

中兴通讯技术

简讯

ZTE TECHNOLOGIES | 第30卷 第1/2期 · 2026年01月

视点

04 安全、规模、成本效益是低空经济集群发展的关键考量



专题：低空经济

10 5G-A通感算智融合技术，为低空经济发展搭建数字“天路”





1996年创办

第30卷 总第448期

2026年01月 第1/2期（月度出版）

中兴通讯技术（简讯）

ZHONGXING TONGXUN JISHU (JIANXUN)

《中兴通讯技术（简讯）》顾问委员会

主任：刘健

副主任：方晖 孙方平 俞义方 张万春

顾问：柏钢 陈新宇 董伟杰 胡俊勤

胡立华 华新海 阚杰 李强

李晓彤 刘明明 唐雪 王全

郑鹏

《中兴通讯技术（简讯）》编辑委员会

主任：林晓东

副主任：卢丹

编委：邓志峰 代岩斌 关凯 黄新明

梁大鹏 林晓东 卢丹 马小松

施军 王卫斌 肖伟 杨兆江

余方宏 赵建超

《中兴通讯技术（简讯）》编辑部

总编：林晓东

常务副总编：卢丹

编辑部主任：刘杨

执行主编：方丽

发行：王萍萍

主管：中兴通讯股份有限公司

主办：中兴通讯技术杂志社

出版：《中兴通讯技术（简讯）》编辑部

编辑部地址：深圳市科技南路55号中兴通讯研发大楼

发行部地址：合肥市金寨路329号国轩凯旋大厦12楼

发行部电话：0551-65533356

<https://www.zte.com.cn/china/about/magazine>

发行范围：国内业务相关单位

印数：5000本

设计：深圳市奥尔美广告有限公司

印刷：深圳市旺盈彩盒纸品有限公司

印刷日期：2026年01月25日

未经中兴通讯股份有限公司书面授权，禁止以转载、
摘编、复制等方式使用本资料的任何内容。



唐雪

中兴通讯副总裁

筑路低空，网兴业盛

作为新质生产力的典型代表，低空经济在政策引导、应用牵引、技术支撑三轮驱动下，已形成政、产、学、研、用、金多领域协同发展的势头，未来前景看好。处于发展初期的低空经济还面临诸多挑战：在供给侧，空域资源释放及高效管理、飞行器安全可靠、基础设施建设等关键环节尚待完善；在需求侧，应用场景碎片化、物流配送成本效益低、高端出行客户群体培育等问题尚待解决。

中央二十届四中全会“十五五”规划建议中提出了低空经济集群发展的要求，我们认为安全、规模和成本效益是低空经济实现集群发展的关键。安全是底线而非枷锁，需要平衡好安全与发展的关系，目标还是要形成规模效益，而成本效益则是支撑产业可持续发展的底层逻辑。“要致富先修路”，低空基础设施这条“天路”对安全、规模和成本效益均有决定性影响。当前，低空基础设施尚处于起步阶段，是制约低空经济规模发展的短板，构建泛在可用、开放共享、普惠式低空基础设施是发展低空经济的必由之路。

作为数字经济筑路者，中兴通讯致力于为低空经济构筑“天路”。5G-A是中兴通讯筑路低空的关键抓手，一方面，5G-A集通导监多功能于一体，可构建高性价比且泛在可用的低空数智化基础设施；另一方面，低空经济是5G-A延续5G商业价值并实现6G场景先探、生态先建的关键商业领域。因此，5G-A与低空经济正形成双向赋能、双向奔赴的良好态势。

筑路低空，网兴业盛。人类向低空拓展，不只是活动尺度的延伸，更是发展维度的跨越。我们期待一个由低空经济重塑生活方式、工作模式与产业范式的新时代的加速到来。

目次

中兴通讯技术（简讯）2026年第1/2期



视点

04 安全、规模、成本效益是低空经济集群发展的关键考量

闫丽娟

07 培育低空价值场景，构建技术和商业双闭环

丁光河

专题：低空经济

10 5G-A通感算智融合技术，为低空经济发展搭建数字“天路”

赵志勇，任涛

14 核心网低空能力体系赋能低空经济安全健康发展

宋杰

18 网联无人机端到端质量保障方案

王连臣

20 重点管制区域低空安防融合感知方案及创新实践

陶俊

23 低空载物价值场景端到端解决方案和商业投资分析

丁光河

27 低空载人价值场景端到端解决方案及商业投资分析

陶俊

30 低空作业价值场景端到端解决方案及商业投资分析

汤红，范忱

33 地市低空经济顶层设计探讨

范忱

36 低空经济“十五五”发展思考

丁光河，陶俊

成功故事

39 低空融合感知系统保障澳门回归25周年重大活动

曾美霖

41 泰山5G-A通感项目：解锁山岳景区低空经济新模式

曾美霖

网络规划

43 立体协同规划技术助力空地通感一体化网络建设

朱永军，吴威，王业勤

02 新闻资讯

中兴通讯问鼎TM Forum “催化剂 创新者领航奖”

2025年11月27日，在电信管理论坛（TM Forum）主办的亚洲创新峰会（Innovate Asia 2025）期间，中兴通讯凭借其在“催化剂项目”中的卓越贡献，荣膺“催化剂创新者领航奖”。该奖项由TM Forum设立，旨在表彰全球通信行业中通过技术创新与产业协作，推动数字化转型、引领行业变革并产生深远影响力的标杆企业。

中兴通讯此次获奖，不仅是对其在自智网络技术架构、AI原生设计、多智能体跨域协同等前沿领域创新能力的高度肯定，更彰显了其在全球ICT产业生态中日益增强的影响力。

中兴通讯高级副总裁顾军营：携手MMU，构建马来西亚政产学研AI数智创新生态



近日，马来西亚政府“Shaping the future-fit public services with Cyber-security in AI Landscape”暨“马来西亚政府官员来华培训项目二期”结业典礼在马来西亚多媒体大学（MMU）隆重举行。中兴通讯高级副总裁顾军营出席典礼并致辞。

顾军营表示，2025年是中马关系新“黄金50年”的启程之年，中兴通讯将继续支持马来西亚数智人才培养

与智慧政府建设，并强调将以AI战略合作协议为新起点，携手政产学研伙伴构建创新生态，为马来西亚及相关地区发展注入持久动能。期间，中兴通讯与MMU签署《AI合作伙伴协议》，进一步深化双方在智慧政府、数智人才培养及拓展5G、网络安全、AI生态等领域的战略合作。

MMU校长拿督Mazliham、马来西亚公共事务部代表Yusri Bin Razalli出席结业典礼并发言，对中兴通讯长期以来在智慧政府和组织人才建设中的贡献表示感谢，对中兴通讯AiCube平台助力MMU大学数智化教学升级、强化人才培养的重要意义表示肯定，并期待未来与中兴通讯开展更深层次的合作。

中兴通讯携手广东电信推进IP网跨厂家仿真方案试点

近日，广东电信发布《广东电信翼仿真2.0——IP网跨厂家仿真标准》。该标准依托中兴通讯与广东电信联合打造的仿真系统，通过数字孪生技术实现“变更提报→仿真验证→实施授权”闭环流程，推动网络运维从“人工经验驱动”向“系统预演验证”转型，打造了可落地、可推广的多厂商协同仿真解决方案标杆，对加速全网智能化运维进程具有里程碑式的示范意义。

中兴通讯助力中国移动完成烟草行业蜂窝无源物联网试点验证

近日，中兴通讯携手中国移动研究院、中国移动安徽公司在安徽中烟阜阳卷烟厂率先完成面向烟草行业的蜂窝无源物联网端到端系统验证。此次试点成功验证了该技术在烟草工业场景下的适用性，为行业数字化转型提供了创新技术路径。

本次试点采用中兴通讯5G-A蜂窝无源物联基站，以及中国移动研究院与芯昇科技联合研发的蜂窝无源物联标

签，针对烟草行业特有的应用场景，在阜阳卷烟厂叉车仓库、烟叶醇化库等核心区域开展落地测试。该系统完成了多标签盘点、出入库盘点、区域定位等关键功能的验证，成功实现了对烟叶包裹等资产的实时批量盘点、出入库管理及存储位置的跟踪定位，为烟草行业的原料管理提供了全新的智能化技术手段，解决了传统扫码方式效率低下、易出错的问题。测试数据显示，在多标签盘点场景下，盘点成功率接近100%；出入库盘点场景下，叉车在不同速度下均能完成出入库的全部标签盘点，有效提升管理效率。

广汽集团与中兴通讯深化战略合作协议签约仪式

2025.12.12 广州

SPN国际标准再突破，
中兴通讯擎旗6G承载
开路先锋

广汽集团与中兴通讯签署深化战略合作协议

2025年12月12日，广州汽车集团股份有限公司（以下简称“广汽集团”）与中兴通讯股份有限公司（以下简称“中兴通讯”）在广汽集团番禺总部举行高层会议，并正式签署《深化战略合作协议》。双方宣布将在深入合作的基础上，围绕汽车产业智能化、网联化、数字化发展方向，进一步拓展战略协同的深度与广度，共同打造新能源汽车产业链合作新模式。在广汽集团党委书记、董事长冯兴亚与中兴通讯董事长方榕、中兴微

电子总经理龙志军的共同见证下，广汽集团平台技术院院长梁伟强与中兴微汽车电子总经理古永承代表双方完成签约。

根据协议，双方将秉持“开放公平、优势互补、互利共赢、市场主导”的原则，在智能网联汽车相关领域、数字化能力建设以及产业生态协同等方面开展更加紧密的合作，共同探索技术创新与产业应用深度融合的有效路径。

2025年12月，在瑞士日内瓦举行的ITU-T SG15标准会议上，中国移动联合中兴通讯、国家电网、南方电网等产业伙伴，完成SPN（切片分组网）/城域传送网（MTN/fgMTN）技术体系在国际标准层面的多项关键突破，其中800G MTN标准作为6G承载首个立项的国际标准获得通过，标志着我国在6G传输技术领域持续保持领先地位。中国移动与中兴通讯共同担任MTN标准编辑人工作，携手推动MTN技术向超大带宽、灵活协同、确定性传输和算网融合方向持续演进。

中兴通讯CDO崔丽出席
《经济学人》AI创新
亚洲峰会2025

2025年12月2日，由《经济学人》集团旗下Economist Impact主办的“AI创新亚洲峰会2025”（AI Innovation Asia 2025）在新加坡举行。中兴通讯首席发展官崔丽受邀出席，并在“Agentic AI与客户体验”圆桌环节分享了中兴通讯在Agentic AI赋能客户体验、重塑组织韧性、践行AI伦理治理等方面的实践洞察及未来展望。

中兴通讯亮相2025粤港澳大
湾区人工智能与机器人产业
大会

作为中国科技创新的前沿阵地，粤港澳大湾区凭借其完善的产业链与开放创新的生态，正全力打造世界级的人工智能与机器人产业高地。12月12日，中兴通讯以“AI向实，智汇湾区”为主题亮相2025粤港澳大湾区人工智能与机器人产业大会，集中呈现个人消费、家庭终端及智能制造领域的创新成果与实践，与各界伙伴共探智能未来。

中兴通讯亮相2025数智科技
生态大会，与中国电信共创
AI普惠未来

12月4日—7日，2025数智科技生态大会在广州盛大启幕。中兴通讯以“AI引领，智惠未来”为主题参展，全面呈现与中国电信在基础业务、产数业务、新型数字信息基础设施等领域的合作成果与创新实践。中兴通讯锚定“连接+算力”战略主航道，联合中国电信以AI技术为引擎，夯实数智底座、拓展应用边界，让数智成果惠及千家万户，赋能千行百业。



闫丽娟

中兴通讯无线及算力产品战略架构
副总经理

安全、规模、成本效益 是低空经济集群发展的关键考量

作 为新质生产力的典型代表，低空经济市场前景广阔，发展潜力巨大。2025年政府工作报告中明确提出要“推动商业航天、低空经济等新兴产业安全健康发展”；2025年党的二十届四中全会指出“加快新能源、新材料、航空航天、低空经济等战略性新兴产业集群发展”。两次大会均将低空经济作为重点发展产业，彰显其战略新兴产业地位。结合产业发展特点和中兴通讯的产业实践，我们认为安全、规模、成本效益是低空经济实现集群发展的关键考量。

安全是低空经济发展的底线

伴随低空经济的快速发展，低空安全事件也时有发生，如2023年天津机场无人机扰航事件、2024年五一期间苏州观光直升机坠毁事件等。低空安全问题面临极大挑战，“无安全、不低空”也成为产业发展的主流观点。我们需要用辩证和发展的眼光看待低空安全问题，安全是低空经济健康发展的基石，而不是束缚，我们应该以制度创新、技术创新来筑牢安全防线，平衡好安全和发展的关系，推动低空经济高质量发展。在低空

安全管控方面需要做好如下三个方面：

- 定规则：制定低空安全运行规范和相关标准，包括空域和航线划设规范、无人机运行识别信息上报、隔离和融合飞行规范等，同时明确低空安全管控责任主体、执法规则、执法手段等。
- 强装备：提升飞行器本体的安全可靠，包括无人机避障、悬停、迫降等关键能力。尤为关键的是，实现飞行器导航系统、操作系统、航电系统等关键系统的国产化，既要避免失控，也要防止被控。
- 建设施：大规模、高密度、异构化安全飞行必须依托完备可靠的低空安全保障体系。亟需构建覆盖通信、导航、监视、气象、反制等功能的网络基础设施，并同步建设飞行调度管理平台，为民航级低空运行提供支撑。

价值场景、基础设施和商业闭环是实现低空经济规模化的关键路径

当前低空经济产业数千亿的规模主要体现在上游飞行器制造端。我国研制的无人机占全球70%以上份额，产业规模已达数千亿元，但大部分是消费级无人机带来的产业规模。低空经济要实现上万亿级的规模，需要行业应用的带动，而目前低空经济下游业务应用还停留在碎片化、小规模阶段。我们认为，要从价值场景、基础设施和商业闭环三方面协同推进低空经济规模化发展。

首先是价值场景的培育，当前应优先聚焦高价值、高反差效率的低空业务和区域。例如，基于政府采购服务的城市综合治理，包括公安、交通、卫生、环保、城管、国土资源等各部门的执法巡查，采用无人机巡视巡检效率高，值得大力推广。在地广人稀的西北、东北地区，紧急重要物资的干线物流配送业务相比

传统通航物流成本效率更优，农林植保业务发展前景广阔。在城市区域，医疗物资、紧急文件、高科技测试样品等低空快捷配送需求明显。在景区，低空游览成为新的旅游休闲模式，正在部分热点景区快速发展。未来，城市地面物流和地面出行向低空延展是必然趋势，也是低空经济带来的最大市场增量。

其次是低空基础设施的配套建设，正所谓“要致富，先修路”，就像城市道路、高速公路的建设对汽车行业的促进作用。低空基础设施须呈网状布局，才能形成规模协同效应，业界俗称四张网：起降设施网，涵盖起降场及其配套的充电、监控、接驳等设施；低空智联网，聚合通信、导航、监视、气象等能力；航路网，依托3D地图、城市CIM、航路图等构建数字化底座；服务网，统合低空监管平台、服务平台、飞控平台及业务应用平台等于一体。

第三，构建商业闭环。仅凭飞行器、业务场景和基础设施不足以形成产业生态，需要一套商业逻辑实现要素耦合。我们认为，低空经济的商业逻辑可类比高速公路体系：低空运营商（即低空运营服务公司）作为核心主体，承担“高速公路公司”职能，负责投资、建设并运营泛在化、共享式的低空基础设施；低空航司（即顺丰等低空业务服务企业）无需自建基础设施，仅需向低空运营商采购服务并支付服务费，从而显著降低建设和运营成本，实现商业闭环。

低空经济：以千亿级投资撬动万亿级市场规模

成本效益是低空经济可持续发展的根本约束。尤其在发展初期，大部分基础设施投资仍需政府主导，如何让各地“轻装上阵”，是国家部委制定政策的重点考量。据近两年低空经济投资情况分析，全国低空产业园数量接近百家，据工



一方面，低空经济是5G-A延续5G商业价值并实现6G场景先探、生态先建的关键商业领域，另一方面，5G-A具备通导监气等多功能一体，可构建高性价比且泛在共享的数智化基础设施赋能低空经济高质量发展。

信部2025年一季度统计数据显示，全国无人机整机厂商逾1400家，投资仍侧重于上游飞行器制造，重复布局带来的产能溢出将导致行业进入内卷式竞争。另一方面，多个省市将通航作为低空经济突破口，拟大举兴建通航机场；然而过去几十年传统通航发展滞缓，根本原因在于通航运营成本居高不下、环境噪音扰民等痛点问题。相较之下，新型eVTOL基于垂直起降模式，不需要建设大型通航机场，具备规模化发展潜力。因此，对通航机场的投资应审慎评估。

根据前瞻研究院等咨询机构的分析，2024年我国低空经济市场规模结构中，上游飞行器制造环节占比88%，飞行业务应用与业务保障的占比均不足一成；而到2030年，行业规模有望达到2万亿元，届时飞行器制造占比将回落至约55%，低空业务应用占比升至约40%，基础设施保障仅5%左右。以千亿级低空基础设施投入撬动2万亿产业增量，杠杆效应显著。

