投资聚焦

核心逻辑

目前低空领域发展已迈入产业化新阶段，2026 年或可实现多机型取证空间加速扩容，预计到 2026 年 eVTOL 市值空间将达 95 亿元。eVTOL 的发展对电池提出了更高的要求，固态电池由于其具有高能量密度，高充放电倍率及安全性极高而备受青睐。对于 eVTOL 而言，电池价值量高，且是易耗品，空间潜力大。eVTOL 电池正常运行条件下，更换频率可能为 1 年/次，根据测算 2031 年 eVTOL 电池后装市场为 78 亿元，叠加 2031 年前装市场，百亿级市场空间可期。相较于液态电池，固态电池主要材料区别在于固态电解质膜的应用，主要设备区别在于干法电极设备及增量设备等静压设备的引入。因此，我们认为目前与峰飞已达成合作的宁德时代凝聚态电池产业链厂商，及前瞻布局干法一体机设备和等静压设备厂商有望受益。

投资看点

- 随着低空经济的快速发展，对于电池的性能要求越来越高，固态电池凭借高能量密度、高充放电倍率及高安全性获得青睐。我们推荐目前已与峰飞达成战略合作的宁德时代、积极布局 LiTFSI 的多氟多以及干法电极龙头纳科诺尔。

正文目录

1. 固态电池新应用场景：低空经济 6
1.1 性能优异助力固态电池成未来发展趋势 6
1.2 低空经济快速发展，固态电池迎新机遇 8
2. 低空助力固态加速落地，打开百亿增量市场 10
2.1 eVTOL 对电池性能要求高 10
2.2 eVTOL 有望牵引固态电池百亿市场，增量显著 13
2.3 固态厂商积极拓展低空领域，2025 年有望逐步落地 15
3. 固态电池材料设备迭代加速 16
3.1 材料端：固态电解质为主要变化 16
3.2 设备端：干法电极及等静压设备成重点 19
4. 投资建议：关注凝聚态电池产业链布局龙头 23
5. 风险提示 24

图表目录

图表 1：固态电池分类 6
图表 2：液态电解质与固态电解质主要性能对比 7
图表 3：固态电池技术迭代路径 7
图表 4：2024 年低空经济中央政策梳理 8
图表 5：发改委下属机关司局 9
图表 6：低空经济市场规模 9
图表 7：中国 eVTOL 产业规模 9
图表 8：国内 eVTOL 适航审定推进情况 10
图表 9：eVTOL 电池研发项目的要求 11
图表 10：eVTOL 飞行过程中的能量分配 11
图表 11：新能源汽车动力电池与 eVTOL 电池技术指标对比 11
图表 12：eVTOL 和电动汽车对锂离子电池性能要求 11
图表 13：不同材料体系电池性能情况 12
图表 14：eVTOL 动力源将呈现液态电池—半固态电池—全固态电池的路线演进 13
图表 15：新能源汽车成本拆分 13
图表 16：Lilium 公司 eVTOL 价值量拆分 13
图表 17：eVTOL 载人运输参数设置 14
图表 18：电池循环寿命和年运营天数不同情境下的敏感性测算 14
图表 19：eVTOL 市场空间测算 14
图表 20：eVTOL 固态电池分公司布局和进展情况 15
图表 21：不同电解质材料性能对比 16
图表 22：宁德时代凝聚态电池时间线 17
图表 23：凝聚态电池产品 17
图表 24：常用聚合物电解质基 17
图表 25：凝聚态电池产业链 18
图表 26：凝聚态电解质及 LiTFSI 进展 19

