

2025 西部地区低空经济发展 研究报告

主编单位：新华网低空经济研究院 西北工业大学电子信息学院

参编单位：中国信息协会低空经济分会 中国通信企业协会

零重力飞机工业（合肥）有限公司等

二〇二五年八月

2025 西部地区低空经济发展研究报告编委会

编委会主任:

陈华

编委会副主任:

李明 李勇

编委会成员:

李明 李勇 韩振 程伟 胡皓冉 于檬 王惠峥 赵俊涅
李宜恒 石红 赵洪钢 董理濛 杨军华 刘洋

目录

一、低空经济产业概述	5
1.1 背景概况	5
1.2 低空经济体系架构	6
1.基础层：低空基础设施网络	6
2.核心层：航空器研发制造	6
3.应用层：低空运营服务生态	7
4.保障层：综合管理体系	7
1.3 低空经济核心价值	8
1.生产生活方式的变革者	8
2.新质生产力的培育者	8
3.空间经济格局的重塑者	9
二、低空经济政策发展	9
2.1 国外低空经济政策发展	9
2.2 国内低空经济政策发展	10
2.3 西部地区低空经济政策	11
三、低空经济产业生态	13
3.1 低空经济产业结构	13
3.2 全球主要地区低空经济产业发展	17
3.3 我国低空经济产业发展概况	19
3.4 西部地区低空经济产业发展情况	20

1.产业基础：构建全链条发展体系	20
2.产业应用场景：特色领域创新突破	21
3.发展特色：政策协同与区域联动	22
四、低空经济技术体系	23
4.1 低空经济重点技术	24
4.1.1 空域智能管理	24
4.1.2 低空飞行器技术	26
4.1.3 低空空域管理	27
4.1.4 能源与基础设施技术	28
4.2 低空经济关键技术创新	29
4.2.1 空域管理智能化	29
4.2.2 低空数字底座	31
五、低空经济应用场景	32
5.1 典型应用场景	32
5.1.1 低空物流配送	32
5.1.2 城市空中交通（UAM）	34
5.1.3 智慧农业服务	34
5.1.4 基础设施巡检	35
5.1.5 应急救援	36
5.2 西部地区重点应用场景	38
5.2.1 高原物流网络构建	38
5.2.2 生态监测保护	39

5.2.3 能源基地智能运维	40
5.2.4 边境应急救援	41
5.2.5 文旅融合创新	42
六、西部地区低空经济发展瓶颈与挑战	42
6.1 自然条件	42
6.1.1 机遇：独特地理环境催生的广阔应用场景	43
6.1.2 挑战：制约低空飞行的核心自然因素	44
6.1.3 自然条件差异性与适应性策略	44
6.2 产业生态	46
6.2.1 “西部筑基”：产业生态雏形初现，创新平台加速构建	46
6.2.2 西部地区低空经济核心发展路径	47
6.3 政策因素	48
6.3.1 国家层面政策框架：西部大开发的“低空”新篇章	48
6.3.2 西部地区省级政府政策布局与实施细则	49
6.3.3 政策实施面临的关键挑战与技术壁垒	51
七、发展建议与路径规划	52
7.1 强化基础设施建设：奠定高飞之基	52
7.1.1.物理基础设施：构建“空地一体”的起降网络	52
7.1.2.数字基础设施：打造“精准智能”的数字天路	53
7.1.3.投融资模式创新：引入社会资本，撬动万亿市场	53
7.2 完善产业生态：构建协同之链	54
7.3 政策保障与创新：筑牢发展之盾	55

7.3.1 用好用足《西部地区鼓励类产业目录》	55
7.3.2 创新地方性法规与监管模式	55
7.3.3 强化金融支持与风险分担	56
7.4 人才培育与技术攻坚：打造核心之擎	56
7.4.1.直面人才缺口，优化培养体系	56
7.4.2.明确技术攻坚优先领域	57

一、低空经济产业概述

1.1 背景概况

低空经济作为国家战略性新兴产业的重要增长极，是新质生产力在立体空间领域的集中体现。其核心空域范围划分为垂直高度 1000 米以下，在应急救援、跨区域物流等特殊场景中可延伸至 3000 米低空空域。这一经济形态以民用有人驾驶航空器（如直升机、通用飞机）和无人驾驶航空器（各类无人机）为核心载体，通过载人通勤、物资运输、专业作业等多元化低空飞行活动，串联起研发设计、生产制造、运营服务、综合保障等全产业链环节，形成兼具技术突破性与场景创新性的经济生态。其显著特征包括：产业链覆盖“研发—制造—应用—服务”全链条，涉及航空航天、新材料、人工智能等 20 余个关联产业；技术密集度高，融合了空气动力学、智能控制、5G 通信等跨学科技术；服务场景覆盖城市交通、乡村振兴、应急管理 30 余个领域，对相关产业的带动系数可达 1:10 以上。

从全球发展脉络看，低空经济经历了从工具应用到生态构建的演进历程。1920 年代农业航空作业开启产业化序幕，1950 年代直升机投入海上石油服务标志着多元化应用起步，1980 年代公务航空普及推动市场规模快速扩张。当前，在碳中和与智能化浪潮驱动下，全球低空经济进入“绿色化、智能化、场景化”转型期。美国通过“先进空中交通（AAM）”战略构建了完整政策体系，其《先进空中交通基础设施现代化法案》明确 2025 年前建成 10 个城市空中交通试点枢纽，Joby Aviation 等企业已完成 eVTOL（电动垂直起降飞行器）千架级生产线建设。欧盟依托“创新空中交通（IAM）”框架，在德国慕尼黑、荷兰鹿特丹等城市开展空中出租车常态化运营试点，2024 年欧洲无人机物流市场规模突破 80 亿欧元。巴西在农业航空领域形成独特优势，全国 70% 的农药喷洒通过无人机完成，单架农业无人机年均作业面积达 3 万亩。

我国低空经济发展呈现“政策驱动—技术突破—场景爆发”的递进态势。2010 年安阳作为首个低空开放试点城市，开启地方探索；2021 年《国家综合立体交通网规划纲要》首次将低空经济纳入国家交通网络体系；2023 年中央经济工作会议将其列为战略性新兴产业，标志着发展进入国家战略层面。政策体系持续完善，形成“顶层设计+专项法规+地方细则”的三级架构：2024 年实施的《无人

《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》建立了分类分级管控体系，明确 120 米以下空域无需审批的便民规则；《低空空域使用管理办法（试行）》在安徽、湖南等 7 省开展“分类划设、动态调整”空域管理改革。同时，标志性项目也在加速落地：2024 年 8 月开通的沪苏跨省低空航线采用“直升机+固定时刻”模式，单程耗时仅 18 分钟，较地面交通缩短 75%；11 月投入使用的珠三角阶梯式空域，通过“100 米以下自由飞、100-300 米报备飞、300-1000 米审批飞”的分层管理模式，使无人机物流配送效率提升 3 倍。这些进展推动我国低空经济市场规模从 2015 年的不足千亿元，跃升至 2024 年的 6800 亿元，年均复合增长率达 23%。

1.2 低空经济体系架构

低空经济体系架构呈现“四维立体金字塔”结构，由基础层、核心层、应用层和保障层构成，各层级通过数据交互与业务协同形成动态平衡的生态系统。

1.基础层：低空基础设施网络

作为产业发展的“骨骼系统”，包含地面与空中两类基础设施。地面设施方面，形成“通用机—起降点—服务站”三级网络：通用机场承担区域枢纽功能，需配备跑道、停机坪、油库等设施，我国已建成通用机场 370 余个，2025 年将突破 500 个；垂直起降点分布于城市楼宇、乡村社区，如深圳已在写字楼楼顶建成 20 个直升机起降点；无人机服务站提供电池更换、数据处理等服务，京东在全国布局的 150 个智能服务站可实现无人机 5 分钟快速换电。空中设施聚焦“空天地一体化”通信导航体系：基于北斗三号的厘米级导航网络，为无人机提供亚米级定位精度；5G-A（Advanced）低空通信网络实现每平方公里 1000 架无人机的并发接入；空管雷达与电子围栏系统构建三维监控网络，如成都天府国际机场周边的低空监视系统可实时追踪 5 公里范围内的微型无人机。气象保障体系尤为关键，全国已建成 800 余个低空气象观测站，提供分钟级风切变、能见度等数据，保障复杂气象条件下的飞行安全。

2.核心层：航空器研发制造

构成产业的“心脏系统”，分为有人与无人驾驶两大品类。有人驾驶航空器中，直升机侧重多场景适应性，如贝尔 407GX 直升机可在 -40℃ 至 50℃ 环境下

作业，广泛用于高原救援；eVTOL 作为下一代载具，已形成“多旋翼、倾转旋翼、复合翼”三大技术路线，亿航 EH216-S 已获得全球首张载人 eVTOL 适航证，续航里程达 35 公里。无人驾驶航空器呈现出“梯度化、专业化”的发展趋势：消费级无人机（如大疆 Mavic 系列）占据全球 70% 市场份额；工业级无人机中，极飞 P100 农业无人机载重达 100 公斤，可实现夜间自主作业；行业级无人机如顺丰大型物流无人机“方舟”，载重 1.5 吨，续航 1200 公里，已用于海南岛屿间物资运输。核心技术突破体现在：碳纤维复合材料使航空器减重 30% 以上；氢燃料电池将无人机续航提升至 8 小时；智能飞控系统实现 99.9% 的自主避障成功率。

3.应用层：低空运营服务生态

作为产业价值释放的“血管系统”，涵盖三大服务类型。低空运输服务形成“空中通勤+物流配送”双轮驱动：城市空中交通（UAM）在广州、武汉开展试点，采用“预约制”运营模式，单程票价控制在 200-500 元区间；无人机物流构建“干线—支线—末端”网络，京东在江苏建成全球首个无人机智能配送港，日均处理订单 1.2 万单，偏远地区配送时效从 3 天缩短至 3 小时。低空作业服务渗透百业：农业领域，无人机植保作业面积从 2018 年的 5 亿亩增至 2024 年的 18 亿亩，农药利用率提升至 40%；电力行业，巡检无人机替代 80% 的人工爬塔作业，发现故障效率提升 10 倍；测绘领域，倾斜摄影无人机使三维建模成本降低 60%，精度达厘米级。低空文旅服务创新体验形式：直升机观光在张家界、黄山等地年接待游客超 50 万人次；热气球嘉年华在河北张北草原形成年度 IP，带动周边餐饮住宿收入增长 30%。

4.保障层：综合管理体系

构成产业的“免疫系统”，包含四大支撑体系。适航审定建立全生命周期管理，中国民用航空局已发布 28 项无人机适航标准，覆盖设计、生产、维修全环节。安全监管实行“技术+制度”双重防控：电子围栏系统在全国 137 个机场周边建成，拦截违规飞行成功率 98%；飞行人员资质管理体系累计培训执照持有人超 30 万人。空域管理推行“动态灵活使用”机制，湖南低空空域改革试点中，通过数字化空域划设，使飞行审批时间从 72 小时缩短至 1 小时。产业服务体系日益完善：保险方面，平安产险推出无人机“机身险+第三者责任险”，年保费

规模突破 5 亿元；金融方面，国家开发银行设立 200 亿元专项贷款，支持低空基础设施建设；人才培养上，南京航空航天大学等 50 所高校开设低空经济专业，年输送毕业生 1.2 万人。

1.3 低空经济核心价值

低空经济通过对传统平面空间利用模式的颠覆性革新与全要素资源配置效率的系统性提升，构建起兼具社会变革力、经济驱动力与空间重塑力的三重战略价值维度。

1.生产生活方式的变革者

在城市治理领域，空中通勤重塑出行时空格局：深圳前海至深圳湾的空中航线，将地面 1 小时车程压缩至 8 分钟，早晚高峰时段上座率达 85%；上海虹桥商务区试点“无人机快递柜”，3 公里范围内实现 15 分钟送达，解决“最后一公里”拥堵难题。在乡村振兴领域，无人机成为“新农具”：新疆棉田通过无人机播种、植保、巡检的全流程服务，每亩成本降低 200 元，产量提升 10%；云南山区依托无人机物流网络，使生鲜农产品损耗率从 25%降至 8%。在应急救援领域，构建“空地一体”响应体系：四川泸定地震中，无人机先于地面救援队抵达震中，传回实时影像；直升机吊装挖掘机等重型设备，在断路区域开辟救援通道，使被困群众转移时间缩短 50%。这些变革使社会运行效率提升 15%-20%，人民群众获得感显著增强。

2.新质生产力的培育者

带动产业链价值重构：航空器制造催生 10 万个高端岗位，无人机飞手、eVTOL 运维等新职业年增速超 50%；关联产业中，航空复合材料市场规模突破 2000 亿元，低空通信设备需求年增 40%。激活要素市场化配置：空域资源实现“时空切片”式利用，如杭州萧山机场周边空域，白天保障民航航班，夜间开放给物流无人机使用，使单位空域产值提升 3 倍；数据要素形成新交易标的，无人机航拍数据、气象数据等通过区块链技术实现可信交易，年交易额突破 10 亿元。创新商业模式涌现：“低空+”融合业态蓬勃发展，如“无人机+电力”形成巡检服务外包模式，年市场规模达 80 亿元；“直升机+医疗”构建空中 ICU，使危重

病人转运存活率提升 25%。据测算，低空经济每增长 1 亿元，可带动相关产业增长 10 亿元，创造 300 个就业岗位。

3.空间经济格局的重塑者

在区域协调发展方面，破解地理阻隔：青藏高原通过直升机通勤网络，使偏远县城与省会城市的通达时间从 2 天缩短至 4 小时；海南自贸港构建“空中环岛物流圈”，实现全岛 2 小时物资直达，推动岛屿经济一体化。在城乡融合方面，缩小发展差距：贵州“无人机村邮站”使农村快递覆盖率从 60%提升至 95%；陕西苹果主产区通过无人机植保，实现优果率从 70%提升至 85%，带动农户年均增收 3 万元。在立体空间开发方面，拓展经济疆域：城市立体停车场顶部改造为 eVTOL 起降点，使土地利用率提升 50%；海上风电场通过无人机巡检与直升机运维结合，发电效率提升 8%。这些变化推动形成“平面集约、立体拓展”的空间开发新模式，为经济增长开辟 3000 亿元以上的新增量空间。

二、低空经济政策发展

2.1 国外低空经济政策发展

全球低空经济政策呈现“立法先行、试点引领、生态协同”的特征，美国与欧洲形成了各具特色的政策范式。

美国以“全产业链政策包”推动产业落地。在顶层设计上，《先进空中交通（AAM）协调及领导法案》明确联邦航空局（FAA）、交通部（DOT）等 12 个部门的协同职责，设立跨部门 AAM 工作组，每年统筹 50 亿美元专项资金用于技术研发与基础设施建设。在基础设施领域，《先进空中交通基础设施现代化（AAIM）法案》要求 2026 年前在全国建成 50 个“空中交通枢纽”（Vertiport），每个枢纽最高补贴 1500 万美元，目前纽约、达拉斯等 10 个城市已启动建设，预计 2025 年投入运营。安全监管方面，FAA 实施“动态适航审定”机制，针对 eVTOL 推出“特殊适航证+生产许可”快速通道，Joby Aviation 的 S4 机型仅用 18 个月即完成适航认证，较传统流程缩短 60%。市场培育上，通过“政府购买服务”拉动需求，美国军方与民营企业签订 10 亿美元无人机物流合同，覆盖海外基地物资运

输；加州试点“空中救护车”服务，政府承担 30%运营成本，年服务超 2 万人次。

欧洲以“区域协同+场景突破”构建政策生态。欧盟层面《2022 年管理计划：机动性与运输战略》提出“2030 年实现欧盟境内空中出租车互联互通”的目标，设立“创新空中交通（IAM）基金”，规模达 80 亿欧元，重点支持 eVTOL 电池技术、低空通信标准研发。国家层面呈现差异化布局：德国推出“空中交通走廊计划”，在慕尼黑—柏林等 6 条航线试点“无人机优先通行权”，企业每开辟 1 条商业航线可获 200 万欧元补贴，目前已有 4 家企业开展常态化货运；法国聚焦农业无人机应用，对购买农业无人机的农户给予 30%购置补贴，2024 年农业无人机作业面积占比达 45%；英国通过“未来飞行计划”（FutureFlightChallenge）投入 3 亿英镑，在考文垂建成全球首个“空中交通整合测试中心”，实现无人机、直升机、eVTOL 在同一空域协同运行，年测试场次超 5000 架次。