进一步对低空基础设施投资成本进行分析，以深圳为例，按“设施网、空联网、航路网、服务网”四张网分解：设施网规划到2026年建成1200个起降点，航路网和服务网一期已招标建设，投资5亿元，空联网预计部署2000余座5G-A通感基站即可实现全域覆盖。据此粗略估算，在低空基础设施投资中，起降设施占比逾60%，而空联网和低空平台等核心设施投资占比均不到20%。

5G-A兼顾安全、规模和成本效益，与低空经济双向奔赴

安全保障方面，在多地示范区的网络测试中，5G-A通感网络的虚警率、漏检率控制在5%以内，性能显著优于低空雷达和频谱侦测系统，未来以5G-A为主体结合低空雷达、频谱侦测、光电探测等探测感知设施的多源融合感知系统将是低空安全防控的发展方向。

规模方面，5G-A可共享现有大量4G/5G通信基站站址和配套设施，可快速建成大规模的低空空联网；电信运营商亦具备大规模通信基站运维运营经验，可保障网络持续稳定运行。同时，5G-A是全球标准化技术，具备规模商用的成熟体系。

成本效益方面，5G-A通感基站可实现“通导监”三位一体功能，后续演进更可以实现微气象探测、微型变监测等泛在感知功能，一机多用。同时，5G-A通感设备在现网基站部署，大幅降低规划选址、基建、配套设施成本，性价比优势突出。

一方面，低空经济是5G-A延续5G商业价值并实现6G场景先探、生态先建的关键商业领域，另一方面，5G-A具备通导监气等多功能一体，可构建高性价比且泛在共享的数智化基础设施赋能低空经济高质量发展。两者的双向奔赴将形成“网络能力驱动应用创新，应用繁荣反哺网络演进”的良性循环。ZTE中兴

培育低空价值场景， 构建技术和商业双闭环



丁光河
中兴通讯无线系统资深架构师

低空经济是将人类社会生活从二维平面拓展到三维空间的新经济业态。尽管已经渗透到众多行业领域，但低空经济尚缺少真正实现商业和社会价值的应用。我们认为技术闭环和商业闭环是影响低空价值场景商业价值兑现的重要因素。就像新能源汽车产业的发展，正是电池技术突破、泛在可用的充电设施、政府购车补贴等重要因素加速实现了技术和商业双闭环，使得我国的新能源汽车行业引领全球，成为十万亿级的庞大产业。本文通过分析低空业务场景的商业和社会价值，围绕如何构建低空经济技术和商业双闭环来探讨低空经济的发展路径。

低空业务应用的价值和当前面临的挑战

低空业务应用的价值不仅体现在提升生产效率、降低社会运转成本，同时也能带来消费新形态，形成新的经济增量。但当前低空载物、低空载人、低空无人机等业务应用仍然存在规模小、成本高、技术不成熟等挑战。

低空载物的商业价值主要体现在提升社会和企业生产运输效率、降低人力成本。例如，丰翼

科技在大湾区开展无人机跨城即时送（4小时送达）、同城即时送（2小时送达）业务，极大满足了高价值商品快捷配送需求。美团无人机外卖，将传统骑手40分钟的配送时间降低到15分钟。迅蚁和天空飞车等企业在城市用无人机运送血液，打造了城市急救生命线。但目前低空物流配送业务服务商既造车又修路，运营成本比传统物流模式高，整体处于亏损状态，无法实现商业闭环。

低空载人业务不仅显著提升人们出行效率，同时也带来了新的休闲娱乐方式。然而传统通航飞机载人模式存在噪音大、投资及运营成本高等问题，商业无法闭环。新型eVTOL是低空载人发展方向，但当前飞行器不成熟，低空交通管理设施和规则不成熟，面临技术无法闭环的问题。

低空无人机用于各种生产作业的场景很多，包括能源管网的巡视巡检、城市综合治理、消防救援、农林植保等，不仅大幅提升生产作业效率，还规避了传统人力作业的安全问题，并可触达传统生产作业模式无法触达的领域，兼具商业价值和社会价值。然而当前无人机低空作业呈现碎片化、小规模状态，导致运营成本偏高，需要进一步探索规模化运作模式，以实现商业价值的

最大化。

基于端、网、云、业的端到端方案构建低空价值场景技术闭环

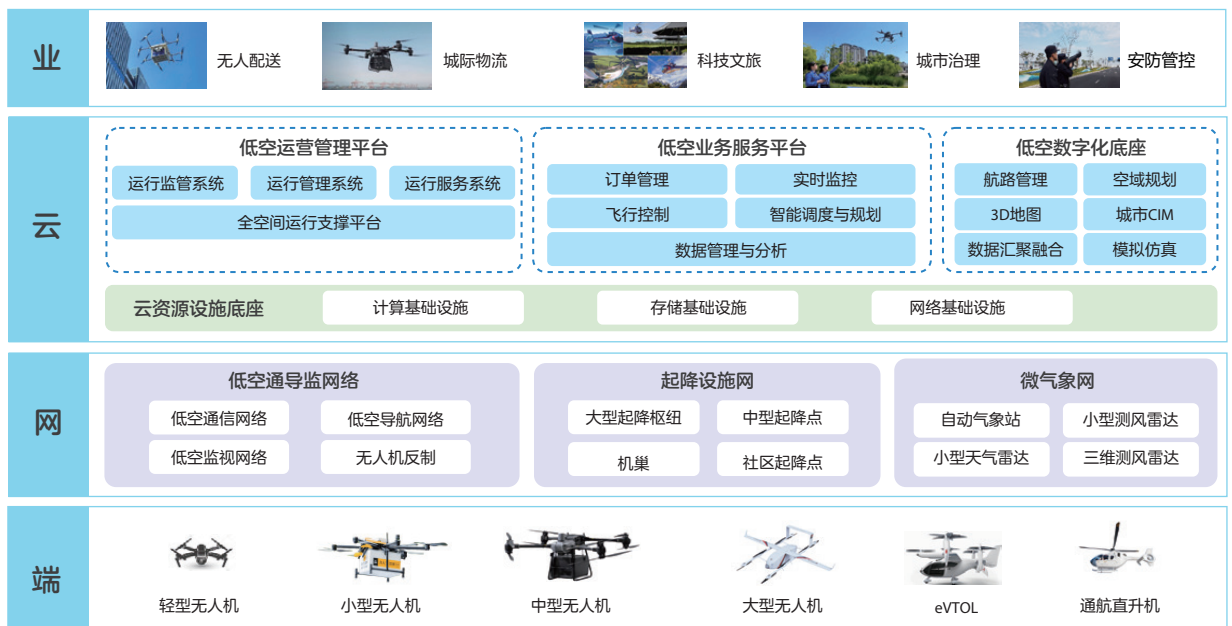
低空价值场景的技术闭环可以基于端、网、云、业端到端方案来构建，如图1所示。

端侧，基于不同业务匹配不同规格性能的低空飞行器，保障最优运营效率和成本。飞行器重点规格性能包括构型、续航里程、巡航速度、载重、抗风能力等。例如对于城市低空末端配送，一般采用续航里程5~10公里的轻型和小型多旋翼无人机，而干线物流则选用大型固定翼无人机或通航飞机，确保飞行速度和续航里程。目前端侧中小型无人机在技术层面基本成熟，主要方向是提升性价比，而大型吨级无人机尤其是eVTOL技术尚不成熟，无法实现规模运营。

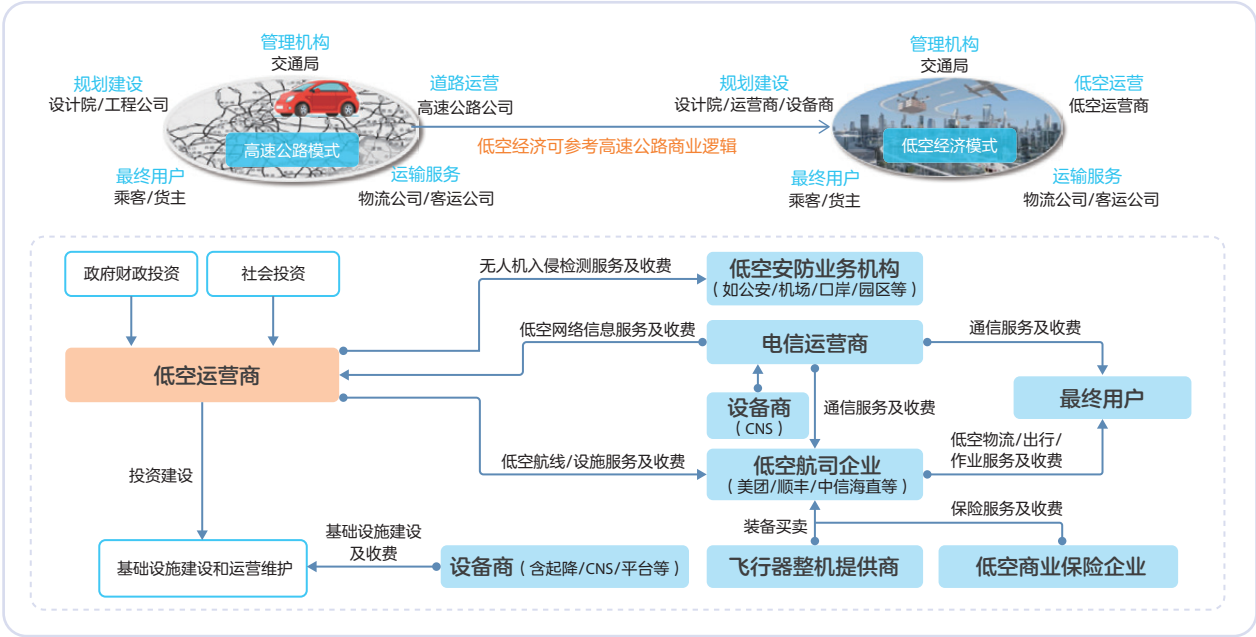
网络包括低空通导监网络、微气象网络和起降设施网等。通导监网络是低空安全飞行的基本保障设施。当前阶段各业务场景网络模式存在差异，例如低空通信，有的业务场景采用2.4GHz非授权频谱网络，有的采用1.4GHz授权频谱专网，有的采用4G/5G公网，还有的采用卫星通信。未

来趋势是以公网为主，专网和卫星通信作为补充。导航网络主体是“卫星+RTK”导航，大型物流无人机和eVTOL一般配置了惯性导航作为辅助导航，小型无人机配置视觉导航。监视网络目前还处于空白，大部分低空示范区航线暂时没有监视手段，未来趋势是RID主动播报强制要求，而基于5G-A通感、低空雷达及光电技术的探测感知设施将逐步按照航路部署。微气象网络现处于起步阶段，大部分低空示范区仅作为试点测试，未来也需要统一规划建设。起降设施网是必选项，目前基本是低空业务服务商（又称“航司”）自建独享的模式，未来趋势是共建共享。低空数字化网络是影响低空经济技术闭环的关键，目前基本都处于试点建设阶段，而建设标准和资金来源是影响建设的重要因素。

云包含低空四张网的航路网和服务网。其中低空业务服务平台是必选项，一般由航司投资建设，主要功能包括订单管理、实时监控与飞行控制、智能调度与航路规划等，保障低空业务服务的完整性。而低空运营管理平台作为规模化低空经济的上层综合管理平台，由地市低空公司建设运营。低空数字化底座是低空基础设施的核心构成，包括3D地图、CIM（city information modeling）、空域



▲ 图1 低空价值场景端到端方案



▲ 图2 低空经济商业闭环模式

及航路划设等基础性低空经济业务功能，由地市政府机构或低空公司建设运营。

业是指各种低空业务应用。在低空经济示范阶段，业务应用较少，还处于试点阶段。端、网、云等设施都是围绕业务应用建设。

从自建独享向统建共享的商业模式转变，构建低空经济商业闭环

在低空经济商业闭环的角色构成中，包含政府机构、低空运营商、低空业务服务商、基础设施厂商、终端用户以及金融投资机构等。如何让产业各方共赢，是构建低空业务应用商业闭环的根本出发点。

在低空经济早期发展阶段，基本以业务服务商自建独享模式为主，其承担了从基础设施建设到用户服务的端到端全流程，即所谓的“既造车又修路”。例如美团旗下无人科技公司、顺丰旗下丰翼科技公司在深圳均已经建设数十条低空物流航线，其中起降设施、微气象设施、低空运营服务平台均为自建，而且无人机也是美团和丰翼科技自研生产，丰翼科技甚至自建了低空航路的通信专网。这种模式下，一方面必然推高低空业

务运营服务成本，另一方面也抬高了低空业务服务准入门槛，不利于中小型创新服务型企业进入该市场领域，不利于市场良性竞争。

我们认为，低空经济可以借鉴高速公路模式，形成商业闭环。如图2所示，在该商业闭环中，核心角色低空运营商类似于高速公路公司，负责承接政府和社会资本建设低空泛在共享的基础设施，向下游的低空航司提供空域、航路、起降设施以及通导监气象服务等，并收取相关费用。航司只需要负责自身最擅长的用户管理和订单交付，运营成本将大幅降低，并且降低了行业准入门槛。而电信运营商作为“通导监”网络提供商，向低空运营商提供网络服务（重点是低空安全监视）和数据服务，向低空航司提供飞行器通信和导航服务。各种类型的设备商向低空运营商和电信运营商提供低空平台、起降设施、通导监设施、微气象设施等设备和方案。

推动低空经济规模化发展，培育低空价值场景是关键路径，而技术和商业双闭环是前提。构建低空价值场景技术和商业双闭环的根本路径是以统建共享的发展模式，构建泛在可用的普惠式低空基础设施。ZTE中兴



5G-A通感算智融合技术， 为低空经济发展 搭建数字“天路”

中兴通讯 赵志勇，任涛

2024年全国两会期间，“低空经济”首次被写入政府工作报告，标志着产业发展获得国家层面的初步聚焦；同年12月，国家发展改革委专门成立低空经济发展司，为政策举措落地、产业资源统筹提供专属执行机构；而在中共中央最新发布的“十五五”规划建议中，“低空经济”更进一步被纳入国家五年规划，并提升至“新兴支柱产业”高度，明确其作为新质生产力核心载体的战略定位。从政府工作报告的专项提及，到专项司局的落地推进，再到国家五年规划的系统布局，政策支持持续加码、层层递进，标志着我国低空经济已完成从区

域探索、单点试点到全国统筹、全域规模化推进的关键跨越，正式迈入高质量发展的全新阶段。

低空经济规模发展对信息基础设施的需求和挑战

在政策红利持续释放、应用场景加速拓展与前沿技术深度赋能的多重驱动下，低空经济正从分散试点向全域规模化演进，飞行器类型从单一无人机向eVTOL、无人机集群等多元形态拓展，应用场景覆盖物流配送、农业植保、应急救援、低空文旅、城市通勤等领域。低空经济蓬勃发展



对通信、导航、监视相关的信息基础设施提出了极高要求，而当前这些系统在适配多元需求时，在通信、导航、监视等方面均面临诸多挑战。

通信方面，面临频谱干扰和覆盖能力与稳定性不足的问题。当前，低空飞行器多依赖2.4GHz、5.8GHz等非授权频段通信，随着飞行器数量激增，大量信号同时发射和接收，飞行器间信号易相互干扰。且采用Wi-Fi通信的低空飞行器大都仅支持视距飞行，无法满足低空物流等有远距离飞行需求的行业应用。同时，部分飞行器虽已具备4G、5G蜂窝通信模组，但是由于传统蜂窝网络以地面通信为主要目标，仅能使用旁瓣覆盖飞行器，提供尽力而为的低空通信能力，且通常仅提供120米以下的低空通信能力，对于跨区域干线物流和载人通勤等有120米以上飞行需求的飞行器无法提供稳定的通信服务。

导航方面，面临复杂场景定位精度不足的问题。

低空飞行器多依赖GNSS等卫星导航系统，城市高楼遮挡、强电磁干扰等环境会严重影响导航信号。实测显示，城市中GNSS信号受遮挡后，飞行器定位精度远无法满足低空物流、空中的士等场景的定位需求。

监视方面，缺乏全域监视手段和目标识别能力。传统雷达、TDOA等探测设备受硬件、技术原理等因素制约，组网面临诸多难题，使其多局限于小范围探测。而随着低空经济的规模化发展，全域监测将成为刚需。低空目标多种多样，小到250克以下的消费级无人机，大到数吨重的eVTOL，甚至还有飞鸟、气球等，飞行速度、高度等参数跨度极大，传统探测设备很难做到同时探测上述目标。即使能探测到，也很难识别出目标的类型。此外，雷达、TDOA、Remote ID等多种探测设备分属不同技术体系，对应标准组织、数据格式、通信协议等存在显著差异，数据难以



