

低空经济系列专题报告之一 政策持续落地，eVTOL加速启程

评级：推荐(维持)

王宁(证券分析师)

S0350522010001

wangn02@ghzq.com.cn

张婉姝(证券分析师)

S0350522010003

zhangws@ghzq.com.cn

重点关注公司及盈利预测

| 重点公司代码 | 股票名称 | 2024/6/28 | | EPS | | | PE | | | 投资评级 |
|-----------|--------------------------------|-----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|----------------|------|
| | | 股价 | 2023A | 2024E | 2025E | 2023A | 2024E | 2025E | | |
| 600580.SH | 卧龙电驱 | 12.15 | 0.40 | 0.89 | 1.03 | 29.33 | 13.65 | 11.80 | 未评级 | |
| 688631.SH | 莱斯信息 | 62.02 | 0.92 | 0.98 | 1.21 | 38.32 | 63.29 | 51.26 | 增持（计算机 组覆盖） | |
| 300542.SZ | 新晨科技 | 12.29 | 0.12 | 0.26 | 0.35 | 109.17 | 47.27 | 35.11 | 未评级 | |
| 688568.SH | 中科星图 | 47.70 | 0.93 | 1.33 | 1.83 | 52.75 | 35.86 | 26.07 | 未评级 | |
| 002151.SZ | 北斗星通 | 24.18 | 0.30 | 0.76 | 1.03 | 105.27 | 31.82 | 23.48 | 未评级 | |
| 688592.SH | 司南导航 | 41.18 | 0.67 | 0.79 | 0.94 | 77.46 | 52.13 | 43.81 | 未评级 | |
| 600562.SH | 国睿科技 | 13.66 | 0.48 | 0.58 | 0.70 | 28.83 | 23.55 | 19.51 | 未评级 | |
| EH.O | 亿航智能 | 13.59 | -2.48 | -2.38 | 0.35 | - | - | - | 未评级 | |
| JOBY.N | Joby Aviation, Inc. | 5.10 | -0.79 | -0.68 | -0.62 | - | - | - | 未评级 | |
| LILM.O | Lilium N.V. Class A | 0.81 | -0.66 | -0.61 | -0.54 | - | - | - | 未评级 | |
| ACHR.N | Archer Aviation Inc Class A | 3.49 | -1.69 | -1.22 | -0.14 | - | - | - | 未评级 | |
| EVTL.N | Vertical Aerospace Ltd. | 0.75 | -0.31 | -0.36 | -0.63 | - | - | - | 未评级 | |

资料来源：Wind，彭博，同花顺，国海证券研究所

注：A股公司（除莱斯信息外）盈利预测来源为Wind一致预期，股价及EPS单位为元；美股公司盈利预测来源为彭博一致预期，股价及EPS单位为美元

- **低空经济进入有法可依阶段，eVTOL等无人机受益新法规发布。**2016年，我国低空空域由真高1000米以下扩展到真高3000米以下非管制空域，运营及活动主体包括：无人机、eVTOL（电动垂直起降飞行器）、飞行汽车（概念或有重叠）、直升机等。在直升机等传统航空器稳步发展的前提下，eVTOL等新兴航空器逐渐成为新增长引擎。2023年6月，国务院和中央军委公布实施《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》，为首部专门为无人驾驶航空器领域制定的行政法规；2024年1月，中国民航局公布实施《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》（CCAR-92）和《民用航空产品和零部件合格审定规定》（CCAR-21）；包括eVTOL等在内的无人驾驶航空器的运行与适航审定正式进入有法可依的阶段。
- **eVTOL是汽车、航空、新能源三大领域的技术交汇点，为我国航空业提供弯道超车机会。**eVTOL技术迁移自传统飞机及新能源三电供应链，主要构型包括多旋翼、复合翼和倾转旋翼三类。eVTOL等中、大型无人机的销售需要先取得型号合格证（TC）、生产许可证（PC）和适航证（AC）。国内厂商多采用研发周期较短的多旋翼及复合翼构型，其中亿航智能多旋翼型载人EH216-S取证进度全球领先，分别于2023年10月/2023年12月/2024年4月取得TC/AC/PC，峰飞航空复合翼型载物V2000CG于2024年3月取得TC，其余头部企业载人产品如时的科技E20、沃兰特航空VE25-100、沃飞长空VE25-100、峰飞航空V2000EM均已在中国民航局完成TC受理，据我们估算，预计将于2026-2027年完成取证。
- **eVTOL规模化落地需要完善空管基础设施并优化零部件性能。**
 - 从eVTOL上游零部件发展情况来看：1）电池能量密度不足成为eVTOL航程的关键限制，理论能量密度天花板更高的固态电池为主流研究方向；2）电机国产替代积极推进，现有产品已基本能满足4座eVTOL需求；3）适用于eVTOL的多余度飞控技术仍处于发展初期。
 - 空管基础设施方面，无人机国家信息管理系统已于2021年11月构建完成，而区域信息管理系统及飞行服务平台仍有待规划，同时现有外围通信、导航、监视（CNS）硬件设施仅能满足高空飞行需求，通感一体基站+天地一体网络或成为低空CNS发展方向。
- **eVTOL落地短期看短途运输及旅游观光，中期进入UAM，长期替代私家车。**以时的E20为例，eVTOL售价约为700-800万元，即直升机的1/10，同时因其轻量化、模块化和电动化的特点，运营成本大幅低于直升机；且安全冗余度接近民航飞机，整体相对直升机的经济性和安全性优势明显。我们预计eVTOL短期以替代短途直升机为主，拓展物流配送、应急救援和旅游观光市场。中期，随着eVTOL产品的大规模量产，预计单程运营成本将接近豪华专车，有望凭借高效优势进入UAM（城市空中交通）市场。长期，消费者关于eVTOL日常出行的心智加强，eVTOL有望替代私家车成为私人出行工具。

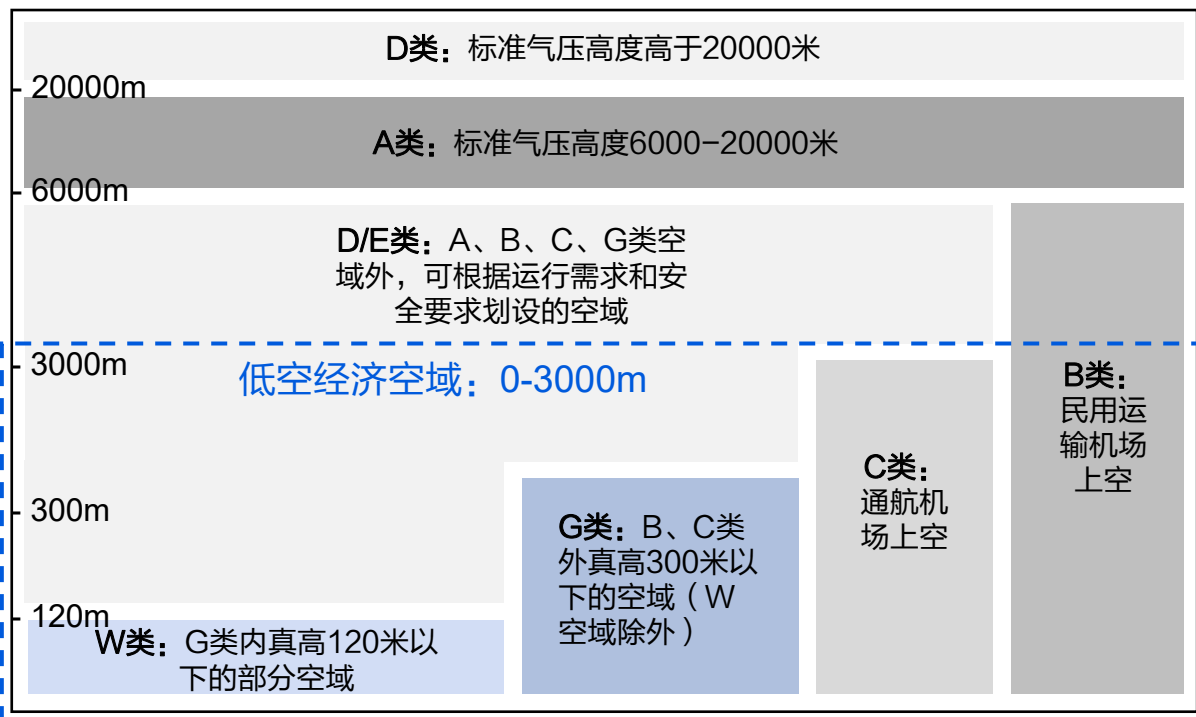
- **行业评级及投资策略：**低空经济领域顶层文件出台，政策支持力度强，密度高；我国eVTOL产品拿证进展全球领先，取得先发窗口期优势，维持低空经济行业推荐评级；建议关注有望实现国产替代的零部件厂商、能够参与低空基建的厂商以及订单可见度高的eVTOL整机厂，包括：1) 航空级电机领先制造商卧龙电驱（600580.SH）；2) 民航空管企业莱斯信息（688631.SH）、新晨科技（300542.SZ）、川大智胜（002253.SZ）、空管基础设施龙头四川九洲（000801.SZ）、通导监设施及设备龙头中科星图（688568.SH）、北斗星通（002151.SZ）、司南导航（688592.SH）、国睿科技（600562.SH）；3) eVTOL整机厂亿航智能（EH.O）、Joby Aviation（JOBY.N）、Lilium N.V.（LILM.O）、Archer Aviation（ACHR.N）。
- **重点关注个股：**卧龙电驱（600580.SH）、莱斯信息（688631.SH）、新晨科技（300542.SZ）、中科星图（688568.SH）、北斗星通（002151.SZ）、司南导航（688592.SH）、国睿科技（600562.SH）、亿航智能（EH.O）、Joby Aviation（JOBY.N）、Lilium N.V.（LILM.O）、Archer Aviation（ACHR.N）、Vertical Aerospace（EVTL.N）。
- **风险提示：**政策推进进度不及预期、载人eVTOL取证进度不及预期、核心技术迭代不及预期、基础设施落地进度不及预期、重点关公司盈利预测不及预期。

一、低空经济新载体为无人机和eVTOL，政策关注度高

1.1、定义：低空领域以真高3000米以下非管制空域为主

- **高度方面**，对于低空空域的界定一般依据两个文件，分述如下：1) 2010年，国务院及中央军委发布的《关于深化我国低空空域管理改革的意见》提出低空空域垂直范围原则为真高1000米及以下；2) 2016年，国务院发布的《关于促进通用航空产业发展的指导意见》提出“及时总结推广低空空域改革试点经验，实现真高3000米以下监视空域和报告空域无缝衔接”，标志着低空空域扩展至真高3000米以下。
- **管制规则方面**，民航局于2023年发布的《国家空域基础分类方法》将空域划分为A、B、C、D、E、G、W七类，其中A-E类为管制空域，为所有飞行提供空中交通管制服务；非管制空域中，G类仅提供飞行信息服务，W适用于微型、轻型、小型无人驾驶飞行器，无需进行信息申报。目前，实际利用的低空领域以非管制空域为主。

我国部分空域划分图



我国细分空域范围、主要航空器及管制情况

| 空域分类 | 划设范围 | 主要航空器 | 是否为管制空域 |
|------|---|-----------------|---------|
| A类 | 通常为标准气压高度6000米（含）至标准气压高度20000米（含） | 民航客机、军用飞机 | 是 |
| B类 | 划设在民用运输机场上空，顶层最高至A类空域下限 | 民航客机 | 是 |
| C类 | 划设在建有塔台的通用航空机场上空，通常为半径5千米、跑道道面—机场标高600米（含）的单环结构。 | 通航飞机 | 是 |
| D类 | 标准气压高度高于20000米 | 航天飞机 | 是 |
| D/E类 | A、B、C、G类空域以外，可根据运行需求和安全要求选择划设为D或E类空域 | 民航客机 | 是 |
| G类 | 1) B、C类空域以外真高300米以下空域（W类空域除外）； 2) 平均海平面高度低于6000米、对民航公共运输飞行无影响的空域 | 直升机、无人机、eVTOL | 否 |
| W类 | G类空域内真高120米以下的部分空域 | 微型、轻型、小型无人驾驶航空器 | 否 |

1.1、定义：低空经济是以低空空域为依托的综合性经济形态，对标AAM

- 低空经济指依托于低空空域，以各种有人驾驶和无人驾驶航空器的低空飞行活动为牵引，辐射带动相关领域融合发展的综合性经济形态。主要载体包括传统的直升机等燃油驱动飞行器，以及新兴的无人机、eVTOL（电动垂直起降航空器）和飞行汽车等电力驱动的飞行器。其中无人机和eVTOL有概念重叠，无人驾驶的载物eVTOL也可被归属为大型无人机范畴。飞行汽车可以视为汽车和eVTOL的结合体，主打陆空两栖，目前仍处于概念设计和飞行测试阶段，具体落地场景尚未明确。本篇报告中提及的eVTOL均为广义定义，即包含无人驾驶载物eVTOL
- **低空经济 vs 通用航空**：航空业分为航空制造业、军用航空和民用航空三大类；民用航空又分为客运航空、通用航空和定期货运。通用航空指使用民用航空器从事公共航空运输以外的民用航空活动，主要在低空和超低空范围运行。产业上看，通用航空是低空经济的主体，而低空经济是更加综合性的经济形态，涵盖全产业链对经济的贡献。应用场景上看，低空航空器的用途可行生至军用和政用，而通用航空器限制于民用。
- **低空经济 vs 城市空中交通（UAM） vs 先进空中交通（AAM）**：2017年，美国国家航空航天局（NASA）定义UAM（Urban Air Mobility，城市空中交通）为基于无人机或小型飞机的城市空运；2022年，美国联邦航空管理局（FAA）提出AAM（Advanced Air Mobility，先进空中交通）概念，进一步把空运的范畴从城市扩大到了城市（UAM）+区域（RAM，Regional Air Mobility），更加接近我国“低空经济”的概念。

