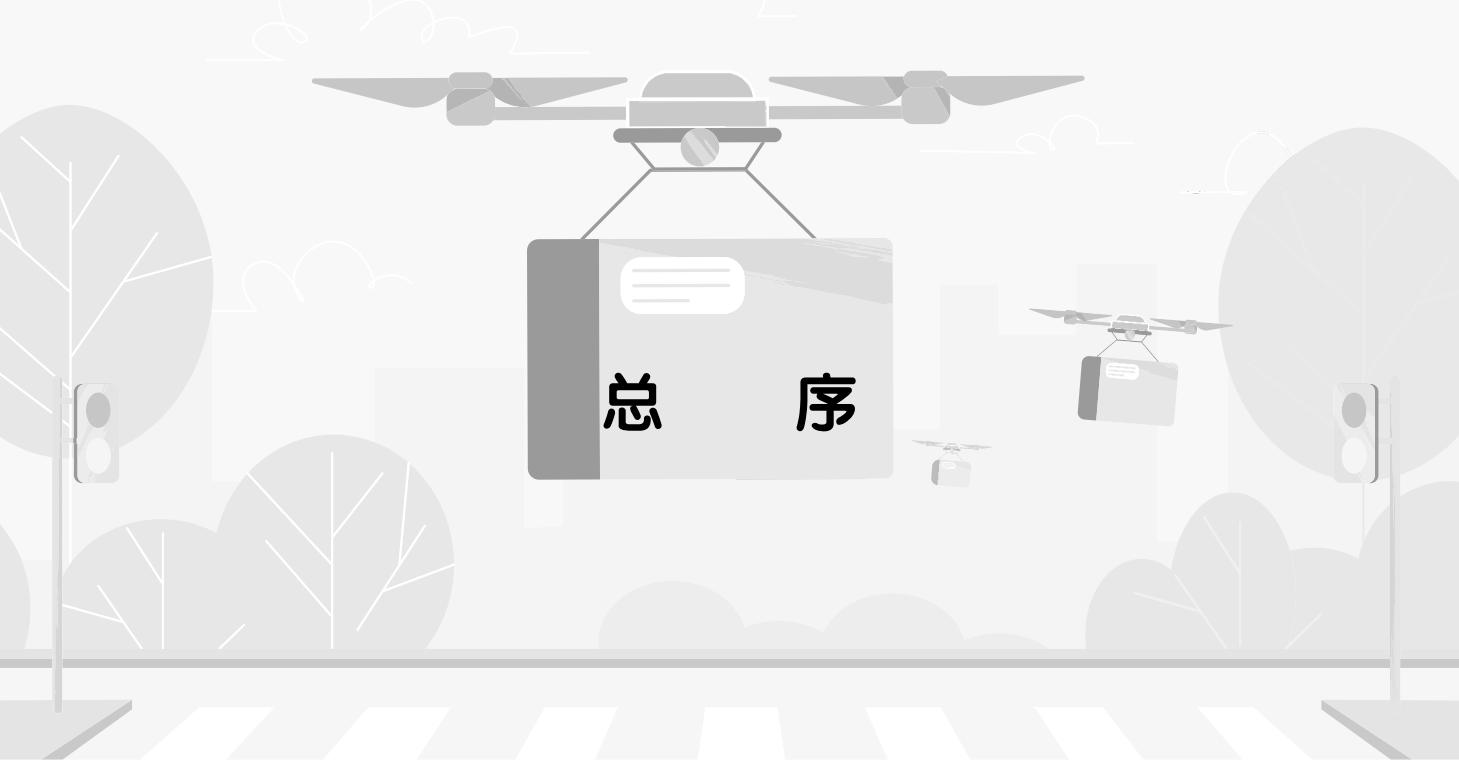




## (一)

当前，新一轮科技革命和产业变革加速演进，前沿技术不断涌现，科技浪潮以前所未有的速度与深度重塑人类生产生活方式，产业格局在颠覆性创新中加速重构。回望 2025 年，人工智能从感知智能迈向认知与行动融合的新阶段，空天资源开发向大众化、商业化迈进，生命科学不断突破人与机器、人与自然的边界——一系列指向未来的新兴产业正从概念走向现实，成为驱动全球经济增长与社会进步的核心引擎。2026 年 6 月 1 日，习近平总书记在《求是》杂志发表的文章《前瞻布局和发展未来产业》中指出，培育发展未来产业，对于我们抢占科技和产业制高点、牢牢把握发展主动权，对于发展新质生产力、建设现代化产业体系，对于提高人民生活品质、促进人的全面发展和社会全面进步，都具有重要意义。正是在这样的时代背景下，我们策划推出“走向未来产业丛书”，通过系统性的知识梳理与前瞻洞察，为读者搭建一座连接当下与未来的桥梁，助力社会各界把握变革机遇、锚定创新方向。

未来产业并非遥不可及的科幻图景，而是以重大前沿技术突破为内核，以满足未来社会重大需求为导向，具有高度战略性、引领性与不确定性的产业形态。它们往往具备三大特征：一是技术基底的颠覆性，如量子计算、脑机接口、可控核聚变等有望重构现有产业的底层逻辑；二是应用场景的前瞻性，瞄准人口老龄化、碳中和、深空探索、人机协同等长期挑战；三是生态影响的全球性，其发展不仅改变单一产业，更会推动生产关系、治理体系乃至文明形态的演进。

## (二)

当下，走向未来的产业方向主要包括：①低空经济。以低空空域资源开发利用



为核心，涵盖无人机物流、城市空中交通（UAM）、低空旅游、应急救援等场景，涉及适航认证、空域管理、隐私安全等关键领域。②商业航天。包括卫星互联网、太空旅游、在轨制造等，核心支撑技术有可重复使用火箭、低成本卫星平台、星地融合网络，正重构全球通信、遥感、导航体系，并向太空资源开发延伸。③具身智能。强调智能体通过感知、移动、操作与环境实时交互实现学习与进化，涵盖工业机器人、人形机器人、自动驾驶、智能无人系统，关键技术包括多模态感知、仿生运动控制、具身学习算法，应用于智能制造、家庭服务、特种作业等场景。④脑机接口。实现人脑与机器的直接对话，应用领域包括医疗康复、增强认知，技术路线含侵入式电极与非侵入式脑电采集，涉及神经信号解码、双向交互、脑机融合安全，同时带来数据隐私、身份认同等伦理挑战。⑤类脑智能。借鉴生物大脑结构与运行机制，发展新型计算与认知模型，提升机器自主学习、联想与推理能力，有望在复杂决策、自适应控制等领域突破传统 AI 局限。⑥量子科技。包括量子计算、量子通信、量子传感，利用量子叠加与纠缠特性，在密码破译、材料模拟、精密测量等方面具备指数级性能优势，是未来信息安全的基石之一。⑦基因技术。涵盖基因编辑、合成生物学、精准医疗，可用于疾病治疗、作物改良、生物制造，推动医药健康与农业食品产业革命。⑧未来网络。包括 6G/太赫兹通信、空天地一体化网络、算力网络，实现超高速率、超低时延、全域覆盖的连接能力，支撑万物智联与数字孪生社会。⑨深海空天开发。涉及深海探测与资源利用（可燃冰、矿产）、近地轨道与深空开发（空间站运营、星际探测），拓展人类活动疆域与资源获取途径。⑩氢能与储能。包括绿氢制备与储运、高效燃料电池、新型储能技术（固态电池、液流电池、重力储能等），是实现碳中和目标的关键能源支撑。⑪生物制造。以细胞工厂、酶催化、无细胞合成等技术，实现化学品、材料、药物的绿色高效生产，替代传统石化路线，降低碳排放。⑫可控核聚变。模拟恒星能量机制，实现清洁、高密度、可持续的能源供给，被视为“终极能源”解决方案。⑬元宇宙与扩展现实（XR）。融合虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、混合现实（MR）与数字孪生，构建沉浸式交互空间，应用于教育、文旅、工业设计、远程协作等场景。⑭先进材料。包括二维材料（石墨烯）、超材料、智能材料、生物相容材料，为航空航天、电子信息、医疗器械等领域提供性能跃升的基础支撑。⑮自动驾驶与智能网联汽车。结合车路协同、高精度地图、AI 决策，实现 L4/L5 级无人驾驶，重塑交通出行与物流体系。上述这些方向彼此交织、跨域融合，构成走向未来的产业生态矩阵，其发展将深刻影响全球经济结构、社会治理模式与人类生活形态。