赵志勇
中兴通讯无线传感产品
总经理



任涛
中兴通讯无线产品方案
经理

实现融合。

5G-A通感算智融合方案，适配低空经济核心需求

为破解低空经济发展中的通信、导航、监视等核心难题，中兴通讯创新推出通感算智融合解决方案。如图1所示，该方案深度融合“通信、感知、算力、智能”四大核心能力，不仅实现了600米以下空域的高速、稳定传输，更具备对飞行目标的全域精准感知与类型识别能力。作为支撑低空经济的关键信息基础设施，该技术精准匹配低空飞行器在通信保障、智能导航、全域监视等方面的核心需求，通过提供低空通信网络优化、动态航路守护、智能辅助导航、低空安全防护等系统性解决方案，成功构筑起保障低空经济安全、高效运行的数字“天路”。

- 低空通信：相比Wi-Fi通信，5G-A通感基站覆盖范围更高更广，抗干扰能力更强，时延更低；可实现无人机图传、数传及机上乘客手机通信，上下行>25Mbps连续覆盖，支撑载人、载物等无人机跨视觉飞行应用，打破通信瓶颈。
- 航路守护：聚焦提升无人机飞行安全，创新采用时空胶囊技术构建动态电子围栏。通过多源感知设备实时探测航线上异物闯入，快速处理数据并同步通知飞行器实时避障，毫秒级响应能力有效规避碰撞风险，保障低空

飞行安全。

- 辅助导航：针对城市峡谷、强电磁干扰环境，依托通感一体基站实现飞行目标米级精准感知，将感知数据实时通知无人机，为无人机自动飞行提供可靠导航支撑，弥补复杂环境下传统导航不足，确保飞行稳定精准。
- 低空安防：针对机场、石化园区、边境口岸等关键区域，依托通感基站精准感知能力实时探测黑飞无人机，同步结合干扰反制设备，对黑飞无人机实施机型识别、驱逐等措施，形成“探测-识别-反制”闭环，筑牢关键区域低空安全防线。

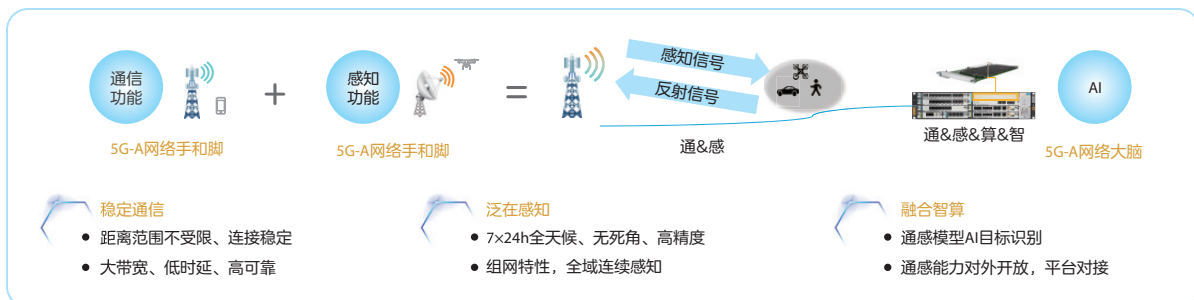
中兴通讯5G-A通感算智融合方案创新引领

中兴通讯于2022年率先推出全球首款通感一体原型机，此后持续深耕5G-A通感算智领域，通过不断的技术迭代与创新，成功发布多项业界首发的创新成果与解决方案（见图2）。在低空通信层面，实现了飞行器连接的超稳态运行；在低空感知层面，达成对目标探测的全方位升级——更高覆盖高度、更远探测距离、更全目标类型识别以及更精准的定位能力。

- 连得稳：D³-ELAA实现低空超稳态通信

低空通信越区覆盖严重，导致严重的干扰和频繁切换，使得网络抖动明显，从而难以满足无人机低空通信零中断和大上行的需求。为了解决

“通信+感知+算力+智能”融合



▲ 图1 5G-A通感算智融合技术架构图



图2 中兴通讯通感算智融合
核心技术创新

这个问题，中兴通讯推出了以用户（此处为无人机）为中心的5G-A分布式超大阵列D³-ELAA方案，通过动态协同，分布式赋形保障用户的确定性体验，从而突破蜂窝边界，实现超稳态通信。

● 看得高：600米以下空域全覆盖

为了解决传统基站覆盖高度不足的问题，中兴通讯业界首发自发自收大张角机型，创新性地采用两级移相器拓扑架构实现65°的垂直扫描角度，从而提供600米高度的通信和感知能力。

● 看得远：全域精准感知无盲区

在感知距离方面，传统雷达技术通常无法兼顾远距离感知和近点盲区问题。中兴通讯业界首家提出双波形智能感知技术，即时分发送脉冲波和连续波，从而兼顾远距离感知和近点无盲区。此外，中兴通讯业界首家推出Master-Slave两级BBU架构，实现无人机跨小区飞行时轨迹连续且无重复。基于此功能和蜂窝基站天然组网能力，可以按需部署基站，实现全域感知。

● 看得准：基于通感模型的AI目标识别

基于AI模型和机器学习，实现对无人机、飞鸟、气球等不同低空目标的精准分类。首先进行多维特征提取和自动标注，包括飞行轨迹等行为特征、雷达散射截面等物理特征、目标飞行速度等运动特征和回波极化特征；然后基于海量数据进行AI模型训练并将训练后的模型装载到基站的智能单板上，当系统探测到目标时进行在线实时推理，从而识别出准确的目标类型。

● 看得全：多模融合系统1+1>2

系统以5G-A通感一体为打底网，并将TDOA/AOA、Remote ID、光电摄像等多元感知设备的

数据进行融合，基于特定的多源融合算法，使得探测更快，虚警率更低，达到1+1>2的效果。

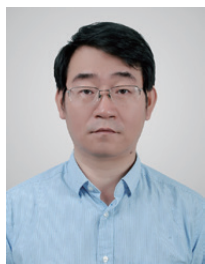
向6G演进，通感算智带来更多创新场景应用

从5G-A到6G，通感算智技术一脉相承并持续演进。在空口技术演进方面，基于载波相位反演的技术实现毫米级位移监测。虚拟孔径、空间超分辨率技术则可以显著提升角分辨率，从而提升低空无人机的定位精度，并可以实现超密集无人机的分辨。在多域协同方面，多站点协同感知、多模态感知、多频段协同等技术可以提升探测范围、定位精度和置信度。上述技术的演进带来更多创新的应用场景，例如微形变探测和环境重构。微形变探测可以实时发现桥梁、水库大坝、山体斜坡等毫米级的形变，为防灾减灾、结构健康监测提供全新手段。环境重构是指通感技术将支撑对城市交通、城市建筑、设备状态等信息的实时感知与重构，构建数字孪生世界中的“全息镜像”，支撑更高智能化水平的智慧城市建设。

在政策、场景与技术三重驱动下，我国低空经济正加速迈向全域规模化发展新阶段。中兴通讯作为行业先行者，推出的5G-A通感算智融合方案，不仅解决了当前低空经济发展的现实问题，更为未来6G时代的到来奠定坚实的技术基础。它以数字“天路”的姿态，承载着低空经济腾飞梦想，引领我们迈向一个更加智能、高效、安全的低空时代。ZTE中兴

核心网低空能力体系

赋能低空经济安全健康发展



宋杰
中兴通讯算力及核心网
产品规划总工

核心网低空能力体系

低空经济的安全健康发展离不开通信网络的支持。为保障低空空域的安全与高效运行，服务于低空安防和低空飞行等各种低空应用，核心网以5G-A通感智算安融合网络为基础底座，系统构建“通、感、智、算、控、导、安”七大低空能力体系，对外提供非法入侵检测、合法飞行服务、安全飞行保障三大基础服务能力。

- **通**：满足低空飞行业务上行大带宽的要求，提供低时延、高可靠的通信保障，实现无人机与飞控平台之间以及无人机与无人机之间的高效可靠互联，确保C2（Control and Command）指令的可靠执行和飞行安全。
- **感**：低空高精度感知，融合雷达、光电、基站感知、ADS-B、Remote ID等多种感知技术，对低空目标进行识别、跟踪和路径监测；支持非法入侵检测，管控空域安全，保障低空飞行活动安全有序。
- **智**：通过网络AI能力增强，支持低空数据的实时处理、AI分析；为感知目标识别、低空业务分析、网络质差保障和网络优化等方面提供强大的智能化能力。
- **算**：通过算网融合协同云边端算力，融合AI能力，实现视频分析、感知分析等功能，通

过算力路由和边缘计算实现按需处理。

- **控**：主要指无人机的可信接入、业务鉴权授权、电子围栏、通信管控等功能。
- **导**：包括飞行器的精准导航、网络辅助路径规划、网络辅助避障等功能。
- **安**：包括数据安全、通信安全、空域安全和飞行安全。

核心网低空能力规划

为支持无人机管控和安全飞行服务，5G-A核心网将从网络功能、感知功能、数据分析功能、能力开放等方面进行架构和能力演进。

- **新增无人机网络功能（uncrewed aerial system network function, UAS NF）**，基于5G-A网络实现无人机基本管理，用于支持合作无人机的管控和服务，包括无人机身份识别、认证和授权，位置监控，可靠C2通信等，为UTM（unified traffic management）在飞行任务规划、批准和安全飞行服务方面提供更多支持。
- **新增感知功能（sensing function, SF）**，用于非合作无人机的非法飞行和入侵检测、合作无人机飞行管控和服务、飞行航线保护等。SF包括控制面功能SF-C和用户面功能SF-U：SF-C支持感知业务的授权鉴权、实现

当前，核心网的低空核心能力重点从通、感、控、导四个方面进行规划。通信能力方面，精准识别无人机业务，提供大上行、低时延、高可靠的通信保障。

感知控制，包括感知策略和计费等；SF-U实现感知数据的传输，包括感知数据处理、AI分析等，并将感知结果传递到第三方。SF作为核心网独立网元，与现有的5G核心网架构融合：SF-C采用SBI接口支持能力开放，包括管理和计费能力，降低商用成本；SF-U可以连接云边端算力和AI能力，进行更加复杂、智能化且需要大算力的数据处理，提升感知目标的识别效率和准确性。

- 增强网络数据分析功能（network data analytics function，NWDAF）和用户面功能（user plane function，UPF），主要是增强NWDAF和UPF的智能化能力，UPF内置xDPI识别，通过码流特征识别无人机业务，支持在线更新特征库。推动合作无人机状态分析，在航路规划、飞行服务保障等方面做智能化、定制化功能增强，如提供低空大流量上下行业务和飞控C2链路的质差智能保障、无人机飞行轨迹智能分析、辅助无人机DAA（detect and avoid）等。
- 低空能力开放，构建低空数字中台，以5G-A网络为基础，汇聚网络的通信能力、感知能力以及行业第三方能力，支持能力统一对外开放，统一鉴权和计费，为低空监管平台、业务运营平台、飞行服务平台等提供支撑。

通过低空能力开放发挥低空网络能力及生态聚合能力，赋能低空经济。

当前，核心网的低空核心能力重点从通、感、控、导四个方面进行规划。通信能力方面，精准识别无人机业务，提供大上行、低时延、高可靠的通信保障。

- 基于业务特征细分保障：通过xDPI识别不同业务流特征，下发不同5QI保障；
- UPF智能识别：针对低空业务APP，对未知流量做补充识别；引入AI模型，进行离线训练+在线推理，拓展低空业务识别范围。
感知能力方面，提供精准识别、轨迹跟踪、入侵检测等感知功能，实现对黑飞目标的检测与追踪，为网联目标提供差异化感知服务。
- 通感关联身份识别：SF支持关联上报网联无人机的通信标识，提供区域内飞行器身份信息，辅助USS识别黑飞；
- 多源融合感知：SF支持接收摄像头的视频数据、Remote ID、TDOA定位数据等，与5G-A通感智能化融合处理，提高目标识别准确度，减少感知盲区。
管控能力方面，对网联无人机提供可信接入、业务鉴权、通信阻断等管控功能，满足合法飞行服务和安全保障。
- R17标准UAV认证授权：协议标准功能，要

求终端携带UAV ID;

- 非签约UAV识别鉴权：支持通过UPF识别UAV报文特征，上报USS;
- 签约UAV接入鉴权增强：四码合一方案，通过UDM签约进行UAV接入鉴权。

导航能力方面，提供网络质量画像，辅助飞行航线规划。

- 空域网络质量画像：汇集无线覆盖、网络拥塞数据并分析处理，可以对区域（或航线）网络质量进行画像，辅助飞行航线规划;
- 网络辅助DAA：基于网络画像，实时调整飞行路线，辅助避障。

核心网典型低空方案示例

围绕核心网低空核心能力，中兴通讯与运营商合作，创新性提出多个低空解决方案并进行了外场试点，有些已写入企业标准。下面介绍网联无人机可信接入与管控，以及多源融合感知两个典型的方案。

网联无人机可信接入与管控

对于网联无人机的会话建立，需要网络及

USS（unmanned aircraft system service supplier）平台基于机、卡、端、人做“四码合一”绑定鉴权，保证接入网络的网联无人机飞行合法性。

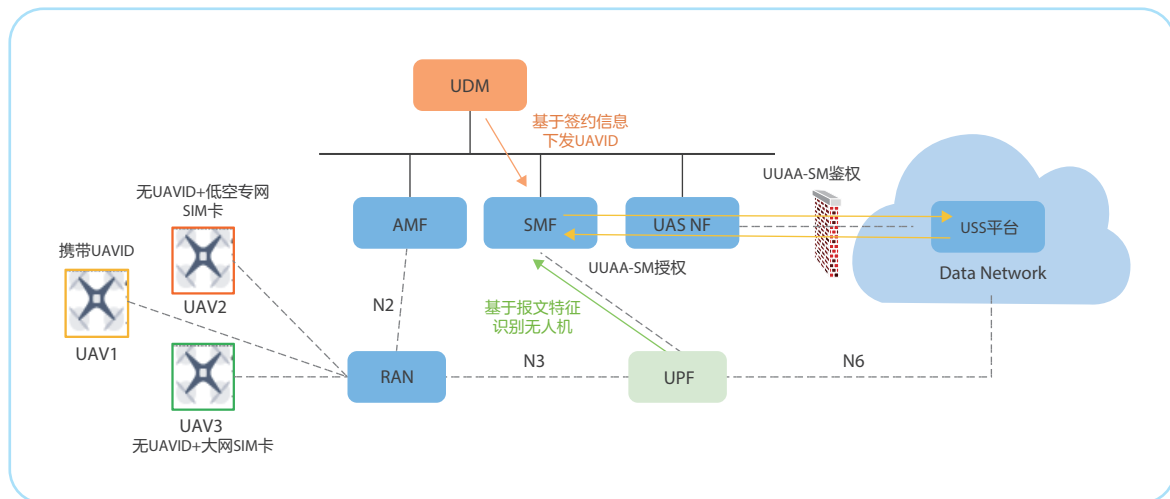
实施方案为，核心网UAS NF发起UUAA流程，将UAV ID、GPSI和IMEI带给USS平台，USS认证无人机的合法性，对其授权或拒绝授权（见图1）。

- 对于携带UAV ID的无人机终端，可采用3GPP协议标准的UUAA-SM流程，USS认证黑飞后可拒绝授权;
- 对于无法携带UAV ID的无人机终端，如果使用低空专网SIM卡，可通过UDM下发的签约信息获取UAV ID，继而执行UUAA-SM流程，携带UAV ID、GPSI、IMEI给USS; 如果使用大网SIM卡，UPF可在终端接入后基于报文特征识别无人机，上报控制面触发UUAA-SM流程，携带GPSI、IMEI给USS。

