

电动飞行汽车动力引擎，eVTOL 产业爆发催生电机新蓝海 ——低空经济专题之 eVTOL 电机

投资要点

➤ eVTOL产业快速发展，eVTOL电机未来潜在空间巨大

2023年12月中央经济工作会议首次将“低空经济”列入战略性新兴产业，并且中央及各地方政府出台了一系列相应政策与之呼应。2024年12月25日，国家发改委牵头交通、民航、工信、公安等多部门，宣布低空经济司正式挂牌成立，这是我国低空经济发展的关键里程碑，对低空经济各领域发展意义深远。电动垂直起降飞行器（eVTOL）区别于常规飞机的主要技术特点包括可以实现垂直起降、采用分布式电力推进以及运用全电/混合动力技术。得益于电动机、电池和自动化技术的发展，与常规直升机相比，eVTOL更加低碳环保、噪声更低、自动化等级更高，并由此产生了运行成本低、安全性和可靠性高的优势。随着城市空中交通的兴起，eVTOL产业快速发展。eVTOL电机价值量占比高，且由于航空飞机对于安全性要求极高，为了保证故障率降低到要求范围内，飞机全生命周期内通常要多次更换电机，根据我们的测算，预计到2030年，中期维度看eVTOL电机前装市场规模为107.9亿元，后期维修替换市场规模为323.7亿元。

➤ eVTOL电机功率密度要求高，产品研发验证周期长

eVTOL 运营环境更复杂，电机需要具有更好性能和更高安全性。与新能源汽车相比，eVTOL电机具有安全性、环境适应性、功率密度等要求。此外，电驱系统作为核心动力单元，供应商需要在产品早期开发阶段就开始配合主机厂进行设计和研发，并参与后续适航取证过程，开发和验证周期很长；同时电机供应商在航空行业经验、航空级别的实验室和试验检测设备、高功率密度电机技术基础等方面也需要长时间和大量投入，才有机会得到下游主机厂认可。

➤ eVTOL电机功率密度革命加速，推动材料和工艺进步

eVTOL电机未来技术演进的核心在于提高功率密度。功率密度的提升意味着在相同体积和重量条件下，电机可输出更强劲动力，对航空领域意义重大。因飞机内部空间紧凑、起飞重量受限，高功率密度电机可提升飞行速度、爬升能力和续航里程等性能指标，助力电动飞机解决电池续航问题。实现这一目标需多方面创新：研发高性能磁性材料与导电材料，优化电机设计和制造工艺，借助先进仿真技术进行精细化设计，以及创新散热技术保障电机稳定运行。

➤ 投资建议

建议关注：1) 卧龙电驱：国内电机龙头，积极推进eVTOL产品研发；2) 英博尔：深耕新能源汽车动力系统领域，起步于与亿航智能合作；3) 宗申动力：国内中小型动力领航者，民营航发创新型企业；4) 云路股份：专注于先进磁性金属材料的设计、研发、生产和销售，正积极进行电机用非晶材料的技术研究。

➤ 风险提示

eVTOL技术进展和成本下降不及预期的风险、低空管制配套政策和能力不及预期的风险、适航认证进展不及预期的风险。

投资评级：看好

分析师：吴起涤

执业登记编号：A0190523020001

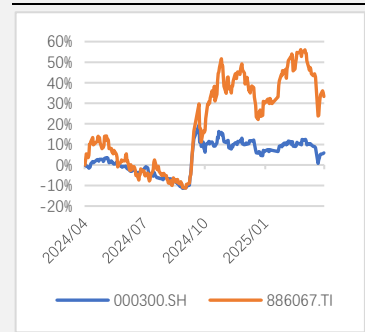
wuqidi@yd.com.cn

研究助理：陈恒发

执业登记编号：A0190123040006

chenhengfa@yd.com.cn

低空经济与沪深 300 指数走势对比



资料来源：同花顺 iFinD，源达信息证券研究所

相关文章

20250328-《低空经济专题之 eVTOL 研究：eVTOL 商业进程提速，多元场景驱动开拓千亿市场》

目录

一、eVTOL 产业快速发展，eVTOL 电机未来潜在空间巨大.....	3
1.低空政策密集出台，eVTOL 产业发展迅速	3
2. eVTOL 电机价值量占比高，未来潜在空间巨大	6
二、eVTOL 构型多样动力方案各异，高功率密度电机驱动材料工艺革新.....	8
1.动力系统：eVTOL 构型丰富，主流厂家方案各异	8
2.核心壁垒：eVTOL 电机功率密度要求高，产品研发验证周期长.....	11
3.技术趋势：eVTOL 电机功率密度革命加速，推动材料和工艺进步	13
三、投资建议	16
四、风险提示	17

图表目录

图 1：地方政府高度重视低空经济产业发展	4
图 2：不同里程下，eVTOL 与火车、汽车和飞机耗时对比.....	5
图 3：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	6
图 4：eVTOL 运营成本有望将至直升机的 1/5.....	6
图 7：eVTOL 成本构成	7
图 6：eVTOL 主要构型分类.....	8
图 7：部分 eVTOL 机型示意图	10
图 8：无刷直流电机示意图	11
图 9：永磁同步电机示意图	11
图 10：当前及未来永磁材料的磁能积与工作温度	14
表 1：国家层面低空经济相关政策梳理	3
表 2：eVTOL 电机中期市场空间(亿元).....	7
表 3：eVTOL 主要构型优缺点	8
表 4：部分 eVTOL 机型的电机情况梳理	10
表 5：电动汽车电机主要指标.....	12
表 6：电动飞机电机主要指标.....	12
表 7：电机主要冷却方式特点	14
表 8：电机集成方式特点	15
表 9：相关公司万得一一致盈利预测	16

一、eVTOL 产业快速发展，eVTOL 电机未来潜在空间巨大

1.低空政策密集出台，eVTOL 产业发展迅速

中央政策：顶层政策密集出台，低空经济写入 2023 年 11 月中央经济工作会议、2024 年政府工作报告中。2023 年 11 月中央经济工作会议中强调，“打造生物制造、商业航天、低空经济等若干战略性新兴产业”，将低空经济定义为战略性新兴产业。2024 年两会，十四届全国人大二次会议作政府工作报告时指出，“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”，低空经济被定义为新增长引擎。

