

低空航空器动力电池技术路线图

(2025 版)

低空航空器动力电池研究工作组
2025 年 11 月

编委会

主任

刘法旺

副主任

王建斌 韩成业 孙信 薛松柏

编委（按姓氏拼音排序）

安黎	蔡雨	曹晨	陈娟
陈婉容	崔言明	邓小东	樊馨月
冯嘉仪	关俊山	郭佳	胡伟
江柯成	姜丹	金伟	李春芳
李建立	李勐	李清	刘辰璞
刘贯东	刘嘉宁	刘剑平	刘十一
卢欢	卢宇芳	吕鹏	申奇
盛建斌	宋小明	唐海波	陶建坤
田野	王珂	王颖	王超越
王飞鸿	王建杰	王澎	王寅
王雨	魏婧芫	翁志福	吴湘江
武进壮	谢陵	邢双喜	杨浩
姚振辉	尹艳萍	余华强	云亮
张衡	张新丰	张智明	赵海龙
赵世佳	郑翔	周明岳	朱冠楠

核心编制单位

工业和信息化部装备工业发展中心
辽宁通用航空研究院
万丰飞机工业有限公司
四川沃飞长空科技发展有限公司
宁德时代新能源科技股份有限公司
惠州亿纬锂能股份有限公司
同济大学
中国汽车动力电池产业创新联盟

参与编制单位（按拼音排序）

北京卫蓝新能源科技股份有限公司
重庆长安股份有限公司
弗迪电池有限公司
孚能科技（赣州）股份有限公司
国轩高科股份有限公司
赣锋锂业集团股份有限公司
江苏正力新能电池技术股份有限公司
零重力飞机工业有限公司
厦门市产品质量监督检验院
欣旺达电子股份有限公司
亿航智能控股有限公司
上海沃兰特航空技术有限责任公司
上海峰飞航空科技有限公司

上海御风未来航空科技有限公司
广州汇天航空航天科技有限公司
浙大城市学院
中电科蓝天科技股份有限公司
中国电子科技集团有限公司总体院
中国电子科技集团第十八研究所
中国汽车工程研究院股份有限公司
中创新航科技股份有限公司
中汽研汽车检验中心（天津）有限公司
中山福昆航空科技有限公司
中信重工洛阳储变电系统有限公司

目 录

一、前言	2
(一) 研究意义及目的	2
(二) 低空航空器分类和研究范围	3
二、低空航空器动力电池技术指标要求	5
(一) 低空航空器动力电池适航要求	5
(二) 低空航空器动力电池主要技术指标及相关定义	7
(三) 电动垂直起降航空器对动力电池的技术指标要求	10
(四) 电动固定翼航空器对动力电池的技术指标要求	11
三、技术发展现状及面临挑战	13
(一) 技术现状	13
(二) 面临挑战	15
四、技术路线图	18
(一) 技术路线图范围界定	18
(二) 总体技术路线图	18
(三) 动力电池关键材料技术路线图	22
五、重点攻关任务	26
(一) 高能量密度新型电池体系开发	26
(二) 高安全与可靠性电池系统集成技术开发	26
(三) 研究制定低空航空器动力电池标准路线图	27
(四) 高一致性统型电芯开发与标准化	28
六、政策建议	28
(一) 统筹战略布局，强化顶层设计引领	28
(二) 筑牢安全防线，健全监管体系框架	29
(三) 激活创新动能，构建产业协同生态	29
(四) 聚焦规范发展，推进标准体系建设	30
(五) 提升技术支撑，完善检测认证能力	30
(六) 优化发展环境，培育产业生态沃土	31
附件：缩略语	32

一、前言

（一）研究意义及目的

低空经济作为战略性新兴产业，应用场景丰富，广泛覆盖城市空运、区域通勤、物流配送与观光旅游等应用领域，其运行空域与传统航空相互补充，是解决空中出行“最后一公里”的关键环节，有望率先实现规模化商业落地。

当前低空航空器更多聚焦中短距离应用场景，因此，纯电动低空航空器成为主流选择之一，目前整机企业中采用纯电动技术方案的比例超过90%。然而，作为纯电动低空航空器的“心脏”，当前动力电池在能量密度、功率密度、循环寿命、安全可靠性及快充性能等关键指标上，仍难以全面满足低空航空器对续航能力、有效载荷、高安全性以及经济性的综合需求，成为制约其大规模商业化应用的核心瓶颈。

为贯彻国家“十五五”规划部署，科学引导政府规划、企业研发与产业链协同创新，高效集聚创新资源，加快高性能低空航空器用动力电池技术突破与产业化进程，支撑我国低空产业安全、可持续发展，并在全球未来交通科技竞争中抢占战略制高点，由行业领先的整机及电池企业、行业机构和高校院所联合组成低空航空器动力电池研究工作组，共同编制《低空航空器动力电池技术路线图（2025版）》，（以下简称“路线图”）。

本路线图紧密围绕我国低空产业发展的实际需求，系统梳理了电动航空器动力电池技术的发展现状与技术指标要求，针对电动垂直起降航空器（eVTOL）、电动固定翼航空

器等不同机型，制定了短中长期相结合的多元化技术发展路径，旨在明确低空航空器动力电池的关键性能指标，凝聚行业技术共识，引导产业链上下游协同攻坚，为相关领域提供清晰的技术发展预期与路径指引，对推动低空航空器产业突破动力电池关键技术瓶颈，实现高质量发展具有重要的战略意义。

（二）低空航空器分类和研究范围

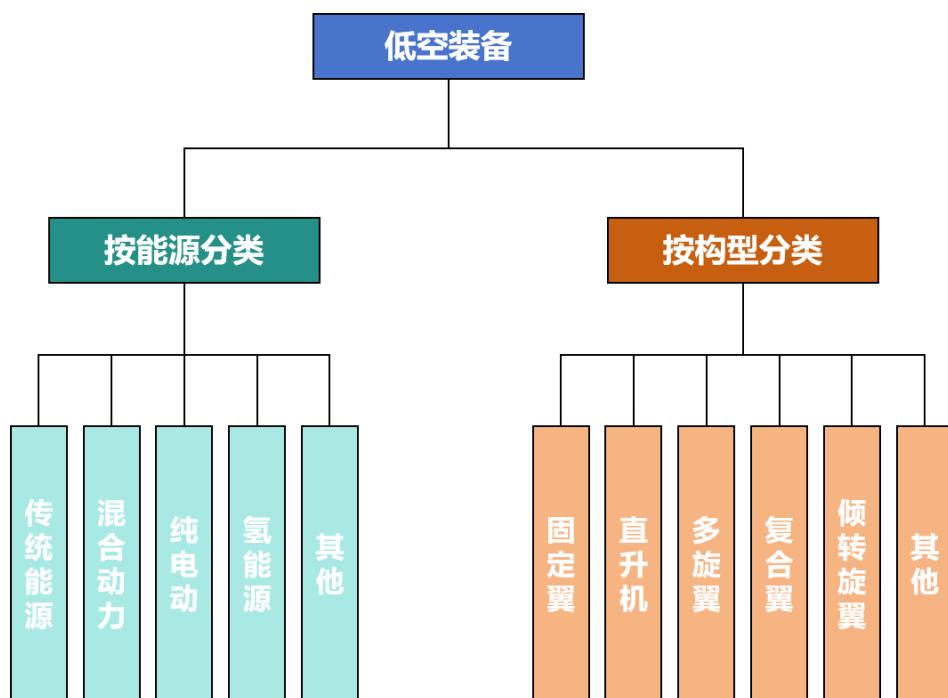


图 1 低空装备分类

本路线图所涉及的低空航空器主要指在低空空域（通常指 3000 米以下所包含的空域）飞行、最大起飞重量不小于 150kg 的航空器，如图 1 所示，按动力来源区分包括传统能源、混合动力、纯电动、氢能源等类型；按构型区分包括固定翼、直升机、多旋翼、复合翼、倾转旋翼、倾转涵道翼等。

