同算法可针对边坡垮塌进行检测并定位，引导养护人员及时处理，针对道路拥堵情况，可直接检测车辆数量，同时调用喊话器进行引导



图 3-33 AI 检测算法

④**巡检数据归档**。针对航线飞行数据，按照时间及架次信息进行存档标注，同时针对不同类型的任务数据，可自由管理，分类别存放，避免数据混乱。

⑤**巡检数据分析**。客户在巡检过程中发现缺陷点，将缺陷点坐标及现场照片进行记录，同步给道路养护人员进行修复，同时完成信息高速传递及数据留档分析工作。

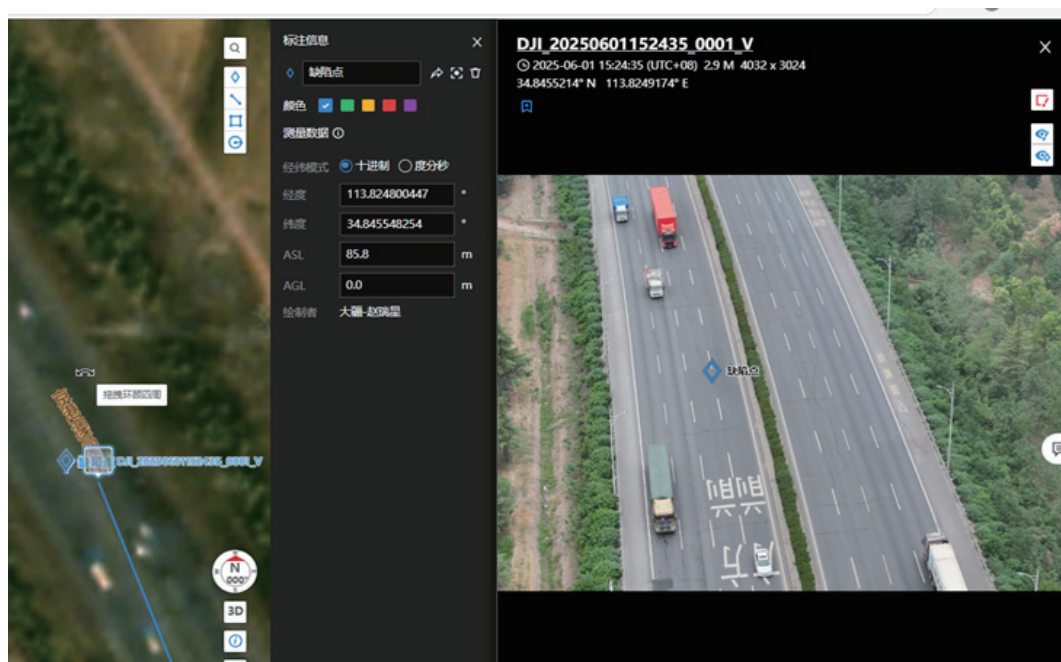


图 3-34 数据分析

⑥巡查结果复盘。根据前期飞行中发现的缺陷点，在养护人员维修后一周内进行第二次复盘飞行，对两次飞行中同一位置进行对比，确认道路修复进度及完成效果，对修复成果进行记录并进行复盘。

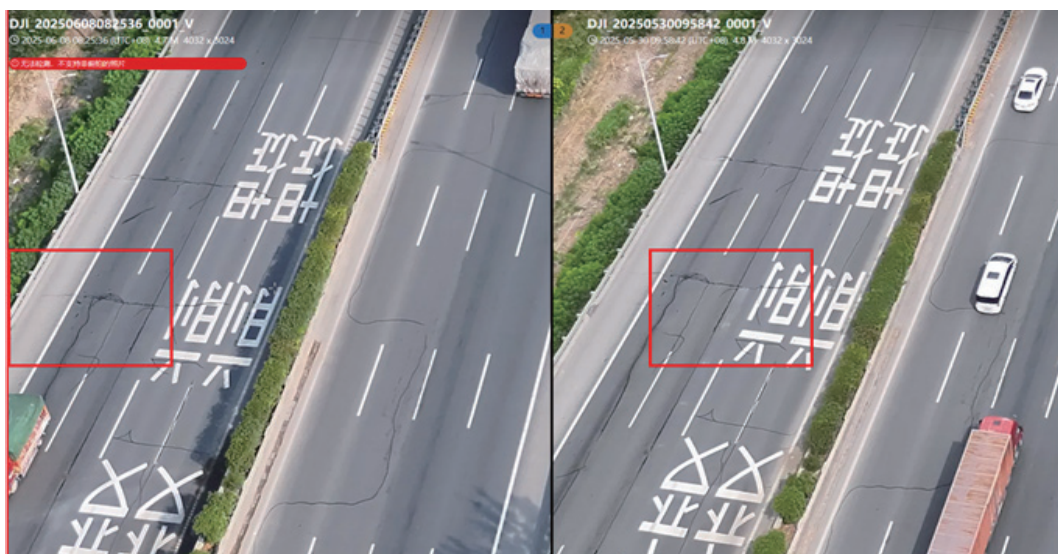


图 3-35 修复进度对比图

## 5) 典型事件

### ①路面病害巡检

在五一假期前，河南交投郑州分公司为保障五一假期道路状况良好，进行道路及边坡病害筛查，通过叠加道路 AI 算法，实现道路裂缝检测和边坡路基病害检测，自动生成告警信息，引导路产人员抵达现场维修。在两天内即完成对道路覆盖范围内重点区域道路病害检测，共检测道路裂缝、大桥收缩缝、边坡位移等病害 150 余处。道路养护人员于假期前修补完毕，确保节假日道路通畅。

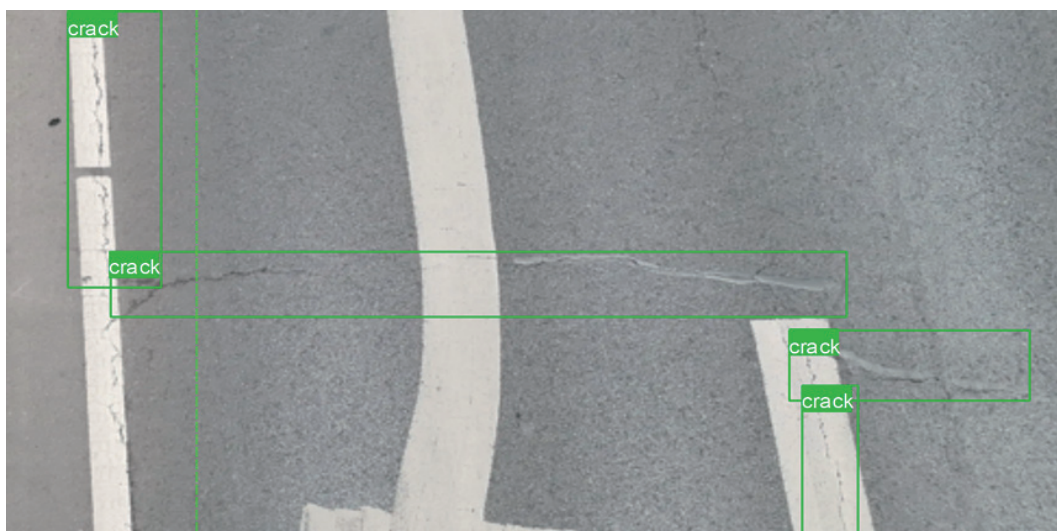


图 3-36 业务平台道路病害检测



图 3-37 业务平台道路病害检测

## ②边坡及排水渠附属设施巡检

高速公路的附属设施如边坡、排水沟渠等是保障高速公路安全稳定的重要基础设施，同样需要定期对其进行巡检巡查。五一节假日前夕，无人机在高速公路飞行期间对边坡、排水巡拍，获取巡检视频流成果、以及制作边坡三维模型，从而助力实现边坡及病害的快速诊断、识别及应急处理，显著提升道路维护作业的效率与质量。

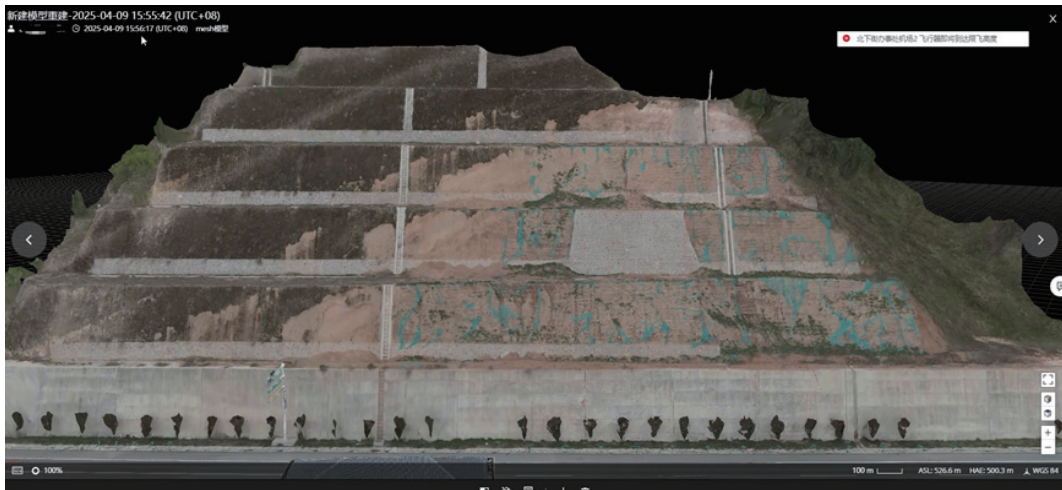


图 3-38 高速边坡病害巡检三维模型



图 3-39 高速边坡病害细节



图 3-40 边坡底部垮塌



图 3-41 排水设施损坏

## 6) 成果数据及推广价值

- **效率与成本优化。**无人机巡检速度是人工的 5-10 倍，比如单一边坡（塌方）巡检，作业时间从两人开车半天缩短优化到一人一机 30 分钟。巡检效率提升 60%，作业半径扩展 3 倍。
- **覆盖范围与安全性提升。**无人机巡检基本可以 100% 覆盖全部动态路段，传统人工方式仅覆盖 40%，且适用于高海拔、复杂地形区域；还可以减少人工攀爬桥梁、边坡的风险，降低安全事故发生率。
- **巡查频次大大提高。**在五一期间，八台机场合计飞行 200+ 架次，配合交警处理交通事故 30 余起，道路疏通速度增加 100%，累计飞行超过 1000 架次。在道路疏导方面发挥重要作用。
- **巡查速度提升。**无人机场部署后可快速抵达事故现场，做到先于现场人员到达，并执行前期勘察及疏导作用，为执法人员减轻负担，降低工作强度。

## 3.5 林业：“天空地”一体化管护的低空基础设施

### 3.5.1 从人力巡山到常态化空中巡护

我国拥有广袤的林草资源，但在保护和管理层面仍面临多重挑战：林草资源总量不足、质量不高，生态系统稳定性有待增强；西部、北部干旱半干旱地区自然条件恶劣，国土绿化难度大；森林草原火灾、松材线虫病、外来物种入侵等风险隐患长期存在，防控成果巩固困难；与此同时，基层执法力量薄弱，科技装备水平与管护需求之间的差距依然明显。

面对这些挑战，国家层面持续强化林草保护的政策部署和技术路径：

2021年发布的《“十四五”林业草原保护发展规划纲要》着重强调了无人机在重点时段动态监测中的核心价值；

2022年印发的《“十四五”全国草原防灭火规划》明确要求加强无人机在日常巡护、火情监测、通信保障等方面的应用；

2023年两办印发《关于全面加强新形势下森林草原防灭火工作的意见》，提出采取卫星监测、航空巡护、视频检查、地面巡查等多种手段，提升火情监测覆盖率和检测准确率；

2024年国家森林草原防灭火指挥部进一步印发《关于加强森林草原火灾预警监测体系的实施意见》，明确提出全面提升航空监测能力，拓展无人机航护巡查的广泛应用。

从政策脉络可以看出，“天空地”一体化智能监测体系已成为林草防护的核心建设方向，而无人机正是这一体系中连接“天”（卫星遥感）和“地”（地面巡查）的关键中间层。相比卫星监测的低时效性和地面巡查的有限覆盖范围，无人机以其机动灵活、响应迅速、可搭载多类传感器的特点，能够在重点林区实现高频次、近距离的主动巡护，有效弥补现有监测手段在时间分辨率和空间覆盖上的不足。而无人机自动机场的引入，则进一步将这一能力从“有人到场才能飞”提升为“部署在林区边缘、全天候自动巡护”，为林草管理从依赖人力巡山向常态化空中巡护的模式升级提供了基础设施支撑。

## 3.5.2 防火预警与自然资源调查应用

### 1) 森林防灭火

森林防火的措施很多，其中森林航空消防是进行火灾预防和扑救的重要手段之一，是我国现阶段先进的防火、灭火主要措施，具有火情发现早、报告准、行动快、灭在小等优越性。森林航空消防是在火情探测、火场侦察和调度指挥中发挥着重要作用，特别是在山高坡陡、交通不便、人烟稀少的森林火灾扑救中，森林航空消防充分显示了其他手段不可替代的重要作用。

具体表现在以下几个方面：

①**空中巡护**。通过空中巡护，及时准确地发现、传递和报告火情，弥补地面监测不到的区域，实现早发现、早扑救。

②**火场侦察**。通过对火场空中侦察，利用移动多媒体传输系统，为火场前线指挥部快速提供准确、直观的火场信息，使扑火指挥调度更科学合理。

③**直接灭火**。通过机降、索降、滑降灭火，吊桶、吊囊灭火，机群化灭的实施，使山高坡陡、交通不便的边远林区、重点林区、原始林区发生的森林火灾得以及时扑救，力争做到“打早、打小、打了”。

④**火场救援**。为火场提供远距离运输扑火物资和食品，保障火场后勤供应。

⑤**防火宣传**。通过空投森林防火宣传单，把森林防火信息及时送到广大林区随着森林航空消防技术的不断发展，我国森林航空消防业务不断增加，业务范围也不断扩大。随着基地密度逐年增加，航空消防作业区域已经覆盖了我国重点林区。

### 2) 林地资源调查

森林资源是林业发展的物质基础，是国家重要的自然资源，在维护国家生态安全中发挥着基础作用，在促进经济社会发展中具有战略地位。开展森林资源调查，准确摸清森林资源“家底”是一项基础性自然资源调查工作，对于林业可持续发展和生态建设具有重大意义。森林资源调查分为三类：

①**森林资源清查** (简称一类调查), 一般以省(自治区、直辖市)、大林区为单位进行, 主要为制定全国林业方针政策, 编制全国、各省(自治区、直辖市)、大林区的各种林业计划和规划以及预测趋势提供依据;

②**森林经理调查** (简称二类调查), 以国营林业局、林场、县(旗)或其他部门所属林场为单位进行, 以满足编制森林经营方案、总体设计和县级林业区划、规划、基地造林规划等需要;

③**作业设计调查** (简称三类调查), 林业基层单位为满足伐区设计、造林设计、抚育采伐设计等而进行的调查均属作业设计调查。

自 1950 年以来, 经几代森林调查工作者不懈求索, 中国森林资源调查的理论技术体系和工作机制都得到了长足的发展。中国是国际上定期开展大区域森林资源调查和监测的少数国家之一, 并且拥有数量最为庞大的森林资源调查监测队伍。然而, 现行森林资源调查仍以地面调查为主, 存在着工作量大、劳动强度高、调查工期长、效率低、调查质量难以控制等问题。因此, 迫切需要采用现代遥感、地理信息系统等高新技术改造传统森林资源调查监测体系。

目前, 无人机在快速、实时、低成本获取小区域光学图像方面具有十分明显的优势。随着电池技术的突破, 无人机续航时间的提高, 无人机将在较大区域(如国有林场, 甚至是一个县域)光学遥感图像实时获取中得到广泛应用, 为小班区划和基本属性识别提供更可靠的数据。通过无人机密集匹配点云, 可以对林分平均直径、平均高、蓄积量、生物量等进行精确的估计。此外, 随着激光传感器技术的发展, 低成本、小型化、长测程激光扫描仪的出现, 无人机搭载激光雷达将为中小区域森林参数估测与制图提供可靠的技术手段。