2024 年 12 月 25 日，国家发改委牵头交通、民航、工信、公安等多部门，宣布低空经济司正式挂牌成立，这是我国低空经济发展的关键里程碑，对低空经济各领域发展意义深远。通过强化顶层设计、推动政策落实、整合产业资源、解决实际问题、促进区域协调发展、推动国际合作等方面的努力，低空经济司将有效推动我国低空经济的高质量发展。展望未来，随着低空经济司的成立和各项政策的落地实施，我国低空经济将迎来更加广阔的发展前景。无人机物流、空中交通管理、低空旅游等领域的应用场景将不断拓展；产业链上下游将实现更加紧密的协同合作；行业秩序将更加规范有序；低空经济将成为推动我国经济发展的新增长引擎。

表 1：国家层面低空经济相关政策梳理

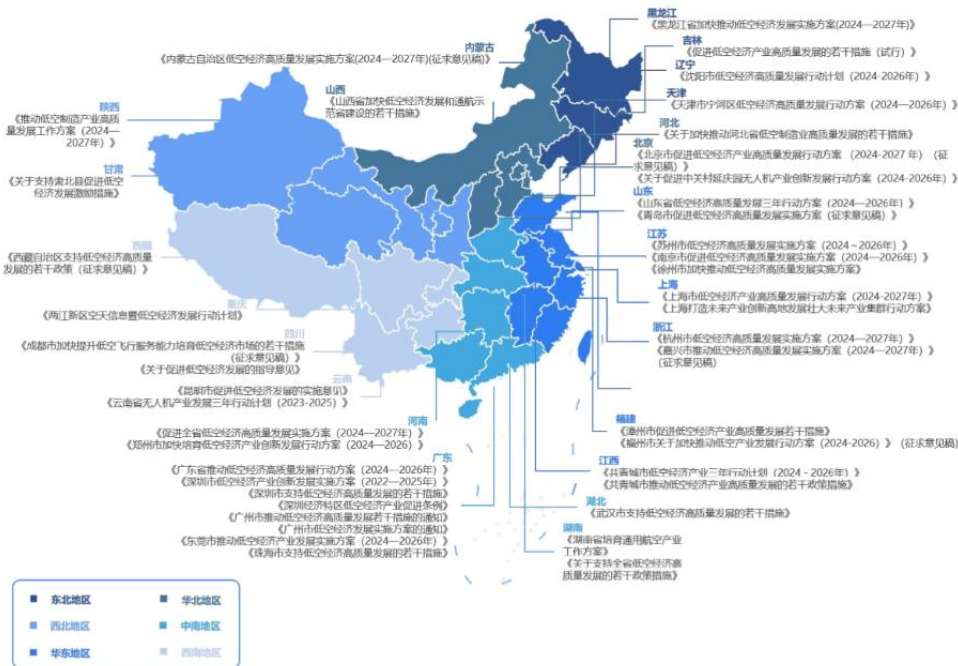
时间	政策/会议	主要内容
2021.02	国家综合立体交通网规划纲要	首次将低空经济纳入发展规划。
2022.06	“十四五”通用航空发展专项规划	设定通用航空的安全、规模、服务等 16 个具体指标。
2022.11	中华人民共和国空域管理条例（征求意见稿）	明确空域用户定义，标志着我国空域放开有实质性突破。
2023.06	无人驾驶航空器飞行管理暂行条例	填补我国无人驾驶航空器管理法规空白，具有里程碑意义。
2023.12	国家空域基础分类方法	将空域划分为 A、B、C、D、E、G、W 等 7 类，保证空域资源有效利用。
2024.01	无人驾驶航空器飞行管理暂行条例实施	进一步规范低空经济无人机产业发展。
2024.02.23	中央财经委员会第四次会议	强调鼓励发展与平台经济、低空经济、无人驾驶等结合的物流新模式。

2024.03.27	通用航空装备创新应用实施方案	加快通用航空技术和装备迭代升级，为培育低空经济新增长极提供支持。
2024.07.30	中央政治局会议	习近平总书记在中共中央政治局第十六次集体学习时强调，“要做好国家空中交通管理工作，促进低空经济健康发展”，进一步明确了国家在低空经济管理和发展方面的决心和方向。
2024.10.23	工信部新闻发布会	工信部新闻发言人、总工程师赵志国在新闻发布会上表示，要培育壮大低空经济、商业航天、生物制造等新产业新赛道。
2024.12.25	国家发改委	牵头交通、民航、工信、公安等多部门，宣布低空经济司正式挂牌成立，这是我国低空经济发展的关键里程碑，对低空经济各领域发展意义深远。

资料来源：政府官网，源达信息证券研究所

地方政府响应中央号召，依托于自身禀赋开放发展低空经济。随着低空经济在全球范围内的兴起，越来越多的省份开始认识到这一新兴产业的巨大潜力，并将其作为推动地区经济发展的新引擎。在我国，低空经济的发展已经成为国家战略的一部分，各级地方政府纷纷响应中央政府的号召，积极探索和推动低空经济的本地化发展。

图 1：地方政府高度重视低空经济产业发展



资料来源：前瞻产业研究院，源达信息证券研究所

eVTOL 即电动垂直起降飞行器，是低空领域的新型飞行器，潜在市场潜力大。电动垂直起降飞行器（Electric Vertical Takeoff and Landing, eVTOL）区别于常规飞机的主要技术特点包括可以实现垂直起降、采用分布式电力推进以及运用全电/混合动力技术。得益于电动机、电池和自动化技术的发展，与常规直升机相比，eVTOL 更加低碳环保、噪声更低、自动

化等级更高，并由此产生了运行成本低、安全性和可靠性高的优势。随着城市空中交通（Urban Air Mobility, UAM）的兴起，引起了 eVTOL 的研制热潮。