电动垂直起降航空器（eVTOL）作为低空交通体系的关

键载体，主要面向城市内短途应用场景，其动力系统需兼顾垂直起降阶段的高功率与巡航阶段的持久续航能力需求；电动固定翼航空器作为通用航空电动化转型的重要方向，主要适用于城市间中途运输，其动力系统更强调高能量密度，以满足长时间巡航飞行的需要。当前，这两类航空器已在商业航空、国防军事、农业植保、科研探测、短途运输、公共服务、低空物流与测绘等多个领域展现出广阔应用场景，并初步形成先导示范效应，具有显著的发展潜力。

当前，电动垂直起降航空器和电动固定翼航空器正处于应用验证迈向量产的关键阶段，动力电池的性能与成本已成为其快速发展的关键卡点。需要说明的是，当前低空航空器主要聚焦短途应用，基本采取纯电动技术路线。为推动下一代动力电池技术路线的科学制定与产业合理布局，本路线图围绕纯电动的 eVTOL 与电动固定翼航空器两类典型低空航空器的动力电池技术路线图，开展深入研究与整体规划，混合动力、氢能源等技术作为低空航空器电动化发展的重要技术路线，将在后续研究中持续更新完善。

二、低空航空器动力电池技术指标要求

为全面提升低空航空器的综合性能，推动其应用验证和投入量产，动力电池需在能量密度、功率密度、循环寿命、安全性与可靠性等关键技术指标上实现系统性突破。面向商业化大规模应用，低空动力电池性能需在满足适航要求基础上，兼顾“三高一快一长”——即高安全、高能量密度、高功率密度、快速补电（充/换）能力和长寿命。

（一）低空航空器动力电池适航要求

全球各国航空局的适航规章均对航空动力电池的安全性、可靠性与环境适应性提出了全生命周期要求。航空动力电池系统须通过热失控传播、过充过放、短路、机械冲击、振动及极端温度测试等在内的一系列审定试验，以保障其在各种极端工况下无灾难性故障风险。同时，电池系统还需具备健全的状态监控与故障预警功能，并满足阻燃、毒性释放及安装防护等严格规定，确保其具备航空应用所需的高安全性与适航符合性。

表 1 各国监管机构对低空航空器动力电池系统的适航要求

监 管 内 容	中国民用航空局 (CAAC)	欧洲航空安全局 (EASA)	美国联邦航空管理局 (FAA)
热 失 控	要求预防并控制热失控（符合 RTCA DO-311A 标准）；必须配备防火外壳；配置气体排放系统以管理有毒气体。	满足 SC-VTOL (2023) 规定的 5 分钟热失控控制要求；确保电池单体故障不扩散；配备强效热管理系统 (TMS)；适用标准：EUROCAE ED-60、ED-138C。	要求预防并控制热失控（符合 RTCA DO-311A）；配备安全排气和灭火系统；开展过充/滥用场景的全面测试。
撞 与	10—15 米跌落测试模拟坠毁冲击；撞击后确保无泄漏、	15—20 米跌落测试；承受 20g 冲击力且不起火、不泄漏；	10—15 米跌落测试 (RTCA DO-311A、MIL-STD-810H)；

跌落测试	无起火；符合 RTCA DO-311A 标准；采用抗冲击外壳。	撞击后保持结构完整性。	模拟 20g 紧急着陆冲击撞击后不得出现危险故障模式。
余设计	冗余电池模块防止单点故障；确保城市空域（1000米以下）飞行安全；电池管理系统（BMS）实现故障隔离。	采用多电源模块，确保持续安全飞行与着陆（CSFL）。	持续安全飞行着陆（CSFL）容错系统（符合 14CFR 第 23 部）；采用冗余架构防止电力中断；必须配备实时故障检测的电池管理系统（BMS）。
境测试	工作温度范围 -20°C 至 +70°C，适应高湿度环境 振动与海拔测试符合中国标准（与 RTCA 协调）；针对中国多样化运行条件设计。	工作温度范围 -40°C 至 +70°C，具备电磁干扰（EMI）防护能力（EURO CAEED-14G）；振动、海拔及热冲击测试；重点关注城市及垂直起降场环境适应性。	工作温度范围 -40°C 至 +70°C，符合电磁干扰（EMI）标准（MIL-STD-810H、RTCA DO-160）；低空运行振动和疲劳测试；满足耐久性加速寿命测试。
据要求	需记录 BMS 实时数据供飞行后分析；需提供长期性能数据；认证支持加速测试数据。	需提供全面故障模式分析及全生命周期数据（SC-VTOL）；符合国际民航组织（ICAO）全球协调要求。	包括 1000+ 次循环模拟的全面测试数据（RTCA DO-311A）；极端情况的实证数据；通过五阶段认证流程。
键标准	RTCA DO-311A（适配版）；中国适航标准（如 CCAR-23 针对电动垂直起降航空器）；低空空域（G 类/W 类）内部管理指南。	SC-VTOL-01（2023）、EURO CAEED-248/ED-60/ED-14G；锂电池安全标准 UL1642 垂直起降场专用安全规范。	RTCA DO-311A、MIL-STD-810H、DO-160；14CFR 第 23 部（适航标准）；FAA 垂直起降场设计标准（2022 年）。

表 2 现有适航规章对航空动力电池的规范要求

标准号	标准文件名称	对动力电池具体要求
SAE ARP7131-2024	普通类飞机和旋翼机大型电能存储动力总成系统热失控缓解验证流程 Verification Process for Thermal Runaway Mitigation in Large Electrical Energy Storage Powertrain Systems in Normal Category Aircraft and Rotorcraft	规范普通类飞机和旋翼机大型电能存储动力总成系统的热失控测试验证流程。
RTCA DO-160G	机载设备环境条件和试验程序 Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment	针对动力电池及其 BMS 系统的环境鉴定测试规范进行了规定。包含：高温、低温、低气压、防水、防尘等。
RTCA DO-178C	机载系统和设备认证中的软件注意事项 Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification	BMS 系统软件的适航要求。

RTCA DO-254	机载电子硬件设计保证指南 Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware	BMS 系统硬件的适航要求。
AC 20-184	飞机上可充电锂电池和电池系统的测试和安装指南 Guidance on testing and installation of rechargeable lithium battery and battery systems on aircraft	锂电池及其电池管理系统的测试、评估与安装标准。
RTCA DO-311A	可充电锂电池系统最低运行性能标准 Minimum Operational Performance Standards for Rechargeable Lithium Battery Systems	针对电芯、电池包的性能，安全性能及其测试等做出了要求。
SC-VTOL-01 Issue 1	小型垂直起降航空器专用条款 Special Condition for small-category VTOL aircraft	电池需要 15g 冲击，储备足够的冗余能量。
MOC-1 SC-VTOL Issue 4	VTOL 航空器专用条件的符合性方法 Means of Compliance with the Special Condition VTOL	遵循 SAE ARP 4754A 和 ARP 4761 标准，通过功能危害性分析（FHA）评估动力系统等关键组件的失效风险。
MOC-2 SC-VTOL Issue 3	第二次发布 eVTOL 航空器专用条件的符合性方法 Second Publication of Means of Compliance with the Special Condition eVTOL	针对非载人 eVTOL 基础适航要求。要求电动推进系统需满足双通道失效容错（如单电池失效时仍能安全着陆），并规定电池热失控的抑制时间。
MOC-3 SC-VTOL Issue 2	第三次发布 eVTOL 航空器专用条件的符合性方法 Third Publication of Means of Compliance with the Special Condition eVTOL	聚焦载人 eVTOL 的增强型运行（如城市空中交通 UAM），要求系统级冗余和复杂环境适应性。要求电动推进系统需满足双通道失效容错（如单电池失效时仍能安全着陆），并规定电池热失控的抑制时间。
MOC-4 SC-VTOL Issue 1	第四次发布拟议 eVTOL 航空器专用条件的符合性方法 Fourth Publication of Proposed Means of Compliance with the Special Condition eVTOL	针对载人 eVTOL 的增强类运行制定的符合性方法，适用于城市空中交通（UAM）等高风险场景，安全目标为 10^{-9} 事故率/飞行小时。需满足多电推进失效冗余。电池系统需通过热失控抑制测试（如单电芯失效时触发隔离机制）。

