

低空经济产业研究蓝皮书

核心观点

低空经济的官方定义与行业划分：低空经济是依托低空航空活动带动相关产业创新和场景应用形成的综合性经济形态，按照国家发改委《低空经济及其核心产业统计分类（试行）》，低空经济产业链包含低空制造业、低空运营、低空基建与信息服务业、低空配套业等4大领域。

行业现状：低空经济的发展基础来源于通用航空产业的沉淀以及我国无人驾驶航空器的技术突破，随着政策支持力度加大和应用场景逐步拓宽，低空经济进入快速培育期。我国在册通用航空器总量、企业数量均创新高。截至2024年底，全国获得通航经营许可证的企业达760家，同比增加10.1%，在册通用航空器总量为5224架，完成通航生产飞行134.1万小时，无人机累计飞行2666.7万小时，同比增长15.4%。我国的无人机产业链整机国产化率可达90%以上，在无人机领域相关专利申请量约占全球70%，是世界第一大民用无人机出口国。

低空制造业投资机遇：低空制造业在全产业链中价值量占比近60%。碳纤维是低空飞行器的核心材料，国内企业正加快高强度产品国产化进程有望获得更多份额。航空器的电推进系统对于电机的性能参数提出更高要求，卧龙电驱、英搏尔等厂商正加快研发高性能电机产品并配合企业进行适航认证。低空飞行器或呈现纯电为主、混动为辅的产业格局，固态电池依托其高能量密度、高安全等特点未来有望在低空飞行器领域实现应用，目前正处于产业化加速推进阶段。整机领域来看，国内无人机产业发展相对成熟、应用场景丰富，电动垂直起降飞行器正处于“试点示范向规模化过渡”的关键阶段。

低空运营投资机遇：低空运营核心催化应当关注电动垂直起降飞行器适航取证进展以及应用场景从试点转为常态化的节点。截至2025年第三季度，国内约17款产品进入适航受理或取证阶段，国内大部分载人电动垂直起降飞行器机型将在2028年前后获批适航并初步实现量产，届时载人商业化有望实现规模化落地。从应用场景来看，低空物流运营的商业化进度较快。目前，以峰飞航空和中信海直为代表的整机和通航运营企业在跨城、跨海岛等支线运输试点方面取得了良好的验证成效。未来，试点航线以及高价值小切口的如港口领航场景变成常态化模式将值得期待。

低空基建投资机遇：低空基础设施包含实体设施和技术系统与服务体系。从低空基建行业规模来看，预计2025-2030年低空经济基础设施（通用机场+起降场）建设费用合计5996亿元，假设规划和咨询费用率为6%，测算得到2025-2030年低空经济基础设施规划和咨询费用359.7亿元。未来随着低空智能网联体系的进一步扩展和完善，低空运行将全面进入高密度、大规模、复杂异构的运行阶段。

低空配套业投资机遇：低空飞行器检测有望率先实现商业化兑现。检测需求直接绑定于飞行器研发验证、型号取证及商业化运行全生命周期，具备强合规属性、刚性需求与前置释放等特征。在此背景下，具备航空航天/高可靠性检测经验、完善资质体系与系统级测试能力的第三方检测机构有望率先受益。

风险提示：1、低空政策进展不及预期；2、低空经济设施建设进展不及预期；3、关键技术进展不及预期；4、相关数据和行业规模测算偏差风险。

产业链专题研究

证券分析师：李聪

licong3@guosen.com.cn
S0980525080006

证券分析师：杨彬

0755-81982771
yangshan@guosen.com.cn
S0980523110001

证券分析师：曹翰民

0755-81981873
caohanmin@guosen.com.cn
S0980524100001

证券分析师：李全

021-60375434
liquan2@guosen.com.cn
S0980524070002

证券分析师：王鼎

0755-81981000
wangding1@guosen.com.cn
S0980520110003

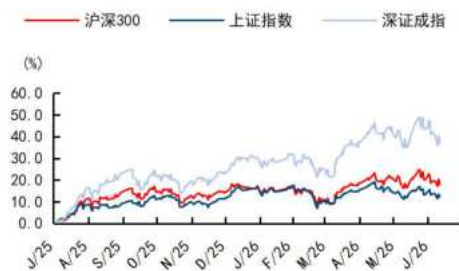
联系人：殷浚喆

0755-22940868
ynjunzhe@guosen.com.cn

基础数据

中小板/月涨跌幅(%)	9278.78/3.00
创业板/月涨跌幅(%)	3842.73/-0.31
AH股价差指数	124.50
A股总/流通市值(万亿元)	97.85/88.79

市场走势



资料来源：Wind、国信证券经济研究所整理

相关研究报告

《国信证券-悦己产业链：银发经济产业合集：银发经济，掘金新局》——2026-03-19
《悦己消费产业链研究专题之银发经济-家用医疗器械专题报告——健康监测&呼吸治疗篇》——2026-03-14
《悦己消费产业链研究专题之银发经济-解码我国银发文旅投资图谱》——2026-03-02

内容目录

一、低空经济总论——定义、政策与产业格局	5
1. 低空经济发展意义与背景	5
2. 低空经济政策体系	7
3. 适航认证体系	19
4. 低空经济产业链全景	22
二、低空经济的必要性与制约	24
1. 行业发展的必要性：现有优势+应用场景和市场空间	24
2. 限制行业发展的三个核心桎梏	29
三、低空经济核心产业发展趋势和机遇	37
1. 低空制造业	37
2. 低空运营业	61
3. 低空基建与信息服务业	67
4. 低空配套业	75
5. 低空核心部件专题——低空飞行器动力系统	80
四、通用航空产业逻辑及机遇	114
1. 通航产业概念	114
2. 通航产业与低空经济的关系	116
3. 通用航空产业链构成	116
4. 中美产业对比下我国通航发展潜力	120
5. 通用航空产业发展的新机遇	122
6. 通用航空指数投资价值分析	129
五、行业发展趋势展望	134
1. 核心零部件国产替代加速，行业马太效应显著	134
2. 低空基建将加速建设，促进跨区域融合	134
3. 从产品输出到生态共建，低空产业出海势在必行	135
风险提示	136

一、低空经济总论——定义、政策与产业格局

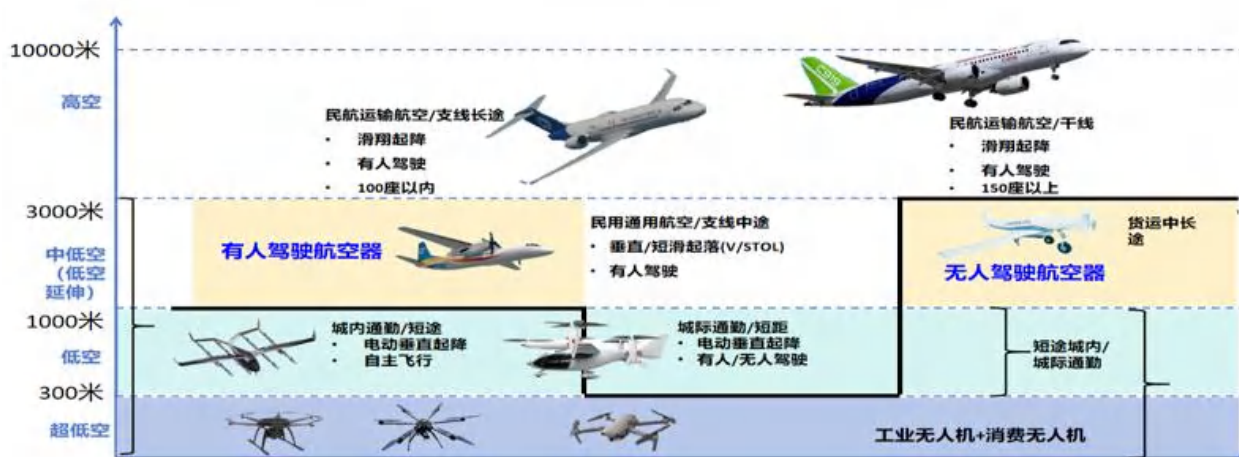
1. 低空经济发展意义与背景

1.1 低空经济概念、分类与发展逻辑

低空经济是依托低空航空活动带动相关产业创新和场景应用形成的综合性经济形态，按照国家发改委《低空经济及其核心产业统计分类（试行）》，**低空经济产业链包含低空制造业、低空运营业、低空基建与信息服务业、低空配套业等4大行业领域。**

低空经济包含了低空空域和低空航空器两大基本要素。低空空域高度通常被定义为距正下方地平面垂直距离在 1000 米以内的空域，根据不同地区特点和实际需要可延伸到 3000 米以内。这是一片尚未被开发却蕴含着巨大经济价值的自然资源，与传统民航活动所处的 8000 米以上高空不同，低空经济社会化程度更高，与人类日常生活联系更加密切。

图1：国家空域基础分类示意图



资料来源：国家空域基础分类方法，中国民航局，国信证券经济研究所整理

低空航空器则是以无人机和 eVTOL（电动垂直起降飞行器）为代表。相较于传统的直升机和固定翼飞机，无人机和 eVTOL 以其较低的制造成本和较好的灵活性，成为未来低空经济中的主要生产工具和出行载体。根据运行高度划分：120m 以下主要包括消费级无人机，120m—300m 主要包括行业应用无人机，300m—1000m 主要包括直升机/eVTOL。

eVTOL 和无人机或是未来低空经济主要载体

- 在整机制造环节，以无人机和 eVTOL 为代表的新兴飞行器蓬勃发展，与传统的直升机和固定翼飞机共同形成了新旧共存的格局。四种主流低空飞行器各具特点，如图所示。

- 根据中国民航局发布的《民用无人机驾驶员管理规定》，无人机是指由控制站管理(远程操纵或自主飞行)的航空器，主要特征包括无人驾驶、远程遥控、超视距飞行等。eVTOL 是指以电力作为飞行动力来源且具备垂直起降功能的飞行器。直升机是使用旋翼提供升力的航空器类型。固定翼飞机是指由动力装置产生前进推力或拉力、由固定机翼产生升力，在大气层内飞行的重于空气的航空器。飞机是固定翼航空器中最常见的类型，滑翔机也属于固定翼航空器。飞机按照发动机类型又可分为喷气飞机和螺旋桨飞机。
- 现阶段，是以无人机为主要载体，传统通用航空器为补充；而未来，将会以“eVTOL”为主要载体，各类通航设备在不同应用领域协同发展。

图2：四大主流飞行器比较

	无人机	eVTOL	直升机	固定翼飞机
				
优势	灵活性高、成本低、易于部署	垂直起降、自动化、高效出行	垂直起降、速度快、载重能力强	速度快、机动性能高、安全舒适
劣势	续航能力、载重能力有限	技术挑战、法规限制	高成本、噪音大、高污染	价格昂贵、起降场地有限
应用场景	航拍、农林植保、环境监测保护等	城市空中交通、应急救援等	长途运输、应急救援等	跨区域客运、货运、军事侦察等
产业现状	技术不断成熟、法规逐步完善	多家企业布局、试点项目推进	技术成熟稳定、市场竞争加剧	技术创新与突破、应用领域拓展
发展趋势	技术持续创新，成本降低，应用广泛；未来与其他低空飞行器协同，提升整体效率	将成为未来城市出行的重要方式；垂直起降、电磁场环保，是低空经济的新热点	在特定领域和任务中仍具独特优势；向智能化、环保化发展	技术升级聚焦智能化和绿色化；飞行控制系统及人工智能和大数据技术

资料来源：中国信通院，中国信息通信研究院、中国互联网协会，《低空经济政策与产业生态研究报告（2024 年）》，中国信息通信研究院，2024：1-33，中国信息通信研究院知识产权与创新发展中心、中国互联网协会，2024，民用航空局，国信证券经济研究所整理

低空经济是多学科交叉融合的技术密集型产业，技术发展植根于人工智能、新能源、新材料、航空航天、汽车、工程机械等多领域多维度的科技创新和深度应用。产业发展逻辑本质上是利用我国全产业链带来的大规模制造成本优势，用新型航空器作为生产生活工具，在细分领域产生经济性和替代效应，融合各类应用场景，有效带动传统产业融合、提质、升级，同时促进城市基础设施和居民生活方式融合发展。

1.2 低空经济的战略定位

低空产业有望释放出较为可观的经济价值。低空经济通过创造新的消费场景、显著提高服务效率以及增加就业岗位等方式，直接或间接地促进消费增长。低空观光和娱乐飞行体验等新型产品和服务，为消费者提供了独特的体验模式，相关的飞行营地和空中主题活动也能创造多样的赛事和社群文化，未来的空中出租车场景也能创造巨大的出行经济。根据普华永道发布的《2023 年通用航空对美国经济的贡献》年度研究报告，2023 年通用航空产业为美国提供了 3392 亿美元的经济贡献和 130 万个就业机会。目前，我国低空经济仍有大量商业潜力可以挖掘。

低空经济是提升全要素生产率的重要途径。低空空域的拓展应用，大幅减轻了快速城市化带来的城市内地面交通压力，提高了生产作业与出行运输的工作效率。在载物方面，无人机在城市中物流运输的规模化，将使商品的流动和物质的配给更加高效。无人机和 eVTOL 可以利用其“点对点”运输优势，缓解外卖、物流等城区内地面交通的拥堵，同时可搭建医疗、应急救援等特殊用途的“空中绿色通

道”。例如，2025 年 7 月峰飞航空物流 eVTOL 装载海鲜从广东珠海起飞，历时约 55 分钟跨越珠海、中山、广州三市，精准降落广州穗港码头，此次飞行巡航速度约 100 公里每小时，相比陆路运输效率提升 60%，节省 1 个小时。载人方面，以空中交通为载体的新型运输方式，有效提升交通效率和旅行速度，满足社会对便捷化、高效化和个性化服务的需求，eVTOL 未来将在 50-400 公里左右的中短途出行方式上对汽车、地铁等交通方式形成替代效应。

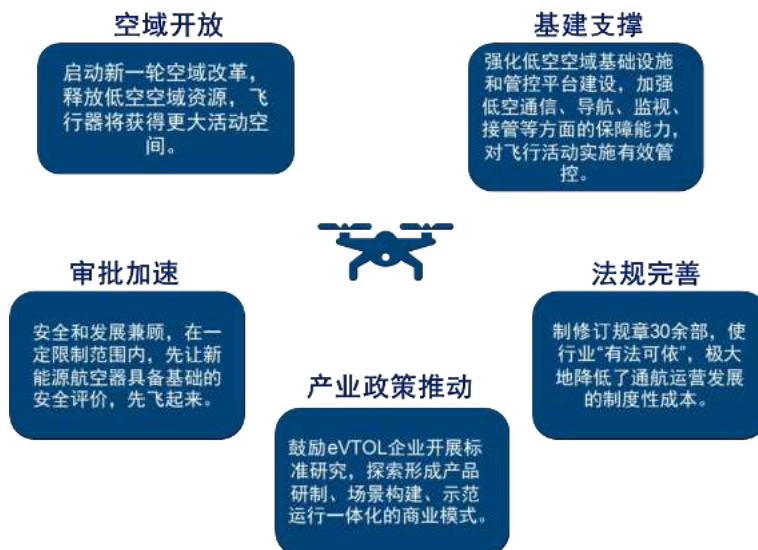
低空经济为技术领域持续迭代升级和国产替代的广泛机遇。《中国共产党第二十届中央委员会第四次全体会议公报》提出，加快高水平科技自立自强，引领发展新质生产力。eVTOL 有超 75%的零部件是汽车产业的延链展链，低空智能网联产品也多以智慧城市和民航空管体系为基准推动电动化、智能化和高端化，低空起降场也由城市规划设计和建设企业提供指引。目前现有锂离子技术仅可以满足 eVTOL 初步商业化飞行，而垂直起降和较长航程的荷载特点要求 eVTOL 电池必须在高能量密度和高稳定性方面有所突破，这将推动固态电池的全面发展。作为影响载人空中飞行安全的核心技术，民航大飞机和通航飞机的航电飞控系统此前长期由欧美企业垄断。如今，eVTOL 的出现为国内机载航电飞控企业创造了技术研发与市场验证的绝佳机会。近年来，以狮尾智能、边界智控、昂际航电为代表的一批国内飞控企业涌现，推出许多高性价比的 eVTOL 飞控产品，并成功得到了技术验证和良好的市场口碑，为我国打破欧美长期技术垄断带来了曙光，也为我国主导低空领域全球标准创造了先机。

2. 低空经济政策体系

2.1 低空经济上升成为国家战略

政策从空域开放、基建支撑、法规完善、产业政策推动、适航审定等多方面为低空经济发展提供了全方位保障，成为推动低空经济快速发展的核心动力。

图3：低空经济发展五大政策驱动力



资料来源：中国民航局，国家发改委，中央空管委，前瞻研究院，国信证券经济研究所整理

我国近年来对低空经济产业发展进行了针对性的部署，在中央层面形成了“国家战略引领+部委协同推进”的政策体系。国家战略层面，2021 年低空经济首次被写入《国家综合立体交通网规划纲要》，2023 年 12 月中央经济工作会议首次定调低空经济为战略性新兴产业，并在 2024 年和 2025 年连续两年写进《政府工作报告》，第二十届三中全会和四中全会分别以“积极打造低空经济新增长引擎”和“加快低空经济集群发展”进行表述，表明低空经济已经进入国家经济发展的核心赛道。

有法可依是产业规范发展的必要前提，2023 年国务院、中央军委公布的《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》和中国民航局发布的《国家空域基础分类方法》，填补了低空飞行器的法规政策盲区，便利了低空飞行器的空域使用。2025 年 2 月，民用航空法修订草案提请审议，明确“划分空域应当兼顾低空经济发展需要”，从法律层面为空域资源分配提供了制度保障。2025 年 12 月第十四届全国人民代表大会常务委员会审议通过《中华人民共和国民用航空法》（于 2026 年 7 月 1 日起施行），明确鼓励发展低空经济和通用航空，优化低空空域资源配置，从法律层面为空域资源分配提供了制度保障，也为产业确立了发展框架与监管依据。

低空经济具有强监管属性，为了更好地统筹低空经济长期健康发展，国家发展改革委还于 2024 年 12 月专门成立了低空经济专管司局——低空经济发展司，中国民航局于 2025 年 7 月成立了通用航空和低空经济工作领导小组，政策和管理体制几乎覆盖了低空经济发展的全链条。2025 年 12 月，国家发改委发布《低空经济及其核心产业统计分类（试行）》，首次对低空经济范畴进行官方界定，为产业统计和后续政策精准发力奠定基础。

表1：我国低空经济政策和法规梳理

时间	主管（政策出台）	政策	主要内容或意义
----	----------	----	---------

	部门		
国家战略			
2021. 02	中共中央、国务院	《国家综合立体交通网规划纲要》	明确提出发展低空经济，低空经济概念首次写入国家规划。
2023. 12	中央经济工作会议		打造生物制造、商业航天、低空经济等若干战略性新兴产业。
2024. 03	《2024 年政府工作报告》		积极打造生物制造、商业航天、低空经济等新增长引擎。
2024. 07	第二十届三中全会	《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》	深化综合交通运输体系改革，发展通用航空和低空经济。
2024. 07	中共中央政治局第十六次集体学习	会议主题：推进现代边海空防建设	要做好国家空中交通管理工作，促进低空经济健康发展。
2025. 03	《2025 年政府工作报告》		开展新技术新产品新场景大规模应用示范行动，推动商业航天、低空经济等新兴产业安全健康发展。
2025. 10	《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》		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。完善产业生态，实施新技术新产品新场景大规模应用示范行动，加快新兴产业规模化发展。

政策法规			
2023. 05	中央军委、国务院	《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》	我国首部无人驾驶航空器的专门行政法规
			根据重量、飞行速度等性能指标，将无人机分为微型、轻型、小型、中型、大型五个类别。
			除管制空域以外的真高 120 米以下空域划为“适飞空域”，开放给运行安全风险相对较小的微、轻、小型、农业无人机用户使用，降低合法飞行的门槛。
2023. 11	国家空管委	《国家空域基础分类方法（征求意见稿）》	按照【空域等级】方式将中国空域分为两级七类。管制空域（A、B、C、D、E 类）和非管制空域（G、W 类）。新增设的 G、W 类空域主要为无人驾驶航空器飞行提供法规上的支持，与将于 2024 年施行的《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》相辅相成。
2023. 12	交通运输部	《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》	对民用无人驾驶航空器的适航、操作员、运行等全链条进行管理。
2024. 01	深圳市人大	《深圳经济特区低空经济产业促进条例》	我国首部专项针对低空经济产业的地方性法规。
			与《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》及其配套规定相互衔接和协调，在低空飞行监管机制、飞行基础设施建设、飞行安全管理、低空经济产业应用和支持等方面进行了更为详细的规定。

资料来源:国务院, 中国民航网, 交通运输部, 深圳市政府, 国信证券经济研究所整理

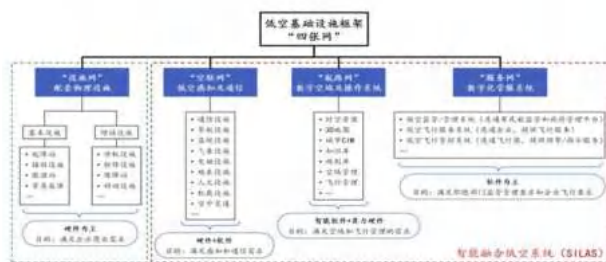
从基础设施建设、技术进步、产业落地等方面鼓励通航产业发展。产业政策鼓励eVTOL应用场景释放和技术发展，并依托城市场景为重点开展城市空中交通试点示范。

表4：我国通航产业政策梳理

时间	主管《政策出台》部门	政策	主要内容
2016	国务院	《关于促进通用航空发展的指导意见》	到2020年，建成500个以上通用机场，基本实现地级以上城市拥有通用机场或兼营通用航空服务的运输机场，通用航空业经济规模超过1万亿元。
2018	中国民航局	《低空飞行服务保障体系建设总体方案》	明确了飞行服务体系由全国低空飞行服务国家信息管理系统、区域低空飞行服务区域信息处理系统和飞行服务站三部分构成。
2021	中国民航局、国家发改委、交通运输部	《“十四五”民用航空发展规划》	构建运输航空和通用航空一体两翼、覆盖广泛、多元高效的航空服务体系。到“十四五”末，通航服务体系更加健全，货运网络更加完善，通用航空服务丰富多元，无人机业务创新发展。
2022	中国民航局	《“十四五”通用航空发展专项规划》	设定了安全、规模、服务三个方面的16个具体指标，如通用航空器期末在册数达到3500架，开展通用航空应急救援服务的省份不少于25个等。
2023	工信部等四部委	《绿色航空制造业发展纲要（2023-2035年）》	加快发展高能量密度、高放电效率、高安全性的航空动力电池技术；其中对航空锂电池产品参数提出目标要求：满足电动航空器使用需求和适航要求的400Wh/kg级航空锂电池产品投入量产，500Wh/kg级产品小规模验证。
2023	深圳市交通运输局、市工业和信息化局等7部门	《深圳市支持低空经济高质量发展的若干措施》	鼓励各区以补投结合为原则，推进低空基础设施建设。支持有条件的区建设通用航空运行保障基地，建设无人驾驶航空器公共测试场和eVTOL及大型无人驾驶航空器枢纽起降场。对社会投资的公共无人机测试场、起降场、通信、导航、监视等公共基础设施建成并实际运营的给予一次性资助。
2024	工信部等四部委	《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030年）》	到2027年，我国通用航空装备供给能力、产业创新能力显著提升，现代化通用航空基础支撑体系基本建立。推进电动垂直起降航空器（eVTOL）等一批新型消费通用航空装备适航取证，鼓励飞行汽车技术研发、产品验证及商业化应用场景探索。针对农林作业、工业生产等应用需求，不断提升产品竞争力和市场适应性。

资料来源：国务院，中国民航局，工信部，中国民航网，深圳市政府，国信证券经济研究所整理

图4：低空智能融合基础设施的“四张网”



资料来源：低空经济创新平台、中国航空运输协会通用航空分会，《低空经济发展白皮书（2.0）》，中译出版社，2024，1-71，IDEA研究院，国信证券经济研究所整理

图5：低空活动展示平台



中国民航局，深圳市政府，中国政府网，亿航智能，国信证券经济研究所整理

各地抢先布局，因地制宜打造样板。地方政府层面，各地加快布局、先行先试，对低空经济发展给予财政补助，因地制宜打造低空多场景应用示范体系。有了国家层面对低空经济的战略定位和目标规划，以及在看到低空经济巨大的发展潜力和产业带动效应后，各省市地方政府积极响应、抢先布局。

图6：全国各地争相发展低空经济，以及地方政府补助低空经济的主要方向和内容

全国民用无人驾驶航空试验基地(试验区)		低空经济写入2025年政府工作报告或发布低空经济行动方案的重点城市	补贴主要方向 牵头单位 具体内容		
目标定位	试验区/试验基地				
全国六大低空试点城市(开放600米以下空域授权)	深圳、杭州、成都、苏州、重庆、合肥	北京、上海、广州、深圳、珠海、成都、重庆、苏州、合肥、南京、武汉、郑州、济南、青岛、福州、沈阳、大连、呼和浩特、无锡等	支持低空经济企业落户	市交通运输局、工信局	对于新引进的上一年度营收规模达到5000万、1亿元、5亿元、10亿元以上的低空经济企业，分别给予200万元、300万元、1000万元、2000万元的一次性落户奖励
海岛场景	上海金山、青岛				
城市场景	深圳、杭州、安阳		支持低空基础设施建设	市交通运输局、财政局	投入使用一年后，按照项目实际新增固定资产投资额的50%给予一次性补助；每个小型起降点、智能起降柜不超过10万元；每个中型起降场、大型起降枢纽、eVTOL起降场、直升机起降平台不超过200万元；每家企业每年度该项补助金额最高不超过500万元
支线物流	自贡、榆林、吴忠				
综合应用拓展	深圳、南京、沈阳、太原、石家庄、赣州、东营、安庆、北京延庆、天津滨海新区、重庆两江新区、贺州		支持低空智慧物流	市交通运输局	新开设低空无人机货运航线并常态化运营的低空经济物流企业给予补助；首年，起飞重量不超过25kg的轻小型无人机按照30元/架次；起飞重量超过25kg的中大型无人机按照90元/架次给予补助
试飞验证	成都				
2025年，全国31个省级行政单位中，已有30个在其政府工作报告直接提及低空经济相关内容			支持低空载人飞行	市交通运输局、文旅局	分类别按空中观光游览类每位游客150元/架次；市内交通类每位乘客200元/架次；城际交通类每位乘客300元/架次；每家企业补助金额不超过上年度实际运营费用的50%，最高不超过1000万元

资料来源：各省市政府工作报告，招商银行研究院，国信证券经济研究所整理

各省市针对低空经济纷纷出台专项政策。据不完全统计，全国已有30个以上省（区、市）将低空经济有关内容写入政府工作报告，并在低空物流、低空交通、基础设施建设、低空企业引培、低空经济链企业引培、低空经济标准规范制定、低空经济交流推广活动、低空经济人才保障、低空技术创新、资质取证补贴等多个领域给予政府补贴。

图7：2024年国内重点城市低空经济行业相关政策

城市	发展目标	规划起降点数量	规划航线数量	运营补贴政策	生产奖补政策
广东广州	2027:产业规模1500亿元	>5个枢纽型垂直起降场; 100+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100亿元	/	载人无人驾驶应用场景航线, 单条航线年度最高补助100万元。	固定资产投资额5亿—100亿元的项目, 市财政按固定资产投资额的2%予以扶持
广东深圳	2025:产值规模1000亿元	1200+低空起降设施; 109个直升机场 eVTOL兼容改造; 新增131个直升机场 (部分兼容eVTOL)	1000+	宝安区/龙华区: eVTOL运营空中观光游览100元/架次/人, 市内交通200元/架次/人, 城际交通300元/架次/人 龙岗区: 低空载人航线补贴50%的飞行成本 南山区: 每条境内航线一次性奖励15万元, 每条深港跨境航线一次性奖励50万元	宝安区: 载人eVTOL制造项目投资金额达1亿元, 按项目投资金额的20%给予一次性质补贴
广东珠海	/	2个大型起降枢纽; 44个中型起降场站; 数百个小型起降点	/	eVTOL载人运营空中观光游览100元/架次, 市内交通200元/架次, 城际交通300元/架次	新引进的低空经济制造业优质项目: 给予不超过设备购置额20%的补助
安徽省	2027:产业规模800亿元	500个	/	合肥市: 载人eVTOL航线观光旅游航线100元/架次/人, 市内交通200元/架次/人	/
上海	/	/	400+	杨浦区: 新开设航线企业, 每条航线首年度完成5000架次飞行给予一次性补贴20万元, 每家企业补贴最高100万元/年	杨浦区: 对新引进的具有总部功能的低空经济企业或特别优质企业, 经认定给予最高1000万元重大功能性总部项目补贴
江苏无锡	2026:产业规模300亿元, 低空飞行规模30万架次/年	200	/	/	/
江苏南京	2026:产业规模500亿元	240+	120+	鼓励开通低空交通航线, 对符合新开航线和架次标准的运营企业予以奖励	/
江苏苏州	2026:产业规模600亿元	11个大型、150个中型、350+小型、若干微型起降场	100	中大型无人驾驶航空器常态化新开航线给予一次性奖励40万元	对重大项目落户及增资扩产, 最高给予3000万元奖励
浙江杭州	2027:低空飞行量180万架次/年; 产业规模600亿元	40个公共无人机起降点; 220+末端无人机起降点; 3+试飞测试场	500	/	/
湖北省	2027:产业规模1000亿元	600+起降场	/	武汉市: 大、中型无人驾驶航空器常态化运营航线, 每条新开航线给予一次性奖励40万元	eVTOL研发制造企业按实缴注册资本的5%给予不超过1000万元的落户奖励

资料来源: 各省、市政府官网, 国信证券经济研究所整理

政府订单持续落地。随着规划的成熟和场景的完善, 政府针对 eVTOL 和无人机的订单量持续增加, 目前最大型的政府采购计划为山东高速城乡发展集团发布的“低空天网”招标计划, 预计采购共约 22000 架 eVTOL, 按亿航智能披露的 EH216-S 国内指导价 239 万元来计算, 该项目采购额高达 525.8 亿元。除此之外, 温州、合肥、太原、杭州等市也纷纷进行整机采购, 并投放到交通、文旅、安全等领域。

图8: 政府就低空经济相关规划进行招标

项目名称	预算金额 (万元)	内容
苏州吴中太湖新城低空经济服务项目	1410	为全面贯彻落实中央、苏州市政府重要指示精神和区委、区政府“一号战略”精神, 着眼发展新质生产力, 抢抓低空经济产业密集创新和高速增长的战略机遇, 推动高质量发展、实现高效能治理, 打造太湖新城成为全国低空经济示范区。
山西省襄垣县发展改革和科学技术局低空经济项目	2200	本项目根据襄垣县“五好两宜”实施方案, 为针对农作物植保、防火治理、物流配送等领域, 以智能化、无人化为切入点, 依托先进低空管控和运营体系, 融合高效消防巡逻、快捷物流配送、智慧作物保护和水质污染监测等多元应用场景, 辅以专业化技能培训, 打造和美乡村低空经济融合示范工程, 实施襄垣县“五好两宜”和美乡村低空经济项目。
重庆市低空空域规划编制项目	650	研究形成重庆市低空空域规划方案, 实现“军地民”分高度层、分时段灵活使用空域资源, 推动军航、民航、通航对空域资源的共享共用, 空域资源最大化利用。
重庆市低空目视航图编制项目	350	本项目工作内容包括地形图编绘、专题要素编绘更新等, 开展高空障碍物等空域环境普查, 编制低空目视航图。低空目视航图包含山川河流、人工建筑物等地理信息要素和机场、低空空域、目视航线等飞行信息要素。
广东省低空经济和商业航天产业项目谋划招标公告	400	由广东省发改委发布招标
绍兴市低空经济相关规划编制服务项目	300	进行低空经济发展规划、低空航线规划等
深圳交通运输局城市低空航空器运行安全管理体系建设	298	编制安全管理体系
海南自由贸易港低空经济发展项目谋划	280	/
深圳市规划和自然资源局低空航空器起降设施布局规划	243	/
温州市低空基础设施布局 and 空域航路航线规划编制	230	温州市低空基础设施布局 and 空域航路航线规划编制
昆山高新区低空经济发展服务	200	通过开展低空经济发展规划及实施方案研究, 制定出一套科学、全面、具有前瞻性的低空经济发展总体规划, 明确低空经济发展规划建设的具体路径及实施措施, 推动昆山国家高新技术产业开发区在低空经济领域实现高质量发展。
中山市低空航线及起降点规划项目 (二次)	180	/
《广州市黄埔区、广州开发区低空经济产业发展规划》课题研究	150	/
台州市低空空域与航路航线专项规划编制项目	100	台州市低空空域与航路航线专项规划编制服务

资料来源: 中国政府采购网, 国信证券经济研究所整理

多条低空航线投入运营。目前, 各地低空飞行线路正逐渐启动。珠三角率先发力,

2024 年 2 月，全球首条 eVTOL 跨海跨城空中航线（深圳-珠海）完成首飞，深珠两地的出行时间由 2 个小时缩短为 20 多分钟。长三角地区，苏州也已经开通了吴江地区到上海虹桥的常态化低空接驳航线。除载人之外，零部件运输、血液运输、文旅资源运输等载物航线也已有落地成果。政府订单持续落地。随着规划的成熟和场景的完善，政府针对 eVTOL 和无人机的订单量持续增加，目前最大型的政府采购计划为山东高速城乡发展集团发布的“低空天网”招标计划，预计采购共约 22000 架 eVTOL，按亿航智能披露的 EH216-S 国内指导价 239 万元来计算，该项目采购额高达 525.8 亿元。除此之外，温州、合肥、太原、杭州等市也纷纷进行整机采购，并投放到交通、文旅、安全等领域。

图9：多条低空航线投入运营

地区	航线内容
深圳	2025年8月，中海油、中信海直及峰飞航空联合宣布，2吨级电动垂直起降航空器（eVTOL）——峰飞航空凯瑞鸥，成功实现全球首次海上石油平台物资运输飞行，装载新鲜水果和紧急药品等物资，从深圳陆地起降点起飞，经过58分钟的跨海域飞行，降落在距离深圳海岸线150公里的惠州19-3平台，成功完成了运输任务。这一突破不仅创新了远海物资补给模式，更标志着我国在海陆低空物流场景应用中迈出关键一步。 丰翼科技数据显示，2024年，其无人机共飞行23万架次，运输货物427万件，运输重量1401吨，飞行总里程132万公里，其中在深圳飞行21万多架次，开通了400多条航线。2025年6月，丰翼科技开通往返深圳市龙华区顺丰速运和记中转运站及东莞塘厦顺丰网点的跨城航线，两地地面距离有十多公里，传统运输模式需时3小时以上，通过无人机配送，单程需时仅14分钟，运输时间缩短逾90%。 截至2024年底，美国无人机累计开通53条航线，配送订单量超45万单；
珠海	2024年2月，全球首条eVTOL跨海跨城空中航线（深圳-珠海）完成首飞，深珠两地的出行时间由2个小时缩短为20多分钟。 2024年3月起，珠海九洲机场—东澳岛往返直升机航线宣布开展常态化运营，该直升机可载12人，单程仅需10分钟。 2024年7月，亿航 VT24L 无人驾驶物流航空器将邮政快递从唐家港送达桂山岛，37公里的路程仅用25分钟便完成了运输任务，标志着全国首条海岛公共物流无人机配送航线首飞成功。
广州	2024年10月，广州增城区低空血液运输项目开通运营，标志着广州市首个常态化运营的无人机血液制品配送项目正式启动，是广州市首次成功建立了“空地一体”的智慧供血服务模式。
苏州	2024年10月18日，苏州吴江到上海虹桥机场的直升机低空接驳航线正式开通，单程票价980元，标志着华东地区首条在繁忙机场控制区内常态化运行的航线的到来。与此同时，苏州工业园区往返上海浦东机场的低空航线也完成了首飞。
十堰	2024年10月，十堰市开通“低空+零部件”航线，起点位于十堰工业新区，终点位于东风商用车公司后市场部，整个航线长达15公里，航线可向东风商用车公司后市场部运输客户急需的“零库存”汽车零部件。 2024年10月，十堰市开通“低空+文旅”航线，起点位于西城经济开发区低空经济产业园，终点分别位于西沟乡绿野仙踪童话小镇、柏林镇和雨轩庄园，直线距离分别为8公里、2公里左右，主要服务于物流运输。

资料来源：中海油，中信海直，峰飞航空，丰翼科技，亿航智能，苏州市人民政府，十堰市人民政府，国信证券经济研究所整理

图10：政府整机订单采购情况

项目名称	预算金额（万元）	采购内容
山东高速城乡发展集团“低空天网”计划	5258000	在干线飞行器方面，以沿山东省内高速公路路网为干线，以高速公路管理处、收费站及服务区等既有设施为起降点、站和中转枢纽，联接省内各城际间的低空航线所需的续航时间较长、载重量较大的无人驾驶飞行器。机型为电动垂直起降飞行器（eVTOL）、多旋翼飞行器（混动或氢动），预估需求不低于 2000 架；在支线飞行器方面，为满足城区间、公共场所、社区间低空航线及其他作业所需的载重量较小的无人驾驶飞行器。机型为电动垂直起降飞行器、多旋翼飞行器（混动或氢动），预估需求不低于 20000 架。
温州市文成县与亿航智能的合作项目	71700	文成县交通发展集团有限公司已与亿航智能签署首批 30 架 EH216-S 的采购协议，并已支付总货款的50%作为预付款，剩余款项将在交付前支付；此外，计划 2026 年年底前额外采购 270 架 EH216-S。
合肥市政府与亿航智能的合作项目	70000	合肥市政府计划为亿航智能提供总价值为 1 亿美元的各项支持，包括协调或促进不少于 100 架 EH216 系列无人驾驶航空器的采购订单，以及资金支持。
太原西山文旅与亿航智能的合作项目	11300	订购了 50 架 EH216-S 无人驾驶电动垂直起降航空器。
杭州滨江低空经济安全保障服务项目	1479	主要服务内容：1）软件部分服务：无人机实战管控系统平台的本地化部署、警用无人机自动机场管理模块、提供滨江辖区奥体周边或其他指定区域内的 5 平方公里三维实景模型；2）硬件部分服务：提供各型号共 30 套警用无人机自动机场及飞行器。2、提供 7 辆 PTU 车载无人机。
岱山县海洋低空经济建设项目（一期）	680	提供覆盖全县主要范围的 8 套无人机巢服务与飞控平台，提供不少于 3 中无人机智能算法服务，并需配备相应的飞手服务、航拍建模服务、设备运维服务以及无人机应用平台。

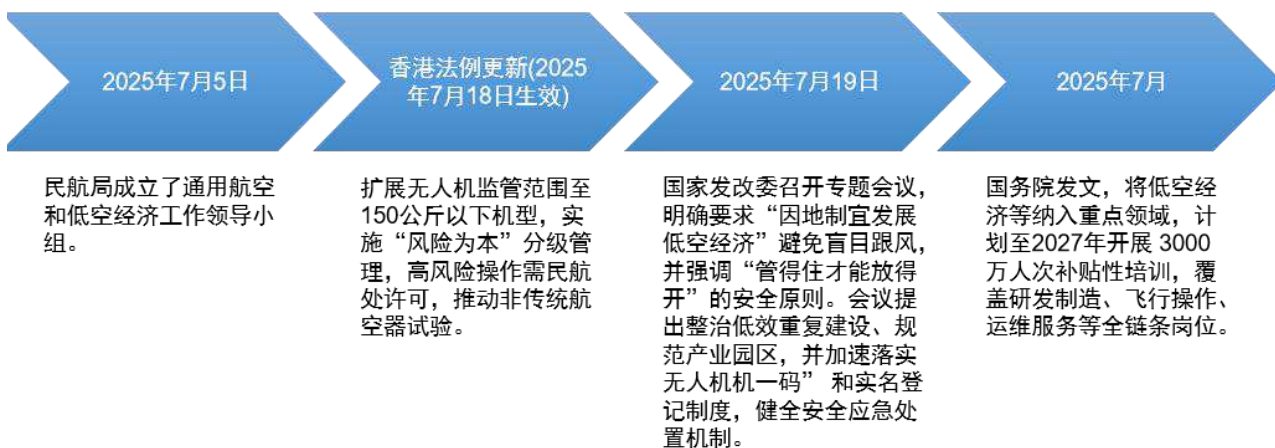
资料来源：财联社，亿航智能官网，中国政府采购网，国信证券经济研究所整理（注：部分预算金额为估算数据）

多部门以更大力度推进低空发展

- 在 11 月 18 日举行的大湾区科学论坛上，中国工程院院士、空中交通管理系统全国重点实验室主任陈志杰透露，国家发改委专门成立低空经济司，统筹

- 低空经济发展，中央层面将很快下发具体的低空经济发展指导意见。
- 同日，在 2024 国际电动航空（昆山）论坛上，中国航空运输协会无人机工作委员会主任孙卫国透露，中央空管委在深圳等六个城市开展 eVTOL 运营试点。
- 2025 年政府工作报告将低空经济定位为“新兴产业”，明确提出培育壮大新兴产业、未来产业。开展新技术新产品新场景大规模应用示范行动，推动商业航天、低空经济、深海科技等新兴产业安全健康发展。

图11：2025 低空经济最新政策



资料来源：中国民航总局，香港特区政府，国家发改委，国务院，国信证券经济研究所整理

2.2 我国空域管理制度逐步完善

低空空域是国家重要的战略资源，也是通用航空活动的主要区域，产业发展伴随着低空空域的逐步开放。深化低空空域管理改革，是在确保国家空防安全和飞行安全的前提下，探索和建立有利于促进通用航空发展的低空空域管理模式，盘活低空空域资源，促进低空经济发展。我国空域管理制度的演进呈现出从严格管控到分类开放、从局部试点到全域推进的清晰路径，其改革进程与低空经济的国家战略定位提升紧密关联。从 2003 年首次进行空域改革至今，共经历了 4 次改革。

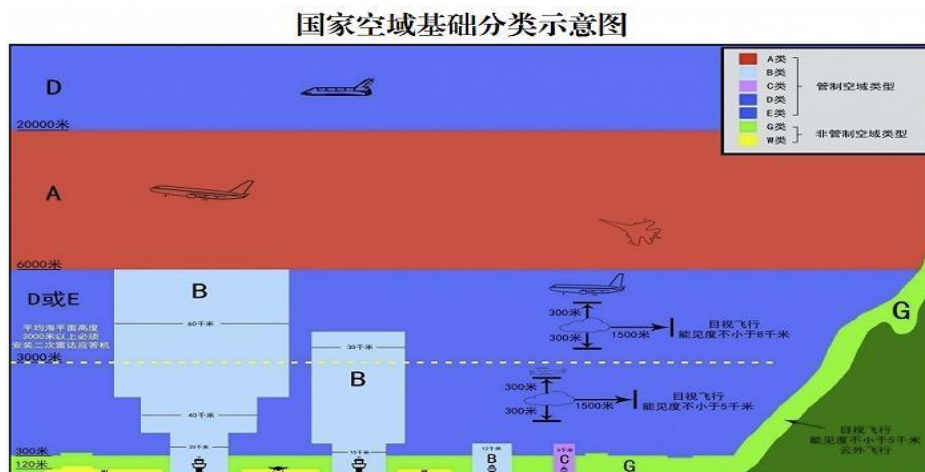
2003-2009 年的奠基阶段以国务院、中央军委颁发《通用航空飞行管制条例》为代表，对从事通用航空飞行活动的空域划设和使用做出明确规定。在 2007 年通过实施民航空管系统一体化改革，形成了垂直管理、一体运行、统一指挥的民航空管运行系统。

2010-2014 年的第二轮空域改革突出空域分类化管理。军航空管系统率先在试点地区将低空空域由原来的全部为管制空域，改为管制、监视、报告三类空域，按照审批和报备两种方式实行分类管理，以提高低空空域的使用效率。试点在全国 14 个省自治区直辖市相关地区同时进行，占全国空域的 33%，共划设管制、监视、报告 3 类空域 254 个、低空目视航线 12 条；在管制空域，通航飞行审批时间缩短为飞行前 4 小时，在监视空域和报告空域，飞行报备时间最短只需提前半小时，极大方便了通航飞行，改革试点成效明显。

2014-2020 年的第三轮空域改革在珠三角和海南地区展开空域精细化管理改革试点，重点是优化空域审批制度和建立低空空管服务保障，加强“低慢小”航空器安全管控等，着力解决空域管理粗放、使用效率不高的问题。2018 年国家空管委批准四川开展低空空域协同管理改革试点，在全国率先成立了由省政府牵头、军民航空管系统和地方公安部门共同参加的“四川省低空空域协同管理委员会”，成为全国首个省级低空管理专职机构。通过整合军、民、企资源，四川在全国首创“申报-审批-监管”全链条数字化平台，将飞行审批时间从 7 天压缩至 2 小时。在此期间，2016 年国务院印发《关于促进通用航空业发展的指导意见》将通用航空定位为“战略性新兴产业”。

2020 年至今的空域改革突出空域协同化管理。在四川的基础上，国家空管委办公室先后批准湖南、江西、安徽 3 省的低空空域协同管理改革试点拓展。试点中，将原低空空域由军民航分块管理转变为军地民三方协同管理，将低空飞行由管制指挥模式转变为目视自主飞行模式；由军地民三方共同组成的低空空域协同管理运行中心，将任务、空域、飞行计划 3 个申请环节简化为飞行计划报备 1 个环节。与此同时，国家战略层面不断强化低空经济地位：从 2021 年首次写入《国家综合立体交通网规划纲要》，到 2023 年底中央经济工作会议和 2024 年政府工作报告将其列为战略性新兴产业，至 2024 年 7 月中共中央政治局集体学习明确要求“促进低空经济健康发展”，显示出顶层设计的持续深化。政策法规体系也加速完善，2023 年出台《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》及《国家空域基础分类方法》，首次为无人机设立适飞空域和 G、W 类非管制空域，2024 年深圳更出台全国首部低空经济产业促进条例，为制度创新提供地方实践。尽管跨军区协同、基础设施覆盖与适航认证等瓶颈仍存，我国空域管理制度正朝着分类化、数字化、服务化方向系统演进，为低空经济的安全健康发展提供制度保障。

图12：国家空域基础分类示意图



资料来源：中国民航局，国信证券经济研究所整理

2025 年 12 月 27 日，十四届全国人大常委会第十九次会议表决通过新修订的《民用航空法》，自 2026 年 7 月 1 日起施行，在 2018 年修正民用航空法专门授权国务院、中央军委对无人驾驶航空器的管理作出规定的基础上，本次修改通过确立统筹兼顾的空域划分原则，为低空经济发展预留了制度空间。针对低空飞行空域少审批难的问题，新法明确空域划分应统筹兼顾民航发展、国防安全、低空经济需求与公共利益，强调空域资源的合理、安全、充分、有效利用，意味着低空空域管理将更加科学化、弹性化。

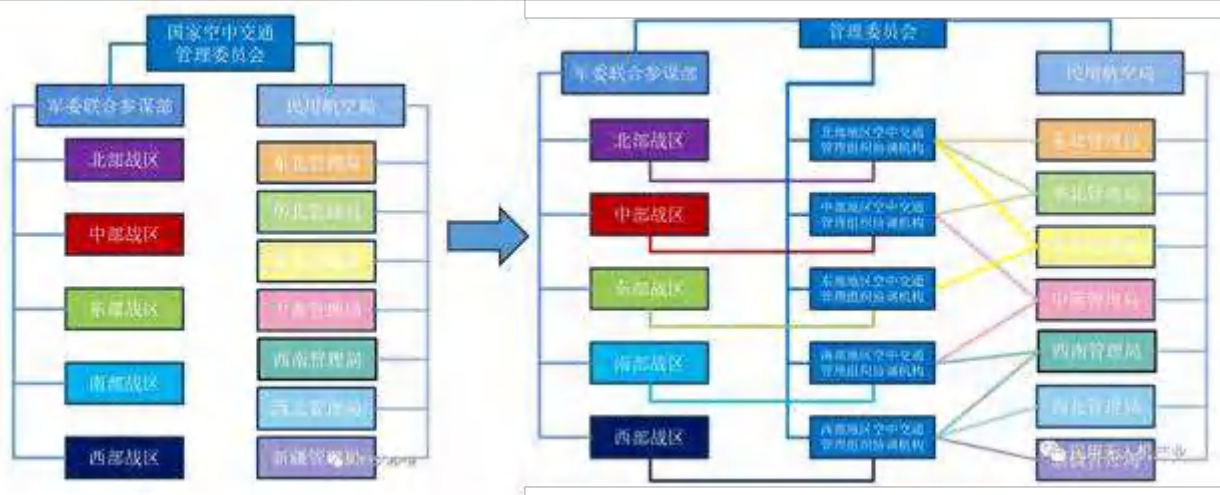
同时，针对机场周边等敏感区域，新民航法要求划设无人机管制空域，并配置相应的探测和反制系统。这将构建更完善的机场空防体系，减少无人机干扰航班起降的风险，提升民航运行安全。新法提出，要推动建设覆盖低空飞行应用的监管服务平台，健全与低空经济相适应的飞行管理制度和标准体系。这意味着未来低空经济的飞行计划报备、空中动态监测、违规行为预警等都有望一屏统管、一网办理，不仅有助于打破多头管理、数据割裂等问题，也将显著提升审批效率和动态监管能力，推动监管模式向智能化方向转型，对相关企业简化流程也是利好。

表2: 我国空域管理改革进程

	核心政策	具体内容	关键突破	存在的瓶颈	产业特征
奠基阶段 (2003-2010)	2003年《通用航空飞行管制条例》 2009年空管委改革研讨会	1. 首次定义通用航空范围。 2. 规范空域申请流程: 临时空域需提前7天申请, 使用期小于等于12个月。	1. 奠定法律基础: 确立空域使用审批权限, 军用民航分级管理。 2. 顶层设计启动: 首次设定低空开放时间表。	1. 空域完全审批制: 所有飞行需逐案审批, 流程复杂。 2. 基础设施缺失: 全国通航机场小时仅13万(美国同场不足100个, 无分类空域22万架)。	2009年通航飞机<1000架, 年飞行小时仅13万。
	2010年《关于深化低空空域改革的意见》 2010年《通用航空机场收费标准》	1. 划分管制/监视/报告三类空域, 真高1000米以下试点开放。 2. 简化非审批范围: 除9类特殊任务外免审批。 3. 规范机场收费, 明确政府与市场职责。	1. 空域分类破冰: 试点区的监视/报告空域实现“报备即飞”。 2. 经济机制建立: 明确机场收费体系, 吸引社会资本。	1. 试点范围小, 仅长春/广州等7个分区, 报告空域覆盖率<5%。 2. 低空目视航图未发布, 飞行缺乏导航依据。	资本开始涌入: 2010年首家民营机场管理公司成立, 中航工业启动通航飞机研发。
启动阶段 (2010-2014)	2016年《促进通用航空业发展指导意见》	1. 试点扩至全国10区域, 真高1000米以下全域试行。 2. 目标量化: 2020年建成500个通用机场, 经济规模超1万亿。 3. 审批时效压缩: 区内飞行计划4小时申报, 2小时批复。	1. 全域试点推进: 海南实现省内低空“互联互通”, 跨区协同突破。 2. 基建目标明确: “县县通航”纳入规划, 拉动地方投资。	1. 空域划设滞后, 2016年仅20%空域开放, 军方产业链分化: 上游制造受益, 下游运营因空域管控仍占80%。 2. 审批链条长: 机场建设性不足增长缓慢(2019年飞行小时仅15.7万)。	
	2020年《湖南省全域低空试点方案》、 2026年《民用航空法》	1. 构建“天地人和”模式: 天网: 北斗+ADS-B+5G1. 首创省级全域开放: 实现“默认开放、通告关闭”动态管理。 地网: 建设“1+13+N”通用机场网。 人网: 一站式飞行服务站。 2. 推行“当天申报当天起飞”制度。	1. 极简审批: 手机端一窗受理, 计划申报缩短至1小时内。	1. 跨军区协同困难。 2. 监视网络覆盖不全, 基础设施投资回报周期长。	新兴业态爆发: eVTOL、低空物流获政策支持, 但适航认证滞后于技术发

资料来源: 国务院, 中国民航局, 工信部, 中国民航网, 湖南省政府, 交通运输部, 深圳市政府, 国信证券经济研究所整理

图13: 我国空域管理机构组织架构



资料来源：中国民航局，民用无人机产业网，国信证券经济研究所整理

2.3 基础设施建设和运营生态布局加速

针对我国通用航空和低空基础设施薄弱、行业标准缺失以及商业闭环尚未形成的问题，政府陆续出台针对性更强、落地能力更佳的政策，加快补齐产业短板构建产业生态。基础设施建设层面，2024 年四部门联合发布《通用航空装备创新应用实施方案（2024—2030 年）》，首次提出“鼓励地方政府将通用机场、垂直起降点、eVTOL 起降平台纳入城市建设规划，并给予专项债、财政补贴等支持”；民航局同步简化通用机场审批流程，建立“国家—区域—飞行服务站”三级低空飞行服务保障体系，实现通航飞行计划“一站式”审批。2024 年底，国务院办公厅发布《关于优化完善地方政府专项债券管理机制的意见》，将低空经济列入专项债支持领域，明确各省份专项债用作项目资本金的比例上限由 25%提升至 30%。各地专项债和超长期国债纷纷投向低空基础设施、应用场景和技术平台建设。

低空监管信息化建设层面，2025 年 11 月，中央空管办制定出台《国家级和省、市级低空飞行综合监管服务平台功能要求（1.0 版）》和《国家级和省、市级低空飞行综合监管服务平台信息交互规范（1.0 版）》，按照“国家—地区（省）—市”三级设计全国统一的低空信息化一体化平台架构。未来，低空所有飞行申报、服务、活动将被纳入统一监管。

地方实践层面，全国 31 个省份已将低空经济写入 2025 年政府工作报告，北京、上海、广州等超过 20 个城市已将低空经济明确列入 2025 年政府工作报告或专项行动计划，并在低空运营、基础设施建设、低空企业引培等多个领域提供补贴。同时，各地因地制宜探索制度性试点取得了一定成果。湖南省作为全国首个全域低空开放试点省份，已分类划设 179 个空域和 97 条常态化低空目视航线，3000 米以下空域监视覆盖率达 95%。广东省创新建立起“一专班、一公司（省低空经济产业发展公司）、一中心（省低空综合服务中心）”的工作体系，筑牢产业发展四梁八柱。2024 年，中央空管委授权合肥、杭州、深圳、苏州、成都、重庆为首批全国 eVTOL 试点城市，希望为全国低空发展创造样板提供经验。深圳通过首部