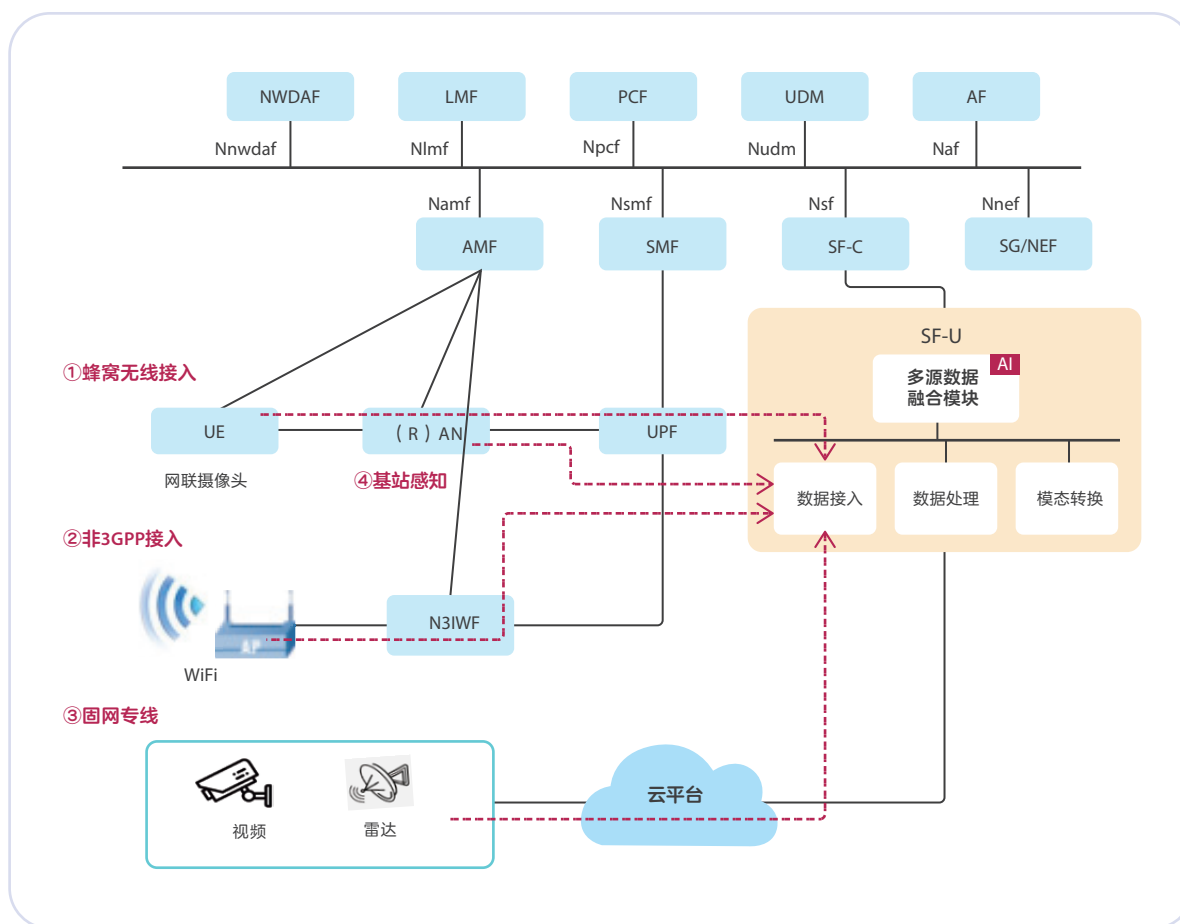
多源融合感知

低空空域安全管控需求强烈，通感一体化技术是业界公认的5G-A支持低空经济的重要技术。

但单一的感知技术存在使用场景上的局限性，采用“通感一体+摄像头等”的多源融合感知解决



▲ 图1 USS平台认证授权



▲ 图2 多源融合感知

方案（见图2），可优势互补，实现全天候、无盲区、高精度、低成本的全域连续感知，提升系统可靠性和空域安全性。

- SF-C根据特定的应用需求，决定采用融合感知策略，在创建感知任务时通知SF-U进行融合感知。
- 对于接入5GC的感知设备，SF-C可在激活感知任务时要求感知数据通过UPF传递给SF-U。
- 对于不接入5GC的感知设备，SF-C可通过SG/NEF向第三方云平台申请感知数据开放，携带SF-U的地址；第三方云平台在认证

通过后，将感知数据回传给SF-U。

- SF-U负责汇总来自RAN、UE上报的3GPP感知数据，以及来自非3GPP感知设备的感知数据，调用算力进行数据处理以及模态转换，结合人工智能技术进行多源感知数据融合，生成更精确的感知结果。

通信网络是低空经济的数字底座，核心网在通信网络中起着核心作用。中兴通讯将不断完善核心网低空能力技术及方案，持续推进5G-A低空技术场景化验证，并将结合试验情况将商业应用转化作为重点攻关方向。ZTE中兴

网联无人机端到端质量保障方案



王连臣

中兴通讯数据智能及服务
创新总监

低空技术正在解锁三维空间，打造新型三维立体交通。当前我们正站在全球“低空经济”这条万亿级新赛道的起点。无人机产业因其高成长性、服务领域广及带动作用强，成为低空主导产业，对低空经济发展起到显著带动作用。

无人机的网联化赋予无人机超视距、抗遮挡飞行与高安全管控的核心优势，进一步拓展低空经济边界。稳定可靠的低空通信是飞行活动保障及应用拓展的基础。而目前无人机网络运维正处于“盲管”状态，面临难感知、盲保障、欠运营三大核心挑战，我们无法精准洞察低空无人机的位置和数量，网络建设缺少数据牵引，无法合理规划覆盖范围，此外，无法为应急救援等关键任务提供差异化的优先服务。

基于以上挑战，中兴通讯打造了面向低空经济的无人机端到端质量保障方案，赋能低空应用

场景拓展。

无人机端到端质量保障方案基于4G/5G网络的DPI数据，构建一个“可视、可联、可管、可控”的立体化保障体系，将“盲管”升级为“智管”，实现网联无人机业务质量精准评估、感知劣化主动发现、质差问题快速处理的闭环管理体系（见图1）。

在数据源层，方案整合4G/5G DPI、4G/5G MR、基站感知、无人机飞行记录及无人机管理平台数据，为体系运转提供全面精准的数据支撑。

基础能力层，提供无人机智能识别、业务质量评估、无人机飞行定位、飞控业务端到端定界定位能力和差异化保障能力。

专题功能层，提供行业发展洞察、飞行业务监控、飞行业务智能运维、业务能力场景变现等价值场景的支持能力。

● 提供行业发展可视化展示，可实时了解无人



▲ 图1 中兴通讯无人机端到端质量保障方案

中兴通讯面向低空经济的无人机端到端质量保障方案将“盲管”升级为“智管”，实现网联无人机业务质量精准评估、感知劣化主动发现、质差问题快速处理的闭环管理体系。

机架次、物网/人网占比、飞行次数与时长流量等关键信息；

- 飞行业务监控：地图直观呈现飞行热点区域；
- 飞行业务智能运维：对业务质差，具备无线、感知指标洞察及质差主动定界、一键投诉支撑功能，保障业务顺畅运行；
- 业务能力场景变现：针对无人机ToC和ToB客户提供差异化套餐保障能力，提高转化率。

无人机端到端质量保障方案业界首创网联无人机业务识别技术，具有可视化与可运营能力，提升无人机业务运营效益。

- 精准识别：基于智能DPI和AI深度学习能力，业界首创网联无人机业务识别技术，可精准区分无人机业务流量，支持大疆等主流厂商的协议解析，确保业务监控的准确性和可靠性；
- 可视化与可运营能力：提供全景监控视图、飞行轨迹可视化、业务指标分析等功能，便于运营商和行业客户实时掌握无人机运行状态，优化网络资源分配，提升运营效益。

无人机端到端质量保障方案在某省落地，能够实时洞察近期无人机网联业务分布热点区域，在大屏GIS上呈现无人机活动热点区域。一方面指导黑飞管控，优先布局黑飞提醒和管控体系，指导政府部门精准防控和引导，促进低空经济健康可持续发展；另一方面指导低空网络精准规

划，在任何地点都要满足飞行需求（如网络上行速率25Mbps）。

无人机端到端质量保障方案的实施取得了显著成效：

- 在业务发展方面，自2024年底至今，无人机网联业务发展及用户数翻倍增长，无人机文旅航拍月均飞行记录超5000架次。
- 在降本增效方面，我们面向低空业务网络运维，成功填补低空网络规运维手段空白。方案支持看业务发展、看网络流量分布、看终端型号分布、看飞行习惯等多维洞察，具备无人机业务质量质差预警和问题端到端定界诊断能力。
- 在行业应用赋能方面，通过智能的低空网络规划和网络优化，为低空经济发展奠定基础。以时空大数据驱动精准建网，识别高价值业务区域，引导网络资源优先向物流航线、起降点及热点空域布放；以确定性保障护航高价值场景，从“尽力而为”转为“差异化业务重点保障”，从而直接推动高价值行业应用（如医疗配送、城市巡检）的规模化落地与商业化变现。

展望未来，我们将加强低空智联网运维赋能，推动低空经济发展，更为行业提供智能化、安全化的解决方案，打造“政务+商业”双轮驱动模式，形成良性互动的商业闭环。ZTE中兴

重点管制区域低空安防

融合感知方案及创新实践



陶俊
中兴通讯无线系统资深架构师

随着低空经济的快速发展，无人机在物流配送、城市管理、应急救援等领域的应用日益广泛，为社会生产生活注入了新动能。然而，“黑飞”扰航、敏感空域入侵、非法投递等风险事件同步激增，对公共安全、航空秩序、关键设施防护乃至国家安全构成严峻挑战。传统安防手段在应对“低慢小”飞行目标时存在探测盲区多、探测精度不足、处置效率低等问题。在此背景下，融合多种感知探测技术、具备智能决策与协同反制能力的低空安防融合感知系统，正成为守护重点区域空域安全的核心支撑。

低空安防融合感知场景和需求

当前低空安防融合感知的重点是民航机场、政府科研要地、边境口岸、能源基地、石化

基地、大型活动场馆等重点管制区域。针对这些不同的安防场景，我们根据实践提炼构建了8个业务指标需求，并按照区域的安全发现、防御级别等需求，分为高、中、一般三个等级，如表1所示。

低空安防融合感知技术和方案

单一技术无法满足各种低空安防场景的需求，需融合多种感知探测技术实现多维度、多层次的防控系统。低空安防融合感知总体方案如图1所示。方案以5G-A通感网络为基础，辅以低空监测雷达、无线电侦测、光电探测、Remote ID等多种技术手段和设备，通过多源感知数据融合，实现“全域覆盖、精准识别、快速响应”的低空安防体系。

低空各安防场景差异较大，需采用不同的部

指标	高等级		中等级			一般
	机场	政府科研要地	能源基地	石化基地	边境口岸	活动场所
探测目标RCS	$\geq 0.01\text{m}^2$		$\geq 0.01\text{m}^2$			$\geq 0.01\text{m}^2$
探测概率	$\geq 95\%$		$\geq 90\%$			$\geq 80\%$
误报率	$\leq 2\text{次/天}$		$\leq 3\text{次/天}$			$\leq 5\text{次/天}$
定位精度	$\leq 30\text{m}$		$\leq 30\text{m}$			$\leq 30\text{m}$
数据更新率	$\leq 2\text{s/次}$		$\leq 2\text{s/次}$			$\leq 2\text{s/次}$
探测延迟	$\leq 2\text{s}$		$\leq 2\text{s}$			$\leq 2\text{s}$
取证要求	需要		需要			需要
反制要求	察打一体+人工		察打一体+人工			人工

▲ 表1 低空安防融合感知基本业务需求

署方案。

民航机场低空安防部署方案

民航机场低空安防系统由净空防御子系统和机场围界警戒子系统组成,实现对民航机场全天候立体化安防管控。净空防御子系统采用“核心区-警戒区”分级部署方案。核心区以机场跑道为中心部署5G-A通感基站和光电探测设备,并辅以低空雷达、无线电侦测、Remote ID等设备,通过多源感知数据融合实现米级精度感知和近距离目标的精准成像跟踪能力;警戒区主要部署5G-A通感基站,辅以低空雷达,形成警戒区连续覆盖。机场围界警戒子系统采用“5G-A通感+光电探测”的组合方案,可针对机场围界内重点地面保障区域设计多个电子围栏,并关联最优光电探测设备,对入侵目标进行多角度精确定位、追踪和识别。

边境口岸低空安防部署方案

边境口岸低空安防系统由净空无人机防范子系统和空水一体监测子系统构成,构建起空地协同、立体覆盖的智能化安防体系。净空无人机防范子系统以5G-A通感技术为核心,融合光电跟踪、无线电侦测、Remote ID以及反制等装备;空水一体监测子系统聚焦边境水域偷渡防范场

景,依托5G-A通感技术联动高清摄像头,构建水面与低空目标的智能捕捉网络。同时,系统可以灵活调度警航巡逻无人机执行动态巡检任务,实现重点区域全覆盖、高频次巡查。双系统采集的多源数据实时汇聚至智慧边境守护指挥中心,通过可视化大屏进行态势分析与战术指挥,支撑决策层快速制定精准应对策略。

重要活动场所低空安防部署方案

重要活动场所一般都是在密集城区,不适合部署低空雷达,低空安防方案以5G-A通感为主体,结合光电探测、频谱侦测等技术,构建固定性与临时性结合的智能化安防体系。在大型场馆制高点、观众席上方及核心区等永久重要区域,固定部署5G-A通感设备,形成常态化空域监测基础网络。针对露天舞台、观众聚集区、交通要道等临时重点区域,按需临时增设光电探测、无线电侦测等设备,与固定设备协同构建动态监视网。

创新实践

中兴通讯持续深耕低空安防融合感知技术方案,并积极探索创新实践,推动低空经济安全、高效发展。



▲ 图1 低空安防融合感知总体方案



▲ 图2 某国际机场低空安防实践案例

民航机场低空安防实践案例

为了保护机场免受无人机、气球、飞鸟等“空中地雷”和非法侵入跑道上的动物、行人、车辆等“跑道杀手”两大类安全威胁，国内某国际机场率先部署了基于5G-A通感技术的低空安防系统，如图2所示。

该系统通过多个5G-A通感基站的联合感知处理，突破了单基站探测距离、感知精度、响应速度的瓶颈，实现高可靠的目标检测，最终达成感知的广覆盖和高检测率。该系统实现了对无人机实时监测+电子围栏功能，能实时追踪机场监控区域内无人机的运动轨迹、速度和位置并针对入侵无人机进行反制驱离，实现区域内全天候、无死角、高精度的低空安防感知监测。同时，基于AI目标识别算法，实现对无人机、飞鸟、悬浮物等低空飞行物体的识别区分，目标识别准确率大于95%，支撑机场安防管控实施精准的处置措施。

边境口岸低空安防实践案例

云南红河边境线较长，涵盖山地、河谷等复杂地形，年均非法低空飞行事件300余起，传统安防手段监测盲区占比超40%。针对这一现状，红河边境口岸部署了基于5G-A通感技术的低空安防系统。

该系统沿红河边境线以每1.2公里间距部署5G-A通感基站，核心区域站点密度提升至0.8公里/站，同步配套光电探测设备，构建了立体化监视网络，实现98%的重点通道与易走私区域全覆盖。系统依托5G-A技术实现米级定位精度与秒级测速能力。通过多源数据融合算法，目标识别准确率达96.7%，能在3秒内区分合法无人机与非法改装无人机。在监管平台联动机制下，实现“监测精度-识别效率-处置速度”三维度突破，边境检查站响应时间压缩至5分钟内，视频监控自动跟踪覆盖率达100%，地面防控力量调度效率提升60%。

该系统有效遏制了利用无人机进行走私、非法入境等违法活动，大大提高了红河边境口岸的低空安防水平，为边境地区的社会稳定和经济发展提供了有力保障。

低空安防融合感知技术通过整合多种感知手段和AI分析能力，构建了“可视、可管、可控”的低空安防体系，为重点管制区域提供了全方位、立体化的安全防护。随着5G-A通感技术逐渐成熟并向6G演进，以及AI智能识别、大模型应用等技术持续发展，低空安防技术能力还将不断提升。ZTE中兴

低空载物价值场景端到端 解决方案和商业投资分析

“先载物后载人、先远郊后城区、先隔离后融合”，2025年5月，国家发改委提出低空经济发展政策指引。低空载物是低空经济率先发展的业务领域，未来市场空间巨大。按照2024年统计数据，中国社会物流总费用约19万亿元，占GDP比例为14.1%，明显高于发达国家8%~9%的占比，可见国内地面物流成本较高。根据深圳市政府对低空经济的发展规划，未来5—10年将分流地面运输量的10%左右到低空。如果全国未来10年能够将5%的地面运输量分流到低空，那么市场空间将达到1万亿元规模。

低空载物典型场景及发展趋势

低空载物场景主要包括干线物流、支线物流、末端配送三大类，同时景区物流配送、山村农作物运输等可以作为单独的低空载物场景类型。

低空干线物流发展较快，尤其是胡焕庸线西北侧新疆、内蒙、东北等地人稀地区，以前主要采用通航飞机运送重要紧急物资，目前正在发展吨级无人机运送，成本大大降低。低空干线物流市场中短期有望得到大力发展。

低空支线物流主要集中在跨江跨海、城乡之间的区域，例如大湾区深圳、珠海、中山、广州、东莞等邻近城市之间存在大量的紧急重要物

资即时配送需求。低空支线物流目前处于小规模发展阶段，中长期发展市场规模大。

城市内10km范围内的末端配送仍然处于试点阶段，主要由于配送成本无法跟传统骑手模式竞争，处于亏损状态。随着骑手资源减少和人力成本的不断上升，城市低空物流配送未来潜力大，远期看好。

此外，医疗物资、山乡运输、景区运输、施工现场运输等特殊物流场景，属于刚需场景，成本效益突出，是各地重点发展的业务领域，但规模效益不突出，属于碎片化市场。

低空物流端到端解决方案（以支线物流为例）

低空支线物流价值场景主要有两种：第一是邻近大中城市之间，如长三角、大湾区等沿海发达城市之间，重要紧急物件的快递，如测试样品、文件、印章等；第二是市区与海岛、乡镇、村庄之间，保鲜食品、医疗物资等物资的运输。该场景的业务需求包括无人机载具、空域和航路、起降设施、通导监网络、微气象设施、低空物流服务平台等资源和设施支撑。

