

2024 中国eVTOL产业 发展报告

中国无人机产业创新联盟 | 腾讯智慧交通 | 腾讯研究院

2024年



前言

低空经济作为战略性新兴产业，科技含量高、创新要素集中，具有产业链条长、应用场景复杂、使用主体多元、涉及部门和领域多等特点，既包括传统通用航空业态，又融合了以无人机为支撑的低空生产服务方式，通过信息化、数字化管理技术赋能，与更多经济社会活动相融合，形成了一种容纳并推动多领域协调发展的极具活力和创造力的综合经济形态，具有明显的新质生产力特征，发展空间极为广阔。

通过新技术赋能，发展以电动垂直起降航空器（eVTOL）为代表的低空经济，是未来航空高端化智能化绿色化的发展方向，是安全高效环保的综合立体交通和低空融合飞行的主要内容，是全球争相布局、积极抢占发展制高点的重要领域。

2021年1月，中共中央、国务院印发《国家综合立体交通网规划纲要》，首次提出发展“低空经济”，“低空经济”概念被首次写入国家规划。《规划纲要》从国家层面加强了对低空经济建设的顶层设计，低空经济在全国范围内掀起热潮。2023年12月11日-12日，中央经济工作会议提出“打造生物制造、商业航天、低空经济等若干战略性新兴产业”。2023年10月10日，工业和信息化部、科学技术部、财政部、中国民用航空局等部委联合印发《绿色航空制造业发展纲要（2023—2035年）》。《纲要》提出面向城市空运、应急救援、物流运输等应用场景，加快eVTOL等创新产品应用，形成以典型场景为导向的电动航空器供给能力、运营支持能力和产业化发展能力，打造新经济增长极。鼓励开展绿色航空示范运营，推动eVTOL实现商业运营。加快将eVTOL融入综合立体交通网络，建立统一的空地智联管理平台，打造低空物联网，初步形成安全、便捷、绿色、经济的城市空运体系。

在这一系列的政策推动之下，全社会对包括eVTOL在内的低空经济产业予以了前所未有的高度重视。各地政府陆续出台大量的低空经济支持政策，研究机构、社会资本和企业加大低空经济相关资本投入、技术研究和应用开发。而低空经济和eVTOL又是一个随着技术、政策、法规快速变化的领域，社会公众、政府机关、行业从业人员、相关研究人员等亟须对最新的产业发展有系统性的深入了解。这一行业也涉及到适航航空器开发、运营，国际合作，融资和资本运作等需要向欧美传统强国借鉴经验，行业更需要有国际化的视野和开阔思路。

为此，中国无人机产业创新联盟联合腾讯研究院组织相关领域的国内外专家编写了《中国低空经济产业》系列报告，将行业发展现状、挑战与机遇展现给行业相关从业人员、研究人员和相关专家和领导，《2024年中国eVTOL产业发展报告》是其中一册，它全面总结了年度eVTOL产业发展总体概况，反映了行业发展各方面的实际情况，汇总了机型研发、投融资、政策法规相关进展和统计数据，资料详实。

《2024中国eVTOL产业发展报告》中的原始数据来自公开信息源，各相关单位网站和媒体公开报道等，相关统计资料及调研得到了工信部、民航总局相关部门及联盟会员单位的大力支持，在此，对所有支持本报告出版的单位和朋友表示衷心感谢。除注释来源的数据外，文中数据均为编者自行收集分析。本报告内容及文章，如需转载请事先与作者或编委会联系并征得同意。如转载或引用本报告内容，必须是以非商业用途为使用目的的引用，不得对内容原意进行曲解、修改，必须保留本报告注明的“信息来源”，并自负版权等法律责任，刊载时均须注明出处。

报告编辑过程中，得到了中国民航科学技术研究院航空运输所低空经济室、中国民航大学交通科学与工程学院、低空经济与低空交通研究中心、西北工业大学航空学院等单位的支持。中国欧洲经济技术合作协会欧盟工作委员会、中国法国工商会、意大利航空航天企业协会在编写涉外部分内容时给予了大量支持，在此向大家表示衷心感谢！

诚挚欢迎业内专家和读者批评指正，提出宝贵意见和建议。

《中国 eVTOL产业发展报告》编委会

2024年4月

序言

在智能化、绿色化的社会浪潮推动下，低空经济正以其独特的战略地位，成为推动经济社会发展的新质生产力。低空经济以低空飞行活动为核心，融合了无人驾驶飞行、低空物联网等技术，是空域资源、市场需求与创新技术相互作用的综合性经济形态。它以万亿级的市场潜力和广阔的发展前景，引领着新一轮的产业变革，成为经济发展的新引擎之一。

电动垂直起降飞行器（eVTOL）作为推动低空经济发展的核心，以其革命性的技术优势，重塑我们对空中交通的认知。eVTOL的出现，预示着空中通勤、紧急救援、货物运输乃至个人出行方式的全面革新。它将极大地提升城市交通的效率，为社会就业、创新和经济增长注入新的活力，带来深远的社会影响。

在区域的发展中，未来eVTOL将与现有的交通系统实现深度融合，形成立体化、智能化的交通网络，推动城市交通体系的全面升级，为构建智慧城市和智能交通系统奠定坚实的基础。

在这一历史性的进程中，我们有幸成为低空经济数字化发展的见证者和参与者。腾讯作为互联网科技公司，非常幸运能有机会参与低空经济的数字化建设，提供技术支持和解决方案。我们期待与低空产业界的同仁们，共同在eVTOL领域开展深入的研究与创新，参与技术突破与应用实践，推动eVTOL融入城市交通的脉络之中，助力我国构建更加智能、高效、绿色的智慧城市和交通系统。

本报告全面剖析了我国eVTOL产业的发展现状与未来趋势，深入探讨eVTOL在推动低空经济发展中的关键作用，以及如何通过跨行业合作、数字技术的应用、地面智慧交通的经验，共同推动eVTOL技术的创新与应用。我们相信，低空经济必将成为推动经济社会创新发展新动力的新动力。

——腾讯研究院院长 司晓

CONTENTS

目录

PART01

eVTOL、低空经济与新质生产力

01

PART02

中国eVTOL产业和低空经济发展的政策环境

11

PART03

全球政府产业支持政策及落实情况

16

PART04

eVTOL市场规模和发展前景

19

PART05 国内外eVTOL产业发展现状	23
---------------------------------	----

PART06 中国 eVTOL 产业发展面临的困难和挑战	36
--	----

PART07 eVTOL 和 UAM 的未来发展趋势	39
--------------------------------------	----

PART08 结论和建议	49
------------------------	----

附录1 缩略语和术语表	52
-----------------------	----



01

PART

eVTOL、低空经济与新质生产力



1.eVTOL、低空经济与新质生产力



1.1 发展eVTOL的意义

▶ eVTOL

随着全球人口增长和城市化进程的加速，现有交通中的道路拥堵和空气污染等问题日益严峻。在此趋势下，eVTOL (Electric Vertical Take-off and Landing) 电动垂直起降器应运而生。eVTOL技术使用通过电力推动来源，可以避免传统直升机内燃机产生的污染，对减少碳排放和实现可持续发展目标具有重要意义。同时，eVTOL垂直起降所带来的便利性，也为未来交通提供了一种全新的可能。

- 通过发展 eVTOL 产业，可以贯彻落实发展新质生产力的战略部署和工作任务，以下将展开说明。

发展eVTOL可以推动产业升级，实现发展未来产业的关键性技术突破

eVTOL作为应用大量新兴技术的航空器，将带动航空制造、新材料、信息技术等高端制造业发展，促进相关产业链的优化升级。eVTOL航空器的广泛应用，也将为航空物流、低空旅游、航空医疗救援等现代服务业的发展和创新带来机遇，促进服务业向高品质、高效率方向转型升级。eVTOL产业还将吸引更多的人才投身于相关研发工作，推动科技创新和成果转化；为人才培养提供新的平台和机遇，培养更多具备创新精神和实践能力的高素质人才。发展eVTOL产业还将推动基础研究的加强，甚至促进一些“卡脖子”问题背后的关键核心技术的攻关，这也是科技自立自强、维护国家安全的战略基础。

发展eVTOL产业，是中国航空产业实现跨越式发展的重要历史机遇

尽管中国的传统通用航空产业在制造业和运营业方面尚未达到预期的发展水平，但在eVTOL的关键支撑技术领域，中国已经展现出竞争优势。这些技术包括但不限于动力电池、电机、自动驾驶系统、激光雷达、4D毫米波雷达、宽带通信数据链路以及5G-A/北斗和物联网等。在过去的20年中，中国不仅在这些技术领域取得了长足进步，而且还培养了大量民用航空器设计和制造领域的专业人才。基于这些坚实的基础和优势，如果能够充分利用这些条件，中国完全有能力培育出一个在全球市场上具有竞争力的新兴产业，类似于智能网联电动车行业的发展模式。

发展eVTOL产业将成为推动经济发展的新引擎

中国的经济增长速度从高速增长转向中高速，发展方式从规模速度型转向质量效率型，经济结构调整从增量扩能为主转向调整存量、做优增量并举，发展动力要从主要依靠资源和低成本劳动力等要素投入转向创新驱动。光伏、锂电和电动汽车等产业作为经济结构重大调整中的“替代性”产业，做出了良好的示范；在经济规模和产业带动方面，还需更多新兴产业和未来产业，培育新的经济增长点。

发展eVTOL产业可以促进区域经济的协同发展

eVTOL航空器可以促进区域间的交通连接和人员流动，加强区域间的经济联系和合作，进而提升区域整体竞争力、促进区域经济发展。

发展eVTOL产业有助于提升国家救援能力和公共服务能力

eVTOL因具备与直升机相似的性能特点，但运营成本显著低于传统直升机，这使得在自然灾害发生后，eVTOL能有效地进行人员和物资快速投送。eVTOL在市政管理、警务航空等公共服务领域同样展现出广泛的应用潜力。其高效的运营效率和较低的运行成本，有望在未来的城市空中交通管理和紧急响应任务中发挥关键作用。

发展eVTOL产业，可以打造科技强国形象

通过技术交流与产业链共享，可将具备国际竞争优势的产品向海外出口，将国外先进技术引进来。为建设一带一路、人类命运共同体贡献自己的力量；也将建设更有利于全球共赢的经济生态。

发展eVTOL产业，带来航空业的绿色可持续发展

工业和信息化部、科学技术部、财政部、中国民用航空局等四部门联合印发《绿色航空制造业发展纲要》，提出到2025年，国产民用飞机节能、减排、降噪性能进一步提高，航空绿色制造水平全面提升，绿色航空产业发展取得阶段性成果，安全有效的保障体系基本建成。到2035年，中国将建成完整、先进、安全的绿色航空制造体系，实现可持续航空燃料在国产民用飞机的示范应用，电动通航飞机的商业应用，eVTOL的试点运行，氢能源飞机的可行性验证。同时，以无人化、电动化、智能化为技术特征的新型通用航空装备将实现商业化、规模化应用，绿色航空基础设施的标准规范和技术公共服务平台将有效支撑绿色航空生产体系、运营体系的建设。

1.2 低空经济

低空经济是指以民用有人和无人驾驶航空器的低空飞行活动为牵引，辐射带动航空器研发、生产、销售以及低空飞行活动相关的基础设施建设运营、飞行保障、衍生综合服务等领域产业融合发展的综合经济形态。

“低空”是指垂直范围原则为真高1000米以下，可根据不同地区特点和实际需要具体划设高度范围”的空域。随着低空领域应用的不断深化，管理部门和业内普遍认可将高度进一步提升。

“低空”的逻辑基础是：

<p>(1) 最新一代航空器倡导使用新能源技术，而电动航空或氢燃料电池动力系统受限于电池能量密度，需要精算能量使用，只能降低飞行高度，留下更多能量巡航或起降。</p>	<p>(2) 大部分城市空中交通、无人机作业任务，由于飞行距离短，在太高高度飞行并不合理。</p>	<p>(3) 中高空由传统民航运输航空使用，在新航空器类型未能充分证明其安全特性、经济价值前，无法在影响民航运输的条件下大规模使用中高空空域。</p>
---	---	---

低空经济的构成从产业链条角度看，主要由制造、飞行运行、基础设施保障和综合配套服务产业构成。传统通用飞机和直升机、无人机、eVTOL类航空器是低空经济的关键载体。

从产品和服务特性、以及产业集群出现时间角度看，低空经济产业生态有三个核心：

<p>(1) 传统通用航空产业，目前产业规模超百亿元，有4-5万从业人员，这一产业已经在全球发展超百年。在应急救援、航空人才储备培养、警务航空等领域仍有不可替代的作用。为众多低空经济业态发展提供必不可少的基础设施（如飞行服务站、无人机空域管控服务、通用机场等）。</p>	<p>(2) 无人机产业，其制造业和运营及配套服务产业规模均超千亿元，有50万以上从业人员，在我国在近20年内兴起发展、迅速壮大。它由民营企业占据主导地位，极具活力。市场驱动下，我国消费级和工业级无人机已在全球建立了一定的产业优势。</p>	<p>(3) 新兴的eVTOL，城市空中交通（UAM）和区域空中交通（RAM）产业，采用新能源（电动/油电混动/氢动力等）、自动驾驶、分布式推进等全新概念和技术，提供传统航空器无法实现的近似到门、成本更低的出行服务，创造了新需求和新市场。这一行业刚刚兴起，主要企业存续不足5年，从业人员不到1万人，其中主要整机研发制造企业从业人员约5000人。无论在中国还是全球，它都是最热门的领域，具备很大发展和应用潜力。</p>
---	--	--

1.3 空中交通：IAM/AAM/UAM/eVTOL

▶ IAM

Innovative Air Mobility, 也即“创新型空中交通”, 它是欧洲使用的一个概念。由EASA于2022年6月30日, 通过《征求意见稿2022-06号, 引入无人机运行法规框架-允许以“特殊”类型运行的可载人创新型空中交通, 无人机系统进行初始适航和持续适航取证》引入 (NPA 2022-06 Introduction of a regulatory framework for the operation of drones - Enabling innovative air mobility with manned VTOL-capable aircraft, the IAW of UAS subject to certification, and the CAW of those UAS operated in the 'specific' category)。EASA的IAM定义是: 安全、可靠、可持续性的空中客货运运输方式, 可以通过最新一代技术集成到多式联运系统中 (the safe, secure and sustainable air mobility of passengers and cargo enabled by new-generation technologies integrated into a multimodal transportation system.)。也即, 在EASA的体系内, IAM是包含了载人eVTOL/城市空中交通, 也包含载物的无人机; 它既包含了UAM (城市空中交通, 典型产品如Joby S4), 也包含RAM (区域空中交通, 典型产品如Lilium Jet)。欧洲未来产业发展规划、政策法规标准体系建立都在IAM、IAS这一体系基础上开展; 它的概念定义和内涵与中国和美国均有一定差异。