地方立法《深圳经济特区低空经济产业促进条例》，在空域管理试点和跨境物流应用上先行先试；合肥建成全国首个城市空中交通枢纽港，运营首个城市级低空联合飞行服务中心，编制了《全国首部城市级低空基础设施建设导则》。海南提出 2026 年前建成 9 个通用机场、500 个以上起降场，形成岛域 20 分钟航空应急救援圈；浙江构建“市市通”通用机场网络，2024 年建成 12 个 A 类机场和 340 个直升机起降点；四川依托 19 个通用机场打造西南低空枢纽，衔接成渝双城经济圈物流通道；西藏拉萨贡嘎直升机场的建成更填补了高原地区通用机场空白。

图14: 基础设施建设部分政策与发展方向

关键平台/系统	主要政策要点	2024-2026发展方向与实施路径
低空空域管理平台	《国家空域基础分类方法》新增300m以下G类、120m以下W类空域，授权地方管理600m以下空域	省级-市级平台年内全部上线，实现空域数字化、网格化、一张图管理
低空飞行服务平台(FSS)	《通用航空装备创新应用实施方案(2024-2030)》要求构建分级分类的非管制空域服务模式；南京、南昌、安徽等出台三年行动计划或建设指引	2024-2025：市级FSS全覆盖，具备飞行计划、情报、气象、告警、救援“五统一”功能
通信(空联网)	四部委方案明确“5G+卫星互联网”融合，打造低空智联网；地方专项债/产业基金支持通信基站、专用网络建设	2024年完成重点城市5G-A通感一体网络示范，2025年商用频段(3.5GHz+毫米波)规模部署
导航	《民用无人驾驶航空发展路线图V1.0》要求2025年达到厘米级北斗定位；四部委强制通用航空器北斗标配	2024-2025：高密度布设北斗地基/星基增强站，导航精度由1m提升至5cm
监视	《低空飞行服务保障体系建设三年行动计划》提出全域监视覆盖，非法飞行器识别与处置；多地规划低空监视雷达、ADS-B、光电复合网络	2024年重点城市完成60%空域监视补盲，2025年全面实现120m以下主航路监视无盲区
气象	《广东省低空经济行动方案》将气象站纳入地面保障设施清单；南昌、南京行动计划同步提出高密度微型气象观测网	2024-2025：起降点每3km设置微型气象站，实时回传风切变、低能见度数据
地图(空图/数字孪生)	福建、深圳、苏州等地统一绘制低空空域图、3D航路网图；国家自然科学基金、产业基金支持高精度三维地信平台建设	2024年完成主要城市1:500高精度三维地图，2025年更新周期缩短至3个月

资料来源：中航通信息研究所，赛迪顾问智能装备产业研究中心，《中国低空经济城市发展指数》，赛迪顾问官网，2024：1-52，国信证券经济研究所整理

政策激励下，我国通航实现跨越式发展，干-支-末网络雏形出具。截至 2024 年底，全国通用机场达 475 个，较 2021 年增长 28%，A 类机场占比超 40%，形成“东部密集、中西部加速”的布局特征。运营领域呈现多点突破：短途运输年旅客量从 2018 年的 2.59 万人次增至 2023 年的 5.3 万人次，商用无人机飞行时长突破 4100 万小时，航空应急救援实现“2 小时航空救援圈”覆盖。但当前仍处于“基建先行、运营跟进”阶段，通用机场平均利用率不足 30%，运营成本高企制约商业化进程，运营效率和盈利能力待提升，空域开放程度与欧美相比仍有差距，尚待释放更大市场潜力。

2.4 全球竞合下欧美低空经济政策路径

从全球视野看，各国不同的制度环境、产业基础和市场特点使得低空经济发展呈现出多元化路径竞争的格局。美国依托市场竞争与科技创新的“双轮驱动”，欧洲强调一体化协同与标准引领。未来，科技革命与大国博弈相互交织，全球低空经济将呈现竞争与融合并存的态势，各国在争夺技术标准话语权的同时，也将在空域管理规则、适航认证标准等方面加强协调，促进低空飞行器的跨国流通与应用。

美欧在低空经济政策框架和战略定位上偏向市场和技术驱动。美国于 2025 年 12 月发布首份国家层面的《先进空中交通国家战略 2026-2036》，聚焦制度协同与市场引导，强调技术领导权与标准制定，并以现有航空业 1.8 万亿美元经济活动为参照，提出客运通勤、应急救援等应用方向，以及 6 大支柱 40 余项建议。这一框架性设计更多依赖市场自主发展，政府角色侧重于协调跨部门监管和政策制定，避免行政干预束缚技术创新，但缺乏关键节点的量化市场目标，导致战略落地缺乏刚性约束。欧洲战略以空域整合与碳中和为核心目标，欧盟委员会于 2022 年发布《欧洲无人机战略 2.0》，列出 19 项旗舰行动，包括采用通用适航规则、无人机军民融合发展、制定无人机技术路线图等，但也缺乏整体市场规模的量化指标。

基础设施建设方面，美国联邦政府不直接资助 eVTOL 垂直起降场建设，而是依托现有通用航空基础设施，通过公私合作和市场化运营模式逐步完善 eVTOL 垂直起降场等基础设施。欧洲基础设施建设也采用公私合作模式，政府资金占 SESAR（欧洲单一天空空中交通管理研究计划）计划预算的 1/3，剩余依赖企业自筹，整体建设进度较慢，依赖多国协调。

2025 年 6 月，美国总统特朗普先后发布了《释放美国无人机支配地位》（Unleashing American Drone Dominance, UADD）和《恢复美国空域主权》（Restoring American Airspace Sovereignty, RAAS）两项行政命令，彰显现任美国政府在低空经济领域既要加快产业发展、扩大国际竞争力，又要强化国家安全与空域管控的目标。UADD 允许出于商业和公共安全目的的无人机系统进行常规超视距（Beyond Visual Line of Sight, BVLOS）运营，允许无人机飞行时超越遥控飞行员的视线范围，而无需逐个对超视距飞行申请豁免，从而使得无人机的运营范围大大扩展，有利于无人机配送、通信等商业活动的落地。UADD 还要求设立 eVTOL 融合试点项目（eVTOL Integration Pilot Program），公开遴选 eVTOL 项目进行持续三年的运营扶持计划。UADD 规定美国各联邦机构在法定范围内最大程度优先采购美国制造的无人机，并要求联邦采购安全委员会在 30 天内公布“受规制外资实体清单”（Covered Foreign Entity List），识别潜在供应链风险企业。美国最新的政策强调无人机和低空领域的“美国优先”战略，体现出低空经济成为全球科技创新和未来战略竞争的主要领域。

3. 适航认证体系

3.1 低空航空器适航认证程序

适航认证是对航空器进行的系统性安全审查和官方批准程序，核心目的是确保航空器从设计、制造到交付的全生命周期符合国家规定的安全标准。作为民用航空

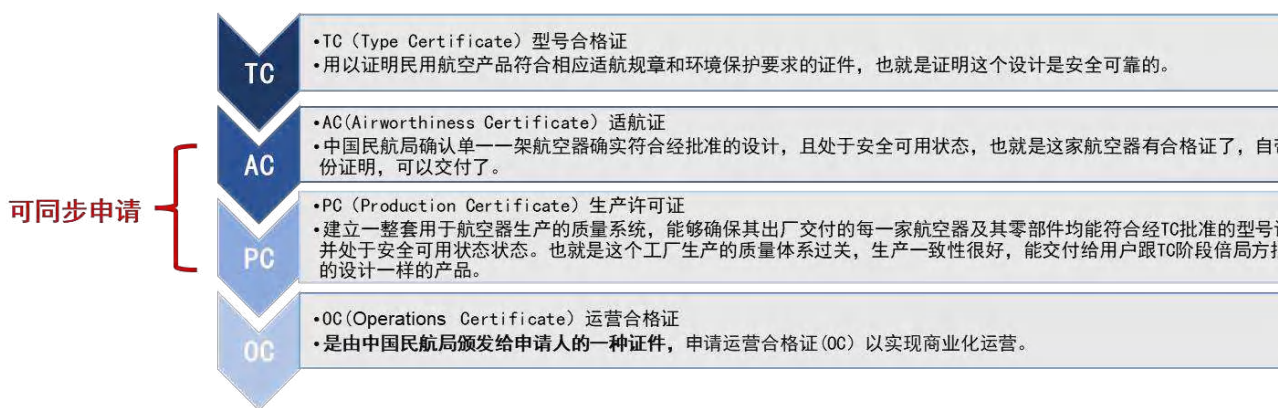
器，任何一架 eVTOL 从设计到商业落地需申请并获得型号合格证（TC）、单机适航证（AC）、生产许可证（PC）以及运营合格证（OC）以实现商业化运营。

1) 型号合格证（TC），是中国民航局根据《民用航空产品和零部件合格审定规定》（CCAR-21）颁发的、用以证明民用航空产品符合相应适航规章和环境保护要求的证件。由中国民航局颁发给申请人（通常是飞机制造商）的一种证件。

2) 适航证（AC），是中国民航局颁发的一种证件，这个证件用于表明：中国民航局认为这架飞机（只是指这一架）符合经批准的设计，且处于安全可用状态。适航证类似于每一架飞机的出厂合格证。

3) 生产许可证（PC），是由中国民航局颁发给申请人的一种证件，用于表明：中国民航局认为申请人（OEM 主机厂或者被委托方）已建立了一整套的用于航空器生产的质量系统，能够确保其生产的每一架航空器及其零部件均能符合经批准的设计，并处于安全可用状态。

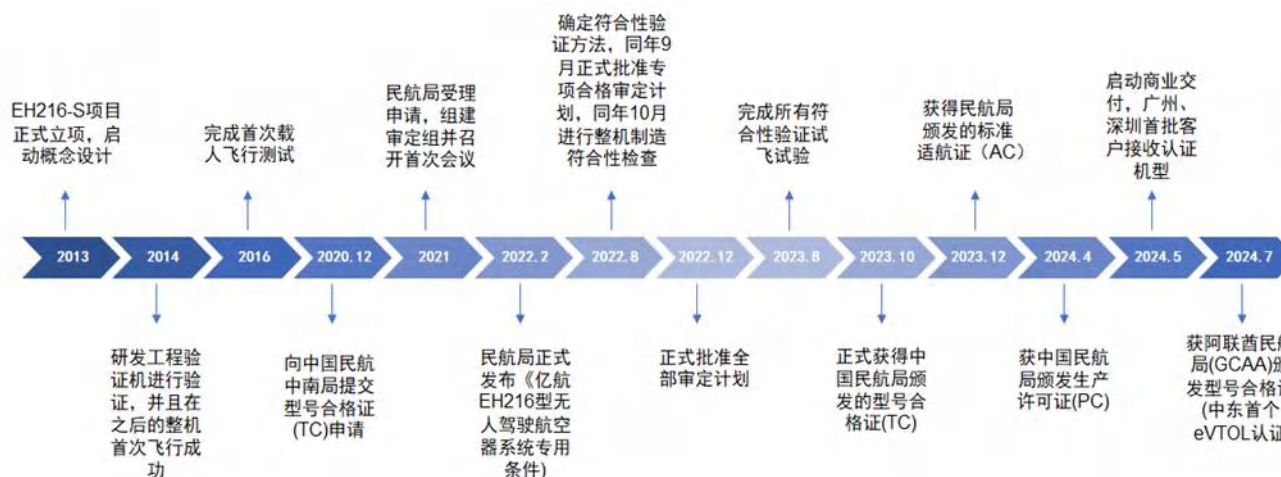
图15：一架 eVTOL 从设计到商业落地需经历的审核过程



资料来源：中国民航局，国信证券经济研究所整理

型号合格证（TC）是耗时最长、投入最大的适航程序，是当局对飞机设计符合性的批准。它是适航审定的第一步，也是后续生产和运营的基础。型号许可证的取得具有先决性和基础性地位，其审查环节复杂，涉及各类测试和考核，取证周期可达 3-5 年。2023 年 10 月，EH216-S 正式获得中国民航局颁发的型号合格证。不包括前期设计、准备时间，自 2020 年 12 月提交 TC 申请至取证共耗时 34 个月。

图16：EH216-S 型号合格证申请流程



资料来源：亿航智能，中国民航总局，国信证券经济研究所整理

表3：国内航空器适航审定最新相关政策

发布时间	政策文件	相关部门	相关内容
2025年12月13日	《动力提升航空器适航标准（征求意见稿）》	中国民航局	根据征求意见稿，《动力提升航空器适航标准》拟适用于以下动力提升航空器型号设计特征：（a）最大起飞重量不超过 5700 公斤；（b）分布式电推进系统，可垂直起飞和降落，固定翼巡航飞行；（c）有人驾驶；（d）乘客最大座位数为 9 座及以下；（e）非增压座舱；（f）VNO≤250 节校准空速（KCAS）（463 公里/小时）的航空器。其中：VNO 为 最大结构巡航速度。征求意见稿指出，申请人可以使用此适航标准作为满足适用性的动力提升航空器的合格审定基础。对于仅使用本适航标准作为合格审定基础而没有添加或变更的设计，局方在型号合格审定时不要求申请人再单独制定专用条件，并获得批准。如果申请人采用了新颖独特设计，本适航标准不能完全覆盖或不适用于其研制的动力提升航空器，局方将根据《颁发专用条件、批准豁免和做出等效安全水平结论的程序》（AP-21-AA-2023-17）制定相应的专用条件。对于适用于此标准的动力提升航空器所安装的电动发动机和螺旋桨，可作为电动航空器的一部分按照 H 章和 I 章要求，随着动力提升航空器型号合格证获得批准；也可按局方可接受的适航标准单独进行型号合格审定。
	《限用类无人驾驶航空器系统适航标准（征求意见稿）》	中国民航局	《限用类无人驾驶航空器系统适航标准》征求意见稿适用于满足以下条件的限用类民用无人驾驶航空器系统型号设计及其更改：（1）《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》规定的中型无人驾驶航空器系统；（2）《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》规定的大型无人驾驶航空器系统中（i）最大起飞重量小于 5700 千克的固定翼，以及复合翼、倾转翼等复合 构型；（ii）最大起飞重量小于 3180 千克的旋翼类（包括多旋翼构型）。该标准颁布后，此前颁布的《中型民用无人驾驶航空器系统适航标准 及符合性指导材料（试行）》（AC-92-AA-2024-02）将废止。
2025年12月15日	《正常类旋翼航空器适航规定》	交通运输部	明确了型号合格审定中的飞行特性及构造要求，完善了对正常类旋翼航空器的设备要求、规范了对正常类旋翼航空器的使用限制要求。该规定明确了颁发和更改最大重量等于或者小于 3,180 公斤（7,000 磅）且其乘客座位数不大于 9 座的正常类旋翼航空器型号合格证的适航要求。
	《运输类旋翼航空器适航规定》	交通运输部	明确了型号合格审定中的飞行特性及构造要求，完善了对运输类旋翼航空器的设备要求、规范了对运输类旋翼航空器的使用限制要求。（a）该规定明确了颁发和更改运输类旋翼航空器型号合格证的适航要求。（b）运输类旋翼航空器必须按照本规定 A 类或者 B 类的要求进行合格审定。多发旋翼航空器可以同时按照 A 类和 B 类进行型号合格审定。但必须对每一类规定相应的和不同的使用限制。
	《螺旋桨适航规定》	交通运输部	完善螺旋桨适航审定的一般要求、完善对螺旋桨适航审定的设计和构造要求、完善对螺旋桨适航审定的试验和检查要求。
2025年12月27日	新修订《中华人民共和国民用航空法》	全国人民代表大会常委会	新民航法新增无人驾驶航空器适航管理条款：“第三十四条 从事民用无人驾驶航空器的设计、生产、进口、维修和飞行活动，应当按照国家有关规定向国务院民用航空主管部门申请取得适航许可，按照规定无需取得适航许可的除外。从事民用无人驾驶航空器生产的机构应当按照国家有关规定为其生产的无人驾驶航空器设置唯一产品识别码。”明确了关于民用无人驾驶航空器适航管理原则及唯一产品识别码的规定。确立“基于风险的分类分级管理”原则（第二百二十一条），这是本次修法在行政管理理念上的重大突破，法律明确要求“建立健全基于风险的分类分级适航管理方式”。

资料来源：各政府官网，通航圈，国信证券经济研究所整理

3.2 低空航空器适航审定和商业化进展

我国 eVTOL 商业化进展处于全球前列，载人 eVTOL 已完成适航三证、运营合格证

和试点飞行等关键节点，预计旅游观光等低风险场景将率先推进商业化。

图17: 国内外 eVTOL 产品适航认证情况统计



资料来源：中国民航局，欧洲航空安全局，美国联邦航空局，国信证券经济研究所整理

除载人 eVTOL 外，货运 eVTOL 商业化持续推进。2025 年 7 月 22 日，峰飞航空科技向合利创兴智能交付全球首架获颁适航“三证”（TC、PC 和 AC）的吨级以上 eVTOL（电动垂直起降）航空器——V2000CG 凯瑞鸥，标志着吨级以上 eVTOL 在技术与适航认证上实现全球突破，大型 eVTOL 向低空运营商业化闭环迈出坚实的一步，助推低空经济应用加速落地。货运航空器凯瑞鸥成功完成适航认证，不仅完善了峰飞航空的团队和体系建设，同时，也为 eVTOL 这一创新产业加速落地应用，在实践中为低空基础设施建设、监管措施健全、上下游产业链协同发展提供了助力。

图18: 凯瑞鸥获航空器适航认证的“三证” TC、PC 和 AC



资料来源：峰飞航空官微，国信证券经济研究所整理

图19: 峰飞航空 V2000CG 凯瑞鸥



资料来源：峰飞航空官微，国信证券经济研究所整理

4. 低空经济产业链全景

请务必阅读正文之后的免责声明及其项下所有内容

22

低空经济产业链条长、辐射面广、成长性高、带动力强，主要包括上游的原材料与核心零部件领域，中游的低空制造、低空飞行、低空保障与综合服务，以及下游的各种应用场景。

- 上游：包括各种工业软件、飞行系统等研发，以及钢材、铝合金、高分子材料等原材料，芯片、电池、电机等零部件。特别是非晶电机、碳纤维结构件、固态电池等核心材料及零部件的价值占比高。
- 中游：涵盖低空制造、低空飞行、低空保障与综合服务。低空制造主要是提供低空飞行载体相关的产业与服务，包含了芯片、复合材料、传感器等核心零部件及相关原材料及电动垂直起降飞行器（eVTOL）和无人机的整体研制；低空飞行是核心产业，主要拉动对电池、芯片、电控及操作系统等新需求，释放低空经济消费潜力；低空保障包含了低空空域管控系统及通用机场、直升机起降点等基础设施建设和运营；综合服务则是航天器与金融、租赁、教育培训、文化传媒等相关业态的有机结合。
- 下游：包括飞行审批、空域备案等，涉及与物流、农业、旅游、消防、应急等多个业态的融合。

图20：低空经济产业链概览



资料来源：国家低空经济融合创新研究中心，前瞻产业研究院，国信证券经济研究所整理

低空经济的核心产业链环节是 eVTOL（电动垂直起降飞行器），采用电池作为动力来源，通过电机驱动螺旋桨或推进系统实现飞行。相比于无人机、直升机等，eVTOL 的核心优势在于其环保性、高效性、安全性、低噪音、低成本、智能化和灵活性。这些优势使得 eVTOL 成为未来城市空中交通、物流配送、应急救援等领域的重要工具，具有广阔的应用前景和市场潜力。随着技术的不断进步和政策的支持，eVTOL 的商业化进程正在加速，未来将在低空经济中发挥重要作用。

二、低空经济的必要性与制约

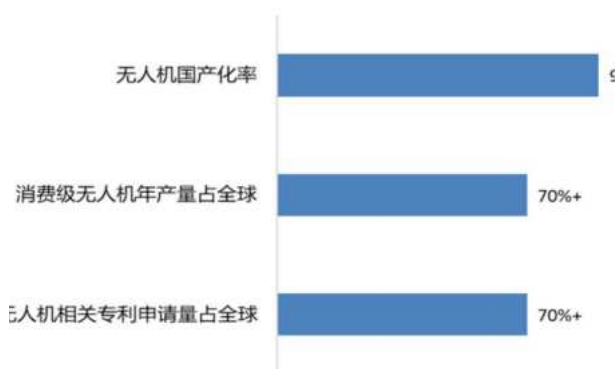
1. 行业发展的必要性：现有优势+应用场景和市场空间

1.1 我国具备低空经济发展的坚实基础

无人机产业链全球领先

- 无人机根据用途可划分为军用和民用无人机。民用无人机已经成为中国低空经济发展的主力机型，2023 年产业规模达到 1,174.3 亿元，同比增长 32%。我国消费级无人机行业企业已在全球市场占据领先地位，龙头企业竞争优势日益凸显，大疆常年占据全球消费级无人机市场份额的 7 到 8 成。
- 根据中国民用航空局数据，2024 年全国全行业注册无人机数量达到 215.8 万架，较上年增长 70.3%，新增注册无人机数量呈加速增长态势。
- 我国建立起完整的无人机产业链，整机国产化率可以做到 90%以上，从研发、生产（整机、动力系统、载荷设备、材料与通信导航等）到终端应用领先全球，在无人机领域相关专利申请量约占全球 70%，是世界第一大民用无人机出口国。

图21：我国无人机产业链竞争力在全球领先



资料来源：中国民用航空局，中国民航出版社，招商银行研究院，国信证券经济研究所整理

图22：我国注册无人机数量呈加速增长态势



资料来源：中国民航局，SIPRI，招商银行研究院，国信证券经济研究所整理

工业无人机降本增效优势显著

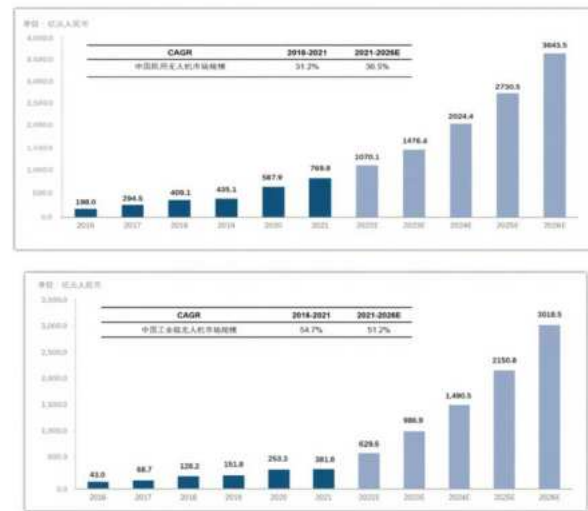
- 截至 2023 年底，中国民用无人机研制企业超 2300 家，量产产品超 1000 款。
- 工业级无人机在民用无人机中占比接近 70%。无人机在工业领域应用降本增效表现突出，年均增长率超 50%。
- 根据 2023 年国务院、中央军委发布的《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》，无人机按照空机重量、起飞重量、飞行速度等性能指标梯度划分为：微型、轻型、小型、中型和大型。

图23: 无人机按照空机重量、起飞重量、飞行速度等性能指标梯度划分

	微型	轻型	小型	中型	大型
应用场景	消费级无人机	工业级、专业级无人机			
		短途物流、巡检、测绘、勘查	中长途物流、农业、应急救援、军事等		
标准	- 空机重量小于0.2kg - 真实飞行高度50m左右 - 最大飞速不超过40km/h	- 空机重量不超过4kg - 且最大起飞重量不超过7kg - 最大飞速不超过100km/h	- 空机重量不超过5kg - 或最大起飞重量不超过25kg	最大起飞重量不超过150kg	最大起飞重量超过150kg
管理要求	- 无需实名登记 - 无需驾驶员执照 - 无需申请飞行空域	- 需实名登记 - 驾驶员需掌握相关知识 - 无需申请飞行空域(视距内运行)	- 需实名登记 - 驾驶员需取得相应执照 - 需申请飞行空域 - 需进行运载审定	- 需实名登记 - 驾驶员需取得相应执照 - 需申请飞行空域 - 需取得型号合格证	
产品	大疆DJI Mini 4 Pro	大疆DJI Matrice 4系列	美国第四代无人机、丰翼方舟40	丰翼方舟E35/方舟150	壹通TP500、白鲸航线W5000
飞行半径	<1km	<5km	5-10km	20-200km	>200km
售价	0.4万-1万	1万-6万	约10-30万	30万-百万级	数千万元不等

资料来源: 中国民航总局, 国信证券经济研究所整理

图24: 中国民用、工业无人机行业市场规模, 2016-2026 预测



资料来源: 沙利文, 国信证券经济研究所整理

eVTOL 发展迅猛

eVTOL 是指以电力作为飞行动力来源且具备垂直起降功能的飞行器, 具有垂直起降、智能操作、快捷机动、低成本、低噪音、零排放、易维护、高安全等特点, 顺应了电气化、绿色化、智能化的发展趋势, 是一种面向未来城市空中交通 (UAM) 场景、更符合未来城市综合立体交通系统的飞行器形态, 将对未来社会、经济、安全和环境等方面产生重大影响, 潜在价值空间较高。最早的 eVTOL 概念机型出现于 2010 年前后。

图25: 亿航智能 EH216-S 无人驾驶载人 eVTOL



资料来源: 亿航智能, 国信证券经济研究所整理

图26: 峰飞航空凯瑞鸥货运版 eVTOL



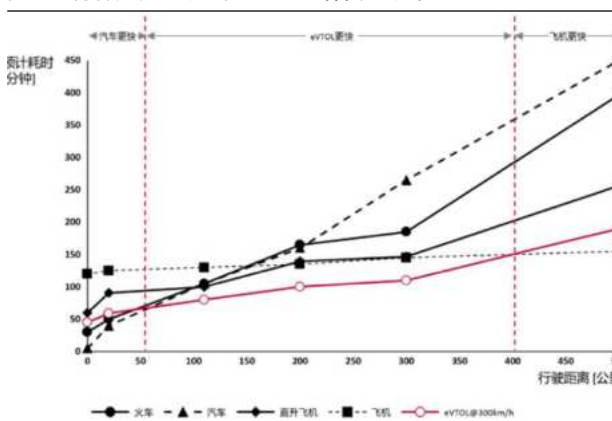
资料来源: 峰飞航空, 国信证券经济研究所整理

1.2 eVTOL 优势与商业化前景

eVTOL 载人端比较优势

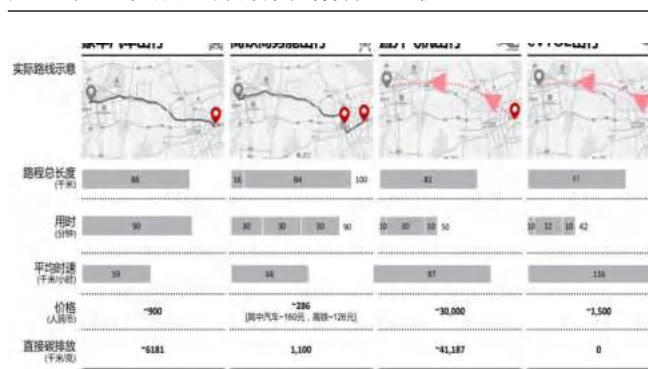
- 载人方面，eVTOL 的典型商业模式包括短途定期载客飞行、企业和私人包机、空中游览飞行、医疗转运等。
- 受益于更短用时以及高端的搭乘体验，eVTOL 将在 50-400 公里左右的中短途出行方式上对汽车、地铁等交通方式形成替代效应。
- 民航客机主要覆盖了 800 公里以上的长距离出行需求；高铁主要覆盖了 400-1000 公里左右的中长距离出行需求；汽车主要覆盖了 5-200 公里左右的短途出行需求；
- 50 公里内，汽车因不需要前置准备时间而最便捷。50-400 公里，民航飞机、火车等因较长前置时间，综合出行时间高于 eVTOL。400 公里以上，民航客机、火车具有长航程速度优势。

图27：现有交通工具与 eVTOL 出行耗时对比



资料来源：保时捷管理咨询分析，国信证券经济研究所整理

图28：以上海-苏州为例各类出行方式比较



资料来源：保时捷管理咨询分析，国信证券经济研究所整理

eVTOL 载物端比较优势

- 在载物方面，eVTOL 可以大大提高城市和城际间的低空物流运输效率，尤其是可以利用其“点对点”运输优势，搭建医疗等特殊用品的“空中绿色通道”，并缓解外卖、物流等城区内地面交通的拥堵。
- 城际：
- 2020年5月8月峰飞航空凯瑞鸥2吨级 eVTOL，成功实现全球首次海上石油平台物资运输飞行，从深圳陆地起降点起飞，经过 58 分钟的跨海域飞行，降落在距离深圳海岸线 150 公里的惠州 19-3 平台，成功完成了运输任务，是船运的十分之一时间。
- 2025 年 7 月物流无人机装载海鲜从广东珠海唐家港起飞，历时约 55 分钟跨越珠海、中山、广州三市 82.9 公里后，精准降落广州穗港码头。此次飞行是物流复合翼航空器在大湾区的首次长航程城际飞行，成功验证了城际长航程物流链路的真实运营可行性，标志着大湾区首条超长无人机物流航线开通，此次飞行的物流无人机巡航速度约 100 公里每小时，相比陆路运输效率提升 60%，节省 1 个小时。

图29: 峰飞航空凯瑞鸥海上石油平台飞行



资料来源: 峰飞航空, 中信海直, 国信证券经济研究所整理

图30: 美团无人机



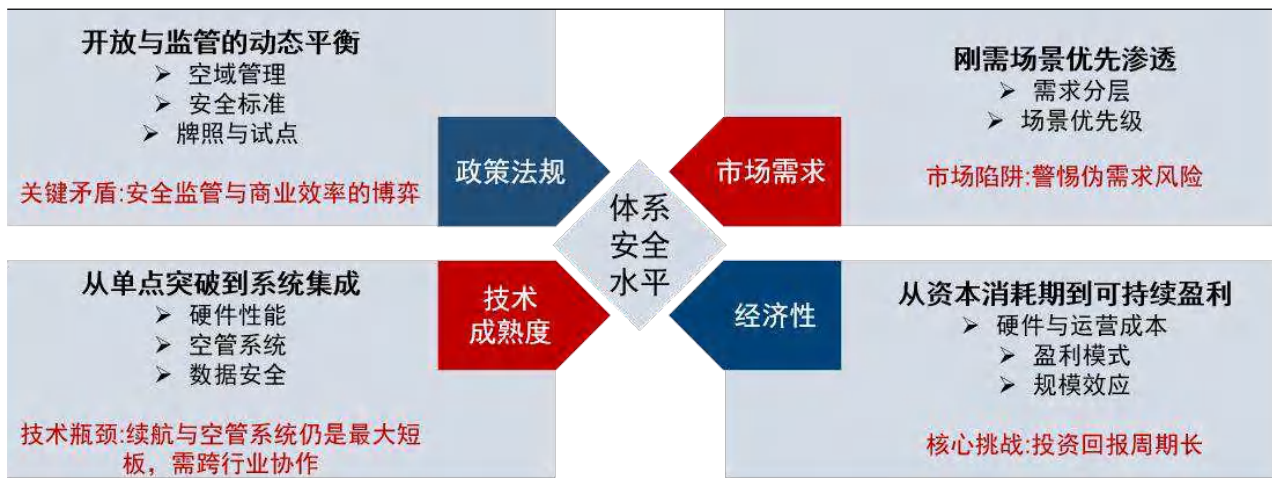
资料来源: 美团, 国信证券经济研究所整理

低空经济应用场景丰富, 商业化进展迅速。按用途可将低空经济应用场景分为生产作业、交通运输、文旅活动、安防安保等四大类。

1. 生产作业类: 以提升效率为核心, 减少人力成本, 用于复杂环境场景; 应用频次高, 需求明确, 已形成专业服务市场。
2. 交通运输类: 重构三维立体交通网络, 缓解城市交通拥堵问题。解决“最后一公里”和偏远地区配送问题。需配套新型基建。
3. 文旅活动类: 创造沉浸式消费新场景, 增强消费体验。用户付费意愿强, 商业模式灵活。高度依赖空域开放和安全保障能力。
4. 安防安保类: 重构对抗防御体系, 反应速度快, 成本效益比高, 最终实现无人化智能巡防。

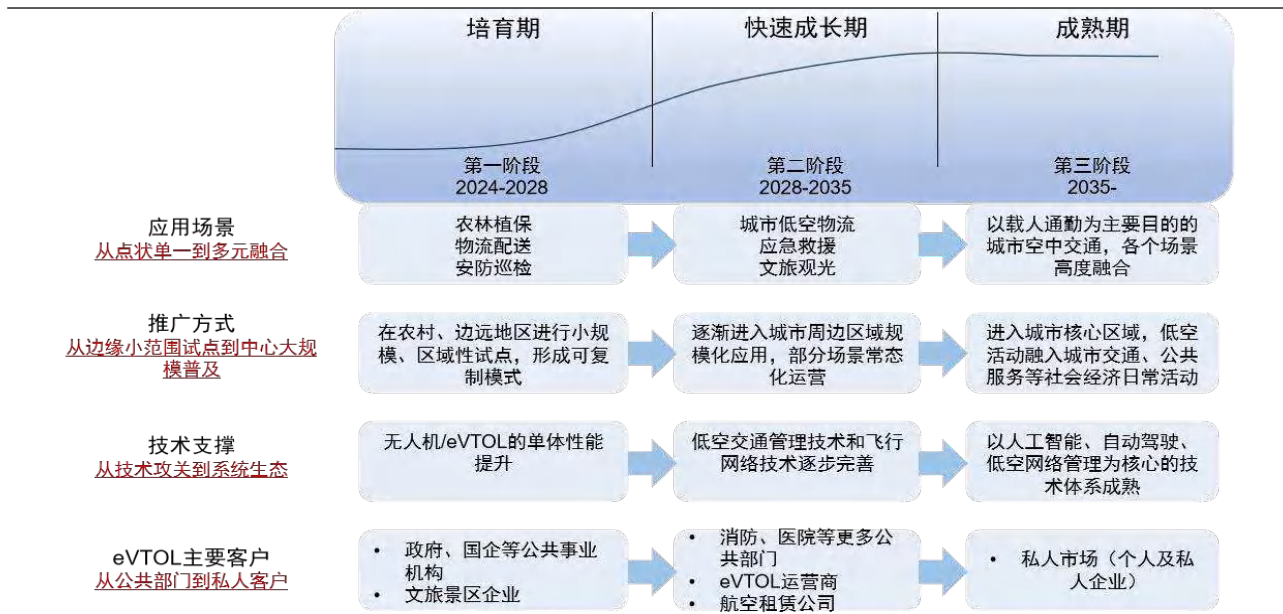
政策先行、技术验证、市场需求激活、成本优化等四方面协同发力推动低空经济应用场景商业化

图31: 低空经济应用场景商业化影响因素



资料来源: 赛迪顾问, 国信证券经济研究所整理

图32：低空经济发展路线



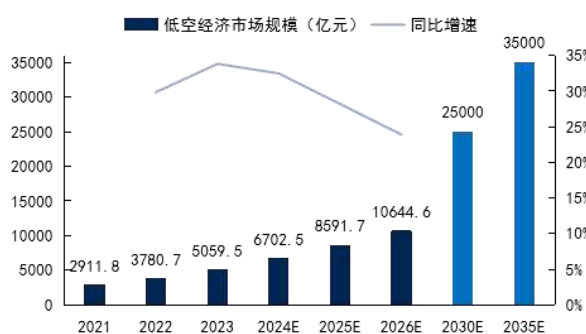
资料来源：赛迪顾问，国信证券经济研究所整理

1.3 低空经济市场空间预测

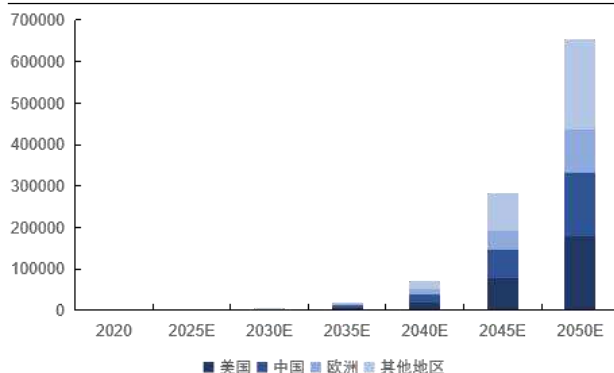
- 国内低空经济市场规模超万亿：根据赛迪顾问数据，2023年，受到民用无人机产业高速发展、低空空域改革试点工作持续深化等影响，中国低空经济高速发展，相较2022年经济规模持续提升，2023年中国低空经济规模达到5059.5亿元，同比增速高达33.8%。
- 2023年，低空经济规模贡献中，低空飞行器制造和低空运营服务贡献最大，接近55%，间接带动的供应链、生产服务、消费、交通等经济活动贡献近40%，低空基础设施和飞行保障的发展潜力尚未充分体现。随着低空飞行活动的日益增多，预计到2026年低空经济规模有望突破万亿，达到10644.6亿元。根据中国民航局数据，到2030年，中国低空经济的市场规模预计将达2.5万亿元，2035年有望达3.5万亿元。
- 远期全球eVTOL市场规模空间广阔：参考Morgan Stanley预测数据，2030年，预计全球eVTOL市场规模达1.85万亿元，其中美国、中国、欧洲、其他地区分别为4779/6445/2969/4345亿元。

图33：中国低空经济市场规模及同比增速

图34：全球分地区eVTOL市场规模预测（亿元人民币）



资料来源：赛迪顾问，中国民航局，高工产业研究院（GGII），国信证券经济研究所整理



资料来源：Morgan Stanley，国信证券经济研究所整理

低空物流场景潜力巨大，无人机货运具备商业化条件

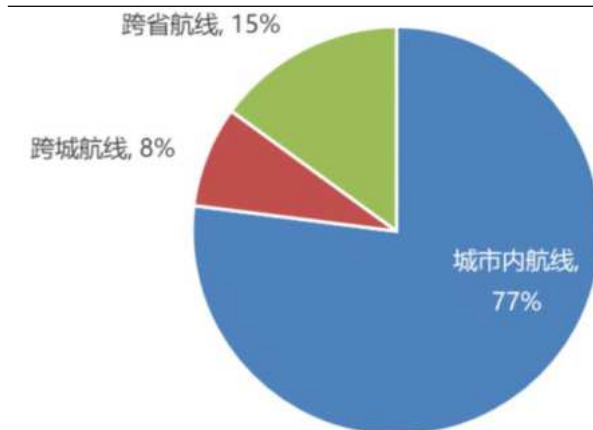
- 低空物流场景主要包括城市（同城末端配送）、非城市（跨城干、支线物流）两大细分场景。根据翼威视界数据，截至2024年底，全国范围内已开通的超150条低空物流航线中，77%是城市内航线，跨省、跨城航线分别占比15%、8%。
- 低空物流处于早期发展阶段，货运量虽少但增速快，拥有巨大的商业开发潜力。根据共研产业研究院数据，2024年中国低空物流市场规模约330.5亿元，预计到2029年增长至1920.3亿元，期间年复合增长率达42.2%。《2024中国低空物流发展报告》数据显示，到2035年低空物流市场规模有望达到4500-6050亿元。

图35: 未来5年低空物流市场规模预测



资料来源：中国民用航空局，共研产业研究院，国信证券经济研究所整理

图36: 现阶段低空物流同城航线占比近8成



资料来源：翼威视界，国信证券经济研究所整理

2. 限制行业发展的三个核心桎梏

- 政策支持力度——（1）空域管理模式：低空空域主要由军方管控，地方政府协调。开通固定航线审批较难，飞行活动受限制较多。（2）协同监管体系尚未形成：军、地、民统一的低空安全监管体系还未形成，各部门监管边界尚未明晰，互联互通的空域管理系统尚未搭建，精细度管理还不够。（3）应用场景有待创新：在通勤航空、医疗救援等领域的市场化应用还处于起步阶段，大部分应用场景尚未形成成熟模式和商业闭环。
- 飞行器成熟度（标准化与性能）——行业标准化滞后，电池续航、能量密度等性能方面依然具备很大升级迭代空间；载人条件尚不成熟（通常要求 10^6-9 ），且飞行累积时长、应对事故经验不足。
- 基础设施完善度——包括起降场、飞控网络、监测雷达、通讯系统等，全国尚未建立统一标准，各城市先行先试，后期能否互相兼容存疑。

图37: eVTOL 发展路线



资料来源：CCID 赛迪微信公众号，国信证券经济研究所整理

2.1 管理精细度有待提高

低空经济海外监管态度：商业化势在必行，美国军事化走在前列。近年来，美欧日韩等国家和地区在原有的通航产业基础上，密集出台城市空中交通领域的政策文件，旨在引导该领域向体系化、市场化方向发展。其中，欧洲正加快推广城市空中出租车理念，美国正推动 eVTOL 面向军事化应用，日韩也制定了 eVTOL 商业化运营的明确时间线。

表4: 全球主要经济体 eVTOL 相关政策

区域	机构	时间	相关政策	政策方向
欧洲	欧洲航空安全局 (EASA)	2019年	发布针对小型VTOL特殊适航认证条款 (Special Condition for small-category VTOL aircraft)	首次针对小型 (EASA定义的small-category, 9座级 (含) 以下, 且最大起飞重量不超过3175千克) VTOL航空器的适航审定制订了相关专用条件 (SC), 并试图通过颁布一部适用于不同类型VTOL航空器的审定规范来解释所有初始适航问题。
		2020年	发布eVTOL适航认证的拟议符合性评审方法 (Proposed means of compliance with the special condition VTOL)	
		2022年	城市空中出租车 (air taxi) 运行规则提案	全球发布的首个此类规则的综合提案, 该提案目标是在欧盟层面为这种新的客货运空中交通方式建立一套统一的法规和规则, 以促进城市空中交通 (UAM) 新生态系统的发展。
		2023年	城市空中出租车运行要素修订意见稿	包含对多项现有法规的拟议修订, 包括适航性、环境认证以及飞机设计和生产工艺认证的新规则。 它还包括针对航空运营商和机组人员的要求和程序, 以及对无人驾驶航空系统 (UAS) 运营商的导航和空中交通管制服务, 以及网络安全风险的管理。
		2024.07	AAM Certification Guidelines for eVTOL	发布新版eVTOL适航指南 (Part 21特定条件更新), 加快机型审定流程, 提升电动垂直起降飞行器市场准入效率。
美国	美国空军	2020.02	“敏捷至上” (Agility Prime) 项目	探索eVTOL技术在特种作战、救援搜索、短距运输等军事任务应用的可能性, 推动商用技术向军事领域转化。
	交通部	2022.10	《Advanced Air Mobility Coordination and Leadership Act》	美国交通部成立一个跨部门团队, 在2024年之前制定飞行器汽车国家战略。
	白宫科技政策办公室	2023.03	美国《国家航空科技优先事项》	确定对美国未来航空科技领导地位具有至关重要影响的关键优先领域, 其中就包括eVTOL。
	美国联邦航空局 (FAA)	2023.05	《城市空中交通运营概念2.0》 (Urban Air Mobility Concept of Operations 2.0)	对城市空中交通的运行概念展开描述, 设计了城市空中交通管理体系架构, 并指出随着运营数量的增加, 预计空中出租车将在主要机场和市中心垂直起降机场之间的空中廊道上飞行。
		2023.06	正在为飞行出租车、电动垂直起降飞机 (eVTOL) 提出全面的飞行员培训和认证规则	FAA计划空中出租车的运营将利用现有的航线和基础设施, 预计首个eVTOL将于2024年底或2025年初开始商业运营。
		2023.07	《Advanced Air Mobility Implementation Plan》	提出在2028年实现飞行汽车规模化运营, 提出了飞行汽车驾驶员培训要求和操作规则, 计划为飞行员获取执照提供明确路径。
		2024	Urban Air Mobility Implementation Plan (Innovate28)	加速推进eVTOL商业化, 目标2028年洛杉矶奥运会应用; 推进适航认证、空域集成、城市起降场 (Vertiport) 布局。
日本	日本内阁	2020.07	《增长战略推进计划》	将无人机和飞行汽车纳入国家战略规划, 预计到2022年在特定空域实现无人机物流运输服务, 到2023年, 开始试行eVTOL业务。
韩国	交通部	2020	《城市空中交通 (UAM) 规划方案》	明确了UAM发展路径与关键时间节点, 包括2022-2024年开展UAM示范飞行, 2025年设立“城市空中通道专用空域”开始商业化运营, 2030年实现全面商业化; 2030年扩展到10条航线, 2035扩展到100条航线; 2040年, 预计UAM产业总额达到731亿美元。
	交通部	2025	UAM商业化路线图	初期在首尔-仁川机场间空中走廊, UAM飞机450米飞行 (150米余量), 初期共享直升机航线; 分三阶段商业化: 2025-2029年载人, 2030-2034年远程驾驶, 2035年自动驾驶。
香港	数字政策办公室/民航处	2025.03	低空经济监管沙盒	促进低空飞行活动创新测试, 首批38个项目涵盖应急、物流、巡检、监控、基础设施; 收集无人机技术规格、通信网络、GNSS信号、低空监视系统数据, 为政策制定提供依据。

资料来源: EASA, FAA, 君合法律评论, 航空之家, 国信证券经济研究所整理

政策是推动低空经济发展的主要驱动力。低空空域管制的开放、产业政策激励、基础设施完善、相关立法的出台与实施、证照审批加速等一揽子政策是推动低空经济加速全面发展的最大动力。

空域合理开放是产业发展先决条件。国内通用机场审批空域航线申请存在诸多不便, 如: 多方协调、B类机场备案、法规多、时间不可控

图38: 我国空域管理政策

国家层面	民用机场管理条例 (国务院JSG令)
	无人驾驶航空器飞行管理暂行条例 (国令第761号)
民航局	民用机场使用许可规定 (CCAR-139)
	民用机场建设管理规定 (CCAR-158)
	通用机场建设规范 (MH/T 5026-2012)
	通用机场管理规范 (CCAR-138)
	通用机场选址规范
	通用机场选址技术指南 (MH/T 5065-2023)
	通用机场选址行业审查实施细则 (民航发〔2023〕41号)
	A类通用机场运行安全管理实施细则 (民航规〔2024〕21号)
	民用无人驾驶航空系统运营安全评定指南 (民航运函〔2024〕5号)
	中型无人驾驶航空系统运营标准及符合性指导材料 (民航运函〔2024〕52号)
	民用无人驾驶航空系统运营标准及符合性指导材料 (民航运函〔2024〕52号)
民航地区管理局	通用机场建设管理办法 (地区版) (七个地区管理局出台)
军方	关于新建通用机场选址核准问题 (司作〔2014〕132号)
	临时起降点设立及使用管理暂行办法 (司作〔2009〕424号)

资料来源: 中国民航总局, 国家空管委, 国信证券经济研究所整理

适航审批加速是 eVTOL 商业化落地的“加速器”。TC 取证是适航审定过程中最具挑战性的环节，涉及各类测试和考核，国内正常类小型航空器 TC 取证平均时间在 6.5 年左右。

图39：型号合格证审批流程图



资料来源：亿航智能，中国民航局，国信证券经济研究所整理

创新适航审定“专用条件”办法，国内 eVTOL 适航证发放有望加速。由于民航局尚未针对可用于载人的无人驾驶航空器系统颁发适航规章，适航司根据 EH216-S 具体设计和预期用途，以基于风险和审定目标的原则，于 2022 年 2 月正式发布了《亿航 EH216-S 型无人驾驶航空器系统专用条件》，具体涵盖飞行性能、结构、设计与构造、动力装置、系统和设备、数据链路以及地面控制站等方面。目前有 3 款其他机型沿用“专用条件”办法：

图40：三款机型的“专用条件”办法



资料来源：中国民航局，峰飞航空，沃飞航空，小鹏汇天，国信证券经济研究所整理

随着 eVTOL 技术创新和低空经济商业化渐近，我国低空适航审定程序也迎来了重大变革，从早前的“一机一议”形式转向“系统性模块化”审定模式，全面明确审定标准，提升适航审定科学性和综合效率。2025 年 12 月，中国民航局先后发布《动力提升航空器适航标准（征求意见稿）》、《限用类无人驾驶航空器系统适航标准（征求意见稿）》，明确提出“动力提升航空器”针对的是最大起飞重量 5.7 吨以下的有人驾驶 eVTOL，“限用类无人驾驶航空器”则包括了《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》规定的中型无人机和目前大部分大型无人机。文件规定，申请人可以使用此适航标准作为满足适用性的动力提升航空器的合格审定基础。对于仅使用本适航标准作为合格审定基础而没有添加或变更的设计，局方在型号合格审定时不要求申请人再单独制定专用条件，并获得批准。如果申请人采用了新颖独特设计，本适航标准不能完全覆盖或不适用于其研制的动力提升航空器，局方将根据《颁发专用条件、批准豁免和做出等效安全水平结论的程序》制定相应的专用条件。同月，交通运输部正式发布了新修订的 CCAR-27 部《正常类旋翼航空器适航规定》、CCAR-29 部《运输类旋翼航空器适航规定》和 CCAR-35 部《螺旋桨适航规定》三部规章，将自 2026 年 1 月 1 日起施行。

《中华人民共和国民用航空法》修订版中，适航管理作为民航安全运行的基石，在本次修订中实现了从“审产品”向“审体系”的跨越式转变。政策内容上，新民航法新增无人驾驶航空器适航管理条款：“第三十四条 从事民用无人驾驶航空器的设计、生产、进口、维修和飞行活动，应当按照国家有关规定向国务院民用航空主管部门申请取得适航许可，按照规定无需取得适航许可的除外。从事民用无人驾驶航空器生产的机构应当按照国家有关规定为其生产的无人驾驶航空器设置唯一产品识别码。”明确了关于民用无人驾驶航空器适航管理原则及唯一产品识别码的规定；此外，确立“基于风险的分类分级管理”原则（第二百二十一条），这是本次修法在行政管理理念上的重大突破，法律明确要求“建立健全基于风险的分类分级适航管理方式”，这意味着适航管理将改变过去“一刀切”的审定模式，根据产品风险等级及管理需要动态配置审定资源，对高风险项目（如大型运输类飞机），将保持最严苛的介入式审查；而对低风险项目（如部分通用航空产品、限用类无人机等），则可依法实施备案制或简化审定，这既符合国际适航管理趋势，又能高效分配行政资源，在提升安全水平的同时降低行业合规成本。

随着民航局对于 eVTOL 适航审定经验逐渐丰富，有望在适航审定专用条件基础上形成标准条件，促进 eVTOL 适航审定提速。

2.2 技术成熟度有待加强

技术成熟度仍是低空经济从示范走向规模化的核心制约。eVTOL 和大型无人机仍需在整机构型、动力系统、飞控航电、通信导航监视、复合材料与系统冗余等方面持续验证，尤其是载人飞行对安全性、可靠性、适航符合性和持续运营能力提出远高于地面交通工具的要求。

从产业发展阶段看，当前无人机在巡检、农林植保、应急、物流等场景成熟度较高；eVTOL 仍处于试点示范向商业化过渡阶段，主要瓶颈不在单一部件，而在电池能量密度与安全性、分布式电推进可靠性、飞控系统冗余、适航审定和规模化运营经济性的共同约束。

为避免与第三章核心零部件和动力系统专题重复，本节只保留技术瓶颈结论。低空飞行器构型、电池、电机、电推进、航电飞控、机体材料等细节将在后续产业

链章节集中展开。

2.3 基础设施有待完善

我国低空基础设施建设不够完善。低空基础设施主要分成物理基础设施（硬基建）和信息基础设施（软基建）两类。“硬基建”主要包括通用机场、起降场（点）等起降设施；“软基建”主要包括低空空域管理平台、低空飞行服务平台、通信、导航、监视、气象、地图等。

- 目前的信息基础设施建设还不足以满足未来大规模的低空场景使用，通、导、监信息基础设施建设尚未全面铺开，且国家没有统一的标准体系，低空监测、应急处置及统筹调度能力还相对薄弱。
- 从“硬基建”来看，目前我国通航机场、飞行起降平台以及飞行服务站数量具备一定基础，但规模仍较小。相比美国来看，我国在通用航空器、通用机场以及全年飞行时间方面相比美国均有较大发展空间。

图41：中美通航发展对比（截至 2022 年）

	中国	美国	相当于美国的
通用航空器	3186架	20.95万架	1.5%
通航机场	399个	4000多个	不到10%
全年飞行作业时间	121.9万小时	2695万小时	4.5%

资料来源：中国民用航空局，《2022 年民航行业发展统计公报》，中国民航出版社，2023：1-37，FAA，民航新型智库，国信证券经济研究所整理

图42：低空经济基础设施“六张网”系统化建设



资料来源：无人系统创新，招商银行研究院，

专项债/超长期国债支撑，地方政府化债压力减轻加速低空产业发展。国务院将低空经济纳入专项债正面清单。

- 2024 年 9 月 26 日，政治局会议提出要加大财政政策逆周期调节力度；10 月陆续推出一揽子有针对性增量政策举措，包括加力支持地方化解政府债务风险，较大规模增加债务额度，支持地方化解隐性债务，地方可以腾出更多精力和财力空间来促发展。
- 2024 年底，国务院办公厅发布《关于优化完善地方政府专项债券管理机制的意见》，将低空经济列入专项债支持领域，明确各省份专项债用作项目资本金的比例上限由 25%提升至 30%。开展专项债券项目“自审自发”试点省份【北京市、上海市、江苏省、浙江省（含宁波市）、安徽省、福建省（含厦门市）、山东省（含青岛市）、湖南省、广东省（含深圳市）、四川省】，其省级政府可直接审批并发行专项债，大幅缩短项目周期。
- 各地明确专项债/超长期国债支持低空经济发展
- 2024 年 6 月，四川省人民政府发布关于促进低空经济发展的指导意见提出，省级财政安排 2 亿元资金专项支持低空经济发展，优先支持符合条件的项目申报地方政府专项债券；2024 年 8 月，浙江省人民政府发布《关于高水平建设民航强省打造低空经济发展高地的若干意见》，提出符合条件的低空新基

建项目，通过中央预算内投资、地方政府专项债券、超长期特别国债等政策资金予以支持。

2024 年低空经济地方专项债发行情况。据不完全统计，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%。

从建设领域看：主要集中在低空产业园及基础设施建设领域，占比超过了 90%。其他类涉及到教育培训、文旅等，占比 10%。

从地域分布看：四川省（5 个项目）：集中在自贡航空产业园，涉及无人机生产、创新中心等配套建设，总投资 38.42 亿元，占全国 19.9%。广东省（4 个项目）：形成恩平、韶关等工业园低空经济片区，总投资 16.15 亿元，专项债融资 4.03 亿元。江西省/河南省（各 3 个项目）：江西聚焦无人机厂房与分宜产业园；河南布局安阳试飞场和 5G 技术基地，两省专项债融资分别达 5.45 亿、3.85 亿。其他重点省份：湖北省（竹山冷链物流+华中飞行器基地）、湖南省（最大单体项目 47.13 亿）、浙江省（职业教育+起降工程）形成差异化布局。