● 航线规划方案

支线物流航线高度一般设置在120~300m，避开禁飞区的情况下优选最短距离飞行，在城区



丁光河
中兴通讯无线系统资深架构师

内沿道路和河道上空规划路径。航线规划一般以高精度3D电子地图、城市CIM模型、空域划分地图作为参考和工具，以起降点为两端规划航线，并经过模拟仿真、实地勘察飞行、报审批准后正式确定。

● 飞行器选型

支线物流的航线长度一般在100km以内，载重需求一般为数十公斤，因此采用中型无人机最具经济性。对于航线距离较远的优选复合翼无人机（速度快、续航远），对于航线距离较近的优选多旋翼无人机。典型的有丰翼科技的方舟30、方舟90，大疆创新的DT30等。

● 起降场方案

当前主要以物流公司自建独享的模式建设起降场，在城市物流配送站建设多个地面起降场，并配套简易的小型气象站、视频监控、充电设施、无人机机库、仓储分拣和机电维修房等。在远端起降点（海岛、山乡），建设简易起降场，配套小型气象站、视频监控等设施即可。未来共享式起降场也是一种发展趋势，共享式起降场具备兼容多家航司飞行器起降，采用场控机进行起降调度控制，类似于民航塔台。

● 微气象设施方案

从安全完善的角度，在起降场和航线范围内都需要微气象设施覆盖，在示范阶段出于成本考虑，航司基本仅在起降场自建部署小型气象站。未来规模化阶段，需要在航线部署三维激光测风雷达，在起降场部署垂直激光测风雷达，但成本高昂，需要由政府或低空公司统筹建设。

● 通导监网络方案

支线物流的飞行高度为120~300m，现有的地面蜂窝网络基本覆盖不到，目前部分物流公司采用430M/1.4G/2.4GHz等私有自建网络，可靠性和经济性都欠佳，需要电信运营商统筹新建专门对空的移动蜂窝网络覆盖。导航方面，目前以“卫星+RTK”导航基本满足需求，由于卫星导航

信号容易受干扰，为了保障可靠性需要配置辅助导航手段，5G-A通感可作为备选。监视方面，默认采用Remote ID广播模式主动上报状态信息，需要沿航线部署RID接收站。未来规模化阶段需要部署主动感知探测设施用于航路安全监视，可采用“5G-A通感+低空雷达+光电探测”组合模式。

● 低空飞行运营服务平台方案

低空飞行运营服务平台主要包括飞行器状态监控和飞行控制、用户订单管理、空域和航线规划、生产调度和数据分析等。发展初期，航司在全国部署一个平台，在中心机房部署平台设施和运营中心。航司低空物流运营平台需要接入上层政府监管平台，实现监管数据上报和监管指令接收。

低空支线物流端到端方案标品化配置如表1所示。

低空物流商业投资收益评估（以支线物流为例）

目前低空支线物流基本是头部物流公司自建独享模式，但未来低空经济一定是共享经济，所以我们分别分析独享和共享两种模式下的低空支线物流投资收益。低空支线物流的两种运营模式如图1所示。

航司投资收益评估

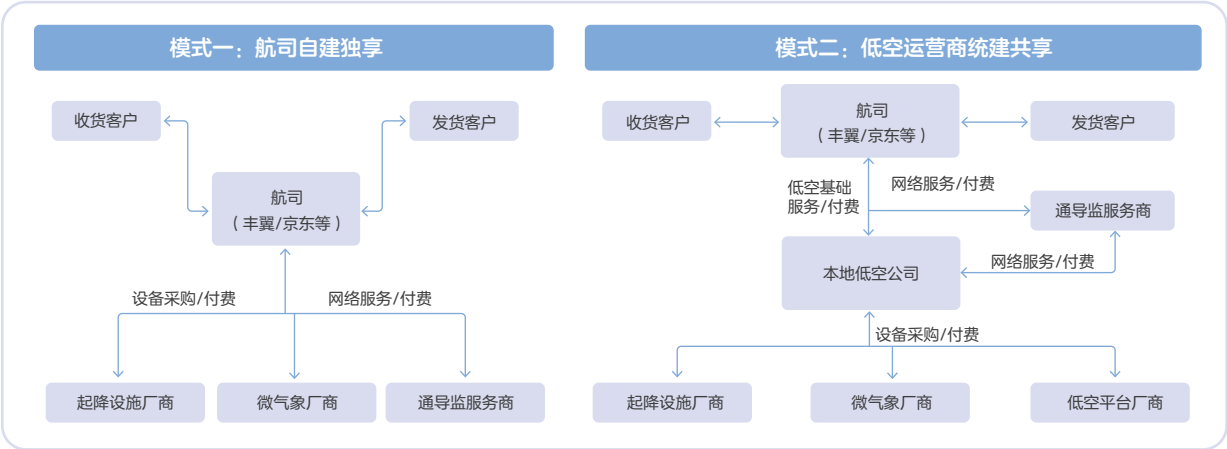
以模式一分析，假设条件如下：

- 根据深圳实际情况，假设平均每条支线物流的业务量为300次/月；
- 平均每单收费30元（丰翼科技在深圳到中山跨城即时送体验推广价是40元，我们预估其他地区按照30元/单收费）。

如表2所示，从成本构成来看，无人机损耗折旧成本和末端骑手配送成本共计占比70%。这部分属于刚性成本，支线物流如果要实现收支平

▼ 表1 低空支线物流端到端方案标品化配置表

	配置项	配置项描述	成本预估	商务模式	主要提供商
1	无人机	中型无人机	10万~30万元/台	航司自行提供或无人机厂商销售	丰翼科技、京东、纵横、大疆等
2	起降设施	起降场/起降台及配套监控、通信设施等	简易型<30万元/点；共享型>50万元/点	航司自建自用或低空公司统建共享	丰翼科技、中国铁塔、多翼创新等
3	气象设施	起降场内的小型气象站、垂直激光测风仪、三维激光测风雷达、天空实景监测仪等	小型气象站：1万元/台 激光测风雷达：20万元/台 三维激光测风雷达：100万元/台	航司仅自建小型气象站，激光测风雷达、集中监测站等需要低空公司统建共享或政府建设	浅海科技、国睿科技、华盛雷达等
4	飞行运营服务平台	航线规划、飞行申报、飞行控制、数据处理等	不单独报价	航司自建自用，全国统一平台	丰翼科技、京东、讯蚁、邮政等
5	低空监管服务平台	区域低空飞行监管服务	不单独报价	低空公司基于整个城市统建共享	莱斯信息、中科星图、民航二所等
6	通信设施	4G/5G移动蜂窝网络	按服务收费，约150元/机·月	电信运营商统建，按包月流量收费	中国移动/中国电信/中国联通
7	导航设施	卫星+RTK	按服务收费，约150元/机·月	位置导航服务商统建，按月收费	中国移动/千寻/腾讯
8	监视设施	RID播报、5G-A通感	按服务收费，预估2万~5万元/站·年	电信运营商统建，向政府或低空公司收费	中国移动/中国电信/中国联通



▲ 图1 低空支线物流的2种运营模式

衡，每次无人机飞行需要运送4单以上。支线物流运输规模需求越多盈利越好，因此经济发达的沿海地区是业务试点首选。

模式二可以免除起降设施建设成本，一定程度上可以提升盈利水平。

低空公司投资收益评估

模式二是规模化阶段低空公司统建共享，由于尚无实践案例，此处以预估数据评估投资收益。假设条件如下：

- 每个起降场10条航线共享；

▼ 表2 低空支线物流航司投资收益评估分析表

	子项	成本/费用	使用寿命	每次成本	说明
CAPEX	无人机	20万元	1万次起降	20元	含电池损耗
	起降设施	30万元	10年	8.3元	按照简易起降场配置（1条航线2个起降场）
	气象设施	2万元	10年	0.6元	按照1条航线自建2个小型气象站
	飞控平台	>100万元	不受限	5元	早期计入每单成本较高，大规模后可以不计入
OPEX	电费	<ul style="list-style-type: none"> 无人机耗电约5度/次 起降点耗电10度/天 		6元	
	后台人力	<ul style="list-style-type: none"> 人机比1:10，10单/机·天 人力成本1万元/月 		3.3元	
	骑手人力	<ul style="list-style-type: none"> 10元/件（取货+送货） 		50元	含取货+配送到家，每单10元×5
	租金	起降点10米 ² ，月租金2000元		6.7元	起降场一般在物流园区
	网络服务	<ul style="list-style-type: none"> 通信150元/架·月 导航150元/架·月 		1元	通信导航费
	航线使用				试点阶段无
总成本	100.9元/次				

▼ 表3 低空支线物流低空公司投资收益评估分析表

	子项	成本/费用	说明
CAPEX	起降设施	10万元/航线	建设成本100万，10条航线共享
	微气象设施	5万元/航线	每个起降场配置1台垂直激光测风雷达和小型气象站，航线配置三维激光测风雷达
	低空监管运营服务平台	3万元/航线	总投资较大
OPEX	电费	0.5万元/年/航线	共享空港所有设施电力消耗，包括无人机充电
	物业租金	0.5万元/年/航线	按共享空港占地1000米 ² 估算，含办公仓储用地
	人力	1万元/年/航线	估算投入人力1人/起降场，成本10万元/年
	感知监视网络付费	0.5万元/年/航线	电信运营商提供网络监视服务
	航线使用费	0.5万元/年/航线	政府授牌，低价或免费使用
Revenue	基础设施打包服务	5.4万元/年/航线	每次飞行服务费3元
	其他增值服务		如数据变现、起降点广告服务等

- 平均每条支线物流航线业务量为1500次/月。
如表3所示，每条航线年收入5.4万元，运营成本（OPEX）为3万元/年，盈利为2.4万元/年，需要7年收回投资。低空公司需要控制投资和运营成本，并充分挖掘低空增值业务服务，提升收入。

低空载物场景较多，其中血液运输、景区

运输、山乡农产品运输已经逐步规模开展，但未来真正的大市场是在低空物流。其中干线物流、支线物流在中短期有望实现商业正收益闭环，而低空末端物流配送尚需探索。低空载物大规模发展需要构建在泛在共享的端到端基础设施之上，只有统建共享模式下进一步降低低空物流运营成本，才能凸显成本效益从而实现行业良性发展。ZTE中兴

低空载人价值场景端到端解决方案 及商业投资分析

低空载人是利用直升机、电动垂直起降飞行器(eVTOL)等低空飞行器进行的载人飞行活动,为乘客提供点对点、高效便捷的低空运输服务,低空休闲旅游服务等。与传统地面交通相比,低空载人飞行的核心价值在于节省时间、提升可达性。作为低空经济核心场景和高价值场景,低空载人业务当前正处于从技术验证迈向商业化落地的关键阶段,随着政策松绑、技术突破与产业成熟,将加速落地。

低空载人典型场景及发展趋势

低空载人的典型场景主要包括城市空中交通、城际/区域交通、旅游观光、应急医疗救援等四个领域。

- 城市空中交通实现市中心核心区、机场、高铁站、商务区之间点对点高效接驳,节省交通时间,避免地面拥堵,为客户提供专属、高效便捷的出行选择,满足出行个性化需求,提升企业效率与形象。
- 城际/区域交通在特定区域(如环渤海、长三角、粤港澳大湾区)提供比高铁更快、比传统航空更便捷的点对点服务,大幅缩短城际旅行时间,提升区域一体化效率;此外通过部署低空交通航线,为海岛出行提供便捷

选择,促进区域发展。

- 低空游览通过高空视角、互动体验、个性化的飞行路线,提供独特的空中游览体验;此外能够覆盖地面交通难以到达的景区和自然保护区,开拓新的旅游资源。
- 应急救援与医疗转运可快速将危重病人或移植器官送达医院,尤其是在交通拥堵或偏远地区场景下意义重大,社会效益巨大。

当前低空游览和高端商务出行是最成熟、落地最快的低空载人应用场景,其价值不仅在于直接收益,更在于通过先行体验培育“低空载人”公众认知,为后续低空载人场景的规模化推广奠定社会基础。

低空载人端到端解决方案(以低空游览为例)

低空游览以景区航线和城市地标航线为核心场景,前者从空中俯瞰山海,放大自然景观价值,后者借高空视角呈现城市风貌。实现上述体验需配置载人飞行器、空域和航路、起降设施、通导监网络、微气象设施和低空服务平台等全要素支撑体系。下面聚焦景区场景展开分析。

● 低空游览航线规划方案

低空游览航线一般为固定航线,当前以体验为主。景区游览航线航程一般在10km左右,航



陶俊
中兴通讯无线系统资深架构师

线规划需经过严格的模拟仿真和实地勘察飞行，报审批准后确定。为保障视野清晰，航线高度一般设置在120~300m，并结合景点分布设置多视角盘旋点（如自然景观上空）。

● 飞行器选型

飞行器目前以传统直升机为主，未来逐步发展到eVTOL为主。直升机是有人驾驶，而eVTOL可以选择有人驾驶或无人自动驾驶。对于低空景区游览场景，核心诉求是“低成本+短程灵活”，载人飞行器优选续航距离短、飞行速度 $\leq 120\text{km/h}$ （兼顾稳定性和观景体验）、多旋翼构型、经济型、能自动驾驶的eVTOL，比如亿航EH216-S。下面分析主要基于eVTOL。

● 起降场方案

根据景区大小和航线数量，景区内建设多个地面起降场。当前主要采用A-A航线，每条航线仅需配置1个起降场。每个起降场至少配置1个eVTOL起降坪、1个eVTOL停机位，并配套微气象监测、视频监控、充电、照明、消防等设施，以及配套场站运营管理和乘客服务相关设施。

● 微气象设施方案

载人飞行对安全要求较高，需在起降场以及沿航线部署小型气象站、垂直激光测风雷达、三维超声波风速风向仪、全天空成像仪等先进微气象设备，实现对低空气象要素的全方位监测，为低空飞行安全提供精准气象数据支持。

● 通导监网络方案

对于通导监网络需求和方案，飞行器有人驾驶和自动驾驶存在一定的差别。

通信方面，有人驾驶主要是游客通信需求（如手持终端高清视频上行回传），而自动驾驶除了游客通信需求外，还有飞行器自身的上下行飞控链路通信以及自身载荷数据上传的需求。自动驾驶有更大的带宽需求以及更高的可靠性和时延要求。低空游览飞行高度一般在300m以下空域，通信网络方案主要采用4G/5G地面通信网络

覆盖，同时需沿航线对地面基站进行优化和补盲建设，以保证信号质量和覆盖连续。

导航方面，有人驾驶基本不需要，自动驾驶则需要实现精准的自主定位和导航。自动驾驶场景下的导航方案以“卫星+RTK”导航为主，5G-A通感导航、视觉定位导航、INS惯性导航作为辅助。

监视方面，为了满足监管要求，载人飞行器都要配置ADS-B模块和RID模块，监视网络需沿航线部署RID基站和ADS-B基站，以确保覆盖整个航线。对于自动驾驶，还需要对飞行器状态和轨迹进行不间断监视和精确跟踪，需要沿航线增加部署5G-A通感等主动监视设备，并采用多源融合感知方案，以实现更为精确的监视。

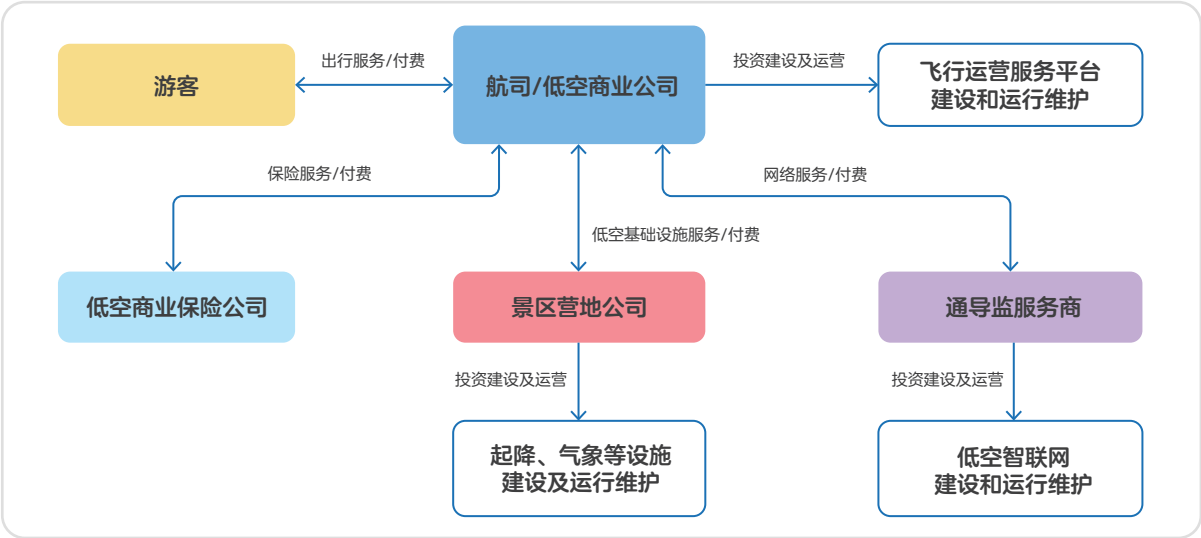
● 低空飞行运营服务平台方案

低空飞行运营服务平台由航司统建，主要包括航线规划、飞行申报、飞行控制、用户服务与管理、数据分析等功能，需支持与上层监管服务平台、天气监测系统、支付系统等对接，实现业务流程自动化。