当前，国内外适航管理机构主要参考现有航空器低压电池标准、航空电子设备相关规范，以及电动汽车动力电池相关标准作为审定基础，尚未形成针对低空航空器动力电池的专用适航标准。

（二）低空航空器动力电池主要技术指标及相关定义

参考国标 GBT 31486—2024《电动汽车用动力蓄电池电性能要求及试验方法》和 HB 6167 民用飞机系列标准，定义了低空航空器动力电池主要性能指标，具体如下：

1 能量密度

单位质量/体积的动力电池所能存储的电能总量，是决定低空航空器续航能力的核心指标，分为质量能量密度（单位：Wh/kg）和体积能量密度（单位：Wh/L）。

2 功率密度

单位质量的动力电池在瞬时或持续工况下输出功率的能力，直接影响低空航空器的起飞爬升、抗气流扰动及应急加速性能，分为瞬时功率密度（单位：W/kg）和持续功率密度（单位：W/kg）。

3 充放电倍率

衡量电池快速充放电的能力，通常用一定时间内可充/放的电量比例表示。充放电倍率影响低空航空器的操控性能以及运营效率，分为持续充放电倍率和峰值充放电倍率。如 eVTOL 垂直起降时需要更大的升力，放电倍率需更高；快充能力直接影响低空航空器电能补给速度，对运营效率和运营成本有直接重大影响。

4 电池循环寿命

动力电池在充放电循环中，容量衰减至初始容量 80% 时的总循环次数，影响低空航空器的运营成本。为满足日均

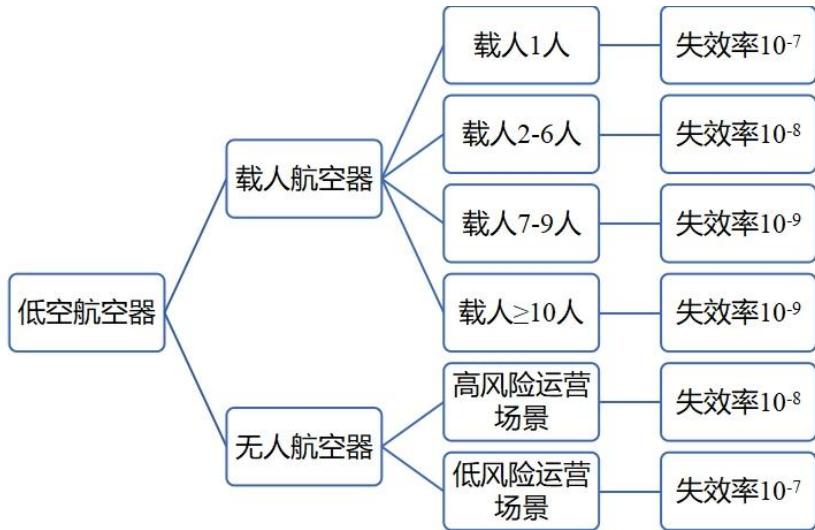
5 次以上起降的商业运营需求，电池需具备 2000 次以上的循环寿命。电池寿命延长可降低更换频率，提高经济性。

5 温度适应性

衡量动力电池在极端高低温环境下保持性能稳定的能力，指标分为不同温度下的能量保持率（单位：%）和容量保持率（单位：%）。考虑低空航空器飞行过程中高低空升降过程中环境温度的瞬变，其动力电池需要在-40°C—-20°C的低温环境下保持一定的放电能力，同时在 55°C高温下长时稳定工作，短时工作可承受 70°C 高温。

6 安全性与可靠性

动力电池在过充、过放、短路、跌落、热冲击、机械冲击（含鸟撞击和着陆冲击等）、高温高湿、减压试验、振动、盐雾等极端工况下，具备包容热失控、起火、爆炸等能力。动力电池需要在多单体失效的情况下保持正常工作，在部分故障情况下通过“持续安全飞行着陆（CSFL）容错系统”保持飞行器安全着陆。电池故障包括热安全性（热失控后不发生热扩散）、电安全性（单点故障或同一模块多点故障后，通过多电源模块或者母线供电维持安全着陆）。低空航空器对动力电池安全性要求极高，如美国联邦航空管理局和欧洲航空安全局要求因电池故障导致的飞行事故率需低于 10^{-7} /飞行小时和 10^{-9} /飞行小时，如图 2 所示。



(三) 电动垂直起降航空器对动力电池的技术指标要求

相较于新能源汽车，电动垂直起降航空器（eVTOL）用动力电池在各项性能上均面临更高门槛，其核心性能的目标指标具体要求如表 3 所示。

表 3 电动垂直起降航空器（eVTOL）对动力电池性能主要指标要求

主要指标	电芯目标要求	电池系统目标要求
能量密度	$\geq 400 \text{ Wh/kg}$	$\geq 300 \text{ Wh/kg}$
功率密度	$\geq 2000 \text{ W/kg}$	$\geq 1600 \text{ W/kg}$
充放电倍率	持续放电倍率 $\geq 5\text{C}$ ，峰值放电倍率 $\geq 8\text{C}$ ； 充电时间小于 15 分钟（20%SOC 充电至 80%SOC）。	持续放电倍率 $\geq 5\text{C}$ ，峰值放电倍率 $\geq 8\text{C}$ ； 充电时间小于 15 分钟（20%SOC 充电至 80%SOC）。
循环寿命	≥ 2000 次	≥ 1500 次
温度适应性	-40°C~55°C 环境可稳定高效运行； -20°C 容量保持率 $\geq 90\%$ 。	-40°C~55°C 环境可稳定高效运行； -20°C 容量保持率 $\geq 90\%$ 。
安全性和可靠性	灾难级故障率 $\leq 10^{-9}/\text{飞行小时}$ （载人）、 $\leq 10^{-7}/\text{飞行小时}$ （无人）； 满足美国 RTCA DO-311A 标准及坠撞安全要求。	灾难级故障率 $\leq 10^{-9}/\text{飞行小时}$ （载人）、 $\leq 10^{-7}/\text{飞行小时}$ （无人）； 满足美国 RTCA DO-311A 标准及坠撞安全要求。