中央和地方财政助力低空基础设施建设

- 中央层面，“战新产业基础设施建设纳入专项债券用作项目资本金范围”政策落地，低空经济基础设施建设获得专项债的规模支持。2024 年 12 月 25 日，国办印发《关于优化完善地方政府专项债券管理机制的意见》，提出将低空经济等新兴产业基础设施纳入专项债券用作项目资本金范围，为低空基础设施项目提供成本更低且期限更长的资金来源。2025 年以来，广东共发行涉及低空经济的专项债项目 17 个，总投资 661 亿元，发行金额 22 亿元。截至目前，广东建有跑道型通用机场 8 个，直升机场 56 个，建成各类低空起降点 1400 多个，5G-A 基站 1.1 万个。
- 地方层面，多地相关政策中提出基础设施建设的具体目标，仅深圳市预期投资规模即超 100 亿元。深圳、广州、珠海、安徽、浙江等多地提出低空基础设施建设的具体目标，《深圳市低空起降设施高质量建设方案（2024-2025）》中提出，在 2025 年前建成 1000 个以上低空飞行器起降平台，预期低空基础设施建设投资规模超 100 亿元。截至 2024 年 11 月，深圳市已建成各类低空起降设施 249 个，还有 75% 的建设空间。安徽省规划到 2027 年，新建 20 个通用机场，500 个起降场地或垂直起降点。浙江省规划到 2027 年，建设 A 类通用机场达 20 个、公共无人机起降场达 150 个。

图43：已发布低空 3 年规划省市的通航机场数量和起降点建设规划（单位：个）

省份	23年底通航机场数量 (个)	低空起降点规划 (个)
安徽省	5	到25年：10个通用机场+150个临时起降场地；
江苏省-苏州市	5	到27年：20个通用机场+500个临时起降场地。
江苏省-南京市	2	到26年：1-2个通用机场+200个以上垂直起降点。
江苏省-无锡市	5	到26年：1-2个通用机场+240个以上低空航空器起降场（点）及配套的信息化基础设施。
广东省	54	到26年：构建“2（预放机场、丁蜀机场）+N（直升机场、起降点）+X（无人驾驶航空器起降场、智能机翼）”起降设施体系，到2026年建成200处各类起降设施。
山东省	22	建设一批通用机场和起降场、起降点，基本建成安全高效、互联互通的地面基础设施网络，核心区域低空智慧基础设施建设完成。建成40个通用机场，400个数字化低空航空器起降平台。

资料来源：各政府公告，GAAS，国信证券经济研究所整理

发展基于数字底座的低空智能融合基础设施。核心目标是：（1）解决低空空域中对各种低空飞行器的“看不见、呼不到、管不住”的基本安全问题；（2）解决规模化低空飞行中“异构、高密度、高频次和高复杂度”的安全、效率和成本问题；（3）解决低空经济“管理、资源、业务、运营”等多主体、多业务、全方位协同问题。

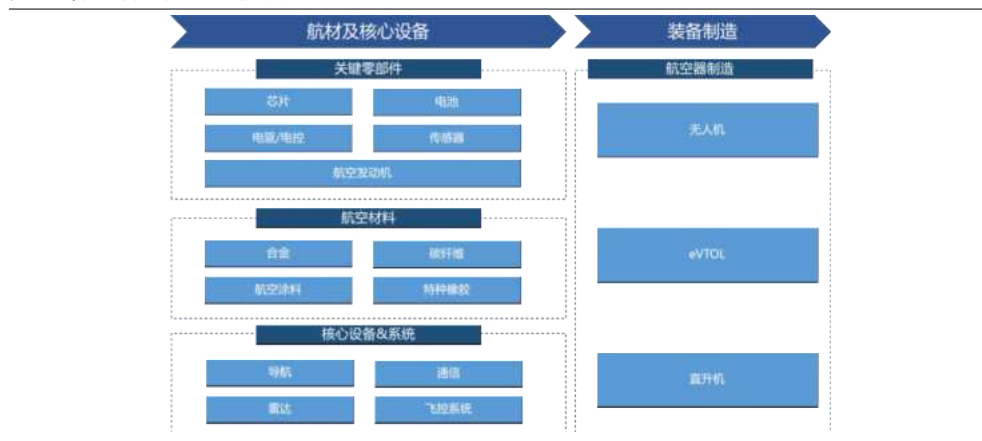
三、低空经济核心产业发展趋势和机遇

1. 低空制造业

1.1 无人机和 eVTOL 技术与应用

低空制造业是低空经济的产业基础，在全产业链中价值量占比近 60%。低空制造业主要涵盖低空航空器整机制造及相关材料、零部件等制造，是低空经济的产业基础与关键载体。根据上海财经大学《低空+发展研究报告（2025 年）》，2024 年国内低空产业市场中，低空飞行器制造与系统开发行业占总市场约 60%价值量。

图44: 低空制造产业链梳理



资料来源:中国复合材料工业协会, 国信证券经济研究所整理

无人机（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）指无需驾驶员登机操作，通过远程遥控或自主程序控制实现飞行的航空器。无人机的定位是以某场景任务为导向的无人飞行器，强调功能实现和非载人用途，对起降方式、燃料类型等无限制，根据机型结构可分为固定翼无人机、旋翼无人机，根据用途一般分为消费级无人机、工业级无人机和军工级无人机。电动垂直起降飞行器（Electric Vertical Take-off and Landing, eVTOL）指以电力为唯一动力源，具备垂直起降能力，可实现载人或重载运输的新型航空器。eVTOL 强调“全电驱动”+“垂直起降”，用于载人或空中运输的新型航空器，聚焦运输属性。

表5: 无人机和 eVTOL 对比

区别	无人机	eVTOL
核心定位	执行特定任务	交通和运输工具
动力系统	燃油、电动、太阳能等多种方式	全电驱动
起降方式	大部分水平起降，少数可垂直起降	垂直起降
适航要求	标准较低	涉及人员运输和城市飞行，要求严格
智能化要求	无人驾驶，对自主控制系统智能化要求高	可自动驾驶也可人工操作，智能化要求相对无人机较低
应用场景	场景丰富，涉及军民等多种场景，应用相对成熟	场景主要集中在城市交通、应急救援等

资料来源:亿航智能、百度百科, 国信证券经济研究所整理

我国无人机在民用领域的应用“百花齐放”，在农林植保、交通能源基础设施巡

检、应急救援处置等传统场景中，无人机应用已进入规模化运营阶段，行业应用较为成熟。此外，无人机集群编队表演、城市物流配送网络、公共安全动态监控等新兴领域正加速突破，预计未来 1-2 年内，将从试点示范阶段迈入规模化商用阶段。军用领域，无人机已经由辅助作战转变为“体系核心”，在战场态势感知、精确火力打击、有人/无人协同等领域发挥关键作用。

表6: 无人机主要应用情况

应用领域	领域细分	应用简介	无人机应用类别
民用	农林植保	农药喷洒、播种、灌溉、农作物生长监测、病虫害监测等	固定翼
	高速公路巡检	无人机可自动完成定时定点巡检，对高速公路的重要路段进行高空监控，提供高清画面。	旋翼、固定翼
	应急救援	可用于灾难事故现场勘察、辅助救援、物资投放和通讯中继等	旋翼、固定翼
	货物运输	物流领域应用的主要模式。顺丰打通“南通-上海”生鲜无人机运输航线，进入实体化运营。	固定翼
	仓储监控	无人机能通过视觉识别、红外热成像等技术捕捉信息，对货物进行盘点、计数、测量、检视。	旋翼
	物流配送	可解决配送效率低、覆盖范围有限等问题。如美团聚焦城市即时配送，构建“3 公里、15 分钟”的配送网络。	旋翼、固定翼
	其它	无人机表演、生态监测、污染监测等	旋翼、固定翼
军用	态势感知	精准侦察、全域监控等，如美国“黑蜂”单兵无人机、“全球鹰”长航时大型侦察无人机	旋翼、固定翼
	精确打击	自杀式攻击、巡飞弹等，如美国“弹簧刀”巡飞弹在顿巴斯战场战绩显赫。	旋翼、固定翼
	体系协同	有人/无人协同作战是六代机的核心概念。	固定翼

资料来源：蒋文全等. 无人机在民用行业应用研究综述[J]. 机电工程技术, 2025, 54 (09) : 119-124. , 国信证券经济研究所整理

我国农用无人机技术在载荷、续航、智能化等痛点有了新突破，农业无人机得以广泛应用，大幅提高农业生产效率。《农业无人机行业白皮书》显示，2024 年中国农业无人机年作业量突破 26 亿亩次，提供近 50 万行业相关岗位，市场规模约 130 亿元。技术方面，2025 国际低空经济博览会中大疆新一代农业无人机通过“AI+多光谱成像”技术实现对农作物病虫害的智能识别，准确率高达 99%；依托国家重点研发计划支持，在动力系统、轻量化材料等方面，实现“重载+长航时”双重突破，极飞科技 P200、P150 等最新型号，载重突破 80kg，最大起飞重量可达 149.9kg；河南全丰公司联合北京航空航天大学、中国农业大学等将无人机日作业产能提升至 1000 亩以上。

图45: 农业无人机作业场景



资料来源：大疆创新，国信证券经济研究所整理

我国工业无人机技术已实现从“替代人工”到“超越人工”的跨越，在智能自主作业、复杂环境适配等领域达到全球领先水平。因诺科技自主研发的一体化无人值守机库，集成了自动充电、气象监测、数据传输等功能，支持无人机 7×24 小时自主作业，覆盖半径达 15 公里，无需人工干预，即可完成油气管道、光伏电站的智能巡检；中航工业的“云影”-25V 无人机，通过尾座式设计兼备旋翼和固定翼无人机的优势，可以在山地等复杂地形和狭小空间完成应急救援、电力巡检等多种任务。

图46：无人机参与特高压放线作业



资料来源：中国能源新闻网，国信证券经济研究所整理

图47：无人机参与广州天河应急火灾演练



资料来源：搜狐新闻，国信证券经济研究所整理

低空运输和物流配送方面，我国已构建起 100 公斤至 10 吨级的全谱系大载重货运无人机矩阵，成功攻克高原、海上、跨海等极端场景运输难题，成为全球低空货运领域的“新质生产力”代表。小型运输无人机的代表“驼峰”无人机，通过跨海直达的方式完成琼州海峡跨海运输高附加值冷链产品的任务，将物流时间从传统的 5 小时降低至 20 分钟；中型重载无人机方面，时代飞鹏的 FP-985 “金牛座”固定翼无人机完成了我国高原大型无人机物流航线首次验证飞行，该无人机起飞重量 5.7 吨，有效载荷超 2 吨，通过活塞发动机改造、增加防雷击、高抗风等设计，保证无人机在海拔 4000 米工况下稳定以适配高原干线运输；大型无人机方面，白鲸航线研制的 W5000 涡桨无人机（起飞重量超 10 吨，载荷 5 吨）已总装下线，预计于 2026 年下半年实现商业交付。

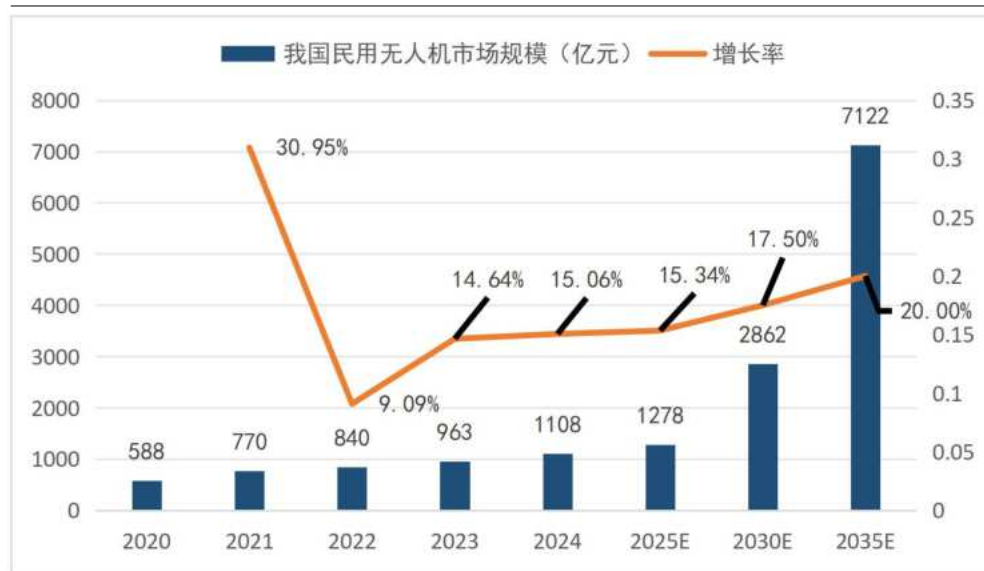
军用无人机方面，我国军用无人机技术处于第一梯队，在隐身突防、蜂群协同等先进领域进展较快。2025 年 12 月 15 日，航天科技集团第十一研究院研发的彩虹-7 隐身无人机在西北某机场成功首飞，后续将开展飞行性能包线、载荷功能验证等测试；2025 年 12 月 11 日，由航空工业一飞院设计的“九天”无人机在陕西蒲城完成首飞任务。该机采用“通用平台+模块化任务载荷”设计，具备大载重、高升限、宽速域、短起降等特点，并可根据任务需要搭载不同载荷。

民用无人机市场规模预测

根据中商产业研究院数据，我国 2020-2025 年民用无人机市场规模如下图所示，自 2023 年起，我国民用无人机产业平均增速约为 15%。我们合理假设，受低空经

济政策的推动，我国无人机未来 5 年年平均增速增加至 17%，2030-2035 年低空应用全面铺开，增速再度增加至 20%。基于上述假设，可以预测 2025 年、2030 年和 2035 年，民用无人机市场规模预计为 1278 亿元、2862 亿元和 7122 亿元。

图48: 2020-2035 民用无人机市场规模



资料来源：中商产业研究院，国信证券经济研究所整理和预测

与无人机在多领域的应用不同，eVTOL 的应用场景当前主要聚焦于城市空中交通、物流运输领域以及特种作业领域，正处于“试点示范向规模化过渡”的关键阶段。我国 eVTOL 的应用在构型创新、适航认证、场景落地等多个核心领域均有突破。

我国 eVTOL 构型较为丰富，场景覆盖广泛。行业具备“多旋翼+复合翼+倾转旋翼”全构型技术，多构型可适用差异化场景，亿航智能 EH216-S 为代表的多旋翼 eVTOL 专注城市内“点对点”短途运输，可适配低空观光、通勤接驳等场景；复合翼构型采用“固定翼+倾转旋翼”复合架构，兼顾垂直起降和水平巡航能效，适用于城市交通、物流运输等场景，如：峰飞航空官网显示，其复合翼 eVTOL “盛世龙”，最大起飞重量 2.4 吨，航程可达 200 公里；沃飞长空 AE200 通过 4 个可 90 度旋转的倾转旋翼，兼顾垂直起降与高速巡航，可用于城市低空出行、文旅服务等多个领域。

图49：三款不同旋翼



资料来源：Volocopter velocity, Beta Alia, Joby, 时的科技, 国信证券经济研究所整理

图50：eVTOL 不同技术路线对比

构型	多旋翼	复合翼	倾转旋翼
旋翼系统功能	垂起时提供全部升力；巡航时提供全部拉力 和升力	垂起时一部分旋翼提供升力，巡航时另一部 分旋翼提供拉力	垂起时所有旋翼提供升 力，巡航时部分旋翼或所有旋翼提供拉力
特点	分布式旋翼设计，旋翼同时工作，无机翼等 翼面，完全通过旋翼实现垂直起降和巡航	设计直接简单，有机翼，通过独立的垂直旋 翼动力系统和推进动力系统提供升力和巡 航推力	有机翼，通过矢量推进装置，既可以为飞行 器提供升力也可以提供巡航推力
巡航速度	60-100km/h	150-200km/h	250-320km/h
优点	研发难度低	研发难度中等 研制风险和成本较低	气动效率高 飞行速度高 航程和有效载荷有明显优势
缺点	有效载荷和航程都相对有限 飞行速度慢	制造成本高 两套动力系统 载重效率低	技术难度稍大
应用场景	小景区低空旅游	物流运输 应急救援 大景区低空旅游 城际及城市空中出行	物流运输 应急救援 大景区低空旅游 城际及城市空中出行

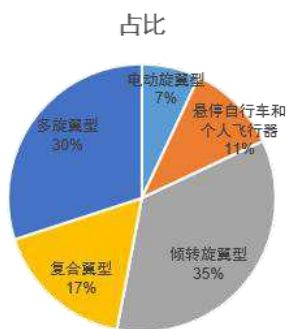
国内外代表厂商	亿航 Volocopter	峰飞航空 EVE	时的科技 Joby
代表机型	亿航 216-S、Volocopter 2X	峰飞 V1500M 盛世龙、Beta Alia-250, Wisk Cora	倾转旋翼: Joby 4S, Vertical VA-X4

资料来源：张宇、黄琨、李哲，《eVTOL 飞行器的发展态势与应用场景综述》，航空工程进展，2024，亿航智能，峰飞航空，Joby，国信证券经济研究所整理

eVTOL 技术路径及发展趋势——“百家争鸣、百花齐放”

- 根据美国垂直飞行协会（VFS），截至 2024 年 5 月，全球 eVTOL 概念产品数已超 1000 个，其中倾转旋翼产品数量为 360 个，多旋翼构型产品数量为 302 个，占比分别为 35%和 30%，复合翼构型占比为 17%。
- 根据 SMG Consulting 发布的《全球 eVTOL 厂商先进空中交通现实指数》，截至 2025 年 6 月在全球 31 家主流 eVTOL 整机厂商中，选择复合翼构型的占比近 42%，为所有 eVTOL 构型中占比最高，倾转旋翼构型以 35%占比紧随其后。
- 各家不同技术路径选择的背后是不同主机厂对 eVTOL 性能、经济性、适航审定与商业化落地的多重考量。

图51：全球 eVTOL 构型占比



资料来源：美国垂直飞行协会（VFS），国信证券经济研究所整理

图52：不同 eVTOL 的构型差异

型号	构型	航程 (km)	巡航速度 (km/h)	载客量	最大起飞重量 (kg)
亿航EH216-S	多旋翼	30	-	2人	620
广汽 GOVE	多旋翼	-	200	1人	550
空客 CityAirbus NextGen	多旋翼	80	-	4人	-
Volocity	多旋翼	35	110	2人	-
山河智能 V.Mo Flying Tiger	复合翼	200	-	4人	-
御风未来 Matrix 1	复合翼	250	200	5人	2000
沃兰特 VE25 X1	复合翼	200	200	5人	2000
峰飞 盛世龙	复合翼	250+	200	5人	200
Beta Technologies ALIA-250	复合翼	500	-	5人	-
峰飞 V2000CG 凯瑞鸥	复合翼	250	200	-	2000
时的科技 E20	倾转旋翼	200	260	5人	2000
Joby S4	倾转旋翼	161	322	5人	2404
Archer Aviation Midnight	倾转旋翼	161	-	5人	-
Wisk Aero Generation 6	倾转旋翼	144	-	4人	-
Vertical Aerospace VX4	倾转旋翼	161	-	5人	600
Lilium Lilium Jet	矢量推力+涵道风扇	200	300	7人	640

资料来源：航空产业网，各公司官网，国信证券经济研究所整理

我国 eVTOL 在适航领域创造多个“全球第一”。2025 年 3 月，中国民航局向亿航智能旗下的亿航通航颁发了全国第一批载人类民用无人驾驶航空器运营合格证（OC），EH216-S 成为全球首个“四证齐全”的载人 eVTOL，也标志着 eVTOL 正式

开启商业化运营，低空旅游时代即将开始；峰飞航空“凯瑞鸥”是全球首个获得适航“三证”的吨级以上 eVTOL，随后公司宣布与阿联酋猎鹰航空签约 50 架订单，部分订单最快将于 2025 年底交付，该批 eVTOL 主要用于阿布扎比国家石油公司的紧急物资运输，成为全球首个实现吨级 eVTOL 商业化交付的机型。

场景应用方面，eVTOL 在城市空通勤、文旅观光、低空物流、应急救援等方向多点开花。时的科技的 E20 eVTOL 航速达 260km/h，并可载客 5 人，预计 2027 年实现城际交通应用落地；沃飞科技的 AE200 最大航程达 200 公里，以低噪音为核心优势着力短途交通应用；亿航智控的 EH216-S 作为全球首款获适航认证的载人 eVTOL，并与漳州、宁波象山文旅成立合资公司，布局低空观光、城市管理等场景；峰飞航空 2 吨级 eVTOL “凯瑞鸥”用时 9 分钟完成“海南-广州”的跨琼州海峡运输场景验证，参与了武汉渡江节安全演练并于 1 分钟抵达目标地点 8 秒精准投放救生筏，此外凯瑞鸥消防版在大兴安岭森林火灾救援专题演练行动中成功投放灭火弹和物资，成为 eVTOL 在应急消防领域的示范。

图53：四川雅安完成国内文旅场景下首次 eVTOL 载人飞行



资料来源：亿航智能，国信证券经济研究所整理

图54：eVTOL 在消防救援领域的应用



资料来源：峰飞航空，国信证券经济研究所整理

eVTOL 市场规模预测

根据《2025-2030 年 eVTOL 市场分析及投资前景研究预测报告》显示，2024 年 eVTOL 市场规模为 32 亿元，2025 和 2026 年预计分别为 57.5 亿元和 95 亿元，年增长率为 80%、65%。由于 eVTOL 行业是新兴行业，时间短且增长变化过快，市场规模历史数据可提供的参考价值不大。

我们从订单数量、交付计划的角度进行市场规模的预测。峰飞航空透露累计获得的 eVTOL 商业订单 2000 架，其中，截至 2025 年底的确认订单是 300 架，订单转化率 15%。亿航智能 2024 年交付 216 架，累计意向订单约 1100 架，2025 年公司销售额预计 5 亿元人民币，对应交付数量 240 架左右。沃兰特 2025 年底累计订单超 1920 架。小鹏汽车一次性与中东签订 600 台订单。

仅上述各家公司目前累计订单数量已达到 6000 余台，乐观估计全国其它未披露订单 4000 台，合计 1 万台。若订单两年内交付，每台售价 250 万元，则预计至 2027 我国 eVTOL 市场规模为 250 亿元。

考虑 2026 年起是适航认证通过期，大量 eVTOL 通过适航认证进入量产，订单数量进一步加大，若新增订单数量为上述 2024-2025 年订单数量的 3 倍（参考市场规模年增长率），则截至 2027 年预计我国 eVTOL 订单数量达 3 万台，3 年内交付且

单台平均售价降低至 200 万元，则预计 2030 年市场规模为 600 亿元。

1.2 低空制造主要原材料和核心零部件

eVTOL 核心子系统主要可以分为电池、动力系统、飞控系统、通讯系统、导航系统以及机体材料六大类。主机厂主要承担的是整机研发和集成的任务，以及承担部分后续商业运营的功能。核心部件供应商方面，eVTOL 产业链与传统航空产业链、新能源汽车产业链存在大量交叉，eVTOL 和新能源车产业链重叠度达到 75%。作为汽车产业链的延伸，eVTOL 在核心架构（三电）上与新能源汽车相近，但在关键性能方面的要求比新能源汽车更为严苛。

- 电池系统：eVTOL 的各项关键性能指标均与动力电池的性能强相关，电池系统的能量密度、安全性、快充能力和循环寿命影响了飞行汽车的大多数关键性能，尤其是电池系统的能量密度，直接决定了电动飞行汽车的航程、有效载重、能量效率、经济性和环境影响等关键指标。锂电池技术目前能量密度比最高，具有良好的循环稳定性以及较低的自放电等优点，是目前 eVTOL 所采用的主要电池类型。
- 电推进系统：永磁同步电机技术较成熟且功率密度、转矩密度高，因此目前电动飞行器使用电机主要为轴向和径向永磁同步电机。
- 飞控技术：eVTOL 的自动飞行系统功能划分与传统民用飞机大致相同，决策计算都是通过飞管系统和飞控系统协同实现的。然而，由于 eVTOL 在运营场景、运营成本和飞机本体等方面具有其特殊性，其自动飞行系统的设计面临不小的挑战。

图55：系统构成



资料来源：势能资本，北深资本，国信证券经济研究所整理

图56: 国内 eVTOL 各环节核心参与者



资料来源：航空产业网，国信证券经济研究所整理

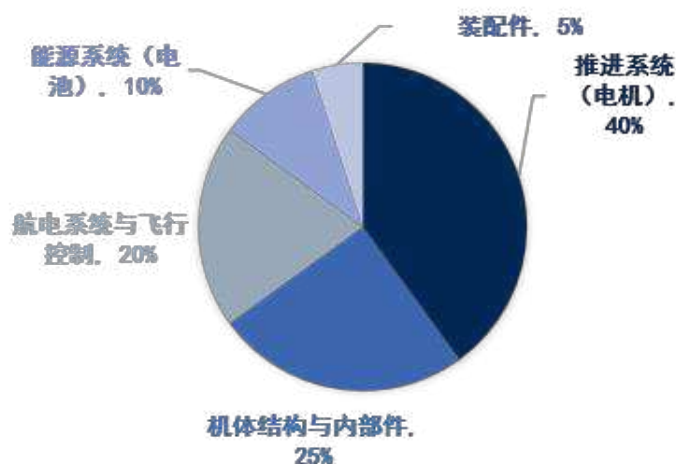
eVTOL 结构拆分

- 根据 Lilium 数据，eVTOL 组成当中，推进系统、机体结构与内部件、航

电与飞控价值量占比最大，分别为 40%、25%、20%，此外，能源系统（电池）、装配件分别占比 10%和 5%。

- 电池是 eVTOL 单项成本最高的部件，电推进系统是 eVTOL 成本最高的集成性零部件。
- 在新能源汽车的成本占比中，电池成本占整车成本比重约 42%，是纯电动汽车的核心部件，电机和电控成本分别占整车成本的 10%和 11%，电驱动零部件成本约占整车成本的 7%，其他部件约占整车成本的 30%。在大飞机的价值构成中，机体结构占比 30%-35%，动力系统发动机占比 20%-25%，航电和机电系统占比 25%-30%。

图57: eVTOL 价值量占比



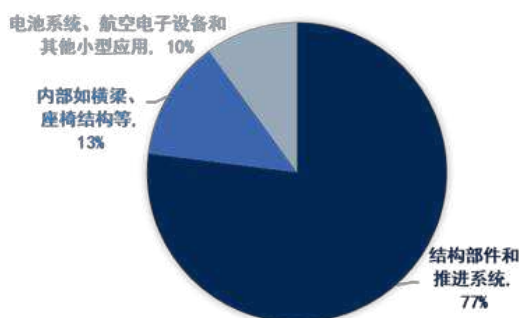
资料来源：Lilium，中商产业研究院，国信证券经济研究所整理

1.2.1 碳纤维等复合材料：轻量化与高强度设计的关键材料

低空飞行器轻量化、安全性等要求高，对于碳纤维等复合材料需求显著提升。低空飞行器在保障高安全、高环境适应性的基础上，持续朝向更长续航里程、更多有效载荷等方向发展，以此来降低成本、拓展应用场景。轻量化、高安全的低空

飞行器，对碳纤维复合材料、玻璃纤维复合材料、特种工程塑料等需求持续提升。

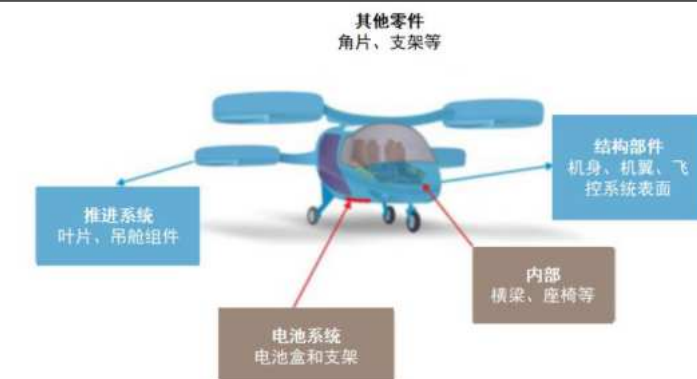
图58: 复合材料在 eVTOL 不同部位应用占比



资料来源：新材料公众号，Stratview Research，国信证券经济研究所整理

碳纤维等复合材料性能突出，是低空飞行器的核心材料。碳纤维复合材料具有高强度、耐腐蚀、抗疲劳、低密度、可设计性强等优势，可以显著优化低空飞行器的载荷能力和续航里程，并提升复杂环境适应度。玻璃纤维复合材料具有成本低、耐腐蚀、耐高低温等特点，常用于雷达罩、整流罩、窗户等结构中。机身、机翼、桨叶等结构件中，碳纤维复合材料占比达 75-80%，较传统金属材料减重 40%以上。

图59: 碳纤维复合材料在 eVTOL 中的应用



资料来源:中国复合材料工业协会，国信证券经济研究所整理

碳纤维根据强度不同可分为通用级与高性能级：1）通用级（如 T300）：抗拉强度约 3.5GPa，模量约 230GPa，主要用于体育用品、建筑加固等领域，技术门槛较低，国内产能充沛。2）高性能级：中强型（如 T700）：抗拉强度 4.8-5.5GPa，模量 270-290GPa，用于风电叶片、压力容器等，国内已实现规模化量产。高强型（如 T800）：强度 5.5-6.0GPa，模量 290-300GPa，主要用于航空航天、高端装备，国内华阳、东华能源等企业已实现量产，目前正处于产能扩阶段；超高强型（如 T1000、T1100）：强度 6.0GPa 以上，用于大飞机关键部件等；海外企业处于量产领先地位。

表7: 碳纤维材料分类

型号	抗拉强度 /MPa	拉伸模量 /GPa	失效应变	密度 /g/cm³	单丝直径 /μm	丝束	优势	主要领域
T300	3530	230	1.50%	1.76	7	1K、3K、6K	性价比高、工艺成熟	民用工业、体育器材

T700	4900	230	2-2.1%	1.8	7	6K、12K、24K	强度与成本平衡	航空主结构、能源装备
T800	5490-5880	294	1.9-2%	1.8-1.81	5	6K、12K、24K	高模高强综合性能	航天军工、精密工业
T1100	7000	324	2.00%	1.79	5	12K、24K	极限强度与轻量化	尖端国防、未来科技

资料来源：日本东丽官网，国信证券经济研究所整理

低空飞行器主要使用 T700 及以上高性能碳纤维品种。为保证 eVTOL 的有效载重能力以及整体安全性，目前低空飞行器多使用 T700 及以上碳纤维，以峰飞航空“盛世龙”eVTOL 为例，其机身采用 T800 级碳纤维后，空机重量较铝合金设计降低 35%，有效增加载重能力。目前，亿航智能、小鹏汇天、万丰奥威、Joby 等国内外企业均在低空飞行器中加快碳纤维等复合材料的实际应用与落地。

表8：海内外部分企业碳纤维复合材料应用情况

公司	产品	应用
亿航智能	EH216-S, AAV	机身结构采用碳纤维材料
广汽集团	GOVY AirJet	整机结构超过 90% 使用碳纤维复合材料
峰飞航空	盛世龙	使用碳纤维复材一体成型技术
时的科技	E20	使用碳纤维材料
小鹏汇天	旅航者 X2	全机身采用碳纤维，旋翼桨叶运用碳纤维环氧树脂基材料
空客	Zephyr	采用碳纤维复合材料机身
Joby	S4	使用碳纤维材料

资料来源：各公司官网，国信证券经济研究所整理

海外企业碳纤维布局领先，国内企业加速突破。目前国内低性能 T300 碳纤维产能充沛，但是高性能碳纤维由日本与美国企业主导，2024 年国内碳纤维总产能中高性能品种（T800 及以上）占比不足 10%。近年来，国内碳纤维企业如吉林化纤、中复神鹰、光威复材等企业正加速产能和先进技术布局。技术上，2025 年 11 月华阳集团 T1000 级碳纤维项目投产、标志着国产高性能碳纤维规模化量产实现关键性突破。产能保障上，国内企业纷纷扩产高端产能，国产化率有望逐渐提高。

表9：国内碳纤维产能建设情况

厂商	扩展项目详情	扩产产品及应用领域
中复神鹰	连云港 年产 3 万吨高性能碳纤维项目，总投资 59.62 亿元	中小丝束 (T700/T800 级)，高强/中模，中高端，可用于航空航天、风电叶片、压力容器
光威复材	威海拓展 2600 吨原丝+包头二期 6000 吨碳丝，总投资 21 亿元	中小丝束 (T700S/T800S)，高强/中模，工业级/民用，可用于风电、光伏、压力容器
吉林化纤	1.2 万吨碳纤维复材项目，总投资 16 亿元	大丝束 (25K/35K/50K)，低成本/工业级，中低端，主要用于风电叶片、体育休闲
中简科技	四期 2000 吨高性能碳纤维项目，总投资 14.02 亿元	小丝束 (ZT7/ZT9H 系列)，高强/高模，高端，用于航空航天（高端军用作主）

资料来源：各公司官网，国信证券经济研究所整理

低空飞行器对碳纤维材料强度和综合性能具有较高要求，是企业持续突破的方向。低空飞行器的核心承力部件对于材料强度要求高，同时复杂的工况环境对于极端环境适配性亦提出更高需求。加快高性能产品研发与国产化，并针对低空场景开拓出定制化的产品方案，将是企业努力的方向。

表10：国内企业碳纤维材料在低空飞行器的布局

企业	低空飞行器领域相关布局
光威复材	光威复材积极布局低空领域，持续推进技术创新与应用发展，开发碳纤维多项产品。公司 GW300 碳纤维成为中国商飞直签的首个碳纤维 PCD，参与配套的 RX4E 锐翔四座电动飞机获中国民航局型号合格证。

中简科技	公司是我国航空航天用高端碳纤维核心供应商，具备高强型 ZT7 系列、ZT8 系列、ZT9 系列和高模型 ZM40J 石墨纤维工程产业化能力。其中，ZT7 系列碳纤维产品在航空、航天领域已实现多年稳定批量应用。
吉林化纤	吉林化纤是国内少数掌握碳纤维原丝规模化稳定生产的高新技术企业，与小鹏汇天、亿航智能、大疆等企业达成合作，构建“飞行汽车+无人机”双轮驱动格局。
中复神鹰	2025 年 5 月，公司在 UASE 展会上发布高性能碳纤维产品及无人机领域创新解决方案，产品可应用在无人机支架、桨叶等构件及转子、刹车盘、方向盘等汽车、飞行汽车相关部件中。
精工科技	公司提供碳纤维生产全套装备，投资亿维特，并与之合作。公司将充分链动在高端制造积累的深厚精密加工实力、高度集成的系统解决方案供应能力与碳纤维研发生产技术，与亿维特共同推进电动垂直起降飞行器的量产化进程。

资料来源：各公司公告，国信证券经济研究所整理

碳纤维市场空间展望：假设到 2027-2028 年左右，国内 eVTOL 适航取证顺利、单年交付量超 1 万台时；假设单台 eVTOL 平均碳纤维用量为 300kg，单价为 500 元/kg，对应需求量超 3000 吨、市场规模超 15 亿元。

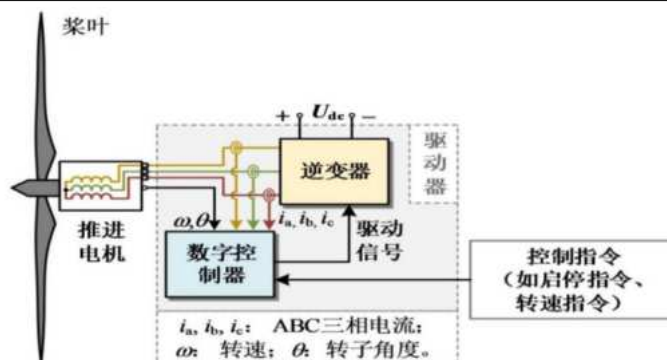
伴随国内企业 T1000 级别等碳纤维产能在 2026 年陆续批量供应，高端产品国产化将进一步优化 eVTOL 成本、加快产业化进展。

1.2.2 电推进系统：低空飞行器的核心动力来源

2024 年工信部等多部委印发的《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030 年）》提出，航空飞行器的新能源化为未来的主要技术方向，重点任务要以电动化为主攻方向，兼顾混合动力、氢动力、可持续燃料动力等技术路线。故而低空飞行器目前多采用电推进系统作为动力来源。

低空飞行器多采用分布式电推进系统（DEP）。低空飞行器的电推进系统主要由电机、电机控制系统（电控）、桨叶等构成。电机用于提供垂直起降和飞行期间的动力。电控则根据飞行器的飞行指令和姿态信息，实时调整各电机的输出。目前低空飞行器多采用分布式电推进系统（DEP），即采用多台小型电动机分别驱动螺旋桨或涵道风扇，取代传统集中式发动机。该方案的优势在于采用分布式设计提高方案冗余度与各电机独立性，提升可靠性；优化空气动力学性能、提升飞行效率；增强操控性并提升设计灵活度。

图 60：飞机电推进系统基本架构



资料来源：王志强、徐梓桁、张卓然，《飞机电推进系统高效能电机及其驱动控制技术》，航空动力学报，2024，39(3)：511-524，国信证券经济研究所整理

电动航空电机具有显著的技术壁垒：

1) 高功率密度：功率密度决定了飞行器的有效载荷能力，高功率密度电机能够大幅减小推进系统尺寸和噪声，提高推进效能并保证安全冗余度。

2) 高扭矩密度：扭矩密度决定了飞行器在起飞、爬升、巡航过程中的顺利驱动。高扭矩密度能够使得电动机在较小空间内短时间提供强大的动力，满足飞机在各个飞行过程中的需要。

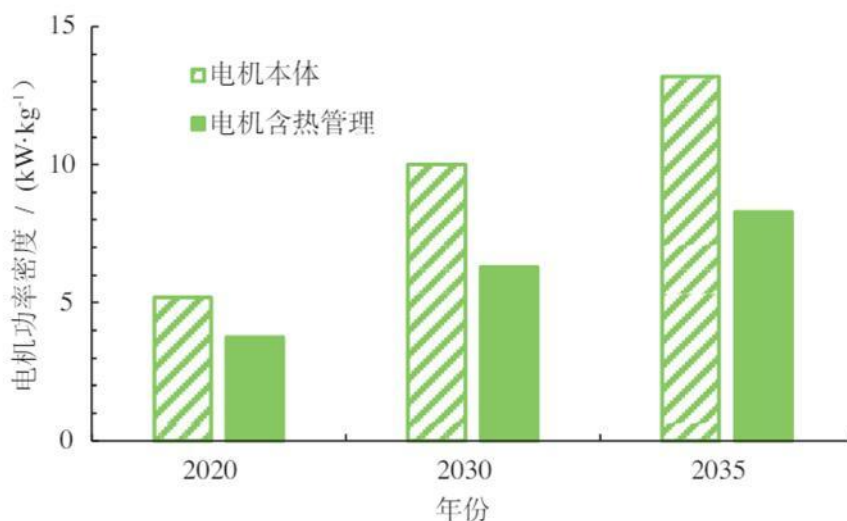
3) 高可靠性与环境适应性：航空级电机应用的环境复杂，需要具备耐高温、抗电磁干扰、抗振动等能力。同时，航空级电机需要具备更高的安全系数，以便在紧急情况下要能够进行冗余输出保障安全。

表11：部分航空电机与汽车电机性能对比

电机类型	REB 90	YASA-750	EMARX268	车用主流电驱
用途	电动飞机	电动飞机	电动飞机	汽车
转速 (r/min)	4000	3250	4000	
额定功率 (kW)	80	200	400	200
额定扭矩 (N·m)	300	780	1000	335
质量 (kg)	23	37	43	34
功率密度 (kW/kg)	3.47	5.4	9.3	5.9
扭矩密度 (N·m/kg)	13.04	21.4	23.26	9.85
效率		95.00%	98.00%	95.50%

资料来源：Yang X-G, Liu T, Ge S, Rountree E, Wang C-Y. Challenges and key requirements of batteries for electric vertical takeoff and landing aircraft. Joule. 2021, 国信证券经济研究所整理

图61：飞行汽车电机功率密度发展趋势



资料来源：张扬军, 钱煜平, 诸葛伟林, 等. 飞行汽车的研究发展与关键技术 [J]. 汽车安全与节能学报, 2020, 国信证券经济研究所整理

电机市场空间展望：假设到 2027-2028 年左右，国内 eVTOL 适航取证顺利、单年交付量超 1 万台时；假设单机电机价值量超 50 万元，对应市场空间超 50 亿元。

1.2.3 能源系统：纯电为主、混动为辅的格局

低空飞行器的能源系统包括纯电系统、混动系统等多种。纯电系统利用先进的电池技术和高效电机，帮助飞行器实现低排放飞行，其动力主要来源于锂电池、氢燃料电池等。纯电系统的核心优势在于：1) 分布式推进系统的设计使得纯电低空飞行器设计更加灵活、提升空间利用率。2) 由电池进行动力供应，飞行器运行过程中噪音低且能够实现低排放。纯电方案的不足之处在于目前三元高镍锂电池能量密度在 280-320Wh/kg，在有限空间下难以支撑飞行器长航程、大运载需求。

混动系统则是通过传统的燃油发动机带动发电机发电，为分布在机翼或机体上的多个电动机提供电力，并由电动机驱动螺旋桨提供全部或大部分推力。一方面直接驱动电动机推进飞行器，另一方面为电池组充电以应对高功率需求场景。混动系统的核心优势在于：1) 续航里程长，且燃油发动机可随时补充动力、极大程度缓解里程焦虑。2) 双动力源架构提供了冗余保障，在某一动力源出现故障时，另一动力源可作为独立应急电源，提高飞行的安全性与可靠性。混动系统的不足之处在于噪音大、排放高、系统复杂度较高等。

低空飞行器或将呈现纯电为主，混动为辅的格局。2024 年工信部等多部委印发的《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030 年）》提出，航空飞行器的新能源化为未来的主要技术方向，重点任务要以电动化为主攻方向，兼顾混合动力、氢动力、可持续燃料动力等技术路线。

能源方案因场景需求而异，纯电方案在旅游观光、物流末端配送等领域具有明显优势。纯电方案优势场景包括：1) 续航里程要求较低、舒适性经济性要求高的旅游观光场景。2) 安全性灵活性要求高、噪音需较低的物流末端配送场景。3) 城市内客运场景等。如亿航智能开发的纯电无人驾驶载人飞行器 EH216-S，应用场景瞄向空中出租车服务、空中观光、机场接驳等。时的科技开发的纯电飞行器 E20 已获得来自景区运营商、民营通航公司等多家客户意向订单，并有望在低空旅游和空中的士等场景实现应用。

混动方案优势场景包括：1) 城市内客运及城际间客运场景。2) 时效性要求高的长距离运输场景等。3) 可靠性要求高、续航要求高的应急救援与特种作业等场景。如追梦空天开发的混动飞行器 DF600 应用场景瞄向通信中继、物资运输等场景。蓝霄航空开发的混动飞行器 LX-1 未来将主要用于城市物流、应急救援、远程运输等多场景。

表12: 纯电&混动 eVTOL 对比

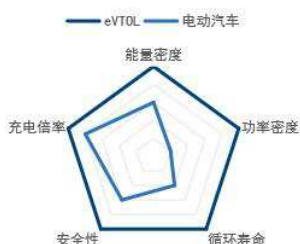
动力类型	公司（国家）	型号	最大航程（km）	应用场景
纯电	亿航（中国）	EH-216S	35	城市接驳、短途空中观光
	小鹏汇天（中国）	旅航者 X2	75	城市接驳
	沃兰特（中国）	VE25-100	200	城市接驳、物流运输、短途空中观光
	时的科技（中国）	E20	200	城市接驳
	吉利沃飞（中国）	AE200	200	城市接驳、物流运输、短途空中观光
	Volocopter（德国）	VoLocity	35	城市接驳、物流运输
	Joby Aviation（美国）	Joby-S4	241	城市接驳、物流运输、短途空中观光
	Archer（美国）	Midnight	161	城市接驳、物流运输
混动	牧羽航空（中国）	MY-ABC	1500	城市物流、应急救援、远程运输

天翎科（中国）	INFLYNC L600 Pioneer	600	空中物流、应急救援、远程运输
追梦空天（中国）	DF600	1000	通信中继、物资运输
蓝霄航空（中国）	LX-1	1000	空中物流、应急救援、远程运输
Elroy Air（美国）	Chaparral C1	483	空中物流
PAL-V（荷兰）	Liberty	1315	应急救援、远程运输

资料来源:李松.飞行汽车发展研究和应用场景分析[J].汽车文摘,2024.;张卓然,于立,李进才,等.飞机电气化背景下的先进航空电机系统[J].南京航空航天大学学报,2017;中国航空工业发展研究中心《新能源飞行器发展白皮书(2024)》,国信证券经济研究所整理

- **eVTOL 的各项关键性能指标均与动力电池的性能强相关，电池系统的能量密度、安全性、快充能力和循环寿命影响了飞行汽车的大多数关键性能，尤其是电池系统的能量密度，直接决定了航程、有效载重、能量效率、经济性和环境影响等关键指标。**
- **能量密度：**目前 eVTOL 电池为 285Wh/kg，比新能源汽车三元电池 (200Wh/kg) 高出四成，是铁锂电池 (140Wh/kg) 的两倍。即便如此，285Wh/kg 的性能指标还尚不能满足要求，远低于航空燃油比能量（约 12166Wh/kg），只能满足小型全电飞行器短程飞行需求。
- **热功率：**eVTOL 电池系统的产热功率比电动乘用车高 1~2 个数量级，因此对于储能系统的安全要求相比地面车辆会高得多，需确保电池系统在高功率运行和快充过程中的高效散热，甚至高空飞行时的保温效果。
- **充电倍率与放电速率：**eVTOL 电池的瞬间充放电倍率须在 5C 以上，而乘用车动力电池在倍率性方面仍处在从 1.3C-1.7C 向 1.7C-2.5C 的迈进阶段。eVTOL 电池平均的放电速率是 1C，而电动汽车在高速上行驶平均功率是 0.3C。
- **峰值电流功率损耗：**在飞行汽车起飞和着陆阶段，电芯会经历超过 5C 的峰值电流，在电池系统侧产生约 10% 的功率损耗，而电动乘用车仅损耗约 4%，考虑电池老化后功率损耗将会加剧。

图 62: eVTOL 和电动汽车电池性能对比



资料来源:邓景辉,《电动垂直起降飞行器的技术现状与发展》,航空学报,2024,45(05):55-77,国信证券经济研究所整理

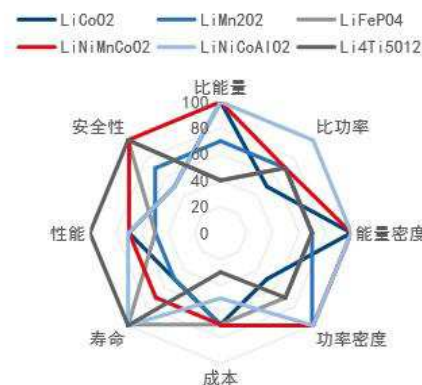
图 63: eVTOL 电池的参数要求

指标	参数
能量密度	目前已达285Wh/kg, 2030年目标500Wh/kg, 2040年目标1000 Wh/kg
功率密度	2030年目标1.25kW/kg, 2040年目标2.5kW/kg
充电倍率	≥5C
循环次数	≥10000次

资料来源:高工产研锂电研究所,国信证券经济研究所整理

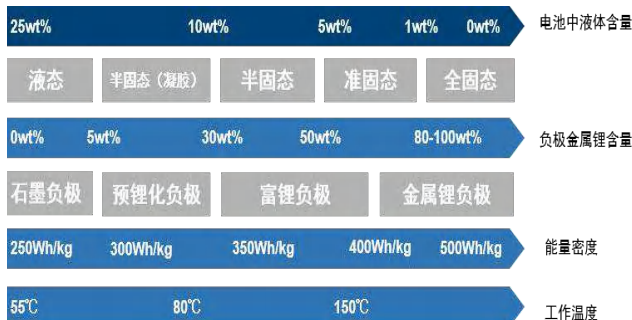
锂电池是纯电飞行器的主流能源系统，对性能提出更高要求：1) 高能量密度：eVTOL 需要更高能量密度电池来降低自身负重，以此提升续航里程和载客空间。目前，高镍三元电芯能量密度在 280-320Wh/kg。而《通用航空装备创新应用实施方案(2024-2030 年)》提出要推动 400Wh/kg 级航空锂电池产品投入量产，实现 500Wh/kg 级航空锂电池应用验证。

图64: 主流锂离子电池性能对比



资料来源：邓景辉，《电动垂直起降飞行器的技术现状与发展》，航空学报，2024，45(05):55-77，国信证券经济研究所整理

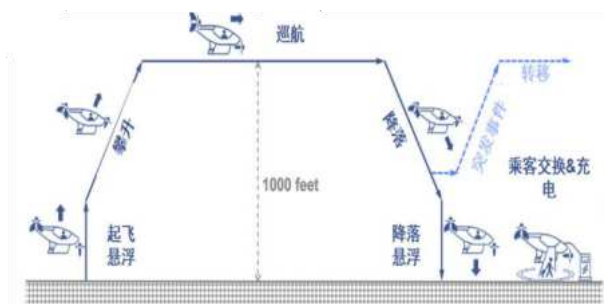
图65: 锂电池技术发展路径



资料来源：前瞻产业研究院，国信证券经济研究所整理

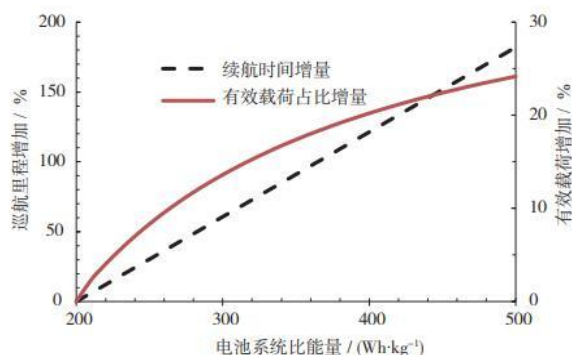
2) 高安全性：飞行器放电倍率提升，产热也会相应增加，为保障飞行安全性，对于电池及相应热管理系统提出更高要求。同时，锂电池还需要具有较强的隔热扩散与控制能力，以保障在发生飞行事故情况下允许飞行器安全着陆。

图66: 一次典型的 eVTOL 飞行过程



资料来源：Guang X Y, Teng L, Shanhai G, et al. Challenges and key requirements of batteries for electric vertical takeoff and landing aircraft [J]. Joule, 2021, 国信证券经济研究所整理

图67: 动力电池能量密度与飞行汽车有效载荷及航程



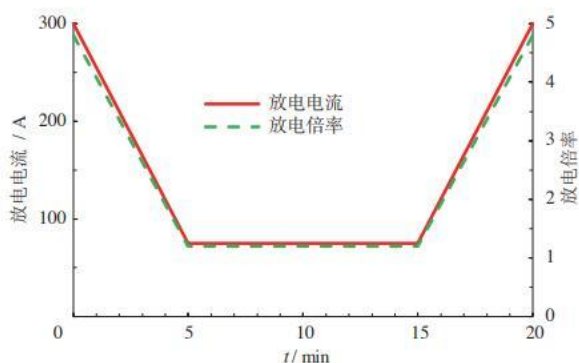
资料来源：张杨军, 钱煜平, 诸葛伟林, 等. 飞行汽车的研究发展与关键技术 [J]. 汽车安全与节能学报, 2020, 国信证券经济研究所整理

3) 高倍率：根据《低空航空器动力电池技术路线图（2025 版）》，eVTOL 为保障起飞、巡航、悬停等复杂飞行动作与系统失效时安全着陆的需求，电池系统需支持 4C 持续放电与 8C 峰值放电。此外，对于混动飞行器来说，飞行过程主要通过航空燃油来进行动力供应，电池则主要在起降及紧急情况下提供功率补充，电池功率要求较纯电飞行器进一步提升。

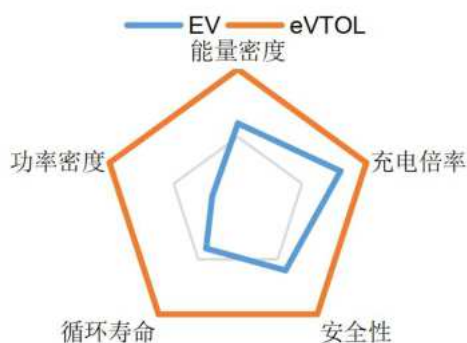
4) 可观的循环寿命：低空飞行器电池的寿命应超过 1200 次，以保障经济性与更换频率，降低全生命周期运营成本。

图68: 飞行汽车城市空中交通典型工况动力电池电流输出及放电倍率

图69: EV 与 eVTOL 用电池性能对比



资料来源：张扬军，钱煜平，诸葛伟林，等. 飞行汽车的研究发展与关键技术 [J]. 汽车安全与节能学报, 2020, 国信证券经济研究所整理



资料来源：邓景辉. 电动垂直起降飞行器的技术现状与发展 [J]. 航空学报, 2024, 国信证券经济研究所整理

锂电池目前在低空飞行器中应用的核心挑战在于：1) 能量密度较低、续航能力有限：现有电池方案能够支撑 eVTOL 等飞行器的续航里程普遍在 50-200km，仍存在一定局限性。2) 安全性与可靠性面临多维挑战：目前液态电池方案所采用的材料体系本征稳定性差、安全窗口窄，仍需提升在航空复杂环境的环境适应性和稳定性。3) 补能方案仍需优化：航空动力电池 SOC 常用工作区间通常为 30% - 98%；在高 SOC 范围内电池的充电速度显著下降，影响补能效率，进而对于低空飞行器的运营效率产生影响。

