



汽车及汽车零部件行业研究

买入（维持评级）

行业深度研究

证券研究报告

汽车组

分析师：陈传红（执业 S1130522030001）

chenchuanhong@gjzq.com.cn

产业属性优化，技术迭代加速—eVTOL 专题一（三电产业链）

投资逻辑

eVTOL 应用前景广阔，政策持续催化，适航认证有望加速落地。低空经济纳入国家规划，相关政策频出，彰显国家发展决心，四部门新政策将通航商业化进展提前至 27 年，预计后续政策催化在于产业化落地的提速及空域管理的优化；产业端当前亿航、峰飞 eVTOL 已获得 TC 适航证，其他主机厂也在密集申请，预计 26 年 TC 证颁布密集落地，产能方面当前亿航、峰飞设计产能 600、1000 台。

eVTOL 三电系统较汽车价格、更换频率提升，带来市场扩容。根据《客运 eVTOL 应用与市场白皮书》预计，2030 年国内 eVTOL 需求达 16316 架，假设单机用电机电控 80 万元（车用约 8000 元），对应国内 eVTOL 电机前装市场规模约 131 亿元，eVTOL 的使用寿命以 20 年计，电机一般需更换 4 次（相较汽车，eVTOL 对于可靠性的要求性极高，为保障 eVTOL 的使用寿命，电机更换相对频繁），假设更换均价 60 万元，对应 eVTOL 生命周期内电机后装市场 392 亿元；假设单 eVTOL 带电量 200kWh，价格 3 元/Wh（车用约 0.4-0.6 元/Wh），对应单机电池价值量 60 万元，则对应前装市场 98 亿元，假设 eVTOL 的单次飞行航程为 50 公里，电池最大可供续航航程为 300 公里，单日飞行次数 8 次，电池循环寿命 1000 圈，eVTOL 使用寿命 20 年，则测算得电池的使用寿命为 1.4 年，电池更换次数为 14 次，假设更换均价 45 万元，对应电池后装市场 1028 亿元。

eVTOL 三电壁垒显著提升，竞争格局有望重塑。1) 电机电控：相较车用场景，高适航标准大幅提升 eVTOL 电机市场准入门槛，当前电机电控主要随机适航，供应商切换难度大，亿航等企业的电机电控以自研为主，沃飞、商飞等则寻找第三方供应商开发合作，率先与头部客户合作的企业将具备卡位优势，当前卧龙电驱已与商飞、沃飞等头部客户展开合作；2) 电池：相较车用场景，eVTOL 对电池能量密度（400Wh/kg 以上）、放电倍率（瞬时 5C 以上且维持时间较长）及热管理提出更高要求，当前国内主流电池企业多已开发产品与客户展开送样测试。

eVTOL 三电高性能要求推动技术迭代加速。1) 电机材料非晶有望替代硅钢片：电机功率改进方案在于材料改进及高效散热，非晶材料较硅钢片的损耗密度更低，应用于铁芯有利于提升电机功率密度，生产非晶带材具备较强技术门槛，云路股份、安泰科技、中研非晶均已积极开发非晶材料在高性能电机的应用，有望实现技术迁移；2) 软包电池体系有望重塑：软包相较方形、圆柱具备高能量密度、高放电倍率优势，eVTOL 端价格接受度高，解决成本较高的痛点，软包有望构成主流路线，软包体系下预计短期为高镍三元+硅负极（300+Wh/kg），长期向固态电池过渡（400+Wh/kg）；3) 铝塑膜环节有望受益：软包电池（包括高镍体系、固态体系）均需要铝塑膜作为封装材料，铝塑膜技术壁垒极高，仍由海外企业主导，国产铝塑膜的主要性能和关键指标与海外接近，新场景的应用有望加速国产替代。

投资建议与估值

低空经济的推出及 eVTOL 应用场景的落地打开了三电赛道的长期增长新空间，迎来产业属性重塑和技术迭代加速。电机方面建议关注和客户合作领先的电机企业卧龙电驱等，电池方面建议关注软包体系领先&客户合作领先的宁德时代、孚能科技等，非晶材料方面建议关注云路股份等，铝塑膜建议关注紫江企业等。

风险提示

低空经济相关配套政策落地不及预期，空管系统等基础设施设备落地不及预期，eVTOL 企业适航进展不及预期等，三电系统产品性能提升不及预期。



内容目录

一、eVTOL 应用前景广阔，政策、产业持续催化	5
1.1 eVTOL 应用前景广阔，构型向复合翼、矢量推进型迭代	5
1.2 政策端、产业端持续推进，预计 30 年国内需求超 1.6 万架	7
二、eVTOL 电机电控：壁垒较车用提升，材料领域非晶有望替代硅钢片	11
2.1 规模：eVTOL 带来百亿级电机前装市场，更换频率高后市场规模可观	11
2.2 壁垒：eVTOL 电机壁垒在于高功率密度及适航	12
2.3 技术趋势：功率密度提升在于材料改进与高效散热，非晶材料有望替代硅钢片	14
三、eVTOL 电池：性能要求大幅提升，软包赛道有望重塑	19
3.1 规模：eVTOL 带来近百亿级电池前装市场，后装市场规模可期	19
3.2 壁垒：eVTOL 电池追求高能量密度、高放电倍率，较车用壁垒提升	20
3.3 技术趋势：软包电池行业有望迎来重塑，铝塑膜环节有望受益	21
四、重点关注企业	24
4.1 卧龙电驱：国内电机龙头，积极推进 eVTOL 产品研发	24
4.2 松正电机（未上市）：电动航空用电机国内进展领先	25
4.3 宁德时代：凝聚态电池有望打造航空级产品标杆	26
4.4 孚能科技：国内软包电池领先企业，有望受益 eVTOL 软包路线	27
4.5 紫江企业：国内铝塑膜龙头企业，拟分拆铝塑膜业务上市	28
4.6 云路股份：国内非晶材料龙头，技术有望向航空级延伸	28
4.7 安泰科技：国内非晶材料先行者，已为多家头部车企合作	29
4.8 中研非晶（未上市）：专注非晶、纳米晶材料，与北极鸥开发非晶电机	30
五、风险提示	30

图表目录

图表 1：eVTOL 在综合用时、碳排放、私密性、舒适性等方面具有较为明显的优势	5
图表 2：eVTOL 主要构型与应用场景	5
图表 3：全球 eVTOL 项目进展分布（2022 年）	6
图表 4：全球超 700 个 eVTOL 设计研发项目按构型分类（2022 年）	6
图表 5：汽车企业 eVTOL 研发	6
图表 6：航空企业 eVTOL 研发	7
图表 7：新兴科技公司典型 eVTOL 研发	7



图表 8:	2021 年以来中央发布的相关政策.....	8
图表 9:	适航审定过程.....	9
图表 10:	国内主机厂适航审查进展.....	10
图表 11:	不同应用场景下中国 eVTOL 机队规模预测 (2030 年).....	11
图表 12:	三电系统在汽车成本占比约 50% (2022 年).....	11
图表 13:	推进系统 (电机)、能源系统 (电池) 在 eVTOL 成本占比 50%.....	11
图表 14:	国内 eVTOL 给电机带来前装/后装市场预测 (2030 年, 亿元).....	12
图表 15:	永磁同步电机 vs 无刷直流电机.....	12
图表 16:	电动汽车电机主要指标.....	13
图表 17:	电动飞机电机主要指标.....	13
图表 18:	国际民航组织对于民用飞行器的相关认证资质许可.....	14
图表 19:	非晶合金 vs 硅钢性能对比.....	15
图表 20:	非晶电机优势.....	15
图表 21:	使用非晶铁芯比普通硅钢减少 75% 铁芯消耗.....	15
图表 22:	2015-2022 年中国非晶、纳米晶材料产量.....	16
图表 23:	2019 年非晶合金全球市占率.....	16
图表 24:	2019 年非晶合金国内市占率.....	16
图表 25:	部分非晶、纳米晶合金磁材企业基本情况.....	17
图表 26:	中国碳纳米管出货量及预测.....	17
图表 27:	中国碳纳米管市场份额占比.....	17
图表 28:	风冷油冷优势劣势对比.....	18
图表 29:	电机系统集成特征.....	18
图表 30:	在 eVTOL 生命周期内电池更换次数测算模型.....	19
图表 31:	在 eVTOL 生命周期内电池更换次数敏感性分析 (最左列: 单日飞行次数; 最上行: 循环寿命) ...	19
图表 32:	国内 eVTOL 给电池带来前装/后装市场预测 (2030 年, 亿元).....	20
图表 33:	动力电池能量密度与飞行汽车有效载荷及航程.....	20
图表 34:	飞行汽车城市空中交通典型工况动力电池电流输出及放电倍率.....	20
图表 35:	eVTOL 对放电倍率性能、热管理提出更高要求.....	21
图表 36:	电池企业航空电池产品布局.....	21
图表 37:	高镍三元电池能量密度演进趋势.....	22
图表 38:	软包相较圆柱、方形电池有更高能量密度.....	22
图表 39:	2020 年全球铝塑膜主要生产企业市占率.....	23
图表 40:	国内铝塑膜企业份额 (1H21).....	23
图表 41:	相关公司盈利预测与估值.....	24
图表 42:	卧龙电驱营业收入 (亿元).....	24



图表 43: 卧龙电驱归母净利润 (亿元)	24
图表 44: 卧龙电驱航空电驱动力系统“3+1”产品布局	25
图表 45: 卧龙电驱电机类型	25
图表 46: 天津松正电动航空电机类型	26
图表 47: 宁德时代营业收入 (亿元)	27
图表 48: 宁德时代归母净利润 (亿元)	27
图表 49: 孚能科技营业收入 (亿元)	27
图表 50: 孚能科技归母净利润 (亿元)	27
图表 51: 紫江企业营业收入 (亿元)	28
图表 52: 紫江企业归母净利润 (亿元)	28
图表 53: 云路股份营业收入 (亿元)	29
图表 54: 云路股份归母净利润 (亿元)	29
图表 55: 公司非晶产品	29
图表 56: 安泰科技营业收入 (亿元)	30
图表 57: 安泰科技归母净利润 (亿元)	30

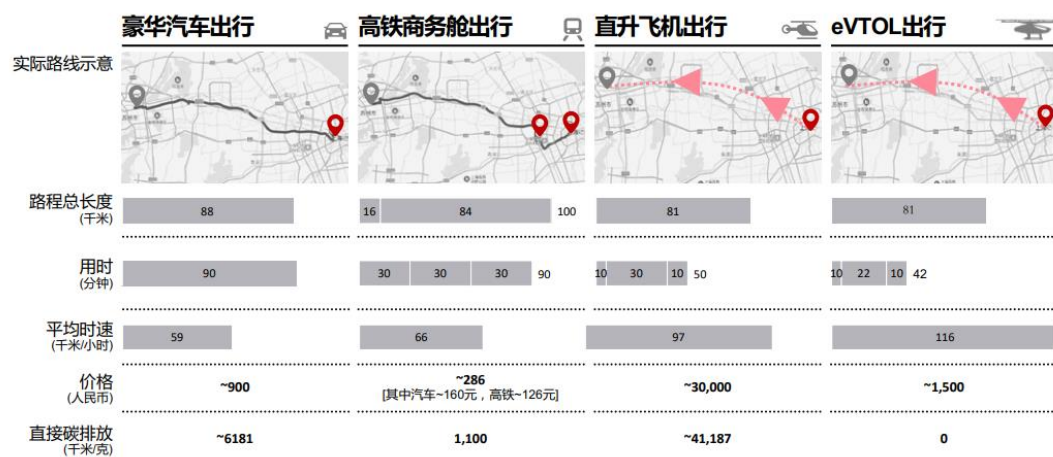


一、eVTOL 应用前景广阔，政策、产业持续催化

1.1 eVTOL 应用前景广阔，构型向复合翼、矢量推进型迭代

eVTOL 指以电力作为飞行动力来源且具备垂直起降功能的飞行器，具有垂直起降、智能操作、快捷机动等特点。与汽车、高铁等传统出行方式相比，eVTOL 在特定路程范围内，具有高效便捷、低噪音、低碳排放、舒适私密等优点；与直升机等传统飞行器相比，具有成本和环保优势。

图表1：eVTOL 在综合用时、碳排放、私密性、舒适性等方面具有较为明显的优势



来源：《2023 中国垂直出行市场展望报告》，国金证券研究所

根据《2023 中国垂直出行市场展望报告》，基于推进动力方式，目前在研的 eVTOL 项目可分为多旋翼型、升力与巡航复合型、倾转旋翼/机翼型和倾转涵道型四大类。其中后两类因飞行器可通过改变螺旋桨/机翼/涵道方向实现飞行器的起降和巡航，又称为矢量推进型。

- 1) 多旋翼型：多旋翼型 eVTOL 适航认证难度相对较低，但有效载荷和航程都相对有限，主要满足低空旅游观光、市内空中出租、机场接驳等中短途交通运输场景需求为主。初创公司大多采用该构型作为第一代产品，在此基础上，逐步积累技术研发实力和供应链垂直整合能力。
- 2) 升力与巡航复合型：由于配置了专用的水平推进螺旋桨，有效地提升了巡航阶段的气动效率、航程和安全性。但该构型“死重”（对当前飞行没有帮助，但因种种因素又不得不携带的部件重量）较大，限制了有效载荷的进一步提升。
- 3) 倾转旋翼/机翼构型：与前两种构型相比，倾转旋翼/机翼构型在垂直阶段和水平阶段共用一套螺旋桨，降低了“死重”，在航程、巡航速度和载重比方面优势明显，具有较好的有效载荷、最大起飞重量和运营经济性。但矢量推进的倾转机械结构对技术可靠性和飞行姿态控制带来了额外的挑战，预计适航认证难度也会有所增加。
- 4) 倾转涵道构型：倾转涵道风扇构型与倾转旋翼/机翼构型类似，区别在于该构型将裸露在外的风扇结构装入涵道中，在动力可靠性、地面伤害烈度、噪声控制、气动效率等方面实现了更好的平衡。涵道风扇的设计使飞行器在悬停模式下的气动效率更高，同等工况条件下的耗电量更少，更适于中长距离的运输场景。

图表2：eVTOL 主要构型与应用场景

	多旋翼型	升力与巡航复合型	倾转旋翼/机翼型	倾转涵道型
架构示意	通过多个（通常多于 4 个）固定螺旋桨实现起降和巡航动作	升力与巡航用的螺旋桨是独立的，分别实现垂直起降和巡航	通过倾转不同螺旋桨或机翼方向实现飞行姿态控制与起降	通过改变涵道推力方向，实现不同场景下的垂直起降于巡航
主要玩家	VOLOPTERTER、AIRBUS、亿航等	VOLOCOPTER、VERTICAL、AUTOFLIGHT、亿航等	AIRBUS 等	LILIAM、PANTUO 的呢该



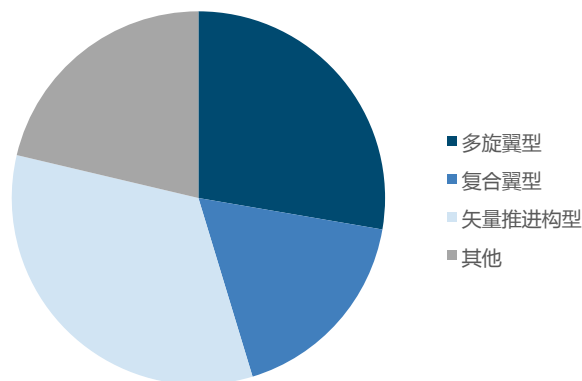
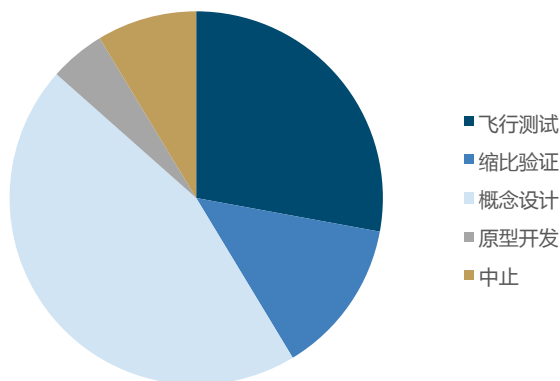
	多旋翼型	升力与巡航复合型	倾转旋翼/机翼型	倾转涵道型
载重	1-3 位乘客	2-5 位乘客	2-5 位乘客	4-7 位乘客
最大时速	80-150km/h	150-200km/h	180-250km/h	200-300km/h
最大航程	20-50km	150-250km/h	200-250km/h	175-300km/h
主要应用 场景	✓ 空中出租车	✓ 空中出租车	✓ 空中出租车	✓ 城际中长距离航班
	✓ 机场接驳	✓ 机场接驳	✓ 机场接驳	✓ 紧急救援
	✓ 低空旅游	✓ 城际短途航班	✓ 城际短途航班	✓ 观光旅游等
	✓ 短途紧急救援	✓ 物流运输等	✓ 物流运输等	

