

# 低空经济发展如火如荼，低空空管市场方兴未艾

## ——低空经济系列之四

### 投资要点

#### □ 航空运行需求及国家安全要求共驱，传统民航空管市场增长稳健

空管系统全称为通信、导航、监视与空中交通管理系统，其中通信、导航和监视（CNS）部分属于外围设施范畴，空中交通管理系统（ATM）是空管人员实际用于管理空中交通运输的信息处理系统。空管系统与航空公司、机场一起构成航空运输系统的三大支柱，随着航空运行需求扩大和国家安全要求升级，空中交通保障能力要求逐步提升。根据《民航行业发展统计公报》，2015-2023年我国民航基本建设和技术改造投资额从769.3亿元增长至1241.3亿元，8年CAGR约6%；2023年我国空管系统投资完成额约64.5亿元。

#### □ 低空经济发展如火如荼，低空空管市场前景广阔

低空空管系统主要针对超低空运行、中低空混合运行、高空融合运行和隔离运行4种典型场景中的各类无人机，与传统民航空管最主要差别体现在无人驾驶航空器管理密度大幅提升。由于低空空域放开时间较短，面向低空/无人机的空管系统尚待开发迭代，但低空经济发展驱动下低空空管市场前景广阔。我们预计2024年国内低空空管市场规模约6.1亿元，2027年低空空管市场规模将增长至456亿元，2024-2027年3年CAGR约320.4%；2030年低空空管市场规模将增长至2052亿元，2024-2030年6年CAGR约163.5%。

#### □ 空域管理、通信、导航、监视、反制为低空空管的核心要素

**1) 空域管理。**空域管理是低空空管的基石。空域栅格技术对空域进行网格化划分进行空域类型和三维空间信息赋予等管理；低空航线划设需满足空间和安全要求，路线规划算法是效率提升核心；地理围栏系统配合UOM平台可实现对无人机空域和飞行的有效监督，保障低空空域安全；低空空域数字孪生系统已列入部分省市低空发展规划，有望成为低空空域管理的未来方案。

**2) 无人机飞行监视、通信耦合技术。**当前主要的无人机通信和监视（感知）技术包括一/二次雷达、ADS-B及5G-A。①一次雷达为独立式监视设备，不可进行无人机通信；二次雷达属于合作式监视设备，可切换至S模式进行数据链通信。②ADS-B特征在于“自动”“相关”“广播”，通过机载的相关设备实现对航空器监视，通过全方位广播方式实现机-地、机-机通信。③5G-A通感一体化系统在传输信息的同时，通过分析无线电波传播特性对目标或环境实现定位等功能。

**3) 卫星导航系统。**卫星导航系统是无人机导航应用中发展较早和相对成熟的模式，得益于卫星导航系统的建立和发展，目前无人机普遍搭载卫星导航接收机来获得精确的定位和导航服务。中国以北斗卫星导航为基础建立了地基和星基增强网络，在实现导航定位精度提升同时，显著降低北斗卫星导航成本。

**4) 无人机反制技术。**无人机反制系统主要实现对非法无人机的干扰和压制，可分为软反制和直接打击两种类型。根据Mordor Intelligence，2024年全球无人机反制行业市场规模约19.3亿美元，预计到2029年市场规模将增长至57.6亿美元，2024-2029年5年CAGR约24.41%。

#### □ 投资建议

低空经济发展空管先行，建议关注空管系统软件、通导监硬件、无人机反制等环节：（1）空管软件服务商：i）面向空域的空域管理：华设集团、中科星图、超图软件、观典防务等；ii）面向航空器的空中交通管理：莱斯信息、川大智胜、新晨科技、航天宏图、交控科技等，（2）通导监设备供应商：i）通信和监视：四川九洲、四创电子、国睿科技、纳睿雷达、中国卫通、中国电信、中兴通讯、盛路通信、普天科技等，ii）导航：星网宇达、北斗星通、思南导航、海格通信、中海达等；（3）无人机反制：雷科防务、航天南湖、光智科技、联创光电、天和防务、声讯股份等。

#### □ 风险提示

（1）低空空域开放不及预期；（2）地方财政紧张导致空管建设不及预期；（3）宏观环境风险。

### 行业评级：看好(维持)

#### 相关报告

- 《广东省低空发展方案出台，打造世界领先的低空经济产业高地》2024.05.24
- 《民用无人机行业长坡厚雪，产业升级和政策催化共促发展——低空经济系列之三》2024.05.19
- 《北京市低空发展规划超预期，彰显发展低空经济坚定决心》2024.05.17

## 正文目录

<b>1 民航空中交通管理系统：国产替代驱动行业发展</b> .....	<b>5</b>
<b>2 低空空管系统：低空经济发展空管先行</b> .....	<b>11</b>
2.1 空域管理：低空空管基石 .....	15
2.1.1 低空空域规划：基于空域栅格（网格化）技术 .....	15
2.1.2 低空航线划设：需满足空间和安全要求，路线规划算法是效率提升核心 .....	17
2.1.3 低空空域安全保障：无人机地理围栏技术与 UOM 平台相配合 .....	18
2.1.4 低空空域数字孪生系统：基于算力平台的空域管理未来技术 .....	19
2.2 看得见、呼得着：低空航空器飞行监视、通信耦合技术 .....	21
2.2.1 空管雷达：一次、二次监视雷达 .....	21
2.2.2 ADS-B：融合卫星导航和空地数据通信 .....	22
2.2.3 5G-A：通感一体化兼顾通信和监视 .....	24
2.3 导航系统：卫星导航系统为低空导航基础 .....	25
2.3.1 卫星导航增强系统：地基增强和星基增强 .....	26
2.3.2 组合导航：卫星导航系统/惯性导航系统/视觉导航系统相互补充 .....	27
2.4 管得住：无人机反制技术保障低空安全 .....	28
<b>3 投资建议</b> .....	<b>30</b>
<b>4 风险提示</b> .....	<b>32</b>