● 安全可靠

eVTOL 用电池代替燃油箱、用电机代替发动机、用旋翼取代螺旋桨，采用分布式动力系统、自动避障、自动驾驶、敏捷机动以及冗余配置、应急恢复等技术，或配备整机降落伞，大幅提升了飞行安全性。同时，电气化的 eVTOL 简化了传统动力及传动复杂的机械结构，突破了传统构型的限制，运行过程更加可靠。

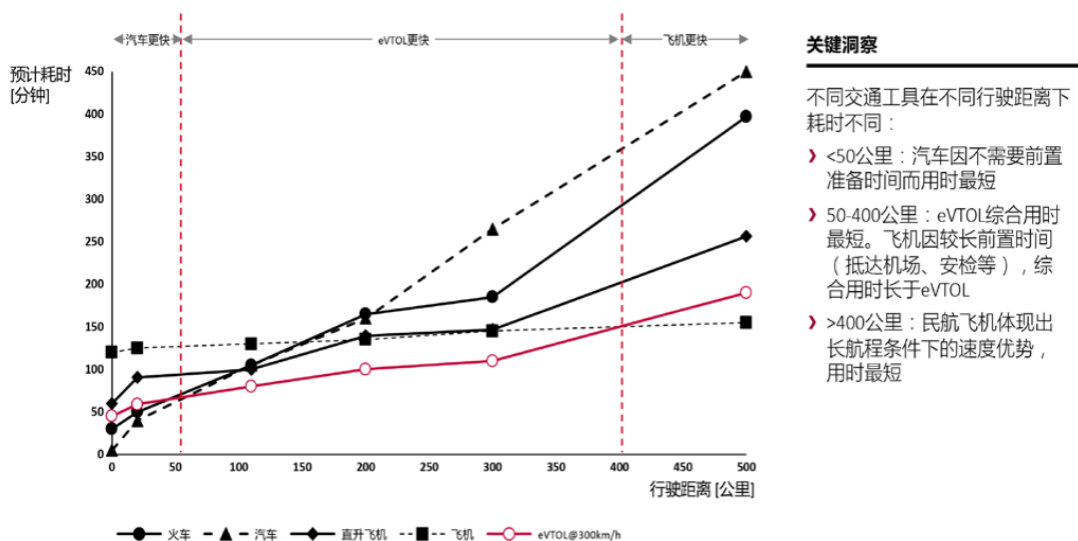
● 绿色环保

eVTOL 绿色环保性能主要体现为采用新能源应用的 DEP 系统与降噪技术。eVTOL 可以减少城市内的交通拥堵以及对化石燃料的依赖，符合碳中和、碳达峰的航空交通未来趋势。同时，eVTOL 噪音小的优点将使其尽可能地飞到社区中心，延长 eVTOL 在城市内的运行时间。

● 提效省时

与汽车/火车相比，eVTOL 出行效率更高，保时捷管理咨询测算路程在 50-400km 之间时 eVTOL 耗时将显著缩短。

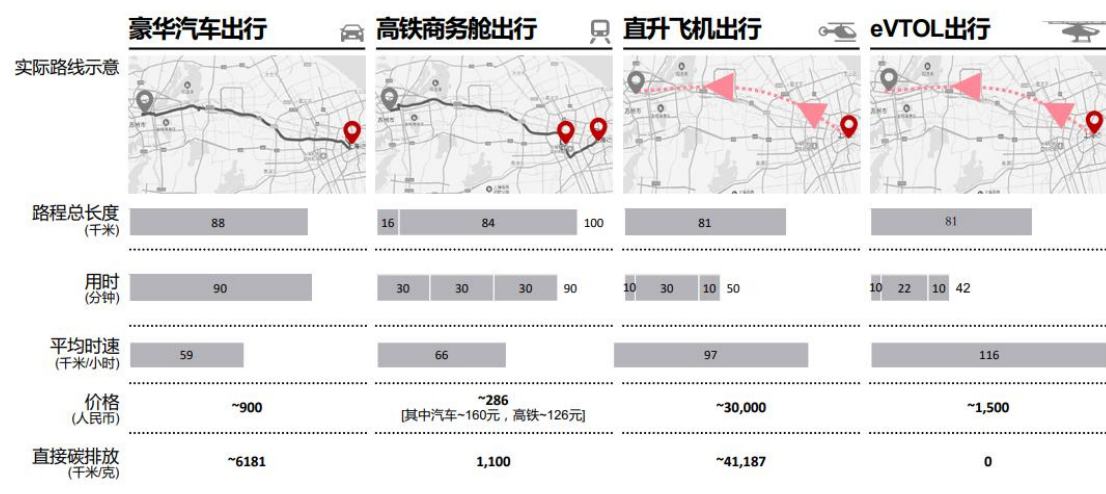
图 2：不同里程下，eVTOL 与火车、汽车和飞机耗时对比



资料来源：保时捷管理咨询，源达信息证券研究所

根据保时捷管理咨询数据，以上海-苏州约 80-90km 的中短途出行为例，与汽车、高铁等相比，eVTOL 高效便捷；与直升机相比，eVTOL 具有明显的成本和环保优势。