我国细分低空空域范围及主要航空器

| 低空空域分类 | 主要航空器 | 主要应用场景 |
|------------|---------|---------|
| 1000-3000m | 直升机 | 载人 |
| 300-1000m | 载人eVTOL | 载人 |
| 120-300m | 工业级无人机 | 支干线物流 |
| 0-120m | 工业级无人机 | 末端物流、巡检 |
| | 消费级无人机 | 航拍 |

主要低空航空器关联

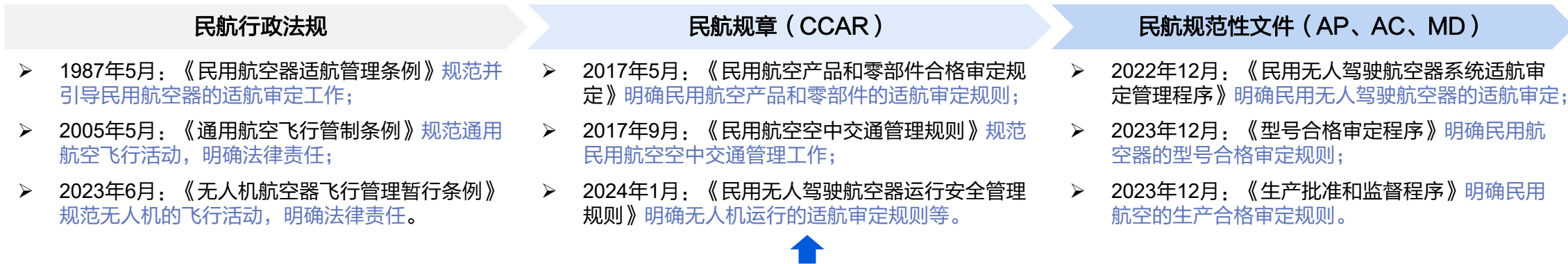


主要低空航空器对比

| | 无人机 | eVTOL | 飞行汽车 | 直升机 |
|------|----------|--------------|---------------|-----------|
| 适用场景 | 空中+载物 | 空中+载人&载物 | 空中&地面+载人 | 空中+载人&载物 |
| 气动布局 | 多旋翼、复合翼 | 多旋翼、复合翼、倾转翼 | 多旋翼+车 | 螺旋桨+尾翼 |
| 动力来源 | 电力 | 电力、油电混合等 | 电力、油电混合等 | 燃油 |
| 控制方法 | 遥控控制 | 遥控控制、驾驶员控制 | 驾驶员控制 | 驾驶员控制 |
| 应用现状 | 技术基本成熟 | 亿航、峰飞取得型号许可证 | 小鹏型号合格证申请获得受理 | 技术成熟 |
| 代表公司 | 大疆、美团、顺丰 | 亿航、峰飞 | 小鹏 | 东部通航、中直股份 |

1.2、政策：低空经济持续迎政策利好，无人与有人驾驶航空器区分管理

- **低空航空器主要依据民用航空法律体系。**低空航空器主要属于民用航空类别，按法律层级分，第一需服从监管法律如《中华人民共和国民用航空法》，第二需服从民航行政法规如《中华人民共和国民用航空器适航管理条例》、《中华人民共和国民用航空安全保卫条例》等，第三需服从民航规章（CCAR体系，China Civil Aviation Regulations）。第四层规范性文件是各职能部门下发的有关民用航空规章的实施办法或具体管理程序，具体包括：管理程序（AP）、咨询通告（AC）、管理文件（MD）等。
- **民用航空行政法规及规章大体上依据有人驾驶和无人驾驶分类，CCAR-92部发布代表无人机运行正式进入有法可依阶段。**2023年6月，国务院和中央军委公布实施《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》，为首部专门为无人驾驶航空器领域制定的行政法规；2024年1月，中国民航局公布实施《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》（CCAR-92），明确民用无人驾驶航空器运行的操控员、登记、适航管理等要求，管理范围包括消费级无人机、工业级无人机以及无人驾驶eVTOL，适航审定服从《民用航空产品和零部件合格审定规定》（CCAR-21）下位法《民用无人驾驶航空器系统适航审定管理程序》（AP-21-71）。其余有人驾驶航空器仍按照民航通用法规管理，包括CCAR-21下位法《型号合格审定程序》（AP-21-11）、《生产批准和监督程序》（AP-21-31）等。2024年3月，工信部等四部门发布《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030年）》，围绕技术创新、供应链竞争力、应用领域、基础支撑体系、融合产业生态五个方面明确提升装备供给能力和产业创新能力的具体任务，全面促进通用航空器的发展。

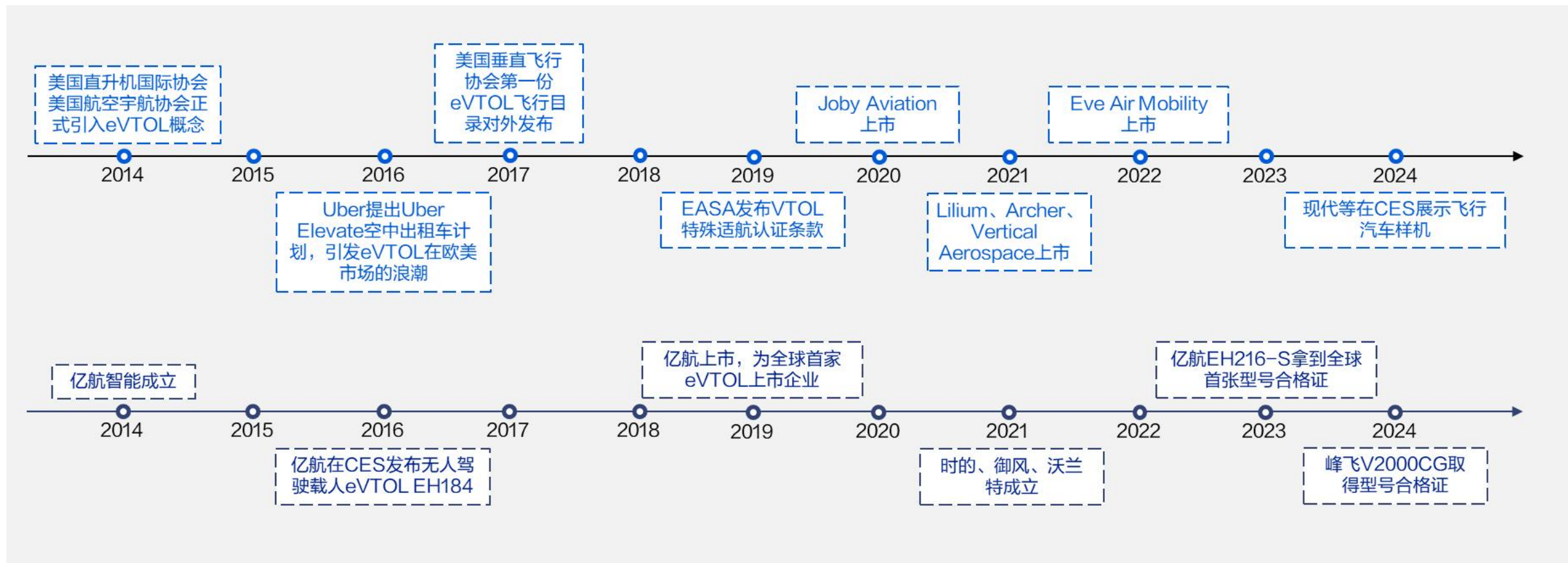


| 发布时间 | 发布单位 | 相关法律/会议 | 主要内容 |
|-------|-------|------------------------------|--|
| 2021年 | 中共中央等 | 《国家综合立体交通网规划纲要》 | 发展交通运输平台经济、根纽经济、通道经济、低空经济。“低空经济”概念首次被写入国家规划。 |
| 2022年 | 国务院 | 《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》 | 探索通用航空与低空旅游、应急救援、医疗救护、警务航空等融合发展。 |
| 2023年 | 中共中央 | 中央经济工作会议 | 打造生物制造、商业航天、低空经济等若干战略性新兴产业。 |
| 2024年 | 全国两会 | 政府工作报告 | 打造生物制造、商业航天、低空经济等增长引擎。“低空经济”概念首次被写入政府工作报告。 |
| 2024年 | 工信部等 | 《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030年）》 | 加快以无人化、电动化、智能化为技术特征的通用航空装备创新应用。 |

二、eVTOL迎发展拐点，有望进入商业化运营阶段

2.1、发展背景：eVTOL是汽车、航空、新能源三大领域技术交汇点

- eVTOL（electric Vertical Take-Off and Landing，电动垂直起降飞行器）技术迁移自传统飞机及新能源三电供应链，技术基础成熟；其区别于常规飞行器的主要特征在于：1）可实现垂直起降，无需滑行，能够摆脱对机场的依赖；2）采用分布式推进动力系统，安全水平提高；3）采用电动技术，降低成本。2016年，Uber公司发布城市空中交通白皮书，提出未来城市空中交通的概念，引出对eVTOL的需求，由此引发世界范围内对eVTOL航空器的研制热潮。我国企业除亿航智能外起步略晚，但新能源汽车产业链的优势为eVTOL储备了大量潜在供应商，为我国航空业提供弯道超车的机会。



2.2、技术路线：eVTOL构型迁移自固定翼飞机和直升机的衍生机型

- 飞行器早期主要有固定翼和直升机两种构型，固定翼具有航程长、航速快、载重大的特点，但是需要完善的机场和跑道以供起飞和降落；直升机具有垂直起降、可悬停的特点，可以节省空间和成本，但由于复杂的气动特性（前飞工作环境下，旋翼桨叶的相对气流不对称，前行桨叶会受压缩性影响，后行桨叶会受气流分流的限制），最大飞行速度存在瓶颈。基于这两种构型的优缺点，后衍生出三种飞行器：1) 倾转旋翼通过旋翼的倾转过渡技术实现飞行器从空中悬停到高速前飞的转换，可以兼备直升机和固定翼飞机的优点，但由于倾转过渡过程中气动干扰情况复杂，安全性和稳定性表现较差；2) 复合翼型为规避倾转过程，直接在固定翼飞机上安装旋翼组件，结构简单且可行性高，但这也意味着在起降/前飞过程中分别有一套动力系统处于冗余状态，存在死重问题，一定程度上减小续航时间；3) 多旋翼飞行器以多个小直径旋翼替代直升机单个大直径旋翼及尾桨，简化了直升机的机械结构，控制难度降低且操作更加灵活；但由于需要高频率通过IMU（惯性测量单位）来调整各旋翼转速以实现稳定飞行，仅能在低载重单位上实现完全的高频率调节，后成为无人机的主要构型。
- 现有eVTOL产品主要有多旋翼、复合翼和倾转旋翼三种构型，技术分别迁移自多旋翼无人机、复合翼无人机&飞机、倾转旋翼飞机。

航空器构型发展历程



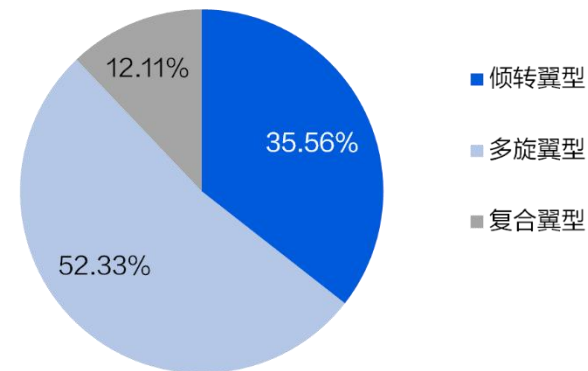
eVTOL主要构型对比

| | 多旋翼 | 复合翼 | 倾转旋翼 |
|------|----------------------------|---|---------------------------|
| 构型图 | | | |
| 原理 | 通过旋翼提供升力，通过旋翼扭矩提供平飞推力 | 垂直升降依靠旋翼转动提供升力，巡航时由机翼提供升力，旋翼停止工作并处于锁死状态 | 通过旋翼的转动，实现推力输出在垂直和水平方向的转换 |
| 动力系统 | 一套提供垂直升力的系统 | 一套提供垂直升力的系统和一套提供水平推力的系统 | 一套既提供垂直升力又提供水平推力的系统 |
| 代表机型 | 亿航 EH216S Volocopter 2X | 峰飞 V1500M Beta Alia-250 | Joby 4S Lilium Jet |

2.2、技术路线：多旋翼eVTOL研发周期最短，复合翼和倾转翼性能更优

- **多旋翼型eVTOL**采用分布式旋翼设计，因其结构轻便、设计相对简单，是发展最早、目前技术最为成熟的eVTOL，代表产品包括亿航EH216-S、小鹏X2、Volocopter VoloCity等；但具备巡航速度慢、航程和载重小的缺点，是旅游观光和消防救援的主要选择。**复合翼eVTOL**在多旋翼的基础上配备了机翼和水平推进螺旋桨，有效提升巡航效率和航程，且规避倾转过渡过程，大幅提高安全性，可用于通勤和物流等。代表产品包括峰飞V2000CG、Wisk Cora、Bata Alia-250r等。**倾转翼型eVTOL**以一套动力系统执行垂直起降、悬停和平飞，实现最优能效，可实现的航程与速度最大，但具有动力冗余不足的特征；由于构型复杂，目前大部分机型仍处于验证阶段。代表产品包括时的E20、Lilium Jet等。
- **多旋翼构型**受限于载荷和航程，所面对的应用场景相对固定。**复合翼型和倾转翼型**为未来UAM应用的主力军，二者在性能上限方面没有明显差异；但在相同能量密度下，倾转旋翼的航程和速度表现明显优于复合翼型。