日韩则以“精准政策”破解本土瓶颈。日本《无人机产业振兴计划》针对山区物流难题，对偏远地区无人机配送企业给予运营收入 20%的补贴，北海道试点线路使生鲜配送成本下降 40%；韩国《城市空中交通（UAM）路线图》明确 2025 年首尔市核心区实现“15 分钟空中通勤圈”，政府牵头现代汽车、韩亚航空组建 UAM 联盟，提供土地出让金减免 50%的政策优惠。

2.2 国内低空经济政策发展

我国低空经济政策构建了“国家战略引领、部委协同推进、地方创新实践”的三级体系，政策密度与落地效能持续提升。

国家层面——从“破冰探索”到“系统布局”

- 2010 年《关于深化我国低空空域管理改革的意见》首次提出“分类划设低空空域”，在沈阳、广州等 5 个飞行管制区开展试点，开启空域管理市场化探索，试点区域通用航空飞行量年均增长 18%；

- 2021 年《国家综合立体交通网规划纲要》将低空经济纳入“立体交通”范畴，明确“拓展通用航空服务领域”，推动低空经济与物流、旅游等产业融合，当年全国新增通用机场 23 个，无人机物流试点覆盖 12 个省份；

- 2023 年中央经济工作会议将低空经济列为“战略性新兴产业”，首次明确

其“新质生产力”属性，政策重心从“空域开放”转向“产业培育”，当年中华人民共和国国家发展和改革委员会牵头制定《低空经济发展三年行动计划（2024-2026 年）》，提出建设 10 个国家级低空经济示范区；

•2024 年政策实现“质的突破”：政府工作报告提出“打造低空经济新增长引擎”，明确“优化空域管理、完善基础设施、拓展应用场景”三大任务；同年 12 月中华人民共和国国家发展和改革委员会低空经济发展司成立，牵头出台《低空空域使用管理办法（试行）》，在 7 省推行“空域动态申请—实时审批”数字化管理，审批时间从 3 个工作日压缩至 2 小时。

地方层面——形成“特色化政策矩阵”

地方政策聚焦“产业定位+场景落地”，呈现三大导向：

地区	核心政策	特色举措	实施成效（2024 年）
北京	《北京市促进低空经济产业高质量发展行动方案（2024-2027 年）》	规划“京冀低空走廊”，对落地企业给予最高 5000 万元研发补贴；建设延庆无人机测试基地，开放 1000 平方公里测试空域	引进亿航智能等企业 38 家，低空经济产值突破 600 亿元
上海	《上海低空经济产业创新发展实施方案》	打造“虹桥低空经济产业园”，提供土地容积率奖励（最高 2.0）；试点“无人机+跨境电商”，浦东机场至洋山港物流航线日均货运 15 吨	城市空中交通试点累计飞行 1200 架次，客运量超 3 万人次
深圳	《深圳经济特区低空经济产业促进条例》	设立 200 亿元低空经济基金，对 eVTOL 适航认证企业奖励 2000 万元；建成全国首个低空通信网络，实现无人机“无死角”监管	无人机企业超 1500 家，占全国市场份额 35%，物流无人机配送订单破千万单

2.3 西部地区低空经济政策

西部地区依托“空域资源富集、场景需求迫切”的优势，政策呈现“差异化突破、区域协同”特征，形成“成渝陕”三大增长极。

陕西：以“航空产业底蕴”撬动政策创新

作为我国航空工业重镇（聚集全国 30%的航空科研资源），陕西构建“产业培育+空域开放+场景示范”政策三角：

- 产业扶持上，对航空及无人机企业实施“研发费用加计扣除 175%”税收优惠，对年营收超 10 亿元的企业给予 500 万元一次性奖励，2024 年航空和无人机制造业产值达 1980 亿元，其中西安航空基地聚集企业 210 家，形成“整机制造—零部件—维修服务”全链条。

- 空域改革走在前列，2024 年获批“低空空域管理改革试点省”，在榆林、汉中划设“1000 米以下空域灵活使用区”，企业可通过“线上平台”实时申请飞行，审批效率提升 80%；建成全国首个“无人机适航审定陕西分中心”，缩短企业认证周期至 6 个月。

- 场景落地成效显著：神木市通过“无人机造林”项目年作业 30 万亩，成活率提升至 85%；定边县“无人机物流村村通”覆盖 87 个行政村，农产品进城时效从 2 天缩至 6 小时，年带动农户增收超 2000 万元。

四川：打造“全产业链政策生态”

凭借中大型无人机产业规模全国第一的基础，四川政策聚焦“强链补链+基础设施”：

- 省级层面《关于支持通用航空产业发展的若干政策措施》提出“三补一奖”：对新引进的低空经济企业，按投资 1%给予补贴（最高 1 亿元）；对通用机场建设给予 30%资本金补助；对无人机物流企业按单架次 0.5 元补贴，年补贴上限 500 万元。

- 成都作为核心载体，出台“14 条专项措施”精准发力：基础设施方面，对社会资本建设的直升机起降场给予 50 万元/个补贴，2024 年新增起降点 32 个，覆盖主要商圈与医院；产业支撑上，对获得适航证的 eVTOL 企业奖励 1500 万元，翼龙无人机、沃飞长空等企业在此实现量产，年产值超 800 亿元。

- 区域协同方面，联合重庆、云南打造“西南低空物流走廊”，2024 年开通成都至攀枝花、泸州至遵义等 6 条跨市无人机货运航线，年货运量突破 1.2 万吨。

重庆与新疆：特色场景驱动政策创新

- 重庆立足“山城地形+长江经济带节点”，出台《重庆市低空经济发展规划（2024-2030 年）》，重点支持“低空旅游+应急救援”：对直升机观光企业给

予门票收入 15% 的补贴，武隆仙女山低空旅游线路年接待游客 18 万人次；建设“长江经济带低空应急救援基地”，配备 20 架救援直升机，实现流域救援 15 分钟响应。

•新疆依托“广袤空域+旅游资源”，政策聚焦“低空文旅+边疆物流”：石河子市对直升机观光项目给予 3 年税收减免，2024 年低空旅游收入同比增长 70%；喀什地区试点“无人机+边贸”，开通至吉尔吉斯斯坦的跨境物流航线，通关时间从 48 小时缩至 6 小时，年货运值超 3 亿元。

此外，云南、贵州等西部省份同步发力：云南出台《低空旅游示范省建设方案》，对热气球、滑翔伞基地给予 200 万元建设补贴；贵州在毕节试点“无人机电力巡检全覆盖”，项目获中央财政 1.2 亿元支持，推动西部低空经济形成“多点开花”格局。

西部地区政策通过“资源禀赋与场景需求”的精准匹配，逐步构建起“比东部更灵活的空域政策、比中部更聚焦的产业补贴”的比较优势，2024 年西部低空经济产值突破 5000 亿元，增速达 28%，高于全国平均水平 8 个百分点，成为区域经济转型的新动能。

三、低空经济产业生态

3.1 低空经济产业结构

低空经济产业结构呈现出多层面、广维度且紧密交织的复杂格局，各环节相互依存、协同共进，共同构建起一个有机的产业生态体系。

■上游产业：筑牢根基的核心研发与制造环节

材料研发：处于产业上游前沿的材料研发领域，始终致力于开发具备高强度、低密度特性，同时在耐高温、耐腐蚀等性能方面表现卓越的先进航空材料。新型碳纤维复合材料以其出色的强度重量比，成为减轻航空器自身重量、提升飞行性能的理想之选，广泛应用于航空器的机身、机翼等关键部件制造。航空铝合金则凭借良好的加工性能与耐腐蚀性，在航空器结构件制造中占据重要地位。这些先进材料的研发与应用，为提升航空器的整体性能、降低能耗以及提高飞行安全性

奠定了坚实基础。

零部件制造：零部件制造专注于生产各类高精度、高可靠性的关键部件，其技术要求极为严苛。航空发动机的叶片需承受高温、高压及高转速的极端工况，对材料性能和制造精度要求极高，其设计与制造工艺直接影响发动机的动力输出与燃油效率。燃烧室组件作为发动机的核心部件之一，对燃烧效率和排放性能起着决定性作用。此外，先进的航电系统传感器能够精准感知航空器的飞行状态、周围环境信息等，为飞行员提供准确的数据支持；飞控计算机则负责处理各类传感器数据，并根据预设程序对航空器的飞行姿态进行精确控制，确保飞行的稳定性与安全性。

分系统集成：分系统集成环节将众多精密零部件整合为功能完备的航空电子系统、动力系统、起落架系统等。航空电子系统集成通信、导航、飞行控制、显示等多个子系统，实现了航空器内部信息的高效传输与协同处理，使飞行员能够实时掌握飞行状态并做出准确决策。动力系统集成则需确保发动机、燃油系统、润滑系统等协同工作，为航空器提供稳定可靠的动力输出。起落架系统集成涉及机械结构、液压系统、控制系统等多个领域，保障航空器在起降过程中的安全与平稳。通过分系统集成，各部件之间实现了高度的协同与适配，为航空器整机制造提供了核心支撑。此领域技术门槛极高，需要长期的技术积累、大量的资金投入以及跨学科的专业人才团队，全球范围内仅有少数国家和企业具备领先优势，如美国的通用电气、普惠，法国的赛峰集团等。

■ 中游产业：整机制造与系统集成的关键环节

航空器整机制造：

直升机制造：直升机制造企业通过对各分系统的精准集成组装，生产出适用于多种复杂场景的直升机产品。轻型民用直升机凭借其灵活便捷的特点，在观光旅游领域备受青睐，能够为游客提供独特的空中游览体验，让他们从全新视角欣赏自然美景与城市风光。大型直升机则凭借强大的动力与载荷能力，在消防灭火任务中迅速抵达火灾现场，通过吊运大型灭火设备或投放灭火物资，有效控制火势蔓延；在物资吊运作业中，能够承担起向偏远地区或交通不便区域运输大型设备、建筑材料等重要任务，为基础设施建设和应急救援提供有力支持。

无人机制造：无人机制造企业根据市场多样化需求，推出多旋翼、固定翼、

垂直起降固定翼等多种类型无人机产品。多旋翼无人机具有良好的悬停性能和机动性，广泛应用于航拍测绘领域，能够拍摄到高分辨率的图像和视频，为城市规划、土地测绘、影视制作等提供精准的数据资料；在物流配送方面，多旋翼无人机可实现“最后一公里”配送，将货物快速送达客户手中，尤其在偏远地区或交通拥堵区域优势明显。固定翼无人机则以其速度快、航程远的特点，在农业植保领域发挥重要作用，能够高效地对大面积农田进行农药喷洒、施肥作业，提高农业生产效率；在电力巡检、石油管道巡检中，固定翼无人机能够沿着线路快速飞行，通过搭载的高清摄像头、红外热成像仪等设备，及时发现设施故障隐患，保障能源输送安全。垂直起降固定翼无人机融合了多旋翼无人机的垂直起降能力与固定翼无人机的高速巡航优势，在复杂地形环境下的应急救援、测绘勘探等领域具有广阔的应用前景。

电动垂直起降飞行器（eVTOL）制造：作为新兴的前沿领域，eVTOL 制造融合了电动技术、航空技术与智能控制技术，致力于打造城市空中交通的新型载具。eVTOL 采用电动驱动系统，相比传统燃油动力系统，具有噪音低、零排放、运营成本低等优势，契合城市可持续发展的需求。其智能控制技术能够实现自主飞行、自动避障等功能，提高飞行安全性与可靠性。随着技术的不断进步与成熟，eVTOL 有望在城市通勤、短途客运等领域得到广泛应用，缓解城市地面交通拥堵问题，为人们提供更加高效、便捷的出行方式。

测试试飞：在中游产业中，测试试飞环节是确保航空器质量与安全性的关键。地面测试通过模拟各种飞行工况，对航空器的结构强度、系统性能、电子设备稳定性等进行全面检测，如对发动机进行台架试验，测试其在不同转速、负载条件下的性能参数；对航电系统进行电磁兼容性测试，确保各电子设备之间不会相互干扰。飞行测试则在真实飞行环境中，对航空器的飞行性能、操纵品质、安全性等进行实际验证，包括飞行速度、高度、机动性测试，以及各种极端情况下的应急处置测试等。通过严格的地面测试与飞行测试，能够及时发现并解决航空器在设计与制造过程中存在的问题，确保其符合设计要求与适航标准，为航空器的大规模生产与商业化运营奠定坚实基础。

■下游产业：丰富多元的运营服务与应用场景

低空运输服务：低空运输服务借助直升机、eVTOL 等航空器，开展多样化

的运输业务。载人空中通勤服务能够为商务人士、城市居民等提供快速便捷的出行方式，缩短城市间的通勤时间，提高出行效率；空中旅游服务则为游客带来独特的空中观光体验，如乘坐直升机俯瞰壮丽的山川湖泊、历史悠久的城市地标等，丰富旅游产品供给，提升旅游产业附加值。载货的低空物流配送业务在电商物流、生鲜配送等领域具有巨大潜力，能够实现货物的快速运输与精准投递，尤其在解决偏远地区物流配送难题方面具有显著优势。

低空作业服务：低空作业服务充分发挥无人机的灵活特性，在多个行业领域发挥重要作用。在农业植保领域，无人机通过搭载精准施药施肥设备，能够根据农田的实际需求，实现农药、肥料的精确投放，避免过度使用造成环境污染，同时提高农业生产效率，降低人工成本。在电力巡检、石油管道巡检中，无人机能够快速穿越复杂地形，利用搭载的检测设备对线路和管道进行全方位检测，及时发现潜在的故障隐患，如线路老化、管道泄漏等，保障能源输送的安全稳定。在测绘勘探领域，无人机通过搭载高精度测绘设备，能够获取高分辨率的地理信息数据，为城市规划、地质勘探、资源开发等提供重要的数据支持，相比传统测绘方式，具有效率高、成本低、数据准确等优势。

低空旅游服务：低空旅游服务为游客提供了全新的旅游视角与体验方式。游客可以乘坐直升机、热气球等航空器，从空中俯瞰自然风光、人文景观，感受独特的视觉冲击与旅游乐趣。例如，在一些著名的旅游景区，如张家界、黄山等地，直升机空中观光项目受到游客的热烈追捧，游客能够在空中欣赏到奇峰异石、云海日出等壮丽景色，留下难忘的旅游回忆。此外，低空旅游还可以与地面旅游资源相结合，形成多元化的旅游产品体系，进一步推动旅游产业的发展。

教育培训服务：围绕低空经济的教育培训服务是保障产业持续发展的重要支撑。专业的飞行人员培训能够培养具备扎实飞行技能、丰富飞行经验和良好安全意识的飞行员，满足航空器运营企业对飞行人才的需求；维修技术人员培训则使学员掌握航空器的维修保养技术，确保航空器始终处于良好的运行状态；运营管理人员培训能够提升从业者的管理能力与运营水平，促进低空经济产业的规范化、高效化发展。通过完善的教育培训体系，为低空经济产业输送各类专业人才，推动产业不断发展壮大。

3.2 全球主要地区低空经济产业发展

美国：美国在全球低空经济产业发展中占据领先地位，其低空经济产业发展呈现出全方位、多层次的优势。

- 完善的低空基础设施：美国拥有数量众多的通用机场，超过 2 万个公共通航机场星罗棋布于全国各地，构建起了极为密集的低空飞行网络。这些通用机场不仅为各类低空飞行器提供了起降、停放等服务，还配套了完善的加油、维修、航电保障等设施，极大地便利了低空飞行活动的开展，为低空经济产业的发展奠定了坚实的硬件基础。