## 图表目录

图 1: CNS/ATM 环境 .....	5
图 2: 民航空管系统组成及功能架构 .....	6
图 3: 莱斯信息的管制指挥类系统的运行示意图 .....	6
图 4: 莱斯信息流量管理类系统的运行示意图 .....	7
图 5: CNS/ATM 系统中的通信系统 .....	8
图 6: CNS/ATM 系统中的导航系统 .....	8
图 7: CNS/ATM 系统中的监视系统 .....	9
图 8: 全国民航运输机场旅客吞吐量 (单位: 亿人次, %) .....	9
图 9: 2019 年民航基本建设和技术改造投资按划分 (单位: %) .....	9
图 10: 2015-2023 年民航基本建设和技术改造投资额 (单位: 亿元, %) .....	10
图 11: 空中交通智能化运行概念场景 .....	11
图 12: 一种低空空域管理运行系统架构 .....	12
图 13: 低空空管行业新增规模 (单位: 亿元, %) .....	15
图 14: 低空空管行业累计规模 (单位: 亿元, %) .....	15
图 15: 空域栅格化表征 .....	15
图 16: 基于北斗网格码的空间区域网格化 .....	16
图 17: 网格算法与经纬度算法计算复杂度对比 .....	16
图 18: 合肥骆岗公园全空间无人体系空域管理系统 .....	17
图 19: 3 种城市低空航路航线划设方法 .....	17
图 20: 无人机自主航迹规划智能算法分类图 .....	18
图 21: 禁止飞入和禁止飞出地理围栏示意图 .....	18
图 22: UOM 平台简介 .....	19
图 23: 腾讯数字孪生技术在低空空域的应用 .....	19
图 24: 华设集团基于数字孪生的智慧公路一体化决策与分析平台 .....	20
图 25: 腾讯·IDEA 联合打造的低空空域划设与管理平台 .....	20
图 26: 二次监视雷达工作原理示意图 .....	21
图 27: 九州防控军民融合全国产化“大盾”反无人机系统 (雷达和固定式干扰最小典型系统) .....	22
图 28: ADS-B 的工作原理 .....	23
图 29: 星基 ADS-B 系统运行原理 .....	24
图 30: 5G-A 网络架构 .....	24
图 31: 智慧低空场景的通感一体化平台 .....	25
图 32: 一种基于卫星导航的无人机测量绘图系统工作过程 .....	25
图 33: GBAS 组成简图 .....	26
图 34: SBAS 系统原理示意图 .....	27
图 35: 卫惯视导航系统基本框架 .....	27
图 36: 指挥与信息处理系统架构 .....	29
图 37: 全球无人机反制行业市场规模 (单位: 亿美元, %) .....	29
表 1: 莱斯信息的管制指挥类细分系统及其功能 .....	6
表 2: 空中流量管理系统 (ATFM) 实施四阶段 .....	7

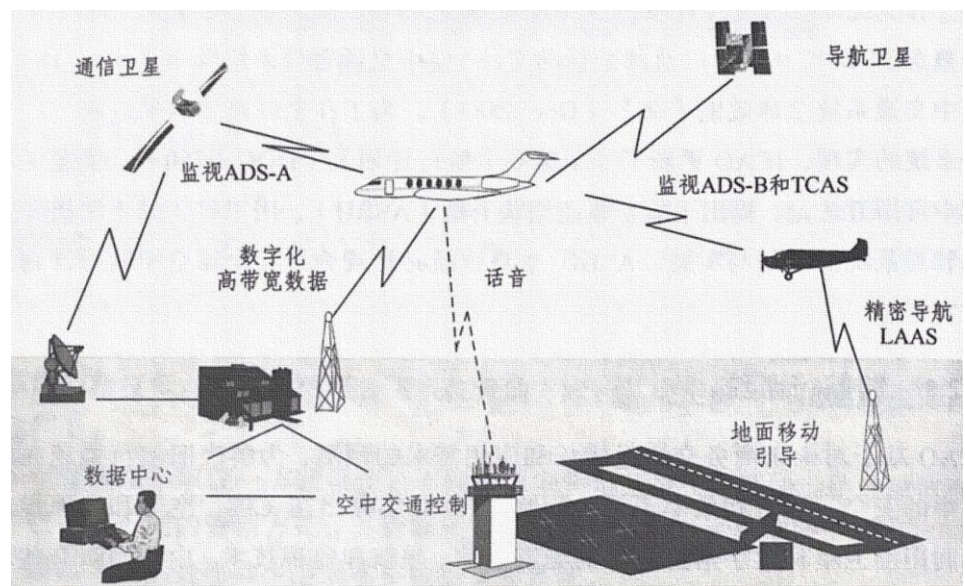
表 3: 国内空管系统领先企业.....	10
表 4: UAM 与地面交通、民航运输的区别和联系 .....	12
表 5: 低空空域管理的相关单位和管理对象.....	13
表 6: 全国低空空管系统市场规模测算 (单位: 个, 平方公里, 万元/平方公里, 亿元, %) .....	14
表 7: 北斗网格码与其他地球建模技术比较.....	16
表 8: DAP 提供的管制相关信息.....	22
表 9: 无人机反制技术手段优缺点对比分析.....	28
表 10: 行业重点公司估值表 (单位: 元, 亿元, 倍) .....	30

## 1 民航空中交通管理系统：国产替代驱动行业发展

商业航空发展催生空中交通管理需求。在航空业的萌芽阶段，由于飞机数量和飞行频率较低，空中交通管理（ATM，Air Traffic Management）的概念尚未形成。随着商业航空的兴起，航空运输的覆盖范围逐渐扩大。为保障飞行的安全性和提升运输效率，要求对飞行活动进行有序的组织和管理，空中交通管理应运而生。根据《中国民用航空空中交通管理规则》，空中交通管理的任务就是有效地维护和促进空中交通安全，维护空中交通秩序，保障空中交通畅通。

空中交通管理系统由通信（C）、导航（N）、监视（S）和空中交通管理（ATM）四部分组成。空管系统完整的描述是通信、导航、监视与空中交通管理系统，简称 CNS/ATM 系统，其中通信、导航和监视（CNS）部分属于外围设施范畴（硬件），空中交通管理系统（ATM）是空管人员实际用于管理空中交通运输的信息处理系统（软件）。空管系统是航空运输体系的“中枢神经系统”，与航空公司、机场一起构成航空运输系统的三大支柱。

图1：CNS/ATM 环境

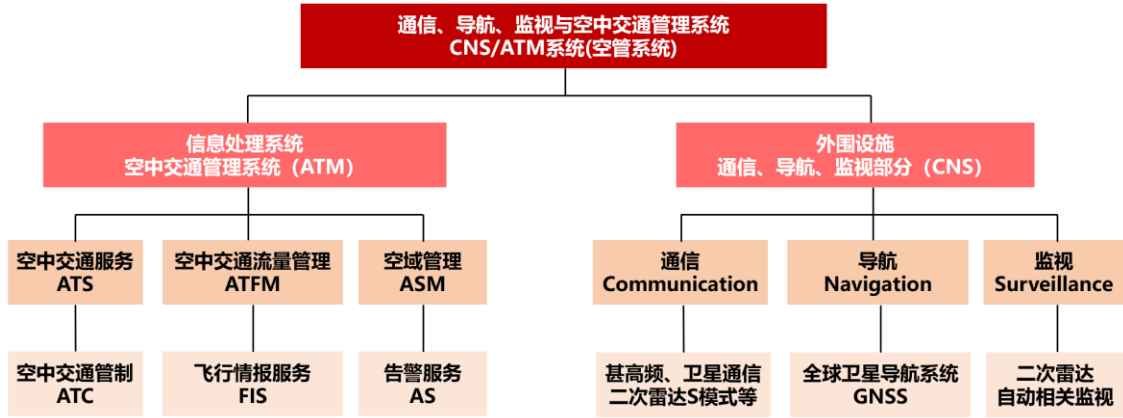


资料来源：《新一代空中交通管理系统(第2版)》，浙商证券研究所

空管系统（ATM）包括空中交通服务（ATS），空中交通流量管理（ATFM）和空域管理（ASM）。空中交通流量管理是在空中交通流量接近或者达到空中交通管制可用能力时，适时地进行调整，保证空中交通最佳地流入或者通过相应区域，提高机场、空域可用容量的利用率，尽可能减少延误。空域管理是依据国家相关政策，逐步改善空域环境，优化空域结构，尽可能满足空域用户使用空域的需求。