全球各构型数量占比（截止至2023年10月）

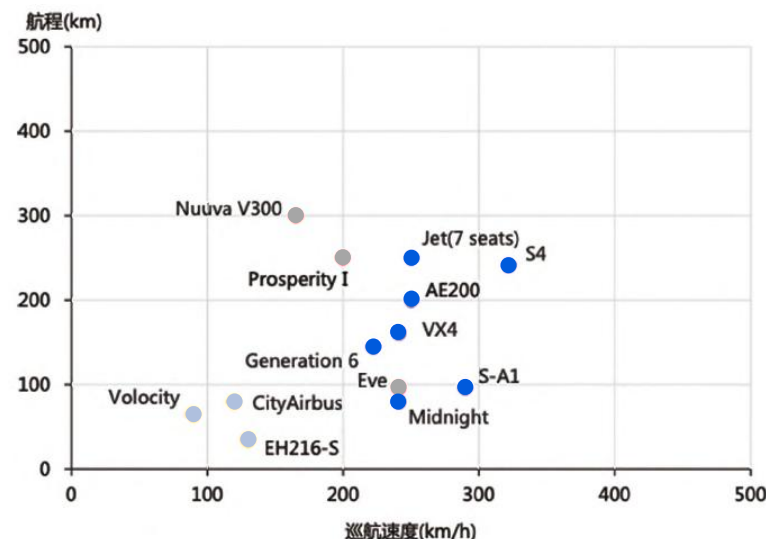


各构型eVTOL优缺点比较

| | 多旋翼 | 复合翼 | 倾转旋翼 |
|------|--|--|---|
| 优势 | <ul style="list-style-type: none"> 自重较轻 制造成本低 设计简单 | <ul style="list-style-type: none"> 巡航效率较高 航程较长 安全性高 | <ul style="list-style-type: none"> 自重轻 垂直飞行和高速巡航表现良好 |
| 劣势 | <ul style="list-style-type: none"> 有效载荷有限 航程有限 应用场景固定 | <ul style="list-style-type: none"> 额外结构造成飞行器自重增加，能效降低 | <ul style="list-style-type: none"> 悬停效率低 研发技术难度和成本高 安全性低 |
| 应用场景 | <ul style="list-style-type: none"> 旅游观光 消防救援 | <ul style="list-style-type: none"> 市内及城际通勤和物流 | <ul style="list-style-type: none"> 市内及城际通勤和物流 |

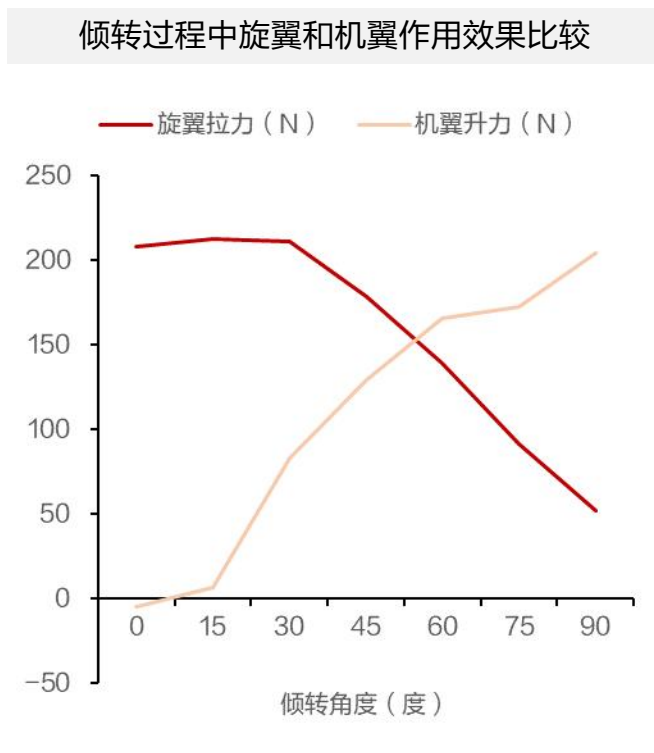
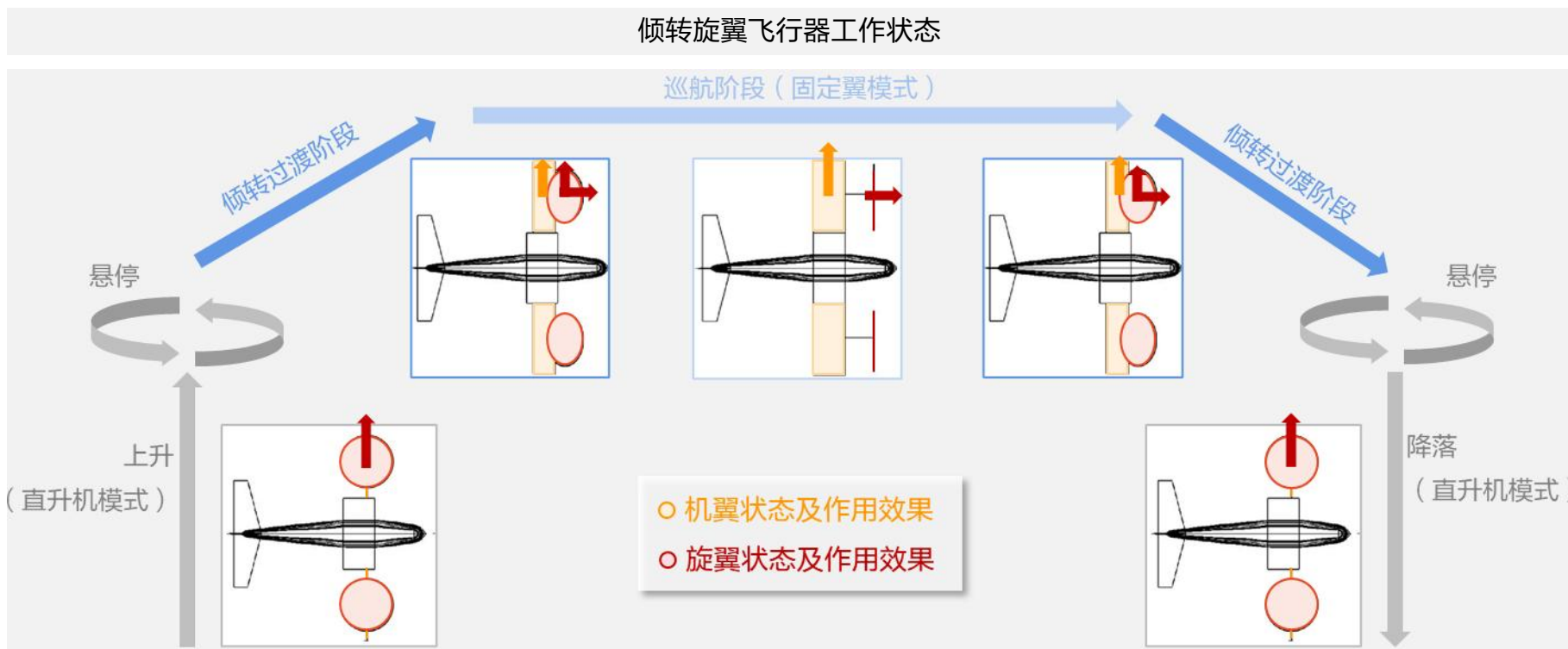
航程、速度、载重 ∝ 研发难度、技术风险

各构型产品可实现巡航速度与航程



2.2、技术路线：倾转旋翼的难点在于克服倾转过渡过程中的气动干扰

- 倾转旋翼飞行器从起飞到降落需要经历三种工作状态：垂直起降和悬停时的直升机状态、巡航高速前飞时的固定翼飞机状态、直升机模式向固定翼飞机模式转换的倾转过渡状态。垂直上升阶段，飞行器通过旋翼的升力达到一定的高速，并通过改变前后旋翼的总距产生俯仰转动的力矩，从而使旋翼产生的升力在前飞方向的矢量产生前飞速度。在飞行器刚开始具有前飞速度时，速度不够大，不足以使机翼产生足够大的升力使飞行器保持现有的高速，主要还是依靠旋翼的矢量拉力保持稳定飞行。当前飞速度达到一定程度后，飞行器逐渐进入倾转过渡状态，随着倾转角从0度转变到90度的过程中，前飞的速度逐渐增加，机翼产生的升力增大，旋翼提供的升力减小，直到完全过渡到平飞状态。在高速前飞的固定翼模式下，升力由两幅机翼提供，前飞动力由四个倾转旋翼提供。
- 倾转过渡状态下存在“喷泉效应”，气动干扰情况复杂。在直升机和倾转过渡模式下，机翼出于旋翼的下洗流干扰区域，气流通过旋翼以后冲击在机翼表面，产生较大的向上载荷。同时，两侧机翼上的气流会沿机翼向机身中心流动，在中心处汇聚形成向上的气流，产生“喷泉效应”。在由直升机模式过渡到巡航高速前飞模式时，前机翼尾流会影响后机翼附近的流场，后旋翼也处于前悬翼尾流干扰区域内，复杂的干扰情况成为倾转旋翼飞行器的难点，服役多年的V-22倾转旋翼机也发生过多事故。



2.2、技术路线：国内厂商多采用复合型构型，海外厂商侧重倾转翼构型

- 除亿航智能发布产品采用多旋翼构型外，国内厂商产品多采用复合型构型。亿航智能EH216-S采用多旋翼构型，产品设计及推进较快，但续航里程有限，多用于游览、应急救援等短途通行领域；峰飞航空等国内厂商多采用复合翼构型，定位区域客运的目标市场。
- 海外倾转旋翼制造经验丰富，eVTOL厂商多采用倾转旋翼路线。

| 公司 | 产品 | 构型 | 最大起飞质量 (kg) | 最大满载里程 (km) | 平均巡航速度 (km/h) | 额定载客 (人) | 巡飞高度 (m) | 产品应用场景 |
|---------------------|---------------|-----|-------------|-------------|----------------------|----------|--------------------------|------------------|
| 沃飞长空 | AE200-100 | 复合翼 | 2500 | 200 | 248 | 6 | 1000 (AGL) 3000 (MSL) | 空中游览等 |
| 沃兰特航空 | VE25-100 | 复合翼 | 2500 | 200-400 | 235 (最大) 200 (经济) | 6 | — | 客运、货运、医疗 |
| 时的科技 | E20 | 倾转翼 | 2400 | 200 | 260 | 5 | — | 出行 |
| 小鹏汇天 | X2 | 多旋翼 | 560 | — | 130 (最大) | 2 | 1000 | 短途出行、野外救援、医疗运输 |
| 御风未来 | Matrix 1 | 复合翼 | 2000 | 250 | 200 | 5 | — | 先货后人 |
| 峰飞航空 | V1500M (盛世龙) | 复合翼 | 2000 | 250 | 200 (最大) | 5 | — | 出行 |
| | V2000CG (凯瑞鸥) | 复合翼 | 2000 | 250 | 200 (最大) | — | — | 低空物流、紧急物资运输、应急救援 |
| 亿航智能* | EH216-S | 多旋翼 | 620 | 30 | 130 (最大) | 2 | 200 (AGL) 300 (MSL) | 空中游览、医疗运输、应急救援 |
| | VT-30 | 复合翼 | — | 300 | — | — | — | 城市内出行 |
| 零重力 | ZG-ONE | 多旋翼 | 650 | 30 | 75 | 2 | — | 空中游览 |
| | ZG-T6 | 倾转翼 | — | 300 | 300 | 6 | — | 城市内及城际出行、私人出行 |
| Joby Aviation* | S4 | 倾转翼 | 2404 | 161 | 322 | 5 | — | 出行 |
| Airbus* | Vahana | 多旋翼 | 815 | 100 | 230 | 2 | 3048 | 出行 |
| Beta Technologies | Alia-250 | 复合翼 | 2730 | 402 | 274 | 6 | 2500 | 出行 |
| Lilium* | Lilium Jet | 倾转翼 | 3175 | 278 | 299 | 7 | 3000 | 出行 |
| Archer Aviation* | Midnight | 倾转翼 | 3175 | 100 | 241 (最大) | 5 | 610 | 出行 |
| Volocopter | Volocity | 多旋翼 | 900 | 35 | 110 (最大) | 2 | — | 出行 |
| Vertical Aerospace* | VX4 | 倾转翼 | 450 | 161 | 241 | 5 | — | 出行 |

注：上标*代表为上市公司；AGL (Above Ground Level)，指离地真高，MSL (Mean Sea Level) Attitude) 指离平均海平面的高度

2.3、审定要求：eVTOL正式运营需要通过适航批准和运行管理流程

- eVTOL作为民用航空器，获得适航批准和运行许可是其合法开展规模化运行的前提。考虑到大多数eVTOL航空器仍处于概念设计阶段，我国民航局尚未针对eVTOL监管专项立法，涉及无人驾驶部分依据无人机监管相关法规，而有人驾驶部分仍依据传统民航航空器法规。具体而言，无人驾驶eVTOL的审定程序参照《民用航空产品和零部件合格审定规定》（CCAR-21）及其下位法《民用无人驾驶航空器系统适航审定管理程序》（AP-21-71）；有人驾驶eVTOL作为特殊类别航空器以“一事一议”模式进行审定，程序参考包括CCAR-21下位法《型号合格审定程序》（AP-21-11）、《生产批准和监督程序》（AP-21-31）等；具体条件制定参考欧洲EASA提出的VTOL适航审定特殊条件SC-VTOL、《正常类飞机适航规定》（CCAR-23）、《正常类旋翼航空器适航规定》（CCAR-27）、《小型航空器商业运输运营人运行合格审定规则》（CCAR-135）。
- 有人驾驶航空器，以及中型、大型民用无人驾驶航空器需要进行适航管理，包括设计标准、生产批准和适航批准，对应型号合格证（TC）、生产许可证（PC）、适航证（AC）等证件的申请、办法和管理。除微型无人机以外的机型均需要进行运营安全评估，对应运营合格证（OC）等证件的申请、办法和管理。