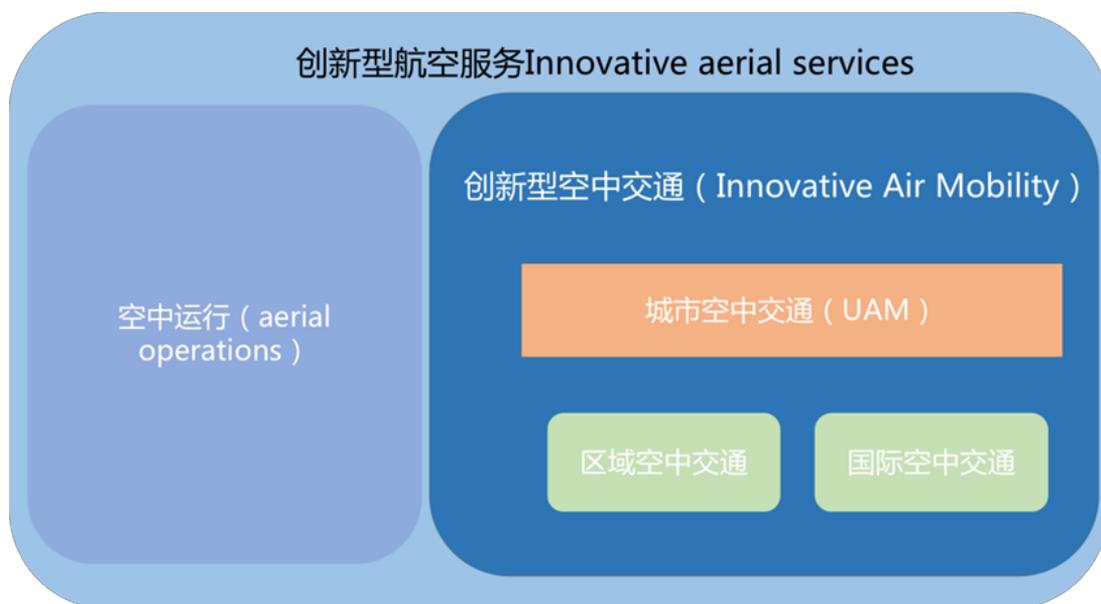


图1-1, 欧洲的IAM航空器运行分类

▶ VCA

欧洲同样也不使用eVTOL这一术语。同样在NPA 2022-06中，EASA引入了VCA (VTOL-Capable Aircraft) 的概念：动力驱动重于空气的航空器，但不是飞机或旋翼机，能够通过升力或推力装置完成垂直起降 (a power-driven, heavier-than-air aircraft, other than aeroplane or rotorcraft, capable of performing vertical take-off and landing by means of lift or thrust units used to provide lift during take-off and landing.) 。

▶ AAM

Advanced Air Mobility，即“先进空中交通”。这一概念最早由NASA引入，现行概念源于2021年5月美国国会《AAM协调与领导法案》的定义 (AAM Coordination and Leadership Act)，也即AAM是一种使用先进技术航空器在管制和非管制空域飞行，在美国境内两点之间运输人和财产的交通运输系统，这些航空器包括电动航空器、eVTOL (AAM is a transportation system that moves people and property by air between two points in the United States (U.S.) using aircraft with advanced technologies, including electric aircraft, or electric vertical takeoff and landing (eVTOL) aircraft, in both controlled and uncontrolled airspace.)。《AAM协调与领导法案》是授权、指导和规范美国交通部及下属联邦航空局 (FAA) 就产业规划和落地、安全、基础设施、法规政策制定和执行等建立跨部门协调机制和工作组、落地执行的法律依据。2023年7月18日，FAA正式发布了AAM的近期实施规划 (2024至2028年，Innovate28)，也即Advanced Air Mobility (AAM) Implementation Plan。美国的AAM概念很宽泛，它包含飞行服务半径75英里/121km的大都市区域内的UAM，也包括75-500英里/121-805km的区域空中交通RAM；它包含eVTOL，也包含电动短距起降的eSTOL和电动常规起降的eCTOL；它包含载人eVTOL，也包含载物的无人机。AAM概念最核心理念是新技术应用，近期主要关注于：电动驱动、分布式动力系统、高度自主和自动化的空管系统和运控系统、自动驾驶技术等。

▶ UAM

Urban Air Mobility，也即“城市空中交通”，其核心概念要素，在2016年10月27日发布的

Uber Elevate白皮书《快速推进到未来按需城市空中交通》（Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation）中已有所体现。2018年6月24日，NASA发布的《城市空中交通空域融合概念和考虑因素》（Urban Air Mobility Airspace Integration Concepts and Considerations）中，将UAM定义为在城市内可以安全、高效运行的载人或无人空中交通运行模式（define as safe and efficient air traffic operations in a metropolitan area for manned aircraft and unmanned aircraft systems）。经过多年发展，基于业界普遍共识，由FAA、NASA和产业界共同提出了现行概念，也即UAM是AAM的子集，它关注于城市内和周边区域的飞行，典型任务距离不超过75英里/121km。

▶ eVTOL

electric Vertical Take-off and Landing，也即“电动垂直起降航空器”。VTOL的概念自二战中直升机技术的成熟而逐渐得到关注，二战后一度有电动化改装直升机的广泛讨论和尝试。现代eVTOL概念兴起源于2009年，NASA发布了Mark Moore的博士论文《NASA海鹦电动尾坐式VTOL飞机概念》（NASA Puffin Electric Tailsitter VTOL Concept）Puffin的视频，它一周内在YouTube的点击量达到64.8万次，成为一个典型的网络病毒式传播案例。Mark Moore提出的电动驱动的高可靠性和效率、低发动机重量和维护、低冷却阻力和体积要求、非常低的噪音和振动水平，以及零排放等现代eVTOL设计理念得到了广泛传播。

eVTOL与UAM或城市空中交通的关系，前者是根据动力和构型特点划分的一种航空器；后者是指一种空中运输系统。由于城市特殊的运行环境限制，要实现门到门，或准门到门的空中交通运输，具备垂直起降能力的航空器将成为绝对主力。而eVTOL由于其清洁环保、低噪音、低成本、智能化等特性，将成为城市空中交通的主要运行航空器类型。

本报告关注于中国未来eVTOL产业发展，它以载人eVTOL类航空器为主要载体，它是中国低空经济的一个最具活力的组成部分。中国的低空经济、欧洲的IAM和美国的AAM，都是新历史时期，基于各自不同国情、现实产业能力和技术手段，提出各自的未来航空产业经济发展思路和概念。没有高下之分，愿大家以更开放的心态和开阔的视野，充分借鉴欧美工业强国经验，共同推动产业发展进步。

1.4 eVTOL航空器的分类

全球范围内在研的eVTOL整机型号很多、形态各异，分类方法和维度也很多，可以基于运行模式、载荷分类和用途、动力能源、整机构型等进行分类。比如，可以根据动力形式划分为油电混动、电动、氢燃料电池、氢内燃机、太阳能等。但最常见的还是根据整机构型划分，划分为矢量推进/倾转、升力+巡航/复合翼、多旋翼类eVTOL和其它（eSTOL、eCTOL等）类型。



图1-2，欧洲的IAM航空器运行分类

在城市运行，使用最多的是对起降场地要求最低的eVTOL，eSTOL/eCTOL类航空器要少的多。

eVTOL分为以下几类：

（1）矢量推进型（Tilt-X）

在不同使用阶段,通过改变推力方向,实现垂直起降和巡航。其动力可以是源于倾转旋翼/螺旋桨、也可以涵道风扇等。典型机型如Lilium Jet（倾转涵道）、Joby S4（倾转旋翼）、Archer Midnight（倾转旋翼）、华羽先翔“鸿鹄”（倾转旋翼）、沃飞长空AE200-100（倾转旋翼）、DufourAerospace Aero 3（倾转机翼）、小鹏汇天全倾转技术验证样机（倾转机翼）等。这种设计性能潜力最大，速度、航程、爬升率等指标有优势；但机械设计和飞控系统复杂、开发和试飞难度大、研制风险和成本较高，设计和适航取证周期长，对团队工程能力要求高。倾转类构型和复合翼（升力+巡航型）构型相比，它的优势在最大200-300km的城市空中交通任务内并不显著；但如执行更远距离任务，则性能优势越发明显。

(2) 升力+巡航型 (Lift+Cruise)

升力和巡航用的旋翼和螺旋桨是独立的,分别实现垂直起降和巡航。典型机型如Boeing PAV、Wisk Aero Cora、沃兰特VE25-100、亿维特ET9等。这种设计在性能和成本投入、研发周期和研发风险、对团队工程能力要求等方面取折中结果,是目前最受关注的技术方向。复合翼构型航空器在飞行中遇到风切变、失控、失速等情况时,能够立即启动独立升力系统,在空中悬停并受控下降着陆,这个功能的实现需要动力系统的准备及响应时间极短,而倾转构型需要数秒到数十秒的倾转过程,无法实现这一保护功能;依靠机翼升力滑翔比旋翼自转悬停着陆也更安全,也即复合翼构型安全特性比倾转(矢量推进型)更优。这种设计是在性能和成本投入、研发周期、对团队工程能力要求等方面取折中结果,是目前最受关注的技术方向。

(3) 多旋翼型 (Multi-copters)

无巡航用螺旋桨,完全通过控制多旋翼的升力大小实现飞行。典型机型如Volocity、LIFT Hexa、SkyDrive SD-03、亿航EH216-S、零重力ZG-ONE等。这种设计工程技术难度低、研发周期短、投入要求低;但性能和提升空间有限,尤其是航程和速度性能显著低于另外两大类构型,使用场景和商业化前景受限。在噪声控制、地面损伤控制等方面尚无突破性解决方案,初创公司大多采用多旋翼构型。

(4) 其它类型eVTOL航空器

如全新设计或基于现有机型改装的电动、氢燃料电池直升机。其成本和自动驾驶特性相对于直升机会有一定提高,但仍然有噪音偏大等问题。典型机型如Rotor Technologies的基于R44改装的R550X; Janut的Journey是一种全新设计的电动高速复合直升机。

1.5 eVTOL 与新质生产力

eVTOL 作为城市空中交通和低空经济的核心,代表着科技创新和产业发展的新方向,向“新”而行、向“实”发力。eVTOL和城市空中交通产业具有广阔的发展前景,是拉动有效投资、创造消费需求、提升创新能级的新领域新赛道,将成为经济增长新的重要引擎。发展eVTOL 和城市空中交通产业,就是围绕发展新质生产力布局产业链,将科技创新成果应用到具体产业和产业链上,培育壮大战略性新兴产业,布局建设未来产业,推动产业链向上下游延伸,形成完善的现代化产业体系。

发展eVTOL和城市空中交通产业，就是围绕发展新质生产力布局产业链，将科技创新成果应用到具体产业和产业链上，培育壮大战略性新兴产业，布局建设未来产业，推动产业链向上下游延伸，形成完善的现代化产业体系。发展eVTOL产业，就是贯彻落实发展新质生产力的战略部署和工作任务。具体而言：发展eVTOL有助于推动产业升级，实现发展未来产业的关键性技术突破；推动我国航空产业实现跨越式发展，抓住引领全球的重要历史机遇；加速形成经济发展的新引擎，培育经济增长的新动能，激发市场壮大的新需求；促进区域经济的协同发展；提升国家备灾、应急、救援能力和公共服务能力；打造科技强国形象，增强文化输出能力和影响力。

虽然eVTOL技术还处于发展初期，但随着技术的不断进步和成本的降低，eVTOL有望成为未来城市交通和航空交通的重要组成部分。eVTOL产业，被业界认为是新质生产力的典型代表。

2023年9月7日，习近平总书记在黑龙江考察调研期间首次提出新质生产力。2024年1月31日，习近平总书记在主持二十届中央政治局第十一次集体学习时发表重要讲话，系统阐述了新质生产力的深刻内涵和主要特征，指明了新质生产力的发展方向和实践路径。在今年的两会政府工作报告中，首次明确把低空经济写入政府工作报告，并将其定义为“新质生产力的代表”。



02

PART

中国eVTOL和低空经济发展的 政策环境



2. 中国eVTOL和低空经济发展的政策环境



eVTOL产业和低空经济的发展，离不开良好的政策环境的支持。近年来，国家围绕通用航空、无人机、低空经济、绿色制造等先后出台了一系列政策，奠定了中国城市空中交通发展和eVTOL航空器应用落地的政策环境。

为适应新时期经济社会发展的需要，低空空域管理改革首次列入国家空管委2000年工作计划。2010年8月，国务院、中央军委下发《关于深化我国低空空域管理改革的意见》，低空空域管理改革正式启动，目前已初步形成了一套新的低空空域管理模式。



图2-1，空域管理改革的历程 资料来源：《低空空域管理改革进展及展望》（中国航空运输协会通用航空分会孙卫国，2023）

2018年

中国民航局印发《低空飞行服务保障体系建设总体方案》，提出低空飞行服务保障体系在2022年和2030年的两阶段发展目标。

2021年

中共中央、国务院印发《国家综合立体交通网规划纲要》，低空经济概念首次被写入国家规划。

2022年

《扩大内需战略规划纲要（2022—2035年）》提出，加快培育海岛、邮轮、低空、沙漠等旅游业态，释放通用航空消费潜力。中国民航局发布《民用无人驾驶航空发展路线图V1.0（征求意见稿）》提出了先载货后载人，先通用后运输，先隔离后融合的发展路线。

2023年

工信部等四部委联合印发《绿色航空制造业发展纲要（2023—2035年）》，提出到2025年，电动垂直起降航空器（eVTOL）实现试点运行，设立低空经济示范区，开展eVTOL商业示范运营等。11月，《中华人民共和国空域管理条例（征求意见稿）》明确提出空域用户定义并提出空域用户的权利、义务规范，标志着我国空域放开有了实质性的突破。12月，中央经济工作会议明确将低空经济定位为战略性新兴产业。民航局发布《国家空域基础分类方法》，将空域划分为管制空域和非管制空域两大类，其中非管制空域是传统通航飞机、新能源航空器、小型无人机飞行空域，也是低空经济发展的空间。