### 3.5.3 大疆机场林业数字化解决方案

#### 1) 整体方案架构



图 3-42 大疆智慧林业建设推荐硬件架构图



图 3-43 大疆智慧林业建设推荐软件架构图

大疆行业智慧林业建设推荐架构分为硬件和软件两个部分，其中，硬件架构又根据管理对象的特点不同，划分为固定作业、便携式作业、车载作业三种推荐的作业模式，不同作业模式所匹配的硬件产品均有不同；软件架构上，根据对数据的加工程度和与林业业务的结合度，分为无人机管控平台和业务平台两层，两层平台相互关联。关于推荐架构中每一个环节的产品特点、工艺流程和环节之间的逻辑关联的具体介绍如下：

**固定作业模式：**固定作业模式主要针对日常常态化的巡视场景，可在林场的重点位置，如瞭望塔、微波站、通信铁塔等周边地形高点部署固定式无人机机场，无人机机场的优势在于可通过长期部署，进行自动化的巡防、自动化的检测、自动化的报警，且数据集中管理、安全可控，可与地面护林员、高点监测等防控手段形成互补，有效缓解管护面积大与管护资源少的矛盾；

**便携式作业模式：**便携式作业模式主要是辅助各类人在环路的工作场景，提升人员外业效率，降低安全风险。如灭火行动时，一线护林员携带专业侦察负载、一体化小型侦察无人机等抵达现场进行火场态势侦察，一线画面可通过视频专网回传至指挥中心，辅助制定扑火计划。此类作业模式优势在于成本低，灵活机动，并且能够根据不同任务要求自由选择传感器负载，以实现一机多用或多场景复用；

**车载作业模式：**车载作业模式可以有效解决一线飞手紧缺的问题，该模式的特点在于将无人机机场装载到森防皮卡车上，当发生突发火情需要组织力量打火时，皮卡车可以开赴一线，无人机可以由指挥中心的操作人员进行统一地远程控制，这种配合模式可以大大减轻一线人员的飞行操控负担。当然如遇三断场景，也可以选择与司空 2 一体机共同部署，以搭建前端临时指挥部，进行局域网信息传输。

**司空 2 私有版：**大疆司空 2 管理平台是一款具备团队管理、任务规划、数据处理和设备控制于一体的无人机综合管理平台。为了保障信息安全符合林业信息化建设的相关规定，推荐采用司空 2 私有化版本进行机场控制和数据汇总。同时，基于司空 2 私有化版本的开发工具，可以将各类功能以“模块”的形式集成到既有业务平台中去，实现与既有业务平台的融合对接。

**智慧林业管理平台：**智慧林业管理平台集成无人机、卫星遥感、摄像头、瞭望塔等各类智能装备，将多种技术方案所回传的数据汇总管理、统一分析，并深入对接防灭火、病虫害防治、林政执法、动植物保护、资源调查等多个业务部门的具体工作流程，为多个部门的行动、决策和指挥提供充足的数据支撑，有效提升工作效率。

### 3.5.4 湖南省森林防火项目案例

#### 1) 项目背景

湖南省省委、省政府和林业主管部门高度重视森林防火工作，在推进森林防火工作责任制、森林防火基础设施建设等方面开展了大量卓有成效的工作。2018 年 11 月 30 日，湖南省第十三届人民代表大会常务委员会第八次会议通过了《湖南省森林防火若干规定》，明确了各级政府行政首长负责制、火情报告制度、约谈制度、责任追究制度等，各级政府应当将森林防火工作纳入目标管理考核范围和应急管理范围，对全省有效预防和扑救森林火灾具有重大意义。2018 年 7 月 23

日，湖南省林业厅、省发展和改革委员会、省财政厅联合印发《湖南省森林防火规划（2018-2025年）》，明确了湖南省森林防火发展的总体思路、发展目标和建设重点。

项目建设地点属于森林火灾高风险区，但森林防火基础设施还不完备、防火装备较为落后、防火物资还较匮乏、消防队伍建设仍不完善，森林火灾隐患较大。更重要的是，项目地分布多家大型化工厂，且化工厂与森林唇齿相依，山中有厂，厂中有山，地形复杂，山高林密，针阔混交林分布集中，植被类型丰富，冬春气候干燥多风，极端干旱天气时有发生，一旦发生火灾，扑救极其困难，易酿成林中化工厂区出现重大森林火灾及化工厂区二次重特大灾害。因此项目区开展森林火灾综合治理工程建设十分迫切和必要。

为贯彻落实《全国森林防火规划（2016-2025年）》实施要求及湖南省委、省政府关于加强森林防灭火工作的指示，适应新形势下森林防灭火工作的建设要求，以项目区森林防火建设实际需求为依据，决定申请实施本项目。

## 2) 方案配置



图 3-44 空天地一体化方案

“天空地”一体化森林防火预警系统，依托卫星遥感、无人机巡查、双光谱视频检查等技术，构建“天（卫星监测）、空（无人机巡检）、地（视频感知）”三维立体监测体系。平台集成云计算、AI 算法、物联网等先进技术，实现森林火情实时预警、资源数据动态管理，并支持多级协同指挥与移动端应用，形成从“监测 - 预警 - 处置 - 反馈”的全流程闭环管理。

项目共建设 68 个视频检查点位，构建了视频检查感知网络，实现新区林地视频检查重点区域覆盖；建设了 10 台巡查无人机及机场，覆盖湘江新区林地范围，构建自动巡查无人机监测手段，实现无人机自主作业。建设了 15 个视频检查卡口，实现重点林区出入口人员、车辆动态管理。



图 3-45 机场分布图

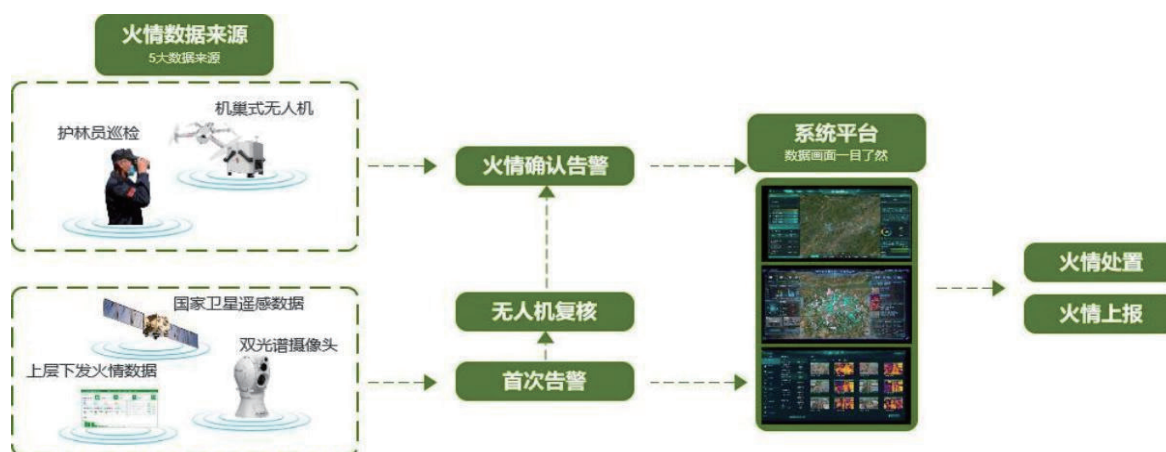


图 3-46 作业流程

**火情监测模块：**通过多源数据联动，创新提出了“131”（即 10 分钟出警，30 分钟复核完成，1 小时系统闭环）的快速核查机制，实现火情“打早、打小、打了”。由双光谱摄像头检测、卫星热点及上级部门推送、巡检上报、无人机发现的首次火情告警数据，将自动指派无人机或护林员进行二次复核。系统平台对全过程数据进行存档留底。

**具体步骤为：**当收到卫星遥感、无人机或双光谱云台的火情预警信息后，系统将弹出弹窗告警，指派附近无人机前往现场核查，并将飞行视频记录存档，若火情属实，则下发至护林员进行现场核实并扑救，上传图片至平台存档。

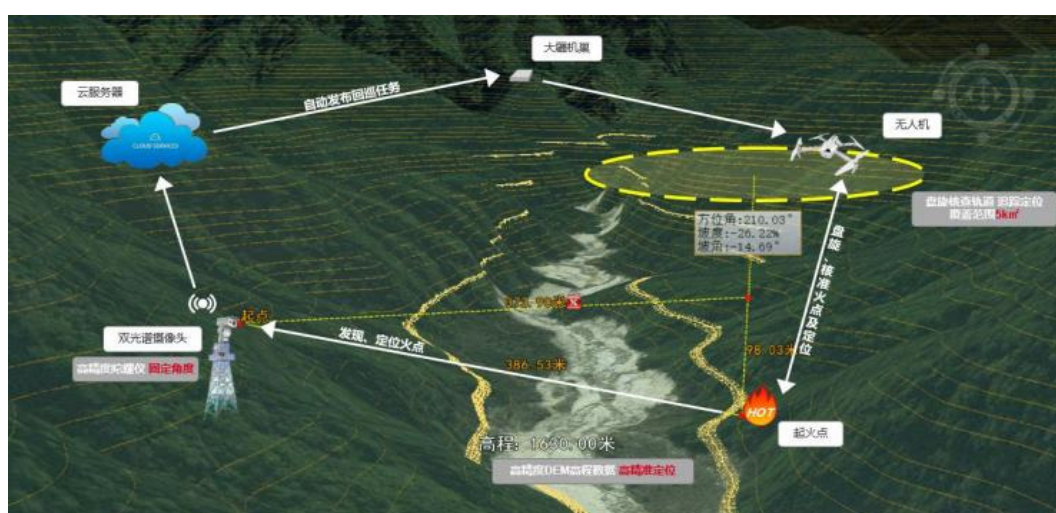


图 3-47 火情监测作业流程

**巡护管理模块：**支持查看巡护事件和任务详情，能实现智能指派操作。该模块还能实时掌握巡护人员的信息、在线状态以及巡护轨迹，极大地方便了管理和考勤工作。同时，模块提供了灵活的接口设置，便于与省级林长制巡护系统进行数据互通，有效减少了多系统操作带来的冗余工作，显著提升了巡护工作的便捷性和实时性。



图 3-48 天空地一体化平台

### 3) 价值总结

- 打造一个全天候监测、实时报警、智能决策，实现“事前、事中、事后”全过程一体化管理系统。
- 搭建一张“天空地”立体监测网，共建设双光谱云台摄像机 68 台，机场自动无人机 10 台、视频检查卡口 15 个，实现 43 万亩林地全天候动态监测。
- 日常巡查人员人力投入降低 50%，全域巡查覆盖率达 90% 以上，火情漏报率  $\leq 1\%$ ，事件响应时间缩短至 30 分钟以内

## 3.6 自然资源：耕地保护与国土监管

### 3.6.1 从卫星监测盲区到空中实时核查

自然资源是一个动态演进的概念。随着社会生产力的提升和科学技术的进步，越来越多曾被忽视的自然物质被重新认知和开发利用，自然资源的外延持续拓展。在国土开发利用中，自然资源涵盖土地资源、气候资源、水资源、生物资源、矿产资源、海洋资源、能源资源、旅游资源等多个门类。梳理近五年国家层面发布的自然资源行业相关政策可以发现（见下表），虽然目前尚未出台专门针对无人机的行业标准，但多项政策文件已明确将无人机、遥感等新技术纳入数据采集的推荐手段——从强约束性的体系构建方案，到行业标准对倾斜摄影精度的具体规定，再到自然资源部将“飞行检查”列为重点执法方式，政策导向清晰地释放出对无人机应用的积极信号，为低空技术在自然资源领域的规模化落地奠定了制度基础。

文件名称	技术标准要求	文号	效力
《自然资源调查监测体系构建总体方案》	“构建卫星-无人机-物联网协同观测网”	自然资发〔2021〕38号	强约束
《地质灾害防治“十四五”规划（2021-2025年）》	“重点区域无人机覆盖”	自然资发〔2022〕17号	强约束
《实景三维中国建设大纲（2023版）》	“无人机倾斜摄影建模精度要求”： • 城市建成区分辨率≤3cm • 林区/矿区分辨率≤10cm	自然资办发〔2023〕1号	行业标准
自然资源部重大举措	部本级不再向地方下发图斑，改为部队重点地区、重点线索组织开展“飞行检查”；变层层下发图斑为分级自用，发挥各层级积极性；用好遥感监测、无人机等技术手段，加强日常执法	2025年10月9日	推荐

表 3-4 自然资源行业政策汇总

## 3.6.2 耕地保护、调查监测与执法督察应用

### 1) 耕地保护

耕地是我国最为宝贵的资源，要严守 18 亿亩耕地红线不动摇，耕地是国家粮食安全的基础，也是生态系统的重要组成部分。党的十八大以来，中央领导多次就耕地保护作出重要指示批示，要求“要像保护大熊猫一样保护耕地”“耕地红线一定要守住，千万不能突破，也不能变通突破”。党的十九大报告指出，要严格保护耕地，确保国家粮食安全，“把中国人的饭碗牢牢端在自己手中”。生态文明建设也对耕地保护工作提出了更高的标准，更好发挥耕地的生态功能，让中华大地天更蓝、山更绿、水更清、环境更优美是自然资源部门责无旁贷的任务。

### 2) 调查监测

自然资源调查监测，作为国家层面的重大基础性工作，涵盖了山、水、林、田、湖、草、沙、矿、海、城等全方位的自然资源要素。其核心在于对这些资源的全面调查以及动态变化监测，旨在为自然资源管理、生态文明建设以及经济社会发展提供关键的基础性数据支撑。

### 3) 执法督查

执法工作是自然资源管理工作的重要组成部分，其主要任务为：以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，贯彻落实习近平生态文明思想和习近平总书记关于自然资源管理的重要论述、批示指示精神，围绕自然资源部核心职责和中心工作，确定案件查处重点，突出“严查处、强制度、建队伍”三项重点工作，建立“早发现、早制止、严查处”工作机制，执法必严，违法必究，使执法工作成为保护自然资源的“利剑”和“拳头”，维护自然资源管理秩序，维护公民和法人及其他组织的合法权益，保护和合理利用自然资源。

## 3.6.3 新疆机场自然资源行业解决方案

自然资源管理的三大核心业务——耕地保护、调查监测、执法督查——在实践中面临着一组共性痛点：发现滞后、覆盖不足、取证困难、协同低效。在耕地保护领域，违规建房平均发现周期超过两个月，铁塔摄像头覆盖范围有限且误报率高，复耕成本因发现滞后而成倍增加；在调查监测领域，人工外业举证需 2—3 个月，错过核查窗口期导致成果退回率居高不下，地方上报数据与卫星影像冲突造成重复举证；在执法督查领域，夜间盗采和矿洞作业难以发现，复杂地形下盗采

量测算误差大、证据链不完整，跨区流窜的盗采团伙更因信息壁垒而难以协同查处。各业务领域的核心痛点梳理如下表所示。

业务领域	痛点类型	具体表现	传统手段局限
耕地保护	发现滞后	违规建房 2 个月后才被发现，复耕成本高	人工巡查频次低，无法及时发现
	发现难	耕地破坏隐蔽性强，识别困难	地面视角受限，较难发现隐蔽违规
	监测范围小	铁塔摄像头覆盖范围有限且误报率高	固定监测覆盖不足，误报频繁
	考核压力大	上层下发任务，大量人力开展工作	层层上报流程冗长，效率低下
调查监测	时效性差	人工外业举证需 2—3 个月，错过核查窗口期	成果退回率高，影响考核结果
	漏检率高	地表细微变化人工难以发现	变更图斑漏检率高
	数据打架	地方上报数据与卫星影像冲突	重复举证增加成本
	协同低效	省 - 市 - 县三级数据不同步	版本混乱导致重复工作
执法督查	隐蔽盗采	夜间开采、矿洞作业难以发现	人工巡查无法高频次覆盖
	取证困难	盗采量测算误差大，证据链不完整	复杂地形无法精准测量
	暴力抗法	黑恶势力破坏设备、威胁人员	执法人员安全风险高
	跨区流窜	盗采团伙打时间差跨县市作业	信息壁垒导致协同滞后