为保障量产的 eVTOL 具备足够航程，电池系统能量密度需 $\geq 300\text{Wh/kg}$ （电芯 $\geq 400\text{Wh/kg}$ ）；为有效提升飞行性能、减轻整机重量，电池系统持续功率密度 $\geq 1600 \text{ W/kg}$ （电芯 $\geq 2000 \text{ W/kg}$ ）；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；同时，循环寿命需 ≥ 1500 次（电芯 ≥ 2000 次），并实现 ≤ 15 分钟（20%—80%SOC）快充，以保障经济性与更换频率，降低全生命周期运营成本。在安全可靠性与环境适应性层面，载人航空器灾难级故障率需 $\leq 10^{-9}$ /飞行小时，无人航空器灾难级故障率需 $\leq 10^{-7}$ /飞行小时，并满足美国 RTCA DO-311A 标准及坠撞安全要求。同时，需满足 $-40^{\circ}\text{C}—55^{\circ}\text{C}$ 宽温域下的稳定高效运行，且 -20°C 容量保持率 $\geq 90\%$ ，以增强气候、海拔、地域等环境适应性。

（四）电动固定翼航空器对动力电池的技术指标要求

与 eVTOL 相似，电动固定翼航空器动力电池也需满足“三高一快一长”的基本要求，但在性能指标的侧重上与 eVTOL 存在差异。电动固定翼航空器以城市间中途运输为主要应用场景，更注重长航程能力，因此对动力电池能量密度提出更高要求；相对而言，其对功率密度、充放电倍率及循环寿命的要求可适度放宽。具体指标要求如表 4 所示。

为实现电动固定翼航空器量产应用，电池系统能量密度 $\geq 400\text{Wh/kg}$ （电芯 $\geq 500\text{Wh/kg}$ ）、持续功率密度 $\geq 1200\text{ W/kg}$ （电芯 $\geq 1500\text{ W/kg}$ ）、支持 $\geq 2\text{C}$ 持续放电和 $\geq 4\text{C}$ 峰值放电；同时，循环寿命需 ≥ 1000 次（电芯 ≥ 1200 次），并实现 ≤ 15 分钟（20%—80%SOC）快充；其安全可靠性与环境适应性要求与 eVTOL 保持一致。

表 4 电动固定翼航空器对动力电池性能主要指标要求

主要指标	电芯目标要求	电池系统目标要求
能量密度	$\geq 500 \text{ Wh/kg}$	$\geq 400 \text{ Wh/kg}$
功率密度	$\geq 1500 \text{ W/kg}$	$\geq 1200 \text{ W/kg}$
充放电倍率	持续放电倍率 $\geq 2C$, 峰值放电倍率 $\geq 4C$; 充电时间小于 15 分钟 (20% SOC 充至 80% SOC)。	持续放电倍率 $\geq 2C$, 峰值放电倍率 $\geq 4C$; 充电时间小于 15 分钟 (20% SOC 充至 80% SOC)。
循环寿命	≥ 1500 次	≥ 1200 次
温度适应性	-40°C~55°C 环境可稳定高效运行; -20°C 容量保持率 $\geq 90\%$ 。	-40°C~55°C 环境可稳定高效运行; -20°C 容量保持率 $\geq 90\%$ 。
安全性和可靠性	灾难级故障率 $\leq 10^{-9}/\text{飞行小时}$ (载人)、 $\leq 10^{-7}/\text{飞行小时}$ (无人); 满足美国 RTCA DO-311A 标准及坠撞安全要求。	灾难级故障率 $\leq 10^{-9}/\text{飞行小时}$ (载人)、 $\leq 10^{-7}/\text{飞行小时}$ (无人); 满足美国 RTCA DO-311A 标准及坠撞安全要求。

三、技术发展现状及面临挑战

(一) 技术现状

当前量产的新能源汽车动力电池以磷酸铁锂和高镍三元材料体系为主，单体能量密度普遍处于 180-250Wh/kg 区间。相比之下，低空航空器主要采用三元电池，单体能量密度范围是 280-320Wh/kg。目前低空航空器动力电池能量密度与放电功率虽能基本满足短航程飞行的使用需求，仍难以满足未来低空航空器的多应用场景使用需求，尤其是跨城区远距离（ $\geq 300\text{km}$ ）飞行任务。

1 当前产品基本满足初步应用需求

动力电池作为低空航空器核心部件，已成为企业竞争的关键赛道，动力电池、低空航空器企业纷纷加快相关研发与应用布局。辽宁通航在电动固定翼航空器电池开发及应用方面处于行业前列，采用荣盛盟固利 300Wh/kg 软包电池，完成了双座及四座电动固定翼航空器的适航取证。联合正力新能采用 310Wh/kg 大圆柱电池，成组效率达到 77.7%，于 2025 年 8 月完成适航取证并开始批量化交付；国轩高科已量产能量密度为 285Wh/kg 的“星辰电池”，并支持 4C 快充与 2500 次循环寿命，可实现 9 分钟快充（10%—70% SOC），并与亿航达成合作；亿纬锂能量产了 300Wh/kg 的圆柱电池与 320Wh/kg 软包电池，具备 10C 持续放电、12 分钟与 6 分钟快充、5000 次循环寿命等性能，其 340Wh/kg 软包平台技术也已进入开发阶段，并与多个国外客户建立合作；孚能科技

获上海时的、小鹏汇天等定点项目支持，并拓展海外合作，其量产的第一代与第二代固液混合软包电池，能量密度分别为 285Wh/kg 与 320Wh/kg、快充时间 20 分钟（10%~80% SOC）和 15 分钟（10%~80% SOC）、放电倍率 7C 和 10C。中创新航基于高镍三元体系开发的 46 系列大圆柱电芯已量产配套多款低空机型，其第一代量产电芯能量密度达到 310Wh/kg，具备 10C 放电、18 分钟快充、1800 次循环寿命，电池系统能量密度达 245Wh/kg，电池包 Pack 层级具备双支电芯热失控无热扩散的安全保障。LG 新能源为 Archer Aviation 供应软包电芯，能量密度为 280-320Wh/kg。松下电池向 Joby Aviation 供应 21700 圆柱电芯，能量密度达 300Wh/kg，支持 3C—5C 放电与 1000 次循环寿命。

2 下一代产品向高能量密度与高安全性迈进

在下一代产品开发方面，高能量密度与高安全性成为主要方向。宁德时代与中国商飞合作开发 19 座电动飞机动力电池系统，采用新型正负极材料与极致轻量化创新设计，已完成 400Wh/kg 级技术在 1:2 缩比验证机上的测试。此外，宁德时代正在开发能量密度 500Wh/kg 的凝聚态电池，以满足支线客机需求。欣旺达 2025 年 5 月发布能量密度达 360Wh/kg 的“欣·云霄 2.0”航空动力电池，兼具高比能、高功率、高安全和宽温域特性。中创新航采用固液混合解决方案，正在开发能量密度达 350Wh/kg 的第二代大圆柱电池，支持

10C 以上的持续性放电，耐极限高温达 200°C。亿航智能与欣界能源联合研发能量密度达 480 Wh/kg 的锂金属固态电池。安普瑞斯开发的硅纳米线负极锂电池能量密度达 500Wh/kg，支持 5C 放电。

（二）面临挑战

现有动力电池在技术、法规、标准与产业化等方面仍不能完全满足当前低空航空器技术指标要求，尤其在电动垂直起降航空器（eVTOL）和电动固定翼航空器等典型应用场景中，已成为制约行业规模化与商业化发展的关键瓶颈。

1 技术水平尚无法满足“三高一快一长”的综合需求

一是能量密度亟待提高。作为决定航程、载荷及商业化的核心指标，当前投入量产的新能源汽车动力电池能量密度普遍低于 300Wh/kg，难以支撑低空航空器对长航时与大载重的需求。**二是高功率放电与热管理挑战矛盾突出。** eVTOL 在起降阶段瞬时放电倍率常超过 5C，巡航阶段需要持续 1C 左右持续放电。大倍率运行导致电芯内部极化加剧与热量累积，前者显著降低可用能量，后者则可能诱发热失控，亟需开发高效、轻量化的专用热管理系统。**三是循环寿命成为商业化的关键制约。**低空航空器依赖高频次运营以实现经济性，电池长寿命是商业成功的先决条件。然而，频繁高倍率放电加速了电池活性材料结构老化、SEI 膜重构与电解液分解产气，缩短电池循环寿命。**四是安全性与可靠性面临多维挑战。**高能量密度电池体系普遍采用高镍正极、硅基负极材料，其本征稳定性差，安全窗口窄。同时，航空器运行需经历 5–8g 振