2024年

《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》正式实施，标志着我国无人机包括无人驾驶载人eVTOL的运行将进入“有法可依”的规范化发展新阶段。

在国家政策的引领下，地方政府也纷纷出台支持低空经济和eVTOL发展的政策措施。其中，较有代表性有深圳市、上海市、广州市、成都市、合肥市等地方。以下仅以深圳市为例简要介绍地方政府促进低空经济和eVTOL发展的政策方案。

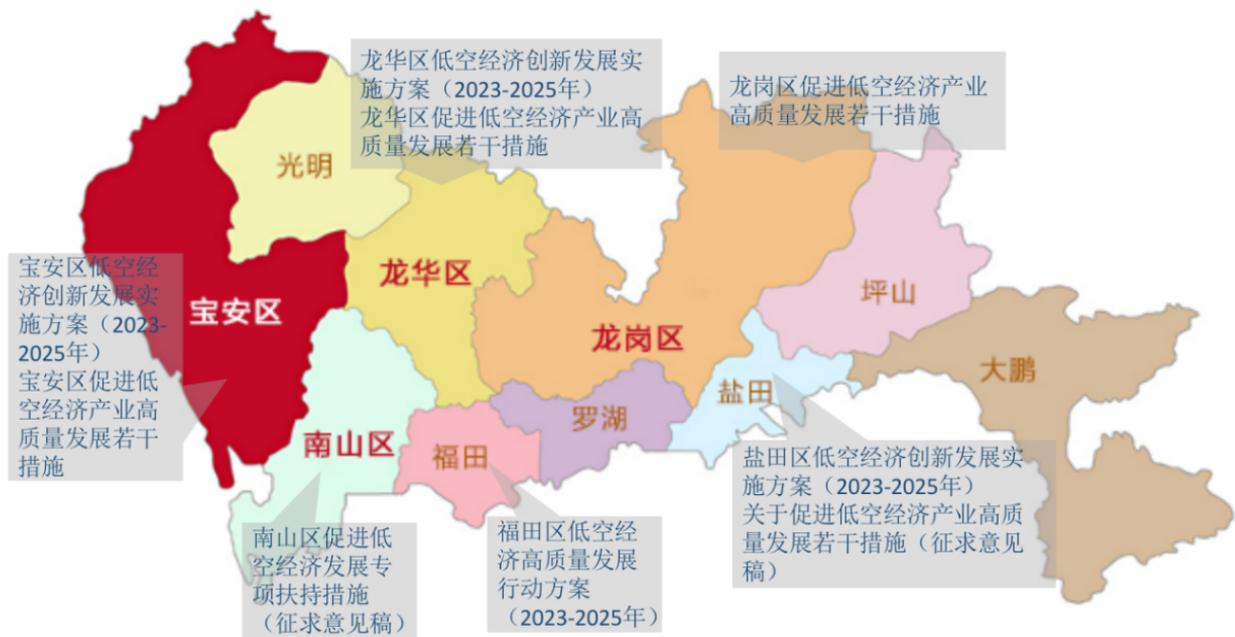


图2-2 深圳市区级层面颁布的低空经济相关政策 资料来源：根据网络公开资料整理得到。

深圳市在发展低空经济方面走在全国的前列，近两年来密集出台支持政策，开展大量改革创新和试点。2022年，出台《深圳市低空经济产业创新发展实施方案（2022-2025年）》。2023年，首次将“低空经济”写入政府工作报告，出台《深圳市支持低空经济高质量发展的若干措施》。2024年，《深圳经济

特区低空经济产业促进条例》正式实施。除了市级层面的政策举措之外，龙华区、宝安区、福田区、盐田区、龙岗区、南山区等市区，相继印发促进低空经济产业发展的行动方案或扶持措施。这些政策为深圳市低空经济规划了发展蓝图，健全了管理机制，制定了发展目标，提出保障措施。这种改革创新的力度、范围和深度，为全国全行业发展起到了示范带头作用。

2023年12月21日，民航局发布《国家空域基础分类方法》（下称《分类方法》）将空域划分为管制空域和非管制空域两大类，涵盖A、B、C、D、E、G、W七小类空域。管理空域方式在进一步国际靠拢。根据《分类方法》，管制空域分别为A、B、C、D、E五类空域，非管制空域为G、W两类空域。A类空域划设范围为标准气压高度6000米至20000米；B类空域划设在民用运输机场上空，C空域划设在建有塔台的通用航空机场上空；D类空域划设范围为标准气压高度高于20000米；E类空域是在A、B、C、G类空域以外，根据运行需求和安全要求选择划设的空域。根据《分类方法》，G空域指B、C类空域以外真高300米以下的空域，以及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；W空域指G类空域内真高120米以下的空域。真高即是以飞机正下方地点为基准平面的高度。12月11日举行的中央经济工作会议明确提出，打造低空经济等若干战略性新兴产业。G、W空域是传统通航飞机、新能源航空器、小型无人机飞行空域，也是低空经济发展的空间。

国家空域基础分类示意图

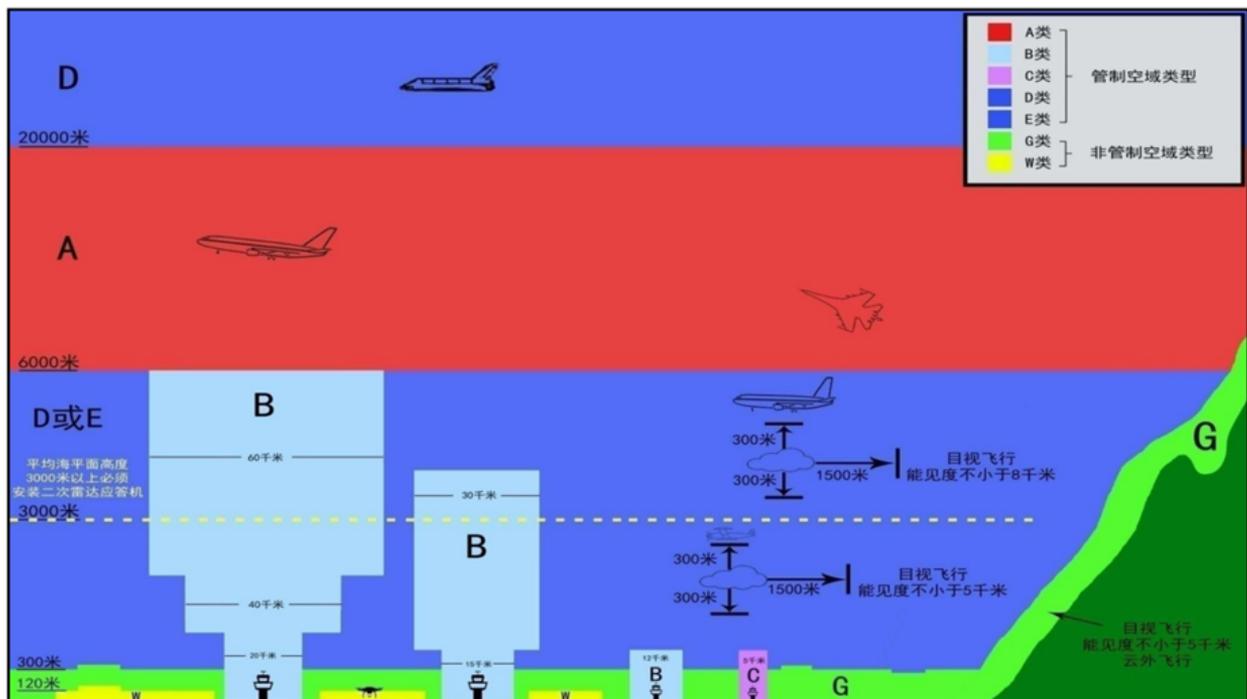


图2-3，现行国家空域基础分类方法。来源：根据公开材料整理。

2023年11月2日，国家空中交通管理委员会办公室会同有关部门起草了《中华人民共和国空域管理条例（征求意见稿）》（以下简称《条例》），向社会公开征求意见，意见反馈截止时间为2023年12月3日。它明确了空域管理机构职责：

国家空中交通管理领导机构负责空域管理工作的顶层设计、统筹协调、整体推进、督促落实，研究制定空域管理宏观规划和重大政策，统一管理全国空域资源。设办事机构，负责国家空中交通管理领导机构的日常事务工作。

地区空中交通管理组织协调机构组织协调本地区空域管理工作，负责国家空中交通管理领导机构交办的其他事项和本地区空域管理其他事项。设办事机构，负责地区空中交通管理组织协调机构的日常事务工作。

国家级设立空中交通管理联合运行机构，负责本责任区空域管理有关事项。未设立空中交通管理联合运行机构的，有关空中交通管理机构按照职责分工负责相应空域管理事项。

它也明确了空域的分级、分类和动态配置。

综合考虑飞行规则、空域环境、航空器性能、空中交通服务等因素，空域分为管制空域（A、B、C、D、E类）和非管制空域（G、W类）。

综合考虑空域限制类型、使用用途等因素，空域分为空中禁区、空中限制区、空中危险区、空中保留区、航路航线、进出境点、等待空域、空中放油区、试飞空域、训练空域、防空识别区、临时空域等。

国家建立空域动态配置、灵活使用制度，通过调整部分空域等级、类型和空域管理主体（空中交通服务主体），优先满足国家安全需求，尽可能减少空域限制，确保空域资源有效管理和充分利用。

它还对空域审批、报备使用制度、空域释放、空域评估、空域保障等做了规定。



03

PART

全球政府产业支持政策 及落实情况



3.全球政府产业支持政策及落实情况



当前，世界主要国家均十分重视eVTOL和低空经济的发展，正采取多种举措推动城市交通空中革命的爆发，力争抢占发展先机。其主要措施包括：

将eVTOL/UAM提升至国家战略高度统筹规划

例如，美国总统拜登于2022年10月签署《AAM协调与领导》法案，强调美国要在城市空中交通行业占据世界领导地位。2023年3月，美国白宫科技政策办公室（OSTP）发布《国家航空科技优先事项》白皮书，其中即包括eVTOL等内容。

政府设立相关大型科研创新项目

例如，欧盟的“地平线2020（Horizon 2020）”和“欧洲地平线（Horizon Europe）”两期计划，孵化出来多个城市空中交通相关的项目和企业。到2022年底，欧洲地平线计划征集资助的与IAM相关项目超过100个，涉及U-Space和UAM、按需分配空域容量和空域动态划分管理、航空AI应用、网络化自动化ATM系统、虚拟化和网络数据共享、空地融合和自主技术、性能管理和网络影响评估等。

政府和科研机构直接资助研究项目

例如，美国NASA开展了很多eVTOL/UAM落地应用必须的关键性技术研究；还拨款资助了很多中小型研究项目，带动全国高校和科研机构研究能力提升，比如NASA资助多所大学开展eVTOL气动声学研究。英国的航空航天技术研究所（ATI）和皇家学会也领导了大量eVTOL/UAM相关科技研究项目。欧盟委员会则为很多整个欧洲可以利用的技术研发和项目提供资金支持。比如，欧盟拨款1200万欧元，研究eVTOL/UAM的垂直起降场。

设立专项资金或基金

例如，日本无人机基金（Drone Fund），是日本首家专注于无人机初创企业的基金。主要投资无人机和AAM生态的项目，包括日本的eVTOL开发商SkyDrive、teTra，以及大阪世博会的eVTOL运营项目。

地方政府的奖励和补贴

目前，地方政府的资金支持主要用于基础设施建设给落地eVTOL/UAM企业配套，招商引资和鼓励eVTOL/UAM企业落地发展两个方向。例如，2023年11月，加州eVTOL开发商AIBOT从加州竞争力拨款计划获得1500万美元支持。其他政策还有提供优惠土地价格、配套资金跟投、担保贷款等。

政策性贷款和融资支持

对于一些资金需求量比较大的项目，政府还会提供政策性贷款和融资支持。例如2013年11月，美国进出口银行（EXIM）宣布批准向BETA Technologies提供1.69亿美元贷款，支持其eVTOL总装工厂建设。2023年5月，欧洲投资银行（EIB）向德国物流无人机制造商和服务商Wingcopter GmbH提供4000万欧元准股权投资。

提供孵化器或加速器支持

各主要国家还针对eVTOL/UAM领域创业者制定了一系列的辅导计划。如2023年8月，英国研究与创新局启动AAM创业辅导计划，确定了最多达25家中小型企业、创业团队参加，正式启动未来飞行投资准备计划。

大型企业或国家资本参与企业投资

第一种方式是，国家资本的直接参与可以发生在项目的各个阶段。主要国家对企业的直接投资或资金支持，甚至可以不占股份，以奖励的方式进入。第二种方式是，大型国家主权基金对成熟企业项目的投资，通常都带有产业导入扶持的特性。第三种方式是，由国家政策性银行或金融机构投资背书，再引导国家产业资本、金融资本对本国头部eVTOL和UAM的研发制造、运行相关项目进行投资。

试点运行项目

美欧等主要国家已启动大量eVTOL/城市空中交通示范运营项目，积极推进论证、评估和优化eVTOL运行和城市空中交通的建设方案。基于实践经验，FAA、EASA、JCAB等摸索出来起降场、充电设施等必要基础设施的建设要求和标准；与其它行业头部企业一起研究运行概念、监管方式、运行标准、机构间的责任分工和工作界面划分等，为城市空中交通建设提供了坚实的基础。



04

PART

*eVTOL*市场规模和发展前景



4.eVTOL市场规模和发展前景



• 罗兰贝格的市场预测数据

根据2020年10月Roland Berger的预测（Urban Air Mobility | USD 90 billion of potential: How to capture a share of the passenger drone market），到2025年全球UAM中投入使用的载客无人机数量有望达到3000架，2050年这一数值有望增至16万架，总飞行里程达到188亿公里（每公里销售额4.787美元）。

厂商	机型	售价
亿航智能	EH216-S	239万元/41万美元
时的科技	E20	800万元/113.54万美元
Eve		375万美元
Archer	Midnight	450万美元
Lilium	Lilium Jet	650万美元

表4-1, 2023年在售eVTOL机型签约销售价格。

注：（1）美元:人民币汇率为2023年平均汇率7.0467。（2）航空器价格为官方定价。

乘客 UAM 收入

预计到2050年将增长至900亿美元，机场班车和城际服务占据了最大份额

来自 UAM 运营的收入 [以十亿美元计]