图70：电动垂直起降航空器和电动固定翼航空器动力电池技术路线

航空器类型	电池	2025年	2027年	2030年	2035年
电动垂直起降航空器	系统	- 投入量产 - 安全：热失控不蔓延 - 能量密度：220Wh/kg - 放电倍率：3C - 循环寿命：1200dc - 应用验证 - 能量密度：200 Wh/kg	- 投入量产 - 安全：热失控不蔓延 - 能量密度：300Wh/kg - 放电倍率：3C - 循环寿命：1500dc - 应用验证 - 能量密度：300 Wh/kg	- 投入量产 - 安全：热失控不蔓延 - 能量密度：350Wh/kg - 放电倍率：4C - 循环寿命：1500dc - 应用验证 - 能量密度：400 Wh/kg	- 投入量产 - 安全：热失控不蔓延 - 能量密度：400Wh/kg - 放电倍率：4C - 循环寿命：1800dc - 应用验证 - 能量密度：500 Wh/kg
	电芯	- 投入量产 - 能量密度：310Wh/kg - 放电倍率：3C - 循环寿命：1500dc - 应用验证 - 能量密度：370 Wh/kg	- 投入量产 - 能量密度：370Wh/kg - 放电倍率：3C - 循环寿命：1800dc - 应用验证 - 能量密度：420 Wh/kg	- 投入量产 - 能量密度：420Wh/kg - 放电倍率：4C - 循环寿命：2000dc - 应用验证 - 能量密度：500 Wh/kg	- 投入量产 - 能量密度：500Wh/kg - 放电倍率：4C - 循环寿命：2500dc - 应用验证 - 能量密度：700 Wh/kg
电动固定翼航空器	系统	- 投入量产 - 安全：热失控不蔓延 - 能量密度：250Wh/kg - 放电倍率：2C - 循环寿命：1200dc - 应用验证 - 能量密度：300 Wh/kg	- 投入量产 - 安全：热失控不蔓延 - 能量密度：300Wh/kg - 放电倍率：2C - 循环寿命：1200dc - 应用验证 - 能量密度：400 Wh/kg	- 投入量产 - 安全：热失控不蔓延 - 能量密度：400Wh/kg - 放电倍率：2C - 循环寿命：1800dc - 应用验证 - 能量密度：500 Wh/kg	- 投入量产 - 安全：热失控不蔓延 - 能量密度：500Wh/kg - 放电倍率：2C - 循环寿命：1800dc - 应用验证 - 能量密度：600 Wh/kg
	电芯	- 投入量产 - 能量密度：310Wh/kg - 放电倍率：2C - 循环寿命：1200dc - 应用验证 - 能量密度：400 Wh/kg	- 投入量产 - 能量密度：400Wh/kg - 放电倍率：2C - 循环寿命：1500dc - 应用验证 - 能量密度：500 Wh/kg	- 投入量产 - 能量密度：500Wh/kg - 放电倍率：2C - 循环寿命：1500dc - 应用验证 - 能量密度：500 Wh/kg	- 投入量产 - 能量密度：700Wh/kg - 放电倍率：2C - 循环寿命：1300dc - 应用验证 - 能量密度：750 Wh/kg

资料来源：工信部装发中心《低空航空器动力电池技术路线图（2025 版）》，国信证券经济研究所整理

固态电池有望在低空飞行器领域实现应用，解决续航、可靠性等核心痛点。全固态电池的核心优势在于：1) 目前全固态电池样品能量密度多集中在 400Wh/kg 左右，将来有望突破 500Wh/kg、较传统液态电池能够提升超 50%。更高的能量密度能够帮助飞行器实现更长的续航里程。2) 全固态电池安全性能更高。

固液混合电池已经在新能源车、低空飞行器等领域实现小批量应用。2025 年，北汽福田推出固液混合电池重卡，上汽推出新一代搭载固液混合电池版本的 MG4，

固液混合电池在车端逐渐实现应用。全固态电池目前正处于加速研发阶段，国内主流动力电池企业纷纷推出全固态电池样品，并规划搭建中试线，其凭借电化学性能优势有望在车端、机器人以及低空飞行器领域实现渗透。

中国电池企业技术全球领先，主导固态电池行业发展。国内主流动力电池企业依托在电动汽车市场积累的技术实力与成本优势，正快速切入 eVTOL 赛道。宁德时代、亿纬锂能、中创新航等企业已经推出 eVTOL 专用动力电池。目前电池企业多将固液电池方案应用于低空飞行器中。

表13: 低空领域动力电池企业布局情况

企业	eVTOL 用电池产品	能量密度	eVTOL 领域合作情况
宁德时代	凝聚态电池：2023 年 4 月正式发布，2025 年批量生产	凝聚态电池超 500Wh/kg	2024 年，宁德时代与亿航智能达成深度合作，联合开发适配 EH216-S eVTOL 的定制化电池包。2025 年初，宁德时代推出“低空动力解决方案”，目前已与小鹏汇天、峰飞航空等 10 余家 eVTOL 厂商达成合作。
亿纬锂能	“龙泉二号”全固态电池计划 2026Q2 量产	能量密度达 300Wh/kg，体积能量密度 700Wh/L。	2025 年 3 月，公司获小鹏汇天下一代原理样机低压锂电池定点开发通知书，同年 9 月发布“龙泉二号”全固态电池面向低空飞行器等领域，次月签约沈阳重明航空，重点攻克航空电源轻量化与可靠性瓶颈。
欣旺达	2025 年初推出“欣·云霄 1.0”航空动力电池，已量产并搭载百公斤级飞行器。年中，推出第二代“软”固态“欣·云霄 2.0”	1.0 版能量密度达 320Wh/kg，2.0 版能量密度达 360Wh/kg	2025 年 4 月与航天飞鹏达成战略合作，为其 FP-981C “射手座” eVTOL 提供高性能电池；2025 年 11 月，欣旺达宣布与尚飞航空合作，双方聚焦 eVTOL 电源系统业务，助力尚飞航空核心机型的适航验证与商业化落地。
欣界能源	公司已推出“猎鹰”锂金属固态电池。2026 年 1 月其 2GWh 固态圆柱电池产能投产。	能量密度达 480Wh/kg，系统能量密度超 300Wh/kg	已为亿航 216 系列 eVTOL 供应固态锂金属电池，后者完成全国首例无人驾驶载人航空器跨海峡飞行。
中创新航	公司已推出“顶流高能-超级飞行电池”，该固液混合电池计划于 2026 年正式应用，可为 8 吨级 eVTOL 提供动力	能量密度达 350Wh/kg	已为广汽旗下广东高域 Aircab 提供动力支持；与览翌航空达成战略合作，共同推动 eVTOL 电源系统标准化，致力于降低行业应用成本。

资料来源：各公司官网，高工锂电，维科锂电，山东省新型储能制造业促进会，国信证券经济研究所整理

全固态电池短期在性能、成本上仍存在不足，企业正加速研发攻关、2026-2027 年全固态电池有望实现小批量试产。目前全固态电池能量密度多在 400Wh/kg 左右，循环寿命在 1000 次以内，倍率性能表现一般，电池成本显著高于 3 元/Wh；距离商业化应用仍存在一定距离。企业正通过对固态电解质、正负极材料配方、形貌等进行修饰和优化，并搭配设备端的针对性研发调整，改善固固界面接触问题，持续提升产品性能。预计宁德时代、比亚迪等企业有望在 2026-2027 年完成固态电池产线的搭建以及产品的小批量生产。

表14: 部分企业固态电池量产规划

动力电池企业	技术路线	量产节点
宁德时代	硫化物、凝聚态	预计 2027 年有望实现小批量生产。
卫蓝新能源	氧化物、聚合物	固液混合电池已量产，计划 2027 年左右实现全固态电池量产。
中创新航	硫化物	计划 2027 年小批量装车。
国轩高科	硫化物、氧化物+聚合物	计划 2026 年推进示范应用，2027 年小批量出货。
亿纬锂能	硫化物、氧化物、卤化物	公司 2025 年完成固态电池中试线建设。2026 年实现生产工艺突破，推出能量密度 350Wh/kg 和 800Wh/L 的全固态电池 1.0 产品；2028 年推出 1000Wh/L 以上的高比能全固态电池 2.0 产品。
蜂巢能源	聚合物；硫化物	目前蜂巢能源已建成全球最大的 2.3GWh 固液混合专用产线，2027 年完成爬坡并批量交付。
比亚迪	硫化物	2027 年左右，启动全固态电池批量示范装车应用。
瑞浦兰钧	氧化物	瑞浦兰钧计划 2026-2027 年实现全固态电池小批量生产，目标能量密度超过 400Wh/kg，应用于乘用车及低空飞行器等领域。

资料来源：各公司官网，高工锂电，鑫椤锂电，国信证券经济研究所整理

eVTOL 动力源将呈现液态电池—半固态电池—全固态电池的路线演进。目前锂离子电池能量密度可以满足 eVTOL 初步商业化运行，固态电池体系可以显著提高航空级电池的能量密度，并且在安全性和循环寿命方面均有所提升，行业实现规模化商用必定伴随着动力源的技术突破。

换电等补能手段的优化，亦将加快低空飞行器产业发展。锂电池单一体系的能量密度与补能速度往往不可兼顾，如固态电池在能量密度方面具有显著优势、但其在充放电能力方面则表现相对一般。而换电方式则能够显著缓解充电速度慢现状。如英武智能研发出全球首款可换电可折叠超轻型 eVTOL，该机型可实现 3 分钟换电，半固态电池续航 30 分钟。

表15：不同补能模式对比

	换电模式	快充模式	慢充模式
充电时间	3-10 min	15-30 min	6-10 h
电池寿命	可定期对充电电池进行维护保养，提高电池的寿命	直流快充使电池寿命短	正常电流充电，对电池寿命影响小
电网负担	充电功率低，低谷充电，电网影响小	强电流加大电网负荷，电网冲击大	充电功率低，低谷充电，电网影响小
充电成本	成本较低（低谷充电）	成本较高（高峰充电）	成本较低（低谷充电）
消费者体验	体验较好，缓解充电焦虑	体验较好，等待时间短	体验较差，排队时间长
购车成本	租赁电池，降低购车成本	购买电池，提高购车成本	购买电池，提高购车成本

资料来源：聂规划, 刘畅, 郭萌. 电动汽车充换电服务模式研究[J]. 武汉理工大学学报(社会科学版). 2018, 31 (03) : 68-73, 国信证券经济研究所整理

电池市场空间展望：假设到 2027-2028 年左右，国内 eVTOL 适航取证顺利、单年交付量超 1 万台时；假设单机带电量 200kwh、固液混合电池单价为 1 元/Wh，对应市场空间约为 20 亿元。

伴随全固态电池在 2026-2027 年产品的持续优化与开始进入商业化，eVTOL 续航能力后续将会显著提升、并加快其产业应用的进展。

1.2.4 飞控系统：飞行器的“神经中枢”

飞控系统主要承担航迹规划、姿态控制和飞行增稳等核心功能。飞行控制系统主要由电源模块、控制模块、传感器模块、执行器模块构成。飞控系统是用以全部或部分地代替飞行员控制和稳定飞机的运动，并能改善飞行品质的反馈控制系统。飞控系统的核心功能在于：1) 航迹规划：支持自主起降、航点导航、返航及任务路径规划等。2) 姿态控制与飞行增稳等：通过处理传感器数据，实时计算并生成控制指令，实现飞行器姿态稳定、悬停、巡航等。

- 飞控系统组成一般可以分为四个子系统，包括计算机子系统、作动子系统、传感器子系统和控制显示子系统（无人机该功能由地面站完成）。飞控系统工作时，1) 驾驶员的操纵指令通过数据总线发送到飞控计算机，同时飞控计算机也接收来自惯导和大气数据传感器等传感器的姿态、角速度、加速度和大气数据等信号（图中黄色部分）；2) 飞控计算机对接收的信号进行循环冗余校验、完整性校验和信号表决后，用于控制律的计算，并将作动指令发送到航机控制电子器件（图中橙色部分）；3) 航机控制电子器件控制对应的舵

机/舵面运动，实现飞行控制（图中蓝色部分）。

- 冗余技术提高飞控系统可靠性和安全性。根据交通运输部颁布的《运输类飞机适航标准》第 25.1309 条，运输类飞机上的设备、系统及安装（包括飞控系统），其灾难性事故概率需低于 10^{-9} /飞行小时。而单系统的飞控可靠性有限，最多可以做到灾难性事故率小于 10^{-5} /飞行小时，为了进一步提高系统的可靠性，就需要通过增加冗余，即构建多余度的飞控系统，并在不同飞控计算机之间建立内部数据交互和投票机制。此外，建立异构的多余度飞控计算机可以进一步降低整套系统的故障率。

图71：飞控系统构成



资料来源：Leaderobot，国信证券经济研究所整理

图72：飞控系统承担航迹、姿态控制等功能



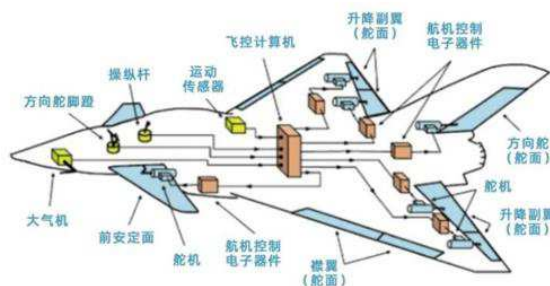
资料来源：边界智控，国信证券经济研究所整理

eVTOL 的自动飞行系统功能划分与传统民用飞机大致相同，决策计算都是通过飞管系统和飞控系统协同实现的。然而，由于 eVTOL 在运营场景、运营成本和飞机本体等方面具有其特殊性，其自动飞行系统的设计面临不小的挑战，包括：

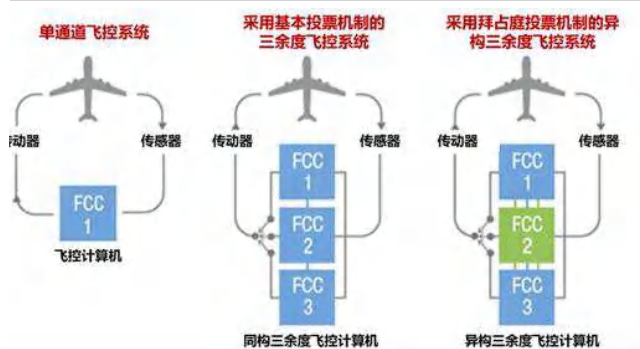
- 同等级的安全要求：对于用于载人低空出行用途的 eVTOL，以 EASA 为代表的局方要求机载电子系统将参考 25 部适航条款进行适航取证，保证整机的灾难性事故概率小于 10^{-9} 。
- 低运营成本的追求：为了适应未来低空出行常态化的需求，运营成本问题至关重要。在实现无人驾驶之前，其运营成本主要体现在飞行员资质培训和航线使用相关业务上。大幅降低驾驶门槛、使用具备自动飞行功能的 eVTOL 是必然选择。
- 更小型的飞机：实现垂直起降和悬停的功能，使得 eVTOL 的重量和功耗受限于现有电池技术。因此，飞控和其他机载系统的轻量化、小型化和低功耗是设计上的一大挑战。
- 更复杂的构型和执行机构：eVTOL 自动飞行系统设计需考虑不同构型下飞行控制的实现形式。在静不稳定的旋翼构型和过渡构型下，增稳控制包含速度、过载和姿态控制，不再与传统的自动飞行控制系统（AFCS）和主飞行控制系统（PFCS）保持一致。
- 无人驾驶的趋势：作为代表未来的革命性航空产品，eVTOL 的设计还须考虑未来的无人驾驶需求，以满足更大规模的低空出行市场。

图73：基于电传操纵的飞控系统在飞机中分布示意图

图74：多余度飞控系统提高飞行可靠性

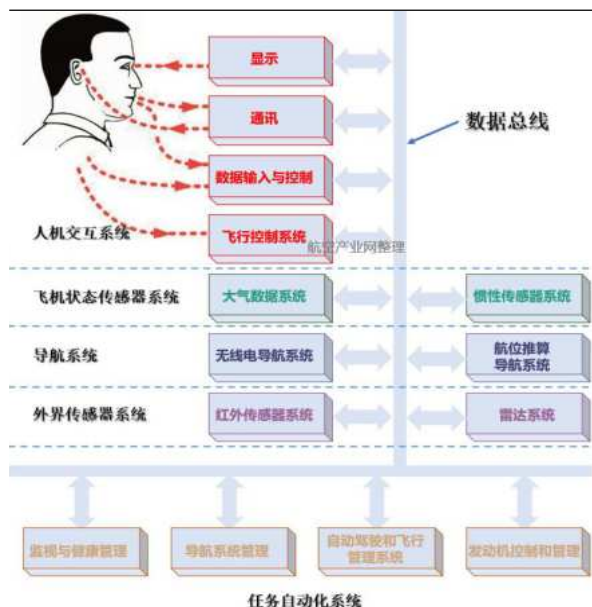


资料来源：边界智控，国信证券经济研究所整理



资料来源：边界智控，国信证券经济研究所整理

图75: 航电系统图解



资料来源：航空产业网，国信证券经济研究所整理

图76: 通用飞机航电系统基本功能需求

需求分类	功能描述
座舱飞行参数显示	大气、姿态、飞行计划、导航、发动机及机身传感器参数等信息
备份仪表显示	空速表、气压高度表、地平仪、磁罗盘等独立备份仪表显示
飞参采集	发动机、机电和传感器数据采集
通信	语音通信、机内通话、广播等功能
导航	地基无线电导航或卫星导航功能
监视	为管制台提供监视本机的航管应答功能
告警	飞机系统故障告警，包括灯光、显示、声音告警

资料来源：《通用飞机航空电子系统架构研究综述》，国信证券经济研究所整理

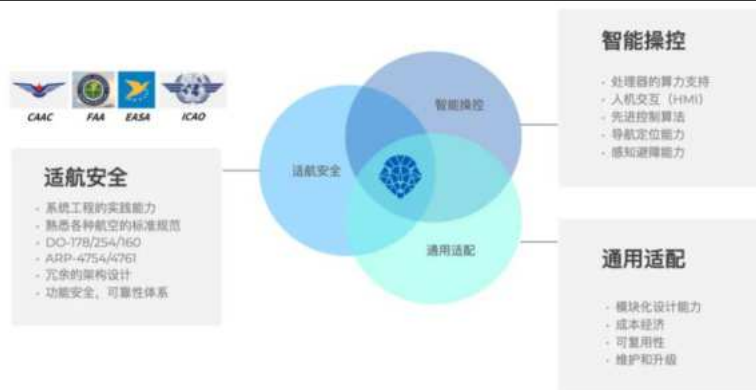
低空飞行环境、适航标准等与传统民航有所差异，对其飞控系统智能化、安全性以及普适性提出要求：

1) 适航安全: 新的适航标准需要飞控系统设计熟悉各种航空的标准规范; 功能设计要秉承安全性设计, 建立可靠性体系。同时, 飞控系统需要对低空飞行器飞行中可能存在的故障或突发因素进行模拟, 需要较多的数据进行支撑。

2) 智能操控：低空飞行面临复杂的飞行环境，需要更精确的导航定位、感知避障能力，传统导航方法受限，需要配备更先进的传感器实现高精度导航和飞行，未来智能感知融合将是低空导航系统的核心技术。操控方面，自主飞行、智能化操控，人机交互更为匹配。

3) 通用适配：传统民航飞行项目的研发方式通常是一个项目对应一套飞控和航电系统，开发和适配周期长；低空飞行项目下对模块化通用化设计、成本与经济性提出了更多的要求。

图 77: eVTOL 场景下飞控系统的挑战



资料来源：狮尾智能，国信证券经济研究所整理

民用航空飞控系统海外企业份额较高，无人机领域飞控系统多采用自研方式。无人机领域飞控系统多采用自研方式。消费级无人机飞控系统主要由高通、Skydio、Parrot、大疆等自主研发。工业级飞控产品起源于 PX4 或 Ardupilot 等开源平台，并针对特定需求和场景进行产品化。同时，3DR、大疆、Ascending Technology 等亦进行工业级飞控系统自研。在民用载人飞控场景下，Honeywell、Collins、Garmin、Thales 等企业市场份额稳居全球前列。国内企业如中国航天 618 所、边界智控、致导科技等企业正加速相应产品布局。

全球飞控系统市场集中度高。海外 eVTOL 飞控以第三方供应商为主。有别于国内产品策略上的百花齐放，目前海外的 eVTOL 市场上绝大多数主机厂都坚定地选择了城市内或城市间高安全等级客运级飞机的产品路线，这也使得这些主机厂大多选择与第三方飞控系统供应商合作。

- 霍尼韦尔 (Honeywell) 是行业龙头。当前市场占有率最高的飞控厂商是霍尼韦尔，其飞行控制系统采用 SV0 设计理念，将飞行控制功能和飞控架构与显示器、飞行管理、故障警告整合到一台计算机中，迈出综合式航电系统的第一步，飞控系统广泛应用于波音 787、商飞 ARJ21、商飞 C919、巴航工业 E170/190 等机型。2023 年霍尼韦尔宣布在新一代电动飞行器的 AAM 领域已经获超过 100 亿美金的订单，公开的客户有 Vertical、Lilium、Supernal 等。
- 海外飞控行业玩家背景强劲。除此之外，空客的飞控系统供应商泰雷兹也活跃在 eVTOL 市场，为巴航工业旗下的 EVE、日本 SkyDrive 等主机厂提供飞控系统。赛峰集团 24 年 6 月收购了柯林斯航空的飞控部门，并成为 Archer 的飞控系统供应商。美国航空巨头德事隆（塞斯纳和贝尔直升机的母公司）收购了德国初创公司 Amazilia Aerospace，将分别为德事隆旗下的蝙蝠飞机 Pipistrel 和贝尔直升机的 eVTOL 机型提供飞控系统。

图 78: 飞控系统海外公司基本情况

飞控厂商	客户	国家	公司概况
霍尼韦尔	Vertical、Lilium、Supernal 等	美国	全球最大的航空航天系统供应商之一，其产品应用于波音、空客、商飞等主流飞机制造商的机型，目前在 AAM 领域已经获得超过 100 亿 美金的订单。
泰雷兹	EVE、SkyDrive	法国	空客的飞控系统供应商
赛峰集团	Archer	美国	柯林斯航空的飞控部门，被赛峰集团收购
Amazilia Aerospace	Pipistrel、贝尔直升机	德国	顺丰于 2018 年在德国慕尼黑设立的子公司，专注于飞控系统的研 发，核心团队来自慕尼黑工业大学，后被美国航空巨头德事隆收购
Near Earth Autonomy	Volocopter	美国	美国自主飞行控制系统研发商，已实现军用直升机无人化改造

资料来源：边界智控公众号，势能资本，36 氪 Pro，狮尾智能公众号，昂际航电公众号，西安电子科技大学官网，吉林大学官网，国信证券经济研究所整理

飞控系统的国产化、智能化、集成化，是发展的必由之路。海外国家此前针对无人驾驶航空飞行器及其相关技术已经制定了严格的防扩散制度。而飞控系统是飞行器的神经中枢，对于产业安全具有重要影响，国产化是其发展必然趋势。国内飞控系统供应商主要包括传统老牌飞控系统供应商和一批新兴的飞控系统企业。传统老牌飞控供应商技术积累扎实，但产品价格较高，主要为中航工业 618 所等军工单位，以及北航、南航等高校科研院所。近年来，一批新兴民营飞控公司涌现，推出许多高性价比的 eVTOL 飞控产品，包括狮尾智能、边界智控、创衡控制、翔仪飞控等。例如边界智控已完成新一代符合民用航空高安全等级标准的三余度双通道飞控计算机的技术攻关和产品定型，成为国内首家进入适航审定阶段的高安全等级客运 eVTOL 型号的飞控系统供应商。

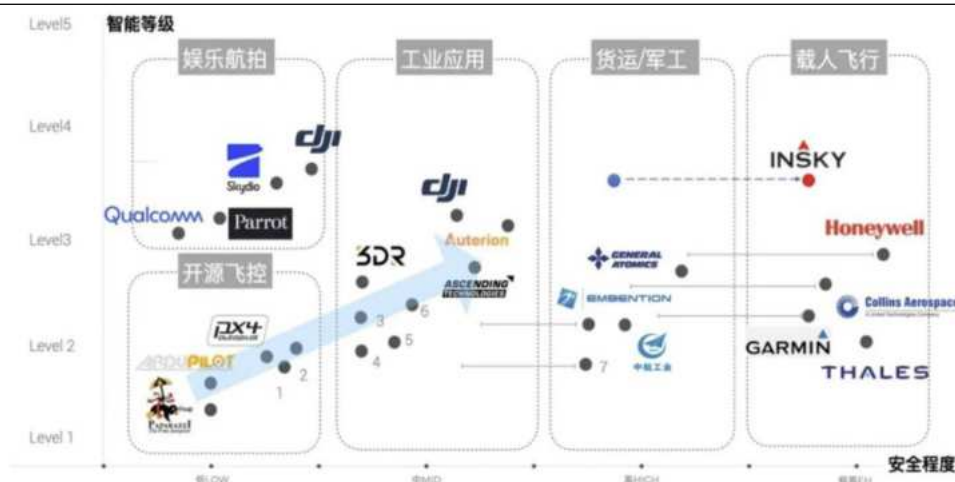
图 79：飞控系统国内公司基本情况

飞控厂商	客户	国家	公司概况
边界智控	广汽研究院、沃兰特以及亿维特等	中国	团队核心成员参与过商飞 C919 飞控和航电系统研制，并负责过国内和海外多款 eVTOL 飞控系统开发，拥有丰富的民航飞机飞控和机载系统的研发和适航审定经验。目前已完成新一代符合民用航空高安全等级标准的三余度双通道飞控计算机的技术攻关和产品定型，成为国内首家进入适航审定阶段的高安全等级客运 eVTOL 型号的飞控系统供应商。
狮尾智能	多零等	中国	研发团队由航空领域内具有多年研发经验的专家组成，核心人员来自于国际航电供应商以及 北大、北航、交大等高校，拥有精湛的专业知识和深厚的航空电子、人工智能、自动驾驶等 行业从业背景，是国内经历完整民机飞控适航开发项目的顶级科研队伍。
昂际航电	览翌航空、沃飞长空等	中国	公司由中航工业和 GE 为 C919 航电系统而组件，基于 10 多年的民机航电系统的产品开发 及适航经验，昂际航电致力于为 AAM 市场提供更紧凑的、模块化的、可适航的、基于开放式架构的航电和飞控解决方案，使飞行更安全、更简单。
中航 618 所	C919、军用等	中国	中国航空研究院 618 所（西安飞行自动控制研究所，FACRI），是我国航空飞行控制、惯性导航、综合制导三大航空核心技术的研发中心，集自动控制、计算机应用、微电子技术、仿真技术、检测技术研究和精密机械制造、电子装配、光学加工为一体。

资料来源：边界智控公众号，势能资本，36 氪 Pro，狮尾智能公众号，昂际航电公众号，西安电子科技大学官网，吉林大学官网，国信证券经济研究所整理

此外，通过机器学习和人工智能技术，飞控系统将能够更好地适应不同的飞行环境，提供更加精确的控制，具有自主导航、避障、自动返航等高级功能。而模块化的设计，会让飞控系统升级和维护变得更加容易，集成化则能让飞控系统更加简单，执行效率更高。

图80: 全球飞控系统 OEM 及 Tier1 企业



资料来源：狮尾智能，国信证券经济研究所整理

飞控市场空间展望：假设到 2027-2028 年左右，国内 eVTOL 适航取证顺利、单年交付量超 1 万台时；假设单机价值量超 40 万元，对应市场空间超 40 亿元。

表16: 部分飞控系统公司情况

厂商	公司概况	客户
Honeywell	全球最大的航空航天系统供应商之一，其产品应用于波音、空客、商飞等主流飞机制造商的机型，目前在 AAM 领域已经获得超过 100 亿美金的订单。	Vertical、Lilium、Supernal 等
边界智控	团队核心成员参与过商飞 C919 飞控和航电系统研制，并负责过国内和海外多款 eVTOL 飞控系统开发，拥有丰富的民航飞机飞控和机载系统的研发和适航审定经验。目前已完成新一代符合民用航空高安全等级标准的三冗余双通道飞控计算机的技术攻关和产品定型，成为国内首家进入适航审定阶段的高安全等级客运 eVTOL 型号的飞控系统供应商。	广汽研究院、沃兰特以及亿维特等
狮尾智能	研发团队由航空领域内具有多年研发经验的专家组成，核心人员来自于国际航电供应商以及北大、北航、交大等高校，拥有精湛的专业知识和深厚的航空电子、人工智能、自动驾驶等行业背景，是国内经历完整民机飞控适航开发项目的顶级科研队伍。	峰飞航空等
昂际航电	由 GE 和中航工业集团平股合资组建，C919 飞控系统核心供应商，已启动面向 eVTOL 的高度集成化飞控系统研发	览翌航空、翊飞航空

资料来源：边界智控，势能资本，狮尾智能，昂际航电，西安电子科技大学官网，吉林大学官网，国信证券经济研究所整理

2. 低空运营

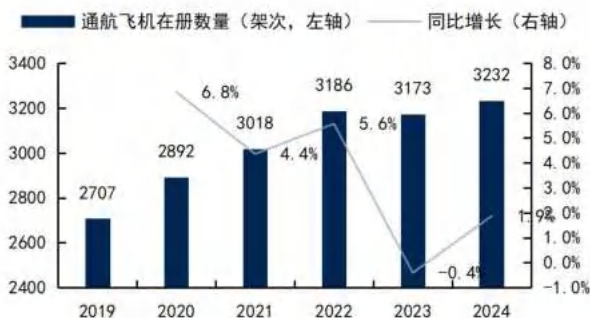
2.1 我国低空运营市场现状和差距

通用航空和低空经济的下游环节主要由运营和维保（销售、维修、租赁、检验检测、测试试飞、飞行培训）组成。在产业链价值逻辑中，下游服务环节凭借高附加值和长尾效应，决定了通用航空和未来低空经济的商业化深度与市场规模上限。

我国通航飞机数量和商业飞行用途结构具备提升优化空间。我国通航飞机数量仅为美国的 1.54%，当前飞行用途以传统作业场景和飞行培训场景为主，载人载客

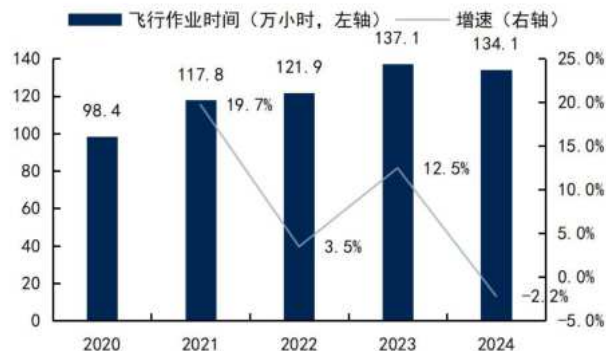
类消费类应用发展潜力大。根据中国民航局《2024 年民航行业发展统计公报》，截至 2024 年底，中国通用航空领域在册通用航空飞机数量达 3232 架，规模为美国的 1.54%。根据 FAA《2024 年通用航空统计年报》和美国运输统计局（BTS）数据，美国 2024 年在通航飞机保有量达到 20.97 万架，根据 FAA《2024-2044 财年航空航天预测》，美国现役通航飞机数量从 2022 年开始以平均每年 0.4% 的增速增长到 2044 年达 22.90 万。

图81：2019-2024 年我国通航飞机在册数量



资料来源：中国民航局，国信证券经济研究所整理

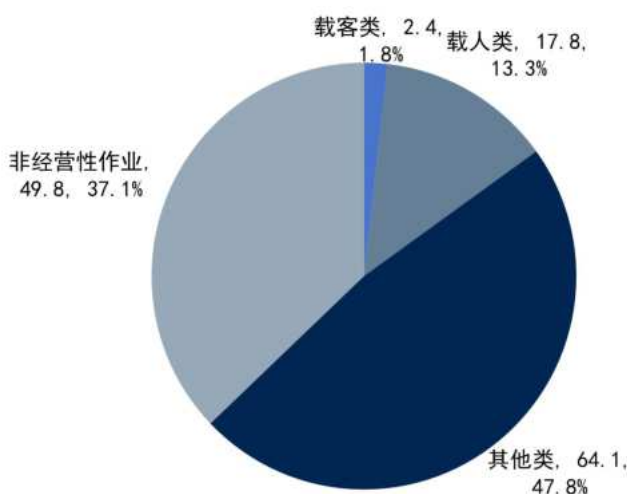
图82：2020-2024 年我国通航飞行作业时间



资料来源：中国民航局，国信证券经济研究所整理

我国当前通航飞行用途以传统作业场景和飞行培训场景为主，载人载客类等消费类应用发展潜力大。2024 年中国通航飞行小时数为 134.1 万小时，同比下降 2.2%。按用途划分，其他类（传统作业）完成 64.1 万小时，同比降 8.0%，占总小时数 47.8%；非经营性作业（培训类）完成 49.8 万小时，同比降 0.6%，占总小时数 37.1%；飞行载客运输类（从事旅客运输的经营性飞行服务活动）飞行 2.4 万小时，同比降 12.5%，占总小时数 1.8%；载人类（空中游览、文旅观光等）完成 17.8 万小时，同比增 22.6%，占总小时数的 13.3%。

图83：2024 年中国通航用途按小时数（单位：万小时）



资料来源：中国民航局，国信证券经济研究所整理

在飞行总时长方面，2022 年美国通航飞行总时长为 2695.34 万小时，根据《2024-2044 财年航空航天预测》，美国通航飞行总时长从 2022 年开始以每年 0.7% 的增速增长，预计到 2044 年将达到 3160 万小时。个人消费市场是美国通用航空产业最主要的领域，场景更偏向私人用途与短途运输。FAA 统计数据显示，私人用途和短途运输在美国通用航空飞行总时长中占据 70.56%，是美国通用航空产业最重要的构成，这与美国战后基建民用化带来的设施便利性、私人飞行文化普及及消费需求成熟直接相关。根据 FAA，2023 年按用途划分的总飞行小时数统计，美国通航个人用途占 29.3%，教学占 28.9%，空中通勤为 9%，空中农业作业为 4%，航空医疗为 3.2%。具体来看，私人用途涵盖个人休闲飞行、家庭出行等，而短途运输则依托其密集的机场网络，通过通勤航空连接偏远地区与枢纽机场。

表17: 中美通用航空基础设施建设对比

对比维度	中国（2024）	美国（现有公开口径）
通航飞机数量（在册）	3,232 架	≈200,000 架
通航飞行员数量	65452 个	≈380,000 人
通航机场及各类着陆设施	475 个	≈19,000+个
年通航飞行小时	134.1 万小时	≈2,500 万小时
载人运输飞行小时	2.4 万小时	≈1,700 万小时
颁证通勤航空承运人数量	760 家	54 家

资料来源：中国《2024 年民航行业发展统计公报》，美国《2024 年通用航空统计年报》，中商产业研究院《2024-2029 年中国通用航空行业市场前景研究报告》，国信证券经济研究所整理

从应用场景来看，中美通用航空呈现明显差异，这种差异与两国通航发展路径、市场需求及基础设施布局密切相关。中国通用航空当前以工商业勘探及生产性服务场景为主导。实际运营中集中于电力巡线、工商业勘探、地质测绘、农林植保、应急救援等领域。这类场景多服务于产业端需求，具有较强的公益性与生产属性，与中国通航发展初期“优先支撑实体经济与公共服务”的政策导向相契合。从通用航空产业特点及美国产业的发展情况来看，我国通航消费市场载人载客业务占比存在显著提升空间，通用航空短途运输、公务包机飞行等高附加值细分市场有望实现规模化增长。

我国通用航空多年的积累成果是发展低空经济的重要基石，新时代低空经济的发展标志着综合交通体系的革命性变革，必将带动和促进通用航空的协同发展，赋予通用航空新的生机和活力。近年来，低空经济作为新质生产力重点培育，产业发展迅速。一方面，政策支持力度加大。低空空域经过多年改革，形成了明确的空域基础分类，使得产业化有了确定性依据。连续两年的中央政府工作报告高规格定调引领产业加速发展。另一方面，以无人机、eVTOL 为代表的新型先进飞行器研发与应用取得实质性突破，以更环保、更安全、更高效的技术驱动产业发展，突破了传统通用航空的场地和场景限制，打开了低空经济的运营场景的无限空间。据赛迪顾问测算，2023 年我国低空经济市场规模达 5059.5 亿元，2025 年整体市场规模将达到 8591.7 亿元，其中，低空航空器制造和低空运营服务的市场规模占比接近 55%，展现出较为可观的经济价值和极大的发展潜力。作为低空经济的主力产业，通用航空产业有望迎来前所未有的发展机遇。

2.2 低空运营的行业门槛和市场格局

通航运营企业牌照门槛极高，具有重资产属性。通航运营为通用航空核心产业链

中游，机场的设施及位置将影响通航运营的服务范围、航线数量和服务种类，加油点、通讯设施、合格停机坪的位置及数量将影响通航运营企业的服务能力和服务安全性，进而影响下游需求。通用航空各类业务差异明显、作业环境复杂、作业量较大，对生产安全提出较高要求，存在较高的技术管理和运行资质壁垒。安全保障能力是通用航空企业的核心关注点，为有效保证飞行的安全性、可靠性，通用航空公司飞行员均需经过长时间培训和实操经验，并取得相应的专业技术资格。此外，通用航空行业作业范围广、作业空域低、作业时效性强，对于通用航空公司航空器检修、运行监控、保障服务都提出了极高的要求。经营运行资质的取得需要企业在技术水平、机队规模、人员完整度、运营管理水平等多方面达到相应标准，通过民航局相关批准，方可取得。海上油气平台飞行服务、海上风电飞行服务、直升机代管及公共服务等通航业务具有较高资金、安全、技术门槛。通航企业承接该类业务，需在安全保障、基础设施、人员训练等方面有较大投入，满足甲方及监督方要求。例如，从事海上油气平台飞行业务，必须拥有先进的大中型直升机，以及配套的通航机场、机库等基础保障设施，该特点决定了该类业务的重资产属性。

国内多数通航运营企业规模小，主要业务集中于少数龙头企业。我国通航运营企业以培训业务和农林作业类业务为主，高附加值的个人消费服务（载客类）在 2024 年仅占比 1.78%。根据中国民航局数据，截至 2024 年底，我国获得通用航空经营许可证的传统通用航空企业 760 家，企业平均航空器持有量仅为 4.25 架，多数企业规模不大、飞行量较少。全国约有 80% 以上的通航企业规模小，处于起步阶段，盈利能力较弱，而少数规模较大的通航企业凭借技术资源、人才资源、航线资源等优势，市场占有率较高，盈利能力较强。目前市场主要参与者多为大型国有企业，如中信海直、南航通航、中国通航、北大荒通用航空等。呈现出区域性和细分赛道特性。

2.3 低空运营的发展趋势与机遇

针对大规模应用场景拓展，低空运营企业应具备五个能力。

（1）专业化运营能力。这包括安全保障体系和航线航路运营能力两方面。运营企业首先需建立安全保障和应急处置体系和专业的飞行器维修保障能力，预防和应对多发性、常见性安全风险。

（2）获得相关资质的能力。通用航空业务开展需具备相关资质，行业内多种运行合格证及许可证的资质认证和获取（91 部、92 部、135 部、136 部等民航局资质）审批严格，获批难度大，是行业核心壁垒。

（3）航线航路统筹协调能力。以中信海直 2025 年 8 月完成的海上石油平台飞行项目为例：公司承担核心协调与保障工作，包括协调确定距陆地最近的海油平台为降落点，协调集团内公司将金沙湾停车场改为临时起降点，协调在海上平台增设充电装置；同时协调军方、民航局、香港民航处等部门保障隔离运行，并沿用公司多年验证的直升机航线确保飞行安全。此外，公司与政府部门的通道渠道已打通且配合良好，在深圳空域协助珠海航管站进行非民航飞行器的协调管理，因自身飞行量较大，能掌握日常飞行计划，在空域协调中具备一定主导性。

（4）较高的资金门槛以购买和替换飞行器以及招募和培训专业飞行员的资金能力。例如，从事海上油气平台飞行业务，必须拥有先进的大中型直升机，以及配

套的通航机场、机库等基础保障设施，该特点决定了该类业务的重资产属性。

(5) 形成持续商业闭环的综合能力。低空经济是长周期大投入的行业，商业经济是企业能否进入大规模商业化运营的核心考量。头部运营企业需要具备充足的B端市场支撑尚未到来的C端大规模市场应用，同时具备市场需求的持续激发与挖掘能力。

低空规模化运营重点关注海上运输、港口领航、物流配送三个场景。

以无人机和eVTOL为代表的新型航空器与直升机和固定翼飞机等传统通用航空器是互补而非完全替代关系。随着新型航空器的技术逐渐成熟，未来购机成本、能源成本、人员成本、运维成本都可以预期更低，为低空运营带来更好的商业经济性。低空经济应用场景的拓展与航空器技术发展是密不可分的，低空应用在我国的发展路径已经很清晰：国家发改委已明确指出，低空经济应用场景应按照先载货后载人、先隔离后融合、先远郊后城区的原则，在严控风险、确保安全的前提下，分类有序拓展低空经济应用场景。结合低空经济的产业特点和航空器的使用特性，行业的专业化运营在短期内会聚焦在高价值、专业化和经济性三重考虑的应用领域，具体来说则是海上运输、港口领航、物流配送（支线+末端）三个场景。

(1) 海上运输

海上油气平台飞行服务。我国海上油气开采主要集中于中海油及其下属公司，中国海油于2025年12月发布的《中国海洋能源发展报告2025》显示，今年全球海洋油气勘探开发投资预计达2175.5亿美元，占全球油气勘探开发总投资的35.7%，连续5年保持增长态势，复合年均增速达11%。预计2025年中国海洋石油产量约为6800万吨，同比增长约250万吨，约占全国石油增产量的8成；海洋天然气产量约300亿立方米，同比增长约40亿立方米。未来五年将是我国海上油气开发从浅海向中深海跨越的关键期，高端油服市场需求将持续释放。由于海上气象条件与环境复杂，且存在恶劣天气下的抢险救援任务需求，直升机往返海上油气平台是运送油气平台作业人员、器材设备或执行其他后勤支援工作的主要手段。根据中海油服年度报告，中海油服年度钻井平台作业日数从2019年的14737天上升至2024年的17502天，增加了2765天，累计增长18.7%，复合增速3.5%。《“十四五”现代能源体系规划》中明确提出我国要增强能源供应链稳定性和安全性，增强油气供应能力，不断增强风险应对能力，保障产业供应链稳定和经济平稳发展。通用航空作为海上油气、海上风电、电力巡线的重要后勤保障方式，市场需求将迎来较大提升。

海上风电飞行服务。海上风电飞行服务主要是通过直升机的绞车作业方式将维保人员运送至风力发电机上或海上保障平台。相比传统的轮船运输，采用直升机运输具有快速高效、作业限制条件少等特点。维保人员遇到突发状况时，也可第一时间实施应急救援。2025北京风能展上发布的《风能北京宣言2.0》提出，“十五五”期间，我国海上风电年新增装机1500万千瓦。预计到“十五五”末，我国海上风电累计装机规模将超亿千瓦。《“十四五”现代能源体系规划》明确鼓励建设海上风电基地，推进海上风电向深水远岸区域布局，以京津冀及周边地区、长三角、粤港澳大湾区等为重点，统筹推动海上风电规模化开发。海上风电的规模化开发，赋予直升机、eVTOL海上风电飞行服务更大的增长空间海上风电平台需要使用直升机运输往返运送施工人员、维修人员、值守人员、器材设备或执行其他后勤支援工作。

(2) 港口领航

港口引航员的危险性仅次于矿工和试飞员，被评价为世界第三大危险职业。与传

统的引航艇作业方式比较，航空器引航具有快捷、高效、抗风浪等级高、活动范围大等特点。作业效率方面，引航员海上单程交通时间由原来的 2-3 小时大幅缩短至 10-15 分钟，登轮效率提升 90%以上，极大加快了船舶周转速度，更直接为船东节省了可观的船期成本和燃油消耗。保障能源和原材料供应链方面，在寒潮大风等恶劣天气过后形成的海况“窗口盲区”，传统交通工具拖轮、引航艇因涌浪较大无法作业，直升机能够快速恢复引航服务，不仅提升了港口的作业弹性，更是直接服务于国家重要物资供应链的稳定畅通。登离轮安全方面，通过采用船舶甲板直降的接送方式，彻底避免了引航员在海上攀爬引航梯这一传统作业中的最高风险环节，消除了因梯断、滑倒、跌落等原因造成的人身伤害隐患。航空器快速响应的特性，使得引航机构能够更灵活、精准地调配引航员资源，实现与船舶靠离泊计划的紧密衔接，提升港口通航效率和整个港口体系的运行效能。

据中国引航协会，2018 年我国直升机引航作业飞行时间为 3200 小时，2024 年为 4024 小时，近 6 年复合增长率为 3.9%，2024 同比增长 8.8%。直升机引航单次飞行时间一般为 0.5-1.5 小时，假设平均飞行时间约为 1 小时/次，则 2024 年全年飞行次数约为 4024 架次。费用上，根据船舶吨位，10 万吨以下每次约为 1 万，10 万以上每次约为 2 万，假设单次平均飞行费用约为 1.5 万元。2024 年直升机引航市场规模约为 6036 万元。据交通运输部，2024 年全国港口引航超过 40 万艘次，则当前直升机引航渗透率约为 1.0%。假设港口引航次数平均年增速为 5%，直升机引航渗透率每年提升 0.5%，单次平均飞行小时数和费用不变，则到 2030 年直升机引航市场规模可达约 32211 万元。

（3）物流运输

低空物流作为依托无人机、eVTOL 等新型飞行器在 1000 米以下空域开展货物运输的新兴业态，能够有效突破地理限制，重塑传统物流的空间边界。据交通运输部统计，2024 年我国无人机配送快递邮件约 270 万件。《2024 中国低空物流发展报告》显示，中国低空物流市场规模由 2020 年的 271.8 亿元增长到 2023 年的 581.8 亿元，增长率达 37.41%，预计将在 2025 年达到 1200 亿至 1500 亿元。按照运输距离，低空物流可划分为干线物流（500 公里以上）、支线物流（50—500 公里）、末端物流（20 公里以内）。按照地理特征低空物流也可分为城市（同城末端配送）和非城市（跨城、山区、海岛支线物流）。中国物流与采购联合会航空物流分会统计，2024 年我国新开低空物流航线超过 140 条。目前城市开通低空物流航线主要以末端航线为主，城市内航线占比达到新开航线总量的 90%，跨省、市航线仅占 10%。

城市场景主要执行同城商品运输的末端配送，具体应用于外卖餐饮、医疗物资、生鲜食品的即时配送以及快递包裹的运输。通常运输距离在 15km 之内，单架次载重 20kg 以内，货物以轻小件为主，快递 5-15 件/架次，外卖目前主要为 1 单/架次，每日可起降数十架次。目前顺丰丰翼、美团、迅蚁等企业已在试点城市实现常态化运营。

非城市场景聚焦跨城支线物流和特定场景（山区、景区、海岛）运输。跨城支线物流主要执行 100km 左右的中长距离物流运输，单架次载重数十公斤至百公斤，每天可往返 2-4 架次，适用于对时效要求高、价值高的货物的物流线路。2025 年 12 月，顺丰设立了全国首条跨海峡低空无人机物流运输实现常态化运营，从海南海口到广东徐闻航线，用具备 20 公斤的有效载荷和满载 70 公里的续航能力的丰舟 90 无人机成功实现了快速跨海的突破，仅用 19 分钟替代了传统“陆运+水运”，节省了近 5 小时。富临运业计划在成都青城山开展山区低空物流业务，预计成熟后单个项目年收入可达千万元级别。目前，顺丰、京东、亿航智能等企业已依托大湾区和川渝山区等合适地形试点无人机支线物流运输，并探索常态化运营，推动

低空物流从单点试点走向网络布局。

无人机运载效率高，运输航线可固定，监管难度较小，可以提高物流效率、降低运输成本。相比传统运输方式，无人机运输速度快、不受地形影响，相同距离平均可以缩短 70% 的运输时间。美团无人机配送平均时长约 12 分钟，较传统配送模式明显缩短。仅在大湾区，顺丰丰翼无人机日均配送量已达两万单，跨城物流平均 3 小时可送达。无人机运输单位成本取决于无人机成本与使用率、航线订单密度，即便早期单位成本偏高，但随着无人机成本下降、订单密度提升，单位成本将持续下降。根据中通研究院测算，“支线+末端”的无人航空物流模式，理想状态下，可以为物流企业降低综合经营成本达 30% 以上。

根据中通研究院《“末端+支线”无人机运营场景成本分析》，以中通在末端配送场景使用的电动六旋翼小型无人机“海燕”为例进行测算，一架物流无人机生命周期内运营的总成本为 8.6 万元，总共可运输的包裹数为 7.5 万个，其中无人机设备及供能设备成本占比超过 95%。假设理想状态下每次均满载飞行（单次运输 30 件快递包裹，每个包裹单件平均重量为 0.5 公斤），则单个包裹运输成本为 1.15 元。在无人机采购与运营成本相对刚性的情况下，日均飞行起降架次、单架次装载量（装载率）是影响单位货运成本的两个关键变量。在业务量饱满的航线，无人机货运更容易跨过盈亏平衡线、更接近实现商业化运营。

随着无人机制造成本和使用量的规模化提升，低空物流单位货运成本有望持续下降。中国民航局在《民用无人驾驶航空发展路线图 1.0（征求意见稿）》中提出，“2025 年城市短途低速轻小型物流配送无人机逐步成熟，支线短途中低空吨级大型无人机逐步应用；2030 年，城市中短距离快速中小型物流配送无人机逐步应用，支线中途中高空吨级大型无人机逐步应用；2035 年，城市中长距离快速中大型物流配送无人机逐步推广，支线长途高空吨级大型物流无人机实现航线飞行”。

低空运营核心催化应当关注 eVTOL 适航取证进展以及应用场景从试点转为常态化的节点。适航取证是商业化的先决条件，代表着航空器技术的成熟稳定可控。目前我国仅有亿航智能 EH216-S 一款载人多旋翼 eVTOL 以及峰飞航空 V2000CG 一款载货复合翼 eVTOL 获颁适航三证，从航空器构型以及具体的技术参数都不足以达到大规模载人或载物商业化的参考条件。截至 2025 年第三季度，国内约 100 家 eVTOL 整机企业，17 款产品进入适航受理或取证阶段，2025 年前三季度取证/受理 7 款，国内大部分载人 eVTOL 机型将在 2028 年前后获批四证（TC/PC/AC/OC）并初步实现量产，届时载人商业化有望实现规模化落地。从应用场景来看，国家发改委已明确了“先载物、先隔离、先城郊”的发展路径，因此低空物流运营的商业化进度应是较快的。目前，以峰飞航空和中信海直为代表的整机和通航运营企业针对不同应用场景和飞况的载物进行了联合试验飞行，在跨城、跨海岛等支线运输试点方面取得了良好的验证成效。2025 年 10 月 31 日召开的国务院常务会议指出要面向产业发展优先布局一批新领域新赛道场景、高价值小切口场景和跨区域跨领域综合场景，促进形成从技术突破到产业应用的完整闭环。未来，中信海直等运营企业何时将试点航线以及高价值小切口的如港口领航场景变成常态化模式将值得期待。

3. 低空基建与信息服务业

3.1 低空“软基建”和“硬基建”

低空基础设施被视为支撑低空飞行领域公共工程体系的资源集合。这一集合不仅

包含实体设施，如通用机场、无人机起降场、停机坪、停机库等，还涵盖技术系统与服务体系，共同构成低空飞行活动的物质基础与技术保障。

(1) “硬基建”指的是提供物理支撑的设施网络，是低空经济活动的物理载体。

1) 起降设施网络，由通用机场、垂直起降场 (Vertiport)、无人机航站 (Droneport)、临时起降点等构成的多层次、广覆盖的起降网络，为飞行器提供起降、停放、充换电、货物装卸、乘客候乘等功能。

2) 能源补给网络，由充电桩、换电站、加氢站等构成的“空中加油站”网络，解决飞行器的“里程焦虑”。

3) 物理保障设施，包括固定运营基地 (BO)、维修维护中心 (MRO)、测试场、气象观测站等配套服务设施。

(2) “软基建”指的是提供技术、服务和数据支撑的数字化、网络化、智能化系统，是低空经济的“大脑”和“神经网络”。

1) 信息通信网络，以 5G/5G-A、北斗、卫星通信、物联网等技术为核心的低空智联网，实现通信、导航、监视 (CNS)、安全防控的无缝覆盖，确保看得见、呼得到、联得上、管得住。

2) 数字空域与航路网，基于实景三维中国、城市信息模型 (CIM)、高精度三维地图、数字孪生等技术构建的数字化空域和航路网络，实现空域的精细化管理和航路的智能规划。

3) 智能管控与服务平台，以传统飞行服务站 (FSS)、无人机交通管理 (UTM) 平台或智能融合低空系统为代表的“低空大脑”，利用人工智能、大数据、云计算等技术，实现飞行计划审批、冲突探测与解脱、动态空域管理、飞行监控等智能化管理功能。

综上所述，低空基础设施是一个集物理设施、信息网络数字底座和智能管控于一体的复杂巨系统，其本质是通过数字化、网络化、智能化手段，将传统的、静态的、模糊的低空空域，转变为可计算、可管理、可服务的动态数字空间，从而释放低空经济的巨大潜力。

图84: 低空经济“硬基建”、“软基建”



资料来源：中国信息协会低空经济分会，《低空基础设施发展研究报告》，国信证券经济研究所整理

3.2 低空基建规划和咨询

低空基础设施作为支撑低空经济高质量发展的物理基础和运行保障，其建设涵盖从顶层设计到施工落地的全链条环节，也就是“设计与咨询服务”、“材料与系统供应”、“工程施工与监理”、“质量监督与行业验收”四大核心环节。

1) 设计与咨询服务主要负责为低空基础设施的建设提供顶层设计和智力支持，其核心业务包括宏观层面的低空经济发展规划、产业规划、空域规划、航路航线规划以及通用机场、起降场 (点)、信息基础设施、信息系统平台的选址、勘察、设计，同时还涉及相关的政策研究、法规咨询、技术标准制定等服务。主要参与

玩家包括传统设计院、科技企业、跨界企业。

2) **材料与系统供应**负责提供建设低空基础设施所需的各类硬件产品和核心系统，包括用于建造机场跑道、航站楼、机库等设施的特种建筑材料，还涵盖了用于地面保障系统的监视雷达、通信基站、充电设备等各类高科技核心系统和零部件的供应。材料与系统供应的技术水平和生产能力，直接决定了基础设施的性能、质量和成本。材料与系统供应市场呈现国产主导、中外协同的竞争格局，参与者涵盖传统基建企业、航空航天企业、跨界科技公司及细分领域专精特新企业。

3) **工程施工与监理**负责将设计蓝图和材料设备转化为实体工程，其核心业务是通用机场、起降场（点）及其配套设施的土建施工、设备安装、系统集成和调试运行。由于低空基础设施，特别是机场工程，涉及飞行安全，因此对施工企业的资质、技术和管理能力有极高的要求，通常需要具备民航专业工程施工资质。同时，专业的工程监理单位负责对施工全过程进行质量、进度和投资的监督管理，确保工程符合设计要求和行业标准。工程施工与监理参与者主要由具备相应资质的传统大型建筑企业、专业化的民航工程施工公司以及由多家企业组成的联合体构成。