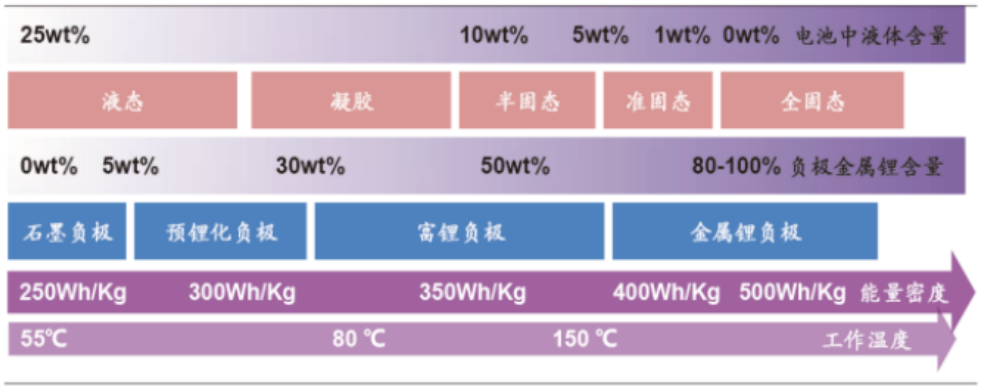
图表 27：传统锂电池生产工艺流程 19
图表 28：液态电池与固态电池生产工艺流程对比 20
图表 29：干法工艺与湿法工艺对比 21
图表 30：干法电极在密度、循环、倍率等电池性能上具备优势 21
图表 31：干法电极设备布局企业进展 22
图表 32：等静压设备工作原理 23
图表 33：等静压设备布局企业进展 23

1. 固态电池新应用场景：低空经济

1.1性能优异助力固态电池成未来发展趋势

固态电池根据液体中电解液质量占比分为半固态、准固态和全固态。固态电池就是将传统液态电池中的电解液部分或者完全替换成固态电解质。当电解质采用固液混合形态，电池中液态质量占比约 5%-10%时为半固态电池；电池中液态质量占比小于5%为准固态电池；不含有任何液体电解质则为全固态电池。

图表1：固态电池分类

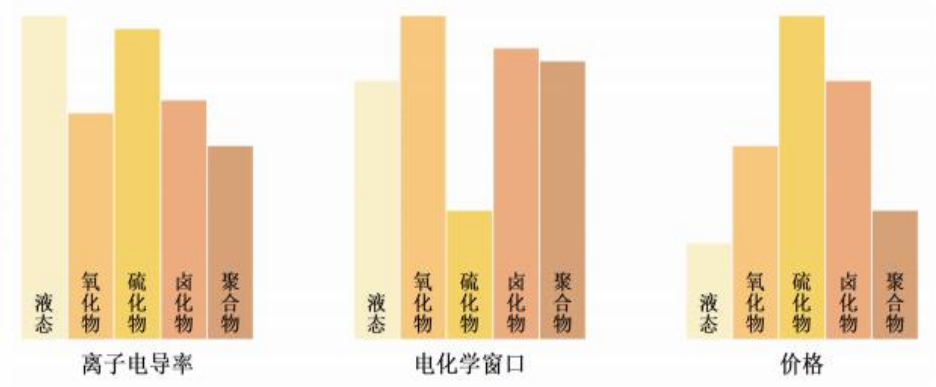


资料来源：《硫化物全固态电池的研究及应用》张卓然，国联证券研究所

固态电池能量密度、安全性等均高于传统液态锂电池。由于固态电解质比电解液拥有更高的能量密度，因此相同体积下固态电池可以提供的能量更多。此外，传统锂电池电解液有泄露的风险，且在温度过高时有自燃和爆炸的危险。固态电解质热稳定性好，不易燃不易爆，没有液体泄露风险，能承受碰撞和挤压的极端情况，安全性更高。

固态电池按照电解质材料可以分为聚合物、氧化物、硫化物和卤化物固态电池。聚合物固态电池是最早实现固态电池装车的技术路径之一，柔韧性好，易于加工，但能量密度提升较为困难，且电化学窗口较窄。氧化物离子电导率较高，电化学窗口较宽，适合高电压应用，但机械性能差，界面接触问题较为突出。硫化物离子电导率最高，机械性能好，但化学稳定性差，容易与空气中的水和氧气反应，成本高，界面稳定性差，容易与电极材料发生副反应。卤化物离子电导率和低电压下的还原稳定性都不如硫化物，但高电压氧化稳定性很强，适合在高电压正极侧用作导锂介质或添加剂。