空中交通服务（ATS）又由空中交通管制（ATC），飞行情报服务（FIS）和告警服务（AS）三部分组成。空中交通管制服务的目的是防止航空器与航空器相撞及在机动区内航空器与障碍物相撞，维护和加快空中交通的有序流动。飞行情报服务的目的是向飞行中的航空器提供有助于安全和有效地实施飞行的建议和情报。告警服务的目的是向有关组织发出需要搜寻援救航空器的通知，并根据需要协助该组织或者协调该项工作的进行。

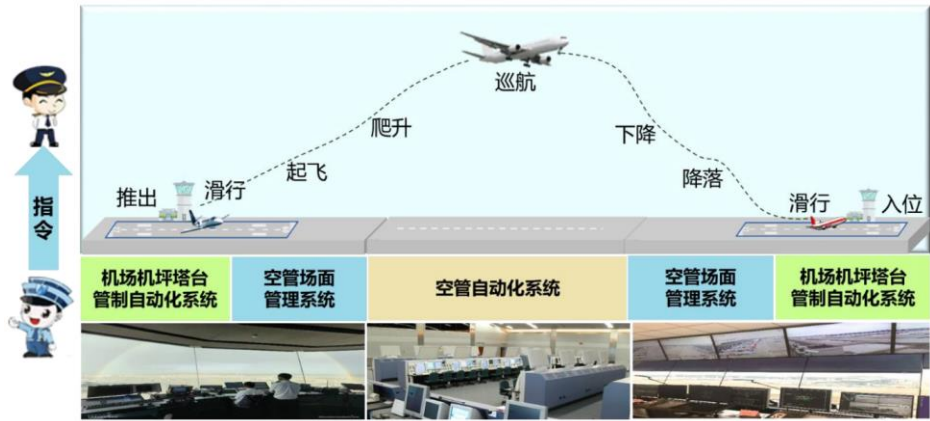
图2: 民航空管系统组成及功能架构



资料来源: 莱斯信息招股说明书, 《新一代空中交通管理系统(第2版)》, 浙商证券研究所绘制

ATC 系统是空管系统的核心部分。ATC 系统包括空管自动化系统、空管场面管理系统、机场机坪塔台管制自动化系统和空管模拟机系统。其中, 空管自动化系统、空管场面管理系统、机场机坪塔台管制自动化系统三大系统功能覆盖飞机航班起飞前的放行管理、场面的滑行管理、空中的飞行管理等整个运行流程, 实现空地一体化的空中交通管理运行模式。目前国家规定, ATC 系统需要同时配置主用、备用两套系统, 日常使用主用系统, 主用系统出现故障时切换至备用系统, 两套系统接受相同的信号同步运作, 可无缝切换。

图3: 莱斯信息的管制指挥类系统的运行示意图



资料来源: 莱斯信息招股说明书, 浙商证券研究所

表1: 莱斯信息的管制指挥类细分系统及其功能

系统名称	功能
空管自动化系统	主要为管制人员提供对管制区内飞行活动的监视、预测和告警服务, 保障飞机空中飞行的安全。
空管场面管理系统	主要负责航班的起飞、降落、脱离跑道、滑行和放行许可等管制工作
机场机坪塔台管制自动化系统	主要负责引导和指挥航班的推出、开车、滑行、拖拽等管制工作, 共同保障飞机地面运行安全
空管模拟机系统	主要通过虚拟数据环境模拟真实管制操作流程, 实现对空管管制员在空中交通管制业务技能方面的培训

资料来源: 莱斯信息招股说明书, 浙商证券研究所

空中交通流量管理（ATFM）在超过或者将要超过空中交通管制系统的可用容量时实施。根据《民用航空空中交通管理规则》，空中交通流量管理分为先期流量管理、飞行前流量管理和实时流量管理。实施空中交通流量管理的原则是以先期流量管理和飞行前流量管理为主，实时流量管理为辅。在此基础上，莱斯信息提出事后流量管理，通过空管部门、机场部门、航空公司的复盘分析来达成空管部门的事件效能评价。

图4：莱斯信息流量管理类系统的运行示意图



资料来源：莱斯信息招股说明书，浙商证券研究所

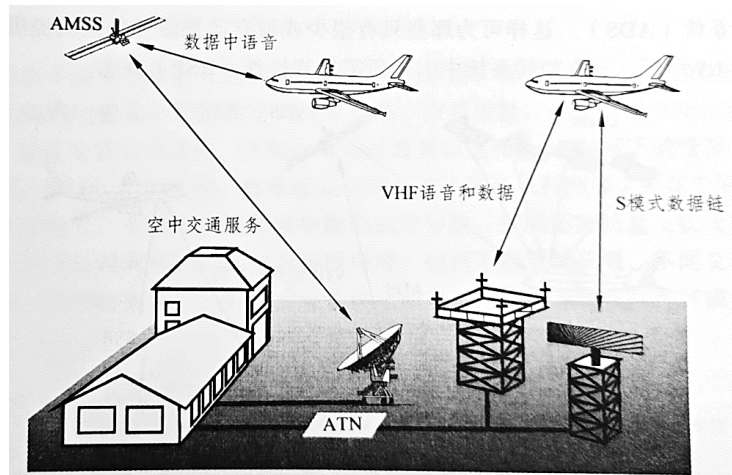
表2：空中流量管理系统（ATFM）实施四阶段

流量管理阶段	开展时间	具体工作内容
战略阶段 (先期流量管理)	通常在运行前二至六个月开展	<ol style="list-style-type: none"> <li>管制单位和运营人应共同开展战略规划，包括对下一航季的需求进行审议，评估何处或何时可能出现超出管制容量，并视情采取下列措施：                     <ol style="list-style-type: none"> <li>(1)管制单位和运营人共同努力，在要求的地点和时间提供足够的管制容量；</li> <li>(2)改变某些班机航线(交通流)的走向；</li> <li>(3)适当时安排或重新安排航班计划；</li> <li>(4)确定战术流量管理措施的必要性。</li> </ol> </li> <li>提出班机航线走向方案(交通流向方案)时，航路航线的安排应尽可能减少对所涉飞行的时间和距离，且应有一定程度的选择灵活性，尤其是远程飞行。</li> <li>班机航线走向方案(交通流向方案)达成一致后，管制单位应当公布。</li> </ol>
预战术阶段 (飞行前流量管理)	通常在运行前一天开展	<p>应根据更新的需求数据对战略规划进行进一步的细化调整。主要工作包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.可以改变某些交通流向；</li> <li>2.对低负荷航路协调；</li> <li>3.商定战术流量管理措施；</li> <li>4.公布次日的流量管理计划。</li> </ol>
战术阶段 (实时流量管理)	在运行当日开展	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.执行协商一致的战术流量管理措施，特别是航空器地面延误程序，平衡需求与容量</li> <li>2.监视空中交通情况的变化以确保采用的战术流量管理措施达到预期效果，当报告有长时间延误时，及时采取或实施进一步措施，包括改变交通流走向和飞行高度层，最大程度地使用现有管制容量。</li> </ol>
事后流量管理	事后	空管部门、机场部门、航空公司进行复盘分析，对空管部门进行事件效能评价。