图 3：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

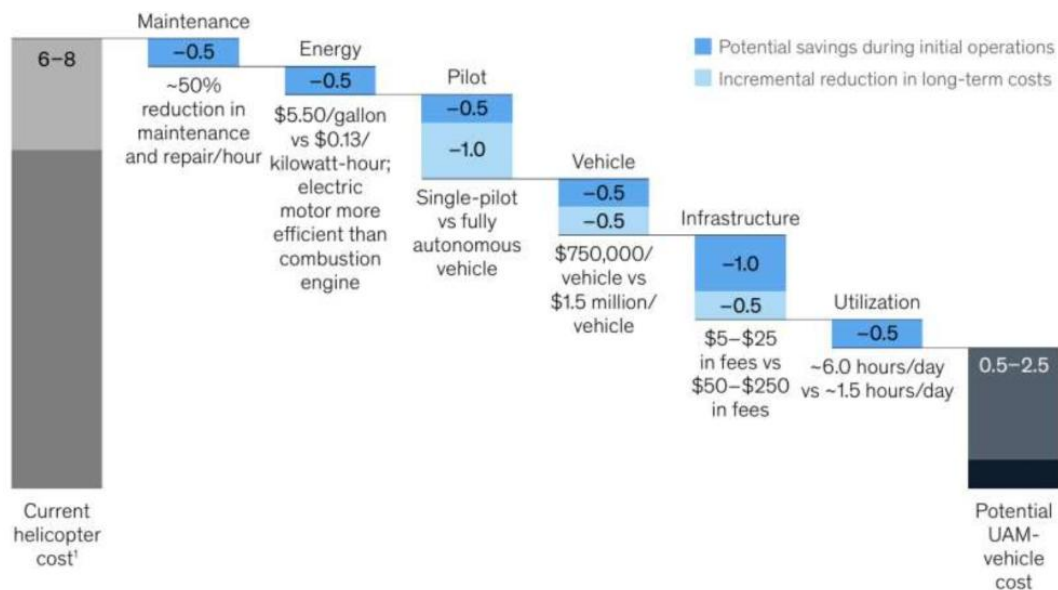


资料来源：保时捷管理咨询，源达信息证券研究所

● 运营经济

与直升机相比,电动化使得 eVTOL 的整机、运维成本大幅降低,叠加更低的人工(自动驾驶)、场地成本,麦肯锡预测 eVTOL 规模化运营后成本将降至 0.5-2.5 美元/座/英里,约为直升机成本的 1/5。

图 4：eVTOL 运营成本有望将至直升机的 1/5



资料来源：麦肯锡咨询，源达信息证券研究所

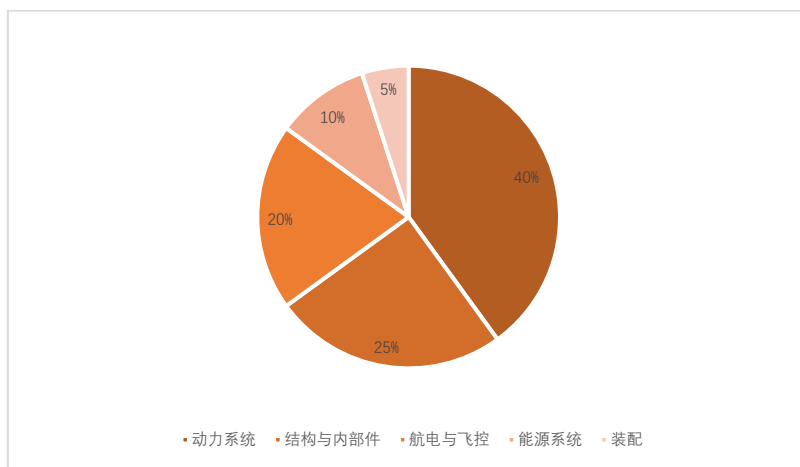
2.eVTOL 电机价值量占比高，未来潜在空间巨大

eVTOL 的核心子系统主要包括机体、综合航电系统、飞控系统、能源系统、动力系统以及电气系统六大类。典型的 eVTOL 产品含有上百套设备,十多个子系统,设备间的机械、电气、

通讯接口繁杂,对下游主机厂系统集成和整机研发提出了很高要求。核心子系统主要包括机体、综合航电系统、飞控系统、能源系统、动力系统以及电气系统六大类。从目前 eVTOL 供应链发展趋势判断,雷达与机载系统作为 eVTOL 的“大脑”和“眼睛”,因其技术壁垒和适航认证门槛较高,在未来相当长时间内仍需依赖传统航空航天供应商提供软硬件解决方案。

eVTOL 动力系统及能源系统成本占比达 50%左右。eVTOL 是典型的技术密集型产品,技术系统包含动力系统、能源系统、飞控系统、航空电子、整机结构等。据 Lilium, eVTOL 动力系统、结构和内部件、航电与飞控、能源系统、装配成本占比分别为 40%、25%、20%、10%、5%。

图 5: eVTOL 成本构成



资料来源: Lilium 官网, 源达信息证券研究所

预计到 2030 年, 中期维度看 eVTOL 电机前装市场规模为 107.9 亿元, 后期维修替换市场规模为 323.7 亿元。核心假设: 1) 参考 Lilium 公司的成本结构, 以及新能源汽车的电机的价值量占比约为 10%, eVTOL 的结构构成与新能源汽车相似度较高, 但考虑到 eVTOL 电机是新能源车数量的数倍, 假设电机成本占比为 20%; 2) 由于航空飞机对于安全性要求极高, 为了保证故障率降低到要求范围内, 飞机全生命周期内通常要更换 3 次电机。结合此前我们《低空经济专题之 eVTOL 研究: eVTOL 商业进程提速, 多元场景驱动开拓千亿市场》报告中的测算, 预计到 2030 年, 中期维度看 eVTOL 电机前装市场规模为 107.9 亿元, 后期维修替换市场规模为 323.7 亿元。

表 2: eVTOL 电机中期市场空间(亿元)

eVTOL 电机中期市场空间(亿元)	
2025 年-2030 年 eVTOL 市场空间	1079.1
动力系统及能源系统成本占比	50%
电机成本占比	20%
eVTOL 电机前装市场空间	107.9

资料来源：源达信息证券研究所

二、eVTOL 构型多样动力方案各异，高功率密度电机驱动材料工艺革新

1.动力系统：eVTOL 构型丰富，主流厂家方案各异

eVTOL 的技术路线可分为多旋翼型、升力与巡航复合型、倾转旋翼/机翼型和倾转涵道型四大类。eVTOL 的整体设计构型、机体气动性、轻量化设计等维度的差异导致了不同产品的最大航程、巡航速度、飞行高度、乘客数量与最大载荷等核心性能参数存在差别，进而带来不同 eVTOL 产品在运行模式、服务范围、应用场景等维度的差异。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。