各国关于eVTOL的适航规定

| 国家机构 | 适航规定 |
|---------------|---|
| 欧洲航空安全局（EASA） | 于2019年发布针对小型VTOL的特殊适航认证条款，为eVTOL确立安全和设计目标；于2020年发布eVTOL适航认证的拟议符合性评审办法，为证明eVTOL飞机和系统的安全性提供详细指导 |
| 美国联邦航空局（FAA） | 对eVTOL的政策倾向保守，在现有的适航法规基础上，结合相应的专用条件来解决适航问题，即按现有的第23部适航标准的第64号修正案对国内的eVTOL项目进行审定 |
| 中国民用航空局（CAAC） | 尚未针对eVTOL监管专项立法，涉及无人驾驶部分依据无人机监管相关法规，有人驾驶部分仍依据传统民航航空器法规 |

无人驾驶航空器分类

| 分类 | 空机重量 | 最大起飞重量 | 最大飞行真高 | 最大平飞速度 |
|----|--------|---------|--------|-----------|
| 微型 | < 250g | — | ≤ 50m | ≤ 40km/h |
| 轻型 | ≤ 4kg | ≤ 7kg | — | ≤ 100km/h |
| 小型 | ≤ 15kg | ≤ 25kg | — | — |
| 中型 | — | ≤ 150kg | — | — |
| 大型 | — | > 150kg | — | — |

TC/PC/AC/OC的取证阶段、要求及持证权益

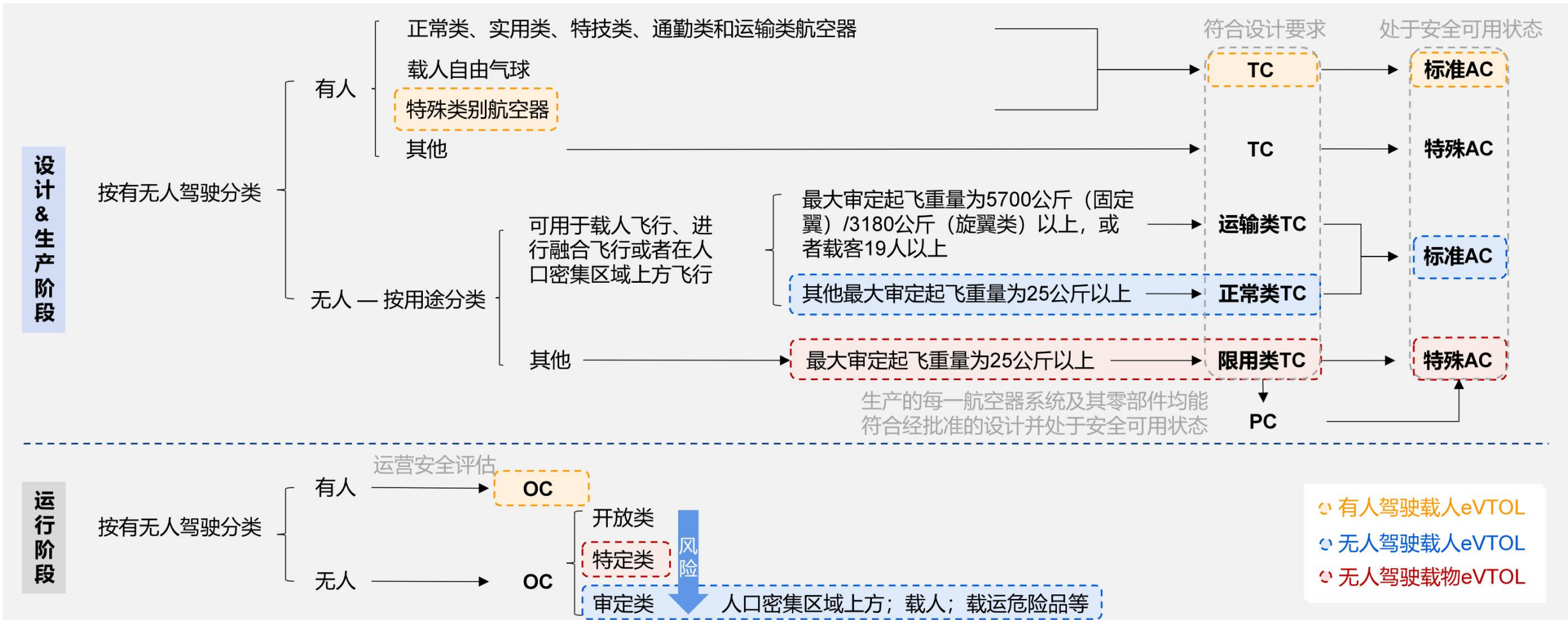
| 证书 | 所处阶段 | 主要要求 | 持有人权益 |
|-----------|------|------------------------------------|--------------------------|
| 型号合格证（TC） | 设计 | 型号设计、试验报告和各種计算证明产品型号符合适航标准 | 有资格去申请适航证、生产许可证；能够进行少量生产 |
| 生产许可证（PC） | 生产 | 建立完整的生产体系，确保后续每架飞机的制造过程都是按照TC设计进行的 | 能够批量生产；能够经过少量检查直接获取适航证 |
| 适航证（AC） | 运行 | 单架航空器系统或零部件符合经批准的设计，处于安全可用状态 | 单架飞机可以出厂运行 |
| 运营合格证（OC） | 运营 | 有实施安全运营所需的管理机构等以及符合安全运营要求的航空器 | 能够从事经营性活动 |

2.3、审定要求：eVTOL正式运营需要通过适航批准和运行管理流程

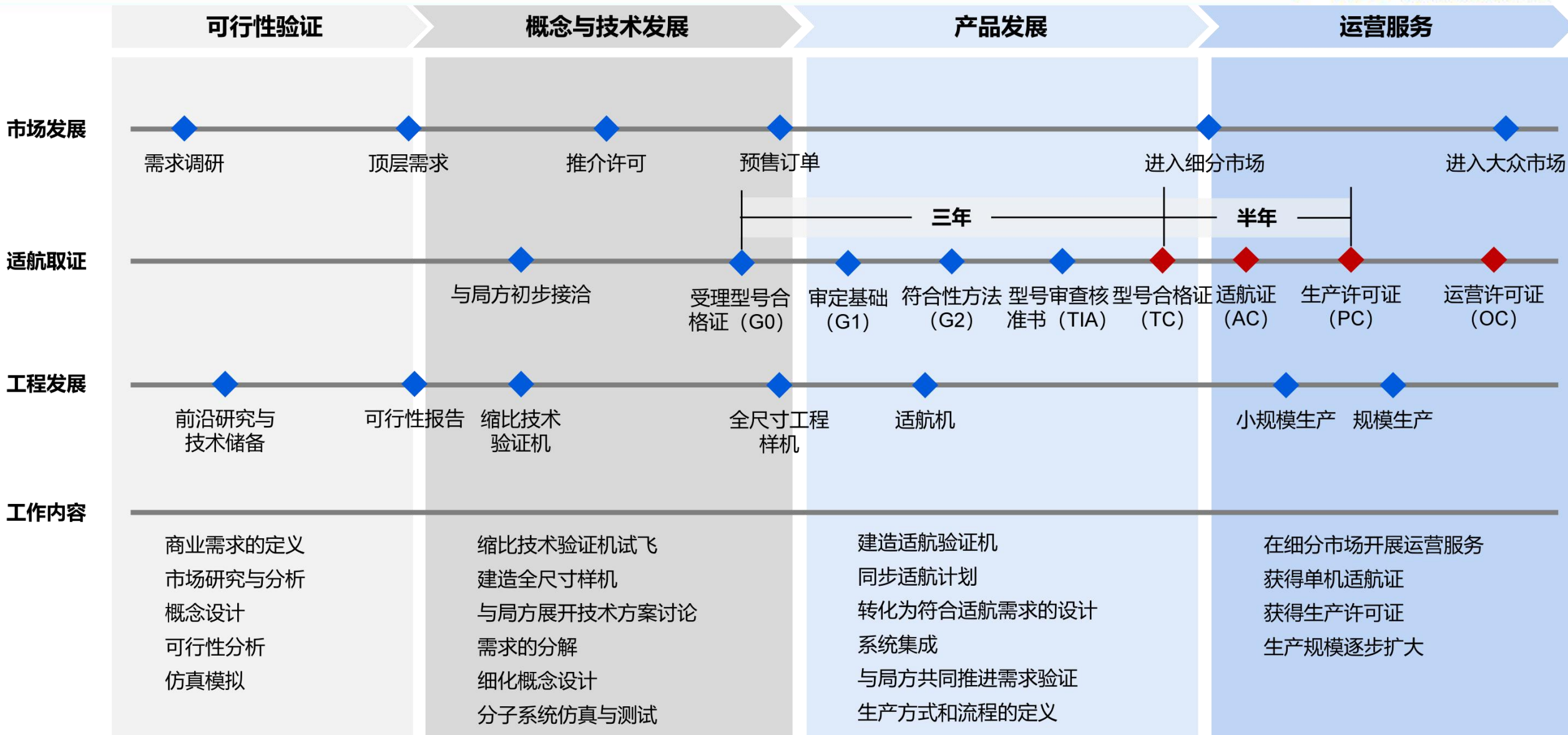
取证路径：

- 1) 有人驾驶载人eVTOL：TC——PC——标准AC——OC；代表型号为沃飞AE200、沃兰特VE25及时的E20。
- 2) 无人驾驶载人eVTOL：正常类TC——正常类PC——标准AC——审定类OC；代表型号为亿航EH216-S。
- 3) 无人驾驶载物eVTOL：限用类TC——限用类PC——特殊AC——特定类OC；代表型号为峰飞V2000CG和御风M1。

注：在没有PC的情况下，可以采用TC-only模式进行少量生产并获取相应的AC；故AC和PC的顺序可以调换



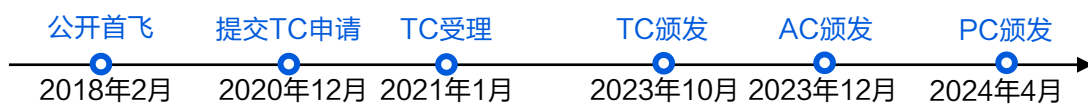
2.3、审定要求：型号合格（TC）审定为关键流程，耗时最长



2.4、整机现状：亿航智能和峰飞航空取证进度领先，借助窗口期转化订单

- 亿航智能EH216-S及峰飞航空V2000CG率先完成TC取证。亿航智能载人EH216-S于2023年10月获取全球首张型号合格证（TC），同年12月取得适航证（AC），2024年4月取得生产许可证（PC）。EH216-S为多旋翼构型，适用旅游观光场景，主要客户为各地政府，订单储备超过600架；峰飞航空V2000CG于2024年3月取得TC，为复合翼构型的载物航空器，最大起飞重量达到2吨，适用物流运输、应急救援场景，订单储备超过200架。其余头部企业载人产品如时的科技E20、沃兰特航空VE25-100、沃飞长空VE25-100、峰飞航空V2000EM均已在中国民航局完成TC受理，据我们估算，预计将于2026-2027年完成取证；2024-2026年为亿航和峰飞发展的窗口期。

亿航智能EH216-S发展历程



亿航智能订单储备情况

| 客户 | 订单数量（架） | 订单状态 |
|------------|---------|--------------|
| 合肥市政府 | 100 | 2023Q4已交付15架 |
| 无锡市政府 | 100 | — |
| 深圳博领 | 100 | 2023Q3已交付5架 |
| 天行健文化旅游 | 30 | — |
| 西域通航 | 120 | — |
| 印尼Prestige | 100 | — |
| 阿联酋Wings | 100 | 2024Q1开始交付 |
| 合计 | 650 | — |

我国主要eVTOL整机厂产品取证进展

| 主机厂 | eVTOL型号 | TC受理日期 | TC颁发日期 |
|------------------|----------|----------|----------|
| 亿航智能* | EH216-S | 2021年1月 | 2023年10月 |
| 峰飞航空 | V2000CG | 2022年9月 | 2024年3月 |
| | V2000EM | 2024年4月 | 2027年（E） |
| 御风未来 | M1-B | 2024年1月 | 2025年（E） |
| 沃飞长空 | AE200 | 2023年12月 | 2026年（E） |
| 沃兰特航空 | VE25-100 | 2023年9月 | 2026年（E） |
| 时的科技 | E20 | 2023年10月 | 2026年（E） |
| Joby Aviation* | S4 | — | 2024年（E） |
| Archer Aviation* | Midnight | — | 2024年（E） |
| Volocopter | Volocity | 2020年12月 | 2024年（E） |

注：1）中国企业载人TC颁发日期的预测依据为亿航EH216-S从TC受理到颁发的时间周期，载物则参考峰飞V2000CG；海外企业预测数据来自SMG Consulting；2）上标*代表为上市公司；3）Joby、Archer、Volocopter为美国FAA适航审定，其余产品均为中国民航局审定。

