

“规则的天空”

——中国低空空域管理与安全体系 演进趋势研究

©2025.08 iResearch Inc.

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

摘要

本报告聚焦“十五五”（2026—2030 年）关键窗口期，立足低空经济由“点状示范”向“网络化、规模化、常态化”跃迁的中观治理议题。不同于市面上强调技术路线或单一应用的研究，本报告以规则先行—协同共治—稳步扩容为主线，将国家顶层设计与地方差异化实践贯通，围绕“规则从何而来、如何落地可执行、谁来协同治理、怎样形成规模化供给”四个核心问题展开系统分析。在审视欧洲 U-Space 强调市场化服务和美国 UTM 侧重分布式协同的治理经验与教训后，本报告认为中国路径选择将更具特色，需在集中统一监管与市场化服务供给之间找到最佳平衡。

本报告的核心判断是：“十五五”的成败取决于三大关键变量——规则统一的速度、区域协同的深度、市场应用的广度。为此，报告提出并详细论证了以下三项差异化贡献：

战略路线图与政策工具箱构建

一是构建了“十五五”三步走战略路线图与阶段性“政策工具箱”，明确了从近期（2026—2027 年）以“沙盒监管”完成规则验证，到中期（2028—2029 年）以“标准统一”打通跨域互联，再到远期（2030 年）以“平台一体化”实现全域融合的推进路径。

内在逻辑与核心瓶颈解构

二是系统性解构了“军—地—民—企”四方协同治理的内在逻辑与核心瓶颈，并进一步具象化为以“权责清单+流程泳道图”为基础，最终实现“一窗受理、一网通办、统一留痕、快速裁决”的高效协同机制，旨在有效降低制度性交易成本。

投入产出模型与实施策略剖析

三是深入剖析了低空“新基建”的投入产出模型与地方政府的实施策略，首次对城市级低空基础设施的投资体量（初期约 2-6 亿元）进行了估算，并对“国资引领”与“市场主导”两种投资模式进行了比较分析，为地方政府的科学决策提供了经济性参考。

本报告面向政策制定者、产业投资者与行业参与者提供可对标、可考核、可复制的行动方案，力求在坚守安全底线内实现产业高质量发展，使低空经济最终成为国家综合立体交通体系和新质生产力的重要战略支撑。

目录

第一章 引言：为何“天空的规则”是核心命脉	2
1.1 低空经济的战略价值与新质生产力内涵	2
1.2 核心矛盾：释放经济潜力与保障绝对安全的平衡博弈	3
1.3 规模化发展的前提：规则是产业腾飞的唯一跑道	4
1.4 本报告研究范畴、核心问题与分析框架	4
第二章 中国低空空域管理的演进与现状	7
2.1 历史沿革：从“严格管制”到“协同管理”的三阶段改革	7
2.2 现行法规与管理框架解析	8
2.3 区域实践对比：三大模式的探索、分工与协同	10
第三章 低空安全保障体系的“四梁八柱”	14
3.1 安全体系的“人-机-环-管”四要素模型及新维度	14
3.2 飞行器安全：适航审定（TC/PC/AC）的核心作用与中国优势	15
3.3 基础设施安全：从“参数对齐”到“治理达标”	16
3.4 运行安全与人员安全	17
3.5 网络与数据安全：低空物联网面临的新型安全挑战	18
第四章 现状总结：当前面临的核心瓶颈与挑战	20
4.1 法规之困：从“无法可依”到“规则难通”	20
4.2 技术之困：从“参数竞赛”到“治理能力短板”	20
4.3 管理之困：从“职责不清”到“协同流程割裂”	20
4.4 市场之困：从“需求不足”到“网络未成”	21
4.5 社会之困：从“公众疑虑”到“信任缺失”	21
第五章 未来空管蓝图：构建智慧空中交通的数字底座	24
5.1 国际对标：U-SPACE/UTM 理念、教训与中国路径选择	24
5.2 中国方案：低空智联“四张网”的技术内涵与商业核心	25
5.3 关键使能技术与产业格局	26
5.4 国内 UTM 与核心安全系统主要技术供应商格局分析	27
5.5 通信运营商的商业模式演进：从“管道”到“平台”	27
第六章 重塑安全范式：迈向“主动、智能、可信”	30
6.1 主动安全：基于数字孪生的风险预警与应急预案仿真推演	30
6.2 智能安全：飞行器自主感知、决策与避障技术的发展路径	30
6.3 可信安全：从飞行安全到低空安防，构建一体化反制与加密体系	30
6.4 责任与保险：构建适应新业态的风险分担与化解机制	31

6.5 监管科技 (REGTECH) 的应用: 从 “人海战术” 到 “智慧治理”	31
第七章 演进路线图: 通往 “规则天空” 的三步走	33
7.1 近期 (2026—2027 年): 试点探索与规则验证	34
7.2 中期 (2028—2029 年): 网络互联与商业推广	34
7.3 远期 (2030 年): 全域融合与智能协同	35
第八章 低空 “新基建” 的投入产出分析与地方政府实施策略	37
8.1 城市级低空基础设施投资成本估算	38
8.2 低空经济对区域的经济与社会效益分析	38
8.3 先行城市的投资模式案例研究与策略建议	40
8.4 人才培养体系建设进展	40
第九章 结论与战略建议	41
9.1 对政策制定者: 聚焦四大优先行动	42
9.2 对产业投资者: 把握节奏、优化赛道、强化风控	42
9.3 对行业参与者: 内化合规、聚焦场景、珍视数据	43
9.4 最终展望: 规则的天空, 普惠的未来	43
法律声明	45
版权声明	45
免责条款	45
联系我们	45

第一章

引言：为何“天空的规则”是核心命脉

本章要点：

- **战略价值：**低空经济作为国家级战略新兴产业，是“新质生产力”的典型代表，其核心内涵体现在技术革命、生产要素创新配置及产业深度转型升级三个层面。它不仅自身拥有广阔前景，预计在 2030 年达到 2 万亿元市场规模，更与商业航天、智慧城市、数字经济等领域存在高度战略协同，是构筑未来国家竞争新优势的关键一环。
- **核心矛盾：**产业发展的核心博弈在于平衡产业界“放得开”的经济诉求与管理层“管得住”的安全要求。十五五期间，这一矛盾的解决路径，是与中央经济工作会议等顶层设计紧密衔接的“阶段性平衡”，其底层逻辑为“安全边界前置、产业扩容后置”，即治理能力的提升速度决定空域开放的广度与深度。
- **核心论点：**与地面经济不同，低空经济规模化发展的前提是一套清晰、完备、高效的天空规则。天空不是可以随意驰骋的旷野，而是需要被精确管理的公共资源。本报告的研究将围绕规则这一核心展开，探究其如何从顶层法规、运行规章到技术标准，共同构筑产业腾飞的唯一跑道。

第一章 引言：为何“天空的规则”是核心命脉

1.1 低空经济的战略价值与新质生产力

2023 年 12 月的中央经济工作会议首次提出“打造生物制造、商业航天、低空经济等若干战略性新兴产业”，2024 年“积极打造.....低空经济等新增长引擎”更是历史性地被写入国务院政府工作报告。这一系列高层定调，标志着低空经济正式从地方性的产业探索，上升为国家级战略部署。低空经济，作为以各种有人驾驶和无人驾驶航空器在通常指距正下方地面垂直距离 1000 米以内（根据不同地区和场景需要可扩展至 3000 米）的低空空域的飞行活动为牵引，辐射带动相关领域融合发展的综合性经济形态，被普遍认为是“新质生产力”的典型代表。



图 1-1：低空经济新维度

其“新质生产力”内涵体现在多个层面：

- **技术革命性突破：**低空经济的发展是航空技术、新能源技术和数字技术深度融合的产物。以 eVTOL（电动垂直起降飞行器）为例，其涉及的分布式电力推进（DEP）、高能量密度电池、先进飞行控制、轻量化复合材料、高集成度航电系统等，均是前沿技术的集成创新。它并非传统通用航空的简单延伸或电动化，而是在动力范式、能源形式和控制方式上的根本性变革，是实现交通领域“碳达峰、碳中和”目标的重要技术路径之一。
- **生产要素创新性配置：**它将“低空空域”这一长期未被充分利用的生产要素，通过技术创新和管理创新，转化为承载经济活动的新空间，实现了对传统三维空间的有效拓展，极大地优化了生产要素的配置效率。这不仅意味着物理空间的拓展，更代表着一种全新的资源观，即向“天”要效益、要发展，从而有望突破超大城市因地面交通拥堵、物理边界扩张受限所带来的资源环境承载力瓶颈，为经济增长开辟新维度。

- **产业深度转型升级：**低空经济的产业链条极长，横跨一、二、三产业，呈现出高度的融合性。**上游**包括新材料（如碳纤维复合材料、特种铝合金）、核心零部件（如动力电池、电机、飞控芯片、传感器）、研发设计与软件开发。**中游**为整机制造、系统集成。**下游**则涵盖了基础设施（起降场、通信网络）、运营服务、飞行保障、金融租赁、检验检测、人才培养等海量服务业态。

它的发展将有力带动传统制造业向高端化、智能化、绿色化转型，并催生出空中通勤、即时物流、应急救援、空中测绘、农林植保、电力巡检等海量新业态，形成“低空+”产业集群，成为拉动经济增长的强大引擎。

市场对低空经济的潜力抱有极高期望。据中国民用航空局测算，2023 年中国低空经济规模已超 5000 亿元，同比增长超过 30%。截至 2025 年 8 月，行业综合测算显示市场规模已接近 9000 亿元，增速快于早前预测。预计到 2025 年底有望突破 1.6 万亿元，到 2026 年突破万亿元的目标已提前实现；到 2030 年有望达到 2 万亿元，到 2035 年有望达到 3.5 万亿元。赛迪顾问发布的《中国低空经济发展研究报告（2024）》则预测，到 2026 年，中国低空经济规模有望突破万亿元，达到 10664.6 亿元。国际投行摩根士丹利则预测，全球 UAM（城市空中交通）市场规模在 2040 年将达到 1 万亿美元，到 2050 年更是高达 9 万亿美元，并强调中国市场凭借其庞大的人口基数、城市密度和强大的制造业基础，将占据全球近四分之一的份额。

1.2 核心矛盾：释放经济潜力与保障绝对安全的平衡博

在广阔的市场前景面前，低空经济的发展始终围绕着一个核心矛盾展开：如何在保障国家空防安全、公共安全和飞行安全的绝对前提下，最大程度地释放低空空域资源的经济潜力与社会价值。

- **一方面，是产业界对“放得开”的强烈诉求。**eVTOL 制造商、无人机物流运营商、通航企业等市场主体，迫切需要更广阔的适飞空域、更便捷的飞行计划审批流程、更清晰的运行规则和更完善的地面基础设施，以降低高昂的运营成本，拓展商业模式，实现规模化盈利。前民航局局长冯正霖曾形容通用航空发展“大势向好，路径曲折，热度上升，飞得不多”，其根本原因之一便是空管体制导致“上不了天”，飞行活动难以常态化、便捷化。产业界普遍认为，只有当飞行成为一种像驾车一样便捷、低成本的日常活动时，低空经济的万亿价值才能被真正激活。这种诉求的背后，是资本对投资回报率追求，是企业对市场份额的渴望，也是技术创新寻求应用场景的内在驱动力。
- **另一方面，是管理层对“管得住”的刚性要求。**低空空域直接关系到国家安全，且飞行活动与人口稠密的城市环境紧密交织，任何一次安全事故都可能造成不可估量的生命财产损失和社会影响。因此，军方、民航局、公安等监管部门必须建立一套行之有效的监管体系，确保对空域内的所有飞行活动“看得见、辨得明、联得上、管得住”，坚决守住

安全底线。正如赛迪研究院在其报告中指出的，低空经济应用场景的发展面临的首要挑战即是政策法规滞后，顶层设计与动态监管体系尚未健全。这种要求的背后，是政府对人民生命财产安全的高度负责，是对社会稳定和国家安全的根本保障。

十五五期间，这一矛盾的解决应体现“**阶段性平衡**”。这意味着开放与监管并非“一刀切”，而是动态调整、小步快跑的过程。其底层逻辑是“**安全边界前置、产业扩容后置**”。即每一步的空域开放和政策松绑，都必须建立在“责任可界定、过程可审计、风险可定价”的治理能力之上。具体而言：以统一的飞行数据留痕与快速裁决机制，支撑事故责任的清晰认定与高效保险理赔；以“白名单+信用分级”制度引导企业“合规即通行、安全即便利”；以全国统一的标准互认机制降低企业跨区域运营的制度性成本，通过治理能力的逐步升级，稳健地实现“规制与发展双达成”的战略目标。