4) **质量监督与行业验收**是贯穿产业链全过程的保障系统，确保低空基础设施的建设和运营符合国家安全标准和行业规范。主要包括建设过程中的质量监督，由第三方检测机构对原材料、施工工艺、工程质量进行检验；项目竣工后，需要经过严格的民航行业验收，涉及场道工程、目视助航设施、空管工程等多个专业领域。

表 18：低空经济基础设施建设产业链

全链条环节	主要内容	主要市场参与者
设计与咨询服务	设计与咨询服务设计与咨询服务主要负责为低空基础设施的建设提供顶层设计和智力支持，其核心业务包括宏观层面的低空经济发展规划、产业规划、空域规划、航路航汽车、物流等不同行业，将自身在原有领域优势延伸到低空领域。中国移动、中国联通、线规划以及通用机场、起降场（点）、信息中国通信等通信运营商是其中典型代表，凭借 5G/5G-A 网络建设、物联网、云计算等方面基础设施、信息系统平台的选址、勘察、设的强大实力，积极布局低空通信网络和无人机综合管理平台，旨在成为低空经济的“基础计，同时还涉及相关的政策研究、法规咨询、网络提供商”和“平台服务商”。华为、腾讯、百度、高德等大型互联网公司则利用其在云计算、大数据、人工智能和地图服务方面的优势，开发低空交通的数字底座和智能调度系统。小鹏、吉利等新能源汽车和自动驾驶公司则将其在电池、电机、电控以及自动驾驶算法方面的技术积累，应用于 eVTOL 的研发和制造，参与起降场和充电网络的设计与规划。顺丰、京东、美团等物流巨头则从应用场景出发，反向推动低空物流基础设施建设，它们不仅是基础设施的最终用户，也深度参与到起降场选址、航线规划、运营模式设计。	1) 传统设计院 拥有民航设计资质、在机场、空管、油料等民航专业工程设计领域深耕多年的大型设计院，是设计与咨询环节的中坚力量。此类机构拥有深厚的行业背景、丰富的工程经验和庞大的人才储备，熟悉民航行业的法规标准、建设流程和审批程序，在通用机场的总体规划、飞行区设计、航站楼设计、目视助航、空管工程等传统领域具有优势。 2) 科技企业 新兴科技企业是近年来涌入低空市场的重要力量，通常以技术为驱动，专注于低空基础设施建设某个特定细分领域，其核心优势在于技术创新和灵活性。 3) 跨界企业 纷纷涌入，是低空经济发展的一个显著特征，该天企业来自通信、互联网、
材料与系统供应	材料与系统供应是产业链的物质基础，负责提供建设低空基础设施所需的各类硬件产品和核心系统，包括用于建造机场跑道、航站楼、机库等设施的特种建筑材料，还涵盖了用于地面保障系统的监视雷达、通信基站、充电设备等各类高科技核心系统和零部件的供应。材料与系统供应的技术水平和生产能力，直接决定了基础设施的性能、质量和成本。	航空航天企业、跨界科技公司及细分领域专精特新企业。 特种建筑材料领域，国内企业凭借技术突破和成本优势占据主导地位，国产石墨烯改性环氧涂层耐盐雾时间突破 8000 小时，成为多地无人机起降平台的指定防护材料，契合辅助设施耐候抗腐蚀需求；地面保障核心系统领域呈现系统集成+终端制造竞争，东进航科、海格通信、四川九洲等企业推出各自的低空飞行管理平台，在多地低空协同监视项目中得到应用；国内企业研发的 eVTOL 智能充电系统也开始应用；相关企业联合开发的“光储充+低空”一体化场站，集成液冷超充、储能系统与无人机充电桩，实现能源保障与低空支撑的协同运作。国际合作方面，Eve Air Mobility 与 Signature Aviation 携手研发 eVTOL 地面运营生态，其 Vector 软件系统为垂直起降机场提供调度解决方案；气象监测领域，国内企业依托微型气象站、风切变预警设备等产品，实现起降场周边气象数据实时采集；随着低空经济商业化加速，具备全产业链整合能力和场景适配能力的企业将持续领跑市场。
工程施工与监理	工程施工与监理是产业链的价值实现环节，负责将设计蓝图和材料设备转化为实体工程，其核心业务是通用机场、起降场（点）及其配套设施的土建施工、设备安装、系统集成和调试运行。由于低空基础设施，特别是机场工程，涉及飞行安全，因此对施工企业的资质、技术和管理能力有极高的要求，通常需要具备民航专业工程施工资质。同时，专业的工程监理单位负责对施工全过程进行质量、进度和投资的监督管理，确保工程符合设计要求和行业标准。	工程施工与监理参与者主要由具备相应资质的传统大型建筑企业、专业化的民航工程施工公司以及由多家企业组成的联合体构成。 中国建筑、中国交建、中国铁建等央企，凭借其雄厚的资本实力、强大的施工能力和丰富的项目管理经验，在通用机场建设中扮演着重要角色。市场上也存在一批专注于民航领域的专业化施工公司，它们在空管工程、助航灯光等特定专业领域拥有深厚的技术积累和丰富的施工经验，能够提供高质量的专业化服务。面对低空经济带来的新机遇和新挑战，不同类型的企业也在积极探索新的合作模式，由设计院、材料供应商、施工企业、运营商等产业链上下游企业组成的联合体，通过优势互补，共同承接大型低空经济基础设施项目，已成为一种常见的模式，这种联合体模式能够有效整合资源，降低项目风险，加速项目落地，是推动低空基础设施建设规模化发展的重要组织形式。
质量监督与行业验收	质量监督与行业验收是贯穿产业链全过程的保障系统，确保低空基础设施的建设和运营符合国家安全标准和行业规范。主要包括由政府监管、企业自控、社会监理三个层面构成，政府监管层面，民航地区管理局等主管	质量监督体系是低空基础设施建设产业链中不可或缺的支撑环节，它贯穿于项目建设的全 过程，旨在 确保工程质量满足设计要求和相关法规标准，保障未来低空飞行的安全 。主要营符合国家安全标准和行业规范。主要包括由政府监管、企业自控、社会监理三个层面构成，政府监管层面，民航地区管理局等主管

建设过程中的质量监督，由第三方检测机构部门负责对项目建设过程进行监督检查，对关键节点进行验收，并对违法违规行为进行查处；企业自控层面，建设单位、勘察设计单位、施工单位、监理单位等各方主体，根据法律法规和合同约定，建立健全自身的质量保证体系，对各自承担的工作质量负责。社会监督，涉及场道工程、目视助航设施、空管工程层面，由具备相应资质的工程监理单位，受建设单位委托，对施工质量、进度、投资等进行全过程、全方位的监督管理来确保工程质量。专业的检测机构也扮演着重要角色，他们对工程所用材料、构配件、设备以及实体工程质量进行独立、公正的检测，为质量评定提供科学依据。

资料来源：中国信息协会低空经济分会，国信证券经济研究所整理

当前，我国已形成以通用机场、航空飞行营地、垂直起降场为骨干，以飞行服务站、固定运营基地为专业支撑的多元化、层级化硬基建网络。为适应无人机与垂直起降航空器的规模化、智能化应用，自动化无人机机巢、高效加油/充电/换电设施等新型地面节点正加速布局，共同推动低空运行从“点状分散”向“网络化、智能化”演进。

图85: 跑道型机场



资料来源：搜狐新闻，国信证券经济研究所整理

图86: 直升机场



资料来源：搜狐新闻，国信证券经济研究所整理

图87: 亿航智能合肥骆岗中央公园城市空中交通枢纽港实景



资料来源：亿航智能官微，国信证券经济研究所整理

图88: 亿航通航广州穗港码头运营点



资料来源：亿航智能官微，国信证券经济研究所整理

从低空基建行业规模来看，截至 2024 年，全国通用机场达 475 个，根据《全国通用机场布局规划》，预计到 2030 年，我国通用机场将达到 2058 个，预计 2025-2030 年通用机场新增数量为 1583 个，假设跑道型机场、直升机场分别占比 52%、48%，假设跑道型机场、直升机场单个建设费用分别为 5 亿元、0.5 亿元，测算得到

2025-2030 年通用机场建设费用市场规模为 4496 亿元。此外，假设 2025-2030 年起降场新增数量为 5000 个，单个起降场建设费用 0.3 亿元，测算得到起降场建设费用合计 1500 亿元。因此，2025-2030 年低空经济基础设施（通用机场+起降场）建设费用合计 5996 亿元，年均费用 999 亿元。此外，低空基建还涉及到规划和咨询服务，假设规划和咨询费用率为 6%，测算得到 2025-2030 年低空经济基础设施规划和咨询费用 359.7 亿元，年均费用为 60 亿元。

表19：低空经济通用机场市场空间测算

	数值	备注
2024 年通用机场数量（个）	475	
2030 年通用机场预期数量（个）	2058	根据《全国通用机场布局规划》
2025-2030 年通用机场新增数量（个）	1583	
2025-2030 年起降场新增数量（个）	5000	根据各地规划预测
跑道型机场占比	52.00%	参考通用机场信息管理系统数据
直升机场占比	48.00%	
跑道型机场建设费用（亿元/个）	5	
直升机场建设费用（亿元/个）	0.5	
起降场建设费用（亿元/个）	0.3	
2025-2030 年通用机场建设费用（亿元）	4495.7	
2025-2030 年起降场建设费用（亿元）	1500.0	
2025-2030 年基础设施建设费用（亿元）	5995.7	此处的基础设施为通用机场+起降场建设费用
规划和咨询费用率	6%	
2025-2030 年低空经济基础设施规划和咨询费用（亿元）	359.7	
低空经济基础设施建设年均费用（亿元）	999.3	
通用机场规划和咨询年均费用（亿元）	60.0	

资料来源：中国民航局，中国信息协会低空经济分会，国信证券经济研究所整理

低空信息基础设施的整体架构与实施路径，涵盖通信、导航、监视、气象、安防、数字底座及低空智能网联系统等核心内容，为实现低空飞行的数字化、网络化、智能化管理提供基础支撑。

1) 低空通信系统：低空通信系统负责构建稳定、高效、广覆盖的通信链路，确保飞行器与地面站、飞行器之间以及与其他信息系统之间的数据能够实时、可靠地传输。其核心技术包括地面公网（5G/5G-A）、卫星通信、专网通信等。

2) 低空导航系统：低空导航系统为各类飞行器提供全天候、全天时、高精度的定位、导航和授时（PNT）服务。该系统以北斗/GNSS 为核心，结合地基增强（GBAS）和机载多传感器融合技术，将定位精度提升至厘米级，满足复杂场景下的精细化飞行需求。

3) 低空监视系统：低空监视系统通过多种技术手段对低空空域进行全域、无死角的实时监控，实现对合作目标和非合作目标的“看得见、管得住”。技术路径上融合了 ADS-B、Remote-ID 等合作式监视和雷达、光电等非合作式监视。

4) 低空气象系统：低空气象系统提供精细化的局地气象服务，通过部署激光测风雷达、气象梯度观测站等设备，并结合大数据模型，对影响低空飞行安全的风切变、低能见度、强对流等微尺度天气现象进行精准监测和预报。

5) 低空安防系统：低空安防系统主要用于应对非法入侵、恶意攻击等低空安全威胁。该系统通过探测、识别、跟踪、干扰、诱骗乃至物理拦截等手段，构建起多层次、立体化的防御体系，保障重点区域的低空安全。

6) 低空数字底座：低空数字底座是整个信息基础设施的底层支撑，它以城市信息模型（CIM）、实景数字三维中国等为基础，构建低空空域的数字孪生系统，将物理空域数字化、网格化，为飞行航路规划、空域动态管理、飞行仿真推演等提供统一的时空基准和数据服务。

图89：低空通信导航监视体系架构全景图



资料来源：刘政鑫，《通导监一体化让低空经济安全飞》，智能论坛，2025，2025.3：62-66，国信证券经济研究所整理

表20：低空信息基础设施

构成	定义	技术方案与路径	实施方案
低空通信系统	低空通信是低空信息基础设施的“神经网络”，其根本目标是构建一个覆盖广泛、性能卓越、安全可靠的立体化通信网络，以满足低空空域内各类飞行器在飞行过程中对数据传输的要求。涵盖了从飞行器遥控遥测、高清视频实时回传、飞行数据广播、到空中交通管理指令下达等全流程、全场景、全业务的通信需求。低空通信的外延则体现在其技术体系的融合性与演进性上，它不仅需要整合地面蜂窝网络、卫星通信系统、专用航空频段（VHF）等多种通信手段，实现空、天、地一体化的无缝覆盖，还需要不断引入通感一体化、网络切片、边缘计算等新技术，以适应未来低空经济规模化、智能化发展带来的新挑战。	1) 空域分层通信方案：为了应对不同高度层飞行器的差异化通信需求，并有效利用现有通信资源，低空通信普遍采用“空域分层、技术互补”的立体化覆盖方案。这种方案根据低空空域的垂直分布，将通信任务分配给最适合的技术手段，形成一个层次分明、功能互补的通信体系。 2) 5G-A 通感一体化技术：低空通信领域最具革命性的技术突破之一。传统上通信和感知是两个独立的系统，通信基站负责传输数据，雷达等设备负责探测目标，而通感一体化技术则创新性地利用通信信号同时实现通信和感知两种功能，使得 5G-A 基站都成为“通信基站+雷达”的融合体。 3) 卫星通信（天通、北斗短报文、低轨卫星）融合应用：在低空通信体系中，卫星通信在地面网络无法覆盖的偏远地区、海洋以及应急场景下，其重要性尤为突出。目前，我国主要依托“天通”卫星移动通信系统和“北斗”卫星导航系统的短报文功能，构建空天地一体化的通信保障能力。	1) 5G 网络优化与基站建设：为了将地面 5G 网络有效延伸至低空，需要对现有网络进行 5G-A 系列针对性的优化和改造。首先，网络规划与站址优化是关键。其次，天线技术升级是核心手段。再次，网络参数优化也至关重要。最后，建设低空专用网络，利用 5G 网络切片技术，为低空业务划分出专用的逻辑网络，保障其带宽、时延和可靠性，避免与地面公众业务产生资源竞争。 2) 5G-A 通感一体基站部署：5G-A 通感一体基站的部署是构建下一代低空通信与监视网络的核心环节。其部署策略应遵循“重点先行、逐步推广”的原则。
低空导航系统	低空导航是低空信息基础设施的“路标系统”，其核心使命是为在低空空域内运行的无人机、通用航空飞机、电动垂直起降飞行器 VTOL 等各类飞行器提供全天候、全天时、高精度、高可靠性的定位、导航和授时服务。其深度融入了飞行器的飞行控制、任务执行、空域管理和安全保障的全过程。精准可靠的导航系统是确保飞行器能够按照预定航线安全飞行、在复杂环境中精准起降、在紧急情况下快速响应的关键。此外，低空导航在技术体系的多元化和融合化上，它不仅依赖于北斗/GNSS 为。代表的全球卫星导航系统，还必须与地面地基增强系统（GBAS）、惯性导航系统（INS）、视觉导航、激光雷达等多种技术进行深度融合，形成一套多源互补、容错能力强的综合导航解决方案，以应对城市峡谷、电磁干扰、信号遮挡等复杂挑战。	1) 北斗/GNSS 卫星导航系统：北斗卫星导航系统（BDS）及其与 GPS、GLONASS、Galileo 等其他全球导航卫星系统（GNSS）的融合应用，构成了低空导航的基石，卫星导航能够提供全球范围内的绝对位置坐标，是实现飞行器自主导航的基础。 2) RTK 与地基增强系统（GBAS）：实时动态差分技术（RTK）和地基增强系统（GBAS）是实现厘米级高精度定位的关键，基本原理是在一个已知精确坐标的地点架设一台 GNSS 接收机，实时观测卫星信号，并计算出观测值与真实值之间的误差。基准站通过数据通信链路将这些误差信息广播给附近的流动站；流动站利用接收到的差分改正数来修正自身的观测值，从而消除或大幅削弱公共误差，获得高精度的定位结果。 3) 组合导航与多传感器融合技术：尽管 RTK 技术能够提供极高的定位精度，但它也存在脆弱性。例如当飞行器进入城市峡谷、隧道或受到严重电磁干扰时，卫星信号可能会被遮挡或失锁，导致 RTK 定位中断或降级，须采用组合导航与多传感器融合技术，其核心思想是利用惯性导航系统（IS）作为补充和备份。INS 由陀螺仪和加速度计组成，能够自主测量飞行器的角速度和加速度，并通过积分运算推算出飞行器的姿态、速度和位置。	1) 北斗地基增强系统建设：建设覆盖全球的北斗地基增强系统（GBAS）是实现高精度低空导航的基石，实施方案应遵循“统一规划、分步建设、重点覆盖”的原则。 2) 高精度定位终端应用：高精度定位终端是导航服务的最终载体，其性能直接影响到导航效果，在低空经济中，高精度定位终端主要集成在各类飞行器上。
低空监视系统	低空监视是低空信息基础设施的“天眼网络”，其核心目标是实现对低空空域内所	1) 合作式监视技术 ：合作式监视技术依赖于飞行器主动向外广播自身的身份信息、位置、速度、高度等飞行状态数据，	1) ADS-B 地面站与接收系统建设 ：建设 ADS-B 地面站是实现合作式监

	有飞行活动的全面、实时、精准的“看得见、管得住、可追溯”。其内涵不仅包括对已申报的“合作目标”进行常规的飞行轨迹跟踪，更涵盖了未申报的“非合作目标”的有效探测、识别和定位，这是保障低空公共安全、维护空域秩序的关键。低空监视的外延则体现在技术手段的多样性和融合性上，是一个集成了 ADS-B、Remote-ID 等合作式监视和一次/二次雷达、光电/红外探测、无线电频谱侦测非合作式监视以及 5G-A 通感一体化新兴技术的综合监视体系，通过多源数据的深度融合与智能分析，这个“天眼网络”能够构建起一幅完整、动态、立体的低空空域态势图，为空中交通管理、安全预警和应急处置提供决策依据。	地面接收站通过接收这些广播信息来实现对目标的监视。这种技术的优点是精度高、信息丰富、成本相对较低。 2) 非合作式监视技术：不依赖于飞行器的主动配合，而是通过主动探测或被动感知的方式来发现目标，主要用于发现和定位未安装合作式设备的“非合作目标”。 3) 5G-A 通感一体与多源数据融合：5G-A 通感一体化技术为非合作式监视提供了全新的、革命性的解决方案。它是利用 5G-A 基站本身作为“雷达”通过分析通信信号的反射来探测目标，具有覆盖广、成本低、精度高的优点，被认为是未来低空监视网络的重要组成部分。为了构建真正全域覆盖、无死角的“天眼网络”，必须采用多源数据融合的技术路径，核心思想是将来自 ADS-B、雷达、光电、5G-A 通感不同监视手段数据，在统一时空基准下进行关联、去重、互补和融合。同时，5G-A 通感系统可以提供该目标的精确三维轨迹，通过数据融合算法，可以将这些来自不同传感器的信息整合成统一、完整、精确的目标航迹，提升监视的可靠性和准确性。	视的基础。实施方案应遵循“按需部署，形成网络”的原则。 2) 低空监视雷达组网：为了有效应对“低慢小”无，人机带来的安全威胁、建设低空监视雷达网络至关重要。
低空气象系统	低空气象是低空信息基础设施的“气象参谋”，其核心任务是为低空飞行活动提供精细化、高时空分辨率、高预报准确率的气象服务，是保障飞行安全、提升运行效率的关键环节。其内涵远超传统气象预报，它聚焦于低空空域特殊环境深入研究并预测对低空飞行影响巨大、但传统气象模型难以准确捕捉的中小尺度天气现象。其外延则体现在其服务对象的广泛性和服务内容的针对性上，服务对象不仅包括飞行员和无人机操作员，还包括空中交通管理者、航线规划系统以及飞行任务决策支持系统；服务内容则高度聚焦于风切变、湍流、雷暴、强降水、低云、浓雾、冻雨等直接影响飞行安全的危险天气，旨在通过精准的监测和预报，为飞行计划的制定、航路的动态调整、起降时机的选择提供科学依据，从而最大限度地规避气象风险。	1) 局地精细化气象监测技术：要实现精细化的气象服务，首先必须建立起低空天气变化立体监测网络，采用多种先进气象探测设备，弥补传统气象观测站在低空空域探测能力上的不足。 2) 多源气象数据融合与预报模型：单一的监测设备只能提供局部的、单一的气象要素信息，要构建完整的低空气象态势图，需将激光雷达、梯度塔、微波辐射计、传统气象站、气象卫星、天气雷达等不同设备的多源数据进行融合。 3) 针对低空飞行的危险天气预警：低空气象服务最终目标是提供及时、有效的危险天气预警，需建立一套智能化的预警系统，该系统能够实时分析监测和预报数据，一旦识别出可能对低空飞行构成威胁的天气现象会自动触发预警机制。预警信息可通过短信、APP 推送、系统告警以多种形式快速推送给相关飞行员、操作员和管理人员。	1) 激光测风雷达与垂直遥感雷达布设：为了有效监测低空风场，应在通用机场、大型无人机起降场、主要低空航线沿线、城市高楼密集区等关键区域，优先布设激光测风雷达，提供高时空分辨率的风廓线数据。同时，结合垂直遥感雷达对更大范围的降水、雷暴等天气系统进行监测，为航线规划和飞行决策提供宏观气象背景。 2) 气象梯度观测站与泛感知地面站建设：在城市区域利用现有的高楼、通信铁塔等资源建设气象梯度观测站，形成对城市边界层气象特征的垂直剖面观测。此外，可以整合现有交通气象站、校园气象站等泛在气象感知设备，通过众包模式获取更密集的气象数据，作为专业观测网络的有效补充。
低空安防系统	低空安防是低空信息基础设施的“安全盾牌”，其核心任务是构建多层次、立体化、智能化的防御体系，以应对“黑飞”、“乱飞”等非法飞行活动带来的安全威胁，保障国家重要设施、大型活动、城市核心区等重点区域的低空安全。其内涵包括对已发现的非法目标进行有效处置，更强调“预防为主、打防结合”的主动防御理念。涵盖了从早期预警、探测识别、跟踪定位，到干扰压制、诱骗控制、物理拦截乃至激光摧毁等一系列完整的反制流程。其外延则体现在反制手段的多样性和技术的综合性上，它融合了无线电技术、光电技术、导航技术、人工智能以及新材料技术，形成了软硬结合、攻防兼备综合性安全体系。	1) 无人机探测与识别技术：安防的前提是看得见，无人机探测与识别技术是整个安防体系的“眼睛”和“大脑”，负责在复杂环境中快速、准确地发现目标并判断其威胁等级。 2) 无线电干扰与导航诱骗：目前应用最广泛、技术最成熟的反制手段，通过电子手段使无人机失控或迫使其返航，避免造成物理破坏。 3) 物理拦截与定向能技术：当“软杀伤”手段失效，或面临恶意攻击等高风险威胁时，需要采用“硬杀伤”手段进行物理拦截和摧毁。	1) 构建多层次、立体化防护网络：安防体系的构建应遵循“多层次、立体化”的原则。在探测层面，应融合雷达、光电、无线电等多种探测手段，形成互补的探测网络，确保对不同高度、不同高度的无人机都能有效发现。在反制层面，应根据威胁等级和场景需求，灵活选用干扰、诱骗、拦截等不同手段。 2) 部署固定式、车载式、手持式反制设备：反制设备应根据应用场景进行灵活部署。《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》规定任何单位或者个人不得非法拥有、使用无人驾驶航空器反制设备。
低空数字底座	低空数字底座是低空信息基础设施的“数字大脑”和核心中枢，其根本任务是构建与物理低空空域实时映射、虚实结合的数字孪生系统。以城市信息模型(CIM)为基础，通过融合三维高精地图、数字空域、数字航路、实时飞行数据、空间电磁环境数据、气象数据、安全数据等多源信息形成统一、标准、动态的低空空数据平台。其内涵在于实现物理世界的数字化和智能化，将不可见的空域资源、飞行活动、环境态势转化为可计算、可分析、可调控的数字对象。其外延则体现在其作为底层支撑平台，为上层的低空智能网联系统(低空智联网)提供统一的数据服务、时空计算、仿真推演和可视化能力，是实现低空管理智能化、服务体化、决策科学化的基础。	1) 基于 CIM 的城市信息模型构建：城市信息模型(CIM)是构建低空数字底座的骨架。CTM 不仅包含传统的地理信息系统(GIS)数据，如地形地貌、道路、水系等，还深度融合了建筑信息模型(BIM)数据，能够精确表达城市中建筑物、桥梁、道路的三维几何信息和属性信息，通过构建高精度的 CIM 模型，可以为低空飞行提供一个真实、精细的虚拟地理环境，为航路规划、障碍物规避、起降场选址等提供基础数据支撑； 2) 低空空域数字孪生系统：在 CIM 的基础上，通过融合实时动态数据，构建低空空域的数字孪生系统，通过数字孪生系统，管理者可以在虚拟空间中实时掌握整个低空的运行态势。 3) 三维高精地图与动态地理围栏：三维高精地图是低空数字底座的核心数据产品，包含静态的地理信息，融合了动态的交通信息、气象信息、空域限制信息等。动态地理围栏技术是在高精地图上划定虚拟的边界，当飞行器接近或进入这些边界时，系统会自动触发告警或采取预设的控制措施。地理围栏可以根据需要动态生成和调整，例如，可以为临时禁飞区、危险天气区域等快速设置电子围栏，实现对空域的精细化、动态化管理。	1) 数字底座平台开发与集成：实施方案的核心是开发功能强大、性能稳定、开放可扩展的数字底座平台，该平台具备多源数据的接入与融合能力、海量时空数据的存储与管理能力、基于 AI 的数据分析与挖掘能力以及高逼真度的三维可视化与仿真能力。 2) 数据标准与安全管理：为了确保不同来源、不同系统的数据能够有效融合和共享，必须建立统一的数据标准和接口规范，包括空间数据标准、时间同步标准、数据交换协议等，同时，低空数据涉及国家安全和个人隐私，必须建立完善的数据安全管理体系，涵盖数据采集、传输、存储、处理、使用的全生命周期。

资料来源：中国信息协会低空经济分会，国信证券经济研究所整理

3.3 低空智能网联系统发展趋势

低空智能网联系统，简称“低空智联网”，是整个低空信息基础设施的“大脑”和“神经中枢”，是集成通信、导航、监视、气象、安防和数字底座六大子系统能力的复杂巨系统，构成了支撑低空运行的管理服务系统。其核心目标是通过深度融合 5G-A、人工智能、大数据、云计算和数字孪生等新一代信息技术构建一个全城覆盖、智能感知、高效传输、精准计算和协同控制的低空运行环境。该系统旨在打破传统空城管理中存在的信息孤岛，实现低空资源的数字化、网络化和智能化管理，从而支撑低空经济中各类飞行器“飞得起来、飞得安会、飞得高效、飞得守序”的核心诉求。

低空智能网联体系参考架构由三个核心层次和两个关键体系构成：

(1) **机载终端与基础设施层**：由低空载具和航电系统、信息物理基础设施组成。低空载具和航电系统包括机载通信设备、多源导航设备、机载感知与识别设备以及智能航行设备。信息物理基础设施包括低空的通信、导航、监视基础设施以及低空情报、气象、起降、无人机反制等其他保障基础设施。

(2) **数据与服务支撑层**：由接入网、交换网和服务网组成。接入网通过统一的通信、导航、监视以及其他信息的数据接口标准和接入方式，实现低空智能网联的基础数据接入。交换网构建各类基础数据的信息交换模型，完成各类数据的订阅/分发服务，以满足上层应用系统的服务需求。

(3) **应用系统层**：包括运营管理系统、低空交通管理与服务系统以及基础设施保障系统等。随着低空应用场景的不断发展，该层将引入更多的应用系统，提供更完善的服务和能力支撑。

此外，该体系还包括标准体系和安全体系两个关键组成部分，以提升整个系统的标准化协同和安全性保障。通过这一架构的实施，低空智能网联体系将为低空经济的发展提供坚实的物质技术基础，助力低空领域的创新和进步。

图90：低空智能网联体系架构图



资料来源：低空产业联盟，国信证券经济研究所整理

低空智能网联体系的发展是一个逐步推进、持续完善的过程。当前运行场景和运行模式尚未明确，空域密度和运行风险相对较低。现阶段飞行器的设计制造以满足单机独立运行为目标，智能化水平较低；机载设备以满足基础通导监能力的设备为主；空域以隔离运行为主，通过廊道式的运行模式确保业务的正常开展；服务能力和监管自动化水平、实时性和全面性较低。

随着相关技术的成熟和应用场景、应用边界的逐渐明确，低空运行将逐步向中等密度、可控风险的方向发展。飞行器将向网联化和业务驱动的智能化方向发展；机载设备将集成更多高精度、智能化的设备，以支持多机协同和复杂任务执行；基础设施建设将为飞行器提供动态感知能力，确保安全高效地运行；空域管理由静态隔离运行模式向动态网格化运行模式转变。依托智能航电系统和实时数据传输实现飞行器之间的协同感知和动态避障；基于低空智能网联体系的服务支撑平台和应用系统逐步投入使用，服务和监管的自动化水平得到较大提升，逐步实现人在回路上的空域容流管理、飞行计划调整、冲突风险告警解脱等能力。

未来，随着低空智能网联体系的进一步扩展和完善，低空运行将全面进入高密度、大规模、复杂异构的运行阶段。飞行器将以高速可靠的网络协同为核心，运行模式将由单机智能向体系智能转变；空域管理将从动态网格化运行进一步演进至灵活的低空自由运行，飞行器能够在无固定航线约束的情况下自主完成复杂任务；低空监管和服务向高度智能化和无人化的方向发展，基于人工智能的监管服务平台能够实时监控飞行器运行状态并进行智能化安全管理和调度，实现人在回路外的低空运行的精准管理与高效调控。

图91：低空智能网联体系的发展规划图

	近期	中期	远期
场景	- 低密度、低风险、单机控制 - 物流配送、低空摄影场景	- 中等密度、可控风险、集中控制 - 城市交通、公共安全、应急救援	- 高密度、大流量、分布控制 - 智慧城市、大规模物流、载人交通
空域	- 分段隔离运行 - 廊道式管理	- 动态网格化空域管理 - 多用户共享空域	- 自由空域 - 空域自适应共享
低空飞行器	飞行器及机载设备-单机智能	飞行器及机载设备-多机智能	飞行器及机载设备-体系智能
信息物理基础设施	- 基本通信网络和地面监控站 - 低密度数据支持	- 集成智能地面传感器网络 - 实时数据传输与远程监控	- 智能通导监算基础设施 - 大规模实时数据处理与分布式协同
管理服务	- 手动飞行计划 - 自动化监视与报告	- 自动化飞行计划生成与管理 - 实时监控与多方协同 - 辅助管理平台	- 飞行器自动认证 - AI自动化决策 - 大数据分析调度 - 智能管理平台

资料来源：低空智能网联技术委员会，国信证券经济研究所整理

4. 低空配套业

4.1 低空装备检验检测

TIC 行业介绍: TIC 是检测 (Testing)、检验 (Inspection) 和认证 (Certification) 三大类的统称。检测是按照程序确定合格评定对象一个或多个特性的活动；检验是审查产品设计、产品、过程或安装并确定其与特定要求的符合性，或根据专业判断确定其与通用要求的符合性的活动；认证则是正式表明合格评定机构具备实施特定合格评定工作的能力的第三方证明。

市场规模: 根据中机认检招股说明书数据，全球检测市场规模从 2013 年的 1162 亿欧元提升至 2023 年的 2785 亿欧元，约合人民币 2.2 万亿元，10 年复合增速约 9.13%。根据市场监管总局数据，截至 2024 年底，我国共有检验检测机构 53057 家，同比下降 1.44%；全年实现营业收入共 4875.97 亿元，同比增长 4.41%。其中新兴领域检验检测业务实现收入 984.80 亿元，同比增长 4.24%，占行业总收入的 20.20%，传统领域实现营收 1830.18 亿元，同比增长 2.27%，占比从 2016 年的 47.09% 逐年下滑至 2024 年的 37.53%。行业已经从量的扩张切换至效率与结构驱动，收入增长速度超过报告数量增长速度，价格与服务附加值提升成为主要驱动。

图92: 全球检验检测行业市场规模超 2700 亿欧元



资料来源: 中机认检招股说明书, 国信证券经济研究所整理

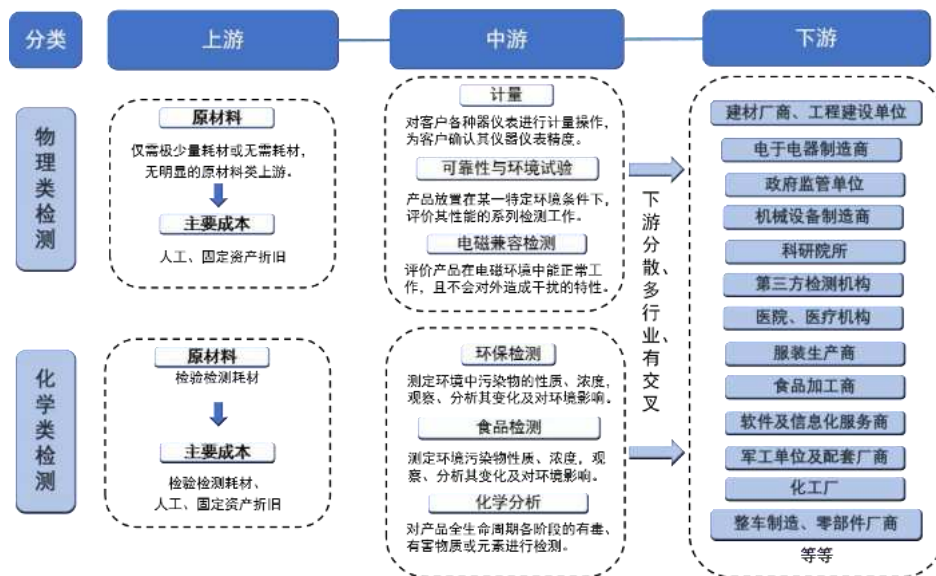
图93: 我国检测市场快速扩张, 近 10 年 CAGR 为 12.81%



资料来源: 认监委, 国信证券经济研究所整理

业务模式: 检测公司通过研究国内外标准，研究开发检测方法，辅以配备设备和人员，经过实验室检测，出具数据并提供检测报告。客户主要包括政府监管部门、消费者、产品的生产商及贸易商，检测市场参与者主要分为政府检测机构、企业内部检测实验室及独立第三方检测机构。其中，政府检验检测主要以保护人民生命财产安全为目的，业务涉及市场准入、监督检验检测、3C 认证、生产许可证、评优、免检等方面；企业内部检测实验室则服务于企业自身的产品质量管控需求，在来料进厂和成品出厂环节进行把关，并辅助研发工作；独立第三方检测机构包括外资和民营两大类，由于独立、公正、客观的特点，已被市场各方所广泛接受。

图94：检验检测可分为化学类检测与物理类检测



资料来源：安全内参，国信证券经济研究所整理

低空装备检验检测属于刚性配套环节：低空飞行器作为高度集成化、强安全约束的复杂装备，其检验检测贯穿研发验证、型式认证与商业化运行全生命周期。第三方检测机构参与的检测内容通常包括实验室试验、地面试验与飞行试验等。在检测对象上，低空飞行器涉及整机及机载系统的多维度测试需求，主要包括 1) 物理类测试：如环境可靠性试验（高低温、湿热、振动、冲击）、电磁兼容、结构强度与疲劳寿命等；2) 电子与信息化测试：包括电子元器件可靠性、航电系统、飞控系统、通信与导航系统，以及软件功能安全、信息安全与系统稳定性测试；3) 化学与材料类测试：涵盖材料性能与失效分析、复合材料检测、环保与有毒有害物质检测，以及与适航相关的材料一致性与耐久性验证。

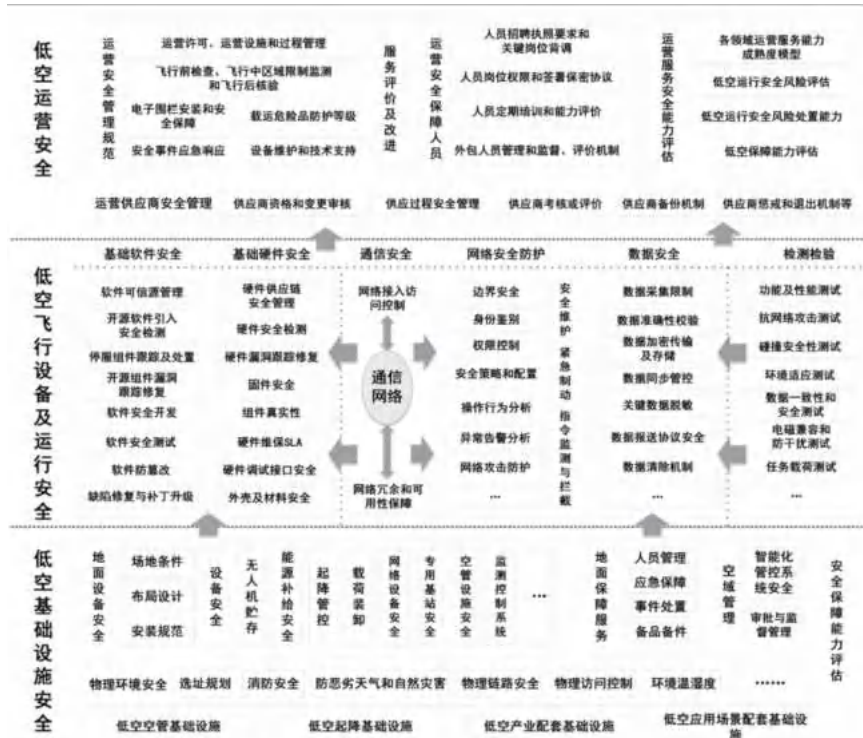
表21：低空装备检验检测项目

项目	类型
环境可靠性	模拟真实的温度、湿度、压力、噪声等环境下产品性能的稳定性
电磁兼容	机载电子电器系统测试、无线通信测试、机场无线电台电磁环境测试等
失效分析	针对电子元器件的原材料和产品性能失效诊断
软件与信息技术	机载软件测试
化学分析	针对航空产品环保检测、客舱空气质量检测、材料分析
零部件强度试验、部件级标定试验	
整机可靠性试验等	

资料来源：智研咨询，国信证券经济研究所整理

从检测技术路径看，低空装备检验检测在方法体系上与军工装备、汽车检测具有较强共通性，均以可靠性、安全性和系统稳定性为核心评价目标，但本质差异在于检测标准和合规要求的严格程度。低空飞行器需同时满足航空安全、人员安全及公共空域运行要求，其检测标准通常对标或部分参考适航体系，在测试深度、覆盖场景及合规审查流程上明显趋严。随着低空飞行活动逐步纳入更严格的空域与适航监管体系，无人机及 eVTOL 在设计、制造和运营阶段正逐步对标通用航空器管理要求，检测与验证成为监管落地的重要抓手。

图95：低空经济相关安全要求



资料来源：安全内参，国信证券经济研究所整理

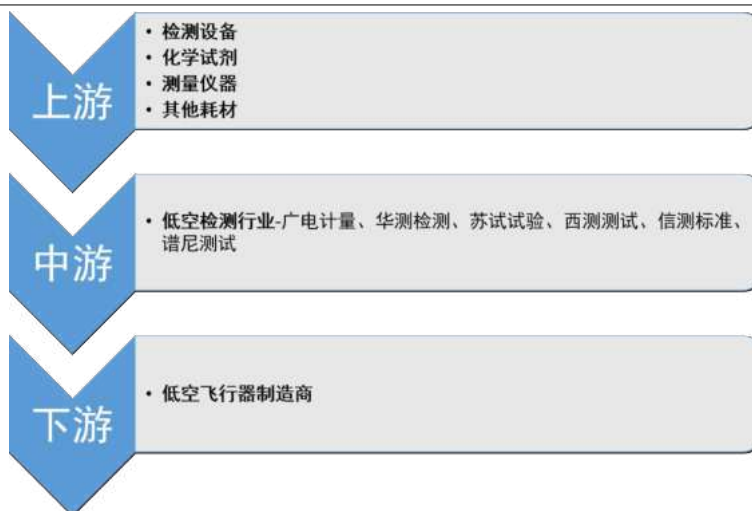
低空装备检验检测上游：检测设备与耗材供应商，技术迭代驱动能力提升。低空飞行器检测产业链上游主要包括检测设备、测量仪器、化学试剂、标准件、智能控制系统及各类耗材的生产制造商。相关产品广泛应用于环境可靠性、电磁兼容、材料性能、电子元器件及软件信息化等检测场景，为低空飞行器检测活动提供基础硬件与试剂支持。从产业特征看，上游企业数量众多，产品标准化程度相对较高，市场竞争较为充分，整体呈现“多参与者、分散供给”的格局，技术迭代快、议价能力相对有限，但在高端仪器与关键部件领域仍具备结构性机会。

中游：第三方检验检测机构，产业链核心价值环节。低空飞行器检测产业链中游为检验检测机构，其中第三方检验检测机构负责核心环节，为下游客户提供覆盖研发验证、型式试验、适航相关测试及运行阶段支持的专业检测服务。这类机构通常具备跨学科检测能力，为系统级测试平台，能够整合物理、电子、软件、材料及环境等多维度测试需求，为客户提供标准化、可复现、具备合规价值的检测结果。同时，中游机构往往还延伸提供技术咨询、标准解读、人员培训、检测方案设计等增值服务，服务边界逐步从“单点测试”向“系统级验证”拓展。从商业模式看，中游检测机构具备资质壁垒、客户粘性与规模效应，在产业链中议价能力相对较强，是低空飞行器检测领域中最具长期价值沉淀与集中度提升潜力的环节。

下游：低空飞行器制造商，需求随产业化加速释放。下游主要包括无人机、电动垂直起降飞行器（eVTOL）、飞艇等低空飞行器制造商，涵盖从初创企业到具备产业化能力的整机厂及系统集成商。下游客户对检测服务的需求，主要源于对产品质量、安全性、可靠性、性能稳定性及环保合规等方面的严格要求，检测需求贯穿产品研发、试制、定型及后续商业化运营全过程。随着我国低空经济相关政策

逐步落地、应用场景不断拓展，低空飞行器产品数量与型号持续增加，下游客户对检测服务的频次、深度与合规要求同步提升，推动检测需求呈现长期增长趋势。

图96: 低空经济注重安全



资料来源：智研咨询，国信证券经济研究所整理

兑现路径清晰，市场规模相对有限，2026 年约 34.7 亿元：预计 2026 年前后产业有望迈入商业化运营初期，叠加低空经济应用场景持续拓展，低空飞行器检测需求有望进入集中释放阶段。根据智研咨询测算，预计 2026 年中国低空飞行器检测市场规模有望达到约 34.7 亿元，中期成长空间明确。

低空飞行器主要包括无人机、电动垂直起降飞行器（eVTOL）、轻型飞机、直升机、自转旋翼机等多种类型。不同类型低空飞行器在结构复杂度、适航要求和应用场景上差异显著，其单机检测价值量与是否载人载物、载重量等级及系统复杂程度高度相关，不同机型之间存在较大分化。整体来看，无人机检测费用相对较低，而 eVTOL、轻型飞机、直升机等载人或准载人飞行器，由于涉及更严格的安全与适航要求，其检测内容更为系统、周期更长、单机检测价值量显著更高。

其中 1) 无人机及其检测市场已逐步进入成熟期。截至 2023 年底，我国民用无人机研制企业已超过 2300 家，行业已形成较为完整的产品迭代与检测配套体系。考虑到无人机产品型号更新频率较高，保守估计单家无人机厂商每年推出 2 - 3 款新型号，由此带来的型式试验、性能验证及合规检测需求，构成了规模可观、需求相对稳定的无人机检测市场。

2) eVTOL 及其他新型低空飞行器检测市场仍处于快速放量的成长期。自 2021 年以来，亿航智能、峰飞航空、沃极步耀、沃兰特、时的科技、御风未来、小鹏汇天、航天时代飞鹏等多家主机厂相继推进 eVTOL 项目，并陆续提交 TC（型号合格证）取证申请，推动检测需求从早期研发验证向系统级适航检测加速演进。随着取证流程持续推进，单机检测深度和检测价值量同步提升，成为低空飞行器检测市场中最具弹性的增量来源。

展望未来，预计 2026 年前后 eVTOL 产业有望迈入商业化运营初期，叠加低空经济应用场景持续拓展，低空飞行器检测需求有望进入集中释放阶段。此外未来随着检测对象由单一零部件向系统级、场景化验证升级，单次检测所涵盖的技术复

杂度和服务深度提升，有望部分对冲价格下行压力，使行业整体呈现量稳、价稳的特征，尤其是在适航相关与系统级检测环节，客户对检测机构的资质、流程稳定性和历史项目经验依赖度较高，使得核心检测服务具备一定的议价基础。

5. 低空核心部件专题—低空飞行器动力系统

5.1 飞行器动力系统分类

航空动力系统可分为传统航空动力系统和电推进系统。传统民航客机、军用战机等多采用传统航空动力系统，低空飞行器多采用电推进系统，这两种动力系统在短中长距离载人载物等场景中形成互补，发挥各自优势。传统航空动力系统以燃油发动机为核心，技术成熟，能够提供高功率输出，适合长时间和大载重的飞行，如支线通航、农林作业和中远距货物运输，但具有高能耗、高排放和高噪音问题。传统航空动力系统主要包括活塞发动机、涡轮喷气发动机、涡轮风扇发动机、涡轮螺旋桨发动机和涡轮轴发动机等。

2024年3月27日，工业和信息化部、科学技术部、财政部、中国民用航空局印发的《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030年）》提出，航空飞行器的新能源化为未来的主要技术方向，重点任务要以电动化为主攻方向，兼顾混合动力、氢动力、可持续燃料动力等技术路线，加快航空电推进技术突破和升级，开展高效储能、能量控制与管理、减排降噪等关键技术攻关。加快布局新能源通用航空动力技术和装备，开展400kW以下混合推进系统研制，推进250kW及以下航空电机及驱动系统规模化量产，以及500kW级产品应用验证。

电推进系统以分布式电驱动技术为基础，包括燃油、纯电动、混合动力和氢能等多种技术路线。

1) 传统燃油动力能量转化效率较低，且背离现代低碳可持续发展要求，正逐渐被淘汰。传统燃气涡轮航空发动机受材料限制，涡轮入口温度提升困难，导致发动机性能提高受到限制，此外，压气机和涡轮的功率、转速的宽范围匹配也是航空发动机发展的一大难题，需要新的解决途径。

2) 纯电推进环保性好，能量效率高，且采用的分布式推进系统(DEP)飞行安全性高，因而成为低空经济厂商的主流选择。驱动电机是纯电飞行器的关键部件，要使电动飞行器有良好的安全性、加速性以及使用性能，驱动电机应具有调速范围宽、转速高、效率高且有动态制动强和能量回馈等特点。

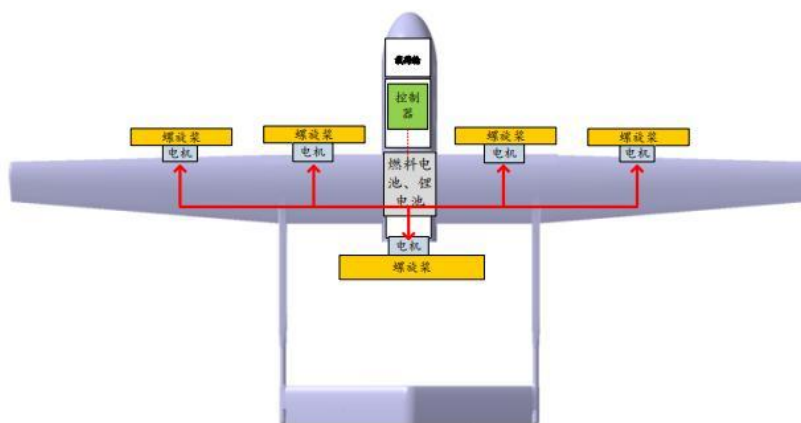
3) 混合电推进系统通过发动机驱动发电机产生电能并与电池相混合，共同带动电动机驱动涵道风扇产生推力，兼具提升能量转换效率和降低污染排放的优势。增程式混动eVTOL在垂直起降阶段采用电池驱动电机，在巡航阶段使用增程器发电驱动电机。增程式混动eVTOL可以大幅降低飞行对电池的损耗和依赖，在拓宽续航能力、降低运营成本、减少对基础设施的依赖性方面更具优势。

4) 氢能兼具高能量密度和环保性，但受制于氢燃料的生产存储运输技术的限制，现阶段较难实现大规模商用，个别主机厂力争实现技术突破，有望在大机型上率先应用。

低空飞行器的动力系统多采用分布式电推进系统(DEP)。DEP采用多台小型电动机分别驱动螺旋桨或涵道风扇，取代传统集中式发动机，多个小功率电机的总效率与大功率电机相当。其技术优势在于，分布式布局推进系统与气动外形深度融合

合，在 eVTOL 中采用倾转旋翼或复合构型，通过吹翼效应、边界层抽吸等技术降低阻力，提升飞机低速状态下的升力以实现短距起降，进而可以减小机翼面积从而降低飞机结构重量和巡航阻力以满足长航时飞行需求。同时，相较于传统燃油发动机 40% 的能量利用效率，电能利用效率超过 70%，同时减少噪声和碳排放。此外，分布式推进系统还能够在某些推进器发生故障时，通过调整其他推进器的输出来维持飞行，从而显著提高了飞行器的可靠性和生存能力。通过提高飞行器单种动力在宽工况（例如不同飞行速度、高度等）下的效率，可以降低其能量消耗，并大大提高续航时间，满足长航时的需求。

图97：分布式推进无人机外形及电动动力系统架构



资料来源：《分布式推进无人机飞行系统和动力系统综合控制研究》，董鑫，国信证券经济研究所整理

NASA 提出的 N3-X 涡轮发电分布式电推进飞机，机身上表面后缘有 16 个由电机驱动的小型分布式推力风扇，电能由位于翼尖的两台涡轮发电机产生，通过分布式推力风扇加速机身边界层附近的气流，减少飞机阻力和燃油消耗并最大限度地降低噪音水平，该飞机相比于同类运输机能耗可以降低 60%。

图98：N3-X 飞机概念设计方案



资料来源：《分布式电推进飞机气动布局快速设计方法研究》，国信证券经济研究所整理

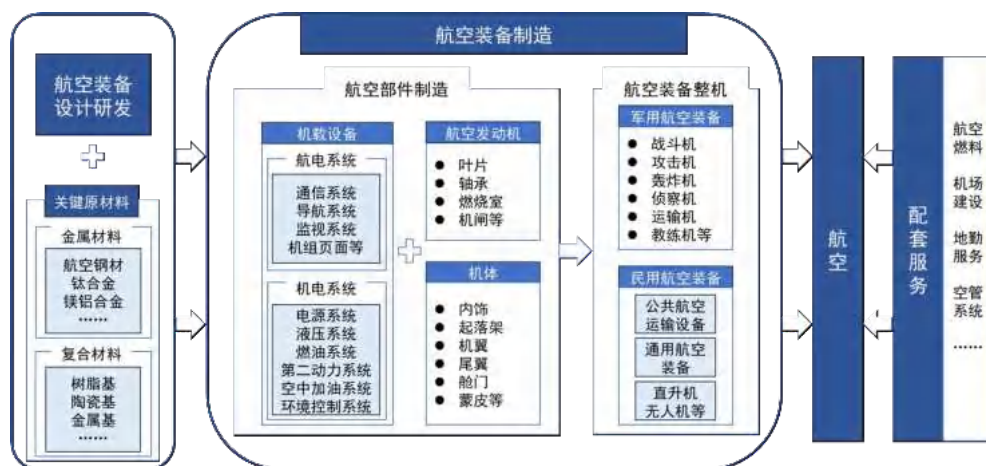
5.2 航空动力系统

航空装备指的是各类型航空器及其重大装备的总成，包括飞机、航空发动机及航空设备与系统三大部分。其中航空发动机指的是用来产生拉力或者推力使飞机前

进的发动机设备。

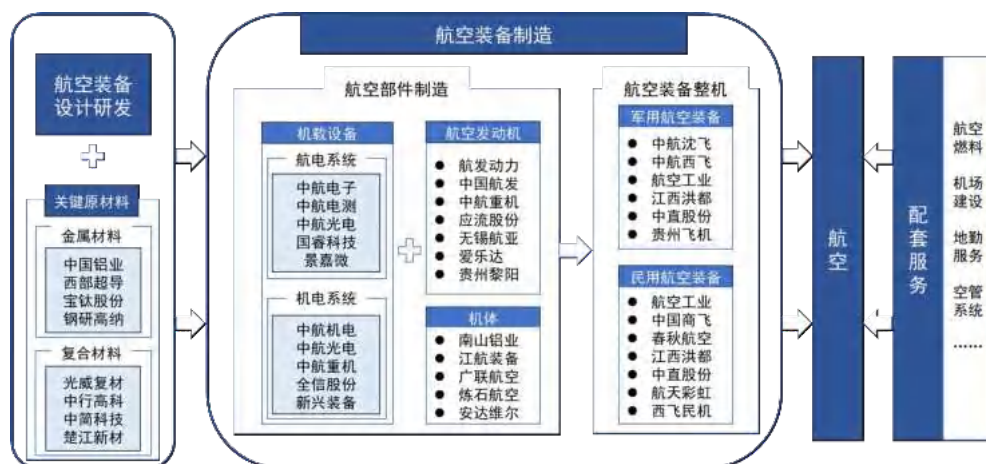
航空装备制造是航空装备产业链的关键环节，主要为航空部件制造和航空装备整机，其中航空部件制造可分为机体、发动机及机载设备三大部分。机体是航空装备结构的主要构成，发动机是航空装备的动力来源，机载设备是指对航空装备飞行中的各种信息、指令和操纵进行测量、处理、传递、显示和控制的设备。航空装备的细分市场大致为军用航空装备以及民用航空装备两大类。