- 卓越的技术创新能力：美国企业在低空经济相关技术创新方面成果卓著。在 eVTOL 研发领域，Joby Aviation 等企业处于世界前沿，其研发的 eVTOL 产品在续航里程、载客量、飞行速度等关键性能指标上取得了重大突破，并积极推进商业化应用探索，已与多家航空公司、出行服务平台达成合作意向，有望在未来几年内实现大规模商业运营。在无人机智能化技术方面，美国企业通过融合人工智能、大数据、云计算等先进技术，使无人机具备了更强的自主飞行、目标识别、路径规划等能力，进一步拓展了无人机在农业、物流、安防等领域的应用边界。

- 丰富多样的应用场景：美国低空经济产业应用场景极为丰富。在农业领域，植保无人机作业渗透率超 50%，通过精准施药施肥，有效提高了农作物产量与质量，同时减少了农药和肥料的使用量，降低了农业生产成本与环境污染。在物流配送方面，亚马逊等电商巨头积极开展无人机配送试点项目，利用无人机将包裹快速送达客户手中，尤其在偏远地区和交通拥堵区域，无人机配送展现出了显著的优势，极大地提高了物流配送效率，缩短了配送时间，提升了客户满意度。

欧洲：欧洲各国凭借深厚的航空工业底蕴，在低空经济产业发展方面各具特色与优势。

- 强大的高端研发制造能力：德国、法国等国家在高端航空器研发制造领域实力强劲。在先进航空发动机技术方面，德国的 MTU 航空发动机公司、法国的赛峰集团等企业处于世界领先水平，其研发的航空发动机具有高推力、低油耗、高可靠性等特点，广泛应用于各类高端航空器。在航空材料研发方面，欧洲企业不断推出新型复合材料、高性能金属材料等，为航空器的轻量化设计与性能提升提供了有力支持。这些领先的技术为欧洲低空经济产业的发展提供了坚实的技术

支撑。

- 积极的空域管理改革：欧盟层面积极推动空域管理改革，通过制定统一的空域管理政策、优化低空空域资源配置等措施，提高了空域使用效率。例如，欧盟实施了“单一欧洲天空”计划，旨在打破成员国之间的空域分割，实现空域资源的共享与优化利用，减少航班延误，提高空中交通安全性与效率。在国家层面，德国、法国等国也在逐步优化低空空域管理政策，在保障航空安全的前提下，适当放宽部分空域限制，为低空飞行活动创造更加宽松的环境。

- 多元化的产业应用：在产业应用方面，低空旅游在欧洲部分国家发展态势良好。游客可以乘坐直升机、热气球等航空器，从空中欣赏阿尔卑斯山的壮丽雪景、地中海沿岸的迷人风光、巴黎埃菲尔铁塔等著名城市地标，低空旅游已成为欧洲旅游产业的重要组成部分，为游客提供了独特而难忘的旅游体验。同时，无人机在工业检测、环境监测等领域的应用也逐步普及。在工业检测中，无人机能够对大型工业设施、桥梁、建筑物等进行快速、精准的检测，及时发现潜在的安全隐患；在环境监测方面，无人机可以实时监测空气质量、水质状况、森林火灾等环境信息，为环境保护与生态治理提供了高效的技术手段。

亚洲（日本和韩国）：亚洲地区的日本和韩国在低空经济产业发展上也取得了显著进展。

日本：日本在无人机技术研发、农业无人机应用方面表现突出。在技术研发领域，日本企业注重无人机的小型化、智能化与高精度化发展，其研发的无人机在飞行稳定性、图像采集与处理能力、定位精度等方面具有优势。在农业无人机应用方面，日本 60%的稻田采用无人机进行植保作业，通过精准施药施肥，有效提高了农业生产效率，减少了农药和肥料的使用量，保障了农产品质量安全，同时降低了农业生产成本与环境污染，推动了日本农业的现代化发展。

韩国：韩国在城市空中交通规划、低空物流技术研发等方面积极探索。韩国政府通过制定相关政策，鼓励企业加大在城市空中交通领域的研发投入，推动 eVTOL 等新型城市空中交通工具的研发与应用。在低空物流技术研发方面，韩国企业致力于提高无人机的载重能力、续航里程和物流配送效率，通过建设智能化的物流配送系统，实现无人机与地面物流网络的高效协同运作。同时，韩国还积极开展低空经济产业园区建设，吸引了众多相关企业入驻，形成了产业集聚效

应，推动本土企业在低空经济领域的创新发展。

3.3 我国低空经济产业发展概况

我国低空经济产业近年来呈现出迅猛发展的态势，在产业规模、技术创新、产业链构建以及应用场景拓展等方面均取得了显著成就。

- 产业规模持续增长：2023 年我国低空经济市场规模达到 5059.5 亿元，展现出巨大的市场潜力。随着国家政策的持续支持、技术创新的不断推动以及应用场景的日益丰富，预计 2026 年我国低空经济市场规模将超过 1 万亿元，至 2035 年有望达到 3.5 万亿元，将成为我国经济发展的重要新动能。

- 技术创新成果斐然：我国在低空经济相关技术创新方面成绩突出，尤其在无人机研发设计、装备制造以及新一代通信技术应用于低空领域等方面占据全球领先地位。截至 2023 年，民用无人机注册数突破百万量级，达 126.7 万架，位居全球第一。拥有大疆、小鹏汇天等一批具有国际竞争力的民用无人机龙头企业，这些企业在电池技术方面，研发出高能量密度、长寿命的电池产品，有效提升了无人机的续航能力；在航空材料领域，积极应用新型碳纤维复合材料、高强度铝合金等，实现了无人机的轻量化设计，提高了飞行性能；在飞行控制系统方面，通过融合先进的传感器技术、人工智能算法，使无人机具备了高度的自主飞行、避障、精准定位等功能，在关键零部件细分领域具备全球领先技术水平。

- 产业链构建日趋完善：我国依托完整的制造业体系，构建起了较为完备的低空经济产业链。产业链涵盖原材料供给、软件设计、关键零部件制造、整机装配和服务配套等上下游环节，各环节之间协同发展，形成了良好的产业生态。以无人机产业为例，原材料、零部件和整机制造等中上游环节产值占比达 70%，显示出我国在低空经济产业链中生产端的主导地位。在原材料供给方面，我国能够自主生产高性能的航空材料、电子元器件等；在软件设计领域，具备自主研发无人机飞行控制软件、数据处理软件等能力；在关键零部件制造环节，能够生产高精度的电机、传感器、飞控系统等核心部件；整机装配环节则实现了规模化、标准化生产，产品质量和生产效率不断提升；服务配套环节包括无人机维修保养、培训、保险等服务，为产业的持续发展提供了有力保障。

- 应用场景不断拓展：低空经济在我国已广泛应用于农林植保、测绘、巡检、

应急救援等传统领域，并加速向快递物流、旅游等新兴领域延伸。在农林植保领域，无人机通过精准施药施肥，有效提高了农业生产效率，保障了农产品质量安全，降低了农业生产成本与环境污染。在测绘领域，无人机能够快速获取高精度地理信息数据，为城市规划、土地测绘、资源勘探等提供重要的数据支持。在巡检领域，无人机在电力巡检、石油管道巡检、铁路巡检等方面发挥了重要作用，及时发现设施故障隐患，保障了基础设施的安全运行。在应急救援领域，无人机可用于灾情侦察、物资投递、通信中继等任务，为救援工作提供了有力支持。在新兴领域，海南积极拓展低空旅游项目，2023 年其空中游览小时数约占全国总数的 45%、起降架次约占 65%、载客人次约占 67%，通过直升机、热气球等航空器为游客提供了独特的空中观光体验，推动了当地旅游产业的发展。深圳等地的物流企业积极开展无人机配送服务，消费者通过扫码下单，半小时内无人机即可将美食“空投”至外卖柜，有效解决了“最后一公里”配送难题，提高了物流配送效率，提升了客户体验。

3.4 西部地区低空经济产业发展情况

西部地区依托“空域资源富集、地理场景多元、产业基础扎实”的独特优势，在政策驱动与市场需求的的双重作用下，低空经济产业呈现“梯度崛起、特色鲜明”的发展态势，形成以陕西、四川为核心，重庆、新疆等多节点协同的产业格局。2024 年，西部地区低空经济核心产业产值突破 5000 亿元，同比增长 28%，增速高于全国平均水平 8 个百分点，成为区域经济转型的重要增长极。

1. 产业基础：构建全链条发展体系

西部地区立足航空工业底蕴与区域资源禀赋，已形成覆盖“研发—制造—服务”的完整产业链，核心省份各具产业特色：

■陕西：航空产业集群引领发展

作为我国航空工业的发源地之一，陕西聚集了全国 30% 的航空科研资源，拥有西北工业大学、中国航空研究院 603 所等 10 余家国家级科研机构，以及中航工业西飞、陕西飞机工业（集团）等龙头企业，构建起“整机设计—核心零部件—系统集成”的全产业链能力。在无人机领域，西安航空基地已形成无人机产业

集群，入驻企业超 200 家，涵盖大疆创新西北总部、中直股份无人机研发中心等，2024 年全省航空和无人机制造业产值达 1980 亿元，其中大型货运无人机“新舟 600F”已完成适航认证，载重达 8 吨，续航 1500 公里，成为国内支线物流主力机型。政策层面，陕西省出台《航空产业高质量发展三年行动计划》，对无人机企业实施“研发费用加计扣除 175%”的税收优惠，设立 20 亿元航空产业基金，推动赛峰起落架维修、航空复合材料等项目落地，进一步强化产业协同能力。

■四川：中大型无人机产业全国领先

四川构建了“飞行器整机—机载系—核心零部件—材料”的全产业链生态，尤其在中大型无人机领域占据全国主导地位。成都、自贡、德阳形成无人机产业三角带，其中成都高新区无人机产业园入驻企业 500 余家，包括中航（成都）无人机系统股份有限公司，其研制的“翼龙”系列无人机占据全球中大型察打一体无人机市场 20%份额，“翼龙-3”无人机续航超 40 小时，可执行物流运输、应急通信等多任务。政策层面，四川省《关于支持通用航空产业发展的若干政策措施》明确，对新引进的无人机龙头企业给予最高 1 亿元落户补贴，对获得适航认证的中大型无人机企业奖励 500 万元。2024 年，全省无人机产业产值突破 800 亿元，其中中大型无人机产值占比达 65%，位居全国第一。

■重庆：立足区位优势打造特色产业

重庆依托“山城地形+长江经济带枢纽”的区位特点，重点发展低空物流、应急救援等特色产业。两江新区低空经济产业园聚集了重庆通航集团、顺丰西南无人机总部等企业，建成全国首个“山地城市低空物流试验场”，测试航线覆盖 12 个区县。政策层面，重庆出台《低空经济发展规划（2024-2030 年）》，提出建“长江上游低空经济枢纽”，对开辟跨区域低空物流航线的企业给予每条航线 500 万元补贴，推动“重庆—泸州”“重庆—遵义”等跨省无人机货运航线常态化运营，2024 年货运量突破 1.2 万吨。

2.产业应用场景：特色领域创新突破

西部地区结合地形地貌与产业需求，在低空文旅、应急救援、乡村物流等领域形成差异化应用场景，政策与市场协同推动场景落地：

■低空文旅：激活特色旅游资源

陕西依托历史文化与自然景观，主推“低空+文旅”深度融合。陕投集团旗

下秦汉通航运营 20 余架贝尔系列直升机，在汉中油菜花节期间开展“空中赏花海”项目，年接待游客超 5 万人次；西安曲江新区开通“直升机+兵马俑”观光航线，飞行时长 15 分钟，票价 880 元，年起降超 2000 架次。新疆石河子市利用沙漠、草原等独特地貌，出台《低空旅游发展扶持办法》，对直升机观光企业给予 30%运营成本补贴，2024 年低空旅游收入同比增长 70%，带动周边餐饮、住宿收入增长 45%。

■应急救援：构建空地一体响应体系

陕西秦汉通航参与甘肃积石山地震、四川茂县山体滑坡等重大灾害救援，累计转运被困群众 300 余人，投递物资超 50 吨；其配备的 AW139 直升机可搭载医疗设备，实现“空中 ICU”功能，救援响应时间缩短至 30 分钟。四川森林消防总队引入“翼龙-2”无人机，在凉山森林火灾中执行 24 小时火情监测，配合直升机洒水灭火，火灾扑灭效率提升 40%。重庆建立“长江干线低空救援走廊”，部署 10 架救援直升机，2024 年完成船舶遇险救援 12 次，救助人员 86 人。

■乡村物流：破解偏远地区配送难题

陕西定边县与中科院合作开展“无人机物流村村通”项目，投入 20 架载重 50 公斤的固定翼无人机，覆盖 87 个行政村，生鲜农产品从田间到县城的配送时间从 2 天缩短至 6 小时，2024 年配送量达 300 吨，助农增收超 2000 万元。四川宜宾试点“无人机+乡村电商”，在珙县、兴文等山区开通 15 条配送航线，年处理订单 80 万单，快递成本下降 35%，解决了“最后一公里”配送难题。

■行业作业：赋能传统产业升级

大秦无人机在陕北煤矿区开展“无人机+测绘”服务，完成 120 平方公里三维建模，效率较传统人工提升 20 倍；在青海光伏电站巡检中，无人机搭载红外热像仪，缺陷识别准确率达 98%，运维成本降低 50%。重庆电力公司使用无人机巡检跨长江输电线路，年作业里程超 5000 公里，发现隐患 130 余处，保障了电网安全稳定运行。

3.发展特色：政策协同与区域联动

■西部地区通过“政策创新+资源整合”形成发展合力：

空域管理先行先试：陕西成为全国首个“低空空域管理改革试点省”，在榆林、汉中划设 1000 平方公里“灵活使用空域”，企业通过“线上平台”实时申

请飞行，审批时间从 3 天压缩至 2 小时；四川成都建成全国首个“城市低空通信网络”，实现无人机“无死角”监管与调度。

区域协同共建生态：川渝联合发布《成渝地区双城经济圈低空经济协同发展规划》，共建“成渝低空走廊”，开通“成都—重庆”直升机通勤航线，飞行时间 1.5 小时，票价 1800 元，2024 年承运旅客超 1 万人次；联合开展无人机适航标准互认，降低企业跨区域运营成本。

资金人才精准扶持：陕西设立 50 亿元低空经济产业基金，四川成都对无人机飞手培训给予每人 3000 元补贴，重庆对引进的航空高端人才提供最高 500 万元安家费，为产业发展提供要素保障。

西部地区通过“产业基础+特色场景+政策创新”的组合拳，逐步构建起“立足西部、辐射全国”的低空经济生态，其“山地低空物流”“高原应急救援”“特色低空文旅”等模式已成为全国标杆，为低空经济区域协调发展提供了“西部方案”。