来源：《2023 中国垂直出行市场展望报告》，国金证券研究所

中短程多旋翼向复合翼迭代，长航程关注矢量推进型。据民航新型智库及 2022 年 8 月美国垂直飞行协会（VFS）发布的统计，全球目前有超过 700 个 eVTOL 设计研发项目，从构型分布上看，升力与巡航复合型有 124 款，多旋翼型有 195 款，倾转旋翼和倾转涵道等矢量推进型共有 235 款。目前各国近期推出的 eVTOL 项目倾转构型机型最多，多旋翼构型最少。对于短航程任务（7 公里）而言，随着后续电池技术发展，续航里程会从 100km 扩展到 300km，复合翼相对于多旋翼的优势会更明显，多旋翼 eVTOL 厂商也纷纷开始复合翼机型（含倾转旋翼）的研发。而对于更长航程的任务，则是矢量推进构型 eVTOL 的表现最优。

图表3：全球 eVTOL 项目进展分布（2022 年）

图表4：全球超 700 个 eVTOL 设计研发项目按构型分类（2022 年）



来源：民航新型智库，VFS，国金证券研究所

来源：民航新型智库，VFS，国金证券研究所

布局 eVTOL 的企业包括了传统航空巨头、汽车企业及新兴 eVTOL 企业。1) 航空巨头：波音、空客、贝尔、巴西航空、中航工业等传统航空企业巨头均已布局 eVTOL 的研发；2) 汽车企业：吉利、奥迪、现代、丰田、小鹏等汽车企业也都纷纷加入研发行列；3) 新兴 eVTOL 企业：亿航等新型科技企业已逐步成为面向城市空中交通的 eVTOL 研发主力军。

图表5：汽车企业 eVTOL 研发

研发公司	吉利太力飞车	奥迪	现代
型号	TF-2	Pop. Up Next	S-A1
国家/地区	中国大陆	欧洲	韩国
垂直起降形式	固定旋翼	固定风扇	倾转旋翼
动力形式	混合动力	纯电动	纯电动
首飞年份	-	-	-
旋翼数量	8+1	-	8
涵道风扇数量	-	4	-
巡航速度/(km/h)	230	-	290
最大速度/(km/h)	-	150	-
最大航程/km	300	50	97



研发公司	吉利太力飞车	奥迪	现代
最大起飞质量/t	-	2.000	-
设计载员数	5 2	-	5

来源：《飞行汽车的研究发展与关键技术》，国金证券研究所

图表6：航空企业 eVTOL 研发

研发公司	空客	空客直升机	波音	波音	Bell	Embraer
型号	A3Vahana	City Air Bus	Aurora PAV	Wisk Aero Cora	Nexus 6HX	Dream Maker
国家/地区	欧洲	欧洲	美国	美国	美国	巴西
垂直起降形式	倾转旋翼	固定风扇	固定旋翼	固定旋翼	倾转风扇	固定旋翼
动力形式	纯电动	纯电动	纯电动	纯电动	混合动力	-
首飞年份	2018	2019	2019	2016	-	-
旋翼数量	8	-	8+1	12+1	-	8
涵道风扇数量	-	4	-	-	6	2
巡航速度/(km/h)	230	120	180	180	-	-
最大速度/(km/h)	-	-	-	-	288	-
最大航程/km	100	45	80	100	241	-
最大起飞质量/t	1.45	2.2	0.8	-	2.72	-
设计载员数	2	4	2	2	5	-

来源：《飞行汽车的研究发展与关键技术》，国金证券研究所

图表7：新兴科技公司典型 eVTOL 研发

研发公司	Jopy Aviation	亿航	Volocopter	Lilium
型号	Joby S4	Ehang 216	Volocopter 2X	Lilium Jet
国家/地区	美国	中国	德国	德国
垂直起降形式	倾转旋翼	固定旋翼	固定旋翼	倾转风扇
动力形式	纯电动	纯电动	纯电动	纯电动
首飞年份	2017	2017	2017	2019
旋翼数量	6	16	18	-
涵道风扇数量	-	-	-	36
巡航速度/(km/h)	322	100	-	-
最大速度/(km/h)	-	130	100	300
最大航程/km	246	35	27	300
最大起飞质量/t	1.815	0.6	0.45	1.3
设计载员数	4	2	2	5

来源：《飞行汽车的研究发展与关键技术》，国金证券研究所

1.2 政策端、产业端持续推进，预计 30 年国内需求超 1.6 万架

低空经济纳入国家规划，相关政策频出。2021 年 2 月低空经济概念首次被写入国家规划，2023 年中央经济工作会议指出要大力推进新型工业化，发展数字经济，加快推动人工智能发展，打造生物制造、商业航天、低空经济等若干战略性新兴产业，配套的规范性政策也陆续出台。24 年全国两会，低空经济首次出现在政府工作报告中，彰显中央发展低空经济的决心。地方政府响应中央号召，广东、上海、四川、湖南、海南等省市均提出相应行动。

政策催化不断，加速产业化落地。24 年 3 月，四部门印发《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030 年）》。《方案》提出，到 2027 年，我国通用航空装备供给能力、产业创新能力显著提升，到 30 年形成“短途运输+电动垂直起降”客运网络、“干-支-末”无人机配送网络，形成万亿级市场规模。其中在载货场景方面，计划到 27 年，航空应急救援、物流配送实现规模化应用，在重点地区形成量大面广的航空物流配送装备体系，推动大型无人机支线物流连线组网，及城市、乡村、山区、海岛等新兴场景无人机配送大规模应用。



落地；载人场景方面，着力培育商务出行、空中摆渡、私人包机等载人空中交通新业态，支持开展飞行体验、航空跳伞等消费飞行活动，大力推广轻型运动飞机、特技飞行器，推进“通用航空+运动”；基础设施方面，支持探索推进楼顶、地面、水上等场景起降点建设，鼓励新建住宅与商业楼宇预留低空基础设施；加快 5G、卫星互联网等融合应用，支持空天地设施互联、信息互通。

空域管理待进一步优化。根据民航新型智库，一直以来我国低空空域处于管制状态，2010 年国家启动低空空域改革，2015 年起国家遴选有代表性的城市大力开展低空空域管理改革试点，全面推开各项改革任务，先后在山东、重庆、海南、珠三角和西北等地开展低空空域改革试点，2018 年开始的四川低空空域管理改革试点取得积极成效，但在关键性问题上分歧较大，低空空域管理改革尚未没有形成全国性的可复制、可推广的模式。

图表8：2021 年以来中央发布的相关政策

时间	发布主体	文件/会议名称	相关描述
2021/2/25	中共中央国务院	国家综合立体交通网规划纲要	"低空经济"概念首次写入国家规划,标志着低空经济成为"十四五"时期需要认真谋划的新兴经济形态:推进交通与装备制造等相关产业融合发展加强交通运输与现代农业、生产制造、商贸金融等跨行业合作,发展交通运输平台经济、枢纽经济、通道经济、低空经济
2021/12/22	国务院	"十四五"旅游业发展规划	明确促进旅游装备技术提升,重点推进夜间旅游装备、低空旅游装备等自主创新及高端制造;完善邮轮游艇旅游、低空旅游等发展政策;选择一批符合条件的旅游景区、城镇开展多种形式的低空旅游,推进通用航空与旅游融合发展,加强邮轮游艇、低空飞行器等旅游装备研发应用和产业化发展
2022/1/7	民航局	"十四五"民用航空发展规划	在京津冀、长三角、粤港澳大湾区和成渝等重点城市群引导建设大型综合性通用机场,疏解非枢纽功能,因地制宜引导草地、水上、土质等简易机场建设,支持引导无人驾驶航空试验基地(试验区)建设,满足多场景、多主体、多层次发展需要支持高高原应急救援航空基地建设
2022/1/24	发改委	关于深圳建设中国特色社会主义先行示范区放宽市场准入若干特别措施的意见	深化粤港澳大湾区低空空域管理试点,加强粤港澳三地低空飞行管理协同,完善低空飞行服务保障体系,积极发展跨境直升机飞行、短途运输、公益服务、航空消费等多种类型通用航空服务和通用航空投资、租赁、保险等业务,建设具备较强国际竞争力的基地航空公司
2022/2/16	民航局	"十四五"航空物流发展专项规划	探索构建通用航空物流网络,充分发挥无人机物流成本、效率优势
2022/3/25	交通运输部,科学技术部	交通领域科技创新中长期发展规划纲要(2021-2035 年)	部署飞行汽车研发,突破飞行器与汽车融合、飞行与地面行驶自由切换等技术
2022/12/14	中共中央国务院	扩大内需战略规划纲要(2022-2035 年)	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
2023/10/10	工信部科技部、财政部、民航局	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实现试点运行;到 2035 年,以无人化、电动化、智能化为技术特征的新型通用航空装备实现商业化、规模化应用
2023/12/13	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
2023/12/21	工信部	全国工业和信息化工作会议	壮大新能源、新材料、高端装备、生物医药及高端医疗装备、安全应急装备等新兴产业,打造生物制造、商业航天、低空经济等新的增长点
2024/1/1	民航局	民用无人驾驶航空器运行安全管理规则	对低空空域进行了新型划分,进一步放开低空空域限制
2024/3/6	全国人大	政府工作报告	大力推进现代化产业体系建设,加快发展新质生产力,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。
2024/3/27	四部门	通用航空装备创新应用实施方案	到 2027 年,以无人化、电动化、智能化为技术特征的新型通用航空装备在城市空运、物流配送、应急救援等领域实现商业应用

来源：工信部官网，民航局官网，国务院官网，国金证券研究所

eVTOL 预计分场景从载物到载人、郊区到城市逐步应用。eVTOL 在旅游观光、物流运输、



医疗急救、消防应急等场景投入使用，紧急医疗服务（EMS）、消防、搜索救援、空中执法预计为率先使用的场景，空中游览可能是通往载客服务的开端，后续空中出租车、飞行救护车和货物运输可能是未来 eVTOL 的常态化用途，eVTOL 预计将沿循从载物到载人、从郊区到城市、从特需到日常、从公共服务到商业化运营的发展方向。

适航取证是航空器开启商业化的前提。航空器资质获取主要涉及设计批准、生产批准、适航批准。主机厂在概念与技术发展阶段与局方初步进行接洽；在产品发展初期，向局方申请受理型号合格证，经历三个核心节点（审定基础 G1、符合性方法 G2、型号审查核准书 TIA）后获得型号合格证（TC），进一步申请生产许可证（PC），才能进入运营服务阶段触及大众市场。

- 1、设计批准指局方颁发的用以表明该航空产品或者零部件设计符合相关适航规章和要求的证件，其形式可以是型号合格证、型号认可证、型号合格证更改、型号认可证更改、补充型号合格证、改装设计批准书、补充型号认可证、零部件设计批准认可证，或者零部件制造人批准书、技术标准规定项目批准书对设计部分的批准，或者其他方式对设计的批准。
- 2、生产批准指局方颁发用以表明允许按照经批准的设计和经批准的质量系统生产民用航空产品或者零部件的证件，其形式可以是生产许可证或者零部件制造人批准书、技术标准规定项目批准书对生产部分的批准。
- 3、适航批准指局方为某一航空器、航空发动机、螺旋桨或者零部件颁发的证件，表明该航空器、航空发动机、螺旋桨或者零部件符合经批准的设计并且处于安全可用状态。

根据我国《民用航空产品和零部件合格审定规定》（CCAR-21-R4），适航管理的对象可以分为两大类，一类为“民用航空产品”，指民用航空器、航空器发动机或者螺旋桨；另一类即为“零部件”，指任何用于民用航空产品或者拟在民用航空产品上使用和安装的材料、零件、部件、机载设备或者软件。根据 CCAR-21-R4，民用航空产品的适航取证路径是相对明确的：

（1） 国产民用航空器：TC→PC→CoA；

（2） 国产民用航空发动机、螺旋桨：TC→PC→AAC-038

以上为国产民用航空产品的常规取证路径；也有特殊的情况，如“自制类航空器”可以不取 TC、PC，直接申请“实验类”CoA；而发动机和螺旋桨也有不取 TC、PC，直接随航空器取证的情况。

图9：适航审定过程



来源：交通运输部官网，国金证券研究所

eVTOL 研发及取证周期较长，商业化运营后周期有望缩短。目前取得适航证的 eVTOL 产品较少，我们选取亿航 EH216-S 以及 Joby-S4 研制及取证周期进行复盘，总结得一款新型 eVTOL 研制周期需要 4-7 年左右，取证周期需 3-4 年。随着未来技术成熟度的提升以及审查程序的适当简化，这一周期有望缩短。

主机厂积极申请取证，预计 2026 年起 TC 证密集落地。随着各家 eVTOL 主机厂产品成熟度提升，主力产品取证已提上日程表。我们预计无人驾驶+客运审查要求最高，适航取证时间最长，假设为 4 年，而有人驾驶/货运/LSA 的适航要求相对低，取证时间相对少，且预



计国内适航审查周期较海外短。当前峰飞、小鹏汇天、沃飞长空、沃兰特、时的科技、御风未来的 TC 申请均已获受理，我们预计 2026 起 TC 证密集落地。产能方面，当前亿航、峰飞设计产能 600、1000 台，亿航 23 年已交付 52 台。

图表10：国内主机厂适航审查进展

主机厂	eVTOL 型号	构型	eVTOL 用途	TC 审查机构	TC 申请日期	TC 颁发日期	产能
广州亿航	EH216-S	纯多旋翼	无人驾驶、客运	CAAC 中南局	2020 年 12 月	2023 年 10 月	设计产能 600 台，23 年交付 52 台
上海峰飞	V2000CG	复合翼	无人驾驶、货运	CAAC 华东局	2022 年 9 月	2024 年 3 月	设计产能 1000 台
	盛世龙 V1500M	复合翼	有人驾驶、客运	EASA	2022 年 5 月	预计 2026 年	-
广州小鹏汇天	陆空一体飞行汽车	纯多旋翼	无人驾驶、个人飞行器 (LSA)	CAAC 中南局	2024 年 3 月	预计 2026 年	-
成都沃飞长空	AE200	倾转旋翼	有人驾驶、客运	CAAC 西南局	2022 年 11 月	预计 2026 年	-
上海沃兰特	VE25-100	复合翼	有人驾驶、客运	CAAC 华东局	2023 年 9 月	预计 2026 年	设计产能 300 台
上海时的科技	E20	倾转旋翼	有人驾驶、客运	CAAC 华东局	2023 年 10 月	预计 2026 年	-
御风未来	M1-8	复合翼	无人驾驶、货运	CAAC 华东局	2024 年 1 月	预计 2026 年	-