资料来源：《民用航空空中交通管理规则》，莱斯信息招股说明书，浙商证券研究所

航空通信系统的核心在于发展飞机与地面之间的双向数据通信。航空双向通信网络的实现依赖于多种传输途径，包括甚高频（VHF）语音/数据链通信、高频（HF）语音/数据链通信、航空移动卫星通信（AMSS）以及二次雷达S模式数据链通信。航空电信网（ATN）作为连接枢纽，使得飞机上的机载电子设备与地面各单位、部门之间的信息流通，从而实现空/地、以及地/地不同通信网络端用户之间的无缝数字交换。

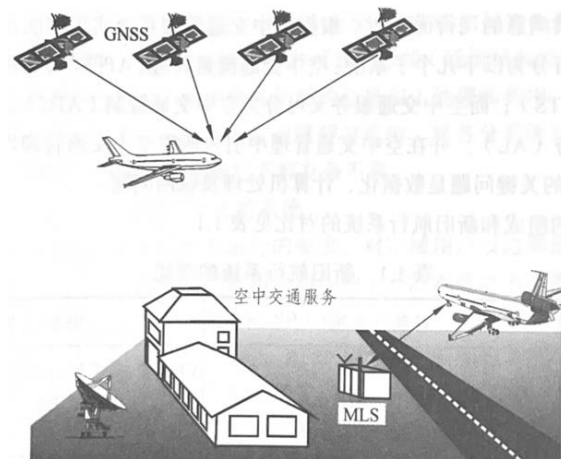
图5: CNS/ATM 系统中的通信系统



资料来源:《新一代空中交通管理系统(第2版)》, 浙商证券研究所

航空导航系统的关键在于全球导航卫星系统（GNSS）。CNS/ATM 体系中的导航系统在传统导航方法的基础上，逐步引入了区域导航能力（RNAV），并确保符合所需的导航性能（RNP）标准。全球导航卫星系统（GNSS）提供了全球范围内的航路导航、进离场以及进近着陆的精确指引；微波着陆系统（MLS）或差分卫星导航系统（DGNS）预计将逐步取代现有的仪表着陆系统（ILS）。与此同时，传统的导航设备，如无方向信标（NDB）、甚高频全向信标（VOR）和测距仪（DME）将逐渐退出导航领域；惯性导航系统（INS/IRS）仍将保留，并与卫星导航技术相结合形成更为先进的组合导航系统。

图6: CNS/ATM 系统中的导航系统

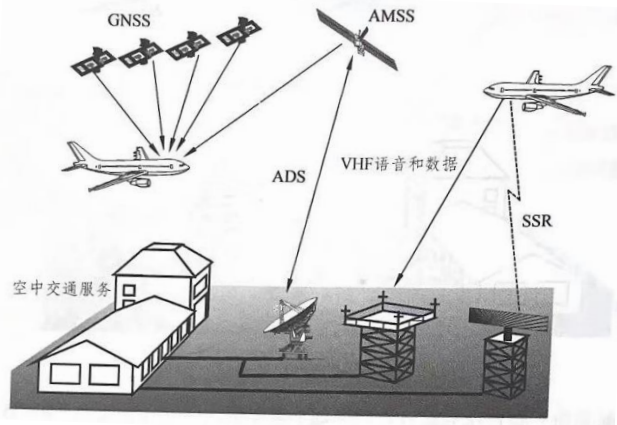


资料来源:《新一代空中交通管理系统(第2版)》, 浙商证券研究所



**航空监视系统中二次雷达与 ADS 实现区域互补。**在 CNS/ATM 空管系统的监视系统中，特别是在高交通密度区域，二次雷达（SSR）仍然扮演着重要角色，S 模式二次雷达将得到全面扩展应用。与此同时，为覆盖监视服务不足或缺失的区域，如海洋空域和边远陆地区域，自动相关监视系统（ADS）将被广泛采用，以提供全面的监视信息，并在监视系统中引入所需监视性能（RSP）的概念，保障监视区域的航空安全性。

图7：CNS/ATM 系统中的监视系统

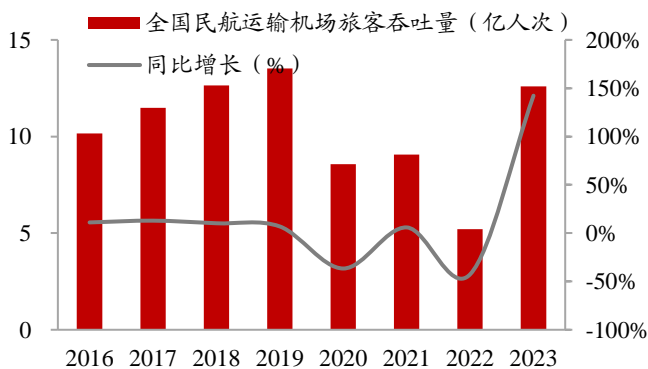


资料来源：《新一代空中交通管理系统(第2版)》，浙商证券研究所

**航空运行需求扩大，空中交通保障能力要求提升。**2016年至2019年，随着国内经济持续发展，人民群众生活水平不断提高，中国民航运输机场旅客吞吐量从10.16亿人次增长至13.52亿人次，3年CAGR约10%；2020年-2022年受宏观经济影响吞吐量有所下滑，但随着中国民航产业的逐渐恢复，2023年中国民航运输机场旅客吞吐量已恢复到2019年93.2%的水平，中长期恢复趋势向好，对空中交通保障能力也提出了更高要求。

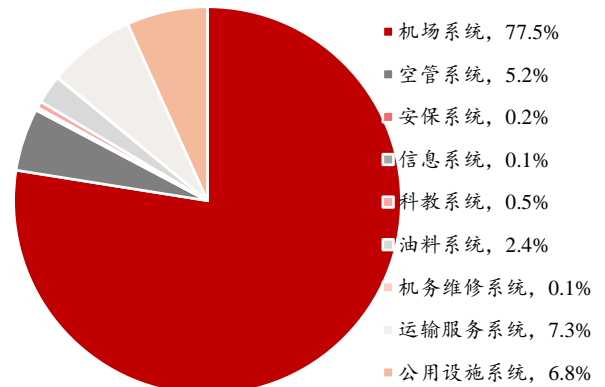
**2023年我国空管系统固定资产投资额约64.5亿元。**根据《民航行业发展统计公报》，2015-2023年我国民航基本建设和技术改造投资额从769.3亿元增长至1241.3亿元，8年CAGR约6%。根据2019年统计公报，当年空管系统投资完成额约50.6亿元，占民航基本建设和技术改造总投资比重约5.2%，按此比例测算2023年我国空管系统投资完成额约64.5亿元。