四、低空经济技术体系

低空经济的发展高度依赖技术突破与系统集成，其技术体系涵盖空域管理、飞行器研发、通信导航、基础设施及数据应用等核心领域。技术架构图如图 4-1 所示。

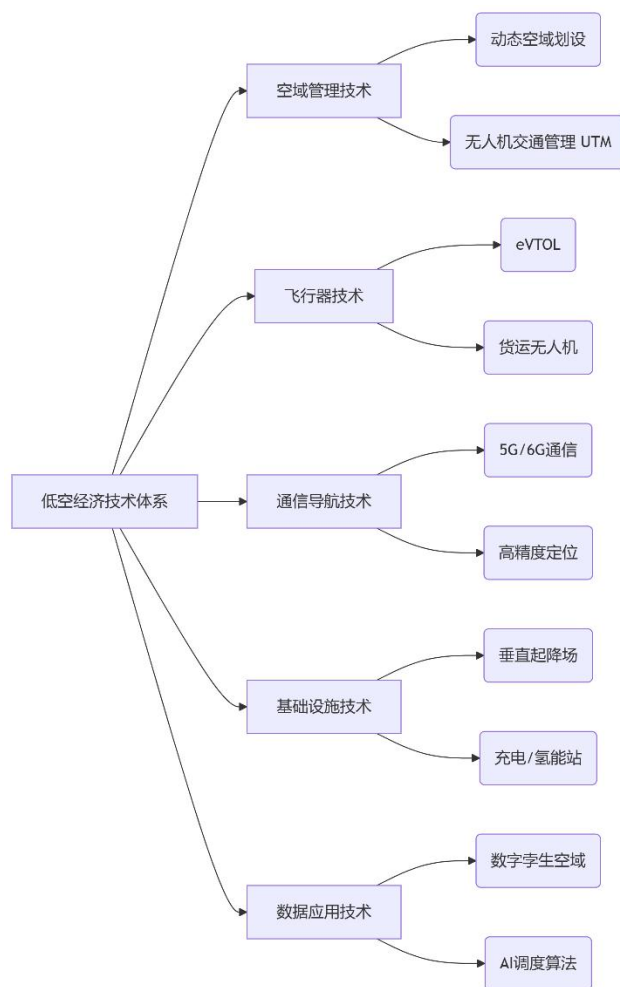


图 4-1 低空经济技术体系架构图

4.1 低空经济重点技术

低空经济的发展高度依赖跨领域技术协同创新，其核心涵盖空域智能管理、先进飞行器研发、高可靠通信导航及绿色能源基础设施四大支柱。

4.1.1 空域智能管理

在当前空域资源日益紧张背景下，空域管理技术正经历由传统集中式空管向智能化、动态化、多主体协同演进的深刻变革，其核心目标是实现有人航空器与无人航空器的安全融合运行，缓解传统空管系统在面对低空空域高频次飞行活动时的调度瓶颈。为此，业内正积极推进以“动态空域共享”为基础的管理范式革新，通过引入无人机交通管理系统（UTM）、动态地理围栏、数字孪生空域等前沿技术，重塑未来空域运行模式，整体系统构架如图 4-2 所示。

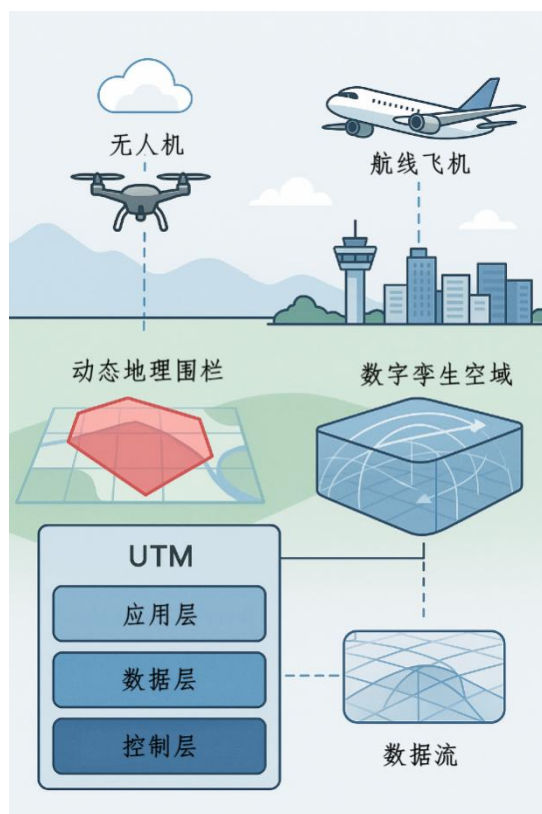


图 4-2 低空系统的总体结构与协同关系

无人机交通管理系统 (UTM) 是实现这一愿景的关键平台。以 NASA 开发的基于云计算架构的 UTM 系统为代表，它可实现对无人机飞行任务的全生命周期管理，涵盖飞行计划申报、空域准入审核、实时飞行监控、冲突预测与规避等多个环节。系统通过融合 ADS-B、地面雷达、GNSS 定位、5G 网络通信等多源数据，利用智能避碰算法自动分析飞行器之间的动态关系，确保空域内各类飞行器在复杂空中环境中高效而安全地协同运行。在此基础上，UTM 还需构建清晰的分层架构，包括负责感知与控制的控制层、负责数据融合与处理的数据层、以及服务于具体应用场景的应用层，从而实现系统可扩展、模块化的能力提升。

为了增强空域管理的柔性 with 自适应性，动态地理围栏技术也应运而生。传统静态围栏在面对突发气象变化或临时空域管制时响应迟缓，已难以适应灵活飞行的需要。当前技术路径多基于气象数据，包括风速、降雨、能见度等、地理信息系统 (GIS) 和实时空域活动数据，通过大数据分析与规则建模，动态生成或调整虚拟围栏边界。以大疆开放的 GeospatialAPI 为例，用户可实时获取禁飞区、限制飞行区、临时管制区等信息，同时系统依据飞行器位置与权限等级自动调整飞行许可，显著提升了飞行安全性与空域适配性。更进一步，这种动态围栏的可

视化呈现亦成为提升操作人员认知效率的重要手段，系统通过二维地图或三维界面将复杂的围栏边界与空域限制信息直观展现，使飞行计划制定更加精准、可靠。

同时，数字孪生空域作为对现实空域的数字镜像模型，正在成为辅助决策的关键工具。在深圳等城市试点示范区中，相关系统已初步实现了对城市空域的高精度三维建模，并融合实时飞行数据、城市地形、建筑结构、气象变化等因素，构建出动态演化的虚拟空域场景。系统可模拟未来某时段内的空中交通流分布、冲突概率以及瓶颈节点，从而为飞行调度、冲突预警、空域规划等提供科学依据。例如，当系统预测某区域将在未来五分钟内形成高密度飞行流，该区域可被自动设置为“临时预警围栏”，并通过 UTM 平台下发调整指令，实现前置性调度干预。这种“虚实结合”的运行方式不仅提高了空域管理效率，也为空管智能化打下了坚实基础。

现代空域管理技术的进步正在打破传统空管的刚性边界，向着“智能动态协同”的目标迈进。通过 UTM 系统构建实时空域协同网络，动态地理围栏确保区域安全弹性响应，数字孪生空域提供精准预测与辅助决策，三者系统架构上形成互补支撑，最终实现空域资源的精细化分配与高效利用。在不远的未来，伴随空地一体化交通体系的成熟，我们将迈入一个“云端有序、天地互联”的空域智能化时代。

4.1.2 低空飞行器技术

近年来，飞行器技术正以前所未有的速度向电动化、重型化与长航时方向演进，推动空中交通系统从传统航空向更加绿色、高效、智能的未来迈进。在载人航空领域，eVTOL 成为技术变革的焦点，代表着城市空中出行（UAM）构想的核心。以 Joby Aviation 为代表的 eVTOL 厂商所采用的六旋翼分布式电推进设计，不仅提高了飞行冗余度和操控灵活性，更在城市密集环境中有效降低噪音污染，是传统直升机无法比拟的优势。但 eVTOL 真正的大规模商用化仍面临诸多关键技术瓶颈，其中最核心的是高能量密度电池的发展。目前业界普遍认为，只有当电池比能量达到或超过 400Wh/kg 时，eVTOL 才具备实用化长航时飞行的可能性，否则将在航程、载重与飞行时间之间陷入艰难取舍。因此，动力电池技术的突破成为 eVTOL 规模部署的前提。

与此同时，货运航空市场也在悄然发生结构性变化，相较传统物流直升机或固定翼飞机，新一代货运无人机正在采用固定翼与多旋翼融合的复合构型，以兼顾垂直起降能力与长距离巡航性能。例如顺丰推出的 FH-98 机型，采用固定翼+双尾撑+螺旋桨混合动力设计，已成功实现 1.5 吨级货物载重和超过 1200 公里的航程，打破了传统无人机“轻载短程”的局限，在中远程物流场景中展现出显著的运营潜力。此外，这类混合动力无人机在山区、岛屿等非标准起降场地也具备较强适应性，正在成为未来无人化干线与支线物流体系的重要支撑力量。

在特种应用领域，如应急通信保障、边境巡逻、地质勘探及森林防火等长时间作业场景中，氢燃料动力的长航时无人机正在加速布局。峰飞航空推出的 V1500M 无人机便是其中的代表之一，其采用氢动力推进系统，不仅大幅降低碳排放，而且具备最高可达 250 公里的续航能力，在特种任务执行中展现出强大的作战与应变能力。氢能的高比能特性（大于 1000Wh/kg）为飞行器提供了优于电池数倍的续航性能，预计将在高时效性、全天候飞行任务中发挥不可替代的作用。为进一步呈现不同飞行器技术路线的竞争格局与应用定位，可通过对主流 eVTOL 与货运/特种无人机的关键参数对比图表，系统展示其在续航里程、最大载重、适航进度（如 FAA 或 EASA 认证阶段）、噪音等级、动力来源（电池/氢能/混动）等方面的差异。以 JobyS4、VolocopterVoloCity、ArcherMidnight 等为例，它们分别在设计理念、推进系统与城市适航策略方面各具特色，而 FH-98 与 V1500M 等则代表了电动与氢能驱动在长航时和大载重领域的现实突破。

飞行器的技术演化不再局限于航电和气动设计的传统范畴，而是通过动力系统革新、构型融合与材料优化的系统工程推动，使飞行技术逐步从“能飞”走向“高效飞”、“环保飞”与“安全飞”。未来，随着高能量密度电池、氢燃料系统、分布式电推进技术的进一步成熟，人类将真正迎来低空经济的全面起飞。

4.1.3 低空空域管理

在低空空域管理日益成为智慧城市和未来空天战略的重要组成部分的背景下，通信导航技术正逐步演变为低空安全运维的“神经中枢”。以 5G-A 和未来 6G 为代表的专用通信网络，正在为低空飞行器提供前所未有的超低延迟、高可靠性的通信保障。例如，在中国移动海南的低空试点中，5G-A 网络成功实现了毫秒级的数据传输延迟，有效支撑了飞行器对航迹、姿态与任务参数的实时调控。

这种低时延通信机制不仅显著提升了无人机集群飞行的协同效率,也为飞行安全的闭环控制提供了坚实基础。

与此同时,低空导航系统正经历由传统单一卫星导航向多源融合的转变。在复杂城市峡谷、高压输电区或强电磁干扰区域,单靠 GNSS 信号往往难以获得稳定和连续的定位信息。为此,先进的抗干扰导航系统将 GNSS 全球卫星定位技术与视觉 SLAM 和激光雷达 SLAM 进行融合,大幅提升了低空导航的鲁棒性和精度。以大疆发布的 RTK 系统为例,通过差分信号的实时修正,其定位精度可达到厘米级,极大地增强了在复杂环境下的作业能力,尤其适用于电力巡检、城市安防与应急响应等应用场景。更具前瞻性的,是面向极端环境下的“无依赖”自主导航探索。在无法获取任何外部信号源(包括 GNSS)的情况下,量子导航技术为无人平台的自主定位提供了全新思路。近年来,中国在青海湖地区进行了无卫星量子导航飞行试验,借助量子干涉原理实现了亚米级的自主位置估计。这一技术不仅打破了对传统定位系统的依赖,也为未来在地下空间、深山峡谷、海洋极地等极端环境中执行任务的无人平台,提供了高精度、高可靠性的导航能力。

随着未来空地一体化通信网络的不断完善,以及人工智能在导航感知中的深度嵌入,低空通信导航系统正在从“感知-传输-决策”一体化的智能神经系统演化而来,为构建可控、可用、可信的低空安全运行体系提供了坚实支撑。从厘米级精度到毫秒级响应,从融合感知到量子突破,通信导航技术正以前所未有的速度和深度重构低空世界的安全逻辑。

4.1.4 能源与基础设施技术

在低空经济快速发展的背景下,能源与基础设施技术作为推动 eVTOL 规模化运营的核心支撑,正发挥着日益关键的作用。其中,超快充电与换电技术的突破显著提升了飞行器的周转效率,已成为城市空中交通系统稳定运行的技术基石。当前,主流 eVTOL 机型正逐步迈向 3C 级充电能力,即可在 15 分钟内将电量快速充至 80%,大幅缩短了地面停驻时间,从而增强了高频次航班调度的可行性。在部分试点地区,如广州等地,已部署具备多桩并联、液冷导通和智能调度功能的快充桩系统,有效应对不同机型和任务工况的充能需求。

与此同时,氢能源作为未来清洁动力的重要方向,正在拓展 eVTOL 的远程航时应用场景。以 ZeroAvia 为代表的航空氢能方案,正在推进液氢储罐的小型化、

轻量化设计，使得氢燃料系统可以更高效地集成于中型 eVTOL 平台，延长续航时间的同时，兼顾飞行器的气动与载重平衡。氢能补能站点的布局则依托模块化液氢加注单元与再气化控制系统，为 eVTOL 在跨区域运营中提供长距离、低碳、快速的能源补给支持。

而贯穿整个运营流程的起降基础设施则以“智慧 Vertiport”为核心构建，成为集充电、气象监测、货物中转、飞行调度于一体的多模态枢纽节点。在广州亿航示范站的设计实践中，Vertiport 不仅设有自动对接式充电臂、支持标准化集装箱单元的转运平台，还配置有全天候微气象监测雷达与能见度评估模块，为 eVTOL 提供精准的起降窗口预测。此外，智能调度系统与飞行管控平台深度融合，实现了地空联动的起降排程与航线动态管理，大幅提升了垂直航运系统的可靠性与响应效率。

整体而言，能源系统的快速补能能力与基础设施的智慧融合程度，正逐步决定着 eVTOL 从示范走向商业化的速度与深度。配套图示可从三个核心视角进行呈现：一是快充系统，展示带有液冷模块与智能调度柜的快充桩；二是氢能补给站，体现小型液氢储罐、加注臂与安全监控机制的协同布置；三是智慧 Vertiport 的功能分区设计，突出起降坪、充电区、货物转运区、值守塔台及气象感知系统的空间关系与一体化联动，从而形成低空经济运行的完整生态闭环。

4.2 低空经济关键技术创新

4.2.1 空域管理智能化

低空经济正站在变革的门槛上，其技术前沿领域正在经历一场系统性的突破，尤其在空域管理、飞行器设计、数字底座构建以及新能源动力系统等方面引发革命性演进。随着低空飞行活动的频次与复杂度迅速上升，传统以人工为核心、中心化为结构的空管体系显然已无法满足海量分布式飞行的调度需求。新一代空域管理系统正朝着智能化、分布式、自主协同的方向快速推进。以欧盟的“PJ34-UTM”项目为例，其利用区块链技术构建去中心化的空管架构，通过链上共识机制实现多飞行器之间的实时状态同步与权限协商，不再依赖单一地面控制中心进行统一调度，从而在保障安全的前提下大幅提升了空域使用效率。

同时，人工智能的融合进一步赋予低空飞行更强的自主决策能力。例如，美国国家航空航天局（NASA）提出的 Safe2Ditch 系统，基于强化学习的路径规划算法，能够在飞行器遇险或突发空情下，实时感知周边环境并动态生成最优避险路径，其在模拟多障碍空域中的应急响应速度较传统算法提升超过 40%，显著增强了低空系统在复杂动态环境下的鲁棒性。这种 AI 加持的避碰技术，预示着未来无人驾驶飞行器可在城市密集空域中实现高频次自主运行，成为智慧交通系统的重要组成部分。

在飞行器本体的技术演进方面，行业正呈现出向性能跃迁与环境适配双重目标协同演进的态势。以城市空中交通（UAM）场景为牵引，飞行器设计日益注重噪声控制与结构轻量化。倾转旋翼构型因其兼顾垂直起降与高速巡航的能力，被广泛应用于 eVTOL 开发中。美国初创企业 Archer 开发的 Midnight 原型机，经过声学气动协同优化，其起降噪音控制在 65 分贝以下，已突破城市居民对空运噪声的可接受“红线”，为城市低空航运的规模化铺平了基础条件。复合材料的轻量化应用正在重构飞行器结构设计理念。亿航研发的 EH216-S 作为典型代表，其机体碳纤维材料占比超过 80%，整机重量控制在 620 公斤以内，在保障强度和安全冗余的同时，为提升有效载荷与航程预留出更多结构性空间。这种材料与构型协同优化的策略，不仅降低了能耗，也为未来更大载重、更远航程的低空飞行平台奠定了技术基础。

