

# 低空经济建设持续推进，镁材料有望打开低空商业化之路

## 镁行业深度报告

### 有色金属

投资评级：推荐（维持）

分析师：张锦

分析师登记编码：S0890521080001

电话：021-20321304

邮箱：zhangjin@cnhbstock.com

研究助理：张后来

邮箱：zhanghoulai@cnhbstock.com

销售服务电话：

021-20515355

行业走势图（2024年8月22日）



资料来源：ifind，华宝证券研究创新部

### 相关研究报告

- 《关注螺纹钢新标强制实施带来的钒制品需求改善——钒行业月度报告》2024-08-23
- 《解密美国 PCC 成长之路，探寻金属材料公司做强做大路径——金属新材料产业专题报告》2024-07-24
- 《金属镁价格回落，镁行业供需两端双增，淡季下游议价权增强——镁行业月度报告》2024-07-24

### 投资要点

④低空经济建设如火如荼，镁材料有望在低空经济中发挥重要作用：低空经济涵盖基础设施建设和低空航空器。国家推动基础设施建设，“十四五”规划支持金属零部件制造和低空经济发展，地方政府积极扩展市场。非管制空域的明确将扩大低空经济活动范围，通用机场建设和低空航空器渗透率预计将快速增长。预计2025年全球eVTOL将开始商业化，无人机在物流和生产中将发挥重要作用。与传统材料相比，镁的质量轻、低成本、高储备特性使得镁材料有望解决低空经济建设原材料成本高、运转效率低的困境，发挥重要作用。

④镁电池作为理想化的电池技术路线有望在低空经济中取得商业化突破：镁电池分为镁离子电池与镁-空气电池，相比锂电池具有电能量密度高、原材料成本低、安全性较高的特点，更适合低空基础设施建设和低空航空器的运行场景。根据MIJBC在2023年披露的镁燃料电池投资项目，镁-空气电池在无人机、飞行汽车上的飞行时间为3小时，高于锂电池的23分钟，主要形态为手动式、薄膜型、片状、圆盘型四种，均在美国和中国取得专利。随着相关技术的成熟，未来镁电池有望打开低空飞行方面的规模化、商业化应用空间。

④镁合金有望率先用于低空航空器结构件材料，镁合金企业率先在eVTOL、电动飞行汽车领域展开积极探索：镁合金在过去广泛用于汽车和直升机的薄壁和复杂结构件等领域，凭借其优良的力学性能、加工性和轻质特性，未来可用于无人机、eVTOL、飞行汽车等低空航空器的各个部件。从当前研发进展来看，镁合金的产品生产与应用技术更成熟，用于低空航空器的镁合金零部件、镁合金压铸件成为行业合作的热门方向。例如万丰奥威、宝武镁业、嘉瑞国际等企业均于eVTOL、电动飞行汽车等领域与下游客户展开积极探索。

④投资建议：低空经济的发展有望从低空基础设施以及低空航空器两个方面推进镁行业的进一步发展，建议关注环保炼镁工艺，布局汽车轻量化市场，具有高附加值的镁深加工技术和产业链完善的镁合金/镁制品生产链。镁电池目前处于实验室阶段，随着相关产品研发的落地，镁电池有望代替传统电池用于低空经济场景，建议关注具有相关技术储备的实验室研发进展或具有原材料生产能力的上游产业链。

④风险提示：政策进展不及预期、相关产业发展不及预期、研发进展不及预期；本报告部分图表根据新闻资料整理，或存在统计不完备的情况；文中提及的上市公司旨在说明行业发展情况，不构成推荐覆盖。

## 内容目录

<b>1. 从宏观设计到微观探索，发展低空经济未来可期</b>	<b>4</b>
1.1. 低空基础设施建设与低空航空器构成低空经济的主体部分	4
1.1.1. 我国低空基础设施建设积极推进	4
1.1.2. 低空航空器涉及金属零部件、装备制造等中上游产业	5
1.2. 政策自上而下前瞻规划低空经济发展	7
1.3. 最新空域划分扩大低空经济活动范围，eVTOL、无人机有望率先发展	14
<b>2. 镁及镁合金有望低空经济中发挥重要作用</b>	<b>17</b>
2.1. 镁电池：一种理想化的电池技术路线，商业化有望突破	19
2.1.1. 镁离子电池：低价、高效、安全，可充技术路线有望得到广泛应用	19
2.1.2. 镁-空气电池（金属燃料电池）：易储存、质轻、污染小，有望用于低空航空器场景	22
2.2. 受益汽车轻量化应用经验，镁合金有望率先用于低空航空器结构件材料	24
2.3. 镁行业公司积极探索低空领域合作发展机会，镁合金成为热门应用方向	27
<b>3. 投资建议</b>	<b>28</b>
<b>4. 风险提示</b>	<b>28</b>

## 图表目录

图 1： 2019-2023 年我国通用机场建设数量及同比	4
图 2： 2023 年全国通用机场按机场类型统计（个）	4
图 3： 小鹏汇天飞行汽车	6
图 4： 亿航智能 eVTOL	6
图 5： 低空航空器产业链	7
图 6： 国家空域基础分类示意图	15
图 7： 2020-2050E 中国低空经济规模（亿美元）	15
图 8： 2020-2026E 我国 eVTOL 产业规模预测	15
图 9： 无人机已经大量应用于各种生产作业活动	16
图 10： eVTOL 与直升机运营成本对比（美元/座/英里）	17
图 11： Lillium 公司的 eVTOL 成本构成	18
图 12： 亿航智能 600kg 级、1200kg 级 eVTOL 成本构成（%）	18
图 13： 2016-2022 年我国白云石产量及均价	18
图 14： 2019-2023 年我国菱镁矿产量及全球占比	18
图 15： 2023-2024 年电池级碳酸锂价格（万元/吨）	19
图 16： 2023-2024 年镁锭价格走势（元/吨）	19
图 17： 镁离子电池工作原理	19
图 18： 几种金属负极的理论比容量和工作电压	20
图 19： Mg/空气电池示意图	22
图 20： 镁空气电池的充电与放电反应过程	22
图 21： 以 Lillium 无人机为例，动力系统及电池的分布位置	23
图 22： 主流 eVTOL 结构	27
图 23： 镁合金在汽车上的应用部位	27
图 24： 基于镁材料的四旋翼无人机设计方案	27
表 1： 各地“十三五”规划完成情况及“十四五”规划	4
表 2： 自动无人驾驶飞行器与无人机的对比	6

表 3: 我国“十四五”涉及低空经济的相关规划指引.....	7
表 4: 2021-2024 年我国各管理部门面向低空经济提出的政策.....	9
表 5: 2023-2024 年地方性低空经济发展支持政策.....	10
表 6: 部分海外上市公司 eVTOL 商业化进展.....	16
表 7: 低空经济应用场景优先级评价.....	17
表 8: 镁离子电池电解质材料汇总.....	20
表 9: 2020-2024 年镁离子电池研究成果汇总.....	21
表 10: 中性盐电解质镁-空气燃料电池放电反应.....	22
表 11: MIJBC 镁合金燃料电池相关专利.....	23
表 12: 镁及其合金与替代材料对比.....	24
表 13: Mg-Al 系、Mg-Al-RE 系压铸镁合金的室温力学性能.....	25
表 14: 变形镁合金的分类及其典型化学成分.....	25
表 15: 镁合金铸件在汽车上的应用.....	26
表 16: 2024 年以来镁企业与多家上下游公司在低空经济领域展开合作.....	28

## 1. 从宏观设计到微观探索，发展低空经济未来可期

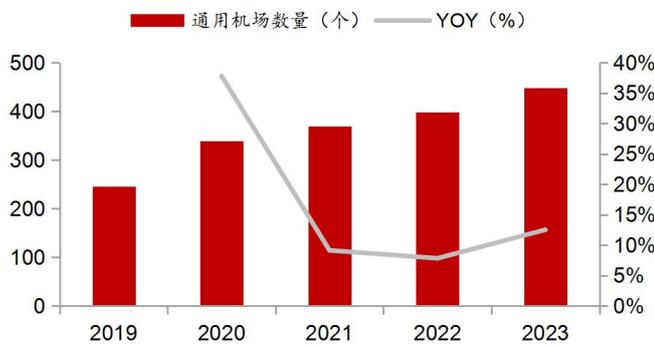
### 1.1. 低空基础设施建设与低空航空器构成低空经济的主体部分

低空经济分为低空基础设施建设与低空航空器，其中低空基础设施建设可分为物理基础设施、信息基础设施以及数字化管理服务系统，低空航空器主要包括无人机、通用航空器和 eVTOL。低空经济的基础设施建设被视为高质量发展的核心和基础，其未来发展需要新一代空管信息技术作为新型基础设施，以保证飞行安全并应对民用无人机快速发展带来的挑战。

#### 1.1.1. 我国低空基础设施建设积极推进

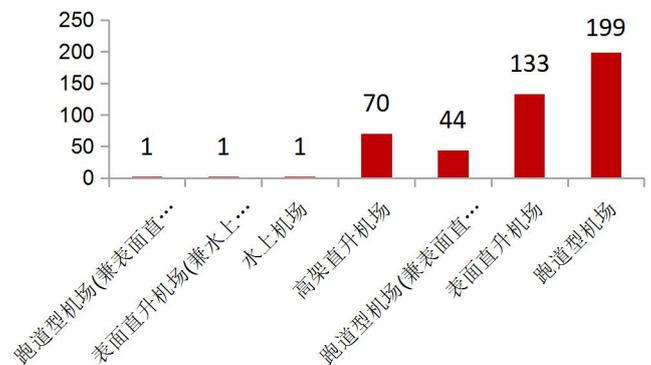
各地出台规划推进通用机场等低空经济物理基础设施建设发展。低空经济物理基础设施包括通用机场、起降点、航空器充（换）电设施、中转站、货物装卸区、乘客候乘区以及电池存储设施等。其中通用机场与起降站是低空航空器起降、备降、停放和能源补给的重要场所。根据中国 AOPA 通用机场研究中心统计，截至 2023 年全国在册通用机场 449 个，同比增长 12.5%。其中取得通用机场使用许可证的机场 106 个，通过通用机场信息管理系统完成备案的机场（B 类通用机场和仅供直升机起降的 A 类通用机场）343 个。从机场类型来看，2023 年跑道型机场占 44.32%，表面直升机场占 29.62%。通用航空规划方面，2022 年国务院印发《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》、《新时代民航强国建设行动纲要》以来，各地方相继制定本地区机场建设规划，根据已披露的“十四五”规划整理，预计“十四五”期间将新增通用机场 293 个。

图 1：2019-2023 年我国通用机场建设数量及同比



资料来源：AOPA，华宝证券研究创新部

图 2：2023 年全国通用机场按机场类型统计（个）



资料来源：AOPA，华宝证券研究创新部

表 1：各地“十三五”规划完成情况及“十四五”规划

地区	“十三五”规划 (个)	“十三五”实际 (个)	完成率	“十四五”规划新增 (个)
北京市	19	10	53%	35
天津市	7	4	57%	-
河北省	20	17	85%	主要地区达到 14
山西省	-	3	-	7
内蒙古	37	17	46%	9
黑龙江	92	88	96%	-
吉林省	-	4	-	21
辽宁省	15	10	67%	-

地区	“十三五”规划 (个)	“十三五”实际 (个)	完成率	“十四五”规划新增 (个)
山东省	-	14	-	16
浙江省	20	19	95%	11
江苏省	16	25	156%	10
安徽省	16	2	13%	26
福建省	10	3	30%	-
江西省	20	7	35%	18
上海市	-	7	-	-
河南省	15	6	40%	4
湖北省	-	5	-	9
广东省	20	26	130%	6
广西省	8	2	25%	21
海南省	18	4	22%	6
湖南省	-	12	-	5
四川省	27	13	48%	6
重庆市	10	4	40%	-
贵州省	-	1	-	3
云南省	50	5	10%	20
西藏自治区	-	0	-	-
陕西省	80	9	11%	12
甘肃省	25	4	16%	13
宁夏省	9	4	44%	8
青海省	8	0	0%	13
新疆自治区	100	14	14%	-
31省市合计	642	339	53%	293

资料来源：AOPA、中国民航局、圣翔航空，华宝证券研究创新部

信息基础设施主要涉及通信、导航、调度系统等方面，是确保低空飞行安全和效率的关键技术支撑。在复杂情况下例如办公大楼区域的物流运输，或人群密集区域的降落等场景中，低空航空器要求更精准的导航，需配备相应的地面设施，须进一步增强卫星系统的定位功能。低空经济涉及的信息系统用于飞行器起降地面设施 and 使用者使用的交互软件，基于低空航空器和使用者的需求不断扩大城市空中交通服务网络。机载系统除了满足航空器内部系统操作简便可控外，需要集中式的远程指挥调度平台自主完成多项任务。