图99：中国航空装备产业链结构



资料来源：前瞻产业研究院，国信证券经济研究所整理

图100：中国航空装备产业链生态图谱

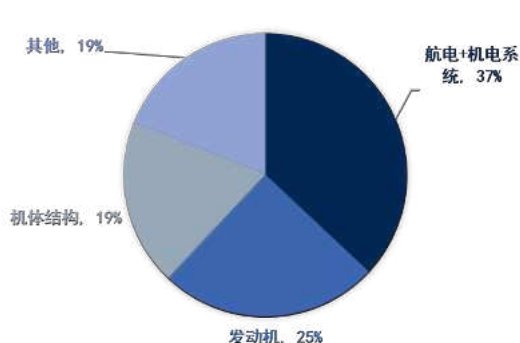


资料来源：前瞻产业研究院，国信证券经济研究所整理

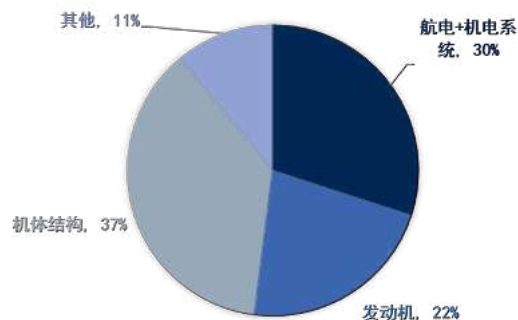
航空发动机是飞机的核心，为飞机提供飞行所需的力量和能量。航空发动机是一种非常复杂和精密的设备，它把燃料和空气混合后燃烧，然后把燃烧产生的高温高压气体转化为推力或功率，从而驱动飞机前进。从飞机成本结构拆分来看，发动机成本占比大约 20-30%，为驱动飞机飞行的核心部件。

图101：军用飞机成本结构

图102：民用飞机成本结构



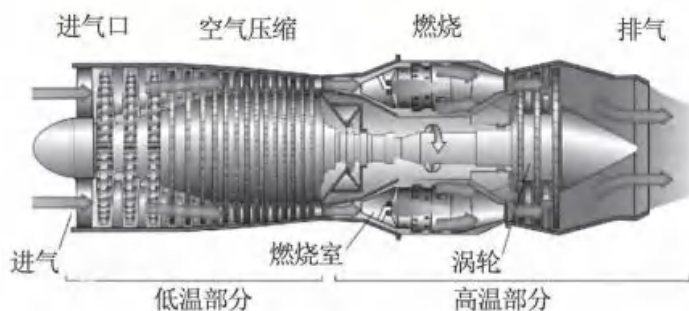
资料来源：前瞻产业研究院，国信证券经济研究所整理



资料来源：前瞻产业研究院，国信证券经济研究所整理

航空发动机主要由进气装置、压气机、燃烧室、涡轮、排气装置五大部分组成，其中压气机、燃烧室、涡轮是其三大核心部件。喷气式发动机和活塞式发动机都需要经过进气、加压、燃烧和排气四个工作过程，空气首先进入的是发动机的进气道，经过压气机加压后进入燃烧室与燃料混合燃烧，燃烧室产生高温高压的能量气体传送给涡轮，涡轮做功经涡轮轴为发动机运行提供动力，从而推动飞机运行。

图103: 航空发动机工作过程图



资料来源：陈欢，归文强，孙浩堯，张一西，《航空发动机核心部件技术研究概况与展望》，中国设备工程，2023，2023.09：237，国信证券经济研究所整理

表22: 航空发动机核心部件

核心部件	说明
压气机	压气机是航空发动机中一个重要的组成部分，它对流过它的空气进行压缩，提高空气的压力，为燃气膨胀做功创造条件，改善发动机经济性，增大发动机推力。压气机作为航空发动机的核心部件之一，具有压力大、转速高的特点。
主燃烧室	在航空燃气轮机发动机中，燃烧室是核心的部分之一，其主要功能是将化石燃料中的化学能转化为热能释放出来，并形成高温高压的气体。从燃烧室产生的高温高压的气体进入涡轮并带动涡轮转动，实现将热能转化为机械能，带动发动机的转动。燃烧室是发动机的核心，其研制过程具有难度大、周期长、花费高等特点。
涡轮	涡轮的主要作用是将从燃烧室流出的大部分能量转化为机械功，由涡轮轴输出，用以驱动其他附件。

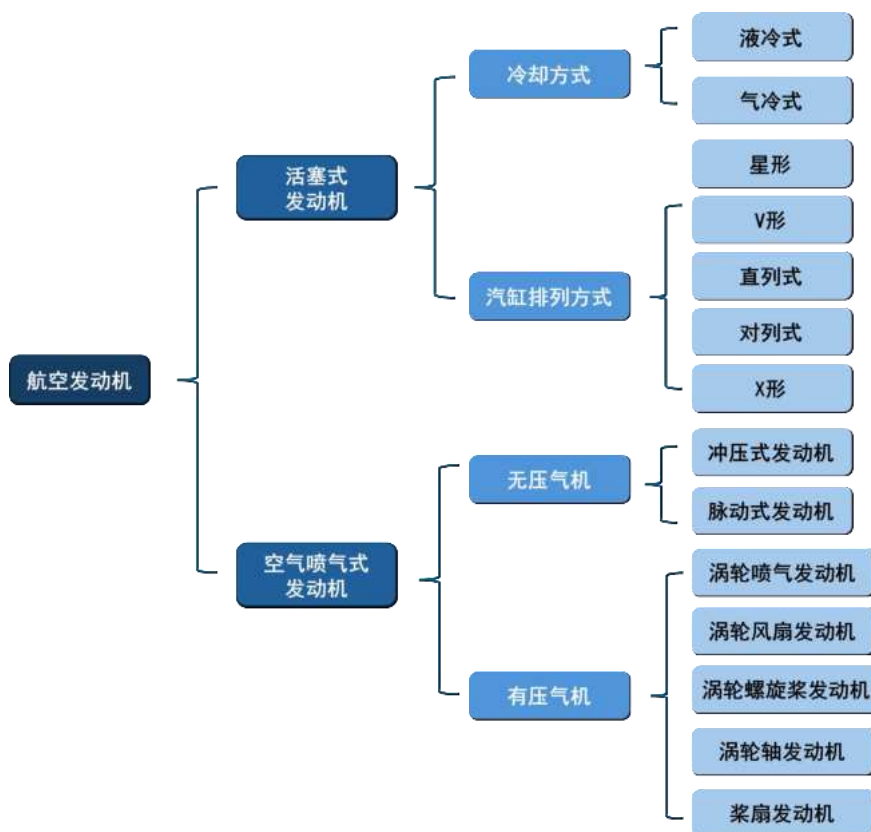
资料来源：陈欢，归文强，孙浩堯，张一西，《航空发动机核心部件技术研究概况与展望》，中国设备工程，2023，2023.09：237，国信证券经济研究所整理

航空发动机主要分为活塞式发动机和空气喷气式发动机

分类来看，航空发动机主要可以分为活塞式发动机和空气喷气式发动机。航空发动机的百年历史大致可分为两个时期：第一个时期从莱特兄弟的首次飞行开始到

第二次世界大战结束为止，在这个时期内活塞式发动机统治了 40 年左右；第二个时期从第二次世界大战结束至今，空气喷气式发动机取代了活塞式发动机，开创了喷气时代，居航空动力的主导地位。

图104: 航空发动机分类



资料来源：刘大响，陈光等，《航空发动机，飞机的心脏》，航空工业出版社，2015，2015.5：53，国信证券经济研究所整理

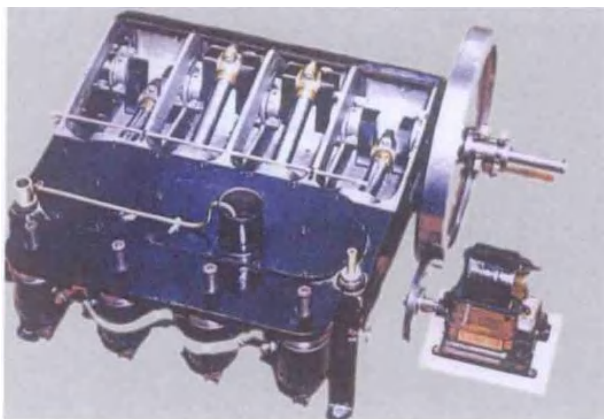
1) 活塞式发动机

由来：1903 年，美国人莱特兄弟制造出一架装有两个推进式螺旋桨的双翼飞机，这架飞机采用由他们自制的功率为 9 千瓦的活塞式发动机，为世界上第一种飞上

天的航空发动机。在莱特兄弟首次飞行后的 40 年，活塞发动机的功率从 9 千瓦增加到 2237 千瓦，飞机飞行速度超过 700 千米/时，飞行高度超过 1 万米。

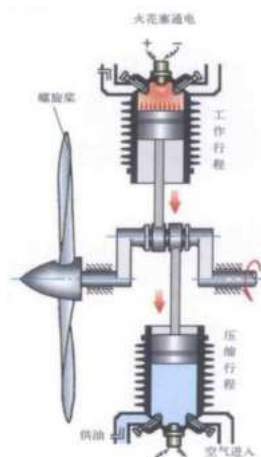
工作原理和特点：航空活塞发动机是依靠活塞在汽缸中的往复运动使气体工质完成热力循环，将燃料的化学能转化为机械能的热力机械，主要由曲轴、连杆、活塞、汽缸、进门阀、排气阀等组成。与喷气式发动机相比，航空活塞发动机具备低空低速飞行效率高、运行成本低、结构简单等优势，在小型飞机中应用较多。

图105: 莱特兄弟“飞行者”1号所用的活塞发动机



资料来源：刘大响，陈光等，《航空发动机，飞机的心脏》，航空工业出版社，2015，2015.5：49，国信证券经济研究所整理

图106: 对置双缸活塞式发动机示意图



资料来源：刘大响，陈光等，《航空发动机，飞机的心脏》，航空工业出版社，2015，2015.5：53，国信证券经济研究所整理

不足：由于发动机功率与飞机飞行速度的三次方成正比，随着飞行速度的提高，要求发动机功率大大增加，从而其重量和体积随之迅速增加，而活塞式发动机产生的动力（功率）很小，且随着飞机飞行高度的增加，功率降低很快，活塞式发动机满足不了提高飞行速度的要求；在接近声速时，螺旋桨的效率急剧下降，限制了飞行速度的提高。要进一步提高飞行速度，尤其达到或超过声速，必须采用新的动力装置，喷气式发动机可以产生很大的推力，而自身重量又较轻，从而

大大提高了飞机的飞行速度。

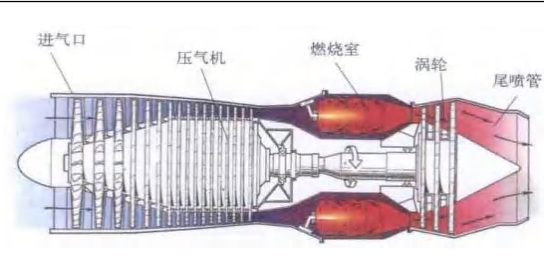
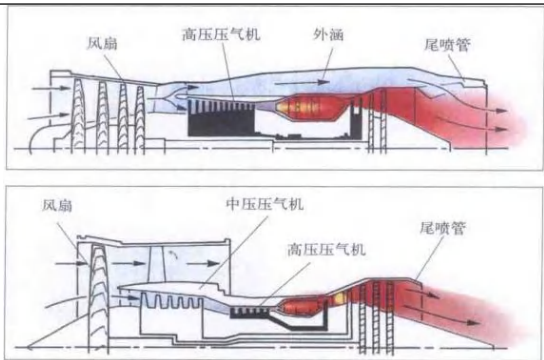
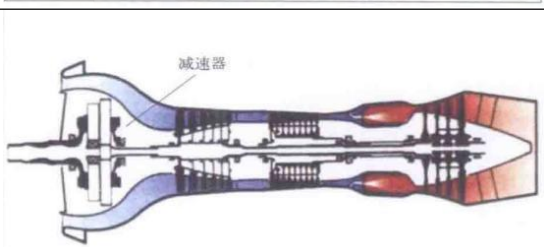
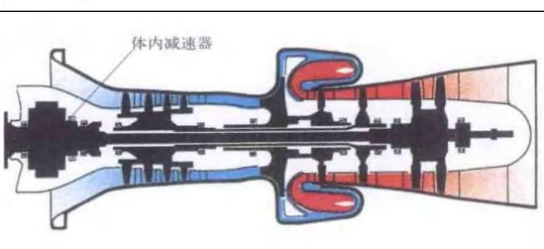
2) 空气喷气式发动机：

由来：世界上第一架以喷气发动机为动力的德国亨克尔 He. 178 飞机在 1939 年首次试飞时就达到了 700 千米/时的飞行速度，已接近活塞发动机飞机的极限速度，宣告了一个新的航空时代的到来。此后半个世纪的发展，喷气发动机的推力从最初的 200-300 千克力增加到 54620 千克力，几乎增加了 200 多倍；耗油率从大于 0.1 千克/（牛时）降到 0.035 千克/（牛时），降低约 2/3；发动机推重比由小于 1.0 增大到 10，增加了十余倍；发动机寿命由最初几小时增加到 2-3 万小时，增加了近万倍。

工作原理和特点：空气喷气式发动机中，经过压缩的空气与燃料（通常为航空煤油）的混合物燃烧后产生高温、高压燃气，在发动机的尾喷管中膨胀，以高速喷出，从而产生反作用推力。流进发动机的空气可以由专门的压气机使其受到压缩，也可以利用将高速流进发动机的空气（例如，当飞行器以很高的速度飞行时）滞止下来而产生高压来达到。因此，空气喷气式发动机可以分为无压气机和有压气机两类。在有压气机的空气喷气发动机中，压气机用燃烧室后的燃气涡轮来驱动，因此这类发动机又称为航空燃气涡轮发动机，为目前主流的航空发动机技术。

表23：空气喷气式发动机分类及其工作原理、特点、适用性

工作原理	特点	适用性	工作原理图
1、无压气机			
1) 冲压式喷气发动机	由进气道（扩压器）、燃烧室和尾喷管组成，它利用飞轮，所以这种发动机的热效率高、飞行器高速飞行时，迎面气流结构简单、重量轻、成本低。但其进入发动机后减速增压并达到一定数值，直接进入燃烧室，需要用其他助推器使航空器达到室喷油燃烧，从燃烧室出来到一定速度后能启动并开始有效的高温高压燃气直接进入尾喷管膨胀加速，向后喷出，产生反作用推力。	导弹	
2) 脉动式喷气发动机	脉动式喷气发动机是空气和燃料间歇地供入燃烧室的无压气机喷气发动机。当一股空气顶开进气阀进入燃烧室后，进气阀在弹簧作用下关闭，此时喷进燃油并点火燃烧，燃烧后的高温燃气由尾喷管高速喷出，产生推力，并吸开进气阀，空气又进入发动机燃烧室，重复上述过程，因此燃烧与供气是断续的。	优点是自身启动，结构简单，重量轻，成本低，但是它只适用于低速飞行，飞行高速有限，单向阀寿命短、振动大、耗油率高，只在第二次世界大战中被使用，目前除用于航空模型飞机和某些低速靶机外，尚无其他飞行器使用。	
2、有压飞机（也称航空燃气涡轮发动机）			

1) 涡轮喷气发动机 由驱动压气机的燃气涡轮出来的燃气在尾喷管中膨胀以高速喷出直接产生推力的发动机，称为涡轮喷气发动机。	涡轮喷气发动机克服了带螺旋桨的航空活塞式发动机的主要缺点，使飞机从亚声速进入到超声速飞行的时代。但是，由于涡轮发动机在获得推力的同时，有大量仍具有一定热能、动能的高温燃气高速排出发动机，大量的能量损失了，因此，经济性差（耗油率高）是主要弱点。20 世纪 60 年代开始，涡轮喷气发动机逐渐被性能更好的涡轮风扇发动机所取代。	 战斗机、轰炸机
2) 涡轮风扇发动机 由驱动压气机的燃气涡轮出来的燃气，现在另一个涡轮（低压涡轮）中膨胀，以驱动一个装在压气机前面的、比压气机直径大的风扇，最后再在尾喷管中膨胀并以一定的速度喷出，称为涡轮风扇发动机。	在涡轮风扇发动机中，由高压涡轮出来的燃气先在低压涡轮中膨胀做功，然后再到尾喷管中膨胀加速，由于低压涡轮中已将高压涡轮出来的燃气能量用掉很多，因此，低压涡轮出来的燃气、温度与压强大大降低了，因此与涡轮喷气发动机相比，排气能力损失小很多，耗油率一般为涡轮喷气发动机的 2/3，推力大，经济性好，排气速度低，噪音小。	 民航客机、轰炸机
3) 涡轮螺旋桨发动机 由驱动压气机的涡轮出来的燃气，先流经一个驱动减速器的涡轮，再流入尾喷管中喷出，减速器的输出轴上安装螺旋桨，称为涡轮螺旋桨发动机。	与航空活塞式发动机相比，涡轮螺旋桨发动机具有重量轻、振动小等优点，特别是随着飞行高度的增加，其性能更为优越；与涡轮喷气和涡轮风扇发动机相比，它具有耗油率低和起飞推力大的优点。但因螺旋桨特性限制，装配涡轮螺旋桨发动机的飞机飞行速度一般不超过 800 千米/时。	 中小型运输机和通用飞机
4) 涡轮轴发动机 由驱动压气机的涡轮出来的燃气，先流经一个驱动减速器的涡轮，再流入尾喷管中喷出，减速器的输出轴与较重的转速（约 8000 转/分）轻、体积小、功率小、振动小、容与传动直升机旋翼的主减速器相连，被称为涡轮轴发动机。60 年代后，新研制的直升机几乎都采用了涡轮轴发动机作为动力。	作为驱动直升机旋翼产生升力和推力的动力装置，可分为活塞式发动机的涡轮，再流入尾喷管中喷出，减速器的输出轴与较重的转速（约 8000 转/分）轻、体积小、功率小、振动小、容与传动直升机旋翼的主减速器相连，被称为涡轮轴发动机。60 年代后，新研制的直升机几乎都采用了涡轮轴发动机作为动力。	 直升机
5) 桨扇发动机 介于涡轮风扇发动机与涡轮螺旋桨发动机之间的发动机，称为桨扇发动机。它有这种发动机省油、经济性好、配装两排转向相反的、带一定后掠角的叶片，该叶片与涡轮螺旋桨发动机的叶片相比，直径小、叶片数多而薄；与涡轮风扇发动机的风扇叶片相比，叶片数少而宽、厚。	这种发动机省油、经济性好、配装两排转向相反的、带一定后掠角的叶片，该叶片与涡轮螺旋桨发动机的叶片相比，直径小、叶片数多而薄；与涡轮风扇发动机的风扇叶片相比，叶片数少而宽、厚。	 军用运输机

资料来源：刘大响，陈光等，《航空发动机，飞机的心脏》，航空工业出版社，2015，2015.5：49-62，国信证券经济研究所整理

从生产壁垒来看，航空发动机技术壁垒高、研制生命周期长等特点。

1) 技术壁垒高：

一方面，航空发动机对可靠性、安全性要求极高，结构复杂。航空发动机是推动飞机飞行的动力，与地面、水面运输工具的动力装置不同，地面、水面运输工具动力装置出现问题时，可以停车或者停泊排除故障，而航空发动机其“工作岗位”是在数千上万米的高空。发动机一旦在空中出现问题，飞机将失去动力，就无法保持飞行高度和速度，轻则导致飞机无法完成任务，重则会造成机毁人亡的重大事故。同时，与其他机械装置相比，发动机结构十分复杂，零件数目达数十万个，

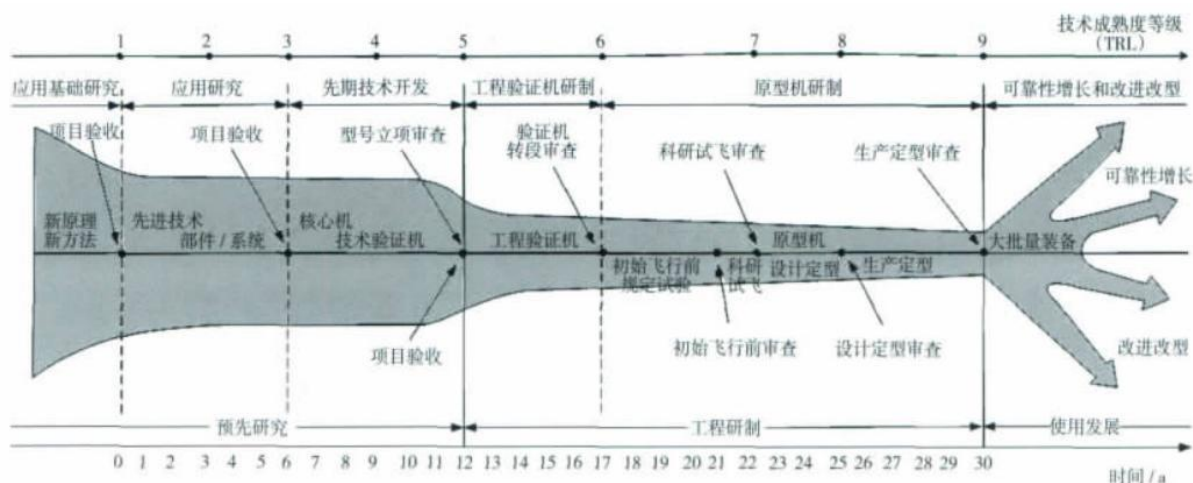
不仅如此，发动机主要零部件的工作环境十分恶劣，常常处于高温（最高可接近2000摄氏度）、高压（几十个大气压）和高速转动（转速可达每分钟几万转）的工作状态，任何一个零件出现问题，都可能导致发动机停车或破坏，并引发灾难性后果。因此，在任何一台航空发动机正式投入使用（服役）前，必须通过各种试验对其性能、功能、强度以及可靠性有充分的认识和了解，以便安全、有效、合理地使用。

另一方面，由于航空发动机的研制和发展是一项涉及空气动力学、工程热物理、传热传质、机械、强度、传动、密封、电子、自动控制等多学科的复杂的综合性系统工程，航空发动机内部的气动、热力和结构材料特性又是非常复杂，以至于到目前为止，仍然不能够从理论上给予详尽而准确的描述，只有依靠实际发动机的试验来获得。通过试验，可以验证设计的合理性、扩展已有的经验，并有可能促进对物理机理的进一步认识。此外，航空发动机设计能力的提高也主要依靠试验数据的不断扩大和完善、对已有经验的扩展以及理论分析的完善。近百年来国内外研制航空发动机的实践证明，新型航空发动机的诞生，发动机的改进、改型都离不开试验。航空发动机的发展史是一个设计、制造、试验、修改、再制造、再试验，不断摸索和反复完善的过程。

2) 研制生命周期长：

新型航空发动机全寿命可分为预先研究、工程研制和使用发展 3 大阶段。1) 预先研究阶段的主要任务是为发展新型发动机提供技术储备，缩短研制周期，降低研制风险，不断提高技术水平。同时，为改进现役发动机性能、可靠性提供实用的技术成果。2) 工程研制阶段的主要任务是根据主要作战使用性能指标，研制满足装备使用要求的发动机产品。该阶段分为工程验证机研制和原型机研制 2 个阶段。3) 使用发展阶段是发动机全寿命科研工作的重要组成部分，发动机装备使用后应不断解决使用中暴露的技术质量问题，提高可靠性，并根据装备发展需求和新技术研究成果进行改进改型发展。

图107：新型航空发动机全寿命周期按时间、分阶段的研究和发展过程

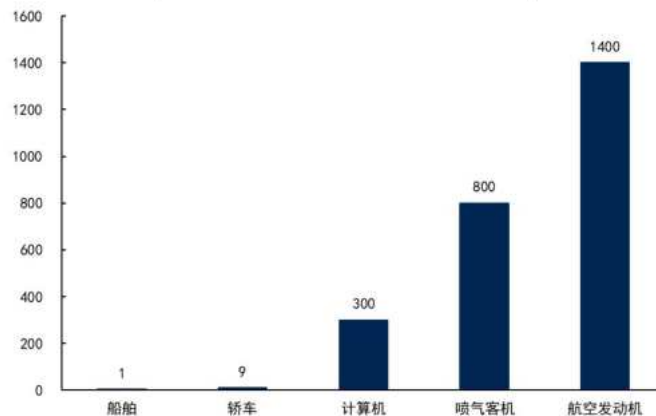


资料来源：刘廷毅，《航空发动机研制全寿命管理研究及建议》，航空发动机，2012，2012. 2：4，国信证券经济研究所整理

从产品单位重量创造的相对价值来看，航空发动机的该值是船舶的 1400 倍，经济性好。

图108：产品单位重量创造的相对价值

产品单位重量创造的相对价值



资料来源：王强，郑日恒，陈懋章，《航空发动机科学技术的发展与创新》，科技导报，2021，2021. 39（3）：60，国信证券经济研究所整理

民航发动机市场格局以及市场规模测算

民航发动机市场规模测算：参考中国商飞公司市场预测年报（2024-2043）相关数据，2024-2043 年，全球客机和货机新机交付量预计为 4.48 万架，其中中国为 9475 架，全球客机新机交付市场规模为 66420 亿美元，其中中国为 1406 亿美元，我们假设航空发动机价值量占比为 25%，测算出 2024-2043 年，全球客机航空发动机对应的全球市场规模为 16605 亿美元，国内为 3515 亿美元，对应每年全球客机航空发动机对应的全球市场规模为 830 亿美元，国内为 176 亿美元。

表24：2024-2043 年民航发动机市场规模测算

	中国	亚太	欧洲	拉美	中东	北美	俄罗斯和独联体	非洲	全球
2024-2043 年新机交付量预测（单位：架）									
涡扇支线客机	821	564	330	167	58	1423	281	248	3892
单通道喷气客机	6881	6960	7148	2043	1711	6250	636	869	32498
双通道喷气客机	1621	1812	1224	284	1316	806	130	280	7473
喷气货机	152	43	177	13	53	491	11	8	948
总计	9475	9379	8879	2507	3138	8970	1058	1405	44811
2024-2043 年新机交付市场价值预测（单位：十亿美元）									
涡扇支线客机	42	29	17	9	3	69	15	13	197
单通道喷气客机	827	853	849	250	212	775	69	99	3934
双通道喷气客机	537	613	402	90	498	243	38	90	2511
总计	1406	1495	1268	349	713	1087	122	202	6642
2023 年机队规模（单位：架）									
涡扇支线客机	150	132	163	56	52	1514	207	153	2427
单通道喷气客机	3398	2401	3835	1263	651	4700	675	467	17390
双通道喷气客机	713	931	913	123	676	665	92	147	4260
喷气货机	279	197	382	156	82	1059	104	66	2325
总计	4540	3661	5293	1598	1461	7938	1078	833	26402
2043 年机队规模（单位：架）									

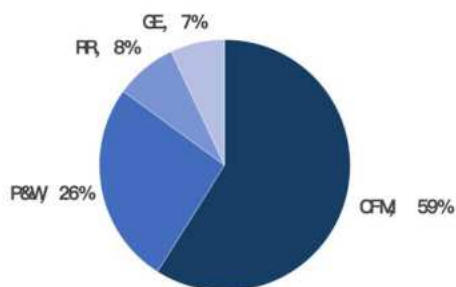
涡扇支线客机	831	572	330	206	97	1424	428	332	4220
单通道喷气客机	7499	7338	8032	2320	2008	6997	923	1262	36379
双通道喷气客机	1731	1828	1363	359	1505	979	204	363	8332
喷气货机	444	321	742	257	147	1396	101	97	3505
总计	10505	10059	10467	3142	3757	10796	1656	2054	52436
2024-2043 年发动机市场规模（单位：十亿美元，按照发动机占比 25%来算）									
涡扇支线客机	10.5	7.25	4.25	2.25	0.75	17.25	3.75	3.25	49.25
单通道喷气客机	206.75	213.25	212.25	62.5	53	193.75	17.25	24.75	983.5
双通道喷气客机	134.25	153.25	100.5	22.5	124.5	60.75	9.5	22.5	627.75
总计	351.5	373.75	317	87.25	178.25	271.75	30.5	50.5	1660.5

资料来源：中国商飞公司市场预测年报（2024-2043），国信证券经济研究所整理

航空发动机市场的竞争格局高度集中，由少数几家全球领先的公司主导。

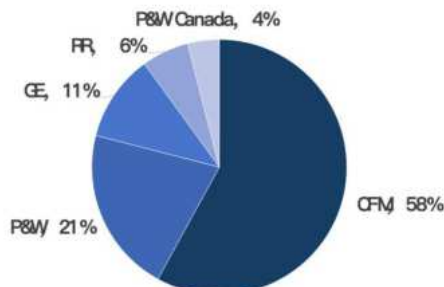
全球商用航空发动机市场呈现寡头垄断格局。根据《Commercial Engines 2022》，2021 年全球总共交付 1812 台商用航空发动机，市场由美国通用电气 GE、英国罗罗 RR 和美国普惠 P&W 以及由 Safran & GE 合资的 CFM 国际完全占据，其中，2021 年 CFM、P&W 商用航空发动机交付量分别为 1066、478 台，占比分别为 59%、26%。根据 Aviation Week Network Commercial Fleet & MRO Forecast 的预测结果，2024 年至 2033 年全球范围内将交付超 44200 台商用航空发动机，其中，CFM 的交付量仍占比超一半，P&W 以 21% 的份额位居第二。

图109: 2021 年全球商用航空发动机竞争格局



资料来源：《Commercial Engines 2022》，前瞻产业研究院，国信证券经济研究所整理

图110: 2024-2033 年全球商用航空发动机竞争格局预测



资料来源：2024 Commercial Fleet & MRO Forecast, Aviation Week Network，国信证券经济研究所整理

全球军用航空发动机市场的竞争壁垒更高，能够独立研制军用航空发动机的国家只有美国、英国、法国、中国等少数国家。美国 GE、美国 P&W、英国 RR 和法国 Snecma S. A. 为主要军用航空发动机制造商，美国 Honeywell、德国 MTU、意大利 Avio、俄罗斯礼炮、中国航空发动机集团等公司也具备较完整的生产能力。

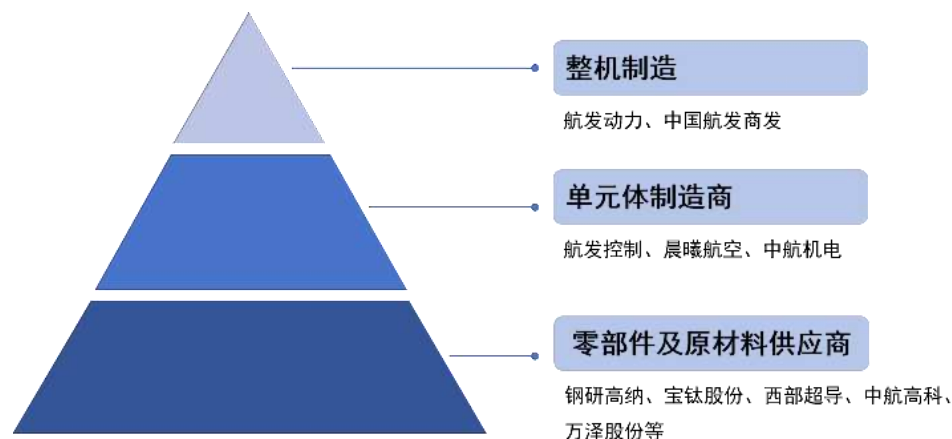
中国航空发动机市场仍由进口主导，但国内自主研发的力度不断加大，近年来在政府支持和本土需求增长的推动下取得了显著进展，目前处于技术追赶和自主研发的关键阶段。中国航空发动机市场的参与者主要包括中国航发、中国航发商发、航发控制等企业。

在民用航空发动机方面，中国面临较高的技术壁垒，我国航空发动机整机制造被央企垄断。中国航发商发负责研制用于国产商用大飞机（如 C919）的发动机 CJ-1000A，力图在窄体商用客机领域实现国产化替代。目前 C919 的早期批次仍主

要采用 CFM 国际的 LEAP 发动机，国产 CJ-1000A 的技术验证尚在推进中。

在军用航空发动机方面，中国的军用航空发动机市场高度依赖国内需求。中国航发承担了绝大多数的研发和制造任务，尤其是在战斗机、运输机和无人机领域，预计未来几年内将随着装备升级需求的增长而持续扩展。

图111：中国航空发动机竞争格局



资料来源：前瞻产业研究院，国信证券经济研究所整理

5.3 低空动力系统

低空飞行器动力系统包括动力电机、电调（电控）及螺旋桨。电调一般是指 eVTOL 的电机控制系统，可对电机的转速、扭矩、转向等参数进行精确调节和控制。它可以根据飞行器的飞行指令和姿态信息，实时调整各电机的输出，确保飞行器能够按照预定轨迹飞行，实现垂直起降、悬停、平飞等多种飞行姿态的平稳转换。

电调要具备高功率密度，以满足飞行器动力需求，能在紧凑体积和重量下实现高效电力转换与控制。电调也需具备转速和扭矩的高精度的控制能力，以保持飞行器的平衡与稳定。

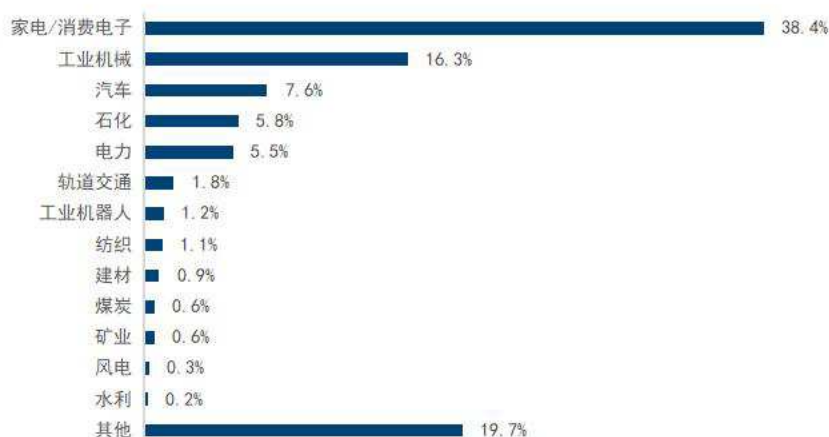
目前，eVTOL 电控市场尚处于发展阶段，参与企业主要包括传统航空电子企业、新能源汽车电控企业以及新兴的 eVTOL 研发企业。如罗克韦尔柯林斯、霍尼韦尔等传统航空巨头，凭借其在航空电子领域的技术积累和品牌优势，在 eVTOL 电控系统研发方面具有一定领先地位。而像汇川技术、英搏尔等新能源汽车电控企业，也凭借在电机控制领域的技术和成本优势，积极布局 eVTOL 电控市场。此外，Joby Aviation、亿航智能等 eVTOL 整机制造商也自主研发电控系统，以实现关键技术自主可控。

电机是动力系统核心零部件，主要作用是将电能转换为机械能，驱动螺旋桨旋转，从而产生升力和推力，实现无人机的飞行，同时根据飞控系统的指令精准调节转速，满足无人机在不同飞行状态（如起飞、悬停、巡航）下的动力需求。电机的功率密度直接影响着飞行器的有效载荷能力和续航能力，其应变工况动力输出能力、可靠性和环境适应性是决定飞行器动力特征和安全性的重要因素。以下将围绕直流电机、交流异步电机、永磁同步电机和高温超导电机等四种电机的结构和特点，重点分析其在低空领域的应用能力和潜力。

四种电机对比：直流电机、交流异步电机、永磁同步电机和高温超导电机

（1）直流电机是一种将直流电能转换为机械能的旋转电机，通过直流电源供电，利用电磁感应原理实现电能与机械能之间的转换，广泛应用于各种需要精确控制转速和扭矩的场合。2023 年中国直流电机市场规模约为 252 亿元，市场需求主要来源于家电/消费电子、工业机械和汽车等行业。

图112: 直流电机中国市场需求结构



资料来源：上海电机行业协会，国信证券经济研究所整理

有刷直流电机和无刷直流电机是两种常见的直流电机类型。其中，有刷直流电机通过电刷与换向器来实现电流的换向以保持电机转子的持续旋转，而无刷直流电机则通过电子控制系统来实现换向。得益于其简易结构和较低初始成本，有刷直流电机通常适用于玩具、小型家电等应用场景，单价在 10-1000 元区间。由于电刷和换向器的机械接触会产生能量损失，因此有刷直流电机能量效率较低（通常为 60-75%），且机械接触的磨损特性也增加了零部件维护成本，难以满足汽车和航空航天等高性能应用场景需求。

相较之下，无刷直流电机广泛应用于小型和中型无人机。无刷直流电机采用电子换向器（ESC）代替传统的机械电刷和换向器，在低空应用端具有显著优势。第一，电子换向减少了机械摩擦损耗，能量转换效率可达 80%-90%在相同电池容量下能够实现更长的飞行时间，续航时间可比有刷电机的无人机延长 30%-50%。第二，ESC 和位置传感器能够快速响应飞控系统的指令，在各种复杂飞行条件下（如快速上升、紧急避障等）能够保持更高的稳定性和操控性。第三，无刷电机减少了电刷和换向器等易磨损部件，减少了电机更换的频率，降低了长期使用成本。因此，无刷电机高效率、长寿命、低噪音、高功率密度、精确控制和高可靠性等特点，使其成为无人机动力系统的首选，单价大多在 50-5000 元区间，部分价格超万元。

表25: 有刷直流电机和无刷直流电机特点对比

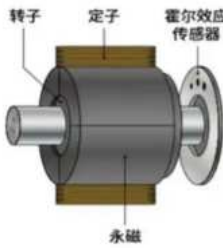
比较项	有刷直流电机	无刷直流电机
成本	初始成本低（结构简单），但长期维护成本高（需定期更换电刷）	初始成本高（需控制器和精密制造），但长期性价比（维护成本低）
寿命	短，需要定期更换电刷（几百-几千小时）	长，维护成本低（数万小时）
能效	较低，存在电刷摩擦损失（60-75%）	高，无电刷摩擦（80-95%）
噪音	噪音较大，运行时有振动	噪音低，运行平稳

调速性能	调速范围较窄，精度较低（通过改变电枢电压或励磁电流进行调速）	调速范围宽，精度高（通过电子换向器可以实现精确的转速控制）
适用场景	低成本、性能要求低、间歇性工作的应用场景	高可靠性、连续运行、高性能需求的应用场景

资料来源：国信证券经济研究所整理

直流电机在低空领域已有应用实例。空客的 eVTOL 产品 CityAirbus NextGen 采用 MAGicALL 公司的无刷直流电机，具备高扭矩、低重量和坚固耐用的特性。CityAirbus NextGen 最大航程 80 公里，巡航速度 120 公里/小时，起降噪音 70 分贝，巡航噪音 65 分贝，适用于城市空中交通、医疗急救和生态旅游等多种应用场景。

表26: 直流电机示意图及应用实例

电机类型	电机结构	电机示例	应用
有刷直流电机		 Maxon DCX	 汽车座椅水平调节电机
无刷直流电机		 MAGiDRIVE	 CityAirbus NextGen

资料来源：各公司官网，国信证券经济研究所整理

（2）交流异步电机能够将交流电能转换为机械能，其结构简单，没有刷子和换向器等复杂部件，降低了磨损和维护需求，具有较高的可靠性，并且能够承受一定程度的瞬时过载，保证在动态负载下的稳定性，适合应用于工业中泵、风扇、压缩机、传送带等设备，也在航空航天领域被用于驱动液压泵、风扇等辅助设备。但转差率的存在使得转速和转矩的控制难以精确，效率也相对较低，转子绕组需要从电网吸收电能励磁，消耗了部分电能，体积较大，适用于对控制精度要求不高的常规应用场景。目前，交流异步电机在无人机和 eVTOL 中的应用相对较少，但由于其调速能力和可靠性，交流异步电机在一些混合动力 eVTOL 系统中被用作辅助动力。MAGicALL 公司开发的电动航空的交流异步电机系统已配置于 Bell APT70 物流无人机，最大载货量为 70 磅（32kg）。

表27: 交流异步电机示意图

电机类型	电机结构	电机示例
------	------	------



资料来源：西门子，工控自习室，国信证券经济研究所整理

(3) 永磁同步电机 (Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM) 因更高的功率密度和高扭矩密度使其在轻量化设计中具有显著优势,成为 eVTOL 电机的首选。永磁同步电机采用高磁能密度的永磁材料,强大的磁场能够使电机在较小的体积和重量下输出更大的功率,转子磁场与定子磁场的同步运行机制也使得电机能够在不同工况下保持高效运行。使用高性能的永磁材料(如钕铁硼)可以进一步提高电机的扭矩密度,这对于 eVTOL 等对重量敏感的应用尤为重要。

图 113: 永磁同步电机应用实例

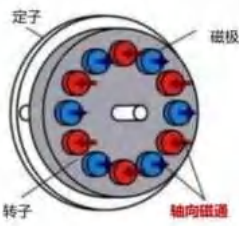
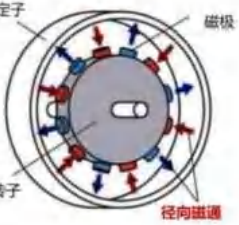
电机企业	国家	型号	转速 /(r/min)	转矩 /(N·m)	重量 /kg	扭矩密度 /(N·m/kg)	功率密度 /(kW/kg)	冷却介质	应用机型
卧龙电驱	中国	300V平台	2500-4000	/	27	/	2.6	风冷+液冷	中国商飞4座eVTOL
YASA	英国	YASA750R	3250	400	37	11	5.4	油冷	罗罗“创新精神”号、铁鸟ionBird
EMRAX	斯洛文尼亚	EMRAX228	5500	102	12.4	18.5	8.8	液冷	Skai飞机: Apis EA2电动滑翔机、Joby、VoltAero Cassio混动飞机
Magni X	美国	Magni350	2300	1600	128	12.5	2.73	液冷	R44直升机、ATL-100H飞机
Joby	美国	/	745	1800	28	64	8.4	风冷+液冷	Joby S4
Archer	美国	/	/	/	25	/	5	/	Archer Midnight
赛峰集团	法国	ENGINEUS	2500	172	/	15	2.5	/	时的科技E20
西门子	德国	Siemens SP200D	1300	1500	49	30.6	2	液冷	CityAirbus
Magnax	比利时	Magnax AXF 225	/	250	16	15.6	12.5	油冷	/
H3X	美国	HPDM-250	20000	95	13	7.3	15.4	液冷	/

资料来源：各公司官网，航空产业网，张天宏、陈杰、刘渊，《小型全电与混动飞机动力系统技术路线综述》，航空动力学报，2024，39(2)：227-240，卧龙电气驱动集团股份有限公司技术研究院，《电动航空用高性能动力系统的研发及应用》，卧龙电驱内部技术报告，2024，国信证券经济研究所整理

PMSM 分支之一的轴向磁通电机被认为是未来理想的 eVTOL 动力系统单元。第一，其磁场方向与电机轴平行，磁通路径较短，磁场利用率高，显著提升了功率密度

和扭矩密度，满足 eVTOL 在垂直起降和悬停阶段所需的高扭矩输出，同时确保了飞行器在频繁起降、低空低速盘旋、变速飞行等各种工况下的高效稳定运行。第二，轴向磁通电机的结构紧凑，径向长度更短，安装自由度高。其体积和重量相比传统径向磁通电机大幅减少，也极大地匹配了 eVTOL 的轻量化设计要求，有效增加载荷能力和续航里程。

表28: 轴向磁通和径向磁通永磁同步电机示意图

电机类型	电机结构	电机示例	应用
轴向磁通永磁同步电机			 时的科技 E20
径向磁通永磁同步电机		 DeepDrive 双转子集中驱动电机	 空客 CityAirbus 飞行汽车

资料来源：明阳电路，各公司官网，国信证券经济研究所整理

永磁同步电机凭借其高功率密度、高效率及良好的控制特性，已成为航空推进系统动力部分的优选方案，并在小型全电动及混合动力飞机中实现了批量应用。

表29: 不同类型电机性能对比

比较项	直流电机	交流异步电机	永磁同步电机	高温超导电机
功率密度	低	较低	较高	高
峰值效率(%)	85-89	90-95	95-97	98
负荷效率(%)	80-87	90-92	85-97	/
可靠性	中	较高	高	高
结构坚固性	低	高	较高	高
体积重量	大	中	小	小
电机成本	低	中	高	高
适用场景	无人机	工业生产	船舶、汽车、eVTOL	中大型全电/多电客机、eVTOL

资料来源：盖世汽车资讯，《小型全电/混动飞机技术路线与动力系统综述》，国信证券经济研究所整理

YASA 的轴向磁通电机体积为 5L、重量为 24kg，而同功率的径向磁通电机体积为 10L、重量为 50kg。其扭矩密度和功率密度分别达到 160 Nm/L 和 14.9 kW/kg，是传统径向磁通电机的 4 倍。美国的 Joby 和 Archer 的 eVTOL 项目都采用了轴向磁通电机。

PMSM 用于航空推进动力系统的典型代表有美国 H3X 的液冷径向磁通永磁电机系统 HPDM-250、英国 YASA 750R 油冷轴向磁通永磁电机、斯洛文尼亚 EMRAX228 系列外转子水冷轴向磁通电机、比利时 Magnax 的 AXF225 油冷轴向磁通电机。

图114: 永磁同步电机示意图



资料来源：《小型全电/混动飞机技术路线与动力系统综述》，国信证券经济研究所整理

表30: 永磁同步电机应用实例

电机企业	国家	型号	转速 /(r/min)	转矩 /(N·m)	重量 /kg	扭矩密度 /(N·m/kg)	功率密度 /(kW/kg)	冷却介质	应用机型
卧龙电驱	中国	300V 平台	2500-4000	/	27	/	2.6	风冷+液冷	中国商飞4座eVTOL
YASA	英国	YASA750R	3250	400	37	11	5.4	油冷	罗罗“创新精神”号、铁鸟 ionBird
EMRAX	斯洛文尼亚	EMRAX228	5500	102	12.4	18.5	8.8	液冷	Skai 飞机:Apis EA2 电动滑翔机、Joby、VoltAero Cassio 混动飞机
Magnix	美国	Magni350	2300	1600	128	12.5	2.73	液冷	R44 直升机、ATL-100H 飞机
Joby	美国	/	745	1800	28	64	8.4	风冷+液冷	Joby S4
Archer	美国	/	/	/	25	/	5	/	Archer Midnight
赛峰集团	法国	ENGINEUS	2500	172	/	15	2.5	/	时的科技 E20
西门子	德国	Siemens SP200D	1300	1500	49	30.6	2	液冷	CityAirbus
Magnax	比利时	Magnax AXF 225	/	250	16	15.6	12.5	油冷	/
H3X	美国	HPDM-250	20000	95	13	7.3	15.4	液冷	/

资料来源：各公司官网，航空产业网，《小型全电/混动飞机技术路线与动力系统综述》，《电动航空用高性能动力系统的研发及应用》（卧龙电驱），国信证券经济研究所整理

(4) 高温超导电机利用高温超导材料制成的线圈作为电机绕组，具有极高的功率密度和效率，理论上全超导电动机的功率密度能超 25kW/kg，契合 eVTOL 对于电机高功率密度性能的需求。超导线圈的零电阻特性和大电流载流能力大幅降低了

电机损耗，使得高温超导电机能够在更高的磁场强度下运行，增加电机的功率输出从而提高功率密度。高温超导电机尺寸更小、质量更轻、空间利用率更高，且可主动退磁，维护方便，但需要复杂的低温冷却系统，成本较高，适用于对高功率密度和高效率有特殊要求的高端应用领域，如大型电动飞机推进系统等。

目前美国、俄罗斯、欧洲和澳大利亚等国家的高校和科研机构在开展将超导电机技术应用于大功率航空纯/混合电力推进系统中的相关研究工作，大部分研究都是概念设计或者地面模拟测试，只有俄罗斯的 Yak-40 混合动力飞机实现了首飞。2021 年，空客成立先进超导和低温动力总成系统演示器 ASCEND 项目，2023 年 11 月，ASCEND 团队成功启动了系统核心的 500kW 动力系统，这是全球首次在航空领域实现如此高功率的超导动力系统。该项目结合液氢冷却和超导技术演示纯电/混合电推进，探索超导材料和低温系统对飞机电力推进系统性能的影响。其目标是将动力总成重量和电气损耗降低至少 50%，并将效率提高 5%-6%，研究和短期应用集中于 eVTOL、轻型和支线飞机。澳大利亚 MagniX 公司开展超导电动机的研究，提出了 MagniAlpha 超导电动机概念。其设计功率密度高达 25kW/kg，未来投入商业应用后，将有效降低推进系统的体积和重量，大幅提高推进效率。

表 表32: 高温超导电机应用实例

项目	国家	性能设计
空客 ASCEND 项目	法国	研制一套 500kW 通用的超导航空电驱动力总成验证系统
Magni Alpha 超导电动机	澳大利亚	设计功率密度高达 25kW/kg
Yak-40	俄罗斯	产生 400-500 kW 功率，采用温度为-196℃的液氮冷却，液氮流量为 6 L/h 以保持超导材料零电阻特性

资料来源：《面向电动航空的高温超导电机技术研究发展》，国信证券经济研究所整理

图115: MagniX Magni Alpha 超导电机



资料来源：《小型全电/混动飞机技术路线与动力系统综述》，国信证券经济研究所整理

图116: 俄罗斯超导混合动力电驱项目 Yak-40 电机测试实验

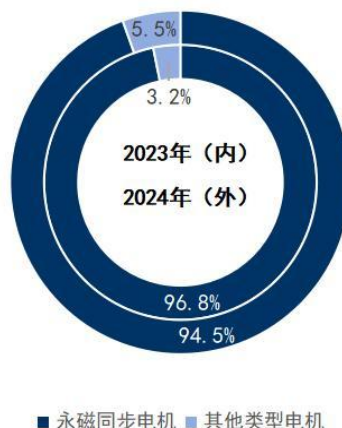


资料来源：《面向电动航空的高温超导电机技术研究发展》，国信证券经济研究所整理

航空电机和新能源汽车电机对比

目前新能源汽车的电机以永磁同步电机为主，在部分双电机车型下配置交流异步电机。根据高工锂电的数据，2021 年，永磁同步电机/感应异步电机/其他电机的累计装机量分别为 323/17/2 万台，占比分别为 94%/5%/1%。

图117: 2024 年三季度新能源驱动电机使用类型占比

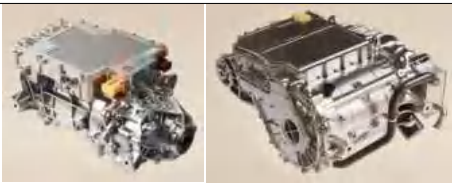


资料来源：产业在线，国信证券经济研究所整理

由于空中环境与应用场景的特殊性，航空级电机在功率密度、扭矩密度、安全性与可靠性、系统复杂性、材料与成本等方面与新能源汽车电机存在一定差异，主要体现在以下几点。

1) **功率密度更高。**功率密度是指单位体积的电机所能输出的功率，反映了电机在有限空间和重量下的性能表现。高功率密度意味着电机可以在更小的尺寸和重量下输出更大的功率，这对于提升车辆或飞行器的性能和效率至关重要。新能源汽车对持续功率输出的要求更高，注重效率和续航能力的平衡，而 eVTOL 需要在轻量化的要求下提供足够的推力以满足垂直起降和飞行的需求，同时减轻飞行器的整体重量，从而延长续航里程。《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》提出，到 2025 年，新能源汽车电机的功率密度目标是达到 5 kW/kg，到 2030 年提升至 6 kW/kg。而目前，Joby S4 的单个电机峰值功率可达 236kW，重量仅为 28kg，其电机功率密度约为 8.43 kW/kg。英搏尔开发的 eVTOL 电驱产品峰值功率为 131kW，重量仅为 14.17kg，功率密度可达 9.24kW/kg。

表33: eVTOL 电机和新能源汽车电机的功率密度对比

	eVTOL 电机	新能源汽车电机
型号	Joby S4	蔚来 ET9
功率密度	8.43kW/kg	4.30kW/kg（前），4.30kW/kg（后）
示意图		

资料来源：Joby，蔚来，国信证券经济研究所整理

图118: eVTOL 和电动汽车电机参数对比

类型	电机	转速 (rpm)	额定功率 (KW)	额定扭矩 (N · m)	质量 (kg)	效率
电动飞机	罗罗-EPU	1100	150	1300	38	95%
	天津松正-SZ30	5500	48	280	16	93%
	EMARX	8000	60	100	8	-
汽车	汇川PM32-1	14900	38	106	18	-
	汇川PM44-H	20000	103	162	14	-
	夸克电驱	22000	260	320	22	97%
	主流电驱	-	200	335	34	96%

资料来源：公司官网，国信证券经济研究所整理

2) 扭矩密度更高。对于地面交通工具，扭矩密度对于加速性能和续航表现至关重要，新能源汽车电机的扭矩密度通常在 10-20Nm/kg 左右，已能够满足其在加速和爬坡等工况下的动力需求。eVTOL 的电机则需要在垂直起降和悬停阶段提供低速高扭矩输出，以提供足够的推力。在有限的尺寸和重量下，eVTOL 电机扭矩密度通常在 30-35 Nm/kg。广汽埃安的夸克电机扭矩密度为 14.8 Nm/kg，Joby S4 的电机扭矩密度则能达到 49Nm/kg，英搏尔的航空级电机也能达到 35.28Nm/kg。

表34: eVTOL 电机和新能源汽车电机的扭矩密度对比

	eVTOL 电机	新能源汽车电机
型号	Joby S4	广汽埃安夸克电机
扭矩密度	49 Nm/kg	14.8 Nm/kg
示意图		

资料来源：Joby，新华网，国信证券经济研究所整理

3) 安全性与可靠性要求更高。新能源汽车主要关注电机的耐用性和日常运行的稳定性。eVTOL 需考虑在极端环境下运行，如海拔 8000-12000 米、温度-90℃-70℃，对安全性的要求极高，需满足失效率为 10^{-9} 的航空级标准。eVTOL 电机还需具备

高可靠性和冗余设计，例如在紧急情况下提供额外 50% 的功率输出，以确保飞行安全。

4) 系统控制更复杂。新能源汽车常采用单电机或双电机配置以平衡成本与动力需求，而 eVTOL 多采用分布式电推进系统，以提升安全性、垂直起降能力和能源利用效率，满足低空飞行的特殊需求，因此电控系统高度集成，需要精确协调多个电机的运行。