1.3 规模化发展的前提：规则是产业腾飞的唯一跑道

与地面经济的发展逻辑截然不同，低空经济的发展并非仅仅依赖于技术突破和市场需求，其最根本、最核心的前提，是对天空资源——即低空空域——的科学、有序、安全的开发与利用。天空不是一片可以随意驰骋的旷野，而是一种需要被精确管理的稀缺公共资源。因此，一套清晰、完备、高效的“天空规则”，即低空空域管理与安全保障体系，构成了低空经济能否从“飞起来”到“飞得好”、从“盆景”到“风景”发展的核心命脉和根本前提。

受制于空域管制及基础设施条件限制，中国的通用航空发展长期滞后，低空经济尚未形成规模。没有规则，安全便无从谈起，产业发展便是空中楼阁。因此，这套“规则”是产业腾飞的唯一跑道，它至少应包含三个层面：

- **顶层法规 (Law)**：明确谁来管、管什么、基本原则是什么。这是国家意志的体现，是整个规则体系的基石，例如《中华人民共和国飞行基本规则》、《国家空域基础分类方法》等。
- **运行规章 (Regulation)**：规定怎么飞、在哪飞、需要满足什么条件。这是对法规的具体化，是所有行业参与者必须遵守的行为准则，例如《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》、《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》(CCAR-92 部) 等。
- **技术标准 (Standard)**：定义飞行器、基础设施、通信协议等的具体技术要求。这是保证系统兼容性、互操作性和安全性的技术保障，例如航空器的适航标准、起降场的建设标准、平台间的数据接口标准等。

本报告将“规则”作为研究的核心切入点，旨在系统性地解构与分析中国的“天空规则”，探究其现状、瓶颈与未来演进趋势。

1.4 本报告研究范畴、核心问题与分析框架

本报告聚焦于低空空域管理与安全保障体系这一中观治理层面，旨在通过系统性的解构

与分析，回答以下四个环环相扣的核心问题：

- **规则从何而来？** 我国低空空域管理的体制是如何从严格的全面管制，一步步演变到今天的协同管理格局的？现行的主要法规和管理框架是怎样的？其背后的演进逻辑和深层考量是什么？
- **安全如何保障？** 当前的低空安全体系由哪些核心部分构成？从飞行器本身（适航审定）到操作人员，再到地面基础设施和管理流程，它们各自扮演什么角色？我国在关键的适航审定领域取得了哪些突破性进展？
- **痛点究竟在哪？** 综合来看，当前制约产业从“起飞”到“腾飞”的法规、技术、管理、市场和社会认知瓶颈具体是什么？这些瓶颈之间的内在联系如何？
- **未来走向何方？** 面向“十五五”及更长远的未来，一个智慧、高效、安全的空中交通管理体系蓝图是怎样的？中国通往“规则天空”的演进路线图是什么？各方参与者应如何制定战略以抓住机遇？

为回答上述问题，本报告将采用“**历史追溯—现状解构—问题诊断—战略展望**”的分析框架，分步展开：

- **追溯演进：** 回顾我国低空空域管理改革的三个历史阶段，理解当前格局的成因和演进逻辑。
- **解构体系：** 将复杂的空域管理和安全体系拆解为具体的构成要素，并结合最新的政策文件和行业实践，逐一进行深度分析。
- **诊断瓶颈：** 在全面分析的基础上，系统性地识别并归纳出当前产业面临的最关键的五大制约因素，并探究其深层原因。
- **展望未来与提出建议：** 构建未来空管蓝图，提出通往“规则天空”的演进路线图，并为各方提供具体的战略建议。

通过这一分析框架，本报告力求为读者构建一个关于中国低空“**天空规则**”的完整、清晰、深刻的认知体系。

引言部分确立了规则作为低空经济核心命脉的中心论点。那么，中国的天空规则究竟是如何演变至今的？其当前的法律法规和管理框架又是怎样的？理解其历史脉络与现状格局，是展开一切后续分析的起点。下一章，我们将回溯历史，系统梳理我国低空空域管理的演进历程与现行体系。

第二章

中国低空空域管理的 演进与现状

本章要点：

- **历史沿革：**我国低空空域管理改革经历了从“分类”破冰（2010-2015）、到“精细化”管理（2015-2018）、再到“协同”共管（2018至今）的三个递进阶段。这一历程为当前低空经济的爆发奠定了坚实的制度探索基础。
- **现行框架：**以《国家空域基础分类方法》首次引入 G/W 类非管制空域为顶层设计突破，以《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》为核心法规，以及中央空管委的设立和“管制”向“管理”的理念转变为标志，形成了“有法可依”的新格局。展望十五五，业界普遍预期国家层面将出台专门的低空经济产业促进法，进一步巩固其法律地位。
- **区域实践：**全国已形成三大探索模式——以大湾区为代表的“产业先发区”、以长三角为代表的“政府引导区”、以及以湘川赣琼为代表的“改革试验区”。它们在十五五期间将承担不同的战略分工，相互协同，共同服务于国家整体布局。

第二章 中国低空空域管理的演进与现状

2.1 历史沿革：从“严格管制”到“协同管理”的三阶段改

长期以来，我国空域实行军方主导、统一管制的模式。这一体制在保障国防安全方面起到了至关重要的作用，但也客观上限制了通用航空等民用低空活动的开展。为适应经济社会发展需要，我国自 2010 年起，开启了长达十余年的低空空域管理改革探索，大致可分为三个标志性阶段。

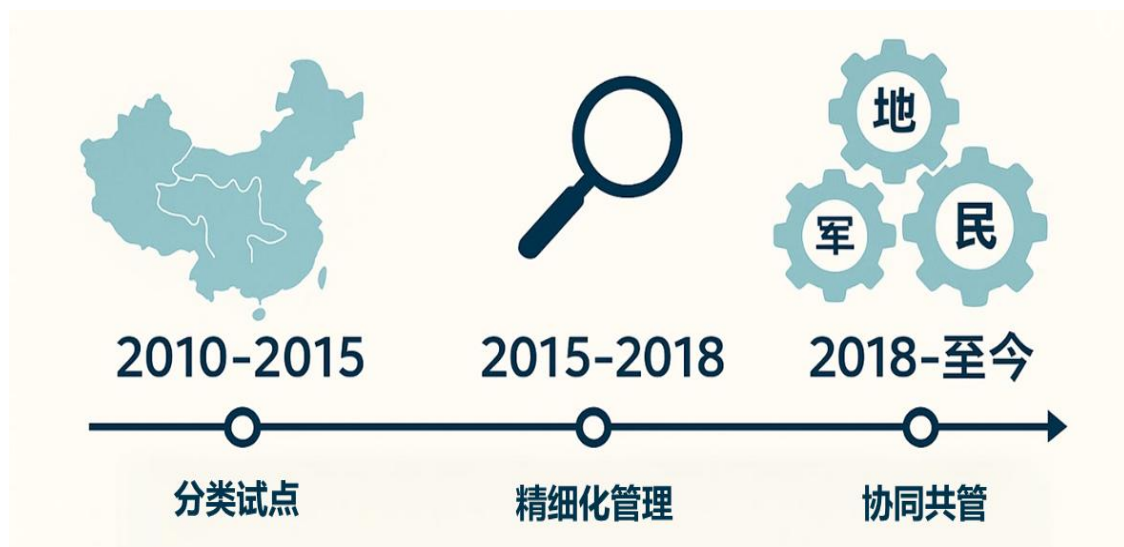


图 2-1：中国低空管理改革之路

2.1.1 第一阶段（2010-2015 年）：“分类”破冰，试点探索与局限

2010 年，国务院、中央军委发布《关于深化我国低空空域管理改革的意见》，正式拉开了改革序幕。这一阶段的核心是“分类”，即在长春、广州、海口、唐山、西安、青岛、杭州、宁波、昆明、重庆等 10 个试点城市，将 1000 米以下的低空空域划分为“管制”、“监视”、“报告”三类空域。

- **管制空域**：位于空中禁区、危险区、机场管制地带等，飞行活动需经军民航部门严格审批。
- **监视空域**：需向空管部门提出申请，由其提供监视和告警服务，审批流程简化。
- **报告空域**：只需向空管部门报备飞行计划即可，无需审批。

这一改革首次打破了所有空域均需管制的局面，是思想上的重大突破。在试点地区，通航飞行审批时间由过去的一周甚至更长，缩短为飞行前 4 小时，报备时间最短只需提前半小时。然而，此阶段的改革仍是初步的，“报告”和“监视”空域的范围有限，且实际操作中仍存在“报了不批”、“流程繁琐”等问题，对产业的实质性推动作用尚不明显。

2.1.2 第二阶段 (2015-2018 年): “精细化” 管理, 服务保障体系构建

随着改革深入, 第一阶段的分类方式仍显粗放。第二轮试点以珠三角、海西和海南为重点, 核心是“**精细化**”。此阶段的目标是“真高 1000 米以下空域基本实现按需开放”, 并着力构建与之配套的服务保障体系。

以海南省为例, 其作为全国首个低空空域空管服务保障示范区, 进行了深入探索。通过建设覆盖全岛的低空监视和通信网络, 共划设了监视和报告类低空空域 23 个, 低空目视飞行航线 3 条, 初步构建起海南全省的低空飞行网络。海南的实践证明, 通过更精细的空域划设和服务保障, 可以实现“当天申报当天起飞”, 并为通航飞行提供航行情报、气象等一站式服务, 有效盘活了空域资源。这一阶段的重点从“放开”转向“服务”, 认识到仅有空域开放是不够的, 必须有配套的服务体系才能让飞行器“飞得好、飞得安全”。

2.1.3 第三阶段 (2018 年至今): “协同” 共管, 军民地融合新模式

前两阶段的改革主要由空管部门主导, 但低空活动的监管涉及地方政府、公安等多个部门, 协同成为新的难题。第三轮试点在四川、湖南、江西、安徽、陕西等地展开, 核心是“**协同**”。

- 以**湖南省**为例, 其作为全国首个全域低空空域管理改革试点省份, 探索出了“**湖南模式**”。成立了由省政府牵头, 军、民航、省公安厅、省发改委等多部门参与的“湖南省低空空域协同运行管理委员会”, 并设立了全国首个军地民三方人员合署办公的“省低空协同运行管理中心”。这一模式将过去分散的任务、空域、飞行计划 3 个申请环节简化为“飞行计划报备”一个环节, 实现了从“分块管理”到“协同管理”的转变, 极大地简化了审批流程, 提升了管理效率。
- **四川省**的探索同样具有代表性。其在全国率先成立了由省政府牵头, 战区空军、民航西南空管局和地方公安共同参与的“低空空域协同管理委员会”, 建立了三方共同组成的运行中心, 实现了“一窗受理、一网通办”, 将飞行计划审批时间压缩了 80% 以上。

这三个阶段的改革层层递进, 从“分类”到“精细化”再到“协同化”, 为当前低空经济的爆发奠定了坚实的制度探索基础。

2.2 现行法规与管理框架解析

经过多年的试点探索, 特别是 2023 年以来, 我国低空经济的顶层法规框架建设进入快车道, 一系列关键性文件的出台, 标志着行业发展正式进入“有法可依”的新阶段。

2.2.1 顶层设计: 《国家空域基础分类方法》的里程碑意义

2023 年 12 月 21 日, 国家空管委组织制定了《国家空域基础分类方法》(V1.0 版)。这是我国空域管理领域一份里程碑式的文件, 其最大的突破在于, 在传统的 A、B、C、D、E 五类管制空域之外, **首次在国家层面正式引入了 G 类和 W 类原则上的非管制空域**。截至 2025

年 8 月，V1.1 修订版正在内部征求意见，拟在 G 类和 W 类空域引入细化分级与跨域互认试点条款，为十五五期间全国落地提供制度基础。

- **G 类空域：**通常指真高 300 米以下的非 A-E 类空域。在此类空域飞行的航空器，享有同等飞行优先权，飞行前向有关空中交通服务部门报备飞行计划即可，无需等待许可。
- **W 类空域：**通常指真高 120 米以下的非 A-E 类空域，是无人驾驶航空器的主要活动区域。同样实行报备制管理，无需空中交通管制许可。

这份文件的核心意义在于，它首次从国家层面，以法规形式为 eVTOL、无人机等低空飞行活动划设了专属的、合法的、原则上无需审批的“**适飞空域**”。这相当于为低空经济划定了“车道”，从根本上解决了“能不能飞、在哪飞”的合法性问题，为后续各地大规模开放低空、划设航路、建设低空“天路网”提供了根本遵循和法律依据。

