

# 低空经济场景应用与通信需求白皮书

2025.4

## 内容摘要

低空经济作为国家战略性新兴产业，依托无人机、eVTOL 等航空器及新一代信息技术，正成为经济增长新引擎。中国将低空经济纳入“十四五”规划，多地出台专项支持措施，目标至 2025 年市场规模达 1.5 万亿元。产业链涵盖上游材料与核心部件、中游航空器制造与保障系统，以及下游多元应用场景。长三角、大湾区及川渝地区通过基础设施建设和场景创新引领产业集聚。无人机在农林植保、物流配送、城市安防、能源巡检等领域显著提升效率；eVTOL 技术推动城市空中交通，缩短通行时间并拓展低空文旅体验。低空信息通信系统需满足高精度导航、稳定通信、智能监管等需求，通感一体化网络实现空域动态管理。未来，5G-A 及 6G 技术将加速低空经济智能化，通感融合与算力协同助力空域资源高效利用，预计 2035 年市场规模突破 3.5 万亿元，成为全球城市空中交通的核心市场，重塑交通与产业生态。

## 目录

内容摘要.....	2
1. 引言.....	5
1.1 背景介绍.....	5
1.2 研究目的及意义.....	6
2. 低空经济发展概述.....	7
2.1 基本概念.....	7
2.2 国内外发展现状.....	7
2.2.1 政策与法规.....	7
2.2.2 产业链条.....	8
2.2.3 国内区域发展格局.....	11
2.3 市场前景.....	13
3. 低空应用场景与需求.....	14
3.1 农林植保.....	14
3.1.1 场景概述.....	14
3.1.2 细分场景案例.....	14
3.1.3 场景需求分析.....	14
3.2 物流配送.....	15
3.2.1 场景概述.....	15
3.2.2 细分场景案例.....	15
3.2.3 场景需求分析.....	16
3.3 城市管理.....	17
3.3.1 场景概述.....	17
3.3.2 细分场景案例.....	17
3.3.3 场景需求分析.....	17
3.4 交通文旅.....	18
3.4.1 场景概述.....	18
3.4.2 细分场景案例.....	19
3.4.3 场景需求分析.....	19
3.5 能源巡检.....	20

3.5.1 场景概述 .....	20
3.5.2 细分场景案例 .....	20
3.5.3 场景需求分析 .....	21
3.6 地理测绘 .....	21
3.6.1 场景概述 .....	22
3.6.2 细分场景案例 .....	22
3.6.3 场景需求分析 .....	22
4. 低空信息通信系统需求分析 .....	23
4.1 低空信息通信系统总体框架 .....	23
4.2 系统技术需求 .....	24
4.2.1 终端技术需求 .....	24
4.2.2 网络层技术需求 .....	26
4.2.3 业务平台技术需求 .....	27
4.2.4 监管平台技术需求 .....	28
5. 总结与展望 .....	29
5.1 总结 .....	29
5.2 展望 .....	30
致 谢 .....	32
参考文献 .....	33

## 1. 引言

### 1.1 背景介绍

从宏观政策来看，党中央、国务院高度重视低空经济发展，明确将其列为重大发展战略。2023 年中央经济工作会议首次将“低空经济”列入战略性新兴产业，随后在 2024 年 3 月的《政府工作报告》中提出“积极打造生物制造、商业航天、低空经济等新增长引擎”。二十届三中全会在《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》中提出要“发展通用航空和低空经济”。2024 年 7 月 30 号，习近平总书记在中共中央政治局就推进现代边海空防建设进行第十六次集体学习上指出，要做好国家空中交通管理工作，促进低空经济健康发展。

从产业基础来看，当前我国低空装备快速崛起，新一代信息技术支撑有力，驶入场景丰富，具备了一定的竞争优势。在低空装备方面，2023 年，我国民用无人机产品交付超过 322 万架，实现产值近 321 亿元，消费级、工业级无人机占全球市场 70%。在信息化基础设施方面，截至 2025 年 2 月，5G 基站总数达 432.5 万个，占移动基站总数的 34.1%，全球占比约 60%。

从产业结构来看，低空经济主要包括低空基础设施、低空飞行制造、低空运营服务、低空飞行保障四大核心板块，多方机构数据显示 2023 年我国低空经济规模已经超过 5000 亿元。且据赛迪顾问分析，当前低空经济规模贡献中飞行器制造与低空运营服务贡献最大，占比近 55%，基础设施与飞行保障仍有待发展。

从应用市场来看，各省均因地制宜明确了产业发展目标，广东计划 2026 年产业规模超 3000 亿元，北京、湖北力争破 1000 亿元，安徽、上海、河南等省份也纷纷制定了超 500 亿元的目标，在此背景下，据中国民航局预测，到 2025 年我国低空经济的市场规模将达到 1.5 万亿元，2035 年有望达到 3.5 万亿元。目前无人机在应急救援、城市安防、电力巡检、国土测绘、农林植保、消防等场景的商业模式已先后落地，物流、农业、文旅等方面的商业化探索更是如火如荼，各地文旅也在积极推动低空经济+旅游的商业项目，将会从商业表演、体验飞行等开展商业运营。

透视低空产业内在关联，由“四张网”、“四项主要技术”组成的低空保障产业串联作用凸显。其中“四张网”分别是以机场、起降点、机库、能源供应点为代表的设施网，以通信、导航、监视、气象、算力能力为代表的空联网，以及以空域管理系统、飞行服务平台、行业系统等为代表的航路网和服务网<sup>[1]</sup>。“四项主要技术”分别为通信、导航、监管、算力。其中，信息通信网络作为低空经济的重要基础设施，是“四张网”、“四项主要技术”的重要载体，低空经济的发展之路是以信息通信网络为基础的数字之路、网络之路。

简言之，无人机与移动通信技术的结合，可以实现设备的监控和管理、航线的规范、效率的提升，促进空域资源的合理利用，从而极大延展无人机的应用领域，具有巨大的经济价值。5G-A 乃至 6G 等新一代信息通信技术的不断发展，将加速推进以网络化、数字化、智能化为特点的低空智能网络建设，助力低空经济迈入新的发展阶段。

## 1.2 研究目的及意义

从物流、交通、应急到植保、测绘，从消费级无人机到工业级无人机，低空应用场景日益丰富，低空经济产业已渗透到百业百态中，提高了人民群众生产生活效率。低空经济的发展依赖于能够满足其独特需求的先进通信技术，应用场景的多样化发展也对信息通信技术提出了更高的要求。本白皮书通过对低空经济场景应用和所对应的通信需求展开研究，探索信息通信技术如何助力低空经济发展。

## 2. 低空经济发展概述

### 2.1 基本概念

低空空域通常指海拔 1000 米以下的空域，是适合无人机、轻型飞机、旋翼机和城市空中交通航空器飞行的高度。在这个空域范围内，航空器相较传统商业航空和卫星轨道具有更多的灵活性，但也面临空域管理、安全管控和技术支撑的挑战。随着无人驾驶技术、物联网（IoT）、人工智能和 5G 通信的发展，低空空域逐渐被视为新的经济增长领域，各国纷纷展开对低空空域的规范化管理和商业开发，探索从该空域中获取经济与社会效益的机会。

低空经济是指围绕低空空域的开发、利用和管理，以无人机、电动垂直起降航空器（eVTOL）、直升飞机等有人驾驶和无人驾驶航空器为主体，开展各类低空飞行活动，辐射带动相关领域融合发展的综合性经济形态。低空经济的发展不仅改变了交通运输的格局，也为现代物流、应急救援、环境监测、城市建设等多领域注入了创新活力。其广泛应用和跨行业的特点使其成为智能城市建设、现代物流、应急救援等领域的创新驱动力。

### 2.2 国内外发展现状

#### 2.2.1 政策与法规

低空经济作为新兴的经济领域，在全球范围内正受到越来越多的关注。在国际上，欧美国家在加快低空经济相关法规的制定，以适应新兴市场的需求。欧盟在 2022 年发布了《无人机战略 2.0》等战略文件，旨在推动无人机服务的多样化和市场的进一步发展，强调无人机在绿色和数字转型中的重要作用，文件提出到 2030 年，预计无人机将在紧急服务、货物运输等领域得到广泛应用，并且欧盟在适航认证、生产标准、飞行管理等领域也进行立法，以适应新形态航空器的运行和使用。美国在低空经济领域也积极布局，相关立法不断推进，在 2022 年通过《先进空中交通协调及领导力法案》，加强先进空中交通生态系统的跨部门协调，为无人机和 eVTOL 等新型航空器的运营提供法律保障。美国联邦航空局（FAA）在 2024 年推出《先进空中交通国家蓝图》，推动无人机和 eVTOL 等新型航空器的适航认证和试点，为低空经济的商业化提供有力支持<sup>[2]</sup>。

我国政府高度重视低空经济的发展，并出台了一系列政策来引导和支持其成长。低空经济作为战略性新兴产业的定位得到明确。自 2021 年起低空经济被写入《国家综合立体交通网规划纲要》，并在 2023 年中央经济工作会议中被列为战略性新兴产业。在 2024 年全国两会期间，“低空经济”首次被写入政府工作报告，强调其作为国民经济新增长引擎的重要性，而后多个省市将低空经济写入政府工作