图表2：液态电解质与固态电解质主要性能对比



资料来源：《全固态电池的研究进展与挑战》周静颖，国联证券研究所

固态电池技术发展和应用预计将呈现梯次渗透趋势。液态电池到固态电池的技术迭代路径大致遵循**“引入固态电解质→引入新型负极→引入新型正极”**路径。

阶段一：引入固态电解质，保留少量电解液，正负极仍为三元+石墨/硅基负极，并采用负极预锂化等技术提高能量密度。

阶段二：用固态电解质逐步至完全取代电解液，用金属锂取代石墨/硅负极，正极仍为三元材料。

阶段三：逐渐减薄固态电解质的厚度，并用硫化物/镍锰酸锂/富锂锰基等材料取代正极。

图表3：固态电池技术迭代路径

	类型	电解液	隔膜	负极	正极
第一代	半固态	部分替换为固态电解质	不变	石墨/硅碳，可能配合预锂化技术	三元
第二代	全固态	全部替换为固态电解质	取消（少数方案保留）	石墨/硅碳，可能配合预锂化技术	三元
第三代	全固态	全部替换为固态电解质	取消（少数方案保留）	金属锂	三元
第四代	全固态	全部替换为固态电解质	取消（少数方案保留）	金属锂	硫化物/镍锰酸锂/富锂锰基等

资料来源：ForceInstitute，国联证券研究所

1.2低空经济快速发展，固态电池迎新机遇

国家层面：自上而下政策文件对于低空的发展趋势和战略重要性已经较为明确。2024年，央地发布了一系列政策文件：国家层面对于低空的发展趋势和战略重要性已经较为明确。最新中央经济工作会议：开展“人工智能+”行动，培育未来产业。低空经济为当前新兴产业重要方向，明年或迎来进一步支持和发展。