这些变革的背后，是数字底座与新能源系统的默默支撑。基于边缘计算与低时延通信构建的城市空域感知网络，赋予每一架飞行器实时接入与动态协同的能力；而在能源系统方面，固态电池与氢燃料技术正在加速推进其在低空平台中的嵌入应用，显著拓宽了未来绿色低空经济的持续运营能力，建立的“天-机-地-能”四大要素中的技术关联与系统如图 4-3 所示。



图 4-3 “天-机-地-能”四大要素中的技术关联与系统

低空经济的技术革新并非孤立突破，而是一个以系统工程视角展开的协同演进过程，其核心驱动力来源于多领域交叉创新的融合效应。在这场快速推进的技术浪潮中，未来城市的“第三空间”正被重新定义，天空正成为下一个智能交通的主战场。

4.2.2 低空数字底座

随着低空经济的加速布局，中国正全面推进“低空数字底座”的构建，并进入实操阶段。在这一进程中，中国民用航空局牵头研发并部署的低空操作系统（UOS）——“天枢”系统，成为未来低空运行的核心神经中枢。该系统以统一调度、全域感知为目标，正全面整合飞行器状态数据、空域资源信息以及地面基础设施运行情况，构建起一个兼具高精度管理与智能化调度能力的低空综合运行平台。通过“天枢”系统，不仅能够实现对 eVTOL、无人机、通用航空等多类型飞行器的协同调控，还能动态调配航路资源，有效提升空域使用效率，支撑未来低空出行的高频次、多节点、安全化运作。

在技术应用层面，成都率先开展低空物流航线运营探索，创新引入激光雷达风切变预警技术，用于感知高原复杂微气象环境。传统上，西南地区因高海拔、山地湍流等特点，对无人机和 eVTOL 飞行提出了极高的稳定性要求。通过布设激光雷达监测阵列，系统能够对微尺度风场变化进行秒级预警，为飞行器提供动态航向调整建议，大幅降低因突发气流扰动导致的飞行事故风险。这一突破不仅提升了飞行安全性，也为无人配送、空中巡检、医疗应急等高原低空应用场景打开了现实通道。

而在支撑低空飞行器性能突破的能源领域，新能源技术正成为撬动低空经济加速发展的关键变量。电池技术方面，宁德时代率先提出并验证了 500Wh/kg 高能量密度固态电池的实验成果。相比现有的锂离子电池，这一新型电池能量密度提升近两倍，将显著缓解 eVTOL 等电动飞行器在中远程航线中所面临的“续航焦虑”。据其官方发布信息，该电池计划于 2027 年实现量产，有望在当年配套应用于商用级 eVTOL 机型，彻底改变目前主要用于短途城市内“空中摆渡”的定位，扩展至城市群之间的跨域飞行。氢燃料电池也在飞行器动力系统中展现出强劲的融合潜力。丰田公司为 Joby Aviation 定制开发的氢电混合动力模组已率先完成实飞测试，并实现单次充能可飞行 400 公里的成绩。这一里程碑标志着清洁能源驱动的长航时飞行器已从概念验证跨入商业化应用前夜。得益于氢燃料的高能量密度与快速补能特性，其在未来 eVTOL、固定翼无人机甚至轻型通航飞机中的应用前景愈发明朗。结合“天枢”系统构建的智慧低空运行生态，这类动力系统将实现空域任务的高效派发、路径最优调度和能耗最小管理，助推绿色航空新范式的全面形成。

从空域智能调度系统到低空气象预警技术，再到动力能源的突破性创新，中国的低空经济正由政策顶层设计迅速走向产业融合落地。各项核心技术的协同演进不仅为未来城市空中交通（UAM）和低空物流网络提供了坚实支撑，也为全球低空领域的商业化竞赛注入了“中国方案”的澎湃动能。

五、低空经济应用场景

5.1 典型应用场景

5.1.1 低空物流配送

低空经济作为新兴产业形态，正在深刻改变传统物流配送模式，其应用形式呈现出多样化和精准化的特点。在城市即时配送领域，无人机技术已成为解决“最后一公里”配送难题的重要手段，特别是在医疗急救物资运输方面发挥着至关重要的作用。当突发医疗紧急情况时，传统地面交通往往受到交通拥堵、道路限制等因素影响，而无人机能够通过空中航线实现点对点直达，大幅缩短救援时间，为患者争取宝贵的黄金救治时间。同时，在生鲜食品和日用零售商品配送方面，

低空经济同样展现出巨大潜力，通过建立完善的空中物流网络，消费者可以享受到更加快速、便捷的购物体验，从下单到收货的时间被大幅压缩。



图 5-1 “最后一公里”物流配送示意图

乡村及山区的“最后一公里”物流配送一直是传统物流行业的痛点难点，地形复杂、道路条件恶劣、配送成本高昂等问题长期制约着农村电商和现代物流的发展，如图 5-1 所示。低空经济的兴起为解决这一难题提供了创新解决方案，无人机配送不受地形限制，能够跨越山川河流，直达偏远村庄，不仅大幅降低了物流成本，更重要的是缩短了城乡之间的时空距离，让偏远地区的居民也能享受到与城市居民同等便利的物流服务。这种配送模式对于推动乡村振兴战略实施、促进城乡一体化发展具有重要意义。

跨境海岛物资运输是低空经济应用的另一个重要场景，传统的海运和空运方式往往受到天气条件、航班频次等因素制约，而且成本相对较高。无人机配送能够提供更加灵活高效的运输解决方案，特别是对于紧急物资、医疗用品、生鲜食品等时效性要求较高的货物，无人机配送的优势更加明显。通过建立海岛间的空中物流网络，不仅能够保障海岛居民的基本生活需求，还能够促进海岛旅游业和特色产业的发展。

从典型案例来看，深圳美团无人机项目的成功实施充分证明了低空经济在城市配送领域的巨大潜力和实用价值。该项目目前已覆盖深圳 15 个主要商圈，日均配送量超过 2 万单，配送时效相比传统方式提升了 50%，这一显著的效率提升不仅为消费者带来了更好的服务体验，也为企业创造了更大的商业价值。与此同时，顺丰在川西高原开通的松茸运输专线更是展现了低空经济在特色农产品物流

方面的独特优势，通过无人机配送，新鲜松茸从采摘地到城市消费者手中仅需 3 小时，而传统陆运方式则需要 8 小时，这种时效的大幅提升不仅保证了松茸的新鲜度和品质，也为当地农民增收和特色产业发展提供了有力支撑。这些成功案例的实践经验为低空经济的进一步推广应用提供了宝贵的参考和借鉴。

5.1.2 城市空中交通 (UAM)

城市空中交通 (Urban Air Mobility, UAM) 作为低空经济的典型应用场景，正在成为解决现代城市交通困境的重要突破口。以电动垂直起降飞行器 (eVTOL) 为核心载体的城市空中交通系统，代表着未来立体交通网络的发展方向。目前市场上涌现出众多优秀的 eVTOL 产品，其中亿航 EH216-S 作为全球首款获得适航认证的载人级自动驾驶飞行器，已在多个城市开展商业化运营试点，展现出成熟的技术实力和安全性。同时，小鹏汇天 X3 等新兴产品也在技术创新和市场推广方面表现出色，为城市空中交通的多样化发展提供了更多选择。

城市空中交通的核心价值首先体现在对地面交通拥堵问题的有效缓解上。据统计数据显示，北京、上海、广州、深圳等一线城市在交通高峰期的拥堵成本日均超过 1 亿元，这一巨大的经济损失不仅影响城市运行效率，更制约着经济社会的高质量发展。UAM 通过开辟空中通道，能够有效分流地面交通压力，特别是在商务出行、机场接驳、跨区域快速通勤等高价值场景中，空中交通可以将原本需要数小时的地面行程缩短至数十分钟，极大提升出行效率。此外，城市空中交通在应急救援领域展现出不可替代的价值，特别是在跨江医疗转运、灾害救援、紧急物资配送等关键场景中，eVTOL 能够不受地面交通状况影响，快速响应并执行任务，为生命救援争取宝贵时间。随着技术不断成熟和运营成本的逐步降低，城市空中交通有望成为未来智慧城市建设的重要组成部分，推动城市交通系统向更加高效、绿色、智能的方向发展。

5.1.3 智慧农业服务

在现代农业数字化转型的浪潮中，低空智慧农业服务已成为推动农业现代化的重要技术手段。通过无人机平台搭载先进传感器和智能控制系统，该应用模块在多个核心功能领域展现出显著的技术优势和经济价值。精准喷施技术作为智慧农业的核心应用，采用多光谱传感器与变量喷洒系统的深度融合，能够实时监测作物的生长状态和病虫害分布情况。系统通过分析不同波段的光谱反射数据，精

确识别作物的健康状况，并根据实际需求调整喷洒量和喷洒位置，避免了传统农业中盲目施药的问题。这种精准化的作业模式不仅实现了农药使用量节省 40% 的显著成效，还通过提高作物的健康水平和优化生长环境，带来了 15% 的增产效果，为农户创造了可观的经济收益。

作物长势监测功能则依托高分辨率遥感技术与人工智能分析算法的有机结合，构建了全方位、多层次的农田监测体系。无人机搭载的高精度摄像设备能够获取厘米级分辨率的农田影像，结合多光谱、热红外等多源数据，为 AI 算法提供丰富的分析素材。智能分析系统能够自动识别作物的生长阶段、营养状况、水分胁迫程度以及潜在的病虫害风险，生成详细的农田健康报告和管理建议。这种自动化的监测模式彻底改变了传统农业依赖人工巡田的作业方式，实现了人力成本降低 70% 的突破性进展，同时提供了更加客观、准确的决策支持信息。

播种和授粉作业作为农业生产的基础环节，通过专用播撒无人机的应用实现了革命性的效率提升。这些专门设计的无人机平台配备了精密的播撒控制系统，能够根据预设的播种密度和分布模式，实现均匀、准确的种子投放。在授粉作业中，无人机能够模拟蜜蜂的飞行轨迹和授粉行为，确保花粉的有效传播。相比传统的人工播种和依赖自然授粉的方式，专用播撒无人机实现了效率提升 20 倍的惊人成果，不仅大幅缩短了作业时间，还提高了播种和授粉的质量和一致性。这种高效的作业模式特别适用于大规模农业种植区域，能够在最佳的农时窗口内快速完成关键农事操作，为后续的作物生长奠定良好基础。整个智慧农业服务体系通过技术集成和协同作业，不仅提升了农业生产的精准化水平，还为农业可持续发展提供了强有力的技术支撑。

5.1.4 基础设施巡检

低空无人机在基础设施巡检领域已经成为现代化维护管理的重要手段，其应用范围和效果都达到了前所未有的水平。在电力行业中，国家电网公司已经将无人机巡检技术全面推广应用，每年的无人机巡检里程已经超过 120 万公里，这一庞大的数字充分体现了无人机技术在电力基础设施维护中的重要地位。通过搭载高清摄像头、红外热成像仪等先进设备，无人机能够对输电线路、变电站设备进行全方位、多角度的精密检测，不仅大幅提高了巡检效率，还能发现人工巡检难以察觉的潜在隐患。相比传统的人工巡检方式，无人机巡检不受地形条件限

制，能够在恶劣天气和复杂环境下正常作业，显著降低了巡检人员的安全风险，同时将巡检周期从原来的几个月缩短到几天甚至几小时。

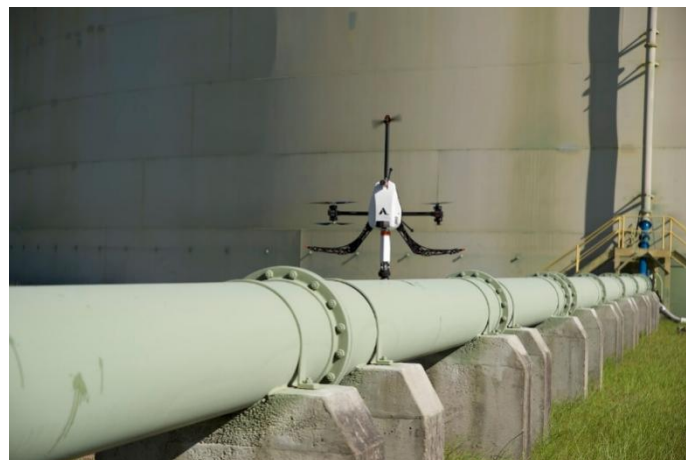


图 5-2 无人机巡检油气管道

在油气管道巡检领域，中国石油天然气集团公司率先采用了无人机激光甲烷检测技术，这项创新应用标志着管道安全监测进入了智能化时代，如图 5-2 所示。传统的管道巡检主要依靠人工沿线排查，不仅效率低下，而且存在检测盲区，难以及时发现微小的气体泄漏。而无人机搭载的激光甲烷传感器能够在飞行过程中实时监测管道沿线的甲烷浓度变化，一旦发现异常立即报警定位，极大地提高了泄漏检测的准确性和时效性。这种非接触式检测方式不仅保障了巡检人员的安全，还能够对大范围的管道网络进行快速覆盖式检测，为油气管道的安全运营提供了可靠的技术保障。

风电设备巡检是无人机应用的另一个典型成功案例，特别是在风机叶片损伤识别方面已经达到了 98% 的高精度识别率。风电场通常建设在偏远的山区或海上，风机塔架高度动辄超过百米，传统的人工检测不仅成本高昂，而且存在极大的安全隐患。无人机配备超高清摄像设备和人工智能图像识别算法，能够近距离拍摄叶片表面的细微裂纹、破损、冰冻等各种缺陷，通过智能分析系统自动识别和分类损伤类型，为维修决策提供精确的数据支持。这种智能化检测方式不仅将检测精度提升到了人工检测难以达到的水平，还能够建立完整的设备健康档案，为预防性维护和设备寿命评估提供科学依据，从而最大化风电设备的发电效率和使用寿命。

5.1.5 应急救援

在应急救援这一低空典型应用场景中，无人机系统凭借其独特的技术优势和灵活的部署能力，已经成为现代救灾体系中不可或缺的重要组成部分。当自然灾害或突发事件发生时，传统的地面救援手段往往受到道路中断、地形复杂、安全风险高等因素制约，而无人机技术的介入则为救灾工作开辟了全新的空中通道，极大地提升了救援效率和成功率。

在灾情勘察方面，搭载红外热成像设备的无人机能够发挥至关重要的作用。当地震、洪水、火灾等灾害发生后，救援人员往往面临着信息不明、环境危险、时间紧迫的严峻挑战。此时，红外热成像无人机能够快速升空，对灾区进行全方位的空中侦察。通过红外热成像技术，无人机能够穿透烟雾、粉尘等视觉障碍，精确识别和定位被困人员的体温信号，即使在夜间或恶劣天气条件下也能保持高效的搜索能力。这种技术不仅能够大幅缩短搜救时间，更重要的是能够为救援人员提供准确的目标位置信息，避免盲目搜索造成的资源浪费和二次伤害风险。同时，红外热成像还能够监测火灾蔓延情况、识别危险区域、评估建筑物结构损坏程度，为救援指挥部门制定科学合理的救援方案提供重要的数据支撑。

通信保障是灾后救援工作的生命线，而系留无人机在此方面展现出了独特的技术优势。传统的地面通信基站在灾害中往往首当其冲受到损坏，导致灾区与外界的通信联系中断，严重影响救援协调和信息传递。系留无人机通过地面电缆供电，能够长时间悬停在空中，搭载通信中继设备，快速构建起覆盖灾区的临时通讯网络。这种空中通信平台不仅能够为救援队伍之间提供可靠的语音和数据传输通道，还能够恢复灾区民众的应急通信需求，帮助他们与外界取得联系，报告安全状况或请求帮助。系留无人机的部署灵活性极高，可以根据救援工作的推进和通信需求的变化，随时调整位置和覆盖范围，确保关键区域始终保持通信畅通。