图8：全国民航运输机场旅客吞吐量（单位：亿人次，%）



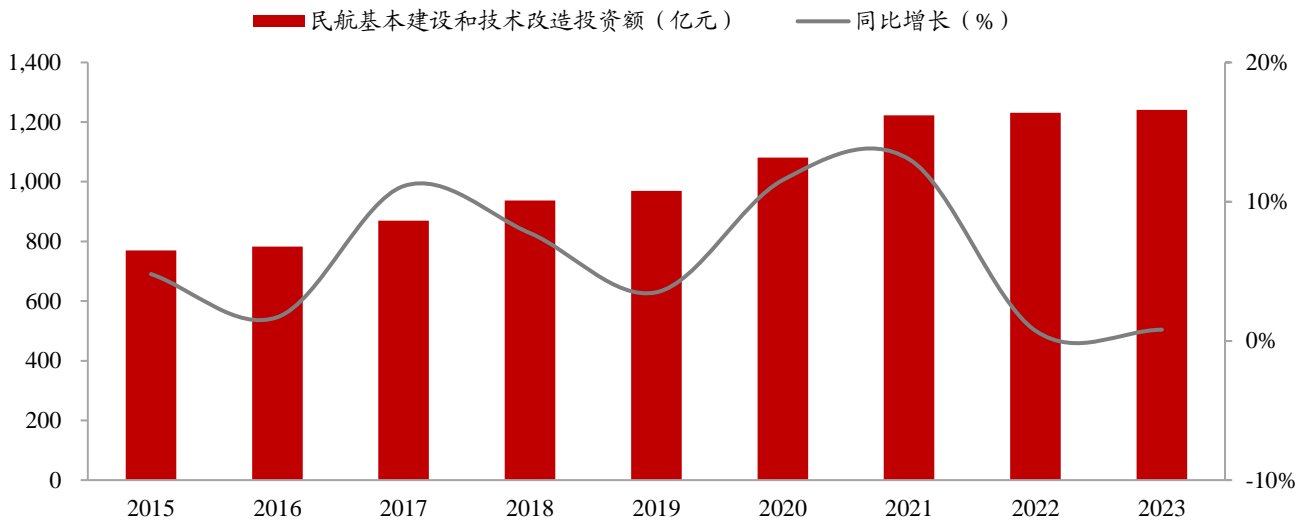
资料来源：民航行业发展统计公报，浙商证券研究所

图9：2019年民航基本建设和技术改造投资按划分（单位：%）



资料来源：民航行业发展统计公报，浙商证券研究所

图10: 2015-2023年民航基本建设和技术改造投资额(单位:亿元,%)



资料来源: 民航行业发展统计公报, 浙商证券研究所

**民航空中交通管理系统自主可控进行时。**截至2016年,中国民航局使用法国泰雷兹公司的空管系统管理着全国60%的空中交通。民航产业作为国家社会经济发展与安全保障的重点行业,国产替代必要性凸显。国内厂商经过技术学习和积累,以及对行业本土化特征和国内用户个性化需求的理解加深,在空管产品市场推广与产品应用上逐步形成相对优势。目前,莱斯信息、川大智胜、华泰英翔、民航2所、东进航空等国内厂商和院所正在逐步实现国际民航领先技术的突破,推动国内民航产业关键领域的国产化替代。

表3: 国内空管系统领先企业

企业	公司简介
莱斯信息	莱斯信息拥有丰富的空管系统研制经验,是国内民航空管系统领域的龙头企业,产品与技术打破国际垄断。公司民航空管领域主要产品为各类民航空中交通管理系统,按照业务功能主要分为两类产品: <b>管制指挥类(ATC)系统和流量管理类(ATFM)系统</b> 。这些系统利用通信、导航技术和监控手段对飞机飞行活动进行监视和控制,为民用航空器的飞行提供各类空中交通管理服务,有效维护空中交通秩序,促进空中交通安全,保障空中交通畅通。
川大智胜	川大智胜以“产学研深度融合”为特色,长期坚持自主创新,将图形图像技术应用到航空与空中交通管理、飞行模拟和通用航空等领域。是国内领先的空中交通产品开发、系统集成和服务供应商。
华泰英翔	华泰英翔由中国民航空管技术装备发展有限公司(TEDC)和法国泰雷兹集团(Thales)共同建立并获得了中国民用航空局空中交通管理局和中华人民共和国政府批准的一家合资企业,公司成立于2007年,总部位于北京市海淀区。
民航2所	中国民航局第二研究所主要从事民航信息管理系统、 <b>空中交通管理系统</b> 、机场弱电系统、航空物流系统的设计、研究、开发及科技成果产业化推广,空管自动化控制技术处于国内领先水平。民航2所目前已建成民航一流的空管、电子信息和物流科研基地和空管新技术应用实验室。
东进航空	自1993年以来,东进始终如一的专注于 <b>军、民航空管系统技术装备</b> 的研制、生产和技术服务,是国内空管领域的著名企业。2012年,东进作为总体建设单位,承担了我国低空空域对空监视和地空通信设施(海南地区)的试点建设工作,为国家推进低空空域服务保障体系建设积累了经验。

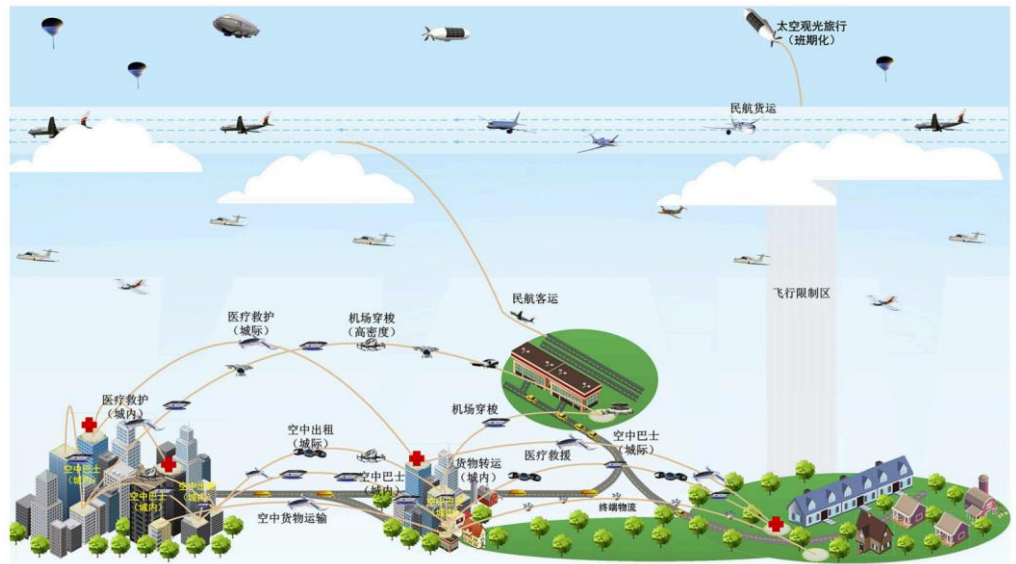
资料来源: 莱斯信息官网, 莱斯信息招股说明书, 中国民航局, 东进航空官网, 浙商证券研究所整理

## 2 低空空管系统：低空经济发展空管先行

管什么？——低空空管系统主要针对超低空运行、中低空混合运行、高空融合运行和隔离运行 4 种典型场景中的各类无人机和通航飞机。《无人机系统空域管理技术》提出了一种低空空域分层使用场景：