表 3-5 自然资源三大核心业务痛点汇总

无人机机场方案以“高频巡查 + AI 检测 + 数据闭环”的能力架构，系统性地回应上述痛点：

**在感知层**，机场可按设定周期自动起降，将巡查频次从人工的“月级”提升至“日级”甚至“小时级”，短周期覆盖监管区域，配合热成像传感器实现夜间追踪，从根本上解决发现滞后和覆盖不足的问题。

**在分析层**，AI 算法对多期正射影像自动套合比对，精准检测非农化建设类型与非粮化作物变化，自动提取地表变更图斑并即时推送；同时通过三维建模实现违建面积和盗采方量的精确测算，替代传统人工估算，为执法提供量化依据。

**在协同层**，机场平台与国土调查云打通，图斑下发后自动调度采集；识别结果系统内推送至四级田长督促整改；省 - 市 - 县三级数据实时共享、同步质检，消除版本混乱；4K 执法视频、量化方量与身份关联构成不可篡改的证据链，空地协同实现位置共享与现场联动，形成从发现到处置的完整业务闭环。

### 3.6.4 山东省聊城市 108 套机场全域覆盖案例

#### 1) 项目背景

冠县位于山东省聊城市下辖县，地处山东省西部，面积 1161 平方公里，耕地面积 94 万亩，占比 54%，属于农业大县。山东省产粮十强县，位于黄淮海平原腹地，华北地下水漏斗区；年粮食产量 86.3 万吨，可满足 260 万人一年的口粮。

#### 2) 核心痛点

- **人力缺口大**：传统巡查需要 42 名专职人员，实际在编 15 人；
- **隐蔽违规高发**：22 年查处违规占地 127 宗，其中 83% 为夜间施工（如耕地挖塘养虾）；
- **量化取证困难**：违规建筑边界测量误差  $\geq 15\%$ ，导致复耕面积争议
- **年底举证任务繁重**：部委每年底下发图斑，周期只有 1-2 个月举证时间，时间紧任务重

#### 3) 大疆机场方案优势

从问题发现时效来看，传统人工巡查依赖定期现场排查，发现周期通常为 10—30 天；卫星遥感虽能扩大覆盖范围，但受制于回访周期和数据处理流程，存在约 30 天的滞后；而无人机机场全覆盖模式通过无人化值守、自动起降巡查，可将问题发现时效压缩至 48 小时以内，实现从“月级发现”到“小时级响应”的质变。

#### 4) 无人机智慧耕保监管系统

无人机智慧耕保监管系统深度融合人工智能、集群计算、无人机航测及自动化处理等关键技术，围绕“管控—数据—告警—展示”四大核心模块构建一体化操作平台。

- 在无人机管控层面，系统支持航线智能规划、实时查看、自动巡检及指点飞行，实现对机场集群的统一调度；
- 在数据管理层面，采集影像自动拼接入库，正射影像与三维数据分类管理，形成完整的数据媒体库；
- 在告警检测层面，AI 自动预警与人工核查相结合，告警工单在线处置并按类型分类统计，确保问题闭环；
- 在综合展示层面，通过“一张图”实现多类数据分层叠加、720 度全景影像浏览、线面量测与数据标注，为管理者提供直观的态势感知。
- 整套系统贯通了从巡查监测、智能检测到指挥调度的全流程，为耕地保护日常巡检提供了智能化、高效化的数字底座。

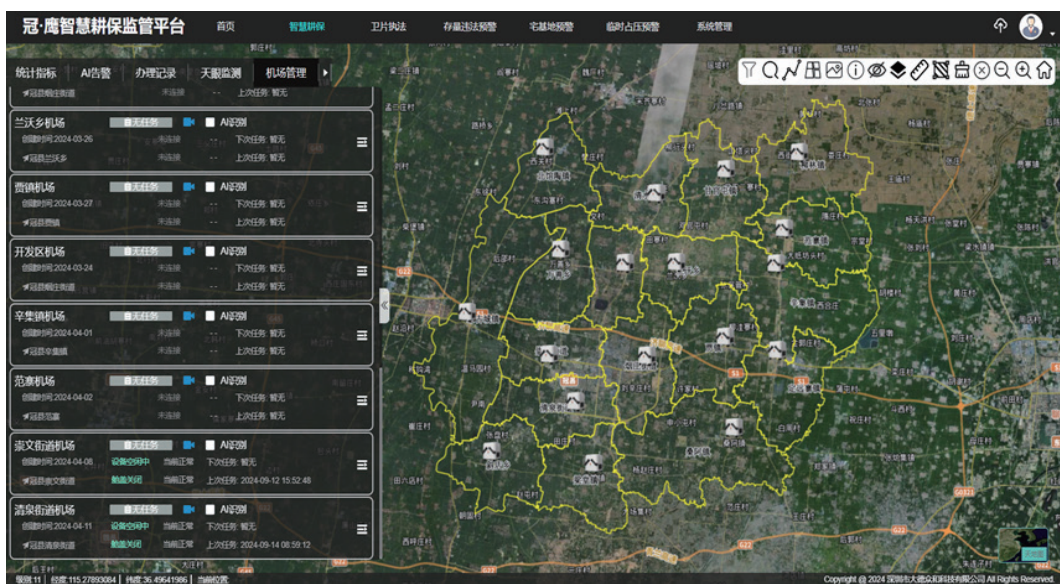


图 3-49 耕地保护监管平台



图 3-50 自动化航线

## 5) 项目成果

冠县耕保项目以 415 万元软硬件投入完成首期建设，运行 6 个月即取得显著成效：累计飞行约 6530 架次，获取高清遥感影像约 2967 平方公里；AI 自动预警“非农化”及疑似违法占地 204 处，经核查及时制止 171 处、立案查处 9 处、拆除整改 24 处；216 个图斑（面积 2710 亩）仅 2 天即完成核查，清泉街道 1315 亩“非粮化”图斑在平台内 1.5 天完成核查。项目运行期间接待超过 80 个单位拜访交流，山东省厅、中国自然资源报等先后报道这一智慧耕保新模式。上级主管单位聊城市自然资源和规划局在了解冠县模式后迅速推广，在全市 5 县 2 区部署 108 套无人机机场，实现聊城市全域覆盖。从推广价值来看，该模式在三个层面形成了标杆效应：技术层面，机场规模化部署使耕地保护真正实现“早发现、早制止”；管理层面，从发现到处置压缩至 72 小时以内，跨部门数据共享从 3 天缩短至 10 分钟；经济层面，相比传统人工巡查与卫片核查，整体效率提升 6 倍。

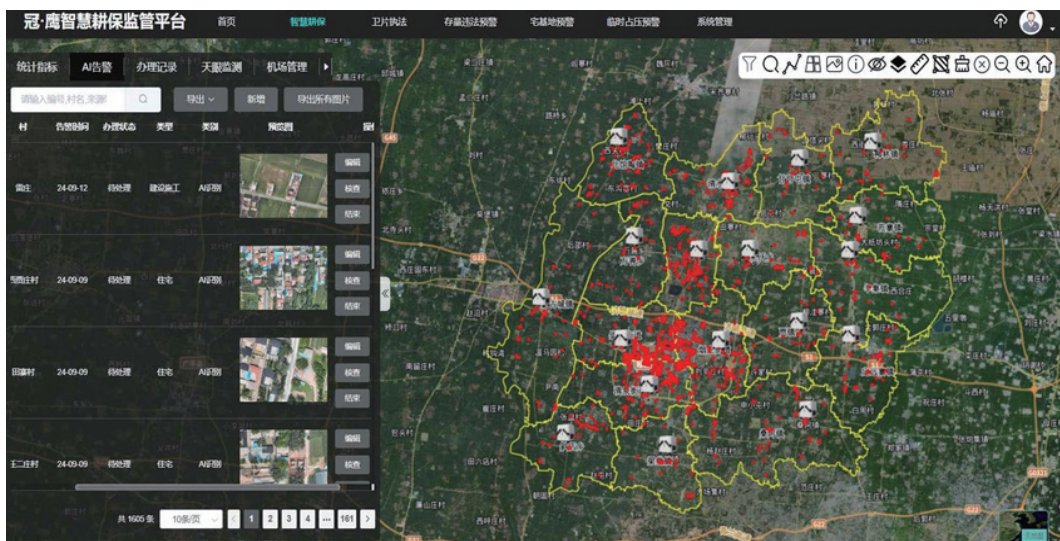


图 3-51 AI 告警记录

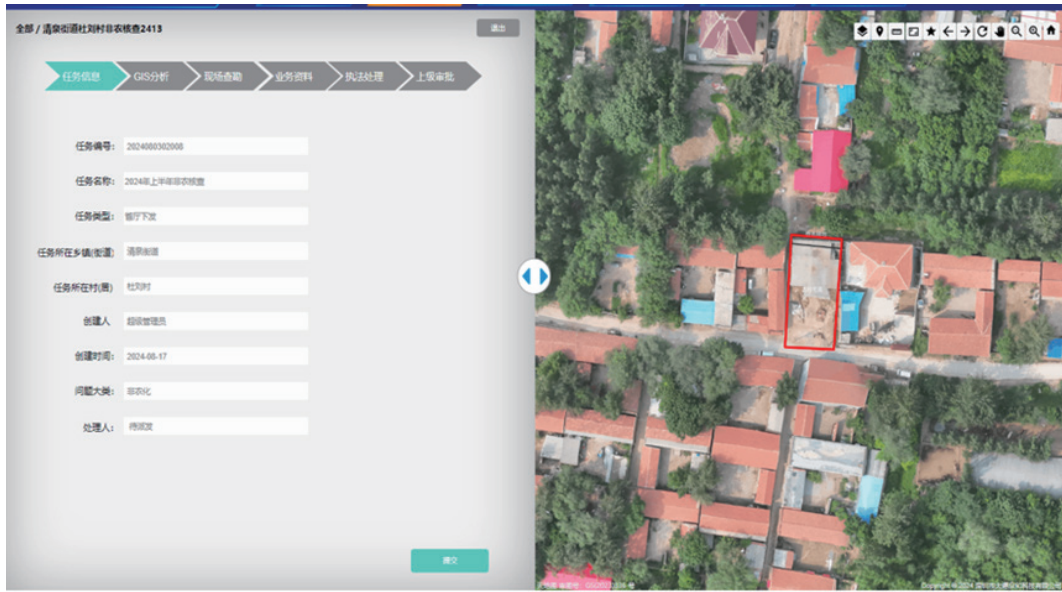


图 3-52 非农核查

## 04 | 海纳百川，生态共赢

大疆以“技术开放、生态共赢”为核心理念，深度开放产品技术能力、持续完善服务支持体系、全面共享全球市场资源，驱动“产品—应用—市场”三轮协同飞转——与生态共赢，与行业共生长。

### 4.1 坚持“技术开放、合作共赢”战略方针

低空经济是一个高度垂直化、场景极度碎片化的产业形态。电力巡检需要专业的可见光及热成像缺陷检测算法；城市治理需要对接安防、城管等多部门的指挥调度系统；油气行业需要气体检测模块；测绘行业需要厘米级定位精度与专业的三维重建软件……每一个细分场景背后，都有独特的技术规格、业务流程与行业监管要求。低空经济的规模化发展，离不开繁荣的产业生态共同努力。



大疆秉持技术开放、合作共赢的战略方针，截至 2026 年 5 月份，大疆开放生态已覆盖全球 150,000 余名活跃 SDK 开发者、200 余款第三方硬件负载、1,000 余家各类细分行业软件集成平台，生态伙伴遍及城市治理、电力、公共安全、测绘、油气、水利、林业等主要低空应用赛道，共同推动无人机行业从单点作业走向规模化、智能化的产业落地。

### 4.2 产品技术深度开放

大疆以端-边-云三层架构为骨架，构建起覆盖硬件负载、移动应用、云端平台的全栈技术开放体系。无论是硬件负载、定制 App 开发，还是企业级管理平台建设，生态伙伴均可按需选择接入，以大疆成熟的技术底座为起点，将核心精力投入行业场景的深度经营与解决方案创新。



图 4-1 DJI 生态开放架构

#### 4.2.1 云端接口开放：上云 API

上云 API (DJI Cloud API) 是大疆面向第三方云平台开发者开放的核心云端接口，基于 MQTT、HTTPS、WebSocket 等物联网行业通用标准协议，将飞行器与机场的复杂硬件操作逻辑充分抽象，封装为标准化的物联网设备模型 (物模型)，以便于生态伙伴无需关注无人机复杂的底层飞行逻辑，专注于行业业务逻辑的实现。



图 4-2 上云 API 示意图

上云 API 的功能集覆盖行业无人机平台化管理的全核心需求，核心功能如下：

### 1) 设备接入与状态管理

支持飞行器与机场通过标准协议接入第三方云平台，实现设备在线状态实时管理、远程参数配置、固件 OTA 在线升级管理，以及多设备、多站点的统一调度与权限分级管理。

### 2) 实时遥测与态势感知

持续上报飞行器的经纬度坐标、飞行高度、速度、姿态、电量、信号强度等全量遥测数据，支撑第三方平台构建实时飞行态势感知、轨迹回放与异常告警能力。

### 3) 自动化任务调度

支持航线任务的远程下发与执行管理，覆盖定时任务、周期任务与事件触发任务三种调度模式，实现无人值守场景下从任务下发、飞行执行到数据回传的全流程自动化闭环。

### 4) 媒体数据回传与直播

飞行作业结束后，采集的照片、视频等媒体文件自动回传至第三方指定存储；同时支持 RTMP/GB28181 协议的实时码流转发，可集成至第三方平台的驾驶舱大屏或实时监管系统。

### 5) 航线与数据资产管理

支持 KMZ 格式航线文件的云端存储、同步与版本管理，与大疆司空 2 航线体系完全兼容；支持作业数据的分类归档、标注管理与二三维模型文件的云端存储调用。



图 4-3 上云 API 产品架构图

截止 2026 年 4 月，超过 1000 家生态伙伴基于上云 API 开发了覆盖多个行业与场景应用的软件应用平台，主要覆盖情况如下：

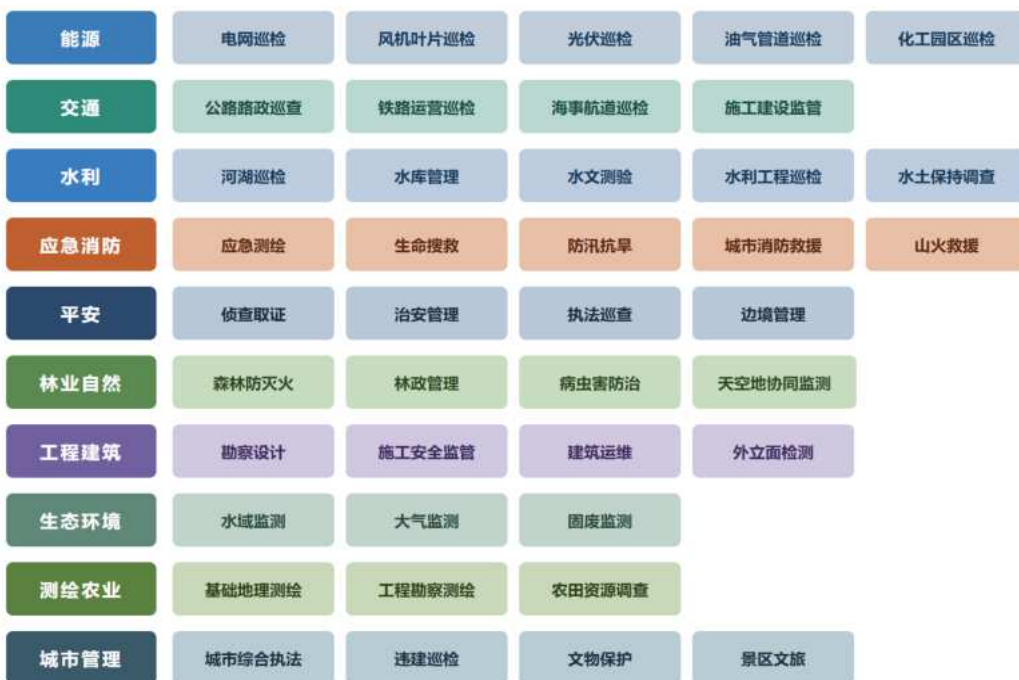


图 4-4 上云 API 生态主要行业与场景分布

## 4.2.2 硬件负载开放：Payload SDK

Payload SDK（PSDK）是大疆面向硬件生态伙伴开放的核心接口体系，实现硬件负载与无人机平台之间的通信、控制及数据交互。可根据行业的应用需求，开发如红外相机、测绘相机、多光谱相机、喊话器、探照灯等满足不同细分领域的负载设备。

