

低空经济背景下飞机维修类专业改革方向探索

万 坚¹ 蔡明壮²

1. 浙江交通职业技术学院 航空学院 浙江 杭州 311112
2. 长龙(杭州)航空维修工程有限公司 市场商务部 浙江 杭州 311200

摘要:在低空经济被纳入国家战略新兴产业的背景下,飞机维修类专业亟需通过教育改革适应行业技术迭代与人才需求变化。本文分析了新兴低空飞行器在法规体系、技术逻辑及运维要求方面与传统航空器的差异,初步对并专业技术方面课程的优化提出了建议,在不丢弃传统航空器维修技术的同时,又掌握低空飞行器维护与运营方面的新技术。在课程体系方面的改革外,通过师资能力更新、教学资源建设、校企深度协同等方式,可将知识结构从“技术型”向“技术+运营型”改变。只有通过院校教育改革与企业深度融合,在产业变革中共同成长,才能为低空经济可持续发展提供高质量人才支撑。

关键词:低空经济;飞机维修;eVOTL;课程改革;人才培养

背景:

低空经济主要是指民用有人驾驶与无人驾驶航空器为主进行的载人、载货及其他功能化应用场景的需求,辐射相关领域并带动技术、经济发展的一种形态。其中“低空”的概念通常指距离地面的垂直距离在1000米以下的空域。2023年12月的中央经济工作会议中,低空经济被明确定位为国家战略新兴产业,次年3月两会中“低空经济”的概念被首次写入政府工作报告。据预测,到2030年低空经济相关行业的市场规模将达到惊人的2.5万亿元^[1]。全国各地政府也纷纷出台相关政策和规范,以鼓励和规范该行业的发展。

低空经济是一种复杂、综合的经济形态,运行方式、应用场景与产业类别形式众多。杭州作为东部沿海经济发达地区,具备灵活的政府政策、充足的资金支持,且有大量的院校与科研院所为低空飞行器研发创造软件条件,还有多家航空装备制造企业在硬件方面为低空飞行器的腾飞打下了坚实的基础,但对于持续保障低空飞行器安全的维修工作来说,目前还没有足够的人员储备。飞机维修类专业作为最具备改革基础的专业,需要提前思考专业改革方向,针对性地进行人才培养,以应对即将到来的低空飞行器维修人员需求大潮。

一、低空飞行器现行法规体系

(一) 通用航空器相关法规

低空飞行器的种类繁多,有新兴的无人机、电动垂直起降航空器(eVOTL)等,也有传统的通用航空器。截止2023年底,全国在册通用航空器总数达3303架,全年共完成飞行137.1万小时,登记的无人飞行器达到126.7万架^[2]。通用航空器法规已较为完善,在初始适航审定方面通过型号认证,相应厂家获得生产许可证后可对该型号的航空器进行生产。在航空器投入运行前,中国民用航空局(以下简称局方)需要对每一架飞机颁发适航证^[3]。在运行与持续适航方面,分别有CCAR-91部和CCAR-135部作为指导。此外,在维修人员的资质方面,CCAR-66部民用航空器维修人员执照管理规则中明确了知识模块与实操技能的大纲,并以维修执照类别的方式,对涡轮飞机(TA)、活塞飞机(PA)、涡轮旋翼机(TR)和活塞旋翼机(PR)进行维修工作的人员作

出了资质限定。

(二) 其余低空飞行器

而对于其他的低空飞行器来说,监管体系还没有如此完善,目前主要的监管方向主要集中在设计与制造方面。2024年6月1日起实施的国家标准GB 42590-2023《民用无人驾驶航空器系统安全要求》是针对无人机的首项强制性国家标准,其中例举了17条与飞行安全相关的核心指标、明确了相应的实验检测方法^[4]。工业级低空飞行器需要在局方认可的第三方机构完成机身强度、操纵与避让、能源动力可靠性等方面的检验检测并获得相关证书才能获得型号合格证与生产许可证。在运行方面,局方也出台了CCAR-92部用于规范其运行活动并规定了操控员的执照和签注类型。但暂时没有对持续适航的维修工作与维修人员资质进行规定。这主要由于制造与验证的过程中,维修工作均基于设计与测试过程的标准执行,重在验证性能、获得数据,与实际投