- 1) **超低空运行场景中的微型、轻型、小型无人机。**超低空指真高 120m（含）以下且不包括民航空管管治范围的空域，微、轻、小型无人机在此范围内进行视距内或超视距飞行，且与有人机相互隔离运行，主要应用包括个人娱乐、农林植保、电力巡线、应急救援、国土测绘、支线及末端物流等；
- 2) **中低空混合运行场景中的所有类型无人机。**中低空混合运行场景主要指民航空管管治范围以外的、不包含超低空运行场景的空域范围，所有类型无人机均可在此范围内进行超视距飞行。无人机与有人通用航空器可以混合运行，主要应用于支线物流、应急救援、短途载人运输等；
- 3) **高空融合运行场景中的大中型无人机。**高空融合运行场景主要指民航空管管治范围，大中型无人机应基于仪表飞行规则飞行，与运输航空飞机融合运行，主要应用场景为公共航空运输。该场景下应基本沿用现有民航空中交通管理体系；
- 4) **隔离空域运行。**当无人机系统不具备感知避让能力时，应当与有人机进行时间或空间隔离，采用隔离空域运行。

图11：空中交通智能化运行概念场景



资料来源：《空中交通智能化管理的科学与技术问题研究》，浙商证券研究所

**与传统空管的差异？**——主要体现在无人驾驶航空器密度大幅提升。根据国家空域基础分类方法，微型、轻型、小型无人驾驶航空器应在真高 120m 以下的 G 类空域内飞行，因此相较于传统民航航空器密度会大幅提升，从而衍生出低空空管的核心问题：高密度空中交通流管理。此外，传统民航空管多采用飞行员-管制员的交互方式进行管理，该方式对于无人驾驶航空器而言同样不适用。

表4: UAM与地面交通、民航运输的区别和联系

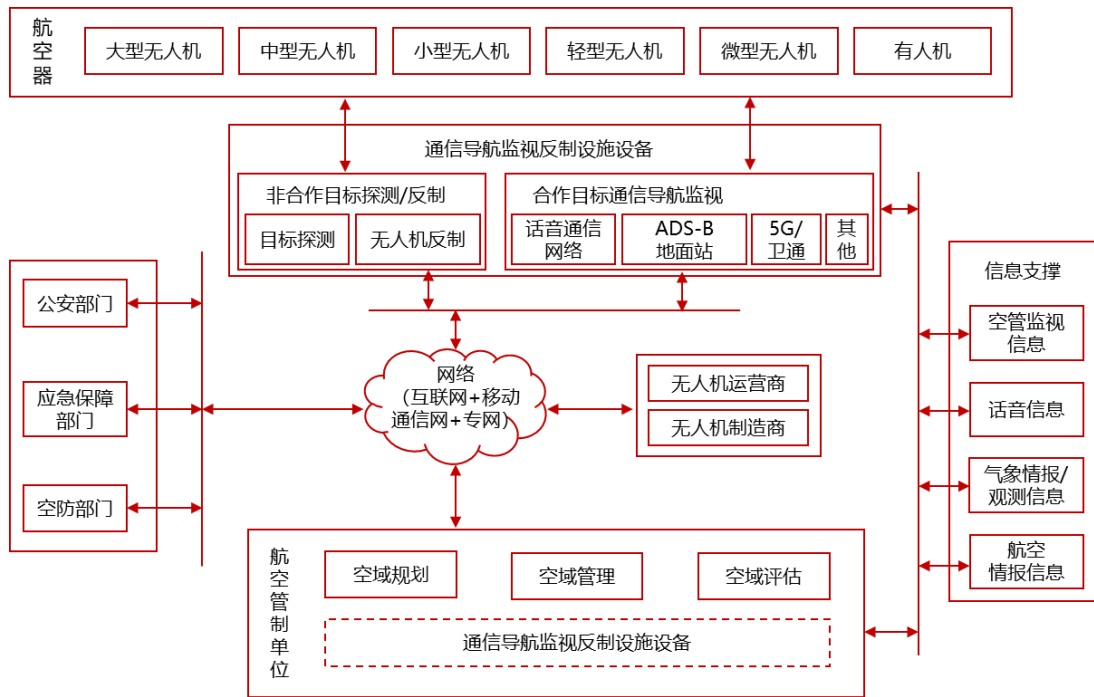
分类	UAM	地面交通	民航运输
交通流特性	高流量密度	高流量密度	低流量密度
管控方式	统一的交通规则，主要自动化管控，人力监管为辅	统一的交通规则，主要自动化管控，人力监管为辅	人力监管过程
服务目的	城市内居民出行可选择的一种交通方式	城市内居民出行可选择的一种交通方式	跨城远距离运输
交通发生原因	城市内个体居民因购物、通勤、上学等不同出行目的发生的交通行为	城市内个体居民因购物、通勤、上学等不同出行目的发生的交通行为	个体居民因出差、公务、旅游等出行目的发生的远距离交通行为
服务范围	城区内、城郊	城区内、城郊	跨城、跨国
服务方式	按需响应、狭义的公共交通	按需响应、狭义的公共交通	固定航班、广义公共交通
运行维度	三维空间	二维平面	三维空间
载运工具	差距大、标准不统一	差距不大，标准不统一	差距不大、标准统一

资料来源:《城市空中交通及其新型基础设施低空公共航路研究综述》，浙商证券研究所

**怎么管？——低空空管系统架构涉及航空器系统、空中交通管理服务、运行规范与政策制定以及公共安全保障等多个关键要素，须由多部门联合配合管理。**由于低空空域开放时间较短，目前国内尚未形成成熟的低空/无人机的空管系统。《无人机系统空域管理技术》提出了一种低空空管系统架构，确保低空/无人机空管的有效性和安全性：

从系统运作的宏观视角看，低空空管的范畴不仅限于航空器的设计和制造阶段，更延伸至包括飞行运用和后期维护等环节的整个生命周期。在此过程中，涉及的主体众多，包括但不限于无人机本身、传统有人驾驶航空器、无人机的运营与制造企业、空中交通管制机构，以及公安机关、应急管理部门和国防空防单位等。

图12: 一种低空空域管理运行系统架构



资料来源:《无人机系统空域管理技术》，浙商证券研究所绘制

**表5：低空空域管理的相关单位和管理对象**

类别	名称	描述
服务对象	无人机	低空空管的管理对象，根据空域运行条件配置所需的空管航电设备
	无人机制造单位	低空空管关联方，主要负责无人机机载设备满足相关空域运行所需规定和技术要求
	无人机运营单位	实施无人机飞行作业单位和人员，负责整个低空空管系统运行和安全，按照管理服务规定开展飞行活动
管理服务方	航空管制单位	提供航空器空中交通管制的机构，接收计划申请、承办飞行审批、对航空器的滑行/起飞/着陆和空中飞行实施监督与管理，为航空器飞行提供安全间隔和安全措施
	公安部门	针对涉及公共安全业务的空管服务，负责违法违规无人机落地后的秩序和现场处置
	应急保障部门	针对涉及应急救援业务的空管服务，包括无人机遇险应急救援的组织、管理和实施救援行动
支持保障设施	空防部门	针对涉及空防安全、临时空域的划设与管理，从空防角度加强无人机空防安全管控，降低无人机对民航飞行、运行安全和对国家空防安全的影响
	非合作目标探测/反制	作为特定低空空域的空管监视手段，对低空合作/非合作目标进行探测，采用雷达、光电、频谱探测、卫星导航干扰等多种手段，实现对低空目标的探测、跟踪、定位和反制
	合作目标通信导航监视	低空空管的监视保障支撑，对合作无人机、有人机提供通信导航监视能力的地面空管保障设施设备，主要提供甚高频通信、测控链路通信等通信能力，提供卫星导航、惯导、导航定位增强等导航能力，提供雷达、ADS-B、北斗短报文监视、通信测控链路监视等监视能力

