

证券研究报告 | 国防军工行业 | 2025年3月7日

军工 / 新兴产业 · 低空经济深度报告

2025迎接低空三层级蓬勃发展新阶段

分析师

李鲁靖

登记编号: S1220523090002

刘明洋

登记编号: S1220524010002

联系人

孔德璋

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

- **2025年将有望成为低空经济从前期规划转向产业落地的元年。**前期各地建设的试验场将逐渐投入使用，低空司将解决行业标准统一、技术发展方向、管理机制协同等目前存在的问题，协同各环节推动产业加速落地。各类的细则，标准将逐渐定型，推动整体的行业进入规模化发展阶段。建议关注1. 低空基建龙头；2. 无人机/eVTOL零部件；3. 下游应用场景三大方向。
- **2025年两会期间，政府工作报告及发改委报告指出：**要推动商业航天、低空经济等新兴产业安全健康发展，建立健全以安全监管为基础的规则规制体系，适度超前研究布局低空智能网联等基础设施，推动低空装备研制应用，持续增强低空飞行安全监管处置能力，因地制宜拓展低空应用场景等。相较于2024年两会对低空的描述，今年的描述涉及更多具体方向规划，低空经济有望在后续获得更多类似于财政支持、标准统一等偏落地方向的政策支持。
- **低空经济核心思路是把低空空域从自然资源通过数字化和先进技术手段变成可计算、可运营的经济资源。**因此，低空经济具有强大的数字原生性，要实现低空经济规模化、可持续、高质量的快速发展，建设完善的新型数字基础设施尤为重要。各省市明确设立建设时间目标，最早为2025年，按照剩余时间推算，建设进度即将加速。
- **新型基础设施：**低空智联网以现有空天地网络为基础以多网互联融合、网络化感知、计算服务为核心，构建支撑低空空域数字化、智能化运营，由通信、导航、监视、气象四大部分组成。最终目标为构建低空智联网与卫星融合的空天地一体化网络。搭建“北斗+ADS-B+5G/5G-A+卫星互联网”架构。
- **低空载物场景**已在合肥、自贡、成都等地已实现应用落地，覆盖餐饮外卖、医疗配送、快递运输等多场景，有望于今年实现商业化运行。亿航首个OC即将落地，为载人文旅场景带来范式，未来两年全球多家eVTOL主机厂载人型号即将取证，载人场景将陆续规模化运行。据头豹研究院测算：eVTOL载人场景需求规模预计于2035年达到5292.7亿元，深城交预计2050年低空载人日出行规模将有望达百万级人次，日营收预计达1.5亿元，市场空间巨大。
- **在eVTOL以及无人机逐渐放量的背景下，上游零部件厂商将率先受益，**复材、电池、机电电控等核心零部件有望成为重点方向。同时，eVTOL的本质为移动智能终端，其与终端AI大模型的深度融合大势所趋，将推动低空交通向智能化、自主化方向演进。这种融合不仅提升了飞行器的安全性和效率，还为城市空中交通（UAM）的规模化应用奠定了基础。
- **建议关注：**详情请见第五部分
- **风险提示：**宏观经济不及预期；基础设施建设不及预期；技术研发不及预期等。

1. 2025年将成为低空从规划转向落地的元年
2. 低空基建-订单密集期即将到来，新数字基建为核心发展方向
3. 下游应用-文旅载人场景即将落地，载物场景已进入规模化运行
4. 零部件-机身材料及三电系统潜力较大，eVTOL与AI融合大势所趋
5. 投资建议
6. 风险提示

1. 2025年将成为低空从规划转向落地的元年

- 1.1 低空经济-2025年计划转向落地，重点关注三大方向
- 1.2 低空经济有望在后续获得更多偏落地方向的政策支持
- 1.3 各地政府设立明确时间目标，加速推进低空建设
- 1.4 资金支持+标准设立，低空建设即将驶入快车道

1.1 低空经济-2025年计划转向落地，重点关注三大方向

- **2025年低空经济有望从计划转向实际落地，带来三大方向机会。**2024年以来国家大力推行低空经济规划发展，中共中央、发改委、工信部、民航局等顶层机构多次发声，推动相关体系不断完善。从地方来看，**截止目前**，已有50+城市颁布低空经济发展政策，10余个省/市/地区推出补贴政策，近20支地方低空产业基金正式成立，前期规划充分。24年底，国家发改委成立低空经济司，并且中央空管委将在六个城市开展eVTOL运营试点。各省市明确设立基建规模、航线规划、应用场景、制造建设等目标，兑现期从25年至30年不等。如果2024年是低空经济元年，**则2025年将有望成为低空经济从前期规划转向产业落地的元年**。前期各地建设的试验场将逐渐投入使用，低空司将解决行业标准统一、技术发展方向、管理机制协同等目前存在的问题，协同各环节推动产业加速落地。各类的细则，标准（航线规划、起降点及配套设施、空管及外围系统）将逐渐定型，推动整体的行业进入规模化发展阶段。**建议关注三大方向：**
- 1. 低空基础设施建设龙头：**从2024年9月份开始，各地低空基建招标量显著增加，低空基础设施建设有望在各地区正式规模化启动，相应订单将在明年大批量下达，对相应企业报表具有明显改善作用。同时，空管委表示，对600米以下空域授权部分地方政府，具有地方属性的低空基建标的也将深度受益。
- 2. 无人机/eVTOL零部件：**目前，空管委即将在6个城市开启eVTOL试点，第二批试点城市名单也有望逐渐下发，有望带动eVTOL预定量上升。除eVTOL以外，今年以来多款特种用及货用无人机正式发布。由于行业正处于起步阶段，上游零部件厂商将率先受益，复材、电池、机电电控等核心零部件有望成为重点方向。
- 3. 下游应用场景：**亿航智能运营合格证（OC）申请预计于今年通过，全国首个eVTOL载人旅游场景有望落地合肥骆岗公园。代表着低空载人文旅场景即将迎来典范，将于明年陆续铺开。而低空载物场景已在合肥、自贡、成都等地已实现应用落地，覆盖餐饮外卖、医疗配送、快递运输等多场景，有望快速实现商业化运行。

1.2 低空经济有望在后续获得更多偏落地方向的政策支持

2025年两会颁布多项对低空经济的细节规划，今年低空有望得到实质性财政支持。2025年两会期间，政府工作报告指出：推动商业航天、低空经济等新兴产业安全健康发展；发改委报告则发布了更多对低空未来发展的细节规划：包括建立健全以安全监管为基础的规则规制体系，适度超前研究布局低空智能网联等基础设施,推动低空装备研制应用,持续增强低空飞行安全监管处置能力,因地制宜拓展低空应用场景等。相较于2024年两会对低空的描述，今年的描述更多涉及基建、装备、应用场景等具体方向规划，低空经济有望在后续获得更多类似于财政支持、标准统一等偏落地方向的政策支持。

图：2023&2024年两会期间提及的科技板块及描述（浅肉色为新兴产业，深肉色为未来产业，绿色为首次提及）

2025年两会					2024年两会		2023年两会	
政府工作报告	具体描述	发改委报告	具体描述	相较于2024年两会的变化	方向	具体描述	方向	具体描述
特别国债	拟发行超长期特别国债1.3万亿元，特别国债5000亿元。			相较于2024年超长期额度提升5000亿元。	人工智能		人工智能	《加强人工智能科教体系建设，助力科技自立自强与高质量发展》
人工智能	持续推进“人工智能+”行动,支持大模型广泛应用,优化全国算力资源布局。	人工智能	持续强化算力、数据等人工智能基础要素高效能供给,构建开源模型体系。深入实施“人工智能+”行动,因地制宜、分类施策建设国家人工智能行业应用中试基地。	AI赋能到 具体行业 ，首次提及建设行业应用基地。	大数据	深化大数据、人工智能等研发应用，开展“人工智能+”行动	数据要素	组建国家数据局
数字经济	将数字技术与制造优势、市场优势更好结合起来,打造具有国际竞争力的数字产业集群。加快完善数据基础制度,深化数据资源开发利用,促进和规范数据跨境流动。	数字经济	促进实体经济与数字经济深度融合。深化国家数字经济创新发展试验区建设、推动国家数据基础设施建设、编制首批“数据要素×”场景指引等。	提出多项具体措施	数字经济	实施制造业数字化转型行动推进服务业数字化，建设智慧城市、数字乡村。深入开展中小企业数字化赋能专项行动。	数字经济	加快传统产业和中小企业数字化转型，着力提升高端化、智能化、绿色化水平。大力发展数字经济。
新能源（汽车）	大力发展智能网联新能源汽车	新能源（汽车）	推动新能源汽车、锂电池、光伏产业有序发展和技术创新。推进新能源和智能网联汽车产业整车、零部件、后市场一体化发展,拓展智能网联汽车城市级规模化应用场景。	首次提及 拓展下游应用场景。提及光伏、锂电与新能源汽车并行发展。	新能源（汽车）	扩大智能网联新能源汽车等产业领先优势	高端装备	推动高端装备、生物医药、光电子信息、新能源汽车、光伏、风电等新兴产业加快发展。
		新材料	加快推动高性能纤维及其复合材料在航空航天、轨道交通等领域技术突破与应用验证。	细化 新材料种类以及应用场景	环保产业	深化生态环保等领域改革，加强生态环保督察	生物医药	
商业航天	深入推进战略性新兴产业融合集群发展,开展新技术新产品新场景大规模应用示范行动。	商业航天	进一步扩大北斗应用规模和国际合作,加快时空信息产业布局。建立健全商业航天基础性制度,持续提升商业航天发射能力	相较2024年，商业航天提及顺序排名第一，生物制造移至未来产业。 细化 商业航天、低空经济的发展目标以及方向，强调健康发展。 首次提及 虚拟现实、光电融合、RISC-V等新兴领域。	生物制造	巩固扩大智能网联新能源汽车等产业领先优势,加快前沿新兴氢能、新材料、创新药等产业发展,积极打造生物制造、商业航天、低空经济等新增长引擎。制定未来产业发展规划,开辟量子技术、生命科学等新赛道	光电子信息	
低空经济	推动商业航天、低空经济等新兴产业安全健康发展。	低空经济	建立健全以安全监管为基础的规则规制体系,适度超前研究布局低空智能网联等基础设施,推动低空装备研制应用,持续增强低空飞行安全监管处置能力,因地制宜拓展低空应用场景		商业航天		新能源汽车	
		其余新兴产业	促进虚拟现实、视听电子、智慧家庭、先进计算、光电融合、新型储能、开源指令集架构（RISC-V）等新兴领域抢先突破。		低空经济		光伏	
生物制造		生物制造			量子信息技术	在类脑智能、量子信息、可控核聚变等方面要提前布局。	风电	发展“互联网+”。移动互联网用户数增加到14.5亿户。支持工业互联网发展。
量子科技	建立未来产业投入增长机制,培育生物制造、量子科技、具身智能、6G等未来产业。	量子科技	出台关于加快培育发展未来产业的意见,支持创新资源集聚、产业基础雄厚的地方打造未来产业先导区。培育生物制造、量子科技、未来能源、具身智能、第六代移动通信(6G)等未来产业。	首次在政府工作报告中提及具身智能，6G的发展，提出打造先导区。	生命科学		互联网+工业互联网	
具身智能		未来能源			可控核聚变			
6G		具身智能			类脑智能			
智能终端&制造装备	大力发展智能网联新能源汽车、人工智能手机和电脑、智能机器人等新一代智能终端以及智能制造装备。	智能终端&制造装备	大力发展智能网联新能源汽车、人工智能手机和电脑、智能机器人等新一代智能终端。完善适应人工智能健康发展的政策体系,将安全和伦理融入人工智能技术研发和应用	首次提及 智能终端概念。融合新能源汽车，人形机器人，AI等多行业。				

1.3 各地政府设立明确时间目标，加速推进低空建设

根据统计，**目前已有已有40+项地方政策提及低空基础设施建设**，多地设立明确时间目标，**最早为2025年**。按照时间紧迫性来看，相关低空基础设施有望将进入规模化建设阶段，包括起降点等物理基础设施以及物联网等数字基础设施。同时，航线规划，应用场景建设也将随基建进入落地阶段。