2.2.2 核心法规：《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》的角色与深远影响

于 2024 年 1 月 1 日起正式施行的《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》，是中国无人机发展史上的第一部专门行政法规。它与《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》(CCAR-92 部) 等文件共同构建了无人机监管的核心体系。其主要影响体现在：

- **明确监管主体与职责：**规定了国家空中交通管理领导机构统一领导全国无人驾驶航空器飞行管理工作，军民航部门、公安部门等在各自职责范围内负责相关管理工作。同时，首次明确了县级以上地方人民政府及其有关部门的属地管理职责，形成了中央与地方权责分明的管理格局。
- **实施分类管理：**根据无人机的重量、性能、用途等进行分类（微型、轻型、小型、中型、大型），并对不同类别的无人机在实名登记、操控员资质、适航管理、飞行活动申请等方面提出差异化的管理要求，实现了精细化、科学化监管。
- **强化全链条安全要求：**对设计生产、实名登记、操控员培训、飞行活动申请、应急处置等作出了明确规定，强调了安全是第一责任。特别是引入了“电子围栏”和“综合监管服务平台”的概念，为技术监管手段的应用提供了法律基础。
- **规范与发展并重：**条例在规范管理的同时，也明确提出要“促进无人驾驶航空器产业健康有序发展”，并对产业发展所需的空域划设、基础设施建设、技术创新等方面提出了支持性方向，体现了“规范与发展并重”的立法思想。

这些法规的出台，为无人机这一低空经济最活跃的主体，提供了清晰的行为准则和安全规范，是产业从“野蛮生长”走向“规范发展”的关键转折点。

2.2.3 管理机构之变：中央空管委的设立与“管理”取代“管制”的深层含义

近年，原“国务院、中央军委空中交通管制委员会”（简称“国家空管委”）调整为“中

央空中交通管理委员会”（简称“中央空管委”）。这一系列调整虽然低调，但意义深远。

- **领导层级提升：**从国务院议事协调机构调整为党中央的议事协调机构，负责人层级由国务院副总理兼任提升至中央政治局常委、国务院副总理（丁薛祥同志）兼任。这极大地增强了空域管理改革的权威性、资源调动和跨部门协调能力，体现了中央自上而下推动空域改革、发展低空经济的坚定决心。
- **理念根本性转变：**从“管制”到“管理”，一字之差，反映了监管理念的根本性转变。“管制”（Control）更侧重于命令与控制，以限制和禁止为主要手段，强调的是绝对安全和秩序；而“管理”（Management）则更强调服务、协调与引导，是在保障安全前提下的科学规划和高效利用，强调的是安全与发展的平衡。这一转变，预示着未来的空域管理将更加注重军、地、民三方的协同，更加注重服务于经济社会发展，为空域资源的释放打开了更大的想象空间。

2.3 区域实践对比：三大模式的探索、分工与协同

在国家顶层设计的指引下，各地纷纷行动，形成了各具特色的发展模式。这些区域性的探索并非孤立的竞争，其背后隐含着一种国家层面的战略协同，即利用不同区域的禀赋优势，进行一场有分工、有侧重的全国性布局。十五五期间，这种分工协作将更加明确，从自下而上的探索转向自上而下的战略对齐。

2.3.1 产业先发区模式：以粤港澳大湾区（深圳、广州、珠海）为例

以深圳、广州为核心的粤港澳大湾区，凭借其强大的产业基础、市场活力和政策创新能力，成为全国低空经济发展的领头羊。

- **政策环境：**深圳市出台了全国首部低空经济地方法规《深圳经济特区低空经济产业促进条例》，并发布了《深圳市支持低空经济高质量发展的若干措施》，对 eVTOL 企业及项目给予最高 5000 万元的补助。广州市黄埔区也出台了“低空 10 条”，对符合条件的企业给予最高 3000 万元的投资奖励。
- **产业基础：**深圳拥有以大疆为代表的全球领先无人机产业链，2023 年无人机产业产值达 960 亿元，占全国七成以上。同时聚集了亿航智能、小鹏汇天、峰飞航空等 eVTOL 头部企业。
- **基础设施建设：**深圳正加速构建市级“5G+毫米波+卫星”的低空全覆盖安全网络，并计划到 2026 年建设 1200 个以上低空起降设施。广州已建成并投运了全球首个 UAM 运营中心。
- **特色应用场景：**2024 年 2 月，峰飞航空“盛世龙”完成了全球首条跨海跨城 eVTOL 航线（深圳-珠海）的演示飞行。美团无人机已在深圳、上海等城市开通超过 28 条航线。

亿航智能 EH216-S 已在广州、深圳、肇庆等地的景区开展商业化运营试点。

2.3.2 政府引导区模式：以长三角地区（上海、安徽合肥、江苏）为例

以上海、安徽合肥、江苏南京为代表的长三角地区，依托其雄厚的制造业基础和地方政府强大的规划引导能力，系统性地构建低空经济产业生态。

- **政策环境：**上海发布《上海市低空经济产业高质量发展行动方案（2024-2027 年）》。合肥则出台《合肥市支持低空经济发展若干政策》，部分奖补累计可达 1 亿元，堪称全国力度最大。
- **产业基础：**上海集聚了峰飞航空、时的科技、沃兰特航空等国内主要的 eVTOL 初创企业。合肥则通过“以投带引”的模式，成功吸引亿航智能设立华东区域总部，并深度布局全产业链。
- **基础设施建设：**合肥已建成并运营了全国首个城市空中交通枢纽港——骆岗公园 UAM 枢纽港。南京市则构建了“一中心两平台多场区”的产业架构。
- **特色应用场景：**上海金山至舟山的无人机跨海生鲜冷链运输已实现常态化运营。合肥则依托骆岗枢纽港，积极探索城市观光、应急救援、政务飞行等多场景应用。

2.3.3 改革试验区模式：以湘、川、赣、琼等省份为例

作为国家低空空域协同管理改革的先行者，这些省份的核心任务是为全国探索可复制的管理经验和运行机制。

- **空域开放成果：**湖南实现了 3000 米以下低空空域全域开放。四川低空协同管理空域面积已拓展至 7800 平方公里。江西 2024 年获批的第四批低空空域，面积较 2023 年增加了 61.5%。海南则依托自贸港政策，探索更加开放的通航管理模式。
- **特色：**这些省份的探索重点在于构建军、民、地三方高效协同的管理平台和运行机制。例如，湖南省低空协同运行管理中心能够做到飞行计划“一窗受理、一网通办、全域响应”，大大提升了运行效率。这些实践为《国家空域基础分类方法》等顶层法规的制定提供了宝贵的实践依据。

2.3.4 十五五战略分工

三大模式的探索并非简单的优劣之分，而是国家层面战略协同布局的体现。在“十五五”期间，应进一步明确其战略定位与协同路径，实现从自下而上探索到自上而下战略对齐的转变，遵循“区域内先一体、跨区域再互联”的演进原则。

- **湾区（产业先发区）：**应以“场景牵引+互联先行”为主。利用其强大的市场需求和产业基础，率先在多元化商业场景上取得突破，优先打通区域内各城市平台间的互认机制，形成都市圈级网络，再向外连接国家骨干网。其核心任务是“验证商业模式”。

- **长三角（政府引导区）：**应以“**标准引领+示范骨干线**”为主。依托其雄厚的制造业和科研实力，牵头制定全国统一的运行规范、技术标准和适航审定细则，并打造连接核心城市的跨省骨干航线样板，为全国网络化运营提供范本。其核心任务是“输出技术标准”。
- **试验区（改革试验区）：**应以“**机制输出+产业补链**”为主。将先行先试中形成的军地民协同管理经验、审批流程和平台机制进行标准化、产品化输出，为其他地区提供可复制的治理方案。同时，利用政策优势，引入产业链关键环节的链主企业，完善本地产业生态。其核心任务是“输出治理经验”。

三类区域的**共同任务**是构建未来网络化运营的基础设施与治理能力，包括：形成“**白名单+信用分级**”的准入机制；统一对外发布禁飞区、风险区、噪声走廊等底图数据；常态化开展跨区域联合应急演练；建立事故快速裁决与保险联动机制。通过这种有分工、有协同的全国一盘棋布局，共同推动中国低空经济行稳致远。

清晰的管理框架与法规体系是低空经济发展的“软件”基础。然而，“软件”的有效运行离不开“硬件”的支撑和全流程的保障。仅有空域开放和管理授权是不够的，还必须构建一个立体、多维的安全保障体系，确保每一次飞行都在安全可控的范围内。因此，我们的下一个议题将深入探讨这一体系的“四梁八柱”——从飞行器自身到地面设施，再到运行流程，安全究竟是如何被保障的？

第三章

低空安全保障体系的 “四梁八柱”

本章要点：

- **核心模型：**低空安全保障体系可解构为经典的“人-机-环-管”四要素模型，并需增加“网络与数据安全”这一全新的、至关重要的维度。
- **飞行器安全：**核心在于适航审定（TC/PC/AC）。我国在 eVTOL 领域采用务实高效的“专用条件”审定模式，对比欧美路径，在审定效率上全球领先，为产业化抢占了宝贵的先机。
- **基础设施安全：**十五五期间，安全标准正从单纯追求“参数对齐”转向更具系统性的“治理达标”。其核心是泛化并落实“底图统一、接口统一、留痕统一”的“三统一”治理框架，确保监视网络“可视与可证”，通信网络“可用与可通”，全流程“可查与可追”。
- **运行与人员安全：**运行安全的实质是流程的一致性与留痕的完整性。核心工具是建立并资产化白名单+信用分级机制，将合规表现转化为企业的“无形资产”；同时，合格人员的认证与培训体系亟待规模化建立。

第三章 低空安全保障体系的“四梁八柱”

3.1 安全体系的“人-机-环-管”四要素模型及新维度

安全是低空经济的生命线，是不可逾越的红线。一个完整的低空安全保障体系，并非单一环节的努力，而是由飞行器自身的安全性、地面基础设施的支撑、运行过程中的规范以及网络数据的安全共同构成的立体化、多层次系统。我们可以借鉴传统航空安全的“人-机-环-管”模型进行解构，并增加“网络安全”这一新维度。

- **人 (Human):** 指飞行员、远程操控员、签派员、维修人员等所有参与者的资质、培训、认证和生理心理状态。
- **机 (Machine):** 指飞行器本身的设计、制造、维护状态，其核心是必须通过国家法定程序认证的适航性。
- **环 (Environment):** 指飞行所处的物理和电磁环境，包括气象条件、地形地貌、建筑物分布、通信信号覆盖与干扰等。
- **管 (Management):** 指确保系统安全运行的法规、标准、流程、组织等管理体系，是整个安全体系的顶层架构。
- **网络与数据安全:** 在万物互联的背景下，低空物联网面临着全新的安全挑战，包括网络攻击、数据泄露和频谱干扰等，必须作为独立且关键的维度加以保障。



图 3-1：低空安全体系框架

3.2 飞行器安全：适航审定 (TC/PC/AC) 的核心作用与中国优势

飞行器自身的安全可靠是整个安全体系的源头和基础。**适航审定**是确保飞行器在设计、制造、运行等各环节均满足安全标准的法定程序，是飞行器进入市场的“准生证”，也是国家航空工业水平和管理能力的重要体现。它主要包括三个核心证书：

- **型号合格证 (TC - Type Certificate)**：由中国民用航空局 (CAAC) 对飞行器的设计进行全面、系统、严格的审查，确认其设计符合安全标准和适航要求。这是最关键、技术难度最高、耗时最长的一步，是后续所有工作的基础。
- **生产许可证 (PC - Production Certificate)**：CAAC 对制造商的生产质量保证体系进行审查，确认其具备持续稳定地生产出与 TC 证批准的设计完全一致且符合安全要求的产品的能力。
- **单机适航证 (AC - Airworthiness Certificate)**：对每一架出厂的飞行器进行检查，确认其具体状态与已批准的型号设计一致，处于安全可用状态，相当于车辆的“出厂合格证”。