### （三）

从全球来看，主要经济体均将未来产业纳入国家战略，如美国发布《关键和新兴技术国家战略》，欧盟推出《欧洲新工业战略》，日本实施《统合创新战略》，



围绕人工智能、生物制造、空天科技等前沿领域布局。党的二十届四中全会指出，要推动量子科技、生物制造、氢能与核聚变能、具身智能、6G 等成为新的经济增长点。这些领域是“十五五”时期我国产业发展的主攻方向，我国的战略部署既是对全球科技竞争态势的回应，也是培育新发展动能、构建现代化产业体系的关键举措。

“走向未来产业丛书”的编纂源于我们对“未来产业认知需‘既见树木，又见森林’”的判断。单个产业的读本易陷入技术细节或案例堆砌，难以呈现其在未来产业生态中的定位与关联，而泛泛的宏观论述又可能过于空洞。因此，我们选取低空经济、商业航天、具身智能、脑机接口等兼具技术突破性、市场潜力与社会价值的方向作为首批分册，既覆盖“空天-地面-生命”的物理空间维度，也贯穿“工具-主体-交互”的智能演化维度，力求勾勒出未来产业的立体图谱。尽管各分册聚焦不同领域，但内在逻辑一脉相承：以“技术-产业-社会”的三重互动为主线，揭示未来产业从“0 到 1”突破到“1 到  $N$ ”扩散的规律。

这些分册看似独立，实则相互关联：商业航天拓展了人类活动的空间维度，为低空经济向“高空-近地轨道”延伸提供可能；具身智能的进步让智能体更能适应复杂物理环境，可赋能低空飞行器自主避障、商业航天在轨设备维护；脑机接口则有望提升人类对智能体的直接控制与情感交互能力，甚至催生“人机共生”的新型劳动模式。这种跨领域的协同正是未来产业生态最迷人的特质——创新不再是单点突破，而是网络化涌现。

#### ( 四 )

我们深知，未来产业的魅力与难度并存：其技术路径充满不确定性，市场需求尚在培育，监管体系亟待完善。但这也正是其值得被记录与探讨的原因——它不仅关乎产业兴衰，更关乎人类如何定义“进步”、如何平衡“创新与风险”、如何在技术洪流中守护人文价值。

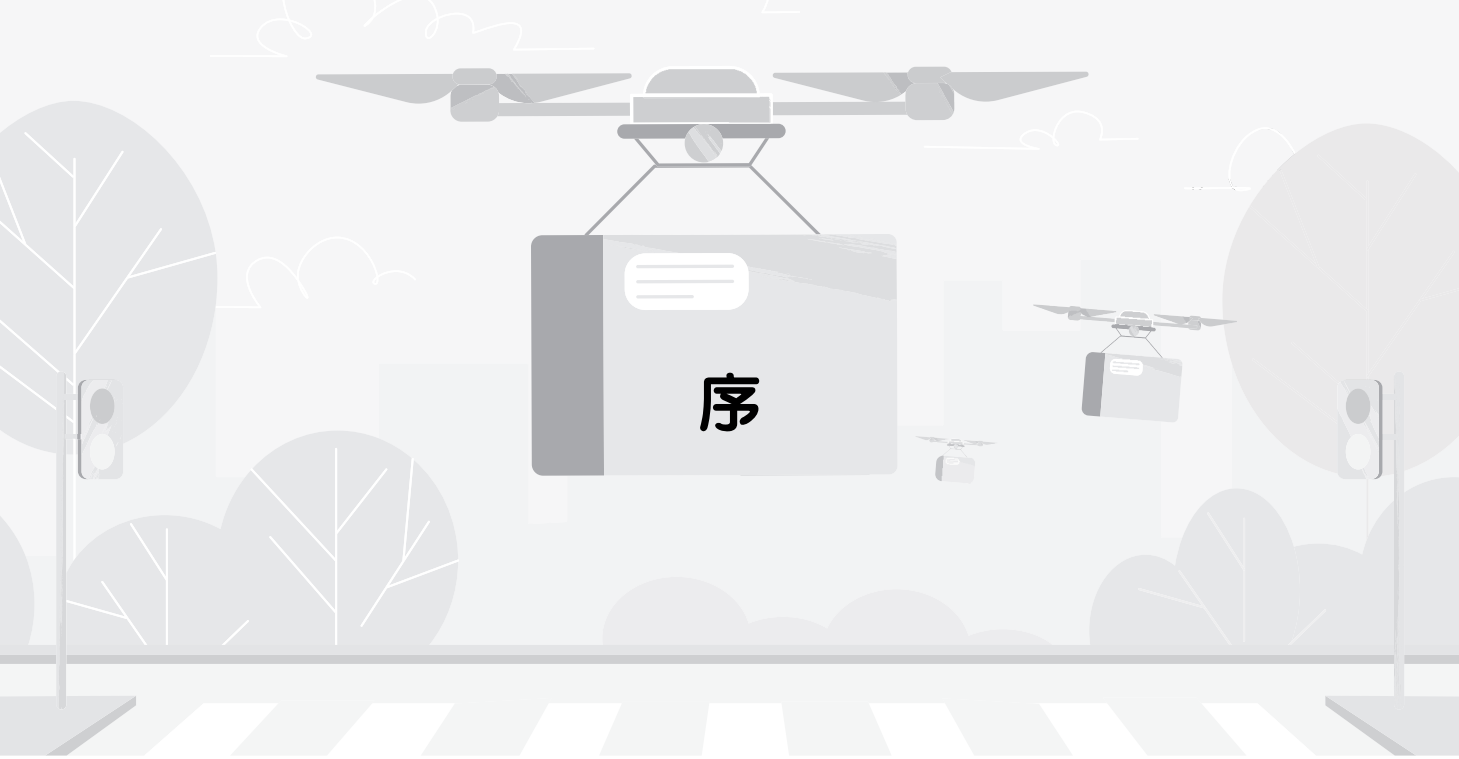
本丛书不追求提供“标准答案”，而是致力于呈现前沿探索的真实图景：既有科学家对技术本质的洞见，也有产业家对商业化路径的思考，还有政策制定者对治理难题的求解。我们希望读者——无论是科研工作者、产业从业者、政策制定者，还是对未来充满好奇的普通读者——都能从中获得三重滋养：一是认知升级，理解未来产业的技术逻辑与演进规律；二是视野拓展，看见不同领域交叉融合的创新可能；三是责任自觉，在推动技术进步的同时，思考如何让创新成果惠及更广泛人群。

站在时代变迁的当下，我们比以往任何时候都更接近“未来已来”的现实。无人机正穿梭于城乡配送物资，商业航天的火箭回收技术让太空旅行不再昂贵，具身智能机器人开始在工厂与家庭扮演重要角色，脑机接口让残障人士重新“拥抱”世界……这些片段不是预言，而是当下正在发生的变革。

“走向未来产业丛书”愿做一面镜子，映照这场变革的深度与广度；愿做一把钥



匙，帮助读者打开理解未来的大门；更愿做一颗火种，激发更多人以理性与热忱投身未来产业的创新征程。毕竟，未来不是等待我们去发现的地方，而是需要我们亲手创造的模样。期待这套丛书能陪伴读者穿越技术的迷雾，在探索未来的道路上，激发更多的灵感与想象。



以天空为尺，丈量中国创新高度。

翻开这本书，你会看到一场静默的革命正在头顶 3000m 的空域上演：深圳的无人机将外卖热餐送入景区，上海的“空中出租车”缩短通勤时间，重庆的无人机急救通道为生命争分夺秒……低空经济，这一融合尖端技术与制度创新的产业，正重塑人类对空间的认知。

该书的价值在于三重突破。

一是“见木见林”的产业洞察。从飞行器动力系统的“逆袭之路”，到低空智联网构建的“空中交通规则”，该书以全产业链视角拆解技术逻辑，将电动垂直起降飞行器（electric vertical take-off and landing, eVTOL）、氢电混合动力、量子加密通信等晦涩概念转化为可触达的场景。

二是“脚踏大地”的中国实践。该书记录的不仅是技术演进，而且是中国特色社会主义市场经济下的创新范式：深圳以“监管沙盒”孕育全球最大消费无人机集群，合肥用“飞手培训”激活县域低空农业，展现“有效市场+有为政府”的协同力量。

三是“仰望星空”的未来视野。当欧美日韩竞逐低空霸权时，中国正以北斗卫星导航系统（Beidou navigation satellite system, BDS）、5G 演进（5G-Advanced, 5G-A）等基础设施为支点，撬动从“规则接受者”到“标准制定者”的跃迁。该书第 7 章描绘的“2030 天空之城”正是这种战略自信的具象表达。