### 1.1.2. 低空航空器涉及金属零部件、装备制造等中上游产业

从最终产品形态来看，低空航空器可分为直升机、无人机、飞行汽车和 eVTOL。其中行业级无人机运行范围为 0-300 米、消费级无人机运行范围为 0-120 米；飞行汽车采用陆空一体化设计，相比传统汽车或直升机灵活性更高，可满足使用者的多样化需求；eVTOL 具有无需跑道、垂直起降的优势，面对短途飞行性价比更高。飞行汽车与 eVTOL 均受到市场以及相关从业者的大量关注。

图 3：小鹏汇天飞行汽车



资料来源：小鹏汇天官网，华宝证券研究创新部

图 4：亿航智能 eVTOL



资料来源：亿航智能官网，华宝证券研究创新部

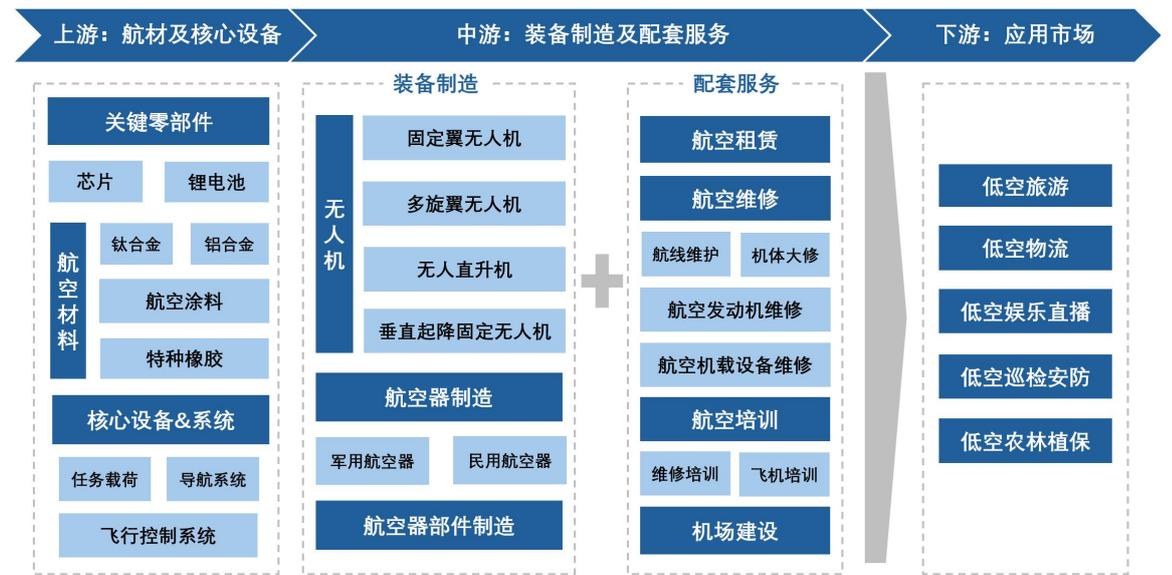
表 2：自动无人驾驶飞行器与无人机的对比

分类	自动无人驾驶飞行器	无人机
差异		
1	可以载运乘客，也可以载运货物	不载运乘客
2	集中式指挥调度	1 对 1 控制或集中式控制
3	4G/5G 网络	无线电频率、Wi-Fi 或 4G/5G
4	能够全球远程遥控	大多数仅为 100-3000 米的短程控制
5	集群管理（容易）	缺乏管理（困难）
6	可执行复杂任务（客运、物流递送）	功能有限（航拍照片、视频等）
7	有效载荷重达 200-600 公斤	有效载荷少于 10 公斤
相似之处		
自动化、遥控、电动、旋翼、垂直起降		

资料来源：亿航智能《城市空中交通系统白皮书》，华宝证券研究创新部

低空航空器产业链主要涉及金属零部件、装备制造等中上游产业。从产业链结构来看，低空航空器产业链上游为原材料与核心零部件领域，包括金属原材料、特种橡胶与高分子材料等；产业链中游低空经济行业包含低空制造、低空飞行、低空保障与综合服务；产业链下游为各种应用场景，包括旅游业、物流业、文旅业与巡检业等。

图 5：低空航空器产业链



资料来源：前瞻研究院，华宝证券研究创新部

## 1.2. 政策自上而下前瞻规划低空经济发展

**十四五规划为低空经济发展构建蓝图。**"十四五"期间，中国政府出台的各项十四五发展规划中不断给出关于低空经济建设的指导意见，涉及技术创新、产业升级、基础设施建设、安全管理、服务保障能力提升以及空域管理改革等各方面。政策在具体措施上支持无人机和通用航空产业的创新与应用、鼓励低空旅游等新业态发展、优化空域资源配置、加强飞行服务保障体系、推动 5G 与北斗系统的技术应用以及培育航空文化等，计划不断推动实现低空空域改革的实质性进展，构建合理的航路航线网络，提升通用航空安全与服务水平，同时促进区域经济协调发展和航空产业的整体竞争力。

表 3：我国“十四五”涉及低空经济的相关规划指引

政策名称	内容
《“十四五”旅游业发展规划》	加快新技术应用与技术创新 促进旅游装备技术提升，重点推进包括低空旅游装备在内的旅游装备技术等的自主创新及高端制造。
	完善旅游产品供给体系 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，强化安全监管，推动通用航空旅游示范工程和航空飞行营地建设。
	健全旅游综合保障体系 强化政策支撑。落实用地、财政、区域、税收、金融、投资、人才等支持政策。各相关部门根据职责分工支持旅游业发展，形成发展合力。其中工信部要会同文化和旅游部等部门，加强邮轮游艇、低空飞行器、游乐设施、冰雪装备等旅游装备研发应用和产业化发展。
《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》	优化综合立体交通网络 扩大航空网络覆盖。有序推进通用机场规划建设，构建区域短途运输网络，探索通用航空与低空旅游、应急救援、医疗救护、警务航空等融合发展。
	深化重点领域改革 持续推进空管体制改革，完善军民航空管联合运行机制，实施空域资源分类精细化管理，优化全国航路航线网，深化低空空域管理改革。
《“十四五”民用航空发展规划》	完善安全治理体系 加大安全风险防控。加强低空飞行服务、通用机场运行、通航维修等领域的安全管理，构建与运行需求相匹配的风险管控体系，提升通用航空安全

		水平。
	持续提升服务保障能力	提升低空飞行服务保障能力。充分利用既有广播式自动相关监视(ADS-B)基站、北斗飞行动态信息服务平台和飞行服务中心(站),引导省级飞行服务站布局,加强数据融合共享。优化情报服务保障体系,完善低空气象、目视航图等产品。 持续推动低空空域管理改革。总结推广四川、海南、湖南、江西等地低空空域管理改革试点经验,按需加密低空航线、扩大低空报告空域范围,简化优化飞行任务审批、计划申请和审批(备案)程序,畅通申报渠道,扩大随报随批业务种类。
	着力提升通航服务水平	着力开展大众消费服务。鼓励通用航空发展与旅游资源开发、引导娱乐消费相结合,提供多样化、特色化低空旅游服务产品。
	大力引导无人机创新发展	创新无人机产业生态。以构建无人机产业生态为导向,鼓励建设一批创新平台,支持以无人机全产业链发展为重点的低空经济集聚区建设,发挥创新集聚带动作用,引领产业向价值链高端迈进。
	持续优化通航发展环境	推动多元协同治理。积极引导省级通航发展平台建设,发挥科研院所、行业协会的第三方桥梁纽带作用,推动在设施建设、低空空域改革、低空经济发展、安全监管等方面形成合作共治局面。
	积极服务区域协调发展战略	开创中部民航崛起新局面。发挥民航产业功能,激发区域高质量发展新动能,包括推进湖南全域低空空域管理改革试点等。
《“十四五”通用航空发展专项规划》	发展目标	“十四五”期间,保障能力取得新突破,力争低空空域改革取得实质性进展,推动低空空域分类划设,航路航线大幅拓展,在册通用机场布局合理。
	新兴消费扩容提质	推动低空旅游发展。支持文旅主管部门扩大空中游览、高空跳伞等对景区的覆盖,建立连接景区、度假区、主题公园等旅游目的地的低空旅游网。支持地方政府发展“通用航空+旅游”,鼓励依托观光游、主题游、体验游等形态丰富低空旅游内涵,支持脱贫地区发展通用航空特色休闲农业和精品旅游。支持成立跨行业联盟,推动通用航空和旅游、互联网融合发展,打造通用航空消费新格局。
	通航运输连线成网	拓展包机服务网。支持地方政府构建多个机场间的航线网,打通商务区、产业园、机场间的低空摆渡通道,丰富交通出行选择。完善机场网络。鼓励有条件的城市布局建设开展低空摆渡的直升机场,支持粤港澳大湾区通用机场增设口岸。
	无人机广泛应用	支持物流配送,深化粤港澳大湾区低空无人机物流配送体系试点,探索构建无人机低空物流配送航线网络;推动跨界融合,支持以无人机全产业链发展为重点的低空经济区建设,发挥集聚带动作用,引领产业向价值链高端迈进。
	传统作业巩固提升	设置障碍物警示标志。落实《民航法》有关要求,推动障碍物产权人加装飞行障碍灯及标志,优化低空净空环境,确保飞行安全。支持研发使用国产飞行障碍灯及标志。
	优化空域管理	推动低空空域管理改革。落实国家低空空域管理改革工作部署,以提升低空空域资源利用效率为目标,推动优化管理机制,加强法制建设,分类划设低空空域,保障通用航空发展。推动建立民航、军队、地方政府对低空空域运行、空防、公共安全各负其责的分工管理模式。 深度参与空域改革试点。总结推广四川、海南、湖南、江西、安徽等地低空空域管理改革试点经验,按需加密低空航线,扩大低空报告空域范围。探索在华东、中南等通用航空产业基础好、发展潜力大的地区划设跨省低空飞行航线,实现短途运输、通用航空器跨区交付与转场飞行等常态化。

优化飞行保障	加快建设低空飞行服务保障体系。加快低空飞行服务国家信息管理系统、区域信息处理系统建设，支持地方政府或有关主体布局建设飞行服务站，统一数据接口和传输标准，实现低空飞行服务保障体系联网运行、数据和产品交换，按需提供基础和定制信息服务。	
	提升低空通信监视能力。全面推动北斗定位终端在通用航空器上的安装使用，建设运行北斗飞行动态信息服务平台，实现对通用航空器低空飞行的实时监视及动态信息服务。支持飞行服务站集约使用甚高频通信频率。充分利用现有广播式自动相关监视（ADS-B）基站、北斗飞行动态信息服务平台和已有飞行服务中心（站），推动以北斗定位数据为基础，融合北斗短报文、ADS-B数据的低空监视信息平台建设。	
	加大创新驱动	鼓励新技术应用。支持开展用于通用航空高速需求业务及运营信息传输的技术试验验证，推动5G与北斗卫星导航系统一体化的民用航空低空空域监视技术应用验证。
	培育航空文化	发展航空文化产业。支持航空产业园区、通用航空企业、航空俱乐部等开发文创产品，丰富低空经济产品供给。
持续提升治理能力	优化职能机构，发挥第三方积极作用。支持科研机构、协会等组织发挥桥梁纽带、科学研究、协助管理等作用，按规定程序承接政府委托事项，推动在低空空域管理改革、设施建设、安全监管、低空经济发展等方面形成合作共治局面。支持成立中国通用航空运营人行业协会。	

资料来源：国务院、民航局、国家发改委、交通运输部官网，华宝证券研究创新部

此外，其他宏观部门发布的一系列政策指引也推进了低空经济的发展。政策内容包括无人机、无人驾驶航空器、eVTOL（电动垂直起降航空器）在内的等低空飞行器的技术创新、产业升级、应用场景拓展、基础设施建设、安全监管等各方面，为低空经济提供了宏观上的远层架构。

表 4：2021-2024 年我国各管理部门面向低空经济提出的政策

发布单位	发布文件	内容
国家市场监督管理总局等七部门	《以标准提升牵引设备更新和消费品以旧换新行动方案》	提出开展无人机飞行试验、物流无人机、无人机适航等标准制定，发展低空经济，由工信部、市场监管总局、中国民航局等按职责分工负责。其中，物流无人机货物吊挂控制通用要求、大型货运无人机系统通用要求等多项标准列入《2024 年制修订重点国家标准项目清单》；民用大中型固定翼无人机系统自主能力飞行试验要求、民用轻小型无人机碰撞安全性要求等多项标准被列入《2025 年制修订重点国家标准项目清单》。
工业和信息化部、科学技术部、财政部、中国民用航空局	《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030 年）》	1、设立了到 2030 年建立以高端化、智能化、绿色化为特征的产业发展新模式，使通用航空装备全面融入社会生产生活各领域，成为推动低空经济增长的重要力量，并形成万亿级市场规模的目标。 2、提出增强产业技术创新能力、提升产业链供应链竞争力、深化重点领域示范应用、推动基础支撑体系建设、构建高效融合产业生态等重点任务。 3、给予加强统筹联动、加大政策支持、营造良好氛围等方面的组织保障。
国务院	《2024 年国务院政府工作报告》	积极培育新兴产业和未来产业。实施产业创新工程，完善产业生态，拓展应用场景，促进战略性新兴产业融合集群发展。巩固扩大智能网联新能源汽车等产业领先优势，加快前沿新兴氢能、新材料、创新药等产业发展，积极打造生物制造、商业航天、低空经济等新增长引擎。制定未来产业发展规划，开辟量子技术、生命科学等新赛道，创建一批未来产业先导区。鼓励发展创业投资、股权投资，优化产业投资基金功能。加强重点行业统筹布局和投资引导，防止产能过剩和低水平重复建设。