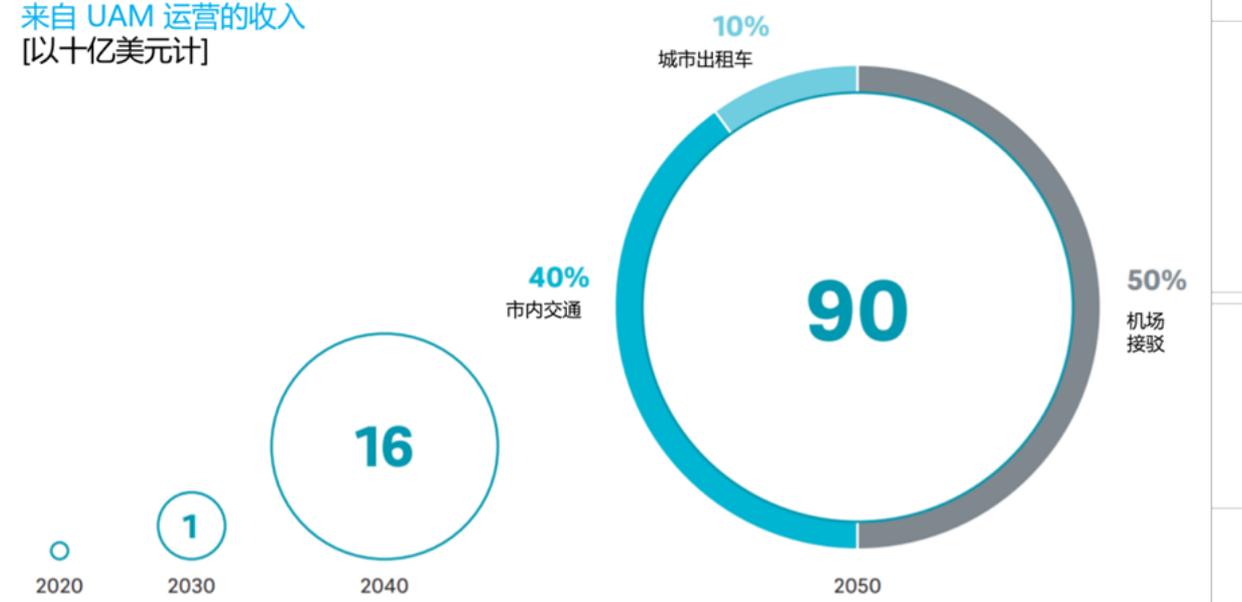


图4-2, 罗兰贝格预测, 2020-2050年UAM运营市场规模及收入结构。

• 摩根士丹利（Morgan Stanley）的市场预测数据

2018年预测2030年eVTOL/UAM行业将形成3000亿美元的市场规模；2040年，eVTOL/UAM行业规模可能将达到1.5万亿美元，其中中国市场规模4300亿美元，占全球市场份额28%。2050年，市场规模达到90420亿美元，最悲观的预测，市场规模为23400亿美元。不过，2021年摩根士丹利调低了对市场的预测（Morgan Stanley Research, Urban Air Mobility eVTOL/Urban Air Mobility TAM Update: A Slow Take-Off, But Sky's the Limit, 2021年5月6日）。它预测中国将是全球最大eVTOL/UAM单一市场，预计2030年前约260亿美元；2040年，eVTOL/UAM行业规模可能将达到10010亿美元；2050年，市场规模达到90420亿美元，最悲观的预测，市场规模为23400亿美元。

摩根士丹利的预测数值考虑测算模型的细分市场结构设计。它包含了（1）对汽车和共享出行市场替代；（2）运输物流，比如偏远地区的小型包裹快递运送；（3）对航空公司现有载客短程航线运输的替代；（4）军事用途市场的价值。以美国市场为例，到2050年，市场总规模预测为24500亿美元，其中，对汽车共享出行、运输物流分别占比重为58.42%和40.88%。真正源于原航空市场的营收占比非常低。

美国UAM\TAM模型收入细分（十亿美元）

收入分解/年份	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
运输/物流							
基准	\$0.00	\$0.60	\$7.10	\$42.90	\$144.30	\$619.70	\$1,431.30
乐观	\$0.00	\$4.50	\$64.10	\$292.50	\$643.50	\$1,096.40	\$1,723.90
悲观	\$0.00	\$0.60	\$2.70	\$19.40	\$81.70	\$291.30	\$492.20
汽车/共享出行的替代							
基准	\$0.00	\$0.10	\$1.90	\$17.50	\$127.60	\$449.00	\$1,001.50
乐观	\$0.00	\$0.60	\$17.10	\$139.70	\$558.40	\$1,524.70	\$3,361.50
悲观	\$0.00	\$0.30	\$1.90	\$10.60	\$38.80	\$123.30	
航空公司的替代							
基准	\$0.00	\$0.10	\$0.60	\$2.90	\$4.80	\$9.00	\$13.90
乐观	\$0.00	\$0.20	\$1.90	\$8.60	\$20.50	\$33.90	\$41.60
悲观	\$0.00	\$0.10	\$0.80	\$1.50	\$2.30	\$5.40	\$9.60
军事/国防							
基准	\$1.10	\$0.90	\$2.10	\$2.50	\$2.70	\$3.00	\$3.30
乐观	\$1.10	\$0.90	\$3.20	\$4.90	\$5.70	\$6.00	\$6.60
悲观	\$1.00	\$0.70	\$1.30	\$1.20	\$1.10	\$1.00	\$0.90

表4-3，摩根士丹利预测，2020-2025全球UAM行业可实现市场规模和区域市场规模。

以美国市场为例，到2050年，市场总规模预测为24500亿美元，其中，对汽车共享出行、运输物流分别占比重为58.42%和40.88%。真正源于原航空市场的营收占比非常低。摩根士丹利的预测数值如此之高，需要考虑到它的测算模型的细分市场结构设计。它包含了（1）对汽车和共享出行市场替代；（2）运输物流，比如偏远地区的小型包裹快递运送；（3）对航空公司现有载客短程航线运输的替代；（4）军事用途市场的价值。以美国市场为例，到2050年，市场总规模预测为24500亿美元，其中，对汽车共享出行、运输物流分别占比重为58.42%和40.88%。真正源于原航空市场的营收占比非常低。

全球总可实现市场（十亿美元）

年份	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
美国（收入）							
基准	\$1	\$2	\$12	\$66	\$279	\$1,081	\$2,450
乐观	\$1	\$6	\$86	\$446	\$1,228	\$2,661	\$6,336
悲观	\$1	\$1	\$5	\$24	\$96	\$336	\$626
中国（收入）							
基准	\$1	\$6	\$26	\$89	\$268	\$941	\$2,120
乐观	\$1	\$20	\$188	\$605	\$1,178	\$2,316	\$4,442
悲观	\$1	\$5	\$11	\$33	\$92	\$293	\$542
欧洲（收入）							
基准	\$2	\$1	\$8	\$41	\$168	\$623	\$1,466
乐观	\$2	\$5	\$59	\$277	\$738	\$1,533	\$3,072
悲观	\$2	\$1	\$4	\$15	\$58	\$194	\$375
其他地区（收入）							
基准	\$4	\$2	\$10	\$60	\$285	\$1,259	\$3,006
乐观	\$4	\$10	\$74	\$405	\$1,253	\$2,929	\$6,298
悲观	\$3	\$1	\$4	\$22	\$98	\$370	\$768
全球总可实现市场（收入）							
基准	\$8	\$10	\$55	\$407	\$1,733	\$4,397	\$9,042
乐观	\$8	\$37	\$407	\$1,733	\$4,397	\$9,433	\$18,946
悲观	\$8	\$9	\$24	\$94	\$343	\$1,193	\$2,310

表4-4，摩根士丹利预测，2020-2025全球UAM行业可实现市场规模和区域市场规模。



05

PART

国内外eVTOL产业发展现状



5.国内外eVTOL产业发展现状



5.1 国内头部企业发展现状

中国的eVTOL/UAM整机发展受到了2016年11月Uber发布《快速驶入按需城市空中交通》白皮书，并引发资本界投资热潮和产业界广泛讨论的影响。2017年中国出现了几个标志性事件：（1）11月13日，吉利汽车集团收购了美国太力公司（Terrafugia），正式进军飞行汽车行业，最终引发了吉利在低空经济和eVTOL领域的一系列布局，比如投资Volocopter、成立合资公司沃珑空泰、启动自研整机项目AE200等。它代表着中国传统行业关注并重投入进入eVTOL行业，中国eVTOL行业的国际化发展。（2）峰飞航空科技研发团队在上海成立，开始载人eVTOL的研发，并于2021年完成1亿美元融资。它意义是代表着中国科创公司进入eVTOL领域。吉利和峰飞，后来直接影响了时的、沃兰特等企业，以及资本机构的进入。

国内有30家以上企业进入eVTOL整机研发领域。不完全统计，现有15家载人eVTOL整机研发企业完成数千万元以上融资；有15家完成1:1样机下线并投入测试。中国的eVTOL整机企业大部分为科技型初创公司，甚至有5家成立不满3年进入了1:1原型机测试阶段。相比欧美头部企业，中国eVTOL整机企业规模普遍偏小、历史更短、融资规模也更小，更需要得到政府和资本界的支持、全行业的团结互助。

在我们调研的32家eVTOL整机企业中，采用复合翼方案的有15家（46.9%），采用倾转/矢量推进方案的有11家（34.3%），采用多旋翼方案的有11家（34.4%）。对比美国垂直飞行协会（VFS）的统计，中国整机企业更倾向于采用复合翼方案。

中国eVTOL整机企业主要有以下几类：

(1) 科技型初创公司	(2) 大型航空航天 国企下属机构	(3) 汽车行业相关机构	(4) 无人机产业企业
如时的、沃兰特、览翌等	如商飞北研、航空研究院/602所、中航通飞等	如清华大学车辆学院、北理工、大众中国、广汽研究院、吉利沃飞、小鹏汇天等	如深圳凌悦、天津斑斓等

适航取证的一般性程序和要求

按照《航空器型号合格审定程序》要求，首先eVTOL整机研发单位与局方共同确定适航审定基础、适用的规章（不同设计特征的航空器适用的规章条款有差异）、签署《安全保障合作计划》（PSP）（PSP不针对具体的型号，只规定用于管理和指导项目适航工作的总体原则和方法。PSP规定用于制订产品合格审定计划的总体程序、总体管理时间进度和预期目标，为后续合格审定计划编制和实施提供通用原则和方法。如使用委任体系、制造符合性检查、交流沟通、解决争议问题的一般方法和程序以及评估项目过程的一般准则），提交审定计划（CP，PSCP（如有必要）），同时建立和完善标的公司设计保证系统，以保证设计、试验、制造、试飞等研发和制造过程均按与局方达成一致的审查计划进行。中国民航局对设计制造过程的审查包括：计算分析报告、参与目击试验（试验室试验、机上地面试验、飞行试验等）、制造符合性检查等。局方认可设计制造符合适航规章要求后，颁发型号合格证。目前，在EASA和FAA的指导文件中eVTOL适航条款有100条左右，但很多符合性验证方法仍有待探索。所以，eVTOL航空器的审定周期通常会略长于传统通用飞机，但比大型商用飞机要短一些。

中国eVTOL航空器适航取证的进展

2023年10月12日，中国民航局为亿航颁发了全球首个eVTOL航空器型号合格证。整个过程历时约3年，为后续型号审定和取证奠定了坚实基础，也为中国eVTOL研发企业和资本机构带来了积极鼓励。

此外，中国民航局在2024年3月22日也为峰飞航空科技研制的V2000CG eVTOL颁发了TC，成为率先取得TC的吨级以上eVTOL无人驾驶航空器，也是中国民航系统颁发的首个无人驾驶吨级eVTOL航空器型号合格证。V2000CG采用复合翼构型，最大起飞重量2吨，纯电动，自动驾驶，运载能力等同小型直升机，适用航程200km。随着货运版航空器商业化交付后在各种场景落地应用、积累更多的飞行数据，将有助于推动其载人版航空器的发展进程。峰飞航空的eVTOL已完成过万架次的转换飞行。

除了亿航216之外，还有多个在研型号也在接受或完成了中国民航局的审定，主要在审定的eVTOL航空器进展如下：

机型	TC申请	局方受理申请	颁发专用条件	批准CP	试飞验证完成	颁证
亿航EH216	2020.12	2121.01	2022.02	2022.09	2023.08	2023.10
峰飞航空V2000CG	2022.09	2022.09	2023.05	2023.05	2024.02	2024.03

机型	TC申请	局方受理申请	颁发专用条件	批准CP	试飞验证完成	颁证
沃飞长空AE200	2022.11	2022.11	2023.12			
时的科技E20		2023.10				
御风未来M1	2023.11	2024.01 (M1B)				
沃兰特VE25		2023.09				

表5-1, 国内主要在审定eVTOL整机型号进展情况。来源网络。

5.1.1 国内产业链发展现状

5.1.1.1 电池

在航空应用领域，动力电池总成最关键的特性是高安全性、轻量化，而eVTOL的起降功率输出特性还要求增强大功率性能。这些特性反映到参数指标上即为电池系统热失控起火概率（高安全性）、电池系统能量密度（轻量化）、电池系统功率密度（高功率）。这些指标与常规动力电池很不一样，航空动力电池需要做全新开发；而由于距eVTOL/UAM航空器大规模量产还需一段时间，整机或电池厂商必须垫付研发费用；由于eVTOL/UAM产量远不能与电动汽车相比，所以，航空用动力电池总成的单价要高的多。由于eVTOL整机开发项目处于快速迭代过程中，也要求配套电池厂商能做到敏捷开发，相对于传统供应商一年以上开发周期，最快的半年做到小批量生产，这对供应商是很高的要求；另外，也要求电池厂商遵循Do311等航空标准和开发流程，也在一定程度上推高了定制化开发的复杂性和成本。尽管如此，国内eVTOL/UAM用电池依然呈现出激烈的竞争态势，有很多电池厂商愿意为eVTOL/UAM整机项目做定制化开发。