低空经济的本质是人类对三维空间的重新赋值。这场变革不仅关乎技术突破，而且将重构城市形态、社会分工乃至国家竞争力格局。该书以扎实的调研和



vi 低空经济：未来产业生态与价值重塑

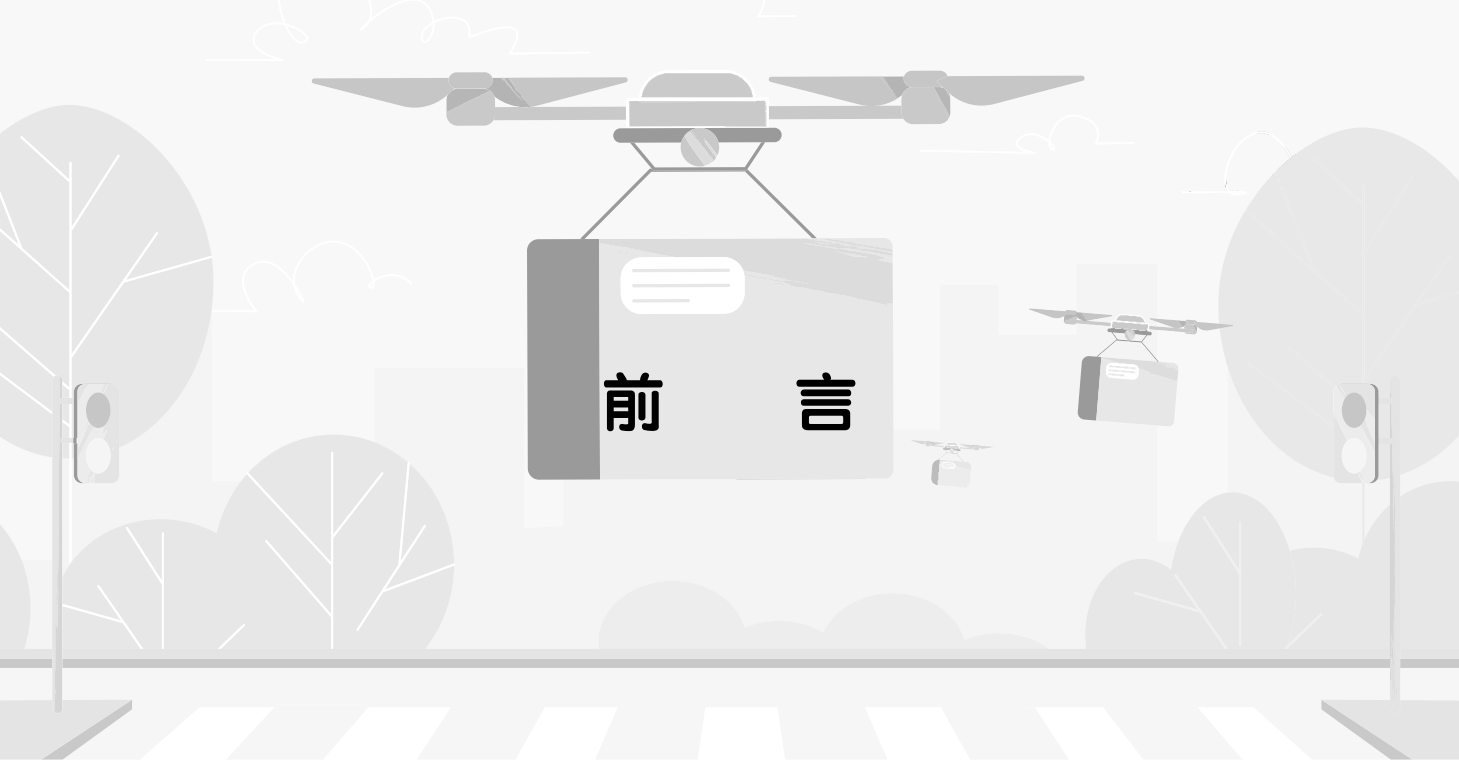
生动的笔触，为读者架起一座理解低空经济的云梯。期待每一位合上书本的人都能抬头望向那片正在被点亮的“黄金空域”——那里藏着中国式现代化的新质生产力密码！

刘大响

中国工程院院士

北京航空航天大学教授

2026年4月



当清晨的第一缕阳光掠过城市天际线，深圳市宝安区的无人机已悄然起飞。7min 后，这架载着紧急医疗物资的飞行器精准降落在 15km 外的医院楼顶——这是中国低空经济蓬勃发展的一个缩影。在这个被重新定义的立体空间里，3000m 以下的空域正从单纯的交通通道转变为充满活力的经济新维度，一场融合技术创新、产业升级和社会变革的深刻转型正在我们眼前展开。

低空经济的崛起绝非偶然，伴随着无人机技术、eVTOL 和智能空管系统的突破性发展，我们正见证着人类活动空间从二维平面向三维立体的历史性拓展。这场变革的本质是将原本闲置的低空空域转化为新型生产要素，通过低空飞行器制造、智能基础设施建设和数字化服务的深度融合，创造一个万亿元级的新兴市场。从粤港澳大湾区的空中经济走廊，到长江三角洲的智慧低空交通管理试验，到成都平原上空的无人机物流网络，再到西部山区的应急救援体系，中国正在这片新空域中书写着独具特色的发展故事。

本书为您呈现低空经济的完整图景，基于产业链视角系统梳理这个新兴经济形态的技术基础、商业逻辑和发展趋势。首先，您将看到低空经济如何从概念走向实践，了解各个国家和地区在这一战略领域的布局与竞争。其次，本书将带您深入产业链的各个环节：上游的飞行器制造如何突破“卡脖子”技术，中游的基础设施建设怎样构建“空中互联网”，下游的应用场景又在如何重塑物流、文旅、农业等传统行业。本书特别关注中国在这一领域的创新实践，包括深圳的“监管沙盒”试验、成都的“低空应急救援走廊”等具有示范意义的案例。

作为一本面向广大读者的科普读物，我们力求在专业性和可读性之间找到平衡。本书由周德群（南京航空航天大学）任主编；周志鹏（南京航空航天大学）任副主编；张晓恒（南京航空航天大学）、王阳（南京航空航天大学）、赵亚普（南京航空航天大学）、钱玲飞（南京航空航天大学）、黄菲（南京航空航天大学）和吴伟