动冲击、-40°C至 55°C宽温域及低气压等复杂工况，对电池结构强度与环境适应性提出了极高要求。**五是快充性能受限。**受能量冗余设计约束，航空动力电池 SOC 常用工作区间通常为 30%—98%。在此范围内，高 SOC 充电速度显著下降，成为制约低空航空器运营效率提升的关键瓶颈。

2 适航认证与测试标准体系不完善

一是专用适航标准尚未建立。现行民航适航法规主要面向长航程（ $\geq 500\text{km}$ ）的传统燃油飞机与直升机的审定框架，在动力电池系统的失效模式分析、安全性评估等方面缺乏针对性指导。企业与审定方在实际操作中多参考低压电池、航电设备等相关标准作为替代，常因标准适用性不足或流程不匹配而延长认证周期。此外，动力电池系统缺乏单独的适航标准，依赖“随机取证”，完整认证周期长达 3—5 年，无法满足电池技术的快速迭代要求。**二是测试规范不成熟且国内外测试标准尚未统一。**国内未形成 eVTOL 专用测试规范，现有测试多借鉴电动汽车静态场景，未能充分模拟高频垂直起降、高空悬停等真实飞行工况，难以准确评估电池在实际运行中的性能衰减与安全风险。同时，缺乏基于不同安全等级的分级测试标准，增加了用户选型与适配的难度。国际上，中国、美国与欧洲在航空电池安全标准方面存在差异，测试结果互认机制缺乏，导致企业需进行重复测试，显著增加合规成本与技术门槛。**三是第三方测试能力存在明显短板。**全球范围内具备完善资质与专业设备的第三方检测机构稀缺，特别在低空航空器动力电池专项检测领域能力薄弱。目前普

遍缺乏高空环境模拟舱、符合 DO-311A 标准的大容量电池热失控试验台、带充放电功能的整包级多轴振动台、电池坠撞与加速度测试试验台等关键设施，制约了高置信度适航验证的有效开展。

3 成本高和供应链体系尚未成熟

一是低空航空器动力电池成本高。其在整机成本中的占比可达 20%—30%，例如在倾转旋翼类机型中约占 20%。由于航空级电池在材料、工艺以及一致性方面的标准远高于车规级产品，其电芯成本可达车用电池的数十倍。此外，高功率电池普遍存在循环寿命较短的问题，需频繁更换，从而进一步推高了全生命周期的运营成本，严重制约了该类电池的大规模商业化应用。**二是产业链体系尚不成熟。**虽然低空航空器动力电池与新能源汽车电池在产业链上有一定重合，但航空级产品对材料质量、电芯制造精度和系统集成可靠性提出了更高要求。目前，符合航空标准的专业化供应链尚未完善，上游材料、中游电芯制造到下游系统集成各环节均存在能力缺口，成为制约低空航空器产业规模化发展的关键瓶颈。

四、技术路线图

(一) 技术路线图范围界定

为有效牵引动力电池技术发展，加快低空经济产业化进程，推动电动垂直起降航空器（eVTOL）与电动固定翼航空器实现商业化应用，结合《绿色航空制造业发展纲要（2023-2035年）》、《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030年）》的总体部署，制定以下阶段性发展目标：到2030年，满足400公里航程的大批量商业化运营需求；至2035年，进一步将航程提升至500公里，持续拓展任务半径与应用场景。围绕上述总体目标，本路线图对电池系统与电芯关键技术指标进行逐级分解，系统而前瞻地勾勒出面向2035年的低空航空器动力电池技术发展路径。

(二) 总体技术路线图

1 电动垂直起降航空器(eVTOL)动力电池技术路线图

电动垂直起降航空器(eVTOL)动力电池分阶段技术发展目标和路径如图3所示。

2025年目标：系统层面，量产的动力电池系统能量密度 $\geq 220\text{Wh/kg}$ ，实现 $\geq 280\text{Wh/kg}$ 应用验证，持续放电倍率 $\geq 5\text{C}$ ；循环寿命 ≥ 1200 次（30%~100%DOD，1C/1C），系统层级安全实现电芯热失控后系统不热扩散、不起火、不爆炸或热包容。电芯层面，量产的动力电池电芯能量密度 $\geq 320\text{Wh/kg}$ ，实现 $\geq 370\text{Wh/kg}$ 应用验证，循环寿命 ≥ 1500 次（30%~100%DOD，1C/1C）。

2027年目标：系统层面，量产的动力电池系统能量密度

$\geq 280 \text{ Wh/kg}$, 实现 $\geq 330 \text{ Wh/kg}$ 应用验证, 持续放电倍率 $\geq 5\text{C}$;
循环寿命 ≥ 1500 次 (30%~100%DOD, 1C/1C), 系统层级安全实现电芯热失控后系统不热扩散、不起火、不爆炸或热包容; 电芯层面, 量产的动力电池电芯能量密度 $\geq 370 \text{ Wh/kg}$, 实现 $\geq 420 \text{ Wh/kg}$ 应用验证, 持续放电倍率 $\geq 5\text{C}$, 循环寿命 ≥ 2000 次 (30%~100%DOD, 1C/1C)。

2030 年目标: 系统层面, 量产的动力电池系统能量密度 $\geq 280 \text{ Wh/kg}$, 实现 $\geq 330 \text{ Wh/kg}$ 应用验证, 持续放电倍率 $\geq 4\text{C}$;
循环寿命 ≥ 1500 次 (30%~100%DOD, 1C/1C), 系统层级安全实现电芯热失控后系统不热扩散、不起火、不爆炸或热包容; 电芯层面, 量产的动力电池电芯能量密度 $\geq 420 \text{ Wh/kg}$, 实现 500 Wh/kg 应用验证, 持续放电倍率 $\geq 4\text{C}$, 循环寿命 ≥ 2000 次 (30%~100%DOD, 1C/1C)。

2035 年目标: 系统层面, 量产的动力电池系统能量密度 $\geq 400 \text{ Wh/kg}$, 实现 500 Wh/kg 应用验证, 持续放电倍率 $\geq 4\text{C}$,
循环寿命 ≥ 1000 次 (30%~100%DOD, 1C/1C), 系统层级安全实现电芯热失控后系统不热扩散、不起火、不爆炸或热包容; 电芯层面, 量产的动力电池电芯能量密度 $\geq 500 \text{ Wh/kg}$, 实现 700 Wh/kg 应用验证, 持续放电倍率 $\geq 4\text{C}$, 循环寿命 ≥ 1200 次 (30%~100%DOD, 1C/1C)。