发布单位	发布文件	内容
国家空中交通管理委员会办公室	《中华人民共和国空域管理条例(征求意见稿)》	条例涵盖了空域的分类、划设、使用、评估、保障及监督检查等方面，确立了空域分级分类管理制度，明确了各级空域管理机构的职责，规定了空域用户的使用权利与义务，并建立了空域动态配置和灵活使用制度。此外，还包括了特殊情况下空域管理的规定、法律责任以及对空域管理监督检查机构的职能和监督检查措施的描述，确保空域资源的合理开发和有效利用。旨在规范和加强国家空域资源的管理，确保国家安全、公共安全及航空安全，同时促进经济和国防建设。
国务院、中央军委	《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》	聚焦民用无人驾驶航空器及操控人员的管理分类别规范化管理：按照无人机规模、载重、巡航等情况将无人机分为微型、轻型、小型、中型、大型五个类别；强调农用等特殊类型无人机的生产制造管理及人员资质要求，利好无人机农林植保领域应用推进；划分飞行管制区域，明确需提出飞行活动申请的情形以及审批权限和审批时限，适航申请有望加速。
中国民用航天局	《民用无人驾驶航空器系统适航审定管理程序》	注重中型和大型民用无人驾驶航空器系统的设计批准、生产批准和适航批准有关活动。规定标准适航证及特殊适航证的适用机型，对适航证申请进行规范化指引。已颁布该类别适航标准的机型：适航标准和环境保护要求为其申请之日有效的版次；未颁布该类别适航标准的机型：以项目专用条件的形式颁发适用要求。
中共中央、国务院	《扩大内需战略规划纲要(2022-2035年)》	扩大文化和旅游消费。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。
航空器适航审定司	《城市场景物流电动多旋翼无人驾驶航空器(轻小型)系统技术要求》	聚焦电动多旋翼无人驾驶航空器在城市场景下物流领域的应用，无人驾驶航线城市场景走向规范化。规定了在城市场景从事物流作业的电动多旋翼无人驾驶航空器(轻小型)系统的技术要求；规定了无人驾驶航空器航线城市场景。
发展改革委、商务部	《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》	适航申请标准放宽，适航申请有望加速。划分飞行管制区域，明确需提出飞行活动申请的情形以及审批权限和审批时限。
财政部、海关总署	《2021-2030年支持民用航空维修用航空器材进口税收政策》	为从事低空相关的企业提供进口关税减免。

资料来源：各部门官网，华宝证券研究创新部

**2023年以来各地方政府积极响应宏观政策号召，发布文件推动低空经济发展。**2023年以来，北京、苏州、广州等地率先发布政策文件促进低空经济建设，内容涵盖低空飞行器的技术创新、产业生态培育、基础设施建设、应用场景拓展、政策支持与保障等多个方面，具体措施包括对低空经济相关企业给予资金奖励、技术支持、人才引进等激励政策，政策旨在促进低空经济产业的创新升级和市场规模的扩大，形成具有竞争力的低空经济产业集群，推动地方经济的转型升级。

表 5：2023-2024 年地方性低空经济发展支持政策

发布时间	地方	发布文件	内容
2024/7/24	北京市	《丰台区促进低空经济产业高质量发展的指导意见(2024—2026年)(征求意见稿)》	1、提出到 2026 年，丰台区低空经济产业创新水平、技术能力、产业规模国内领先；低空技术创新能力提升，关键技术实现突破，形成产业链；低空管控系统平台形成示范，成为全国主流技术方案；低空经济产业生态建设取得成效，培育龙头企业和专精特新企业；产业规模显著提升，到 2025 年产业规模超过 1000 亿元等多项发展目标。 2、明确发展路径：发挥科教资源优势，抢占低空经济创新高地；发挥主导产业

发布时间	地方	发布文件	内容
			<p>协同优势，占领低空管控制高点；发挥产业链配套优势，打造低空高端制造基地。</p> <p>3、提出加快发展低空飞行器核心产业、提升低空管控技术供给能力、构建飞行应用服务支撑体系、培育低空经济产业发展载体等重点任务，包括整机研制、关键零部件技术突破、产业链配套能力建设、数字化低空运行监管、低空管控平台产品开发、低空安防反制技术、无人机检测及适航验证技术服务、示范应用场景打造、高能级创新平台建设、低空经济产业园建设。</p>
2024/7/12	北京市	《房山区低空经济产业发展行动方案（2024—2027年）（征求意见稿）》	<p>1、提出到2027年产业水平大幅提升、示范应用带动明显、创新能力成效显著的发展目标。</p> <p>2、提出支持关键技术创新、构筑产业链竞争力、加强监管运行支持、打造全场景示范应用、加快完善产业生态的重点任务。</p> <p>3、提出包括强化组织领导、完善产业发展政策、加强人才保障、加强宣传推广等措施保障。</p>
2024/7/5	广州市	《广州市推动低空经济高质量发展若干措施》	<p>1、培育壮大低空经济主体。支持低空经济总部企业，鼓励低空整机研发、制造、运营和检验检测能力建设项目，鼓励重点产业配套项目，加大力度培育低空领域优质企业。</p> <p>2、建设低空基础设施。发挥财政资金引导作用，加快低空基础设施建设。</p> <p>3、加大低空科技创新力度。支持关键核心技术研发，支持企业申请适航审定。支持打造高端创新载体和创新联盟，鼓励开展低空经济标准规章制订，促进低空经济科技成果转化。</p> <p>4、拓展低空经济应用场景。支持开设载人无人驾驶应用场景航线，支持开设货运应用场景航线，鼓励开展低空服务业务，鼓励扩大公共服务领域应用，鼓励开展低空旅游、航空运动业务。</p>
2024/7/5	雄安新区	《雄安新区关于支持低空经济产业发展的若干措施》	<p>1、对新落户新区开展eVTOL（电动垂直起降航空器）、飞行汽车、大中小型有人/无人驾驶航空器整机研发制造、通用航空器整机研发制造、核心零部件研发制造、商业运营服务等业务的低空经济企业、科研院所、科研机构等创新主体，实缴注册资本规模2000万元以上的，按实缴注册资本的1%给予不超过1000万元的落户奖励。</p> <p>2、对围绕低空飞行服务、共性关键技术攻关、试飞验证、检验检测、适航审定、在线交易、气象安全保障等低空经济重点领域的各类公共服务平台，按其建设投入的50%给予资助，每个项目最高不超过5000万元。</p> <p>3、对低空经济领域高端人才实行“特岗特薪”，围绕服务承接疏解和重点发展产业，支持用人单位设置首席科学家、首席技术官、首席信息官、首席运营官、首席架构师等特聘岗位，经认定后每年按年薪的50%至100%给予奖励。允许高校、科研院所等国有企事业单位科技人才按规定在雄安兼职兼薪、按劳取酬。对柔性引进的急需高端人才，按累计服务时间，给予每月1万至3万元工作津贴。</p>
2024/6/27	杭州市	《杭州市低空经济高质量发展实施方案（2024—2027年）》	<p>1、提出到2027年，低空产业能级大幅跃升、低空交通网络基本成型、低空管理体系有效运行、低空应用场景丰富多元、低空试点示范成效显著的发展目标。</p> <p>2、提出加快补链强链，建设低空产业创新高地；夯实“数实”基建，完善低空交通运行网络；建立制度规范，提升低空交通保障能力；培育市场需求，拓展低空应用多元场景；开展试点示范，打造低空经济杭州样板的工作任务。</p> <p>3、提供措施保障，包括强化组织领导，建立工作协调机制；加强要素保障，包括资金、土地、金融、人才等；建立推进机制，围绕发展目标分解任务；加大</p>

发布时间	地方	发布文件	内容
			智库支撑，组建专家委员会提供决策支持。
2024/6/14	珠海市	《珠海市支持低空经济高质量发展的若干措施》	<p>1、培育低空经济产业生态：支持重大项目落户及增资扩产；对在本地生产的航空器产品，获得 TC、PC 证的低空经济企业给予奖励，其中对生产 eVTOL、飞行汽车、无人机企业奖励；对相关科技创新平台补助；降低低空经济企业试飞成本；支持低空经济会展及赛事活动。</p> <p>2、扩大低空飞行应用场景：支持开设低空货运和载人航线；对航空运动营地进行奖励；拓展多领域应用。</p> <p>3、强化产业要素供给：支持低空基础设施建设，包括无人驾驶航空器公共测试场和 eVTOL 及大中型无人驾驶航空器枢纽起降场，对低空经济企业在空间保障、场地建设、设备购置、人才引进等方面予以综合支持；吸引低空经济人才聚集；鼓励金融机构开发面向低空经济的纯信用、低成本信贷、中长期技术研发、技术改造等低空经济金融服务。</p>
2024/6/4	四川省	《四川省关于促进低空经济发展的指导意见》	<p>1、培育壮大低空飞行应用市场，包括开通通航短途运输服务，发展无人机物流配送，扩大低空服务范围，拓展低空消费市场，培育引进市场运营主题。</p> <p>2、提升低空空域适用效率，包括促进低空空域高校适用，建立低空非管制空域服务模式。</p> <p>3、加快低空基础设施建设，包括完善飞行起降基础设施网络体系，加快建设低空智能信息基础设施。</p> <p>4、推动通航制造业发展，包括提升产业创新能力，提高产业发展能级，打造行业标志性产品。</p>
2024/5/15	北京市	《北京市促进低空经济产业高质量发展行动方案（2024-2027 年）（征求意见稿）》	<p>加快推动低空经济新业态新模式的探索，提升北京市在低空经济领域的引领示范作用，将其打造成低空经济产业创新之都、全国低空经济示范区的发展目标，目标到 2027 年达到相关企业数量突破 5000 家，带动全市经济增长超 1000 亿元的市场规模；</p> <p>并且实现建立创新平台，完善标准政策，构建“端-网-云-服-用”的创新体系，实现 10 家 10 亿元级企业、50 家核心环节配套企业、100 家技术服务企业的目标；实现围绕应急救援、物流配送、空中摆渡、城际通勤、特色文旅等 10 个以上应用场景及 3 条低空航线；建立起覆盖各类无人机及“低慢小”航空器的安防反制能力，形成可复制可推广的解决方案及低空安防模式，确保首都低空安全。</p>
2024/4/24	沈阳市	《沈阳市低空经济高质量发展行动计划（2024-2026 年）》	<p>依托现有产业基础，加快培育壮大低空经济产业集群，打造全国低空经济发展先行区、集聚区和示范区。到 2026 年，低空飞行基础保障体系基本完善，初步形成研发制造、低空飞行、综合服务融合发展产业生态。低空飞行器在城市空运、物流配送、应急救援和智慧城市管理等领域综合服务高效运行，打造 10 个以上低空经济应用示范场景。沈阳市培育低空经济相关企业突破 100 家，产业规模达到 30 亿元。</p>
2024/4/18	苏州市	《苏州市支持低空经济高质量发展的若干措施（试行）》	<p>1、引进培育低空重点企业：支持重大项目落户，鼓励低空企业加大设备购置来扩大产能规模及生产效率，对重点低空经济企业给予资金奖励支持。</p> <p>2、鼓励低空经济科技创新引领：鼓励企业围绕关键材料、核心零部件和飞行控制、智能避障、反制以及抗干扰等领域开展技术攻关，并加速成果转化应用，资金支持低空经济创新型研究机构落地，鼓励制修订低空标准，加大适航取证奖励。</p> <p>3、扩大低空飞行应用场景：鼓励开通低空短途运输航线，做大低空物流市场规模，开拓低空消费领域应用，拓展公共服务领域应用。</p> <p>4、优化低空经济发展环境：支持 5G-A 设备、气象、监测等基础设施建设，加</p>