资料来源：《无人机系统空域管理技术》，浙商证券研究所

**预计2030年国内低空空管累计市场规模将超过2000亿元。**通过假设低空空管价值量、建设面积及建设节奏，计算国内低空空管市场规模：

**核心假设 1—单位价值量：**根据苏州市公共资源交易平台公布的《太仓市民用无人机试飞基地建设和服务项目的招标公告》，项目预算金额 2650 万元（其中低空 5G 智能能力建设设备部分 630 万元；低空 5G 智能能力建设服务部分 450 万元；低空服务管理平台 950 万元；配套设施建设 350 万元；总体方案研究及其他服务 270 万元）。根据太仓发布公众号，该试飞基地面积约 21 平方公里，由此计算每平方公里投资量约 126 万元。考虑技术进步等因素，2024-2028 年每平方公里投资量每年提升 2%，2028-2030 年每平方公里投资量年增速分别为 2%、1%、0%。

**核心假设 2—建设面积：**据我国行政区划，全国共有 4 个直辖市、293 个地级市、388 个县级市，合计 685 个城市。考虑太仓作为县级市其**低空试验区占地面积**已有 21 平方公里，假设到 2027 年县级市/地级市/直辖市初步建成的低空空管覆盖面积分别为 50/100/400 平方公里，对应太仓市/南京市/重庆市的空管面积与土地面积比例分别约 6.2%/1.2%/0.5%；假设到 2030 年县级市/地级市/直辖市的进一步扩容后的低空空管覆盖面积分别为 150/300/1200 平方公里，对应太仓市/南京市/重庆市的空管面积与土地面积比例分别约 18.5%/3.5%/1.5%。

**核心假设 3—建设节奏：**根据《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030 年）》，到 2027 年以无人化、电动化、智能化为技术特征的新型通用航空装备在城市空运、物流配送、应急救援等领域实现商业应用，形成 20 个以上可复制、可推广的典型应用示范，据此假设 2027 年有 378 个城市（4 个直辖市-100%建成率+161 个地级市-55%建成率+213 个县级市-55%建成率）初步完成低空空管建设（仅考虑直辖市和地级市则示范率约 12%）。到 2030 年“干-支-末”无人机配送网络、满足工农作业需求的低空生产作业网络安全高效运行，通用航空装备成为低空经济增长的强大推动力，形成万亿级市场规模，据此假设 2030 年全国 685 个城市全面完成低空空管建设。

**扩容角度，**我们假设 2027 年部分城市开始抢跑扩容，2027-2030 年分别有 1/2/1/0 个直辖市、16/32/64/48 个地级市、21/43/85/64 个县级市完成扩容。由此计算 2027/2030 年我国低空空管建成（新建+扩容）总面积分别为 34542/150900 平方公里。

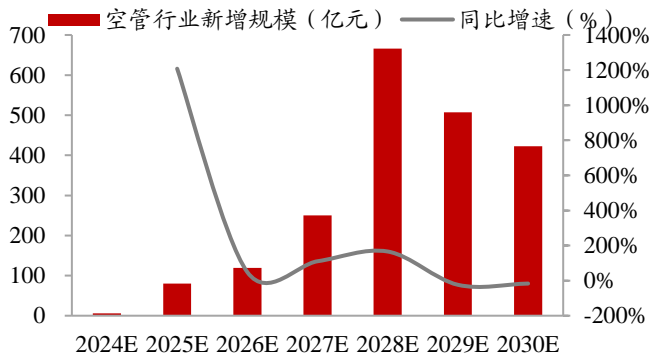
根据上述假设，预计2024年国内低空空管市场规模约6.1亿元，2027年低空空管市场规模将增长至456亿元，2024-2027年3年CAGR约320.4%；2030年低空空管市场规模将增长至2052亿元，2024-2030年6年CAGR约163.5%。

表6: 全国低空空管系统市场规模测算(单位: 个, 平方公里, 万元/平方公里, 亿元, %)

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<b>建成城市数量(个)</b>	<b>7</b>	<b>90</b>	<b>207</b>	<b>378.6</b>	<b>549</b>	<b>617</b>	<b>685</b>
直辖市	0	1	3	4	4	4	4
地级市	3	38	88	161	234	264	293
县级市	4	50	116	213	310	349	388
<b>新增城市数量(个)</b>	<b>7</b>	<b>83</b>	<b>118</b>	<b>171</b>	<b>170</b>	<b>68</b>	<b>68</b>
直辖市	0	1	2	1	0	0	0
地级市	3	35	50	73	73	29	29
县级市	4	47	66	97	97	39	39
<b>27年起扩建城市数量(个)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>38</b>	<b>77</b>	<b>151</b>	<b>112</b>
直辖市	0	0	0	1	2	1	0
地级市	0	0	0	16	32	64	48
县级市	0	0	0	21	43	85	64
<b>单个城市的新建空管面积(平方公里)</b>							
直辖市	400	400	400	400	1200	1200	1200
地级市	100	100	100	100	300	300	300
县级市	50	50	50	50	150	150	150
<b>单个城市的空管扩建面积(平方公里)</b>							
直辖市	0	0	0	800	800	800	800
地级市	0	0	0	200	200	200	200
县级市	0	0	0	100	100	100	100
<b>空管新增面积(平方公里)</b>	<b>487</b>	<b>6244</b>	<b>9079</b>	<b>18732</b>	<b>48839</b>	<b>36838</b>	<b>30681</b>
直辖市	0	400	800	1200	1600	800	0
地级市	293	3516	4981	10548	28421	21682	18459
县级市	194	2328	3298	6984	18818	14356	12222
<b>空管建成总面积(平方公里)</b>	<b>487</b>	<b>6731</b>	<b>15810</b>	<b>34542</b>	<b>83381</b>	<b>120219</b>	<b>150900</b>
直辖市	0	400	1200	2400	4000	4800	4800
地级市	293	3809	8790	19338	47759	69441	87900
县级市	194	2522	5820	12804	31622	45978	58200
<b>单位价值量(万元/平方公里)</b>	<b>126</b>	<b>129</b>	<b>131</b>	<b>134</b>	<b>136</b>	<b>138</b>	<b>138</b>
<b>低空空管行业新增规模(亿元)</b>	<b>6.1</b>	<b>80.2</b>	<b>119.0</b>	<b>250.5</b>	<b>666.1</b>	<b>507.4</b>	<b>422.6</b>
同比增速(%)		1207.8%	48.3%	110.4%	165.9%	-23.8%	-16.7%
<b>低空空管行业累计规模(亿元)</b>	<b>6.1</b>	<b>86.4</b>	<b>205.4</b>	<b>455.9</b>	<b>1122.0</b>	<b>1629.4</b>	<b>2052.0</b>
同比增速(%)		1307.8%	137.8%	121.9%	146.1%	45.2%	25.9%