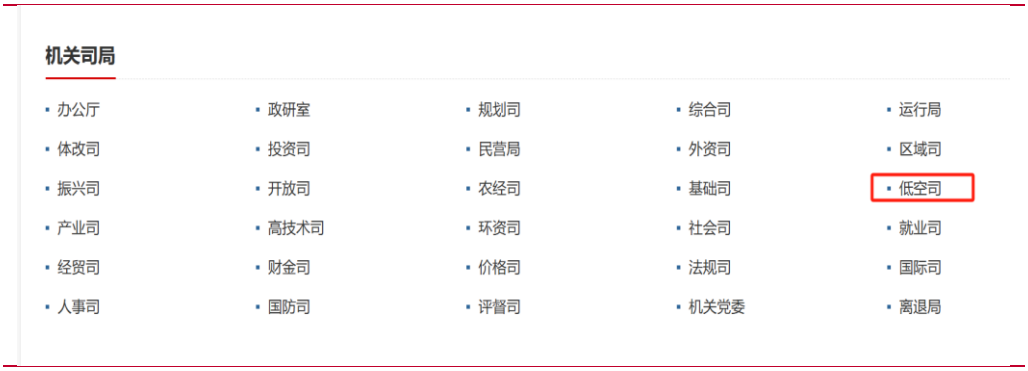
图表4：2024年低空经济中央政策梳理

发文单位	发布时间	文件和会议	主要内容
中共中央政府	2024/3/5	《政府工作报告》	报告指出2024年政府工作任务涵盖积极培育新兴产业和未来产业，积极打造生物制造、商业航天、低空经济等新增长引擎
工信部、科学技术部、财政部、中国民用航空局	2024/3/27	《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030年）》	方案明确提出了两个阶段性目标。**到2027年**，我国通用航空装备供给能力和产业创新能力将显著提升，现代化通用航空基础支撑体系将基本建立。**到2030年**，通用航空装备将全面融入人民生产生活的各个领域，成为低空经济增长的强大推动力，并形成万亿级市场规模。
中共中央政府	2024/7/18	《中共中央关于进一步全面深化改革，推进中国式现代化的决定》	决定提出：“健全现代化基础设施建设体制机制，深化综合交通运输体系改革，推进铁路体制改革，发展通用航空和低空经济”这也是中共中央历次全会的决定中，首次写入“低空经济”
工业和信息化部装备工业发展中心	2024/11/11	《新能源新构型低空装备安全技术体系报告（2024版）》	报告建议：建立安全技术体系研究联合体；加快健全低空装备安全设计标准规范和研究成果推广应用；加强统筹协调，加快建设低空装备安全检测认证机构。 1.报告介绍低空装备安全性设计技术：包括低空装备安全性气动设计技术；材料，结构及强度的安全性设计技术；动力及能源系统的安全设计技术；低空装备飞行控制系统的安全设计技术；低空装备感知系统及执行机构的安全性设计技术和实时传输数据链路系统的安全性设计技术 2.报告介绍低空装备安全性的验证技术分为：气动布局和总体安全性验证技术与验证平台；材料与结构的安全性验证技术与验证平台；飞行控制系统安全性验证技术与验证平台等 3.报告介绍低空装备运行的安全支持技术涵盖：低空装备运行中的维修性与安全技术；低空装备健康管理技术等
工业和信息化部装备工业发展中心	2024/11/11	《低空智能网联体系参考架构（2024版）》	文章指出低空智能网联体系的构建遵循“**五方三层两体系**”的架构原则，体系参考架构由**三个核心层次和两个关键体系**构成：机载终端与基础设施层；数据与服务支撑层；应用系统层。 **1.机载终端与基础设施层涵盖**：低空智能网联载具及航电系统；信息物流基础设施； **2.数据与服务支撑层包括**：数据接入网；数据交换网；信息服务网； **3.应用系统层包含**：低空运营管理系统；低空交通管理和服务系统；低空监管系统
中共中央政府	2024/12/12	中央经济工作会议	加强基础研究和关键核心技术攻关，超前布局重大科技项目，开展新技术新产品新场景大规模应用示范行动。开展“人工智能+”行动，**培育未来产业。**

资料来源：各部门官网，国联证券研究所

低空司官宣成立，低空经济发展迈入产业化新阶段。2024年12月25日，发改委官宣低空司成立，其负责拟订并组织实施低空经济发展战略、中长期发展规划，提出有关政策建议，协调有关重大问题等。这是发改委第一次为新兴产业成立司局机构，足以彰显国家对低空经济的高度重视与发展决心。

图表5：发改委下属机关司局

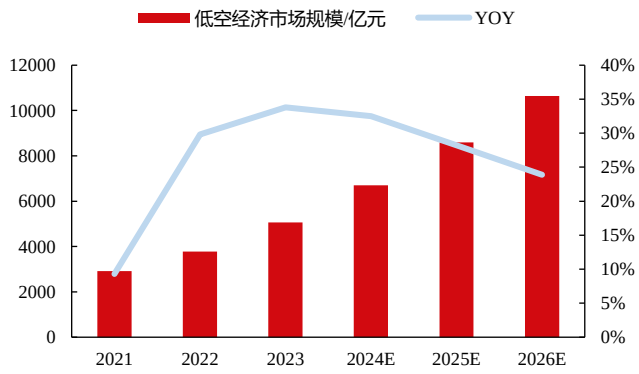


资料来源：发改委官网，国联证券研究所

2026 年低空经济市场空间有望达到万亿。根据赛迪顾问数据，2023 年中国低空经济规模达到 5059.5 亿元，增速高达 33.8%。其中从结构来看，低空经济规模贡献中低空飞行器制造和低空运营服务贡献最大，接近 55%，主要是民用无人机占据主要市场空间。间接、引质产生的围绕供应链、生产服务、消费、交通等经济活动贡献接近 40%。乐观预计，到 2026 年低空经济规模有望突破万亿元，达到 10644.6 亿元。