PSDK 目前支持两种开发方式：

- 一是负载开发，在负载设备上直接使用 PSDK 实现负载本体功能；
- 二是妙算开发，在机载计算平台上使用 PSDK，与负载设备和飞行平台协同工作。

此外，PSDK 还可与 MSDK 配合，由移动端 App 实现负载控制与任务管理，形成完整的行业解决方案。



图 4-5 PSDK 架构图

截至 2026 年 4 月，通过大疆 PSDK 绑定的负载设备数量超过 14 万，负载款式超过 1000 款，已广泛应用于能源、公共安全、测绘、林业等多个行业领域。

## 4.2.3 智能算力开放

大疆智能算力开放平台（DJI AI Computing Open Platform）是大疆面向行业开发者全面开放的 AI 能力平台，涵盖机载算力开放与云端智能算法两大核心能力体系，共同构成“端云协同”的完整智能作业生态。截止 2026 年 4 月，超 3500 开发者在大疆产品平台开发智能算法，近 7000 智能算法关联大疆无人机。

## 1) 机载算法开放

开发者可将自研 AI 模型直接部署至大疆无人机内置芯片，实现飞行过程中的端侧实时推理。算法运行于机身，无需将视频流传回云端，具备超低延迟、离线可用、数据不出设备等核心优势，适合需要即时响应的业务场景。

- **开放机身芯片算力：**首次将 Matrice 4 系列无人机内置高性能 AI 芯片算力以开放接口向行业开发者提供
- **全流程配套工具：**覆盖模型源码获取、本地训练、平台上传、量化压缩、设备分发的完整开发工具链
- **简化模型定制：**开发者无需深度掌握硬件适配细节，平台自动完成模型量化与格式转换
- **精准设备分发：**支持将量化后的模型定向推送至指定无人机设备，满足企业多机队管控需求
- **离线推理能力：**算法在端侧运行，不依赖持续网络连接，适用于通信受限的野外、矿山等场景

STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
<b>获取模型源码</b>	<b>本地训练模型</b>	<b>上传至开发者平台</b>	<b>量化分发至设备</b>
从平台下载基础模型架构与预训练权重，作为定制训练起点	基于自有业务数据在本地完成模型训练，调整参数以匹配目标场景	将训练完成的模型上传至大疆开发者平台，进行格式验证与兼容性检查	平台自动完成模型量化压缩，随后精准推送至指定无人机设备

## 2) 云端算法开放

开发者可将 AI 推理能力部署于云服务器，基于大疆司空 2 的高清低延迟媒体流通，可以快速打通无人机直播与自建的云端智能推理服务，在云端完成目标检测与智能分析，可实现远程实时查看智能算法检测结果并自动告警，让无人机作业更智能、更高效。

- **云上媒体流融合：**支持将无人机实时飞行视频流接入云端算法推理引擎，实现远程 AI 分析
- **实时飞行画面检测：**云端算法对接收的视频帧进行实时目标检测，结果实时推送至操控界面
- **自动化作业流构建：**基于检测结果触发联动动作，包括航线调整、告警推送、取证拍照等自动化流程

- **多系统集成能力：**可与智能交通系统、城市管理平台、安防指挥中心等现有系统深度集成

### 3) 数据保护承诺

为保护生态伙伴核心算法数据，大疆郑重承诺：

- 大疆不参与算法模型训练
- 大疆不提供云端推理平台
- 大疆不保存训练样本与模型数据

## 4.2.4 移动应用开放：Mobile SDK

Mobile SDK（MSDK）是大疆面向移动端 App 开发者开放的核心接口，为开发者提供无人机行业解决方案开发工具包，使其在移动设备上即可构建行业级无人机应用。Mobile SDK 架构如下：

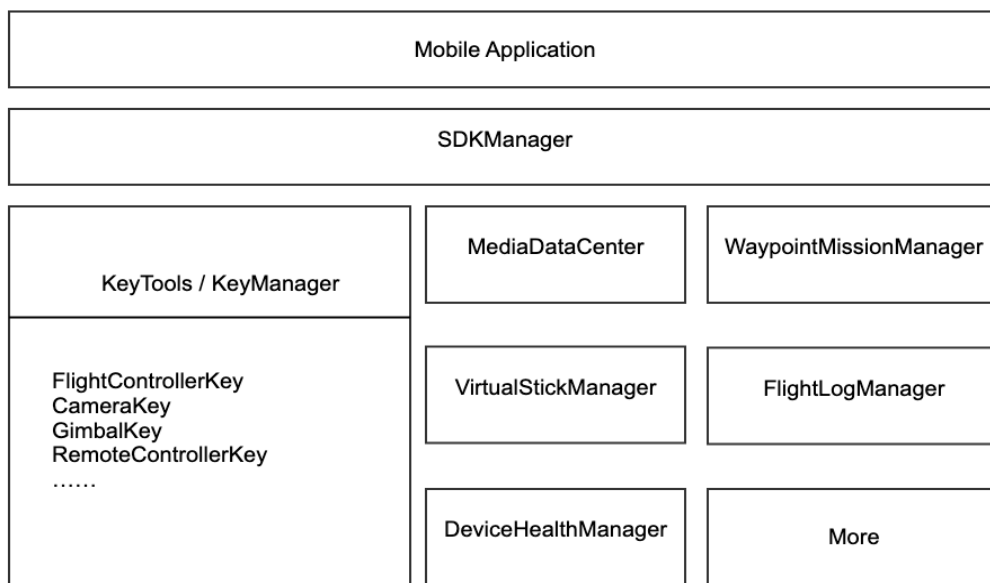


图 4-6 MSDK 架构图

## 4.3 合作模式与生态展望

大疆深知，技术开放只是生态建设的一小步。优质的开发者支持体系与全球市场资源的开放共享，是生态伙伴从“能开发”到“做大做强”的关键支撑。大疆通过完善的服务支持体系与全球渠道资源开放，与生态伙伴在技术、市场两个维度实现深度协同，共同构建可持续发展的低空产业生态。

### 4.3.1 完善的开发者技术支持体系

大疆为生态开发者构建了覆盖开发全周期的技术支持体系，确保开发者在每个阶段都能获得及时、专业的帮助，最大程度降低开发门槛、压缩开发周期。

#### 多层次技术支持渠道

支持类型	具体内容	响应标准
开发者文档中心	完整的 API 说明、功能介绍、集成指南与最佳实践 覆盖 PSDK/MSDK/ 上云 API/ 上云 API 2/ 司空二开全系列 提供中英文双语版本，面向全球开发者	持续更新 随产品版本同步
在线调试工具	虚拟设备快速添加，开发不受物理设备限制 虚拟设备调试界面，模拟各类工况和作业行为 调试结果可视化，问题定位更高效	随 SDK 版本迭代 持续优化
开发者社区论坛	<a href="http://sdk-forum.dji.net">sdk-forum.dji.net</a> 知识库搜索，覆盖常见技术问题 开发者提单通道，后台技术工程师专业解答 优秀开发案例展示、直播分享活动定期举办	工作日 24 小时内 响应答复
GitHub 开源仓库	<a href="https://github.com/dji-sdk">github.com/dji-sdk</a> 提供开源 Sample PSDK/MSDK/ 上云 API 配套示例代码持续维护	实时更新 社区协同维护
邮件专属支持	dev@dji.com 专属技术支持通道 复杂技术问题直达大疆 SDK 工程师团队	工作日响应 复杂问题专项处理

### 4.3.2 全球市场资源开放，助力生态规模化发展

通过系统性地开放官方渠道与全球销售网络等市场资源，大疆协助生态合作伙伴突破市场拓展瓶颈，实现规模化的商业落地。

#### 三大市场赋能渠道

渠道类型	具体内容	覆盖范围
官方生态方案目录 ( <a href="http://www.enterprise.dji.com/cn/ecosystem">www.enterprise.dji.com/cn/ecosystem</a> )	大疆行业官网生态方案展示专区 经认证的生态方案向全球潜在客户精准展示	全球行业客户 精准触达
官方媒体与活动资源	DJI 官方媒体渠道（微信 / 微博 / 抖音等）推广 DJI 展会活动（全球各地）生态方案展示机会	亿级流量媒体渠道
开发者社区论坛全球 经销商网络	全球 1,000+ 经销商合作伙伴网络 覆盖全球 100+ 国家和地区的销售渠道	全球 100+ 国家 1,000+ 经销商

### 4.3.3 生态未来展望

低空经济正从政策驱动的起步阶段迈向产业规模化落地的关键节点。大疆将持续加大在产品开放与生态支持的战略投入，与生态伙伴携手应对行业深化带来的新机遇与新挑战，共同推动低空经济产业生态迈向更高质量的繁荣期。

#### 1) 产品持续升级，开放边界不断拓展

大疆各核心开放产品线将持续迭代演进，功能更加强大、开放更加彻底。上云 API 即将升级迭代，强大的核心能力底座，便于被集成产品设计；MSDK 全面升级，采用插件化架构深度开放；PSDK 即将迎来升级，进一步拓展硬件负载开放边界，为传感器与计算模块等硬件生态开发者提供更强大的接口能力与工具链支持。

AI 能力是大疆未来开放体系的重点演进方向。机载侧将持续扩大开放算力规模，提升算法部署工具的易用性；云端侧将深化回传链路能力，拓展 AI 检测目标类型，探索大模型接入路径，赋能更复杂的行业智能化应用场景，推动无人机作业从 " 数据采集工具 " 向 " 空中智能终端 " 全面跃升。

## 2) 加大资源投入，携手生态走向世界

技术支持是生态繁荣的基础保障。大疆将持续扩充专业技术支持团队，完善文档体系、调试工具与响应机制，确保每一位生态伙伴在开发全周期内都能获得及时、专业的技术保障。

同时，大疆将充分发挥全球渠道与品牌资源优势，为优质生态伙伴提供系统性出海支持，包括对接海外行业客户资源、协同参与国际展会与市场推广活动，帮助成熟的行业解决方案走向全球，助力中国低空行业解决方案在全球低空经济建设浪潮中占据更重要的位置。

# 05 | 构建安全合规的低空作业新基石

## 5.1 大疆机场 3：通过国标验证产品合规

---

在产品侧，中国无人机合规体系的关键里程碑，是《GB 42590-2023 民用无人驾驶航空器系统安全要求》《GB 46750-2025 民用无人驾驶航空器系统运行识别规范》《GB 46761-2025 民用无人驾驶航空器实名登记和激活要求》《GB 46860-2025 民用无人驾驶航空器唯一产品识别码》等强制性国家标准的相继发布。

在上述国标的制定过程中，大疆作为参与单位深度介入了标准的起草与技术论证工作，基于长期积累的产品工程化经验和规模化应用数据，为标准在安全约束与产业可行性之间的平衡提供了实践参考。在标准落地实施阶段，大疆机场系列产品按照强标及其分阶段发布的要求，完成了电子围栏、运行识别、数据链、感知避让、标识和唯一产品识别码等核心安全要求的认证，具备国内市场准入所需的合规基础。

## 5.2 大疆机场 3：匹配国家飞行合规要求

---

2023年6月28日，中国首部专门针对无人机的行政法规——《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》正式施行，建立了“微、轻、小、中、大”五级分类管理体系，不同类别对应差异显著的审批流程、空域准入和人员资质要求。这一分级框架直接决定了各类无人机的合规使用成本和落地难度。

根据《条例》第六十二条第（三）项，空机重量不超过4千克、最大起飞重量不超过7千克、最大平飞速度不超过100千米/小时的无人机被划定为轻型无人驾驶航空器。无人机机场搭载的飞行器正属于这一类别，这意味着它在政策层面享有相对宽松的飞行条件：适飞空域内无需申请飞行许可，满足年龄要求的操作人员掌握操作方法及管理制度即可依规作业，无需持有驾驶执照；仅在适飞空域外飞行时，才需配备理论培训合格证。而eVTOL、物流无人机等通常归属中型甚至大型类别，不仅需要取得型号合格证和适航许可，操作人员还须持有相应等级的执照，每次飞行需提前申报空域并获得批准，审批链条长、合规成本高。两相对比，机场系列的轻型定位使其成为当三大赛道中，部署门槛最低、推广阻力最小的无人机方案。

## 5.3 飞行安全与空域管理

随着低空经济从概念验证迈向规模化运营，飞行安全与合规已成为产业健康发展的基石。无人机不再只是简单的飞行工具，而是融合了数据采集、实时传输、智能分析等能力的空中信息节点——这意味着安全的边界早已超越“飞行器不坠落”的范畴，延伸至数据从产生、传输、存储到销毁的全生命周期。

与此同时，低空空域的逐步开放带来了前所未有的空域管理挑战。当数十甚至上百架无人机在同一城市空域并行作业，如何实现精准的空域协调、可靠的飞行冲突规避、以及突发状况下的应急处置，直接关系到公共安全与社会信任。技术能力与管理机制必须同步演进，才能支撑低空经济从“能飞”走向“安全地飞”。

合规认证与第三方审计则为上述安全体系提供了客观验证。在全球化运营的背景下，不同国家和地区对数据主权、隐私保护、产品安全的法规要求各异，唯有通过权威机构的独立审计和国际认证，才能建立跨区域的信任基础，让低空经济的参与各方——监管机构、运营企业、终端用户——都对系统的安全性和合规性持有充分信心。

本章将从全生命周期数据安全、空域管理与飞行安全、合规认证与第三方审计三个维度，系统阐述低空经济安全体系的技术架构与实践路径。

### 5.3.1 全生命周期数据安全

#### 1) 多种部署形态守护数据存储

针对大疆机场，司空 2 提供 2 种部署形态：即公有云和私有化部署。

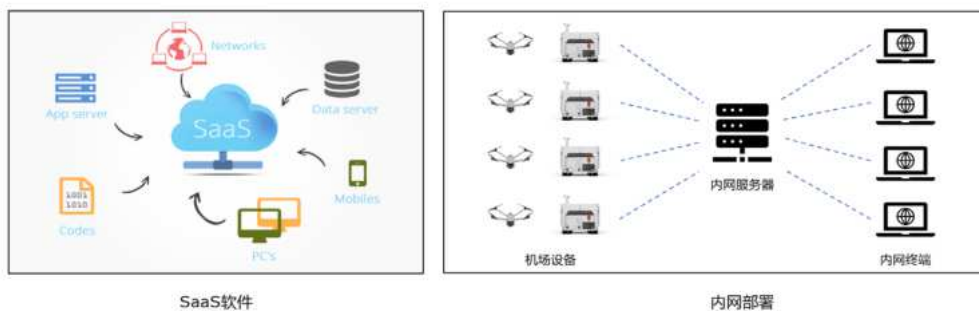


图 5-1 部署示意图

## 大疆司空 2 公有云：全球分布式服务器架构

大疆司空 2 (FlightHub 2) 作为一站式无人机管理云平台，其公有云服务器按用户所在区域进行分区部署：

用户区域	云服务商	服务器所在地
中国大陆	阿里云	中国杭州
欧洲	亚马逊 AWS	德国法兰克福
其他海外地区	亚马逊 AWS	美国弗吉尼亚州

这种全球分区部署的架构具有以下安全特征：

- **数据属地化存储：** 中国大陆用户的数据始终存储在中国境内的阿里云服务器上，不出境
- **个人信息不跨数据中心传输：** 不同区域的数据中心之间相互隔离，用户个人信息不会在数据中心之间流动
- **敏感字段额外加密：** 邮箱、手机号码、位置信息等敏感字段采用 AES-256-CBC 算法额外加密
- **零第三方共享：** 数据中心内的任何数据都不会与第三方共享
- **多层纵深防护：** 数据中心具有物理安全、网络安全、应用安全等多层保护体系