来源：各公司官网、公告，国金证券研究所

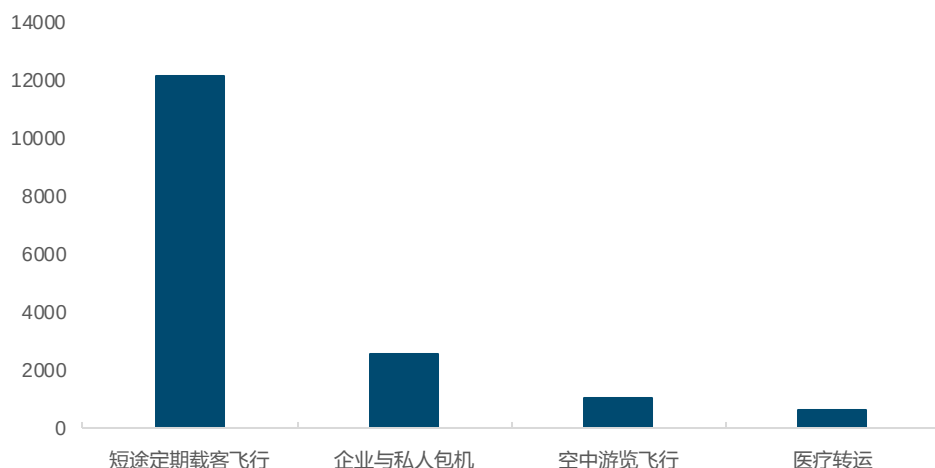
注：预计无人驾驶、客运审查要求最高，适航取证时间最长，假设为 4 年，而有人驾驶/货运/LSA 的适航要求相对低，取证时间相对少，预计国内适航审查周期较海外短

根据《客运 eVTOL 应用与市场白皮书》预计，30 年累计国内 eVTOL 需求量为 16316 架。国内 eVTOL 主要应用场景可分为短途定期载客飞行、企业与私人包机、空中游览飞行、医疗转运四类，其中：

- 1) 短途定期载客飞行：为 eVTOL 运营的重要模式之一，运营商按照预先批准的航线在两个或多个地点之间进行旅客运输服务。在现有的空域管理及运行管理基础上，该业务模式将最大程度保证飞机使用率，降低运行成本，实现可持续发展。截止 2022 年全国具有 4000 辆以上出租车的城市共计 34 个，共约 40 万辆，全国网约车运输证 203 万本，至 2030 年，全国 eVTOL 定班载客飞行运输量若达到出租车/网约车量的 0.5%，则需要 eVTOL12150 架。
- 2) 企业与私人包机：由于直升机高昂的运行成本，直升机包机市场发展缓慢，eVTOL 的兴起有望改变局面。根据 2021 年《胡润财富报告》，中国家庭总财富达到 600 万以上的家庭约 500 万个，假设其中 20% 的家庭每两个月使用 1 次航行距离在 150 公里左右的出行服务，年度出行量为 600 万次。假设到 2030 年，eVTOL 能够获取其中 15% 的市场，即 90 万次，以每架 eVTOL 每年可提供 350 次包机服务计算，需要 eVTOL2571 架。
- 3) 空中游览飞行：空中游览是近年发展起的新业务，通常采用小型固定翼飞机或直升机执飞。15 年国内直升机低空旅游线路达 88 条，国家也在积极鼓励低空旅游等新型旅游形式的发展。假设全国 100 条低空游览路线，每条航线需要 10 架，所需 eVTOL 数量为 1000 架。
- 4) 医疗转运：直升机在急救和运送病患方面速度比救护车快 3-5 倍，可以有效减低事故死亡率，遇到地面交通拥堵时，直升机救援优势更明显。直升机医疗急救在美、欧、日等国家使用广泛，我国直升机运行成本高昂，发展较慢。随着 eVTOL 加入航空救援体系，这一情况有望改善。根据《客运 eVTOL 应用与市场白皮书》，若中国航空医疗救援能力在 2030 年达到日本 2020 年水平，按人均比例推算，将需要 595 架 eVTOL 医疗救援飞机。



图表11：不同应用场景下中国 eVTOL 机队规模预测（2030 年）



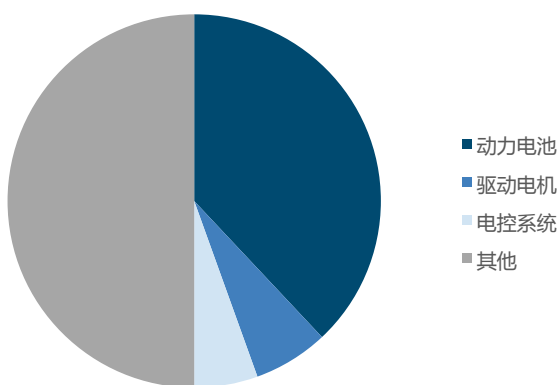
来源：南航通航、沃兰特《客运 eVTOL 应用与市场白皮书》，国金证券研究所

二、eVTOL 电机电控：壁垒较车用提升，材料领域非晶有望替代硅钢片

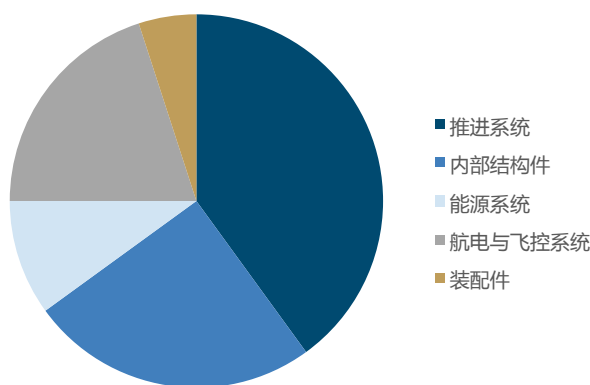
2.1 规模：eVTOL 带来百亿级电机前装市场，更换频率高后市场规模可观

成本角度，三电系统在整车、eVTOL 的成本占比类似，eVTOL 的电机成本占比更高。根据钜大锂电及 36 氪研究院的信息，2022 年整车当中动力电池+驱动电机+电控系统的“三电”系统成本占比达 50%，动力电池占 38%，电机占 6.5%。根据 2021 年《LILium Analyst Presentation》，其 eVTOL 单机成本约 250 万美元，其中推进系统（电机电控、螺旋桨等）+能源系统（电池等）占比 50%，其中能源系统占 10%，推进系统占 40%。根据产业链调研，电动力系统（电机电控、螺旋桨等）占比 20%，能源系统（电池等）占比 20%。综合来看，我们预计电机电控在 eVTOL 的成本占比在 10%-20%。

图表12：三电系统在汽车成本占比约 50%（2022 年）



图表13：推进系统（电机）、能源系统（电池）在 eVTOL 成本占比 50%



来源：钜大锂电，36 氪研究院，国金证券研究所

来源：《LILium Analyst Presentation》2021，国金证券研究所

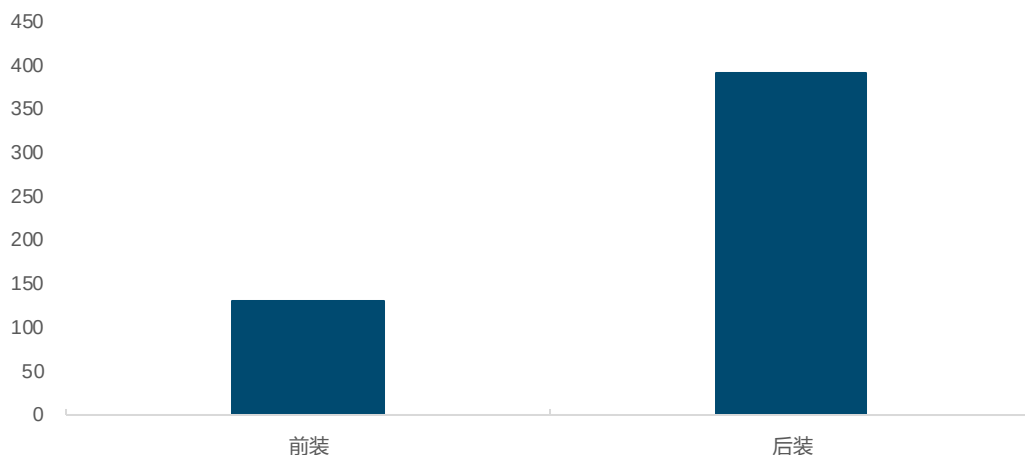
eVTOL 带来国内电机前装市场达百亿级。国内电机主要用于国内市场，根据《客运 eVTOL 应用与市场白皮书》预计，30 年累计国内 eVTOL 需求量为 16316 架，假设单机用机电电控 80 万元，对应国内 eVTOL 电机前装市场规模约 131 亿元。

eVTOL 的使用寿命约 15-20 年，电机需更换 3-4 次。相较于汽车，eVTOL 对于可靠性的要求性极高，根据盖世汽车，载人场景下要求出错率控制在 10 的-9 次方以内，而且相比于传统航空发动机千万美元以上的价格，电机价格相对便宜，因此为保障 eVTOL 的使用寿命，电机更换相较于汽车会更加频繁。因此，假设 eVTOL 使用寿命 20 年，电机 4 年一换，单机



后装更换价格平均 60 万元，则对应一架 eVTOL 生命周期内更换电机 4 次，更换成本为 240 万元，30 年累计国内 eVTOL 需求量为 16316 架，对应电机后装市场约 392 亿元。

图表14：国内 eVTOL 给电机带来前装/后装市场预测（2030 年，亿元）



来源：南航通航、沃兰特《客运 eVTOL 应用与市场白皮书》，国金证券研究所测算

2.2 壁垒：eVTOL 电机壁垒在于高功率密度及适航

电机是 eVTOL 电动化动力系统的重要组成部分。动力电池或燃料电池的电是通过电机驱动涵道风扇或旋翼，电机的功率密度直接影响着飞行汽车的有效载荷能力，电机的大范围变工况动力输出能力、可靠性和环境适应性是决定飞行汽车动力特性和安全性的重要因素。

不同适航需求，应用场景所使用的电机不同。按照工作电源，电机主要可分为直流电动机、交流电动机。其中直流电动机中又分为有刷直流和无刷直流，有刷直流中包含永磁直流和电磁直流。

1) 电动汽车：使用永磁同步电机比较常见，永磁电机所具有较高的效率和较高的转矩可以提供更好的驾驶体验。同时永磁电机的高功率密度也可以帮助电动车在相同的体积下获得更高的动力。

2) 无人机中：常用无刷直流电动机。由于没有电刷和换向器，它具有效率高、维护成本低、寿命长等优点。其主要作用是产生旋转力矩，驱动螺旋桨的旋转，从而实现无人机的飞行。在无人机上使用无刷直流电机一是无刷直流电机具有较低的重量和噪音，而且维护成本较低，适合无人机的飞行要求；二是无刷直流电机的转速较高，适合无人机中的高速飞行的需求。

3) eVTOL：对电机效率和转矩密度的要求较高，永磁同步电机是电推进动力系统很具前景的方案。相比于直流电机和感应电机，永磁同步电机具有功率密度高、调速范围广、电磁转矩大等优势，并且其保持全扭矩的能力非常适合 eVTOL 在起飞和着陆阶段的动力要求，是电推进动力系统很具前景的方案。当前电动垂直起降飞行器，如 Joby S4、Archer Midnight 等均采用了永磁同步电机。

图表15：永磁同步电机 vs 无刷直流电机

	永磁同步电机 (PMSM)	无刷直流电机 (BLDC)
优势	损耗低，效率高，力矩大，控制精度高，应用场合高端，换相时没有转矩脉动	价格便宜，采用 6 步法控制，并且仅需直流电源，较简单
劣势	价格高，控制复杂，容易发热，永磁体易退磁	效率较低，性能较差，换相时有转矩脉动
示例		



来源：EasiMotor 官网，国金证券研究所

在航空级电机中，对于安全性、环境适应性、功率密度均有较高的要求。

- 1) 安全性方面，考虑到航空应用场景中，首要考虑指标是飞机在紧急情况下可以冗余 50% 功率输出，并配置紧急降额设计；
- 2) 环境适应性方面，航空级电机对于高低温、湿热、低温低气压、盐雾、臭氧、电磁兼容、振动等方面的要求较高，需要适应各类极端环境；
- 3) 数量方面，电动汽车通常配备 1-2 个电机，而 eVTOL 当前至少需要 8 个电机驱动。由于飞行汽车在安全性和可靠性方面的要求较高，因此，在任何情况下，即使最多有一个电机出现故障，飞行汽车仍能保持稳定悬浮；
- 4) 航空更为注重功率密度。根据《飞行汽车的研究发展与关键技术》，车用电机的额定干质量功率密度最高约为 2 kW/kg，航空推进电机通过使用具备更高耐温极限的绝缘材料、更高磁能密度的永磁材料和更轻的结构材料，已经可使电机本体的额定功率密度超过 5 kW/kg。通过改善电机的电磁结构设计，例如采用 Halbach 磁阵列、无铁芯结构、Litz 导线绕组等技术，以及改善电机的散热设计，预计 2030 年电机本体的额定功率密度可达 10 kW/kg，2035 年额定功率密度将超过 13 kW/kg。通过提升电磁设计技术、热管理技术和轻量化技术降低电机结构重量和散热系统辅助重量，不断提高电机的功率密度和宽范围变工况动力输出能力，是 eVTOL 动力系统的主要发展趋势。

图表16：电动汽车电机主要指标

技术指标	国内驱动电机	德国 宝马 i3	美国 通用 Bolt	美国 Remy HVH250-90	日产 Leaf
峰值功率 (kW)	128	125	130	82	80
最高转速 (rpm)	12800	12800	8810	10600	10390
峰值扭矩 (Nm)	270	250	360	325	280
峰值效率 (%)	97%	97%	97%	97%	97%
功率密度 (kW/kg)	2.3/3.8	2.6/3.8	2.6/4.6	2.44	1.5/2.6
转矩密度 (Nm/kg)	4.3/7.1	5.2/7.6	7.1/12.7	9.70	4.7/8.5

来源：国家机动车质量监督检测中心、美国阿岗实验室，国金证券研究所

图表17：电动飞机电机主要指标

生产厂家	EMRAX		MAGiCALL	罗罗（西门子）	Lauchpoint
额定功率 (kW)	110	53	400	70	82
峰值功率 (kW)	260	109	500	92	-
额定转速 (rpm)	4000	5000	3200	2600	6200
冷却方式	水冷	水冷	风冷	油冷	风冷
功率密度 (kW/kg)	2.6	4.3	4	2.7	6.5
防护等级	IP65	IP65	IP65	IP65	IP21

来源：国家机动车质量监督检测中心、美国阿岗实验室，国金证券研究所

目前，电机多与主机厂随机适航，构筑高客户粘性。当前电机产品多配套主机厂，随主机厂配套适航，由于主机厂适航要求高且复杂，预计电机厂和主机厂在适航通过后会形成稳固的合作、供应关系，切换供应商带来的产品可靠性风险较大。

另外，中国局方可将电机作设备用，单独适航测试难度大。适航规定适用于中国民用航空技术标准规定 (CTSO)，该规定根据中国民用航空规章《民用航空材料、零部件和机载设备技术标准规定》(CCAR37) 颁发，是对用于民用航空器上的某些航空材料、零部件和机载设备接受适航审查时，必须遵守的准则。规定进行标识的 FDR（飞行数据记录器）应满足欧洲民用航空设备组织 EUROCAE 标准 ED-112A《抗坠毁的机载记录系统最低工作性能要求》中的要求。

其中对于环境鉴定，应按 ED-112A 规定的试验条件，采用该设备适用的标准环境条件和试验程序，证明设备性能满足要求。ED-112A 要求采用 ED-14G 或 RTCA/DO-160G；对于软件鉴定，规定说明如果设备包含软件，则软件应按照 RTCA/DO-178B《机载系统和设备合格审定中的软件考虑》的要求进行研制；对于硬件设计，如果硬件单元包含无法通过试验和/或分析来评估功能的电子设备，则应根据硬件单元制造商确定的设计保证等级，按照