报告，并发布相关高质量发展行动计划，涉及基础设施建设、应用场景拓展、产业链培育和企业投资项目落地等方面的支持和补助。地方层面，深圳市作为低空经济发展的领跑城市，于 2023 年颁布了《深圳市支持低空经济高质量发展的若干措施》和《深圳经济特区低空经济产业促进条例》，形成了政策法律高度协同的“深圳经验”；北京市也于 2024 年 9 月发布《北京市促进低空经济产业高质量发展行动方案（2024—2027 年）》，提出打造全国低空经济示范区并围绕六大核心领域展开 18 项重点任务，旨在构建技术创新引领、安全管控标杆、全产业链竞争力、高效监管体系、完善基础设施和多元化应用场景的协同发展格局<sup>[3]</sup>。这些措施和条例不仅促进了低空经济的发展，也为其他城市提供了可借鉴的经验。

我国低空经济法律法规体系也已基本形成，这套体系由国家法律、政府法规、部委规章以及地方性法规和规章构成，是从中央到地方的多层次政策体系，聚焦于低空飞行保障体系建设、低空制造业发展、低空飞行应用场景拓展、低空科技创新能力提升和低空经济保障措施，确保了低空产业的健康发展和安全运行。我国早在 1995 年就颁布了《中华人民共和国民用航空法》，并在 2021 年修订后实施。我国的低空法律法规以《中华人民共和国民用航空法》为核心，辅以通用航空领域和无人驾驶航空器领域的法规规章及规范性文件，构成了中国低空经济的法律框架。2024 年 1 月我国开始实施《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》，作为首部无人驾驶航空器的顶层法规，规范无人驾驶航空器飞行以及相关活动，促进产业健康有序发展，维护航空安全、公共安全、国家安全。

总体来看，全球低空经济的政策法规体系正朝着系统化、前瞻性方向演进，着力构建安全与发展并重的制度框架。各国通过政策与法律的双向赋能，实现顶层设计与实践创新深度融合，既以政策引导产业布局和技术突破，又以法律明晰权责边界和安全标准。我国通过中央与地方的协调、大型城市群实现区域协同发展等创新模式，为低空交通网络建设、智能运维体系完善、产业生态培育注入制度动能，推动低空经济在法治化轨道上实现技术突破、模式创新与价值创造的良性循环，为培育新质生产力和重塑未来交通格局提供坚实制度保障。

## 2.2.2 产业链条

低空经济是一个涉及多个领域的综合性经济形态，其产业链条长、应用场景丰富，对国民经济的综合贡献显著。我国的低空经济产业链可以从上游、中游、下游三个环节进行划分，各环节相互协作，推动整个产业的快速发展。

### 1、上游：原材料与核心零部件

低空产业链上游企业在低空经济产业链中扮演着至关重要的角色，它们提供的原材料和核心零部件是低空航空器制造的基础，直接影响到低空经济的发展和航空器的性能。

钢材、铝合金、碳纤维、高分子等原材料决定了航空器的轻量化、强度与耐久性。如碳纤维复合材料是轻量化和强度的完美结合，其密度仅 1.6 克每立方厘米，是钢材的四分之一，拉伸强度高达 5.8 GPa，是钢材的 10-15 倍，eVTOL 飞行器采用碳纤维机身可减重 40%，续航能力大幅提升<sup>[4]</sup>。其代表性企业中复神鹰、吉林化纤等，为多家航空器制造客户提供碳纤维及配套材料，并将低空经济领域业务作为未来的发展重点。

芯片、电池、电机等核心零部件是航空器智能控制域导航系统的核心。以无人机和 eVTOL 为主要形态的低空经济是高度自动化、智能化的体系，芯片支持着无人机和 eVTOL 最核心的飞行管理与控制系统（飞控系统），需支持实时数据处理（如飞行控制算法）和高精度传感器融合，确保导航与避障系统的可靠性，芯片的性能将直接影响航空器的安全性和智能化水平<sup>[5]</sup>。主流芯片企业有联芯科技、华为海思、英伟达、高通等。在电动航空器（如 eVTOL）和无人驾驶航空器的动力系统中，电池的续航能力和安全性至关重要，直接决定了航空器的飞行距离和范围，电池的能量密度是限制其使用场景的关键因素之一，电池续航能力的提升可以显著扩展航空器的使用场景和市场潜力，以亿航 EH216-S eVTOL 为例，最初版本的电池能量密度为 350Wh/kg，续航时间为 25 分钟。在 2024 年 11 月，亿航采用了最新的固态电池技术，能量密度达到 480Wh/kg，使其续航时间显著提升 60%-90%，在单次不间断飞行测试中续航时间达到 48 分钟<sup>[6]</sup>，电池的代表性企业包含宁德新能源、欣旺达等。电机的效率直接影响航空器的能耗和续航能力，其技术水平直接决定了无人驾驶航空器的整体性能，电机效率每提升 1%，电动航空器的续航可增加 2%-3%<sup>[7]</sup>。无人驾驶航空器电机技术正朝着更高效率、更小体积、更大功率密度、更低能耗和更智能化的方向发展，以适应其在多个领域的广泛应用和日益增长的技术要求。

## 2、中游：航空器与配套装备

低空经济产业链的中游企业主要涉及航空器制造和低空飞行保障体系的建设，这些企业是产业链的中枢环节，负责将上游企业的产品与技术转化为航空器，并建立完善的飞行保障体系，确保低空飞行的安全与效率。中游企业的产品主要包括航空器、高端装备与配套产品和低空保障与综合服务。

民用无人驾驶航空器、商用无人驾驶航空器、电动垂直起降飞机（eVTOL）等航空器制造涉及航空器的研发、生产和测试，工艺复杂，但整机环节更具市场占有的优势和影响力。当前，航空器制造企业数量正在持续增长，截止 2024 年 5 月，无人机/eVTOL 航空器制造企业数量达到 250 余家，相比 2023 年新增约 50 家，增速超 25%<sup>[8]</sup>，体现出行业的快速发展和市场对航空器的强劲需求，其中具有代表性龙头企业的如大疆、亿航智能等，新增制造企业如中邮无人机（北京）、广东高域科技等。

航空器的自动驾驶系统、传感器、航电系统等高端装备与配套产品也在不断提升演进，通过感知精度提升、算法效率优化、系统集成度升级等技术创新，以及配套产品的轻量化、智能化演进，从而推动航空器安全性、续航能力与自主化水平显著提高。代表性企业包括峰飞、小鹏等，峰飞航空 eVTOL 搭载矢量推进构型（Tilt-X），结合高精度传感器与智能航电，巡航速度提升至 300 km/h（较传

统直升机提升 50%)<sup>[9]</sup>；小鹏飞行汽车 X3 采用视觉定位+激光雷达融合方案，实现城市低空避障成功率 99.99%，并通过轻量化 MEMS 传感器降低整机重量 15%<sup>[10]</sup>。作为无人机飞行与任务执行的核心部分，航电系统涵盖飞控系统、传感系统、导航系统、任务自动化系统等作用于综合电子显示交互，能够有效基于传感器数据和飞行指令，实现无人机的飞行和任务执行。飞控系统作为当前低空飞行器的核心系统，我国主要企业阵营包含两个阵营，一方面是以军工单位、研究所和高校为背景的传统供应商，如中国航天科技集团等，另一方面是新兴民营公司，如拓工机器人、边界智控等。

空中交通管理、飞行监控、飞行保障服务等，低空航空器需要相应的空中交通管控系统是确保飞行安全的关键，能够实现航空器与空中交通管制系统的兼容性、实时监控和飞行信息共享等。截止 2024 年底，全国有超 10 个省份已具备低空交通管理和飞行服务能力，例如 2023 年湖南长沙市飞行服务站通过民航中南局检查，具备全省低空空域服务保障能力；广东珠海市于 2024 年 6 月上线全国首套低空空交通管理服务云平台，并计划推广至全市全域，其中具有代表性的企业有莱斯信息等，莱斯信息在空管自动化方面有突出表现，市场占有率领先，其自主研发的“天牧”系列低空产品，成功落地全国首个省级军民地三方协同低空飞行服务平台<sup>[11]</sup>，并随着大规模低空航空器的运行，5G 网联技术成为业界的关注重点。伴随 5G 网联技术的发展，中国联通首创基于“网联终端+低空智联网+监管平台”的新型低空监管模式，推出了极目”无人机监管平台，该平台已在黑龙江亚冬会和安阳“国家民用无人驾驶航空试验区”等多地应用，为低空安全保障提供了有力支持。中国电信构建了“1+2+N+M”低空平台能力体系，通过自主研发的“星巡低空服务监管平台”和“星云低空飞行服务平台”，形成覆盖通信、感知、算力的一体化解决方案，成为行业标杆。

### 3、下游：飞行服务和产业融合

低空经济产业链的下游企业主要涉及飞行服务和产业融合应用两大类，具体包括航空器维修、设施维护、延伸服务及飞行培训等飞行服务，以及城市应用、低空文旅、应急救援及低空运输等运营场景。