2.4、整机现状：eVTOL整机厂的核心竞争力在于融资规模及团队背景

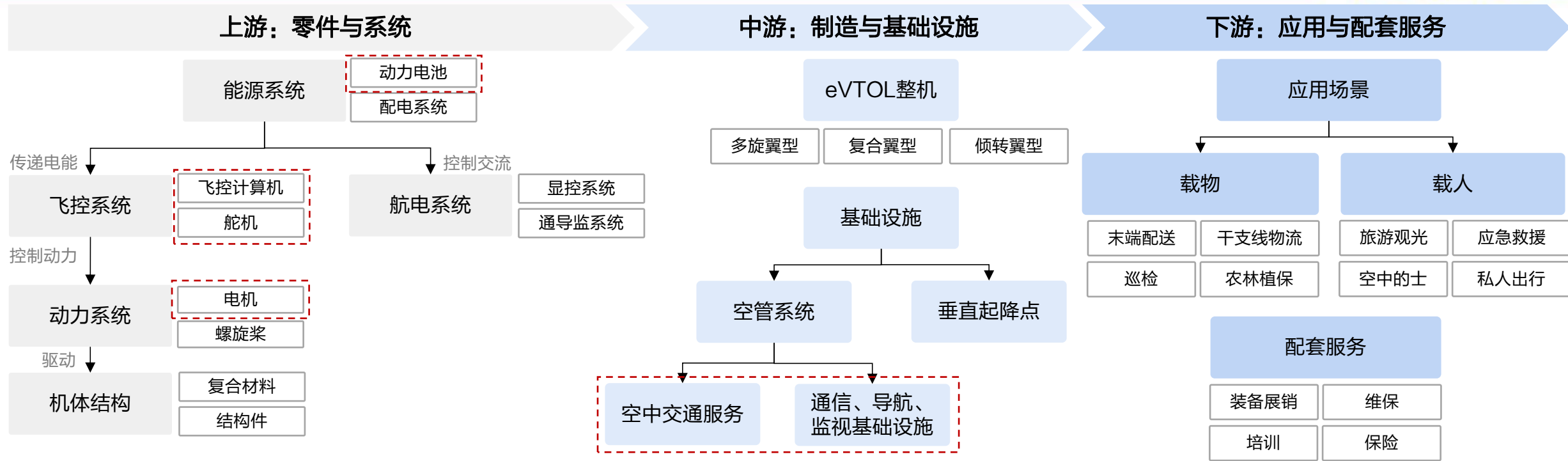
- **eVTOL研发和适航取证流程长，需要大量资金和适航经验支持。**资金方面，投资方以航空企业和车企为主，空客、Wisk（波音全资子公司）及沃飞（吉利控股子公司）资金优势明显，外部融资需求小；适航经验方面，具有民航背景的创始团队企业相对航模、无人机背景更有经验优势。
- **Volocopter、亿航与Joby综合评分领先。**ARI（先进空中交通指数）是SMG Consulting提出的评级工具，基于融资规模、领导团队、技术水平、认证进度以及生产准备情况五个方面，来衡量全球eVTOL制造商产品认证、投入适用并实现量产（每年数千台）的可能性。亿航ARI评分领先，于2023年11月与Joby Aviation、Beta Technologies两家国际龙头企业并列第二，仅次于Volocopter。国内公司中峰飞航空和沃飞长空评分较高，于2023年11月分别位列第10/11位。

| 公司 | 国家 | ARI（先进空中交通指数；2023年） | | | | 市值 (亿美元) | 收入 (亿美元) | 团队背景（部分） | 投资人背景（部分） |
|---------------------|----|---------------------|-----|-----|-----|-------------|-------------|---|--|
| | | 2月 | 4月 | 8月 | 11月 | | | | |
| Volocopter | 德国 | 8.6 | 8.6 | 8.6 | 8.3 | - | - | 航空（空客） | 汽车（吉利、戴姆勒）、科技（英特尔） |
| 亿航智能* | 中国 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.0 | 11.63 | 1.17 | 无人机 | - |
| Joby Aviation* | 美国 | 8.7 | 8.7 | 8.7 | 8.0 | 37.81 | 0.01 | 机器人 | 汽车（丰田、Uber）、航空（达美） |
| Beta Technologies | 美国 | 8.0 | 8.1 | 8.6 | 8.0 | - | - | 航天工程 | 科技（亚马逊） |
| Archer Aviation* | 美国 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 7.9 | 12.93 | 0.00 | eVTOL（Wisk, Airbus Acubed、Uber Elevate）、航天（NASA）、汽车（三菱、尼桑） | 航空（美联航、波音）、汽车（斯特兰蒂斯） |
| Wisk Aero | 美国 | 7.5 | 7.5 | 7.8 | 7.4 | - | - | 航空（波音、维珍）、无人机（Kitty Hawk） | 航空（波音；为波音全资子公司） |
| Eve Air Mobility* | 巴西 | 7.7 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 1.72 | - | 航空（巴西航空） | 航空（巴西航空、美联航） |
| Vertical Aerospace* | 英国 | 7.2 | 6.8 | 7.0 | 7.1 | 1.68 | 0.00 | VTOL（列奥那多）、航空发动机（罗罗） | 航空（美国航空）、飞控（霍尼韦尔）、飞机租赁（Avolon）、科技（微软）、航空发动机（罗罗） |
| Pipisterl | 美国 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.0 | - | - | 电动飞机 | 航空（德事隆；为德事隆控股子公司） |
| 峰飞航空 | 中国 | 6.1 | 7.2 | 7.2 | 6.9 | - | - | 无人机（YUNEEC）、电动飞机（Eviation Aircraft）、航空（空客）、eVTOL（Joby Aviation） | 运输（Team Global CEO & Delivery Hero联合创始人） |
| 沃飞长空 | 中国 | - | 6.4 | 7.1 | 6.8 | - | - | 无人机 | 汽车（吉利；为吉利控股公司）、Evtol（Volocopter；与Volocopter建立合资子公司沃珑空泰）、航空（华控基金控股华龙航空） |
| Elroy Air | 美国 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 6.8 | - | - | 混动VTOL | - |
| Lilium* | 德国 | 6.8 | 6.8 | 6.8 | 6.7 | 5.33 | 0.00 | - | 科技（腾讯） |
| Airbus* | 法国 | 7.0 | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 1302.51 | 654.46 | 航空（空客） | 航空（空客） |

注：1）上标*代表为上市公司；2）市值为2024年5月1日美股收盘数据；3）收入为2023财年数据，其中Eve Air Mobility尚未披露2023财年数据

三、eVTOL规模化落地需要建设基础设施+优化零部件性能

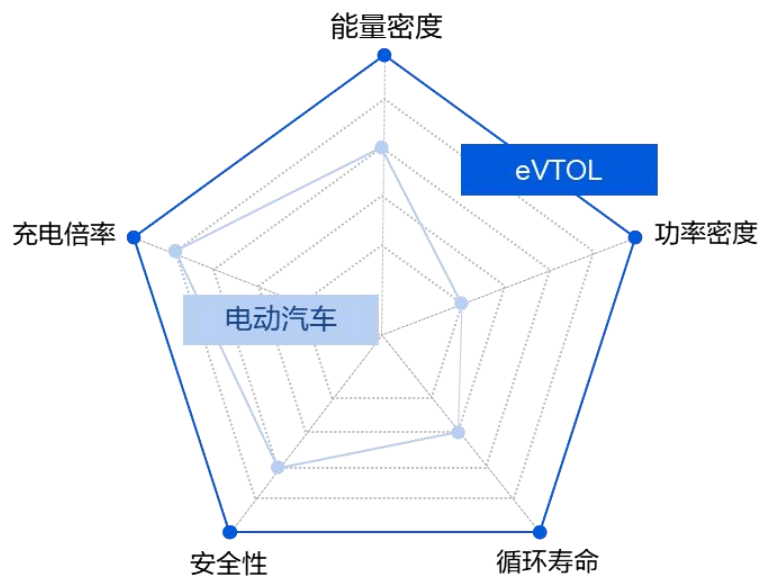
3.1、产业链概况：动力、能源、飞控系统性能需优化，基础设施待建设



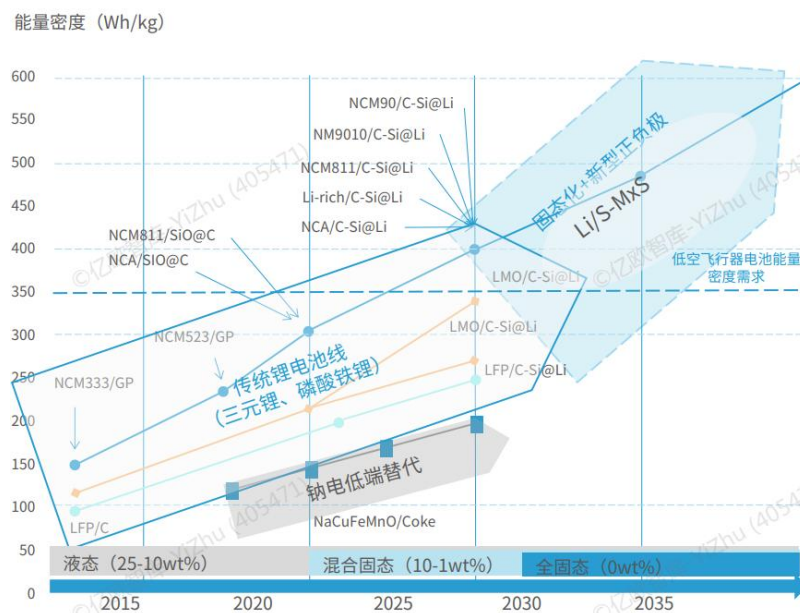
3.2、上游零部件：电池能量密度亟需提高，固态电池为未来发展方向

- 新能源汽车锂电池技术仍不能满足低空飞行航空器的需要。1) 放电效率方面，飞行器需要更高的能量密度，以提供足够的动力支持飞行。根据高工锂电数据，新能源车三元锂电池的能量密度（电池单位重量提供的能量）为200Wh/kg，面向城市空中交通的eVTOL至少需要达到400Wh/kg；而目前成熟的eVTOL电池能量密度仅有285Wh/kg。2) 峰值功率持续时间方面，飞行器需要再起飞和着陆时提供瞬时的峰值功率。3) 循环次数方面，低空飞行存在频繁充放电需求，锂电池会面临快速老化；高频率的完整充放电循环可能会减少电池寿命。4) 安全方面，飞行器电池需要保障在紧急情况下的可靠性和稳定性。5) 快充频率方面，飞行任务转换较为快速，飞行器需要能够在短时间内快速充电。
- 锂离子电池技术面临能量密度限制，固态电池是未来的提升方向。目前主流的锂电池是液态锂离子电池，理论能量密度天花板是300Wh/kg。短期看，可以通过改良电极材料、拓宽SOC区间等方式提升系统能量密度；中期看，固态电池的理论能量密度超过500Wh/kg，或成为主流研发方向。

低空航空器与新能源汽车电池性能对比



电池技术及能量密度发展趋势



现有航空电池厂商

| 相关公司 | 合作方 | 产品进展 |
|------------|------------|---------------------------------------|
| 恩力动力 | - | 已有320Wh/kg固态航空电池 |
| 正力新能 | 多家eVTOL整机厂 | 已有320Wh/kg半固态航空电池 |
| 国轩高科* | 亿航 | 已有车用360Wh/kg半固态电池，正合作开发eVTOL动力电芯、电池包等 |
| 欣视界 (欣界能源) | 亿航 | 合作开发用于亿航飞行器的固态锂电池，已推出450Wh/kg固态电池 |
| 宁德时代* | 商飞、上海交大 | 合作开发民用电动载人飞机电池，已推出500Wh/kg凝聚态航空电池 |
| 孚能科技* | 某电动飞机企业 | 已推出285Wh/kg航空电池 |

注：上标*代表为上市公司

3.2、上游零部件：高功率密度航空电机依赖进口，国产替代积极推进

- 国内外航空级电机发展水平差异大，现有国产电机已能基本满足eVTOL需求。工业无人机及1-2座eVTOL的功率密度要求为2kW-30kW，4座eVTOL要求为50kW-175kW，十几座到几十座的支线飞机要求为200kW-1MW以上。国外电机龙头赛峰集团的ENGINEUS可提供几瓦-500kW的输出功率；国内航空电驱动领先企业卧龙电驱于2023年中旬推出70kW动力系统产品，已基本能够满足eVTOL需求（根据赛峰和卧龙电驱官网数据）。根据2024年3月工信部等发布的《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030年）》，我国正积极推进250kW及以下航空电机的规模化量产，以及500kW级产品应用验证。
- 提高功率密度需要材料、电机设计同步发展：

| 大类 | 具体类别 | 内容 | 预计技术成熟时间 |
|----|-------------|--|----------|
| 材料 | 高性能导线 | 高性能导线指具有优异导电性能、低电阻、轻量化等特点的导线材料。随着航空电气化的发展，航空电机的电磁负荷不断增加，传统的铜导线材料在面对高电流密度和高温环境时可能会出现电阻增加、能量损耗大的问题。碳纳米管导体具有更小的密度和更优的导电率，且电导率不受温度升高影响，但工艺复杂，预计是未来的重点突破方向。 | 2045年 |
| | 绝缘体 | 绝缘体指用于隔离电导体的材料，其性能直接影响电机安全性和稳定性；目前主流的技术方向是具有高导热能力和高稳定性的氮化硼纳米管绝缘材料。 | 2040年 |
| | 磁性材料 | 磁性材料包括永磁材料和软磁材料，其性能直接影响电机的功率。航空电机要求磁性材料具有更高的磁能积、更高的稳定性。目前，钕铁硼永磁材料为主流技术，但其磁能积极限为64MGOe，仍需新材料来填补空缺 | 2035年 |
| 设计 | 电机冷却技术 | 航空电机在高功率运行时会产生大量热量，需要有效的冷却系统来保持电机稳定运行。 | 2035年 |
| | 高温高频功率变换器技术 | 航空电机需要在极端温度、高辐射和高振动等恶劣环境下工作，对高温高频功率变换提出要求。 | 2035年 |