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	<p>◆ 投入量产</p> <p>安全: 热失控不蔓延 能量密度: 220Wh/kg 放电倍率: 5C 循环寿命: 1200cls</p> <p>◆ 应用验证</p> <p>能量密度: 280 Wh/kg</p>	<p>◆ 投入量产</p> <p>安全: 热失控不蔓延 能量密度: 280Wh/kg 放电倍率: 5C 循环寿命: 1500cls</p> <p>◆ 应用验证</p> <p>能量密度: 330 Wh/kg</p>	<p>◆ 投入量产</p> <p>安全: 热失控不蔓延 能量密度: 330Wh/kg 放电倍率: 4C 循环寿命: 1500cls</p> <p>◆ 应用验证</p> <p>能量密度: 400 Wh/kg</p>	<p>◆ 投入量产</p> <p>安全: 热失控不蔓延 能量密度: 400Wh/kg 放电倍率: 4C 循环寿命: 1000cls</p> <p>◆ 应用验证</p> <p>能量密度: 500 Wh/kg</p>
	电芯	<p>◆ 投入量产</p> <p>能量密度: 320Wh/kg 放电倍率: 5C 循环寿命: 1500cls</p> <p>◆ 应用验证</p> <p>能量密度: 370 Wh/kg</p>	<p>◆ 投入量产</p> <p>能量密度: 370Wh/kg 放电倍率: 5C 循环寿命: 2000cls</p> <p>◆ 应用验证</p> <p>能量密度: 420 Wh/kg</p>	<p>◆ 投入量产</p> <p>能量密度: 420Wh/kg 放电倍率: 4C 循环寿命: 2000cls</p> <p>◆ 应用验证</p> <p>能量密度: 500 Wh/kg</p>	<p>◆ 投入量产</p> <p>能量密度: 500Wh/kg 放电倍率: 4C 循环寿命: 1200cls</p> <p>◆ 应用验证</p> <p>能量密度: 700 Wh/kg</p>
	系统	<p>◆ 投入量产</p> <p>安全: 热失控不蔓延 能量密度: 250Wh/kg 放电倍率: 2C 循环寿命: 1200cls</p> <p>◆ 应用验证</p> <p>能量密度: 300 Wh/kg</p>	<p>◆ 投入量产</p> <p>安全: 热失控不蔓延 能量密度: 300Wh/kg 放电倍率: 2C 循环寿命: 1200cls</p> <p>◆ 应用验证</p> <p>能量密度: 400 Wh/kg</p>	<p>◆ 投入量产</p> <p>安全: 热失控不蔓延 能量密度: 400Wh/kg 放电倍率: 2C 循环寿命: 1000cls</p> <p>◆ 应用验证</p> <p>能量密度: 500 Wh/kg</p>	<p>◆ 投入量产</p> <p>安全: 热失控不蔓延 能量密度: 500Wh/kg 放电倍率: 2C 循环寿命: 1000cls</p> <p>◆ 应用验证</p> <p>能量密度: 600 Wh/kg</p>
	电芯	<p>◆ 投入量产</p> <p>能量密度: 350Wh/kg 放电倍率: 2C 循环寿命: 1500cls</p> <p>◆ 应用验证</p> <p>能量密度: 400 Wh/kg</p>	<p>◆ 投入量产</p> <p>能量密度: 400Wh/kg 放电倍率: 2C 循环寿命: 1500cls</p> <p>◆ 应用验证</p> <p>能量密度: 500 Wh/kg</p>	<p>◆ 投入量产</p> <p>能量密度: 500Wh/kg 放电倍率: 2C 循环寿命: 1200cls</p> <p>◆ 应用验证</p> <p>能量密度: 700 Wh/kg</p>	<p>◆ 投入量产</p> <p>能量密度: 700Wh/kg 放电倍率: 2C 循环寿命: 1200cls</p> <p>◆ 应用验证</p> <p>能量密度: 750 Wh/kg</p>
	系统				
	电芯				
	系统				
	电芯				

图 3 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

2 电动固定翼航空器动力电池技术路线图

电动固定翼航空器动力电池分阶段技术发展目标和路径如图 4 所示。

2025 年目标：系统层面，量产的动力电池系统能量密度 $\geq 250\text{Wh/kg}$ ，实现 $\geq 300\text{Wh/kg}$ 应用验证，持续放电倍率 $\geq 2\text{C}$ ，循环寿命 ≥ 1200 次（30%~100%DOD，1C/1C）；系统层级安全实现电芯热失控后系统不热扩散、不起火、不爆炸或热包容；电芯层面，量产的动力电池电芯能量密度 $\geq 350\text{Wh/kg}$ ，实现 $\geq 400\text{Wh/kg}$ 应用验证，持续放电倍率 $\geq 2\text{C}$ ，循环寿命 ≥ 1500 次（30%~100%DOD，1C/1C）。

2027 年目标：系统层面，量产的动力电池系统在安全、放电倍率、循环寿命等不变的情况下，系统能量密度 $\geq 300\text{Wh/kg}$ ，实现 $\geq 400\text{Wh/kg}$ 应用验证；电芯层面，量产的动力电池电芯能量密度 $\geq 400\text{Wh/kg}$ ，实现 $\geq 500\text{Wh/kg}$ 应用验证。

2030 年目标：系统层面，量产的动力电池系统在安全、放电倍率、循环寿命等不变的情况下，系统能量密度 $\geq 400\text{Wh/kg}$ ，实现 $\geq 500\text{Wh/kg}$ 应用验证，循环寿命 ≥ 1000 次（30%~100%DOD，1C/1C）；电芯层面，量产的动力电池电芯能量密度 $\geq 500\text{Wh/kg}$ ，实现 $\geq 700\text{Wh/kg}$ 应用验证，循环寿命 ≥ 1200 次（30%~100%DOD，1C/1C）。

2035 年目标：系统层面，量产的动力电池系统在安全、

放电倍率、循环寿命等不变的情况下，系统能量密度 $\geq 500\text{Wh/kg}$ ，实现 $\geq 600\text{Wh/kg}$ 应用验证；电芯层面，量产的动力电池电芯能量密度 $\geq 700\text{Wh/kg}$ ，实现 $\geq 750\text{Wh/kg}$ 应用验证。

（三）动力电池关键材料技术路线图

随着低空航空器动力电池技术指标的演变，动力电池的化学体系和封装工艺也随之变化。2025—2027年，电芯能量密度 $\leq 400\text{Wh/kg}$ ，电池化学体系采用高镍三元/富锂锰基+石墨/硅碳负极材料体系，以传统的液态、固液混合电池为主；2030年后，电芯能量密度逐步突破 400Wh/kg ，电池化学体系需在原来基础上逐步向转化反应正极+锂金属负极材料体系，电池形态由固液混合电池转向全固态电池。对应正极材料、负极材料、电解质和隔膜的分阶段技术发展路线图如下。

1 正极材料

随着电芯能量密度的提升，低空航空器动力电池正极材料体系逐步发生变化，由高镍三元为主、富锂锰基为辅逐步向富锂锰基大规模应用、转化反应正极材料应用转变。如图4所示，2025年，正极材料以高镍三元材料为主，放电克容量 $\geq 220\text{mAh/g}$ （1/3C），富锂锰基正极材料初步实现应用，放电克容量 $\geq 270\text{mAh/g}$ （1/3C），放电克容量 $\geq 220\text{mAh/g}$ （1/3C）；2027年，高镍三元和富锂锰基正极材料并行发展，高镍三元克容量 $\geq 225\text{mAh/g}$ （1/3C），富锂锰基克容量 \geq

300mAh/g (1/3C)；**2030** 年，高镍三元克容量 $\geq 230\text{mAh/g}$ (1/3C)，富锂锰基克容量 $\geq 300\text{mAh/g}$ (1/3C)；**2035** 年，高镍三元克容量 $\geq 235\text{mAh/g}$ (1/3C)，富锂锰基克容量 $\geq 300\text{mAh/g}$ (1/3C)，同时开发克容量 $\geq 600\text{mAh/g}$ (1/3C) 的转化反应正极材料体系。