航空器维修、航空运营、航空租赁以及飞行培训等飞行服务不仅是技术支撑，更是推动低空经济规模化、商业化和社会化发展的核心引擎。航空器维修是低空安全可靠发展的基石，通过技术创新和精细化管理显著降低故障率。例如，西部航空通过实施飞行记录本电子化系统（ELB）和维修工卡电子化，减少了人工记录错误，提升了数据追溯能力，机械千次率均值从 4.82 降至 3.17，降幅达 34.23%<sup>[12]</sup>。航空运营能够有效释放空域价值，麦肯锡公司在《未来空中交通》报告中提到，AI 调度算法结合动态空域分配，可能将城市低空交通密度提升至传统模式的 5 倍<sup>[13]</sup>。航空租赁是激活市场的重要方式，通过租赁（融资租赁或经营租赁），航空公司无需一次性购买飞机，转而以长期租赁形式分摊成本，从而大幅降低初始投资压力，沃飞长空与工银金租的合作中，工银金租作为租赁方购买飞机并出租给运营商，探索“轻资产运营”，具备快速扩大机队规模的优点。此外，飞行培训也是普及社会技

术认识的过程，能够通过定制化培训，加速技术下沉，《日本经济新闻》2022年6月报道提及：日本农协通过无人机植保培训项目，使60岁以上用户占比达37%。

此外，产业融合应用将成为带动低空经济进一步发展的方向，城市应用、低空文旅、应急救援、物流运输等，真正体现了低空经济与各行各业深度融合，有利于实现多领域的协同发展。

低空经济为城市应用如城市交通、城市管理，提供了新的解决方案。例如，eVTOL企业如亿航智能和峰飞航空等，它们在eVTOL领域积极探索，致力于打造安全、高效的电动垂直起降航空器，为城市空中交通提供新的解决方案。在低空文旅方面，岭南文旅等企业在旅游领域积极探索低空旅游的新模式，通过与低空经济产业链的结合，为游客提供独特的旅游体验，促进低空经济与旅游行业的融合发展。无人驾驶航空器在应急救援领域的应用日益广泛，如中国联通通过提供空中基站无人驾驶航空器，在断路、断网、断电情况下实现应急通信覆盖；中国电信在无人驾驶航空器应急救援领域也已形成体系化应用能力，构建了覆盖通信保障、灾情侦察、物资投送等多维度的救援体系。在物流运输方面，美团、智莱科技等企业专注于智能物流设备的研发和生产，为低空物流提供了高效的解决方案，助力低空经济与物流行业的深度融合。

### 2.2.3 国内区域发展格局

随着国家政策的支持、技术的进步和市场需求的不断增长，各省市根据自身的资源、产业基础、科技创新能力和经济发展需求，积极推动低空经济的发展，以下以长三角、大湾区、川渝地区为例进行阐述。

#### 1、长三角：先行先试，打造低空经济高地

长三角地区作为中国经济的重要引擎之一，凭借其雄厚的经济实力和科技创新优势，在低空经济领域展现出了强劲的发展势头。长三角地区不仅拥有完善的交通网络和基础设施，还聚集了大量的高科技企业和科研机构，为低空经济的发展提供了良好的环境。

在长三角地区，苏州是低空经济发展的佼佼者。苏州正全力争创全国低空经济示范区，将低空经济作为发展新质生产力的重要着力点。在《苏州市吴江区低空经济高质量发展三年行动计划（2024-2026年）》的指引下，吴江东太湖度假区（太湖新城）全面按下低空经济发展的“加速键”，积极抢抓机遇，助力吴江打造苏州市低空经济先导区。

在长三角地区，eVTOL市场备受瞩目。eVTOL作为未来空中出行的重要载体，具有电动化、无需跑道、垂直起降等特点，被誉为航空产业的“弯道超车”机会。其中亿航智能作为这一领域中最先涉足载人eVTOL企业取得了大量的技术成果，截至2024年10月，其EH216-S是全球首家集齐“三证”的载人eVTOL，亿航智能也是中国唯一上市的eVTOL主机厂。

除了 eVTOL，长三角地区还在积极推动低空经济在其他领域的应用。例如，在物流配送领域，顺丰无人机配送在长三角地区多条航线实现了常态化运营，为快递配送市场带来了新的变革。在旅游观光领域，长三角地区也推出了多条低空旅游线路，吸引了大量游客前来体验。

此外，长三角地区还在加快构建“空天地一体”基础设施体系。吴江建设启用了一批直升机起降场，为低空文旅、低空物流、联程接驳等场景提供了全方位的支持。例如，东融低空正式开通了吴江至虹桥机场华东地区首条繁忙运输机场联程接驳航线，为苏州、上海以及长三角地区提供高时效的低空交通出行服务。这一航线的开通不仅为低空经济的发展提供了有力支撑，也为其他运输机场开展直升机联程接驳业务提供了示范和参考。

## 2、大湾区：创新引领，打造低空经济新引擎

大湾区凭借独特的地理位置和政策支持，在低空经济领域也展现出了强劲的发展潜力。粤港澳大湾区作为全国乃至全球极具竞争力和发展潜力的区域之一，正在积极应用创新成果，推动低空经济的快速发展。

在大湾区，珠海横琴正在建设 7 类基础设施，涵盖管控中心、数据中心、低空航路图、无人机垂直起降场等，为低空经济的发展提供了坚实的基础。此外，广州南沙在多方支持下成立了第一个全空间无人体系技术创新中心，为低空经济的创新研发提供了有力支撑。

大湾区在低空经济领域的创新不仅体现在基础设施建设上，还体现在应用场景的拓展上。例如，在物流配送领域，大湾区积极探索无人机配送的新模式。美团在深圳建立了多条无人驾驶航空器配送航线实现了常态化运营，为快递配送市场带来了新的变革。在农业植保领域，湾区地区也推出了基于无人驾驶航空器的植保服务，提高了农业生产效率和质量。

此外，大湾区还在积极推动低空经济在应急救援、环境监测等领域的应用。例如，在应急救援领域，利用无人机进行灾情监测和救援物资投放，提高了应急救援的效率和准确性。在环境监测领域，利用无人驾驶航空器进行空气质量监测和水质监测，为环境保护提供了有力的数据支持。

大湾区在推动低空经济发展的过程中，还注重与国际市场的接轨和合作。例如，积极引进国际先进的低空经济技术和设备，推动低空经济产业的国际化发展。

## 3、川渝地区：携手共进，共促低空经济高质量发展

川渝地区作为西部地区的重要经济增长极之一，也在积极抢抓低空经济的发展机遇，低空经济产业链正在不断完善。成都市航空航天产业联盟、西安电子科技大学无人机智能应用联合实验室等机构的成立，为低空经济的创新研发提供了有力支持。同时，川渝地区还在积极推动低空经济在农业植保、电力巡检、物流配送等领域的应用，不断拓展低空经济的市场空间。在农业植保领域，川渝地区利用无人机进行农药喷洒和病虫害监测，提高了农业生产效率和质量。在电力巡检领域，川渝地区利用无

人机进行输电线路巡检和故障排查，提高了电力设施的安全性和可靠性。

此外，川渝地区还在加强区域合作和协同发展。例如，在推动低空经济基础设施建设方面，共同规划了低空航路图和无人驾驶航空器垂直起降场等基础设施，为低空经济的发展提供了有力的支撑。在推动低空经济应用场景拓展方面，川渝地区也加强了合作与交流，共同探索低空经济在应急救援、环境监测等领域的应用。

## 2.3 市场前景

从政策角度来看，低空经济已被提升至国家战略高度，国家和地方先后出台了多项政策鼓励支持其发展。从技术角度来看，多项关键技术的演进和创新为低空经济的快速发展提供了前提。航空器技术的进步为低空经济提供了核心动力，而 5G-A 技术的应用则为低空通信和监测提供了高速、低时延的网络支持。北斗导航、卫星互联网等先进技术的应用，为低空经济提供了精确的定位和通信保障。同时，电动垂直起降航空器（eVTOL）的发展，以其安全性、智能性、经济性和环保性，成为解决城市交通拥堵的有效方案。低空智联网和低空气象基础设施设备的建设，以及低空航行系统的技术演进，为低空经济提供了更加丰富和完善的物质载体。此外，绿色电动和智能化技术的发展，推动了低空经济产业的转型升级和高质量发展。从市场需求角度来看，低空经济覆盖了航空器制造、基础设施建设等多个关键环节，并与多个产业深度融合，如物流配送、农业植保、城市空中交通等，展现出广泛的应用场景和巨大的市场潜力。

综上所述，政策的支持、技术的创新以及市场的广阔需求共同推动了低空经济的快速发展，使其成为一个具有巨大市场空间和发展前景的领域。2023 年我国低空经济规模超过 5000 亿元，根据中国民用航空局预测的数据，到 2025 年，我国低空经济的市场规模预计将达到 1.5 万亿，到 2035 年有望突破 3.5 万亿，远期有望达到 10 万亿市场规模，比肩传统航空工业。此外，摩根士丹利数据显示，到 2040 年，全球城市空中交通市场规模将达到 1 万亿美元，2050 年达到 9 万亿美元市场规模，中国将成为全球最大的城市空中交通市场。