- 国内外企业包括：

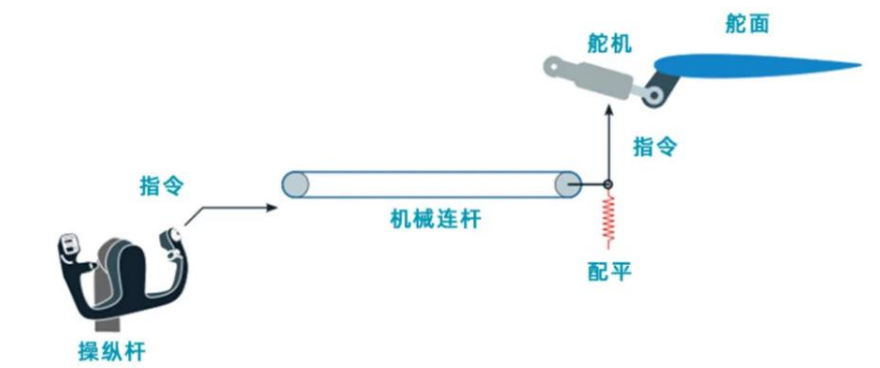
| 相关公司 | 主营业务 | 产品进展 |
|-------|----------|--|
| 赛峰集团* | 飞机设备制造商 | 航空级电机输出功率高达500kW，合作eVTOL整机厂包括时的科技 |
| 罗罗* | 航空发动机、电机 | 已有150kW/350kW电机分别供城市/城际空中出行，合作eVTOL整机厂包括Vertical Aerospace |
| 伊顿宇航* | 工业电机及零部件 | 与南洋理工大学签订3年合作协议，负责提供eVTOL电气系统；其他合作整机厂包括空客 |
| 天津松正 | 工业电机 | 5kW-240kW功率电机供eVTOL使用 |
| 卧龙电驱* | 工业电机 | 和商飞、沃飞长空签订战略合作协议，已有70kW功率密度电机供4座eVTOL使用 |

注：上标*代表为上市公司

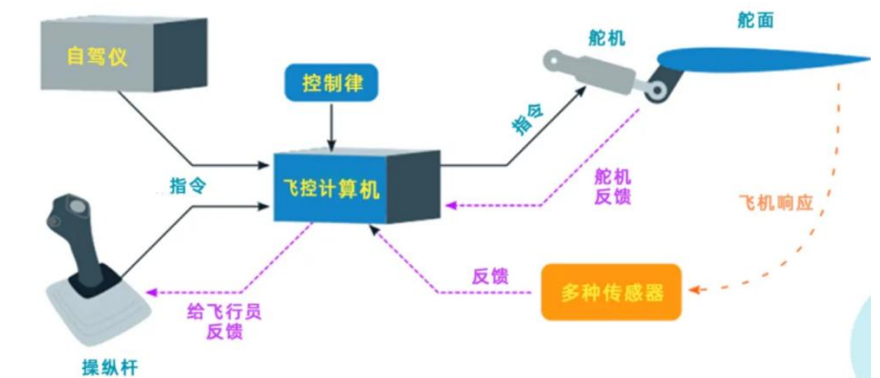
3.2、上游零部件：飞控系统经历了从机械式到电传式的转变

- 飞控系统用于飞机姿态调整和运动控制，经历了从机械式到电传式的转变。过去飞行控制主要由简单的钢索、滑轮、连杆和曲柄等机械部件来实现，即机械式操纵系统，需要飞行员将施加在驾驶舱操纵装置上的力直接传递到气动舵面，然后舵面上的气动铰链力矩再通过机械连杆让驾驶员获得力和位移的反馈，从而实现对飞机姿态和飞行轨迹的控制。机械传动系统本身始终存在重量大，反应不够灵敏和传动滞后等缺点，而且如果被破坏的情况下，还会导致整个飞机系统无法正常工作，电传操纵（Fly-by-wire, FBW）理念应运而生，即利用传感器测得变化并发出信号，再由计算机接收到信号后进行处理和计算，并发出指令驱动液压制动器或者飞行控制面，全程以电子信号来完成之前的机械传动过程。
- 目前的大型民航飞机操控系统已经完成了由机械控制到电传控制的过渡，电传操纵系统也已经成为新研通航飞机的标配。

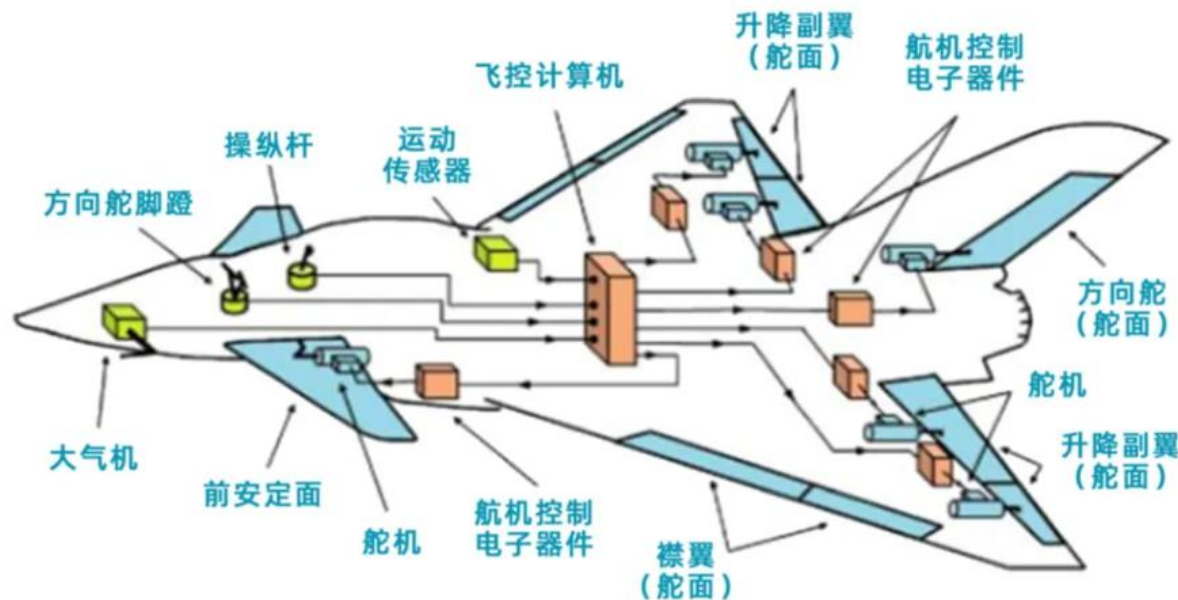
机械式操纵系统



电传式操纵系统



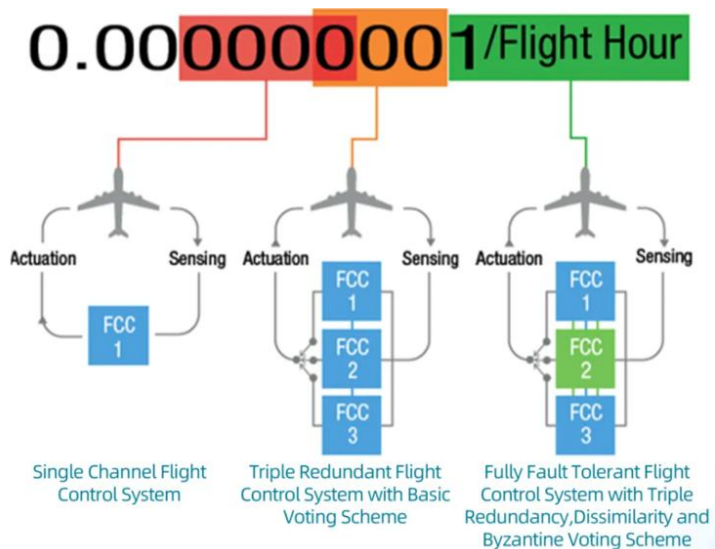
基于电传操纵的飞控系统在飞机中的分布



3.2、上游零部件：eVTOL多余度飞控技术处于发展初期

- **eVTOL给电传飞控技术带来的难点在于：**1) 需解决eVTOL机型旋翼和固定翼在同一套系统下的操纵技术难题，实现SVO（Simplified Vehicle Operation，简化飞行操作，为飞行员降低执行飞行相关任务的复杂度同时提升安全性）；2) 需平衡eVTOL市场化过程中对飞控系统产生的轻量化、经济型和适航等需求。
 - 1) 轻量化：**由于目前的电传操纵系统主要应用于民航客机上，处于几十吨级别，但是eVTOL的机型多为一两吨的最大起飞重量，在整机重量、体积小得多的情况下，再加上旋翼类飞机不稳定，必须在机身上加配飞控计算机和IMU等传感器，就对飞控系统的体积和重量提出了更苛刻的要求。
 - 2) 经济性：**eVTOL与传统民航客机有着明显不同的使用场景，作为一种新型的中短途空中交通工具，更侧重于在UAM、运输等非长距离场景的应用。因此在追求高效率的同时，还需要做到可以面向大众市场的低成本，对比民航客机的飞控系统预算在几百万美元量级。
 - 3) 适航性：**所有的航空器能进入民用市场的一大先决条件是需要全面符合民航法规的要求，迫使eVTOL主机厂必须选择可适航的**高可靠性**的飞控系统。
- 由于单系统的飞控的可靠性有限，最多可以做到灾难性事故率小于 10^{-5} （每 10^5 小时发生不超过一次灾难性事故）。为了进一步提高系统的可靠性，就需要通过增加冗余构建多余度的飞控系统，并在不同飞控计算机之间建立投票机制，即为余度技术。此外，建立异构的多余飞控计算机可以进一步降低整套系统的故障率。**虽然多余度飞控系统在民航客机上已经非常常见，但可以在eVTOL上使用的多余度飞控系统比较少。**

余度技术和可靠性的关联



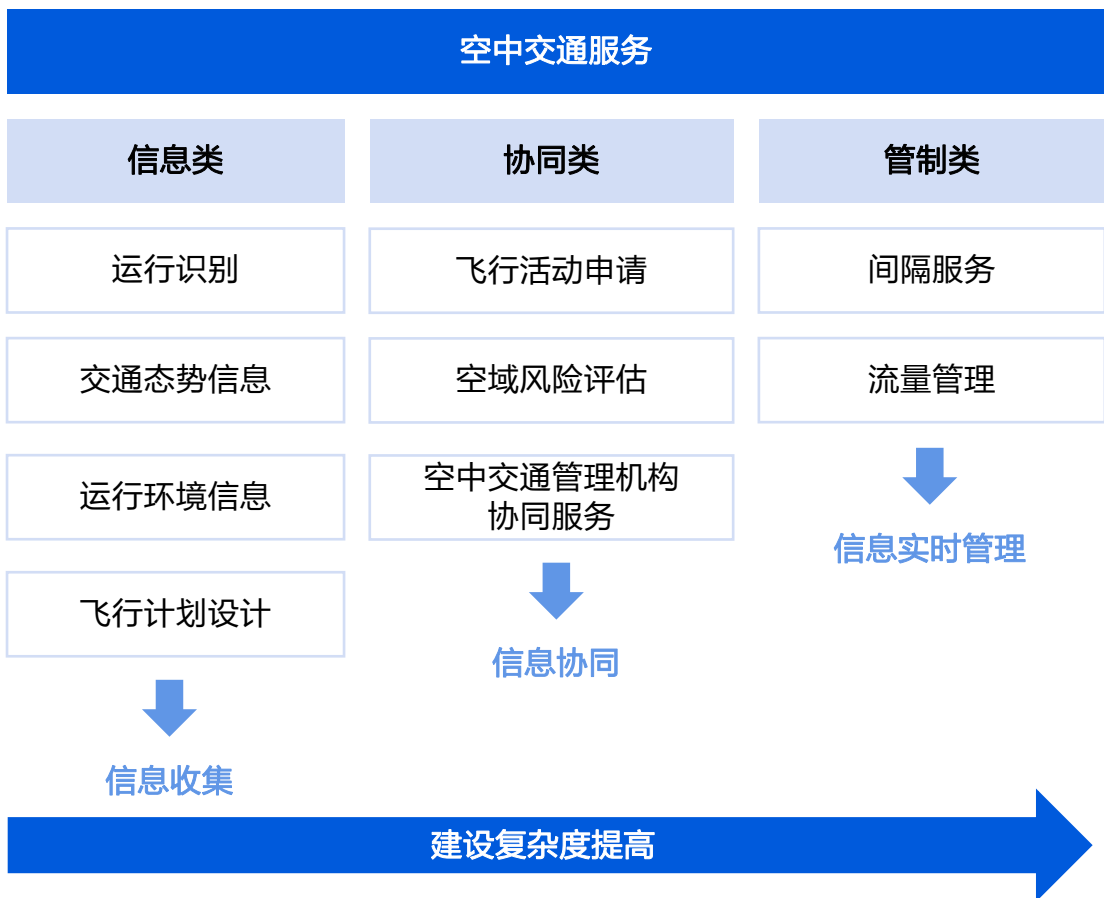
现有eVTOL多余度飞控系统公司

| 相关公司 | 主营业务 | 合作整机厂 |
|------------|------------------|---|
| 霍尼韦尔* | 航空器零部件及方案 | Eviation、Pipistrel、Vertical Aerospace、Lilium、Archer Aviation、Supernal |
| 泰雷兹* | 飞机航电、飞控系统 | Eve Air Mobility |
| Embention* | 飞机航电、飞控系统 | Amazon Prime Air |
| 边界智控 | eVTOL、无人机飞控与导航系统 | 东部通航、沃兰特航空 |
| 狮尾智能 | 无人机航电、飞控系统 | — |