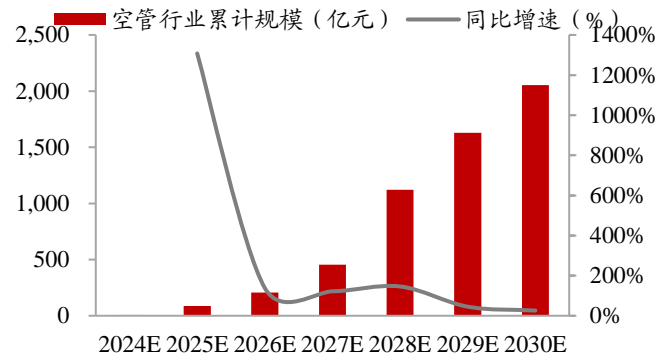
资料来源: 中华人民共和国行政区划统计表, 苏州市公共资源交易平台, 太仓发布公众号, 《通用航空装备创新应用实施方案(2024-2030年)》, 浙商证券研究所测算

图13: 低空空管行业新增规模 (单位: 亿元, %)



资料来源: 中华人民共和国行政区划统计表, 苏州市公共资源交易平台, 太仓发布公众号, 《通用航空装备创新应用实施方案 (2024-2030年)》, 浙商证券研究所测算

图14: 低空空管行业累计规模 (单位: 亿元, %)



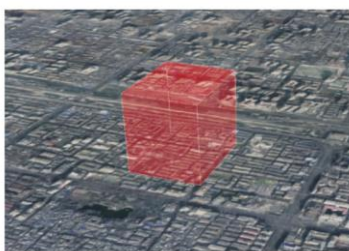
资料来源: 中华人民共和国行政区划统计表, 苏州市公共资源交易平台, 太仓发布公众号, 《通用航空装备创新应用实施方案 (2024-2030年)》, 浙商证券研究所测算

## 2.1 空域管理: 低空空管基石

### 2.1.1 低空空域规划: 基于空域栅格 (网格化) 技术

低空空域栅格技术实现对低空空域资源的充分利用。低空空域栅格量化表征基于网格参考系统, 将低空空域划分为若干个层级化、多尺寸的无缝且不重叠的网格单元, 通过栅格编码以及空域属性等信息对低空空域进行定量描述。进一步的, 可以将离散化的空域栅格划再分为**可用栅格**、**保护栅格**和**限制栅格**, 或将点状栅格拓展为线状和区状栅格, 不仅可以直观区分空域中不同区域状态, 还可对航空器飞行航线进行规划和优化。

图15: 空域栅格化表征



点状空域栅格化表征



线状空域栅格化表征

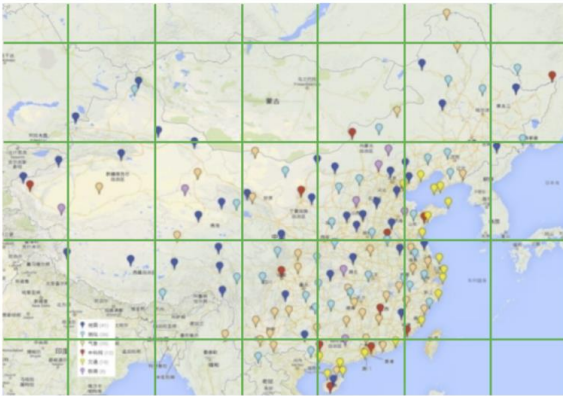


区状空域栅格化表征

资料来源: 《基于 GeoSOT 网格的空域栅格化表征方法》, 浙商证券研究所

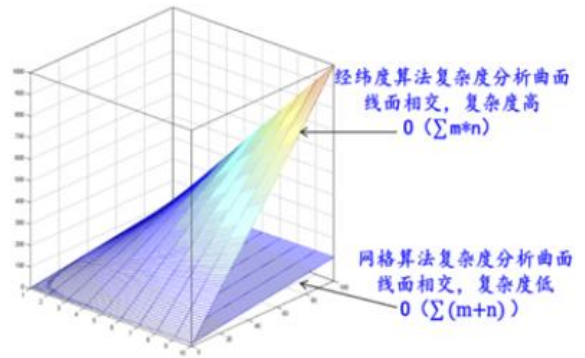
北斗网格码类似于经纬度坐标系统, 但精度更高、计算复杂度更低、应用范围更广。北斗网格位置码是在地球空间剖分理论基础上发展起来的、适用于北斗卫星导航系统各种应用终端输出的一种网格位置编码, 它与以 GeoSTO (Geographical coordinate global Subdivision based on One-dimension-integer and Two to  $n^{\text{th}}$  power) 模型为基础的相关编码体系同根同源、一脉相承, 设计上与北斗卫星导航系统 (包括增强系统) 的定位精度相适应, 同时兼顾人和设备的使用, 是经纬度点位置编码体系的重要补充。

图16: 基于北斗网格码的空间区域网格化



资料来源: 北斗伏羲官网, 浙商证券研究所

图17: 网格算法与经纬度算法计算复杂度对比



资料来源: 北斗伏羲官网, 浙商证券研究所

表7: 北斗网格码与其他地球建模技术比较

	位置框架	数据模型	空间维度	实时数据	数据融合	空间计算	时空索引
GIS	经纬度	矢量地图	二维	私有 ID 关联	叠加展示	矢量方程计算 复杂	较强
数字地球	平面网格	地表模型	2.5 维	私有 ID 关联	叠加展示	矢量方程计算 复杂	弱
BIM	局部坐标	对象模型	三维(2.5 维)	私有 ID 关联	封闭模型	矢量方程计算 复杂	弱
传统 CIM	经纬度+局部坐标	GIS+BIM	二维+三维 (2.5 维)	私有 ID 关联	叠加展示	矢量方程计算 复杂	弱
北斗网格码	立体网格	立体网格全空间	真三维	共有 ID 关联	统一数据模型	网格匹配计算 简单	强

资料来源: 北斗伏羲官网, 浙商证券研究所

**北斗网格码下沉低空空域管理, 建设低空智联网。**低空智联网是通过新一代低空通讯、低空定位以及低空三维立体网格空域图建模等技术, 将低空空域建设成类似现代地面交通的空域网格化指挥与服务系统。北斗网格码理论体系可以将地心到地球外围的 50 万公里实现网格化剖分, 因此依托北斗网格码国家标准, 可以将低空空域及下垫面的三维空间按米级或十米级立体网格数字化, 实现空地信息基础设施一体化建设, 亦即低空智联网的建设。

**合肥骆岗公园建设国内首个基于北斗网格码的全空间无人体系城市级应用示范项目。**骆岗全空间无人体系采用北斗伏羲全球领先的 GeoSOT 地球网格剖分理论体系, 首次实现了“北斗网格+全空间无人体系”的深度融合, 构建了全球首个“陆海空天电”全域立体网格空域图, 提供空域划设管理、航线自动规划导航、多飞行器飞行协同, 全域态势感知等应用, 支撑智慧巡检、智能摆渡、物流配送、城市通勤等多任务场景。基于北斗网格全域立体网格空域图的全空间立体分层管理能力, 实现多类型无人器全域融合运行, 全量态势感知, 全程“高德”式服务, 助力低空经济发展行稳致远。



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/637134126156006115>