表35: eVTOL 电机和新能源汽车电机的电机配置方式对比

	Joby S4	小鹏 P7 四驱高性能版
配置方式	分布式电推进	双电机
功率密度	8.4kW/kg	2kW/kg

示意图

资料来源：公众号技术邻 CAE 学习，汽车工艺师，国信证券经济研究所整理

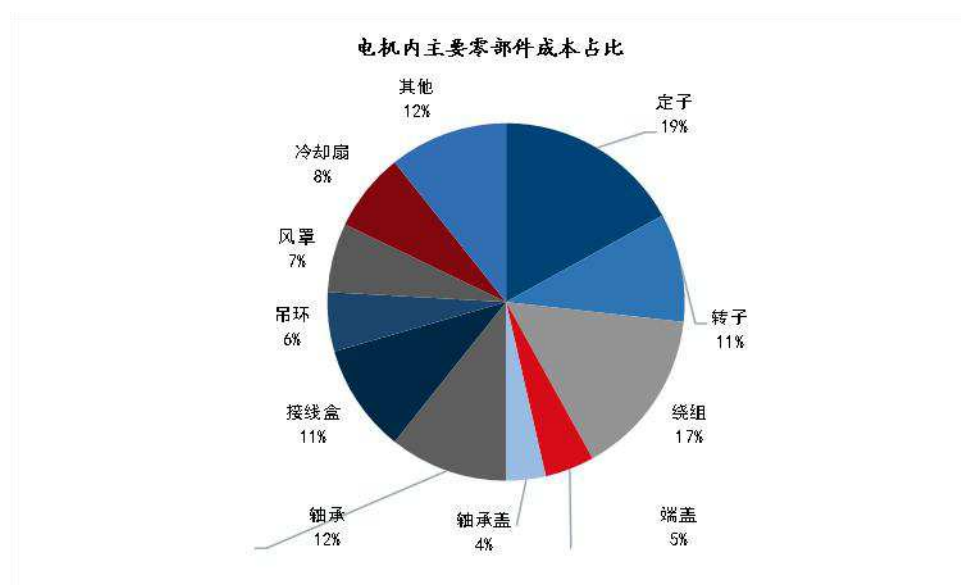
5) 材料有所不同，成本更高。新能源汽车主流采用硅钢材料，行业正向更薄的硅钢片发展，以降低损耗，材料成本相对较低。而 eVTOL 部分采用 CoFe 合金等高性能材料，具有更高的磁密，可显著提升功率密度和降低电机重量，但成本较高。

航空级的高压高功率要求。航空级电机设计要求：安全可靠：航空适航最高安全性要求失效率为 10^{-9} (1FIT) 航空安全要求更高；环境适应性：海拔，极冷极热工作环境 8000-12000m， -90°C - 70°C 对绝缘耐压设计、热设计、芯片选取等有更高要求；高效轻量化：持续功率密度要求可达到 $\sim 16\text{kW/kg}$ ，输出频率最高要求可达 $\sim 1500\text{Hz}$ ；

- 为了保障 eVTOL 的垂直起降和稳定飞行能力，目前 eVTOL 常采用 6 个、8 个、12 个或 16 个旋翼电机，并提供 1.5-2 倍的拉力冗余，以保证单桨/多桨失效后的安全运行。而新能源汽车通常为单电机或前后双电机。
- 近年来，为了实现电动飞行器电机系统高压大功率下逆变器的高频化，新一代宽禁带功率器件逐步替代传统的功率器件。如配套小鹏旅航者 X2 的北极鸥电机设计采用了 IGBT 和 SiC 模块，GE、波音公司的电推进系统逆变器均采用了 SiC 功率器件，阿肯色大学设计的逆变器则采用了 Si IGBT/SiCMOSFET 混合模块。

由于 eVTOL 产业处于起步阶段，所涉及到 eVTOL 专用电机信息较少，故我们用新能源汽车电机方案列示以作参考。驱动电机的主要零件通常包括转子、定子、线束、壳体、端盖等。在新能源汽车驱动电机的主要零部件中，价值量最高的是定子/绕组/轴承/转子，成本占比分别为 19%/17%/12%/11%。

图119: 新能源汽车驱动电机成本构成



资料来源:《电机技术》，国信证券经济研究所整理

动力系统路线对比：混动 VS 纯电

DEP 技术革新飞行动力系统。eVTOL 使用分布式电力推进系统（DEP），电机系统是核心动力单元，主要包括电机和电机驱动器。电机用于提供垂直起降和飞行期间的动力，电机控制器主要用于调节推进电机的转速和转矩，其控制相应精度直接影响飞行器推力控制精度。分布式电推进技术利用电力驱动多个推进器作为飞机的动力装置，在提升飞机气动效率、载运能力、环保性（降低噪音）和鲁棒性等方面的改进方面潜力巨大，被广泛认为是航空领域的颠覆性技术。

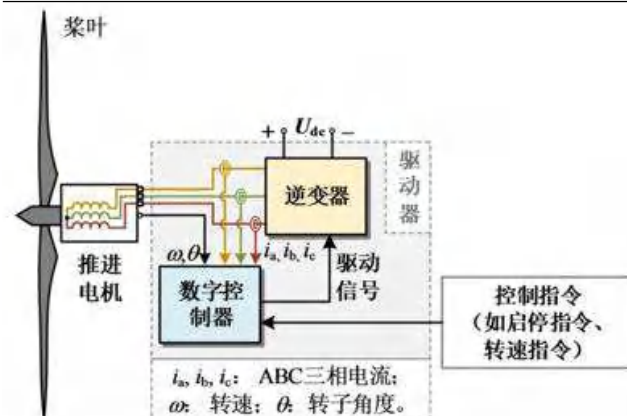
- 高功率密度电机是 eVTOL 分布式电推进系统的核心，直接决定了电推进系统的能源利用率和推进效能。与内燃机相比，电力推进具有更高的功率重量比。电力推进的功率重量比大约为 5kW/kg，而内燃机大约 1kW/kg。

图120: DEP 推进系统优势

图121: 飞机电推进系统基本架构



资料来源：航空产业网，国信证券经济研究所整理



资料来源：王志强、徐梓桁、张卓然，《飞机电推进系统高效能电机及其驱动控制技术》，航空动力学报，2024，39(3)：511-524，CNKI，国信证券经济研究所整理

电推进系统以分布式电驱动技术为基础，包括燃油、纯电动、混合动力和氢能等多种技术路线。

- 传统燃油动力能量转化效率较低，且背离现代低碳可持续发展要求，正逐渐被淘汰。
- 纯电推进环保性好，能量效率高，且采用的分布式推进系统(DEP)飞行安全性高，因而成为低空经济厂商的主流选择。
- 混合电推进系统通过发动机驱动发电机产生电能并与电池相混合，兼具提升能量转换效率和降低污染排放的优势。增程式混动 eVTOL 在垂直起降阶段采用电池驱动电机，在巡航阶段使用增程器发电驱动电机。
- 氢能兼具高能量密度和环保性，但受制于氢燃料的生产存储运输技术的限制，现阶段较难实现大规模商用，个别主机厂力争实现技术突破，有望在大机型上率先应用。

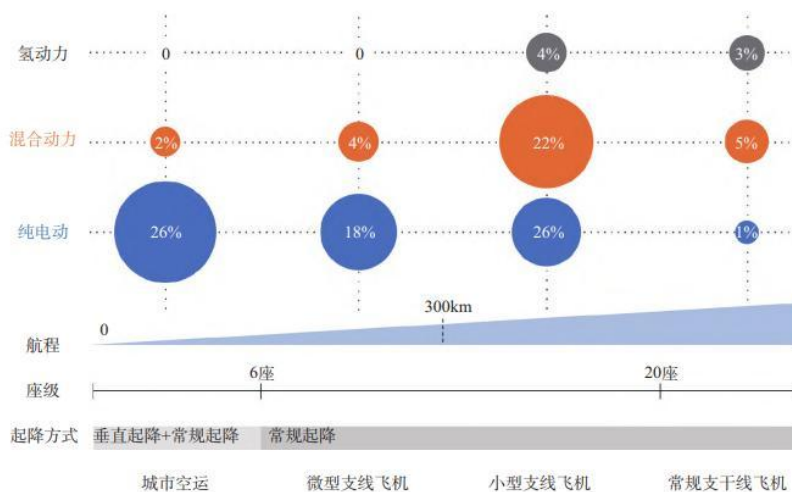
纯电推进系统：利用先进的电池技术和高效电机，航空器能够实现零排放飞行，同时显著降低运营成本和噪声，成为 eVTOL 动力系统的主流选择。

全电推进系统使用电动机作为主要推进方式，通常依赖于高能量密度的电池（如锂离子电池）或其他电源（如燃料电池或超导体）来提供动力，通过电动机将电能转换成机械能并带动风扇旋转，具有效率高、排放和噪声低等优点。

选择电池类型时，需要综合考虑能量密度、功率密度、安全性、成本等因素并针对不同的应用场景选择最优方案。目前，在 eVTOL 飞行器上应用的电池主要为锂离子电池、固态电池等。锂离子电池以其高能量密度、长循环寿命等优点成为主流选择，但在安全性、低温性能方面还有待提高；固态电池具有更高的安全性和能量密度，但目前成本较高，商业化进程相对较慢。不同新能源动力方案优势区间不同，纯电项目主要集中于城市空运和通用航空，氢动力主要集中于城际飞行和大型商用飞机。

- 纯电推动航空器受限于锂电池能量密度，适用于载客量 20 座级以下、航程 100km 的城市空运市场。
- 氢燃料电池飞机的能源系统复杂度与综合成本大于锂电池，10 座以下无显著优势，航程与载荷受限于氢燃料电池功率密度，适用于载客量 80 座级以下、航程 1500km 以下的支线客机或中型干线客机。

图122: 全球新能源航空器在研项目类型



资料来源:《氢燃料电池支线飞机关键技术与发展展望》, 国信证券经济研究所整理

电推进技术在分布式推进系统中实现创新突破。相比传统集中式推进, 采用分布式推进可优化飞行空气流场, 降低阻力和噪声, 提高系统安全性, 也可以实现垂直起降等特殊功能。例如, Joby 航空公司推出的 2 座 S2 飞机和 5 座 S4 飞机采用 16 组分布式推进, 其中 12 组用于垂直起降、4 组用于巡航。S4 飞机最高速度可达 322km/h, 而电能消耗只有汽车的 1/5, 飞行里程可达 240km, 巡航时分布式螺旋桨可折叠, 减少了气动阻力, 而降落后甚至可利用风能充电。

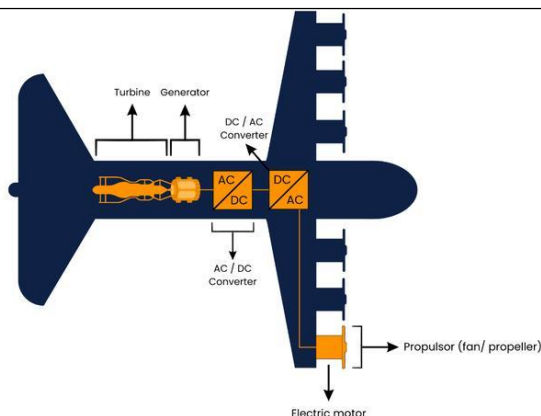
混合动力系统: 通过结合传统燃料与电能, 提高航空器的燃油效率和减少排放, 提高飞行器续航能力, 已成为电推进技术的一大创新方向。

混合电推进系统通过传统的航空燃油发动机带动发电机发电, 为分布在机翼或机体上的多个电动机提供电力, 并由电动机驱动螺旋桨提供全部或大部分推力, 主要有三种架构类型。

(1) **串联式架构:** 发动机不直接提供动力, 而是驱动发电机供电, 通过电机将电能转换成机械能带动风扇旋转。发动机与电机的安装位置灵活, 通过设计多螺旋桨 / 旋翼的分布式电力推进 (DEP) 布局, 一方面, 功率得以分散, 进一步减缩气动噪声总声级; 另一方面, 多推进器的冗余为飞行器提供了更可靠的推力保障, 这种布局方式适用于垂直起降飞行器。

图123: 混合动力涡轮电动 DEP 飞机的布局

图124: CIRRUS SR22T DEP 飞机



资料来源：通航小达人，国信证券经济研究所整理



资料来源：CIRRUS 官网，国信证券经济研究所整理

然而，串联式架构多级能量转换导致的能量损失使得电机的最大功率受限，并且在运行过程中，电池的消耗速度较快。

德国西门子公司研发出一款采用混合电推进系统的飞机 DA36E-Star2，驱动系统在起飞期间，可提供 80kW 的输出功率，持续输出功率则为 65kW，该飞机可以实现静音起飞，并能够使燃料成本和排放量降低 25%。

(2) 并联式架构：发动机和电机并行工作，电机仅由电池供电，风扇的推进功率仅由电机和内燃发动机提供，通过电机将电能转换成机械能和内燃发动机共同带动风扇旋转。在城市内短距离飞行时，主要依靠电力驱动，减少噪音和尾气排放，符合城市低空飞行的环保要求；而在需要长距离飞行时，内燃机可以为飞行器提供持续的动力，延长航程。并联式架构的两个推进源的冗余性提供了可靠的动力保障，如果电机出现故障，内燃机可以继续提供动力，使飞行器能够安全降落，符合无人机和 eVTOL 在执行关键任务（如军事侦察、应急通信中继等）时需要高度可靠的动力系统的要求。

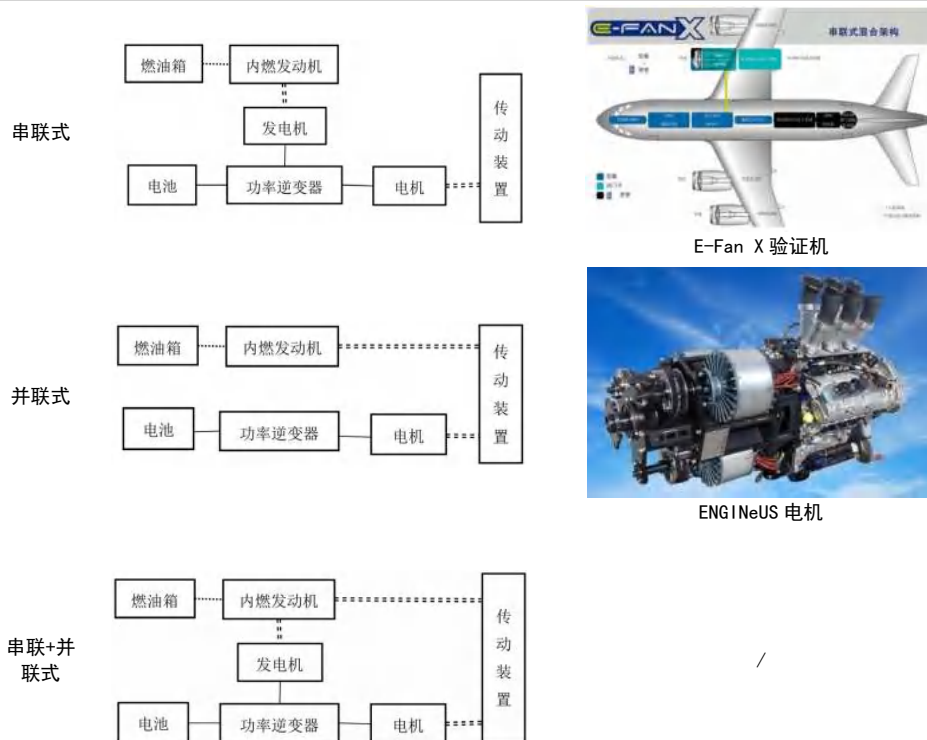
然而，电流的混合与调节增加了系统控制的复杂性，机械耦合问题也可能影响稳定性，增加内燃机与电机之间协调的难度。

2020 年，法国沃特航空公司成功首飞 Cassio 1 混合动力飞机。该机翼两侧各装配一台赛峰集团的 ENGINEUS 型电机，总功率近 440kW，尾部则采用同轴并联式混合电推进系统，由一台 270kW 内燃发动机和三台 60kW 电机通过单一动力输出轴驱动螺旋桨。

(3) 串联+并联式架构：通过同轴驱动的发动机与电池包并联，同时电子控制单元根据电池包的电量状态决定是否对电池进行充电。相较于传统的串联或并联混电系统，这种架构避免了多级能量转换导致的能量损耗，提供更灵活的运行模式，例如，在高速巡航时，系统可以由发动机直接驱动螺旋桨，而在需要额外动力时则可以同时使用发动机和电池组合供能，避免了传统串联和并联结构中的主要问题。但是该架构存在系统复杂、电路效率低的问题。

表36：混合动力系统三种架构

架构类型	架构示意图	电机/应用
------	-------	-------



资料来源：《航空混合电推进系统发展趋势研究》，《航空混合电推进系统发展研究》，国信证券经济研究所整理

混合动力系统中采用的发动机主要有活塞发动机和涡轮发动机（含涡喷、涡扇、涡桨、涡轴发动机），适用的飞行器类型不同。

（1）活塞发动机：发动机的活塞承载燃气压力，在气缸中进行反复运动，并依据连杆将这种直线运动转变为曲轴的旋转活动。在设计轻型飞机时，气缸的尺寸往往受限，无法简单地通过增加气缸容积来提高功率，导致活塞发动机动力较小，功率输出和飞行效率较低，但也具有耗油率低、成本低的优势。功率小于 370kW 的水平对缸活塞式发动机广泛应用在轻型低速飞机和直升机上，如行政机、农林机、勘探机、体育运动机、私人飞机和各种无人机，旋转活塞发动机在无人机上崭露头角。

（2）涡轮发动机利用旋转的机件自穿过它的流体中汲取动能，包含涡喷、涡扇、涡桨、涡轴四种类型。

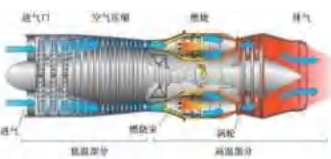
涡轮喷气发动机利用压缩空气和燃料混合后燃烧产生高温高压气体，通过喷嘴加速排出，从而产生推力。其强大推力能够应对飞机克服巨大空气阻力的需求，响应速度快的特性让发动机能迅速调整推力，保障飞行安全与准时性，所以涡喷发动机主要用于高亚音速运输机。在低速工况下，涡喷发动机耗油量大、效率低，航程缩短。

涡轮风扇发动机在涡喷发动机基础上增加风扇运转，其气流一部分精准地进入压气机（内涵道），另一部分则直接向外排放（外涵道）。通过把部分燃气能量用于驱动风扇降低了排气速度，极大地提高推进效率。涡扇发动机主要用于歼击机，其强大的推力能够瞬间为飞机提供充足的动力，在短时间内改变飞行轨迹。

涡轮螺旋桨发动机由螺旋桨和燃气发生器组成，螺旋桨直径大且转速低，螺旋桨后的气流类似于涡扇发动机的外涵道，因其涵道比大，效率在低速下高于涡扇发动机，但适用速度一般限制在 900km/h 以下。**涡桨发动机广泛应用于中低速飞机：**执行巡逻任务时，飞机需长时间低空盘旋，涡桨发动机具备燃油经济性与低速稳定性优势；反潜飞机低空慢速搜目标，其低噪、高效特性既能隐匿行踪，又能保障动力续航。

涡轮轴发动机通过燃烧室内燃烧产生的高温高压气体驱动涡轮转动，涡轮通过轴连接到主旋翼或其他机械装置，从而提供动力。涡轮轴发动机结构紧凑、重量轻、功率输出高和运行效率高，适合在高速和高负载的条件下工作。由于能在较低的转速下提供持续的动力输出，适用于直升机悬停和低速飞行中保持稳定的场景。它还具有良好的响应性和可靠性，能够快速调整输出功率，适应飞行过程中不断变化的需求，因此**涡轮轴发动机适用于直升机和垂直升降飞行器。**

表37: 五种发动机应用场景

发动机类型	电机示意图	型号	应用飞机	应用场景
活塞发动机		中国航发 HS-6	初教 6	
		航瑞动力“金鹰”重油活塞发动	彩虹 5	载人/载货，小型有人/无人机
		鸿鹏航空 D160 系列重油活塞发动机	一通无人机、航天彩虹	
涡喷发动机		德国容克尤莫 004B	Me 262、Arado Ar 234	
		通用电气 I-40/J-33	P-80“流星”战斗机	高亚音速运输机
		普惠 J-57	波音 707 和道格拉斯 DC-8	
涡扇发动机		通用电气 GE90	波音 777 系列	
		劳斯莱斯 Trent XWB	空客 A350 系列飞机	歼击机、民航飞机
		杨纳斯特 CF6	空客 A300、A310、波音 747 等	
涡桨发动机		中国航发 AEP500 型	空警 600 舰载预警机、运 9	
		罗罗 AE-2100D3	美国 C130 系列中型运输机	小中小型运输机和通用飞机
		霍尼韦尔 TPE331-12UAN	运 5	
涡轴发动机		中国航发涡轴-16	AC352	
		劳斯莱斯 BR700	巴西航空工业公司的 Global 系列	直升机、垂直起降飞行器
		基洛夫-希梅里 PS-90	伊尔-96 系列	

资料来源：深圳市无人机行业协会，澎湃新闻，国信证券经济研究所整理

混合电推进系统已在国内外航空领域广泛应用。国际市场上，大型航空公司主导行业发展，多款混合动力飞行器已成功首飞。国内则由航发动力主导，多家民营企业积极参与布局，逐步形成多层次的产品体系。

表38: 混合动力飞行器测试/商业落地情况

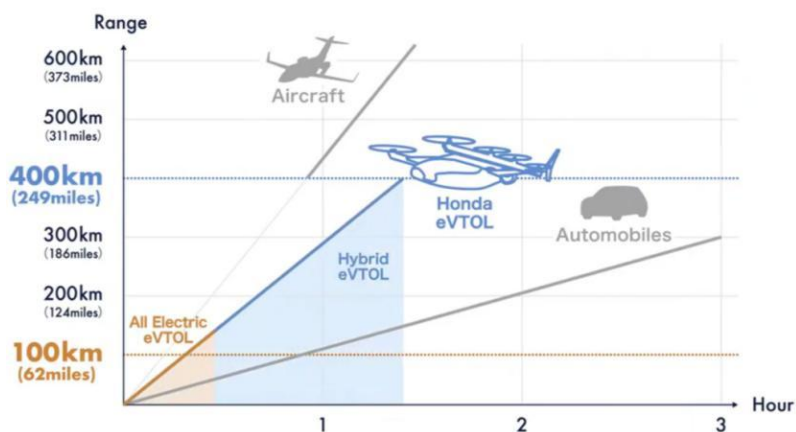
企业/单位	国家	型号	图片	测试/商业落地情况
空客	美国	CityAirbus		2019 年 5 月 3 日完成首飞
中科灵动航空科技成都有限公司	中国	灵动鹰 25		2019 年已使用该款无人机进行电力巡检作业测试, 效果良好
Dufour Aerospace	瑞士	Aero 2		2024 年 9 月完成首次悬停飞行
美国实验系统航空公司 (ESAero)	美国	EC0-150		计划于 2035 年投入使用

资料来源: 航发动力, 航空产业网, 高端装备科技信息研究中心, 《2023 年航空电推进系统进展》, 国信证券经济研究所整理

混动 VS 纯电: 纯电推进系统未来有望继续成为 eVTOL/无人机动力系统主流选择, 混合动力系统覆盖长距离应用场景。

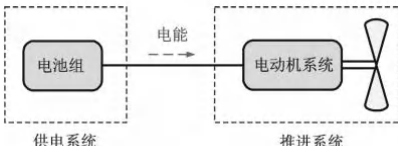
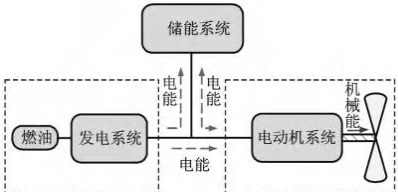
从性能看, 混合动力系统在续航能力方面具有明显优势。纯电推动航空器因锂电池能量密度局限, 难以支撑长航程、大运载需求。以常见的锂电池为例, 其能量密度通常约为 250W·h/kg, 而航空燃油的能量密度高达 12000W·h/kg, 差距数十倍。而混合动力技术路线结合燃油与电力优势, 飞行中燃油发动机可随时补充动力, 减少“里程焦虑”, 既在起飞、爬升等耗能阶段协同电机发力, 保障动力强劲, 又能在巡航时优化能源分配, 延长续航, 未来在中远途低空交通运输的应用前景广阔, 能够实现更大范围的服务。

图 125: 本田及不同动力类型 eVTOL 续航数据



资料来源：本田，国信证券经济研究所整理

表39：纯电&混动 eVTOL 对比

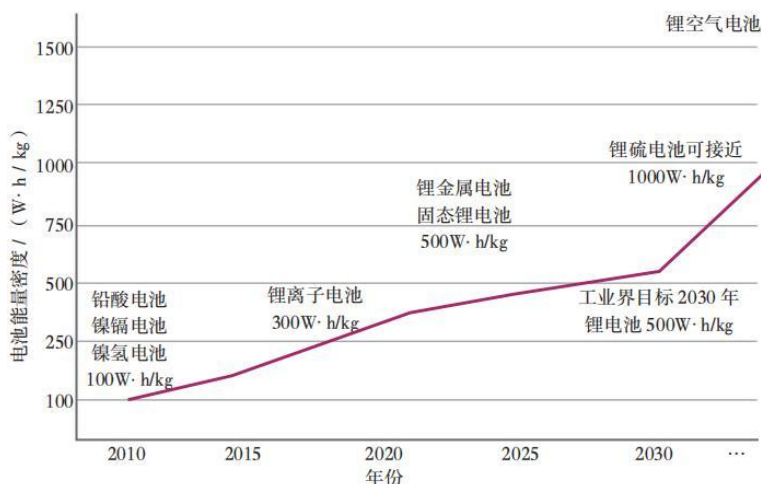
动力类型	基本架构	公司（国家）	型号	最大飞行速度 (km/h)	最大航程(km)	平均最大 航程 (km)
纯电		亿航（中国）	EH-216S	130	35	135.8
		小鹏汇天（中国）	旅航者 X2	130	75	
		沃兰特（中国）	VE25X1	235	200	
		时的科技（中国）	E20	260	200	
		吉利沃飞（中国）	AE200	320	200	
		空客（美国）	Vahana	220	50	
		Volocopter（德国）	Volocity	110	35	
		Vertical Aerospace（英国）	VX4	240	161	
		Joby Aviation（美国）	Joby-S4	322	241	
		Archer（美国）	Midnight	241	161	
混动		牧羽航空（中国）	MY-ABC	220	1500	717.5
		吉利（中国）	TF-X	185	640	
		贝尔（美国）	Nexus6HX	288	240	
		Plana Aero（韩国）	Plana CP01	300	500	
		PAL-V（荷兰）	Liberty	160	1315	
		NirvanaSystems（捷克）	GyroDrive	180	600	
		Elroy Air（美国）	Chaparral C1	/	483	
		Electra（美国）	EL-2 Goldfinch	322	805	
		Ascendance（法国）	ATEA	200	400	
		AeroMobil（斯洛伐克）	AeroMobil 2.5	200	692	

资料来源：《飞行汽车发展研究和应用场景分析》，《新能源飞行汽车发展白皮书（2024）》，《飞机电气化背景下的先进航空电机系统》，国信证券经济研究所整理

从环保性看，全电推进系统具有低噪音、低排放的环保优势。传统航空业的温室气体排放占全球人为二氧化碳排放量的 2%-3%，如果不采取任何措施，我国航空运输业碳排放可能会以 14.8% 的年均增幅持续增长。2016 年，国际民航组织（ICAO）提出了 CORSIA 计划，目标是到 2050 年航空运输业碳排放量降低至 2005 年同期的一半水平。混合动力系统相较于传统燃油系统能够减少噪声，且碳排放也有所降低，但仍然依赖部分燃油，无法实现完全零噪声和零排放。而全电推进系统在运行过程中几乎无噪声，同时能够实现零排放。以氢燃料电池为例，仅产生水蒸气作为副产品，无二氧化碳等温室气体排放。NASA 研究认为，电推进飞机可以实现节能超过 60%、减排超过 90%、降噪超过 65% 的潜在收益。

从安全稳定性看，混合动力系统凭借冗余备份、全电推进系统凭借简单的系统设计和逐渐优化的电池技术，提高了可靠性。混合动力系统能够在某一动力源发生故障时，通过另一动力源提供备份，提高整体的安全性和稳定性。NASA 研究表明，在模拟单动力源故障的情况下，混合动力系统能够在 90% 以上的情况下通过备用动力源成功维持飞行，确保飞机安全降落。相比之下，传统单动力源飞机在类似故障情况下的安全降落概率仅为 30% 左右。而全电推进系统的设计相对简单，机械故障风险较低，虽然电池技术限制存在风险，例如能量密度限制影响飞机结构设计从而影响飞行的稳定性和操控性、功率密度限制导致瞬间放电能力不足，但电池技术逐步优化，整体上其可靠性较高。

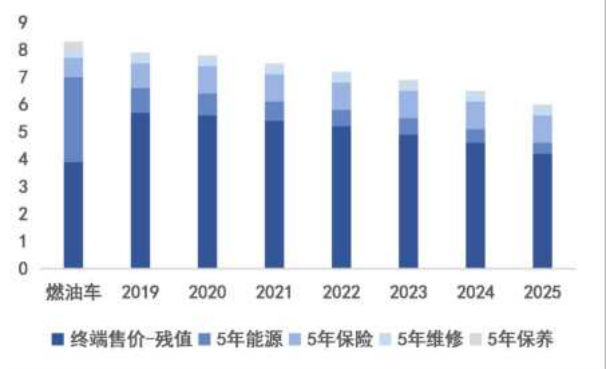
图126: 锂电池技术发展预测



资料来源：航发动力，国信证券经济研究所整理

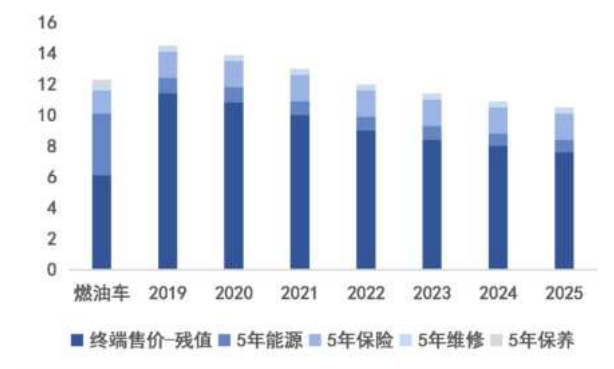
从经济性看，混合动力在城际通勤应用场景中更具经济优势。航空类动力电池放电倍率高，使用环境恶劣，综合寿命相对较低，这意味着纯电 eVTOL 需要频繁更换电池，沃兰特在构建商业模式时，将电池损耗折旧考虑在内，正常商业运营强度下，在研机型的电池更换周期约为每年 1 次到 1.3 次。保时捷管理咨询在 2025 年 2 月发布的研究报告指出，纯电 eVTOL 电池频繁充放电，加速电池老化，考虑电池折旧成本，则纯电飞行器的经济性表现不如混动飞行器。增程式混动 eVTOL 单次充电可支撑超过五次起降，无需在每次降落后充电，也不要求每个起降点都具备充电能力，可以减少电池在飞机全生命周期中的更换次数，亦可大幅提升机队运行效率和机动性。考虑到电池更换折旧，混动 eVTOL 的运营成本会比纯电 eVTOL 低 10%。但混合动力系统的初期投资较传统燃油动力系统高，由于结构更加复杂，在行业发展初期，混动 eVTOL 整体售价会比纯电 eVTOL 高出 5%至 10%。

图127: A00 级新能源汽车总持有成本平价测算（万元）



资料来源：前瞻情报部，国信证券经济研究所整理

图128: A 级新能源汽车总持有成本平价测算（万元）



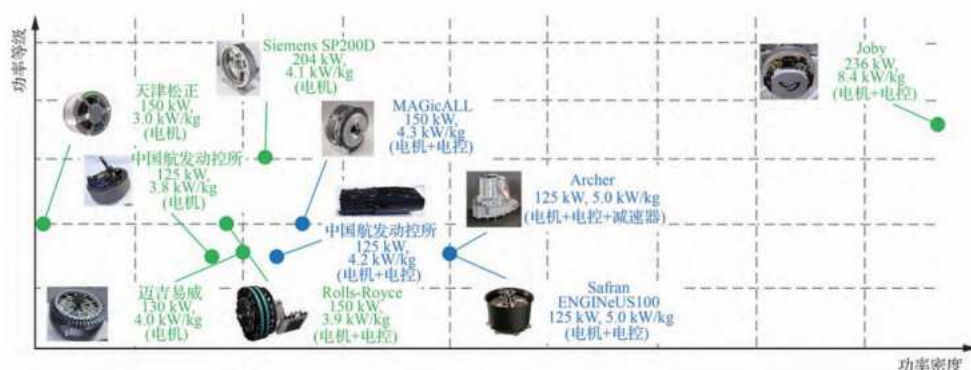
资料来源：前瞻情报部，国信证券经济研究所整理

低空飞行器的动力类型，具有形成纯电为主、混动为辅格局的趋势，不同应用场景有倾向性选择。在旅游观光场景中，对续航里程的要求不高，而更加注重舒适性，纯电动力类型的 eVTOL 更适合。在城市内客运场景中，经济性问题尤为重要，混动动力能够满足消费者的跨城际需求，但前期仍受到技术制约，纯电和混动动力类型可能长期共存。对于城际客运场景，油电或氢电混动支线飞机是理想选择，但中短期内的市场推广仍需时间。对于物流末端配送场景，噪音小、安全性高且更具灵活性的纯电无人机最适配。对于长距离支线物流场景，油电或氢电混动方案更为适配，此类场景的推广依赖于货运产品的低成本敏感性和高时效性要求。

美国 eVTOL 企业 BETA 研发了地面 Charge Cube 快充桩，并已在佛罗里达等三个州的 47 个站点部署。Charge Cube 快充桩支持 350kW 功率输出，BETA 的 eVTOL 机型充满电约需 50 分钟，速度仍然受限。eVTOL 所需要的更高的功率意味着需要额外投资、单独建设专用的电网线路，整体成本预计是汽车快充桩的数倍。

国内电机企业在功率密度等方面仍有优化空间。国外电机与电控集成的电驱产品峰值功率能够达到 200kW 以上，功率密度达 5kW/kg，其中 Joby 电驱系统功率密度 8.4kW/kg，Safran 的 eVTOL 电驱系统功率密度达 5kW/kg，均处于行业领先水平。国内 eVTOL 电机峰值功率多在 150 kW 左右，功率密度达 4 kW/kg 左右；仍有进一步提升的空间。

图129：国内外电驱系统功率密度水平对比图



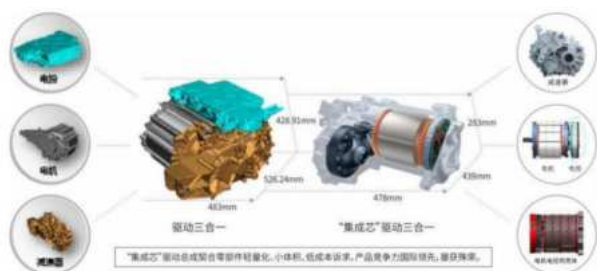
资料来源：苗永泽，范兴纲，李大伟，等. 电动垂直起降飞行器电驱系统研究进展综述[J]. 航空学报, 2025, 46(22): 148-179.，国信证券经济研究所整理

电机功率密度提升将成为未来技术演进核心方向，非晶材料、集成化设计具有应用的潜力。

(1) 非晶材料：电机的铁芯在物理空间分布上起到导体材料的定位作用，并在电机运行中传递磁通。传统意义上的铁芯，由不同性能特性的硅钢片叠压而成，大部分定子铁芯要通过扣板固定，形成一个相对稳固的整体。而非晶材料较硅钢片的损耗密度更低，有利于提升电机功率密度。

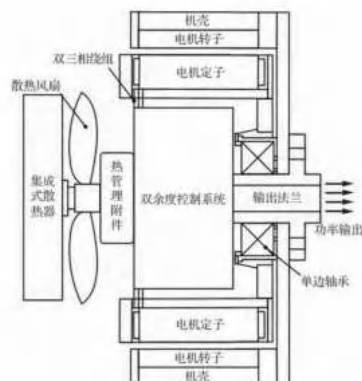
(2) 集成化设计：常规电驱系统采用电机与电控分离设计，具有较长的线缆和冷却管道，系统体积和重量均较大。目前多家企业提出电机、电控及其他部件集成设计，进而实现电驱系统的轻量化以及高功率密度。如英搏尔提出“集成芯”技术，将电机、电控、散热器进行集成，功率密度较行业平均水平提升约 20%—30%；Joby 提出一种将电机、电控、热管理系统以及变桨距机构、倾转架构与电驱系统深入集成合计，进而实现电驱系统轻量化目的。

图130: 英搏尔“集成芯”技术



资料来源：公司公告，国信证券经济研究所整理

图131: Joby 电驱系统架构示意图



资料来源：苗永泽, 范兴纲, 李大伟, 等. 电动垂直起降飞行器电驱系统研究进展综述[J]. 航空学报, 2025, 46 (22) :148-179. , 国信证券经济研究所整理

eVTOL 电机的适航认证

目前，eVTOL 电机多与主机厂随机适航，技术壁垒高，认证时间长、难度大。电机的性能和安全性直接影响整机的适航性，因此 eVTOL 电机供应商通常与主机厂共同参与产品研发和适航认证过程。由于主机厂适航要求高且复杂，认证周期长，通常需要 3 年以上，预计认证通过的主机厂和电机厂将形成稳固的供应关系，适航认证成为进入市场的关键门槛。目前进入 eVTOL 电机企业主要分为三种类型：一是自主研发电机的主机厂；二是海外航空发电机厂商；三是国内电机电控厂商等。

图132: eVTOL 电机的主要厂商



资料来源：各公司官网，国信证券经济研究所整理

国内多家 eVTOL 电机企业产品处于早期研发和合作阶段，与主机厂共同推进适航认证。卧龙电驱、英搏尔、蓝海华腾等企业已与国内多家主机厂达成战略合作，共同进行产品研发。卧龙电驱与吉利沃飞开展合作，沃飞 AE200 已申请 TC 证，预计 2026 年可获得。英搏尔与亿航智能共同研发满足适航标准的电机产品，还共同设立合资公司，围绕 eVTOL 产品生产制造以及上游零部件产业链展开深入合作，负责亿航智能 eVTOL 总装前各工序、零部件的生产。蓝海华腾与览翌航空共同推进客运级 eVTOL 的研发，计划在 2027 年底完成 LE200 的 TC 取证。

表40: 亿航智能 EH216-S 适航认证历程

时间	事件
2021 年 1 月	中国民航局正式受理 EH216-S 型号合格证 (TC) 申请，正式进入适航审定流程。
2021 年 8 月	完成首次无人驾驶飞行测试，验证飞行性能和安全性。
2021 年 9 月	正式批准专项合格审定计划，明确适航审定的具体要求和流程。
2023 年 10 月	获得型号合格证 (TC)，全球首张无人驾驶载人 eVTOL 型号合格证。
2023 年 12 月	获得标准适航证 (AC)，全球首个获得适航证的 eVTOL 航空器。
2024 年 4 月	获得生产许可证 (PC)，全球首张 eVTOL 生产许可证，标志着 EH216-S 率先迈入规模化生产阶段。
2025 年 3 月	获得运营合格证 (OC)，全国第一批载人类民用无人驾驶航空器运营合格证，中国低空经济“载人时代”序章正式开启。

资料来源：亿航智能，国信证券经济研究所整理

随着 eVTOL 行业的发展，电机和电控系统等关键部件的独立适航认证体系逐步建立，但单独适航测试难度大，目前极少企业能够实现。中国民用航空局 (CAAC) 尚未针对 eVTOL 电机单独发布适航认证的技术标准，目前对 eVTOL 整机适航认证采取“一事一议”的方式。CAAC 正在尝试制定电机等关键设备的规范，计划适时发布中国民用航空技术标准规定 (CTS0)。这些标准将参考国际适航要求，如美国联邦航空局 (FAA)、欧洲航空安全局 (EASA) 和美国航空无线电技术委员会 (RTCA) 的相关规定。

FAA 将电机视为主机动力系统的一部分，并依据《联邦法规汇编》第 14 编的相关条款进行审定。EASA 针对 VTOL 发布了专用条件 (SC-VTOL) 和符合性方法 (MOC SC-VTOL)，还发布了针对电动/混合推进系统的条件 (SC-E19)，明确电机安全性和性能要求。RTCA 的 DO-160 标准用于测试航空设备在高温、高湿、振动等极端

环境下的性能，DO-178C 和 DO-254 标准则提供软件和硬件开发的指导。这些标准要求高，通过认证的企业仍然较少。随着电机适航认证标准的完善，主机厂采用获得认证后的电机，将减轻 eVTOL 整机的适航取证压力。

表41: eVTOL 电机适航认证参考的技术标准规定

单位	认证标准	具体内容
	CCAR-37	
CAAC	《民用航空材料、零部件和机载设备技术标准规定》	适航审查时必须遵守的基本准则，为具体的 CTSO 提供框架和基础。
NARA	14 CFR 《联邦法规汇编》第 14 编	涵盖从飞行员认证到航空器适航性标准等多方面内容，包括对不同类别航空器（如正常类、运输类、直升机等）的设计、制造、测试和维护要求。
EASA	E-19 《电动/混合推进系统专用条件》	对电机系统进行全面的安全风险评估，包括故障模式分析（如高压电路短路、电磁干扰、电池热失控等），并通过实验验证确保其在极端条件下的安全性。
RTCA	DO-160G 《机载设备环境条件和试验程序》	电机需通过 DO-160G 环境适应性测试，包括高温、高湿、强磁、振动、电磁干扰等环境条件。
RTCA	DO-178C 《机载软件开发、验证与适航标准指南》	专注于航空航天软件开发的认证，对飞行控制系统、通信系统等软件的安全性和可靠性进行严格评估。
RTCA	DO-254 《机载电子硬件设计保证指南》	针对航空航天电子硬件的设计和验证，包括芯片、电路板、传感器等。

资料来源：中国民用航空局，美国国家档案和记录管理局 NARA，欧洲航空安全局 EASA，美国航空无线电技术委员会 RTCA，国信证券经济研究所整理

电机单独适航认证的路径可以参照整机适航及航空发动机适航取证路径。根据我国《民用航空产品和零部件合格审定规定》（CCAR-21-R4），国产民用航空器的取证路径为 TC→PC→AC，国产民用航空发动机、螺旋桨的取证路径为 TC→PC→AAC-038（适航批准标签）。芜湖钻石航空发动机有限公司的 AEC2.0L 航空重油活塞发动机是我国首款获颁 TC 的国产重油活塞发动机，按照民用航空规章 CCAR-33R2 要求完成适航审定。其适航认证过程自 2013 年启动后历时多年，完成了包括 150 小时持久试验在内的多项关键测试，该发动机于 2023 年 7 月正式获颁 TC 证，并于 2024 年 4 月正式获取 PC 证。

赛峰集团研发的 ENGINEUS 100 电机是全球首个成功完成单独适航认证的 eVTOL 电机。2025 年 2 月，赛峰集团宣布全球首款用于新型空中交通的电机 ENGINEUS 100 获得 EASA 认证，根据 EASA 发布的认证航空电机专用适航条件 SC-E19 进行型号认证，SC-E19 重新定义和测试电动推进系统的安全性，特别是针对高压电弧和火灾风险的最坏情况场景，并制定相应的措施以确保飞行员在故障情况下能够安全降落。赛峰 ENGINEUS 100 航空电机的取证基于 1500 小时的电机认证测试以及在真实飞机环境下开展的超过 100 小时的飞行测试。EASA 称，该电机认证耗时不足两年，与传统旋翼机涡轴发动机认证所需时间接近。据赛峰介绍，AURA AERO、万丰旗下的钻石飞机公司、时的科技和 VoltAero 等诸多新型空中交通飞机制造商已选择赛峰集团 ENGINEUS 电机系列。赛峰正筹备于 2026 年在法国尼奥尔和英国皮特斯通建立四条半自动化生产线，以量产 ENGINEUS 系列电机，建成后每年可生产超过 1000 台电机，并具备增产能力。

表42: ENGINEUS 系列电机图示与应用

ENGINEUS 100 电机示意图	合作企业	应用机型	机型示意图
 	AURA AERO	INTEGRAL E	
	钻石飞机公司	eDA40	
	时的科技	E20	
	VoltAero	Cassio 330	

资料来源：时的科技，中国航空报，航空产业网，航空动力，国信证券经济研究所整理

四、通用航空产业逻辑及机遇

1 通航产业概念

除了军用以及民用客货运航班以外，其他所有的飞行活动都可以归入通用航空的范畴，包括从事工业、农林牧渔、建筑业等作业飞行，以及天气干预、遥感遥测、科学实验、飞行娱乐、飞行培训、短途通勤以及应急救援等飞行活动，飞行高度通常在 6000 米以下。通用航空以灵活航线或非航线、个性化的服务为特点，作业范围广、作业空域低、作业时效性强，涉及多样化民用领域。

通用航空业是以航空器制造和飞行活动为核心，涵盖市场运营、综合保障以及延伸服务等全产业链的战略性新兴产业体系，具有产业链条长、服务领域广、带动作用强等特点。传统通航和新兴无人机产业都是通用航空业的有机组成部分，二者紧密联系、相互融合，共同提升航空服务的覆盖范围和服务质量。

图133: 我国航空业划分情况



资料来源：海峡科学，国信证券经济研究所整理

传统通用航空器主要分为固定翼飞机、直升机和其他航空器三大类。固定翼飞机市场发展较为成熟，高端公务机如湾流 G650 主打高效商务出行，突出其高效交通工具属性。轻型飞机如西锐 SR22 则在私人飞行和飞行员培训领域占据重要地位。而运-12 等国产特种作业机，已在农林作业、短途运输等实用场景中积累了深厚基础。直升机市场则呈现差异化特征，AC313 等大型多用途机型成为应急救援、警务执法等公共服务的核心力量，R44 等轻型直升机更多用于航拍观光和个人娱乐消费。此外，滑翔机、热气球持续发挥休闲旅游的传统价值，飞艇、动力伞等也在广告宣传和特殊任务中找到了细分市场定位。

表43: 传统通用航空器分类

分类	代表性产品
固定翼飞机	轻型飞机：西锐 SR22（私人飞行、培训）
	公务机：湾流 G650（商务出行）
	特种作业机：运-12（农林喷洒、短途运输）
直升机	多用途直升机：AC313（救援、运输）
	轻型直升机：罗宾逊 R44（航拍、观光）
其他航空器	无人机：大疆农业植保机、顺丰物流无人机
	滑翔机与热气球：休闲运动与旅游项目
	飞艇与动力伞：广告宣传、特殊任务

资料来源：中商产业研究院，国信证券经济研究所整理

新型通用航空器则主要是无人机和 eVTOL（电动垂直起降飞行器）。相较传统航空器，新型航空器具有智能化、无人化、绿色化等特点。例如大疆农业植保机和顺丰物流无人机，正推动行业从“为少数人服务”转向“为千行百业赋能”，其在精准农业、即时物流等场景的应用，展现出重构传统生产模式的巨大潜力。

图134: 西锐 SR22 飞机

图135: AC313 多用途直升机



资料来源：西锐飞机，国信证券经济研究所整理



资料来源：中国航空工业集团有限公司，国信证券经济研究所整理

图136: 成都国际航展动力伞



资料来源：四川日报，国信证券经济研究所整理

图137: 顺丰物流无人机



资料来源：顺丰，国信证券经济研究所整理

2. 通航产业与低空经济的关系

通用航空和低空经济是两个不完全相同的概念。低空经济是一种综合经济形态，包含通用航空业态，并在通用航空产业链基础上与汽车、新能源、新材料等多领域交叉融合，通过技术创新和场景拓展，带动航空器研发与制造、低空飞行基础设施建设与运营以及飞行服务保障等多个产业升级和扩容。低空经济的核心在于将新开放的空域资源转化为经济资源，通用航空则因此从“小众”走向“大众”。

通用航空和低空经济在空间范围和飞行业态方面存在一定差异。从使用的空间范围看，低空经济的飞行高度一般是在真高 3000 米以下，而通用航空还包含很多中、高空飞行作业，如公务飞行、高空跳伞等。从行业业态来看，通用航空以有人驾驶固定翼飞机、直升机等燃油驱动航空器为主，低空经济则以无人机、eVTOL 等新型航空器为主，强调无人化、智能化、绿色化技术应用。

3. 通用航空产业链构成

从全产业链看，通用航空上游主要包括航空器研发制造，中游主要为通用航空运营服务，下游则是市场应用与综合保障环节。航空器研发制造包含原材料、零部件及整机制造。通航运营包含飞行活动运营、机场建设与管理、空中交通管制以及航空器保养维修等服务支撑体系。通用航空应用场景包括工业、农林牧渔业、

建筑业、服务业等。

图138：通用航空行业全景图



资料来源：中商产业研究院，国信证券经济研究所整理

2024年3月，工信部等4部委联合印发《通用航空装备创新应用实施方案（2024—2030年）》，明确提出到2030年，以高端化、智能化、绿色化为特征的通用航空产业发展新模式基本建立，通用航空装备形成万亿级市场规模。

图139：中国通用航空产业链生态图谱



资料来源：前瞻产业研究院，国信证券经济研究所整理

3.1 全球通用航空制造市场情况和发展趋势

全球通用航空市场整体保持增长，年交付量连续两年超过4000架。根据美国通

用航空制造商协会（GAMA）发布的《2024 年全球通用航空器交付和销售额报告》（《通航统计报告》），2019 年至 2024 年全球通航飞机年度交付量从 3535 架跃升至 4197 架，2024 年同比增加 118 架，连续第二年超过 4000 架。2025 年上半年，全球通用航空飞机交付总量为 1432 架，同比增长 4.3%。

表44: 2024 年度通用飞机交付量和交付额

飞机类型	2023 年	2024 年	增长率
活塞通用飞机/架	1701	1772	4.2%
涡桨通用飞机/架	638	626	-1.9%
喷气公务机/架	730	764	4.7%
固定翼通用飞机总数/架	3069	3162	3.0%
固定翼通用飞机总价值/亿美元	234	267	14.1%
活塞直升机/架	209	210	0.5%
涡轴直升机/架	801	825	3.0%
直升机总数/架	1010	1035	2.5%
直升机总价值/亿美元	46.7	51.7	10.7%

资料来源：王妙香. 全球通用航空市场发展态势良好[J]. 大飞机. 2025(3)., 美国通用航空制造商协会（GAMA），国信证券经济研究所整理

全球通用航空器交付额创十年内新高。《通航统计报告》显示，2024 年全球通用航空器交付额为 319 亿美元，增长 13.5%。这是近十年来中通用航空器年交付额首次超 300 亿美元。其中，固定翼通用飞机交付额从 2023 年的 234 亿美元增至 267 亿美元，增长 14.1%；直升机交付额从 2023 年的 47 亿美元增至 52 亿美元，增长 10.7%。根据 Global Market Insights 预测，2029 年全球通用航空器市场规模将达到 402 亿美元，复合年增长率为 4.72%。

从通用飞机交付地来看，北美继续占主导地位。2024 年北美占全球交付量的 70.4%，继续占据全球通航飞机交付量主导地位，占比份额略有降低；第二为欧洲，占全球交付量的 12.9%，相比 2023 年的 11.9%有所增加；第三是拉美地区，占全球交付量的 7.7%，相比 2023 年的 7.0%有所增加。亚太地区增速最快，2023-2027 年 CAGR 达 8.8%。

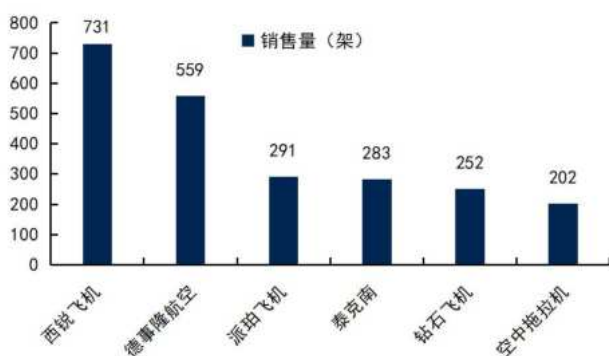
从产品结构看，固定翼飞机是通航市场主力。2024 年全球固定翼飞机交付 3162 架，占全球交付量的 75.3%，同比上升 3.3%。活塞式飞机是通航市场的主力机型，交付量占固定翼飞机的 56%，喷气公务机占 24.1%，涡桨式飞机占 19.8%。此外，2024 年全球直升机交付 1035 架，其中活塞直升机 210 架，涡轴直升机 825 架。

全球通航飞机市场向高价值机型倾斜。2025 年前三季度，公务喷气机交付量显著增长，交付量达到 554 架，同比上升 10.6%，带动整体交付价值大幅提升，成为增长最快的细分市场。活塞飞机共交付 1238 架，与去年基本持平。涡桨式飞机交付 409 架，同比下降 6.0%。尽管交付总量增长温和，但受益于产品结构向高价值机型倾斜，飞机交付总价值达到 194 亿美元，同比大幅增长 13.2%。同期，直升机总交付量为 612 架，同比减少 3.3%。然而，与飞机市场类似，直升机交付总价值不降反升，达到 31 亿美元，同比增长 16.0%，反映出高价值机型占比提升的市场趋势。

3.2 全球通用航空市场竞争格局

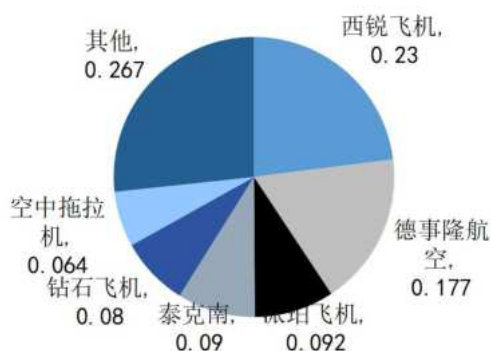
传统通用航空器制造目前由欧美企业主导，市场集中度高。从市占率来看，2024 年全球固定翼通用飞机交付量 3162 架，前六大厂商占比为 73.3%。其中总部位于美国的西锐公司（Cirrus）交付 731 架，占 23%；美国德事隆航空（Textron）交付 559 架，占 17.7%；美国派珀飞机公司（Piper Aircraft）交付 291 架，占 9.2%；意大利泰克南公司（Tecnam）交付 283 架，占 9.0%；由我国万丰奥威集团收购的总部位于奥地利的钻石飞机（Diamond）交付 252 架，占 8.0%；美国空中拖拉机公司（Air Tractor）交付 202 架，占 6.4%。