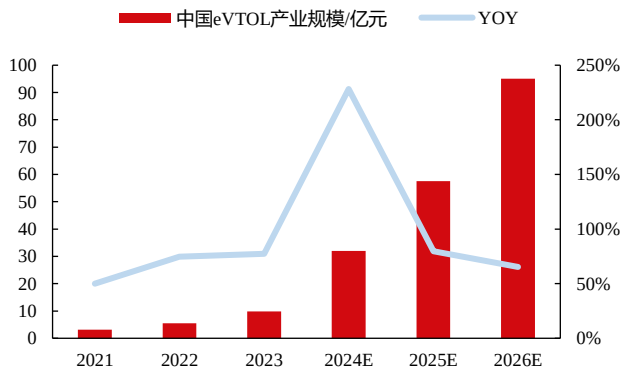
2026 年有望迎来多机型取证空间加速扩容。目前 eVTOL 产业处于起步阶段，2023 年市场规模达到 9.8 亿元，同比增长 77.3%。2024 年 eVTOL 亿航取得适航证，产品加速交付，以及多厂商入局，预计规模达到 32 亿元，同比增长 228.2%。随着多机型适航认证的加速推进，预计到 2026 年将达到 95.0 亿元。

图表6：低空经济市场规模



资料来源：赛迪顾问，国联证券研究所

图表7：中国 eVTOL 产业规模



资料来源：赛迪顾问，国联证券研究所

国内取证进展较快，2026 年左右国内主机厂有望迎来密集取证。国内亿航智能率先取证，除此之外，国内 eVTOL 主机厂获得 TC 审定受理的公司还有 7 家 8 个型号，分别是峰飞、沃飞、沃兰特、时的、御风未来、小鹏汇天和航天时代飞鹏。国内主机有

望在 2026 年左右迎来密集取证。

图表8：国内 eVTOL 适航审定推进情况

国内eVTOL适航审定推进情况							
AC适航审定完成日期	PC适航审定完成日期	TC适航审定				特征	型号
		完成日期	专用条件日期	征求意见时间	受理日期		
2023.12.21	2024.04.07	2023.10.13	2022.02.09	2021.12.03	2021.01	无人驾驶多旋翼	EH216-S(亿航)
			2023.11.12	2023.05.29	2022.09	无人驾驶复合旋翼	V2000CG(峰飞)
				2023.12.01	2022.11	有人驾驶倾转旋翼	AE200-100(沃飞)
					2023.09	有人驾驶复合旋翼	VE25-100(沃兰特)
					2023.1	有人驾驶 复合/倾转旋翼	E20(时的)
					2024.01	无人驾驶复合旋翼	M1货运型(御风未来)
					2024.03	有人/无人驾驶 多旋翼	陆地航母 X3-F (小鹏汇天)
					2024.04	有人驾驶复合旋翼	峰飞V2000EM(峰飞)
					2024.04	无人驾驶 复合旋翼	FP-981C-BE (航天时代飞鹏)

资料来源：eVTOL 博士公众号，国联证券研究所

eVOTL 取证进度加快，助力固态电池需求提升。eVTOL 由于对电池性能要求高，固态电池成为低空领域首选。2024 年 11 月 14 日，亿航智能公告，旗下的 eVTOL 产品 EH216-S 实现全球首次 eVTOL 固态电池飞行试验，展现了固态电池在低空领域的极大适配性。