级别	目标兑现时间	发布时间	发布部门/城市	政策/布局	内容
省级	2025	4月7日	安徽省	《安徽省加快培育发展低空经济实施方案（2024—2027年）及若干措施》	2025年：低空经济规模力争达到600亿元，建设10个左右通用机场和150个左右临时起降场地、起降点，部分区域低空智联基础设施网初步形成。
		7月13日	河南省	《促进全省低空经济高质量发展实施方案（2024—2027年）》	2025年：低空经济规模达到300亿元，建成10个左右通用机场和及兼具通用航空服务功能的运输机场和一批直升机、无人机起降场地、起降点。
	2026	8月9日	江西省	《江西省关于促进低空经济高质量发展的意见(征求意见稿)》	2026年：带动全省经济增长超2000亿元，建成23个左右通用机场、500个左右直升机起降点和一批无人机（含eVTOL）起降场地。
		9月20日	海南省	《海南省低空经济发展三年行动计划（2024-2026年）》	2026年：建设2个保障服务平台；建成通用机场9个，低空飞行器起降场超过500个，全省低空经济总产值超过300亿元。
		10月9日	广西自治区	《广西低空经济高质量发展行动方案（2024—2026年）》	2026年：低空经济规模达到500亿元以上，新增5个通用机场，300个以上起降场地或设施。
	2027	4月7日	安徽省	《安徽省加快培育发展低空经济实施方案（2024—2027年）及若干措施》	2027年：低空经济规模力争达到800亿元，建设20个左右通用机场和500个左右临时起降场地、起降点，全省低空智联基础设施网基本完备。
		6月4日	四川省	《四川省人民政府办公厅关于促进低空经济发展的指导意见》	2027年：建成20个通用机场和100个以上垂直起降点，试点城市低空监管、服务、应用一体化信息平台建成投用。
		9月12日	内蒙古自治区	《内蒙古自治区低空经济高质量发展实施方案》	2027年：内蒙古自治区将培育1—2个低空空域管理改革试点，在基础设施建设方面，建成33个通用机场，并建设100个标准化临时起降场（点）、2个以上低空飞行综合服务站。
		7月13日	河南省	《促进全省低空经济高质量发展实施方案（2024—2027年）》	2027年：低空经济规模达到500亿元，建成20个左右通用机场和及兼具通用航空服务功能的运输机场和一批直升机、无人机起降场地、起降点。
		8月6日	湖北省	《湖北省加快低空经济高质量发展行动方案（2024—2027年）》	027年：全省产业规模突破1000亿元，全省建成30个以上通用机场和600个以上起降场地、150个以上地面基站、1—2个A类飞行服务站。
		9月30日	黑龙江省	《黑龙江省加快推动低空经济发展实施方案（2024-2027年）》	2027年：低空经济产业规模力争达到800亿元以上，打造低空经济特色示范区，培育3—4家百亿级低空制造企业、10家以上十亿级低空制造企业，通用航空年飞行力争超过8万小时、保持200架大中型无人直升机运力。
		10月28日	内蒙古自治区	《内蒙古自治区低空物流高质量发展实施方案（2024-2027年）》	2027年：规划建设500个无人机自动机场和垂直起降场，实现主要服务区域通信、导航、监视信号全覆盖，具备低空物流功能的通用机场力争达到29个以上。打造15个低空物流应用场景样板项目，开通10条常态化低空物流航线。
		11月2日	山东省	《山东省低空经济高质量发展三年行动方案（2025-2027年）》	2027年：低空经济规模达到1000亿元，建成35个通用机场、400个数字化低空航空器起降平台。开通50条以上市内无人机航线和20条以上城际无人机物流航线，载货无人机实现常态化飞行，载人无人机实现商业化飞行。
		12月18日	贵州省	《贵州省低空经济高质量发展三年行动方案（2025—2027年）（征求意见稿）》	2027年：低空经济总产值达 600 亿元。基本建立低空空域管理机制，低空管理体系有效运行，低空智联基础设施日趋完备，低空公共服务保障体系基本完善。

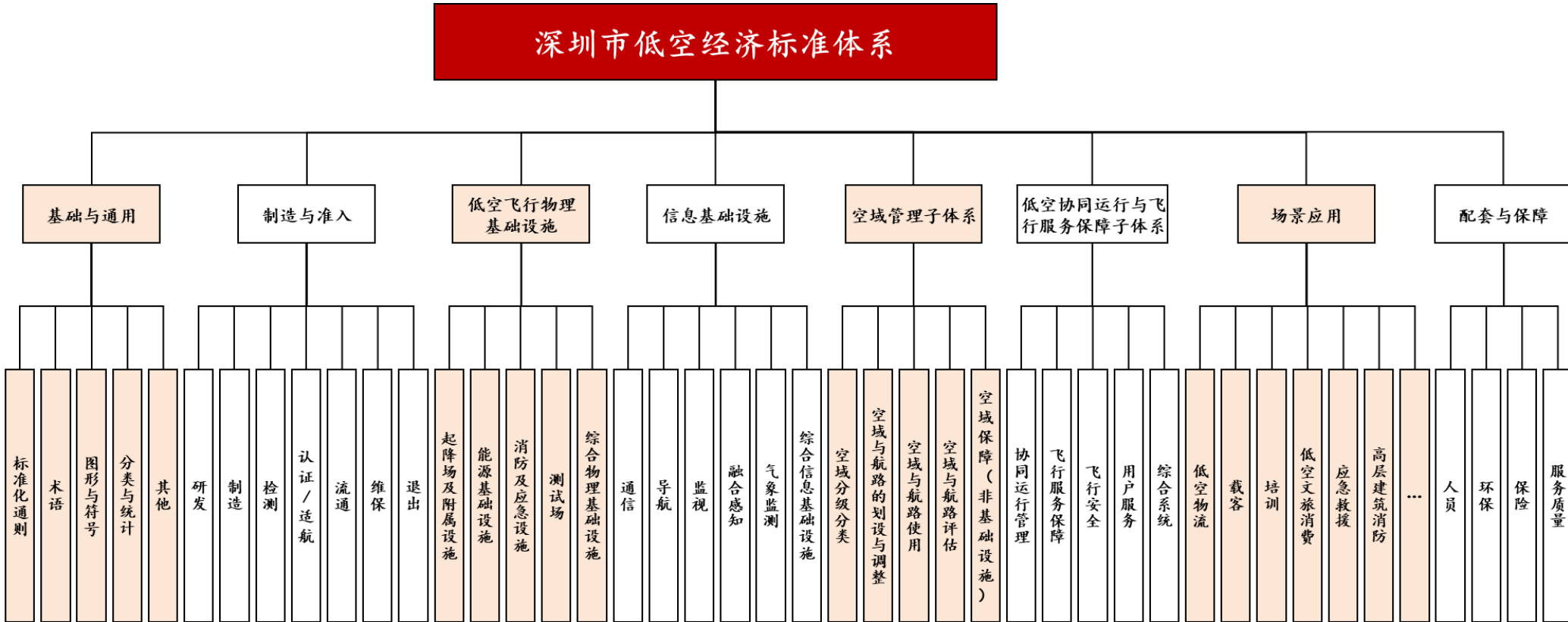
1.3 各地政府设立明确时间目标，加速推进基础设施建设

级别	目标时间	发布时间	发布部门/城市	政策/布局	内容
市级	2025	8月2日	深圳市	《深圳市低空起降设施高质量建设方案(2024-2025)》	2025年： 建成1000个以上低空飞行器起降平台，具备支撑1000架以上商业运营的低空航空器同时在空、每日1万飞行架次的服务保障能力。截至2024年6月，深圳已建成低空起降点249个，覆盖载客运输、物流运输、社区配送及公共治理服务四大领域。
		9月26日	重庆市	《重庆市推动低空空域管理改革促进低空经济高质量发展行动方案（2024—2027年）》	2025年： 新建通航起降点要达到200个以上，市、区县两级低空飞行服务站和保障设施基本建成，建成试飞试验基地3个以上。
		2月25日	杭州市	《关于推动经济高质量发展的若干政策（2025年版）》	2025年： 将支持通用航空和低空经济发展，建成无人机公共起降场10个，新增低空航线100条，组建30亿元规模低空产业基金。
		2月26日	成都市	成都市政府工作报告	2025年： 建成低空航空器起降设施140个以上，开通低空运营航线100条以上。
	2026	5月15日	南京市	《南京市促进低空经济高质量发展的实施意见（2024-2026）》、《南京市关于支持低空经济高质量发展的若干措施》	2026年： 低空经济产业规模超500亿元，建成240个以上低空航空器起降场（点）及配套的信息化基础设施，建成3个以上试飞测试场和操控员培训点，规划建设1—2个通用机场。
		5月23日	惠州市	《惠州市推动低空经济高质量发展行动方案（2024-2026）》	2026年： 建成200个以上垂直起降设施，其中大型综合起降场1-2个、中型载人级起降平台不少于20个、物流级起降点不少于80个、感知级起降点不少于100。完善低空通信、导航、监视等配套设施网络，初步建成覆盖全市的低空智能网联网。
		7月15日	常州市	《常州市低空经济高质量发展三年行动方案（2024—2026年）》	2026年： 规划通用机场5个，新建通用机场1个以上，建成200个左右低空航空器起降场，按需构建覆盖市域范围的 低空智能网联网 。产业规模超过300亿元。
		8月2日	郑州市	《郑州市加快培育低空经济产业创新发展行动方案（2024—2026年）》	到2026年，建成通用机场3个，布局起降场、起降点50个以上，低空经济产业规模超过200亿元； 重点打造上街区、中牟县等若干 低空经济特色园区 。
		9月18日	茂名市	《茂名市推动低空经济高质量发展实施方案（2024—2026年）》	2026年： 茂名低空经济产值年复合增长率20%以上。与低空经济高质量发展需求相适应的通航基础设施初步完备，新建2个以上枢纽型起降场，20个以上常态化起降点， 低空基础设施投资规模超10亿元 。
		10月8日	青岛市	《青岛市促进低空经济高质量发展实施方案》	2026年： 低空飞行（不含微轻小型无人机）突破4万架次，开通5条以上区域无人机物流航线，4条以上景区旅游航线，2条以上短途运输航线，打造10个低空经济商业化飞行典型场景。开通10条以上市内无人机航线。
		10月29日	清远市	《清远市低空经济高质量发展三年行动方案（2024—2026年）》	2026年： 全市开展“低空+”应用场景试点50个以上，全市集聚产业链相关企业达到200家以上；力争 到2030年清远低空经济产业集群产值规模达到100亿元以上 。
		12月6日	大连市	《大连市低空经济高质量发展行动方案（2024-2026年）》	2026年： 低空经济产业规模达到40亿元，相关通用航空和低空经济企业25家，产业规模达到40亿元，落地应用场景40个以上。打造东北地区领先的低空经济应用场景示范区和产业创新发展先行区。
		12月15日	长春市	《长春市推动低空经济高质量发展行动计划(2024—2026年)》	2026年： 低空经济规模达到30亿元，规模以上企业达到30家。将聚焦打造东北低空经济中心这一目标，重点打造东北低空数据中心、航空体验中心、低空制造中心。
	2027	5月31日	广州市	《广州市低空经济发展实施方案》	2027年： 低空经济总规模达1500亿元，建设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， 低空基础设施投资规模超100亿元 。
		7月1日	杭州市	《杭州市低空经济高质量发展实施方案（2024—2027年）》	2027年： 全市低空经济产业规模突破600亿元。建成低空航空器起降场（点）275个以上，开通低空航线500条以上，建成统一管理服务平台， 基本实现“三张网”全覆盖（基础网、航线网、飞服网） 。
		10月28日	嘉兴市	《嘉兴市推动低空经济高质量发展实施方案（2024—2027年）》	2027年： 建成各类低空航空器起降场（点）150个以上，开工建设平湖通用机场，开通各类低空航线100条以上。
		10月28日	北京市	《房山区低空经济产业发展行动方案（2024—2027年）》	2027年： 力争形成3-5款有市场竞争力和品牌影响力的绿色化、智能化、新构型航空器产品，打造10家以上具有低空智能制造主导力的龙头企业，培育一批专精特新“小巨人”企业。
		10月31日	济南市	《济南市低空经济高质量发展实施方案》	2027年： 产业规模突破200亿元，济南市将引育产业链相关企业200家以上；建成300处各类起降设施；开通100条以上低空航线。
		12月18日	南昌市	《南昌市促进低空经济高质量发展实施方案（2025-2027年）》	2027年： 低空经济整体规模达到350亿元。建成150个以上低空航空器起降场（点）及配套的信息化基础设施，建成3个以上试飞测试场和操控员培训点，开通100条以上低空航线，全市低空经济相关企业数量突破160家。

1.4 资金支持+标准设立，低空建设即将驶入快车道

资金端：2024年12月25日，国务院办公厅公开了《关于优化完善地方政府专项债券管理机制的意见》，将低空经济等新兴产业纳入专项债可用作项目资本金领域，并将专项债项目用作资本金上限比例从25%提高至30%，提供充足的资金支持。目前，已有多地正式启动中长期低空专项债的申请，提供充足资金保障。**截至2024年末，涉及低空经济建设内容的专项债项目已发行26个，项目总投资193.28亿元，发行专项债券金额合计53.95亿元，占总投资约28%。**我们认为，今年两会有望延续对低空经济的政策支持，而未来的政策则将更偏向财政补贴、标准统一等更偏落地的方向。