低空载人商业投资收益评估（以低空游览为例）

低空景区游览商业模式如图1所示。其中航司负责景区游览航线的商业运营，向游客提供低空飞行游览服务；景区营地公司负责起降设施、气象设施的建设和运行维护，向航司提供相应租赁服务，收取服务费；通导监服务商为航司提供通导监等服务，收取服务费；低空商业保险公司为航司提供保险服务，收取服务费。

下面按照单条游览航线运营情况对航司商业投资收益作简单的定量评估。假设每条航线配2架2人座eVTOL，每架eVTOL每天飞8次、每次载客2人、一年飞行250天。假设单程票价为500元/人，则每架eVTOL年收入为200万元，2架为400



▲ 图1 低空景区游览业务商业模式

项目	分项	成本/收益	备注
飞行器折旧成本	eVTOL采购成本	300万元	每条航线配2架eVTOL，150万元/架
	年折旧成本	30万元	折旧年限假设为10年
用电及电池成本	单趟耗电成本	3.9元	单趟航程10km，约耗电6.5度，每度电0.6元
	年耗电成本	1.56万元	
	年电池更换成本	64万元	
	全生命周期电池更换成本	640万元	电池全生命周期更换8次，每次更换成本约40万元
电机更换成本	年电机更换成本	0	电机设计寿命6000小时，全生命周期不用更换
机体维护成本	年机体维护成本	13.3万元	平均每飞2000小时，eVTOL机体维护费用40万元
保险成本	年保险费用	6万元	整机售价的2%
运营成本	年人力成本	50万元	运营机组人力按50万元/年估算
	年通导监等服务成本	9.6万元	按4000元/月·机估算
	年起降/气象设施租赁成本	100万元	
运营收益	年总成本	275万元	
	年直接成本	245万元	
	年总收入	400万元	
	年利润	125万元	
	年净现金流	155万元	

▲ 表1 航司商业投资收益评估

万元，年利润为125万元，成本回收周期约为1.9年。详细评估过程见表1。

低空载人端到端解决方案的实施是一个系统工程，需要飞行器制造商、基础设施提供

商、运营服务商、监管机构和社会公众的共同努力，通过跨领域协作、技术创新和商业模式创新，进一步降低运营成本，实现低空载人规模化商业运营。ZTE中兴

低空作业价值场景端到端解决方案 及商业投资分析



汤红
中兴通讯无线系统架构师

基于无人机的低空作业可以大幅提升生产作业效率并降低高风险作业安全隐患，主要包括低空巡视巡检、低空农林植保、低空城市治理、低空测绘勘测、低空应急救援等五大价值场景。低空作业场景涉及范围广泛，本文选取其中的低空城市治理场景进行详细分析。

低空城市治理商业应用场景分析

城市综合治理长期成为地方政府的棘手议题：财政与人力资源投入持续高企，民众获得感却相对有限。城市综合治理主要面临以下痛点：

- 城市管理事件类型庞杂、数量巨大，人工巡查难以实现全域覆盖，隐蔽死角区域长期游离于监管之外；
- 传统人工巡查模式依赖高密度人力投入，且巡查有效性和准确性难以保障；
- 人工巡查高度依赖个体经验，易漏检、耗时长、效率低，且过程数据缺乏信息化留痕，事后溯源困难；
- 传统巡查模式下，政府各部门各自为战，存在重复投资、监管壁垒和数据孤岛等问题。

低空城市治理是当前城市综合治理的发展方向，经过近几年的试点与验证，已经在国内多个城市中广泛应用，并带来良好的经济效应与社会效应。低空城市综合治理主要包括6个业务场景：基础设施巡检与维护、城市交通管理与疏导、城市治安巡逻与执法、城管巡查与城市治理、城市

环境监测与治理、企业园区安全生产监管。

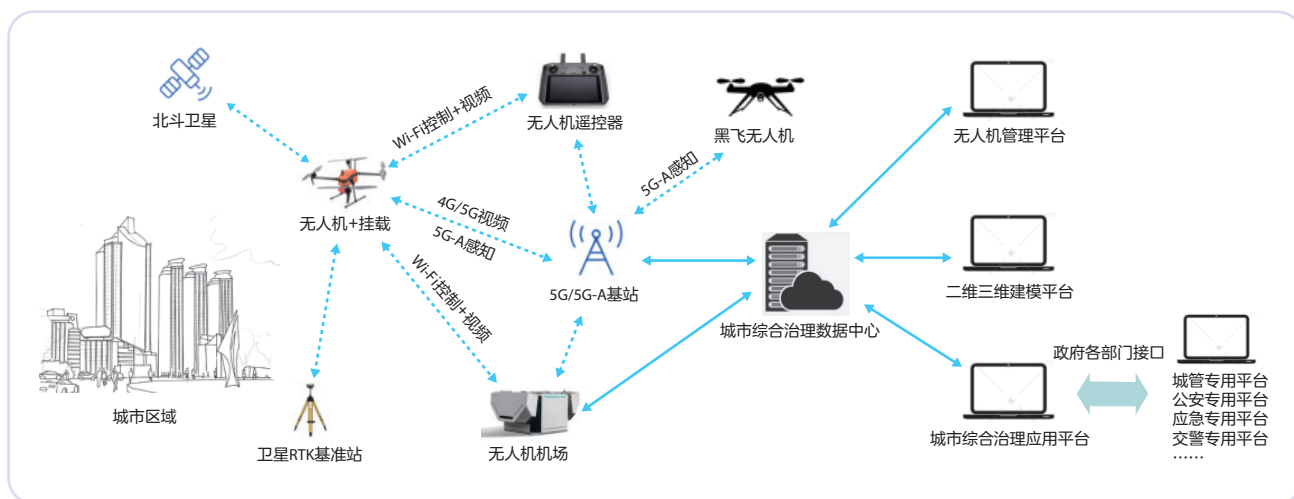
以低空城市治理为代表的低空价值场景，为低空经济的发展带来巨大的商业机会，但要实现真正的商业应用规模落地，要解决两个关键的闭环，即技术方案闭环与商业投资闭环。

- 技术方案闭环，要从技术上打通低空飞行的各个环节，实现全流程端到端技术保障，包括：飞行器的安全可靠、起降设施的共享可用、运营平台的可管可控、通信导航与监测设施的全面覆盖等；
- 商业投资闭环，需要解决从投资到收益的所有权益者的责权利分配，实现商业模式与商业运营的经济循环，涉及地方政府、投资机构、业务运营商、基础设施提供商以及最终用户等多个权益主体。

技术方案闭环助力低空经济规模落地

城市综合治理端到端解决方案通过一套基于5G网联的无人机系统，突破传统无人机巡检作业在巡检频率、覆盖范围、响应时间的限制，同时为公安、应急、城管、国土、水务、环保等多个政府部门提供高频次、全天候、快响应的无人机服务（见图1）。

- 无人机及负载：主要采用便携式无人机或中小型无人机，同时根据管理的需求配置不同的负载，包括高清相机、激光雷达、红外夜视、照明、喊话器等。
- 起降设施：根据无人型号与工作要求，配置



▲ 图1 城市综合治理端到端解决方案

不同类型的起降设施；起降设施除了为无人机提供充电以外，还配备视频监视、微气象监测、RTK定位、4G/5G通信模块等设施。

- 通信解决方案：包括无人机与起降设施、无人人与云控平台、无人机与遥控器、起降设施与云控平台的通信；传统方式以Wi-Fi和4G为主，考虑到视频的实时回传以及飞控信号的可靠性，未来将采用5G/5G-A+Wi-Fi的双链路模式。
- 导航与定位解决方案：无人机需沿指定航线飞行，并能精准降落到起降设施上，对无人机的导航提出了米级要求，定位提出了厘米级要求。在城市高楼环境中信号遮挡严重，主要的解决方案是“北斗卫星+RTK基准站”，同时辅以视觉辅助导航与5G-A通感辅助导航技术。
- 监视解决方案：采用“全域5G-A通感+光电感知探测”方案，对注册无人机、黑飞无人机实时监视，同时具备识别与过滤飞鸟的功能。注册无人机主动上报RID信息，而黑飞无人机则需要监视系统主动感知上报。
- 无人机管理及应用平台：平台主要对无人机及飞行任务进行管理，包括无人机实时态势感知、无人机远程控制、智能航线规划、作业规划与任务调度以及数据管理与第三方开放。此外，还可以配合数字孪生与三维建模

平台，提供更加精准的地形地貌信息。

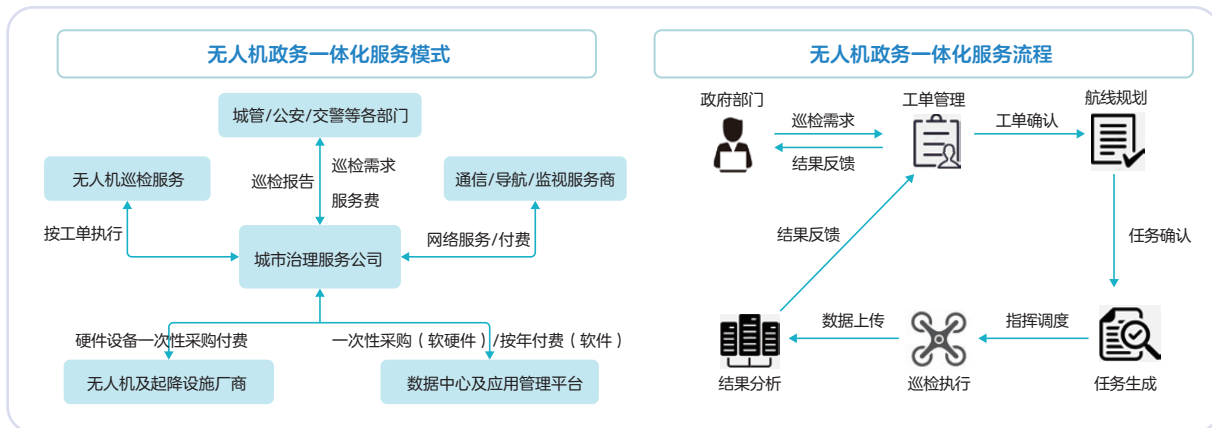
- 城市综合治理应用平台：基于网格化、业务闭环理念，为城市提供精细化治理，包括网格化自动巡查、按需实时远程治理、一站式工单管理、场景化AI分析及报告自动输出，同时提供第三方开放接口，实现与政府其他部门平台对接。

城市综合治理端到端解决方案中，中兴通讯提供基于5G/5G-A的通信、导航与监视方案，其他方案由行业合作伙伴提供。

商业投资闭环保障低空经济可持续发展

基于无人机的城市综合治理当前已经在很多城市落地，已形成比较成熟的运营与商业模式：全市统一建立“无人机政务服务飞行体系”，实现集约化建设和归口化管理，包括一个无人机指挥调度中心、一支无人机飞行队伍、一张覆盖全市的无人机信息网、一套无人机综合指挥管控平台、一套服务全市政务体系的无人机巡检运作机制。其运作模式与服务流程如图2所示。

通过以上服务模式与服务流程可以看出，一个独立的“城市治理服务公司”非常关键。该公司通常从政府机关独立出来，同时服务于政府多个部门，并收取一定的费用。该公司一方面召集



▲ 图2 基于无人机的城市综合治理服务模式与服务流程

	项目	单价	数量	金额	说明
CAPEX	无人机及起降设施	15万元	60	900万元	DJI机场+M30T套装+挂件
	数据中心	40万元	1	40万元	含服务器硬件及工程安装
	三维仿真建模平台	8万元	1	8万元	DJI智图、智模系统
	城市治理应用平台	30万元	1	30元	可全网共享，成本分摊
	合计			978万元	
OPEX	飞控云平台	499元/月	1	499元/月	DJI司空
	网络服务（通信+导航）	200元/月	60	1.2万元/月	通信150元/月，导航50元/月
	电费（起降点）	150元/月	60	0.9万元/月	0.5元/度×10度/天
	租金（起降点）	300元/月	60	1.8万元/月	城市租金按300元/月
	电费（服务器）	360元/月	1	360元/月	服务器按1000W，24度/天
	人力（飞控及分析）	1万元/月	5	5万元/月	72小时报告、航线规划等
	合计			66万元/年	
巡检服务	无人机巡检服务收入	50元/km	12万	600万元/年	按2023—2025年共巡检37万km

▲ 表1 某市无人机综合治理项目投资收益分析

各供应商与集成公司，构建一套完整的从无人机到管理平台的端到端无人机综合治理系统；一方面委托专业无人机服务公司提供日常运营与运维服务。这种以“城市治理服务公司”为中心的运作模式，通过设备采购、运营外包、服务收费实现了商业闭环。

对于“城市治理服务公司”来说，以某市无人机综合治理项目为例，一次性投入978万元，每年运营投入66万元，每年巡检服务收入600万元，第二年即可回收成本并实现盈亏平衡，从第

三年起开始盈利。投资分析如表1所示。

低空城市治理作为低空作业最典型的应用场景，目前已经形成完整的端到端解决方案，并有大量的设备及方案供应商，实现了技术方案的闭环。同时，在多个城市地方的商用不但验证了应用场景的价值，也验证了商业运营模式的可行性，真正实现了商业投资闭环。我们相信，未来基于无人机的低空城市治理将成为现代化城市管理的基本手段。ZTE中兴

地市低空经济顶层设计探讨

当前，低空经济作为战略性新兴产业，在全国范围内掀起新一轮发展热潮。这片蕴藏无限可能的“天空蓝海”，既是科技创新的制高点，更是区域经济实现跨越式发展、培育新质生产力的关键赛道。低空经济要发展，首先要做好顶层设计。顶层设计主要包含两个层面：国家层面的顶层设计，侧重制度、政策和标准，有专门的政府部门、行业机构负责；地方层面，尤其是以地市为单位的顶层设计，除地方性政策之外，更侧重对本地的低空经济发展目标、低空业务和基础设施的规划。本文围绕地市层面的低空经济顶层设计进行探讨。

低空经济顶层设计的基本流程和要素

低空经济顶层设计需遵循“环境评估-总体目标-分期规划-总体架构设计-专业规划”的科学闭环。基本流程始于环境分析，以精准“摸清家底”；进而明确符合地方特色的总体目标，解决“为何发展、走向何方”的核心问题；再构建分期规划思路，保证发展的可持续性和可实现性；接下来制定以“空域管理-基础设施-产业生态-应用场景”为支柱的规划体系，并配套以法规标准与安全监管的坚实基础，完成整体架构设计；最后进行专业规划。这一流程旨在系统地破解管理、空域、产业与安全等核心挑战，引领低空经济从概念加速迈向规模化、商业化与生态化的高质量发展道路。

从案例实践看地市低空经济顶层设计

以某市低空经济顶层设计为参考，简要分析

低空经济顶层设计的思路和实践经验。

环境分析

某市政府通过政策扶持发展低空经济，依托区位优势拓展多样化的低空应用场景，并凭借低空产业链上下游基础为发展提供有力支撑。

政策方面，2024年6月，某市政府印发《XX市支持低空经济高质量发展的若干措施》，从产业生态、应用场景、要素供给等方面提出12项具体扶持措施。其中对顶层设计影响最大的是应用场景、要素供给。飞行业务场景中重点发展低空物流和出行业务，产业供给要素重点是基础设施建设。

需求侧，某市位于粤港澳大湾区核心区域，与港澳路桥相连，拥有140多个岛屿，海洋面积广阔，为低空飞行提供了天然的测试与应用场景，如干支末物流快递、海岛海鲜快递、跨城低空立体出行等业务。

供给侧，该市具有一定的低空产业基础，包括上游无人机制造业，涵盖飞机制造、维修服务等环节，聚集了中航通飞、摩天宇等龙头企业，为低空经济发展奠定了产业基础。中游具备广泛的移动通信基础设施，下游有通航运营企业，并成立了国资背景的低空投资运营公司，这些都是发展低空经济的有利条件。

总体目标

某市的总体目标是聚焦eVTOL等航空器研发制造做强低空制造业，完善数字化管理、信息基础设施及起降点等配套，并拓展物流、短途运输、城市空中交通及多领域应用场景以扩大低空飞行应用。

- 做强低空制造业，重点聚焦eVTOL等大型航



范忱
中兴通讯系统架构师

空器研制

引进培养eVTOL及大、中型无人驾驶航空器整机研发制造企业；加快推动载人eVTOL等低空航空器产业化；推进低空经济企业技术改造，提高企业智能化、绿色化、融合化发展水平。

● 完善低空基础及配套设施

构建低空飞行数字化管理服务系统，支撑飞行服务、空域管理、航线高效规划和利用；推进5G-A应用示范、卫星通信创新应用等信息基础设施建设；加强通航机场建设，新建大中小型各类无人机起降点和配套设施。