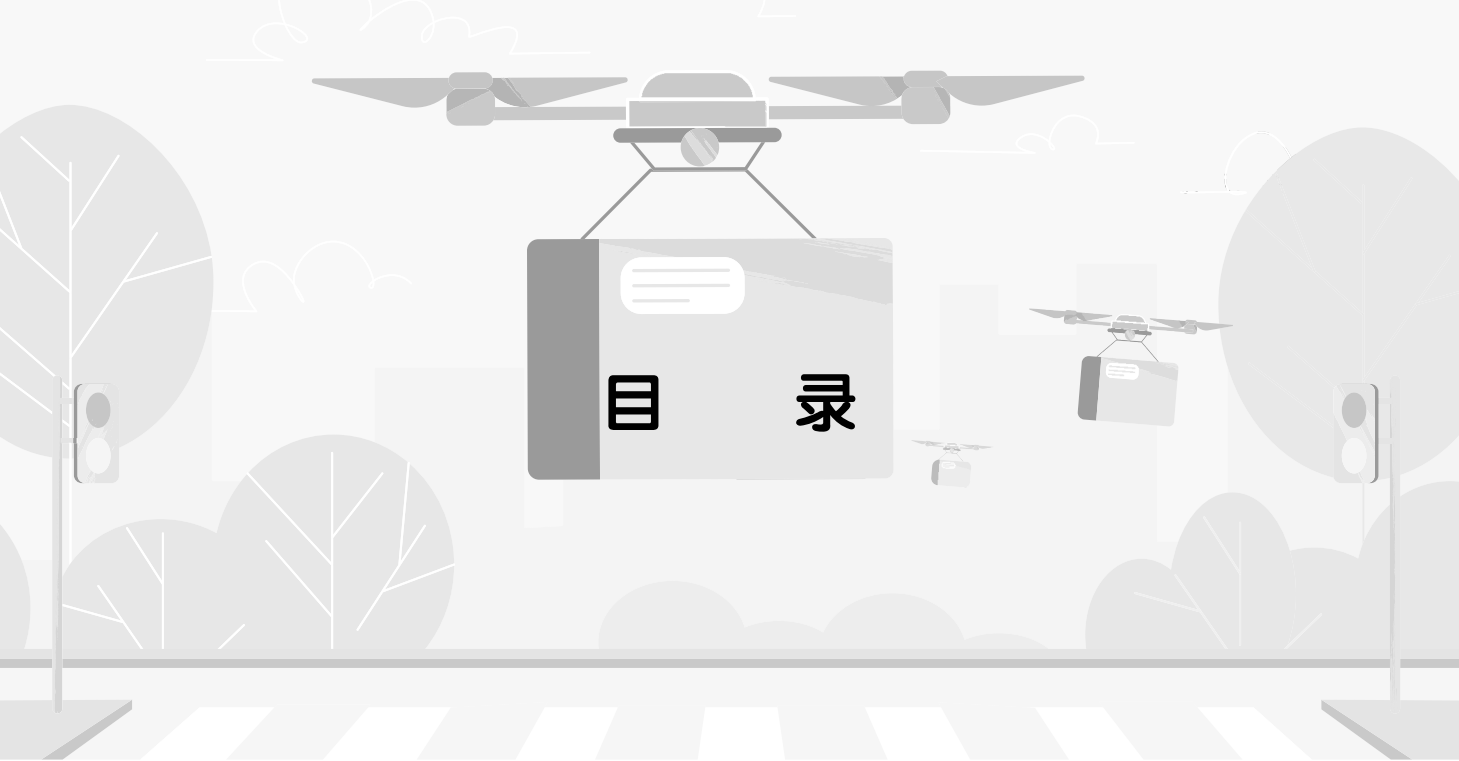


巍（东南大学）参与了编写。本书既有对技术原理深入浅出的讲解，也有对商业案例的生动剖析；既展现了行业领军人物的真知灼见，也记录了普通从业者的创新实践。无论您是政策制定者、行业从业者、投资者，还是对新技术充满好奇的普通读者，都能在本书中找到属于自己的阅读视角。低空经济的真正蓝图终将由每一位读者共同绘制——当您合上这本书时，不妨思考：您所在的城市最适合哪种低空经济场景？

本书付梓之际，要特别感谢中国工程院刘大响院士，他欣然为本书作序，并充分肯定丛书之价值。先生已耄耋之年，原定二十分钟的指导交流，竟兴致盎然与编者畅谈一个多小时，令人感动。从低空经济发展历史到未来展望，从低空经济重点领域突破到建立中国自己的航空应急救援体系，先生娓娓道来，其思路之慎密、思想之深邃，编者从中受益匪浅。尤其令人惊叹的是，先生对其中的事件与时间、事实与数据，如数家珍，话语间无不透出老一辈科学家心系国家、情牵民生的赤诚之心。据了解，刘先生等是最早向中央建言发展低空经济的科学家。刘先生对本书之肯定与希冀，也必当成为我们不断前进的动力。

编 者

2026年5月



## 第1章 万亿元级产业崛起——低空经济全景透视 / 1

- 1.1 3000m 以下的“黄金空域” / 1
  - 1.1.1 低空经济的基本概念 / 1
  - 1.1.2 我国低空空域资源概况 / 5
- 1.2 百年飞天梦的产业进化史 / 8
  - 1.2.1 国际篇：百年探索，厚积薄发 / 8
  - 1.2.2 国内篇：砥砺前行，后来居上 / 11
- 1.3 多维价值释放无穷效益 / 16
  - 1.3.1 经济效益 / 16
  - 1.3.2 技术效益 / 18
  - 1.3.3 社会效益 / 19
- 1.4 大国竞争的新赛道 / 21
  - 1.4.1 中央政策破冰：从航空管制到低空改革示范区的跨越 / 21
  - 1.4.2 地方试点探路：深沪合先行先试的创新实践 / 24
  - 1.4.3 国际战略对标：美欧日韩低空经济的布局与愿景 / 27

## 第2章 造物者的狂欢——上游制造链大揭秘 / 31

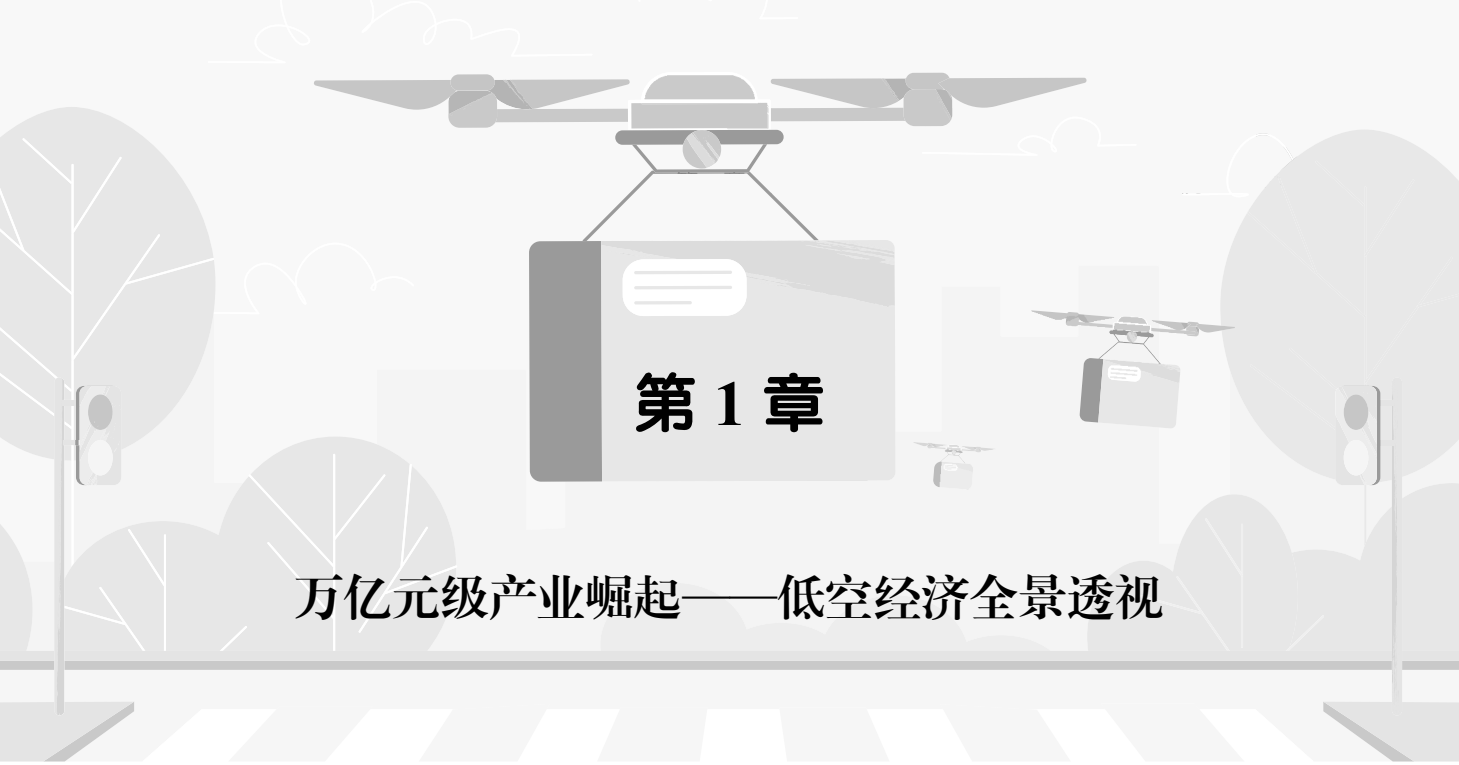
- 2.1 飞行器“变形金刚”总动员 / 31
  - 2.1.1 轻型飞机：给蓝天梦装上的“亲民引擎” / 32
  - 2.1.2 直升机：会悬停的“空中救护车”诞生记 / 34
  - 2.1.3 无人机：从玩具到“工业手臂”的技术跃迁 / 36
  - 2.1.4 eVTOL：给低空经济插上的“绿色翅膀” / 39
- 2.2 核心部件“卡脖子”突围战 / 41
  - 2.2.1 国产动力系统的逆袭之路 / 41
  - 2.2.2 飞行芯片：天空中的“最强大脑” / 48