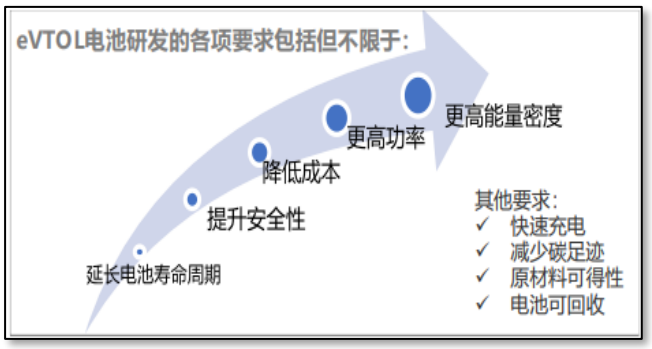
2. 低空助力固态加速落地，打开百亿增量市场

2.1 eVTOL 对电池性能要求高

eVTOL 相较新能源汽车，对电池有更为严苛的要求，主要体现为：

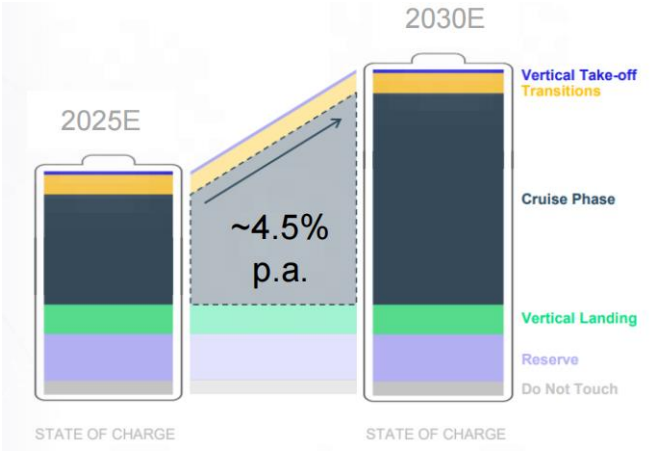
- ✓ **安全性方面：**eVTOL 作为航空产业，对电池的安全系数要求远超新能源汽车，有较强的抗跌落能力，以及单体失效时，电池系统应该要继续工作直到电动飞机降落，意味着不热扩散+不失去动力。
- ✓ **能量密度方面：**eVTOL 起飞要求在有限的场景储存足够多的电能，目前电芯 300Wh/Kg 能保证 200-300 公里航程。远期目标希望达到动力电池单元 500wh/kg。
- ✓ **功率密度方面：**为了应对紧急迫降需求，要在低电量状态下（如 20%SOC）依然保有高功率放电能力。
- ✓ **快充性能方面：**为满足空中出租业务等频繁使用场景，目前行业普遍需求在少于 15 分钟内充电至 80%。
- ✓ **循环寿命方面：**eVTOL 的商业化运行需要电池具有长的循环寿命，以减少更换频率和运营成本。

图表9：eVTOL 电池研发项目的要求



资料来源：腾讯研究院，国联证券研究所

图表10：eVTOL 飞行过程中的能量分配



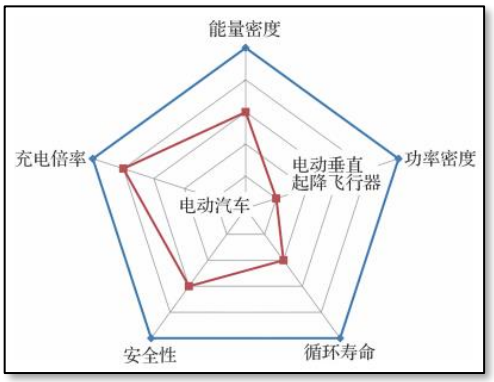
资料来源：《Battery Webinar》lilium，国联证券研究所

图表11：新能源汽车动力电池与 eVTOL 电池技术指标对比

应用领域	化学体系	形状	关键指标					
			能量密度（Wh/kg）	正极	负极	快充（80%电量）	倍率	续航 km
EV汽车	三元体系（NCM）	圆柱	300	高镍	石墨低硅（5%）	30min ~1H	1C~ 2C	500+
		软包	290~300	高镍	石墨			
		方形	250	中镍	石墨			
	磷酸铁锂（LFP）	软包	200	磷酸铁锂	石墨			400+
		方形	180	磷酸铁锂	石墨			
eVTOL	三元体系（NCM）	圆柱	320	高镍	石墨高硅（30%）	15min	12C	300+