物资投送能力是无人机在应急救援中的另一项核心优势，特别是单机载重150公斤级的大型运输无人机，为灾区物资补给开辟了高效便捷的空中运输通道。当地面交通中断、道路损毁严重时，传统的车辆运输往往无法到达受灾地区，而直升机等有人驾驶航空器虽然运载能力强，但运营成本高、对起降条件要求严格、在复杂气象条件下作业风险较大。相比之下，大载重无人机能够在更加灵活条件下执行物资投送任务，无论是医疗用品、食品饮料、通信设备还是救援工具，都能够精确投送到指定地点。150公斤的载重能力足以满足小规模受困群体的基

本生存需求，同时多架无人机的协同作业还能够实现大规模物资的快速配送。这种投送方式不仅效率高、成本低，更重要的是能够避免救援人员进入高危区域的安全风险，在保障救援效果的同时最大程度地保护救援人员的生命安全。

无人机技术在应急救援场景中的应用，不仅体现了现代科技在人道主义救援中的重要价值，更展示了低空经济在服务社会民生、保障公共安全方面的巨大潜力，为构建更加完善的现代化应急救援体系提供了强有力的技术支撑。

5.2 西部地区重点应用场景

5.2.1 高原物流网络构建

我国西部地区作为国家发展战略的重要组成部分，其独特的地理环境和资源禀赋为物流网络建设带来了前所未有的挑战与机遇。在高原物流网络构建这一重点应用场景中，传统物流模式面临着严峻的现实困境，西藏、青海等高海拔地区的陆运成本高达东部地区的三倍之多，这一巨大的成本差异不仅源于复杂的地形条件和恶劣的气候环境，更与运输距离长、基础设施薄弱、运输工具适应性差等多重因素密切相关。与此同时，传统运输方式在时效性方面表现不佳，往往需要数天甚至更长时间才能完成货物配送，这对于医疗用品、生鲜食品等时效性要求极高的商品而言，构成了严重的供应链瓶颈。

为了有效解决这些痛点问题，各大物流企业积极探索创新解决方案，其中最具代表性的当属京东集团在青藏高原地区实施的“青藏线”项目。该项目开辟了那曲至拉萨的冷链药品无人机航线，这条航线不仅要应对海拔 4500 米的极端环境挑战，还要确保医疗药品在运输过程中的安全性和有效性。通过采用先进的无人机技术和精密的温控系统，该航线成功实现了高原地区医疗物资的快速、安全配送，极大地缓解了当地医疗资源短缺的问题，为高原居民的健康保障提供了有力支撑。

另一个值得关注的成功案例是顺丰速运在甘孜地区建立的松茸专线物流服务。松茸作为珍贵的野生食用菌，对保鲜要求极为严格，传统运输方式下的损耗率高达 30%，这不仅造成了巨大的经济损失，也严重影响了当地农户的收入水平。顺丰通过构建全程温控运输体系，运用先进的冷链技术和精准的温度控制设备，将松茸的损耗率从原来的 30%大幅降低至 5%，这一显著改善不仅保证了松茸的

品质和新鲜度，更为当地特色农产品走向全国市场开辟了高效通道。该专线的成功运营，不仅提升了产品的市场竞争力，还为当地经济发展注入了新的活力，成为西部地区特色产业与现代物流深度融合的典型范例。

这些示范项目的成功实施，充分证明了通过技术创新和模式创新，完全可以有效破解西部高原地区物流发展的瓶颈制约，为构建更加完善、高效的西部物流网络体系提供了宝贵经验和可复制的成功模式。

5.2.2 生态监测保护

西部地区作为国家生态安全屏障的核心区域，其生态监测与保护工作面临着地域辽阔、环境恶劣、人力资源稀缺等诸多挑战，因此迫切需要依托先进的技术手段来提升监测效率和保护效果。在众多重点应用场景中，生态监测保护已成为西部地区技术应用的重中之重，不仅关系到区域生态平衡的维护，更直接影响着国家整体的生态安全格局，解决这个问题的方式可以采用如图 5-3 所示的技术方式来完成，其中可以看到无人机检测是重要一环。

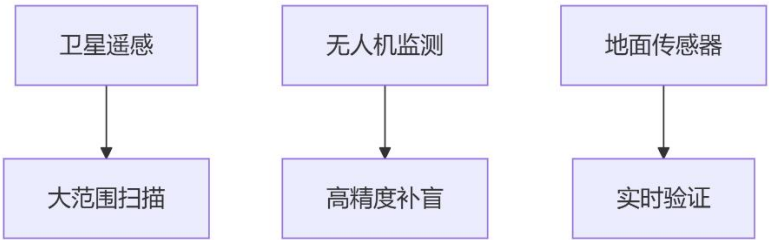


图 5-3 生态监测与保护技术融合方式

三江源保护区作为“中华水塔”，承担着长江、黄河、澜沧江三大河流源头的生态保护重任，其生态状况直接关系到下游数亿人口的生存发展。传统的人工巡护方式在面对 4.6 万平方公里的广袤区域时显得力不从心，特别是在打击盗猎活动和监测植被退化方面存在明显的时空局限性。通过部署先进的无人机遥感监测系统，保护区实现了对重点区域 85%覆盖率的全天候监控，这一技术突破不仅大幅提升了反盗猎工作的时效性和准确性，更为植被退化的早期识别和干预提供了科学依据。无人机搭载的高分辨率光学传感器和红外热成像设备，能够在复杂的高原地形条件下准确识别异常活动轨迹，同时通过多光谱成像技术实时监测草地植被的生长状况和覆盖度变化，为生态修复工程的精准实施提供了重要的数据支撑。

与此同时，祁连山地区作为西北地区重要的生态屏障和水源涵养区，其冰川资源的变化趋势直接影响着河西走廊乃至整个西北地区的水资源安全。面对全球气候变化背景下冰川加速消融的严峻形势，传统的地面测量方法已无法满足大范围、高精度、连续性监测的需求。激光雷达测绘技术的引入彻底改变了这一现状，通过机载激光雷达系统对祁连山冰川进行定期扫描测量，能够实现 ± 0.1 米精度的冰川年退缩量监测，这一精度水平不仅达到了国际先进标准，更为冰川变化的科学研究和气候变化影响评估提供了极其宝贵的基础数据。激光雷达技术凭借其穿透云雾的能力和全天候作业特点，能够在祁连山复杂的气象条件下持续获取高质量的地形数据，通过对比不同时期的数字高程模型，精确计算出冰川表面高程变化、体积变化和质量平衡状况，为深入理解冰川动力学过程和预测未来变化趋势奠定了坚实的技术基础。

5.2.3 能源基地智能运维

西部地区作为国家重要的能源战略基地，其智能运维场景的应用正在成为推动能源产业高质量发展的关键驱动力。在风电领域，甘肃酒泉风电集群作为全国最大的风电基地之一，面临着严峻的叶片巡检和除冰挑战，传统的人工巡检方式不仅效率低下，而且在恶劣天气条件下存在极大的安全风险，智能运维系统的引入使得无人机搭载高精度传感器和 AI 识别算法能够全天候监测风机叶片状态，及时发现裂纹、变形、积冰等异常情况，同时通过热成像技术和振动分析，实现对风机运行状态的实时评估和预警，大幅提升了风电场的运营效率和安全水平。

在光伏发电方面，宁夏戈壁电站等大型光伏项目面临着组件热斑检测和清洗效果评估的双重技术难题，西部地区特有的沙尘环境和强紫外线辐射使得光伏组件容易出现热斑效应和表面污染，传统的红外热像仪检测方法存在检测范围有限、人工成本高昂等问题，而基于人工智能的智能运维系统能够通过无人机搭载的多光谱成像设备和深度学习算法，实现对大面积光伏阵列的快速扫描和热斑自动识别，同时结合气象数据和历史清洗记录，建立清洗效果评估模型，为光伏电站的维护决策提供科学依据，有效提升了发电效率和设备使用寿命。

电网运维在西部地区面临着更为复杂的挑战，特别是在新疆塔克拉玛干沙漠等无人区的输电线路故障排查工作，传统的人工巡线方式不仅成本高昂，而且在恶劣自然环境下难以确保人员安全和巡检质量，智能运维技术的应用彻底改变了

这一现状，通过部署基于北斗卫星导航系统的智能巡检无人机和地面机器人，配合先进的图像识别、红外检测和电磁场分析技术，能够实现对输电线路、杆塔、绝缘子等关键设备的全方位自动化检测，及时发现线路断股、绝缘子污闪、杆塔倾斜等潜在故障隐患，同时利用大数据分析和机器学习算法，建立故障预测模型，实现从被动抢修向主动预防的转变，显著提升了电网运行的可靠性和稳定性，为西部地区经济社会发展提供了坚实的能源保障。

5.2.4 边境应急救援

西部边境应急救援场景呈现出地理环境复杂、气候条件恶劣、传统救援手段受限等显著特点，这为无人机应急救援系统的应用提供了广阔的发展空间和迫切的现实需求。在中印边境和中缅边境等敏感地区，由于地形崎岖、交通不便、海拔较高，传统的地面救援往往面临道路阻断、车辆无法通行、人员难以快速到达等困难，而无人机医疗投送系统能够有效突破这些地理限制，实现在 30 分钟内将紧急医疗包精准投送到指定位置，为边防官兵、当地居民以及意外伤患者提供及时的医疗救助，大幅提升边境地区应急医疗保障能力。

川西地震带作为中国地震活动最为频繁的区域之一，地质构造复杂，地震发生后往往伴随着通信中断、道路损毁、电力设施瘫痪等次生灾害，传统的地面通信基站和有线通信网络极易受到破坏，导致灾区与外界失去联系，严重影响救援指挥和协调工作的开展。系留无人机应急通信系统凭借其快速部署、覆盖范围广、抗干扰能力强等优势，能够在地震发生后迅速搭建起稳定可靠的应急通信网络，确保 72 小时连续不间断的通信保障，为救援队伍之间的协调配合、灾情信息的及时传递、被困人员的定位搜救提供关键的通信支撑，成为灾后救援工作中不可或缺的生命线。

考虑到西部地区恶劣的自然环境条件，无人机应急救援装备必须具备极强的环境适应能力，其中抗风能力需要达到 7 级以上标准，以应对高原地区频繁出现的强风天气，确保无人机在复杂气象条件下仍能保持稳定的飞行姿态和精确的任务执行能力。同时，装备的工作温度范围必须覆盖 -30℃ 至 50℃ 的极端温度区间，这样才能满足从青藏高原的严寒环境到南疆沙漠的酷热条件下的正常运行需求，确保无人机系统在西部地区各种极端气候环境中都能发挥稳定可靠的性能表现，为边境应急救援任务提供坚实的技术保障和装备支撑。

5.2.5 文旅融合创新

在西部地区的文旅融合创新发展中，低空经济正成为推动传统旅游业转型升级的重要驱动力，通过将先进的航空技术与独特的人文景观深度结合，为游客创造了前所未有的沉浸式体验。敦煌月牙泉景区作为这一创新模式的典型代表，率先引入 eVTOL 电动垂直起降飞行器开展低空观光服务，游客可以从空中俯瞰这一千年来屹立不倒的沙漠奇观，感受大漠孤烟直、长河落日圆的壮美景象，尽管票价高达 598 元每人次，但凭借独特的观光体验和安全的飞行保障，该项目实现了 92% 的高上座率，充分证明了市场对高品质空中旅游产品的强烈需求。与此同时，九寨沟风景区则在环保理念指导下，创新性地采用无人机灯光秀替代传统烟花表演，不仅避免了烟火对原始生态环境的污染和破坏，更通过精心编排的空中光影艺术，将九寨沟的山水之美与现代科技完美融合，为游客呈现出更加震撼和持久的视觉盛宴，这种绿色环保的表演方式在显著提升环保效益的同时，也为景区注入了全新的科技魅力。更为显著的是，云南普者黑景区在引入无人机编队表演项目后，通过精心设计的空中 choreography 将当地的民族文化元素与现代科技手段有机结合，创造出独具特色的夜间文化旅游产品，这一创新举措直接带动了景区整体吸引力的大幅提升，仅在暑期旺季期间就实现了客流量 40% 的显著增长，不仅为当地旅游业带来了可观的经济收益，更为西部地区文旅产业的高质量发展提供了可复制、可推广的成功经验，充分展现了科技创新在推动传统文旅产业转型升级中的巨大潜力和广阔前景。

六、西部地区低空经济发展瓶颈与挑战

6.1 自然条件

西部地区独特的自然禀赋对其低空经济发展具有显著的二元性影响：一方面，复杂的地形地貌、广袤的地域空间和丰富的文旅、能源、农牧资源，为低空物流、空中观光、农林植保、能源巡检等应用场景提供了得天独厚的优势和迫切的市场需求；另一方面，高原、山地、沙漠等多样化的地形，以及大风、强对流、高海

拔等复杂多变的气象条件，也对低空飞行器的性能、运行安全和基础设施建设构成了严峻挑战。西部地区的自然地理环境是其发展低空经济最根本的“底色”，这种“底色”呈现出鲜明的二元性特征，即机遇与挑战并存，优势与制约同在。西部地区的地形以高原、山地和盆地为主，地势起伏巨大，气候类型多样。这种复杂性一方面为地面交通带来了天然的阻碍，从而凸显了低空飞行的立体交通优势，催生了旺盛的市场需求。另一方面，这也对低空飞行的安全性、稳定性和经济性提出了远高于平原地区的严苛要求。因此，对西部自然条件的认知绝不能片面化，必须辩证地看待其机遇与挑战。

6.1.1 机遇：独特地理环境催生的广阔应用场景

地形复杂性与交通替代需求：西部地区山脉纵横、沟壑密布，许多地区地面交通建设成本高、周期长、可达性差。这为低空物流配送，特别是“最后一公里”物资运输，创造了刚性需求。例如，在重庆的山城地貌中，无人机已被用于运输“巫山脆李”和医疗物资，展现了其在复杂地形下的独特价值。同时，对于山区、林区、海岛等交通不便地区的巡检和应急救援，低空飞行器也具备不可替代的优势。



图 6.1 西部地区复杂多样的地形地貌特征

丰富的文旅资源与低空观光潜力：西部地区拥有世界级的自然与文化景观，如青藏高原的壮丽风光、甘肃的丹霞地貌、川西的雪山冰川等。发展低空旅游，能够为游客提供全新的、震撼的观景视角，极大地提升旅游体验。更重要的是，空中游览可以有效减少地面交通设施对脆弱生态环境的扰动，实现“景在空中看，路在空中走”，符合西部地区生态保护优先的原则。

广袤的农林牧区与精细化作业需求：新疆、内蒙古、四川盆地等区域拥有大面积的农田、林场和草场。利用无人机进行农药喷洒、病虫害监测、作物授粉、牧场管理等，可以大幅提高农业生产效率，降低人力成本，是发展智慧农业的关键环节。

能源基地与边境地区催生的特殊需求：西部是国家重要的能源基地，密集的风电、光伏电站和输电线路分布在广袤的戈壁和山地。无人机巡检能够高效、安全地完成设备维护任务，青海省已在光伏电站巡检方面展现出应用前景。此外，新疆、西藏等漫长的边境线，也为无人机在边境防控、巡逻侦察等公共服务领域提供了广阔的应用空间。

6.1.2 挑战：制约低空飞行的核心自然因素

复杂地形带来的飞行安全与运营风险：山地、峡谷等复杂地形会产生不稳定的局部气流，增加飞行操控难度。同时，地形遮挡会影响通信和导航信号的稳定传输，对飞行安全构成潜在威胁。在基础设施建设方面，起降场、通信基站、气象监测点的选址和建设也因地形限制而变得更为困难和昂贵。

多变且恶劣的气象条件：西部地区天气系统复杂，雨雪、雷电、大风、低温、低能见度等极端天气频发。例如，华北地区的研究表明，超过 5.5 米/秒的风速就可能对无人机造成剧烈影响，而西部山区的风切变和阵风现象更为剧烈。这些气象因素是影响低空飞行活动适宜性、经济性和安全性的最直接、最关键的限制性因素。