|       |                               |
|-------|-------------------------------|
| 2.3   | 未来工厂探秘 / 56                   |
| 2.3.1 | 3D 打印无人机技术：从原型到量产的革命性突破 / 56  |
| 2.3.2 | 智能生产线：构建无人化制造生态 / 59          |
| 2.3.3 | 低成本生产技术：规模化与性价比平衡策略 / 60      |
| 2.3.4 | 挑战与未来展望 / 62                  |
| 第 3 章 | 天空筑梦师——中游基建链全解析 / 66          |
| 3.1   | 空中交通网“施工中” / 66               |
| 3.1.1 | 电子围栏：用数字技术划出飞行走廊 / 67         |
| 3.1.2 | 智慧机场：能自动充电的无人机停机坪 / 73        |
| 3.2   | 地面保障“黑科技” / 76                |
| 3.2.1 | 量子通信：永不掉线的飞行对话 / 77           |
| 3.2.2 | 智能塔台：AI 调度员的一天 / 81           |
| 3.3   | 能源革命进行时 / 85                  |
| 3.3.1 | 氢动能充电桩：飞行器 3min 满血复活 / 85     |
| 3.3.2 | 光伏跑道：自发电机场的绿色实践 / 90          |
| 第 4 章 | 应用狂想曲——下游应用链大爆炸 / 97          |
| 4.1   | 城市新基建：低空经济的“空中卫士” / 97        |
| 4.1.1 | 空中 120：堵车时生命的绿色通道 / 97        |
| 4.1.2 | 消防无人机：高层救援的“钢铁侠” / 99         |
| 4.1.3 | 城市管理新助手：无人机的多场景应用 / 101       |
| 4.1.4 | 未来展望：低空经济与智慧城市的融合 / 102       |
| 4.2   | 物流链上的“空中闪送侠”：低空配送新势力崛起 / 103  |
| 4.2.1 | 从“钢铁骆驼”到“空中精灵”的进化 / 103       |
| 4.2.2 | 低空配送背后的科技力量：让“空中精灵”展翅高飞 / 106 |
| 4.3   | 文旅版图的“天空造梦师”：低空旅游创意玩法 / 108   |
| 4.3.1 | 换个视角看世界：低空旅游的“上帝模式” / 108     |
| 4.3.2 | 不止于观景：低空旅游的脑洞玩法 / 110         |
| 4.3.3 | 低空旅游的“造梦密码”：成功背后的秘密 / 111     |
| 4.4   | 农业新革命：天空下的“绿色守护者” / 113       |
| 4.4.1 | 播种与施肥：无人机的高效作业 / 113          |
| 4.4.2 | 监测与诊断：无人机的精准农业 / 114          |
| 4.4.3 | 应急响应：无人机的快速反应 / 115           |
| 第 5 章 | 未来实验室——技术创新链前沿 / 117          |
| 5.1   | 当 AI 成为“机长” / 117             |
| 5.1.1 | 自学习飞控系统：天空版 AlphaGo / 117     |
| 5.1.2 | 数字孪生：元宇宙空管中心 / 124            |
| 5.2   | 材料魔法学院 / 132                  |
| 5.2.1 | 仿生材料：像蜻蜓翅膀般轻盈的机翼 / 132        |
| 5.2.2 | 自修复材料：飞行器“伤口”自动愈合术 / 135      |

|       |                      |     |
|-------|----------------------|-----|
| 5.3   | 数据掘金时代 /             | 138 |
| 5.3.1 | 轨迹密码学：解码天空财富 /       | 138 |
| 5.3.2 | 用户画像：精准预测下一个爆款应用 /   | 145 |
| 第 6 章 | 破壁者联盟——产业协同链攻坚 /     | 150 |
| 6.1   | 政策创新实验室 /            | 150 |
| 6.1.1 | 深圳经验：如何给“空中快递”发通行证 / | 151 |
| 6.1.2 | 监管沙盒：给“黑科技”一个试飞空间 /  | 154 |
| 6.2   | 安全防护网编织指南 /          | 157 |
| 6.2.1 | 电磁盾：对抗无人机劫持的“金钟罩” /  | 157 |
| 6.2.2 | 身份识别：飞行器的“人脸解锁”系统 /  | 160 |
| 6.3   | 人才孵化器 /              | 163 |
| 6.3.1 | 飞手培训班：00 后新职业图鉴 /    | 163 |
| 6.3.2 | 空中交管学院：培养空中交警 /      | 167 |
| 第 7 章 | 2030 天空之城——产业未来链展望 / | 170 |
| 7.1   | 应用场景拓展 /             | 170 |
| 7.1.1 | 运输类 /                | 170 |
| 7.1.2 | 民生类 /                | 178 |
| 7.1.3 | 产业类 /                | 189 |
| 7.2   | 基础设施完善 /             | 199 |
| 7.2.1 | 机场与起降点 /             | 199 |
| 7.2.2 | 通信网络与导航设施 /          | 199 |
| 7.2.3 | 空中交通管理系统 /           | 199 |
| 7.3   | 关键技术突破 /             | 200 |
| 7.3.1 | 航空器制造技术 /            | 200 |
| 7.3.2 | 材料性能 /               | 200 |
| 7.3.3 | 续航能力 /               | 201 |
| 7.4   | 政策制度创新 /             | 201 |
| 7.4.1 | 低空经济政策 /             | 201 |
| 7.4.2 | 财政税收制度 /             | 202 |
| 7.4.3 | 人才培养体系 /             | 204 |
|       | 参考文献 /               | 205 |
|       | 后记 /                 | 210 |





# 第 1 章

## 万亿元级产业崛起——低空经济全景透视

2021 年，“低空经济”首次被写入国家规划，标志着这片“黄金空域”的战略价值获得国家层面的高度认可，正式从概念探索迈上产业发展的快车道。它以无人机、eVTOL 等智能化、电动化的新型航空器为核心载体，深度融合新能源、第五代移动通信技术（5th-generation mobile communication technology, 5G）/第六代移动通信技术（6th-generation mobile communication technology, 6G）、人工智能（artificial intelligence, AI）等前沿科技，构建起一个覆盖“地面-低空-高空”的三维立体经济网络。低空经济深度赋能千行百业：从重塑物流配送时效、开辟空中交通新维度，到革新农业生产方式、提升应急救援效率。它既是抢占新科技革命制高点的关键领域，更是发展新质生产力、推动经济结构转型升级的重要引擎。本章将为您展开一幅低空经济的全景画卷：我们将首先深入“黄金空域”，厘清低空经济的基本概念与独特价值；其次，沿着百年飞天梦的产业进化轨迹，回顾其从萌芽到崛起的壮阔历程；再次，从经济、技术、社会等多维度剖析其释放的巨大效益；最后，透视全球大国竞逐这一新赛道的战略布局。

### 1.1 3000m 以下的“黄金空域”

#### 1.1.1 低空经济的基本概念

2021 年 2 月，中共中央、国务院印发的《国家综合立体交通网规划纲要》提出“发展交通运输平台经济、枢纽经济、通道经济、低空经济”。这是“低空经济”首次被写入国家规划。自此，一场有关低空经济的学术研究和产业发展热潮逐渐在全社会兴起：一批高校纷纷探索搭建相关研究机构，开设低空经济新专业，培养产业



新人才；各大科技初创企业竞相追逐于这片广阔的蓝海市场中，一个个新的产业消费应用场景被不断发现与开辟。作为一种新的社会生产力发展方向，低空经济正彰显着其在抢占第四次科技产业革命制高点、大力发展新质生产力、加快经济结构转型升级等方面的突出重要地位。

低空经济通常被定义为以低空空域（通常指距地面垂直高度 1000m 以下，部分场景扩展至 3000m）为活动空间，通过有人驾驶和无人驾驶飞行器将传统的二维地面活动扩展至三维低空空域，通过常态化飞行活动带动如装备制造、航空旅游、支线运输、教育服务等相关产业融合发展的一种综合性经济形态，在加强社会保障、促进经济发展、服务国民消费等方面承担了日益重要的角色。其本质是由天空技术革命与数字经济范式叠加催生的“城市空中交通经济”，旨在填补传统地面交通与高空交通之间的空白，构建起一个“地面-低空-高空”的三维立体经济网络。

深入认识低空经济的内涵需要从技术、产业、社会三个维度展开。

（1）技术驱动性。低空经济是新质生产力的典型代表，其发展依托航空电子精密加工、通信导航精确定位、大数据实时处理等前沿科技手段的深度交叉融合。目前，“硬件-软件-能源”三位一体的技术生态已初步形成。其中，航空器技术将电动化、智能化、轻量化视作突破性发展方向；数字软件技术则通过低空物联网构建空域数字化底座，依托 5G、北斗卫星导航系统、边缘计算等先进技术，实现飞行器实时数据交互与空域资源动态管理，支撑超视距飞行与大规模集群协同；新能源技术以高能量密度电池、氢燃料电池等为代表，力图突破传统能源效率瓶颈，推动航空器续航能力跃升与绿色低碳转型。