发布时间	地方	发布文件	内容
			大金融支持力度及人才引进，支持低空开放合作。
2024/3/19	共青城市	《共青城市低空经济产业三年行动计划(2024-2026年)》	<p>1、壮大低空制造产业：积极引进整机及核心零部件研发制造企业，持续引培航材、检验检测、飞行服务、教育培训等生态链企业，并给予补贴；鼓励企业增资扩产；鼓励国家高新技术企业、专精特新中小企业认定及培育发展。</p> <p>2、提升科技创新能力：鼓励建设低空经济领域创新型研究机构；聚焦航空器系统和飞行保障领域核心技术攻关及应用，支持航空器适航取证；鼓励企业加大研发投入。</p> <p>3、拓展低空应用场景：支持开展载人空中交通；拓展文旅场景应用；鼓励企业开展驾驶培训；鼓励低空飞行器在巡查处置、医疗救助、森林灭火等公共服务领域应用；支持航空油料加注与销售、定检维修、保险理赔等低空业态健全。</p> <p>4、完善低空产业配套环境：推动低空基础设施建设；吸引低空经济高端人才；推动相关基金及金融服务；支持举办行业展会和学术论坛。</p>
2024/3/5	北京市	《关于促进中关村延庆园无人机产业创新发展行动方案(2024-2026年)》	<p>充分发挥北京顶尖科技人才与丰富科技成果资源优势，以科技创新推动产业创新，统筹发展和安全、创新示范和监管，明确将中关村延庆园打造成为国内领先的无人机产业创新发展高地的发展定位，提出到2026年中关村延庆园实现无人机创新能力显著增强，关键核心技术取得突破，无人机与人工智能深度融合，低空安防技术持续升级；创新要素高效配置，低空应用场景加速开放，落地一批示范作用明显、可规模化复制推广的应用场景。产业规模不断壮大，产业能级明显提升，引进培育一批高新技术企业、专精特新企业和独角兽企业，构建形成以工业级无人机为主导、低空经济与低空安防并重的特色产业集群。</p>
2024/1/29	山东省	《山东省无人机产业高质量发展实施方案》	<p>1、壮大产业规模：无人机制造业持续加快发展，无人机综合管理服务、文旅新业态等创新发展，全产业产值突破100亿元，保持快速增长态势。培育10家左右产值过亿元龙头企业，培育100家左右优质企业。</p> <p>2、提升创新能力：强化无人机产品安全性、环境适应性、电磁兼容性等质量可靠性检测能力，带动全产业链创新能力提升。建成一批无人机创新平台。无人机发动机、航空遥感和光电探测、无人机倾斜摄影相机等优势产品国内市场占有率稳步提高。</p> <p>3、拓展应用场景：无人机衍生态实现突破，应用场景不断拓展，鼓励企业积极参与无人机产品服务智慧城市建设。以国产通用航空装备创新应用试点为契机，拓展无人机租赁、维修保养、培训等产业下游领域，促进全省低空经济创新发展。</p>
2023/12/28	深圳市	《深圳市支持低空经济高质量发展的若干措施》	<p>强调产业链上企业培育、技术创新、应用场景、基础设施供给等方面，采用针对性资助方式。低空企业培育：对入驻深圳且满足一定运营时长的低空经济企业进行资助，支持低空经济企业增资扩产。航空器系统和飞行保障领域关键技术研发项目：对于符合条件的首台首套设备、首版次软件进行资助，关注eVTOL航空器和无人驾驶航空器适航取证，针对适航审批产品进行经济补贴。低空飞行应用场景：关注低空物流方向应用的落地情况，针对低空物流配送新航线、通航短途运输航线等均有详细资金奖励政策。产业配套环境：针对低空经济高端人才及民航实验室实行入驻补贴，吸引低空人才及实验室入驻。</p>
2023/11/16	成都市	《成都市促进工业无人机产业高质量发展的专项政策》	<p>1、支持产品开拓市场，对无人机销售额达标的企业进行经济奖励，促进工业无人机销售。</p> <p>2、鼓励增强协作配套，鼓励企业自主研发无人机原材料及零部件产品，对形成有效供应链的企事业单位给予现金奖励。</p> <p>3、支持拓展巡检、应急救援、人工影响天气等应用场景，对相关达标企业给予现金奖励。</p>

发布时间	地方	发布文件	内容
			<p>4、提升创新发展水平：支持创新平台建设、鼓励创新成果转化为实际应用成果；促进研发资源、先进设备及测算计量等资源开放；聚焦技术标准制定，对相关企事业单位给予现金奖励。</p> <p>5、优化产业承载能力：聚焦无人机试飞基地及高端专业人才引进，对相关企业和个人进行现金奖励。</p>
2023/10/24	广州市	《广州开发区（黄埔区）促进低空经济高质量发展的若干措施》	<p>1、加强重大项目落户奖励：对在《措施》有效期内新引进的优质低空经济项目，给予资金奖励。</p> <p>2、加速基础设施扶持：对在本区建设智能起降柜机、无人机小型起降点、电动垂直起降飞行器（eVTOL）起降场、直升机起降平台（分表面和高架）、中型起降场、大型起降枢纽等低空经济相关基础设施的企业进行奖励。</p> <p>3、促进产业集聚：支持低空经济产业园区内集聚一批低空经济创新资源。</p> <p>4、提供低空飞行服务保障：支持建设低空飞行器应用验证场地，对获得空域批复，提供试飞验证公共服务的本区低空飞行试验场的企业。</p> <p>5、获取 TC、PC 证并交付的给予奖励；主导标准定制的给予奖励；核心技术产业化扶持；示范应用场景扶持；重点项目扶持。</p>
2023/10/13	芜湖市	《芜湖市低空经济高质量发展行动方案 2023—2025 年》	<p>1、推进产业循环体系建设：明确到 2025 年产业链、省内相关企业及产业发展保障体系目标，明确牵头单位及相关责任方，促进产业链体系建设。</p> <p>2、推进技术创新能力建设：支持有人机、无人机、eVTOL 等各类低空飞行器以及发动机、螺旋桨、飞控系统、航电系统、主控芯片、精密元器件、核心传感器 / 连接器、电机、电池、机载态势感知设备等产品研发；设立低空经济研究院，重视科研成果转化。</p> <p>3、推进飞行保障体系建设：加强低空基础设施、信息设施、监管平台建设及低空空域分类划设。</p> <p>4、低空领域新业态培育：关注巡检、农林植保、旅游消费、空中出行等领域新业态建设。</p>
2023/2/10	湖南省	《湖南省培育通用航空产业工作方案》	<p>加强通用机场及通航服务体系建设，注重低空零部件及整机制造技术攻关，推进下游产业发展。通用机场及通航服务体系建设：推进通航机场建设，注重通用与运输、直升机机场的高效衔接；构建应急救援、医疗急救体系，推广旅游、科普等方面的应用，培育体验飞行、通航租赁、物流配送等新业态。加强技术攻关：聚焦发动机、材料、起降系统等技术攻关，覆盖通航整机制造、直升机动力、中小型运输机动力、无人机动力等领域。加大市场培育力度：举办通航产业博览会，吸引产业链上下游企业汇聚。采取财政补贴、贴息支持、购买服务等方式扶持开展低空旅游、应急救援、飞行体验、无人机物流等市场化服务的通用航空运营企业发展。</p>

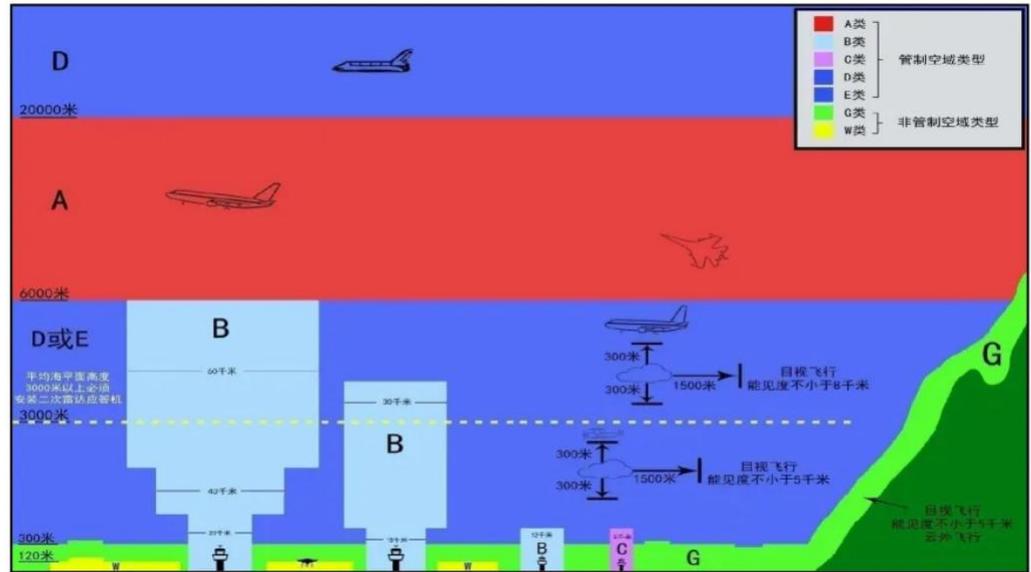
资料来源：各地发改委官网，华宝证券研究创新部

### 1.3. 最新空域划分扩大低空经济活动范围，eVTOL、无人机有望率先发展

非管制空域范围明确，低空航空器的活动范围有望进一步扩大。2023 年 12 月 31 日，民航局出台《国家空域基础分类方法》，依据航空器飞行规则和性能要求、空域环境、空管服务内容等要素，将空域划分为 A、B、C、D、E、G、W 等 7 类，其中，A、B、C、D、E 类为管制空域，G、W 类为非管制空域。其中 G 类空域为①B、C 类空域以外真高 300 米以下空域（W

类空域除外); ②平均海平面高度低于 6000 米、对民航公共运输飞行无影响的空域。W 类空域划设地域及范围: G 类空域内真高 120 米以下的部分空域。无人驾驶航空器可进入 W 类空域行驶。

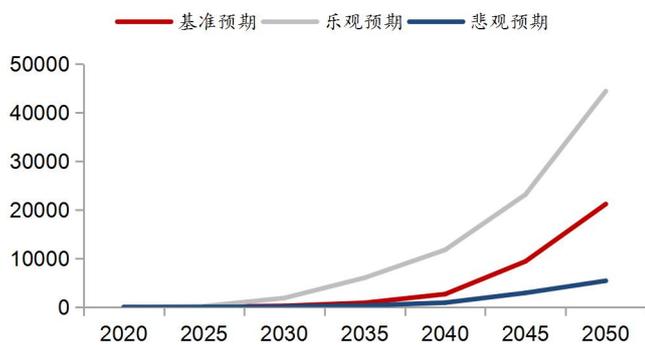
图 6: 国家空域基础分类示意图



资料来源: 民航局《国家空域基础分类方法》, 华宝证券研究创新部

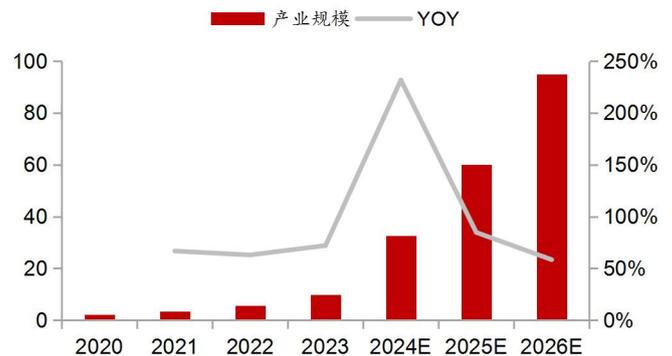
**我国通用机场建设与低空航空器渗透率未来有望高速增长。**从短期来看, 我国低空经济物理基础设施需要进一步完善, 如通用机场、直升机起降点、飞行营地、飞行服务站、雷达等, 也将迎来快速发展期, 以适应低空飞行活动的需求。根据智研咨询的统计, 2023 年由于政策驱动以及 eVTOL 商业化进程提速的影响, 中国 eVTOL 产业规模达到 9.8 亿元, 同比增长 77.3%。预计 2024 年 eVTOL 产业将保持较高增长态势, 到 2026 年将达到 95.0 亿元, 2023-2026 年 CAGR 达 76.45%。

图 7: 2020-2050E 中国低空经济规模 (亿美元)



资料来源: 艾瑞咨询, 华宝证券研究创新部

图 8: 2020-2026E 我国 eVTOL 产业规模预测



资料来源: 智研咨询, 华宝证券研究创新部

**全球 eVTOL 商业化进展如火如荼, 预计在 2025 年开始商业化推广。**根据亿航智能《城市空中交通系统白皮书》显示, 除亿航智能打造的 EHang 216 产品外, 空客、波音、Lilium 等大型公司或新兴企业均有打造自己的 eVTOL 产品, 并预计在 2025 年全部商业化推广完毕。