序号	公司	公司和产品介绍	配套企业
1	麻省固能	SES上海公司负责eVTOL/UAM业务	峰飞
2	孚能科技	通过Do311认证。2020年已向电动飞机领域的客户首次供应样品，随后完成样件认证；2023年将第一代三元产品交付给终端客户。能量密度285Wh/kg，最高时速320km/h，单次最长巡航250km；工况测试，电芯可实现10000次以上循环。	Joby、Archer
3	安徽盟维新能源	性能可达400Wh/250循环。	
4	荣盛盟固利	Do311认证电芯密度305Wh/kg。	锐翔RX系列
5	宁德时代	2023年4月发布了凝聚态电池，能量密度突破500Wh/kg。2023年7月与商飞成立合资公司。	商飞等

序号	公司	公司和产品介绍	配套企业
6	正力新能	实现了在满足铝壳形态下电芯320Wh/kg的高能量密度，满足20% SOC，12C放电、5C恒流大倍率放电性能。	Joby
7	中创新航	为小鹏汇天飞行汽车X3研发提供9系高镍/硅体系动力电池，X3已在2022年10月成功首飞。	小鹏汇天X3
8	力神电池	电芯能量密度325Wh/kg	
9	Molicel能元科技	台湾锂离子电池制造商	Vertical
10	力神电池	国内已完成402Wh/kg半固态电池开发。	
11	牛瓦时克	高性能动力电池总成定制化开发，包能量密度>200Wh/kg。	
12	中电科18所	高性能电池动力	
13	亿维锂电	大圆柱电池及“π”电池系统能量密度350Wh/kg，支持9分钟快充。	
14	安徽锐能科技	BMS、BMS+电池包一体化产品。	
15	Inx（原欣视界）	固态锂电池，电芯能力密度达到450Wh/kg，亿航、高瓴资本等投资。	
16	卫蓝新能源	已经深耕无人机动力电池多年	
17	兵器北方 瑟福能源	已经深耕无人机动力电池多年	

表5-2，来源：根据公开信息整理。

5.1.1.2 动力系统

得益于中国发达的新能源汽车产业，中国eVTOL/UAM配套的电机、电控等子系统发展具备先天优势和坚实的基础。国内多个整机公司只能从国外购买配套电机和驱动，保障整机产品开发，如采购Safran EngineUS、Magnix电机等。近年来，随着行业的发展火热和日趋成熟，越来越多的电机、电控配套企业愿意加入到航空供应链中。

5.1.1.3 航电和机载和机体结构配套

中国的民机航电设备研发基础较为薄弱，使用FAA/EASA所接受的ARP4754A的民机航电开发方法和流程，具备适航工程经验的公司很少。这也与过去我国商用飞机、传统通用航空器研发项目较少有关。对于RTCA/EUROCAE相关的要求和标准、方法等，如ARP4761A民用机载系统和设备进行安全性评估过程的指南和方法、ARP4754B/ED-79高度综合化或复杂飞机系统的认证考虑、ARP5150/5151商用飞机安全性评估、Do-297/ED-124综合模块化航空电子系统（IMA）开发指南和认证考虑、Do-254A/ED-80机载电子硬件的设计保证指南、Do-178C/ED-12B机载系统和设备认证的软件考虑，以及Do-160G机载设备环境试验等，我们的行业企业掌握和理解总体上落后于欧美同行，但这种能力只能通过型号项目锻炼真正提升。

5.1.1.5 基础设施

eVTOL/UAM运营基础设施是与整机对应的另外一个热门赛道，在短时间内聚集了大量参与企业和资本机构，主要有以下几类：（1）起降场/机场设施建设运营单位，大部分是国有单位，如机场集团、政府平台公司，典型的如上海华东无人机基地、安徽通航控股集团；（2）起降场设施规划、设计和建设，典型的如浙江圣翔、天津航大智安、广东新正等；（3）空管系统研发、数据开发和管理、数字化基础设施，典型的如腾讯、粤港澳大湾区数字经济研究院、珠海安擎、空中跳动；（4）空管服务服务单位，按照国家低空空域管理改革统一部署，省一级设置综合飞行服务总站，接受强监管，它可以再下设多个A/B类分站提供空管服务。典型企业如河南空管实业发展有限公司、浙江省低空飞行服务中心等。

5.1.2 eVTOL 城市群运营试点进展

5.1.2.1 粤港澳大湾区城市群

我国各地积极发展低空经济，粤港澳大湾区的进展最为迅速。大湾区具备应用先行、政策护航的优势，通过培育产业链、基础设施和创新平台，有望成为全球低空经济的引领者。粤港澳大湾区是世界四大湾区之一，聚集了近9000万人口，经济总量超14万亿元，是拥有具有世界影响力的庞大城市群。粤港澳大湾区“9+2”城市群融合发展，是与京津冀、长三角地区并列的全国经济增长发动机。

粤港澳大湾区传统的通用航空产业发达，拥有通航制造业的国家队领导性企业中航通飞，也拥有中信海直、南航通航等直升机运营头部企业。粤港澳大湾区培育了大疆、顺丰丰翼、极飞等无人机头部厂商；也涌现出亿航智能、小鹏汇天、广汽等eVTOL行业参与者，且通过政策和场景先行先试吸引了德国eVTOL制造商Lilium落地。

粤港澳大湾区的低空市场需求非常巨大，且日趋加大，应用场景多元，可以容纳很多家运营企业提供不同的服务：（1）产业类需求：大湾区目前的通航需求主要集中在石油海上平台飞行和港口直升机引航，占据全国90%的业务量。（2）商业需求：观光娱乐、跨境飞行、城际飞行、空中通勤、空中摆渡等新业态模式快速增长。Sky Shuttle和Heliservices等直升机运营公司在香港、澳门、深圳长期开展直升机高端摆渡。（3）公共服务需求：无人机、载人级eVTOL在医疗救护、山区搜救、水下救援、火灾救援等应急领域存在巨大的潜力。（4）区域发展需求：大湾区内部经济发展水平不一，通过空中交通走廊或网络强化核心城市和县域乡村的连接，结合旅游观光等商业模式为县域乡村发展提供新的产业和就业机会，促进低空发展与乡村振兴结合。



图片：德国Lilium亚洲区域总部将落地深圳宝安 来自网络

5.1.2.2 长三角城市群

长三角城市群是中国经济水平发展最高的区域，发展eVTOL产业的基础与粤港澳大湾区类似，但也有很多不同。长三角城市群的规模更大，经济体量更大，GDP占到全国的1/5，人口有2.35亿。制造业角度考虑，长三角城市群相比粤港澳大湾区拥有更雄厚的传统航空航天产业集群，也是中国最大的商用飞机研发生产基地，拥有大量的专业技术和管理人才以及众多211/985理工类高校。尤其是，长三角地区的通用航空机场、无人机试验院校、航空航天院校和科研院所数量较多。当前长三角成为中国eVTOL和UAM创业氛围最浓厚、科技创新企业最多的地区，有利于研发企业的试飞测试、研发和试飞的协同。

长三角的eVTOL运行和城市空中交通试点动作还在早期阶段，只在少数城市做过验证试飞或演示飞行活动。合肥组建了全国首个城市“场景创新促进中心”，为创新资源找场景。以“骆岗公园全空间无人体系应用示范项目”为例，2023年12月，亿航EH216-S落地骆岗公园，进行全球商业运行首次飞行演示。

5.2 国外头部企业发展现状

根据美国垂直飞行协会（VFS）统计，截至2024年3月底全球共有983型eVTOL概念产品，其中48%为多旋翼型，16%为升力+巡航型，36%为矢量推进型。

eVTOL航空器因为采用了大量创新性特性设计，缺乏工程经验和案例可以借鉴，很多基础性研发和验证都需要设计团队完成，与常规通用航空器设计非常不一样。典型的23部通用飞机设计需要20-60万工时完成立项到取证的工作；而eVTOL则需要数十万，甚至200万以上的工时。这也推高了研发成本。很多初创公司对此并没有足够认识，造成一再推延所设定的EIS（Enter-into-Service）目标。

据统计，只有29%的项目能进入缩比机验证阶段，只有5%的项目能进入全尺寸原型机研发阶段。2024-2026年将成为eVTOL从研制阶段转向规模商业化运行的关键时期，主要头部企业都规划将其型号在这一时期投入使用。

序号	研发单位	型号	取证和EIS时间
1	Joby Aviation	S4	2025
2	Archer Aviation	Midnight	2025
3	Wisk Aero	Generation 6	2030前
4	EVE Air Mobility	Eve	2026
5	Whisper Aero	The Whisper Jet	未公布
6	Beta Technologies	CX300 Alia-250	2025 2026
7	Overair	Butterfly	2028
8	Jaunt	Journey	2028
9	Supernal	S-A2	2028
10	Lilium	Jet	2025年EASA取证 2026年初商业运营
11	Volocopter	VoloCity / VoloRegion	2024/2026
12	Vertical Aerospace	VX4	2027
13	Airbus	CityAirbus NextGen	未公布
14	Crisalion Mobility	Integrity 6	未公布
15	Ascendance	Atea	2027
16	SkyDrive	SD-05	2025取证 2026大规模商业运营

表5-3，国外主要头部企业eVTOL机型的EIS时间。

5.2.1 国外产业链发展现状

5.2.1.1 电池

动力电池技术对于新能源汽车、船舶、机器人等产业发展具有基础性支撑作用。航空动力电池是一种特化的动力电池，针对航空器需求和飞行作业环境进行了优化，它的发展需要依托于整个大的动力电池产业环境。世界各国对动力电池重点发展并提出了发展目标，典型路线如下：

美国：美国能源部（USABC）更新了2023年先进电池的发展目标，重点发展快充动力电池，要实现80% SOC充电时间15分钟的同时，单体能量密度达到275Wh/kg，成本目标降至75美元/kWh。

韩国：韩国电池产业协会2018年制定的动力电池路线图，2020年之后电池能量密度增速放缓。在寿命等指标上有明显提升。到2025年，单体能量密度为330Wh/kg，循环寿命1000次。

中国：中国在2017年发布的《节能于新能源汽车技术路线图》引导下，实现了动力电池技术的重大突破，2019年单体能量密度实现240Wh/kg（硬壳）、260Wh/kg（软包），成本降至1元/Wh，有望实现2020年动力电池单体能量密度300Wh/Kg目标。同时我国在第十三个五年计划设置了新能源汽车重点研发专项（2016-2020），从动力电池新材料新体系、高比能锂离子电池、高功率长寿命电池、动力电池系统、高比能二次电池、测试评估六方面支持动力电池的技术研发，产业化的锂离子电池比能量达到300Wh/Kg以上，成本降至0.8元/Wh以下，新型锂离子电池的比能量达到400Wh/Kg以上，新体系电池的比能量达到500Wh/Kg以上。在《中国制造2025》中提出的动力电池发展目标，2020年单体电池的比能量达到300Wh/Kg，2025年达到400Wh/Kg，2030年达到500Wh/Kg（电芯能量密度）。

5.2.1.2 动力系统

eVTOL航空器动力系统多采用了分布式电动推进系统（DEP），少数会考虑使用氢动力、油电混合动力。电机虽然功率密度大、结构简单、维护要求低、布局要求低可以避免很多机械结构问题；但考虑到电池能量密度过低，动力系统重量占比还是要高于传统航空器。

电机作为适航航空器的动力装置是近年来才兴起的，所以，几乎所有电机型号并没有适航认证。各国民航主管当局和工业界在通力合作，加速这一进程。

由于电驱动是新兴的动力形式，国外提供这类产品的企业主要有以下几种：

传统大型航空工业供应商，基于自有储备技术和相关部门进行研发设计，典型的如Safran。

初创企业，它们通常从各种大学、大型企业孵化而来，典型的如Evolito。

大型企业收购其它专业公司、或成立合资公司以获得相关能力，典型的如Rolls Royce收购西门子的电力和混合动力航空航天推进业务eAircraft，成为飞机电动和混合动力推进系统供应商。

5.2.1.3 航电和机载设备配套

eVTOL航空器更强调高度自主化和自动化、与空管系统和运控系统的高度协调、全面应用AI/云计算等最新信息技术、使用更多的传感器、更全面的落实整机健康状况管理、使用空地数据链和卫星数据链等；这些技术创新和新技术应用，又给予很多初创科技公司发展机遇，所以，这一领域呈现出几个特点：传统机载设备配套厂商依然发挥骨干中坚作用；新兴初创公司充满活力，在各个细分领域寻找机遇；有很多跨行业而来的大型企业进入，争夺这一增量市场。

传统机载设备配套企业拥有丰富的适航机载设备研发经验，大部分eVTOL整机企业通常选择其配套核心航电设备，降低整机取证风险和周期。这类企业通常有非常完善的产品矩阵，典型的如Honeywell、Garmin。跨界进入这一领域的企业典型的如Inmarsat，其主业是海事卫星服务、卫星通讯系统，但最新一代航空器需要使用卫星通讯，Inmarsat顺其自然的进入eVTOL配套市场。新兴初创公司大都集中在自主飞行、AI、网络通讯安全等领域，作Tier 2级别的供应商，比如Daedalean的AI自主飞行产品客户为Honeywell等航电企业；也有少数直接服务整机厂商的，如Near Earth Autonomy直接服务于Volocopter。

5.2.1.4 基础设施

eVTOL实现落地应用离不开基础设施的支撑，主要涉及有：机场/起降场、充电、加氢、空管设备、气象、数字化等几大类关键基础设施。

机场设施领域的企业主要有两大类：（1）传统民航机场、大型直升机场的运营管理单位；（2）科技创新公司。前者通常掌握了客流资源甚至是垄断性的地理位置资源，现有设施可以经改造适应eVTOL运营，也有雄厚的资本和成熟的运营管理团队，对民航法规标准程序有充分的理解，一般采取与后者合作的方式进入这一市场。典型的如德国法兰克福机场集团、慕尼黑机场、英国伦敦希斯罗机场。后者则将eVTOL起降场当做自身发展的重大机遇，愿意积极与整机厂家、局方对接掌握客户需求和法规政策要求，全流程参与到eVTOL起降设施的选址、规划、设计、建设和运营中。

eVTOL充电基础设施企业主要由电网公司、电气设备公司、机场公司等几类组成。与电动汽车类似，eVTOL航空器目前并无统一充电标准，比如Joby、Beta Technologies制定了不同的标准，在起降场地为它们充电，则必须安装不同类型的充电桩。国外主要标准有由GAMA领导的CCS充电标准（Combined Charging System，联合系统充电标准），支持者主要是Archer Aviation、Beta Technologies、Volocopter、Overair、Wisk Aero、Eve Air Mobility和Lilium；以及由Joby Aviation制定的GEACS充电标准（Global Electric Aviation Charging System，全球电动航空充电系统标准）。