## 大疆司空 2 私有版：极致的数据存储安全

对于数据安全要求更为严苛的用户，大疆司空 2 提供了私有版 (FlightHub 2 On-Premises) ，实现了数据全程不出用户内网的极致安全方案。

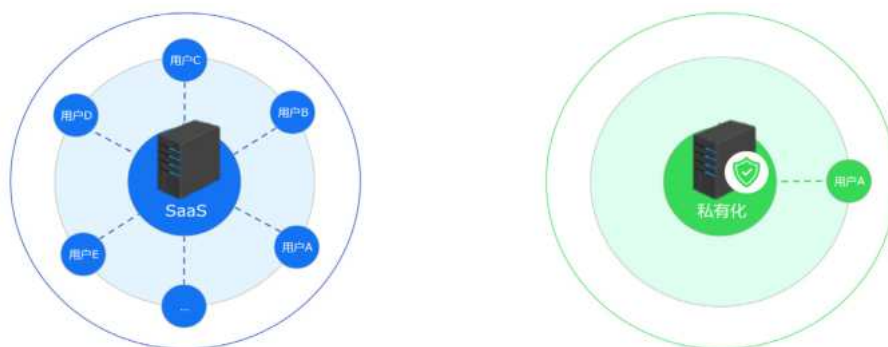


图 5-2 司空 SaaS 及私有化

## 私有版的核心定位

大疆司空 2 私有版兼具公有版云平台的强大功能与本地私有化部署能力，核心理念是 " 私有化，更安全 "——所有数据（飞行记录、直播视频、影像素材、航线规划、AI 分析结果等）完全存储在用户自有的服务器或一体机上，DJI 无法访问、也无法接触用户的任何业务数据。

## 两种部署形态

部署形态	方式	特点
软件部署	部署在用户自有服务器上	灵活适配用户已有 IT 基础设施，可与政务云、行业专网对接
一体机部署	大疆司空 2 一体机，开箱即用	软硬件深度融合，预装私有版软件，部署运维无忧

## 2) 多种方式保障数据传输安全

### ①城市低空空域的信号安全挑战

低空经济在城市环境中运营时，无人机的通信链路面临复杂的电磁环境：

- **信号密集区干扰：**城市中存在大量 Wi-Fi、基站、广播等电磁信号，无人机通信可能被干扰或截获
- **多机编队场景：**低空物流、集群巡检等场景下，数十甚至上百架无人机同时在同一空域作业，通信频谱资源紧张
- **恶意干扰威胁：**城市低空空域开放后，可能面临恶意方使用 SDR 等工具对通信链路进行监听或注入攻击

### ② DJI 的传输安全机制

空中链路加密（无人机 ↔ 机场）

无人机与机场之间的图传信号和控制指令，采用 AES-256 加密算法保护。AES-256 是目前国际公认的最高强度对称加密标准之一，被广泛应用于金融、军事等高安全等级领域。

### 网络通信加密（机场 ↔ 服务器）

机场与 DJI 云端服务器之间的通信，受 HTTPS 或 WSS (WebSockets over SSL/TLS) 协议保护，有效防止中间人攻击和数据劫持。

传输场景	加密方式	防护目标
无人机 ↔ 机场	AES-256	防止图传信号和飞控指令被截获或篡改
机场 ↔ DJI 服务器	HTTPS / WSS	防止中间人攻击、数据劫持

### ③ 第三方独立审计验证

DJI 委托旧金山 Kivu 数字安全咨询公司进行独立审计。Kivu 采用匿名购买设备、公开渠道下载软件、逐字节检查网络流量的方式，确认了 DJI 设备在传输过程中不会在未授权情况下向任何方发送用户数据。

## 3) 数据删除保证个人隐私安全

《个人信息保护法》第 47 条明确规定个人有权要求删除其个人信息。低空经济场景中可能触发该条款的情况包括：

- 无人机巡逻影像中无意采集了路人的面部特征信息
- 物流无人机拍摄到居民阳台、窗户等隐私区域画面
- 测绘影像中包含的车牌号、门牌号等可关联特定个人的信息

DJI 公有云支持的云端账号级数据删除机制，以及私有版赋予用户的完全数据控制权，为运营企业响应此类合规请求提供了技术基础。

### ① 云端数据删除

用户决定不再使用 DJI 服务时，可通过邮件向 support@dji.com 发送删除请求，要求 DJI 删除所有与其账号关联的数据（账号信息、飞行记录、设备绑定关系、云端同步的媒体和日志数据等）。

### ② 公有云存储资源到期处理

存储资源到期失效后，用户无法新增数据，但旧数据仍可正常访问和使用。DJI 不会因套餐到期而主动删除用户已有数据，充分尊重用户对数据的所有权。

### ③私有版设备报废时的数据清除

大疆司空 2 一体机在设备报废时，用户可通过格式化固态硬盘彻底清除所有数据。同时，一体机后台支持一键导出操作日志，便于在数据清除前完成审计留档。

### ④私有版场景下的自主可控数据删除

使用司空 2 私有版的用户，在数据删除方面拥有更大的自主权：

- **不依赖 DJI 执行删除：**所有数据都在用户自有服务器或一体机上，用户可随时自行删除任何数据，无需向 DJI 发送请求
- **一体机格式化：**设备报废时可直接格式化固态硬盘，实现物理级别的数据销毁
- **操作日志可审计：**一体机支持一键导出操作日志，在清除数据前可完成审计留档，满足合规检查要求
- **与企业数据治理体系对接：**私有版支持二次开发，可与企业已有的数据生命周期管理系统（DLM）对接，实现自动化的数据保留和清除策略

## 5.3.2 空域管理与飞行安全

空域管理与飞行安全是低空经济从试点走向规模化运营的关键前提。随着无人机在巡检、物流、应急等场景的高频应用，低空空域的管理复杂度急剧上升——既要确保飞行安全，又要兼顾运营效率，这对空域管理体系的精细化程度提出了更高要求。

本章围绕“管得住、看得见、飞得顺”三个核心目标展开。在空域安全层面，系统需具备完善的限飞区管控与自定义飞行区划设能力，同时对地形障碍物进行精准建模，并通过空域告警机制实现风险的实时预警与主动规避。在飞行管控层面，规范化的飞行解禁流程确保合规空域的高效释放，完整的飞行记录体系则为事后追溯与责任界定提供数据支撑。在数据互通层面，飞行动态数据的实时报送、与第三方空域管理平台的数据集成，以及远程识别（RID）模块的接入，构成了低空飞行从“单机管理”迈向“体系融入”的技术基础。

以下将逐一展开上述九项能力的设计思路、技术方案与落地路径。

## 1) 空域安全

空域安全是所有飞行作业的底线。本节从四个维度构建空域安全防线：通过限飞区管控划定不可逾越的硬边界，借助自定义飞行区实现项目级的灵活空域划设，结合地形障碍物数据为航线规划提供三维空间约束，最终以空域告警机制将上述规则转化为飞行过程中的实时风险预警与主动干预，确保每一次起飞都在安全网络之内。

### ① 无人机限飞区

无人机限飞区是指由监管机构或飞行安全系统预设的、对无人机飞行行为施加限制的特定空域。根据限制程度的不同，主要分为以下几类：

- **禁飞区**是限制等级最高的区域，无人机在该区域内完全无法起飞和飞行。禁飞区通常覆盖机场净空区、军事设施、政府核心区域、核电站等高度敏感区域。在地图上以红色标识。如确有合法飞行需求，需获得有关部门许可后申请解禁。
- **限高区**允许无人机进入但对飞行高度作出严格限制，典型限高为 120 米。这类区域通常分布在民用机场周边，目的是避免无人机进入有人机的起降航路。在地图上以灰色标识。以机场跑道为基准，限高区一般在跑道两端延伸约 20 公里、两侧各延伸约 10 公里，形成大面积的高度管控区域。
- **授权区**介于禁飞区和限高区之间，默认禁止飞行，但用户可通过在线申请或联系厂商进行解禁审批后获得飞行授权。

限飞区的数据通常内置于无人机飞控系统中，并通过固件更新持续维护。当无人机接近或进入限飞区时，系统会自动触发限制策略——包括禁止起飞、限制飞行高度、强制返航等，这一机制在硬件层面保障了空域安全，不依赖飞手的主观判断。

对于低空经济的规模化运营而言，限飞区管理是空域合规的基础。运营方在规划航线前需充分了解作业区域内的限飞区分布，提前完成必要的解禁申请，避免因空域限制导致任务中断或违规飞行。



图 5-3 DJI Flysafe 限飞区示意

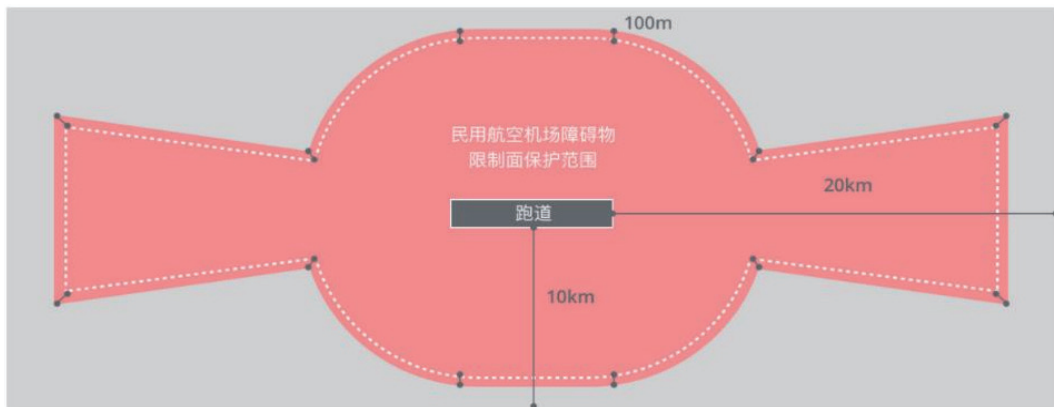


图 5-4 机场限飞区范围示意

## ②自定义飞行区

在实际项目部署中，标准限飞区往往无法覆盖所有场景化的空域管控需求。不同项目的作业范围、周边环境、安全要求各不相同，需要项目管理员根据现场实际情况灵活划设专属飞行区域。自定义飞行区功能正是为解决这一问题而设计，支持在项目维度内进行精细化的空域规则配置。

## 自定义作业区

定义飞行器的合法作业范围。飞行器仅允许在该区域内执行飞行任务，当飞行器处于作业区外部或距离作业区边界不足 10 米时，系统将禁止起飞，从源头防止飞行器越界作业。

推荐使用场景：

- 电力通道巡检：沿输电线路走廊划设带状作业区，将飞行范围严格限制在线路两侧一定宽度内，避免飞行器偏离航线进入居民区或林区
- 光伏电站巡检：按光伏阵列边界划设多边形作业区，确保飞行器仅在电站范围内采集数据，不越界进入周边农田或道路
- 城市物流配送：围绕规划好的配送航路划设飞行走廊，约束飞行器始终在经过审批的空域内运行，满足城市低空飞行的合规要求
- 矿区测绘：按采矿权边界划设作业区，确保测绘无人机不飞出矿区范围，避免涉及相邻地块的敏感信息采集

## 自定义限飞区

标记飞行器不可进入的区域。飞行过程中飞行器无法穿越该区域边界，同时当飞行器位于限飞区内部或距离边界 10 米以内时同样禁止起飞。

推荐使用场景：

- 高速公路巡检：将沿途的收费站、服务区等人员密集区域设为限飞区，飞行器巡检路面时自动绕开这些区域
- 风电场巡检：将运维人员作业的风机平台周边设为动态限飞区，确保人机作业安全隔离
- 河道水利巡查：将沿岸学校、医院等敏感设施标记为限飞区，巡查飞行器自动规避
- 应急救援：在灾害现场将救援直升机起降点及作业空域设为限飞区，防止巡查无人机与有人机发生冲突

## 自定义禁降区

限制飞行器在特定区域内降落。飞行器可以飞越禁降区上空，但无法在区域内执行自动降落。若飞行器在禁降区内触发降落指令，系统将自动规划最短路径引导飞行器飞出禁降区后再执行降落。

推荐使用场景：

- 水域上方作业：将水库、河流、湖面等水域设为禁降区，飞行器执行周边巡检任务时即使触发低电量返航，也不会降落至水面导致设备损毁
- 城市楼宇巡检：将建筑物屋顶、天台设备区等设为禁降区，避免飞行器异常降落损坏屋顶设施或被障碍物卡住
- 交通干道上空：将高速公路、铁路等交通要道设为禁降区，确保飞行器不会在车流密集区域降落引发交通事故
- 农田精准作业：将作业区内的大棚、鱼塘等不宜降落的地物设为禁降区，植保无人机在执行断点续喷等任务时自动避开这些区域降落

三种飞行区类型可在同一项目内叠加使用，可根据作业规划灵活组合，构建覆盖 " 允许飞行—禁止进入—禁止降落 " 的多层空域管控体系。

### ③地形障碍物

低空飞行环境远比传统航空复杂。无人机的作业高度通常在数十米至数百米之间，这一空间内密布着建筑物、塔吊、电力线路、桥梁、山体等各类障碍物，任何一次碰撞都可能导致设备损毁甚至地面安全事故。尤其在城市巡检、山区电力巡线、桥梁检测等低空经济核心场景中，飞行器需要在复杂地物间穿行作业，仅依靠实时视觉感知进行避障远远不够——视觉系统受限于光照条件、探测距离和视场角，无法提前对远距离障碍物进行全局路径规划。

地形障碍物功能通过融合三维空间数据与飞行器自主避障能力，从 " 被动躲避 " 升级为 " 主动规划 "，为低空飞行构建一张完整的三维安全底图。

### 安全距离机制

开启地形障碍物后，系统通过分层安全距离策略保障飞行安全：

- 水平安全距离：飞行路径与障碍物保持约 10 米的水平间距
- 模型垂直安全距离：与二维或三维模型数据保持约 30 米的垂直间距
- 高程垂直安全距离：与全球高程地图保持约 60 米的垂直间距，以补偿高程数据精度相对较低带来的不确定性

当作业环境满足视觉系统工作条件时，飞行器视觉感知模块与地形障碍物数据同时生效，形成 "

全局规划 + 局部感知" 的双重保障。当环境光线过暗等条件不满足视觉系统要求时，仅地形障碍物数据生效，此时模型数据的准确性直接关系飞行安全。

## 智能绕行策略

飞行器基于地形障碍物数据具备两项关键智能决策能力：

**GNSS 遮挡区域主动规避**——飞行器会识别并绕开受 GNSS 信号严重遮挡的区域（如高层建筑密集区、深切峡谷），确保飞行全程保持可靠的卫星定位，避免因定位丢失导致的失控风险。这一能力在城市高楼巡检、山区作业等场景中尤为关键。

**悬空障碍物上方优先绕行**——对于塔吊、电力线路、桥梁等悬空结构，飞行器优先选择从障碍物上方通过，而非从下方穿越。这一策略有效降低了飞行器与悬挂物、拉线等难以精确建模构件发生碰撞的风险。

## 2) 空域告警

DJI Airsense 支持在司空 2 平台内的空域告警能力，当通过 ADS-B 或者配置第三方空域管理数据后，可在一定距离阈值外对碰撞和接近风险进行及时告警，最大程度保障飞行安全。