● 扩大低空飞行应用场景

扩大低空物流市场规模；加强开通通航短途运输航线；培育城市空中交通新业态eVTOL；拓展多领域应用如应急救援、医疗救护、城市治理等。

分期规划

该市低空经济发展按照三个阶段规划，分别是应用示范期、商业发展期和规模运营期。

● 应用示范期（2024—2027年）：以政府主导投资完成示范区建设，在示范期实践中不

断优化政策和规范，探索整体发展的商业模式和典型业务商业模式，将具备条件的业务场景率先培育并规模化。

● 商业发展期（2027—2030年）：激活社会资金投资到基础设施建设和业务运营，进一步扩大业务应用场景和规模化，实现商业闭环。

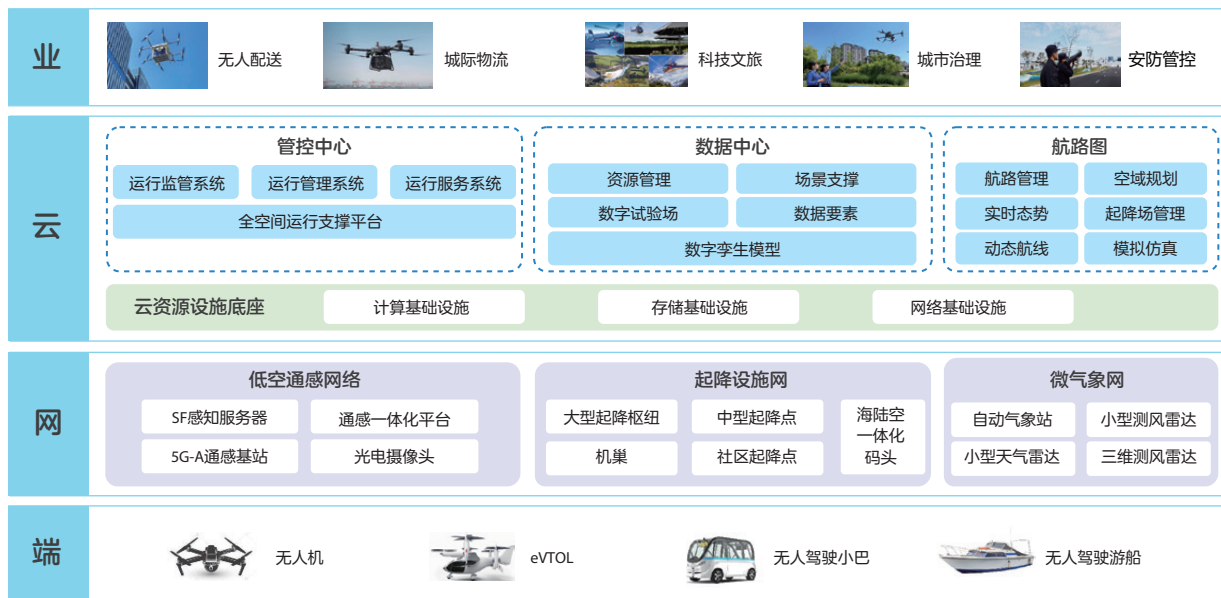
● 规模运营期（2030年之后）：实现低空业务的多元化规模发展，产业上中下游均可实现可盈利的良性发展，政府从财政收入中得到投资回报。

总体架构设计

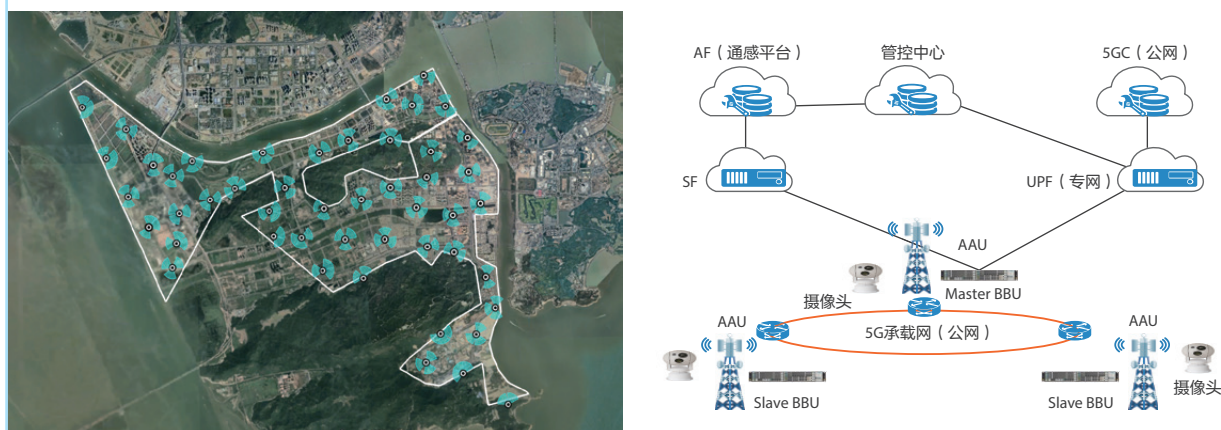
该市提出全空间智能融合的低空整体架构设计思路，关键特征是“海陆空”全空间覆盖。其架构设计考虑了陆地、海岛、海上等复杂环境的协同管理，为未来更复杂的低空应用（如跨境物流、海洋监测）预留了空间。全空间智能融合包括端、网、云、业四个部分，如图1所示。

专业规划

该市低空经济示范区规划5大业务场景（如



▲ 图1 某市低空整体架构设计



▲ 图2 低空经济示范区低空通感网络规划

城市无人配送)，以文旅、社区等重点打造智能配送网络，初期设6条航线连接商业中心与周边区域，分阶段引入服务商并成立运营公司实现规模化；同步建设管控中心、数据中心等7大基础设施。

业务应用规划方面，该市低空经济示范区共规划了5大业务应用场景，包括城市无人配送、城际物流、科技文旅、城市治理、安防管控。每个子业务场景规划包含业务定位、航线规划和运营方案。下面仅以城市无人配送业务为例说明低空业务规划思路。

- 业务定位：围绕文旅、社区、CBD等重点区域，打造覆盖全域的智能无人配送体系，提升城市快递和外卖配送效率，降低传统骑手人力需求。
- 航线规划：初期打造6条配送航线，主要以创新方广场和庞都广场两大商业中心为起飞点，面向周边CBD、高端住宅区、医院、工业园区、休闲景区提供外卖配送。
- 运营模式：初期引入杭州迅蚁作为外卖配送服务商；到成熟运营期，通过成立低空运营公司管理低空基础设施，引入更多的低空外卖配送企业，实现规模发展和商业

闭环。

基础设施规划方面，低空经济示范区包括7大基础设施规划建设，分别是管控中心、数据中心、航路图、低空通感网、低空起降设施网、低空气象设施网以及云基础设施底座。以低空通感网为例，示范区共规划建设48个5G-A通感基站和48个光电摄像头作为低空通信和探测感知的全域覆盖（不含山区），以及通感一体化监测平台，如图2所示。

低空经济绝非简单的“飞起来”，而是一项涵盖空域管理、产业生态、基础设施、安全监管和应用场景的复杂系统工程。若缺乏顶层的统筹谋划，实践中极易陷入权责困境、空域困局，以及同质化竞争泥潭。因此，前瞻务实的顶层设计已不再是“未雨绸缪”的可选项，而是引导低空经济从概念走向实质、从零星迈向规模化发展的必然要求和紧迫任务。它关乎地方政府能否在这场围绕“天空”的区域竞合中，明确自身航向、整合优势资源、筑牢安全底线，真正将低空经济转化为驱动城市能级跃升和经济社会高质量发展的新引擎。ZTE中兴

低空经济“十五五”发展思考



丁光河

中兴通讯无线系统资深架构师



陶俊

中兴通讯无线系统资深架构师

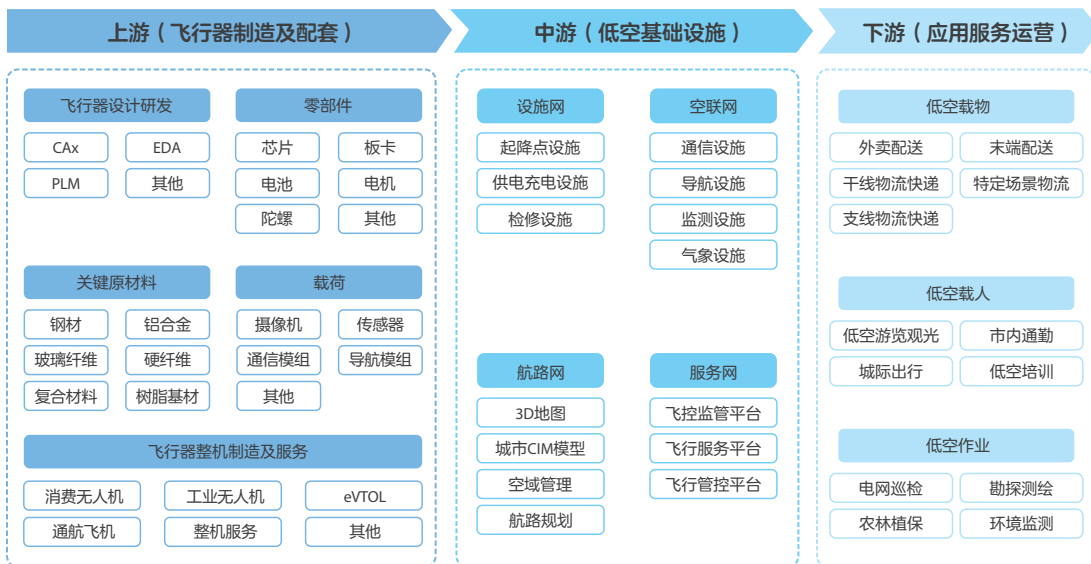
2025年10月，党的二十届四中全会审议通过了《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》，对“十五五”时期我国经济社会发展作出了战略部署。在“十五五”规划建议中，对低空经济等战略性新兴产业发展提出了明确要求：着力打造新兴支柱产业、加快战略性新兴产业集群发展、加快新兴产业规模化发展。根据规划建议要求，“十五五”期间将是低空经济迈向规模化发展的关键阶段。

发展现状

自从2021年国家正式提出低空经济概念以

来，在政策牵引、技术创新和场景应用的三轮驱动下，在政、产、学、研、用、金各领域协同推进下，我国低空经济产业正快速发展。但整体来看，低空经济产业上中下游发展不平衡，处于“上游强、下游散、中游是短板”的状态，低空产业链划分如图1所示。

- 上游：我国在无人机产业链处于全球领先地位，市场规模已经达到数千亿元。但在核心芯片、飞控系统、操作系统等领域尚依赖进口。此外新型eVTOL飞行器技术成熟度不足，与欧美发达国家相比尚有一定差距。
- 中游：中游基础设施当前尚处于投资启动阶段，各地陆续在建设低空起降设施、通导监设施和低空运营管理平台，均处于小规模示



▲ 图1 低空经济产业链总览

范建设阶段。

- 下游：国内低空业务应用场景丰富，已经渗透到各行各业，当前主要的问题是场景零散，商业模式还不成熟，尚未形成规模盈利效应。

发展目标展望

低空经济“十五五”期间的发展定位是：加快发展，完成构建一个安全高效、创新引领、全域协同的现代化低空经济体系，形成万亿级市场规模的新兴产业集群，深刻改变生产生活方式，为中国式现代化提供新增长引擎。根据这一发展定位，结合当前低空产业发展现状和基础，预计“十五五”期间低空经济发展重点围绕以下几个关键目标展开：

- 产业规模：低空经济总体市场规模突破3万亿元；形成3个万亿级规模的产业集群；形成3个以上具有全球竞争力的低空经济产业聚集区，培育一批世界级低空经济企业。
- 商业应用：打造价值场景、构建商业闭环，实现产业共赢以及商业模式创新，推动低空经济从“飞起来”到“用起来”，再到规模化应用，最终实现产业化生态的繁荣。
- 基础设施：完成低空智联标准体系，建成覆盖低空经济业务领域的低空智能网联系统，按需建设低空起降等物理基础设施，实现低空空域安全保障和数字化管理。
- 科技创新：强化核心技术创新研发，实现飞行器关键技术突破与核心部件自主可控，实现大中型无人机、eVTOL等产品规模量产、性能国际领先。

整体发展节奏判断

我们判断低空经济整体将按照“应用示范期、商业发展期和规模运营期”三个阶段发展。

- 应用示范期（2027年之前）：这个阶段的

特点是定规则、做示范、探模式。制定低空经济发展最基本的各项规章制度、法律法规、标准规范，并在先锋地区做应用示范，从而探索可闭环的商业模式。在这个阶段，政府需要主导投资，尤其是在示范区域建设泛在共享的基础设施为低空规模化应用创造条件。

- 商业发展期（2027—2030年）：这个阶段的特点是激活投资、促进规模、实现商业闭环。在低空经济初步形成规模效应的情况下，让社会资本能够投入到更大的基础设施建设中，无人机物流能够形成大规模效益，并且整个低空经济形成良性商业闭环。
- 规模运营期（2030年及之后）：这个阶段最大的特点是eVTOL载人交通规模运营，从而形成多元化发展的局面。这个阶段不仅产业上中下游实现共赢，政府也从规模化的财税收入中获得良好的投资回报。

业务场景发展节奏判断

低空经济要规模化发展，最根本还是需要业务应用，并且是多元化、规模化的业务应用。结合“先远郊后城区、先载物后载人、先隔离后融合”的发展原则，预计“十五五”期间低空经济业务场景发展节奏如下：

- 阶段一（2025—2026年）：传统通航、无人机巡视巡检、农林植保是主要的应用。在通航领域，各地将大力发展通航机场，并开展高端商务包机出行、低空游览、飞行营地等服务。无人机巡视巡检在城市综合治理、电力、能源、水利、交通等领域的基础设施巡检持续发展。无人机农林植保在大平原、山区林场等推广应用。此外，低空干线物流、支线物流等在各地逐步培育推广，早期山区、海岛、景区低空无人机物流先行，跨江跨海的邻近城市大中型无人机物流运输获得示范推广。

在新的国际形势下，“十五五”期间我国低空经济不但要着眼于自身发展、打好基础，更要着眼于未来全球化创新竞争，实现从“跟跑”到“领跑”的跨越，成为全球低空经济的规则制定者和产业引领者。

- 阶段二（2027—2028年）：低空物流应用进入大规模应用，首先是地广人稀的西北、东北地区城市间的大型无人机干线物流进入规模化，然后国内主要城市群邻近城市间的大中型无人机支线物流运输获得快速发展，城区物流枢纽点到偏远乡村的物流配送获得规模应用，城区末端物流配送将在部分发达城市进入中小规模应用。eVTOL载人低空游览开始规模试点。
- 阶段三（2029—2030年）：低空干支末物流全面铺开，尤其一二线城市的末端无人机物流配送常态化、规模化，干线支线物流在全国展开。eVTOL载人业务从低空游览逐步拓展应用到热点城市跨城出行、交通枢纽接驳等。

低空基础设施发展规划建议

低空基础设施是低空经济规模化发展的基础，而以5G-A为基础构建泛在可用、普惠性的新型低空基础设施是关键所在。新型低空基础设施融合通信、导航、监视、气象、平台、AI与安全等能力，为低空飞行提供“连得上”（可靠通信）、“看得见”（精准感知）、“导得准”（精确定位）、“管得住”（智能平台）、“控

得牢”（可信身份与端到端安全）的全方位支撑，为低空经济筑牢技术底座。

“十五五”期间需完成新型低空基础设施体系建设，以满足未来低空经济规模化发展的需求。具体建设发展规划建议如下：

- 阶段一（至2026年）：在示范区域完成泛在共享的低空基础设施体系网络建设，包括起降设施网络、低空通信、导航、监视、气象、反制网络、低空综合管理服务平台（低空数字底座）等设施的建设，为低空规模化应用创造条件。
- 阶段二（2027—2029年）：构建覆盖国内主要区域的低空基础设施体系网络，具备支持低空全面规模化运营的能力；
- 阶段三（2030年及以后）：进一步完善并构建覆盖广泛、功能完善、安全高效、高阶智能的低空基础设施体系，满足低空规模化运营的需求。

在新的国际形势下，“十五五”期间我国低空经济不但要着眼于自身发展、打好基础，更要着眼于未来全球化创新竞争，实现从“跟跑”到“领跑”的跨越，成为全球低空经济的规则制定者和产业引领者。ZTE中兴

低空融合感知系统

保障澳门回归25周年重大活动

2024年12月，澳门迎来回归祖国25周年系列重大活动；横琴粤澳深度合作区作为核心保障区域，低空安全防控成为关键任务之一。由珠海移动联合中兴通讯打造的全国最大规模5G-A低空通感网络，在活动前期通过了广东省公安厅、珠海市公安局等部门严苛的安防相关测试指标要求，全程守护庆祝活动低空安全，圆满完成安防任务。该项目不仅构建了横琴全空间智能无人体系的核心基础设施，更以“技术落地-场景应用-标准输出”的完整链路，为低空经济商业化闭环提供了可复制的实践范式。

战略引领与技术突破：筑牢全空间智能无人体系底座

自2009年党中央、国务院决策开发横琴以来，习近平总书记多次视察并强调其需在粤港澳合作、体制机制创新中发挥示范作用。2024年1月，国家发展改革委、商务部明确要求“推动合