（2）产业融合性。低空经济是对三维空间的一次生态重构。它打破了传统产业的平面发展逻辑，通过垂直空间资源的开发形成了跨产业协同网络。在产业链纵向延伸方面，其覆盖“研发制造—飞行服务—运营保障”全链条：上游聚焦飞行器设计研发与核心零部件生产（电池、芯片、复合材料构件等）；中游培育物流配送、应急救援等场景化服务能力；下游发展空域管理、数据服务等配套产业。在横向跨界方面，其通过“低空+”模式实现与传统产业的深度融合。例如，在农业领域，无人机技术推动精准施药、作物监测等耕作方式的智能化升级；在交通领域，eVTOL 有效填补了城市立体交通空白；在能源领域，无人机巡检可以提升电网、油气管网的运维效率。此外，低空经济的蓬勃发展将催生一场生态级的创新。空域资源的数字化管理会催生数据等新型生产要素，推动形成空域资产交易、航线优化算法服务等新兴业态，从而重构产业价值分配逻辑。

（3）社会价值性。低空经济的社会价值体现为对经济社会运行效率的全局性优化和对公共治理能力的结构性提升两个方面。一方面，低空经济通过缩短物流时空距离、降低运输边际成本实现社会资源配置效率的优化。在偏远山区、海岛等传统交通盲区，低空运输可突破地理限制，激活区域经济活力；在城市场景中，立体交通网络可缓解地面拥堵，提升城市经济运行韧性。另一方面，低空感知网络与城市



大脑的协同将重塑智慧城市治理框架。空域数据实时采集与智能分析可以辅助城市规划、环境监测、治安管理等公共决策，推动治理模式从“平面管控”向“立体感知”跃迁。

但在日常生活中，随着低空经济日益火爆，作为一个新兴概念，人们常将其与通用航空、航空经济、临空经济等概念混淆。因此，对这些相似概念的界定和辨析显得尤为重要。

我国的各类航空活动大体可分为军用航空和民用航空两大门类，而通用航空是指民用航空中除公共运输外的系列飞行活动，以传统有人驾驶航空器为主，范畴相对固定，主要包括农林作业、空中游览等。从发展历程来看，低空经济是在通用航空的基础上提出并发展的，即低空经济可视作通用航空的“升级版”。但差异在于，通用航空以传统航空技术为主，应用场景相对有限；低空经济更加强调飞行活动的经济属性和技术属性，不仅涵盖以通用航空器制造为主要活动的第二产业，还通过对无人机、eVTOL 等新型飞行装备的研发和使用，大大开拓了自身的应用场景，覆盖了更广泛的产业生态，已成为具有广阔前景的国家战略性新兴产业群组<sup>[1]</sup>。

航空经济也是生活中较为常见的一个概念，它涵盖了民航运输、航空制造、机场服务等民用航空产业链上的各类经济活动，逻辑上与陆地经济、海洋经济并列。相较而言，低空经济的范畴要明显小于航空经济，它专注于低空空域资源的开发，以短距离、分布式经济活动为主，即低空经济是航空经济生态的“子集”，但其更聚焦低空场景的技术创新与产业融合等方面。

在城市机场附近随处可见“临空经济开发区”等字样的标语，这是地方政府依托机场这一航空运输枢纽所打造的一类经济园区。顾名思义，临空经济是指各类以机场为核心，通过航线网络聚集物流、商贸等产业的经济活动的总称。临空经济本质上是一种产业的空间集聚现象，以产业关联度为纽带，借助航空运输的高度便利性，形成高效率协同发展的产业集群。低空经济则不依赖大型机场，大多通过低空飞行器多点布局的方式（如无人机物流配送网络）实现灵活服务。

低空经济作为新型经济形态，其产业链构建以低空制造、低空飞行、低空保障、综合服务四大核心板块为骨架，形成了从技术研发到商业落地的全链条闭环生态。

低空制造是产业链的基础层，涵盖航空器本体、核心部件及配套系统的研发生产，具有高技术壁垒与强资本投入的特征。在航空器本体领域，技术突破主要聚焦电动化、轻量化和智能化三大方向：eVTOL 将电力转化为自身飞行动力，其能源效率较内燃机提升 40% 以上，由此重构了传统的飞行模式；无人机领域则通过碳纤维复合材料实现机身减重目标，同时集成毫米波雷达与多光谱传感器，实现复杂环境下的自主避障与精准作业。在核心部件研发层面，电池（如凝聚态电池）能量密度瓶颈的突破有力支撑了中型物流无人机实现长距离续航目标；氢燃料电池技术则推动长航时巡检无人机作业时长延长至传统机型的 3 倍。此外，产业链上游的碳纤维、航空铝材等特种材料产能持续扩张，中游的飞控芯片与感知系统的国产化替代进程



#### 4 低空经济：未来产业生态与价值重塑

不断加速，共同构建起了低空制造领域的“材料—部件—整机”协同创新体系。

低空飞行是产业链的价值实现层，通过多元化场景充分释放三维空间经济效能。当前，该应用呈现出“生产作业—公共服务—消费应用”三重架构。在生产作业端，精准施药技术使农药利用率大幅提升，工业巡检场景中的电力无人机通过搭载红外热成像仪实现了输电线缺陷识别准确率高达 98% 的可喜成效。在公共服务端，低空经济可以协助构建“平急结合”的应急响应体系。常态化场景下，无人机参与城市违建巡查、交通疏导等工作；应急状态下，无人机可以快速投入救援现场，实现灾后 30min 内快速响应，物资投送效率较传统方式提升数倍。消费能够释放最广泛的经济活力，在消费应用端，低空经济正加速渗透城市生活，低空载人航线在长江三角洲、粤港澳大湾区等地区已试点运营，单线年载客量超 10 万人次，形成“15min 空中通勤圈”雏形。截至 2024 年，全国建成无人机航线 440 余条，构建起覆盖物流、巡检、文旅的立体低空经济消费网络，部分地区空域资源利用率较 2020 年提升 300%。

低空保障是产业链的“神经系统”，为常态化飞行提供基础设施、空域管理与政策支持基础。在基础设施方面，低空飞行起降设施建设呈现“枢纽—节点—终端”三级布局，枢纽型通用机场配备氢能充电桩与维修中心，社区起降点通过屋顶停机坪实现“最后一公里”覆盖。在空域管理领域，低空物联网通过“北斗+5G-A+量子加密”技术融合，实现飞行器厘米级定位与空域动态容量分配，深圳试点项目使 2000 架无人机集群调度响应时间压缩至毫秒级。通信导航体系则依托 5G-A 通感一体基站，支持每平方公里 10 万架次飞行器并发通信，时延低于 20ms，为超视距飞行提供技术底座。在政策支持层面，我国的空域管理改革加速推进，120m 以下适飞空域的开放政策在多个城市逐步落地，负面清单管理模式释放 90% 低空资源，空域使用申请审批时效从 7d 压缩至 2h。

综合服务是产业链的价值放大器，通过衍生业态拓展低空经济的边际效益。低空文旅领域形成“观光—体验—赛事”多元产品体系，城市空中观光航线客单价创下新高，无人机竞速赛事年观众规模超千万人次。在教育培训方面，“飞手—工程师—空域管理师”人才梯队逐步构建，全国掀起了一场无人机驾驶员“考证热”，相关高校纷纷设立低空技术与工程等新专业来培养低空经济产业人才。此外，低空数据服务还会催生新的消费产品，例如，飞行轨迹数据衍生航线优化算法、空域热力图等产品，支撑保险精算与空域资产交易。在金融创新方面，空域使用权或许会成为一类新型生产要素，通过对低空空域的确权、开发和利用，将大力推动低空经济的发展，探索新的商业应用模式。

整体来看，四大板块形成了“制造支撑飞行，飞行驱动保障，保障赋能服务”的协同关系——以 eVTOL 为代表的低空飞行器量产需求倒逼电池能量密度提升，物流场景扩张推动低空物联网建设，空域数据反馈可以优化制造端设计参数。未来，随着 6G 组网运行与量子星地通信等技术的突破，低空经济产业链将向“全空域覆



盖、全流程自动、全场景智能”的方向演进。

国际民用航空组织（International Civil Aviation Organization, ICAO）预测，到2035年，全球民用无人机数量将达1200万~1500万台，远超有人驾驶飞机，标志着低空经济正从概念迈向规模化应用。国内低空经济的发展也如火如荼，预计中国低空经济市场规模将突破3.5万亿元，这不仅意味着新经济增长极的诞生，而且是人类活动空间从二维平面向“陆海空天”立体化跃迁的历史性标志。

### 1.1.2 我国低空空域资源概况

低空空域作为国家战略性资源，其开发与利用是推动低空经济发展的核心基础。在现代国家的概念中，领空、领陆和领水共同构成了一国领土不可或缺的三大重要组成部分。但区别在于，领陆和领水中往往蕴含着丰富的矿产资源和生物资源，相较之下，领空中所包含的各类自然资源显得尤为匮乏。受限于此，人类对领空这一界限内的自然资源开发进程一直较为缓慢。但随着陆地空间资源日趋紧张，在先进科技手段的助力下，空域资源势必会成为下一轮产业竞争的热点<sup>[2]</sup>。

