

# 低空经济下“三链四协同”能力矩阵构建与实施路径研究

李琳\*, 陈志伟, 韩月娇

黑龙江工业学院环艺与建筑工程学院, 黑龙江鸡西, 中国

\*通讯作者

**【摘要】**随着低空经济的快速发展, 专业人才需求日益攀升。本文聚焦低空经济背景下高校人才培养的现实困境, 提出通过“三链融合”(产业链、教育链、创新链)与“四协同”(政府、企业、院校、科研机构)机制重构培养体系以破解瓶颈。研究中, 以无人机应用领域的岗位需求为纵轴、专业技能为横轴构建能力矩阵, 厘清“三链四协同”框架下各方责任; 并以“航拍测绘岗”为具体案例, 阐述了基于“三链四协同”的人才培养实施路径基本思路, 为低空经济领域专业人才培养提供了系统性方案。

**【关键词】**低空经济; 三链四协同; 能力矩阵; 人才培养

**【基金项目】**黑龙江省教育科学规划 2025 年度省重点课题: 低空经济视域下“三链四协同”复合型人才培养有效机制与路径研究(课题批准号: GJB1425046)成果。

## 1. 引言

低空经济是以低空飞行活动为核心, 以无人驾驶飞行、低空智联网等技术组成的新质生产力与空域、市场等要素相互作用, 带动低空基础设施、低空飞行器制造、低空运营服务和低空飞行保障等领域发展的综合性经济形态[1,2]。20世纪60年代美国率先开放低空奠定规范化发展基础, 近10年来逐步进入体系化、规模化发展阶段; 美国、欧盟、日本等主要经济体形成了差异化发展模式, 美国以技术领导和市场驱动为核心, 欧盟侧重区域协同与绿色转型, 日本聚焦场景深耕与务实推进, 韩国、巴西、卢旺达等国家也因地制宜探索特色路径; 其发展得益于技术进步、政策支持、市场需求和资本投入的协同推动。2021年2月, 《国家综合立体交通网规划纲要》首次提出发展低空经济[3]。此后, 低空经济连续两年被写入《政府工作报告》。2024年被普遍视为中国低空经济元年[4], 各地政策落地进程加快。据赛迪顾问(CCID Consulting)发布的《中国低空经济发展研究报告(2024)》显示, 2024年中国低空经济规模达6702.5亿元, 同比增长32.5%; 预计2026年将突破1万亿元, 2030年达到2万亿元。产学研各界已形成共识: 低空经济有望在未来十年成为十万亿级产业[5]。

低空经济是技术、政策、市场三重驱动的复合型产业。低空经济作为新兴赛道, 其人才需求十分紧缺, 一是需要高端人才。低

空产业目前尚处于发展初期, 行业标准体系待完善, 需要高端人才不断创新, 这类人靠常规培育无法满足; 二是需要技能型人才。如无人机“飞手”, 无人机设计、生产制造人才等[6]。高等教育目前应该着力解决当前人才培养与产业需求脱节问题, 为低空经济高质量发展提供支撑[7]。

为此, 本文从技能型人才需求的角度出发, 分析低空经济人才培养困境, 提出以“三链融合”锚定人才能力需求, 以“四协同”构建培养生态, 形成“能力矩阵+实施路径”的解决方案, 为应用型人才培养提供思路。

## 2. 低空经济人才培养的现实困境

### 2.1 需求与供给的错配

低空经济的“跨域融合”特性使其对人才的需求呈现显著的复合化特征, 但当前供给体系难以匹配这种需求, 形成结构性矛盾。

从企业需求端看, 面临着跨域知识与场景化能力的双重挑战。低空经济的技术密集性和应用广泛性, 催生对“跨域知识+实践能力+创新思维”复合人才的迫切需求。从细分领域看: 首先是技术研发领域需要无人机控制需要融合空气动力学、飞行控制、嵌入式系统与AI算法等技术; 运营管理领域则需要人员同时掌握无人机性能参数(如载重、续航)与城市交通规则, 空域调度等; 安全监管领域则需要掌握航空飞行器法规、气象监测与应急处理等全方面能力。