相对于充电，氢能源产业链在全球发展进度更慢，配套更加缺乏。eVTOL加氢基础设施企业主要由氢能源产业链企业、其它转型能源企业等组成。

eVTOL航空器运行，意味着在人口密集区域上空的低空航线，开展常态化、大流量的载人飞行活动。这与先前民航的运行活动大不相同，所需技术手段也将有很大差异。它要求有更加精细化、网格化的低空气象预报支撑，掌握全新算法和预报模型、气象激光雷达等技术的企业纷纷崭露头角。

数字化/IT基础设施。eVTOL航空器的重要特性是高度自动化、自主化、数字化。它需要大量的IT基础设施支撑，比如云计算、数字孪生、AIGC等以支撑应用层能力建设。

5.2.2 国外eVTOL城市群运营试点进展

由于目前尚未有国外载人eVTOL完成适航取证，且配套的运营法规、标准并未制定完毕，欧美主要工业强国在一些条件较完备的区域开展eVTOL/城市空中交通的试运行、概念验证，为未来大规模运行摸索经验。在一些湾区城市群人口密集、经济发达，政府财政能力雄厚，而产业和资本也有实力和兴趣参与未来城市空中交通变革，愿意抢占未来发展的先发优势；且城市密集分布互相串联，拥有推广eVTOL的最佳场景，在这些地区对eVTOL和城市空中交通的运行探索最为积极。世界主要城市群相关布局和发展现状如下：

5.2.2.1 加州硅谷湾区：加速成为全球eVTOL产业创新之都

硅谷湾区正在成为全球先进空中交通的“创新之都”，已集聚了美国实力最强的一批eVTOL制造商：Joby、Archer、Wisk、Elroy、Kitty Hawk、Alef Aeronautics、Cora、Hoversurf、Vimana Global、Opener、Vahana，也吸引了来自华盛顿的Supernal设立研发中心、韩国的Plana Aero设立总部。

Uber是最早提出空中出租车计划的共享汽车公司，而这个远景逐步变成现实——美国联合航空公司计划从2026年开始在旧金山国际机场为往返机场的乘客提供电动飞机出租服务。此外，硅谷在航空航天研发的实力雄厚，NASA在硅谷设立的埃姆斯研究中心（Ames Research Center）创立于1939年，持续推进未来交通系统、新型交通工具的研究和开发。加州伯克利大学的航空未来实验室（Aviation Futures Lab）、斯坦福大学的智能系统实验室（Intelligent Systems Laboratory）也在研究基于eVTOL的未来交通系统和可持续交通解决方案。马斯克的火箭发射公司SpaceX也关注到这个行业，投资了飞行汽车公司Alef Automotive，其飞行汽车Model A获得了FAA颁发的特殊适航证，用于展览、研究和开发等用途。

5.2.2.2 纽约大都市区：城市空中交通起源地领先启航

eVTOL最先将部分取代通航直升机已成为业界共识，纽约大都会区是全球最繁忙的直升机运行空域，也是全球城市空中交通的起源地。纽约湾区是众多eVTOL制造商的必争之地和运营推广的首发城市。大纽约都会区的通航基础设施和网络发达，拥有7座运输机场和20余座通用机场，应用场景主要是公务机和直升机客运。纽约都市区还有许多直升机场，其中最繁忙的三个位于曼哈顿，纽约3个大型枢纽机场和曼哈顿之间开通了直升机客运服务，实现了曼哈顿和3个纽约机场之间的8分钟通达。通航业发展历史长使得公众对空中交通的接受度高。纽约湾区是全美高净值人群和高端商务人士的集聚区，具有全美甚至全球最发达的通航运营产业。

2023年2月，Blade Air Mobility与Beta Technologies联合完成了Alia 250 eVTOL的运行验证飞行。Blade订购了20架Alia 250，未来将用于连接肯尼迪国际机场和曼哈顿。

2023年11月，Joby在纽约验证了从曼哈顿到肯尼迪国际机场的航线飞行，并进行了多次飞行演示。达美航空和Joby一直与纽约港务局和纽约市经济发展公司合作，规划初空中出租车服务运行落地，包括为eVTOL在肯尼迪国际机场和拉瓜迪亚机场提供基础设施。Joby还与大纽约区域内多家直升机场和FBO达成合作，架设充电桩等设施。

Archer通过与连锁FBO Atlantic合作，获得纽约区域的运营基础设施支持。2022年11月，Archer与美联航确定首先启动Newark国际机场与曼哈顿中心直升机场连接服务。

2023年11月，Volocopter在曼哈顿中心直升机场（DMH）完成了首次验证飞行。

5.2.2.3 东京大都市区：以综合性规划为牵引发展AAM

东京湾区集聚了全日本实力最强的eVTOL企业SkyDrive以及积极投入到空中交通领域的本田、丰田等汽车企业，且有日本宇宙航空研究开发机构（JAXA）联合企业共同推进eVTOL的研发。以东京湾区为起点，日本正在大力发展AAM。日本很早制定AAM的发展路线图——《日本的先进空中交通：我们的发展和超越》，路线图提出了日本2025年在大阪世博会上启动先进空中交通服务、2030年实现eVTOL空中出租车及重型货运无人机业务全面商业化的目标。东京湾区有多家通航公司，提供包括私人飞机、直升机旅游观光、医疗救援、警务支援等服务，城市服务保障方面东京仅用5年时间构建了通用航空救援救护体系，这一过程在欧美国家历经20年。

日本通过政府引导，企业作为运营主体参与的方式，探索eVTOL的城市空中交通场景运行，实现路径非常稳健，工作落实的非常细致。2022年，日航、三菱和兼松株式会社（日本十大商社之一）联合向日本政府提交了一份在东京都市区启动AAM试点运营的项目提议。它连接东京市中心主要交通运输枢纽、机场、岛屿，提供运输服务和观光飞行，并通过2023年的直升机示范运营和2024年的eVTOL和着陆飞机示范运营，研究运营问题/盈利能力等方。项目为期3年，主要工作内容是：

2022年	<p>确定与AAM运营相关的问题和解决方案。调研、验证商业模式等。</p> <p>确定在高层建筑物密布的东京，提供高频次空中交通服务，所需起降场的施工、必要条件和运行相关的问题。</p> <p>评估东京城市空中交通市场规模、业务持续性问题。估计计划开通的航线，以及未来可能开辟的航线的销售额和运营成本。</p>
2023年	<p>使用直升机开展城市通道和景区场景运行演示验证</p> <p>在三菱地产公司拥有或管理的设施中建造两个直升机场，提供观光航班和两个直升机场之间的交通/包机服务。</p> <p>利用eVTOL对未来运输服务的商业案例进行可行性研究。</p>
2024年	<p>启动eVTOL演示验证</p> <p>扩大2023年运营的直升机机场，考虑与英国Skyports合作建设垂直起降场。</p> <p>验证和评估eVTOL飞行和地面运行，如起飞/降落控制和模拟，值机和安全检查，安全管理和周边地区的态势感知等。</p>

表5-4，日本航空公司（JAL）的东京eVTOL运行项目工作计划



06

PART

中国eVTOL行业发展面临的 困难和挑战



目前，eVTOL和城市空中交通行业发展主要面临行业管理政策、法规、标准亟待完善。缺乏验证和现成经验可以借鉴，研发周期长、工作量大、资金需求大。中国的eVTOL研发企业，团队工程能力更弱，符合民航适航标准的航空器的研发，主要集中在近20年，拥有完整的机型研发经历的人员基数不像具有发达航空产业的欧美国家。此外，研发制造的配套供应链不完善、配套基础设施建设不足。主要是网络化的起降场、充电桩、配套电网改造，以及新一代空管基础设施、气象保障设备等。具体包括以下几点：

技术研发

eVTOL飞行器的设计和制造涉及到众多领域的技术，如电池技术、电动机、复合材料、自动驾驶等。这些技术的发展对于提高eVTOL飞行器的性能至关重要。然而，中国在这些领域的研发水平与国际先进水平仍有一定差距。

法规和标准

目前，全球范围内对于eVTOL飞行器的法规和标准尚未完全统一。中国在这方面的立法和制定标准的工作还处于起步阶段，行业管理政策、法规、标准亟待完善，这给行业的健康发展带来了不小的挑战。美国在2024年3月，确定Joby S-4的最终适航审定标准，为后续类似机型审定确定了工作框架和方向；类似的，全球各国均在摸索。美国完整的运行法规也没有正式推出，主要内容沿用传统通航运营的要求。我国的相关法规、标准也仍然处于摸索和试点阶段。

安全风险

eVTOL飞行器的安全性是一个重要的关注点。在飞行器设计、制造和运营过程中，需要充分考虑到安全风险，确保旅客和地面人员的安全。如何在技术上解决这些安全问题，是当前行业亟待解决的问题。

基础设施滞后

eVTOL飞行器的运营需要相应的基础设施支持，主要是网络化的起降场、充电桩、配套电网改造，以及新一代空管基础设施、气象保障设备等。如起降场地、充电设施等。在中国，这方面的建设仍然滞后，需要大量投资和时间来完善。

整机研发制造的配套供应链不完善

同样，受限于过去国内适航型号较少，配套企业的项目和锻炼较少。比如，开发航电、机载设备、软件的企业，经历过取证，对Do-160/178/254的要求、开发方法、程序能充分掌握的企业凤毛麟角。

公众接受度

虽然eVTOL飞行器被认为是未来城市交通的一种解决方案，但公众对这种新型交通工具的接受程度仍有待提高。民众需要对eVTOL的安全性、噪音等环境影响有更全面、深入的认识，才能建立信任。这需要eVTOL整机厂家和运营单位开展更多的演示试飞活动、推广活动，逐步建立。如何让更多人认识到eVTOL飞行器的优点和安全性，是行业发展需要面临的挑战。

市场竞争

随着全球eVTOL行业的快速发展，市场竞争日益激烈。中国的eVTOL企业需要在技术创新、产品性能、成本控制等方面不断加强，才能在国际市场上保持竞争力。

融资难

eVTOL行业的发展需要大量资金投入，包括研发、生产、运营等各个环节。在当前的经济环境下，如何获得充足的资金支持，是中国eVTOL企业面临的一个重要问题。因为eVTOL大量采用了新技术，缺乏验证和现成经验可以借鉴，研发周期长、工作量大、资金需求大。典型的欧美头部企业，融资量都在10亿美元以上，预计完成取证和量产，将需要花费20亿美元以上。对于中国企业，人工成本要低一些，在可以预见的未来一段时间内，仍将是10亿元人民币以上的量级。

工程技术人员经验不足

我国符合民航适航标准的航空器的研发，主要集中在近20年，拥有完整的机型研发经历的人员基数不像具有发达航空产业的欧美国家。中国的eVTOL研发企业，团队工程能力更弱。但这是短期内无法快速提升的，只能通过型号锻炼，用一代人的时间耐心追赶。部分技术的成熟度和EIS时间节点不匹配。有一些项目选择了复杂、前沿性的技术方案，开发工作量大、技术风险高、技术储备不足，但设定的取证和投入商业运营的节点很激进。典型的如高阶辅助驾驶（SVO）、复杂倾转旋翼方案等。中国eVTOL企业对噪音的管理能力也不足，也未有足够重视。

人才匮乏

我国符合民航适航标准的航空器的研发，主要集中在近20年，拥有完整的机型研发经历的人员基数不像具有发达航空产业的欧美国家。很多整机制造企业有数年后取证、大量交付的商业计划，但是运行需要多个专业的人员支撑。比如，eVTOL短期内无法实现全自动驾驶，还需要有飞行员操纵，则数千、数万名飞行员。我国面临如何在数年内完成培养，相应的标准、培训大纲、训练设备如何确定等问题。机务、航务、签派等专业也有类似需求。中国的eVTOL研发企业，团队工程能力更弱。但这是短期内无法快速提升的，只能通过型号锻炼，用一代人的时间耐心追赶。



07

PART

*eVTOL*和城市空中交通的 未来发展趋势



7.eVTOL 和城市空中交通的未来发展趋势



7.1 技术发展趋势

技术层面的分析，我们对主流eVTOL厂商、科研机构 and 高校、行业主管部门等提出的eVTOL技术发展趋势进行了梳理、分析研究。将近期内可以对行业产生较大影响的技术趋势汇总介绍如下。



备注：受限于篇幅，以上仅列出部分eVTOL的关键技术。

图7-1，近期影响eVTOL产业发展的关键技术预测，资料来源：腾讯研究院。

7.1.1 矢量推进型eVTOL将成为主流构型技术路线

矢量推进型 (Tilt-X) eVTOL 的旋翼以可倾转的方式兼顾悬停和巡航，在不同飞行阶段采用不同的推进方式。它因为存在过渡状态过程，增加了总体设计的复杂性，牺牲了一定的安全性和可靠性。但矢量推进型eVTOL可实现更高的飞行速度和更远的航程。更大的航程可以让运营商的业务模式有更大的灵活度，更少的充电次数带来更高的任务响应速度和日利用率；更高的飞行速度意味着可以进入更多时效性任务市场，如应急救援、医疗救援。当前，eVTOL在医疗救援市场被诟病的一点就是巡航飞行速度大大低于常规直升机。随着技术的进步以及产业界对电动航空器设计理解的加深，工程技术实力雄厚的头部厂商将大幅度提高矢量推进型eVTOL的可靠性，这种eVTOL届时也将成为主流构型。

7.1.2 应用涵道风扇设计的机型进一步增加

涵道风扇设计有很多优点，如对航空器附近人员提供保护、涵道环括作用有利于降噪设计和城市场景运行、涵道能够在螺旋桨的流场中产生可观的附加拉力进而提高动力系统的效能；但是，涵道风扇也有很多不足和设计难点，阻碍了它的应用推广。涵道风扇会占用额外的结构重量，而它又对强度和刚度要求很高，这就造成了制造成本和难度的问题。部分厂商将涵道集成到机体或机翼上，让两者结构融合，降低重量、提高刚性和强度，典型的如Ascendance Atea、Horizon Cavorite X5/X7、AirMule。