RTCA/D0-254《机载电子硬件的设计保证指南》进行研制。

其中：

- 1) D0-160 专注于设备的物理特性和环境适应性，例如温度、湿度、振动、冲击等；
- 2) D0-178 专注于航空航天软件开发的认证。主要用于航空航天软件的开发、验证和认证，包括飞行控制系统、显示系统、通信系统等；
- 3) D0-254 专注于航空航天电子硬件的设计和验证，包括芯片、电路板、传感器等。

电机产品单独适航，通过 D0-160 认证难度大。电机作为设备需通过 D0160 环境实用性测试，需满足高温高湿，强磁，震动，电磁干扰等环境测试。当前国内企业通过难度较大。

电控产品单独适航，通过 D0-178 认证难度大。如果想要制造出合格的飞行器，电控系统需要通过 D0-178 标准认证，而国内仅有两三家中航工业的企业产品能够通过 D0-178 认证。D0-178 标准不仅对软件进行评估，还对硬件要求高，目前大量在汽车上所使用的芯片无法满足相关要求。另外一种选择是企业自行设计 FPGA 系统，但需要通过 D0-254 标准认证，难度较 D0178 标准认证更大，国内能够通过 D0-254 认证的企业同样稀缺。

图表18：国际民航组织对于民用飞行器的相关认证资质许可

D0160 标准	D0-160 专注于设备的物理特性和环境适应性，例如温度、湿度、振动、冲击等。
D0178 标准	D0-178 专注于航空航天软件开发的认证。主要用于航空航天软件的开发、验证和认证，包括飞行控制系统、显示系统、通信系统等。
D0254 标准	D0-254 专注于航空航天电子硬件的设计和验证，包括芯片、电路板、传感器等。

来源：成都检测认证实验室，国金证券研究所

从全球 eVTOL 电机市场的竞争格局来看，目前进入 eVTOL 领域较早的主机厂如 Joby、Archer、亿航智能、峰飞等均进行电推进系统自主研发，根据公司机型特征，针对性进行电机设计，以满足轻量化和功率密度提升的需求。Lilium 则与日本电装公司和美国霍尼韦尔航空航天公司达成合作，两家公司联合将电子马达整合到 Lilium 的飞机发动机中。Volocopter、沃兰特、时的科技均采用赛峰提供的高性能、高功率密度电机，赛峰集团是全球飞机发动机、直升机发动机领域领先的企业，公司覆盖全球 13 个国家，能向客户第一时间提供本地服务。

国内 eVTOL 电机电控供应商主要有卧龙电驱、天津松正、迈吉易威等，蓝海华腾等企业有意进入。其中：

1) 卧龙电驱：在航空电驱动及控制领域处于国际一流水平。公司自 2019 年开始致力于开发航空电驱动力系统产品，逐渐形成了“3+1”的产品布局，即小、中、大三个功率等级的驱动产品及一个适航标准。小功率指 2kW~30kW 产品，主要应用于工业无人机及 1~2 座 eVTOL，已开始向国内主流物流无人机企业小批量供货；中功率产品以 50kW~175kW 为主，4 座载人 eVTOL 为主要应用，与国内主流 eVTOL 制造企业均有技术沟通，相关研发项目正在进行中；大功率是 200kW 至 1MW 以上，应用于十几座到几十座的支线飞机，以预研为主。公司当前已合作客户包括商飞、山河智能等。

2) 天津松正：航空电机电控行业进展领先。在载人级电动航空领域，公司专注于高效功重比的电推进系统的开发，推出针对飞行任务动力需求的定制化航空电机及控制器的开发服务，在纯电驱多旋翼垂直起降、涵道风扇等不同构型的飞行器均有深入的研究及产品应用；同时在混动驱动机载大功率增程电机及驱动器均具备开发和制造能力。

3) 江苏迈吉易威：军用高功率密度轮毂电机系统核心供应商。公司已有多个型号产品在部队投放应用。公司的电机产品经过多次迭代，目前最大输出功率已达到 250kW，效率高达 95%以上，并且具备风冷液冷两种冷却方式电机类型，并由传统柴油发电机逐步扩展至航空用永磁电动发电机。目前公司已推出了面向 eVTOL 的电机系统配套产品。

4) 蓝海华腾：从汽车电控进入 eVTOL 电控。核心团队在电控领域拥有十余年的技术研发积累，具备电动飞行器方面的技术基础，从新能源汽车电控切入研发 eVTOL 电控优势明显，但 eVTOL 对安全性、可靠性、轻量化的要求更高，公司将研发资源向 eVTOL 电控领域适当倾斜，在 eVTOL 电控的设计、算法、轻量化的研发上争取有所突破，以期早日将产品推向市场。

2.3 技术趋势：功率密度提升在于材料改进与高效散热，非晶材料有望替代硅钢片

1) 非晶材料：非晶材料较硅钢片的损耗密度更低，有利于提升电机功率密度。电机的铁芯在物理空间分布上起到导体材料的定位作用，并在电机运行中传递磁通。传统意义上的



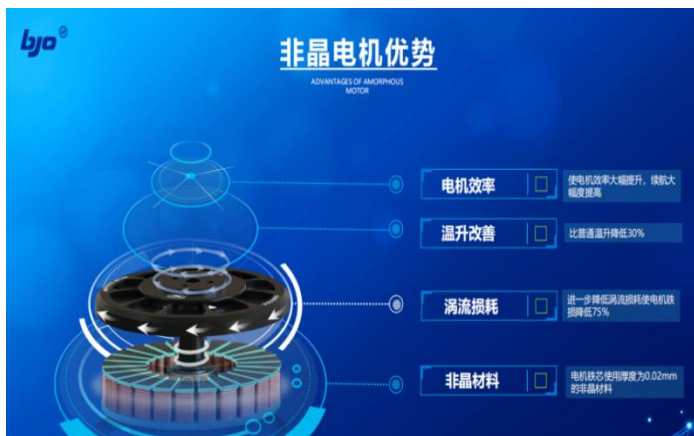
铁芯，由不同性能特性的硅钢片叠压而成，大部分定子铁芯要通过扣板固定，形成一个相对稳固的整体。根据电动新视界，非晶合金在高速高频、轴向磁通电机领域优势明显，应用前景广阔，其损耗密度仅为传统硅钢片的 1/5-1/10，物理特点包括薄、硬、带宽受限。机械特点包括刚度低、叠压系数较低、强度高；电磁特点包括饱和磁密低、磁致伸缩系数大。

图表19：非晶合金 vs 硅钢性能对比

性能指标	铁基非晶带材	冷轧硅钢
饱和磁感 (T)	1.56-1.64	1.8-2.0
	P (50Hz, 1.4T) =0.27	P (50Hz, 1.4T) = 2.04
损耗 (W/kg)	P (400Hz, 1.4T) =3.05	P (400Hz, 1.4T) = 35.5
	P (1kHz, 1.4T) =9.6	P (1kHz, 1.4T) =164.3
矫顽力 (A/m)	<4	<30
电阻率 ($\mu\Omega\text{-cm}$)	130	45
厚度 (μm)	25	350
最大磁导率	$>25 \times 10^4$	4×10^4
叠片系数	0.85-0.95	0.95-0.98
磁致伸缩 (X10 ⁻⁶)	27	-
密度 (g/cm ³)	7.18	7.65
晶化温度 (°C)	535	-
居里温度 (°C)	415	746
抗拉强度 (Mpa)	1500	343
维氏硬度 (HV)	900	181

来源：电动新视界，国金证券研究所

图表20：非晶电机优势



来源：飞行汽车产业之家，国金证券研究所

图表21：使用非晶铁芯比普通硅钢减少 75%铁芯消耗

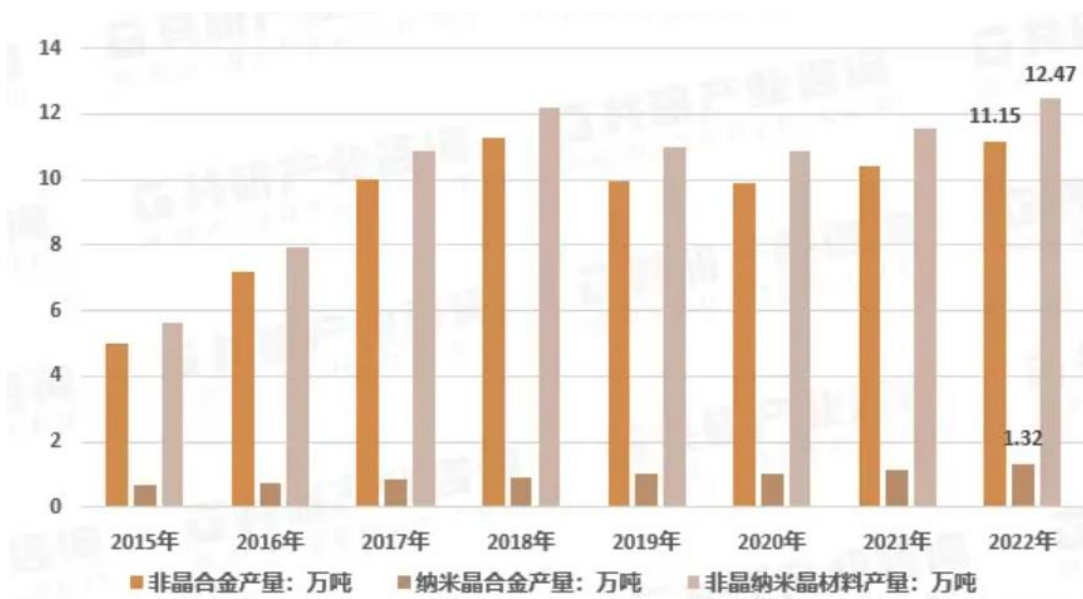
序号	型号	电机结构	实物	电压范围	额定电流	峰值电流	额定拉力	最大拉力	备注
1	BJO186D	单盘单控制 (IGBT模块)		300-420V	90A	150A	50kg	100kg	63寸
2	BJO227D	单盘单控制 (SiC)		300-420V	150A	200A	75kg	150kg	63寸
3	BJO186S	双盘双绕组双控制 (SiC)		300-420V	150A	200A	75-90kg	175 kg	63寸
4	BJO210S	双盘双绕组双控制 (SiC)		300-420V	150A	200A	100-110kg	200kg	72寸
5	BJO233S	双盘双绕组 (单/双控制) (sic模块)		1-800V	200A	300A	140-150kg	260kg	78寸

来源：飞行汽车产业之家，国金证券研究所

非晶、纳米晶主要原材料为纯铁、钕铁、硼铁、硅、铜等金属、非金属元素，其中纯铁用量最大，占比达到 80%以上，行业对于上游的议价能力较强。非晶纳米晶电子元器件已经广泛应用于新能源、家电、信息及通信、仪器仪表、航空航天、军工、电力等领域。根据共研产业咨询，据统计 2022 年我国非晶、纳米晶材料产量为 12.47 万吨，其中非晶合金产量从 2015 年的 4.97 万吨增长至 2022 年的 11.15 万吨。



图表22：2015-2022 年中国非晶、纳米晶材料产量

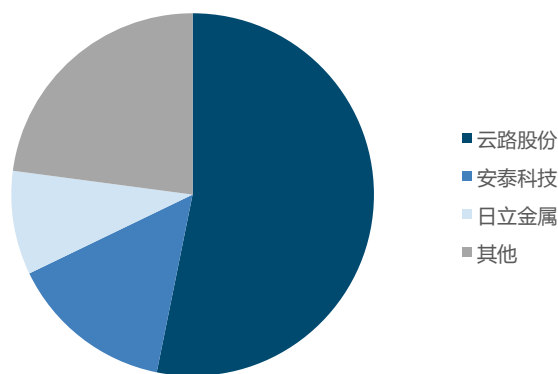
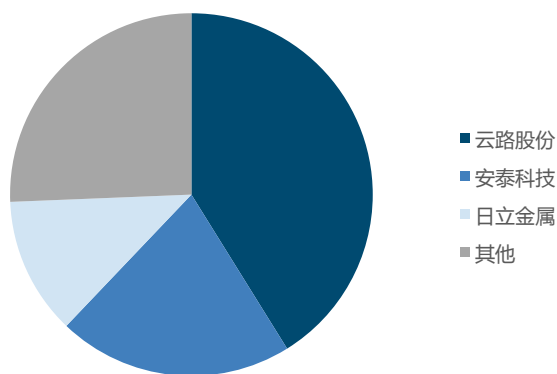


来源：共研产业咨询，国金证券研究所

由于生产非晶带材具备较强的技术门槛，国际国内能够掌握生产非晶带材技术的企业不多，国内市场主要由日本的日立金属和国内的安泰科技占据主要的市场份额。另外，国内能够生产高端非晶带材的企业还包括青岛云路和佛山市中研非晶科技股份有限公司。目前，整个行业竞争格局处于寡头垄断竞争状态。

图表23：2019 年非晶合金全球市占率

图表24：2019 年非晶合金国内市占率



来源：云路股份招股说明书，国金证券研究所

来源：云路股份招股说明书，国金证券研究所

eVTOL 用非晶材料已有产业化进展，中研非晶&北极鸥合作，非晶电机上车小鹏 X2。产业进展方面，清华大学李骏院士团队研制的世界首台面向城市交通的智能载人飞行汽车在西安试飞成功，其飞行动力系统采取高压大功率非晶电机，可提供超过 1 吨的极限拉力，整机最大起飞重量超过 800 公斤。国内布局或未来可能布局 eVTOL 用非晶材料的企业包括云路股份、安泰科技、中研非晶等。

- 1) 云路股份：公司目前正在积极进行电机用非晶材料以及材料适用性的技术研究。
- 2) 安泰科技：非晶合金适合于新能源汽车驱动和飞行汽车等驱动应用场景，公司在 2010 年开始关注非晶合金在电机领域的应用研究，已为多家头部车企和科研单位联合开发电机用高性能非晶材料和高效非晶定子铁芯制备技术。
- 3) 中研非晶：2018 年公司与北极鸥达成战略合作伙伴协议，共同开发及量产非晶无人机盘式电机，而根据飞行汽车产业之家，北极鸥已布局航空大功率电机系列，产品已应用至小鹏 X2 上。



图表25：部分非晶、纳米晶合金磁材企业基本情况

公司名称	公司介绍
日立金属	总部位于日本,成立于1910年。主营业务分为特殊钢、磁性材料、素形材料、电线材料四部分。在磁性材料领域覆盖软磁铁氧体材料、永磁铁氧体材料、钕铁硼永磁材料、磁记录材料以及非晶合金软磁材等。2019年金属非晶合金薄带产量居世界第二,纳米晶材料产量居全球首位。
青岛云路	专注于先进磁性金属材料的设计、研发、生产和销售,已形成非晶合金、纳米晶合金、磁性粉末三大材料及其制品系列,包括非晶合金薄带及铁心、纳米晶超薄带、雾化和破碎粉末及磁粉芯等产品。目前非晶合金薄带年设计产能达到9万吨,为行业内最大的非晶合金薄带供应商。
安泰科技	成立于1998年,以金属材料及制品的研发、生产为主业,产品涉及非晶和纳米晶带材及制品、难熔材料及制品、粉末材料及制品等,为客户提供金属材料、制品及解决方案。目前拥有非晶带材产能6万吨。
中研非晶	成立于2008年,专注于高性能非晶、纳米晶材料及制品的研发、生产和销售,主要产品有非晶、纳米晶带材,非晶、纳米晶电子铁芯,电力电子元器件,非晶变压器铁芯及输配电与控制设备等四大类产品,主要服务于国家节能环保、新材料、高端装备制造、新能源、新能源汽车等战略新兴产业。
兆晶科技	成立于2018年,主要从事非晶纳米晶合金带材及非晶变压器铁芯、C型铁芯、非晶电机铁芯和磁粉芯的研发、生产与销售,产品规格已做到行业为非晶纳米晶宽带全覆盖。