从目前的人才供给链上看, 一是高校设置相关专业数量少, 2025年北京航空航天大

学等6所高校增设“低空技术与工程”专业，该专业是一门融合了低空运动体优化设计与综合运用、低空通信与交互智联、复合导航与自主感知、协同决策与智能控制、低空运行与安全管理等多个前沿技术领域的新兴专业[8]。二是企业培训碎片化，企业的培训往往以某一特定目的进行培训，如顺丰、京东等企业开展无人机操作培训，内容多限于飞行技能，缺乏系统的理论知识和跨场景应用训练，在遇到应急问题时难以应对。三是低空经济中政产学研协同不足，资源比较分散，人才供给、设备供给都无法有效协同。

## 2.2 核心问题聚焦

低空经济人才培养的结构性矛盾，本质上是教育链、产业链、创新链与人才链的协同失衡，具体表现为三者的割裂与多主体协同机制的缺位，直接制约了复合型人才的供给质量。

(1) 教育链与产业链脱节：课程滞后与场景断层

教育链作为人才供给的核心载体，其与产业链的脱节集中体现为“知识供给”与“产业需求”的时空错配，导致人才能力与岗位要求出现结构性偏差[9]。

从课程体系看，内容更新滞后于产业迭代速度。低空经济的技术密集性（如无人机智能化、低空通信）和政策敏感性（如空域管理法规）要求课程体系动态响应产业变化，但当前高校专业设置仍存在显著的“路径依赖”。这种滞后性在新兴场景中尤为突出：针对无人机物流、城市空中交通（UAM）等细分领域，高校尚未形成系统性课程模块，多数学生毕业后需通过企业再培训弥补知识缺口。

从实践教学看，场景模拟与真实产业场景存在断层。低空经济的应用场景具有复杂性（如城市楼宇间无人机群协同配送、恶劣天气下的应急救援），但高校实践环节多局限于单一设备操作（如无人机起降训练），缺乏对复杂场景的模拟训练，难以实现高校与企业的无缝对接，增加企业的用人成本[10]。

(2) 创新链与人才链割裂：技术转化与能力培养的断层

创新链是低空经济产业升级的核心动力（如无人机AI算法突破、低空通信技术迭代），而人才链是创新成果落地的载体，二者的割裂直接制约了产业创新效能的释放。

一方面，技术研发环节与人才培养过程缺乏协同。高校和科研机构的创新资源（如重点实验室、科研项目）未能有效转化为人才培养资源。多体现为学生仅参与数据采集等辅助工作，未能深入研究核心环节，导致协同效果差，学生毕业后无法独立复现项目核心技术。

另一方面，成果转化能力培养严重缺位。低空经济的创新价值需通过“技术—产品—产业”的转化实现，但当前培养体系重理论研发、轻转化实践，缺乏系统的实践环节打造高端应用技术人才。

(3) 多主体协同机制缺失：各自为战与动力不足

低空经济人才培养涉及政府（政策引导）、高校（人才供给）、企业（需求反馈）、科研机构（技术支撑）等多主体，但其协同仍处于“碎片化”状态，尚未形成闭环生态。从协同动力看，各主体目标错位导致参与度不足。政府侧重产业规模扩张，政策资源多投向基础设施（如低空机场）；高校受学科评价体系约束，更关注论文发表，对跨学科课程建设的积极性有限；企业则倾向于“拿来主义”，缺乏投入资源参与人才培养的长期动力。从协同机制看，缺乏制度化的联动平台与规则设计。尽管多地成立“低空经济产业联盟”，但多停留在论坛交流层面，未建立如“人才能力标准共研”“实训资源共享”“培养质量共评”等实质性机制。

综上，教育链与产业链的脱节导致人才“供给错配”，创新链与人才链的割裂制约产业“创新动能”，多主体协同机制的缺失则加剧了这种失衡。三者相互交织，共同构成了低空经济复合型人才培养的核心瓶颈，亟需通过“三链融合”与“四协同”机制重构破解。