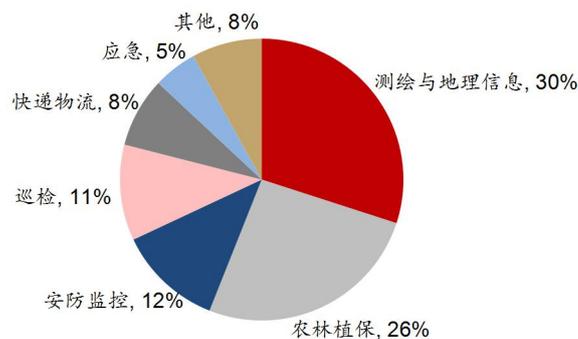
表 6：部分海外上市公司 eVTOL 商业化进展

公司	产品	自动化	开发时间	商业化推广
亿航 (EHang)	EHang 216 EHang 184	√	2013	2019
Volocopter GmbH	Volocopter 2x Volocopter VC200	×	2012	N/A
Lilium	Lilium Jet	√	2014	2025
Airbus	Vahana CityAirbus Pop Up	√	2016	2020
Boeing (Aurora Flight Science)	Aurora eVTOL	√	1989	N/A
Bell Helicopter	Nexus	×	2018	N/A
Kitty Hawk	Cora Flyer	√	2010	2021
Joby Aviation	S4/S2	×	2009	N/A

资料来源：亿航智能《城市空中交通系统白皮书》，华宝证券研究创新部

随着低空交通网络的逐渐铺设完成，低空物流、生产作业有望伴随无人机技术的成熟率先得到发展。从当前低空经济的发展情况来看，无人机是未来 2-3 年内的低空物流、生产作业重要载体。低空物流在可达性、灵活性、经济性、时效性等方面具有较高要求，而无人机不受地形限制、空中飞行距离短、运行速度快、大幅提机动性较强的优势可进一步降低运输成本，并节约运输时间。生产作业方面，由于工作环境比较确定，且农林植保、巡检及各类勘测、监测作业等细分赛道均对无人机技术存在需求，因此将无人机广泛应用于各种生产作业活动的未来趋势已较为清晰。

图 9：无人机已经大量应用于各种生产作业活动



资料来源：中国民用航空局、Frost&Sullivan、前瞻产业研究院、樊一江、李卫波《我国低空经济阶段特征及应用场景研究》，华宝证券研究创新部

从技术成熟度来看，未来公共服务、载人出行场景受益市场需求和经济效益有望率先取得应用场景方面的进一步突破。根据樊一江、李卫波在《我国低空经济阶段特征及应用场景研究》中的测算，目前低空飞行及相关支持保障技术已相对成熟的场景包括生产作业、货运物流；持续探索完善的场景包括公共服务、文旅活动，距离技术成熟最为遥远的场景是载人出行。如果按场景需求迫切程度排序，低空飞行对公共服务场景的支持最为迫切，其次是生产作业、货运物流，最后是文旅活动、载人出行。按经济效益程度排序，预计载人出行场景最终将释放出巨大的市场价值，其次为货运物流、文旅活动。

表 7：低空经济应用场景优先级评价

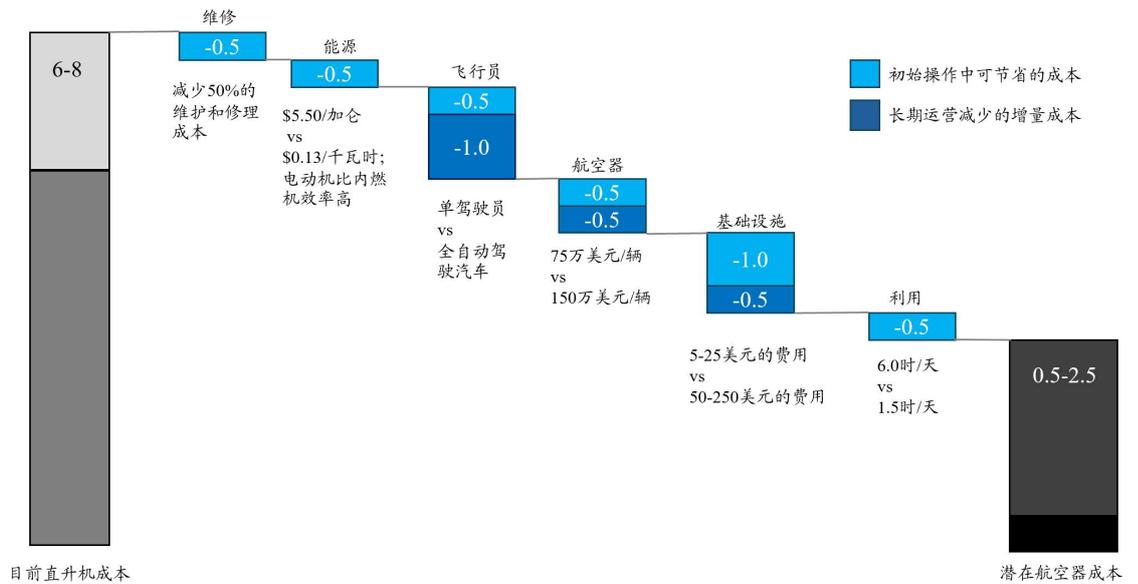
场景	技术成熟程度	需求迫切程度	经济效益程度	风险可控程度
货运物流	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆☆	★★★★☆☆
载人出行	★☆☆☆☆	★★☆☆☆	★★★★★★	★☆☆☆☆
文旅活动	★★★★☆☆	★★☆☆☆	★★★★☆☆	★★★★☆☆
生产作业	★★★★☆	★★★★☆	★★☆☆☆	★★★★☆
公共服务	★★★★☆☆	★★★★★★	☆☆☆☆☆☆	★★★★☆☆

资料来源：樊一江,李卫波《我国低空经济阶段特征及应用场景研究》，华宝证券研究创新部

## 2. 镁及镁合金有望低空经济中发挥重要作用

选用合适的制造材料可大幅降低低空航空器的运营成本。根据麦肯锡的预测，与普通直升机相比,电动化水平的提高以及低成本材料的使用将单辆 eVTOL 的制造成本降低约 75 万美元，从而运营成本平均降低 2-2.5 美元/座/英里，约等于 1/5 的直升机运营成本。镁电池、镁合金结构件由于其独特的性能能够更好地满足低空航空器的运行要求，镁价格相比其他金属元素更低廉有望进一步降低 eVTOL 的制造成本。

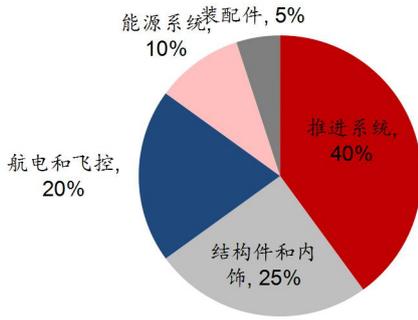
图 10：eVTOL 与直升机运营成本对比（美元/座/英里）



资料来源：麦肯锡，华宝证券研究创新部

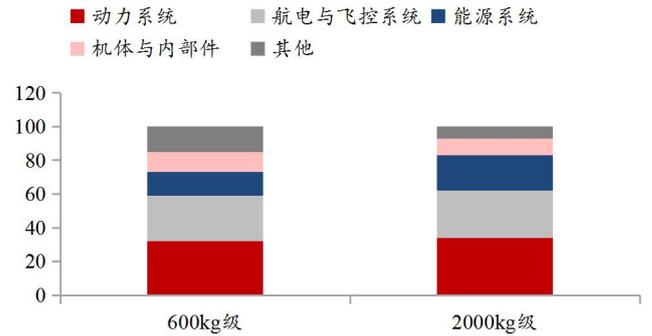
推进系统、结构件在低空航空器的成本中占比较大，未来有望进一步获得降本空间。根据 Lilium 官网的数据，在其生产的 eVTOL 中，推进系统与结构成本占据了制造成本的 60% 以上；根据亿航智能 600kg 级、2000kg 级 eVTOL 成本构成，动力系统约占总成本的 27-28%，机体与内部件约占总成本的 10-12%。

图 11: Lilium 公司的 eVTOL 成本构成



资料来源: Lilium, 华宝证券研究创新部

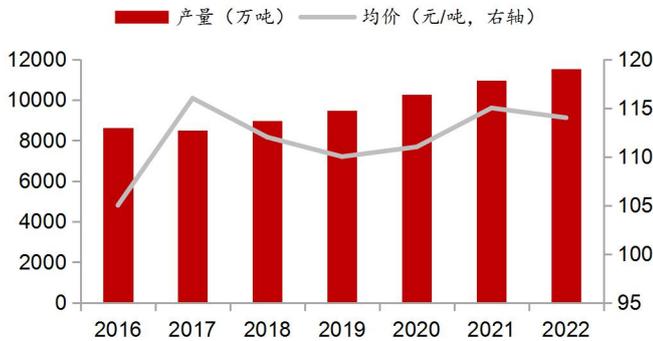
图 12: 亿航智能 600kg 级、1200kg 级 eVTOL 成本构成 (%)



资料来源: 高工氢电、亿航智能, 华宝证券研究创新部

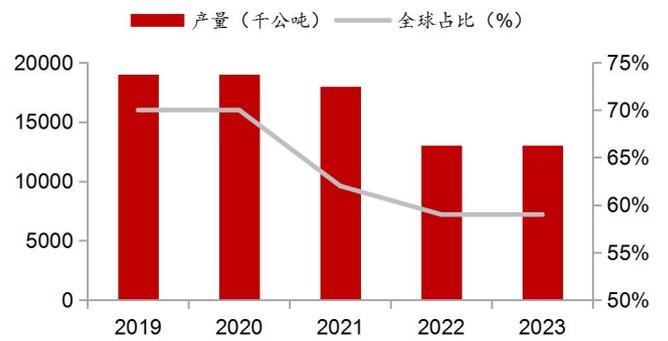
**我国镁储量丰富，价格便宜，与锂相比原材料更具备成本优势。**镁属于地球上储量最丰富的轻金属之一，在地壳中的含量约为 2%，根据中国有色金属工业协会数据显示，中国是世界上镁矿资源最丰富的国家，总储量及产量均为世界第一。我国金属镁主要来自于白云石和菱镁矿。根据智研咨询的统计数据，2022 年我国白云石产量为 1.18 亿吨，同比增长 4.8%；根据 Wind 的统计数据，2023 年我国菱镁矿储量为 5.8 亿吨，产量为 1300 万吨，约占全球产量的 60%。价格方面，根据 Wind，截至 2024 年 8 月 9 日我国电池级碳酸锂均价为 7.85 万元/吨，镁锭价格为 1.951 万元/吨，使用原镁更具成本优势。

图 13: 2016-2022 年我国白云石产量及均价



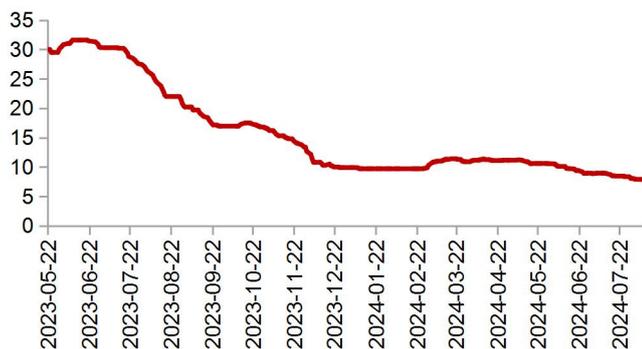
资料来源: 智研咨询, 华宝证券研究创新部

图 14: 2019-2023 年我国菱镁矿产量及全球占比



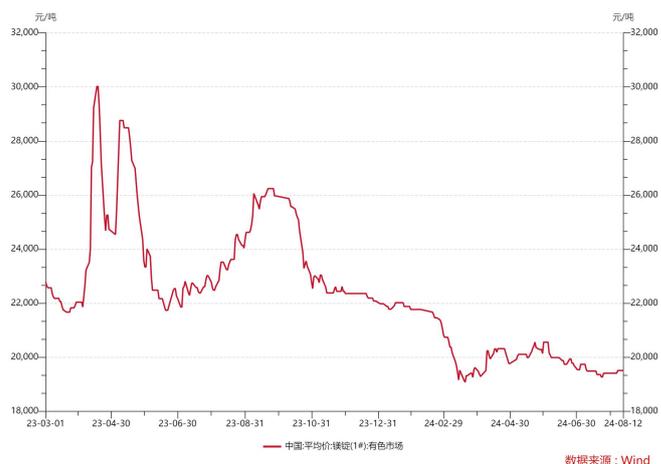
资料来源: Wind, 华宝证券研究创新部

图 15: 2023-2024 年电池级碳酸锂价格 (万元/吨)



资料来源: 百川盈孚, 华宝证券研究创新部

图 16: 2023-2024 年镁锭价格走势 (元/吨)