3.2.1 eVTOL 与无人机适航审定的流程与关键标准解析

适航审定是一个极其严谨和复杂的系统工程，其核心是“正向设计，全面验证”。

- **流程方面**：通常包括申请与受理、审定计划制定、符合性验证、型号合格审定委员会 (TCB) 终审等主要阶段。在符合性验证阶段，申请方需要通过海量的计算、分析、仿真和试验（包括零部件、系统级和整机地面试验及飞行试验），来逐条证明其设计的每一项都满足《民用航空条例》中规定的适航标准。以亿航智能的 EH216-S 为例，CAAC 组织了超过 100 名专家，进行了超过 500 个科目的测试，包括 40000 多个飞行架次的调整试飞，以及 65 大项、450 多个科目的符合性验证试验，其严谨程度可见一斑。
- **关键标准**：对于 eVTOL 这类颠覆性创新的航空器，全球尚无统一的现成标准。CAAC 采取了“一事一议”和“专用条件”的方式进行审定，审查的关键点集中在：
- **动力系统冗余与失效安全**：确保在部分电机或电池失效时，飞行器仍能安全飞行或迫降。例如，EH216-S 拥有 16 个旋翼和 16 台独立电机，其设计可以保障在最多 3 个旋翼失效的情况下依然能够安全飞行。
- **飞行控制系统可靠性**：飞控系统是 eVTOL 的“大脑”，其软件和硬件的可靠性、抗干扰能力是审查的重中之重。必须证明其软件不会出现“死机”，硬件能抵抗强电磁干扰。
- **电池安全**：eVTOL 的商业化要求电池能量密度需至少达到 300-400Wh/kg，同时起降环节要求电池的瞬间充放电倍率达到 5C 以上，这对电池的热管理、防热失控和安全性提出了极高要求。
- **结构强度与抗疲劳**：机身、机翼、旋翼等关键结构部件必须能承受飞行中的各种载荷，

并通过数万小时的疲劳测试。

- **网络安全**：防止指令链路被黑客劫持或干扰。

3.2.2 全球竞赛：中美欧适航审定路径对比与中国优势

全球 eVTOL 适航审定主要有三条路径，其治理哲学和实践效率存在显著差异：

- **美国 FAA 路径**：最初尝试使用现有固定翼飞机的 23 部条款，后转向更为灵活的“动力升力”（Powered-lift）类别，但具体标准仍在不断修订中，导致 Joby、Archer 等头部企业取证时间表一再推迟，体现了其“先发展后规范”的思路，但也带来了较大的不确定性。
- **欧洲 EASA 路径**：率先发布了专门针对 VTOL 的审定规范《SC-VTOL》，标准清晰明确，但要求极为严格，审查流程漫长，体现了其“安全优先、全面论证”的严谨理念，但可能在一定程度上牺牲了产业化速度。
- **中国 CAAC 路径**：采用“专用条件”模式，针对具体机型“一事一议”，在坚持安全底线的前提下，体现了高度的灵活性和效率。事实证明，这一路径在推动产业化方面速度最快。中国的优势在于**集中力量办大事的体制优势和敢于创新、务实高效的监管理念**，使得我国在 eVTOL 适航审定这场关乎未来产业主导权的全球竞赛中抢占了宝贵的先机。亿航智能 EH216-S 已于 2023 年 10 月获得全球首张 eVTOL 型号合格证（TC），并于 2024 年 4 月获得生产许可证（PC），成为**全球首个集齐“三证”的载人级 eVTOL 产品**，为后续商业化运营铺平了道路。

3.3 基础设施安全：从“参数对齐”到“治理达标”

在十五五周期，基础设施安全的关键正从单纯追求雷达探测距离、5G-A 带宽等技术指标的“**参数对齐**”，转向确保系统可信、可靠、可追溯的“**治理达标**”。治理达标意味着三件事：一是“**可视与可证**”，关键航路与场站的监视能力必须实现全覆盖，所有轨迹数据必须通过统一规范进行留痕，确保数据本身成为可信证据；二是“**可用与可通**”，必须维持稳定可靠的通信与指令通道，且不同平台之间必须能够通过标准接口实现互联互通；三是“**可查与可追**”，任何异常处置与事后复盘的全过程，都必须形成标准化的、不可篡改的证据链。

3.3.1 “看得见”：融合监视网络的构建

传统民航雷达主要覆盖高空，对低空、超低空的“低、慢、小”目标监视能力不足，存在大量盲区。当前，各地正加快构建由 ADS-B（广播式自动相关监视）、毫米波雷达、光电探测设备和 5G-A 通感一体基站组成的融合监视网络。ADS-B 成本较低，是目前低空监视的主要技术手段。在安徽省，已分期分批于获批空域及航线范围内布设 15 套 ADS-B 和 8 套 VHF 设备，初步实现省内 500 米以上低空空域全覆盖。在其他地区，截至 2025 年 6 月，深圳、广州、无锡等城市已完成主城区及核心航路的毫米波 / 通感一体基站全覆盖，实

现 300 米高度范围内超过 95% 的连续感知覆盖率。5G-A 通感一体技术利用遍布城市的通信基站，在提供通信的同时实现类似雷达的探测功能，被业内视为未来实现低成本、广域无缝监视的可行终极方案。

3.3.2 “联得上”：低空通信网络的挑战与 5G-A 机遇

安全飞行需要高可靠、低时延的通信链路，用于远程驾驶、数据回传和接收空管指令。我国领先的 5G 网络为低空通信奠定了良好基础，但仍面临挑战：传统 5G 基站天线主要优化对地覆盖，对空覆盖存在“栅瓣”效应和频繁切换问题。为降低重复建设与区域割裂风险，应实行“底图统一、接口统一、留痕统一”的三统一策略。这一策略的本质是将治理能力标准化，而非强制技术路线统一。它可以在不触碰企业技术路线选择自由度的前提下，实现治理能力的全国一致性，是破解“数据孤岛”和“标准割裂”的根本之道。

3.4 运行安全与人员安全

3.4.1 运行安全：流程一致性与信用资产化

运行安全的实质是流程的一致性与留痕的完整性。建议以“计划申报—冲突校验—放行授权—动态监控—异常告警—应急处置—事后复盘”的七步流程为主线，构建全国统一的运行安全框架。同时，将“异常即入链”的规则进行标准化，确保任何偏离航线、设备故障等异常事件的全过程都形成不可篡改的证据链，为未来的责任划分、保险理赔提供硬证。

为提高运营效率并激励企业合规，应建立“白名单+信用分级”的运行主体管理机制。这套机制将安全表现与运营便利度直接挂钩，从根本上改变了传统的静态准入管理模式。企业的白名单资质、安全审计通过率、无事故安全飞行小时等，都将量化为其信用分级。信用分级高的优质主体，可以在航线申请、临时空域使用等方面享有更高的审批优先级和便利度。

3.4.2 信用分级机制的资产化构想

为使“信用”从抽象概念转变为可量化、可管理的**无形资产**，建议构建一个多维度的信用积分框架。例如，企业的总信用分可由以下几部分构成：**安全分**（基于无事故安全飞行小时、安全审计通过率等）、**合规分**（基于数据上报的及时性、完整性和准确率）、**效率分**（基于航班准点率、任务成功率）以及**社会责任分**（如参与应急救援、主动降低噪声影响等）。这份“信用资产”未来应与企业的商业利益直接挂钩，如直接影响其保险费率的折扣、获得银行低息信贷的资质、在新航线竞标中的权重，以及在融资活动中的估值。这能形成“安全表现越好、通行越便捷、价值越高”的强大正向激励，引导企业将安全从合规成本转变为核心竞争力。

3.4.3 人员安全：资质认证与培训体系

“人”是安全链条中最关键也最不可控的因素。随着低空飞行的普及，对合格飞行员和

远程操控员的需求将激增。

- **eVTOL 飞行员：**CAAC 正在探索新型的 eVTOL 驾驶执照标准，其要求可能介于传统固定翼/直升机飞行员和无人机操控员之间，更强调对自动化系统和应急程序的理解。
- **无人机操控员：**根据《暂行条例》，操控小型、中型、大型无人机从事经营性飞行活动，必须取得相应的操控员执照。
- **培训体系：**大疆、亿航等头部企业，以及众多通航公司和培训机构，正在建立和完善无人机操控员培训体系。但针对 eVTOL 等新型航空器的商业化培训体系尚处在起步阶段，是十五五期间需要大力发展的领域。

3.5 网络与数据安全：低空智联网面临的新型安全挑战

随着低空飞行活动的网络化、智能化，网络与数据安全成为新的、极其重要的安全维度。其风险不仅是技术问题，更是国家安全问题。

- **网络攻击风险：**低空智联网中的通信链路、控制信号可能成为黑客攻击的目标，存在被恶意干扰（Jamming）、欺骗（Spoofing）甚至劫持的风险。一次成功的网络攻击可能导致机毁人亡的严重后果。
- **数据泄露风险：**低空飞行器搭载的高清摄像头、激光雷达等传感器会采集大量地理空间和环境数据，其中可能包含军事禁区、关键基础设施等敏感信息，或涉及公民个人隐私。这些数据的采集、传输、存储和使用过程，必须有严格的国家级安全和隐私保护措施。
- **频谱干扰风险：**大量低空飞行器同时使用无线电频谱进行通信和导航，容易产生相互干扰，影响飞行安全，需要精细化的频谱规划与管理。

现状是，网络与数据安全已引起高度重视，但在具体的防护标准、加密协议（如国密算法的强制应用）、安全监管等方面，尚处于早期探索阶段，亟需建立一套适应低空经济特点的、完备的网络安全保障体系。

通过对安全保障体系的解构，我们看到一个多层次、立体化的安全网络正在形成。然而，体系的建立并不意味着万无一失。在从“起飞”到“腾飞”的征途中，产业依然面临着一系列深刻的、相互交织的瓶颈与挑战。只有精准地诊断这些“痛点”，才能对症下药，制定出真正有效的战略。下一章，我们将系统性地梳理当前低空经济面临的五大核心瓶颈，并探究其治理根源。

第四章

现状总结：当前面临的核心瓶颈与挑战

本章要点：

- **法规之困：**核心从无法可依转为规则难通。地方性细则、数据接口、场站 SOP 与审批口径割裂，致跨区运营重复受阻，制度交易成本高。
- **技术之困：**本质并非技术落后，而是治理能力短板。现有体系的组织与协同不足，未能有效支撑“最低能力达标、平台互联互通、数据可审计”的治理体系，导致数据孤岛和责任盲区存在。
- **管理之困：**根源在于流程割裂。军、民航、公安、应急等部门协同工作的标准化、数字化和审计性不足，导致部门协同效率不稳定、协调成本高，在应急时刻容易出现多头响应、责任不清的局面。
- **市场之困：**并非绝对的需求不足，而是深层次的网络未成。缺乏一个可见、可用、可靠的干线—支线—末端服务网络，导致规模化供给与规模化需求无法有效匹配和促进。
- **社会之困：**从初期的公众疑虑深化为对监管有效性的信任缺失。公众对噪声、隐私与头顶安全的担忧，本质上是对规则透明度、监管有效性以及事故责任追究机制的可靠性缺乏信任，已成为城市规模化应用的关键约束。

第四章 现状总结：当前面临的核心瓶颈与挑战

4.1 法规之困：从“无法可依”到“规则难通”

随着《暂行条例》等顶层法规的出台，产业“无法可依”的局面已基本改变。然而，新的困境随之而来：地方层面的运行细则、数据接口标准、起降场站 SOP（标准作业程序）与飞行计划的审批口径差异巨大。一家无人机物流公司在深圳获准的运营流程，到广州可能需要重新适配系统、重新进行审批；一个在长三角地区验证通过的 eVTOL 航线模式，复制到大湾区可能面临完全不同的空域申请和协调流程。这种“规则难通”与“标准割裂”的现状，导致企业跨区域运营面临着高昂的重复适配成本、漫长的审批时间和巨大的不确定性，极大地阻碍了规模化、网络化运营的形成。

十五五建议：核心是确立“统一要求—地方实现—跨域互认”的实施路径。2025 年，长三角 G 类空域互认机制试点已启动，涵盖上海、江苏、浙江三地，实现试点区域运营资质与运行数据的直接共享，为全国互认提供了可复制样板。国家层面应尽快出台统一的、具有强制性的运行规则、数据接口和场站 SOP 等核心技术标准。在此基础上，鼓励地方结合实际进行细化，但必须确保与国家标准兼容，并建立高效的跨区域资质、数据与流程互认机制，彻底打通制度性堵点，为全国范围内空域管理一体化奠定制度基础。

4.2 技术之困：从“参数竞赛”到“治理能力短板”

当前讨论的技术瓶颈，常聚焦于电池能量密度、飞控算法精度、监视设备参数等。这些固然重要，但十五五期间更核心的技术瓶颈，是“治理能力不足以支撑安全与效率共存”。换言之，我们不缺先进的单点技术，但缺乏将这些技术有效组织起来，形成一个可靠治理体系的能力。各地的平台、网络自成体系，数据格式、通信协议五花八门，形成了一个个“数据孤岛”，使得跨平台的态势感知、协同调度和统一监管难以实现。问题的关键已从单纯追求技术参数的领先，转向如何确保“最低能力达标、平台互联互通、数据可审计”这三项核心治理能力的落地，避免以技术细节的复杂性替代或掩盖治理责任的缺失。