标准端：2024年11月及12月，苏州及深圳相继发布了低空经济系统标准体系建设指南。其中深圳的标准在“四张网”的基础上，以应用场景为导向，融合航空、地面交通、信息技术及人工智能等多领域标准。苏州的指南计划到2027年完成规划标准制定，实现基础通用、低空航空器平台、试验试飞、飞行保障、场景应用等五个领域标准全覆盖。深圳与苏州指南的发布有望解决目前国内低空发展方向不统一的通电，为后续各城市提供了可参考、可复制的低空经济标准化路径。



2. 低空基建-订单密集期即将到来，新数字基建为核心发展方向

2.1 低空基建可分为物理基础设施、新型基础设施以及数字基础设施

2.2 低空经济具有强大的数字原生性，需要新数字基建的支持

2.3 低空经济的核心是由四张网构成的新数字基建

2.4 低空智联网-空天地一体化网络体系的关键构成部分

2.5 低空智联网由通导监气象四大核心部分组成，拥有三大关键技术

2.6 通信-现有5G网络难以满足低空无人机应用需求

2.7 5G-A通感一体-低空通信的发展方向

2.8 空天地一体化通信网络有望在5G-A时代实现，加快低空智联网建设进程

2.9 导航-5G-A+北斗构建高精度导航体系

2.10 监视-北斗定位信息为核心，融合短报文、ADS-B的保障体系

2.11 气象-低空安全刚需高精度气象服务，相控阵天气雷达有望充分受益

2.12 数字化空域：北斗网格码可实现最大空域利用率

2.13 低空空管系统：数字空域搭建底座，低空智联网赋能空管系统智慧化发展

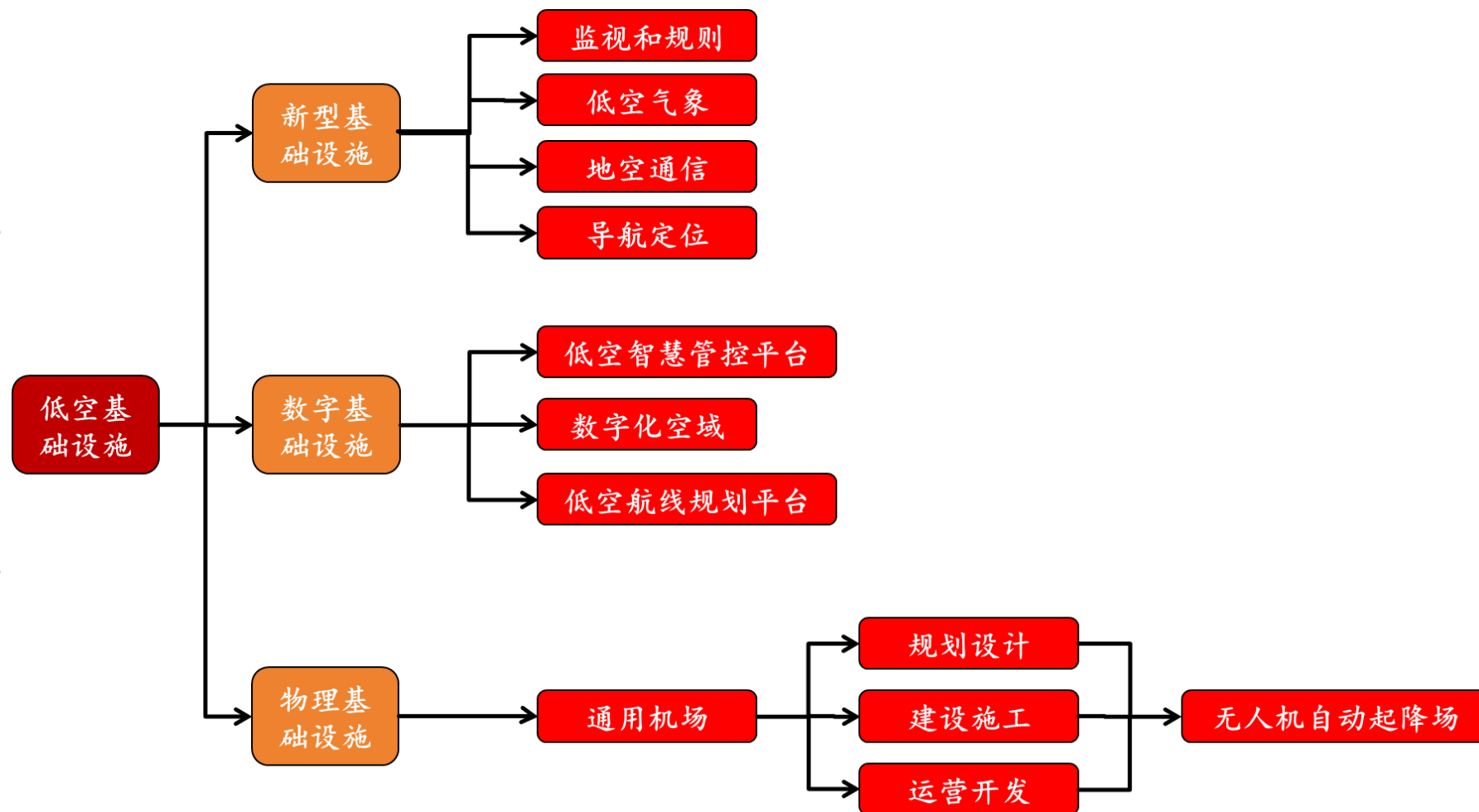
2.1 低空基建可分为物理基础设施、新型基础设施以及数字基础设施

低空经济基础设施可以分为物理基础设施、数字基础设施以及新型基础设施。

新型基础设施包括空管系统中的外围设施CNS（通信、导航、监视）和气象，即低空智联网。

数字基础设施包括空管平台（ATM），数字空域，航线规划平台等。

物理基础设施则以通用机场改造和无人机（eVTOL）起降场为主，以及其相应的配套设施。



2.2 低空经济具有强大的数字原生性，需要新数字基建的支持

01 异构

飞行器种类、功能与性能的异构；以及低空飞行服务的异构和高复杂度。

02 高密度

一个城市同时在空的低空飞行器将超过**10万架**。

高密度的飞行对定位、导航航线规划与动态协调、应急避障等都带来巨大的挑战。

03 高频次

一个城市的上空，每天将有和地面汽车相当量级(**百万次**)的低空飞行器起降架次。

如果考虑到更多新业务的出现，起降次数将进一步增长。

04 高复杂性

低空**飞行高动态、复杂**的需求；

地面、电磁、气象条件和飞行**环境**带来高复杂性需要及时监测并应对。

“有别于运输航空，低空活动具有强大的数字原生性，在运营环境、飞行器、飞行规则、飞行管理模式上都具有天然的数字化属性。当前航空领域的管理体系和基础设施、信息化工具和管理模式都不能适应低空对数字化能力的更高要求。低空经济发展缺乏数字化的“空中之路”以及“路上”的科学、有效、安全的“交通规则”。”

2.2 低空经济具有强大的数字原生性，需要新数字基建的支持

- 当前我国低空空域运行场景中存在异构高密度大容量运行管理难、复杂环境可靠精准通导监服务保障难、复杂场景非法目标及时合理处置难、多形态异构飞行器支撑设施统一难等问题。
- 当前我国缺乏统一标准规范的共享基础设施，在包括通用机场、直升机起降点、飞行营地、飞行服务站、维修基地、通讯导航气象油库等基础设施建设和运营，以及低空空域管控系统、无人机飞行信息系统、无人机反制系统等的建设与运行方面无法满足快速增长的需求。

图：当前低空基建存在的问题

01技术手段缺乏

缺乏精细化技术手段和平台进行有效的低空管服，低空通信导航、监视等基本安全保障能力不足，严重制约低空空域开放与低空产业规模化发展。

02机制体制不顺畅

管理机制体制与低空经济发展形势要求不适应，低空空域未充分开放，地方政府参与管理的力度与手段不足，飞行计划审批复杂。

03顶层设计不足

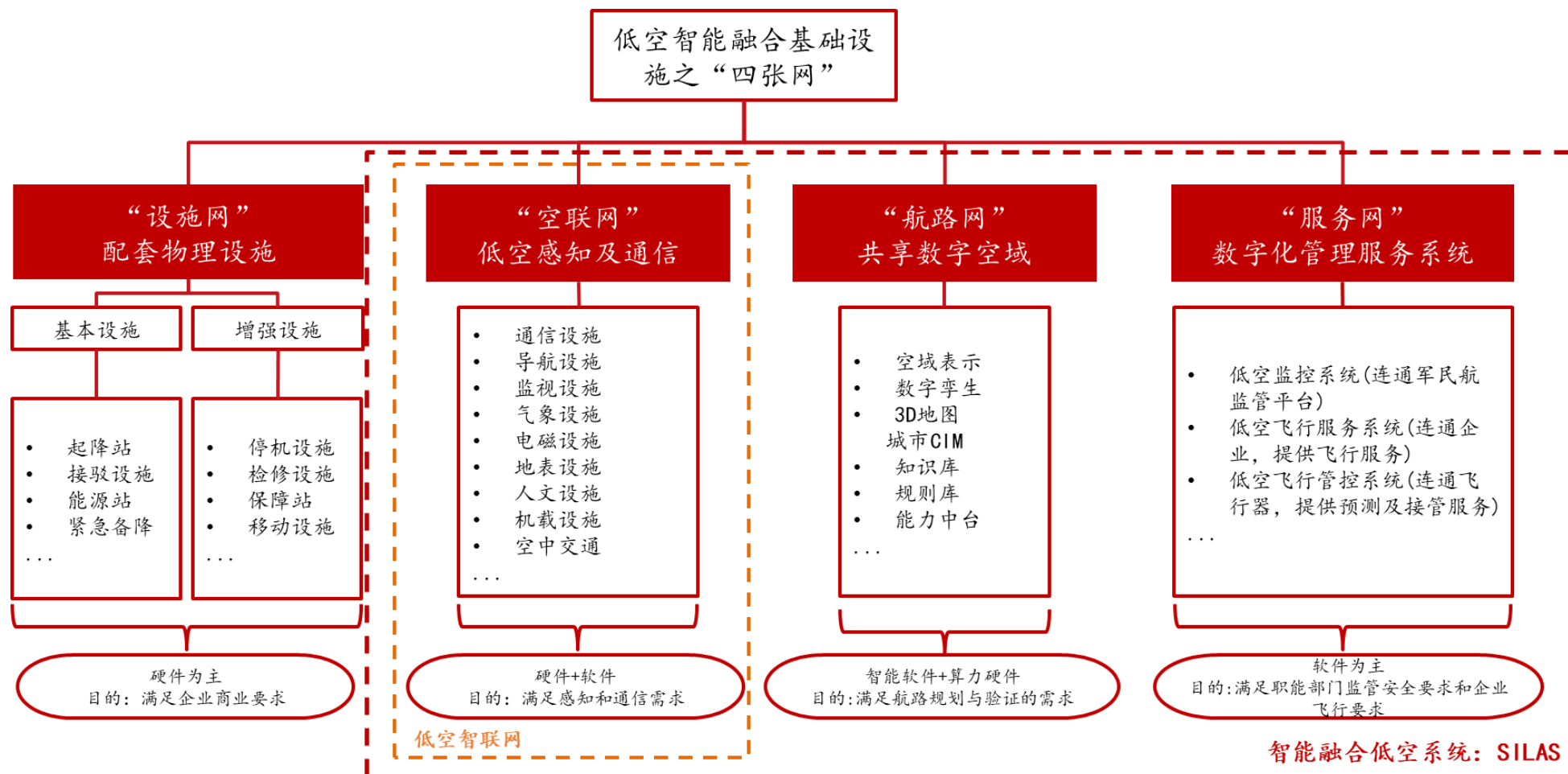
法律、法规和规则的建设和实施滞后，缺乏最新技术手段和数据依据做支撑，导致低空的管控和交通规则、法律法规只能按最保守的方式制定。

04基础设施标准尚缺

各企业重复建设、分散使用导致低空基础设施没有统一的整体规划和标准，难以共享共用低空资源与信息，空域及基础设施利用率低，造成资源浪费。

2.3 低空经济的核心是由四张网构成的新数字基建

- **低空经济核心思路：**把低空空域从自然资源通过数字化和先进技术手段变成可计算、可运营的经济资源。
- 鉴于低空经济强大的数字原生性，在安全可控的前提下，要实现低空经济规模化、可持续、高质量的快速发展，**建设完善的新型数字基础设施尤为重要。**
- 参考深圳低空基础设施框架定义，低空经济基础设施框架包括四张“网”，分别为**“设施网”**、“空联网”、“航路网”和**“服务网”**。