入运行后主要注重的安全、稳定的要求完全不同，而且各个厂家之间构造理念多样，标准尚未统一，这进一步加大了立法树规的难度。

二、知识体系差异分析

通过与多家无人机与 eVOTL 企业进行人才培养与持续发展的交流中，大家均认为工业级无人机与 eVOTL 的维修资质将很有可能成为 CCAR-66R3 执照体系下的新类别。即便局方暂时没有对相应的维护人员做出资质限定，行业的需求已经逐渐开始显示出来，例如在试飞期间的维修保障、低空服务站的开发、垂直起降机场试点等项目中都需要人员完成保障。院校需提前布局，分解此类工作所需的技术技能，并将其嵌入到专业人才培养方案中，可以完成相关人员的前置性培养。

课程体系

传统航空器与的低空飞行器在空气动力学、机身机构方面的基本原理没有显著的改变，故在产业发展的早期，专业的经典理论框架无需进行大幅调整，只需要在各类课程中加入新技术与新应用即可，待后续产业大规模发展与技术革新后，再根据需要进行调整。

（一）专业基础课程优化

空气动力学、航空材料、机械制图三大基础课程作为航空技术类课程的根基是无法动摇的，但需要结合低空飞行器的运行情景在教学实施中融入新案例。如在空气动力学中增加 eVTOL 多旋翼气动耦合的分析、在机械制图课程中引入低空飞行器外形设计、在航空材料课程中开展碳纤维增强塑料（CFRP）、玻璃纤维复合材料（GFRP）的成型工艺与维修技术等。

（二）专业核心课程重构

由于传统航空器动力系统属于化学能-机械能的转换，而低空航空器的电推力系统则完全不同，其动力系统的技术逻辑、故障模式、维护方法均发生根本性变革。所以航空器动力系统课程改革的核心目标是构建“机械动力+电推进+算法控制”的复合型知识体系。可在教学中增加同步电机控制、电池构造与工作原理、电池热管理与监控的方法，让课程内容从单一热能增加到多能源协同控制的结合，该项可能需要根据企业需求设定课程对动力系统的讲解深度。在不压缩传统内容的同时按需增加电推进系统的课时。

在飞机结构与系统方面，传统飞行器的课程过度聚焦液压/气动系统，无法应对电动化、分布式系统的发展趋势。在飞控系统的课程方面，增加对低空飞行器

飞行稳定性、操纵性的算法讲解，如例举 eVOTL 分层分布式架构的内容，通过讲解各层级的职责与相互之间的关系，使学生理解多模态切换、动力矢量控制的工作原理。

低空飞行器导航、通信与避障等功能与传统航空器存在较大差距。在导航方面，可以新增实时动态定位与精密单点定位的工作原理，同时介绍星基增强系统（SBAS）在低空中的应用。在数据通信方面，传统的甚高频通信已无法满足低空飞行器的应用要求，在教学中可以增加 5G ATG 通信、低空数据链等相关理论知识作为引导。避障方面，传统飞机采用空中防撞系统（TCAS）系统，而低空飞行器需在超低空的环境下需要实现厘米级的快速避障，此时传统的 TCAS 系统已不能满足要求。在这种情况下需要通过学习毫米波雷达、动态路径规划等方面的基础知识，从而了解低空飞行器的避让策略。

（三）法规与政策课程补充

目前局方在运行方面针对低空飞行器市场的迅速发展发布了 CCAR-92 部《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》，其中对无人驾驶航空器在适航管理、人员资质、登记管理与飞行活动等方面提出要求。这项法规针对运行场景、运行风险、重量和载人数量等方面将无人驾驶航空器进行了明确的分类，并对操控人员的执照等级、类别、初复训要求、法律责任等方面进行了明确规定。此外还有多项相关规范性文件，院校对航空法规的教学中应增加相应内容，指导学生对该行业的规范性文件进行学习。

需要注意的是，由于 eVOTL 的适航审定还在起步阶段，目前处于“一事一议”的模式^[5]，没有形成标准统一的规章与制度。在产品较少的发展前期，这种方式可以有针对性地对产品进行审定，并可以提高取证效率，但一旦产品研发速度加快，产品种类变多，不完善的适航审定流程将会为后续的运行与维护带来风险。正因如此，此类法规的内容修订或升级将会比较频繁，故在教学中应该紧跟法规变化，做到即时更新。