此外，涵道转子与涵道壁的间隙要求非常高（转子半径的1%，甚至更小）因为桨-涵道间隙是系统的关键参数，决定了涵道的环括作用大小，间隙越小则效率越高，实际间隙大小是在成本与效率之间平衡的结果。它就造成涵道的设计、制造和维护要求远高于开放式螺旋桨，进而非常考验eVTOL整机设计团队实力和供应链的能力。这也是当前涵道类eVTOL企业较少的原因之一，但随着行业发展，很多问题将得到缓解。再就是涵道的阻力问题，桨盘位置对涵道风扇系统气动特性的影响体现在气流品质和桨-涵道间隙2个方面。合适的桨盘位置应处于间隙尽可能小、且距离唇口相对较远，以保证涵道的良好环括及整流作用。则涵道壁截面的增大，会造成全机浸润面积增大和阻力增大；采用数量很大的嵌入式涵道，是一个解决思路。Lilium Jet在100m 距离处的噪音水平预测降低了6dB(A)，相同基础设施的乘客吞吐量几乎提高4倍，这是涵道风扇设计优势的一个案例。

7.1.3 电力推进系统向更高效、更轻量、更安全的方向发展

eVTOL通常采用分布式电推进系统，能有效提升航空器的气动效率、运载能力、环保型和鲁棒性。电推系统未来将向更高效、更轻量、更安全的方向发展，具体而言，包括：高压平台的应用和普及，提高电压降低线束直径，进一步提高功率元器件IGBT的效率，轴向磁通电机取代径向磁通电机以降低体积和重量，提高电源模块和驱动模块的效率等。

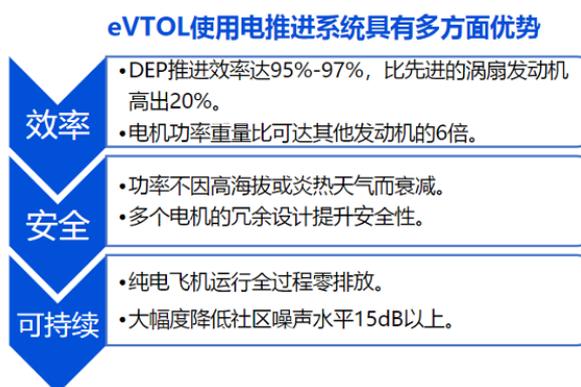


图7-2, eVTOL电推进系统的优势, 资料来源: 腾讯研究院。

7.1.4 电池技术不断突破、性能全面提升

目前绝大多数eVTOL机型都采用成熟的、功率密度较高的锂电池。它能在现有约束条件下，在重量、安全特性、航程性能、适航取证进度、成本之间获得较好折中。从长期看，氢燃料电池的能量密度可以达到锂电池的百倍，但是，氢能产业链条和生态建设慢于纯电路线，制氢、储运等存在很多问题。氢燃料电池瞬间放电能力较差，并不太适合eVTOL这种瞬时功率要求高的场景。总之，短期内氢电/氢内燃机路线应用不会太多。

指标	电池Battery	绿氢e-Hydrogen	碳中和合成燃料e-Fuel
一级能量效率	73%	22%	13%
电力成本		0.36美元/kWh	
千瓦时成本（轴功率）	~0.5美元/kWh	~1.7美元/kWh	~2.8美元/kWh
航程	1100km（2040年） ~2000km（2050年）	~3400km	~1600km

表7-3，典型的头部厂商考虑选择清洁能源动力形式的比较。数据来源：Lilium Battery Webinar，2023年11月。

现在和未来一段时间内，电池能量密度远不能与传统航空燃油相比，现有的较高能量密度的电池包括Lilium Jet所使用的IonBox的硅阳极锂电池，电芯能量为330Wh/kg；宁德时代在研的凝聚态电池，能达到500Wh/kg，但预计商用还需要1-2年。由于能量密度低，电池包重量过大，现有eVTOL航空器普遍存在有效荷载、航程和续航时间的局限。电池循环数和寿命、充电时间特性也严重限制了eVTOL航空器高频率起降和增加运行成本。未来主机和电池开发厂商将综合权衡能量密度、放电功率、充电时间、循环数和寿命、安全特性等指标，逐步提高锂电池性能；厂商也将开发新的电池类型，如固态电池。

锂离子电池自20世纪90年代发明以来得到广泛应用，在成本和性能之间有很好的平衡。但由于其性能限制以及环境和供应链问题，下一代电池技术仍在不断发展和创新。锂电产业基本上由中日韩三国占据产能绝对主导地位，其它工业强国则试图在新一代电池技术上进行突破，抢占产业发展先发优势。固态电池被普遍认为是下一代电池技术，被美国、欧盟、韩国和日本等主要工业发达国家和地区列为国家发展战略。固态电池利用固态电解质（SSE）取代了易燃的有机液体电解质，理论上更安全；SSE还可以与传统锂离子电池中不用的其他阴极和阳极材料配对，与高压阴极材料及高容量锂金属阳极兼容，有可能使能量密度超过1000Wh/L。固态电池循环寿命更长、更耐用、工作温度范围更宽、堆叠紧密、电池设计简化、机械特性可能更灵活。

国家和地区	相关发展战略和规划	固态电池相关战略和措施
日本	《电池产业战略》	加快技术开发，率先实现固态电池等下一代电池技术商业应用，占领下一代电池市场。
韩国	《2030二次电池产业发展战略》	2023-2028年投入2.33亿美元，争取提前实现固态电池、锂硫电池、锂金属电池商用化。
美国	《锂电池2021-2030国家蓝图》	实现示范和规模化个性化电池技术，加大固态锂电池方面的研发布局，加快产业化进程。
欧盟	《电池战略研究议程》	明确2030年研究和创新优先事项，确定关键技术主题，包括第4代锂离子电池（固态锂离子电池、固态锂金属电池等）。
中国	《新能源汽车产业发展规划（2021-2035年）》	“加快固态动力电池技术研发及产业化”已列入“新能源汽车核心技术攻关工程”。

表7-4，主要工业发达国家和地区的固态电池国家发展战略概况。

7.1.5 态势感知与空中避障技术逐渐应用于城市空中交通

城市空中交通运行环境复杂，面临城市地形地貌复杂、建筑物及附属设施众多、局部气象条件多变、电磁环境恶劣、低空鸟群飞行等情况。为应对这些挑战，eVTOL飞行器需要感知周围环境（如其他飞行器、地面障碍物、天气状况等）并根据环境信息做出相应决策。它需要有更强的态势感知和空中避障技术支撑，包括障碍物探测和分类、障碍物定位及路径预测与碰撞风险分析、避障策略选择和航线重新规划等技术，涉及感知传感器、多源信息融合、智能目标识别、障碍物危险评估与避障决策等专业领域。

传统通用航空器加装ADS-B、TCAS等设备实现自动安全间隔保持、规避周围危险；而在未来复杂空间环境下、大空中交通流的运行将难以达到必要安全标准。很多研究机构和厂商已经在探索基于UWB、激光雷达、视觉避障、4D雷达、合成孔径雷达、5G-A/智能物联网、气象激光雷达等设备和基础设施的新一代态势感知与空中避障技术的研发、验证和试点应用。有一些通用性技术，如根据几何空间相对运动矢量进行避障决策、利用无碰撞路径规划代替避障决策、基于AI的目标视觉识别，已经在汽车自动驾驶和避障、无人机自动驾驶和避障等领域有了广泛的应用，也向城市空中交通应用场景延伸。

7.1.6 智能驾驶技术实现自主飞行任重而道远

新一代汽车技术类似，eVTOL也强调高度智能化、自主化的特性。智能驾驶技术是eVTOL实现智能化和自主化飞行的核心，这包括使用先进的飞行控制系统进行起飞、飞行和降落，以及在复杂气象条件下的自动驾驶。eVTOL采用视觉、激光雷达、4D雷达/毫米波雷达等传感器技术，以及新一代通讯技术增强环境态势感知能力，实现多源信息融合，通过AI、大数据、云计算、高性能机载芯片对环境信息分析处理，形成飞行决策。各大厂商普遍强调逐步通过有人驾驶、有人驾驶+简化航空器操纵（SVO）、半自主飞行，最终实现eVTOL航空器完全自主飞行。不过，实现自主飞行还需要相当长的一个过程，进度相对较快的Wisk Aero计划在2028年试运行eVTOL载人自主飞行。

7.1.7 低空交通数字化体系建设提速

低空经济的发展和推进依赖于底层各类低空交通基础设施的建设，低空交通基础设施的完善和成熟为低空交通的高效、有序、安全的运行提供保障。低空经济运行于没有附着物相对自由的低空空域，因此有别于传统交通基础设施，低空交通天然对数字化技术有非常强烈的诉求和依赖，低空交通飞行保障的数字化体系建设成为重中之重。

随着低空飞行活动持续增加，低空交通飞行的保障体系的重要性日益显现，相关的数字体系建设也伴随政府和产业界的投入增加而提速。腾讯也在积极探索前沿数字技术在低空领域的多元应用，构建了覆盖“低空基建数字化网联、空域数字化管控、低空数字化监管、协同数字化服务、算力数字化支撑、安全数字化保障”的低空交通数字化体系：

低空基建数字化网联

低空基础设施建设要强化标准化建设和数字化网联能力，包括服务低空的通导监(CNS)能力、辅助飞行的微气象和电磁环境服务、提供低空起降和充电的各类地面设施、管控非合作目标的手段等。低空基础设施应该具备数字化网联能力，为低空经济的全链条运行和运营提供全自动化、全智慧化的数字化基础。

全新一代的空天地一体化CNSiM（通讯、导航、监视、情报、气象）能力的主要技术手段有包括但不限于：地面5G移动公网（5G-A）、宽带通信网、数据链和低轨卫星互联网等通信手段；地基增强系统GBAS、星基增强系统SBAS、惯导、视觉导航、UWB、激光雷达、4D雷达、GNSS导航和融合导航等导航手段；一/二次雷达、ADS-B、无线信标、Remote ID、光电探测、通感遥一体等监视手段；气象激光雷

达、四维高分辨率数值气象预报系统；满足民航运行/交通管理要求的自动化机场、一体化机巢、自动化充电站、自动化应急降落点等。

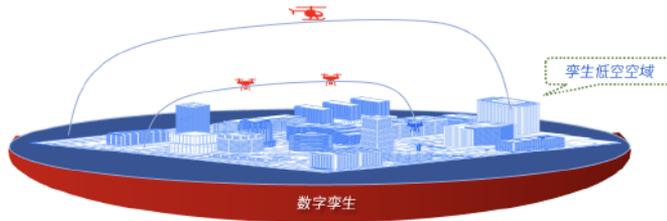
空域数字化管控

数字化空域是低空经济有效管控的关键措施。通过数字孪生、城市CIM、三维地理信息地图等技术，构建空域、城市、设施、无人机等实时数字孪生系统，支撑“安全、协同、高效”的数字空域，推动低空空域从“可通达”到“可计算”到“可管控”到“可运营”性质的数字化变革。

空域数字化管控，为空域划设、空域管制、空域网格、空域容量、航路划设、航班排序、导航规划、飞行监测、冲突探测、冲突解脱、运行仿真、场站规划、风险规避、应急处置、非合作目标监管等低空业务提供数字化基础。

空域建模

- 基于地理信息数据和BIM空间数据融合，及场景自定义编辑，实现大规模、高精度三维建模

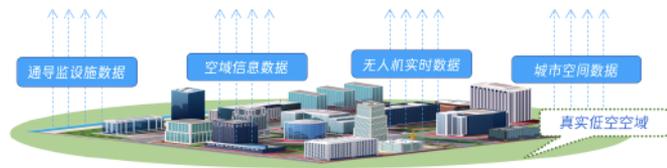


时空计算

- 基于数字化孪生空域，联合行业专家和低空生态共建四维时空计算，例如飞行冲突校验，保障飞行安全

数据融合

- 无人机、空域、CNS设施实时数据融合，低空空域运行态势实时感知



仿真模拟

- 依托低空数字孪生体，联合行业专家和低空生态，构建低空领域算法仿真/训练能力，加速产业协同发展

图7-5，腾讯数字孪生技术在低空空域的应用，资料来源：腾讯研究院。

低空数字化监管

低空数字化监管是低空交通和管理全自动化运行和运营的突出表现。

低空运行监管通过数字化技术，实现各类低空运行要素的大数据汇聚，包括但不限于精确的城市三维空间地理模型、权威的管制空域和电子围栏数据、完整的高空航路航班数据和低空航路航线数据、全面的低空飞行计划清单、实时的各类低空飞行器运行轨迹、可靠的空中气象和电磁等运行环境、完善的地面通导监和机场机巢状态、动态的地面客流车流等影响因素等，经过大数据的清洗、加工、汇聚、整理，通过AI分析和预测，向运营人、民航空管、政府监管等部门提供各类低空数字化监管服务，并通过数字孪生大屏等技术，在各单位的业务监控中心展现低空运行运营的综合态势。

协同数字化服务

低空经济关联方之间的必须保持好数字化协同。

低空经济涉及无人机制造和销售、军民航管理、地方政府监管和场景应用的方方面面，跨部门、跨产业、跨主体、跨地区、跨服务人、跨空域的数字化协同服务也越发重要。

数字化的低空交通系统需要向低空业务关联方提供全面的、实时的、安全的低空协同数据服务。数字化低空交通系统需要实时采集获取并相互协同以下相关信息：通导监运行和保障信息、管制空域和适飞空域信息、航线航路规划和调整信息、飞行申请和冲突信息、飞行计划信息、飞行计划冲突和协调信息、地面影响因素信息、紧急避让服务、应急保障服务等，系统需要构建一套完整的空域数字化协同服务基础能力，保障低空经济业务的安全开展。协同化服务同时还包含向公众和消费者可开放的低空飞行支撑的能力服务。

算力数字化支撑

随着低空经济业务的完善扩展，低空经济业务系统对算力需求越来越庞大，算力分散在“云”、“网（空天地）”和“端（飞行器）”三个不同部分。

低空经济数字化涉及空域、飞行器、航路航线、气象、飞行计划、空间计算、孪生仿真、风险评估与预测、AI识别、视频分析等大规模的低空各类业务计算，涉及对城市低空十万乃至百万架以上飞行器的自动化监管和智慧化服务，其对算力要求是非常巨大的。

数字化的低空交通体系，底层需要有成熟、可靠、超大规模计算的云网边端分布式的算力平台的支撑，满足低空经济的生产、监管、运营、服务的智慧化运行要求。

算力数字化支撑的关键技术，主要包含：飞行器自身的智能化算力、基础的云平台技术（计算、存储和网络的虚拟化）、容器化、微服务、大数据技术、人工智能AI技术、物联网技术、数据库技术（关系数据库、内存数据库、时序数据库、地理信息数据库等）、低空智能化管控和服务算法、边缘段的通感算力等。