十五五建议：将技术问题转译为治理问题来解决。以“能力达标清单+周期测评”机制，确保所有接入网络的设备和服务满足最基本的安全与性能门槛；以强制性的“统一接口+统一留痕”规范，保证不同技术路线的产品和平台之间能够实现互联互通和责任追溯；以标准化的“异常处置—复盘—纠偏”流程，形成持续改进的技术与管理闭环。

4.3 管理之困：从“职责不清”到“协同流程割裂”

低空经济的监管涉及军、民航、公安、应急、工信、交通、城管等多个部门。虽然顶层

设计明确了各自职责，但在实际操作中，跨部门的协同流程往往是割裂的、非标的，且依赖于线下沟通和人工协调。例如，一个跨区域的应急救援飞行，可能需要同时向不同地区的军、民航、公安等多个单位分别申报，信息传递链条长、效率低，在分秒必争的紧急情况下，容易出现“多头响应、责任不清”的混乱局面。问题的根源已从简单的职责划分不清，演变为协同工作流程的标准化、数字化和可审计性不足。

十五五建议：以“权责清单+流程泳道图”的方式，将跨部门的协同工作流程进行固化和标准化，明确每个环节的责任主体、输入输出和时限要求。在省市级层面强力落实“一窗受理、一网通办、统一留痕、快速裁决”的协同机制，降低企业与政府的交互成本。并将跨部门、跨区域的联合应急演练纳入地方政府和相关部门的年度考核指标，实现常态化，从而锻造出“平战一体”的高效协同能力。

4.4 市场之困：从“需求不足”到“网络未成”

当前低空经济的应用主要集中在少数发达城市的特定场景（如深圳的无人机物流、广州的空中观光），跨区域的骨干航线稀缺，产业的外溢效应有限。一个高价值的医疗急救 eVTOL 网络，需要连接城市内所有主要医院和交通枢纽；一个高效的城际物流网络，需要有连接不同城市核心分拨中心的骨干航线。目前，“**干线—支线—末端**”的三级航空物流与客运基本网络尚未形成，导致规模化的供给与规模化的需求无法有效匹配和相互促进。问题的本质并非绝对的需求不足，而是缺乏一个可见、可用、可靠的服务网络来激发和汇聚海量的潜在需求。

十五五建议：采取“强节点—强连线—弱网格”的梯度网络构建策略。在发展初期，应集中资源，优先在核心城市群内部打造高频次、高可靠性的骨干航线（强连线），并建设若干个功能完善的枢纽级起降场（强节点），形成一个可见、可用的服务网络骨架。通过骨干网络的示范效应和规模效应，逐步带动需求的增长和运营成本的下降，再逐步向周边区域加密支线网络和末端覆盖（弱网格）。

4.5 社会之困：从“公众疑虑”到“信任缺失”

噪声、隐私与“头顶安全”等公众担忧依然是低空经济在人口稠密城市场景中规模化发展的关键软性约束。随着技术进步和安全记录的积累，公众对飞行器本身的疑虑可能会逐步缓解，但问题的核心已从单纯的科普不足，深化为公众对管理规则的透明度、监管过程的有效性以及事故责任追究机制的可靠性缺乏“**可见的信任**”。公众不知道飞行器为何从头顶飞过、不知道其飞行路径是否经过严格的噪声评估、不确信发生意外后能否快速有效地追责和获得赔偿。这种信息不对称和对监管体系的“不可见”，是“邻避效应”的根本来源。

十五五建议：以“可见的规则与服务”换取“可见的信任”。应通过法定程序明确并公布城市内的噪声影响控制区（噪声走廊）与限制飞行时段，并建立便捷的公众申诉与反馈机制。对飞行器采集的数据严格实施“最小必要、分级分类、全链路留痕”的管理原则，并向社会公开数据安全与隐私保护的审计框架。更进一步，可探索建立“城市低空飞行信息阳光平台”，有限度地向公众展示脱敏后的飞行信息（如航线用途是“医疗急救”或“物流配送”）、公布区域噪声监测的实时数据，并提供线上意见反馈渠道，将单向的科普转变为双向的沟通，让公众成为可监督的参与者，从根本上化解信任赤字。

表 4-1：核心瓶颈诊断与十五五战略药方（汇总表）

核心瓶颈	传统问题诊断	以治理为核心新诊断	十五五战略药方
法规之困	顶层法规缺失，无法可依	地方运行细则、接口标准割裂，导致“规则难通”，跨域运营成本高	确立“统一要求—地方实现—跨区域互认”路径，以国家标准打通网络，消除制度性交易成本
技术之困	电池能量密度、飞控算法等参数不足	治理能力不足以支撑现有技术的安全高效运行，存在“数据孤岛”与“责任盲区”	以“能力达标清单+周期测评”代替纯参数比拼，强制推行“统一接口+统一留痕”，确保系统互联与责任可追溯
管理之困	多部门职责不清，九龙治水	跨部门协同流程未标准化、数字化，导致效率低下、责任难以追溯	以“权责清单+流程泳道图”固化协同，强力落实“一窗受理、一网通办、统一留痕”，并将联合应急演练纳入考核
市场之困	商业模式不成熟，市场需求不足	“干线-支线-末端”网络未形成，无法汇聚和创造规模化需求	采取“强节点—强连线—弱网格”梯度策略，先在核心城市群建强骨干网络，再通过示范效应逐步加密覆盖
社会之困	公众对噪声、隐私、安全感到担忧	监管过程不透明，规则不可见，导致公众信任赤字，引发邻避效应	通过明确噪声走廊、建立反馈机制、公开数据审计框架等方式，以“可见的规则”换取“可见的信任”

对当前瓶颈的诊断，实际上指向了一个共同的解决方案：我们需要一个更智慧、更高效的未来空中交通管理体系。这个体系要解决当下问题，更要为未来数以万计的飞行器同时运行的复杂场景提供数字底座。那么，这个未来的蓝图是怎样的？国际上有何经验可借鉴？中国又将提出怎样的方案？下一章，我们将共同擘画未来空管的蓝图。本章将详尽阐述运营商“十五五”期间必须构建和强化的六大核发展路径，共同构成了运营商从“连接提供商”向“智能服务商”转型的行动总纲。

第五章

未来空管蓝图：构建智慧空中交通的数字底座

本章要点：

- **国际对标与中国路径：**在深入反思欧洲 U-Space（服务化、市场化）与美国 UTM（分布式、协同式）的治理哲学与实践教训后，中国的路径宜采取“集中统一监管+市场化服务供给”的混合模式，在确保国家安全与公共利益的前提下，最大限度激发市场活力。
- **中国方案“四张网”：**低空智联体系可系统性地解构为相互支撑的设施网、空联网、航路网、服务网。十五五期间，其建设核心不仅是技术层面的“治理达标”，更需在商业层面探索并建立四网之间的“价值结算模型”，这是确保产业生态能够健康、可持续运转的商业核心议题。
- **关键技术与产业格局：**数字孪生、5G-A/6G、人工智能是构建未来空管体系的关键使能技术。国内在该领域的产业格局已初步形成，主要包括以莱斯信息为代表的“国家队”、以中科星图为代表的“跨界者”、以及以三大运营商和深城交为代表的“基础设施派”三股核心力量，未来将呈现竞合交织的复杂态势。

第五章 未来空管蓝图：构建智慧空中交通的数字底座

5.1 国际对标：U-Space/UTM 理念、教训与中国路径选择

面对未来城市上空数以万计的无人机和 eVTOL 同时运行的复杂场景，传统依赖雷达和人工指挥的空中交通管制（ATC）模式已然捉襟见肘。全球航空业的共识是必须构建一套数字化、网络化、服务化的智能空管系统，即 UTM（UAS Traffic Management，无人机交通管理系统）。欧洲的 U-Space 和美国的 UTM 代表了两种不同的治理哲学与实现路径。

- **欧洲 U-Space**：核心理念是“**服务化**”和“**市场化**”。EASA 将空域管理能力解构成一系列标准化的数字服务（如身份识别、地理围栏、交通信息等），由经过认证的、相互竞争的私营服务提供商（USSP）市场化地提供给用户。政府主要扮演监管者和标准制定者。此模式旨在通过市场竞争激发创新、提升服务效率。**其潜在的教训和风险在于**，若监管不力，可能导致服务质量参差不齐、恶性价格战，以及因各家 USSP 技术标准不一而形成新的“数据孤岛”，反而增加了系统的复杂性和脆弱性。
- **美国 UTM**：核心理念是“**分布式**”和“**协同式**”。它更强调一种去中心化的管理模式，运营商通过与服务供应商（USS）的接口共享飞行意图，通过信息交换与协商而非集中的命令控制来实现交通的解冲突。此模式扩展性强，能适应大规模飞行器的接入。**其面临的挑战在于**，对所有参与者的技术能力和自律性要求极高，且在发生冲突或事故时，分布式的责任界定变得异常复杂，容易出现“公地悲剧”的困境。

中国的路径选择：国际经验表明，纯粹的市场化或纯粹的分布式模式都存在固有缺陷。结合我国强调集中统一领导和对空防安全有绝对要求的国情，中国的路径宜采取“集中统一监管+市场化服务供给”的混合模式。

具体而言，由国家或省级政府主导的公共监管服务平台，承担身份认证、空域授权、统一留痕、应急指挥、安全审计等涉及公共安全和国家利益的核心功能，确保“管得住”的底线。同时，允许并鼓励经过认证的商业化服务商，在统一的监管框架和标准接口下，为用户提供诸如航线规划与优化、精细化气象服务、商业保险、数据分析等增值服务，以激发市场活力，实现“放得开”。

为实现这一蓝图，十五五期间应完成**三件关键工作**：**一是通过立法和标准制定**，清晰界定“公共平台—商业服务”的权责边界与数据接口；**二是发布全国统一的数据报文格式与审计规范**，为商业服务商提供“接入即合规”的清晰准入路径；**三是建立针对商业服务商的“白名单+信用分级”管理机制**，以其服务质量与安全表现记录，动态调整其接入权限与服务范围，形成优胜劣汰的市场化激励约束机制。

5.2 中国方案：低空智联“四张网”的技术内涵与商业核心

“四张网”是中国式低空治理的系统性解法，它将复杂的空管体系解构为四个相互关联、相互支撑的层面。十五五期间，对“四张网”的关注点不应停留在技术参数的堆叠，而应聚焦于其背后承载的治理要件、协同机制与商业逻辑。设施网决定“能到哪儿”，空联网决定“看不看得见、叫不叫得应”，航路网决定“能否高效飞行且被社会接受”，而服务网则决定“能否实现一体化治理与公平准入”。

- **设施网（物理基础设施网络）**：低空飞行的“机场”和“加油站”，包括 eVTOL 起降场（Vertiport）、无人机起降点（Vertistop）、充换电设施、维保机库等。其布局需与城市规划、交通规划深度融合，是引导产业落地、形成服务闭环的物理基础，其建设应按照“枢纽—节点—网格”三层级进行布局。
- **空联网（信息基础设施网络）**：低空飞行的“眼睛”和“耳朵”，是实现态势感知、指挥控制的核心。它深度融合了 5G-A/6G 通信、北斗高精度导航、融合监视（ADS-B、雷达、光电）等技术，构建一个高可靠、低时延、高带宽、高精度的网络，其建设应以“最低能力达标+平台互联互通”为核心保障。
- **航路网（空中交通规则网络）**：空中的“高速公路网”，是在数字地图上预先规划好的三维立体航路、航线、进离场程序和飞行高度层。其设计需综合考虑安全间隔、飞行效率、环境影响（如噪声、视觉）等多个因素，规划应以“安全间隔+噪声走廊+动态调整”为基本原则。
- **服务网（数字管理服务网络）**：整个体系的“大脑”和“操作系统”，是承载各类管理功能和应用服务的软件平台。这是所有低空经济活动的总入口，其架构设计、数据标准、接口协议将决定整个生态的效率与开放性。其锻造应以“统一身份、统一授权、统一留痕、统一应急、统一清算”为核心功能，构建全国一体化的治理中枢。

5.2.1 生态核心议题：四网之间的价值结算模型

“四张网”的协同不仅是技术问题，更是商业问题。一个常被忽略但至关重要的议题是：**四网之间的价值如何流动与结算？** 设施网的场站使用费、空联网的连接与数据服务费、航路网可能存在的通行费、服务网的平台服务费，这些成本最终由谁承担，又如何在设施投资方（如机场集团）、网络运营商（如三大运营商）、平台服务商（如莱斯信息）、飞行器运营商（如物流公司）以及终端用户（乘客或货主）之间进行公平、高效的分配？