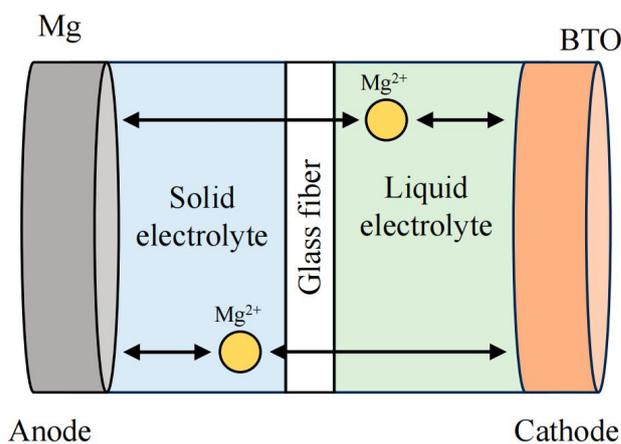


资料来源: Wind, 华宝证券研究创新部

## 2.1. 镁电池: 一种理想化的电池技术路线, 商业化有望突破

相比于锂, 镁作为电池材料更理想化。镁一次电池在 1943 年便已开始商业化, 这种水激活的氯化银/镁(AgCl/Mg)电池, 以 Ag/AgCl 为正极和 Mg 为负极, 在水加入后发生放电, 电压可达 1.6 V vs Mg, 可用于军事和航空航天备用电源。然而, 可以充放电的镁二次电池至今仍在不断探索中, 目前依然停留在实验室阶段。由于镁的理论质量比容量低于锂但是高于钠, 且作为负极时不会产生枝晶, 因此金属镁作为负极在使用过程中更安全。但是使用金属镁作为负极依然需要找到合适的电解液来实现镁离子在金属镁表面的可逆溶解和沉积。

图 17: 镁离子电池工作原理



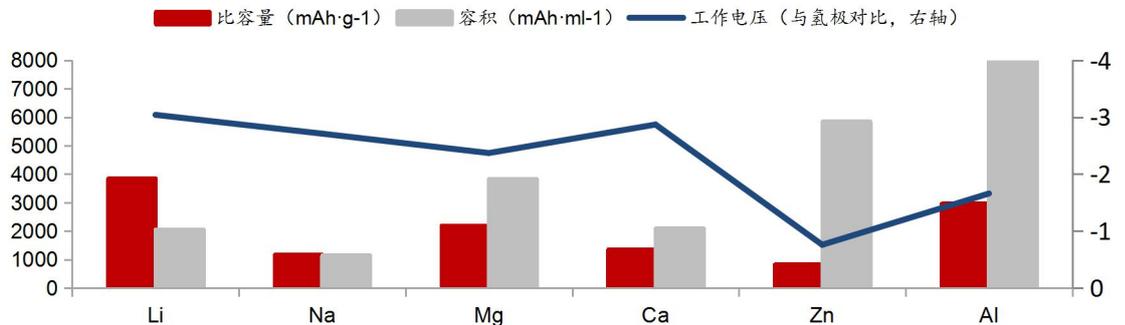
资料来源: Sheha, E. 《Dual polymer/liquid electrolyte with BaTiO3 electrode for magnesium batteries》, 华宝证券研究创新部

### 2.1.1. 镁离子电池: 低价、高效、安全, 可充技术路线有望得到广泛应用

镁电池使用高比容量的金属镁直接作为负极, 能量密度更高, 且安全性能更好。镁的理论质量比容量低于锂但高于钠;  $Mg^{2+}$  与阴离子  $O^{2-}$  或  $S^{2-}$  结合时会转移两个电荷, 且  $Mg^{2+}$  的半径接近于  $Li^+$  的半径, 更具理论体积比容量; 此外, 镁的氧化还原电压虽低于锂, 但明显高于铝和锌的氧化还原电压。电池充放电循环过程中, 锂离子在负极侧沉积时, 非常容易产生树

枝状或苔藓状的枝晶刺穿隔膜，进而导致电池内短路，发生起火等危险。镁离子在金属镁表面沉积并不会产生枝晶，而是以高度紧密堆积的趋势进行，相比金属锂更具安全性。

图 18：几种金属负极的理论比容量和工作电压



资料来源：李钊等《可充电镁电池：发展、机遇与挑战》，华宝证券研究创新部

**可充电镁离子电池技术路线确定后有望得到商业应用突破。**镁离子电池的工作原理与锂、钠等二次电池相似，但是由于镁二价离子具有较高的电荷密度和较小的离子半径，溶剂化作用强，很难像锂离子一样容易地嵌入基质中，使得正极材料的选择比较困难；其次，金属镁负极表面会生成一层致密的钝化膜，导致其难以沉积/溶解，进而限制了镁的电化学活性。目前研究中所涉及的正极材料包括有过渡金属氧化物、切弗里相、硫化物、聚阴离子化合物和其他正极材料，对应电解质包括格林试剂、苯基试剂等液态电解质或无机物、有机物、无机有机复合物等固态电解质。

表 8：镁离子电池电解质材料汇总

电解质种类	电解质名称	电解质特性	
液态电解质	Mg(AIX <sub>4</sub> - nRn) <sub>2</sub> (X=Cl, Br, R 代表烷基, n=0~4)	为格林试剂，最早应用于镁离子电池的一类有机电解液。其电化学窗口较窄(约 2.2 V)，限制了高氧化还原电位正极材料的使用。	
	MgPhCl-AlCl <sub>3</sub> /THF (APC)	用苯基取代了 Mg(AIX <sub>4</sub> - nRn) <sub>2</sub> 中烷基铝卤络合物的有机基团，是全苯基镁铝化合物的四氢呋喃溶液，电导率得以提升，电化学窗口可达 3 V。	
	MgCl <sub>2</sub> -AlCl <sub>3</sub> /THF	镁沉积过电势大于 200 mV 并提供稳定的阳极电位(3.1 V)，MgCl <sub>2</sub> 作为一种非亲核、低成本的 Mg <sup>2+</sup> 源，与 Al Lewis 酸(AlCl <sub>3</sub> , AlPh <sub>3</sub> 和 AlEtCl <sub>2</sub> )混合形成一系列镁电解液，呈现出高的氧化稳定性，其 Coulomb 效率高达 100%。	
	Mg(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	一类相对简单的无机镁盐，溶于醚类溶剂中可用作镁离子电解液，其 Coulomb 效率高达 94%。	
	(C <sub>2</sub> B <sub>10</sub> H <sub>11</sub> )MgCl	在 Mg 的可逆剥离/沉积中具有更高的氧化稳定性(3.6V vs.Mg)。但这类电解液充放电过程中会在镁金属负极产生一定程度的钝化层。	
固态电解质	无机固态电解质	MgZr <sub>4</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> (MZP)	是采用溶胶-凝胶法合成的无机固态电解质，在 725 °C 的电导率为 7.23 × 10 <sup>-3</sup> S/cm。
		Mg(BH <sub>4</sub> )(NH <sub>2</sub> )	是由乙二胺与 Mg(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> 混合合成的固态电解质，70 °C 电导率为 6.00 × 10 <sup>-5</sup> S/cm。
		MgSc <sub>2</sub> Se <sub>4</sub>	是利用冷压的方法制备的三元尖晶石 Se 化物固态电解质，室温下离子电导率约 1.00 × 10 <sup>-4</sup> S/cm。该类电解质的柔性较差，且室温离子电导率有待进一步提升。

有机固态电解质	PVDF/(Tf)2	该电解质具有较高的电导率，但以 MnO2 为正极组装的镁离子电池放电容量较低(<100 mA·h/g)和循环寿命较短(<30 周)
	RTIL /Mg(O3SCF3)2/EMITf/PVDF-HFP	是基于室温离子液体(RTIL)采用溶液浇铸法制备出自支撑半透明状的柔性电解质膜，表现出较高的室温离子电导率( $4.8 \times 10^{-3}$ S/cm)，且具有较宽的温度范围(-30~110 °C)。
有机无机复合固态电解质	聚合物电解质和无机填料复合	以 MgO 和 PVDF-HFP 基聚合物复合形成的电解质为例，MgO 纳米颗粒的存在增加了聚合物可蠕动链段的比例，促进 Mg <sup>2+</sup> 的传输。当加入 3%(质量分数)的 MgO 纳米颗粒时，其电导率可达 $8 \times 10^{-3}$ S/cm。

资料来源：刘凡凡等《镁离子电池关键材料研究进展》，华宝证券研究创新部

**目前可充镁电池尚未实现商业化，依然停留在实验室阶段。**从可充镁电池未来的应用场景来看，由低空信息基础设施建设带来的算力提升，以及低空航空器的充电需求将释放更大的储能需求市场。从当前可充镁电池的研发阶段来看，储能有望成为可充镁电池的未来应用场景。但是，具体到镁电池的电化学反应来看，由于较高的过电位会造成法拉第效率过低，部分电能会在充电和放电过程中还会以热能的形式所损耗。因此，降低电化学反应过程中的过电位将是可充镁电池后续从材料和器件设计方面不断改进的一个重要方向。2024 年 5 月，日本东北大学提出一种新型岩盐结构作为镁电池负极，有助于镁离子在电池中扩散，从而提高镁离子在电池中的活力，与锂电池相比有更长的工作时长和使用寿命，在下游应用过程中可适应更高强度使用，具备在可再生能源发电储能场景中的应用潜力。

表 9：2020-2024 年镁离子电池研究成果汇总

时间	机构	研究成果
2024 年 5 月	日本东北大学	研究人员提出一种新型岩盐结构作为镁电池负极，有助于镁离子在电池中扩散，从而提高镁离子在电池中的活力。利用最新的岩盐材料，该款镁离子电池能够在 90 摄氏度下有效工作，与以往镁离子电池的工作温度相比明显下降。
2024 年 1 月	重庆大学	潘复生团队成功制成全球首款安时级镁电池电芯，标志着镁电池从理论到现实的转变。团队找到镁空气电池和镁海水激活电池方面的合作企业，并开始批量生产，实现清洁、安全、高效。
2022 年 11 月	清华大学	张跃钢课题组针对 MgCl <sub>2</sub> 溶解度低的问题，进行了提升 MgCl <sub>2</sub> 解离度的研究，提出了镁锂氯复合物 (MLCC) 电解液，并通过引入双(2,2,2-三氟乙基)醚 (BTFE) 作为 MLCC 电解液的共溶剂，改善了电解液的离子电导率和镁金属负极的长循环稳定性。BTFE 共溶剂促进了带电离子团簇和固体电解质中间相 (SEI) 的生成，使得电解液在超高电流下可逆沉积-溶解镁。
2022 年 4 月	中科院	研究人员以转化型储镁正极材料 Cu <sub>2</sub> -xSe 为模型，揭示了其独特的阴离子补偿电荷存储机制，并通过引入 Mo <sub>6</sub> S <sub>8</sub> 改性，显著提高了材料的电化学性能。
2020 年 11 月	休斯顿大学	姚彦教授课题组报道了一种基于异相氧化还原烯醇化机理和弱配位电解液的高功率镁电池。发现了一种能快速储存 Mg <sup>2+</sup> 离子的正极反应机理，同时发明了一种基于醚类混合溶剂和弱配位阴离子 (CB11H <sub>12</sub> -) 的镁电解液，使镁金属能够在 20 mA cm <sup>-2</sup> 的高电流密度下无枝晶沉积。该电池实现了 30.4 kW kg <sup>-1</sup> 的功率密度，比之前报道的镁电池的最高输出功率高出几乎两个数量级。

资料来源：各机构官网，华宝证券研究创新部

### 2.1.2. 镁-空气电池（金属燃料电池）：易储存、质轻、污染小，有望用于低空航空器场景

镁-空气电池是一种介于原料电池和原电池的半电池，兼具两种电池的优点。镁-空气电池成本低，无污染，放电稳定，容量大，比能量高，当电池用量用完后，可以更换镁板，实现能量的重新补充，即可设计成“机械式再充电的”二次电池，被誉为未来最具发展和应用前景的新能源。

镁-空气电池是以镁或者镁合金作为负极材料，以氧气作为正极活性物质，氧气通过扩散作用到达气-液-固三相界面，与负极发生反应放出电能。镁-空气电池，以空气为正极，常见的MnO<sub>2</sub>体系镁/空气电极借助MnO<sub>2</sub>来收集氧气作为电池的正极材料。镁在中性电解液或弱碱性电解液中有电活性，故可以采用中性盐或弱碱性盐作为电解液，提高镁-空气电池的化学活性，制造出高性能的镁-空气电池。通常采用浓度3.5%的NaCl水溶液作为电解液。

图 19: Mg/空气电池示意图

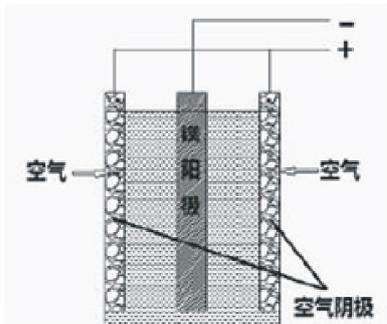
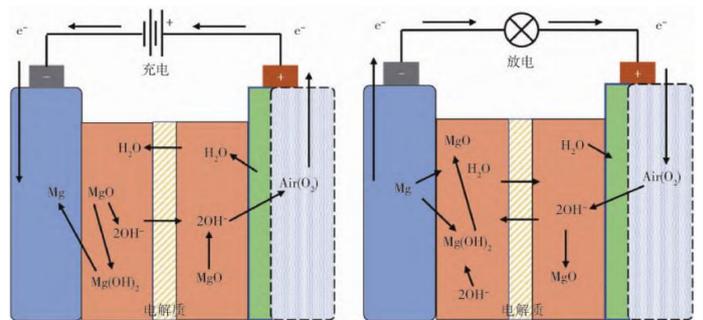