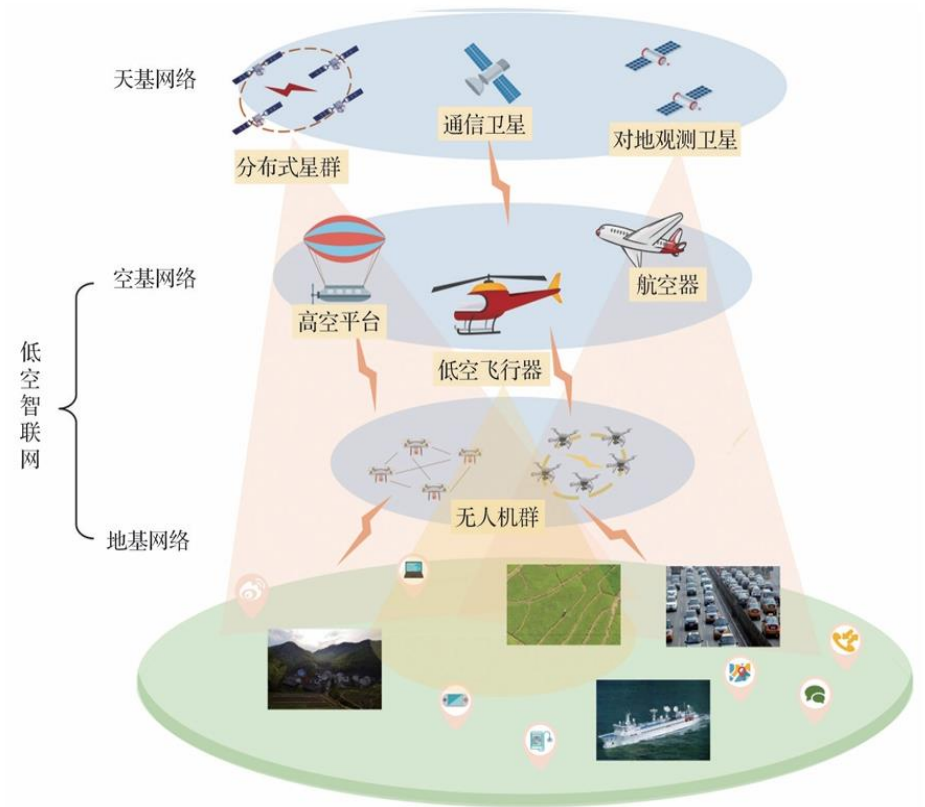
2.4 低空智联网-空天地一体化网络体系的关键构成部分

低空智联网是指在低空空域3000m以下，具体按照不同地区融合运用网络化，数字化和智能化技术构建的智能化的数字网络体系，是低空新基建。低空智联网作为发展低空航空器行业应用最重要的基础设施，是低空经济发展的基石和助推器，可实现低空治理体系的网络化、数字化和智能化，能够大幅提升低空综合治理效率和空域资源利用率，释放低空经济发展潜能，为低空经济腾飞提供新动能。

低空智联网是以现有空天地网络为基础以多网互联融合(低轨卫星、ADS-B、蜂窝网络和地面网络等)、网络化感知、计算服务为核心，构建支撑低空空域数字化、智能化运营，“连接+算力+能力”的通信、监视和服务平台，解决高密度、大流量、多用户等场景下的稳定通信、全面监视和统一服务的实现问题。

基本定义：低空智联网本质是低空复杂运行系统，并创新应用数字化、网络化和智能化技术赋能管控服务“云”、空天地三“网”和航空器“端”，能够对突发特情和应急处置进行敏捷反应。

最终目标：探索星地一体融合通信网络，形成以5G-A网络为主、卫星网络为补充的空天地立体协同覆盖新模式，即低空智联网与卫星融合的空天地一体化网络。搭建“北斗+ADS-B+5G/5G-A+卫星互联网”架构。



2.5 低空智联网由通导监气象四大核心部分组成，拥有三大关键技术

低空智联网以现有空天地网络为基础，以多网互联融合(低轨卫星、ADS-B、蜂窝网络和地面网络等)、网络化感知、计算服务为核心。**通信、导航、监视、气象是组成低空智联网的四大部分；通信、定位、感知则是构建低空智联网的三大关键技术。**

低空通信技术

- ❑ 5G低空专网技术
 - 公专结合架构:复用现有公网,适当新增对空覆盖专网;
 - 空地网络一体化协同:保障地面覆盖,优化低空无线覆盖
- ❑ 网络切片及边缘计算
 - 网络切片、MEC、UPF下沉等技术保障无人机-地面控制中心端到端的大带宽、高可靠、低时延通信

低空导航定位技术

- ❑ 卫星北斗导航定位技术
 - 单点定位、伪距差分定位和载波差分定位,低空场景可达3-5cm定位精度,如高精度北斗导航定位系统
- ❑ 惯性导航技术
 - 高频导航状态更新,短时间内稳定高精度,芯片级设备,低功耗、长续航
- ❑ 视觉导航定位技术
 - 基于相机、激光雷达数据,通过同步定位及地图构建技术达到定位

低空感知探测技术

- ❑ 低空雷达探测技术
 - 雷达发送探测无线信号,基于目标反射的无线电回波与本地信号匹配滤波
- ❑ 光电探测技术
 - 利用可见光和红外光对环境信息进行采集和重点目标探测
- ❑ 5G-A/6G通感一体
 - 充分利用运营商基站,设计感知信号波形,既通信又感知,对低空飞行器实现高精度、高分辨的感知

2.6 通信-现有5G网络难以满足低空无人机应用需求

目前，仅凭借4G/5G基站所支持的低空通信传输速率较低，无法实现低空宽带通讯。

- 无法实现宽带通讯：**传统4G/5G网络主要设计用于地面通信，有效覆盖高度在150米左右，难以满足部分低空空域（1000米以上）的通信需求。而低空信息网络则需实现对空立体覆盖，刚需低空连续覆盖的无线网络。
- 传输速率不够：**即便在4G/5G有效区域内，无人机的高清视频/图片回传上行速率在几十到几百兆每秒。传统对地覆盖的移动网络则主要以下行业务为主。难以保障未来大量无人机的大上行、低时延上传需求。
- 缺乏有效的感知能力，实现低空监管：**目前行业缺乏高效的技术监控手段，监管部门难以第一时间发现空域中“乱飞”、“黑飞”现象，飞行任务的安全性和可靠性难以保障。亟需高精度、低时延、全天候的感知技术。

图：无人机不同场景下对于传输速率的要求

序号	服务类型	传输速率	端到端时延	离地高度	服务地区
1	8K视频直播	上行100Mbps	200ms	<100m	市区、景区
		下行600Kbps	20ms	<100m	
2	激光测绘/高清巡检	上行120Mbps	200ms	30-300m	市区、郊区、景区
		下行300Kbps	20ms	30-300m	
3	4X4K AI 监控	上行120Mbps	20ms	<200m	市区、郊区
		下行50Mbps	20ms	<200m	
4	高清视频远程无人机控制	上行>=25Mbps	100ms	30-300m	市区、郊区
		下行300Kbps	20ms	30-300m	
5	视频直播	上行4/8Mbps对应720p/1080p 视频	100ms	-	市区、郊区、农村

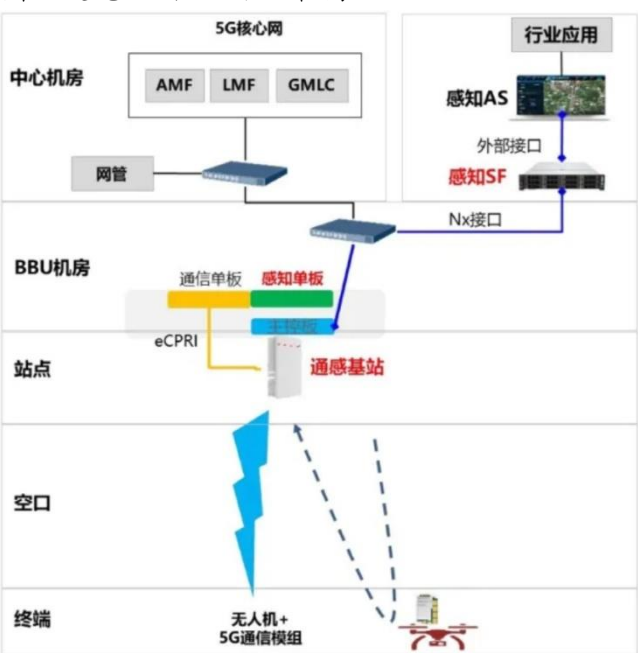
2.7 5G-A通感一体-低空通信的发展方向

5G-A可以在基站传统的通信功能上赋予其感知能力，实现通感一体化。通过结合高频波束、多天线原理，5G-A基站集成了通信与感知两种功能，能够在保障高效数据传输的同时，实现对周围环境的精准监测与理解，实现对低空区域的网络覆盖，为低空作业提供稳定、连续、高速且可靠的无缝覆盖通信网络。大幅提升低空经济中的无人机物流、空中交通管理、环境监测等应用的效率及准确性。

5G-A通感一体基站相较于5G基站在频段等方面有大幅提升。**频段：**传统基站频段主要集中在2.6G-3.5G，而现有的5G-A通感一体基站大多采用4.9GHz频段，大幅提升了通信质量。**架构：**5G-A通感一体基站在基站侧加入了算控单元，使得信息能够得到初步处理。**通道数：**5G-A通感一体基站采用了128通道，是5G基站的两倍，处理速度和效率得到了大幅提升。

通感一体可以满足低空经济多种应用需求。通感一体化能够解决低空飞行中低空建筑密集、导航信号稳定性差、雷达密集部署经济性差等问题，还能支持多目标探测和跨区域完整航迹的连续跟踪与上报，为低空安防等低空经济领域的各类应用提供技术和网络支持。还可以满足**低空飞行器对高质量通信的需求：**实现飞行器信息的实时传输和共享，提升低空通信的效率和可靠性；**低空飞行器的精确感知和定位：**为飞行器的安全飞行和精确作业提供有力保障。

图：通感一体化网络架构



图：5G-A通感一体化与传统感知技术对比

	5G-A 通感一体技术	低空探测雷达	TD0A 探测	光电感知探测
原理	利用电磁波反射探测移动目标	利用电磁波反射探测移动目标	多个地面接收站检测目标发射的信号，利用时间差定位	利用光电设备探测目标位置
优势	1. 可连续组网，感知盲区少 2. 位置精度高、虚警漏检率低 3. 可 7*24 连续探测、可侦测无线电静默无人机 4. 与运营商共站、共硬件、共频部署整体建设成本低	单站探测距离远（3~5km），技术成熟	设备成本略低、依赖目标设备发送的电磁信号	设备成本低，不发射信号，无电磁辐射
限制	运营商通信频谱尚未获得感知许可，测试需要单独申请（目前主流频谱为4.9GHz）	1. 价格昂贵100万+ 2. 频谱需单独申请使用时间地点有限制，不支持7*24 3. 仅支持单点部署 4. 虚警率高	不支持无线电静默，需三站定位，定位精度较低，电磁复杂场易虚警	受光线影响较大，在阴雨、夜晚识别精度差

2.7 5G-A通感一体-低空通信的发展方向

通感基站验证：2023年5月，华为、中国移动、北航推动5G-A先行示范验证：运用5G-A通感基站针对低小慢”实现探测面小到0.01平方米的目标感知：包括无人机轨迹追踪、非法无人机入侵探测、重点区域电子围栏等场景。实验场景下，检测准确率高达99%、单站探测距离超2KM

低空无人机场景测试：2023年5月，中兴通讯、IDEA研究院、中国联通等共同启动了业界首个“5G-A通感算控一体化”低空无人机场景测试合作。一架无人机从深圳中兴西丽工业园低空无人机测试场楼顶起飞通感算控一体化监控后台可以高精度地感知到无人机飞行高度、经纬度、方位角、航行轨迹等关键指标。

通感融合组网验证：2023年10月，中兴通讯完成了5G-A通感融合演示验证测试。此次验证采用了毫米波频段和4.9GHz频段，涵盖室内和室外环境，验证场景包括无人机、交通、入侵检测、呼吸检测等多种通感融合典型应用场景。

大规模部署验证：2024年9月，中关村延庆园首次利用4.9G 5G-A网络实现无人机飞控通信和轨迹实时感知，完成了7x24小时无人机智能巡检、低空航线守护、无人机物流配送等多项智慧园区业务。**在方圆13平方公里、600米高度的空域形成了立体、连续、无缝覆盖，为上行提供最低25Mbps的保障速率，实现了低空飞行航拍4K高清视频的无死角实时回传。**