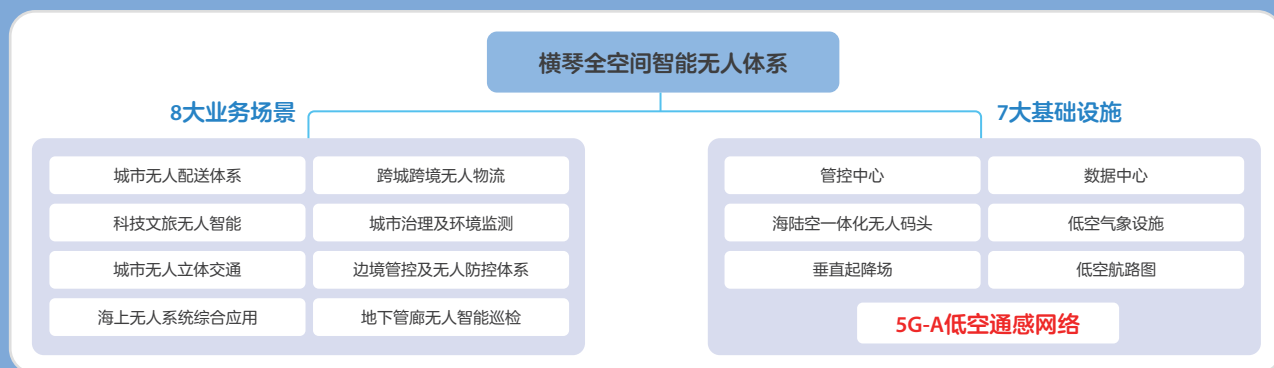
作区全域建设海陆空全空间智能无人体系”。根据建设规划，横琴全空间无人体系围绕1个体系、1个无人系统国际标准化组织、7个新型基础设施、8大应用场景的任务目标（见图1），推动建设兼具琴澳特色的全空间智能无人体系城市级示范，为低空经济核心基础设施建设按下加速键。

作为全空间方案的重要创新，横琴5G-A通感项目在珠海移动的带领下高效推进，8个月内顺利通过多轮政府专家团队的严格审核。在此期间，中兴通讯多部门组成通感项目特战协作团队，确保技术方案通过层层遴选最终顺利批复。

5G-A通感项目的成功部署，实现了除无人区、禁飞区外，横琴全域300m以下立体空间全覆盖。基站探测高度达580m，可探测普通无人机及穿越机等（最高时速200km/h），虚警率、漏检率均<5%，位置精度在500m探测范围内<5m、在500~1000m探测范围内<10m，位置分辨率<5m。同时，该项目成功实现了多元融合感知：合作无人机会主动上报Remote ID信息（系



曾美霖
中兴通讯无线品牌经理



▲ 图1 横琴全空间智能无人体系

统和位置信息)到低空监管平台,5G-A通感、频谱侦测同步探测低空飞行物(频谱侦测只能探测带遥控信号的无人机,5G-A通感可探测无人机、飞鸟、空飘物等飞行物),监管平台一方面将探测到的黑飞无人机位置信息发给光电摄像头并发布指令进行追踪拍照,光电头拍照后图传信息发送回5G-A通感平台,另一方面把黑飞无人机位置信息发送给反制设施进行无人机反制。

5G-A通感基站既可为物流配送、交通运输、环境监测、城市管理场景的无人装备提供稳定通信接入,又能实时捕捉低空目标位置、轨迹等信息,为全空间管控平台、数据中心提供全域感知数据,真正满足全空间智能无人体系通、导、监需求。相关技术应用领先国际标准1年以上,其在复杂环境下的感知精度、抗干扰能力,均通过严苛验证,为后续商业化落地奠定技术根基。

场景落地与标准输出：形成低空经济商业化闭环

中兴通讯横琴5G-A通感网络的核心价值,在于通过多场景实践与标准化体系构建,形成可复制的商业化闭环。

在场景应用层面,网络以横琴口岸、产业园区、城市道路、空中海上运输线路为依托,渗透至多元领域:在边境管控中,通过5G-A通感一体技术与智能算法结合,有效识别非法无人机越

境、走私等行为,解决传统人工巡查覆盖有限、响应滞后的问题,为琴澳边境安全提供保障;在城市管理与环境监测中,为无人巡检装备提供通信与感知支持,对城市道路、地下管廊、海上线路等进行常态化监测,数据实时回传全空间管控平台,助力精准治理;在文化旅游中,为低空观光等新业态提供支撑,通过感知低空交通流量优化航线,保障运营安全。这些场景落地,让低空服务城市发展从概念变为现实。

横琴项目的核心价值在于政府引导资源、运营商整合能力、设备商突破技术的协同商业模式:从商业模式链路看,横琴合作区管委会作为政府引导方,通过服务租赁模式牵头全空间智能无人体系建设,总规划金额约4亿元,其中5G-A通感网络建设基础投资约3000万元;珠海移动作为运营商集成方,承担总包集成角色,搭建横琴全域低空覆盖网络,采用服务费方式5年期结算;中兴通讯作为设备商,负责核心技术研发与系统交付,以资金投资和技术创新推动关键环节突破。政府、运营商、设备商三方协同模式,实现了资源、能力、技术的高效整合。

横琴5G-A通感网络项目,既以硬核技术圆满保障澳门回归25周年重大活动,又以商业化闭环范式为低空经济发展提供实践路径。未来,随着网络优化与标准推广,该项目的经验也将持续为低空经济发展提供借鉴。ZTE中兴

泰山5G-A通感项目： 解锁山岳景区低空经济新范式

2024年，依托《山东省低空经济高质量发展三年行动方案（2024—2026年）》，泰山景区联合山东移动、中兴通讯、丰翼科技，落地5G-A低空通感网络项目，助力泰山景区低空物流成为国内低空经济示范应用。项目完成10个核心站点部署，实现红门—中天门—南天门等重点区域300米以下低空全覆盖，不仅破解了泰山景区人力运输低效、低空安防薄弱、高峰通信拥堵等痛点，更为全国山岳型景区低空经济发展提供可复制样本。

政策导向与技术破局：直击景区运营核心痛点

作为世界自然与文化遗产，2024年泰山景区累计接待游客806.3万人次，同比增长显著。海量客流下传统运营模式瓶颈凸显，景区物资运输与垃圾清运高度依赖挑山工，景区每天产生垃圾超20吨，主要依靠人力运输，运输效率低下。同时，景区低空安防面临严峻挑战，非合规无人机

频繁飞入景区进行非法拍摄等活动，对景区安全和游客安全造成威胁。在通信保障方面，泰山顶每天观看日出的用户达两三万人，其中还有大量用户进行直播，需要进一步增厚网络覆盖，满足泰山景区网络话务需求。

山东省将泰山列为省级低空经济创新试点，明确要求打造景区低空融合飞行示范场景。项目团队以问题为导向推进技术攻坚，针对泰山多山地、高落差、多遮挡的地形特点，实现三大关键突破：

- 通感一体适配多元需求：定制4.9GHz频段5G-A通感基站，单站感知距离达1300m，探测范围内定位精度水平 $\leq 10\text{m}$ 、垂直 $\leq 10\text{m}$ ，漏检率与虚警率均 $\leq 5\%$ ，可同时识别无人机、飞鸟、空飘物。基站既为低空设备提供稳定链路，又实时捕捉目标轨迹，支持以异构、高密度、高频次、高复杂性为特征的大容量融合低空活动。
- 雷视联动构建立体安防：融合通感数据与光电摄像头，形成“全域扫描—精准识别—实



曾美霖
中兴通讯无线品牌经理

“泰山5G-A通感项目的成功实施，为全国山岳型景区的低空经济发展提供了重要借鉴。”

时追踪”闭环。黑飞无人机从被探测到反制耗时 $\leq 30s$ ，响应速度较人工提升10倍。

- 高峰通信容量优化：采用超大规模MIMO技术，单小区支持500+并发用户4K直播，下载速率稳定在300Mbps以上；通过C波+P波偏移技术消除红门广场等信号盲区，确保无人机航线与游客密集区通信无断点。

场景落地与生态协同：释放低空经济实用价值

低空经济的实用价值正通过场景落地与生态协同逐步释放，泰山景区以无人机物流为核心场景，搭配分层安全管控体系，并构建多方协同的合作模式，既实现了运输效率的数倍提升，也通过技术、管理与资源的联动，探索出低空经济在特定场景下安全、可持续的落地路径。

- 低空物流革新运输体系

丰翼科技部署了方舟150无人机，规划红门-中天门、中天门-南天门两条航线。无人机最大载重50kg，单程耗时5~8min，较人力效率提升8倍，可实现常态化运营，运送上山物资，返程清运垃圾，有效解决景区节点垃圾清运困难的问题。

- 分层管控筑牢低空安全

项目按区域风险等级构建管控体系，通过5G-A通感基站感知能力构建电子围栏进行航线守护，保证无人机在景区飞行的安全性。在玉皇顶等核心区设置禁飞区，电子围栏即时告警；在中

天门等游客密集区设置管控区，合规无人机备案飞行；在景区外围设置监测区，早期识别“黑飞”目标。通感一体化网络在低空网络建设中作为基础设施网，是构建高效、智能和低延迟网络系统的关键组成部分。

- 多方协同保障可持续

项目创新采用“政府-运营商-设备商-应用方”合作模式。泰山管委会将通感网络纳入智慧管理平台；中国移动承担总包，以服务费模式降低初期投入压力；中兴通讯提供核心设备技术支持；丰翼科技负责无人机运营，开展物流配送；泰山文旅集团整合资源拓展低空观光等增值服务。

行业示范与未来拓展：引领文旅低空经济升级

泰山5G-A通感项目的成功实施，为全国山岳型景区的低空经济发展提供了重要借鉴。项目首次验证了5G-A通感技术在地形复杂、高落差复杂地形环境下的适用性，开创了低空经济与文旅融合的创新范例，构建了可持续的商业模式框架。

未来，泰山景区可进一步拓展低空应用场景，从节点间垃圾清运航线、医疗应急航线向更广泛的低空服务延伸，打造“山上-山下-城市”低空经济走廊，让千年泰山在数字赋能下焕发新活力。ZTE中兴

立体协同规划技术

助力空地通感一体化网络建设

当前，低空经济正在加速成为我国战略性新兴产业。行业预测显示，未来两三年内，除消费级无人机，涵盖行业无人机和载人无人机的低空经济将从试点商用进入规模化应用。这一进程的核心支撑在于构建融合地面通信、空中通信和感知能力的一体化网络。该网络既要为地面的传统终端提供通信服务，又要赋能低空智联管理平台，实现无人机群的精准控制和监管，为低空经济的无人机规模化运行提供通信和感知技术保障。

在通信方面，出于空中安全保障的考虑，相对于地面的传统通信终端，无人机对无线网络通信服务的要求更高；同时无人机的通信业务以行业应用为主，网络设计标准与地面通信网络差异较大。在感知方面，管理平台需要感知网络提供对无人机的感知监测能力。因此，无线通感网络必须提供空中和地面通信、空中通信和感知，以及传统通信业务与无人机行业应用的一体化服务能力，即实现空地通感一体化网络。由于覆盖范围的拓展和网络建设标准的增加，一体化网络的设计方案的复杂度也远高于传统的通信网络规划。

中兴通讯云网络运营平台CNOP的网络规划工具CXP在已有通信网络规划功能的基础上，采用立体协同规划技术，开发了空地通感一体化网络规划工具，实现了从站点、天线参数、时频梳资源

规划（时/频/梳分配置）到无人机运行航线的端到端闭环规划方案，为低空通感网络的规模建设提供有力支撑。立体协同规划技术的关键在于通过对站点、频段和权值等的合理设计，达到通信和感知的立体无缝覆盖，合理的容量资源分配，以及通信内部、通信和感知之间的干扰控制。

基于立体协同规划技术的方案架构

图1展示了基于立体协同规划技术的一体化网络规划方案架构。该架构包含以下规划目标：

- 覆盖目标：实现空地通信一体化和空中通感一体化覆盖；
- 通信业务目标：综合考虑无人机行业应用与地面传统终端在业务需求上的差异，例如地面终端侧重下行速率，无人机侧重于上行速率；
- 感知业务目标：针对不同无人机型号的目标尺寸RCS确定RSRP和SINR目标值。

该架构采用的立体协同规划技术主要包括以下环节：

- 站址选择：在实现通信覆盖的基础上，为感知站点选择具备良好视通条件的站址；
- 垂直多频小区：地面通信覆盖采用全网部署的通信频段，空中的通感覆盖则配置独立的频段，实现垂直面的频段分离，降低空中与



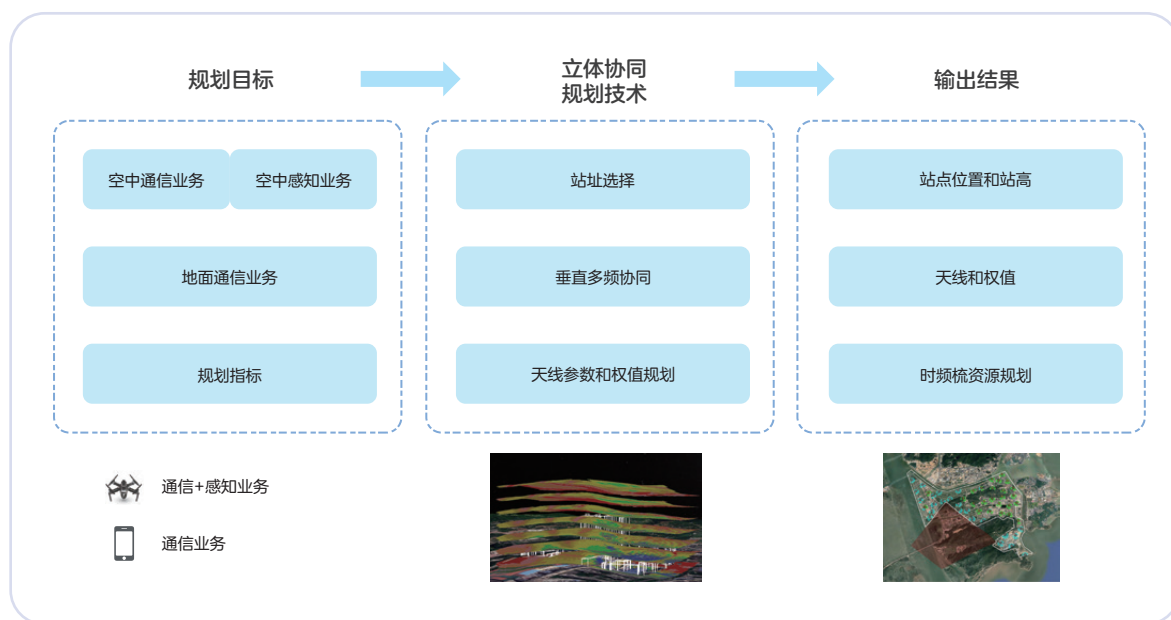
朱永军
中兴通讯网规技术总工



吴威
中兴通讯网规技术总工



王业勤
中兴通讯CXP系统工程师



▲ 图1 基于立体协同规划技术的方案架构

地面的干扰；

- **天线参数和权值规划：**通过对天线方位角、下倾角和权值的设计，实现空中与地面的无缝覆盖需求，以及空中与地面载波小区间的平滑切换；
- **干扰规避：**采用时隙打孔方式规避通信和感知之间的干扰，通过时频梳资源规划抑制感知小区之间的相互干扰。

在上述方案中，立体通感仿真是关键的基础功能。CXP已经具备成熟的通感仿真能力，并在项目实践中持续迭代改进。

应用实践

在某个低空通感网络项目中，中兴通讯规划团队采用CXP交付了空地通感一体化网络规划方案。该方案根据低空航路及起降点的覆盖需求，在约50平方公里范围内部署48个站点，实现地面

与低空的通感一体覆盖。经测试验证，该方案可以满足规划区域内无人机的通信和感知双重业务需求。

在另一个无人机通信专网项目中，中兴通讯规划团队采用CXP完成立体通信规划方案。该方案在约110平方公里、80米以上的低空范围内，部署20个4.9GHz站点提供空中立体通信覆盖；在80米以下的低空和地面范围，则由现网的2.6GHz频段小区提供覆盖。经实际测试验证，该规划方案可满足规划区域内无人机的通信业务需求。

当前，中兴通讯CNOP平台的CXP通感仿真技术已经实现了双重赋能，不仅为低空通感网络，也为无人机航线的规划方案提供技术支撑。中兴通讯紧跟低空经济的发展趋势，深度洞察相关业务场景的需求特征，持续突破仿真技术的应用边界，为运营商客户提供全面、创新的通感一体化网络规划方案。ZTE中兴



驭风系列

纤薄至简 驭风随行

驭风10 Air

13.9mm厚度 | 1.25kg净重 | 14英寸FHD高清显示屏 | 5W超低功耗
丰富接口 | 全金属机身 | 无风扇设计

ZTE中兴

成为网络连接和智能算力的领导者
让沟通与信任无处不在