这触及了产业生态能否顺畅运转的商业核心。如果价值链条不清晰、权责利不统一，将极大地抑制社会资本的投资意愿。未来需要积极探索建立清晰、透明、自动化的结算模型。在实践层面，2025 年深圳低空经济管理平台已上线区块链清算模块，实现设施网、航路网、空联网间的实时收益分配试运行，为价值链闭环提供了实证案例。未来，可以构想由“服务

网”作为总入口和统一支付网关，统一向终端用户收费，然后基于区块链智能合约等技术，根据各方在一次完整飞行任务中的服务贡献（如起降次数、连接时长、数据调用量、安全评级等），向设施网、空联网等运营方进行后台自动化、不可篡改的清分结算。

提出并解决这一问题，是构建健康、可持续商业联盟的必经之路，也是“十五五”期间产业走向成熟必须攻克的关键课题。



图 5-1：四张网融合的数字底座

5.3 关键使能技术与产业格局

“四张网”的实现，依赖于一系列前沿技术的突破与融合。

- **数字孪生：从空域可视化到全流程仿真推演**

数字孪生技术通过对物理世界（包括城市建筑、地形、气象、电磁环境、飞行器等）进行高精度、全要素的三维数字化建模，在虚拟空间中构建一个与现实世界实时同步的“镜像”。其价值体现在：规划设计（在虚拟环境中进行航路规划、场站选址，进行仿真推演，优化方案）、实时监控（实现“上帝视角”的可视化全局态势感知）、应急演练（模拟极端天气、设备故障、群体性事件等情况，反复演练应急预案，提升响应能力）。

- **5G-A/6G：构建高可靠、低时延的通感一体网络**

相较于 5G，5G-Advanced（5.5G 或 5G-A）及未来的 6G，引入了“通感一体”这一革命性技术。通信基站在提供连接服务的同时，能通过感知无线信号的反射，实现对低空飞行器的探测、定位和轨迹跟踪，相当于将遍布城市的通信基站变成了低成本、广覆盖的“低空雷达网”。中国移动、华为等已在深圳等地开展 5G-A 低空商用部署试点，验证了其 300 米高度无人机提供稳定 Gbps 级下行速率的能力，以及米级的感知定位精度，为解决“低、

慢、小”目标监视难题提供了颠覆性方案。

- **人工智能：赋能智能调度、航线规划与冲突预警**

AI 是实现空管“自动化”和“智能化”的核心。面对未来成千上万架飞行器同时运行的复杂局面，人类管制员的能力将达到极限。AI 算法可以根据实时天气、空域流量、任务优先级、电量状态等海量动态信息，在毫秒级内为每一架飞行器计算出全局最优的飞行路径，并提前预测潜在的碰撞风险，自动发出避让指令，实现从“被动响应”到“主动预防”的范式转变。

5.4 国内 UTM 与核心安全系统主要技术供应商格局分析

低空“规则”的制定与实施，催生了一个全新的高技术产业赛道。目前，国内已涌现出一批核心技术供应商，初步形成三股力量竞合的格局：

- **“国家队”——传统空管技术巨头：**以莱斯信息和**中国电科集团下属研究所**为代表。他们长期服务于我国军民航高空管制系统，技术积累深厚，对空域管理的理解深刻，在系统架构、安全标准、军民航协同方面具备天然优势，是国家级和省级低空监管服务平台建设的主力军，已主导或参与了安徽、南京、海南等多个省市级低空飞行服务平台的建设。
- **“跨界者”——地理信息与数字孪生领先企业：**以**中科星图**等为代表。其核心优势在于强大的空天数据处理能力和地理信息系统（GIS）技术。其参股的北斗伏羲公司，是国家空域网格图标准的创建者，技术特色鲜明。他们擅长将地理空间信息与低空飞行场景结合，构建高精度的数字孪生底座，已在湖州、衢州等地的低空项目中中标。
- **“基础设施派”——通信与城市交通巨头：**以**三大通信运营商**和**深城交**等为代表。运营商的优势在于覆盖全国的通信网络和数百万的基站资源，是“空联网”的天然建设者和运营者。深城交等智慧交通领域的传统玩家，则依托在城市交通规划、管理和运营方面的长期积累，从城市综合交通体系的角度切入低空经济，主导了深圳、台州等地的低空基础设施规划和顶层设计。

5.5 通信运营商的商业模式演进：从“管道”到“平台”

对于作为“空联网”核心建设者的通信运营商，其商业模式将经历从“卖网络”到“卖服务”再到“赋能生态”的演进：

- **1.0 基础连接（管道）：**提供可靠低空通信链路，按流量或连接数收费，这是最基础的商业模式。
- **2.0 增值服务（数据与能力）：**利用 5G-A 的“通感一体”能力，向 UTM 平台和飞行运营商提供高精度的定位、环境感知和低空交通流量数据等增值服务，按服务质量（QoS）或 API 调用收费，实现从“卖连接”到“卖数据”的转变。
- **3.0 生态赋能（平台）：**将网络能力、数据服务与行业应用深度捆绑，与 UTM 平台商、

保险公司、金融机构等合作，共同推出“连接+管理+保险+金融”的一站式解决方案，深度参与整个低空经济生态的价值分成，成为生态的核心赋能者。

目前市场处于早期“跑马圈地”阶段，上述几类玩家各有优势，预计未来将形成既有竞争又有合作的复杂生态。

构建未来空管蓝图，不仅需要清晰的架构和先进的技术，更要求安全范式自身的革命性升级。传统的、被动的安全管理模式已无法适应未来高密度、高动态的运行环境。因此，我们必须探讨如何将安全理念从事后处置转向事前预防，从地面管控转向智能协同。下一章，我们将重塑安全范式，迈向一个“主动、智能、可信”的全新安全时代。

第六章

重塑安全范式：

迈向“主动、智能、可信”

本章要点：

- **主动安全**：核心是从“事后追责”的被动安全转向“事前预防”的主动安全，关键工具是基于数字孪生的风险预警与应急预案仿真推演，实现安全管理的范式革命。
- **智能安全**：安全责任部分下放到飞行器本身，通过机载智能感知与决策，发展路径将经历从辅助避障、协同避障到最终的自主避障，提升单机安全冗余。
- **可信安全**：安全范畴从意外事故 (Safety) 扩展到蓄意攻击 (Security)，要求构建“探测-识别-反制”一体化的低空安防体系和基于国密算法的高强度数据加密体系，确保系统韧性与数据主权。
- **监管科技 (RegTech)**：应用 AI、区块链等技术实现自动化合规审计与前瞻性风险预警，是政府实现从“人海战术”到“智慧治理”跃迁、与国家治理现代化战略深度融合的关键路径。

第六章 重塑安全范式：迈向“主动、智能、可信”

6.1 主动安全：基于数字孪生的风险预警与应急预案仿真推演

传统的安全管理模式多为被动式，即事故发生后再进行调查、追责和改进，成本高昂且效果滞后。“主动安全”则致力于在风险发生前就进行识别、评估和规避，其核心思想是从“事后追责”转向“事前预防”。

数字孪生是实现主动安全的关键使能技术。通过在虚拟的数字孪生城市中，可以：

- **进行风险动态评估：**输入实时的气象数据、通信信号强度、临时空域活动等信息，可以动态、量化地评估特定航线的实时风险等级，并向飞行器推送预警信息。
- **开展大规模仿真测试：**可以模拟数百万次飞行，测试各种安全间隔、避让算法和调度策略的有效性，从而在海量虚拟试错中找到最优的安全策略，而无需在物理世界中承担风险。
- **进行应急预案仿真推演：**可以模拟各种设备故障（如电机失效、电池异常）、极端天气（如强风切变、雷暴）、网络攻击等小概率但高风险的场景，反复演练和优化应急处置流程，确保在真实世界中，各方（飞行器、运营商、管制员）能够像演练过成百上千次一样，快速、准确、协同地响应。

6.2 智能安全：飞行器自主感知、决策与避障技术的发展路径

“智能安全”将安全责任的一部分从地面中心化的管理系统，下放到飞行器本身，提升系统的整体冗余度和快速响应能力。随着机载传感器（如激光雷达、毫米波雷达、高清摄像头）、边缘计算算力和 AI 算法的进步，飞行器将具备更强的自主安全能力。其发展路径将经历一个清晰的演进过程：

- **辅助避障：**当前阶段。机载系统能探测到障碍物，但主要功能是向远程飞手或地面控制中心提供告警，由人来做出最终决策。
- **协同避障：**中期阶段。飞行器能自主探测障碍物，并将信息上报 UTM 系统，UTM 系统结合周边所有飞行器的意图，计算出最优的协同避让策略，并向相关飞行器下达指令。
- **自主避障：**远期理想阶段。机载系统不仅能自主探测、识别障碍物（包括其他飞行器、鸟类、建筑物等），还能在无需地面指令的情况下，基于机载 AI 算法快速做出决策，自主完成避让动作，实现真正的“智能”。这需要多传感器融合、实时环境三维建模以及基于强化学习的快速自主决策算法等核心技术的重大突破作为支撑。

6.3 可信安全：从飞行安全到低空安防，构建一体化反制与加密体系

“可信安全”将安全范畴从应对意外事故的 **Safety**，扩展到防范蓄意攻击和非法入侵的

Security，强调整个系统的韧性、可靠性与合规性。

- **一体化低空安防体系：**为有效应对“黑飞”、“乱飞”无人机带来的公共安全和国家安全威胁，必须建立“**探测-识别-反制**”一体化的低空防御系统。探测手段包括低空雷达、光电、无线电侦测等；识别则依靠 AI 算法对目标的特征（如型号、速度、航迹）进行快速比对；反制手段则包括导航诱骗、信号压制、物理捕获等多种方式。
- **高强度数据加密体系：**所有飞行器与地面系统之间、以及不同地面平台之间的通信链路，都必须进行高强度加密（如强制推行国密算法），以防止飞行指令、航迹数据、用户信息等被窃听、窃取或篡改。
- **数据安全与隐私合规：**飞行器采集的地理信息和图像数据，必须遵循国家数据安全法、个人信息保护法等法规，遵循“**最小必要**”原则，并建立严格的分类分级、脱敏处理和安全审计制度，确保数据安全与合规。

6.4 责任与保险：构建适应新业态的风险分担与化解机制

随着飞行活动的普及，即便有万全的准备，事故也难以完全避免。建立清晰的责任认定和风险分担机制，是产业走向成熟、获得社会信任的基石。

- **责任认定：**当事故发生时，责任方可能是制造商（设计或制造缺陷）、运营商（维护不当或违规运营）、UTM 服务商（系统故障或指令错误）还是操控员（操作失误），甚至是软件算法供应商。清晰的责任认定，高度依赖于飞行数据记录仪（“黑匣子”）和全流程、不可篡改的数据记录来支撑，这也是前述“统一留痕”规范的最终价值体现。
- **保险创新：**保险行业需与时俱进，开发适应新业态的创新险种。例如，基于飞行时长、飞行区域风险等级、飞行员信用积分的 **UBI (Usage-Based Insurance) 保险**；针对网络攻击造成损失的**网络安全专项保险**；针对算法决策失误的**人工智能责任险**等。政府应考虑通过立法，建立强制性的第三方责任险制度，为产业发展提供最终的安全网和社会“减震器”。

6.5 监管科技 (RegTech) 的应用：从“人海战术”到“智慧治理”

将数字孪生、人工智能、区块链等技术应用于监管流程，即“**监管科技**” (RegTech)，是政府提升治理效率、降低社会总成本的关键所在。其核心价值在于实现**自动化合规审计**和**前瞻性风险预警**。

例如，**UTM 平台**可利用 **AI 算法**自动、实时地校验海量的飞行计划申请是否符合空域规定、气象条件和飞行器资质，对不合规的申请自动驳回并说明理由，效率远超人工审核。可利用**数字孪生**对特定区域（如大型活动场所）进行空域容量压力测试，预测潜在的拥堵和风险瓶颈，从而提前进行流量管控。可利用**区块链技术**确保关键的飞行授权记录、航迹数据、

事故调查证据等上链存储，保证其不可篡改、全程可追溯。

这能将监管部门从繁重、重复、低效的人工审批和事后检查中解放出来，转向更高阶的规则制定、风险分析和战略规划，真正实现从“人海战术”到“智慧治理”的根本性跃迁，是低空经济治理与国家治理现代化战略的深度融合。