资料来源：电池中国网，国联证券研究所

图表12：eVTOL 和电动汽车对锂离子电池性能要求



资料来源：《电动垂直起降飞行器的技术现状与发展》邓景辉，国联证券研究所

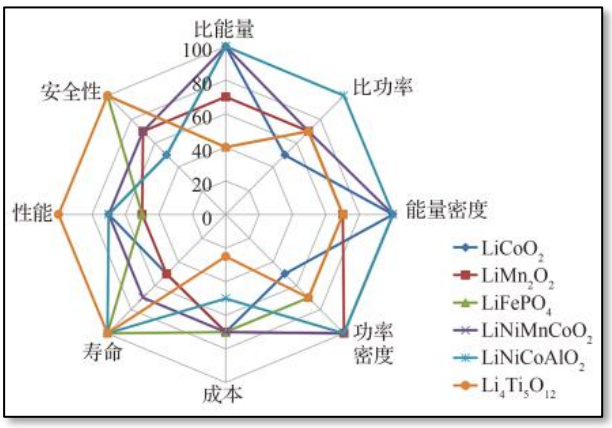
当前三元电池为主流，固态化+新型正负极提高能量密度为未来发展方向。

从材料电池体系来看，三元 NCM 电池成为当前电动垂直起降飞行器主流选择。综合来看，三元 NCA 电芯具有最佳的能量和功率性能，成本较高，安全性最低；LFP 电芯具有最高的安全性，但能量密度只有三元 NCA 和 NCM 电芯一半；相比之下三元 NCM 电芯的综合性能最佳。

固态化+新型正负极提高能量密度为未来发展方向。正极方面，逐步向三元高镍，再向 Li-rich/Ni93 迭代。负极方面，相较于石墨负极，锂金属负极具有更高的比容量，是未来 eVTOL 电池研制的主要方向。电解质方面，液态电解质逐步向半固态、固态电