高海拔环境对飞行器性能的特殊要求：在青藏高原、云贵高原等高海拔地区，空气稀薄导致空气动力效率和发动机功率下降，对飞行器的升力、载荷和续航能力提出了更高要求。同时，低温环境也会影响电池性能和材料强度。因此，适配高原型环境的特种航空器研发和适航审定，是西部地区，特别是高海拔地区低空经济发展的技术前提。四川省的政策已明确支持“高原型通用飞机”的研发，正是对这一挑战的回应。

6.1.3 自然条件差异性与适应性策略

西部十二省（区、市）地域辽阔，内部自然条件差异巨大，决定了其低空经济发展不能“一刀切”，必须因地制宜，走差异化、特色化发展道路。

(1)四川、重庆：盆地与山地交错，市场与产业基础雄厚

四川盆地与周边山地高原的巨大高差，以及重庆“山城”、“江城”的独特地貌，共同塑造了复杂的应用场景。两地拥有较好的航空产业基础和科研实力，市场需求旺盛。发展重点应聚焦于：利用山地地形发展山地旅游、应急救援；利用城市峡谷地貌探索城市空中交通（UAM）和即时物流；依托产业优势，推动成渝地区双城经济圈的低空产业协同，并已开辟西南地区首条跨省低空目视航线。其政策也体现了系统性布局，如四川省出台的《支持低空经济发展的若干政策措施》覆盖了从基础设施到产业培育的全链条。

(2)云南、贵州：高原山地典范，聚焦特色文旅与气象服务

云贵高原海拔高、山地多，喀斯特地貌广布，地面交通不便。这为发展低空经济提供了天然的“比较优势”。发展重点应是：深度融合丰富的旅游资源，打造世界级的低空观光和探险旅游产品；利用无人机服务于高原特色农业（如茶叶、花卉）；特别值得注意的是，贵州省气象局已前瞻性地开始构建“山地特色低空气象服务体系”，这种针对本地核心自然约束（山地气象）的精细化服务，是西部其他省份可以借鉴的典范。

(3)陕甘宁：黄土高原与走廊地貌，侧重能源巡检与文化旅游

陕西拥有雄厚的航空工业和科教基础，是低空装备制造业的重要基地。甘肃的河西走廊、丹霞地貌和密集的风光电基地，使其在低空文旅和能源巡检方面潜力巨大。宁夏则可依托其农林资源发展智慧农业。这一区域的发展路径应是：陕西强化研发制造，甘肃、宁夏则侧重于应用场景的开拓，形成“研发在陕西，应用在西部”的协同格局。但同时需注意，宁夏等地区在低空经济领域的融资活跃度较低，需要政策重点扶持。

(4)青海、西藏：高寒高原地区，生态保护与特殊服务需求突出

这是中国乃至世界海拔最高、自然条件最严酷的区域。低空经济发展必须服务于国家生态安全战略和民生改善。应用场景高度聚焦于：对三江源等生态保护区的野生动物监测与保护；对光伏电站、盐湖资源的巡检；在人口稀少、交通断绝地区提供紧急医疗物资配送和应急救援服务。技术挑战也最为巨大，亟需攻克高原型无人机和通用航空器的技术瓶颈。西藏融资活跃度极低，其发展更依赖于国家层面的战略投入和政策倾斜。

(5)新疆、内蒙古：地域辽阔资源丰富，边境防控与农牧业应用潜力巨大

两地共同特点是地域广袤、空域资源丰富、地势相对平坦开阔，拥有大面积的农田、牧场和边境线。这为大规模、长航时无人机作业提供了理想的物理空间。发展重点应是：大规模农林植保、精准畜牧业管理（牛羊定位与盘点）、漫长边境线的常态化巡检、以及依托特色自然风光发展低空旅游。

6.2 产业生态

西部地区的发展格局呈现出典型的“西部筑基”特征，即在基础设施、产业链关键环节和特色应用场景方面打下坚实基础。西部地区在发展过程中仍面临基础设施相对薄弱、产业链完整度有待提升、空域管理协同复杂以及高端人才与资本吸引力不足等挑战。随着《西部地区鼓励类产业目录（2025 年本）》的深入实施和各项试点工作的推进，西部地区有望在 2030 年前，在应急救援、农林矿、特色物流等领域形成全国领先的应用示范区，成为国家低空经济万亿级市场的重要增长极和战略纵深。

6.2.1 “西部筑基”：产业生态雏形初现，创新平台加速构建

在全国低空经济“东部引领、中部跃升、西部筑基”的三维梯度发展格局中，西部地区承载着“筑牢根基、拓展纵深”的独特战略使命。国家发展改革委于 2024 年底修订出台、并于 2025 年 1 月 1 日起正式施行的《西部地区鼓励类产业目录（2025 年本）》，明确将“低空经济，包括通用航空器、无人机及其零部件组装、维修、运营和制造”纳入其中[13][117][359]。这意味着在西部地区从事相关产业的企业可享受减按 15%征收企业所得税的优惠政策[359]，为西部地区吸引投资、集聚产业要素创造了前所未有的政策洼地。西部地区地貌多样、地域辽阔、资源丰富，同时在传统物流、应急救援、农业生产等方面存在现实痛点，这恰恰为低空经济的应用场景创新提供了广阔的试验场和巨大的市场潜力。因此，研究西部地区低空经济产业生态的发展路径，不仅对西部自身的高质量发展至关重要，也对完善国家低空经济的整体版图具有战略意义。

截至 2025 年 7 月，西部地区低空经济发展已从概念导入期迈入基础建设与场景探索并举的实质性发展阶段。西部地区的低空经济产业生态正从“点”上的企业突破，向“链”上的协同和“网”上的生态演进。创新平台建设：以梁平区规划的“五中心七平台”低空产业生态体系为例，涵盖了从研发、制造、认证、

试飞到运营、服务的全链条支撑功能。绵阳低空经济研究院的成立，也为西部地区提供了高能级的技术创新和战略研究平台。产教研用融合：重庆永川正在积极探索将职业教育资源与产业需求相结合的模式，为低空经济发展定向培养操作、维修、管理等方面的专业人才。特色应用涌现：无人机在西部地区的特色应用已初见成效。例如，利用无人机运输网络将偏远地区的新鲜松茸等高附加值农产品快速送达消费市场，极大地提升了运输效率和产品价值，展示了低空物流在西部的巨大潜力。

6.2.2 西部地区低空经济核心发展路径

(1)以特色应用场景为牵引，构建需求驱动型产业生态

与东部地区侧重于城市空中交通（UAM）和高端制造不同，西部地区应实施“非对称”发展战略^{[118][379]}优先发展具有比较优势和刚性需求的特色应用场景，以需求侧的繁荣反哺供给侧的成长。

“低空+农林牧矿”：针对西部广袤的农田、林区和矿区，大力发展无人机植保、精准播种、森林防火巡检、病虫害监测、矿产勘探和测绘等应用。这不仅能提升传统产业效率，也符合可持续发展的生态要求。

“低空+应急物流”：利用无人机和通用航空器，构建覆盖偏远山区、交通不便地区的应急救援和物资配送网络。在自然灾害频发的西部地区，这能够提供医疗物资紧急投送、救援人员快速部署、灾情实时勘察等关键服务。

“低空+基础设施巡检”：西部地区拥有大量的电网、油气管网、交通线路等关键基础设施。利用无人机进行自动化、高频次巡检，可以大幅降低人工成本和风险，保障能源和交通大动脉的安全。

“低空+文旅体验”：依托西部雄奇壮丽的自然风光（如峡谷、雪山、丹霞地貌），开发低空旅游、空中观光、飞行体验等新业态，打造沉浸式旅游产品，为旅游产业注入新活力。

(2)以关键环节为突破，打造“西部筑基”型制造与服务体系

在“西部筑基”的定位下，西部地区应聚焦于产业链的关键支撑环节，构建稳固的制造与服务基础。发展航空器总装、维修改装（MRO）与零部件配套：充分利用《西部地区鼓励类产业目录》的政策优势，大力吸引通用航空器、无人机的总装生产线落地，并重点发展维修、保养、大修及改装（MRO）产业，形成服

务西部乃至全国的航空器保障基地。构建“适度超前”的低空基础设施网络：加快通用机场、垂直起降场（Vertiports）、无人机起降点以及配套的充/换电、加氢等能源设施的规划与建设。特别要建设以 5G、北斗、人工智能技术为支撑的“数字低空”，打造一体化的无人机交通管理（UTM）系统，为大规模、高密度的低空飞行活动提供安全保障。培育专业的低空运营与保障服务：发展专业的低空飞行运营服务商、空域规划与管理服务、精准气象服务、金融租赁、保险等生产性服务业，完善产业生态的“软环境”。

(3)以产教融合为支撑，培育创新驱动型人才与技术高地

人才是第一资源，技术是核心驱动力。西部地区必须将人才培养和技术创新置于优先发展的战略位置。打造特色化的人才培养体系：依托重庆永川等地的职业教育基地，深化校企合作，建立面向低空经济的飞行员、无人机操作员、机务维修、空管服务等专业，形成“订单式”培养模式，为产业发展提供源源不断的专业技能人才。建设高水平的技术创新平台：以绵阳科技城低空经济研究院等机构为核心，聚焦西部特色应用场景所需的核心技术，如复杂环境下自主飞行、高可靠性通信导航、集群协同作业、智能探测与反制等关键技术形成一批具有自主知识产权的科研成果并推动其就地转化。构建开放协同的创新生态：鼓励龙头企业、高校和科研院所组建创新联合体积极引进东部地区的先进技术、管理经验和资本，形成以企业为主体、市场为导向、产学研用深度结合的协同创新格局。

6.3 政策因素

西部地区的低空经济发展呈现出“国家顶层设计引导、省级政府积极布局、技术与设施瓶颈凸显、空域管理改革深化”四大核心特征。政策的“推力”与现实的“阻力”相互交织，共同塑造了当前及未来数年西部低空经济的发展轨迹。

6.3.1 国家层面政策框架：西部大开发的“低空”新篇章

国家层面的宏观政策是西部地区发展低空经济的根本遵循和最大动力源。最关键的政策信号来自于中华人民共和国国家发展和改革委员会将低空经济纳入西部地区的鼓励类产业目录，这为资本、技术和人才流向西部提供了明确的政策激励和方向指引。

(1)《西部地区鼓励类产业目录》的战略导向

2024 年，国家发展改革委修订并发布了《西部地区鼓励类产业目录（2025 年本）》，并自 2025 年 1 月 1 日起正式施行。此举的核心意义在于，首次将“低空经济”明确列为西部地区新增的鼓励类产业，覆盖重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆（含兵团）、内蒙古、广西等全部 12 个西部省（区、市）。这不仅是一项产业政策，更是国家推动区域协调发展战略在低空领域的具体体现。该目录并非“一刀切”，而是根据各省区的资源禀赋和产业基础，设定了差异化的鼓励方向，体现了精准施策的思路：

新疆维吾尔自治区（含兵团）：重点鼓励通用航空器、无人机及其零部件的组装、维修、运营和制造。这旨在利用新疆广阔的地域和独特的区位优势，发展面向中亚的航空制造与服务枢纽。

内蒙古自治区：鼓励发展短途运输、试验测试、教育培训，以及通用机场、通航起降点的运营和航空飞行器材制造。这充分考虑了内蒙古地广人稀、盟市间距大的特点，将低空交通作为弥补地面交通不足的重要手段。

广西壮族自治区：将无人机载人和物流、北斗卫星导航及时空信息产业列为鼓励方向意在强化其面向东盟的物流与信息门户功能。

西藏、青海、甘肃等省区：同样被纳入鼓励范畴，例如西藏鼓励水陆两栖飞机、无人机研发制造；青海鼓励民用无人驾驶航空试验基地（试验区）运营；甘肃则涉及航空航天产业用金属材料。

通过这种顶层设计，国家不仅为西部地区发展低空经济提供了税收优惠等实质性支持，更重要的是从战略层面确认了其发展的合法性与优先性，极大地提振了市场信心。

6.3.2 西部地区省级政府政策布局与实施细则

在国家政策的感召下，西部各省区迅速行动，将低空经济写入政府工作报告，并出台了一系列专项规划和实施方案，形成了“追、赶、超”的积极态势。其中，四川、陕西、内蒙古等省区的政策布局尤为突出，具有代表性。

(1)四川省：依托改革试点优势，打造西部发展高地

四川省作为全国首批低空空域管理改革试点省份，政策布局具有先发优势和体系化特征。政策框架：四川省政府办公厅于 2024 年 6 月发布了《关于促进低空经济发展的指导意见》（川办发〔2024〕24 号），明确了发展路径。随后，

省发改委等部门联合发布了《支持低空经济发展的若干政策措施》，包含基础设施、场景应用、科技攻关、低空制造、专项基金 5 大板块 16 条具体措施，有效期至 2028 年。发展目标明确且量化，计划到 2027 年，建成 20 个通用机场和 100 个以上垂直起降点，培育 3-5 家行业领军企业。

核心举措包括：管理创新：在全国率先成立“四川省低空空域协同管理委员会”，变军民航“分块管理”为军地民“协同管理”，简化审批流程。市场培育：重点推动通航短途运输、无人机物流配送（构建“干-支-末”网络）、低空公共服务（政府购买）和低空文旅消费。产业基础：目前已形成覆盖整机、机载系统、零部件及材料的全产业链，中大型无人机产业规模居全国领先。成都市也积极跟进，致力于建设低空飞行服务枢纽城市。

（2）陕西省：立足航空制造优势，聚焦产业能级跃升

陕西省依托其雄厚的航空工业基础，政策着力点聚焦于低空“制造”端的高质量发展。政策核心：省工信厅于 2024 年 7 月印发《推动低空制造产业高质量发展工作方案（2024-2027 年）》，提出了 5 类 15 条具体措施。发展目标：发布《陕西省培育壮大千亿级航空制造与低空产业创新集群行动计划》，计划到 2025 年产值突破 2000 亿元，2030 年突破 3500 亿元，目标宏伟。其 2024 年航空和无人机制造业产值已近 2000 亿元，基础坚实。

核心举措包括：产业升级：推动产业向智能化、融合化、服务化转型，支持头部企业做大做强，同时精准培育“小而美”的细分领域企业。技术攻关：强调加快新型低空装备产品创新和关键核心技术产业化，强化企业创新主体地位。生态构建：通过推动特色产业聚集、强化应用场景牵引、优化频谱资源、加大融资支持等方式，培育完善的低空制造生态圈。

（3）内蒙古自治区：发挥空域资源优势，拓展“低空+”应用场景

内蒙古的政策充分利用其广阔的空域、丰富的算力资源和多样的应用场景。政策蓝图：自治区政府办公厅于 2024 年 9 月印发《内蒙古自治区低空经济高质量发展实施方案（2024—2027 年）》。发展目标：到 2027 年，培育 1-2 个低空空域管理改革试点，通用机场数量达到 33 个，标准化临时起降场（点）达到 100 个，并建成 2 个以上低空飞行综合服务站。

核心举措包括：空域改革先行：鼓励有条件的盟市开展改革试点，支持鄂尔多斯打造试点样板，在呼伦贝尔、阿拉善探索“空域管理+经济发展”新模式。

“算力+低空”：依托全国一体化算力网络国家（内蒙古）枢纽节点，建设自治区低空飞行智能信息网，打造低空经济数据底座，这是其独有优势。场景驱动：发布《内蒙古自治区低空+场景推广应用指南》，详细规划了公共服务、生产作业、消费服务三大类应用场景，如“低空+文旅”、“低空+物流”、“低空+边防”等，致力于将资源优势转化为产业优势。产业集聚：规划建设呼包鄂低空经济发展圈、赤通锡低空应用集聚区和乌阿海满低空旅游集聚区，形成区域联动发展格局。

6.3.3 政策实施面临的关键挑战与技术壁垒

尽管政策春风劲吹，但西部地区低空经济的发展并非坦途。基础设施薄弱和核心技术瓶颈是当前政策落地过程中最主要的两大制约因素，其具体表现可通过一些可衡量的指标和现象进行观察。