图 6：eVTOL 主要构型分类

	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 (举例)	VOLOCOPTER, AIRBUS, CHANG	VOLOCOPTER, VERTICAL, AUTOFLIGHT, CHANG	AIRBUS, JOBY, 未命名	PANTON, LILUM
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	★★★★★ 80-150 km/h	★★★★★ 150-200 km/h	★★★★★ 180-250 km/h	★★★★★ 200-300 km/h
最大航程	★★★★★ 20-50 km	★★★★★ 150-250 km	★★★★★ 200-250 km	★★★★★ 175-300 km
主要应用场景	- 空中出租车（市内点对点交通） - 机场接驳（市郊至市中心往返交通） - 低空旅游 - 短途紧急救援等	- 空中出租车 - 机场接驳 - 城际短途航班 - 物流运输等	- 空中出租车 - 机场接驳 - 城际短途航班 - 物流运输等	- 城际中远距离航班 - 紧急救援 - 观光旅游等

资料来源：保时捷管理咨询，源达信息证券研究所

复合翼和倾转旋翼构型为发展主线，寻求新构型技术突破。目前 eVTOL 尚处于研发阶段，并不存在占全面优势的技术构型。具体技术方案选择应考虑应用场景。具体技术方案选择应考虑应用场景。从性能上看：多旋翼型不适用于长航程、航时的任务，飞行速度较慢、阻力较大，通常载重也较小（一般在 600kg 左右，仅有 1-2 座）。而大载重、长航程任务，复合翼及倾转旋翼在速度、航程等方面具有明显优势（一般可以做到 2000kg，容纳 4-5 座）。从设计难度上看：倾转涵道>倾转旋翼>复合翼>多旋翼。目前推出申请适航的案例较多使用倾转旋翼构型和复合翼构型，较容易实现商业化。

表 3：eVTOL 主要构型优缺点

构型	多旋翼	复合翼	倾转旋翼	倾转涵道
----	-----	-----	------	------

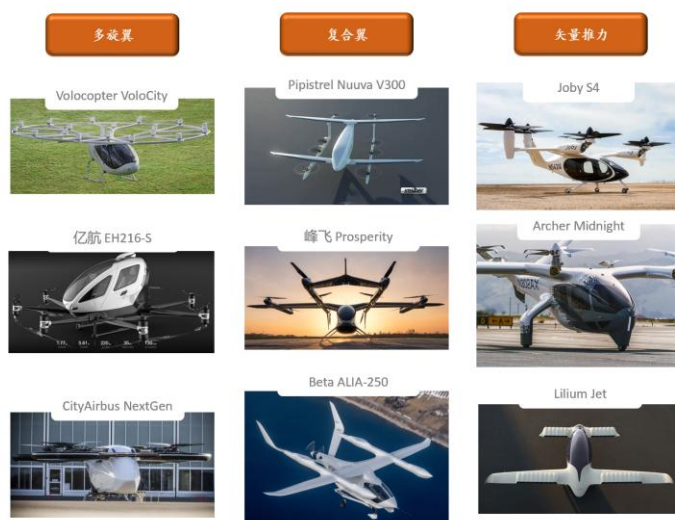
旋翼系统功能	垂直起降和巡航阶段均依靠旋翼提供升力。	使用独立螺旋桨分别实现垂直起降和巡航。	通过改变推力方向实现垂直起降和巡航。	通过改变推力方向实现垂直起降和巡航。
优点	1.多旋翼构型具备垂直起降能力，能够在狭小的空间内起降，不受跑道限制； 2.多旋翼构型具有较高的操纵性和机动性，可以在城市中灵活飞行； 3.由于多旋翼具有多个旋翼，其自稳性相对较高，可以实现稳定的飞行； 4.机械结构相对简单，飞行器安全冗余度较好，技术实现难度较低。	1.该构型具有高速和长航程的能力，可以实现更远距离的出行和高速巡航； 2.飞行控制系统简单，产品研发技术门槛较低，研发速度更快，生产与维护成本和难度更低。	1.倾转旋翼构型可以在垂直起降和水平飞行之间转换，具备较高的速度和航程； 2.倾转旋翼构型既可以在城市中进行垂直起降，又可以在长距离飞行时以高速巡航，适应不同的出行需求。	1.该构型具有高速和长航程的能力，可以实现更远距离的出行和高速巡航； 2.相较于其他构型，该构型具有噪音低、私密性高、地面损失控制好等优点； 3.相较于螺旋桨驱动的构型，该构型气动效率更高，增程潜力更大； 4.涵道构型使得噪音传播具有指向性，通过在涵道内壁布置声衬降低噪音。
缺点	1.多旋翼构型由于需要维持多个旋翼的运转，能耗相对较高，限制了航程和续航能力； 2.由于空气动力学特性的限制，多旋翼构型的速度相对较低，无法实现高速飞行； 3.因开放性的螺旋桨设计，飞行器在空中飞行时给地面带来的噪音较大，一旦出现事故，对地面人员造成的伤害烈度较高，且尚无突破性解决方案。	1.垂直升力系统在平飞巡航阶段是“死重”，且产生额外阻力，限制了整机有效载荷； 2.推进系统动力低（死重限制的前提下）导致巡航构型的爬升率和速度较低。	1.倾转机械设计和飞控系统复杂，开发风险和试飞难度大，研制风险和成本较高，需较长的开发周期和适航认证过程； 2.倾转旋翼构型通常对载荷和乘员数量有一定限制，无法满足大规模运输需求。	1.矢量推进的机械结构与飞行控制系统复杂度较高，产品开发与测试周期较长，投资较大。
代表机型	EH216-S/VoloCity	峰飞盛世龙/V2000CG	沃飞 AE200/Joby 4S	Lilium JetWing

资料来源：保时捷管理咨询，源达信息证券研究所

动力系统是 eVTOL 的核心动力单元，主流厂商方案各异。它们直接决定了飞机的能源利用率以及推进效能，而这二者又与旋翼的分布存在着紧密且复杂的关联。不同的飞行器构型以及各类产品机型之间，差异性较为显著。1) 动力结构方面：有的机型采用集中式动力布局，