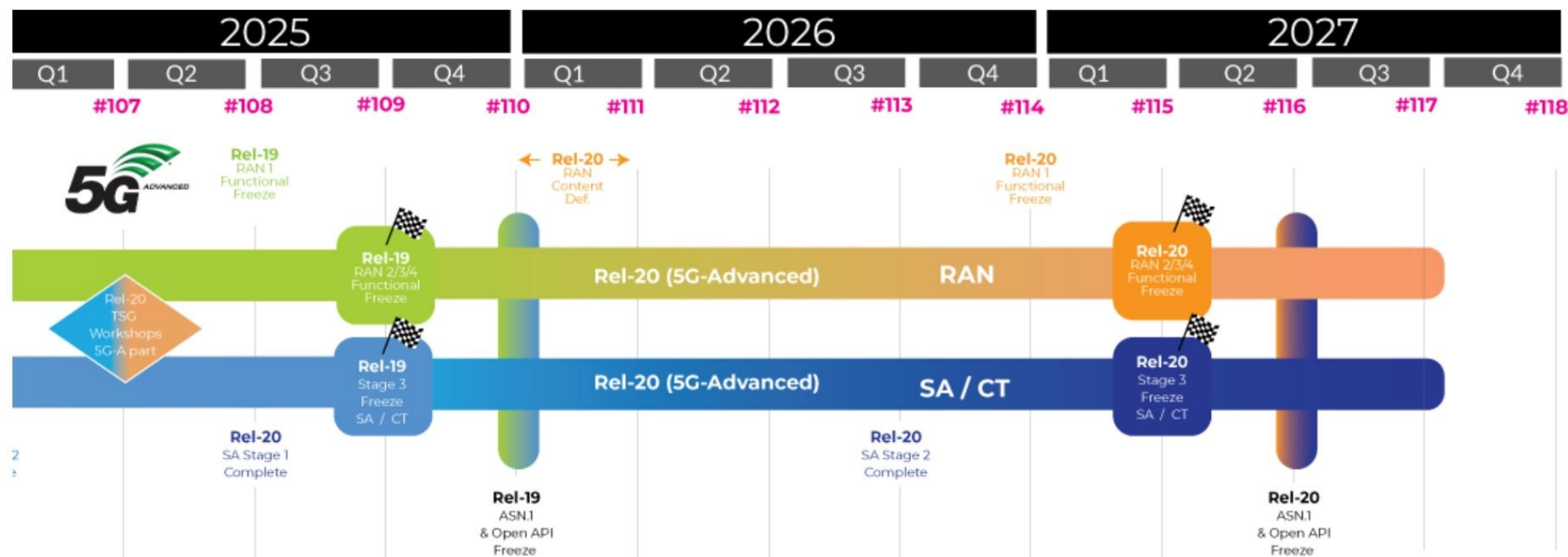
5G-A通感一体基站与机场融合：2024年7月，中国移动贵州公司联合中兴通讯公司在黔南荔波机场开通全省首个基于4.9G频段的5G-A通感一体化基站，并完成无人机的通信感知融合测试，实现基于无人机的轨迹识别、“黑飞”预警等功能，感知精度达亚米级，为低空空域的安全运营提供保障。

2.8 空天地一体化通信网络有望在5G-A时代实现，加快低空智联网建设进程

IMT-2030（6G）推进组的计划于6G时代将实现空天地一体化无缝覆盖。根据3GPP对于5G、5G-A及6G的规划，R15、R16 和 R17 三个版本是5G的第一个阶段，之后的R18、R19、R20为第二个阶段，即为5G-A。6G规范将在2028年底之前准备就绪。2030年之前开启商用化。

空天地一体化通信网络有望于5G-A时代实现。9月3日，在空天信息产业国际生态大会上，余承东表示：“原来我们说6G是空天地一体，但是我们想可能不用等到6G，**我们希望从5G-A开始就实现空天地一体的通信网络。**”目前，R18标准于2024年6月宣布冻结，标志着5G-A第一版本国际标准正式完成，R19的研发正式启动，低空智联网的建设有望加速。

图：3GPP对R19-R20版本及冻结发布时间的预计



2.9 导航-5G-A+北斗构建高精度导航体系

低空飞行器在空域内飞行的复杂性和安全性要求高，传统GPS等卫星定位能力已难以满足需求。无人机物流配送、测量测绘、农业植保等低空服务场景需求，迫切需要更精准的导航技术来保障飞行器的安全和效率。面向低空飞行器在行业作业下高精定位和复杂环境下的定位、避障和航路规划需求，需要5G-A+北斗星地一体融合增强关键技术，**北斗提供高精定位计算服务，5G-A基站提供高精定位数据传输服务**，为低空经济提供高精度PNTC（定位、导航、授时、通信）增强能力。

基于北斗的高精度定位可满足低空飞行的导航需求。北斗系统融合了导航与通信能力，具备定位、导航、授时、星基增强、地基增强、短报文通信等多种服务能力，可以有效解决低空应用及无人机在运行时所面临的定位精度低、传输时延大等问题。

图：北斗系统的功能及在低空经济领域的应用

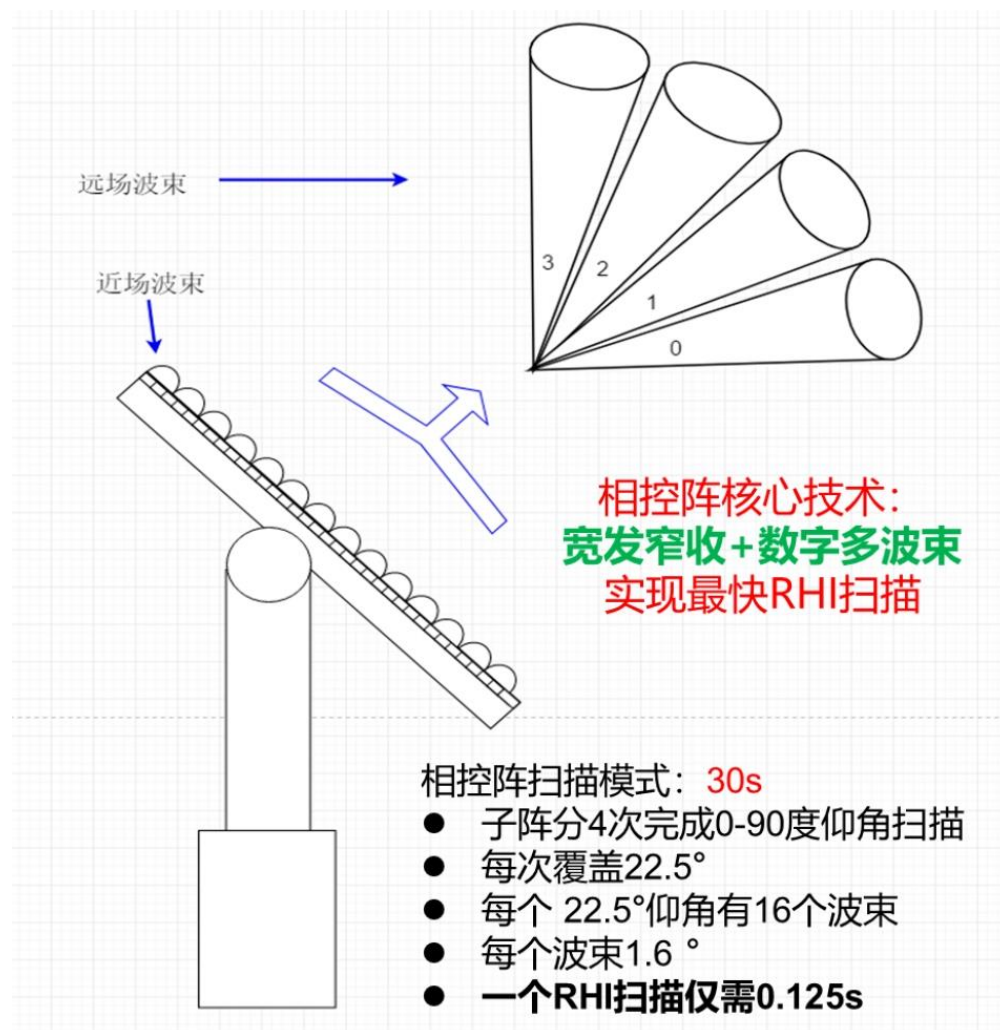
北斗功能	具体介绍	低空应用
定位导航授时	北斗系统定位导航授时服务，通过30颗卫星，免费向全球用户提供服务，全球范围水平定位精度优于9米、垂直定位精度优于10米，测速精度优于0.2米/秒、授时精度优于20纳秒。	低空经济主要涵盖感知、规划、控制三个关键的技术层面，而时间同步是实现这些功能协同运作的前提。低空物联网包含大量空中基础设施、地面信息基础设施等，需要为硬件基础设施之间有机协调、密切配合提供标准的时间依据，确保多数系统内数据能在统一时间框架内准确分析处理满足低空飞行业务高速运转和安全保密的需求。
星基增强	通过地球静止轨道卫星搭载卫星导航增强信号转发器，可以向用户播发星历误差、卫星钟差、电离层延迟等多种修正信息，实现对于原有卫星导航系统定位精度的改进。	在缺少地面网络覆盖的地区，星地一体融合定位技术利用智能算法的深度融合，升级后的无人机等飞行器定位终端可以根据环境网络状态、信号质量等因素，在地基服务、网络星基服务、星基增强服务之间实现自动切换，适应各种复杂的作业环境，提升飞行器的适应能力和作业效率。
地基增强	利用北斗/GNSS高精度接收机，通过地面基准站网，利用卫星、移动通信、数字广播等播发手段，在服务区域内提供1-2米、分米级和厘米级实时高精度导航定位服务。	为满足低空智能融合系统飞行器对于高精度定位导航的需求，北斗地基增强定位可识别计算，补偿和校正卫星信号中的误差因素并播发给飞行器定位终端以供其纠正定位结果，从而实现实时厘米级精度的定位效果。
北斗短报文融合	短报文通信，基于北斗卫星导航定位系统实现，通信终端之间可以通过卫星信号进行双向信息传递。在无地面网络覆盖区域，北斗短报文通信可以发挥基础通信的补充与应急备份通信的作用。	在低空物联网构建过程中，考虑到无人机多场景跨区域作业的需求，短报文通信是低空物联网的重要一环，可显著增强通信服务的完备性和可靠性，提升低空飞行器协同通信、精准控制和任务可靠决策等能力实现水平。

2.10 气象-低空安全刚需高精度气象服务，相控阵天气雷达有望充分受益

低空区域处于对流层中下层，雷暴、低空风切变、低能见度、强降水等因素严重影响飞行安全。因此，低空航路规划要求开展低空气象风险评估区划的同时，需要在飞行过程中实时提供特定高度，时空分辨率达到分钟级、百米级的气象信息，以便快速、准确采取应对措施。并且，由于低空应用场景及主体十分多元，定制化气象服务需求强烈。相较于传统航空，对低空空域气象服务在保障任务上提出了更高的要求。

相控阵天气雷达性能优越，国家大力推行。由于相控阵天气雷达优越的探测能力，系统提供二维相位控制，不需要电机或其他机械移动部件。二维高速(无惯性)波束导向结合双极化，可编程/自适应波形，以及将多个雷达组合成网络的能力，相控阵天气雷达现已成为短程天气观测新一代天气雷达体制发展的主流方向。2024年9月，中国气象局印发《相控阵天气雷达研发与试验工作方案（2024—2030年）》，《方案》指出，相控阵天气雷达是下一代天气雷达的重要发展方向，到“十四五”末，关键核心技术实现自主可控；“十五五”期间，开展应用试验并持续正向迭代升级，为“十六五”期间下一代业务天气雷达的布网建设提供支撑。

图：相控阵雷达核心技术可实现快速扫描以及多波束探测

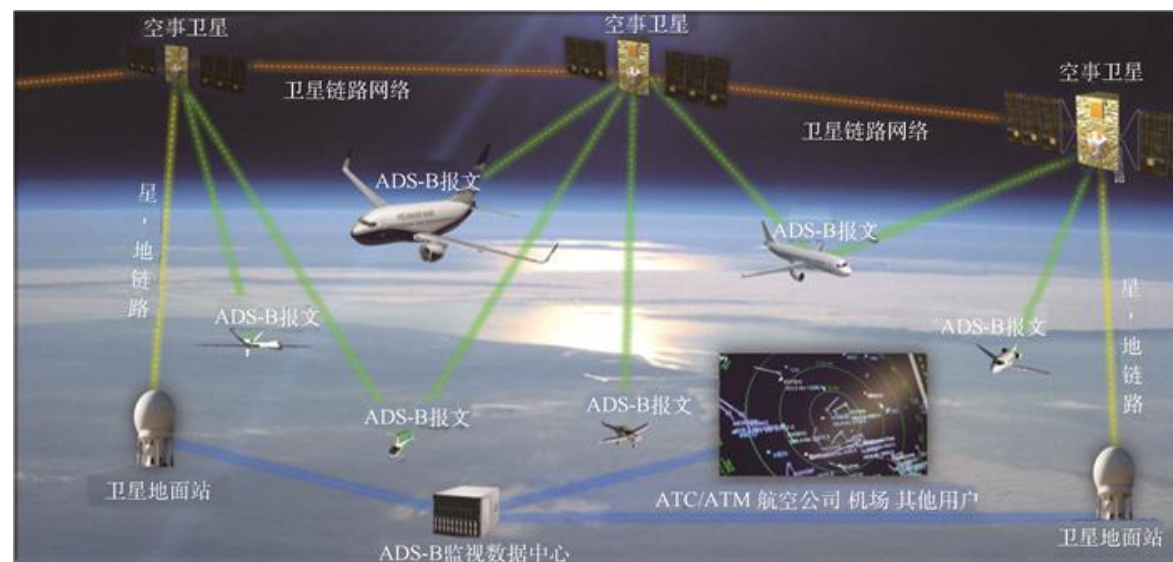


2.11 监视-北斗定位信息为核心，融合短报文、ADS-B的保障体系

低空监视在确保安全性上发挥重要作用。随着低空空域的开放，公安、民航、军队等管理部门，对无人机监管的需求愈发强烈。监视的主要需求场景包括低空空域监管要地安防、机场跑道入侵、物流航线监视等。对合作类无人机进行监视与服务，感知无人机位置、高度、航向、速度等信息并反馈给管控平台，确保飞行有序可控。同时，需要对非合作类无人机进行探测与反制，即时发现并预警任何未经许可的“黑飞”入侵，确保空域安全。