(1) 基础设施建设滞后与缺口

低空经济的运行离不开地面基础设施网络的支撑，而这正是西部地区的突出短板。通用机场与起降点数量严重不足：全国范围内低空基础设施本就存在不足，通用机场数量有限且分布不均。这一问题在西部地区尤为严重。数据显示，2024年全国通用机场数量分布中，西北地区仅占5%，新疆占4%，整个西部地区占比仅为16%。与东部沿海地区（如深圳计划到2025年建成超1000个低空起降平台）相比西部省份在标准化起降点方面存在巨大的“缺口比例”，这直接限制了低空航线的开辟和服务的规模化。

数字基础设施支撑乏力：低空飞行服务高度依赖通信、导航、监视等数字基础设施。西部地区在数字基础设施方面本身就是主要障碍之一。例如，部分地区5G网络覆盖率不足，这会影响无人机等航空器的实时数据传输与智能管控，构成安全隐患。

高昂的投资成本与建设周期：通用机场和地面配套设施建设投资巨大，而西部地区地方财政能力普遍弱于东部，社会资本参与度也有待提高，这使得基础设施建设规划的落地面临资金压力。预计到2035年，全国起降场等基础设施投资将达1.8万亿元人民币，如何有效引导资金投向西部是关键。

(2) 核心技术瓶颈与国产化挑战

政策的激励最终需要通过强大的技术实力来实现,而我国在低空经济领域仍存在“卡脖子”问题,西部地区作为产业后发区域,面临的挑战更为严峻。关键零部件对外依赖:航空发动机、航电系统、高精度传感器等核心部件的对外依赖度较高,缺乏自主创新,这是整个行业的共性问题。核心技术国产化率有待提升:尽管我国在无人机整机制造方面已具备全球竞争力,但在更基础的核心技术层面,国产化进程仍在追赶。一个积极的信号是,部分关键技术正在取得突破。例如,据预测,长江-1000A 发动机的国产化率到 2025 年有望提升至 68%。然而,这只是单一领域的进展,在智能空域控制、高精度导航、复杂环境自主运行等核心软件与算法方面,仍需持续攻关。人才短缺问题:低空经济是技术密集型产业,对复合型人才需求旺盛。西部地区高校和职业院校在相关专业设置、产教融合等方面相对滞后,缺乏有针对性的人才培养体系,导致专业人才储备不足。

七、发展建议与路径规划

7.1 强化基础设施建设: 奠定高飞之基

基础设施是低空经济发展的“路网”和“骨架”,其完善程度直接决定了低空飞行的规模、效率与安全。西部地区地域辽阔,地形复杂,对高质量、广覆盖的基础设施网络需求尤为迫切。

7.1.1.物理基础设施: 构建“空地一体”的起降网络

低空经济的物理基础设施核心在于构建一个由通用机场、垂直起降场 (Vertiport) 和临时起降点 (Takeoff and Landing Point) 组成的网络化体系。全国范围内,低空经济基础设施投资热度持续高涨。2024 年至今,公开招投标中与低空经济基建相关的项目预算总额已超过 120 亿元人民币。权威机构预测,到 2025-2030 年,仅通用机场的投资额就将达到 3957.5 亿元。虽然目前尚无专门针对西部地区低空基建的精确投资数据,但参考深圳市计划在 2024-2026 年投入超过 120 亿元建设 1200 个以上低空起降点的雄心,西部地区若要构建起有效网络,其潜在投资需求将是巨大的。

在技术标准与建设路径层面，目前国家层面虽未出台完整的低空基建实施路径，但《电动垂直起降航空器（eVTOL）起降场技术要求》等团体标准的发布，为西部地区建设起降场提供了初步技术依据。西部地区应以此为基础，结合自身地理环境（如山地、高原、盆地），规划“核心枢纽+区域节点+社区末梢”三级起降网络。例如，在重庆、成都等中心城市建设大型枢纽型垂直起降场，在区县及重点乡镇布局中型区域起降场，并在旅游景区、物流园区、应急救援点等设置灵活的临时起降点，形成多层次、广覆盖的物理网络。

7.1.2.数字基础设施：打造“精准智能”的数字天路

如果说物理设施是“路”，那么数字基础设施就是“交通信号灯”和“导航系统”。
通信与导航基础：5G网络是保障低空飞行器（特别是无人机）实时通信与数据传输的关键。截至2025年2月，中国5G基站总数已达432.5万个，为低空经济的信息化建设奠定了坚实基础。西部地区需在此基础上，进一步加密山区、河谷等信号薄弱区域的5G覆盖。同时，必须充分利用“北斗+GPS”双系统导航服务，特别是已在全国多省市推广应用的北斗网格码技术，它为建立全国统一的低空立体交通数字坐标系提供了可能，能极大提升西部复杂地形下的飞行精度与安全性。
空域管理与服务平台：建设一体化的低空飞行服务保障体系是数字基建的核心。四川省在全国率先成立“低空空域协同管理委员会”，推动军地民三方协同管理，是西部地区在管理模式上的重要探索。西部各省应借鉴此模式，搭建省级的低空飞行服务平台，整合空域监视、飞行计划、气象信息、告警服务等功能，实现空域资源的数字化、可视化管理。

7.1.3.投融资模式创新：引入社会资本，撬动万亿市场

低空基建投资巨大，仅靠政府财政难以维系。创新投融资模式，特别是推广政府和社会资本合作（PPP）模式，是必然选择。西部地区历来是PPP模式应用的重点区域。历史数据显示，西部地区的PPP项目数量和投资额在全国占比极高，有时甚至接近半壁江山。这表明西部地区在运用PPP模式方面有较好的基础和经验。低空经济基础设施兼具公共产品和商业运营属性，非常适合采用PPP模式进行投资建设。在PPP项目设计中，应明确政府与社会资本的权责。典型的股权结构为政府方出资代表持股低于50%（常见为10%-30%），社会资本方控股，以保证项目运营效率。例如，可参考西安市公共停车场项目的“政府20%、社会资本80%”的股权结构。风险分担上，应遵循“由最能控制风险的一方承担”

原则：政府承担政策、法律、土地获取等风险；社会资本承担设计、融资、建设、运营等商业风险；不可抗力等风险由双方共担。中央财政支持：西部地区发展低空基建具有独特的政策优势。中华人民共和国国家发展和改革委员会明确，对于回报率低的公益性、基础性设施建设，中央预算内投资对西部地区的补助比例最高可达 80%。这笔资金可以作为政府方在 PPP 项目中的资本金出资，极大减轻地方财政压力，增强项目对社会资本的吸引力。

7.2 完善产业生态：构建协同之链

一个健康的产业生态，是低空经济持续发展的内生动力。西部地区需要从“单点突破”走向“链式发展”，构建上中下游协同、大中小企业融通的产业集群。西部各省市已开始结合自身禀赋进行差异化探索，展现出不同的发展路径。四川模式（制造引领，建圈强链）：四川依托其强大的航空航天和电子信息产业基础，着力于“建圈强链”。截至 2024 年，四川低空经济产业营收已突破 200 亿元，拥有超万家经营主体。绵阳市成立低空经济研究院，汇聚政产学研用各方力量，旨在打造西部创新高地。这种以制造业为核心，带动全产业链发展的模式，是四川的核心竞争力。重庆模式（产教融合，场景驱动）：重庆虽然面临基础设施不足等挑战，但其永川区依托现代制造业和西部职教基地的优势，大力推动校企合作和产教融合，在低空制造、管理和应用领域形成了特色。这种模式为解决产业发展所需的人才问题提供了有效途径。云南模式（下游切入，逆向延伸）：云南、贵州等高原地区，可以发挥其在文旅、物流、应急等应用场景的独特优势。昆明的探索路径提出，可以从下游的应用场景（如分散试飞、集中整合）切入，逐步向上游的研发制造延伸，形成“下游驱动中游，再延伸至上游”的差异化产业链发展模式。

尽管前景广阔，但西部乃至全国的低空经济产业链仍存在显著短板。核心技术与零部件“卡脖子”：在高性能电机、高能量密度电池、智能飞控系统、核心芯片以及先进复合材料等关键领域，我国对外依存度仍然较高，自主创新能力不足。这是制约产业向高端化发展的最大瓶颈。产业链协同性不足：许多地区存在“上游研发弱、下游应用强”或“整机强、配套弱”的结构性失衡问题。各部门、各地区之间缺乏有效的协同发展机制，导致资源浪费和效率低下。商业化成本与市场培育挑战：eVTOL 等新型航空器的初期制造成本和运营成本高昂，短期内难以与传统交通工具竞争。同时，低空消费服务市场尚不成熟，用户基础薄弱，限制了商业模式的探索和迭代。

要破解上述挑战，必须加强区域产业协同。如以四川、云南为代表的西南地区，应构建紧密的产业联盟。建立协同度评估机制：产业链的协同度和均衡性决定了区域竞争力。绘制“产业图谱”，精准补链：四川省已建立“链长制”和“四张清单”（产业图谱、生态体系、重大任务、支持政策）的协同推进工作机制。川滇两地可在此基础上，联合绘制跨省域的低空经济产业图谱，明确各自的优势环节和缺失环节，通过联合招商、共建产业园区等方式，精准“补链、强链、延链”，避免同质化竞争。

7.3 政策保障与创新：筑牢发展之盾

政策是引导和规范低空经济发展的“指挥棒”。西部地区需要用好国家政策，并结合实际进行地方性创新。

7.3.1 用好用足《西部地区鼓励类产业目录》

《西部地区鼓励类产业目录（2025 年本）》已明确将“低空经济”纳入其中，包括通用航空器、无人机及其零部件的制造、维修、运营等。税收优惠政策：符合条件的企业可享受减按 15% 税率征收企业所得税的重大优惠。适用条件主要有三条：企业注册在西部地区；主营业务属于《目录》范围；主营业务收入占总收入比例达到 60% 以上。这是西部地区吸引低空经济企业落户的核心政策工具。明确申报流程与材料：目前，企业享受该优惠采取“自行判别、申报享受、相关资料留存备查”的方式。但为降低企业合规风险，建议西部各省区市的税务和工信部门联合出台针对低空经济产业的详细申报指引。应明确区县级审批所需的具体材料清单，可参考成都、深圳等地对低空产业扶持项目要求的材料，如企业基本证照、财务报表、知识产权证明、主营业务符合性说明等。同时，绘制清晰的审批流程图，提升政策透明度和办理效率。

7.3.2 创新地方性法规与监管模式

低空经济的发展离不开管理创新，特别是空域管理和安全监管。深化空域管理改革：低空空域的开放是低空经济发展的基本前提。西部地区应全面推广四川的“低空空域协同管理”经验，建立军地民常态化沟通协调机制，简化飞行计划审批流程，逐步划设更多可供利用的低空目视飞行航线和无人机飞行空域。探索“沙盒监管”：对于 eVTOL 载人飞行、城市空中交通（UAM）等新业态，其适航认证

和运营监管在全球范围内都处于探索阶段。西部地区可利用其广阔的空域资源，设立“低空经济特区”或“沙盒监管区”，允许企业在特定区域、特定时间内进行创新应用测试，为国家层面制定相关法规和标准积累实践经验。

7.3.3 强化金融支持与风险分担

除了 PPP 模式，还需要构建多层次的金融支持体系。设立专项产业基金：由政府出资引导，吸引社会资本参与，设立省级或区域性的低空经济产业发展基金，重点投向产业链关键环节的初创企业和重大项目。完善 PPP 项目合同条款：针对低空基建 PPP 项目，应设计更为精细的合同。对于政府持股 30%-49% 的项目，需在合同中明确界定政府的股东权利与监管责任，避免“一股独大”或过度干预。风险分担条款应详细列明各类风险的承担主体、补偿机制和触发条件，为项目长期稳定运营提供法律保障。

7.4 人才培养与技术攻坚：打造核心之擎

人才是第一资源，技术是核心竞争力。西部地区必须将人才培养和技术攻坚置于战略高度。

7.4.1. 直面人才缺口，优化培养体系

低空经济的快速发展带来了巨大的人才缺口，仅无人机操控员一项，全国缺口就高达百万。更严峻的是结构性短板，即缺少高端研发和管理人才。高校专业布局：中华人民共和国教育部已批准多所高校在 2025 年新增“低空技术与工程”本科专业，位于西部的西北工业大学名列其中。这是一个积极信号。西部其他有航空航天、电子信息、自动化等学科优势的高校，如四川大学、电子科技大学、重庆大学等，应加快申报相关专业或设立交叉学科学位项目。构建复合型课程体系：低空经济人才需要跨学科知识。课程体系设计应融合飞行器设计、人工智能、通信工程、控制科学、新材料、空域管理法规甚至金融经济学。以空域管理课程为例，应包含空域划分、法律法规、飞行许可申请、冲突解决机制等模块并合理分配学分。

建设高标准实训基地：理论学习必须与实践相结合。高校应参照相关建设规范，规划建设包含模拟塔台、维修机库、飞行测试区、数据处理中心在内的综合性实

训基地。模拟塔台的建设应符合空管模拟训练系统标准，配置雷达和通信导航模拟设备。通过“理论更新+场景实训+项目孵化”的模式，培养学生的实际操作和创新能力。

7.4.2.明确技术攻坚优先领域

为摆脱核心技术受制于人的局面，必须集中力量进行技术攻坚。技术短板清单：结合产业需求和现有挑战，西部地区应重点突破以下领域：动力系统：高能量密度、长寿命、高安全性的动力电池；高功重比、高效率的电机及电控系统。飞控与航电：高可靠、高自主的智能飞行控制系统；适应复杂环境的感知与避障技术，特别是基于毫米波雷达和 3D 视觉的感知算法。核心材料与芯片：高性能、低成本的碳纤维复合材料；自主可控的飞控芯片、导航芯片和通信芯片。关键算法：高精度的 GNSS/INS 组合导航算法、智能航线规划与运筹调度算法、SLAM 算法等。协同创新平台：鼓励龙头企业牵头，联合高校、科研院所组建创新联合体，如绵阳的低空经济研究院模式。利用“秦创原”等现有创新平台，围绕上述技术短板设立重大科技专项，实行“揭榜挂帅”，加速技术突破和成果转化。

结束语

截至 2025 年 7 月，西部地区发展低空经济的号角已经吹响，政策东风正劲，市场空间广阔。然而，前路依然充满挑战。要将巨大的潜能转化为现实的生产力，西部地区必须采取系统性、前瞻性的发展策略。通过强化“空地一体、软硬兼备”的基础设施，构建“协同互补、充满韧性”的产业生态，创新“精准有效、包容审慎”的政策保障，以及打造“人才辈出、技术领先”的核心引擎，西部地区完全有能力在未来十年内，成为中国乃至全球低空经济发展版图上的的一颗璀璨明星。

参考文献

1. 《关于深化我国低空空域管理改革的意见》
2. 《国家综合立体交通网规划纲要》

3. 《低空经济发展三年行动计划（2024-2026 年）》
4. 2024 年国务院政府工作报告
5. 《低空空域使用管理办法（试行）》
6. 《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》
7. 《北京市促进低空经济产业高质量发展行动方案（2024-2027 年）》
8. 《上海低空经济产业创新发展实施方案》
9. 《深圳经济特区低空经济产业促进条例》
10. 陕西省《航空产业高质量发展三年行动计划》
11. 四川省《关于支持通用航空产业发展的若干政策措施》
12. 《重庆市低空经济发展规划（2024-2030 年）》
13. 新疆石河子市《低空旅游发展扶持办法》
14. 鄂尔多斯市低空经济高质量发展实施方案（2024-2027 年）
15. 公众版-广州市综合交通体系规划（2023-2035 年）
16. 北京市促进低空经济产业高质量发展行动方案（2024-2027 年）
17. 安徽省推动空天信息产业高质量发展行动方案
18. 苏州市低空飞行服务保障基础设施测试指南
19. 河北省打造和开放创新应用场景三年行动方案（2024-2026 年）
20. 金华市推动低空经济高质量发展实施方案（2024-2027 年）
21. 金华市推动低空经济高质量发展实施方案（2024-2027 年）
22. 梁平区支持低空经济高质量发展十条激励措施（试行）
23. 重庆市推动低空空域管理改革促进低空经济高质量发展行动方案（2024—2027 年）
24. 成都市加快提升低空飞行能力培育低空经济市场的若干政策措施