## 3.“三链四协同”能力矩阵的核心设计

### 3.1“三链四协同”模型的内涵阐释

#### (1) 三链

教育链：指为低空经济产业链和创新链培养、输送、更新所需各级各类人才的教育与培训体系链条。包括高等教育（本科、研究生）、职业教育（中职、高职）、继续教育、企业内训、社会培训等多种形式。涵盖专业设置、课程体系、教学内容、教学方法、师资队伍、实践平台、评价标准等要素。核心是提供人力资源支撑。

产业链：指低空经济领域内，围绕无人驾驶航空器（无人机、eVTOL等）及其相关

技术、产品、服务的研发、设计、制造、测试、运营、维护、保障、应用（物流、巡检、测绘、应急、文旅、载人等）以及空域管理、基础设施（起降场、通信导航监视）、数据服务等环节形成的价值创造与传递链条。核心是满足市场需求并创造经济价值。

**创新链：**指支撑低空经济产业发展的知识创造、技术研发、成果转化、应用迭代的全过程链条。涵盖基础研究（如新型材料、空气动力学）、应用基础研究（如自主导航、智能感知）、关键技术攻关（如超视距飞行 BVLOS、高可靠通信、动力电池、集群控制）、系统集成、应用场景开发、标准制定、商业模式创新等环节。核心是驱动产业升级和创造新价值。

### （2）四协同

**教育链协同：**高校、职业院校等教育机构在人才培养中的主体作用及内部协同（跨学科、跨院系）。

**企业链协同：**低空经济相关企业（研发、制造、运营、服务）在实践平台、需求反馈、岗位标准提供方面的作用。

**政府链协同：**政府在政策引导、标准制定、资源投入、平台搭建、监管协调方面的作用。

**科研机构链协同：**科研院所、重点实验室、工程研究中心等科研机构在低空经济领域关键核心技术研发中的主导作用及协同机制，包括内部跨领域、跨团队的研发协作，以及与高校、企业、政府、行业组织等主体在技术攻关、成果转化、标准研制、资源共享（如大型科研仪器、数据平台）等方面的联动配合，为产业发展提供源头技术供给和创新支撑。

“三链”是能力目标维度，“四协同”是实现路径维度。四类主体围绕“三链”能力需求协同发力。

## 3.2 能力矩阵构建逻辑

### （1）矩阵结构总体设计

表 1.“三链四协同”能力矩阵总体设计

专业技能	无人机操作与飞行（含基础/复杂环境/特定场景）	设备维护与调试（机身/传感器/动力系统）	数据采集与处理（测绘建模/实时传输/专项分析）	行业专业知识（领域特性/流程规范）	法规与安全标准（低空法规/作业安全）	应急处理（设备故障/环境突发/任务协调）	工具软件应用（飞控/数据处理/行业专属软件）
航拍测绘岗	熟练（复杂环境飞行）；精通（摄影测量航线规划）	掌握（机身/相机维护）	精通（摄影测量/三维建模/Pix4D等软件）	熟练（测绘规范/地形分类）	熟练（航拍空域申请/数据保密）	熟练（飞行中设备故障处理）	精通（飞控软件/建模软件）
农林植保岗	熟练（精准低空飞行/载重飞行）	熟练（喷洒系统/动力系统维护）	掌握（作物长势监测/药剂分布分析）	熟练（农药特性/作物生长周期）	熟练（植保作业空域/药剂使用规范）	熟练（田间障碍规避/药剂泄漏处理）	熟练（植保飞控软件/药量计算工具）
电力巡检岗	精通（高压线路间/复杂地形飞行）	熟练（热成像相机/巡检传感器维护）	熟练（热成像数据分析/缺陷识别）	熟练（电力系统结构/巡检标准）	掌握（电力廊道空域/安全距离规范）	精通（强电磁环境故障处理/紧急迫降）	熟练（巡检数据标注软件/热成像分析工具）
安防监控岗	熟练（夜间/长时续航飞行）	掌握（红外相机/实时图传设备维护）	熟练（实时视频传输/可疑目标追踪）	掌握（安防区域规划/监控重点）	掌握（安防空域权限/隐私保护法规）	熟练（突发事件追踪/信号中断处理）	掌握（实时监控软件/目标识别算法工具）
物流配送岗	熟练（精准起降/载重/自主路径飞行）	掌握（动力系统/载重结构维护）	掌握（货物定位/状态实时反馈）	熟练（物流路径规划/配送流程）	熟练（低空物流法规/禁飞区规避）	掌握（货物坠落预防/恶劣天气返航）	熟练（路径规划软件/物流管理系统）
应急救援岗	精通（恶劣天气/复杂地形/搜救场景飞行）	熟练（快速检修/多传感器兼容维护）	熟练（快速三维建模/搜救信号捕捉）	熟练（救援流程/灾害类型特性）	掌握（应急空域优先权限/救援安全规范）	精通（自身故障应急+救援任务协调）	熟练（快速建模软件/搜救信号分析工具）
科研教学岗	熟练（多机型操作/高精度控制飞行）	熟练（多类型设备维护与调试）	精通（高精度数据采集/专业分析建模）	精通（科研方法/教学体系）	掌握（科研试飞规范/教学安全标准）	掌握（实验故障排查/教学场景应急）	精通（专业科研软件/教学模拟工具）