安全数字化保障

低空经济的运行保障，涉及到空域管理、民航运行、城市三维空间、无人机飞控、企业运行和个人隐私等一系列涉及公共、企业、个人的关键业务和隐私数据，安全保障非常关键。数字化的低空交通体系包含地面遍布全市的低空通导监设备、分布式的低空感知和计算节点、空中大量的无人机及其网络数据通道以及低空交通管理云平台，整体涉及到的安全环境比较复杂。

低空安全数字化保障，在网络安全、数据安全、恶意攻击防护、通信链路安全、飞行器飞控安全以及非合作目标的反制等方面，都要有全面的数字化安全防护手段。



图7-6，腾讯低空数字化框架：算力数字化+空域数字化+协同数字化+监管数字化+安全数字化

腾讯聚焦低空交通数字化体系建设需求，基于丰富的数字化政企服务经验，提出面向未来低空交通的数字化框架。腾讯的低空数字化解决方案，为低空空域管理和运营提供数字化和智能化技术工具，为低空经济各关联方提供全数字化的智能管理手段和运营服务，为政府和行业主管部门提供强有力的管理和决策依据。

7.2 应用市场发展趋势

载人客运是eVTOL的发展方向和核心场景，但市场启动需要一段导入和培育期

EASA认为，与公路运输相比，乘坐空中出租车发生致命事故的风险更低，通行时间平均节省15-40分钟，紧急/医疗运送时间节省70%以上，并且可以降低二氧化碳排放量。eVTOL现阶段最主要的应用是替代直升机在测绘、消防救援、电力巡线、警用巡查、安防、医疗救护、搜救、海上石油钻井等领域的应用。载人客运虽是eVTOL的核心发展方向，但在市场成熟前，eVTOL应用首先将在货运物流、城市服务、消防救灾等场景中启动运营，待各项技术成熟、政策完善和市场接受度提高后，大规模进入载客运营。许多公司和机构在构思和研究空中交通的共享出行模式。

eVTOL的航程性能将持续提高，电力驱动的天空交通将从城市向区域出行转变

受限于当前电池能量密度不足，eVTOL普遍定位于城市或城市群内交通出行工具。但随着电池技术的发展、eVTOL续航里程增加，RAM市场启动会水到渠成，也将成为利润更好的业务。除此之外，还有以下因素会加速eVTOL作为对高铁、轮船的补充/替代，实现高效的城际交通：城际和区域出行的单位经济效益高、为客户节省的时间多、所需的飞行频率和机队密度较城市内飞行低、对城市社区的噪音影响小。

eVTOL机型适航取证有序推进，产业生态不断完善、加速构建

头部eVTOL企业的机型将在2025-2026年大量完成取证，并投入市场化运营。在此背景下，上游供应商、基础设施、运营商、空管和航行保障服务商、维修商、人员培训机构、金融服务机构等都将加速布局。同时带动了航空、汽车、物流、新能源企业利用已有业务基础进入行业。

整机制造市场将进入整合期，市场集中度进一步提高，实力较弱的厂商面临淘汰

eVTOL的研发取证和市场推广成本很高，而且盈利回收周期很长，是典型的航空制造业项目特征。随着2025年头部厂商型号大量取证和商业运营，融资和研发能力较弱的厂商面临的竞争压力将进一步增大。2023年，谷歌创始人拉里·佩奇投资的eVTOL制造商Kitty Hawk在融资、技术和商业化都有障碍的情况下选择关闭。而Kitty Hawk投资的无人驾驶eVTOL制造商Wisk Aero，得到了原投资者波音的全资收购。



08

PART

结论和建议



通过对全球和中国eVTOL和空中交通产业发展的回顾，以及未来发展展望，我们认为：eVTOL是一个值得发展的重要产业，它是科技创新性的产业，经济回报前景广阔；对上下游拉动作用巨大，其科研活动还能影响和推动其它产业的发展，是全球主要工业强国争相发展的产业，也是当下投资机构最为关注的产业之一。

不过，与欧美国家以及头部企业相比，中国的eVTOL和城市空中交通产业发展现状还有很多不足，亟须政府和行业生态单位一起努力改善：

从企业面看

中国的eVTOL整机研发制造企业规模仍然偏小，融资规模偏低。2023年，中国的头部企业刚刚组成了亿元俱乐部；而欧美的头部企业标准是融资5亿美元起步。整机和配套企业适航工程经验匮乏，而这没有捷径，只能通过型号项目逐步锻炼。

从产业链角度看

中国的eVTOL和城市空中交通产业缺乏大型航空公司的参与；而欧美的领导性航空公司几乎全部下场；缺乏大型机场管理运营单位参与，像法兰克福、慕尼黑、米兰、伦敦等大型民航机场都与eVTOL/UAM产业合作建设起降场设施，而国内的大型民航机场要保守的多。中国的产业链协同和参与度不够。需要补齐短板，增强全产业链的竞争力和抗风险能力。

从政策面看

相比欧美政府的实实在在政策支持，如订单支持、直接资金补贴，促成本国头部企业领跑全球，抢占行业发展优势，中国政府可以考虑更积极的措施。需要由政府牵头，对标欧美工业强国，制定初创企业引导、孵化器和加速器服务、产业创新投资基金、运行概念验证和运行试点、建立未来飞行挑战大赛、关键通用性技术协同攻关等一揽子的支持性政策和行动措施，并落实到位。

从资本面看

由于缺乏行业上下游头部企业参与支撑、企业缺乏适航工程经验、制造业产业链配套不完善等因素，中国eVTOL/UAM企业项目估值偏低；受市场大环境影响，近年来社会投资相对保守，企业融资也更加困难。但中国是全球最大新兴经济体，市场潜在需求仍然巨大、发展机遇仍在；投资机构经过一段时间

调整，仍应关注eVTOL为代表的低空经济和战略新兴产业项目，而国有投资机构更应在此过程中发挥好担当作用。

从国际合作角度看

尽管存在地缘政治、贸易战等因素影响，国际合作和开放性的市场仍然是培育强大的航空产业必须的。需要政府和全行业坚持开放心态和对中国市场、产业和企业自信，需要引入更多的全球头部企业和项目，以进一步促进中国eVTOL和城市空中交通产业生态的高质量发展。只有充分竞争，才能促成有全球竞争力的产业出现。引进特斯拉与中国电动车行业的高度发达就是一个很好的例子。还要推动中国eVTOL和城市空中交通产业链走出国门，为全球经济建设和发展贡献自己的力量；要在更广阔的市场接受不同客户的锤炼，有更开阔的视野和开放的心态，培养具有全球化经营能力的年轻一代，避免出现行业加拉帕格斯效应。

附录1. 缩略语和术语表

缩略语	术语或缩略语全称	中文
AAM	Advanced Air Mobility	先进空中交通
AFWERX	/	美国空军创新中心
/	Air Carrier	航空运营人
AFHA	Aircraft Functional Hazard Assessment	航空器功能危害评估
AFRL	Air Force Research Laboratory	(美国) 空军研究实验室
AFTA	Aircraft Fault Tree Analysis	航空器故障树分析
Agility Prime	/	敏捷至上项目
AMC	Acceptable Means of Compliance	可接受的符合性方法
ANSP	Air Navigation Service Provider	空中航行服务商
ASA	Aircraft Safety Assessment	航空器安全评估
ATC	Air Traffic Control	空中交通管制
ATI	UK Aerospace Technology Institute	英国航空航天技术研究所
ATM	Air Traffic Management	空中交通管制
CAA	UK Civil Aviation Authority	英国民航局
CAMP	Continuous Airworthiness Maintenance Program	持续适航维修大纲
CDI	Compliance Demonstration Item	符合性验证项目
CP	Certification Plan	适航取证计划
CRI	Certification Review Item	审定关注项目
CRI-A-1	/	EASA适航审定基础确认文件
CS	Certification Specification	审定标准 (规范)
DAL	Design Assurance Level	设计保证水平
DASA	Development Assurance and Safety Assessment	研制保证和安全性评估
DDP	Declaration of Design and Performance	设计和性能声明
DEP	Distributed Electric Propulsion	分布式电动推进
DOA	Design Organisation Approval	设计组织批准

缩略语	术语或缩略语全称	中文
EASA	European Aviation Safety Agency	欧洲航空安全局
eCTOL	Electric Conventional Take-Off and Landing	电动常规起降
EPTS	Environmental Protection Technical Specification	环境保护技术规范
eSTOL	Electric Short Take-Off and Landing	电动短距起降
ETM	Upper Class E Traffic Management	E类以上空域管制
eVTOL	Electric Vertical Takeoff and Landing	电动垂直起降
FAA	Federal Aviation Administration	联邦航空局
FCS	Flight Control System	飞行控制系统
FDAL	Functional Development Assurance Level	功能研制保证等级
FTP	Flight Test Program	试飞大纲
GM	Guidance Material	指导材料
GTP	Ground Test Program	地面测试大纲
HSVTOL	High Speed VTOL	高速垂直起降项目
IAM	Innovative Air Mobility	创新空中交通
ICA	Instructions for Continuing Airworthiness	持续适航指南
IDAL	Item Development Assurance Level	项目研制保证等级
IMA	Integrated modular avionics	综合模块化航电
LoI	Letter of Intent	意向协议
MBSA	Model-Based Safety Assessment	基于模型的安全评估
MC MoC	Means of Compliance	符合性方法
MoU	Memorandum of Understanding	合作备忘录
MRBR	Maintenance Review Board Report	维护审查委员会报告
MVCA	Manned VTOL-Capable Aircraft	有人驾驶VTOL航空器
NAS	National Airspace System	美国国家空域系统
NASDAQ	/	纳斯达克证券交易所
NIAR	National Institute for Aviation Research	美国国家航空研究所

缩略语	术语或缩略语全称	中文
NPA	Notice of Proposed Amendment	拟修改定法规通告
NPRM	Notice of Proposed Rulemaking	法规制定通告
NTSB	National Transportation Safety Board	美国国家交通安全委员会
NYSE	New York Stock Exchange	纽约证券交易所
POA	Production Organisation Approval	生产组织批准
/	Powered-Lift	动力起降航空器
PSCP	Project Specific Certification Plan	专项合格审定计划
PSP	Partner for Safety Plan	安全合作保障计划
PSSA	Preliminary System Safety Assessment	初步系统安全性评估
RAM	Regional Air Mobility	区域空中交通
SARP	Standards and Recommended Practices	标准和建议实践
SC	Special Condition	专用条件
SCISP	Single Common Info Service Provider	单一通用信息服务商
SFAR	Special Federal Aviation Regulation	特别联邦航空条例
SFHA	System Level Functional Hazard Assessment	系统级功能危害性评估
SPAC	Special Purpose Acquisition Company	特殊目的收购公司
SSA	System Safety Analysis	系统安全性分析
SVO	Simplified Vehicle Operations	简化航空器操作
TAM	Total Addressable Market	可实现市场规模
TC	Type Certificate	型号合格证
UAM	Urban Air Mobility	城市空中交通
USSOCOM	United States Special Operations Command	美国特种作战司令部
USSP	U-Space Service Provider	U-Space服务商
UTM	Unmanned Traffic Management	无人系统交通管制
xTM	Extensible Traffic Management	可扩展的空中交通管理

主编

胡轶强 张雪琴

执行主编

Andrea Spiriti Franck Dubarry 启媛（英文版）

陈梦珂 贺群辉 陈维宣 陈楚仪 杨钟灵

顾问委员会

姓名	单位	职务
杨拴昌	中国欧洲经济技术合作协会欧盟工作委员会	会长
石靖敏	工业和信息化部原装备工业司	副巡视员
范恒山	国家低空经济融合创新研究中心专家指导委员	主任
翟永平	腾讯战略发展部	高级顾问
司晓	腾讯集团/腾讯研究院	副总裁/院长
廖小罕	中国科学院地理资源所/中国民航局民航低空地理信息与航路重点实验室	原党委书记、研究员主任
金伟	中国无人机产业创新联盟	副秘书长
敖万忠	国家低空经济融合创新研究中心	主任
吕宜宏	国家低空经济融合创新研究中心	首席专家
陈梦珂	腾讯智慧交通	副总经理
刘琼	腾讯研究院	产业研究中心主任
吴绪亮	腾讯研究院	首席经济学顾问
王强	腾讯研究院	前沿科技研究中心主任
查晓刚	腾讯研究院	国际资深专家
李方正	北京艾迪智联科技有限责任公司	总经理
薛涛	北京艾迪智联科技有限责任公司	低空产业副总监
狄文	交通运输部全国交通一卡通数据交换中心	副主任
马莉	中国民航科学技术研究院航空运输低空经济室	主任

姓名	单位	职务
杨 蕤	中国民航管理干部学院	教授
裴 彬	中国民用航空华东区空中交通管理局浙江分局	主任
覃 睿	中国民航大学交通科学与工程学院	教授
朱新宇	中国民航飞行学院航空电子电气学院	院长
慕 琦	广州民航职业技术学院民航经营管理学院	副院长
靳永发	首都机场集团商务航空管理有限公司 中国民用机场协会商务航空服务分会	副总工程师 总干事
沙长安	广东省无人机行业协会 清华大学跨界创新专家委员会	名誉会长 委员
张利国	北京理工大学未来立体交通研究院	副院长
吴 翔	北京航空航天大学通用航空产业研究中心	高级研究员
王战超	中国航空工业民机系统工程研究中心	常务副主任
陈树生	西北工业大学航空学院	教授
李悦立	中国航空工业集团公司第一飞机设计研究院	创新中心副主任
刘尔冬	中航（成都）无人机系统股份有限公司	适航委任代表
崔龙舟	中国飞行试验研究院	试飞员/飞行教员
朱左斌	中国飞行试验研究院质量安全部	主任
曲德凯	中国航空规划设计研究总院有限公司 综合规划研究院产业促进中心	主任
郑 华	嘉兴南湖路空协同立体交通产业研究院 复旦大学国际公共关系研究中心	院长 研究员
薛傅龙	嘉兴南湖路空协同立体交通产业研究院 中国航空学会飞行汽车分会	副院长 副主任委员
邢建武	浙江省航空护林管理站	副站长
张 磊	汉高（中国）投资有限公司	新兴业务经理