### ①自定义告警距离阈值

当载人客机进入到检测区域时，会触发对应等级的告警。

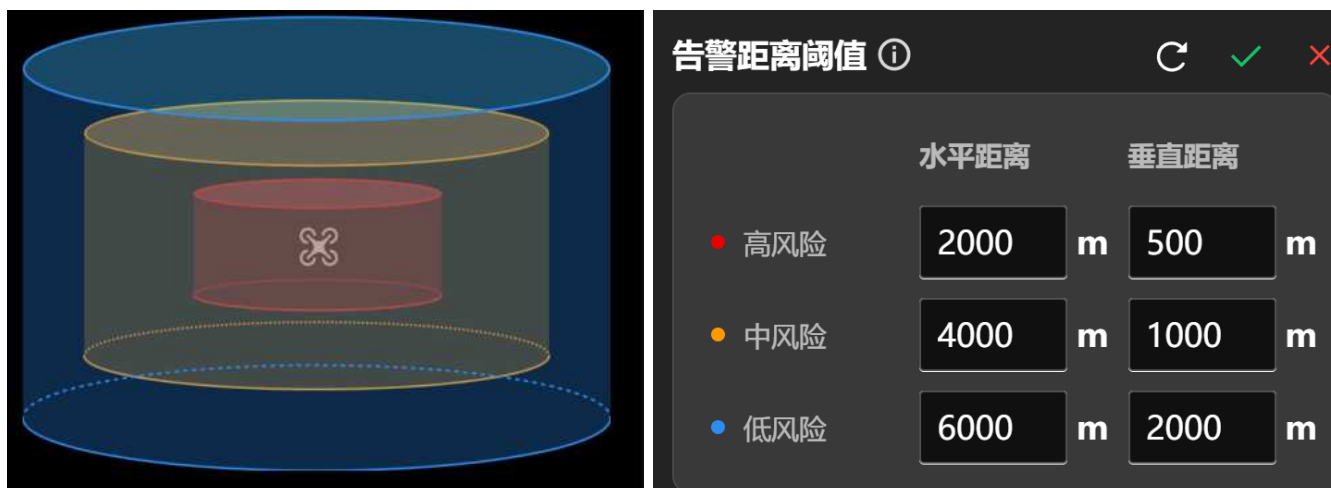


图 5-5 自定义告警阈值

## ② ICAO 过滤

在 ADS-B 系统中，ICAO 过滤是指根据飞行器的 ICAO 24 位地址码对接收到的 ADS-B 报文进行筛选的功能。让 ADS-B 接收器 "只看想看的飞机"，在海量航空广播数据中精准提取有价值的目标信息。

ICAO 地址码是国际民航组织（ICAO）为每架飞行器分配的全球唯一的 24 位二进制标识符（通常以 6 位十六进制表示，如 `7C6DB5`），类似于飞行器的 "身份证号"。每一条 ADS-B 报文中都包含发射方的 ICAO 地址码。

ICAO 过滤的用途：

- **关注特定目标：**在繁忙空域中，ADS-B 接收器可能同时收到大量飞行器的广播信息。通过设置 ICAO 白名单，可以只关注特定飞行器（如某架需要监管的航班），过滤掉无关目标，降低信息过载。
- **排除干扰目标：**通过黑名单方式，过滤掉已知的地面车辆、固定设备等非关注目标的报文。
- **降低系统负载：**在嵌入式或算力有限的机载系统中（如无人机的 DAA 系统），过滤无关报文可以减少数据处理量，提升系统实时性。
- **安全与隐私：**在某些应用场景下，只处理授权或相关飞行器的信息，避免不必要的的数据暴露。

## ③ 飞行器类型过滤



图 5-6 飞行器类型过滤

在 ADS-B 系统中，飞行器类型过滤是指根据 ADS-B 报文中 " 识别与类别 " 消息所携带的发射器类别字段对目标进行筛选。该字段将空中及地面的发射源分为轻型飞机、中型飞机、重型飞机、旋翼机、滑翔机、无人机、地面车辆、应急车辆、障碍物 / 固定点等多种类别。系统用户可根据实际监管需求勾选关注的类别，过滤掉无关目标，从而在复杂的 ADS-B 信号环境中明确 " 该关心什么 " 和 " 可以忽略什么 "，使管理和避让系统的运行更高效、更精准。

### 3) 合规飞行

#### ① 飞行记录 - 低空经济安全治理的数据基石

在低空经济蓬勃发展的背景下，飞行记录系统作为空域管理与飞行安全的核心支撑能力，正在从传统的 " 事后追溯 " 工具演变为 " 全链条安全治理 " 的数据基础设施。

完善的飞行记录体系应当覆盖飞行任务的全生命周期，涵盖任务执行的基本信息（如起降时间、设备型号、执行航线）、飞行过程中的动态参数（如飞行轨迹、高度速度变化、设备状态变化、用户操作指令），以及关键事件节点（如避障触发、低电量返航、通信中断等异常事件）。以大疆司空 2 为例，其飞行记录功能已支持飞行轨迹回放、设备变化信息追溯、飞行关键动作与用户操作的详细记录，并支持将概要信息及详细数据导出，为飞行安全分析与监管合规提供了可审计的数据依据。

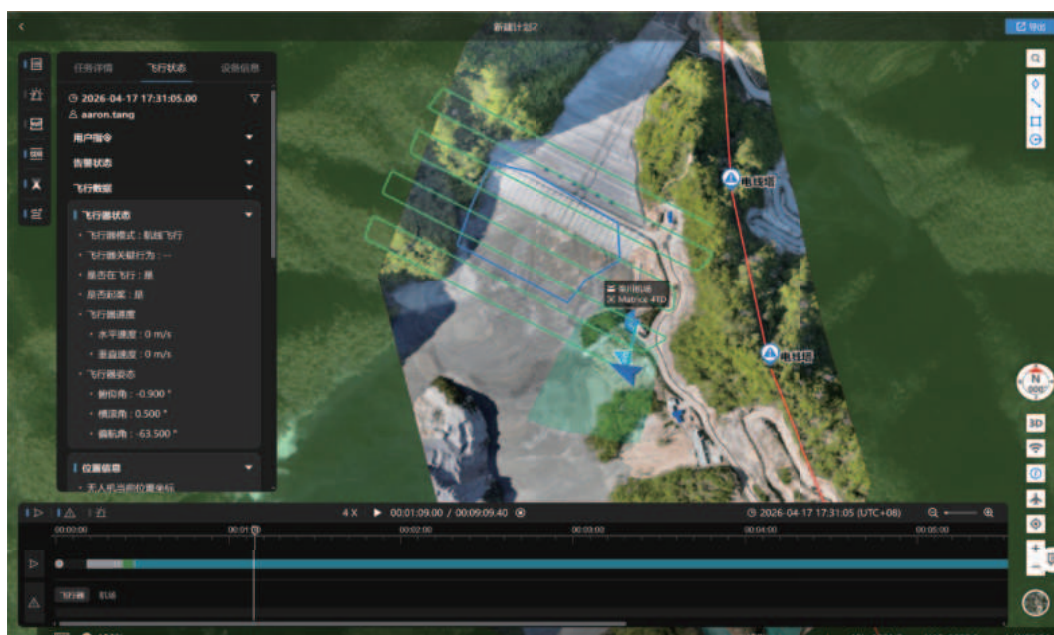


图 5-7 飞行记录回顾

## ②飞行动态数据报送 - 构建低空经济实时监管的关键纽带

随着低空经济从试点探索迈向规模化应用，飞行数据的实时动态报送正在成为低空空域安全管理的关键监管手段。相较于传统航空依赖雷达和管制通信实现的空中交通监管，低空飞行活动具有飞行器数量大、飞行高度低、任务类型多样、运营主体分散等特点，这要求建立一套轻量化、标准化、可扩展的飞行动态数据报送体系，实现对低空飞行活动的“看得见、管得住”。

### 报送内容与技术标准

飞行数据动态报送的核心在于实时上报飞行器的关键运行参数。一套完整的报送数据应包含飞行器唯一标识（序列号及实名登记号）、飞行状态（起飞、飞行中、降落）、时空位置信息（经纬度、高度、时间戳）、运动参数（水平速度、垂直速度、航迹角）、坐标基准（如 WGS-84）以及 Remote ID 广播状态等核心字段。在报送协议层面，业界正逐步形成基于 HTTP Webhook 的标准化接口规范，采用 HMAC-SHA256 等签名机制保障数据传输的安全性与可验证性，确保数据来源的真实可信。

### 报送架构与实现路径

从技术实现来看，飞行数据动态报送主要有三种路径：一是由无人机直接报送，适用于具备独立通信能力的飞行器；二是由制造商云平台代报，即飞行器将数据上传至制造商管理平台后，由平台统一向监管服务商转发；三是通过加装模块或地面采集设备代报。当前行业主流方案以制造商平台代报为主，例如通过无人机管理云平台将飞行动态数据实时推送至第三方空域管理服务商，实现“设备端采集—云平台汇聚—监管端接收”的分层报送架构。这种架构既降低了单机通信的复杂度，又便于在平台侧实现数据校验、格式转换和流量控制。

### 合规驱动与行业实践

从政策层面来看，中国民航局已明确要求在中国大陆运行的无人机需向民航局报送飞行动态数据，这一合规要求正在推动行业加速完善飞行数据报送能力。在产业实践中，领先的无人机云平台已开始提供标准化的空域数据报送接口，运营主体可通过配置第三方服务商提供的 Webhook 地址及认证令牌，实现飞行动态数据的自动化、周期性上报，大幅降低了合规对接的技术门槛。

未来，飞行数据动态报送体系将向以下方向演进：在标准层面，推动形成全国乃至国际统一的低空飞行数据报送协议；在覆盖层面，通过 Remote ID 广播与网络报送的协同互补，实现对低空飞

行活动的全域感知；在应用层面，将报送数据与空域态势感知、冲突预警、流量管理等系统深度融合，构建起低空经济安全运行的实时数字底座。飞行数据动态报送不仅是满足当前监管合规的必要举措，更是支撑低空经济走向大规模、高密度运营的基础性能力建设



图 5-8 飞行数据动态报送

### ③飞行解禁 - 低空经济合规运营的必要环节

#### 限飞机制的安全价值

大疆飞行安全系统（DJI FlySafe）通过内置的地理围栏数据库，对机场净空区、军事管制区、重要设施保护区等敏感空域实施自动限飞保护，是保障公共安全和空域秩序的第一道技术防线。这一机制从设备端主动约束了飞行行为，有效降低了因误操作或信息不对称导致的空域安全风险，是低空经济安全运行体系中不可或缺的基础能力。

#### 合规解禁的必要性

然而，低空经济的多元化应用场景决定了部分合法合规的飞行任务确实需要在限飞区域内开展作业。电力巡检、应急救援、公共安全、基础设施测绘等行业应用，往往恰恰需要在机场周边、城市核心区域或重要设施附近执行飞行任务。在这种情况下，飞行解禁便成为连接安全管控与业务需求的关键桥梁。通过规范化的解禁流程，既保障了合法作业的正常开展，又确保每一次限飞区域内的飞行活动均处于可控、可追溯的管理框架之下。

#### 合规解禁流程的核心要求

飞行解禁必须严格遵循合规流程，任何绕过正规渠道的解禁行为都将带来严重的安全隐患和法律风险。合规的解禁流程通常包括以下关键环节：

一是资质审核。运营主体需持有合法有效的飞行资质和空域使用许可，确保具备在特定区域开展飞行作业的合法权限。

二是申请审批。通过制造商官方渠道提交解禁申请，提供飞行任务说明、作业区域、作业时段、安全预案等必要信息，经审核批准后获取解禁授权。

三是证书同步。获批的限飞解禁证书需通过设备管理平台同步至对应的飞行器或机场设备，确保解禁范围、有效期等参数与审批内容严格一致。在机场自动化作业场景中，还需支持解禁证书的远程一键同步和限飞数据库的在线更新，以适应无人值守运营的管理需求。

四是过程留痕。解禁后的飞行活动应完整记录飞行轨迹、设备状态和操作日志，形成可追溯的飞行档案，满足事后审查和监管要求。

飞行解禁不是对安全管控的放松，而是在严格合规框架下实现安全与效率的平衡。唯有坚持“先审批、后解禁、全留痕”的原则，才能在释放低空经济发展活力的同时，守住空域安全的底线。

#### 4) 空域管理

##### ①集成三方空域管理数据 - 打造低空态势感知的协同网络

低空经济的规模化发展，意味着低空空域将承载越来越密集的飞行活动。无人机、通用航空、城市空中交通等多元飞行主体共享同一空域，使得单一数据源已难以满足空域态势全面感知的需求。集成第三方空域管理数据，构建多源融合的空域信息体系，正在成为保障低空飞行安全的重要方向。

##### 核心价值：从“单机视角”到“全域感知”

传统的无人机运营主要依赖机载传感器（如 DJI AirSense 等 ADS-B 接收系统）感知周边载人飞机的位置与动态。然而，ADS-B 技术存在固有局限——仅能接收装备了 ADS-B 发射机的航空器信号，且在遮挡环境下可能失效。通过集成第三方空域数据服务商的实时信息，可以有效补充机载感知的盲区，将态势感知范围从“飞行器周边数公里”拓展至“整个作业空域”，实现对空域内各类飞行活动更全面的监管。

##### 技术路径：平台级数据融合

在实现方式上，无人机管理平台通过标准化 API 接口接入第三方空域数据服务，获取空域内飞行器的位置、高度、速度、航向等动态信息，并将其与平台自有的设备遥测数据进行融合展示。先

进的平台已能实现多源数据的自动去重——当同一航空器同时被机载 ADS-B 和第三方数据源感知时，系统优先采信精度更高的数据源，避免重复告警。在此基础上，平台可结合碰撞风险模型，对不同距离阈值内的飞行器分级预警，为操作人员提供直观的风险提示与决策支持。

### 应用场景与管理增值

集成三方空域数据的价值不仅体现在实时安全预警上，还可延伸至多个管理层面：在飞行规划阶段，运营方可提前了解作业空域的航空器活动密度，合理安排飞行时段与航线；在日常运营中，管理人员可通过 ICAO 编号、飞行器类型等维度对空域信息进行过滤，聚焦高风险目标，减少信息过载；在安全复盘，融合后的空域态势数据为飞行冲突事件的事后分析提供了更完整的上下文信息。

当前，三方空域数据集成仍处于发展初期，面临数据覆盖区域有限、服务商生态尚不成熟、数据更新频率与精度参差不齐等挑战。未来，随着低空空域管理改革的深入推进，这一领域有望在以下方面取得突破：一是数据源多元化，从 ADS-B 逐步扩展至雷达探测、移动通信定位等更多感知手段；二是服务标准化，推动空域数据接口规范与数据质量标准的统一；三是智能化应用，将空域态势数据与 AI 分析能力结合，实现冲突自动预测与动态航路规划。

构建开放、融合的空域数据生态，是低空经济从“各自为飞”走向“协同共管”的必经之路，也是实现低空空域安全、高效利用的基础性工程。



图 5-9 三方空域管理数据配置

### ②集成 RID 模块

按《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》要求，除规定豁免的情形外，民用无人驾驶航空器应当具备远程识别（Remote ID, RID）功能，在飞行过程中持续广播其身份标识、位置、高度、速度等信息。RID 相当于为每一架无人机赋予“电子身份证”，使地面管理系统能够实时感知空域中“谁在飞、在哪飞、怎么飞”。

大疆机场 3 支持集成 RID 接收模块，使机场在执行常规巡检任务的同时，具备低空空域态势感知能力。机场部署在城市各处后，其集成的 RID 接收模块可以持续监听周边空域中无人机广播的 RID 信号，采集飞行器的身份编码、实时位置、飞行高度、航向速度等信息，并通过网络回传至管理平台。