有的则倾向于分布式动力架构。2) 动力数量方面：有的飞行器配备多个电机以满足不同部位的动力需求，有的则根据自身任务和设计特点，确定相对较少的动力单元数量。3) 分布方式方面：有的将电机均匀分布在机身周围，以实现平衡推进；有的则根据气动外形和飞行任务，采取非对称分布来优化飞行性能。4) 性能参数方面：不同机型的电机功率、转速、扭矩等指标也各不相同，电控系统的控制精度、响应速度等更是差异明显。这些因素共同作用，使得每款飞行器在动力表现上呈现出各自独特的特点。

图 7：部分 eVTOL 机型示意图



资料来源：各公司官网，源达信息证券研究所

表 4：部分 eVTOL 机型的动力系统情况梳理

型号名称	构型	电机电控特点
Joby S4	矢量推力	采用永磁同步电机，电控系统高度集成，可实现对多个电机的精确控制和协调，具有高冗余性，配备 12 个电机。
Archer Midnight	矢量推力	采用永磁同步电机，电控系统精度高，能确保飞行安全，支持多种飞行模式切换，配备 12 个电机。
Lilium Jet	涵道风扇 + 固定翼	推进系统成本占比超 40%，采用碳化硅器件优化功率密度和散热设计，推进电机功率可达 80 - 100kW，峰值功率突破 110kW，配备 36 个可动涵道推进系统。
Volocopter VoloCity	多旋翼	采用多个无刷直流电机，电机电控在成本占比 10% - 20%，通常需配置至少 8 个电机，电控系统可实现对多个电机的协调控制，配备 18 个旋翼。
亿航 EH216-S	多旋翼	采用纯电动动力系统，电机具有低速高扭、高带宽转速控制特点，电控系统具备高安全性和可靠性，可实现无人驾驶控制，配备 16 个旋翼。

空客 CityAirbus NextGen	多旋翼	搭载碳化硅逆变器，电控系统先进，已完成多次稳定飞行测试，目标通过 FAA 和 EASA 认证后投入商用，配备 8 个旋翼。
Pipistrel Nuuva V300	复合翼	采用混合动力系统，电机电控技术成熟，具有较高的燃油效率和较低的运营成本，配备 6 个电机。
Eve Eve v3	复合翼	采用电动推进系统，电机功率密度高，电控系统智能化程度高，可实现多种飞行模式的平滑切换，配备 4 个电机。
峰飞 Prosperity	复合翼	采用高性能电机，电控系统具备先进的能量管理系统，可优化电池使用效率，延长航程，配备 8 个电机。
Beta ALIA-250	复合翼	采用电动垂直起降和水平飞行模式，电机功率大，电控系统可靠性高，可在多种环境下稳定运行，配备 4 个电机。

资料来源：各公司官网，源达信息证券研究所

2.核心壁垒：eVTOL 电机功率密度要求高，产品研发验证周期长

eVTOL 电机主要分为无刷电机和永磁同步电机两类。无刷直流电机因结构简单、成本较低，常用于无人机；而永磁同步电机凭借高效率、低噪音等优势，更契合 eVTOL 的运用场景。无刷直流电机省去电刷和换向器，效率高、维护成本低且寿命长，但功率相对较小，更适合无人机。永磁同步电机与之结构相近，但借助编码器测定转子位置并采用正弦波驱动电流，具备更高、更平稳的扭矩、更高的效率以及更低的噪音，其全扭矩保持能力可充分满足 eVTOL 各飞行阶段的动力需求。正因如此，永磁同步电机在 eVTOL 领域更为常见，像 Joby S4、Archer Midnight 等机型都采用了这种电机。

图 8：无刷直流电机示意图

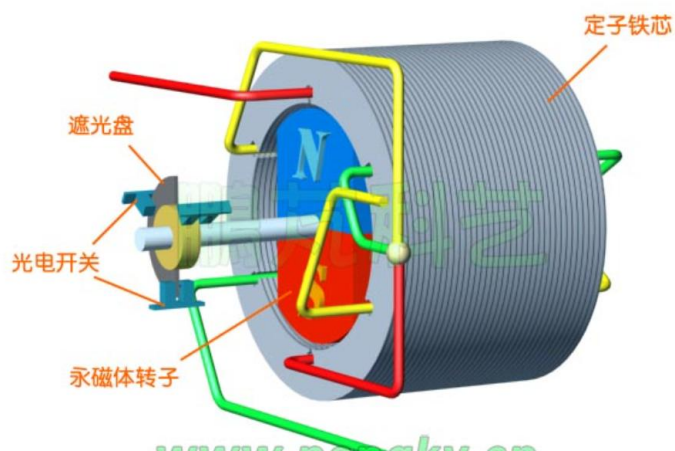
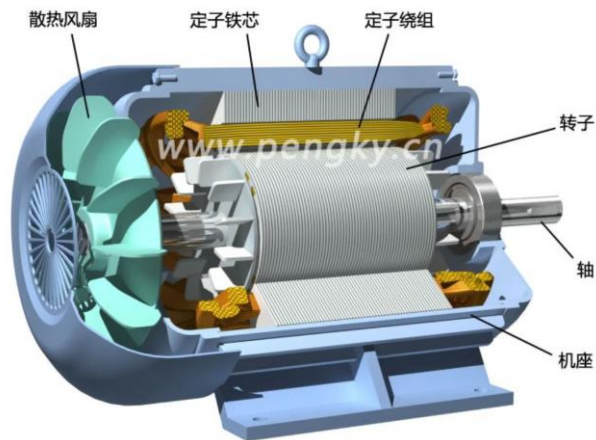


图 9：永磁同步电机示意图



资料来源：鹏茆科艺官网，源达信息证券研究所

资料来源：鹏茆科艺官网，源达信息证券研究所

eVTOL 运营环境更复杂,电机需要具有更好性能和更高安全性。与新能源汽车相比,eVTOL 电机具有安全性、环境适应性、功率密度等要求: 1) 安全性: 紧急情况下冗余 50%功率输出, 第一指标。2) 环境适应性: 可以适应海拔 8000-12000m, 极冷极热-90°C~70°C。 3) 功率密度要求高: 电机重量是电动飞机的设计要求的重要指标。 4) 螺旋桨驱动电机轴承需承受多方向突加载荷。