## 3. 低空应用场景与需求

### 3.1 农林植保

#### 3.1.1 场景概述

2024 年，我国植保无人机保有量达 25.1 万架，防治作业面积 26.7 亿亩次，稳居全球首位<sup>[14]</sup>。低空无人机在农业效率、精准农业、农业安全等方面具有显著的提升优势，无人机飞行速度可达 8m/s，喷幅宽达 7m，规模作业能达到每小时 120 亩，效率比常规喷洒高出 50 倍以上<sup>[15]</sup>。同时也能大规模节约作业成本，农业场景下人工作业约需要 150 元/公顷、植保机械需要 750 元/公顷，无人机仅需 120 元/公顷。

#### 3.1.2 细分场景案例

##### 1、农作物监测

新疆维吾尔自治区吐鲁番农业气象试验站联合市气象台首次利用无人机在火焰山南部棉花种植基地开展作物长势监测。利用无人机+多光谱遥感技术，可监测直径 10 公里以内农作物发育期长势、覆盖率和生长环境变化情况，提供准确率高、覆盖面广、代表性强的农业生产影像资料，有助于提升农业气象服务的精细化水平。

##### 2、播种与施肥

云南省红河州蒙自市推广无人机播种施肥技术，技术人员将精选过的种子放进农用无人机的箱子里，无人机飞行高度控制在 2—2.5 米之间，飞行速度约 5 米/秒，10 亩地的播种任务可在 10 分钟内实现。

#### 3.1.3 场景需求分析

农林植保无人机主要以单机作业为主，终端层需搭载摄像头和传感器进行高分辨率图像和多光谱数据的采集，并强调电池容量与定位功能，农业场景往往伴随着飞行距离远、作业面积大、精准农业需求高的特点，对无人机的电池容量、定位能力等方面提出较高要求。通信层需求较为基础，农业无人机主要以飞控数据交互为主，数据量不大，对于终端搭载实时通信模组的需求不高，现有无人机体系的通信方案基本可满足要求。基础设施层对导航能力要求高，农业作业场景对起降设施需求较为宽松，具备起降条件即可，但导航基础设施要求高，用于记录农田的边界和精细的地理特征，确保地块

测量的精准性。平台层需要具备植保数据的信息采集、传输、处理、服务、应用的功能，并生成可视化地图和报告，便于决策者和农民理解和应用。

表 3.1 农林植保场景的基础设施需求

农林植保场景需求	
终端需求	续航能力要求高，作业时长>100min 需要搭载摄像头、传感器
通信需求	实时通信能力要求低，以飞控数据为主 上/下行约 300Kbps，控制端到端时延 20~100ms
飞行、起降需求	飞行高度 10~200m 不等 起降点位置选定较宽松，但起降阶段需实现厘米级定位
定位需求	大多场景需实现<1m 级 特殊场景（如农业土地勘测等）需<0.1m
平台需求	建立农业大数据库，实时收集和自动传输作业相关数据，获取农田实时信息

来源：天翼智库，2025

## 3.2 物流配送

### 3.2.1 场景概述

2022 年，我国物流无人机保有量达 2.6 万架<sup>[16]</sup>。无人机用于省份之间、地市之间的配送经验较为成熟，顺丰、京东等大型物流和电商企业均有布局；城市内部的即时配送则处于试点运行阶段，顺丰、美团等企业积极探索。低空无人机在物流配送的可达性、及时性上具有显著优势。

### 3.2.2 细分场景案例

#### 1、城市物流提效

顺丰通过构建以深圳为中心，覆盖粤港澳大湾区的城市低空无人机物流运输网络，合理规划布局无人机物流配送站点，打造了城市 2 小时高效物流圈，时效性提高 50%以上。具体来讲，是无人机具有速度快（无人机送货在城市环境中的平均速度可达 40-60 公里/时，而传统快递车辆的速度仅为 20-30 公里/时）、环节少的优势，可取代集散中心间、中转站间的传统货物运输，大大提升配送时效性<sup>[17]</sup>。

## 2、边防物资运投

边防地区多位于高山、峡谷、森林等自然屏障之中，这些复杂地形极大地制约了传统运输工具的有效通行。运投无人机系统能够有效突破地理障碍，从最近的补给点、附近县域、通行公路或机场出发，跨越高耸的雪山，将新鲜食材、医疗用品等生活必需品及关键生产物资精准送达目的地。

### 3.2.3 场景需求分析

物流配送场景中无人机往往呈现规模飞行的状态，对于终端、通信、基础设施等方面均有较高的要求。终端层需搭载储物箱、通信模块、摄像头、雷达等设备，方便识别复杂的城市环境。通信层需求较高，尤其是城市物流场景，需要配备实时通信模块，方便飞手在复杂场景下随时接管。基础设施层对起降场的要求较高，物流场景起降点往往围绕城市密集居住区、商业区进行服务，起降场地应具备良好的净空条件，无高大障碍物遮挡，并远离民航航线起飞、降落进近限高区和禁飞区，此外，起降场地还应设置能从空中识别的降落引导标识，并配备视频监控和消防设施设备。平台层则需要整合云计算、大数据、人工智能等技术，实现智能管理和数据分析，提高运营效率。

表 3.2 物流场景的基础设施需求

物流场景需求	
终端需求	续航能力要求>30min 需要搭载外卖专用温控储物箱、5G 通信模块、智能机械手臂、避障传感器、智能温控系统、快速换电模块、实时飞行监控系统等
通信需求	实时通信能力要求高，飞控数据为基础，城市场景还需对飞行区域的图像进行实时回传，以便意外时可人工接管 飞控上/下行约 300Kbps，高清视频约 25Mbps；控制端到端时延 20~100ms
飞行、起降需求	飞行高度 100~120m 不等 起降点位置要求高，尤其是在城市内需要具备良好的净空条件，起降阶段需实现厘米级定位
定位需求	大多场景需实现<1m 级 人工接管的场景需要达到亚米级
平台需求	支持多机协同路径规划、自动化飞行控制和应急管理制度，确保无人机在复杂环境中的安全运行

来源：天翼智库，2025

### 3.3 城市管理

#### 3.3.1 场景概述

城市管理包括安防、应急、交通等各类公共应用需求。2022 年，安防应急无人机市场规模约为 87 亿元，销量达 13 万架<sup>[18]</sup>。低空无人机将利用高分辨率摄像机、热成像仪、激光雷达、多光谱传感器、远程通信模块、自动避障系统、数据记录与存储设备，广泛应用于大型活动安保巡检、应急通信保障、交通事故监控等场景中，提升作业可靠性、精准度。以交通场景为例，无人机通过搭载高清摄像头和传感器，从高空视角实时监控道路交通流量和道路状况，在北京、上海等大城市，无人机的介入使得交通流量监测的准确性提升至 95% 以上，覆盖范围扩大了 300%。

#### 3.3.2 细分场景案例

##### 1、城市安防

“低空+安防”使得安防监控不再局限于地面，而是能够覆盖更广阔的区域，实现全方位、无死角的监控，其应用场景涵盖城市安全巡逻、交通监控、公共安全事件响应、森林防火、水利系统管理、农业消防、巡检、边防等多个领域。上海港陆黄浦中心区建管委首次在既有玻璃幕墙建筑安全巡查中应用无人机检查。利用无人机进行图像识别技术，快速高效检查高坠风险隐患点，检查时间灵活高效，检查更为标准化，确保了市民头顶上的安全。

##### 2、城市应急

2023 年 7 月 29 日起，北京市门头沟区连续遭遇强降雨，部分地区通讯全部中、人员失联，防汛红色一级预警仍然持续。8 月 1 日，中国联通组建应急通信联合团队，前往北京门头沟受灾地区，通过无人机应急通信系统，融合卫星链路，实现 4G 网络接入，为门头沟区妙峰山镇斜河涧村及时提供应急通话和短信服务，保障受灾地区和外界的通信“生命线”畅通<sup>[19]</sup>。

#### 3.3.3 场景需求分析

城市管理应用复杂，对于无人机通信、终端、起降基础设施以及平台的要求也更加多样。终端层需要搭载高光谱、可见光成像、红外热成像、多功能传感器模块、遥感与检测设备 etc 等载荷，完成城市管理各种作业需求。通信层，考虑到城市巡检、及时预警等需求，一般要求配备实时通信模块甚至 AI 处理功能，特别地，面向抢险救灾等场景，还需要进一步配备网络通信设备。基础设施层，考虑到城市人流多、建筑密集、应用复杂，城市起降点需考虑场地的平整度、安全间隔距离、供电和通信条

件等，优选周围环境视野开阔，无高大障碍物遮挡，无强磁干扰，确保无人机正常通信和安全飞行。平台层，城市无人机管理平台需支持无人机航线规划、远程遥控、数据记录、设备管理等多种功能。

**表 3.3 城市管理场景的基础设施需求**

城市管理场景需求	
<b>终端需求</b>	不同场景续航能力需求不一，快速出警类要求>30min；城市消防等较大区域任务要求>4h；大规模灾害响应>36h 需要搭载高分辨率摄像机、热成像仪、激光雷达、多光谱传感器、远程通信模块、自动避障系统、数据记录与存储设备等
<b>通信需求</b>	城市低空飞行器的通信需求要求高带宽和低时延的网络支持 视频回传>6Mbps；控制端到端时延 20~100ms
<b>飞行、起降需求</b>	飞行高度 100m 左右 城市内起降点，位置要求高，起降阶段需实现厘米级定位
<b>定位需求</b>	大多场景需实现<1m 级，高清场景需要实现<0.5m
<b>平台需求</b>	城市 UTM 系统需处理单个或多个无人机在近距离内的飞行，以管理 BVLOS 无人机交通，并具备实时 4D 的冲突避免、优化和紧急事件处理能力