这一能力在以下场景中具有实际价值：

- **空域态势感知。** 执法单位、空管或低空飞行服务保障部门可以通过部署在城市各处的机场网络，实时汇聚区域内所有广播 RID 信号的无人机信息，在统一的管理平台上形成低空空域的动态态势图。管理人员可以直观掌握当前空域中有多少架无人机在飞行、分布在哪些区域、飞行状态是否正常。
- **非法飞行识别。** 当 RID 接收模块检测到未经报备或未携带合法 RID 信息的无人机出现在管控区域时，系统可以自动生成告警，提示管理人员关注并采取相应措施。这对于重要设施周边（如机场净空区、政府驻地、大型活动场馆）的低空安全防护尤为重要。
- **飞行秩序维护。** 在多架无人机同一区域作业的场景下，RID 信息可以帮助飞行服务系统进行冲突检测和间隔管理，降低空中碰撞风险。随着低空飞行密度的提升，这种基于 RID 的协同管理能力将成为空域安全的基础保障。
- **事后追溯与执法。** RID 数据的持续记录形成了低空飞行的历史轨迹档案。当发生飞行安全事件或违规飞行时，管理部门可以通过回溯 RID 记录快速确定涉事飞行器的身份和飞行轨迹，为事后调查和执法提供数据依据。

## 大疆机场3 RID空域感知能力价值



图 5-10 RID 空域感知能力价值

### 5.3.3 合规认证与第三方审计

#### 1) 合规认证

##### ① ISO 27001 信息安全管理体制认证

大疆司空 2 已通过 ISO 27001 信息安全管理体制认证。该标准是国际上最广泛认可的信息安全管理框架, 涵盖信息安全策略、访问控制、密码学、运营安全、通信安全等 14 个控制域共 114 项控制措施。通过这一认证, 表明司空 2 在系统架构设计、数据存储传输、访问权限管理、安全事件响应等环节已建立起系统化、持续改进的信息安全管理机制, 能够有效识别、评估并控制信息安全风险, 为低空经济场景下的飞行数据、设备信息和用户隐私提供全方位的安全保障。

##### ② ISO 27701 隐私信息管理体制认证

大疆司空 2 已通过 ISO 27701 隐私信息管理体制认证。该标准是 ISO 27001 的扩展, 专注于个人信息保护与隐私管理, 为组织在个人数据的收集、处理、存储、共享和删除等全生命周期环节提供了规范化的管理框架。在低空经济应用场景中, 无人机作业不可避免地涉及地理位置信息、飞

行轨迹数据、影像采集内容等敏感信息的处理。通过这一认证，表明司空 2 在个人信息保护方面已符合国际最高标准，能够有效保障数据主体的隐私权益，满足全球不同地区日益严格的数据隐私合规要求。

### ③等保三级（网络安全等级保护第三级）

大疆司空 2 已通过中国网络安全等级保护第三级（等保三级）认证。等保三级是中国网络安全等级保护制度中针对重要信息系统的安全防护等级，要求系统在遭受安全威胁时具备较强的抵御能力，涵盖物理安全、网络安全、主机安全、应用安全、数据安全及安全管理等多个层面的技术与管理要求。通过这一认证，表明司空 2 的系统安全防护体系已通过国家权威机构的严格测评，在网络边界防护、入侵检测、数据加密、安全审计、灾难恢复等方面均达到国家对重要信息系统的安全要求，为国内低空经济运营主体的数据安全与业务合规提供了坚实的制度性保障。

### ④ NIS2 欧盟网络与信息安全指令合规

大疆司空 2 已通过 NIS2（Network and Information Security Directive 2）合规认证。NIS2 是欧盟于 2023 年正式生效的网络安全指令，相较于前一版本大幅扩展了适用范围并提高了安全要求，涵盖风险管理措施、事件报告义务、供应链安全、业务连续性管理等多个维度。通过这一合规认证，表明司空 2 的网络安全防护能力已达到欧盟对关键基础设施和重要数字服务提供商的严格标准，具备完善的网络威胁防御、安全事件响应和业务连续性保障能力，为在欧洲及全球范围内开展低空经济业务的企业用户提供了值得信赖的合规保障。

## 2) 第三方审计

大疆委托了旧金山的 Kivu 咨询数字安全公司，来独立审核、评估大疆的用户数据保护协议。Kivu 公司会匿名购买大疆无人机，从公开网络下载大疆软件，然后逐字节仔细检查网络数据，来确认用户数据是否真的得到保护。他们的报告，确认了大疆的用户完全控制了他们的数据的搜集、存储、转移过程，而且大疆不会在没有得到授权的情况下获取用户数据。

就像其它科技产品一样，当无人机技术应用于敏感的或安全相关的作业时，理所当然地，需要面对严苛的检查。大疆致力于满足或超过政府和企业设置的安全标准。

# 06 | 展望低空经济的下一站：无人机互联网与智能自主化作业

低空经济正处于从“技术验证”走向“规模化运营”的关键转折期。站在这一节点展望未来，两条演进主线已清晰可见：一是作业模式的升级——从当前的“自动化作业”（按预设程序执行）走向“自主化作业”（基于环境感知和 AI 决策自主应对复杂场景）；二是组织方式的升级——从“单机任务”（人对单台机场下达具体指令）走向“群体编排”（系统面向城市目标自主协调多机协同）。前者让每一架无人机变得更“聪明”，后者让整个无人机网络变得更“智慧”。这两条主线并行推进、相互支撑，共同指向低空经济的远期形态——城市拥有一张能够自主感知、自主决策、自主进化的低空智能网络。

## 6.1 从单机任务到群体智能：无人机网络的演进方向

### 6.1.1 范式转变：从“操控单机”到“编排群体”

理解这一转变，可以参照信息技术领域的一个经典演进路径。早期的计算是“人操作单台计算机”——用户直接管理每一台机器的进程和资源。云计算时代，用户不再关心具体哪台服务器在执行任务，而是向平台提交计算需求，由调度系统自动将任务分配到最合适的资源上。容器编排更进一步——用户只需声明“我需要什么服务、什么质量”，系统自主决定在哪里运行、运行多少实例、如何伸缩和容错。

低空无人机网络的演进遵循相似的逻辑。当前阶段相当于“单机操作”——操作员为每一台机场单独规划航线和任务。未来的 IoD（Internet of Drones）网络将走向“群体编排”——管理者只需提出城市治理目标（例如“保障某区域的全天候安全监管”或“在汛期对全市水库进行高频巡检”），系统自主将目标分解为具体的飞行任务，分配到合适的机场节点，协调多台飞行器的航线、时序和资源，并根据执行情况动态调整。操作员的角色从“任务执行者”转变为“目标制定者”和“结果审核者”。

### 从单机任务到群体编排

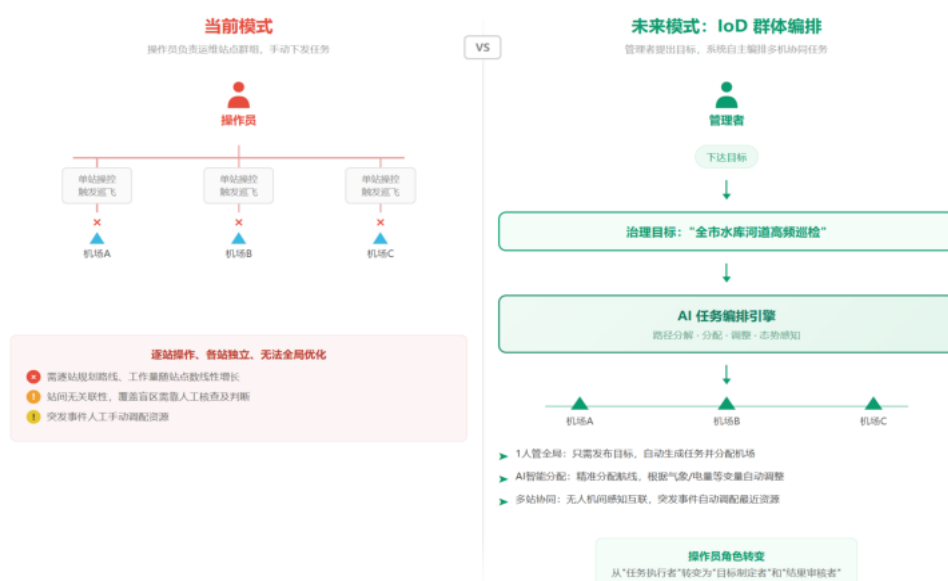


图 6-1 从“操控单机”到“编排群体”示意图

## 6.1.2 五层架构：低空无人机网络的技术演进路径

为系统性地描述这一演进方向，我们提出低空无人机网络的五层架构。每一层对应一组核心能力，自下而上形成从物理执行到城市决策的完整技术栈。以下将每一层与当前单机作业模式进行对比，展示 IoD 网络带来的根本性变化。

架构层级	当前模式（单站单机）	IoD 网络模式（群体协同）
节点能力层	各机场独立运行，站点之间无直接通信，飞行器与机场一对一绑定	机场间（Dock-to-Dock）和飞行器间（Drone-to-Drone）建立协同通信，节点可相互感知、任务可跨站委托
网络调度层	操作员逐站管理，手动分配每台机场的任务时间和航线	所有机场和飞行器纳入统一资源池，系统根据节点状态自动进行负载均衡和动态调配
任务编排层	人工为每台机场单独规划具体航线和拍摄参数	管理者下达任务目标，系统自动分解为多机场协同任务群并生成执行方案
数据融合层	各部门数据分系统存储，跨部门数据难以关联	多源多模态数据在统一时空框架下汇聚、关联和分析，沉淀为可驱动策略优化的城市知识库
城市决策层	管理者直接操控具体的飞行任务参数	管理者提出治理目标和约束条件，系统自主规划执行策略并根据反馈持续优化

表 6-1 IoD 五层架构与当前单机作业模式的对比

## 第一层：节点能力层——分布式感知与协同通信网络

节点能力层是整个架构的物理基础，由分布在城市各处的无人机自动机场及其飞行器构成。每一个机场节点具备自主起降、充电、飞行、多传感器数据采集和环境感知等基础能力。然而，节点能力层的演进重点不仅在于单节点性能的提升，更在于节点之间通信与协同能力的构建。

**机场间通信 (Dock-to-Dock)**。未来的 IoD 网络要求机场节点之间能够直接交换状态信息和任务数据，实现邻近机场的实时感知和协调。当某台机场检测到异常事件但自身飞行器正在充电时，可以通过机场间通信将任务自动转交给最近的可用机场，由其飞行器前往处置。这种 " 机场到机场 " (Dock-to-Dock) 的横向通信能力，是从孤立站点走向网络化协同的基础。

**机机通信 (Drone-to-Drone)**。多架飞行器在同一空域执行协同任务时，需要实时共享位置、航向和任务状态信息，以实现编队飞行、任务接力和冲突避让。飞行器之间的直接通信 (Drone-to-Drone) 减少了对云端中转的依赖，降低了协同控制的时延，是实现群体智能飞行的通信前提。

**空地融合通信**。节点能力层还包括机场与空域管理系统之间的标准化数据交换接口——包括飞行计划上报、空域状态接收、RID 信号采集与广播等，使得每一个机场节点既是作业执行单元，也是低空空域管理网络的感知末梢和信息交互节点。

上云 API、司空 2 Sync 等开放接口是当前阶段节点向上层系统暴露能力的标准化通道。随着 IoD 架构的演进，这些接口将进一步扩展，支持节点间的横向发现、能力协商和任务委托等分布式协同协议。

## 第二层：网络调度层——从独立站点到统一资源池

当机场节点达到一定密度，管理方式需要从 " 逐站管理 " 升级为 " 网络化调度 "。网络调度层将城市中所有机场和飞行器视为统一的资源池，根据任务需求动态分配飞行资源——不再是 " 某台机场执行某条航线 "，而是 " 资源池中最合适的节点执行最紧急的任务 "。

这一层需要解决的核心问题包括：资源感知（实时掌握每台机场和飞行器的状态——在线 / 充电中 / 作业中 / 维护中）、负载均衡（避免部分节点过度使用而其他节点闲置）、跨站协同（相邻

机场之间的覆盖区域衔接和任务接力)、以及动态调配(根据突发事件实时调整资源分配优先级)。司空 2 平台已经具备的多站协同管理和接力任务能力,是这一层能力的早期形态。

### **第三层：任务编排层——从单机航线到多目标任务群**

任务编排层是整个架构中范式转变最为显著的一层。当前模式下,操作员需要为每一台机场单独规划具体的飞行航线——飞哪条路线、在哪些点拍照、什么时间执行。未来的任务编排层将支持"目标驱动的任务自动分解"——管理者提出高层级的任务目标,系统自主将其拆解为多个子任务,并分配到多台机场协同执行。

例如,管理者下达一个"对全市主干道进行交通违停巡查"的任务目标后,任务编排层将自动完成以下工作:根据路网数据将巡查区域分解为若干航段,根据各机场的位置和覆盖范围将航段分配到最近的机场节点,根据各机场飞行器的电量和任务排期确定执行时序,生成每台机场的具体飞行航线和拍摄参数,并在执行过程中根据天气变化、设备异常等实时调整编排方案。操作员只需审核和确认编排结果,不再需要逐站规划航线。

这一层的关键技术突破在于将 AI 从"数据分析端"前移到"任务规划端"——AI 不仅分析飞行器采集回来的数据,还参与决定飞行器"去哪飞、怎么飞、飞多久"。当 AI 能够基于历史巡查数据学习出"哪些区域在什么时段最容易出现违停"并据此动态优化巡查路线和频率时,无人机网络将从"按预设计划执行"进化为"基于数据智能自适应执行"。

### **第四层：数据融合层——跨域时空数据的汇聚与智能分析**

数据融合层负责将分布式节点网络采集的海量多模态数据(可见光影像、红外热像、视频流、AI 检测结果、RID 空域数据等)在统一的时空框架下进行汇聚、关联和智能分析。这一层的核心价值在于"跨域融合"——将原本分散在不同部门、不同系统中的数据在空间和时间维度上关联起来,形成对城市状态的全景理解。

例如,当电力巡检数据、交通监管数据和城管巡查数据被汇聚到同一个时空底座上时,管理者可以在一张地图上同时看到"这条街道的输电线路状态、交通流量、市容环境和空域飞行态势",而不是分别登录四个不同的系统。更重要的是,跨域数据的融合分析可以发现单一数据源无法揭示

的关联性——例如发现某区域的违建增长趋势与该区域的电力负荷异常增长存在时空相关性。数据融合层还承担着知识沉淀的功能。每一次飞行产生的数据，经过分析后形成的模式和规律被持续积累——哪些区域是缺陷高发区，哪些时段是违停高峰，哪些河段是偷排重灾区。这些沉淀下来的知识反馈到任务编排层，驱动巡查策略的持续优化，形成“飞行→数据→知识→策略→更好的飞行”的正向循环。

### **第五层：城市决策层——目标驱动的低空治理智能体**

城市决策层位于架构的最顶层，代表低空无人机网络演进的远期愿景。在这一层，低空无人机网络不再是被动执行人类指令的工具集合，而是一个能够理解城市治理目标、自主规划执行策略、并根据反馈持续优化的“低空治理智能体”。

城市管理者与系统的交互方式将发生根本变化。当前模式是“指令式”——管理者告诉系统“几点钟在哪条航线飞一次”。未来模式是“目标式”——管理者告诉系统“确保辖区内违停数量控制在某一水平以下”或“将输电线路缺陷发现时间从周级缩短至天级”。系统自主决定需要在哪些区域、以什么频率、用什么传感器进行巡查，并根据执行效果动态调整策略。管理者关注的是治理目标的达成度，而非具体的飞行参数。

这一层的实现需要将大语言模型和智能决策系统与低空无人机网络深度融合。管理者可以用自然语言描述治理需求，AI 将其转化为可执行的多机协同任务编排，并在执行过程中实时监控、报告异常、提出优化建议。虽然这一愿景的完全实现仍需时日，但其方向与当前 AI 技术的发展趋势高度一致。

## 6.2 从自动化到自主化：低空经济的智能演进路径

低空经济正站在从“自动化”迈向“自主化”的关键转折点。理解这一跃迁，首先需要厘清两者的本质区别：自动化是按照人类预设的规则和指令执行任务，飞行器是忠实的“执行者”；而自主化则意味着飞行器具备环境感知、态势理解、自主决策和动态适应的能力，成为真正的“智能体”。大疆司空 2 作为一站式无人机管理云平台，正在以其持续演进的产品能力，系统性地铺设从自动化通往自主化的技术阶梯。