图 20: 镁空气电池的充电与放电反应过程



资料来源：胡启明等《镁电池研究进展》，华宝证券研究创新部

资料来源：耿健媛等《镁电池的研究进展》，华宝证券研究创新部

以中性盐为电解质的镁-空气电池具有比能量高、使用安全方便、原材料来源丰富、成本低、燃料易于储运可使用温度范围宽（-20~80℃）以及污染小的特点。作为一种高能化学电池，中性盐电解质镁-空气电池可用于可移动电源、备用电源等应用场景。早在60年代，美国GE公司就对中性盐镁燃料电池进行了研究。近年来随着科学技术的进步以及军事方面对于高能电池的需求，高性能镁燃料电池成为人们研究的热点之一，并且取得了较大进展。

表 10: 中性盐电解质镁-空气燃料电池放电反应

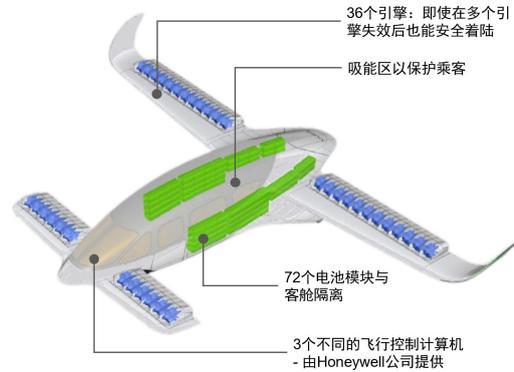
反应位置	反应公式	电压
阳极反应 Anode reaction	$Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^{-}$	-2.37V
阴极反应 Cathode reaction	$O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$	+0.37V
电池反应 Whole reaction	$Mg + 1/2O_2 + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2$	+2.77V

资料来源：杨维谦《镁燃料电池的发展及应用》，华宝证券研究创新部

镁燃料电池应用于电动车电堆相比锂电池具有质量轻、安全、可大量保存、换电速度快的优点，同样满足低空航空器的电源需求，随着相关技术的成熟有望打开低空飞行方面的应用空间。根据MIJBC在2023年披露的镁燃料电池投资项目，六个最小模块容量为250Wh，最高输出功率为250W、尺寸20cm×14cm×10厘米的镁燃料电池单元组容量达409.2kWh、容量电池33kg，对比同容量锂电池重量超200kg。镁燃料电池可通过更换镁燃料卡套实现反复多次使用，并可以在便利店（日本）中购买，通过燃料注入可多次反复使用。根据MIJBC的披露，

该项目镁燃料电池可用于无人机、飞行汽车，飞行时间为3小时，高于锂电池的23分钟，主要形态为手动式、薄膜型、片状、圆盘型四种，均在美国和中国取得专利。

图 21：以 Lilium 无人机为例，动力系统及电池的分布位置



资料来源：Lilium 官网，华宝证券研究创新部

表 11：MIJBC 镁合金燃料电池相关专利

专利公布号	专利名称	公布日	专利内容
CN110391425	镁燃料体和镁空气电池	2019年10月29日	对于以空气中的氧作为正极活性物质并以镁作为负极活性物质的镁空气电池，提供一种能够通过简单的机构连续供给燃料的镁燃料体和镁空气电池。 镁燃料体具备镁板、分隔件和旋转轴，并作为镁空气电池的燃料而发挥功能。通过使镁板以旋转轴为中心旋转，从而其一部分被插入为被阴极所夹而开始电池反应，另外，通过旋转而在反应后被拉出。与此同时未反应部分插入到阴极，不断地进行连续的燃料供给。
JP2016207291	镁空气电池	2016年12月8日	为任意厚度的镁薄板提供一种可设计、可向燃料体电池部分供给和回收的镁空气电池。 镁空气电池包括:含有镁的多个镁燃料体的燃料体供给部分;由具有导电性的材料形成的、含有向氧气提供电子的电极的电池部分;回收消耗的镁燃料体的燃料部分(包括燃料体保持框,该燃料体保持框移动到包括体集成部的废弃部、燃料体供给部、电池部和废弃部,可拆装地保持镁燃料体)。
JP2019186080	镁燃料和煤空气电池	2019年10月24日	在以空气中的氧为正极活物质,镁为负极活物质的镁空气电池中,通过简单的装置提供可连续提供燃料的镁燃料体和镁空气电池。 镁燃料体包括镁板、分离器和旋转轴,用作镁空气电池的燃料。当镁板围绕旋转轴旋转时,镁板的一部分被插入阴极,从而开始电池反应。与此同时,未反应部分被插入阴极,进行一次又一次连续的燃料供给。
CN110073542	能够长时间供电的镁空气电池及电子设备	2019年7月30日	利用由能够含浸液体的原料形成的隔离件夹持含有金属镁的镁薄板,将其作为本发明的镁空气电池中的镁燃料体。镁燃料体被阴极从两侧夹持,且在下方具备储存了电解液的电解液储存部。如果从上方按压镁燃料体,则隔离件含浸电解液而使电池反应开始。
JP2012015013	镁电池和系统	2012年1月19日	提供一种结构简单的镁电池和系统。该电池系统使用空气作为正极活性材料,并使用一种金属物质作为负极活性材料,包括:一种金属物质的薄膜;一对与薄膜两端连接的卷轴;位于薄膜在卷轴之间的通道附近的电极;以及位于电极下游的溶解液,该金属物质在发

专利公布号	专利名称	公布日	专利内容
			电时在溶解液中被氧化。作为金属物质，可以使用镁、铝、锌、锂、铁等。电极可以使用铜电极。溶解液可以使用盐酸溶液、硫酸溶液和醋酸溶液。电池系统可以以具有与薄膜连接的一对卷轴的圆筒型形式进行布置。
CN112786872	镁燃料体及镁空气电池	2021年5月11日	在以空气中的氧为正极活性物质且以镁为负极活性物质的镁空气电池中，提供一种抑制了因形成于负极的氧化膜被导致的电流降低的镁燃料体、以及具备该镁燃料体的镁空气电池。镁燃料体具备：镁板，其在两个部位具备切痕；以及导通板，将导通板插入到切痕而弯折，并使弯折得到的山部与切痕的内侧牢固地压接。
JPWO2013137026	镁空气电池燃料材料、镁空气电池燃料材料的制造方法、镁空气电池系统和镁空气电池系统的使用方法	2013年9月19日	镁空气电池系统包括供给部、电池主体部、缠绕部和驱动部。镁空气电池用燃料体由镁薄膜卷状形成。供给部连接到镁空气电池燃料体，并且由驱动部旋转驱动镁空气电池燃料体，并且经由电池主体部缠绕部送走。电池主体部分包含正极和电解质，以镁空气电池用燃料体为负极，与正极协作发电。卷取部卷取电池主体部中的发电反应后的镁空气电池用燃料体，形成可从卷取部取下的卷状的已使用燃料体。

资料来源：MIJBC、WIPO，华宝证券研究创新部

## 2.2. 受益汽车轻量化应用经验，镁合金有望率先用于低空航空器结构件材料

与其他结构件用金属相比，镁具有比铝和钢更高的强度-重量比，以及更好的延展性和铸造性。此外，镁没有毒性风险，在热和电导性、振动和冲击吸收、以及阻尼能力方面表现更佳。此外镁具有良好的加工性，可以采用任何既定的方法进行成型。镁合金更适合工程与结构件应用。纯镁更适合冶金和化学用途，而不是工程和结构用途。当前采用的主流镁合金铸造方法为在真空辅助的惰性气氛中熔炼和铸造镁合金。化学成分方面，通常合金成分约占镁合金的三分之二。最常见和首选的合金元素是铝和锌，其中铝可用于提高合金的强度、硬度和熔化范围，同时减少其腐蚀性，通过改变合金中的铝含量，可以实现一系列不同的强度和延展性。当锌与镁合金混合，并与杂质如镍和铁混合时，可以增强合金的耐腐蚀性。含铝的优选镁合金包括AZ31和AZ91合金。AZ31因其低质量密度和良好的机械性能，在飞机工业中得到广泛应用。

表 12：镁及其合金与替代材料对比

材料		密度 (g/cm <sup>3</sup> )	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	弹性模量 (GPa)
镁	纯镁	1.74	20-115	90-190	45
	AZ31 合金(挤压)	1.78	83-97	241-260	45
	AZ91D 合金(压铸)	1.81	160	230	45
替代金属	铝合金	2.7	-	170-560	70
	不锈钢	7.9-8.1	-	480-620	189-205
	钴铬合金	7.8-9.2	-	450-960	195-230
	钛合金	4.4-4.5	-	550-985	100-125

资料来源：Jovan Tan 《Applications of Magnesium and Its Alloys: A Review》，华宝证券研究创新部

压铸镁合金是目前镁合金产品的主要生产方式。镁合金塑性变形加工因  $\alpha$ -Mg 的晶体结构为密排六方，比较困难，常以铸造为主。其中，压铸由于其具有易于批量生产和近净成形的特点，成为镁合金产品的主要生产方式。目前主流研究开发的压铸镁合金主要分为 Mg-Al 系和 Mg-Al-RE 系。其中 Al 对镁合金的铸造性能有益，而 RE 则有利于提高镁合金的强度和高温性能，因此 Al 和 RE 成为压铸镁合金的主要合金化元素，在此基础上通常还会添加 Ca、Sr、Si、Sn 等元素，Mg-Al 系是最常用压铸镁合金体系。

表 13: Mg-Al 系、Mg-Al-RE 系压铸镁合金的室温力学性能

合金		成分	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率/%
Mg-Al 合金	AZ91D	Mg-(8.3~9.7)Al-(0.35~1.0)Zn-(0.15~0.50)Mn	230	150	3.0
	AM60	Mg-(5.5~6.5)Al-(0.13~0.6)Mn	225	130	8.0
	AZ91-RE-Sr	Mg-8.78Al-0.68Zn-0.33Mn-0.45RE-0.18Sr	263	165	7.6
	Mg-9Al-0	Mg-9Al-2.3TiO <sub>2</sub>	225	167	3.8
	Mg-9Al	Mg-9Al	200	150	3.4
	ATS720	Mg-6.13Al-2.24Sn-0.63Si-0.26Mn	222	161	4.0
	AT72	Mg-7.11Al-1.76Sn-0.29Mn	195	149	3.5
	AXT710	Mg-6.89Al-1.05Ca-0.47Sn	258	188	10.2
Mg-Al-RE 合金	AX71	Mg-6.97Al-0.95Ca	217	158	7.4
	AE44	Mg-3.84Al-4.02RE-0.41Mn	247	140	11
	AEX422	Mg-4.17Al-1.79RE-1.98Ca-0.24Mn	234	204	4
	ALa44	Mg-4.05Al-3.87La-0.27Mn	260	134	12.7
	ACe44	Mg-3.97Al-4.04Ce-0.14Mn	256	129	16.2
	ANd44	Mg-3.92Al-4.06Nd-0.11Mn	241	132	12.5
	ALa44-0.25Sr	Mg-3.77Al-3.98La-0.28Sr-0.37Mn	250	160	9.5
	ALa43-2Sm	Mg-3.52Al-2.74La-2.1Sm-0.32Mn	266	170	11.2
	ASm44	Mg-3.91Al-3.77Sm-0.32Mn	245	157	21
	ASm62-1Cu	Mg-6Al-2Sm-1Cu	200	172	7.5
	ASm62-3Cu	Mg-6Al-2Sm-3Cu	250	186	14.4
	ASm62-5Cu	Mg-6Al-2Sm-5Cu	214	182	5.7

资料来源：郭径《高强韧压铸镁合金的研究现状和发展趋势》，华宝证券研究创新部

与铸造镁合金相比，变形镁合金具有更好的力学性能。高性能变形镁合金有 AZ 系、WE 系和 ZK 系等，按照包含化学元素的不同可进一步分为镁锂(Mg-Li)系、镁锰(Mg-Mn)系、镁锌锆(Mg-Zn-Zr)系、镁铝锌(Mg-Al-Zn)系、镁钍(Mg-Th)系、镁稀土系(Mg-RE、Mg-Al-RE、Mg-Zn-RE)等。其中 Mg-Li 系为超轻变形镁合金，密度比其他合金小 15-25%，但其原材料和制备成本较高，主要集中在军工和航天航空领域，Th 因其具有放射性，生产和使用均受到限制，目前最常用的商用变形镁合金主要为 Mg-Zn-Zr(ZK)系和 Mg-Al-Zn(AZ)系两大类。