来源：天翼智库，2025

## 3.4 交通文旅

### 3.4.1 场景概述

eVTOL 是城市空中交通（UAM）的核心载具，载人客运场景是 eVTOL 最主要的发展方向。亿航智能已在广州、深圳、贺州等 18 座国内城市开展 eVTOL 试运行，累计完成超过 9300 架次安全运行试飞。峰飞航空于 2024 年 2 月 27 日完成全球首条 eVTOL 跨海跨城空中航线（深圳—珠海）首飞，将通行时间从 3 小时降至 20 分钟，通行成本降低 1 倍，预计 2026 年开启载人飞行<sup>[20]</sup>。载具成熟后，将有利于提高中长途的交通效率，提升文旅工具的多样性。如空中游览环节，可通过低空载具搭载观光设备（全景观光窗、高清摄像系统、座舱互动显示屏）、座舱舒适性装备、应急安全装备、导航与通信设备、自动驾驶与避障设备等，体验独特的高空视角、互动体验、个性化飞行路线，并通过航空器到达地面交通难以到达的景区和自然保护区，旅游资源得以高效利用。

### 3.4.2 细分场景案例

#### 1、空中游览

2024年1月8日，国泰航空与东部通航、蛇口邮轮母港合作打造的“直升机+船+客机”新型的“空海空”多式联运方案已正式落地，融入了直升机的多式联运接驳服务已成功完成了首航，首批旅客从深圳联想后海中心出发前往蛇口邮轮母港，途中以多维度视角欣赏繁华街景和壮美深圳湾，深度感受深圳的独特魅力，飞行4分钟平稳落地<sup>[21]</sup>。

#### 2、城际交通

2021年亿航智能即推出VT-30 eVTOL飞机，专为城际交通设计，适用于城市群间的城际旅行，如粤港澳大湾区、长江三角洲和渤海湾等地区。VT-30具备垂直和滑行起降模式，能够实现长达300公里的航程，并且采用混合升力和推力系统，提高了安全性和稳定性<sup>[22]</sup>。

### 3.4.3 场景需求分析

交通文旅行业需要无人机具备高效的通信能力，以支持实时高清视频回传和多角度查看，满足用户空地无差别通信体验的要求。5G技术可以提供必要的高带宽和低时延通信支持，使得无人机在旅游景区中能够稳定地传输数据。终端层需要集成多种功能，包括图传和数传的通信协议设计、多链路接入调度、载荷智能控制、高精度定位等。这些功能对于实现无人机在景区管理中的安防巡检、远程物资投递等应用至关重要。通信层需要稳定的、高带宽、低时延传输效果。基础设施层面需要起降场地具备平整且具备良好的净空条件，以及供电和通信设施，以满足无人机正常通信和安全飞行的要求。平台层需具备安全防护功能，涵盖业务应用安全、网络安全、设备安全等多个方面，以保障无人机操作的安全性。

表 3.4 交通文旅场景对基础设施的需求

交通文旅场景需求	
终端需求	不同场景续航能力需求不一，文旅类要求>20min；交通类要求>1h 需要集成多种功能，包括图传和数传的通信协议设计、多链路接入调度、载荷智能控制、高精度定位等
通信需求	交通文旅场景与游客、旅客关系密切，且运行环境复杂且对安全性要求极高，通信系统必须具备极低的延迟和高可靠性

	可靠性>99.999%、时延<10ms
飞行、起降需求	飞行高度 300m-600m 左右，未来甚至更高
定位需求	定位精度<0.1m
平台需求	需要处理大量的飞行数据，并根据不同的应用需求提供实时或离线处理服务；城市 UAM 系统还需处理单个或多个无人机在近距离内的飞行，以管理 BVLOS 无人机交通，并具备实时 4D 的冲突避免、优化和紧急事件处理能力

来源：天翼智库，2025

## 3.5 能源巡检

### 3.5.1 场景概述

2022 年，巡检无人机市场规模约为 78 亿元，销量达 7.7 万架<sup>[23]</sup>。低空巡检在电力、热力、燃气、水生产等领域均具有效率高、操作便捷、响应即时等优点。如在空中巡检和管道巡检中，无人机叠加红外摄像机、光电吊舱、气体嗅探仪、红外光谱分析、激光雷达系统、高光谱气体检测器、导航与定位系统、数据传输与存储设备、环境适应装置等，可完成对燃气泄漏检测、管道和设施检查、环境监测与评估、应急响应支持、公众安全警报与信息发布等功能。

### 3.5.2 细分场景案例

#### 1、能源巡检

2025 年 1 月，广西能源集团联合广投管网公司针对广西喀斯特地貌下天然气管网分布广、人工巡检风险高的痛点，启用“空天地一体化”无人机智能巡检系统。该系统覆盖南宁、柳州等核心供气区域，对 1200 公里高压输气管线实施网格化监测。其使用无人机集成高光谱气体检测仪（精度达 ppb 级）、北斗高精度定位模块、激光雷达三维建模系统及 AI 缺陷识别算法，可同步完成泄漏检测、管道腐蚀扫描与地质灾害预警。无人机日均巡检里程达 200 公里，效率为人工巡检的 5 倍，缺陷识别准确率提升至 98%<sup>[24]</sup>。

#### 2、水生产巡检

昌吉市利用无人机实现三屯河流域进行了空中巡检，创新开启“无人机+人工”的水体生态巡查监管新模式，以往人工对两座水库中间的天然河道进行巡检，需要大半天的时间。自从用了这套无人机

智能巡检，只需要 30 分钟左右的时间，就能够完全掌握两座水库之间的天然河道的情况。在巡检过程中，画面能够清晰实时地传输回来，及时发现问题，迅速派人过去进行处理。

### 3.5.3 场景需求分析

能源巡检往往作业区域偏远、环境恶劣，需要满足长时间操作、远距离通信、高速数据传输等要求。终端层需要叠加如高精度红外热成像相机、高倍光学变焦可见光摄像头等各类传感器，并具备实时识别部件及其缺陷、智能感应曝光、高精度 AI 辅助抓拍等功能。通信层需要具备远距离通信能力，对于特殊任务则要配置实时通信模块。基础设施层包括固定机巢和移动巡检车，这些设施能够支持无人机的自动起降和充换电等智能管理，需具备增强的自主性、可扩展性，以应对不同天气条件下的巡检任务。平台层则应支持无人机的全自主飞行巡检方式，无需提前规划巡检航线，全程无需人工干预。平台需集成多种传感器数据，如可见光、红外等，以实现精细化巡检。

**表 3.5 能源巡检场景对基础设施的需求**

能源巡检场景需求	
<b>终端需求</b>	能源巡检类往往作业于复杂环境和长距离任务，对于无人机的续航能力需求较高，至少需达小时级 需要搭载无人机叠加红外摄像机、光电吊舱、气体嗅探仪、红外光谱分析、激光雷达系统、高光谱气体检测器、导航与定位系统、数据传输与存储设备、环境适应装置等
<b>通信需求</b>	特殊场景巡检需要高带宽视频回传 视频回传 > 6Mbps，如高清视频需 > 25Mbps；控制端到端时延 20~100ms
<b>飞行、起降需求</b>	飞行高度 100m 左右 城市内起降点，位置要求高，起降阶段需实现厘米级定位
<b>定位需求</b>	大多场景需实现 < 1m 级，高清场景需要实现 < 0.5m
<b>平台需求</b>	平台需集成多种传感器数据，如可见光、红外等，以实现精细化巡检。

来源：天翼智库，2025

### 3.6 地理测绘

### 3.6.1 场景概述

2022年，国内测绘无人机市场规模已超200亿元，低空无人机测绘广泛用于交通规划、灾害监测、管线铺设、建筑勘测等领域。相较传统方式能够更加有效的测绘高程信息，并提高测绘精度。如无人机搭载高分辨率摄像机、光电吊舱、环境监测传感器、激光雷达设备等，实现每个时段建筑现场的人、机作业进度的获取，降低人力成本，确保工作人员安全，将无人机的拍摄影像建模与BIM施工建模进行对比分析，即时调整施工部署。

### 3.6.2 细分场景案例

#### 1、地貌测量

2023年1月，浙江省绍兴市永胜乡大瓦山规划片区进行无人机航拍测绘，对大瓦山规划片区重点区域的地形、地貌、农房和农田进行整体性三维倾斜摄影测绘，航拍测绘为期20天，团队采用M300无人机搭载五镜头进行仿地飞行，采集数万张高清照片，生产了大瓦山规划片区内重点规划区域约16平方公里地形地貌的三维模型数据和高清正射影像成果，无偿交付金口河区使用，助推金口河区旅游发展，创造的直接经济价值16万元以上。