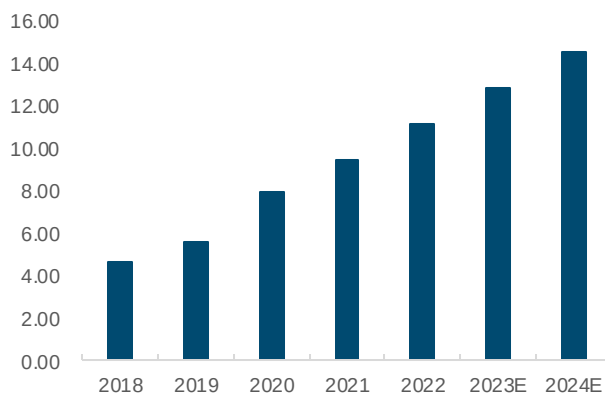
来源：华经产业研究院，国金证券研究所

2) 碳纳米管导线：有助于提高电机导电性能，但在 eVTOL 电机领域应用研究较少。目前所有的航空电机的绕组都是铜导线，铜的导电性好，然而密度大且电导率随温度上升而下降。高温超导线材导电性能远远超过铜导线，然而需要非常复杂的冷却和保温装置。常温下的碳纳米管导体相比铜导体密度小，具有更好的导电率，并且电导率随温度上升不会下降。然而将单个碳纳米管导体连接为碳纳米管导线的工艺复杂，并且形成的碳纳米管导线电阻率大。随着碳纳米管合成技术和制备工艺的突破，预计在未来 15~30 年间，碳纳米管导线将会大量应用到航空电机技术领域，提高电机系统功率密度。目前在 eVTOL 电机领域，碳纳米管目前的产业化进展还较少。

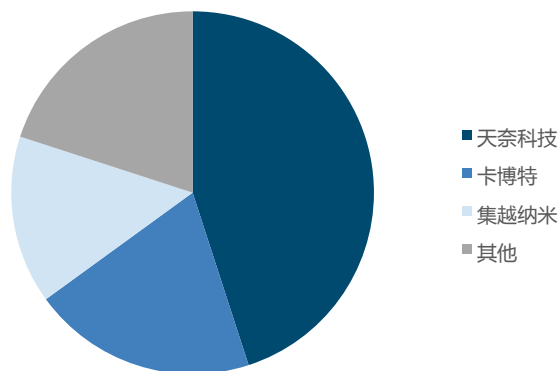
碳纳米管是目前中国已实现工业化量产应用的主要纳米材料之一，受益于动力电池市场规模需求的增长，近几年碳纳米管出货量呈现快速增长态势。根据中商产业研究院，2022 年中国碳纳米管出货量约为 11.1 万吨，同比增长 18.09%。

目前，中国碳纳米管市场集中度较高，2021 年前三企业市场份额总和约为 80%。其中，天奈科技市场份额达 45%，排名第一。卡博特和集越纳米分别占比 20%和 15%。

图表26：中国碳纳米管出货量及预测（万吨）



图表27：中国碳纳米管市场份额占比



来源：中商产业研究院，国金证券研究所

来源：中商产业研究院，国金证券研究所

3) 高效散热：有利于提升电机功率密度。航空电机电磁负荷大，单位体积损耗显著导致



电机温升升高，过高会影响发电设备的安全性，严重时会使绝缘材料加速老化，大幅度缩短电机的使用寿命，甚至导致电机着火烧毁。但是，热管理系统质量的增加会增加飞行器的起飞质量，且会在飞行期间消耗电功率，因此飞机的需求功率增加。因此，对于航空电机必须要有一个高效的冷却系统，才能保证工作安全性、可靠性和高功率密度。航空电机冷却技术中利用的冷却介质主要有空气及滑油，其中以空气为冷却介质的冷却方式有自然冷却和吹风冷却，以滑油为冷却介质的冷却方式有循油冷却和喷油冷却。当前低空飞行器行业以风冷为主。

(1) 自然冷却：利用电机的一些元件(绕组、铁心、壳体、端盖、轴等)的热容量加以吸收电机热量，适用于短时工作状态的执行机构电动机。

(2) 吹风冷却：指对电机进行吹风带走电机热量，风可以由电机本身装有的风扇产生也可以由飞机飞行时产生的速压头产生。吹风冷却受飞机海拔的影响，冷却介质的流量随着海拔高度的增加减小，其冷却效果减弱。

(2) 滑油冷却：使用滑油作为冷却介质可以显著提高冷却效果，因为滑油的热容量超过空气的 1600 倍。油冷方式的冷却介质和冷却效果与飞行条件无关，适用于各种飞机。这种冷却方式即具有冷却油导热效果好的特点，又保存了风冷却那样冷却介质直接与发热部位接触的的优点。因此冷却效果显著提高，电机的功率密度可以进一步提高。但对于机身增重较大。

图表28：风冷油冷优势劣势对比

冷却方式	风冷	油冷
优势	直接与发热部位接触、重量较轻	导热效果好，直接与发热部位接触，不产生电机内部绝缘
劣势	受飞行环境影响较大	增加机重

来源：《飞机电气化背景下的先进航空电机系统》，国金证券研究所

在飞机电气化背景下，航空电机系统逐步往综合化、集成化方向发展。集成特征主要包括：

(1) 功能集成与复用，(2) 部件级集成：航空电机系统的电机与功率变换器以及控制器的集成。(3) 系统级集成：航空电机系统与发动机系统、液压能源系统的集成。

图表29：电机系统集成特征

	具体特征
功能集成与复用	起动发电一体化运行。多电 / 全电飞机电源容量大，与发动机连接的发电机功率大，起动与发电功能的复用减轻系统重量和复杂程度。
部件级集成	航空电机系统的电机与功率变换器以及控制器的集成。如果将无刷直流电机的“电子式换向器”集成于电机内部，则功率变换器与电机可以共用冷却系统，缩短了电机与功率变换器之间交流线缆长度，降低了传输线路电磁干扰和滤波器、屏蔽线重量，很大程度上提高了航空电机系统功率密度。
系统级集成	航空电机系统与发动机系统、液压能源系统的集成。多电 / 全电飞机的多电发动机将起动发电机内装于航空发动机内部，与发动机融合一体，共用转轴，消除了附件传动机匣和滑油系统。电液作动机构将交流伺服电机与液压作动筒集成，摒弃了集中式液压能源。

来源：《飞机电气化背景下的先进航空电机系统》，国金证券研究所

电控环节，现有硅基电力电子器件难以满足航空电机的发展趋势。电机控制器主要用于调节推进电机的转速和转矩，其控制响应精度直接影响飞行器推力控制精度。现有飞机上的功率变换器均是硅基电力电子器件，较低的结温以及难以大幅降低的通态损耗和开关损耗使硅基电力电子器件在面对大功率电机系统电能变换时，需要较复杂和较大体积重量的冷却系统，效率和功率密度难以提升。同时硅基电力电子器件结电容较大，限制了大功率场合下的频率提升，导致滤波电感电容体积较大，也不适应航空电机系统高速高频化的发展趋势。

碳化硅器件的应用已在电动车领域推广。碳化硅器件作为宽禁带电力电子器件的代表，具有工作温度高、开关频率高、通态损耗小、热传导率好、可靠性好、耐电磁辐射的优势。根据电子发烧友网，在汽车电气化的发展中，碳化硅的应用已经成为行业趋势，采用碳化硅二极管以及开关管组成的功率模块相比硅基模块，在应用中能够缩小模块体积 50% 以上、消减电子转换损耗 80% 以上。在系统设计中可以简化散热系统，降低热预算，同时减小电容量电感体积，从而降低系统综合成本。



碳化硅器件的应用有望延伸至电动航空领域，提升航空电机功率密度。应用于电机系统功率变换器中，能够大幅提高航空电机系统效率和功率密度，简化散热冷却系统。随着封装技术、高温控制芯片及高温无源元件的发展，由碳化硅器件构成的能在几百摄氏度下工作的耐高温功率变换器的实现将成为可能，其与航空电机的集成可以适应恶劣工作环境。23年空客与ST签署了一项电力电子研发合作协议，合作内容将会集中在开发适用于空客的航天航空应用的SiC和GaN器件、封装和模块。

三、eVTOL 电池：性能要求大幅提升，软包赛道有望重塑

3.1 规模：eVTOL 带来近百亿级电池前装市场，后装市场规模可期

eVTOL 带来电池百亿级前装市场。根据《客运 eVTOL 应用与市场白皮书》预计，30 年累计国内 eVTOL 需求量为 16316 架，假设单 eVTOL 带电量 200kWh，价格 3 元/Wh（航空级电池较车用电池价格高 1 个数量级），对应单机电池价值量 60 万元，则对应前装市场约 98 亿元。

循环次数、单日飞行次数将很大程度上影响电池的更换频率。假设 eVTOL 的单次飞行航程为 50 公里，电池最大可供续航航程为 300 公里，单日飞行次数 8 次，电池循环寿命 1000 圈，eVTOL 使用寿命 20 年，则测算得电池的使用寿命为 1.4 年，使用 eVTOL 期间电池更换次数为 14 次。采用这一模型，我们假设 eVTOL 单日飞行次数 6-14 次，电池循环寿命 500-2500 圈，则对应电池更换次数在 5-43 次之间，不同参数导致更换次数差异较大。当前车用电池循环次数多在 2000 多圈，基于提升能量密度、提升循环圈数本身存在一定的互斥性（亿航在白皮书中做经济性测算时假设电池循环圈数仅为 500 圈），我们预计在未来电池能量密度 300-400Wh/kg 的情况下，较难同时实现长循环，在 eVTOL 大规模运营时期，容易推高电池的更换频率。

eVTOL 带来电池后装市场有望弹性更大。我们测算在单天飞行 8 次，电池循环寿命 1000 圈的假设下，电池的更换次数 14 次，在 eVTOL 20 年生命周期内，30 年累计国内 eVTOL 需求量预计为 16316 架，假设更换均价单机 45 万元，提供电池后装市场约 1028 亿元。

图表30：在 eVTOL 生命周期内电池更换次数测算模型

假设：单次飞行航程（公里）①	50
假设：电池最大可供续航航程（公里）②	300
可供飞行次数③=②/①*0.8（假设剩余 20%电量即需充电）	4.8
假设：单日飞行次数④	8
1 天充电次数⑤=④/③（向上取整，如 1.5 次以 2 次计）	2
假设：电池循环次数⑥	1000
电池寿命（年）⑦=⑥/⑤/365	1.4
更换次数=20/⑦（假设 eVTOL 生命周期 20 年，向下取整）	14

来源：国金证券研究所测算

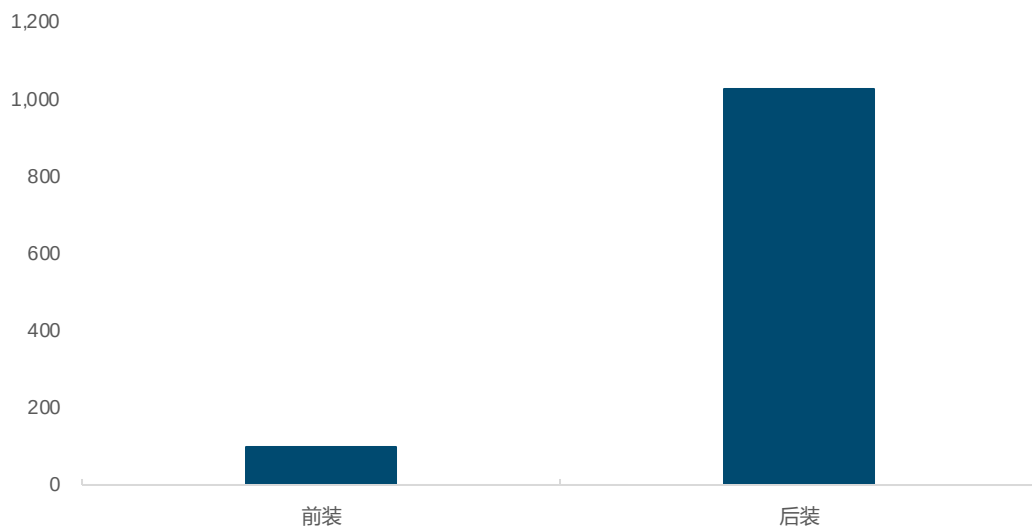
图表31：在 eVTOL 生命周期内电池更换次数敏感性分析（最左列：单日飞行次数；最上行：循环寿命）

	500	1000	1500	2000	2500
6	29	14	9	7	5
8	29	14	9	7	5
10	43	21	14	10	8
12	43	21	14	10	8
14	43	21	14	10	8

来源：国金证券研究所测算



图表32：国内 eVTOL 给电池带来前装/后装市场预测（2030 年，亿元）



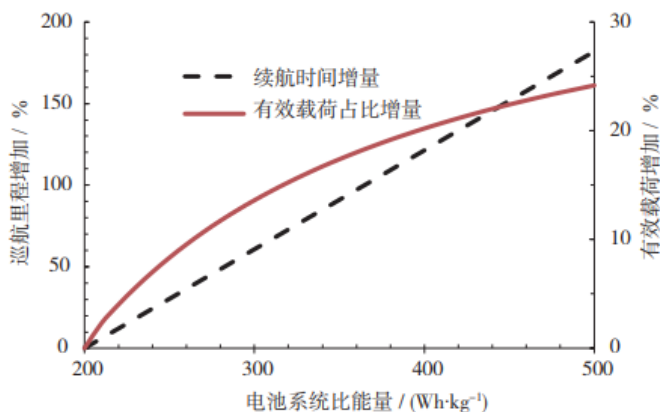
来源：南航通航、沃兰特《客运 eVTOL 应用与市场白皮书》，国金证券研究所测算

3.2 壁垒：eVTOL 电池追求高能量密度、高放电倍率，较车用壁垒提升

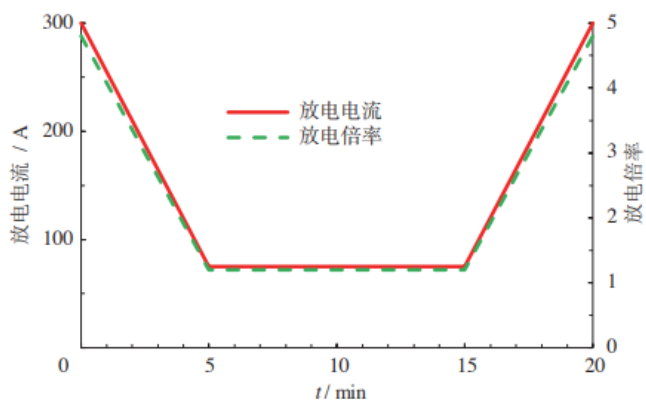
eVTOL 对电池能量密度、瞬时放电倍率及热管理等方面提出更高要求。

- 1) 能量密度：决定了飞行汽车的续航能力和有效载荷。若动力电池系统的比能量由 200Wh/kg 提高到 500 Wh/kg，可使飞行汽车增加近 1/4 的有效载荷，可使飞行汽车的续航里程增加近 2 倍。
- 2) 瞬时放电倍率：飞行汽车巡航飞行时电池放电倍率在 1.2 C，而起飞和降落过程中动力电池的瞬时放电倍率可高达 4.8 C，远高于电动汽车对电池放电倍率的要求。动力电池放电倍率高，严重影响动力电池的性能，还将产生电池热安全性等问题。
- 3) 热管理：通过平板热管等先进热管理技术保证高放电倍率动力电池性能和热安全性，同时考虑低空飞行低气压的影响，为飞行汽车高能量密度动力电池研发的前沿方向。
- 4) 安全：高空巡航使 eVTOL 电池要求严苛。以美国联邦航空管理局 (FAA) 的规则为例，电池系统能够控制任何故障，在损坏飞机的基础上允许飞机安全着陆。而乘用车关于电池热失控的要求则为进入热失控状态后为车内人员留有足够的逃生时间。