三、院校做法

（一）师资队伍能力更新

人才培养中课程，重构与更新只是手段，更重要的是教师要对变革的行业有敏感的认知与深入的理解，并根据行业与企业的需求针对性地建立教学资源，才能对保障教学的有效性。

首先，教师可通过企业实践的方式增加行业经验。

这需要教师们突破传统学术框架，建立与产业技术前沿的深度连接。当前低空经济领域的技术创新呈现跨学科、高动态特征，这就要求教师必须深入产业一线，通过企业实践制度实现技术认知的同步更新，参与头部企业的研发与生产环节，并将此转化为教学资源。教师也可根据自身的专业能力承担具体课题与项目，帮助企业完成技术公关的同时形成可迁移至课堂的工程经验。例如，在动力电池热管理系统的研发过程中，教师可将电池热失控防护方案提炼为模块化教学案例，使学生理解电池维护的步骤与故障排除措施。此外，人才评价模式也需进行相应革新。传统以试卷考核为主的评价模式难以适应低空经济对复合型人才的需求，此时可通过建立以岗位能力矩阵为核心的多元评价体系，校企双方共同制定能力标准，将课程考核、企业认证与行业证书有机衔接，形成三维多元评价体系。

（二）低空经济下的校企合作

校企合作需超越传统的实习基地建设模式，构建共生共长的协同育人生态系统。由于低空经济的技术迭代速度远超传统航空领域，这决定了课程体系必须具备动态演进能力。校企合作双方可共同组建课程开发委员会，定期分析低空飞行器行业发展与人才需求，并在人才培养方案中进行体现。针对产品更新与技术变革，企业需即时提供新工艺标准、测试数据及故障案例库等，高校则通过快速响应机制将其转化为教学素材。这种合作不仅停留在知识传递层面，更应形成双向赋能机制：企业工程师深度参与教学设计，将产业现场的工程思维注入教学环节；教师则通过参与企业技术预研，将前瞻性技术转化为教学内容。在实训平台建设方面，可构建虚实融合的培养环境，如数字孪生技术可镜像真实装备的全生命周期数据，使学生能在虚拟环境中进行故障模拟与方案验证，再通过实体设备完成技能固化。

结论与展望：

综上，低空经济迅速发展的驱动下，传统飞机维修专业的教师可通过“课程重构—实践升级—师资赋能—校企协同”的方式进行改革，在技术与规章动态变化的过程中与行业共同进步与成长。学生在不丢弃传统航空器维修技术的同时，又掌握低空飞行器智能运维、适航审定等新技能，成为重要变革时期的优秀复合型人才。这样的专业改革不仅是应对低空经济发展的必然趋势，更是推动航空教育从“技能培养”向“产业赋能”跃迁的有效做法。在产业发展早期，院校与行业、企业共同出发，构建“人才共育、资源共建、技术共研、成果共享”的共同体。通过师资能力提升、行业交流深化和校企合作升级，高校才能真正成为低空经济人才供给的策源地，从而为行业的可持续发展提供核心支撑。这

一过程中，教师不仅是知识传播者，更应成为产业创新的参与者，在产教深度融合中实现教育价值的时代重构。

参考文献：

- [1] 沈映春. 低空经济：“飞”出新赛道[J]. 人民论坛, 2024,(08):74-79.
- [2] 中国民用航空局. 2023年民航行业发展统计公报[EB/OL]. (2024-05-31)[2025-04-03].
- [3] 曹友明. 基于风险的适航审定方法研究[J]. 科技视界, 2024,14(18):51-53.
- [4] 郭坤, 崔爱英, 王丹. 国内低空飞行器检验检测现状及发展趋势[J]. 质量与认证, 2025,(02):61-64+68.
- [5] 王雪影, 高国柱, 古利兰, 等. 促进我国低空经济发展的法规体系研究[J]. 信息技术与政策, 2024,50(11):48-53.

基金项目：浙江省高职教育“十四五”第二批教学改革项目《基于胜任力模型的航空装备现场工程师能力增值评价研究》；项目编号：jg20240061。

作者简介

万坚（1989.08—），男，汉族，浙江杭州人，助教，大学本科，研究方向：航空器维修教学。

蔡明壮（1988.06—），男，汉族，湖北咸宁人，工程师，本科，研究方向：航空维修管理。