#### 2、建筑测量

2024年7月6日16时，在深圳第一高楼—平安金融中心高100米，距离玻璃幕墙15米外的地方，一架无人机搭载飞行系统，对准有弧度的外墙，根据预设的巡检航线，自动横移飞行捕获数据，为城市建筑进行“健康体检”。本次推出的城市无人机自动飞行系统—INSKY英空飞叠3.0(以下称为“INSKY”)，从硬件到软件，从数据捕获、分析到可视化管理，打造了一套全流程的城市空中飞巡解决方案<sup>[25]</sup>。

### 3.6.3 场景需求分析

终端层朝着系统化、集成化的方向发展，无人机、传感器、数据处理软件等将集成在一起，形成完整的测绘系统，提高测绘效率和精度。通信层需求较低，可采用将拍摄信息暂时存储在终端中的方式。基础设施层可依据不同的作业环境进行选择，城市中优选固定点位、有电力、通信条件的起降场；偏远地区则可考虑采用移动巡检车等方式；平台层需配备航线规划及数据预处理软件，提供自主航线规划、飞行航拍、二维正射影像、三维模型重建等功能以及在线数据分析和共享。

表 3.6 地理测绘场景对基础设施的需求

地理测绘场景需求	
终端需求	续航能力>30min 需集成多种传感器数据，如可见光、红外等，以实现精细化巡检
通信需求	可通过视频存储方式保存信息 如需实时回传，则图片信息>6Mbps，激光测绘信息>100Mbps；控制端到端时延 20~100ms
飞行、起降需求	飞行高度 100m~200m 依据作业环境，选择地势平坦、无障碍物的开阔地带作为起降点
定位需求	大多场景需实现<1m 级，激光测绘场景需要实现<0.1m
平台需求	低空地理测绘需要快速、实时地获取和处理大量三维地理信息数据。云平台需具备高效的计算资源和存储能力、高并发与弹性扩展能力以及多元数据融合、智能化处理能力等

来源：天翼智库，2025

## 4. 低空信息通信系统需求分析

### 4.1 低空信息通信系统总体框架

低空信息通信系统整体分为终端、网络、业务平台、监管平台四个部分，是由数字化、网联化、智能化的新型航空器及设备，多系统联合立体组网的通导监融合信息基础设施，提供飞行实施至数据处置的全流程一站式服务能力的技术平台，以及集运营监管与业务创新于一体的应用服务构成的综合性系统，实现对低空空域的泛在感知、互联互通和智能监管应用，支撑典型应用场景的稳定高效运行和业务的可运营可持续性发展。

终端设备主要包含航空器、机载终端两大部分。航空器是低空航行活动的主体、低空智能网联体系的智能空中终端，包括各种通航飞机，微、轻、小、中、大型无人机，以及 eVTOL、飞行汽车等多种新型设备。终端设备主要包含航空器、机载终端两大部分。航空器是低空航行活动的主体、低空智能网联体系的智能空中终端，包括各种通航飞机，微、轻、小、中、大型无人机，以及 eVTOL、飞行汽车等多种新型设备。机载终端从功能上则包括机载通信设备、多源导航设备、机载感知与识别设备、智能航行设备等。机载通信设备是空地、空空之间数据通信的设备，是实现远程控制和数据传输的核心设备。低空智联机载多源导航设备是指集成了多种导航传感器和技术的航空器系统，能够采取不同的技术并利用不同的数据来源获取定位信息，以实现空中飞行期间持续的导航准确、可靠和完整。机

载感知与识别设备用于实现对地面的感知设备发送航空器信息，并实现对周边空中交通态势和环境进行感知。

网络是在现有的空、天、地等各类信息通信设施和机场停机坪等物理设施之上，向航空器和各应用系统提供通信、导航、监视、信息保障等多种能力。其将传统民航体系的通信、传感、控制等基础设施与新兴运营商体系的通感导一体、空天地一体的信息基础设施相融合，形成多系统的联合立体组网。它是低空信息通信体系的关键支撑，确保低空飞行活动的安全、高效和有序开展。

业务平台以数据能力促进低空数智业务创新的重要引擎，提供高效智能的飞行服务、空地/空空协同的自主飞行、以及泛在可信的数据与信息服务，为实现物流投送、交通出行、应急管理、农林植保、航空测绘、观光旅游等业务场景提供支持。

监管平台是数据驱动的低空管控大脑，以数据采集、和智能分析处理等方式，赋能实现飞行规则制定、飞行监控、通信调度等，提供灵活精细的低空空域管理、开放融合的通导监保障，以及空天地协同的安全监管。



图 1 低空信息通信系统体系架构

## 4.2 系统技术需求

### 4.2.1 终端技术需求

#### 1、航空器

根据我国 2023 年 6 月颁布的国令第 761 号《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》，其规定民用无人驾驶航空器系统生产者应当按照国务院工业和信息化主管部门的规定为其生产的无人驾驶航空器设置唯一产品识别码，以便向无人驾驶航空器一体化综合监管服务平台报送识别信息。

#### 2、机载终端

无人机机载终端是无人机系统的关键组成部分，它负责数据的采集、处理、传输和控制，对无人

机的性能和任务完成至关重要。以下是对无人机机载终端的技术需求：

1) 机载终端需要支持稳定、高效的无线通信，配置蜂窝通信（4/5G）、WiFi、433 等通信模组，以确保无人机与手持设备或云端服务器之间的数据传输稳定、延迟低。由于蜂窝通信使用授权频率，其受到的干扰较少，同时考虑到 WiFi、433 等点对点无线通信方式覆盖面积受限，无法做到大范围的连续覆盖，故机载终端通信优选蜂窝通信模式。对于需要在无蜂窝网络覆盖的区域执行飞行任务的，还需要配置卫星通信模组，包括高轨通信卫星和低轨星座等。同时，为了保证通信的稳定性，机载终端还应具备诸如双卡双待、主备通信链路自动切换等能力。

对于微型、轻型、小型无人驾驶航空器在飞行过程中广播式自动发送识别信息。国标 GB42590-2023 《民用无人驾驶航空器系统安全要求》附录中规定了基于 Wi-Fi 信标的自动识别信息，如表 4.1 所示。

表 4.1 Wi-Fi (Wi-Fi Beacon) 信标帧格式<sup>[26]</sup>

字段	长度	取值	描述
Element ID	1	221 (16 进制 0xDD)	Wi-Fi 信标帧中 VendorSpecific 元素的取值为 221
Len	1	消息长度(字节)	从 OUCID 字段开始到远程识别消息所有字段的总长度, 单位字节
OU//CID	3	16387004 (16 进制 0xFA0BBC)	OU//CID 固定取值 0xFA0BBC
Vend Type	1	13 (16 进制 0x0D)	周定取值 0x0D
Message Counter	1	0~255 (16 进制 0x00~0xFF)	消息计数器, 取值范围为 0~255, 每发送一条报文消息则加 1, 当计数值达到 255 时, 则从 0 开始继续循环计数
远程识别 Message	3+Nx25	广播式远程识别的报文消息内容	报文消息的具体内容

2) 机载终端应具备与所承载业务相对应的数据处理能力。这包括高速、低功耗的处理器，足够的存储器和各种外围设备，如传感器接口、图像和视频编解码器、GPS 模块等。

3) 对于提供定位功能的机载终端，除了配置 GPS/北斗等定位芯片外，需要根据应用场景的不同，支持卫惯组合导航定位，支持 RTK、RTD 等多种定位模式，提供厘米级、亚米级和米级精度定位服务。

4) 机载终端还应具备良好的兼容性和扩展性，以便与感知与识别设备进行数据交换。它首先需要能够适应不同型号的航空器，从而获得物理供电、取得航空器的飞行参数等。同时需要支持多种传感

器和载荷的接入，如地面观测和遥感信息的接入、指挥控制终端的接入等。

5) 机载终端的设计和制造应符合相关的安全标准和规定及防水、防尘等功能，确保在复杂环境下的稳定性和可靠性。

## 4.2.2 网络层技术需求

低空智能网联的网络层主要功能是通过有线\无线通信技术将航空器与地面控制中心连接起来，实现无人机的自主飞行、数据传输和远程监控等功能。网络层涵盖了通信网、感知网、导航定位网和算力网等多个方面，每个方面都有其独特的技术要求。

### 1、通信网

通信网需实现从地面至 1000 米以下的立体覆盖，以满足低空飞行器的通信需求。针对广域高密度飞行场景，如低空物流运输和城市治理等，通信网需利用 5G 网络的广覆盖、大连接和低时延特性，确保大规模飞行器的稳定接入。

低空通信业务对通信速率和带宽的需求因场景而异。高清视频回传、8K 直播等业务对上行速率要求极高，其中 8K 直播需上行速率 100Mbps，4K 直播需 25Mbps。而控制链路的下行速率通常要求在 300kbps 左右，载人飞行等特殊场景则对下行速率和时延要求更为严格。低空通信网需根据业务需求灵活配置带宽资源，以满足不同场景下的数据传输需求。

通信网的时延要求主要分为控制链路和业务链路两个方面。控制链路的端到端时延需在 100ms 以下，以确保飞行器的实时控制；而载人飞行场景则要求控制时延进一步降低至 20ms 以内。业务链路的端到端时延需控制在 500ms 以下，以保障飞行器状态数据和视频数据的流畅传输。低时延的通信能力是低空飞行安全的关键保障。