从垂直高度上看，空域由低到高大致可分为低空、中空和深空三大类，如图1.1所示。深空通常指10000m以上的空域，通常面向火箭、商业航天等市场；中空指3000~10000m的空域，主要为军用航空、传统民用运输航空和部分通用航空的飞行区域；低空则指3000m以下的区域，过去以通航活动为主体，未来将是eVTOL、无人机等各类低空飞行器的主要活动区域。当前，我国低空经济发展主要利用1000m以下的空域。



图 1.1 一般化的空域剖面图<sup>[3]</sup>

低空空域开放是低空经济发展的前提。过去，我国的低空空域多为军方管制空



域,伴随着低空经济的飞速发展,我国的空域管理体系也历经多轮改革和调整,逐步形成了“管制-非管制”的分层管理模式。2023年12月21日,中国民用航空局发布《国家空域基础分类方法》,对低空空域作出了准确的界定,这也是目前我国对低空空域划分的主要依据,该方法宣布A、B、C、D、E类为管制空域,并开放G、W类空域为非管制空域,也就是低空经济的主要活动区<sup>[4]</sup>。

《国家空域基础分类方法》规定:A类空域为标准气压高度6000~20000m(含);B、C类空域分别划设在民用运输机场、建有塔台的通用航空机场上空;标准气压高度高于20000m为D类空域;在A、B、C、G类空域以外,可根据运行需求和安全要求再选择划设D或E类空域;G、W类空域将开放,G类空域为B、C类空域以外真高300m以下空域(除了W类空域)或平均海平面高度低于6000m且对民航公共运输飞行无影响的空域;W类空域为G类空域下真高120m以下的部分空域(图1.2)。此外,《国家空域基础分类方法》还要求,A、B、C、D、E类空域应当实现通信和监视覆盖,G类空域应当实现监视覆盖。《国家空域基础分类方法》的出台和实施标志着我国低空空域开放正式进入实质性阶段。

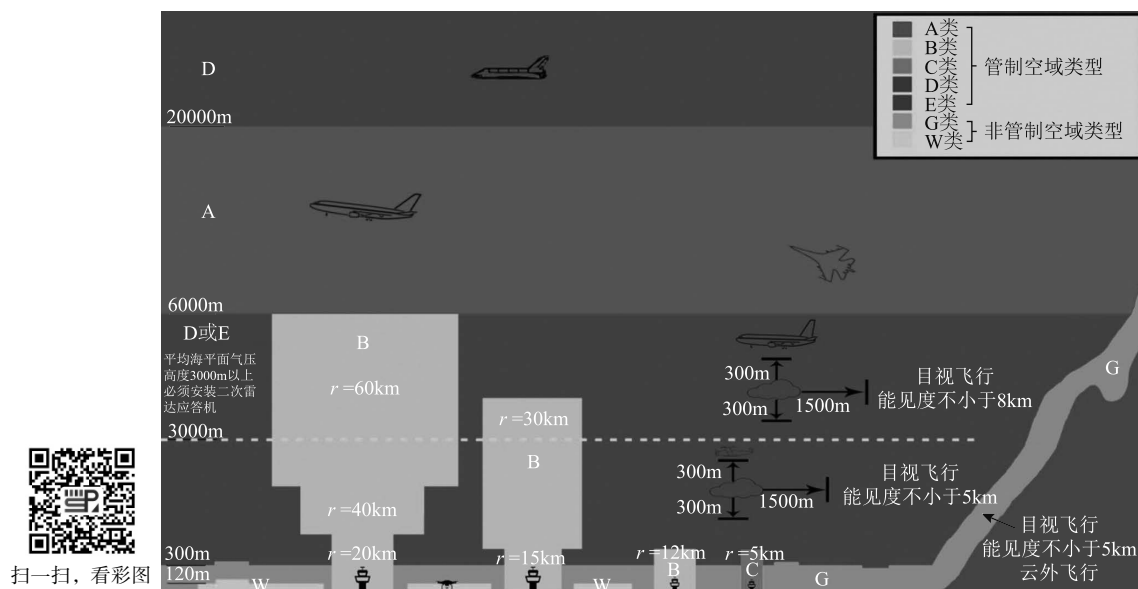


图 1.2 国家空域基础分类示意图<sup>[5]</sup>

低空空域通常被定义为地面至真高1000m以下的大气空间,但在实际应用中往往具有高度的灵活性。例如,在山区、高原地区,经批准其可扩展至3000m。进一步对低空空域进行细分,可以发现不同垂直高度的空域发生着不同的产业经济活动。在0~120m(W类)空域,消费级无人机大显身手,被广泛应用于航拍、物流配送等场景;120~300m(G类)空域是以eVTOL为代表的有人驾驶航空器的运行核心区,有力支撑了载人载货商业化蓝图的实现;而300~1000m的空域则被视作传统



通用航空的主要活动范围，涵盖了农林植保、应急救援等。

从自然资源属性看，低空空域具有普遍性（覆盖全国陆海疆域）、非消耗性（可重复利用）和异质性（地形、气象条件差异显著）等特征。例如，东部平原地区全年适航天数可达 250d 以上，而青藏高原因空气稀薄、有低温结冰风险，全年适航天数不足 150d。在低空空域资源开发的过程中，各类自然因素也会对其产生一些不容忽视的影响。下垫面地形地貌的差异性就是一个需要考虑的基础性条件。地势平坦的平原地区是大力发展低空经济的不二之选，通用航空机场及相关导航设施的建设难度较低、成本较小，长江三角洲、珠江三角洲等地区已初步形成了密集的低空飞行起降网络。但在占据我国土地面积一半以上的丘陵山地地区，较大的地形起伏导致通信覆盖较为困难，无人机物流等低空服务需依赖卫星中继通信，由此造成运营成本的大幅上升。因为低空空域处于大气对流层下层，所以气象条件所带来的潜在挑战构成了发展低空经济需要考虑的第二个重要因素。例如，当城市“热岛效应”增强引发气流紊乱时，eVTOL 起降可能需要额外动力冗余；我国沿海地区位于季风区，气候湿润，易出现雨雾天气，在这种能见度较低的情况下，无人机等各类低空飞行器通常只能停止运行。此外，在规划分配低空空域资源的过程中，还要统筹考虑生态因素的影响。农业区的无人机在进行农药喷洒等作业任务时需提前避开候鸟迁徙路线，否则极易发生碰撞风险，在造成鸟类伤亡的同时也给无人机自身带来一定程度的机械损伤。

现阶段，我国在推进低空空域资源开发利用方面呈现出机遇与挑战并存的态势。

在政策方面，相关改革举措不断落地实施。在国家层面，国家通过顶层设计将低空经济纳入战略性新兴产业范畴，相继出台《国家综合立体交通网规划纲要》《“十四五”通用航空发展专项规划》等政策文件，明确低空经济作为新质生产力的战略地位。在地方层面，截至 2025 年底，近 30 个省区市将低空经济写入政府发展规划，并设立专项资金与产业基金支持，形成央地协同推进格局。政策红利持续释放，空域分类管理改革、无人机适航认证制度创新等改革举措为产业发展创造了良好机遇。但现行的空域管理体制仍存在一些结构性矛盾，军民航协调机制仍以事后通报为主，动态空域分配、跨区域协同等制度亟待突破；非管制空域开放比例不足 30%，部分地区飞行计划审批周期长达 7d，与市场需求形成显著错配。

在技术方面，产业研发创新势头强劲，技术水平不断跃升。以北斗高精度定位、5G-A、AI 为核心的技术集群为空域数字化和飞行器智能化提供底层支撑。空域数字孪生技术已完成三维动态空域模型构建，智能调度系统实现了多机协同避障与路径优化。以大疆（Dajiang Innovation, DJI）为代表的国内科技企业在无人机领域形成全球领先优势，消费级产品市场占有率超 70%。但是，一些尖端技术仍然受制于人。航空发动机、高能量密度电池、主控芯片等关键部件依赖进口，空域共享算法、适航标准等软实力积累薄弱，导致产业链上游议价能力不足，行业技术标准体系尚未与国际接轨，制约国产设备参与全球竞争。