表 14: 变形镁合金的分类及其典型化学成分

合金系	中国牌号	美国牌号	主要成分.wt%						
			Al	Mn	Zn	RE	Zr	Li	Mg
Mg-Mn	MB1		0.2	1.3-2.5	0.3				余量
	MB8		0.2	1.3-2.2	0.3	Ce 0.15-0.35			余量
Mg-Al-Zn	MB2	AZ31B	3.0-4.0	0.15-0.50	0.2-0.8				余量
	MB3		3.7-4.7	0.3-0.6	0.8-1.4				余量

	MB5	AZ61A	5.5-7.0	0.15-0.50	0.5-1.5				余量
	MB6		5.0-7.0	0.2-0.5	2.0-3.0				余量
	MB7	AZ91A	7.8-9.2	0.15-0.50	0.2-0.8				余量
Mg-Zn-Zr	MB15	ZK60	0.05	0.10	5.0-6.0		0.3-0.9		余量
Mg-Li	402		0.8-1.2					2-14	余量
		LA141	0.75-1.75	0.2				13-15	余量
Mg-Th		HM21		0.35-0.80		Th 1.5-2.5			余量
		HM31A		1.2		Th 2.5-3.5			余量
		HK31A				Th 2.5-4.0	0.5-1.0		余量
Mg-Zn-Zr-RE	MB22		0.2	0.05	1.2-1.6	Y 2.9-3.5	0.45-0.8		余量
	MB25		0.05	0.1	5.5-6.4	Y 0.7-1.7	>0.45		余量

资料来源：张振亚《粉末热挤压制备高性能镁合金研究》、余晖《变形镁合金的挤压工艺及其组织和力学性能的研究》，华宝证券研究创新部

由于镁合金具有优良的切削加工性能和变形性能，在汽车、直升机等的驱动装置、壳体类零部件、传动系统中得到广泛应用。根据 JMACCMg，上海交通大学开发的 JDM1 和 JDM2 系列镁稀土合金，已被应用于空天飞行器、直升机、发动机、导弹、卫星等关键部件的研发与批产，在保证力学性能的前提下大幅度降低了零部件重量。在民用领域，采用 JDM1 镁稀土合金制备的 V6 发动机缸盖和轮毂都经过长时间的台架实验和路试实验也被证明可以有效替代原有材料同时实现轻量化。

表 15：镁合金铸件在汽车上的应用

系统	汽车零部件名称
内饰	控制台支架、转向盘、转向柱零件、仪表盘、座椅骨架、中控台盖、座椅升降器
车身	中控台盖、车门内板、举升门内板、车顶框架、车门把手、备用轮胎支架、后视镜支架、天窗面板
底盘	车轮、ABS 安装支架、制动器/离合器支架、制动踏板臂、制动踏板支架、制动器/油门支架
动力总成	发动机缸体、气门室盖/凸轮盖、四轮驱动分动箱、进气歧管、发动机油底壳、机油滤清器适配器、变速器壳

资料来源：刘奇峰等《铝、镁合金压铸件在汽车工业中的应用及发展》，华宝证券研究创新部

无人机、eVTOL、飞行汽车等低空航空器主要由机身、机翼、尾翼、起落架、旋翼叶片、发动机/动力总成组等部分构成，不同的镁基材料可用于解决不同的应用需求。镁基材料如镁基金属基纳米复合材料（MMNC's）具有很好的潜力，一些 MMNC's 通过添加少量陶瓷纳米颗粒显示出优异的性能，不仅能增加机械强度，还能增加延展性。使用镁基建筑材料可避免复合材料结构易分层的问题，且镁或镁合金结构的刚性足以确保适度的变形，可应用于航空器结构件，包括螺旋桨、机翼、机身钣金等。根据 Daniel Höche 等学者在《Novel Magnesium Based Materials: Are They Reliable Drone Construction Materials? A Mini Review》中的介绍，设计一架基于镁材料的四旋翼无人机可以通过各个结构部件使用不同的材料来解决，例如：

- 刚性——如 MgZnCa 锻造合金，其屈服强度为 306MPa，伸长率为 11%；
- 振动限制——基于 AM60 的纳米复合材料，在室温下具有 15.4% 的高延展性；
- 抗蠕变——如新型 DieMag 合金，不含稀土元素，与商业合金相比表现出更好的抗蠕变性能，并且比铝合金 A380 具有更好的高温屈服强度。

图 22：主流 eVTOL 结构

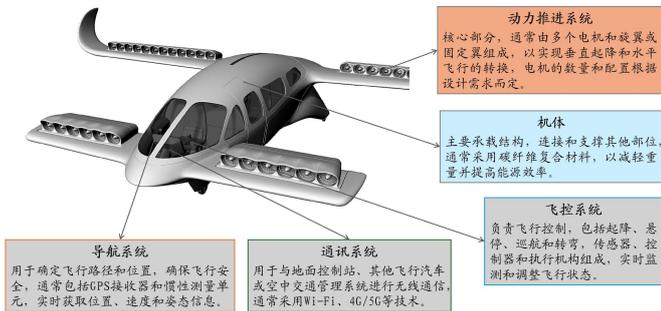


图 23：镁合金在汽车上的应用部位



资料来源：盖斯特咨询，华宝证券研究创新部

资料来源：蒋德平《挤压铸造高强韧镁合金材料研究》，华宝证券研究创新部

镁合金有望借助汽车行业的应用经验打开在低空航空器结构件方向上的应用空间。镁合金仍旧是当前使用的所有金属结构材料当中质量最轻的，采用镁合金可在铝合金的基础上使整车质量再减轻 15%~20%。在汽车轻量化成为汽车工业主要前进方向的背景下，镁是很有前途的金属材料，并已经是很多国家的研发重点。与汽车行业相比，低空航空器对于轻量化材料的需求、高强度、高耐久性材料的应用有更深的创新要求。由于镁合金出色的充型性使其能经济地用于生产大型、薄壁和复杂铸件，未来镁合金压铸件有望朝着大型化、薄壁化和复杂化方向发展，更贴合低空航空器的运行环境需求。

图 24：基于镁材料的四旋翼无人机设计方案



资料来源：Daniel Höche e.g.《Novel Magnesium Based Materials: Are They Reliable Drone Construction Materials? A Mini Review》，华宝证券研究创新部

### 2.3. 镁行业公司积极探索低空领域合作发展机会，镁合金成为热门应用方向

镁材料在低空经济领域的应用正逐渐扩大，推动镁企业与相关企业的合作与创新发展。早在 2015 年零度智控就与誉格压铸展开合作，使用镁合金为制作材料为无人机减重。随着低空经济的兴起以及镁合金研究的进步，合作领域拓展至 eVTOL 和电动飞行汽车。例如，2024 年 2 月，万丰奥威与知名车企于共研 eVTOL 领域。6 月，嘉瑞国际与小鹏汇天合作电动飞行汽车生产。宝武镁业也与伊之密、大疆、小鹏等低空经济企业在无人机和飞行汽车领域合作。

表 16：2024 年以来镁企业与多家上下游公司在低空经济领域展开合作

时间	镁企业	合作企业	应用方向	具体内容
2024 年 2 月	万丰奥威	全球知名汽车主机厂	eVTOL	双方合作将涵盖 eVTOL 原型机开发、电池系统、工业设计、供应链及大规模量产等领域，全面打造全球最强阵营。
2024 年 4 月	宝武镁业	伊之密	轻量化镁合金零件	双方携手聚焦于寻找更全面的轻量化镁合金汽车零件解决方案，推动制定镁合金成型方面的行业标准，加强镁合金产品制造体系建设，实现镁合金成型大数据的积累和共享。
2024 年 6 月	嘉瑞国际	小鹏汇天	飞行汽车	双方携手共同研发智能飞行汽车镁合金压铸电控产品。
2024 年 4 月	宝武镁业	大疆	无人机	双方共同合作制造无人机，通过超大型镁合金一体铸件规模化，实现无人机轻量化。
2024 年 7 月		小鹏	飞行汽车	双方合作研发飞行汽车，广泛使用大型镁合金零部件如仪表盘支架、座椅支架等，以实现汽车轻量化。
2024 年 7 月	星源卓镁	小鹏	飞行汽车	星源卓镁的研发团队与小鹏汇天的智能电动飞行汽车项目处于前期技术论证阶段。

资料来源：各公司官网、SMM，华宝证券研究创新部

从当前研发进展来看，镁合金的产品生产与应用技术更成熟，用于低空航空器的镁合金零部件、镁合金压铸件成为行业合作的热门方向。根据公司年报，万丰奥威旗下万丰镁瑞丁为全球镁合金压铸产业的领导者，在产品仿真设计、模具设计以及产品压铸等方面具备较强的竞争优势，同时产品储备丰富，能够完成大型一体化镁合金压铸件的设计与制造；控股子公司正加大电动飞机、eVTOL 等新型航空器的研发。宝武镁业在近年来陆续收购博奥镁铝、天津精密，进一步完善镁合金深加工产品在国内的布局。2024 年，宝武镁业发布《镁及镁合金 PCR》填补了全球镁产品生命周期评价技术规范空白，有望从上游技术规范出发进一步拓展镁及镁合金的应用方向，进一步打开镁及镁合金在低空经济方向的应用空间。

### 3. 投资建议

低空经济的发展有望从低空基础设施以及低空航空器两个方面推进镁行业的进一步发展，建议关注环保炼镁工艺，布局汽车轻量化市场，具有高附加值的镁深加工技术和产业链完善的镁合金/镁制品生产链。镁电池目前处于实验室阶段，随着相关产品研发的落地，镁电池有望代替传统电池用于低空经济场景，建议关注具有相关技术储备的实验室研发进展或具有原材料生产能力的上游产业链。

### 4. 风险提示

1、政策进展不及预期：低空经济的发展受相关政策指引的影响较大，金属镁生产与镁合金的应用同样受产业链低碳化、智慧化等相关政策的影响，若政策推进不及预期，则可能对行

业整体需求空间产生影响；

2、相关产业发展不及预期：受低空经济发展影响产生的需求主要来自物理基础设施建设和低空航空器，传统镁行业终端产品需求主要来自汽车、电子、航空航天等行业，低空经济有望进一步扩大终端产品的需求，若低空经济中的细分产业对镁及镁产品的需求发生变化，则将对镁行业未来空间产生影响；

3、研发进展不及预期：镁电池及镁合金的终端产品受研发影响较大，若研发不及预期，则可能影响终端产品的最终应用效果；

4、本报告部分图表根据新闻资料整理，或存在统计不完备的情况；

5、文中提及的上市公司旨在说明行业发展情况，不构成推荐覆盖。

### 分析师承诺

本人承诺，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告，本报告清晰准确地反映本人的研究观点，结论不受任何第三方的授意或影响。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体建议或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

### 公司和行业评级标准

#### ★ 公司评级

报告发布日后的 6-12 个月内，公司股价相对同期市场基准（沪深 300 指数）的表现为基准：

买入：	相对超出市场表现 15% 以上；
增持：	相对超出市场表现 5% 至 15%；
中性：	相对市场表现在 -5% 至 5% 之间；
卖出：	相对弱于市场表现 5% 以上。

#### ★ 行业评级

报告发布日后的 6-12 个月内，行业指数相对同期市场基准（沪深 300 指数）的表现为基准：

推荐：	行业基本面向好，行业指数将跑赢基准指数；
中性：	行业基本面稳定，行业指数跟随基准指数；
回避：	行业基本面向淡，行业指数将跑输基准指数。

### 风险提示及免责声明

- ★ 华宝证券股份有限公司具有证券投资咨询业务资格。
- ★ 市场有风险，投资须谨慎。
- ★ 本报告所载的信息均来源于已公开信息，但本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。
- ★ 本报告所载的任何建议、意见及推测仅反映本公司于本报告发布当日的独立判断。本公司不保证本报告所载的信息于本报告发布后不会发生任何更新，也不保证本公司做出的任何建议、意见及推测不会发生变化。
- ★ 在任何情况下，本报告所载的信息或所做出的任何建议、意见及推测并不构成所述证券买卖的出价或询价，也不构成对所述金融产品、产品发行或管理人作出任何形式的保证。在任何情况下，本公司不就本报告中的任何内容对任何投资做出任何形式的承诺或担保。投资者应自行决策，自担投资风险。
- ★ 本公司秉承公平原则对待投资者，但不排除本报告被他人非法转载、不当宣传、片面解读的可能，请投资者审慎识别、谨防上当受骗。
- ★ 本报告版权归本公司所有。未经本公司事先书面授权，任何组织或个人不得对本报告进行任何形式的发布、转载、复制。如合法引用、刊发，须注明本公司出处，且不得对本报告进行有悖原意的删节和修改。
- ★ 本报告对基金产品的研究分析不应被视为对所述基金产品的评价结果，本报告对所述基金产品的客观数据展示不应被视为对其排名打分的依据。任何个人或机构不得将我方基金产品研究成果作为基金产品评价结果予以公开宣传或不当引用。

#### 适当性申明

- ★ 根据证券投资者适当性管理有关法规，该研究报告仅适合专业机构投资者及与我司签订咨询服务协议的普通投资者，若您为非专业投资者及未与我司签订咨询服务协议的投资者，请勿阅读、转载本报告。