注：上标*代表为上市公司

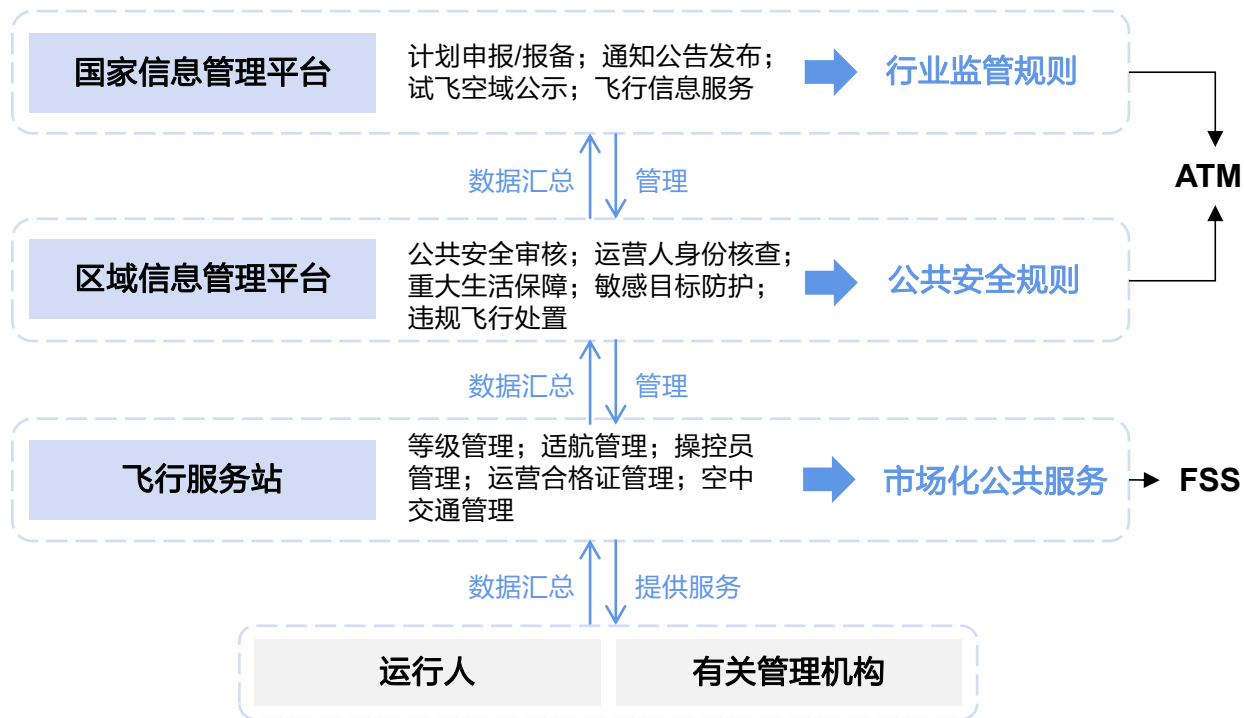
3.3、中游基建：无人机区域信息管理系统及飞行服务平台有待规划

- 空中交通管理系统为飞行活动提供有效的飞行计划、航空情报、航空气象、告警和协助救援等服务，是空管体系的核心软件平台。按照技术要求由低到高可以分为三类：1) 信息类：运行环境信息收集、交通态势信息收集、飞行计划设计等；2) 协同类：飞行活动申请、空域风险评估等；3) 管制类：间隔服务、流量管理等。



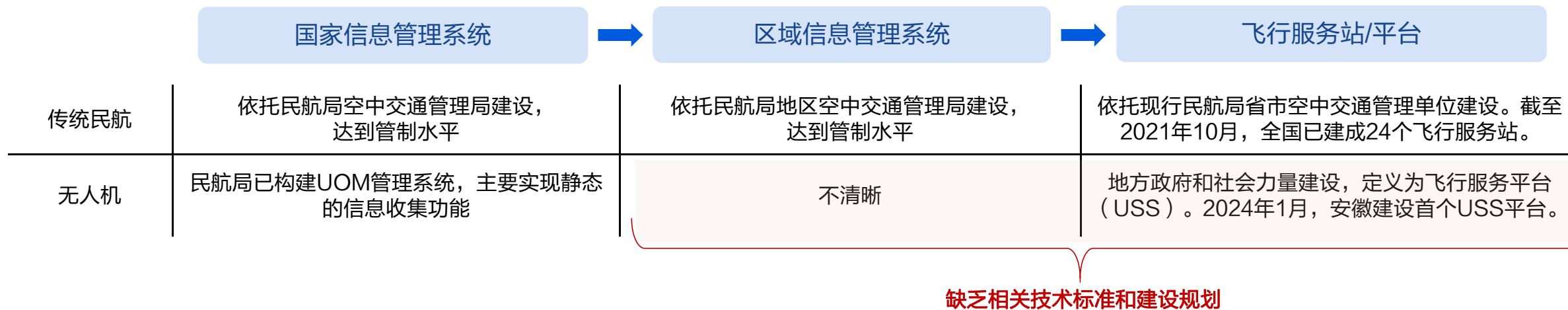
- 我国空中交通管理系统主要按照有人机和无人机来划分：

1) 有人机：遵循空中管理系统ATM (Aerial Traffic Management) +飞行服务站FSS (Flight Service Station) 的建设模式。以传统通航为例，2018年发布的《低空飞行服务保障体系建设总体方案》提出要建立由国家信息管理系统+区域信息处理系统+飞行服务站组成的三级低空空管体系，其中国家信息管理系统依托民航局空中交通管理局建设，功能定位是收集全国低空航空情报原始资料、汇总区域信息处理系统上报的航空情报等；区域信息管理系统依托民航局地区空中交通管理局建设，功能定位是收集处理区域内的低空航空情报原始资料、发布通航相关航行通告、协调飞行服务站等；飞行服务站依靠地方政府和社会力量运行，功能定位是飞行计划处理、航空情报服务、飞行监视等。



3.3、中游基建：无人机区域信息管理系统及飞行服务平台有待规划

2) 无人机：按照2024年1月1日开始实施的《民用无人驾驶航空器运行安全管理》（CCAR-92部），需要建设UOM（Unmanned Operation Management）+USS（Unmanned Aircraft Flight Service Station）体系，目前仍没有相关指南，但预计落地建设方向和上述通航领域类似，即国家信息管理+区域信息管理+飞行服务站的三级体系。民航局于2021年12月已构建完UOM平台，而区域信息管理系统以及USS服务平台方面还未有明显的大规模推进。2024年1月，安徽省成为国内首家USS运行的省级平台。



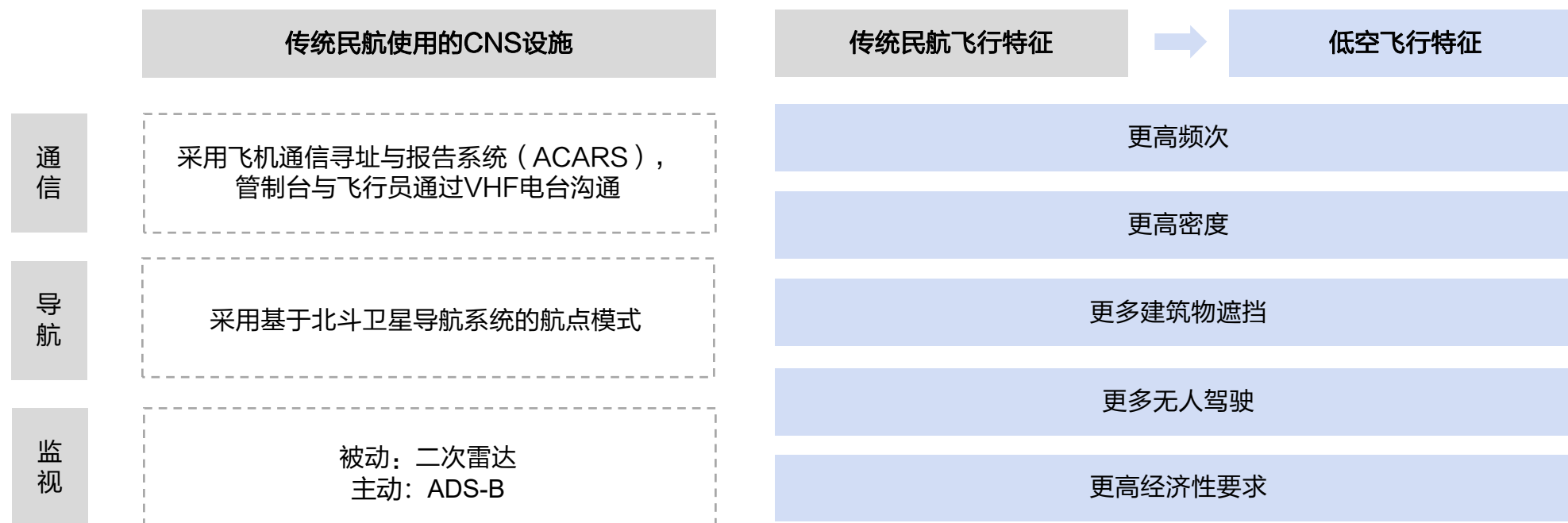
➤ 无人机无法复用民航空中交通管理系统的原因在于流量与智能化水平差异大。选取目前通航最主要的载体直升机为例进行比较，1) 流量：根据《深圳市低空经济产业创新发展实施方案（2022-2025年）》，目标到2025年全市载货无人机商业飞行突破300万架次，对比2023年直升机飞行量为2万架次。更大规模流量对空域管理的精细度提出更高要求；2) 智能化：通航空管的通信与监视参照了运输航空的模式，民航局会用ADS-B（广播式自动相关监视）来和航空器保持实时对话，但无人机主要靠远处的操控员来管理，需要建立数字化、智能化程度更高的信息管理平台。考虑到无人机和有人机空管底层构建逻辑相同，我们认为空管系统领域龙头企业莱斯信息和民航二所有望通过技术迭代在无人机空管市场占据优势位置。

| 相关公司 | 主营业务 | 市场地位 | 低空空管布局 |
|-------|----------|--|---|
| 莱斯信息* | 民航空中交通管理 | 截至2022年末，公司在民航空中管理领域的空管自动化系统市场占有率达42%，位列第一 | 中标安徽省新技术融合应用低空飞行服务平台等项目 |
| 民航二所 | 民航空中交通管理 | 民航行业内专业从事高新技术应用开发的科研机构 | 能提供完整低空空域综合解决方案，承建浙江省低空飞行服务系统与低空目视航线通信监视网络建设项目等 |

注：上标*代表为上市公司

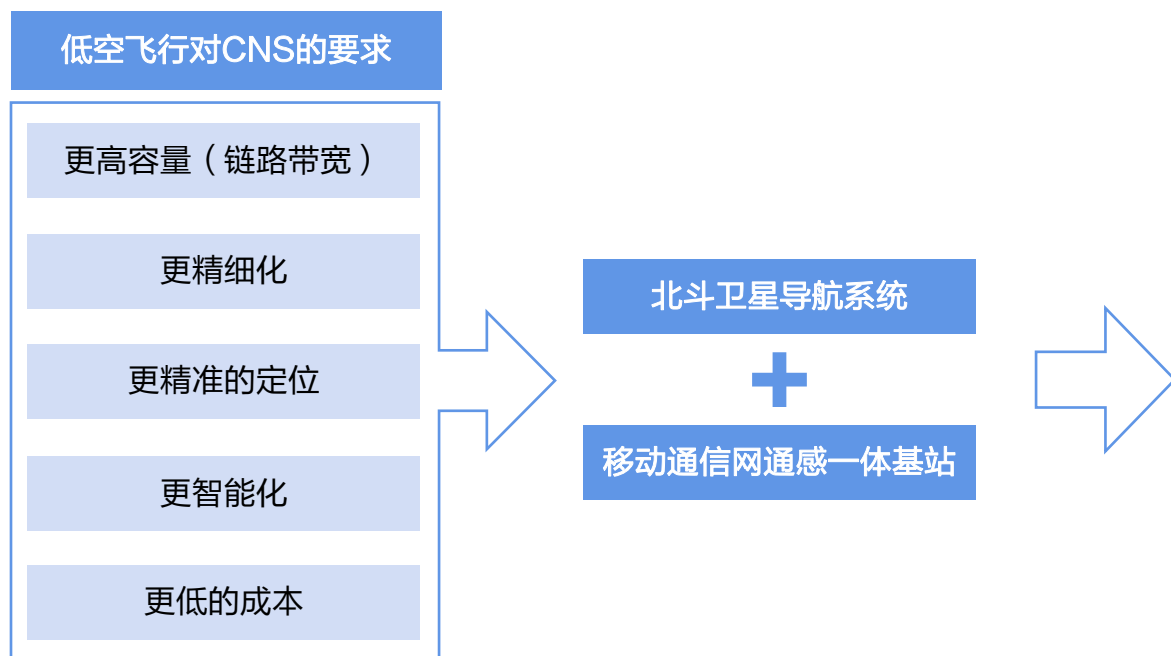
3.3、中游基建：现有通信、导航、监视（CNS）仅能满足高空飞行需求

- 通信、导航、监视（Communication、Navigation、Surveillance，CNS）基础设施是空管体系的外围硬件设施。通信能够实现飞行器与地面、飞行器与飞行器之间的联网沟通；导航能够为飞行器提供全天时的精准位置和时间服务；监视要求实时回传飞行器定位结果，实现飞行器管控。
- 我国现有的CNS仅能满足对高空飞行器的管理需求。1) 通信：民航主要通过VHF电台实现管制台和飞行员的语音通信，无法实现对无人驾驶航空器的数字化控制，且通信链路带宽小、部署成本高，用于高密度的低空飞行可能会导致信道阻塞；2) 导航：民航飞行密度低，导航所用的航点模式无法满足低空飞行的精细化要求。同时，卫星导航系统可以在开阔场景提供精准位置服务，但是信号落地功率弱，在城市低空容易受到遮挡；3) 监视：高空监视主要以ADS-B（广播式自动相关监视）为主，地面站会根据飞行器的导航信息来获取实际位置、识别代码、高度、速度等重要飞行数据；但其有限信道不足以支撑低空大容量的飞行模式，且以卫星导航系统为信号源，用于低空的可靠程度会降低。