有了未来空管的蓝图和主动智能的安全范式，接下来的问题自然是如何将这些宏伟构想转化为切实可行的行动。我们需要一张清晰的、分阶段的演进路线图，为“十五五”期间的各项工作提供时间表和任务书，确保蓝图不会停留在纸面上。下一章，我们将详细阐述通往“规则天空”的三步走战略，并明确每个阶段的核心策略与可衡量目标。

第七章

演进路线图：通往“规则天空”的三步走

本章要点：

- **总体路线：**基于对技术成熟度、市场接受度和政策周期的综合判断，中国低空经济的规模化发展将在十五五期间遵循一个逻辑清晰、层层递进的“由点及面”三阶段演进路线。
- **近期 (2026—2027 年)：**核心是“试点探索与规则验证”，策略为“沙盒监管，形成闭环”。此阶段的目标并非追求规模，而是在重点城市和特定场景下，跑通技术、商业和管理的全流程，形成“最小可行网络”，并为全国性标准的制定完成地方规则的第一轮验证与收敛。
- **中期 (2028—2029 年)：**核心是“网络互联与商业推广”，策略为“标准统一，跨域互联”。此阶段的标志是国家级统一标准的出台与落地，重点任务是在此基础上打通区域间壁垒，在重点城市群之间形成骨干航线网络，并全面推广省级互认机制，为商业化的大规模推广奠定基础。
- **远期 (2030 年)：**核心是“全域融合与智能协同”，策略为“平台一体，全域融合”。此阶段的目标是建成国家级一体化平台，实现低空交通与国家综合立体交通网的深度融合，在部分领先的城市群形成公众可随时随地获得的“日常化低空服务网络”。

第七章 演进路线图：通往“规则天空”的三步走

7.1 近期（2026—2027 年）：试点探索与规则验证

核心战略：沙盒监管，形成闭环

此阶段是低空经济从概念走向现实的“攻坚期”和“试错期”。战略核心并非盲目追求开通航线的数量或覆盖的城市范围，而是通过“沙盒监管”这一审慎的政策工具，在风险可控的前提下，验证规则、积累数据、跑通模式。

具体操作上，应选择深圳、广州、合肥、上海、海南等产业基础和管理经验较好的地区作为核心试点，在划定的特定区域内（如产业园区、港区、景区、特定城区），对特定场景的飞行活动实行“沙盒监管”。这意味着通过**限定空域、限定时段、限定机型、限定用途**的方式严格控制风险，同时强制要求所有参与者接入统一的监管平台，遵循统一的“申报—放行—监控—应急—复盘”流程。

在场景选择上，应优先支持**应急救援、医疗物资运输、封闭园区物流、景区空中观光**等具有高公共价值、社会效益明显、商业模式相对清晰的领域。地方政府应配套使用“以奖代补”、首飞首航补贴、运营补贴与绩效挂钩等财政工具，精准支持这些场景的先行者，帮助企业市场尚未完全成熟的早期阶段，克服高昂的初始成本，率先形成安全、可靠的商业闭环。

同时，政府需承担起“**数据开放**”的责任，牵头整合军、民航、测绘等部门数据，统一发布辖区内的禁飞区、限飞区、危险区、噪声走廊等基础地理信息底图，并提供标准化的数据接口，为所有市场参与者提供一个稳定、权威、可预期的运行环境信息基座。

阶段性目标：

- 在每个试点城市内，连接医院、CBD、交通枢纽、产业园、景区等关键节点，形成一个“最小可行网络”（Minimum Viable Network），并至少开通 1—2 条连接邻近城市的跨城示范航线，验证跨区域协同流程。
- 地方性运行细则、数据接口标准和安全管理 SOP，在长三角、大湾区等重点城市群内部率先完成第一轮实践收敛，形成可供国家层面参考的“最佳实践”草案。
- 在技术和法律层面，建立并验证“异常即入链”的数据留痕规范，确保所有非正常事件（如偏离航线、通信中断、应急处置）都能被完整、可信、不可篡改地记录下来，为后续的责任认定、保险理赔和规则优化提供数据基础。

7.2 中期（2028—2029 年）：网络互联与商业推广

核心战略：标准统一，跨域互联

在总结前期试点经验的基础上，此阶段的重心将从地方的“点状”探索，全面转向全国性的“线状”和“网状”构建。推动这一转变的核心驱动力是“**标准统一**”。

国家层面，由中央空管委、民航局、工信部等多部门联合，应正式发布**全国统一的低空飞行运行规则、数据接口标准、起降场站建设与运行 SOP，以及全国通用的运行主体信用评级评价标准**。这些全国性标准的出台，是打通“信息孤岛”、拆除“区域壁垒”、降低制度性交易成本的根本前提。

在统一标准的基础上，大力推进“**跨域互联**”。重点是建设**省级和国家级的数据交换与共享平台**，作为连接各个地方 UTM 平台的“路由器”和“交换机”。同时，建立常态化的跨区域联合指挥与应急演练机制，将协同从纸面上的协议，转变为肌肉记忆般的实战能力，打通各地方平台之间的“信息孤岛”和“管理壁垒”。

在市场准入方面，应在全国范围内全面推行“**白名单+信用分级**”的准入管理模式。对安全记录良好、信用等级高的优质企业，在航线申请、空域使用、跨区域运营备案等方面提供绿色通道和便利化服务，以此激发市场主体的合规内生动力，形成“良币驱逐劣币”的健康市场生态。

阶段性目标：

- 在京津冀、长三角、大湾区、成渝等主要经济带和城市群之间，形成由多条高频次、高可靠性航线构成的骨干航线网络，实现常态化的跨城商业运营，特别是高时效物流和高端商务出行场景。
- 省级互认机制全面落地，企业在一个省获得的运营资质、飞行器注册信息和安全信用评级，可以在其他省份得到认可和采信，从而显著降低企业跨区域业务拓展的制度性成本和时间成本。

7.3 远期（2030 年）：全域融合与智能协同

核心战略：平台一体，全域融合

此阶段的目标是推动低空经济从一个新兴产业，真正融入国家经济社会运行的血脉，成为一项普惠大众的日常服务。其标志性成就是**国家级低空一体化运行与监管服务平台**的建成并投运。该平台将作为全国低空飞行的“超级大脑”，实现对全国范围内低空飞行活动的**身份统一认证、空域统一授权、轨迹统一留痕、流量统一调度、应急统一指挥与商业统一清算**。

在物理层面，大力推动“**跨交通融合**”。在大型国际机场、主要高铁站、城市核心地铁换乘站等大型交通枢纽，规划和建设 eVTOL 垂直起降设施，并实现与传统交通方式在物理空间（便捷换乘）和信息层面（统一票务、安检互认）的无缝对接，将低空交通真正融入国家综合立体交通网，成为“最后一公里”和“城际快速直达”的有效解决方案。

在风险分担机制上，通过立法全面实施强制第三方责任险制度，确保所有飞行活动都有基本的风险保障。同时，鼓励保险业持续创新，推广基于使用场景和风险的 **UBI (Usage-Based Insurance)** 等创新保险产品。并依托一体化平台的数据留痕能力，建立常态化的事故快速调查与线上调解裁决机制，大幅缩短事故处理和理赔周期。



图 7-1：通往规则天空的三步走

阶段性目标：

- 在长三角、大湾区等部分领先的城市群，初步形成一个公众可随时随地通过手机 APP 便捷获得、企业可实现规模化盈利、政府可进行高效透明治理的“日常化低空服务网络”。
- 安全事件的处置效率和保险理赔周期较初期阶段明显缩短，公众对低空飞行的安全信任度和社会接受度达到稳定且较高的水平，低空出行成为一种常态化的选择。

宏伟的路线图离不开坚实的物质基础。通往“规则天空”的每一步，都伴随着对低空“新基建”的巨大投入。这项投资的成本究竟有多高？其带来的经济与社会效益又能否覆盖成本？地方政府应如何规划投资、引入社会资本，以实现“四两拨千斤”？下一章，我们将对低空“新基建”的投入与产出进行深度剖析。

第八章

低空“新基建”的投入产出分析与地方政府实施策略

本章要点：

- **投资成本：**一个中等规模城市启动低空经济基础设施建设，初期的总投资规模将在 2 亿-6 亿元人民币量级。建议地方政府采取“核心优先、可复用、可扩展”的阶段化、精益化投资策略，避免“一哄而上”和“贪大求全”。
- **经济效益：**低空经济具有显著的直接、间接和社会效益。其不仅自身是万亿级产业，更能通过与综合立体交通体系的融合，有效降低社会物流总成本、提升城市运行效率、增强公共服务能力，其综合社会经济回报远超直接投资。
- **运营经济性：**规则直接塑造企业的成本曲线。统一标准、信用分级、基础设施收费标准等“软基建”，将深刻影响企业的研发、时间、合规和终端运营成本，决定其商业模式能否成立。
- **投资模式：**先行城市已探索出不同模式。十五五期间，各地宜根据自身禀赋，超越对单一模式的模仿，泛化形成一种“国资筑基+市场活用”的混合编排投资框架，通过 PPP、REITs 等金融工具，实现财政资金“四两拨千斤”的杠杆效应。

第八章 低空“新基建”的投入产出分析与地方政府实施策略

8.1 城市级低空基础设施投资成本估算

低空“新基建”是一项涉及数字、感知、物理多个层面的巨大投资。根据南京、无锡、芜湖等地的项目招标金额和行业数据，可以对一个中等规模城市启动基础设施建设的初期成本进行初步估算：

- **数字基础设施 (UTM 平台)**：一套具备飞行服务、空域管理、动态监控和数据分析功能的市级低空飞行服务与监管平台，其软硬件部署、系统集成和初期运营的投资规模约在 **3000 万-8000 万元人民币**。例如，南京低空服务管理平台和物联网平台项目总投资为 3975 万元。
- **感知网络 (监视与通信)**：要在主城区和重点航路沿线实现基本的低空监视 (如 ADS-B、低空雷达) 和高可靠的 5G-A 网络覆盖，根据站点密度和覆盖范围，投资规模约在 **1 亿-3 亿元人民币**。这部分投资往往可以与智慧城市、5G 网络升级等项目协同，分摊成本。
- **物理基础设施 (起降场站)**：这是投资的大头。一个枢纽级的、具备候机、安检、充电、维保等多功能的 eVTOL 垂直起降场 (Vertiport)，其投资约在 **2000 万-5000 万元**。例如，合肥的全省首个城市空中交通枢纽港建设投资为 **1700 万元**。一个城市要形成初步的服务网络，至少需要 **1 个** 枢纽港和 **10-20 个** 分布在社区、商圈、医院的简易起降点 (Vertistop)，此项初期投资至少需要 **1 亿-2 亿元**。

综合估算，一个城市要启动低空经济基础设施建设，初期的总投资规模将在 **2 亿-6 亿元人民币** 的量级。最新案例显示，一线城市主城区初期投入已普遍超过 **7 亿元**，主要由于毫米波/通感一体基站密度增加与枢纽级起降场功能拓展导致单点造价上升。

面对如此巨大的投资，地方政府应采取 **“核心优先、可复用、可扩展”** 的阶段化投资策略。应避免“一哄而上”和“贪大求全”，首先集中资源建设服务于核心应用场景的“最小可行网络” (即一个市级监管平台、覆盖关键航路的监视网络、以及“1 个枢纽+N 个关键节点”的起降设施)，实现“边运营、边建设、边扩容”。同时，通过强制执行全国统一的标准与建立跨域互认机制，最大限度地避免因标准不一造成的重复建设与资产沉淀。

8.2 低空经济对区域的经济与社会效益分析

高昂的投入需要有相应的产出作为支撑。低空经济的效益是多维度、立体化的，远不止于直接的产值增长。

- **直接经济效益**：直接带动飞行器制造、核心零部件、运营服务、基础设施建设等相关产业的产值增长。据预测，到 2035 年，我国低空经济市场规模有望达到 3.5 万亿元，将

形成一个巨大的新产业集群。

- **间接经济效益：**通过赋能千行百业，产生巨大的外溢效应。例如，通过大幅提升城市间和城市内高附加值货物的运输效率，有效**降低社会物流总成本**；通过开辟空中观光、通勤等新业态，极大地**促进文旅和高端服务业消费**；通过带动保险、培训、金融租赁、检验检测等生产性服务业发展，完善城市产业生态。
- **社会效益：**这部分价值难以用金钱衡量，但至关重要。例如，将重大伤患的急救运输时间缩短一半，能够挽救更多生命；在自然灾害导致地面交通中断时，无人机是最高效的勘察和物资投送工具；通过将部分交通流量转移至空中，有助于**缓解超大城市的地面交通拥堵**；同时，还将创造大量涵盖研发、制造、运营、管理等领域的高科技就业岗位。