此外，通信网需要具备高可靠性，确保在复杂环境下（如城市峡谷、山区等）仍能稳定传输数据。

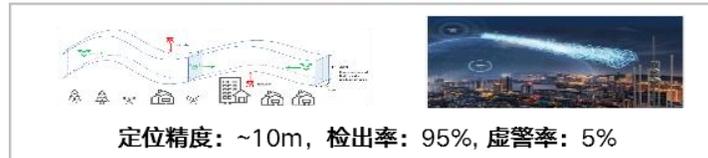
### 2、感知网

感知网主要负责对低空飞行环境进行实时感知，将传统雷达、光电等手段与 5G-A、TDOA 新技术相结合，针对 300 米以下的空域，获取包括位置、速度、高度、航向等在内的多维度信息。针对不同的使用场景，感知要求如图 2 所示。

### 场景1：无人机非法入侵告警



### 场景2：无人机航线保护



### 场景3：无人机跟踪导航

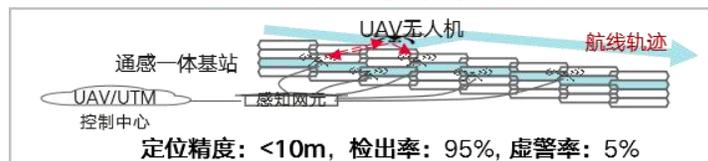


图 2 不同场景下感知网技术要求

## 3、导航定位网

导航定位网为航空器提供精确的导航和定位服务。需要基于 GPS 和北斗系统提供基本的定位服务，同时对于城市核心区域等密集建筑区域的信号遮挡和反射问题导致的定位精度下降等问题，需要建立以北斗 RTK 为核心功能，融合视觉导航的多源导航时空基准统一进行融合定位，提供高精度的导航定位。

## 4、算力网

算力网主要负责处理和分析从感知网获取的大量数据。低空算力网以算网协同为重点，可通过将计算任务下沉到网络边缘，减少数据传输的时延，可以确保低空业务的高效稳定运行。

为了实现算力资源的高效利用，需要采用智能调度算法和技术，根据任务的优先级、实时性和安全性等因素，在云、网、边、端之间调度计算资源、存储资源、网络资源等。同时，还需要建立完善的监控和评估体系，对低空算力资源池的运行状态进行实时监控，及时发现和解决问题，确保资源池的稳定运行。

### 4.2.3 业务平台技术需求

低空业务平台的技术要求是确保低空飞行活动安全、高效、有序进行的关键。以下是对这些技术要求的详细描述：

## 1、飞行控制

低空业务平台的飞行控制系统需要具备高度的自动化和智能化，以实现飞行器的精确控制。这包括起飞、降落、航线规划等关键飞行阶段的自动化操作。飞行控制系统必须能够适应不同的飞行环境和条件，包括各种天气状况和复杂的空域环境。此外，系统还应具备自动避障、故障检测和应急处理能力，确保飞行器在遇到突发情况时能够安全处置。

## 2、视频回传

平台需要能够接收并处理飞行器传回的视频数据，这不仅要求有高质量的视频传输技术，还要有强大的数据处理和存储能力。视频回传技术对于实时监控和事后分析至关重要，它可以帮助地面控制人员了解飞行器周围环境，做出及时决策，同时也为飞行安全提供重要保障。视频数据的实时性和清晰度是衡量视频回传技术的关键指标。

## 3、数据分析

低空业务平台应具备对收集到的飞行数据进行深度分析的能力。这些数据包括飞行轨迹、速度、高度、能耗等，通过分析这些数据，可以优化飞行效率，预测和预防潜在的故障，提升飞行安全性。数据分析还可以帮助改进飞行器设计，提供个性化的飞行服务，增强用户体验。数据分析技术的有效性直接影响到飞行服务的质量和飞行器的性能。

### 4.2.4 监管平台技术需求

监管平台为政府及其他管理机构，提供对飞行活动安全性、合规性进行监管的能力，典型用户代表为各地政府(含公安、应急、交通等部门)。监管平台是一个复杂的系统，它涉及到空域管理、计划审批、低空感知和飞行监控等多个方面。

#### 1、身份认证

在低空监管平台中，身份认证是一个至关重要的环节，它确保了所有参与飞行活动的个体和设备都经过了严格的验证，从而保障了空域的安全和飞行的合法性。通过数字证书管理和生物识别技术的集成，可以建立一个强大而灵活的身份认证系统，以应对不断变化的安全挑战。通过引入数字证书管理，实现飞行员和飞行器的身份验证。集成生物识别技术，如指纹扫描和面部识别，以增强身份认证的安全性。

## 2、空域管理

空域管理是低空监管平台的基础，通过高精度的地图和地理信息系统（GIS）来精确划分和管理空域。空域管理具体包括对空域的实时监控，以及自动化的空域资源分配系统，以避免飞行冲突。此外还需要具备实时数据更新机制，确保所有空域信息的准确性。整合来自不同传感器和感知系统的数据，以提供全面的空域态势感知，并利用历史数据和机器学习模型预测空域态势的变化。引入动态扇区划分机制，以实现管制扇区的动态规划。

## 3、计划审批

计划审批主要分为飞行计划申报与管控部门审批两个方面。用户通过在线申请，可以提交飞行计划并申请批准。设立多级审批流程，以适应不同复杂性的飞行计划。可引入智能审批机制，根据飞行计划的复杂性和空域状况自动进行审批。支持合规性检查，以确保飞行计划符合所有法规和安全标准。

## 4、低空感知

低空感知是实现低空飞行器全面监控的关键。这需要支持对多种传感器，如雷达、摄像头和红外传感器的数据进行实时处理和分析。通过使用人工智能技术，可以实现模式识别和异常检测，提高感知的准确性。

## 5、飞行监控

飞行监控对于低空安全管理起着至关重要的作用。通过连接高精度定位系统，如GPS、北斗等，以确保飞行器位置的精确监控。利用先进的监视技术，如雷达、卫星跟踪和自动相关监视（ADS-B）系统，实现对低空飞行器的实时监控。通过建立异常检测算法，自动识别异常飞行行为，提高对黑飞的探测能力。通过实时数据传输技术确保飞行器状态信息能够实时传输到监控中心。此外，还要支持飞行轨迹的记录和分析，通过记录飞行器的飞行路径，包括经度、纬度、高度、速度和时间等关键数据，实现追踪飞机位置、飞行效率分析和预测飞行时间。

# 5. 总结与展望

## 5.1 总结

低空经济作为中国政府高度重视的战略性新兴产业，正迅速崛起并成为国家经济增长的新引擎。在政策的推动下，市场发展迅猛，低空装备制造、信息化基础设施建设以及应用场景的拓展均取得了显著进展。无人机在农林植保、物流配送、城市管理等多个领域的商业模式已经落地，显示出强大的

市场潜力和竞争优势。

随着低空经济产业链的不断完善，从上游的原材料与核心零部件到中游的航空器与配套装备，再到下游的飞行服务和产业融合，整个产业链的各个环节都在相互协作，推动着产业的快速发展。特别是在长三角、大湾区和川渝地区等区域，低空经济的发展呈现出多样化的格局，各地区根据自身优势，纷纷积极推动低空经济的发展，形成了各自的发展特色和优势。

在具体的场景应用中，低空经济正展现出其广泛的发展前景。农林植保、物流配送、城市管理、交通文旅、能源巡检、地理测绘以及城市空中交通（UAM）等多个场景中，无人机技术的应用不仅提高了作业效率，降低了成本，而且在应急救援、环境监测等方面发挥了重要作用，为社会提供了创新的解决方案。

低空信息通信系统作为低空经济安全、高效运行的关键支撑，其技术需求涵盖了终端、网络、业务平台和监管平台四个部分。从航空器的通信、导航、监视、信息保障等能力，到机载终端的数据处理、定位、兼容性和扩展性，再到网络层的通信网、感知网、导航定位网和算力网的建设和优化，为实现低空经济健康发展奠定了基础。

## 5.2 展望

从应用场景来看，低空经济在农业、物流、环境监测、城市交通等领域的应用需求不断增长，随着无人机技术的普及、飞行控制技术的进步以及空域管理政策的放宽，低空经济逐渐从军事侦察和监测领域扩展到农业、物流、环境监测、城市交通等多个领域。同时，随着城市化进程的加快和交通拥堵问题的日益严重，消费者对低空出行的需求不断增加，eVTOL 航空器作为未来城市空中交通的重要工具，其商业化进程正在加速，有望引领未来城市空中交通的发展。

从技术发展来看，伴随 5G-A（5G-Advanced）技术的应用，低空物联网的建设和发展将进一步推动低空经济的智能化和高效化。作为 5G 网络的演进和增强版本，5G-A 不仅继承了 5G 高速率、低时延、大连接等核心优势，还在基础上增加了通感融合、天地一体化、网络智能化等优势，成为驱动无人机、低空飞航空器乃至整个低空监管生态系统智能化、安全化、高效化的核心动能。其中，5G-A 技术支持天地一体化的通信网络构建，能够将地面通信网络与卫星通信网络相融合，从而提供更加广泛和稳定的覆盖。5G-A 技术通过引入人工智能和大数据技术，实现了网络的智能化管理和优化。这不仅可以提高网络的运行效率，还可以降低运维成本，为低空产业提供更加可靠和高效的通信服务。最为关键的是，5G-A 技术通过将通信与感知能力相结合，实现了对环境的智能感知和数据的实时传输，可以帮助航空器实现更加精准的导航和避障。随着 5G 网络的不断演进，5G-A 正式纳入通感一体技术，移动通信网络系统将同时具备通信及探测感知的能力。5G-A 通信感知与 AI 技术的融合将会极大地赋能低空业务的智能化发展。