3.3、中游基建：通感一体基站+天地一体网络为低空CNS发展方向

- **低空通信与监测设施处于建设初期，通感一体基站为主流技术路线。**多飞行器同空域运行的状态更类似于多移动终端同时通信的问题；5G通信基站在设计之初就考虑了大带宽、低时延以及高可靠性的行业应用需求。而通过通感一体方式组成网络能够实现硬件和频谱共享，能够提升频谱利用率并且降低设备成本。
- **传统基站主要聚焦地面通信，天地一体网络架构提供低空通信能力。**现有基站的有效覆盖高度大致在150米左右，主要面向地面通信服务，难以满足低空飞行器的需求。天地一体化网络是由空间卫星节点互联组成的天基网络与地面网络构成的；对比传统地面网络，具有覆盖范围广和受环境影响小等优点，能够提供通信、导航、定位及遥感等多种业务能力。
- **5G-A新增通感一体和天地一体能力，使其更适配低空通感场景。**5G-A（5G-Advanced）是5G演进的第二阶段，带宽速度、连接密度、定位精度及能效相较5G提高了10倍，能更好地支持通感一体和天地一体的网络连接需求，成为低空CNS的主流技术路线。2023年12月，中国移动和中兴通讯在深圳部署5G-A收发一体通感一体化128TR基站低空外场组网，完成了对低空无人机的通信感知融合测试。



| 相关公司 | 涉及环节 | 相关业务 |
|-------|-------|-------------------------------------|
| 中科星图* | 导航 | 参股子公司北斗伏羲提出基于北斗网格码进行三维路径规划的解决方案 |
| 北斗星通* | 导航 | 子公司和芯星通提供高精度GNSS芯片，可用于无人机高精定位 |
| 司南导航* | 导航 | 提供高精度GNSS芯片，可用于无人机高精定位 |
| 纳睿雷达* | 监视 | 提供毫米波雷达，可用于无人机 |
| 国睿科技* | 监视 | 提供空管雷达产品，用于航路和终端区监视 |
| 川大智胜* | 监视 | 拥有自主研发的低空监视雷达系统 |
| 四川九洲* | 监视 | 从事通导监、信息管理系统及相关航电设备的研发，参与四川低空空域管理建设 |
| 中国移动* | 通信、监视 | 建设5G-A通感一体化基站 |
| 中国电信* | | |
| 中国联通* | | |
| 华为 | | |
| 中兴通讯* | | |

注：上标*代表为上市公司

四、eVTOL落地短期看短途运输及旅游观光，中期进入UAM，长期替代私家车

4.1、产品优势：eVTOL相比直升机有明显的经济性和安全性优势

- **eVTOL v.s. 直升机：**1) **经济性：**双发五座的直升机售价为5000-7000万元，eVTOL以时的E20为例，公司预计售价为700-800万元。同时因其轻量化、模块化和电动化的特点，运营成本大幅低于直升机。2) **安全性：**直升机只有单发或双发动动力，而eVTOL一般是多发动动力，任何一发失效都不会影响正常飞行，安全冗余度高，安全系数接近民航飞机。
- **eVTOL v.s. 出租车：**1) **效率：**eVTOL在特定路程范围内，具有高效便捷的优点。50-400km内，eVTOL巡航速度优势明显，综合用时短于汽车。2) **经济性：**随着eVTOL产品的大规模量产，预计单程票价将继续下探，并最终与豪华专车趋同。
- 根据Porsche Consulting数据，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400-1,000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，而直升机和eVTOL两类运输方式则主要覆盖了50-400公里左右的中短途出行需求。对于20-50公里范围内的市内交通需求，因受益于更短用时，eVTOL将对汽车、地铁等传统交通方式形成替代效应。而对于100-300公里左右的城际交通运输需求，eVTOL将主要与城际大巴、汽车、高铁等形成竞争。

各类出行方式比较（以上海-苏州为例）

| 交通工具/指标 | 豪华汽车 | 高铁商务舱 | 直升机 | eVTOL |
|--------------|------|-------|-------|-------|
| 路程总程度 (km) | 88 | 100 | 81 | 81 |
| 用时 (分钟) | 90 | 90 | 50 | 42 |
| 平均时速 (km/h) | 59 | 66 | 97 | 116 |
| 价格 (元) | 900 | 286 | 30000 | 1500 |
| 直接碳排放 (g/km) | 6181 | 1100 | 41187 | 0 |

4.2、市场空间：短/中/长期分别替换短途直升机/出租车/私家车

- 依据产业发展进度，我们认为eVTOL应用短期看物流配送、应急救援和旅游观光，中期看城市空中交通。目前拿到TC证的亿航智能EH216-S为多旋翼构型，适用旅游观光场景，主要客户为各地政府，订单储备超过500架；峰飞航空V2000CG为复合翼构型，最大起飞重量达到2吨，适用物流运输、应急救援场景。其余头部企业载人产品如时的科技E20、沃兰特航空VE25-100、沃飞长空VE25-100、峰飞航空V2000EM均已在中国民航局完成TC受理，据我们估算，预计将于2026-2027年完成取证。综上，在2024-2026年的发展窗口期，亿航智能有望打开旅游观光场景，同时峰飞和其他无人机企业推动空中物流运输市场发展；2026年及之后，随其他载人eVTOL陆续取证，“空中的士”试点有望逐步推进，低空经济若打开城市空中交通市场，将具有更大的发展潜力。

第一阶段：局部场景试点（目前-2030年）

第二阶段：2B市场放开（2030-40年）

第三阶段：渗透2C市场（2040年后）

| | 第一阶段：局部场景试点（目前-2030年） | 第二阶段：2B市场放开（2030-40年） | 第三阶段：渗透2C市场（2040年后） |
|--------|--|---------------------------|---------------------|
| 技术发展 | 功率密度低导致的载荷航程问题持续改善； 气动形式从多旋翼转向复合翼+倾转翼型 | 垂直起降点、空管系统等公共基础设施建设逐步完成 | 充电、停放等基础设施进入小区 |
| 新增应用场景 | 物流配送、旅游观光、应急救援、商务与私人包机、 特定线路下的对开航线、军事用途 | 市内交通、城际出行 | 私人出行 |
| 替换对象 | 短途直升机 | 出租车、公共交通 | 私家车 |
| 客群 | 政府和消防等公共事业机构、旅游景区、医院等公 共卫生机构 | eVTOL运营商、航空租赁公司、移动出行服务提供商 | 较为富裕的私人用户 |
| 消费者意识 | 安全问题是核心考量因素； 在商业化试点过程中逐渐接受eVTOL出行模式 | eVTOL成为日常出行的重要组成部分 | eVTOL更加日常化，地位向汽车靠拢 |

4.2、市场空间：限制性场景试点市场空间超100亿元

局部场景试点市场空间超100亿元

景区旅游：约33亿元

| 景区级别 | 数量 (家) | eVTOL需求量 (架) | 需求量合计 (架) |
|-------|--------|--------------|-----------|
| 5A级景区 | 339 | 5 | 1695 |
| 4A级景区 | 4030 | 3 | 12090 |

- 1) 假设10%的景区部署eVTOL无人机旅游项目，则需求量约1379台；
- 2) 景区用eVTOL均价：239万元/台；
- 3) 硬件市场规模：32.95亿元

消防：约10亿元

| 城市级别 | 数量 (家) | eVTOL需求量 (架) | 需求量合计 (架) |
|----------|--------|--------------|-----------|
| Top10 | 10 | 5 | 50 |
| Top10-50 | 40 | 3 | 120 |
| 其他地级市 | 243 | 1 | 243 |

注：以2023年全国地级市总量为依据测算

- 1) 假设一线城市消防系统配备5台eVTOL，二线城市配备3台，其他地级市配备1台；
- 2) 购置eVTOL均价：239万元/台；
- 3) 硬件市场规模：9.87亿元

应急救援：约35亿元

欧洲科学院院士、世界无人机大会主席杨金才2023年公开表示：2022年中国民用无人机应急救援领域市场规模达35.17亿元

物流配送：约10亿元

- 1) 中商产业研究院发布的《2024-2029年中国无人配送行业市场调查及投资建议报告》显示，2022年中国无人配送市场规模约为40亿元；
- 2) 配送主体包括：无人配送车、配送无人机、配送机器人，假设配送无人机市场占总体的1/3，则为13.33亿元，基于保守假设，我们预估无人机物流配送市场约10亿元

巡检：约25亿元

- 1) 根据Research Nester，2022年全球无人机巡检市场规模约40亿美元；
- 2) 预计亚太区市场占比约22%，对应约8.8亿美元；
- 3) 假设中国区市场占亚太区的40%，约为25亿人民币

| 类型 | 多旋翼、固定翼、混合 |
|------|--|
| 最终用户 | 石油和天然气 农业 建造 公用事业 太阳能电池板和风车 国防与安全 |

- **1) 政策推进进度不及预期。**2023年下半年起，低空经济领域政策陆续落地，带动产业投资热情高企，若后续切实可行的政策连续落地，有望持续推动行业快速发展；若跟随政策较慢，或支持力度不及预期，则产业发展进度可能放缓。
- **2) 载人eVTOL取证进度不及预期。**基于亿航从TC受理至取证的周期预测，沃飞、沃兰特和时的的载人eVTOL或将于2026年完成TC取证。但需要考虑亿航TC采取的是多旋翼构型，且其TC取证过程在《民用无人驾驶航空器系统适航审定管理程序》实施前完成。不同构型及不同政策依据可能会导致其他eVTOL整机厂取证周期加长；
- **3) 核心技术迭代不及预期。**eVTOL产业链上游的电机和飞控系统目前依赖进口，能够自主国产的电池需要迭代技术，复合材料需要降低成本。eVTOL和新能源车所使用的三电技术原理相同，但对安全性和能效的要求更高。原新能源车产业链在开发航空级产品时可能会面临适航验证等新问题，导致技术迭代不及预期。
- **4) 基础设施落地进度不及预期。**无人机和eVTOL规模化落地的基础是空中交通管理基础设施建设完善，一方面是路网规划，另一方面是通信、导航、监视地面设施建设，目前均处于规划早期。低空空管对智能化、无人化的技术要求高，无法复用传统民航的基础设施，可能会面临落地进度缓慢的风险。
- **5) 重点关注公司盈利预测不及预期。**无人机及eVTOL属于新兴行业，技术迭代和政策落地存在不确定性，产业链公司业绩表现可能不及预期。

环保&专精特新小组介绍

王宁，环保&专精特新团队首席分析师；法国KEDGE商学院硕士，中国人民大学学士，8年证券从业经验，曾先后就职于民生证券、国信证券、方正证券。

张婉姝，环保&专精特新分析师；对外经济贸易大学金融学硕士，曾先后就职于山西证券、方正证券，专注于科学仪器、第三方检测、低空经济及专精特新板块研究。

分析师承诺

王宁, 张婉姝, 本报告中的分析师均具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立，客观的出具本报告。本报告清晰准确的反映了分析师本人的研究观点。分析师本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收取到任何形式的补偿。

国海证券投资评级标准

行业投资评级

推荐：行业基本面向好，行业指数领先沪深300指数；

中性：行业基本面稳定，行业指数跟随沪深300指数；

回避：行业基本面向淡，行业指数落后沪深300指数。

股票投资评级

买入：相对沪深300 指数涨幅20%以上；

增持：相对沪深300 指数涨幅介于10%~20%之间；

中性：相对沪深300 指数涨幅介于-10%~10%之间；

卖出：相对沪深300 指数跌幅10%以上。

免责声明

本报告的风险等级定级为R3，仅供符合国海证券股份有限公司（简称“本公司”）投资者适当性管理要求的客户（简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。客户及/或投资者应当认识到有关本报告的短信提示、电话推荐等只是研究观点的简要沟通，需以本公司的完整报告为准，本公司接受客户的后续问询。

本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告中的信息均来源于公开资料及合法获得的相关内部外部报告资料，本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，也不保证其中的信息已做最新变更，也不保证相关的建议不会发生任何变更。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。报告中的内容和意见仅供参考，在任何情况下，本报告中所表达的意见并不构成对所述证券买卖的出价和征价。本公司及其本公司员工对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露义务。

风险提示

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告为作出投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向本公司或其他专业人士咨询并谨慎决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议。

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。本公司、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

郑重声明

本报告版权归国海证券所有。未经本公司的明确书面特别授权或协议约定，除法律规定的情况外，任何人不得对本报告的任何内容进行发布、复制、编辑、改编、转载、播放、展示或以其他方式非法使用本报告的部分或者全部内容，否则均构成对本公司版权的侵害，本公司有权依法追究其法律责任。

国海证券 · 研究所 · 环保&专精特新研究团队

心怀家国，洞悉四海



国海研究上海

上海市黄浦区绿地外滩中心C1栋
国海证券大厦

邮编：200023

电话：021-61981300

国海研究深圳

深圳市福田区竹子林四路光大银
行大厦28F

邮编：518041

电话：0755-83706353

国海研究北京

北京市海淀区西直门外大街168
号腾达大厦25F

邮编：100044

电话：010-88576597