### 6.2.1 四个阶段：从规则驱动到完全自主

#### 第一阶段：规则驱动的自动化（已实现）

当前行业已普遍实现的自动化能力，以预设航线的自动执行为核心。司空 2 通过计划库支持立即、单次定时、重复定时和连续执行等多种任务策略，飞行器按照云端下发的航线计划自动起飞、沿航点飞行、执行拍照或录像动作、自动返航降落，全程无需人工操控。平台的自动化 workflow 引擎更进一步，将飞行采集、云端模型重建、量测计算、分析报告生成串联为端到端的闭环流程，实现了从数据采集到成果输出的全链路无人化。断点续飞、连续执行、接力任务、多机安全起降等机制保障了大面积、长周期、多机协同场景下的作业连续性与安全性。

司空 2 在这一阶段所构建的完整自动化作业体系——涵盖多类型航线规划、周期性任务调度、断点续飞保障、自动建模分析——已经成为低空经济规模化运营的基础设施底座。



#### 第二阶段：感知驱动的条件自主（正在发生）

当前正在发生的关键变革，是 AI 感知能力的深度嵌入使飞行器开始具备“条件自主”的能力。司空 2 在这一阶段发挥着核心的平台承载作用。

平台支持的航线智能检测动作，使飞行器在执行预设航线的过程中，能够实时感知环境中的车、船、温度异常等目标，并根据预设的告警条件自主触发拍照、录像、悬停等待、喊话警告、探照灯照明等响应动作——飞行器开始具备“边飞边看边判断”的初级自主能力。多模态目标检测功能则更进一步，用户可通过自然语言描述或图片上传定义检测目标，由视觉语言大模型实时理解并执行检测任务，突破了传统算法依赖固定类别标签的局限。

司空 2 的自动派遣 workflow 实现了从外部告警到无人机自动出动的闭环响应。平台接收到第三方系统推送的告警信息后，可根据告警等级自主判断是否派遣飞行器，自动选择最优执行设备，飞行器飞抵指定坐标后自主执行预编排的环绕录像、喊话警告、全景拍照等动作序列。整个过程中，人类的角色从“直接操控者”转变为“规则设定者和异常干预者”。

这一阶段的本质特征是：司空 2 通过将 AI 感知能力与自动化执行框架深度融合，使飞行器开始具备“感知 - 判断 - 响应”的初级闭环能力，虽然决策空间仍被约束在人类预定义的条件框架内，但已经展现出向自主化演进的清晰路径。

## 2 感知驱动的条件自主 正在发生



 人的角色：规则设定者 + 异常干预者 | 决策空间仍在预定义条件框架内

## 第三阶段：认知驱动的深度自主（正在突破）

大模型技术的引入正在打开通往深度自主的大门，而司空 2 推出的 Copilot 智能无人机操控助手，正是这一突破的标志性产品实践。

Copilot 的出现标志着人机交互范式的根本性转变——从 " 参数化指令 " 进化为 " 意图级对话 "。用户不再需要理解航点坐标、云台角度、变焦倍数等技术参数，只需用自然语言表达任务意图，Copilot 即可自主完成地点解析、路径规划、参数配置和任务编排。更重要的是，Copilot 具备了多步推理和任务分解的能力：面对 " 飞到仓库区域，搜索火灾或烟雾，找到后环绕录像 " 这样的复合指令，系统能够自主规划为 " 飞向目标—开启 VLM 检测—环形搜索扫描—发现目标后云台朝向—开始录像—POI 环绕飞行—停止录像 " 的完整动作链，并在每个关键节点通过位置确认卡片和规划确认机制保障安全可控。

Copilot 还具备自动读取设备参数（限高、限远、返航高度、失控动作等）、智能搜索项目内标注点、自动计算地面高程等环境适配能力，使 AI 系统能够在理解用户意图的同时，充分考虑设备能力边界和环境约束，生成安全可行的执行方案。

这一阶段的突破性意义在于：司空 2 通过 Copilot 将大模型的认知理解能力与无人机操控能力深度融合，使平台从 " 任务管理工具 " 进化为 " 智能作业伙伴 "，大幅降低了无人机操控的技术门槛，让更多非专业人员能够借助 AI 的力量高效完成复杂的低空作业任务。

### 3 认知驱动的深度自主 正在突破



**人的角色：** 意图表达者 + 关键决策确认者 | 从 " 参数化指令 " 进化为 " 意图级对话 "

## 第四阶段：自适应进化的完全自主（未来方向）

展望未来，完全自主化作业将沿着司空 2 已经铺设的技术路径继续深化演进，呈现以下发展方向：

动态环境自适应。飞行器将从当前基于地形障碍物和视觉传感器的路径规划能力，扩展到全任务

维度的自适应决策。面对突发的气象变化、空域冲突或地面环境异变，系统能够实时感知并自主调整飞行策略，无需人工干预即可完成任务重规划。司空 2 当前已具备的智能规划最佳飞行路线、天气阻飞策略、自定义飞行区管理等能力，为未来全维度自适应决策奠定了基础。

跨机协同智能。从司空 2 当前支持的接力任务和多机安全起降，到未来多架飞行器之间实时共享感知信息、动态协商任务分工、自主处理成员故障的集群智能体系。多机操控列表和设备推荐功能已经展现了平台在多机协同调度方面的技术储备，未来将向更深层次的分布式自主协同演进。

持续学习与经验积累。司空 2 平台积累的海量飞行记录、AI 检测结果、变化检测数据和分析报告，将成为训练和优化自主决策模型的宝贵数据资产。云端大模型与边缘推理的协同架构，使得经验知识能够在飞行器群体间共享与传播，形成 "越飞越聪明" 的进化闭环。

端到端任务自主。从任务理解、方案规划、飞行执行、数据采集、实时分析到结果输出的全流程，由 AI 系统端到端自主完成。司空 2 当前的自动化工作流已实现了 "采集 - 建模 - 分析 - 报告" 的全链路自动化，Copilot 进一步补齐了 "意图理解" 和 "实时决策" 的能力拼图，为端到端自主作业的最终实现勾勒出清晰的技术演进路线。

#### 4 自适应进化的完全自主 未来方向



## 6.2.2 云平台的角色跃迁：从工具到智能体

上述四个阶段从飞行器能力的维度刻画了自主化的技术演进，而从云平台自身角色的维度审视，司空 2 正在经历一场同样深刻的身份跃迁，可以概括为三个阶段：

**工具化阶段（当前基座）。**在这一阶段，云平台是用户手中的“数字工具箱”。用户手动规划航线、逐项配置任务参数、实时查看告警信息、人工调度飞行器执行作业。平台的价值在于将分散的硬件能力、数据资产和业务流程集中到统一的管理界面，提供标准化的操作入口和可视化的态势呈现。司空 2 在这一阶段构建的计划库、设备管理、媒体库、标注系统、自动化 workflow 等完整功能矩阵，构成了低空作业数字化管理的基础底座。每一个动作的发起者和决策者仍然是人。

**Copilot 辅助阶段（已发布）。**Copilot 的引入使云平台从被动响应的工具升级为主动协作的伙伴。用户以自然语言描述意图，Copilot 理解语义、推理步骤、编排动作，将“飞到那座桥，检查桥面裂缝”这样的模糊指令转化为精确的飞行计划和检测任务。与此同时，VLM 多模态检测能力让用户得以用自然语言或图片定义检测目标，无需依赖预训练的固定算法模型。在这一阶段，人类仍然是任务的发起者和最终决策者，但不再需要掌握专业的操控技能和参数知识——AI 承担了从“意图”到“指令”之间的认知翻译工作，人机协作的效率和可达性实现了质的飞跃。

**Agent 自主阶段（愿景）。**这是云平台演进的终极形态——从辅助人类的 Copilot 进化为自主执行的 Agent。在这一阶段，用户只需用自然语言描述业务目标，例如“每天巡检这 3 条输电线路，发现缺陷自动生成工单”，AI Agent 即自主完成全部执行环节：解析业务目标为巡检任务、根据线路走向和地形自动编排航线、调度最优飞行器按时起飞、沿途执行 AI 缺陷检测、汇总分析检测结果、自动生成巡检报告并推送至运维工单系统。人类的角色从“操作者”彻底转变为“决策审批者”——只在关键节点进行确认或在异常情况下介入干预。司空 2 当前已具备的自动化 workflow 引擎、自动派遣机制、AI 感知分析能力和 Copilot 认知理解能力，正是通向这一终局的四块关键拼图。从工具到 Copilot 再到 Agent，本质上是人类决策权的渐进让渡与 AI 自主权的有序扩展，而安全可控始终是贯穿整个演进过程的底线原则。

### 6.2.3 产业启示：智能空中作业网络

从自动化到自主化的演进，本质上是将人类的领域知识和决策经验逐步编码为机器可执行的智能。司空 2 作为连接飞行器硬件能力与行业应用需求的核心软件平台，在这一进程中扮演着不可替代的角色——它既是自动化作业的执行中枢，也是 AI 智能的承载平台，更是自主化能力持续进化的数据底座。

对于低空经济的参与者而言，选择具备完整自动化能力且持续向自主化演进的软件平台，意味着不仅能够满足当下的业务需求，更能够在未来的智能化浪潮中占据先发优势。司空 2 从自动化工作流到 AI 智能检测，从多模态大模型到 Copilot 自然语言操控的产品演进路径，清晰地展示了低空经济软件平台从 " 管理工具 " 到 " 智能中枢 " 再到 " 自主决策引擎 " 的进化方向。

低空经济的终极图景，不是更多的无人机在天上飞，而是一个由智能体组成的空中作业网络，自主、安全、高效地服务于人类社会的千行百业。而像司空 2 这样持续进化的智能管理平台，正是驱动这一图景从愿景走向现实的核心引擎。

# 附录

## 附录 A 专业名词与缩略语

缩略语 / 术语	全称 / 释义
ADS-B	广播式自动相关监视 (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)，一种航空器自动广播其位置、速度等信息的监视技术
AES-256	256 位高级加密标准，一种高强度对称加密算法
API	应用程序接口 (Application Programming Interface)，系统间数据交换的标准化接口
CCAR-92	中国民用航空规章第 92 部，《民用无人驾驶航空器运行管理规则》
D-RTK 3	大疆高精度 GNSS 移动基站，提供厘米级定位精度
DAA	探测与避让系统 (Detect And Avoid)，无人机自动感知并规避障碍物的系统
DLM	数据生命周期管理 (Data Lifecycle Management)
eVTOL	电动垂直起降飞行器 (Electric Vertical Take-Off and Landing)，可载人的电动航空器
GB28181	安全防范视频联网系统信息传输、交换、控制技术要求 (国家标准视频协议)
GNSS	全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)，包括北斗、GPS 等
HMAC-SHA256	基于哈希的消息认证码算法，用于数据完整性和身份验证
ICAO	国际民航组织 (International Civil Aviation Organization)
IoD	无人机互联网 (Internet of Drones)，多无人机通过网络互联协同作业的技术体系
IP56	国际防护等级，表示设备防尘和防水级别
ISO 27001	信息安全管理体系国际标准
ISO 27701	隐私信息管理体系国际标准
MQTT	消息队列遥测传输协议 (Message Queuing Telemetry Transport)，轻量级物联网通信协议

缩略语 / 术语	全称 / 释义
MSDK	大疆移动端应用开发工具包 (Mobile SDK)
NIS2	欧盟网络与信息安全指令第二版
OTA	空中下载升级 (Over-The-Air), 通过无线网络远程更新设备固件
PSDK	大疆负载开发工具包 (Payload SDK), 面向第三方硬件负载的开发接口
RID	远程识别 (Remote Identification), 无人机在飞行中持续广播身份信息的功能
RTMP	实时消息传输协议 (Real-Time Messaging Protocol), 用于视频直播流传输
RTSP	实时流传输协议 (Real-Time Streaming Protocol)
RTK	实时动态差分定位 (Real-Time Kinematic), 提供厘米级高精度定位
SDK	软件开发工具包 (Software Development Kit)
SDR	软件定义无线电 (Software Defined Radio)
TC	型号合格证 (Type Certificate), 航空器型号设计通过适航审定后颁发的证书
VLM	视觉语言大模型 (Vision-Language Model), 融合视觉和语言理解能力的 AI 模型
VTOL	垂直起降 (Vertical Take-Off and Landing)
一网统飞	在城市范围内通过统一平台实现多部门、多场景无人机协同飞行与数据共享的运营模式
三维模型	通过倾斜摄影等技术生成的地物三维数字化表达
天空地一体化	卫星遥感 (天) + 无人机巡查 (空) + 地面巡查 (地) 三维立体监测体系
四级田长	耕地保护的省 - 市 - 县 - 乡四级责任人管理体系
图斑举证	对卫星遥感影像中识别出的疑似变化图斑进行实地核查取证的工作
国土调查云	自然资源部用于国土调查数据管理和分发的云平台
断点续飞	任务中断后可从中断点继续执行的飞行功能
无人值守	设备无需人员现场操作即可自动运行的工作模式
机巢 / 机场	无人机自动机场, 集起降、充电、数据回传等功能于一体的地面基础设施

缩略语 / 术语	全称 / 释义
正射影像	经过几何校正的垂直投影航空 / 卫星影像，可用于精确测量和面积计算
点云数据	由激光雷达等传感器采集的三维空间点集合数据
电子围栏	在无人机系统中预设的虚拟地理边界，用于限制飞行范围
等保三级	中国网络安全等级保护制度第三级，针对重要信息系统的安全防护标准
红外热成像	通过检测物体发出的红外辐射来生成温度分布图像的技术
蛙跳作业	沿线路多点起降以扩展覆盖范围的无人机作业方式
适飞空域	无人机无需申请飞行许可即可合法飞行的空域范围
适航审定	对航空器设计和制造进行的安全性审查认证
运行识别	无人机在飞行过程中持续广播身份信息的功能，即 RID
非农化	将耕地转变为非农业建设用途的行为
非粮化	在耕地上种植非粮食作物的行为
飞控系统	飞行器的自动驾驶控制系统
高斯泼溅技术	一种基于 3D 高斯分布的神经渲染技术，用于高质量三维场景重建

## 附录 B 主要引用来源

### 政策法规

《关于深化我国低空空域管理改革的意见》，国务院、中央军委，2010 年  
《国家综合立体交通网规划纲要》，中共中央、国务院，2021 年  
《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》，国务院，2023 年  
《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030 年）》，工信部、科技部、财政部、民航局，2024 年  
《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》（CCAR-92），民航局，2024 年  
《深圳经济特区低空经济产业促进条例》，深圳市人大常委会，2024 年  
《个人信息保护法》，全国人大常委会

### 国家标准

《GB 42590-2023 民用无人驾驶航空器系统安全要求》  
《GB 46750-2025 民用无人驾驶航空器系统运行识别规范》  
《GB 46761-2025 民用无人驾驶航空器实名登记和激活要求》  
《GB 46860-2025 民用无人驾驶航空器唯一产品识别码》

### 行业规划与指导文件

《“十四五”林业草原保护发展规划纲要》，2021 年  
《“十四五”全国草原防灭火规划》，2022 年  
《关于全面加强新形势下森林草原防灭火工作的意见》，中共中央办公厅、国务院办公厅，2023 年  
《关于加强森林草原火灾预警监测体系的实施意见》，国家森林草原防灭火指挥部，2024 年  
《全国森林防火规划（2016-2025 年）》，国家林业局  
《关于推进公路数字化转型加快智慧公路建设发展的意见》（131 号文），交通运输部，2023 年  
《关于支持引导公路水路交通基础设施数字化转型升级的通知》（96 号文），交通运输部，2024 年  
河南省《智慧高速技术指南》，河南省交通运输厅

## 地方政策

《湖南省森林防火若干规定》，湖南省人大常委会，2018 年

《湖南省森林防火规划（2018-2025 年）》，湖南省林业厅等，2018 年

河南省《低空经济发展实施方案》，河南省发改委

---

**联系电话**

400-700-0303

**行业应用邮箱**

enterprise@dji.com

**地址**

深圳市南山区西丽创科路转兴科路 大疆天空之城

**邮编**

518000



在微信上关注我们