以无人机应用领域人才岗位需求为纵轴，覆盖主流无人机应用领域：航拍测绘岗、农林植保岗、电力巡检岗、安防监控岗、物流配送岗、应急救援岗、科研教学岗。

以专业技能为横轴，涵盖“硬操作”（飞行/维护）、“软处理”（数据/工具）、“行业适配”（知识/法规）、“风险控制”（应急）四大维度，能力等级划分为精通（需独立主导）、熟练（可独立完成）、掌握（能辅助

执行)、了解(知晓基础逻辑)。  
为确保能力矩阵的科学性与实操性,研究采用“文献梳理+实地调研+专家访谈+问卷调查”的多元调查方法体系构建表1。

(2)“三链四协同”各主体责任  
通过“三链四协同”实现无人机资源的最大化、技能掌握的全面化,明确各主体在能力培养中的责任,具体见表2。

表2.“三链四协同”各主体责任

能力维度	教育链协同(高校/职校)	企业链协同(头部企业)	政府链协同(政策/资源)	科研机构链协同(协会/联盟)
教育链	基础理论教学 模拟飞行训练	真机实操平台 专利技术转化	空域开放试点 研发资金扶持	跨院间合作 资源共享 创新能力培养
产业链	微专业开设(如“低空 飞行器应用技术”)	岗位实习 联合实验室共建	产业园区规划 应用场景开放	关键核心技术研发
创新链	前沿技术课程	横向课题攻关	创新激励政策	技术攻关

#### 4.基于“三链四协同”的人才培养实施路径——以航拍测绘岗为例

##### 4.1 基于“三链”融合,构建以能力矩阵为核心的课程体系

一是高校走入产业链。高校应深入调研无人机各应用领域的产业链环节,明确各岗位在产业链中的角色和能力需求,将其转化为课程目标。如航拍测绘岗关联的测绘服务产业链,可以确定课程目标为能独立完成复杂地形(如山区、城区建筑群)的摄影测量航线规划,确保影像重叠度、分辨率符合测绘成果标准;掌握测绘服务产业链中数据采集环节的核心技术,包括多旋翼与固定翼无人机在不同场景下的起降操作、相机参数调试,可精准获取符合比例尺要求的地形地貌数据;熟练运用 Pix4D、ContextCapture 等专业软件完成点云数据处理、三维模型构建及精度校验,能对接下游 GIS 平台进行空间信息标注与应用开发等。

二是高校迈入创新链。课程设置过程中要敢于创新,如定制攻坚班与企业、科研机构直接进行课题攻关、打破学科壁垒组建教学团队等。例如与测绘研究院、地理信息企业等开展“城市复杂建筑群倾斜摄影精度优化”,与计算机学科教师、企业工程师组建教学团队,共同研究测绘前沿技术。

三是高校应注重人才的精准塑造。如根据不同岗位的能力等级要求,分阶段培养人才。对于航拍测绘岗“精通(摄影测量航线规划)”这一能力,在低年级开设基础飞行课程,高年级设置航线规划专项实训和项目课程。