表 5: 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	9.7	4.7/8.5

资料来源:《电动航空用高性能动力系统的研发及应用》, 源达信息证券研究所

表 6: 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	5500	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

资料来源:《电动航空用高性能动力系统的研发及应用》, 源达信息证券研究所

电驱系统作为核心动力单元, 验证周期长。电驱系统作为核心动力单元, 供应商需要在产品早期开发阶段就开始配合主机厂进行设计和研发, 并参与后续适航取证过程, 开发和验证周期很长; 同时电机供应商在航空行业经验、航空级别的实验室和试验检测设备、高功率密度电机技术基础等方面也需要长时间和大量投入, 才有机会得到下游主机厂认可。

型号合格证、生产许可证、适航证为民用航空器适航所需的“三大通行证”。根据《中华人民共和国民用航空法》和《中华人民共和国适航管理条例》规定, 民用航空器的适航管理由中国民航局负责, 需要对航空器的设计、生产、使用和维修, 实施以确保飞行安全为目的的技术鉴定和监督。民用航空器适航需要取得 3 项合格证, 分别是:

- **型号合格证 (TC)：**任何单位或者个人设计民用航空器，应当持航空工业部对该设计项目的审核批准文件，向民航局申请型号合格证。简言之：证明设计是安全可靠的。
- **生产许可证 (PC)：**任何单位或者个人生产民用航空器，应当具有必要的生产能力，并应当在获得型号合格证后，经航空工业部同意后，向民航局申请生产许可证。简言之：工厂生产的质量体系完善，生产出来的都能满足要求。
- **适航证 (AC)：**按照规定生产的民用航空器，须经民航局逐一审查合格后，颁发单机适航证。简言之：飞机有合格证，自带身份证明。

目前亿航智能是全球首个同时取得型号合格证 (TC)、生产合格证 (PC)、适航证 (AC) 的公司，以亿航智能为例，其 EH-216 最早于 2018 年 2 月公开载人首飞，2020 年 12 月向中国民航局递交型号合格证申请，直到 2023 年 10 月，历时近 3 年时间才取得型号合格证。

3. 技术趋势：eVTOL 电机功率密度革命加速，推动材料和工艺进步

eVTOL 电机未来技术演进的核心在于提高功率密度。功率密度的提升意味着在相同体积和重量条件下，电机可输出更强劲动力，对航空领域意义重大。因飞机内部空间紧凑、起飞重量受限，高功率密度电机可提升飞行速度、爬升能力和续航里程等性能指标，助力电动飞机解决电池续航问题。实现这一目标需多方面创新：研发高性能磁性与导电材料，优化电机设计和制造工艺，借助先进仿真技术进行精细化设计，以及创新散热技术保障电机稳定运行。

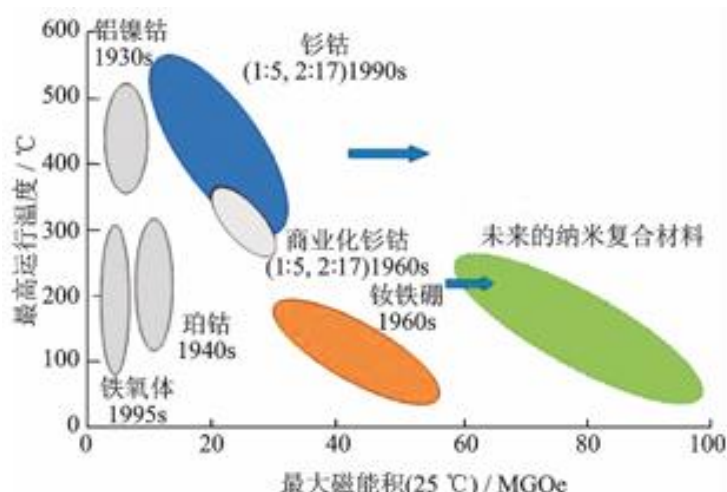
- **碳纳米管导线**

电工材料是高功率密度高效电机的基础，碳纳米管导线有助于提高电机导电性能。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。

- **纳米复合永磁材料**

高性能永磁电机离不开永磁材料的突破，高的磁能积能够有效提高永磁电机功率密度。不同永磁材料在不同的工作温度下磁能积不同，当前钕铁硼永磁材料和钐钴永磁材料均具有高的磁能积，钐钴最高运行温度更高，但是以磁能积下降为代价。高磁能积钕铁硼材料的突破仍在继续。美国能源部正在研究少稀土高磁能积的永磁材料，未来纳米复合永磁材料将会提供更高的磁能积。

图 10：当前及未来永磁材料的磁能积与工作温度



资料来源：《飞机电气化背景下的先进航空电机系统》，源达信息证券研究所

● 高效散热

航空电机必须要有一个高效的冷却系统，能保证它的工作安全性、可靠性和高功率密度。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。电机温升过高会影响到发电设备的安全性，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。航空电机冷却技术中利用的冷却介质主要有水冷、风冷及油冷。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。

表 7：电机主要冷却方式特点

冷却方式	主要特点	优势	缺点
水冷	利用水循环带走热量，需配备水泵、散热器等设备。	散热效率高，能快速将热量散发；冷却效果均匀，避免热点产生；噪音低；在高温环境下表现稳定。	结构复杂，需额外安装泵等组件，增加了系统重量和故障点；维护成本高，需定期更换冷却水或添加防腐剂，且要防止漏水等；安装成本高；对环境适应性稍差，如需考虑防冻等问题。
风冷	依靠风扇使空气流动带走热量，结构相对简单。	结构简单，无复杂的水路或油路系统，故障点少；重量轻，适合对重量敏感的场景；维护方便，只需定期检查风扇状态；成本低，制造和装配成本低；不受环境影响，环境适应性强。	散热效果相对较差，在大功率或高功率密度场合难以满足散热需求；噪音较大。