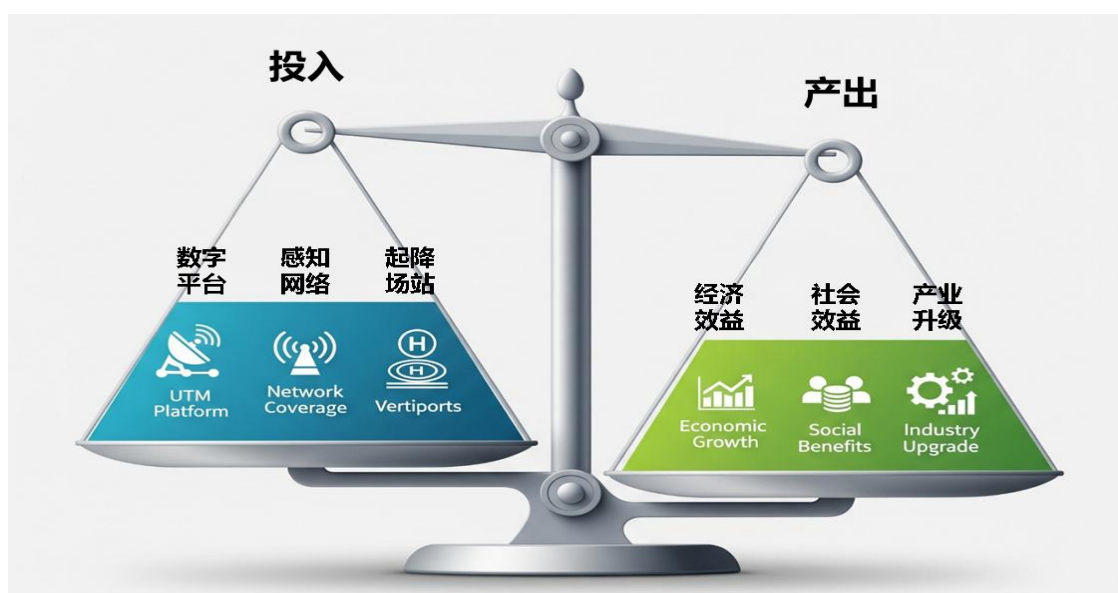


图 8-1：低空新基建的价值天平

8.2.1 运营经济性：规则如何塑造企业成本曲线

对身处其中的企业，规则不仅是约束，更是直接塑造其成本结构和盈利能力的关键变量。一套科学、统一、高效的“天空规则”，是降低企业成本、提升运营经济性的最重要“软基建”。

- **研发与适配成本：**全国统一的数据接口和通信协议标准，能极大降低飞行器制造商和运营商在飞控、航电系统研发上的重复投入和为了进入不同市场而付出的高昂适配成本。
- **时间与不确定性成本：**“白名单+信用分级”机制，以及“一窗受理、一网通办”的高效审批流程，能为优质企业提供可预期的、简化的准入路径，显著降低因审批延误或政策不确定性带来的时间成本和机会成本。
- **终端运营成本：**枢纽级起降场、UTM 平台等公共基础设施的收费标准，将直接影响运营商的单位小时运营成本，并最终传导至终端服务的价格（如票价、运费），决定其市场竞争力。一个合理的、非歧视性的收费体系，是商业模式能否成立的关键。

因此，将合规能力内化为成本控制能力，将对规则的深刻理解转化为战略优势，是企业在未来市场竞争中胜出的关键所在。

8.3 先行城市的投资模式案例研究与策略建议

在低空新基建的投资模式上，先行城市已探索出不同路径，为后来者提供了宝贵经验。

- **合肥模式：**典型的“**国资引领、以投带引**”。由市属国资平台（如合肥城投）出资建设骆岗 UAM 枢纽港等核心基础设施，并与头部企业（如亿航智能）成立合资公司进行商业化运营。同时，通过设立产业基金的方式，“以投带引”，吸引产业链上下游企业落户，快速构建本地产业生态。此模式的优势在于启动速度快，政府执行力强，能够在产业发展初期快速搭建起网络骨架和完成制度示范。
- **深圳模式：**典型的“**政府规划、市场主导**”。政府的核心角色是出台顶层规划（如《深圳市低空经济产业创新发展实施方案》）、产业促进条例和高额的补贴政策，然后鼓励各类市场主体（如顺丰、美团、东部通航等）根据自身业务需求投资建设基础设施和开辟商业航线。此模式的优势在于能充分激发市场活力，应用场景拓展迅速，竞争也更为激烈，适合在产业生态相对成熟后，鼓励多元化场景的竞相迭代。

策略评估与建议：十五五期间，建议各地根据自身区域禀赋、财政能力和发展阶段，进行“**混合编排**”。具体而言，可由**国资平台公司**先行投资建设公共属性强、前期回报不明确**的监管/服务平台与枢纽级节点**，承担“**筑基**”角色；同时，通过**PPP、特许经营、REITs**等金融创新模式，撬动**社会资本**参与建设和运营商业价值清晰**的高流量航线与社区级起降点**，发挥市场“**活用**”的优势。为确保财政资金效益，应建立“**绩效对赌+信用分级**”的长效激励与约束机制，将可量化的服务质量、安全表现和运营效率，作为政府提供增量补贴或开放更多路权资源的触发条件，实现“**有效市场**”和“**有为政府**”的完美结合。

在投资模式与产业布局路径逐步清晰的同时，低空经济的可持续发展还依赖于匹配的人才供给与培养体系建设。

8.4 人才培养体系建设进展

截至 2025 年 8 月，教育部已批准“低空技术与工程”本科专业首批招生，6 所“双一流”高校已开设，另有 120 所高校申报，这一步标志着人才培养体系加速成形。

至此，我们已经系统回顾了历史，解构了现状，诊断了瓶颈，擘画了蓝图，并规划了投入产出的路径。报告的最后部分，我们将把所有分析和洞察进行提炼与升华，为身处其中的政策制定者、产业投资者和行业参与者，提供高度凝练、可直接付诸行动的战略建议，并对低空经济的未来做出最终展望。

第九章

结论与战略建议

本章要点：

- **核心结论：**低空经济从“点状示范”到“网络化运营”的跃迁，其核心驱动力并非单一的技术突破或市场需求，而是“天空规则”的建立、完善与高效执行。规则是基础设施，是生产力，更是信任的基石。
- **对政策制定者：**核心行动是聚焦四大领域——统一规则、协同治理、平台建设、风险分担。必须以更大的决心和魄力，消除制度性交易成本，提升跨部门、跨区域的治理效率。
- **对产业投资者：**核心行动是精准把握三大要点——把握节奏、优化赛道、强化风控。投资决策必须与政策演进的“三步走”路线图紧密对齐，并将对规则的理解力作为评估项目价值的核心维度。
- **对行业参与者：**核心行动是内化三大能力——合规前置、场景聚焦、重视数据资产。必须将合规从外部约束转变为内生竞争力，将数据从飞行副产品转变为核心战略资产。
- **最终展望：**十五五的关键是沿着规则统一的速度、区域协同的深度、市场应用的广度这三条主线稳步前行。当规则内化为产业能力，当协同沉淀为行业习惯，当安全升华为社会信任，低空经济将真正起飞。

第九章 结论与战略建议

9.1 对政策制定者：聚焦四大优先行动

我们建议政策制定者在“十五五”期间，集中精力，聚焦四大优先领域，以系统性的制度供给，为产业发展铺平道路。

- **统一规则，消除壁垒：**应尽快由国家层面牵头，发布全国统一的**低空飞行运行规则、数据接口标准、场站 SOP 与审计留痕规范**。更关键的是，要建立具有强制约束力的跨区域互认机制，确保在一个地区获得的资质、许可和信用评级，在全国范围内得到承认，从根本上消除阻碍网络化运营的制度性交易成本。
- **协同治理，锻造合力：**需以“**权责清单+流程泳道图**”的方式，将模糊的协同要求，固化为清晰、可执行的跨部门协同工作流程。同时，必须将省际乃至国家级的**联合应急演练**纳入常态化的年度考核指标，通过反复实战演练，锻造出真正能打硬仗的军地民协同治理实战能力。
- **平台建设，提升效率：**应按照“**市级主战、省级主建、国家主导**”的原则，分层推进一体化监管服务平台建设。在地方层面，强力推行“**一窗受理、一网通办、统一留痕、快速裁决**”，将企业从与多个政府部门打交道的繁琐流程中解放出来，全面提升政府的治理效率和服务水平。
- **风险分担，稳定预期：**应通过立法，尽快实施针对低空运营的**强制性第三者责任险**，为公众提供最基本的安全保障。同时，积极鼓励保险业发展场景化 UBI 等商业保险产品，并依托一体化平台，建立高效、透明的事故调查与快速调解理赔通道，为整个产业生态提供稳定、可预期的风险化解机制。

9.2 对产业投资者：把握节奏、优化赛道、强化风控

对于敏锐的产业投资者，我们提出三点核心建议，以在波澜壮阔的产业发展中抓住真正的结构性机会。

- **把握投资节奏：**投资决策必须与本报告提出的“**标准统 → 跨域互联 → 平台一体化**”三阶段政策时间表紧密对齐。在规则尚不明确的“近期”阶段（2026-2027），应避免对重资产运营模式进行过度超前投资，而在“中期”阶段（2028-2029）全国统一标准出台后，才是网络化运营赛道爆发的关键窗口期。
- **优化赛道选择：**建议优先布局技术壁垒高、网络效应强、轻资产的“**卖水人**”赛道，例如**核心平台软件、空管系统、高精度地图与气象服务、治理与仿真工具、检验检测服务**等。在评估 eVTOL、无人机等整机制造标的时，除了技术参数，应更看重其“**合规能力、**

政府协同能力、规模化量产与运营效率”的综合实力，因为后者将决定其能否真正飞起来、飞得好、飞得广。

- **强化风险控制：**需密切关注各地方**“信用分级—白名单”**机制的落地情况，并将其作为评估目标企业市场准入确定性与未来扩容潜力的核心风控指标。一个无法进入“白名单”或信用评级低的企业，其未来的运营范围和发展空间将受到极大限制。

9.3 对行业参与者：内化合规、聚焦场景、珍视数据

对于身处其中的整机制造商、运营商、服务商等行业参与者，我们建议从三个方面构建不可替代的核心竞争力。

- **坚持合规前置：**必须将合规视为产品和服务的核心功能，而非事后的补救措施。在产品设计和软件开发和运营流程规划的最初阶段，就必须前置性地嵌入对**“统一接口、统一留痕、统一复盘”**的合规要求。这不仅是满足监管的需要，更是赢得监管信任、进入“白名单”、获得信用加分、从而获取更大市场自由度的核心策略。
- **实现场景聚焦：**在产业发展初期，应避免盲目扩张，追求“大而全”。应选择1-2个垂直场景，如**应急救援、跨城医疗运输、高时效物流、文旅观光**等政策支持明确、商业模式清晰、可快速形成标准化和规模化复制的领域，深耕细作，率先建立起运营标杆，形成可向外输出的标准化操作流程（SOP）与精益化的成本曲线。
- **重视数据资产：**必须建立严格的**数据留痕与复盘分析文化**，将每一次飞行、每一次申报、每一次异常处置都视为宝贵数据资产的积累过程。沉淀下来的海量、高质量、可审计的运营数据，将是未来申请新航权、与政府谈判、获得金融机构融资和提升保险议价能力的最硬核、最无可辩驳的战略资产。

9.4 最终展望：规则的天空，普惠的未来

十五五，是从**“看得见”**低空飞行器，到全社会能**“用得起、用得好”**低空服务的关键五年。其成功的核心，在于能否沿着**规则统一的速度、区域协同的深度、市场应用的广度**这三条主线稳步前行。

我们展望，到2030年，当一个生活在长三角的普通市民，可以像今天打网约车一样，通过手机App预约一架eVTOL，在20分钟内从上海市区直达苏州的工厂；当一场突发的森林火灾，能在几分钟内调集数十架无人机进行火场勘测和精准灭火；当新鲜的器官，能够通过专用的医疗无人机，跨越拥堵的城市，为生命赢得宝贵的时间……那时，我们才能说，低空经济真正实现了其价值。

这一切美好图景的基石，正是今天我们所探讨的**“天空的规则”**。当规则内化为产业的核心能力，当协同沉淀为跨部门的行业习惯，当安全升华为全社会的普遍信任，低空经济将不

再仅仅是一个新兴的战略产业，而是真正融入国家综合立体交通网，成长为新质生产力的重要支柱，以及一个人人可及、普惠大众的公共服务新基座。这片规则的天空，终将属于每一个人。



图 9-1：天空之城，规则护航