



T/MIITEC 032-2025

低空产业人才岗位能力要求

Industrial talents competency requirements of low-altitude airspace

2025-09-18 发布

2025-09-18 实施

工业和信息化部人才交流中心 发布

目 次

前 言1

1 范围2

2 术语和定义2

3 低空产业人才岗位方向及职责3

4 低空产业人才岗位能力要素4

5 低空产业人才岗位能力要求5

 5.1 战略规划类5

 5.2 研发制造类5

 5.3 运营服务类9

 5.4 安全监管类11

 5.5 数据应用类13

 5.6 操控培训类15

附 录 A （资料性） 低空产业人才岗位能力提升16

附 录 B （资料性） 低空产业人才岗位能力评价18

参 考 文 献19

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由工业和信息化部人才交流中心提出并归口。

本文件起草单位：工业和信息化部人才交流中心、莱芜职业技术学院、武汉厚溥数字科技有限公司、四川省低空经济产业发展有限公司、亿航智能设备（广州）有限公司、贤牛（北京）科技有限公司、北京低航时代科技有限公司、链上数字产业研究院、石家庄邮电职业技术学院、清华大学、北京航空航天大学、西北工业大学、四川大学、中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院、天津现代职业技术学院智能工程学院、中国邮政速递物流股份有限公司、中国航空工业发展研究中心、中关村智友研究院、四川省技术创新促进会、工业和信息化部电子第五研究所、哈尔滨工程大学、南京航空航天大学、新疆通用航空有限责任公司、凡享致远教育科技（北京）有限公司、吉林通用航空职业技术学院。

本文件主要起草人：李学林、任利华、色云峰、曾卫明、李利利、江生、程宇、林恩雪、白晓、曲来军、李廷茹、施佳文、赵兴燕、张萍丽、任清华、曹凤莲、宫立圆、国海涛、寇立红、翁高飞、李伟、龙志宇、廖海洋、何莹、胡茼轩、夏伟贤、沈芊呈、孙文博、陈沫、路威、秦向东、刘岩、张传超、王志强、胡维娜、刘飞、韩丹、张皓、康健、黄慧婷、徐晓昭、张冰玉、张静、曲文敬、吴蓬勃、陆海平、杜睿、伍婷、牛洪涛、谭玉敏、袁广民、梁学栋、岳鹏、孙飞、吴佳茜、英语霏、胡恺、任渝英、方植彬、张德欣、吴启晖、陈兵。

本文件为首次制定。

低空产业人才岗位能力要求

1 范围

本文件规定了低空产业主要方向岗位及能力要求。

本文件适用于指导各相关单位开展低空产业人才培养、人才评价（人才认证）、人才招聘、人才推荐引进以及产教融合等工作。

2 术语和定义

2.1

低空经济 low-altitude economy

低空经济是以低空空域（一般定义为真高在1000米以下，可延伸至3000米）为活动空间，以无人机、电动垂直起降飞行器（eVTOL）等新型航空器为主要活动载体，融合第一、第二、第三产业的综合性经济形态。

2.2

低空产业 low-altitude industry

低空产业是以低空经济为核心，通过与第一、第二、第三产业相融合，涵盖制造、运营服务、基础设施、管理保障等主要业态的新兴产业。

2.3

电动垂直起降飞行器 eVTOL

电动垂直起降飞行器（Electric Vertical Take-Off and Landing，简称eVTOL），是一种以电力为主要动力来源、无需跑道即可垂直起降的飞行器。根据其驾驶模式，可以分为无人驾驶、有人驾驶；根据其气动设计差异，可以分为多旋翼型、复合翼型、倾转旋翼型等。

2.4

飞行模拟器 flight simulator

通过软件模拟无人机飞行环境，用于教学训练的仿真设备。

[来源：GB 67691-2023 无人驾驶航空器飞行安全管理规则《民用无人机驾驶员培训管理规定》（中国航空器拥有者及驾驶员协会）]