《民用航空低空空域监视技术应用指导意见》明确要建成以北斗定位为基础，融合北斗短报文（RDSS）、广播式自动相关监视（ADS-B）数据的通用航空北斗飞行动态信息服务平台，逐步实现低空管制空域、监视空域通用航空北斗飞行动态服务。而**ADS-B**凭借其低运行成本、定位精度高、更新率快、加强空-地/空协同等优势，逐渐成为主流低空监视产品，且北斗、5G-A等技术可完美解决其依赖机载导航信息源、数据处理传输时间长等缺点。

图：星基ADS-B运行原理



图：低空监视概念示意图



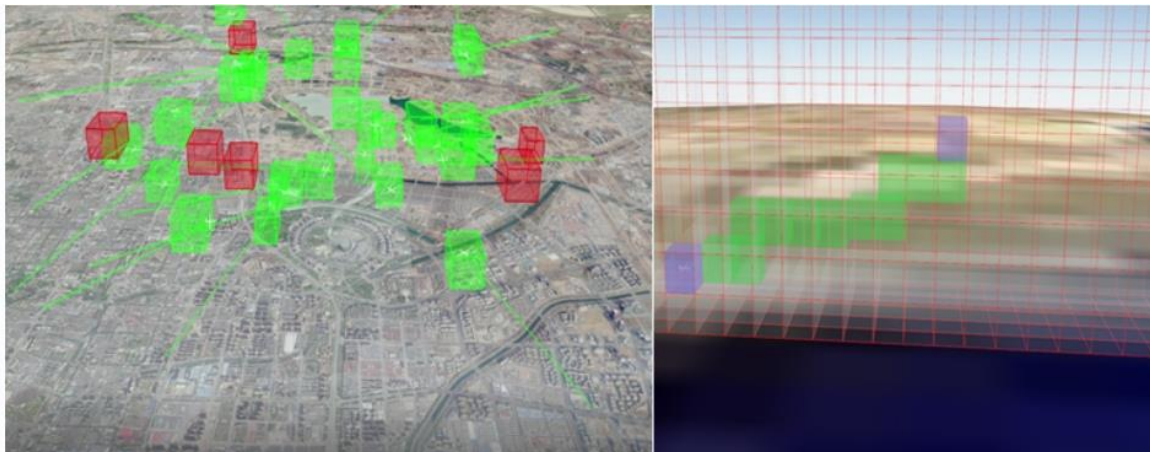
2.12 数字化空域：北斗网格码可实现最大空域利用率

空域栅格（网格化）技术可实现对低空空域资源的充分利用。低空空域栅格量化表征基于网格参考系统，将低空空域划分为若干个层级化、多尺寸的无缝且不重叠的网格单元，通过栅格编码以及空域属性等信息对低空空域进行定量描述，实现效用充分利用。

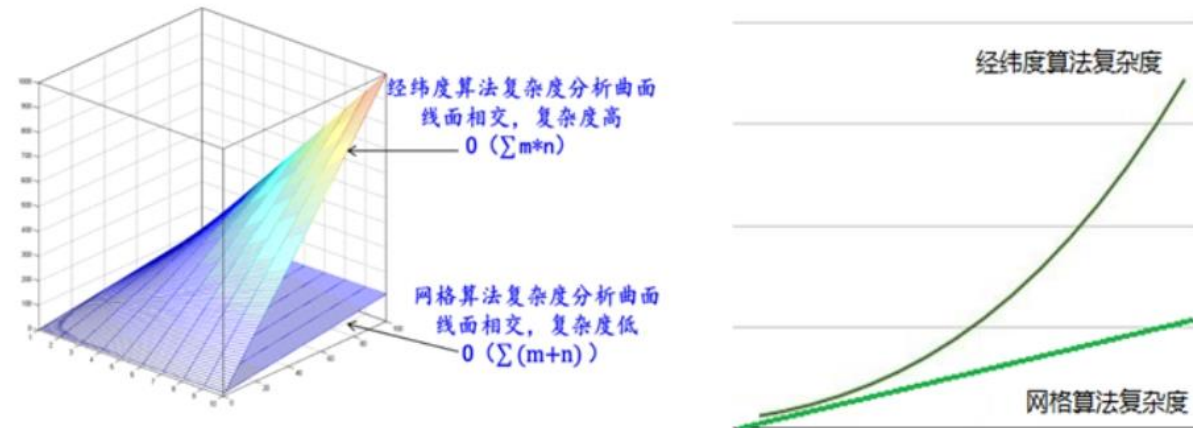
北斗网格码可有效构建数字化空域及规划航线路径。北斗网格位置码是在全球网格化剖分基础上，适用于北斗卫星导航系统各种应用终端输出的一种网格位置编码，能大幅简化对区位信息的标识、表达和计算的复杂度、速度、效率、以及导航定位等方面具有优势，是经纬度点位置编码体系的重要补充。**在构建数字化空域方面：**北斗伏羲通过北斗网格码把地球从地心到地球外围50万公里，通过GeoSOT地球空间剖分模型，划分成32级网格体，最高精度可达1.5cm，可以有效的把被楼房，电线等障碍占据的网格标记出来，实现精细化数字空域建设。**在规划航线路径方面：**北斗伏羲用静态立体网格承载三维空间信息，时间作为变量，将空间内有无无人机的网格标记为1，没有的标记为0；根据无人机之间安全飞行距离和飞行时间变量，找到任意一条和现有运动目标静止轨迹（时空轨迹）不相交的立体网格直线（曲线）区域，即可规划出任意动态的无人机飞行路径，并能将飞行空域的利用率达到最大。

合肥骆岗公园已建设国内首个基于北斗网格码的全空间无人体系城市级应用示范项目，首次实现了低空空域资源和地面路网资源、多种无人系统在同一套管控框架下协同运行，构建了全球首个“陆海空天电”全域立体网格空域图，可提供空域划设管理、航线自动规划导航、多飞行器飞行协同、全域态势感知等功能，支撑智慧巡检、智能摆渡、物流配送、城市通勤等多个任务场景的应用。

图：北斗伏羲三维路径规划示意图



图：网格算法与经纬度算法计算复杂度对比



2.13 低空空管系统：数字空域搭建底座，低空物联网赋能空管系统智慧化发展

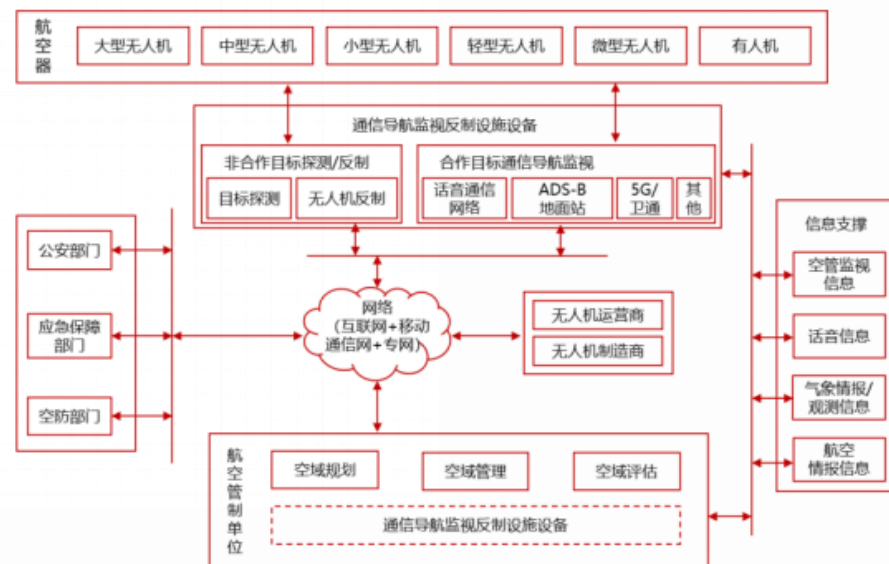
空中交通管理系统（ATM）是空管工作人员用来实际操作和管理飞行交通的信息处理平台。基于CNS系统提供的数据库，ATM系统构建信息综合处理平台，为航行过程中的飞行器提供整合后信息，制定流量控制措施，并规划分配方案。完整的**ATM系统由三大部分组成：空中交通服务，空中交通流量管理和空域管理。**它们共同协调和管理空中交通，有效维护空中交通秩序，促进空中交通安全，保障空中交通畅通。

为适配低空经济异构、高密度、高频次等特点，传统空管系统需进行新一轮技术升级。

1. 低空飞行飞行活动中飞行主题多、飞行器密度高、存在楼房等大量障碍物，需要空管系统进行更高效的数据处理、提供频率更高、时效性更强的空管指令，**支持不同种类低空航空器在不同应用场景的需求。**
2. 传统空管系统大多应用民航、通航等高空场景，对于低空场景，空管系统需要进行相应的改进，以更好地管理和监控低空航空器的飞行活动、应对其与地面设施，人员以及其他空域航空器之间的安全问题。

数字空域搭建底座，低空物联网赋能空管系统智慧化发展。通过数字孪生、北斗网格码等技术构建数字低空空域，可以为空管系统提供数字孪生底座，提升低空空域的精细化和动态化管理能力。低空物联网可依托5G-A通感一体、北斗、ADS-B、监视雷达等技术，实现高效、准确的智能化空域设计和航路规划，是未来低空空管系统发展的必然路径。未来，空管系统有望与人工智能、云计算、卫星互联网等技术进行融合，推动低空经济发展。

图：低空空管系统运行架构图



图：低空物联网与数字空域赋能智慧低空空管系统



3. 下游应用-文旅载人场景即将落地，载物场景已进入规模化运行

3.1 应用端进展有望增加飞行器需求，eVTOL即将迎来取证集中期

3.2 载人场景市场空间较大，文旅场景有望率先落地

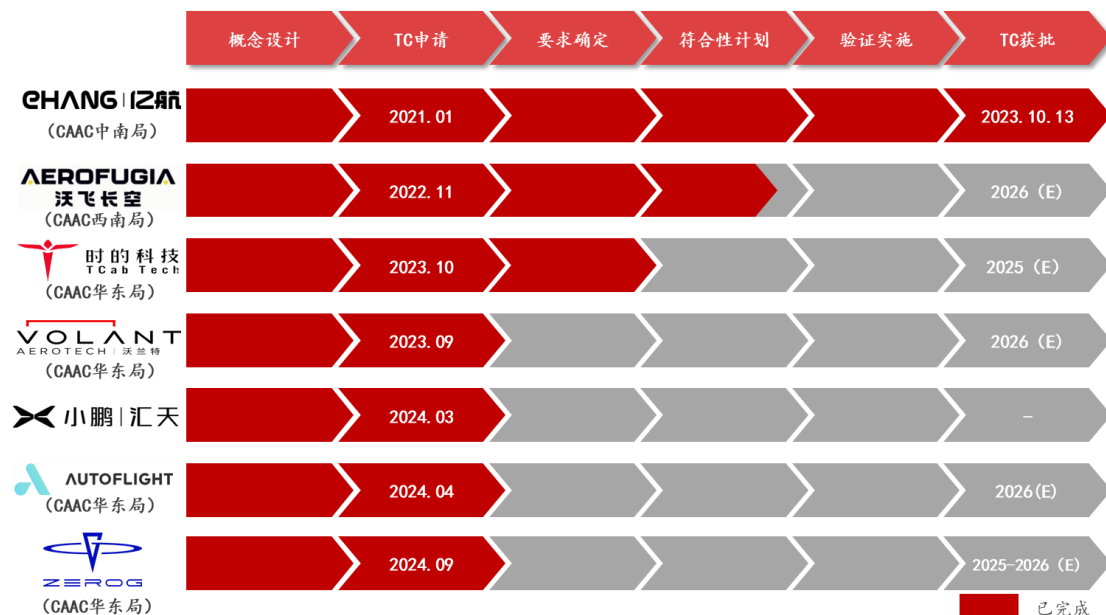
3.3 低空物流场景加速发展，规模化运营即将启动

3.1 应用端进展有望增加飞行器需求，eVTOL即将迎来取证集中期

多家eVTOL主机厂载人型号即将取证，有望带动预订量上升。从国内进度来看，时的科技、零重力有望于2025年获得TC认证，沃兰特、峰飞、沃飞等厂商则有望于2026年获得TC认证。国外众多厂商的TC认证也有望于2025及2026两年内批量下发。TC是三证（TC、PC、AC）中获取难度最高的证明，在获批后意味着该eVTOL即将进入量产及预定阶段。