油冷	使用油作为冷却介质，通过油的循环来散热，有直接油冷和间接油冷两种方式。	油具有良好的绝缘性和润滑性，可直接与电机内部部件接触，散热效率高，能有效降低绕组等高发热部件的温度；可同时对定子和转子进行冷却，冷却效果更全面；结构相对紧凑，省却了水冷所需的复杂水道和部分组件；维护相对简单，只需定期检查油位和油质，更换润滑油即可。	油的比热容和导热系数相对较低，单次循环带走热量有限，散热效率低于水冷；油的黏度较大，会增加电机转子旋转时的能量损失；冷却系统需配备严格的过滤装置，以防止杂质影响电机绝缘层；成本较高，且存在一定的漏油风险。
----	-------------------------------------	--	--

资料来源：技术邻，源达信息证券研究所

● 集成化

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。

表 8：电机集成方式特点

集成方式	定义	集成要素	优势	挑战
功能集成与复用	将多种功能集成到一个部件或模块中，实现一物多用。	功能模块、多功能部件	减少部件数量，降低重量和体积；提高系统可靠性；降低成本；简化维护。	设计复杂度高，需兼顾多种功能；可能影响单一功能的性能；故障排查和修复难度大。
部件级集成	将多个独立部件整合为一个紧凑的组件，如将电机、控制器、减速器等集成一体。	电机、控制器、传感器、传动部件等	提高空间利用率；减少连接点，降低故障风险；增强系统整体性；便于安装和拆卸。	需要高精度制造和装配；散热和电磁兼容性设计难度增加；对部件的可靠性和耐久性要求更高。
系统级集成	从系统层面进行整体设计和优化，将电机与航空器的其他系统（如燃油系统、液压系统等）深度融合。	电机系统、能源系统、控制系统、航空器结构等	实现系统协同工作，提高整体性能和效率；优化能源管理和分配；增强航空器的综合性能；降低系统总重量。	需要跨学科、跨系统的设计和协调；系统复杂度大幅增加；验证和测试难度大；对系统集成商的技术能力要求极高。

资料来源：技术邻，源达信息证券研究所

三、投资建议

建议关注：1) 卧龙电驱：国内电机龙头，积极推进 eVTOL 产品研发；2) 英搏尔：深耕新能源汽车动力系统领域，起步于与亿航智能合作；3) 宗申动力：国内中小型动力领航者，民营航发创新型企业；4) 云路股份：专注于先进磁性金属材料的设计、研发、生产和销售，正积极进行电机用非晶材料的技术研究。

表 9：相关公司万得一致盈利预测

公司	代码	PB	归母净利润（亿元）			PE			总市值（亿元）
			2024E	2025E	2026E	2024E	2025E	2026E	
卧龙电驱	600580.SH	3.38	2.5	10.9	12.6	117.3	27.2	23.6	297
英搏尔	300681.SZ	4.72	0.8	1.3	2.1	90.4	58.2	35.6	75
宗申动力	001696.SZ	5.43		6.4	7.8		34.9	28.7	225
云路股份	688190.SH	4.10		4.3	5.0		25.0	21.4	108

资料来源：Wind，源达信息证券研究所

注：宗申动力和云路股份已披露 2024 年业绩

四、风险提示

eVTOL 技术进展和成本下降不及预期的风险。eVTOL 作为新兴技术，目前构型设计还有较多方案，仍在探索过程中，动力、能源、航电、飞控等技术发展进展有可能不及预期，成本下降和规模放量之间的负反馈效应可能循环叠加，最终导致产业化进展不及预期。

低空管制配套政策和能力不及预期的风险。低空立体交通在全球范围内都处于发展早期，还没有成熟的案例可供参考，航空管制规划能力和相关政策出台可能不及预期，从而限制 eVTOL 实现大规模商业化。

适航认证进展不及预期的风险。适航认证过程较长、程序较多，且相关机构储备的人力有限，若 eVTOL 行业发展加速，适航认证需求激增，面对复杂的技术构型，适航认证进展可能会放缓，从而导致产业化落地放缓。

投资评级说明

行业评级	以报告日后的 6 个月内，行业指数相对于沪深 300 指数的涨跌幅为标准，投资建议的评级标准为：
看 好：	行业指数相对于沪深 300 指数表现+10%以上
中 性：	行业指数相对于沪深 300 指数表现-10%~+10%以上
看 淡：	行业指数相对于沪深 300 指数表现-10%以下
公司评级	以报告日后的 6 个月内，证券相对于沪深 300 指数的涨跌幅为标准，投资建议的评级标准为：
买 入：	相对于沪深 300 指数表现+20%以上
增 持：	相对于沪深 300 指数表现+10%~+20%
中 性：	相对于沪深 300 指数表现-10%~+10%之间波动
减 持：	相对于沪深 300 指数表现-10%以下

办公地址

石家庄

河北省石家庄市长安区跃进路 167 号源达办公楼

上海

上海市浦东新区峨山路 91 弄 100 号陆家嘴软件园 2 号楼 701 室

分析师声明

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。分析逻辑基于作者的职业理解，本报告清晰准确地反映了作者的研究观点。作者所得报酬的任何部分不曾与，不与，也不将与本报告中的具体推荐意见或观点而有直接或间接联系，特此声明。

重要声明

河北源达信息技术股份有限公司具有证券投资咨询业务资格，经营证券业务许可证编号：911301001043661976。

本报告仅限中国大陆地区发行，仅供河北源达信息技术股份有限公司（以下简称：本公司）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告的信息均来源于公开资料，本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证所包含信息和建议不发生任何变更。本公司已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，不包含作者对证券价格涨跌或市场走势的确定性判断。本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议，投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估。

本报告仅反映本公司于发布报告当日的判断，在不同时期，本公司可以发出其他与本报告所载信息不一致及有不同结论的报告；本报告所反映研究人员的不同观点、见解及分析方法，并不代表本公司或其他附属机构的立场。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本公司及作者在自身所知范围内，与本报告中所评价或推荐的证券不存在法律法规要求披露或采取限制、静默措施的利益冲突。

本报告版权仅为本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用须注明出处为源达信息证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。刊载或者转发本证券研究报告或者摘要的，应当注明本报告的发布人和发布日期，提示使用证券研究报告的风险。未经授权刊载或者转发本报告的，本公司将保留向其追究法律责任的权利。