##### 4.2 通过“四协同”,搭建实践教学平台,强化岗位技能训练

政府出台无人机人才培养扶持政策,提

供资金支持院校建设实训基地,同时协调相关部门为院校提供空域资源,保障飞行实践教学。企业为院校提供最新的无人机设备和技术支持,如为航拍测绘岗提供航拍底图。企业还可提供实习实训岗位,让学生参与真实的航拍项目,锻炼精准低空飞行、设备维护和应急处理等能力。院校利用政府和企业提供的资源,建设集飞行训练、设备维护、数据处理于一体的综合性实训基地。根据能力矩阵,设置与各岗位对应的实训场景,如实景三维建模实训区等。科研机构协助院校实现成果的转化和培训,为学生提供创新思维训练。

##### 4.3 建立动态调整机制,根据产业链发展和岗位能力需求变化,及时优化培养方案

院校联合企业、行业协会定期调研无人机产业链的发展趋势和各岗位能力需求的变化,对比能力矩阵,找出课程设置和实践中存在的差距。根据调研结果,及时更新课程内容和教学方法。通过“四协同”机制,组织教师到企业参与实践锻炼,学习最新的技术和工艺,确保教师能够传授符合行业需求的知识和技能。

##### 4.4 完善评价体系,以能力矩阵为依据,全面衡量学生能力

形成多元化的评价体系。企业可对学生在实习中的表现进行评价,行业协会通过技能认证考核学生的岗位技能水平。同时注重对学生学习过程的评价,将课程作业、实训报告、项目成果等纳入评价范围,全面反映学生对各岗位技能的掌握情况,如航拍测绘岗学生的航线规划方案、三维建模成果等。依据能力矩阵的能力等级,对学生进行最终考核。考核通过者方可获得相应的毕业证书和行业技能证书,确保培养的人才符合岗位

要求。

## 5. 结论

低空经济复合型人才培养不是一蹴而就，人才需求随着政策、行业、科技的发展将不断变化，院校在进行人才培养过程中，应结合自身特点定制人才培养策略，构建能力矩阵，以“三链四协同”为框架，能够绘制更为标准的落地路径，破解产教脱节问题。未来，院校应更加注重协同人才培养模式，制定相关政策帮助“三链四协同”模式更好地发挥作用。

## 参考文献

- [1] 周钰哲.低空经济发展的理论逻辑、要素分析与实现路径[J].东南学术, 2024, (04): 87-97.
- [2] 李一翔, 王璇, 党晓莉.数字技术驱动低空经济高质量发展的机理及路径研究[C].西京学院会计学院, 现代审计与绩效管理研究中心.“低空经济发展与审计研究”学术会议论文集.西京学院会计学院, 2024: 86-97.
- [3] 韦曼莉, 陆鹏.新质生产力赋能广西低空旅游高质量发展的框架逻辑、现实基础、制约因素与实施路径[J].改革与战略, 2025, 41(01): 202-209.
- [4] 王改.低空经济专业建设方案研究与探索[J].科学咨询, 2025, (10): 281-284.
- [5] 翁怡婷.低空经济: 风向、湍流与起飞[J].企业管理, 2025, (07): 40-44.
- [6] 王查娜.低空经济人才稀缺亟需“六边形战士”[N].中国高新技术产业导报, 2025-07-07(022).
- [7] 姚研, 王勇军, 孙山林, 等.低空经济背景下无人机应用人才培养模式探索与实践[J].桂林航天工业学院学报, 2025, 30(02): 186-194.
- [8] 叶青.懂AI会“飞行”, 这个专业要培育低空“全能战士”[N].科技日报, 2025-05-21(005).
- [9] 邹娜, 张西通.教育科技人才一体化赋能低空经济发展的内在逻辑、现实困境与实践进路[J].郑州轻工业大学学报(社会科学版), 2025, 26(03): 94-102.
- [10] 张敏, 李娟.低空经济视域下高职航空物流专业人才培养模式构建与实践路径[J].成都航空职业技术大学学报, 2025, 41(4): 44-48.