2.5

低空安全操作考评 low-altitude safety operation assessment

依据法规与标准，对低空领域从业人员操作行为的安全性、规范性进行评估的活动。

[来源：GB/T 38904-2020 无人机系统术语]

2.6

安全违规 safety violation

违反低空飞行安全法规、操作规范或应急预案的行为，可能导致人员伤亡或财产损失。

[来源：GB 67691-2023 无人驾驶航空器飞行安全管理规则《民用无人机驾驶员培训管理规定》（中国航空器拥有者及驾驶员协会）]

3 低空产业人才岗位方向及职责

低空产业人才岗位包括战略规划、研发制造、运营服务、安全监管、数据应用、操控培训6个方向，主要涉及24个岗位，具体如表1所示。

表1 低空产业人才主要岗位及职责

序号	方向	岗位名称	岗位职责
1	战略规划类	战略规划师	负责跟踪低空市场环境、政策法规、技术发展等，探索新的商业模式和机会，为公司业务发展提供战略决策和规划。
2	研发制造类	结构设计工程师	负责低空飞行器结构设计，包括结构设计、强度校核（含静强度、疲劳强度、损伤容限、动强度等）、材料选用、制造工艺制定、仿真分析、性能测试等。
3		动力系统工程	负责飞行器动力系统的设计、零部件选取以及测试等相关工作。
4		飞控算法工程师	负责飞行器飞控算法的开发、验证、评审以及适航审定等工作。
5		机载传感器研发工程师	负责飞行器全机传感器设计以及布置方案制定，包括天线、大气数据传感器、健康监测传感器等，并负责实现多传感器下的数据融合。
6		自动飞行器研发工程师	负责飞行器自动飞行系统、自动飞行算法的设计、验证，实现飞行器能够自动起降、按要求规划飞行路径，并在飞行过程中实现灵活避障以及自动调整飞行路径。
7		系统集成工程师	负责深入理解客户需求，整合硬件、软件、网络及数据库等技术资源规划、设计并实施复杂的低空飞行器系统集成项目。
8		试验测试工程师	负责飞行器研制过程中的试验验证以及取证过程中心的试验、试飞工作。
9		适航认证工程师	负责产品全生命周期适航管理体系的建设、产品适航取证计划的制定以及产品运行中的适航管理等，并对接、协调适航管理机构完成适航审定、产品“四证”获取及相关检查。
10	运营服务类	场景应用工程师	负责低空产业中常见无人机、电动垂直起降飞行器等低空飞行器在物流运输、巡检、应急救援等场景下的任务和航线规划、任务前准备、场景作业以及信息处理与研判。

11		航线规划工程师	负责设计无人机飞行路径；研究低空空域结构，制定城市无人机航线方案，对接空管及政府部门获取审批；开发变高航带、环绕飞行等智能航线规划算法，适配复杂地形，可对接无人机调度系统、空域管理平台，实现多机协同与任务分配。
12		地面支持工程师	负责无人机及无人机机场设备的安装、调试、交付及验收工作；提供运维技术支持，包括故障排查、维修及售后维护；对接客户需求，提供技术培训与解决方案支持；编写测试方案、总结报告，优化产品性能。
13		低空实施运维工程师	负责低空监视服务网的整体架构设计和优化工作，并完成日常运维管理工作。
14		无人机操控工程师	负责操控无人机完成既定各种场景飞行作业任务、根据作业任务选择相应飞行装备、设备安装与调试、数据处置、应急处置与基础维保。
15		装调维修工程师	负责使用专业工具和工装进行整机装配，确保精度与稳定性。使用专用检测仪器及软件，全面检测各系统，分析并诊断潜在故障，确保飞行安全。根据故障诊断结果，使用相关工具进行维修，对功能模块进行维护保养，编制装配、测试、维修及飞行操控等报告。
16	安全监管类	空域动态监控员	负责空域运行实时监控、空域资源协调管理、突发事件应急处置、设备运维与数据管理。
17		低空网络安全工程师	负责低空网络安全防护与漏洞管理、安全监测与应急响应、低空场景网络安全解决方案、安全测试与仿真验证、安全合规建设。
18		空域管理系统工程师	负责空域管理系统的运维、系统设计与开发、空域管理技术支持、多部门协同与对接。
19	数据应用类	遥感数据处理师	负责利用遥感技术根据低空飞行器活动需求采集并处理数据，建立高精度低空飞行活动地图。
20		空域数字孪生架构师	负责低空空域数字孪生系统的开发，包括场景搭建、脚本开发等，并完成交互接口、数据管理、功能划分与实现等，并依据数字孪生系统开展仿真、优化等。
21		低空大数据分析师	负责低空各类数据的采集、清洗、分析、治理、挖掘等，并参与数据中台、管理调度平台、实时监管平台等数据平台建设，为低空大数据管理提供支撑。
22		低空AI训练师	负责对低空相关人工智能系统进行算法调优、数据标记、人机交互设计、性能测试跟踪等工作，不断优化人工智能系统。
23	操控培训类	无人机驾驶培训师	负责无人机驾驶理论与实操教学，制定培训计划，指导模拟及实地飞行，评估学员成果，确保其通过考核。
24		低空安全操作考评员	负责制定低空安全操作考评标准，组织理论与实操考核，审核资质，判定成绩并出具报告，确保作业合规。