亿航OC取证在即，首个载人场景即将落地。中国民航局24年7月正式受理公司子公司亿航通航及合肥合资运营公司合翼航空递交的OC申请，除合肥外，公司在广州、深圳、太原、无锡等城市的合作方同步筹备推进OC审定申请。截至目前，该OC证的审定工作即将完成，有望于近期落地。OC证的颁发将代表着全国首个低空eVTOL载人场景的落地，为后续载人场景的落地提供模板，后期载人场景的落地即将加速。

图：国内主流eVTOL主机厂TC认证进度



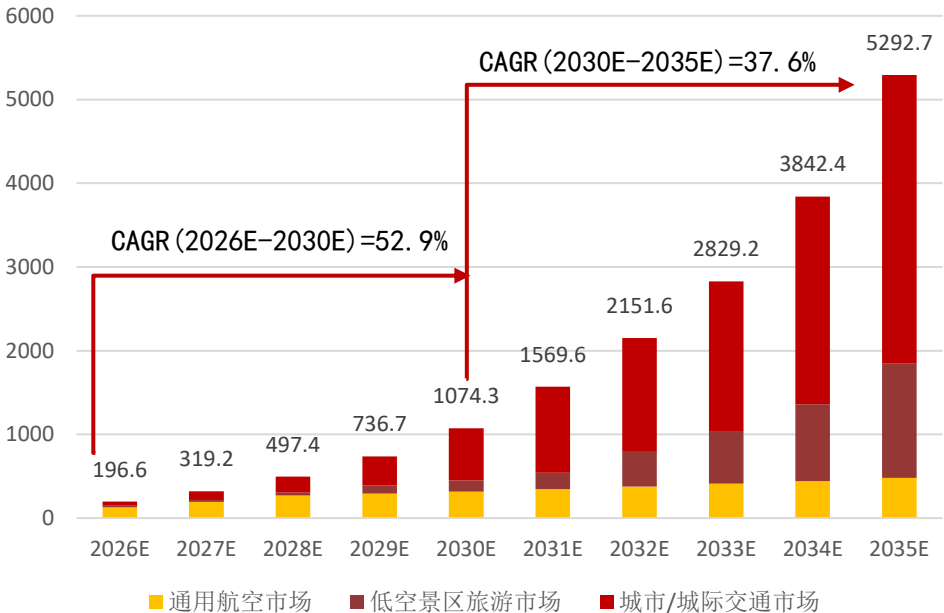
图：海外主流eVTOL主机厂TC认证进度



3.2 载人场景市场空间较大，文旅场景有望率先落地

- 未来eVTOL载人场景将主要在低空旅游、长距离内城际交通市场需求、城市内部的运输场景及直升机和通航飞机的应用起到一定的替代性。
- 深圳市目前已对城市内空中交通出行规模进行预判，伴随未来无人驾驶航空器及其配套设施、技术的逐步成熟，城市空中交通出行成本会随之下降，日出行规模将有望达百万级人次，日营收预计达1.5亿元。空中快线场景有望于2030年先行落地。
- 根据头豹研究院的估算：
- 城市/城际交通：受制于航线规划、安全性、基建、eVTOL续航等问题。低空城市城际交通（尤其是eVTOL）场景的落地仍需时间，预计2030年空中快线将率先启用，主要针对高端/跨城需求，随后2040、2050年空中的士、飞行汽车逐渐落地，逐渐替代市内日常通勤、跨城快速出行需求，预计2035年eVTOL城市/城际交通市场空间为3446.7亿元。
- 旅游场景：旅游场景因飞行时间较短、线路固定、场景单一，有望成为最先落地的低空载人场景。目前深圳、合肥、桂林、八达岭长城等地已布局低空游览项目，预计低空旅游场景将于近两年率先落地，预计2026年eVTOL低空旅游市场规模为18.1亿元，并于2035年达到1367亿元。
- 通航市场：eVTOL对用于工业作业等常态化作业领域的中轻型通用航空飞行器更具潜在替代性。预计2026年eVTOL通航市场空间为234.1亿元，并于2035年达到479.1亿元。

图：eVTOL载人场景需求测算（亿元）



图：深圳低空载人场景发展阶段

发展阶段	空中快线 1.0 2030	空中的士 2.0 2040	飞行汽车 3.0 2050
较私人机动化出行成本	约10-15倍	约5-10倍	约2-5倍
出行场景	临深高端出行需求	临深通勤需求 市域特殊出行需求	区域出行需求 市域日常通勤需求
出行规模	➢ 预计替代0.5%~1%临深出行需求。 总规模约1.2~2.3万人次/日	➢ 预计替代5%临深出行通勤需求，约11万人次/日； ➢ 替代市域2%出租/网约车需求，约4.7万人次/日； 总规模约15.8万人次/日	➢ 预计替代20%临深出行通勤需求，约45.4万人次/日； ➢ 替代市域5%-7%出租/网约车需求，约11.8-16.6万人次/日； ➢ 替代市域3%私家车出行需求，约32万人次/日； 总规模约89.2万人次/日

3.3 低空物流场景加速发展，规模化运营陆续启动

城市	飞行次数	制造		运营					
				客运	货运				
									
2022年累计飞行架次（万）									
深圳	~30	2021年开始双架同时飞行		2021年开始双架同时飞行	2021年开始常态化运营（快递运输）	2021年开始常态化运营（外卖配送）	2022年医药配送试点		
上海	>8		2019年海鲜运输试点		2022年开展防疫试运营	2022年小范围商业运营	2018年园区外卖试点	2022年外卖试点	
浙江	>10				2022年开展防疫试运营	2022年开展防疫试运营	2021年开始常态化运营（医药配送）		
湖南	~3				2022年水果运输试点				
江西	未披露	2021年开始飞行试验			2022年医疗配送试运营	短期试点	试运营	常态运营	

低空经济物流在多城市已经实现应用落地。

全国多处城市均已开展产业实践，覆盖餐饮外卖、医疗配送、快递运输等多场景。

头部厂商已开始常态化运营。

合肥、自贡、成都等城市已启用无人机进行低空医疗物品等物资配送。

低空物流已快速实现商业化运行。

4. 零部件-机身材料及三电系统潜力较大，eVTOL与AI融合大势所趋

- 4.1 零部件：复材为eVTOL机身首选，动力系统技术演进决定续航里程
- 4.2 机身：碳纤维复材优势明显，VARTM为目前主流制造工艺
- 4.3 电池：目前主流电池难以满足eVTOL各项需求，固态电池有望成为解决方案。
- 4.4 电机&电控：分布式电推+永磁同步电机为主流配置，电控向智能化集成化发展
- 4.5 eVTOL与AI大模型深度融合大势所趋

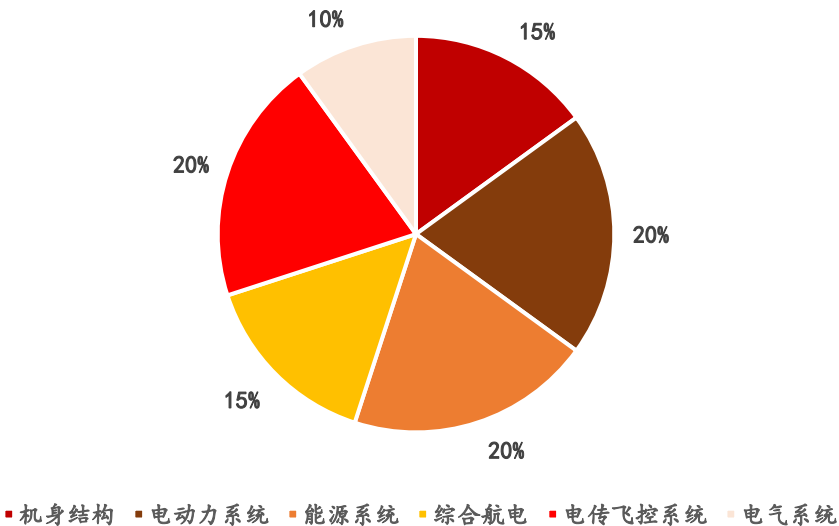
4.1 零部件：复材为eVTOL机身首选，动力系统技术演进决定续航里程

eVTOL主要由6大系统构成，分别是机身（成本占比15%）、电动力（成本占比20%）、能源（成本占比20%）、航电（成本占比15%）、飞控（成本占比20%）及电气（成本占比10%）。

机身：复材具有轻量化、高强度等特性，优势明显。据Stratview研究报告显示，在飞行汽车项目中，复合材料的使用主要集中在结构部件和推进系统，占比约75%-80%，其次是内部应用，如横梁和座椅结构，占12%-14%，而电池系统、航空电子设备等占剩余的8-12%。而碳纤维复合材料具备轻量化、强度高、耐腐蚀等特点，不仅能减轻飞行器的重量，还可以提高飞行性能，在eVTOL领域具有广泛的应用前景。

动力系统：电池技术进展决定续航里程，低空发展前期仍将以纯油动力系统为主。相较于电动汽车，eVTOL电池对于能量密度、放电倍率 and 安全性要求更高，需要5C以上的放电倍率叠加350wh/kg的能量密度。目前，宁德时代已经成功试飞4吨级民用电动车，8吨级飞机预计于2027到2028年发布，可支持约2000到3000公里的航程。且公司钠离子电池项目已经处于接近完成的进度。短期来看，由于市面上大多数eVTOL续航里程较短，采用纯油动力系统的无人机/直升机将成为低空发展前期跨城货运/载人场景的首选。

图：eVTOL成本占比



图：eVTOL结构组成

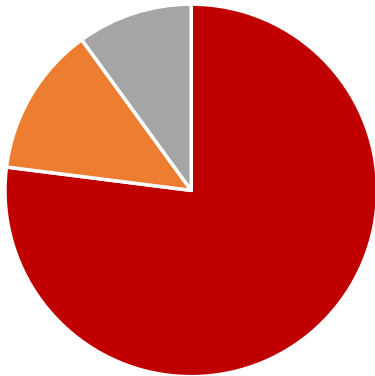
机身结构	机体结构 内饰结构 安装结构	复合材料、结构胶水、航空玻璃、起落架系统、静电防护(复材铜网+放电刷) 驾驶员/旅客座椅、内饰壁板、仪表台、乘员防护设备、应急逃生设备 设备安装支架、电池安装结构、紧固件、设备架、防火隔离板
电动力系统	电动力 螺旋桨	电机、电机控制器MCU、热管理系统(冷却液+管路+散热风扇)、减速器 升力桨、推力桨、涵道风扇、变桨距机构、旋翼倾转机构、旋翼位置VDT传感器
能源系统	动力电池 配电系统	高能锂电芯(高放电倍率)、电池整包、电池热管理、电池管理系统BMS 配电板、高压动力导线、电源保护系统、高压电磁屏蔽、地面充电系统
综合航电	显控系统 导航系统 通信系统 监视系统	显示器、输入设备、显控计算机(IMA架构)、控制板、机载维护OMS、导引系统 GNSS、惯导、磁罗盘、雷达、大气数据ADS/空速计、无线电导航VOR/DME 甚高频语音通信VHF、卫星通信SATCOM、低空4G/5G数据链、客舱WIFI 应答机/ADS-B、空中防撞TCAS、地形避让TAWS、DAA、ELT、FDR/CVR
电传飞控系统	操纵杆 飞控计算 作动器	方向杆(侧杆)、速度杆、拇指调节杆、操纵杆三余度VDT传感器、备用操纵杆 三余度飞控计算机FCC、控制律CL、自动起降、飞行管理FMS、自动飞行面板 电动舵机、舵机控制器、舵机连杆、作动舵面、舵面位置VDT传感器
电气系统	电气设备 EWIS线束	内/外部照明灯、告警系统、整机管理系统VMS、舱门控制系统、客舱娱乐设备 整机线束、线束安装支架、线束穿墙件、接插件、线束分离面