解质转变，提升能量密度与安全性。

图表13：不同材料体系电池性能情况

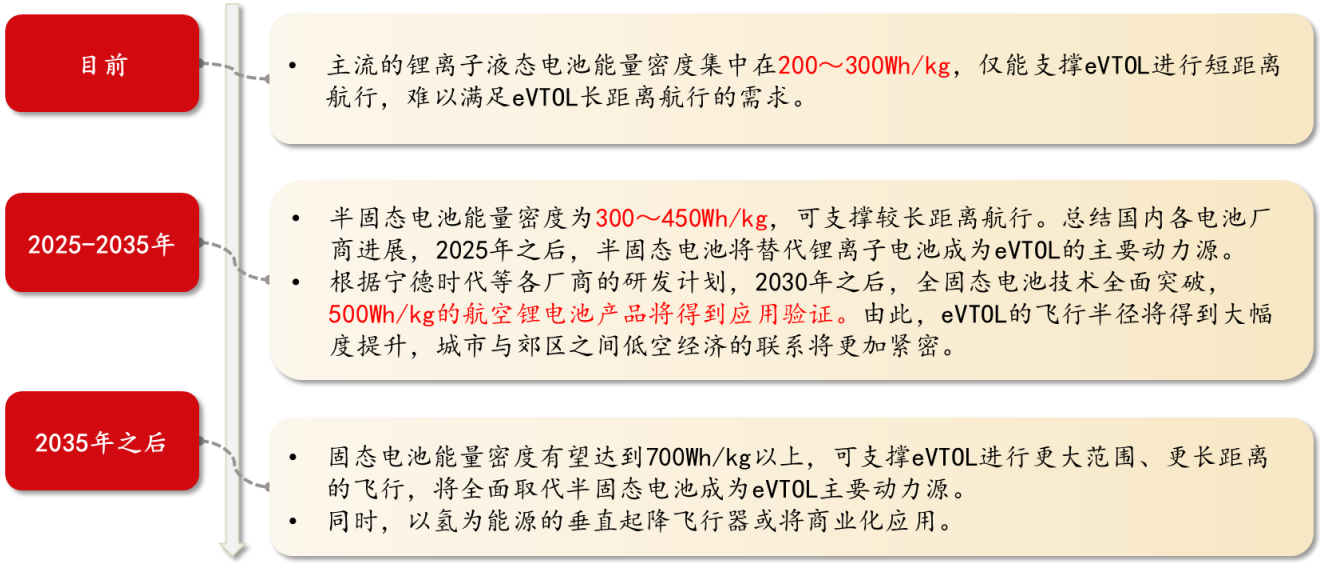


资料来源：《电动垂直起降飞行器的技术现状与发展》邓景辉，国联证券研究所

eVTOL 动力源将呈现液态电池—半固态电池—全固态电池的路线演进，2025 年 eVTOL 电池将逐步向半固态电池过渡。目前来看，锂离子仍为 eVTOL 动力源主流，eVTOL 电池普遍的能量密度在 200Wh/kg-300Wh/kg，可以满足 eVTOL 初步商业化运行，2025 年之后有望逐步向半固态过渡，2030 年后，固态电池有望率先在 eVTOL 上放量，eVTOL 的飞行半径将得到大幅度提升。

2023 年 10 月，工信部等四部门联合印发《绿色航空制造业发展纲要(2023-2035 年)》，提出 **2025 年将“满足电动航空器使用需求和适航要求的 400Wh/kg 级锂电池产品投入量产，500Wh/kg 级产品小规模验证”。**

图表14：eVTOL 动力源将呈现液态电池—半固态电池—全固态电池的路线演进

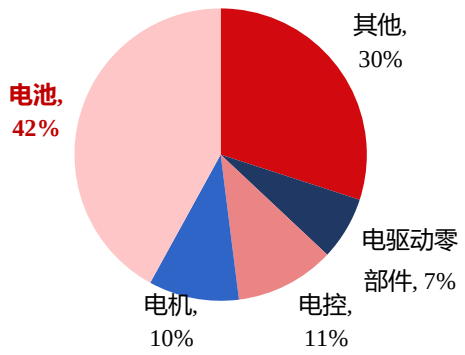


资料来源：CCID 赛迪四川微信公众号，国联证券研究所

2.2 eVTOL 有望牵引固态电池百亿市场，增量显著

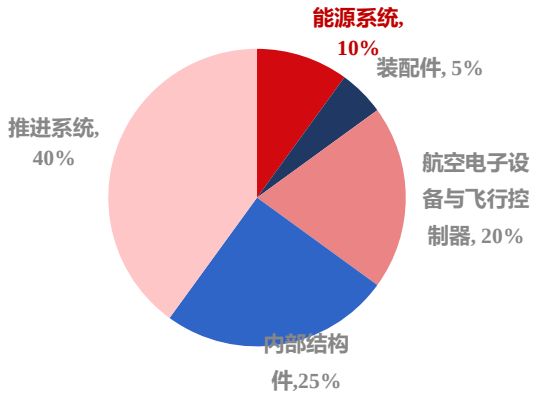
电池在 eVTOL 中价值量占比相较在汽车中低一些，但单机价值量明显更高。在新能源汽车中电池价值量占比为 42%。根据 Lilium 公司 eVTOL 价值量拆分，能源系统价值量占比为 10%，但因为 Lilium 公司 eVTOL 为涵道构型，电机数量较多，推进系统价值量占比较高，所以能源系统价值量占比实际上要更高。根据飞行邦公众号推测动力电池在 eVTOL 整机成本中的占比约为 15%-25%。

图表15：新能源汽车成本拆分



资料来源：中华人民共和国发改委，国联证券研究所

图表16：Lilium 公司 eVTOL 价值量拆分



资料来源：《LILIUm Analyst Presentation》，国联证券研究所

对于 eVTOL 而言，电池价值量高，且是易耗品，空间潜力大。eVTOL 电池正常运行条

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/808122112130007025