图140: 2024 年全球主要固定翼通航飞机制造商销售量



资料来源: GAMA, 国信证券经济研究所整理

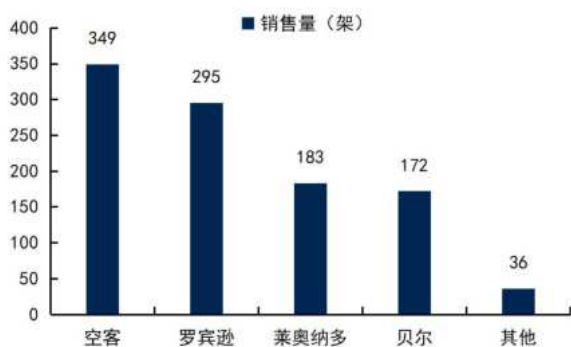
图141: 2024 年全球固定翼通航飞机厂商市占率



资料来源: GAMA, 国信证券经济研究所整理

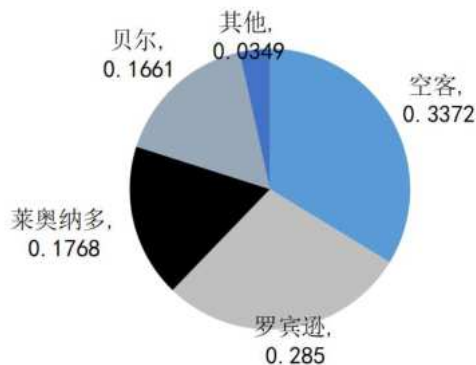
2024 年全球直升机共交付 1035 架，空客直升机（Air Bus）交付 349 架，占 33.72%，美国罗宾逊直升机（Robinson）交付 295 架、意大利莱奥纳多直升机（Leonardo）交付 183 架、美国贝尔（Bell）交付 172 架，前四大厂商市场集中度达 96.5%。从技术难度更高的喷气式公务机来看，2024 年全球喷气公务机交付 764 架，加拿大庞巴迪公司、美国湾流宇航和巴西航空工业公司的交付量分别达到 146 架、136 架和 130 架，位居前三，CR3 为 53.9%。

图142: 2024 年全球主要直升机制造商销售量



资料来源: GAMA, 国信证券经济研究所整理

图143: 2024 年全球直升机厂商市占率



资料来源: GAMA, 国信证券经济研究所整理

4. 中美产业对比下我国通航发展潜力

4.1 美国通航产业高度发达

美国通用航空产业是全球发展标杆, 其发展历程与成果为中国通用航空产业发展提供了重要对标方向。从发展基础来看, 第二次世界大战后, 美国 85% 的空域开放为民用, 通用航空产业自 1950 年起开始高速发展。1980 年至 90 年代中期, 因高油价以及飞机制造商高额的产品责任赔偿压力, 美国通航产业进入衰退期。直至 1994 年的《通用航空复兴法案》大幅减轻了整机厂的设计和制造责任, 同时经济复苏也大幅增加了通航飞机的应用需求, 行业逐步回暖。根据通用航空制造商协会委托进行的一项研究, 英国普华永道于 2025 年 2 月发布《2023 年通用航空对美国经济的贡献》年度研究报告显示, 2023 年通用航空产业为美国提供了 3392 亿美元的经济贡献和 130 万个就业机会。这与 2018 年相比, 经济贡献增加了 920 亿美元, 就业人数增加了 10 万多个。

图144: 美国 Rosamond Skypark 通航小镇



资料来源: 北京航空航天大学, 国信证券经济研究所整理

图145: 美国航空小镇 Spruce Creek



资料来源: 凤凰网, 国信证券经济研究所整理

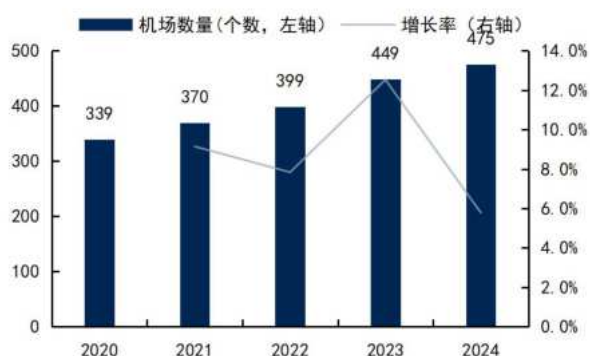
4.2 我国通航产业仍存在较大空间

美国拥有最完善的通航基础设施。这一格局的形成与历史基建遗产存在紧密关联。二战期间, 美国为满足军事航空需求, 启动大规模小型机场及简易起降场建设,

在本土形成了覆盖城乡、尤其深入中西部偏远地区的航空基建网络。这些战时基建在战后通过功能改造与民用化升级，如增设通用航空配套设施、优化起降场地条件等，逐步融入民用航空体系，成为支撑通用航空普及的关键硬件基础。

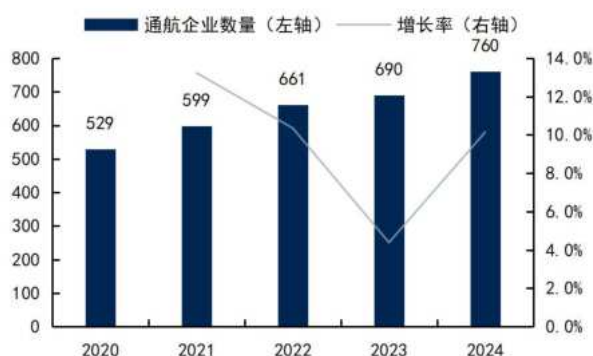
根据美国联邦航空管理局（FAA）《2024 通航统计年报》，美国现有公共管理通航机场 5100 个，还有私人管理的机场 14800 余个，合计近 20000 个通航机场。机场密度为每平方公里 0.15 个，几乎达到“县县有机场”的水平。美国全国平均通航机场利用率为每日 12 架次。对比之下，中国通用机场从数量到密度和使用情况都与之有较大差距。根据中国民用航空局数据，截至 2024 年底，全国在册管理的通用机场数量为 475 个，与美国有近 40 倍的差距。通航机场密度为每平方公里 0.0005 个，全国平均通航机场利用率为每日 0.8 架次。

图146: 2020–2024 年我国通航机场数量



资料来源：中国民航局，国信证券经济研究所整理

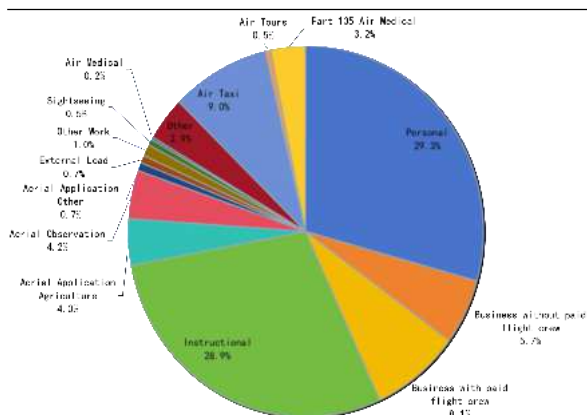
图147: 2020–2024 年我国通用航空企业数量



资料来源：中国民航局，国信证券经济研究所整理

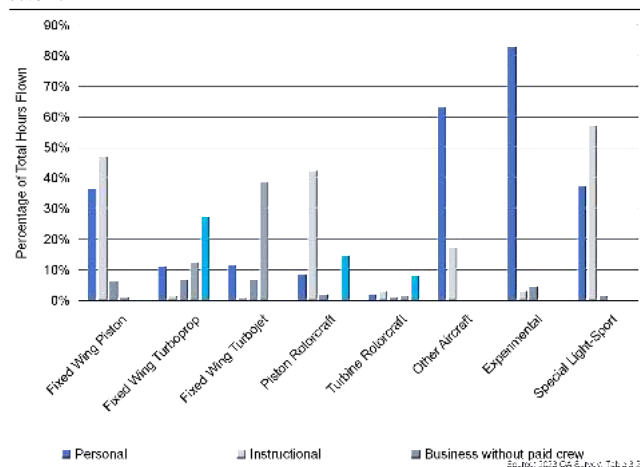
个人消费市场是美国通用航空产业最主要的领域，场景更偏向私人用途与短途运输。FAA 统计数据显示，私人用途和短途运输在美国通用航空飞行总时长中占据 70.56%，是美国通用航空产业最重要的构成，这与美国战后基建民用化带来的设施便利性、私人飞行文化普及以及消费需求成熟直接相关。根据 FAA，2023 年按用途划分的总飞行小时数统计，美国通航个人用途占 29.3%，教学占 28.9%，空中通勤为 9%，空中农业作业为 4%，航空医疗为 3.2%。具体来看，私人用途涵盖个人休闲飞行、家庭出行等，而短途运输则依托其密集的机场网络，通过通勤航空连接偏远地区与枢纽机场。

图148：2023年美国通航按用途划分小时数比例



资料来源：FAA，国信证券经济研究所整理

图149：2023年美国按航空器类型划分的通用用途类别飞行小时数百分比

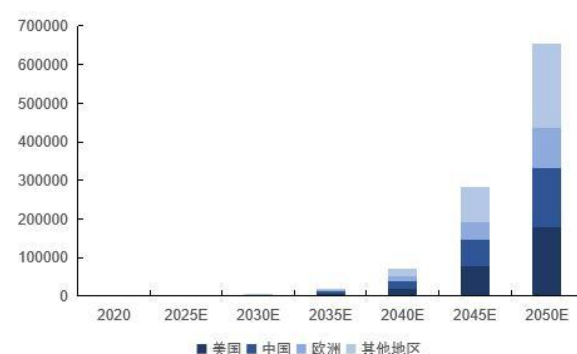


资料来源：FAA，国信证券经济研究所整理

图150：中国低空经济市场规模及同比增速



图151：全球分地区 eVTOL 市场规模预测 (亿元人民币)



资料来源：赛迪顾问，中国民航局，高工产业研究院（GGII），国信证券经济资料来源：Morgan Stanley，国信证券经济研究所整理

5. 通用航空产业发展的新机遇

传统航空器国产替代加速，新型航空器成破题关键。通用航空器的研发制造环节技术难度高、迭代时间长、技术突破难度大，目前世界成熟通用航空器和高端机载设备的核心技术主要由国外厂商控制，进一步加深了行业壁垒。我国在通用航空器研发制造方面同国际相比有较大差距，但近年来随着在资本市场并购的努力以及自主研发技术的突破，呈现出国产替代加速的趋势。

5.1 我国已形成从国际收购到资源整合的差异化竞争路径

我国通航飞机制造通过国际收购和资源整合，已形成差异化竞争优势，加速国产替代进程。万丰奥威 2020 年以 24.18 亿元收购奥地利钻石飞机公司，钻石飞机是欧洲为数不多的欧洲航空安全局（EASA）批准的 DOA（飞机设计组织），在全球拥有大量通用飞机研发与设计技术储备。通过成功整合，公司通航业务营收从 2020 年的 16.3 亿元增长至 2024 年的 24.5 亿元，复合增长率达 11.5%，毛利率保持在 25% 以上，显著高于汽车零部件业务。目前公司拥有奥地利、加拿大、捷克、

德国四大飞机设计研发中心及国内一个省级工程研究中心，以及奥地利、加拿大、中国（青岛、新昌、滨州）五大飞机制造基地。

图152: 万丰飞机工业产品分布图



资料来源：万丰奥威，国信证券经济研究所整理

图153: 万丰飞机业务分布图



资料来源：万丰奥威，国信证券经济研究所整理

2025年3月，万丰奥威收购德国eVTOL企业Volocopter核心资产，实现了城市内空中交通和城际空中交通解决方案的产品布局，现阶段公司努力推进部分eVTOL机型型号合格证（TC）取证，并力争满足EASA制定的最严格的航空标准。未来，钻石飞机将在航校培训等应用市场基础上不断开拓新的应用场景，推进新机型的引进和国内新基地及交付中心的建设与资源整合，通过丰富的机型系列进一步匹配和开发国内私人飞行、短途运输、特种用途等场景，同时加大电动飞机、eVTOL、无人机等新机型的研发和型号合格证取证，构建“以飞行器制造为业态+以智能系统与起降设施为依托的生态”相融合的城市空中交通系统。

表46: 万丰飞机各机型参数信息

飞机型号	引擎	最大速度	最大飞行距离	燃油消耗	座位数	最大起飞重量	图片
DA62	2台 AustroEngineAE330 涡轮增压共轨喷射 2.0 升喷气燃料发动机，180 马力，并配有 EECU 单杆控制系统	356km/h	2385km	11.8USgal/h	7	2300kg	
DA42	ContinentalCD-300 涡轮增压、FADEC 控制的喷气燃料发动机，300 马力（TOP）/272 马力（MCP）	365km/h	2269km	10.4USgal/h	4	1999kg	
DA50G	AustroEngineAE300 涡轮增压共轨喷射 2.0 升柴油发动机，168 马力，并配有 EECU 单杆控制系统	335km/h	1396km	10.3USgal/h	5	1999kg	
DA40NG	AustroEngineAE300 涡轮增压共轨喷射 2.0 升柴油发动机，168 马力，并配有 EECU 单杆控制系统	285km/h	1730km	5.1USgal/h	4	1310kg	

DA40XLT	LycomingIO-360M1-A 航空汽油活塞发动机, 180 马力	263km/h	1569km	8.2USgal/h	4	1200kg	
DA20i Katana	(BRP-Powertrain) Rotax912iSc3Sport 发动机, 100 马力	226km/h	1302km	2.9USgal/h	2	800kg	
DA20 C1	125 马力 ContinentalIO-240-B32B 发动机	240km/h	973km	5.3USgal/h	2	800kg	
eDA40 (纯电)	125 千瓦 SAFRANElectrical&PowerENGINEUSTM100 发动机	/	217km	/	2-3	1310kg	

资料来源：万丰钻石官网，国信证券经济研究所整理

表47: 万丰奥威通航飞机工业全产业链优势

研发设计优势	公司拥有奥地利、加拿大、捷克三大飞机设计研发中心和一个飞机制造省级工程中心，拥有 8 个基本型 18 个机型的全系列的自主知识产权。钻石飞机系全球最早成功采用通用飞机整机复合材料设计的公司，所有系列飞机整机采用复合材料设计，具有无限寿命、无变形、无腐蚀、低阻力、完美空气动力外形、高维修性等一系列优点。
生产优势	钻石飞机自成立以来，秉持关键零部件自主可控的发展战略，在飞机机身机翼、发动机等核心关键零部件的设计生产环节建立了领先同行业主要竞争对手的自主可控优势，其机身机翼材料采用先进的碳纤维、玻璃纤维材料在自有的生产线中进行生产成型装配；保障了飞机的安全质量控制、生产与售后等环节的稳定性与可靠性。
后端销售优势	万丰飞机已经建立了覆盖欧洲、美洲、亚洲、非洲、澳洲等区域的全球销售及服务网络，在全球超过 90 个国家设有 192 个服务中心，客户覆盖了航校、航空公司、私人客户、航空俱乐部等多种类型，与德国汉莎航空、卡塔尔航空、芬兰航空学院、中国民航飞行学院等全球知名企业建立了长期战略合作关系。

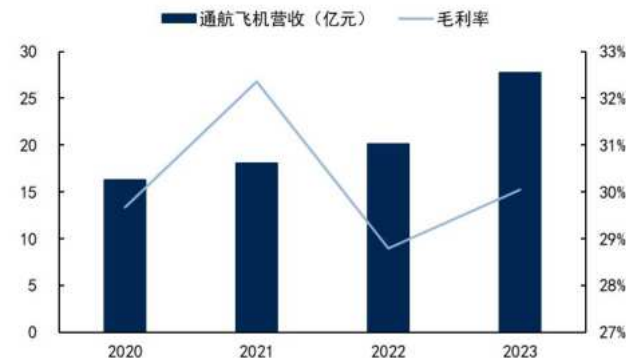
资料来源：公司公告，国信证券经济研究所整理

图156: 2020-2023 年万丰钻石飞机销量及销售额



资料来源：万丰奥威，GAMA，国信证券经济研究所整理

图157: 2020-2023 年万丰奥威通航业务收入及毛利率



资料来源：Wind，万丰奥威，国信证券经济研究所整理

2011 年 6 月，中国航空工业集团所属通飞公司完成对美国西锐公司收购，西锐公司成为中航工业通飞全资子公司，并于 2024 年 7 月在港交所上市。西锐是一家在

1984 年成立于美国威斯康星州的全球私人飞机制造商，主要设计、生产和销售单引擎活塞和喷气机。公司的两条飞机产品线(即 SR2X 系列及愿景喷气机)已成功确立自驾飞机的行业标准，目前已在 60 多个国家获得认证及验证。自 1999 年西锐公司交付首架 SR 系列飞机以来，已连续 20 多年成为最畅销的高性能单发活塞飞机。迄今为止，西锐飞机的全球飞行时长已达 1900 万小时，2025 年 12 月西锐宣布交付第 11000 架 SR 系列飞机，彰显了公司的行业地位。公司 2024 年实现营业收入 11.97 亿美元，同比增长 12.12%，归属母公司净利润 1.21 亿美元，同比增长 32.48%。通过收购，中航工业快速获取成熟的通用飞机技术与品牌，国内在高端轻型飞机领域的技术空白，缩短自主研发周期，并以此切入全球通航市场。

图158: 西锐飞机产品参数和交付情况

				
機型	SR20	SR22	SR22T	願景噴氣機
引擎	活塞	活塞	活塞	噴氣機
最大巡航速度(KTAS)	155	183	213	311
最大有效高度(英尺)	17,500	17,500	25,000	31,000
最大飛行距離(55%功率)(海里)	709	1,169	1,021	1,275
有效負載(磅)	1,028	1,328	1,246	2,450
最大起飛重量(磅)	3,050	3,600	3,600	6,000
起飛距離(英尺)	1,685	1,082	1,517	2,036
最大載客量	5	5	5	7
截至最後實際可行日期的				
價格範圍 ⁽¹⁾⁽²⁾	626,900美元– 922,000美元	838,900美元– 1,295,900美元	963,900美元– 1,493,800美元	3,240,000美元– 3,634,700美元
首次交付	1999年7月	2001年2月	2010年6月	2016年12月
截至最後實際可行日期的總交付量	1,862	4,527	3,349 ⁽³⁾	548
概約產品使用週期 ⁽⁴⁾	← 12,000個飛行小時 →			24,000個飛行 小時

资料来源：西锐飞机招股说明书，国信证券经济研究所整理

我国通用航空飞行器自主研发的过程也是我国通航产业战略性不断提升的过程。主要可分为三个阶段：

(1) 国家主导与军民融合探索期（1951 年–2011 年）

1951 年通过《关于航空工业建设的决定》标志着我国航空工业的启动。1950 年代南昌飞机制造厂和哈尔滨飞机制造厂等核心基地的建立以及运五、直五等基础机型的成功研制标志着中国从无到有地实现了航空工业的重大突破。1982 年，运 12 飞机首飞成功，标志着通用航空器制造能力的初步跃升；2003 年，中国第一架按照中国民航适航条例设计生产、拥有自主知识产权的轻型多用途飞机“小鹰 500”轻型飞机首飞，标志国产通用飞机技术突破，运 12 系列获多国适航认证，实现中国通用飞机国际认可。不过受时代背景影响，此阶段行业核心任务聚焦国防建设与国家基本经济需求，服务于农业、林业、测绘等领域，飞行小时少，技术路径以援助和借鉴为主，整体处于追赶式发展状态。

(2) 战略升维与生态构建阶段（2011 年 – 2020 年）

2010 年国务院发布《关于深化我国低空空域管理改革的意见》，开展低空空域管理改革试点，逐步开放 1000 米以下空域，推动通航飞行便利化。2016 年国务院《关于促进通用航空业发展的指导意见》，将通用航空定位为国家战略性新兴产业，提出到 2020 年产业规模超 1 万亿元的目标。政策红利推动技术快速发展，产业进入全面加速阶段。此阶段，中航工业先后完成美国 Epic 公司和西锐公司的资产收购，并先后推出了国内首款自主研发的高端公务机“领世”AG300 以及迄今国产化程度最高的大型灭火/水上救援水陆两栖飞机“鲲龙”AG600。AG600 全机 5 万多个结构及系统零部件、近 120 万个标准件，98% 由国内供应商提供，全国 20 个省市、150 多家企事业单位和十余所高校数以万计的科研人员参与了项目研制。

（3）技术突破与低空引领期（2021 年至今）

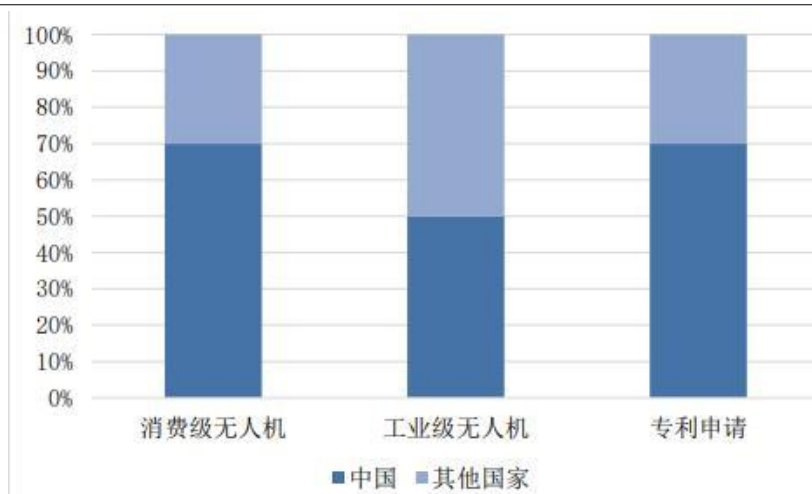
2021 年低空经济首次被纳入《国家综合立体交通网规划纲要》，标志通航工业进入以新型飞行器引领的新阶段。2025 年，我国自主研发的首款电动动力轻型运动飞机 RX1E 获颁生产许可证，成为目前全球唯一取得型号设计批准证书（TDA）和生产许可证（PC）的电动轻型运动类飞机，四座单发活塞式螺旋桨飞机小鹰-700 飞机审定飞行试验取得圆满成功。在此之前，大疆创新通过消费级无人机迅速打开大众市场，并带动形成完整的产业链。亿航智能等企业也已开始向 eVTOL 等新型飞行器拓展。目前，中国消费级无人机占全球市场份额超过 70%，工业级无人机占比超过 50%。在 eVTOL 领域，亿航 EH216-S 成为全球首款获得适航三证的载人 eVTOL 机型，峰飞 V2000CG 则率先在吨级货运 eVTOL 领域取得适航认证。截至 2025 年 7 月底，全国具备整机、发动机、螺旋桨等核心研发制造能力的企业超过 80 家，注册无人机制造商近 1800 家，eVTOL 企业超过 40 家，展现出中国在全球低空经济领域的领先地位与持续创新能力。

5.2 无人机和 eVTOL 带来了“换道超车”的宝贵机遇

以无人机和 eVTOL 为代表的新型航空器将会成为未来低空经济和通航产业的主要生产工具，我国在通航制造领域迎来了宝贵的“换道超车”机遇。根据赛迪顾问测算，2023 年我国低空经济市场规模达 5059.5 亿元，低空飞行器制造和低空运营服务的市场规模占比接近 55%，显示出强大的实体经济属性。相较于传统的直升机和固定翼飞机，无人机和 eVTOL 以其较低的制造成本和较好的灵活性，成为未来低空经济中的主要生产工具和出行载体。以无人机和 eVTOL 为代表的新兴飞行器蓬勃发展，与传统的直升机和固定翼飞机共同形成了新旧共存的格局。四种主流低空飞行器各具特点。

无人机市场结构高度集中，是低空经济中技术最成熟、应用最广泛的领域，中国在全球无人机市场中占据绝对主导地位，是全球最大无人机生产、消费和出口国。根据工业和信息化部装备工业发展中心编制的《中国民用航空工业年鉴 2024》，2023 年我国交付民用无人机超 322 万架，实现产值 320.7 亿元。2024 年我国民用无人机出口额 21.63 亿美元，同比增长 19.8%；2025 年上半年出口额 12.80 亿美元，同比增长 30.5%。2025 年 1-8 月全国民用无人机产量同比增长 53.7%。工业级无人机在民用无人机中占比接近 70%。在工业级无人机领域，中国占全球市场份额的 50% 以上，在农业植保、电力巡检、地理测绘等细分市场占据重要地位。中国无人机专利申请量占全球 70% 以上，是第一大技术来源国。2024 年，我国全年无人机累计飞行小时 2666.7 万小时，同比增长 15.4%，无人机的应用已全面融入日常生产生活中。

图159：中国无人机全球市场份额



资料来源：中国航空学会，工业和信息化部装备工业发展中心，国家统计局，国信证券经济研究所整理

截至 2025 年 7 月底，在我国 UOM 注册的无人机整机生产厂商近 1800 家，无人机产品型号达 4100 余款。从产品型号分布看，中型（1519 个）和小型（1393 个）无人机是绝对主力，这与当前物流配送、巡检测绘等主流工业级应用场景高度匹配。大型无人机（277 个）虽占比不大，但技术壁垒和单机价值最高，是产业迈向高端化的关键。

表48：中国民用无人机产品型号分类（截至 2025 年 7 月底）

类别/类型	多桨或多轴	复合翼	旋翼	固定翼	飞艇	其他	小计
微型	38	0	2	0	0	0	40
轻型	783	18	46	47	1	2	897
小型	935	336	69	53	0	0	1393
中型	1045	318	85	69	1	1	1519
大型	119	38	81	36	3	0	277
小计	2920	710	283	205	5	3	4126

资料来源：中国航空运输协会研究咨询中心，《2024—2025 中国通用航空和低空经济发展报告》，国信证券经济研究所整理

电动垂直起降飞行器（eVTOL），结合直升机垂直起降优势与固定翼高效巡航能力，具备低噪音、低碳排放特点，是低空出行的新一代载体，聚焦民用商业领域，目前处于商业化爆发前夜。根据赛迪顾问数据，2023 年我国 eVTOL 市场规模达 9.8 亿元，同比增长 77.3%。参考 Morgan Stanley 数据，到 2030 年预计全球 eVTOL 市场规模达 1.85 万亿元，其中中国市场规模能达到 6445 亿元。根据亿航智能测算，国内未来空中游览 eVTOL 需求预估可达近 3 万架，空中的士市场需求预估将超 12 万架。

图 160: 国内 eVTOL 空中游览市场空间测算

国内空游eVTOL需求空间测算		
中国A级及以上旅游景区数量	14,900	
	×	×
eVTOL渗透率	15%	20%
	×	×
每个景区配备的eVTOL数量	10	10
	=	=
国内空游eVTOL需求数量（预估）	22,350	29,800

资料来源：文化和旅游部，亿航智能，国信证券经济研究所整理

图 161: 国内 eVTOL 空中的士市场空间测算

中国空中的士市场空间

出租车数量（万辆）	139	网约车数量（万辆）	716
	×		×
出租车活跃率	100%	网约车活跃率	40%
两者汇总（万辆）	425+		
	×	×	
eVTOL渗透率	2%	3%	
	=	=	
中国空中的士eVTOL需求数量	8万+	12万+	

资料来源：交通运输部，亿航智能，国信证券经济研究所整理

站在通航产业视角，eVTOL 带来的核心变化在于使我国有机会从传统固定翼、直升机追赶式发展，切换到以电动化、智能化、分布式推进和整机快速迭代为特征的新赛道。随着适航体系、运营规则和起降基础设施逐步完善，新型航空器将与传统通航航空器在低空物流、应急救援、文旅观光、城市/城际交通等场景形成互补。

产业链协同是我国换道超车的主要支撑。我国在新能源汽车、电池、电机、电控

以及复合材料、无人机整机制造和数字化供应链方面具有较好基础，能够为 eVTOL 和大型无人机提供更高效率的研发验证、成本控制和本地化配套能力。通航企业的机会不只在整机制造，也体现在适航验证、维修保障、运营服务、场景开发和海外生态输出等环节。

6. 通用航空指数投资价值分析

6.1 指数编制规则介绍

国证通用航空产业指数（980076.CNI）发布于 2012 年 12 月 28 日，从公司业务涉及航材及基础设施、飞行器制造、运营服务及场景应用等通用航空产业相关领域的上市公司选取市值排名前 50 的证券作为成分股，以反映沪深北交易所通用航空产业相关上市公司的证券价格变化情况。

表49：通用航空基本信息及选择方法

指数名称	国证通用航空产业指数	指数简称	通用航空
指数代码	980076.CNI	发布日期	2012-12-28
基点	1,000	基日	2012-06-29
样本空间	满足下列条件的 A 股和红筹企业发行的存托凭证： 1. 非 ST、*ST 证券； 2. 科创板证券、北交所证券上市时间超过 1 年，其他证券上市时间超过 6 个月； 3. 公司最近一年无重大违规、财务报告无重大问题； 4. 公司最近一年经营无异常、无重大亏损； 5. 考察期内证券价格无异常波动； 6. 公司业务涉及航材及基础设施、飞行器制造、运营服务及场景应用等通用航空产业相关领域。		
选择方法	首先，计算入围选择空间证券在最近半年的日均总市值和日均成交额； 其次，剔除最近半年日均成交额排名后 10% 的证券； 然后，对选择空间剩余证券按照最近半年的日均总市值 从高到低排序，选取前 50 只证券作为指数样本。		
定期调整	指数样本每半年调整一次，样本调整实施时间分别为每年 6 月和 12 月的第二个星期五的下一交易日。		
权重调整	在指数计算中，设置权重调整因子，使每次样本定期调整时，飞行器整机制造领域的单只样本权重不超过 10%，其他领域单只样本权重不超过 2%。		

资料来源：WIND，国信证券经济研究所整理

6.2 指数特性分析

截至 2025 年 1 月 16 日，国证通用航空产业指数的平均市值为 191.42 亿元，从指数成分股数量分布来看，其中 4% 的成分股为沪深 300 指数成分股，30% 为中证 500 指数成分股，46% 为中证 1000 指数成分股，市值上整体偏向中小盘。

图162：通用航空成分股权重与数量分布

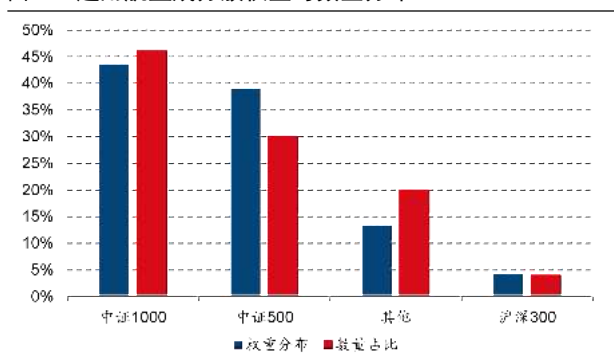
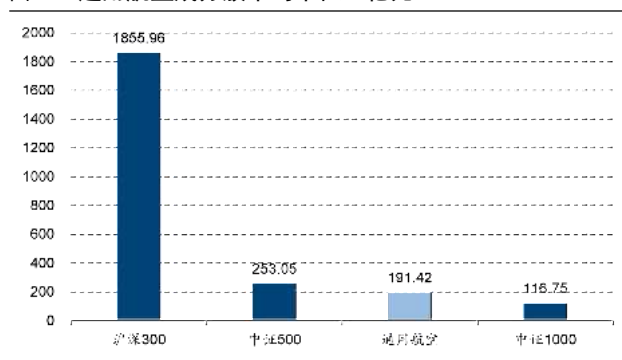


图163：通用航空成分股平均市值（亿元）

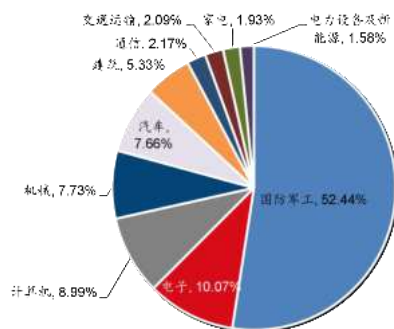


资料来源：WIND，国信证券经济研究所整理

资料来源：WIND，国信证券经济研究所整理

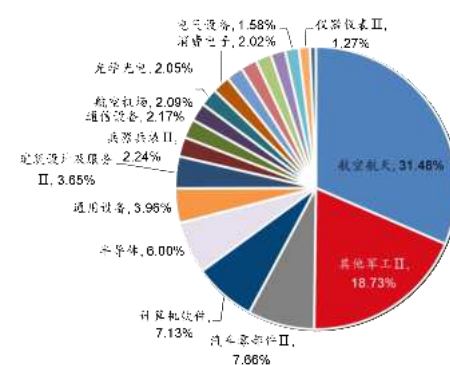
通用航空行业分布较为集中，主要分布于通用航空相关行业，从指数中信一级行业分布来看，国防军工权重占比为 52.44%，电子权重为 10.07%，计算机权重为 8.99%。从中信二级行业来看，航空航天、其他军工 II、汽车零部件 II 权重分别为 31.48%、18.73%、7.66%。

图164: 通用航空指数中信一级行业分布



资料来源：WIND，国信证券经济研究所整理

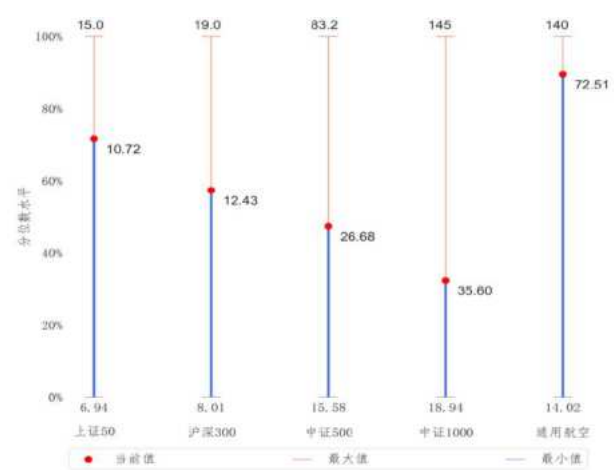
图165: 通用航空指数中信二级行业分布



资料来源：WIND，国信证券经济研究所整理

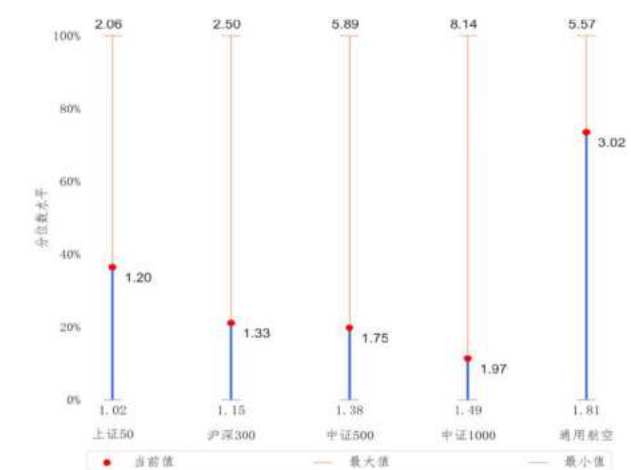
截至 2025 年 1 月 16 日,国证通用航空产业指数的市盈率为 72.51,市净率为 3.02。

图166: 通用航空市盈率



资料来源：WIND，国信证券经济研究所整理

图167: 通用航空市净率

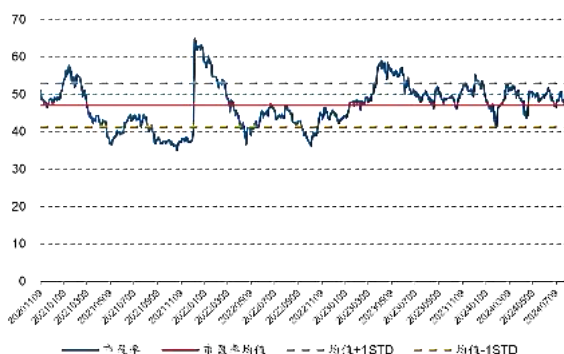


资料来源：WIND，国信证券经济研究所整理

截至 2025 年 1 月 16 日,通用航空市盈率处于 89.50%分位点,市净率处于 73.51%

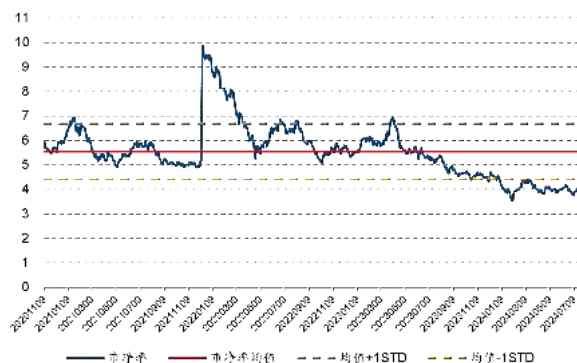
分位点，均处于发布日以来较高分位。

图168: 通用航空历史市盈率



资料来源：WIND，国信证券经济研究所整理

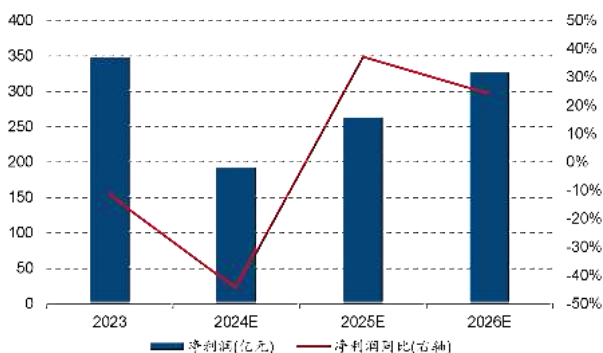
图169: 通用航空历史市净率



资料来源：WIND，国信证券经济研究所整理

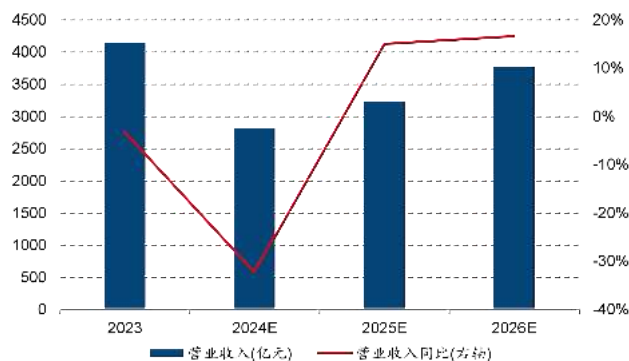
国证通用航空产业指数 2023 年净利润增速为-11.64%，营业收入增速为-3.27%。预计 2024E 年、2025E 年净利润增速为-44.71%、37.16%，营业收入增速为-32.37%、15.00%，预计 2025 年通用航空指数营收和净利润将保持相对较高的增速。

图170: 通用航空净利润及增速



资料来源：WIND，国信证券经济研究所整理

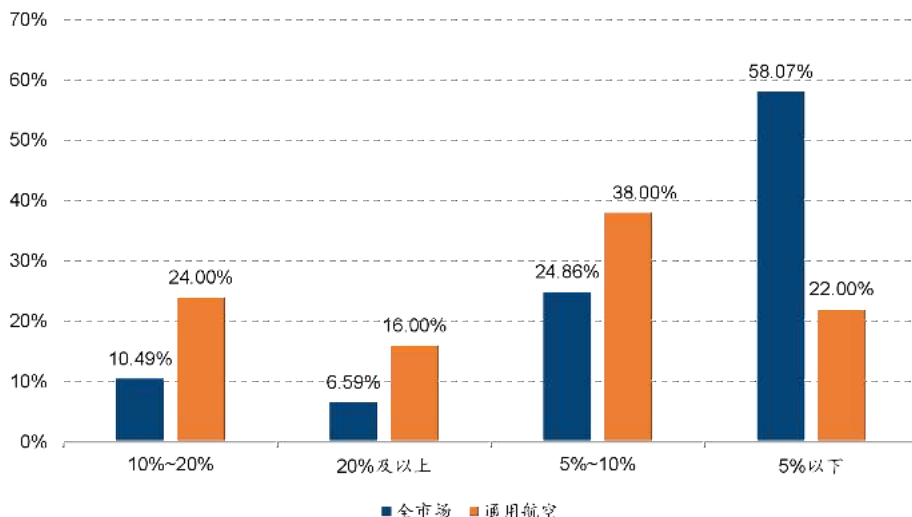
图171: 通用航空营业收入及增速



资料来源：WIND，国信证券经济研究所整理

从指数成分股研发投入占比来看，通用航空指数成分股中有 24%的成分股研发投入占比处于 10-20%，16%的指数成分股研发投入占比超过 20%，远高于全市场股票中 10.49%和 6.59%的比例，整体而言通用航空指数保持着较高的研发投入，较高的研发投入也推动指数的高成长性。

图172: 通用航空成分股研发投入占比（截至 2023 年年报）



资料来源：WIND，国信证券经济研究所整理

持仓较为分散，主营业务主要集中于通用航空相关领域。截至 2024 年 12 月 31 日，国证通用航空产业指数前十大权重股占比合计为 32.40%，整体而言较为分散；从细分行业分布来看，前十大权重股分布于汽车零部件、航空航天、通信设备、军工等细分行业；从市值来看，前十大权重主要为各细分行业的龙头公司；从主营业务来看，主营业务主要集中于零部件、航空产品、无人机等通用航空相关行业。

表50: 通用航空前十大权重股

股票代码	股票名称	权重	中信二级行业	总市值(亿元)	主营收入构成
002085.SZ	万丰奥威	7.66%	汽车零部件 II	365.63	汽车金属轻量化零部件:82.91%;飞机制造:17.09%
600316.SH	洪都航空	3.76%	航空航天	226.61	其他航空产品:75.43%;教练机:23.67%;非航空产品:0.89%
600038.SH	中直股份	3.56%	航空航天	304.43	航空产品:98.94%;其他业务:0.85%;风机产品:0.21%
002389.SZ	航天彩虹	3.47%	航空航天	174.97	无人机及相关产品:58.41%;背材基膜及绝缘材料:22.61%;光学膜:14.04%;技术服务:3.34%;其他业务:1.61%
300045.SZ	华力创通	3.08%	其他军工 II	132.40	卫星导航及其仿真测试产品:46.31%;机电仿真测试产品:16.83%;雷达通信及其仿真测试产品:13.37%;仿真应用开发及系统集成:12.29%;轨道交通应用:6.96%;其他:4.11%;其他业务:0.15%
600862.SH	中航高科	2.19%	其他军工 II	336.14	航空新材料:92.82%;航空相关设备:2.8%;租赁业务:1.49%;机床产品:1.36%;其他:1.07%;高铁设备、配件:0.41%;其他医疗设备及器械:0.05%
600562.SH	国睿科技	2.18%	其他军工 II	222.17	雷达整机及相关系统:69.32%;轨道交通系统:16.89%;工业软件及智能制造:13.8%
300627.SZ	华测导航	2.17%	通信设备	209.67	数据应用及系统解决方案:56.69%;数据采集设备:43.31%
000738.SZ	航发控制	2.16%	航空航天	260.54	发动机控制系统及产品:88.17%;国际合作业务:6.56%;非航民品及其他:5.27%
600893.SH	航发动力	2.16%	航空航天	1019.86	航空发动机制造及衍生产品:93.5%;外贸转包生产:4.45%;其他业务:1.44%;非航空产品及其他:0.6%

资料来源：WIND，国信证券经济研究所整理

指数弹性较大，长期表现优于主要宽基指数。下表展示了主要指数的风险收益特征比较情况，可以看到通用航空自指数基期以来，长期年化收益达到 8.37%，指数表现优于中证 500、中证 1000 等宽基指数，同时波动率较高，弹性较大。

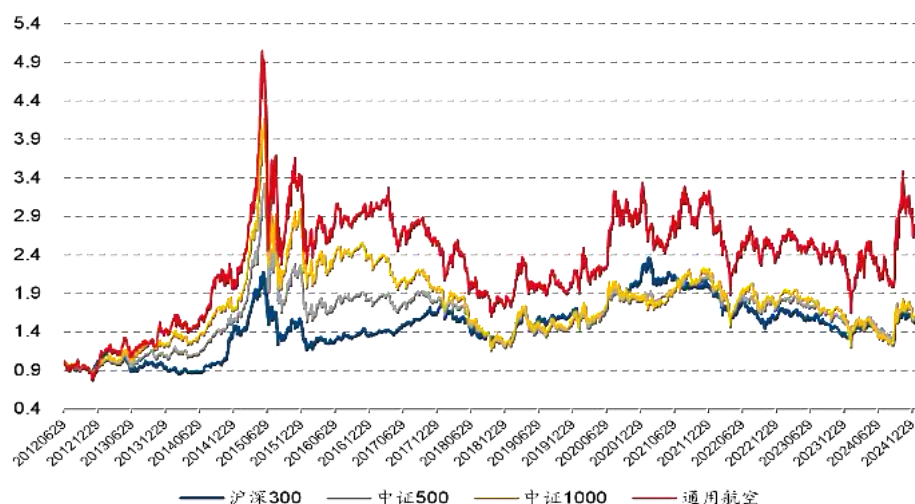
表51: 主要指数风险收益特征比较（20120629-20250116）

	沪深 300	中证 500	中证 1000	通用航空
年化收益率	3.64%	3.90%	3.96%	8.37%
年化夏普比	0.27	0.28	0.28	0.41
年化波动率	21.49%	24.62%	26.70%	32.67%
最大回撤	-46.70%	-65.20%	-72.35%	-68.35%

资料来源：WIND，国信证券经济研究所整理

下图展示了主要指数自通用航空指数基期以来的净值走势，可以看到通用航空指数呈现出较大的弹性，在 2014-2015 年、2019-2020 以及 2023 年以来，在有相应主题性机会时，指数阶段涨幅和弹性较大，适合投资者进行主题性配置。

图173: 通用航空自基期以来净值走势（20120629-20250116）



资料来源：WIND，国信证券经济研究所整理

6.3 总结

国证通用航空产业指数（980076.CNI）发布于 2012 年 12 月 28 日，从公司业务涉及航材及基础设施、飞行器制造、运营服务及场景应用等通用航空产业相关领域的上市公司选取市值排名前 50 的证券作为成分股，以反映沪深北交易所通用航空产业相关上市公司的证券价格变化情况。市值偏向中小盘，行业上聚焦国防军工、电子、计算机等通用航空相关产业，指数成长性较高，研发投入占比高，指数弹性较大，长期表现优于主要宽基指数。

五、行业发展趋势展望

我国低空经济正处在技术突破与市场培育并行、政策引导与需求牵引共振的关键发展阶段。凭借超大规模市场、完整产业体系、强大政策执行力等独特优势，已在全球低空经济竞争中形成自身特色。根据赛迪顾问，2023年至2030年，中国低空经济规模预计将从5059.5亿元增长至2.5万亿元，年均复合增速达25.6%，展现出强劲的发展势头。在全球竞合背景下，我国低空产业将会呈现以下三大发展趋势。

1. 核心零部件国产替代加速，行业马太效应显著

从无人机和eVTOL产业链的价值分布看，我国原材料、零部件和整机制造等中上游环节产值占比达70%，设计测试和运营服务各占15%，消费需求端的产值为15%左右。凭借产业链的垂直整合能力优势，我国在低空航空器的电池、电机等绝大部分关键系统已实现本土配套，在高端传感器、芯片等领域国产替代加速。从国产化的角度来看，机体材料、电池国内技术相对成熟，国产化水平较高，而航电飞控系统无人机主控芯片、飞行传感器主要被高通、博世等国外企业垄断，无人机专业CPU也存在一定的供应链安全风险，关键系统技术集成创新能力仍有广泛的技术突破空间和国内供应链建设机遇。

低空产业的长周期和大投入是行业的门槛。eVTOL从设计、生产下线再到投入运营，必须经过严格的适航审定程序，通常需要至少4年的周期。从行业动态来看，亿航智能已实现从0到1的突破，其余国内多数主机厂也都已进入适航取证程序，并计划在2026至2027年完成取证。在接下来两年左右，国内主机厂将会形成激烈的市场竞争，市场资金和订单逐步向具有核心技术竞争力和适航取证能力的企业集中，经历洗牌期后，行业马太效应凸显，具有核心技术指标和关键技术国产替代的企业会成为下一阶段大规模商业化的主力军。

2. 低空基建将加速建设，促进跨区域融合

从产业发展方向来看，低空经济将从区域内独立到跨区域融合，从商业模式来看，将遵循政府端—企业端—个人消费端的渐进式演变。现阶段，大部分低空经济应用场景通过特定空域、特定时段、特定机型、特定用途的方式严格控制风险，同时通过政府补贴培育市场和企业发展，探索形成商业闭环。在隔离场景形成足够的经验后，低空经济将从点到面高速发展，低空交通融入国家综合立体交通网络，低空载人载物等商业模式安全、有序、高效运行。

低空经济未来大规模商业化要以完善的基础设施为支撑。目前，全国各地已建成的低空相关基础设施产品接入端口不一致，功能体系差异较大，难以支撑物流、空中交通等规模化应用。未来，低空基础设施，尤其是低空数字化和智能网联平台，在国家层面将会建立全国统一的低空飞行运行规则和标准，通过统一数据标准、接口规范、交互机制（如国家级平台统筹）实现跨区域或跨供应商平台对接，确保每一架次飞行任务无缝衔接。低空基建的投资规模巨大，根据现有情况估算，我国一线城市低空基础设施建设投入规模约为5亿-10亿元。未来，专项债会成为支持并推动低空基础设施快速建设的核心动力。从实施路径上来看，预计低空基建的建设模式会由国资平台先期主导，打造高效优质的低空地面基础设施，实现国有资源的高效利用。

3. 从产品输出到生态共建，低空产业出海势在必行

尽管行业处于发展早期，我国低空经济正同步向海外市场拓展，并通过无人机和eVTOL等旗舰产品，在东南亚和中东市场取得了显著突破，展现出强大的国际竞争力和市场潜力。我国已多年位居世界最大的民用无人机出口国，无人机专利申请量占全球的70%，如今国内eVTOL企业也接连在海外签署巨额订单。沃兰特航空与泰国泛太平洋公司签署500架eVTOL采购协议，订单金额达17.5亿美元；时的科技与阿联酋Autocraft达成350架订单，金额10亿美元。低空经济的出现，为我国航空业从跟随者到引领者转变提供了机会。“航空器出口+本地化运营+标准输出”的复合模式将成为主流。企业将深化海外产能布局，通过技术授权降低贸易壁垒，针对东南亚跨境物流的重载机型与面向中东观光的高端客运机型将成为出海主力，沃兰特、亿航智能等企业有望形成规模化交付能力。在“一带一路”沿线，推动“低空基建+运营服务+人才培养”的整体解决方案输出，参与东南亚“空中走廊”建设与非洲医疗物资配送网络搭建，复制国内“场景验证-规模推广”的成功路径。东南亚、中东、拉美等新兴市场仍是短期增长核心，在欧美市场则可采取“技术合作+合规适配”策略，通过与当地企业联合研发获取欧美认证等方式，切入高端商用与城市空中交通市场，逐步打破市场壁垒，并同步推进低空标准输出，积极参与国际民航组织低空管理标准制定，在无人机作业规范、eVTOL安全认证等领域提出中国方案。

风险提示

低空政策进展不及预期

当前低空经济产业处于发展早期培育阶段，政策催化属性较强，政策体系需逐步完善。部分关键环节的政策仍需填补和明确，例如空域精细化管理模式，低空基础设施建设投入模式、低空运营安全配套保障体系、航空器适航认证体系等。政策出台和执行落地的力度对产业化节奏产生极大的影响。

低空经济基础设施建设进展不及预期

低空基础设施是未来产业“能飞起来”的必要前提。低空基础设施种类多、项目多、前期投入大，建设进展受宏观政策和地方财政支持节奏影响大。若宏观政策支持力度减弱或地方财政支出收紧，可能会影响基建投入进而延缓整体产业化进程。

关键技术进展不及预期

传感飞控技术、电池能量密度和续航时间、旋翼倾转等技术是当前 eVTOL 亟需克服和提升的关键领域，也是制约 eVTOL 适航取证的核心卡点。若出现核心零部件被“卡脖子”或关键技术突破不及预期或技术路线分歧等超研发和适航周期的事件，整体产业进程可能被延阻。

相关数据和行业规模测算偏差风险

低空经济产业化进度存在不确定性，许多面向未来的应用场景发展刚刚起步，发展节奏难以预测。因此，对低空整体行业和具体细分领域的应用场景渗透率、收入和盈利水平以及整体市场规模等商业化测算可能与未来实际发展情况存在偏差，测算机制无法涵盖市场所有潜在因素带来的影响。

免责声明

分析师声明

作者保证报告所采用的数据均来自合规渠道；分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求独立、客观、公正，结论不受任何第三方的授意或影响；作者在过去、现在或未来未就其研究报告所提供的具体建议或所表述的意见直接或间接收取任何报酬，特此声明。

国信证券投资评级

投资评级标准	类别	级别	说明
报告中投资建议所涉及的评级（如有）分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后 6 到 12 个月内的相对市场表现，也即报告发布日后的 6 到 12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。A 股市场以沪深 300 指数（000300.SH）作为基准；新三板市场以三板成指（899001.CSI）为基准；香港市场以恒生指数（HSI.HI）作为基准；美国市场以标普 500 指数（SPX.GI）或纳斯达克指数（IXIC.GI）为基准。	股票 投资评级	优于大市	股价表现优于市场代表性指数 10%以上
		中性	股价表现介于市场代表性指数 $\pm 10\%$ 之间
		弱于大市	股价表现与市场代表性指数 10%以上
		无评级	股价与市场代表性指数相比无明确观点
	行业 投资评级	优于大市	行业指数表现优于市场代表性指数 10%以上
		中性	行业指数表现介于市场代表性指数 $\pm 10\%$ 之间
		弱于大市	行业指数表现弱于市场代表性指数 10%以上

重要声明

本报告由国信证券股份有限公司（已具备中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）制作；报告版权归国信证券股份有限公司（以下简称“我公司”）所有。本报告仅供我公司客户使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式使用、复制或传播。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以我公司向客户发布的本报告完整版本为准。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但我公司不保证该资料及信息的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映我公司于本报告公开发布当日的判断，在不同时期，我公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。我公司不保证本报告所含信息及资料处于最新状态；我公司可能随时补充、更新和修订有关信息及资料，投资者应当自行关注相关更新和修订内容。我公司或关联机构可能会持有本报告中所提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。本公司的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中所意见或建议不一致的投资决策。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，我公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

证券投资咨询业务的说明

本公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询，是指从事证券投资咨询业务的机构及其投资咨询人员以下列形式为证券投资人或者客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或者间接有偿咨询服务的活动：接受投资人或者客户委托，提供证券投资咨询服务；举办有关证券投资咨询的讲座、报告会、分析会等；在报刊上发表证券投资咨询的文章、评论、报告，以及通过电台、电视台等公众传播媒体提供证券投资咨询服务；通过电话、传真、电脑网络等电信设备系统，提供证券投资咨询服务；中国证监会认定的其他形式。

发布证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向客户发布的行为。

国信证券经济研究所

深圳

深圳市福田区福华一路 125 号国信金融大厦 36 层

邮编：518046 总机：0755-82130833

上海

上海浦东民生路 1199 弄证大五道口广场 1 号楼 12 层

邮编：200135

北京

北京西城区金融大街兴盛街 6 号国信证券 9 层

邮编：100032