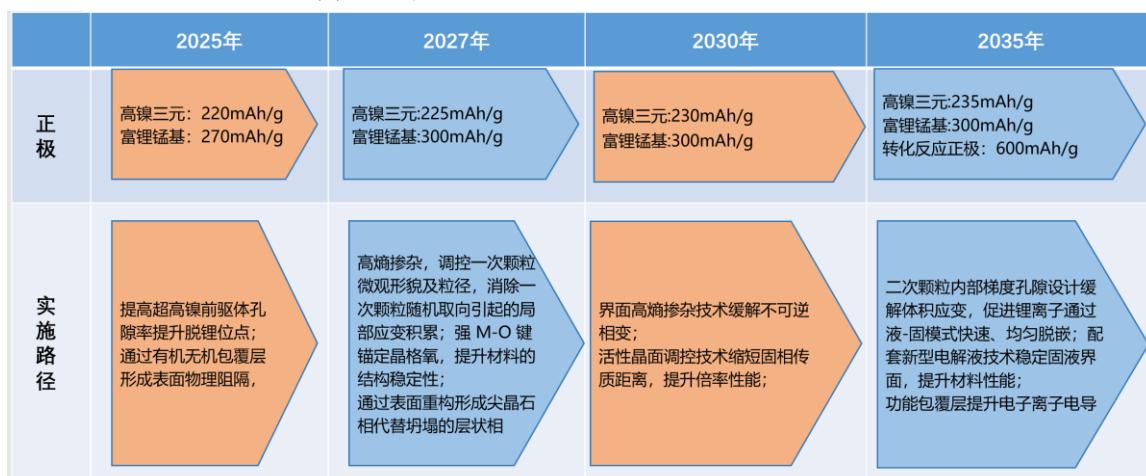


图 4 低空动力电池正极材料技术路线图

2 负极材料

负极材料方面，其技术路线呈现石墨掺硅—纯硅碳—锂金属—无负极体系演变路径。如图 5 所示，**2025** 年，负极材料以石墨为主，掺杂少量硅负极，克容量 $\geq 1800\text{mAh/g}$ ；**2027** 年，电芯负极逐步转向纯硅碳体系，克容量 $\geq 2500\text{mAh/g}$ 。**2030** 年，锂金属负极材料逐步应用，克容量 $\geq 3800\text{mAh/g}$ ；**2035** 年，进一步发展无负极/金属锂技术。



图 5 低空动力电池负极材料技术路线图

3 电解质

电解质材料方面,其技术路线呈现液态—固液混合—全固态路径,同时电化学窗口逐步提升。如图 6 所示,2025 年,电池以液态电解质为主,电化学窗口 $\geq 5V$; 2027 年,在液态电解质的基础上,发展固液混合电解质,通过减少电解液含量并增加固态电解质含量,降低可燃性,提升电芯安全性能,电化学窗口 $\geq 5.2V$; 2030 年,全固态电解质方案逐步取代液态方案,电池能量密度和安全性大幅提升。固态电解质电导率 $\geq 13mS/cm$, 电化学窗口 $\geq 5.5V$; 2035 年,电化学窗口 $\geq 6V$, 固态电解质膜厚度 $\leq 15\mu m$ 。

4 隔膜

隔膜材料方面,其技术路线呈现传统隔膜—无隔膜(固态电解质)路径,同时耐高温等安全性能逐步提升。如图 6 所示,2025 年,以传统隔膜为主,耐高温 $\geq 200^{\circ}C$,热收缩率 $\leq 2.5\%$; 2027 年,开发热响应耐高温隔膜,耐高温 $\geq 250^{\circ}C$,热收缩率 $\leq 2.5\%$,闭孔温度-破膜温度差 $\geq 60^{\circ}C$; 2030 年,固

态电解质取代隔膜和电解质，进一步提升安全性能，固态电解质膜厚度 $\leq 30\mu\text{m}$ ；**2035**年，固态电解质膜厚度 $\leq 15\mu\text{m}$ ，实现能量密度和安全性大幅提升。

	2025年	2027年	2030年	2035年
电解质	液态/固液混合 电化学窗口: $\geq 5\text{V}$ 室温电率: $\geq 10\text{mS/cm}$	液态/固液混合 电化学窗口: $\geq 5.2\text{V}$ 室温电率: $\geq 13\text{mS/cm}$ 安全性：可燃性降低	液态/固液混合/全固态 窗口: $\geq 5.5\text{V}$ 室温电率: $\geq 13\text{mS/cm}$ 固态电解质膜厚度 $\leq 30\mu\text{m}$	液态/固液混合/全固态 电化学窗口: $\geq 6\text{V}$ 室温电导率: $\geq 13\text{mS/cm}$ 固态电解质膜厚度 $\leq 15\mu\text{m}$
隔膜	耐高温隔膜 性能指标：200°C下 高温收缩率 $\leq 2.5\%$	热响应耐高温隔膜 性能指标：250°C下高 温收缩率 $\leq 2.5\%$ ，闭孔温 度/破膜温度差 $\geq 60\text{°C}$		
实施路径	新型溶剂添加实现 电压窗口提升； 原位固化技术及电 解质凹版隔膜涂层 技术提升安全性。 隔膜表面无机涂层 改性，提升耐温性	高导低粘溶剂进一步 提升电导率 通过氟代溶剂以及离 子液体进一步提升电 压窗口； 采用多层复合结构， 引入具有特定热学性 质的微球或材料，实 现高温闭孔响应。	通过复合锂盐及多功 能添加剂应用提升离 子迁移数； 通过全固态电解质的应 用进一步提升安全性能，采 用溶液法或干法优化固态 电解质膜制备工艺，减薄 膜厚度。	通过高性能固体电解质材 料开发制造，全面实现高 电压，高安全，长寿命的 性能需求，应用新型工艺 进一步降低固态电解质膜 厚度。

图 6 低空动力电池电解质/隔膜技术路线图

五、重点攻关任务

为实现低空航空器动力电池的阶段性发展目标，需系统推进两方面工作：一是开展电池材料、电芯及系统层面的核心技术攻关；二是加强电芯标准化与适航符合性研究。通过二者协同，驱动关键技术突破与产业化落地。

（一）高能量密度新型电池体系开发

为满足电动垂直起降航空器（eVTOL）与电动固定翼航空器对动力电池的严苛要求，开发适配低空航空器的动力电池电芯。技术上将采用高镍三元正极、搭配硅基或锂金属负极的先进材料体系，以实现电芯能量密度 $\geq 400\text{Wh/kg}$ 、放电倍率 $\geq 5\text{C}$ 的核心目标，并全面兼顾安全性、循环寿命及环境适应性等工程应用要求，最终满足航空级安全认证标准。

（二）高安全与可靠性电池系统集成技术开发

电池包 PACK 是一个多领域先进技术集成的复杂系统，需融合先进的热管理、隔热防火材料、轻量化/高耐温箱体、多冗余 BMS 与成组方案，以及热失控泄压等关键技术，构建成熟可靠、适于大规模商业化的航空动力电池系统。

1 高功率大容量动力电池热管理系统开发

为攻克高功率电芯发热量大、热管理系统笨重导致的系统成组效率低这一核心难题，研究引入并融合气道重构、相变冷却、新型高效液冷及沉浸式冷却等前沿热管理技术，实现安全与效能的平衡：在不牺牲电池系统成组效率的前提下，大幅提升散热能力，确保满足航空级安全标准，并支撑电池