图表33：动力电池能量密度与飞行汽车有效载荷及航程



图表34：飞行汽车城市空中交通典型工况动力电池电流输出及放电倍率

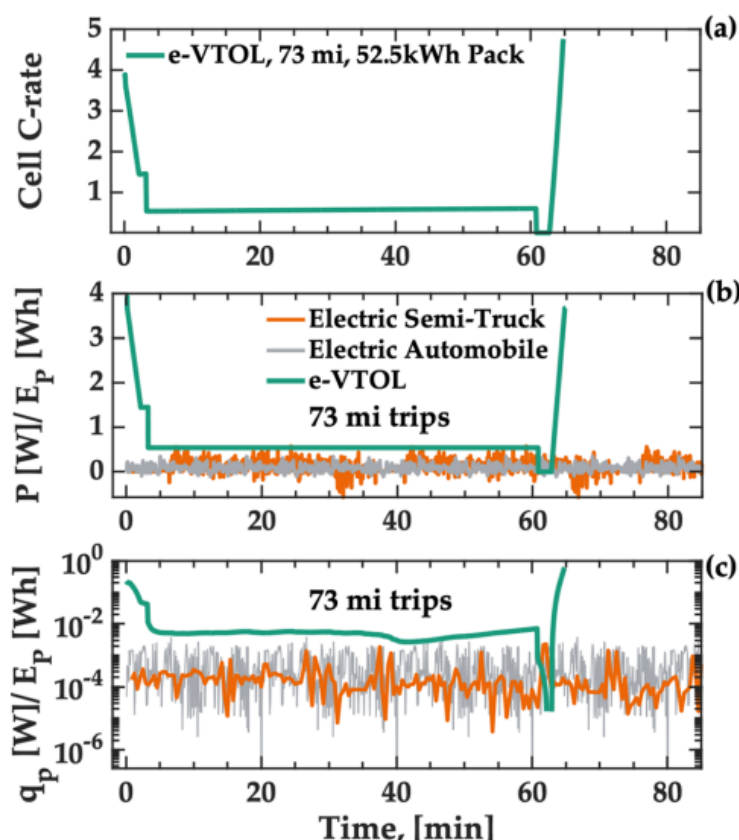


来源：《飞行汽车的研究发展与关键技术》，国金证券研究所

来源：《飞行汽车的研究发展与关键技术》，国金证券研究所



图表35: eVTOL 对放电倍率性能、热管理提出更高要求



来源:《Performance Metrics Required of NextGeneration Batteries to Electrify Vertical Takeoff and Landing (VTOL) Aircraft》, 国金证券研究所

注: (a) 在 73 英里的任务中, 起飞时电池的放电速率约为 4C, 着陆时的放电率约为 4.8C。如果预备段包括在任务中, 着陆时放电速率可能会增加。(b) 比较 e-VTOL、电动汽车和电动半卡车的功率需求 (P) 与电池组能量 (EP) 之比, eVTOL 最高。(c) 比较 e-VTOL 和电动汽车等效行程的发热率 (q_p) 与电池组尺寸 (EP) 之比, e-VTOL 电池发热大, 对热管理要求高。

3.3 技术趋势: 软包电池行业有望迎来重塑, 铝塑膜环节有望受益

当前电池封装形式多样, 多路线并行。根据我们的统计, 当前用于电动航空的电池包括凝聚态电池 (宁德时代)、圆柱电池 (蔚蓝锂芯、正力新能、国轩高科等)、软包电池 (孚能科技等)、固态电池 (欣视界、恩力动力、麻省固能等), 电池形状多样, 多种路线当前并行开发。

图表36: 电池企业航空电池产品布局

企业	产品类型	进展情况
宁德时代	凝聚态电池	23 年 4 月, 公司发布凝聚态电池, 能量密度突破 500Wh/kg, 并具备快速量产能力; 23 年 7 月, 公司与中国商飞、上海交大企业发展集团有限公司共同持股的商飞时代
中创新航	9 系高镍 / 硅负极体系电池	公司与小鹏汽车深度绑定, 针对低空出行开发新锐 9 系高镍 / 硅体系电池, 搭载在路空一体飞行汽车试车 X3 上并成功试飞; 23 年公司推出顶流电池, 能量密度可达 300Wh/kg, 实现 6C+快充
正力新能	圆柱电池	开发正力-航空电池, 电池能量密度高达 320Wh/kg, 满足 20%SOC 下, 12C 的大倍率放电性能, 已与国内外多家头部电动飞机企业展开深入合作并开展航空适航认证
孚能科技	软包电池	应用于 eVTOL 的动力电池已可实现能量密度 285Wh/kg, 最高时速 320km/h, 单次最长巡航 250km, 已与国际知名的 eVTOL 制造商达成合作并已开始交付产品
国轩高科	46 大圆柱电池	23 年 12 月, 与亿航智能签订战略合作协议, 推出高能量密度、高功率和高安全优势的 46 大圆柱电池, 在匹配无人驾驶 eVTOL 的动力需求, 已经达到了产业化的条件
蔚蓝锂芯	圆柱电池	目前用于无人机的 21700 电芯持续最大放电倍率可达到 15C, 海外 eVTOL 领先企业 Archer 和 Vertical

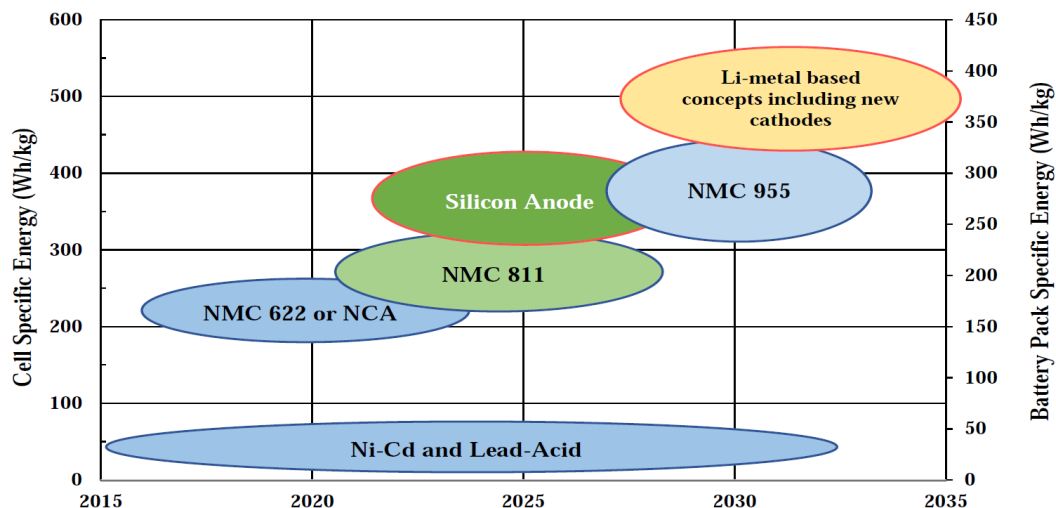


企业	产品类型	进展情况
欣视界	固态电池	Aerospace 均采用了高功率圆柱形电芯，公司深耕海外市场，目前正积极开拓 eVTOL 等新应用场景 第一代能量密度 450Wh/kg 的 6Ah-50Ah 产品已经取得相应测试和认证报告并且具备量产能力，亿航智能与欣视界合作开展适用于亿航智能自动驾驶飞行器 (AAV) 产品的固态锂电池研发与生产
荣盛盟固利	-	电芯能量密度为 300Wh/kg 的 50Ah 电池系统型号获得中国民用航空东北地区管理局适航审定
麻省固能	固态锂金属电池	21 年发布了 Apollo 大型锂金属电芯，电芯容量为 107Ah，能量密度为 417Wh/kg；研发的 40—60Ah 的锂金属负极电池正在使用国内 eVTOL 主机厂峰飞航空的产品进行测试
恩力动力	固态电池	和软银公司长期战略合作，成功开发出了使用硫化物固态电解质及锂金属负极的全固态锂金属电池，成功制作了安时级（1-10Ah）ASSB 电芯，其实测能量密度达到 300 Wh/kg

来源：澎湃新闻等，各公司官网、公告，国金证券研究所

多家企业当前主攻高镍三元+硅基负极体系方案，能量密度在 300Wh/kg 左右。中创新航为小鹏汇天飞行汽车 X3 开发低空出行开发的电池，电池采用 9 系高镍正极、硅负极体系，匹配新型电解液，具备高能量密度和超高倍率持续性放电；正力新能开发出正力-航空电池，采用高镍+石墨高硅体系，能量密度达 320Wh/kg，满足 20%SOC 下 12C 的大倍率放电性能，已与国内外多家头部电动飞机企业展开深入合作并开展航空适航认证根据《Next-Generation Aviation Li-Ion Battery Technologies—Enabling Electrified Aircraft》，8 系高镍三元电池达 300Wh/kg，而 9 系高镍三元电池有望达 400Wh/kg。

图表37：高镍三元电池能量密度演进趋势



来源：《Next-Generation Aviation Li-Ion Battery Technologies—Enabling Electrified Aircraft》，国金证券研究所

软包体系有望成为中期主流方案，迎来行业重塑。相较于方形、圆柱电池，软包电池的优势在于能量密度更高，重量更轻，缺点则在于相对更高的成本。受制于成本因素，近年软包电池在车端应用的份额持续减少，根据乘联会，23 年国内汽车电池市场软包份额仅占 3.8%。软包电池的高能量密度、高放电性能、和更轻重量符合 eVTOL 的要求，同时 eVTOL 对电池价格宽容度高，软包电池有望凭借相较于方形、圆柱更优异的性能，成为 eVTOL 电池中期主流方案，从而迎来行业重塑。从 Joby 近期公布的数据看，其正在适航审定的 S4 五座 eVTOL 所用的软包电芯能量密度为 288Wh/kg，封装后的电池组能量密度为 235Wh/kg，并在实验室中经过了 1 万次设定飞行轨迹的循环；宁德时代凝聚态电池能量密度达 500Wh/kg 以上，软包形态性能最好；孚能科技应用于 eVTOL 的动力电池已可实现能量密度 285Wh/kg，最高时速 320km/h，单次最长巡航 250km，已与国际知名的 eVTOL 制造商达成合作并已开始交付产品。

图表38：软包相较圆柱、方形电池有更高能量密度

项目	软包	方形	圆柱
壳体	铝塑膜	钢壳或铝壳	钢壳或铝壳
生产良率	一般	较高	高



项目	软包	方形	圆柱
生产效率	一般	较高	高
自动化程度	一般	高	高
机械强度	一般	较高	高
电芯一致性	较高	较高	高
单体能量密度	高	低	中
成组效率	低	高	中
优势	单体能量密度高、重量轻，外形设计灵活	工艺简单，对电芯保护作用强，成组效率高	生产工艺成熟、标准化程度高
劣势	机械强度差、一致性差、制造工艺要求高	标准化程度低，安全控制要求高，卷绕配方壳方案群裕度低，叠片效率有待提升	径向导热差所以卷绕层数不能太多，因此单体容量小，电池包内电芯数量多；需要较高的电池热管理技术成组效率低；

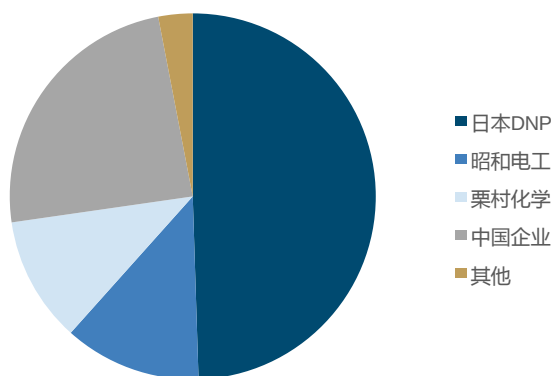
来源：金杨股份招股说明书，中瑞股份招股说明书，国金证券研究所

软包体系下短期为三元，中期有望向固态电池过渡。10月10日，我国工业和信息化部等四部门印发《绿色航空制造业发展纲要（2023-2035年）》在对动力电池技术的要求上，《纲要》提出要突破高能量密度锂电池、高比功率氢燃料电池、高效率电推进系统等关键技术。满足电动航空器使用需求和适航要求的400Wh/kg级航空锂电池产品投入量产，500Wh/kg级产品小规模验证。目前来看，当前高镍三元+硅负极的软包电池能量密度、放电倍率及可靠性能满足当下需求，但上限或在400Wh/kg左右；长期看，固态电池的能量密度在400Wh/kg以上（欣视界当前固态电池450Wh/kg以上，麻省固能当前锂金属电池417Wh/kg以上），且放电倍率性能优异（固态电池最新实验室产品已可达5C倍率6000次循环，固态锂金属电池最新实验室产品充放电循环至少6000次，而且可以在几分钟内完成充电），有望胜出。

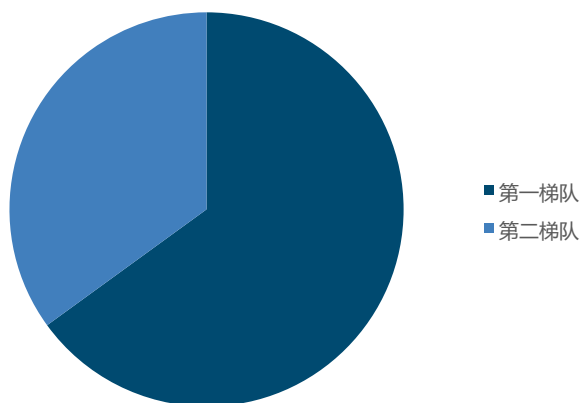
铝塑膜环节有望受益。铝塑膜是由外层尼龙层（ON）、粘合剂、中间层铝箔（AI）、粘合剂、内层热封层（CPP）构成的多层膜，是软包电池、固态电池的封装材料。由于固态电池中由氧化物和硫化物制作的电解质柔韧性较弱，采用叠片工艺的软包电池能够防止内部变形、弯曲或断裂。另外，软包电池的铝塑膜外壳并不坚硬。电池一旦发生热失控，会先胀气冲破铝塑膜封装，带走大量的热量，避免电池发生爆炸。并且由于铝的质量较轻，因此采用铝塑膜制作的软包电池在同等容量下，使得整个电池重量较钢壳锂电池轻40%，能量密度也会比钢壳三元锂电池高出40%，带来更好的续航。

铝塑膜具有较高的技术门槛。为保证电池的长周期稳定运行，铝塑膜需要具有极高的阻隔性、良好的冷冲压成型性、耐穿刺性、稳定性和绝缘性。根据前瞻产业研究院，2020年全球市场中，铝塑膜的市场份额主要由日本和韩国企业占据，中国企业市占率仅有四分之一。国内第一梯队新纶新材、紫江企业、璞泰来和恩捷股份四家，铝塑膜生产种类较为全面，均能生产88μm、113μm和152μm铝塑膜产品，同时与下游消费类电池以及动力类电池生产企业有较为稳定的合作。第二梯队企业有明冠新材、佛塑科技、华正新材、苏达汇诚等。

图表39：2020年全球铝塑膜主要生产企业市占率



图表40：国内铝塑膜企业份额（1H21）





来源：前瞻产业研究院，国金证券研究所

来源：前瞻产业研究院，国金证券研究所

整包环节当前国内供应商稀缺。电池做成整包后需满足防火强度，以及 BMS 需要取 DO-178 适航认证，加载 BMS 的硬件需要取 DO-254 适航认证，整体要求高，目前国内制造电池整包企业较少，各大主机厂尝试自建电池的整包团队。

四、重点关注企业

低空经济的推出及 eVTOL 应用场景的落地打开了三电赛道的长期增长新空间，迎来产业属性重塑和技术迭代加速。电机方面建议关注和客户合作领先的电机企业卧龙电驱、松正电机（非上市）等，电池方面建议关注软包体系领先&客户合作领先的宁德时代、孚能科技等，非晶材料方面建议关注云路股份、安泰科技、中研非晶（非上市）等，铝塑膜建议关注紫江企业等。