4.2 机身：碳纤维复材优势明显，VARTM为目前主流制造工艺

- 据Stratview研究报告显示，在飞行汽车项目中，复合材料的使用主要集中在结构部件和推进系统，占比约75%-80%，其次是内部应用，如横梁和座椅结构，占12%-14%，而电池系统、航空电子设备等占剩余的8-12%。
- 碳纤维复材具有多项优势，有望在eVTOL领域实现广泛应用。碳纤维复材凭借其极致轻量化（可实现几十公斤至吨级减重）、高强度与刚度、优异耐久性（抗疲劳与耐腐蚀）、可塑性（适应复杂设计需求）以及兼容夹层结构（与发泡材料/铝蜂窝结合进一步优化性能）等核心优势，可以显著提升飞行器的续航能力、载荷效率、安全可靠性及规模化生产效率。
- 波音787的机翼整流罩等部件均采用VARI（真空辅助树脂注射）工艺（VARTM的变体），其低速生产阶段成本较传统热压罐工艺大幅降低。由于eVTOL机身结构（如机翼、客舱框架）与小型飞机部件具有相似性可直接技术迁移复用航空航天领域成熟的工艺。
- eVTOL行业在产业化初期选择VARTM工艺，本质上是对航空航天工业技术路径的精细化复刻——以可控成本实现高性能复合材料的低速量产，同时保留向高阶工艺升级的弹性。随着产能爬升与自动化技术渗透，VARTM将逐步演变为“过渡性核心工艺”，直至热压罐或高压RTM成为主流。这一路径已在Joby、Archer等头部企业的供应链中清晰显现。

图：eVTOL上复合材料的应用占比

■ 结构部件和推进系统, 75%-80% ■ 内部应用-横梁和座椅结构等, 12%-14%
■ 电池系统、航空电子设备等, 8-12%



图：eVTOL中主要复材应用的潜在制造工艺

Potential fabrication processes for major composite applications in eVTOLs					
Category	VARTM	HLU	AFP/ATL	3DP	PRESS MOLDING
Fuselage	✓	✓	✓		✓
Wings	✓	✓	✓		✓
Nacelle Assembly	✓	✓	✓		✓
Rotorblades			✓	✓	✓
Clips, Brackets, etc.		✓		✓	
Battery Boxes and Racks					✓

HLU: Hand Layup
VARTM: Vacuum Assisted Resin Transfer Molding
3DP: 3D Printing

4.3 电池：目前主流电池难以满足eVTOL各项需求，固态电池有望成为解决方案。

- **eVTOL对于电池续航、功率及充电效率要求极高，目前主流电池难以满足。**
- **续航&功率：**若eVTOL要实现跨城旅行场景的落地，则需要至少160千米航程，要求电池比能量约230Wh/kg，但考虑效率等因素，实际需380至460Wh/Kg。对于50公里内短程飞行，电池比能量也至少达到300Wh/kg。目前eVTOL 电池能量密度约为 285Wh/kg，距需求仍有较大差距。同时，eVTOL垂直起飞和降落时功率需求最大，是地面行驶的10 - 15倍,较大的限制了eVTOL的载重量。
- **充电效率：**目前电车的电池充电效率处于20-40之间，由于eVTOL需快速充电以在乘客轮换间隔内重新起飞，要求电池瞬间充放电倍率须在5C以上，目前5C充电速率虽理论上可行，但安全性、电池寿命以及高成本使得目前的方案难以得到推广。
- **固态电池通过能量密度跃升、高安全性、高功率输出三大核心突破，满足了eVTOL对续航、安全和瞬时动力的严苛需求，是推动城市空中交通（UAM）规模化商用的关键技术。**固态电池的核心变革在于采用固态电解质替代了传统的液态电解质，使其在单位质量或体积内能够储存更多的能量，并且可以采用锂金属等理论容量更高的负极材料，大幅提升了能量密度以及输出效率。同时，固态电解质不易燃、不易泄漏，极大地降低了电池热失控的风险。
- **多家企业已完成固态电池的初步开发。**目前亿航智能已与其投资的欣界能源完成全球首次eVTOL固态电池飞行试验，目标于2025年底前，实现固态电池在EH216-S上应用的认证和装机量产。电池厂商方面，宁德时代、亿纬锂能、孚能科技、力神电池、正力新能、国轩高科等众多企业都在积极布局eVTOL固态电池，目前已实现多项开发突破，加速固态电池技术进展。
- **2025年有望成为eVTOL商业化运营元年，短期内多款高密度电池有望成为过渡方案。**在固态电池量产落地前期，短期软包、硅负极、凝聚态等多项高密度电池有望应用在eVTOL上。今后随着固态电池量产，电池能量密度达到450Wh/kg甚至500Wh/kg，那么eVTOL的航程将达到250公里甚至300公里。

图：不同类型eVTOL的比功率要求

类型	最小比功率需求（W/Kg）
多旋翼	400
复合式直升机	450
倾转型	500
复合翼	700

图：下一代电池技术

类型	介绍&优势
固态电池	一种使用固态电极和固态电解质的电池技术，这类电池的容量和功率理论上显著高于锂离子电池。目前半固态电池已经成功实现量产
钠离子电池	工作原理和锂离子电池类似。相比于锂离子电池，现在的钠离子电池成本略高，能量密度略低，但和锂离子电池有重叠范围，安全性更好
氢燃料电池	是一种通过氧化还原反应，将氢气和氧化剂的化学能转化为电能的新型电池。其最大的特点是具有很高的比能量，并且只需要直接更换氢气瓶即可继续提供电能，和锂电池相比减少了充电所需的时间

4.4 电机&电控：分布式电推+永磁同步电机为主流配置，电控向智能化集成化发展

- **分布式电推进 (DEP) 技术，具备低成本、高效率、低噪音和环保排放等优势。**DEP系统可分为1.全电动，其中电动机由电池供电；2.混合动力，其中电动机由涡轮发电机供电。该技术相比传统燃油推进系统更为高效，分布式设计利用多个小功率电机分布在3个或更多电动推进器上，提高了系统的灵活性和容错性能，且设计空间更加自由。
- 目前无人机主要使用无刷直流电机，**永磁同步电机具有更高的效率、功率密度及电池转矩，当前成为eVTOL电机的首选。**eVTOL电机具备低速高扭，高带宽转速控制特点，发展趋势为提高功率密度，同时满足低转速、大扭矩、裕度高、散热好、效率高等要求。
- eVTOL系统中，电控系统是关键，像人体神经一样控制全局。主要包括：飞行控制器（整合数据，发指令）、电机控制器（调电机，控姿态）、通信模块（空地交互，系统协同）。电控系统全程快速响应，融合数据，设计冗余，确保飞行器复杂环境中稳定运行。
- 智能化和集成化是eVTOL电控系统发展的两大趋势。智能化方向注重提升系统决策能力，通过深度学习和AI预测风险并自动调整飞行策略；集成化方向则强调部件间的深度集成，实现系统一体化，减少体积、重量和成本，提高可靠性和性能。

图：电动航空电机要求

电动航空驱动电机	项目		指标
	量产	峰值功率密度 ($\geq 30s$)	$\geq 5kW/kg$
		连续功率密度	$\geq 2.5kW/kg$
		转速区间	1000rpm-8000rpm
		驱动电机系统最高效率	$\geq 95\%$
	下一代	峰值功率密度 ($\geq 30s$)	$\geq 8kW/kg$
		连续功率密度	$\geq 4kW/kg$
		转速区间	1000rpm-8000rpm
		驱动电机系统最高效率	$\geq 96\%$

图：分布式电力推进测试平台



4.5 eVTOL与AI大模型深度融合大势所趋

- 类似于智能汽车，**eVTOL的本质为移动智能终端，其与终端AI大模型的深度融合大势所趋**，将推动低空交通向智能化、自主化方向演进。这种融合不仅提升了飞行器的安全性和效率，还为城市空中交通（UAM）的规模化应用奠定了基础。
- **视觉语言模型（VLM）&视觉基础模型（VFM）**：通过融合视觉和语言两种模态的信息，VLM显著增强了模型对复杂场景的理解和生成能力，能够处理eVTOL的多种传感器数据，如激光雷达和摄像头，实现精准的环境感知和任务规划。同时，两种模型的配合可以使eVTOL高效解决路线规划、复杂地形避障、目标检测、物体识别等复杂任务，大幅提升飞行效率以及安全性。
- **大语言模型（LLM）**：LLM通过思维链框架，能够生成中间推理步骤或结构化的逻辑路径来分解复杂问题，将复杂任务分解为可执行子任务，从而实现系统化和逐步的解决方案，为eVTOL提供明确的规划路径和逻辑框架。结合强化学习和其他优化算法，eVTOL能够在动态环境中实现高效的路线规划和决策制定。同时，LLM与VLM配和，使eVTOLs能够理解和生成自然语言描述，实现人机智能交互。
- 2月13日，科比特宣布旗下全系列无人机产品接入DeepSeek大模型，通过深度整合DeepSeek的先进AI技术，重新定义工业无人机的智慧边界。据了解，接入DeepSeek大模型后，科比特无人机动态建模效率大幅增长300%，20分钟内快速生成高精度三维实景模型；在复杂环境下，无人机的响应速度达到毫秒级别，AI决策响应速度是人类反应极限的8.6倍；无人机行业解决方案的研发周期缩短60%，算法训练效率提升200%以上。除此以外，DeepSeek高效的推理架构，实现了无人机端侧实时数据处理，摆脱对云端的依赖。

图：激光测距模块功能



图：无人机动态建模



5 投资建议：低空经济产业链建议关注标的

建议关注：

基础设施建设环节-

空管/规划/运营：深城交、莱斯信息、新晨科技、苏交科

雷达供应商：纳睿雷达、四川九洲、国睿科技、四创电子

北斗导航：中科星图、海格通信、北斗星通、司南导航、测绘股份

低空算力：云天励飞-U

飞行器整机-

eVTOL：亿航智能、安凯客车、万丰奥威、中航科工、中直股份、航天电子

无人机：航天电子、纵横股份、观典防务、航天彩虹、绿能慧充

飞行器供应链-

发动机：宗申动力、航发动力

电驱电控飞控：英搏尔、卧龙电驱、纵横通信

复材：光威复材、广联航空

固态电池：星源材质、厦钨新能、圣泉集团、元力股份、天奈科技、纳科诺尔、三祥新材、曼恩斯特、上海洗霸、道氏技术、利元亨、粤桂股份

低空检测设备：中机认检、西测测试、

低空应用- 中信海直、祥源文旅、西域旅游

6 风险提示

- **宏观经济不及预期：**地方政策规划以及补贴是推动低空经济发展的重要因素，如果宏观经济不及预期，可能会导致对低空经济的支持放缓，相应的基础设施建设、空域划分等重要工作可能会相应推迟，对产业整体发展节奏产生影响。
- **基础设施建设不及预期：**低空经济对物理及数字基础设施要求较高。且新兴的低空经济技术和设备可能需要更多的时间来开发和测试，这可能延误相关基础设施的建设。此外，技术创新的不断涌现可能需要对基础设施进行更新和升级，使其保持与市场趋势的同步。
- **产品研发不及预期：**低空经济为新兴产业，涉及多项尖端技术，产品需要相关公司快速研发并进行迭代升级，乃至获得许可等。如研发进度难以跟上市场预期，可能会导致公司在市场开拓方面陷入困境。

分析师声明

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，保证报告所采用的数据和信息均来自公开合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，本报告清晰准确地反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响。研究报告对所涉及的证券或发行人的评价是分析师本人通过财务分析预测、数量化方法、或行业比较分析所得出的结论，但使用以上信息和分析方法存在局限性。特此声明。

免责声明

本研究报告由方正证券制作及在中国（香港和澳门特别行政区、台湾省除外）发布。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告内容仅供我公司适当性评级为C3及以上等级的投资者使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。若您并非前述等级的投资者，为保证服务质量、控制风险，请勿订阅本报告中的信息，本资料难以设置访问权限，若给您造成不便，敬请谅解。

在任何情况下，本报告的内容不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求，方正证券不对任何人因使用本报告所载任何内容所引致的任何损失负任何责任，投资者需自行承担风险。

本报告版权仅为方正证券所有，本公司对本报告保留一切法律权利。未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容，不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经允许的其它用途。如需引用、刊发或转载本报告，需注明出处且不得进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

类别	评级	说明
公司评级	强烈推荐	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数有20%以上的涨幅。
	推荐	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数有10%以上的涨幅。
	中性	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数在-10%和10%之间波动。
	减持	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数有10%以上的跌幅。
行业评级	推荐	分析师预测未来12个月内行业表现强于同期基准指数。
	中性	分析师预测未来12个月内行业表现与同期基准指数持平。
	减持	分析师预测未来12个月内行业表现弱于同期基准指数。
基准指数说明		A 股市场以沪深300 指数为基准；香港市场以恒生指数为基准，美股市场以标普500指数为基。



方正证券研究所

专注 · 专心 · 专业

北京市朝阳区朝阳门南大街10号兆泰国际中心A座17层
长沙市天心区湘江中路二段36号华远国际中心37层

上海市静安区延平路71号延平大厦2楼
深圳市福田区竹子林紫竹七道光大银行大厦31层

广州市天河区兴盛路12号楼隼峰院2期3层方正证券