在市场方面，低空经济正不断开辟新的应用场景，带来市场需求的裂变式增长。无论是农林植保、电力巡检等传统应用场景，还是城市空中交通、无人机物流、应急救援等新兴领域，均在飞速发展。目前，低空经济已形成“通航+旅游”“通航+应急”等融合新业态，珠江三角洲、长江三角洲等区域在国内率先验证无人机常态化配送网络的经济价值。但同时，由于处在发展初期，产业链出现了“重制造、轻服务”的特征，运营服务与消费端产值占比不足整体的 1/5。eVTOL 等新兴产品设备成本高昂，主要面向高端小众市场，规模化应用缺乏成熟的商业模式支撑。低空物流、“空中出租车”等场景的盈利模型仍处于探索阶段，市场培育周期长于预期。

对低空空域资源的开发正从政策驱动模式向市场驱动模式转变，低空经济的发展轨迹将深刻重塑国家空域治理体系、产业创新生态与城市空间形态。未来，通过制度供给与科技创新的协同共振，这片立体经济带将有望成为激发中国经济活力的新质生产力引擎。

## 1.2 百年飞天梦的产业进化史

### 1.2.1 国际篇：百年探索，厚积薄发

#### 1. 农业服务：萌芽初现

1903 年 12 月 17 日，这是一个注定被载入史册的日子。在美国北卡罗来纳州的基蒂霍克，莱特兄弟成功试飞了他们制造的第一架飞机“飞行者一号”。这架看似简陋的飞行器开启了人类航空的新纪元。威尔伯·莱特和奥维尔·莱特兄弟凭借着对机械装配和飞行的浓厚兴趣，以及不屈不挠的探索精神，实现了人类首次重于空气的航空器的持续、有动力、可操纵飞行。他们的成功不仅为航空产业的发展奠定了基础，而且向世人证明了人类征服天空的可能性。此后，飞机的设计和制造技术不断发展，逐渐从实验室走向了实际应用。

低空经济的故事最早可追溯到 20 世纪初的农业领域。当时，飞机刚刚诞生不久，其应用场景还极为有限。1918 年，美国陆军航空勤务队尝试使用飞机进行农业喷洒作业，向农田播撒杀蝗药剂，虽然这次尝试因飞机性能和技术限制，效果并不理想，但是开创了人类利用低空飞行器服务生产活动的先河，悄然播下了低空经济的种子。

到了 20 世纪 20 年代，随着飞机技术的逐步改进，农用飞机开始在农业生产中崭露头角。美国、澳大利亚等农业大国率先大规模应用飞机进行播种、施肥、除草和病虫害防治等作业。飞机凭借其快速、高效、覆盖范围广的优势，极大地提高了农业生产效率，降低了人力成本。例如，在澳大利亚广袤的农田和牧场中，农用飞机能够迅速完成大面积的农药喷洒任务，有效遏制病虫害的蔓延，保障农作物和牲畜的健康生长。这一时期，农业航空服务逐渐形成了初步的产业模式，相关的飞机



制造、飞行培训、农药调配等配套产业开始围绕其发展起来，低空经济产业的雏形初现。

## 2. 公务航空兴起：拓展应用边界

1920年后，公务航空市场的兴起为低空经济注入了新的活力。随着商业活动的日益频繁和全球化进程的加速，企业对高效、便捷的出行方式需求越发迫切。公务飞机的出现正好满足了这一需求。它能够为企业高管提供点对点的定制化飞行服务，节省大量花费在往返机场和候机上的时间，使商务出行更加高效、灵活。以美国为例，许多石油巨头、金融集团等大型企业纷纷购置公务飞机，用于高层管理人员的商务差旅。这不仅提升了企业的运营效率，还成为展示企业实力和形象的一张名片。同时，公务航空的繁荣带动了一系列相关产业的发展，各地涌现出许多私人机场和公务航空服务中心，为公务飞机提供专业的起降、维护和后勤保障服务。公务航空市场的繁荣进一步拓展了低空经济的应用边界，使其从单纯的农业服务领域延伸到了商务出行和高端服务业范畴。

## 3. 二战推动：技术飞跃与产业腾飞

第二次世界大战的爆发对全球航空产业产生了深远的影响，低空经济也不例外。第二次世界大战期间，各国为了取得空中优势，投入了大量的人力、物力和财力进行航空技术研发。这一时期，航空发动机技术取得了重大突破，活塞式发动机的性能得到大幅提升，新型涡轮增压发动机开始出现，为飞机提供了更强大的动力。同时，航空材料科学也取得了长足进步，铝合金等轻质高强度材料的广泛应用使飞机的结构更加坚固，且质量大幅减轻，飞行性能得到显著改善。在飞机设计和制造方面，战斗机、轰炸机、侦察机等各类军用飞机的设计不断优化，生产规模也达到了前所未有的水平。这些技术进步和产业发展在第二次世界大战后迅速向民用领域转化。大量退役的军用飞机经过改装，进入了民用航空市场，其中一部分用于低空飞行作业，如农林作业、航空摄影、地质勘探等。同时，第二次世界大战期间培养的大量飞行员和航空技术人才也为战后低空经济的发展提供了坚实的人力基础，他们将在战争中积累的飞行经验和专业技术应用到民用低空飞行领域，推动了低空经济产业的快速发展。

## 4. 直升机诞生：拓展低空飞行维度

飞机的成功发明让人类实现了在天空翱翔的梦想，但它在起降时对场地的严苛要求限制了其在低空领域的广泛应用。直到直升机的出现，这一局面才得以改变。

1907年，法国工程师保罗·科尔尼成功试飞了世界上第一架全尺寸载人直升机。这架直升机采用双旋翼设计，通过两个反向旋转的螺旋桨产生升力，实现了垂



直起降和空中悬停。但航空界对此并不满足，既想要固定翼飞机的速度与航程，又想要直升机垂直起降和空中悬停的能力，因此，人们一直在固定翼飞机和直升机之间的模糊地带不断摸索。在随后的几十年里，直升机技术得到了迅速发展。1939年，美国工程师伊戈尔·西科斯基研制出了 VS-300 直升机，这是世界上第一架具有实用价值的直升机。它采用单旋翼带尾桨的经典布局，极大地提高了直升机的稳定性和操控性。此后，直升机在军事、救援、运输等领域得到了广泛应用。在军事方面，直升机凭借其灵活的低空飞行能力，成为战场上的多面手。它可以执行侦察、攻击、运输等多种任务，为现代战争增添了新的作战模式。在民用领域，直升机在医疗救援、消防灭火、旅游观光等方面发挥着不可替代的作用。例如，在偏远地区或交通拥堵的城市，直升机能够快速将伤病员送往医院，为挽救生命赢得宝贵时间。

直升机的诞生和发展极大地拓展了低空飞行的应用场景，为低空经济产业注入了新的活力。它使得人类在低空领域的活动更加便捷、高效，推动了相关产业的蓬勃发展。

## 5. 现代发展：科技驱动的新变革

进入 21 世纪，随着信息技术、新能源技术、AI 技术等高新技术的飞速发展，低空经济迎来了新的发展机遇，进入了一个全新的发展阶段。以 eVTOL 为代表的新型低空飞行器应运而生，成为当前低空经济领域的研究和发​​展热点。eVTOL 融合了电动汽车和直升机的技术优势，采用电力驱动，具有噪声小、污染轻、垂直起降等特点，有望在城市空中交通、物流配送等领域发挥重要作用。

在城市空中交通领域，eVTOL 被视为解决城市交通拥堵问题的未来之星。美国 Joby Aviation、德国 Volocopter 等公司都在积极研发和测试 eVTOL 产品，并与城市规划部门合作，探索建立城市空中交通网络的可行性。未来，人们可以像叫出租车一样，通过手机应用（application, App）预约 eVTOL，实现快速、便捷的城市空中通勤。

在物流配送领域，无人机和 eVTOL 的应用也正在改变传统的物流模式，例如，亚马逊 Prime Air 已获得美国联邦航空管理局（Federal Aviation Administration, FAA）的批准，亚马逊送货飞行员能够远程操作无人机，且无须目睹无人机的飞行过程。通过使用无人机，亚马逊能够将包裹在 30min 内送达客户手中，大大提高了物流配送效率。此外，一些物流公司还在探索使用大型 eVTOL 进行中短途货物运输，以降低物流成本、提高运输效率。

与此同时，低空经济的相关配套产业也在不断完善。先进的航空电子设备、通信技术和导航系统的应用使低空飞行的安全性和可靠性得到了显著提升。例如，通过无人机进行高风险环境（如危化品仓库、高压线路）的巡检，将原本需要人直接面对的危險环境转变为可以通过远程操作处理的“信息化的劳动对象”，从而大幅度提升作业安全系数<sup>[6]</sup>。此外，随着三维（three-dimensional, 3D）打印技术、复合