图表41：相关公司盈利预测与估值

	公司名称	股价 (元)	EPS（期末股本摊薄）					PE				
			21A	22A	23E	24E	25E	21A	22A	23E	24E	25E
600580.SH	卧龙电驱	15.08	0.75	0.61	0.95	1.20	1.42	24	20	16	13	11
300750.SZ	宁德时代	197.65	6.84	12.58	10.03	10.78	12.04	86	31	20	18	16
688567.SH	孚能科技	12.62	-0.89	-0.76	-1.32	0.11	0.61	-38	-36	-10	120	21
600210.SH	紫江企业	5.48	0.36	0.40	0.45	0.49	0.56	25	13	12	11	10
688190.SH	云路股份	79.00	1.00	1.89	3.00	3.67	4.51	119	47	26	22	18
000969.Sz	安泰科技	8.97	0.17	0.21	0.29	0.37	0.47	64	38	31	24	19

来源：Wind，国金证券研究所

注：宁德时代、安泰科技预测为国金证券研究所预测，其他来自 Wind 一致预期，截至 2024 年 4 月 3 日

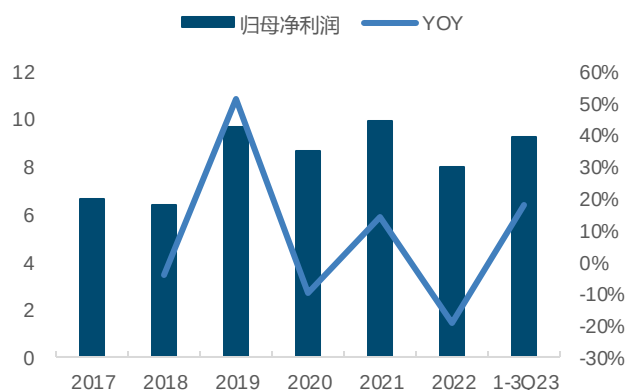
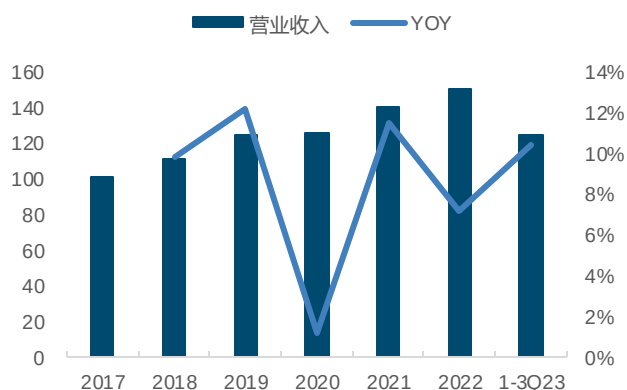
4.1 卧龙电驱：国内电机龙头，积极推进 eVTOL 产品研发

公司是国内电机龙头。卧龙集团创建于 1984 年，作为全球主要的电机及驱动解决方案的制造商，企业以技术创新、数字化赋能为引领，致力于向全球用户提供安全、高效、智能、绿色的电机动力系统解决方案。

公司在国内和海外拥有众多的生产基地及销售公司。海外生产基地主要包括奥地利斯皮尔伯格；英国伯明翰、诺维奇、利兹市；德国诺登汉姆、门兴格拉德巴赫、韦尔茨海姆；塞尔维亚博尔、苏博蒂察；波兰塔尔努夫；意大利摩德纳等。同时，卧龙还拥有众多的知名品牌包括 ATB、Brook Crompton、南阳防爆（CNE）、Laurence Scott、Morley、欧力（Oli）、Schorch、希尔（SIR）、卧龙（Wolong）等。公司技术积累丰富，在家用类电机及控制技术、大功率驱动控制技术、高效电机、永磁电机等领域的研究开发方面达到了国内领先水平，部分产品达到国际领先水平。

图表42：卧龙电驱营业收入（亿元）

图表43：卧龙电驱归母净利润（亿元）





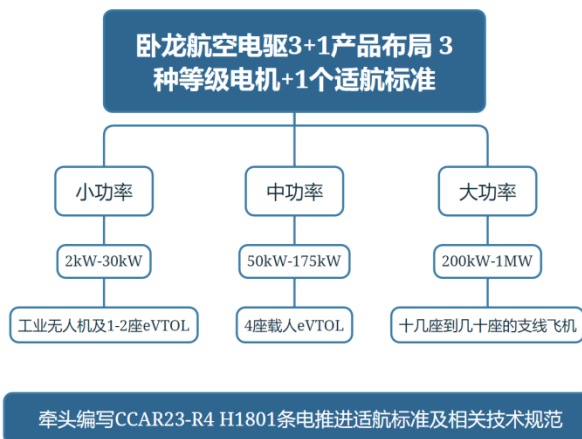
来源：iFinD，国金证券研究所

来源：iFinD，国金证券研究所

公司在航空电驱动及控制领域处于国际一流水平。公司自 2019 年开始致力于开发航空电驱动力系统产品，截至 2022 年已逐渐形成了小、中、大三个功率等级的驱动产品及一个适航标准的“3+1”产品布局。其中 2kW~30kW 的小功率产品可应用于 1~2 座 eVTOL；50kW~175kW 为主的中功率产品面向 4 座载人 eVTOL，与国内主流 eVTOL 制造企业均有技术沟通，相关研发项目正在进行中。在适航方面，公司牵头编写 CCAR23-R4 H1801 条电推进适航标准及相关技术规范，并打造满足适航环境测试要求 DO-160G 的综合试验中心。

23 年 5 月，公司承担的中功率典型规格（70kW 航空电动力系统），顺利通过工信部组织的专家验收；23 年 6 月，卧龙开发的小功率典型规格（30KW 涵道电动力系统），完成地面测试实验，所有指标均达到预期要求。同中国商飞合作 4 座 eVOLT 电机（电机 27kg 左右），最大功率密度 3.7kw/kg（额定密度 2.6kw/kg）等其他核心参数达到国际领先水平（高于军工出身且采用液冷方案的赛峰）。

图表44：卧龙电驱航空电驱动力系统“3+1”产品布局



来源：卧龙电驱官网，国金证券研究所

图表45：卧龙电驱电机类型

低压高速电机		低压 TBTE4 变频调速永磁同步电机		高压中型普通型三相异步电动机	
特点	高速驱动，功率密度高、转动惯量小、动态响应快、体积小、重量轻	特点	效率高，调速范围宽，体积小，重量轻，功率密度高，经济性好、振动小、噪声低	特点	体积小、重量轻、噪声低、振动小，运行可靠、维护方便
电压范围	400-690V	电压范围	380V, 660V, 1140V	电压范围	3KV~15KV
功率范围	90-1010kw	功率范围	0.55kw-315kw	功率范围	160~6300KW
频率	50, 60HZ	频率	0~200HZ	频率	50, 60HZ
图片		图片		图片	

来源：卧龙电驱公司官网，国金证券研究所

4.2 松正电机（未上市）：电动航空用电机国内进展领先

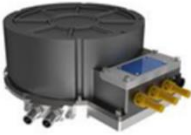
天津松正创立于 2001 年，致力于各类驱动系统技术，主要产品为电驱动控制器及扁线电机核心部件，广泛应用于新能源商用车、工程车辆、电动船舶、电动载重无人机、轨道交通、智能配送、服务机器人、电动自行车、工程机械、港口机场特种装备等领域。



公司在新能源车领域开发多款产品。公司先后推出面向新能源客车的松正 1-5 代混合动力系列、纯电动系列等动力系统解决方案，先后开发并掌握了新能源乘用车、纯电动专用车及仓储车等新能源汽车动力系统关键技术，以及高可靠、高安全的电动助力转向、多合一集成控制器等电动化辅助产品。目前开发成熟的扁线电机项目应用于新能源客车、乘用车领域。

在载人级电动航空领域，公司已开发多款产品，行业进展领先。公司专注于高效功重比的电推进系统的开发，推出针对飞行任务动力需求的定制化航空电机及控制器的开发服务（包括面向电动化飞机的轻量化永磁同步电机、起发一体机、泵用驱动电机），在纯电驱多旋翼垂直起降、涵道风扇等不同构型的飞行器均有深入的研究及产品应用；同时在混动驱动机载大功率增程电机及驱动器均具备开发和制造能力。

图表46：天津松正电动航空电机类型

混动起发发电一体机		旋翼直驱大功率电机		其他飞行条件	
特点	面向 500V-1000V 电压平台开发的超大电流启动发电一体电机	特点	面向 144V-900V 电压平台开发的超大扭矩直驱电机	特点	面向 250V-1000V 电压平台开发的超高速电机
最新产品型号	SZ-60-G	最新产品型号	SZ-240	最新产品型号	SZ-7-60
额定功率 (kW)	60	转矩范围 (Nm)	500-2500	转速范围 (RPM)	10000-12000
额定转速 (RPM)	3900	瞬时功率 (kW)	300	峰值功率 (kW)	60
轴向尺寸 (mm)	149	持续功率 (kW)	240	额定功率 (kW)	45
直径 (mm)	320	最大转速 (RPM)	3200	转速范围 (RPM)	10000-12000
重量 (kg)	36.9	重量范围 (kg)	60-75	外型尺寸 (mm)	200*185
冷却方式	水冷	平均效率 (%)	95.1	额定电机 (V)	700
电机类型	永磁同步	技术优势	外转子低速大扭矩电机;电机直驱旋翼;风冷/水冷;额定功率 5-240kW	技术优势	内转子高功率密度电机应用于分布式涵道驱动
应用发动机	柴油机				
技术优势	外转子低速大扭矩电机;风冷/水冷;用于混合动力飞行器;额定功率 2-60kW				
图片		图片		图片	

来源：松正电机公司官网，国金证券研究所

4.3 宁德时代：凝聚态电池有望打造航空级产品标杆

公司是全球电池企业龙头。公司主要从事动力电池及储能电池的研发、生产及销售，以推动固定式化石能源替代、移动式化石能源替代，并以电动化+智能化为核心，推动市场应用的集成创新。公司在电池材料、电池系统、电池回收等产业链领域拥有核心技术优势及前瞻性研发布局，致力于通过材料及材料体系创新、系统结构创新、绿色极限制造创新及商业模式创新为全球新能源应用提供一流的解决方案和服务。23 年公司营业收入 4009 亿元，同比+22.01%，归母净利润 441 亿元，同比+43.58%，实现锂电池销量 390GWh，同比

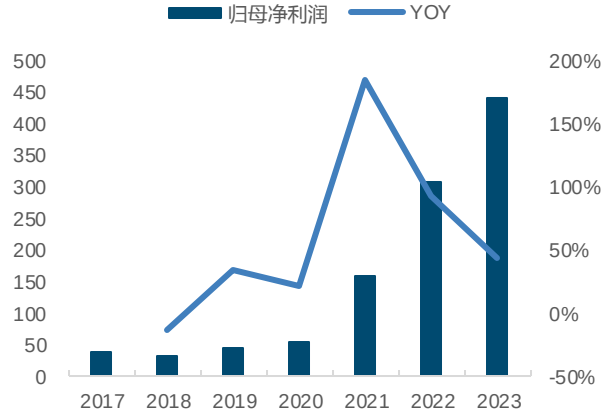
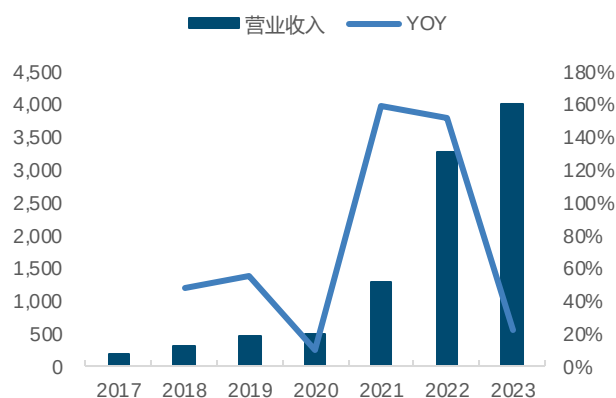


+34.95%。

公司 23 年发布凝聚态电池，应用于航空及车规级领域。23 年 4 月 19 日，宁德时代在上海国际汽车工业展览会上正式发布凝聚态电池。电池采用了高动力仿生凝聚态电解质，并构建了微米级别自适应网状结构，调节链间相互作用力，以在增强微观结构稳定性的同时，提高电池动力学性能，提升锂离子运输效率。电池单体能量密度最高可达 500Wh/kg，实现高比能与高安全兼得，并可快速实现量产。凝聚态电池将拥有软包、方形等多种形态，且软包形态性能最好。凝聚态电池的第一步应用将是航空领域，后续会应用至车规级。10 月 10 日，我国工业和信息化部等四部门印发《绿色航空制造业发展纲要（2023-2035 年）》在对动力电池技术的要求上，《纲要》提出满足电动航空器使用需求和适航要求的 400Wh/kg 级航空锂电池产品投入量产，500Wh/kg 级产品小规模验证。目前来看，宁德时代的凝聚态电池符合要求，且具备快速量产能力，为行业标杆级产品。

图表47：宁德时代营业收入（亿元）

图表48：宁德时代归母净利润（亿元）



来源：iFinD，国金证券研究所

来源：iFinD，国金证券研究所

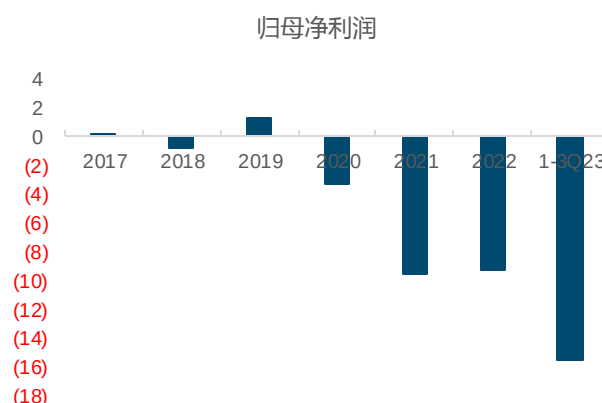
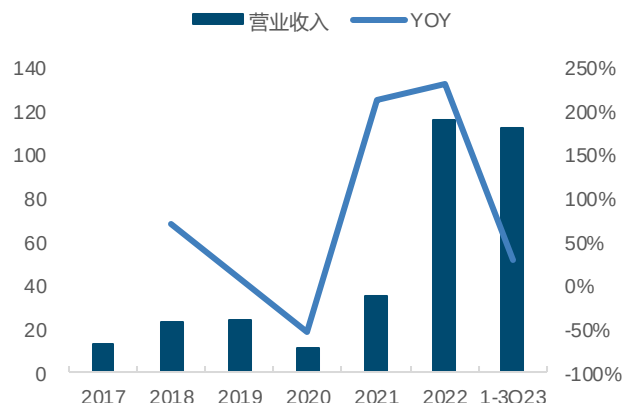
4.4 孚能科技：国内软包电池领先企业，有望受益 eVTOL 软包路线

公司主营汽车软包电池，近年软包份额收缩，行业竞争激烈，导致公司业绩持续承压。公司是全球领先的软包动力及储能电池生产商，以及中国首批实现三元软包动力电池量产的企业之一，主要客户包括戴姆勒、广汽等。近年来全球及国内软包份额持续收缩，且动力电池行业竞争激烈，软包电池整体成本偏高，导致公司业绩承压。1-3Q23 公司实现收入 112 亿元，同比+30%，归母净利润-15.6 亿元。

320Wh/kg 航空电池即将量产。目前公司的高能量密度三元软包动力电池，已助力电动飞机企业实现：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。产品研发方面，320Wh/kg 电芯即将量产，350Wh/kg 电芯已有 A 样原型，预计 2026 年实现量产。