低空经济作为全球前瞻布局的产业，从技术层面得益于数字技术、5G 通信、人工智能等新兴技术的蓬勃发展，从市场前景来看，拥有万亿级广阔市场空间，低空经济已成为推动经济社会创新发展的新引擎，将会成为辐射带动相关领域融合发展的综合性经济形态，在世界范围内迸发出巨大潜力和强大动能。

## 致 谢

在《低空经济场景应用与通信需求白皮书》的编撰与发布进程中，各单位积极参与并提供帮助，推动我们前行。在此，我们致以最崇高的敬意与诚挚的感谢。特别鸣谢未来移动通信论坛的组织与督促、数字低空工作组中各位专家的指导与帮助，更要感谢中国联通对于信息通信系统的深入分析，中国电信对于应用场景与需求的深度挖掘，以及白皮书编撰团队从理论梳理到案例分析的调研与打磨。各方携手共进，成就了这本白皮书，我们定不负所望，持续为低空领域发展添砖加瓦。

### 核心贡献单位：

中国联合网络有限公司研究院：周晶、侯赛男、王彬

中国电信股份有限公司研究院：韩琳、谢林翰、秦旭、施宇

高通无线通信技术（中国）有限公司：曹一卿

是德科技（中国）有限公司：张坤利

## 参考文献

- [1] 低空产业联盟. 低空智能网联体系参考架构. [R/OL]. (2024-11-11) [2025-02-27]. [https://www.miit-eidc.org.cn/art/2024/11/11/art\\_1644\\_11070.html](https://www.miit-eidc.org.cn/art/2024/11/11/art_1644_11070.html).
- [2] 低空观察网. 国外低空经济产业政策支持及发展现状 [EB/OL]. (2025-02-04) [2025-02-27]. <https://mp.weixin.qq.com/s/ld8fPmQeIHmIo68IPKYk7Q>.
- [3] 北京市经济和信息化局. 一图读懂:《北京市促进低空经济产业高质量发展行动方案(2024-2027年)》[EB/OL]. (2024-09-30) [2025-02-27]. [https://www.beijing.gov.cn/zhengce/zcjd/202409/t20240930\\_3910712.html](https://www.beijing.gov.cn/zhengce/zcjd/202409/t20240930_3910712.html)
- [4] 邱世梁, 王华君, 吴天佑. 碳纤维复材: 低空经济“起飞”的关键材料[R/OL]. (2024-08-05) [2025-02-27]. 浙商证券. <https://www.vzkoo.com/document/2024080741fb19fc0a67b4e66a7a34b1.html>
- [5] 许子皓. 低空经济如何解决“芯”问题? | 低空经济发展五问[EB/OL]. (2024-07-19) [2025-02-27]. 中国电子报. <https://news.qq.com/rain/a/20240719A04F1W00#>
- [6] 李海燕. 全球首次! 亿航智能 EH216-S 实现 eVTOL 固态电池飞行试验[EB/OL]. (2024-11-14) [2025-02-27]. 中国民航网. [http://www.caacnews.com.cn/1/6/202411/t20241114\\_1382776.html](http://www.caacnews.com.cn/1/6/202411/t20241114_1382776.html)
- [7] 晨曦. 探索 eVTOL 电机技术: 未来空中出行的核心驱动力 (2025-01-14) [2025-02-27]. eVTOL 产业通. <https://mp.weixin.qq.com/s/ik3pbETAL0fh9XKbEMH1mA>
- [8] 航空产业网. 发布 | 中国无人机/eVTOL 制造企业分布图 (2024 版) [EB/OL] (2024-09-27) [2025-02-27]. [https://mp.weixin.qq.com/s/mKSLfF\\_aTDAfbynBU121Ew](https://mp.weixin.qq.com/s/mKSLfF_aTDAfbynBU121Ew)
- [9] 人民交通网. 峰飞航空科技自主研发 eVTOL 航空器盛世龙[EB/OL]. (2025-02-17) [2025-02-27]. <http://dkjj.rmjtxw.com/anlizhanbo/124.html>
- [10] HMI 智能座舱设计. 智能驾驶专题系列—小鹏汽车智驾技术发展深度分析[EB/OL]. (2025-02-24) [2025-02-27]. [https://mp.weixin.qq.com/s/HEExzWpJi6u0A6w13d0e\\_w](https://mp.weixin.qq.com/s/HEExzWpJi6u0A6w13d0e_w)
- [11] 莱斯信息. 低空智变! 莱斯信息“天牧”×DeepSeek 开启低空管理新纪元[EB/OL] (2025-02-19) [2025-02-27]. [https://mp.weixin.qq.com/s/K\\_z2k0\\_LLnAlG8ZgwHkivw](https://mp.weixin.qq.com/s/K_z2k0_LLnAlG8ZgwHkivw)
- [12] 西部航空. 西部航空维修系统: 以技术创新推动降本创效新实践[EB/OL]. (2024-12-18) [2025-02-27]. 中国民用航空网. <https://www.ccaonline.cn/weixiu/jwhot/1015230.html>
- [13] McKinsey & Company, “Advanced Air Mobility: Opportunities and Challenges” (2022)

- [14] 农民日报. 全国植保无人飞机保有量突破 25 万架——航空植保为农业插上科技“羽翼” [EB/OL]. (2024-11-27) [2025-02-27]. 中国农业大学新闻网. <https://news.cau.edu.cn/mtndnew/d26d46e9fcf946ad9174171b9bad178a.htm>
- [15] 我享飞官网. 无人机植保课程 [EB/OL]. [2025-02-27]. <http://www.szyunqi.com/index.php?m=home&c=View&a=index&aid=117>
- [16] 北京融协. 低空经济场景矩阵与发展现状 [EB/OL]. (2024-12-09) [2025-02-27]. <https://mp.weixin.qq.com/s/J83KNVwdqy7maIJXSSaBew>
- [17] 宝安区政府. 全国首个“空地协同”智慧物流运营中心正式启用 [EB/OL]. (2025-02-17) [2025-02-27]. 深圳政府在线. [https://www.sz.gov.cn/cn/xxgk/zfxxgj/gqdt/content/post\\_12005447.html](https://www.sz.gov.cn/cn/xxgk/zfxxgj/gqdt/content/post_12005447.html)
- [18] 中国航空学会. 2024 低空经济场景白皮书 [R/OL]. (2024-10-31) [2025-02-27]. <http://www.claei.com.cn/files/file/20241031/1730362769844498.pdf>.
- [19] 中国青年报. 应急通信无人机助京津冀洪灾现场恢复通讯 [EB/OL]. (2023-08-03) [2025-02-27]. 腾讯网. <https://news.qq.com/rain/a/20230803A024Z800>
- [20] 问舟. 全球首条 eVTOL 跨海跨城空中航线完成首飞: 深圳到珠海 20 分钟, 预计 2026 年开启载人 [EB/OL]. (2024-02-27) [2025-02-27]. IT 之家. <https://www.ithome.com/0/752/417.htm>
- [21] 江西网络广播电视台. 国泰航空直升机跨境多式联运接驳通航, 为大湾区国际出行提速 [EB/OL]. (2024-01-16) [2025-02-27]. 中国日报中文网. <https://cn.chinadaily.com.cn/a/202401/16/WS65a64501a310af3247ffc2bb.html>
- [22] 罗湖区委宣传部. 罗湖“低空经济十条”正式发布 “梧桐云巴”山顶线正式开通 [EB/OL]. (2024-01-27) [2025-02-27]. 深圳市罗湖区人民政府网. [https://www.szlh.gov.cn/tpxw/content/post\\_11125048.html](https://www.szlh.gov.cn/tpxw/content/post_11125048.html)
- [23] 应瑛. 低空经济系列报告: 概述低空经济, 新产业启航 [R/OL]. (2024-03-16) [2025-02-27]. 中信建投证券研究. <https://mp.weixin.qq.com/s/lsoz-pYLCKBxPepoiYhWlw>
- [24] 广投集团. 广西能源集团: 加快“人工智能+能源”应用场景建设 [EB/OL]. (2025-02-26) [2025-02-27]. 广西壮族自治区人民政府国有资产监督管理委员会网站. <http://gzw.gxzf.gov.cn/xwzx/gzdt/t19662327.shtml>
- [25] 南方都市报. 无人机飞巡“体检”深圳第一高楼, 效率增十倍, 成本减七成 [EB/OL]. (2024-07-26) [2025-02-27]. 百家号. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1803838466435676063>
- [26] 国家市场监督管理总局. 民用无人驾驶航空器系统安全要求: GB 42590-2023 [S/OL]. (2023-05-23) [2025-02-27]. <https://www.samr.gov.cn/>.