系统 5C 高倍率放电的热管理需求，推动商业化运营落地，实现 1-2 座级小型航空器投入实用，并保障 4-6 座级航空器开展常态化商业运行。

2 高安全轻量化电池系统箱体开发

开发新型轻质高耐温复合材料与金属材料，结合系统结构优化、新型制造工艺及高耐温隔热技术，构建高安全、轻量化的电池系统，有效提升极限成组率。2027 年实现系统成组率 $\geq 75\%$ ，2030 年提升至 $\geq 80\%$ 。安全层面要求箱体耐受 1200℃ 火焰冲击 2 分钟无破损坍塌，背面温升不影响周边设备，且热失控火焰与烟气仅沿预设泄压通道定向排放，不危及飞行安全。2035 年，推动技术进入大规模应用阶段，实现 1-2 座航空器广泛使用，4-6 座机型运营成本降至普通出租车的 2 倍以内。

3 高安全电池管理系统 BMS 技术开发

通过多冗余架构、异构传感器配置、共因分析及芯片运行状态监测等技术，实现 BMS 的系统灾难性故障率 $\leq 10^{-8}/$ 飞行小时。融合多传感器测量、多维参数耦合分析、在线建模与参数辨识、AI 与大数据分析等先进算法，实现电池热失控预警时间提升至分钟级，为飞行安全争取关键响应时间。

（三）研究制定低空航空器动力电池标准路线图

联合产业链上下游企业、科研院所及监管机构，共同编制覆盖“材料-电芯-系统-应用”全链条的标准体系，尤其是

建立适配低空航空器动力电池的适航验证体系与全生命周期安全管理标准体系。推动核心标准的落地实施、验证迭代，并同步研发配套的检验检测技术与装置，确保技术发展、产品应用与标准建设同步规划、同步演进。

（四）高一致性统型电芯开发与标准化

为推进产业协同并降低成本，将根据主流机型需求，在适配航空器类型、体积及电池系统设计的基础上，推动统一电池外形尺寸的标准化工作，形成国家推荐的通用尺寸标准。计划至2027年，推出3—6种覆盖软包、圆柱和方壳三种类型的标准电芯尺寸，建立相应标准体系，并完成10架整机的示范应用，为规模化推广奠定基础。

六、政策建议

动力电池作为低空航空器核心部件，其技术突破和产业化发展对低空经济具有关键作用。当前，低空航空器动力电池在能量密度、安全性、经济性、环境适应性、快充等方面仍存在提升空间，同时也面临供应链韧性不足、成本压力大、标准认证体系不完善等挑战。需从技术创新、产业生态构建、标准认证完善和政策支持多方面协同推进，加快推动低空动力电池技术突破和产业化发展。

（一）统筹战略布局，强化顶层设计引领

一是制定国家级产业发展规划与技术路线图。明确未来低空航空器动力电池阶段性发展目标、技术路径与重点任务，统筹产业链整体布局。**二是建立跨部门协调机制。**整合工信、

民航、能源、科技等力量，形成政策合力，在标准制定、适航认证、示范应用等关键环节实现统一部署。**三是加大技术攻关与产业化支持力度。**推动设立低空航空器动力电池攻关支持项目，聚焦材料体系、电芯设计、系统集成等核心环节开展联合攻关，加速技术突破与成果转化。

（二）筑牢安全防线，健全监管体系框架

一是实施全生命周期溯源管理。建立国家统一的电池编码与信息平台，对动力电池从生产、装机、运营到退役回收的各个环节进行数据监控与溯源管理。**二是健全电池安全准入和认证体系。**加快制定并强制实施覆盖电芯、电池系统及回收利用的安全技术标准，强化适航认证，严把产品准入关。**三是强化协同监管与应急处置能力。**推动民航、工信、应急管理等部门建立联合监管机制，共享安全数据，并制定专项应急预案，共同提升安全风险预警与应急处置效能。

（三）激活创新动能，构建产业协同生态

一是组建产业创新联盟。联合材料、电芯、主机厂及运营方，共同制定技术路线图与标准体系，明确阶段性产品规格与性能目标，减少重复研发与资源浪费。**二是搭建共性技术研发平台。**聚焦动力电池关键材料、先进工艺与测试认证等环节，开展联合攻关，共享中试与验证资源，加速技术迭代与成果转化。**三是建立“应用牵引”示范机制。**以重点机型与场景为依托，由整机企业提出需求，电池企业同步参与设

计，推动电池系统与航空器的一体化开发与示范应用。

（四）聚焦规范发展，推进标准体系建设

一是加强顶层设计与规划联动。联合产业链核心企业、科研机构及民航主管部门，共同制定覆盖“材料-电芯-电池系统-航空器应用”全链条的标准路线图，明确各阶段关键标准制定任务与时间表。**二是优先攻关关键核心技术标准。**重点围绕电池安全、性能与互换性，加快制定电芯尺寸、电池系统接口、安全等级判定、地面测试验证等共性标准，以国家推荐性标准与行业团体标准相结合的方式快速推广应用。**三是构建“技术-标准-检测”协同机制。**推动低空航空器动力电池标准制定与检测技术、认证流程同步发展。建设权威的第三方检测平台，为标准实施提供验证支撑，并通过示范应用反馈促进标准的迭代优化，形成良性发展闭环。**四是推动标准国际化与产业协同。**积极参与国际民航组织（ICAO）、美国材料与试验学会（ASTM）、国际电工委员会（IEC）等国际标准化组织的标准制定，推动国内标准与FAA、EASA等国际适航规则接轨，支持检测结果国际互认，为中国技术和产品参与全球竞争奠定基础。

（五）提升技术支撑，完善检测认证能力

一是统筹推动一批试验验证基础设施建设。搭建国家级综合验证平台，为低空航空器动力电池提供全覆盖的安全验证、性能试验等支持。合理布局区域级试验验证基础设施，

提供专业类别或专门环境的第三方验证测试服务。**二是**开展试验验证能力建设试点。选择有基础、有意愿的机构和地方开展试点，验证相关标准、策略等。**三是**加大资金支持力度。通过民机专项渠道等，加大对安全验证技术研发、标准制定等支持。通过“两重”资金等，加大对安全验证基础设施和能力建设的支持。

（六）优化发展环境，培育产业生态沃土

一是完善充换电基础设施。依托交通枢纽及商业体屋顶布局充换电站，衔接低空飞行航线，打造高效补能圈。统一充换电接口、电压等级及安全标准，推广换电技术和“机电分离”商业模式，适配多机型需求。简化充换电站审批流程，给予用地、税收优惠，通过补贴吸引社会资本参与建设运营。**二是加强安全监测平台建设。**搭建低空航空器动力电池智能调度平台，实时监测电池健康状态与换电数据，配套航空级消防防护。**三是布局动力电池回收利用。**明确生产者责任延伸，完善溯源管理，并制定针对航空动力电池的回收标准与规范，引导产业规范化发展。鼓励生产商、运营企业共建回收渠道，结合物联网构建便捷高效的回收体系，推动退役电池规范流入处理环节。

附件：缩略语

缩略语	英文全称	中文名称
eVTOL	Electric Vertical Takeoff and Landing	电动垂直起降飞行器
CAAC	Civil Aviation Administration of China	中国民用航空局
EASA	European Union Aviation Safety Agency	欧洲航空安全局
FAA	Federal Aviation Administration	美国联邦航空管理局
TMS	Thermal Management System	热管理系统
CSFL	Controlled Safe Flight and Landing	安全飞行与着陆
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics	航空无线电技术委员会
SAE	Society of Automotive Engineers	国际汽车工程师学会
EMI	Electromagnetic Interference	电磁干扰
BMS	Battery Management System	电池管理系统
UAM	Urban Air Mobility	城市空中交通
SEI	Solid Electrolyte Interface	固体电解质界面
SOC	State of Charge	电池状态
DOD	Depth of discharge	深度放电