图表49：孚能科技营业收入（亿元）

图表50：孚能科技归母净利润（亿元）



来源：iFinD，国金证券研究所

来源：iFinD，国金证券研究所



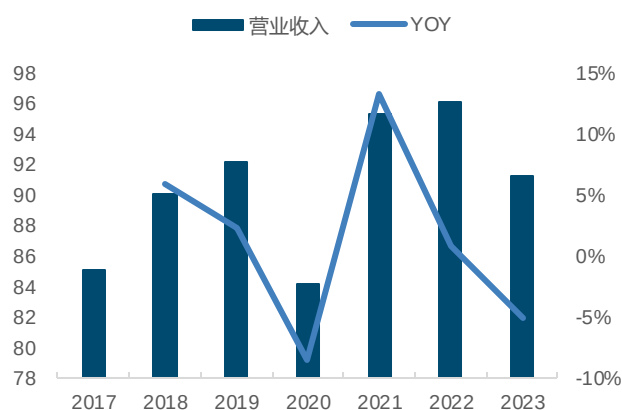
4.5 紫江企业：国内铝塑膜龙头企业，拟分拆铝塑膜业务上市

公司主营包装业务。目前公司形成了以包装业务为核心，快速消费品商贸业务、进出口贸易业务、房地产业务和创投业务为辅的产业布局。包装业务作为公司的核心业务，主要产品为 PET 瓶及瓶坯、皇冠盖、塑料防盗盖、标签、喷铝纸及纸板、彩色纸包装印刷、薄膜等包装材料以及饮料 OEM 等产品。2023 年公司收入 91.2 亿元，同比-5%，铝塑膜收入 7.07 亿元，同比+16%，占比 7.76%。

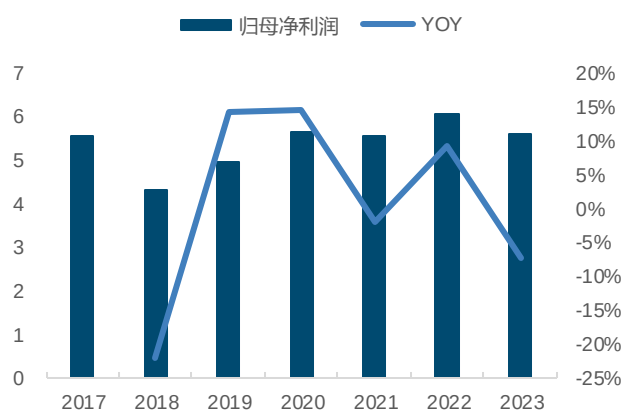
子公司紫江新材为国内铝塑膜龙头企业。紫江新材为国内铝塑膜行业主要企业之一，目前与比亚迪、宁德时代、天津力神、鹏辉能源、多氟多、清陶能源等知名锂电池厂商建立了稳定的合作关系，覆盖动力及消费软包电池、固态/半固态电池。公司的铝塑膜产品，在耐电解液腐蚀、冲深、绝缘性、热封稳定性等关键指标已经达到了日本企业的同一水平，而且公司是国内铝塑膜行业产品种类最齐全的，产品规格涵盖了 88、113、123、152 μm ，实现了从低端到高端的全覆盖，也是目前国内铝塑膜企业中，唯一可以实现规格全覆盖的公司。

公司间接持股昂际航电，后者为国内核心航电系统供应商，并合作沃飞开发 eVTOL 航电系统。公司通过紫江创投间接持股 11.2% 中航民用航空电子，后者和美国通用于 2012 年合资组建昂际航电（各持股 50%），而昂际航电为 C919 飞机提供核心航电系统，是中国商飞的一级供应商。2024 年 2 月 20 日，新加坡航展期间，昂际航电与四川沃飞长空科技发展有限公司正式签署《低空经济航电套件战略合作备忘录》。双方拟发挥各自优势，在沃飞长空 AE200 电动垂直起降航空器项目上开展航电套件联合设计、系统集成、适航取证等领域的协同合作，携手推进 AE200 项目研发及 AAM（先进空中交通）的商业落地。

图表51：紫江企业营业收入（亿元）



图表52：紫江企业归母净利润（亿元）



来源：iFinD，国金证券研究所

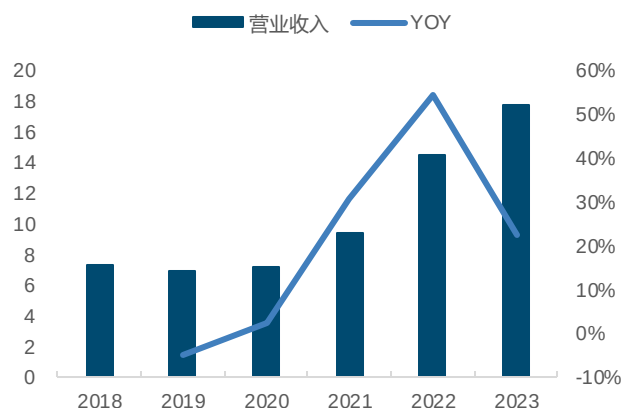
来源：iFinD，国金证券研究所

4.6 云路股份：国内非晶材料龙头，技术有望向航空级延伸

公司自设立以来一直专注于先进磁性金属材料的设计、研发、生产和销售，包括非晶合金、纳米晶合金、磁性粉末及其制品的研发、生产和销售，产品主要应用于电力配送领域，同时向新能源汽车、5G 新基建、轨道交通、数据中心、消费电子、家电、重离子科学研究领域等下游行业领域延伸。

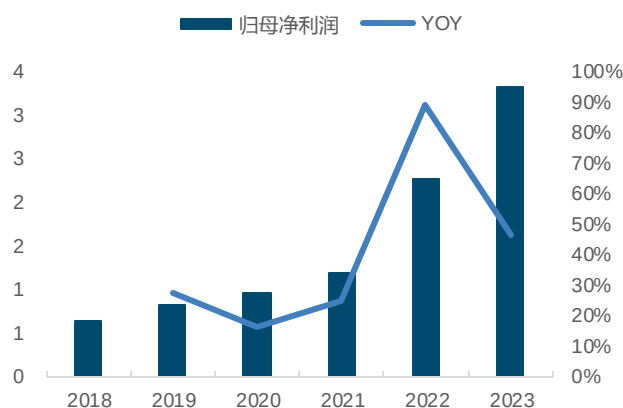


图表53：云路股份营业收入（亿元）



来源：iFind，国金证券研究所

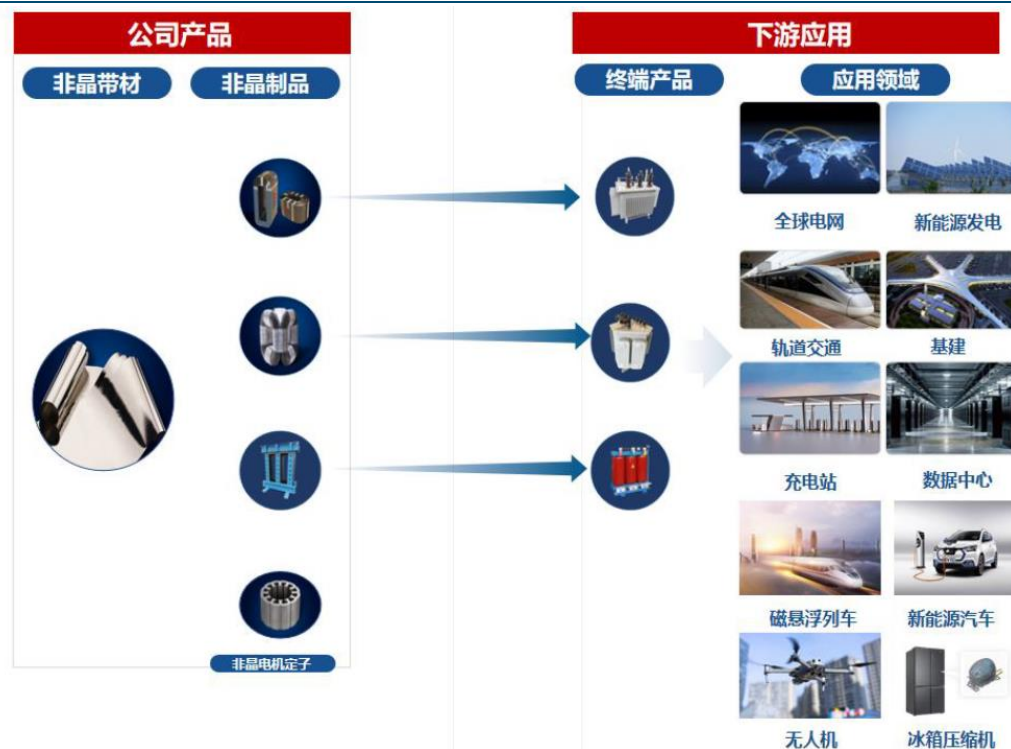
图表54：云路股份归母净利润（亿元）



来源：iFind，国金证券研究所

公司目前正在积极进行电机用非晶材料的技术研究。公司非晶合金板块主要产品包括非晶合金薄带及其制品非晶铁心，非晶铁心是非晶变压器的核心部件，主要应用于电力配送领域，未来有望向电机延伸。公司非晶合金材料行业的龙头企业，始终保持国内市场份额的领先地位，同时着力布局印度、韩国、越南等电力需求旺盛的海外国家和地区，非晶合金产品良好的节能环保特性，得到下游客户的充分认可。非晶铁心是非晶合金薄带经过剪切、成型、热处理等工艺而制作的产品，是非晶变压器的核心部件，为助推非晶合金薄带能有更广阔、更优质的下游应用，公司从非晶合金薄带的材料生产供应商逐渐向下游制品及全产业链综合方案提供商延伸。当前公司非晶铁心产品主要为油浸式配电变压器和干式配电变压器所用的平面卷铁心。我们判断公司相关技术、产品未来有望向 eVTOL 延伸，公司目前正在积极进行电机用非晶材料以及材料适用性的技术研究。

图表55：公司非晶产品



来源：云路股份公司公告，国金证券研究所

4.7 安泰科技：国内非晶材料先行者，已为多家头部车企合作

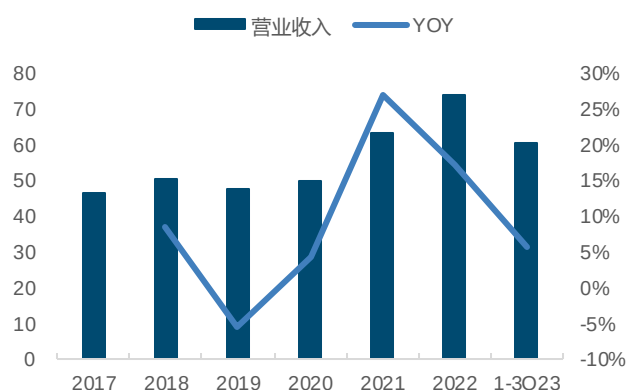
公司是中国钢研旗下新材料领域的核心产业平台和科技创新主体，是我国新材料行业的领军企业之一。公司以先进金属材料及关键部件为核心主业，致力于成为先进材料与技术的价创造者。通过持续推进产业结构调整和聚焦整合，目前公司产业聚焦“以难熔钨钼为核



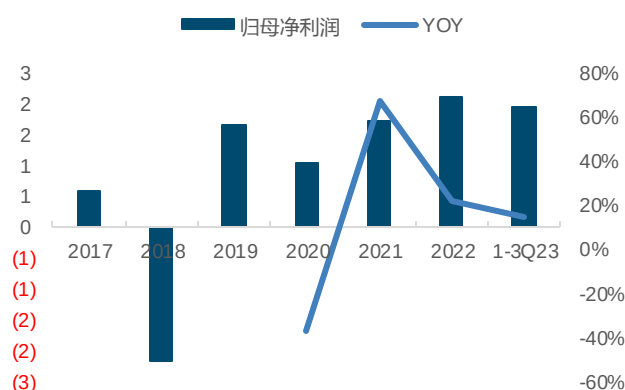
心的高端粉末冶金及制品”和“以稀土永磁为核心的先进功能材料及器件”两大核心产业，重点服务于国家战略性新兴产业，产品广泛应用于新能源汽车、光伏、核电、航空航天、半导体集成电路、高端医疗装备、先进轨道交通、智能制造、工业过滤净化及节能环保等领域，为全球高端客户提供先进金属材料、制品及解决方案，是众多国内外知名企业的关键材料与核心部件供应商。

公司是国内非晶/纳米晶材料的先行者，积极开展非晶在电机领域的应用研究。2022 年安泰非晶通过模拟事业部管理方式，建立非晶产业的一体化管理体系，加快调整产品结构，加大高端应用市场开拓力度，在电动汽车、光伏储能及消费电子领域销售收入增长超过 98%，高精度纳米晶带材及制品销量 3000 吨，非晶带材销量 16000 吨，营业收入和利润总额均实现大幅增长。非晶合金适合于新能源汽车驱动和飞行汽车等驱动应用场景，公司在 2010 年开始关注非晶合金在电机领域的应用研究，已为多家头部车企和科研单位联合开发电机用高性能非晶材料和高效非晶定子铁芯制备技术。

图表56：安泰科技营业收入（亿元）



图表57：安泰科技归母净利润（亿元）



来源：iFinD，国金证券研究所

来源：iFinD，国金证券研究所

4.8 中研非晶（未上市）：专注非晶、纳米晶材料，与北极鸥开发非晶电机

专注于高性能非晶研究，合作北极鸥开发非晶电机。公司成立于 2008 年 7 月，致力成为全球领先的磁性材料及器件综合解决方案的供应商。公司专注于高性能非晶、纳米晶材料及制品的研发、生产、销售和服务，主要产品有非晶、纳米晶带材，非晶、纳米晶电子铁芯，电力电子元器件，非晶变压器铁芯及输配电与控制设备等四大类产品，主要服务于国家节能环保、新材料、高端装备制造、新能源、新能源汽车等战略新兴产业，具体下游包括光伏逆变器、UPS、新能源汽车、充电桩、通讯电源等。2018 年公司与北极鸥达成战略合作伙伴协议，共同开发及量产非晶无人机盘式电机，而北极鸥已布局航空大功率非晶电机系列，产品已应用至小鹏 X2 上。

五、风险提示

- 1、低空经济相关配套政策落地不及预期：低空经济的发展受到低空空域管理政策和中央、地方的经济支持的基础上，若后续相关政策落地速度和进步不及预期，则会对 eVTOL 行业发展产生不利影响。
- 2、空管系统等基础设施设备落地不及预期：基础设施是低空经济发展基础，目前我国低空空管系统、飞行信息系统、空域监测系统等新设施建设处于持续探索中，若建设配套进度不及预期，则会对 eVTOL 行业发展产生不利影响。
- 3、eVTOL 企业适航进展不及预期：eVTOL 取证进展存在不确定性，若取证进度不及预期，则会对 eVTOL 三电需求增长产生不利影响。
- 4、三电系统性能提升不及预期：eVTOL 三电系统性能要求高，如果性能提升不及预期，则讲影响 eVTOL 的运营效率，从而影响需求。



行业投资评级的说明：

买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；

增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；

中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；

减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。



特别声明：

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告反映撰写研究人员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，国金证券不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他任何损失承担任何责任。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与国金证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。

本报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。国金证券并不因收件人收到本报告而视其为国金证券的客户。本报告对于收件人而言属高度机密，只有符合条件的收件人才能使用。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于 C3 级（含 C3 级）的投资者使用；本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

若国金证券以外的任何机构或个人发送本报告，则由该机构或个人为此发送行为承担全部责任。本报告不构成国金证券向发送本报告机构或个人的收件人提供投资建议，国金证券不为此承担任何责任。

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

上海	北京	深圳
电话：021-80234211	电话：010-85950438	电话：0755-86695353
邮箱：researchsh@gjzq.com.cn	邮箱：researchbj@gjzq.com.cn	邮箱：researchsz@gjzq.com.cn
邮编：201204	邮编：100005	邮编：518000
地址：上海浦东新区芳甸路 1088 号 紫竹国际大厦 5 楼	地址：北京市东城区建国门内大街 26 号 新闻大厦 8 层南侧	地址：深圳市福田区金田路 2028 号皇岗商务中心 18 楼 1806



【小程序】
国金证券研究服务



【公众号】
国金证券研究