4 低空产业人才岗位能力要素

低空产业人才岗位能力要素包括理论知识、技术技能、工程实践三个维度。具体如表2所示。

表2 岗位能力要素列表

维度	要素	说明
理论知识	基础知识	指相应岗位人才应掌握的通用知识，主要包括基本理论、相关标准与规范知识以及有关法律法规、安全、隐私等。
	专业知识	指相应岗位人才完成工作任务所必备的知识，主要指与具体岗位要求相适应的理论知识、技术要求和操作规程等。
技术技能	基本技能	指相应岗位人才为完成工作任务所应具备的对基础知识应用的水平以及熟练程度。
	专业技能	指相应岗位人才为完成工作任务所应具备的对理论知识应用的水平以及对特殊工具使用的掌握。
工程实践	经验	指相应岗位人才在实际工程与项目推进中应当具备的经验。

5 低空产业人才岗位能力要求

5.1 战略规划类

5.1.1 战略规划师

a) 理论知识

- 具备产业经济学、区域规划、竞争战略等理论基础，能分析低空产业的市场潜力与商业模式；
- 熟悉全球及国内低空产业政策法规（如空域管理、适航认证、无人机监管条例等）；
- 掌握低空产业链（研发制造、运营服务、基础设施、数据应用等）关键环节与发展趋势；
- 了解低空交通管理（UTM/UAM）体系架构及国际标准（如ASTM、ISO等）；
- 熟悉科技创新管理方法论（如技术成熟度评估、技术路线图制定）；
- 掌握智慧城市、综合交通体系中低空应用的融合逻辑。

b) 技术技能

- 熟练运用数据分析工具（Python/R/SQL）处理低空运行数据（如飞行轨迹、空域利用率等）；
- 掌握GIS地理信息系统和三维建模工具（如ArcGIS、Cesium），支持空域规划仿真；
- 具备市场调研与可行性研究能力，能输出量化分析报告；
- 熟悉无人机/eVTOL关键技术（动力系统、导航通信、自主避障等）及其发展瓶颈；
- 了解低空通信网络（5G、卫星链路、AeroMACS）和数字化空管技术；
- 能解读技术专利与科研文献，评估技术商业化路径。

c) 工程实践

- 主导或参与过低空产业园区、试验区、应用场景（物流、巡检、城市空中交通等）的规划项目；
- 具备跨学科协作经验（与航空工程师、政策制定者、运营商等对接），推动技术-政策-市场协同；
- 熟悉低空基础设施（起降平台、充电/氢能站、雷达监控）的工程实施要点；
- 能制定低空安全应急预案，评估空域冲突、隐私保护、噪声污染等社会风险；
- 具备项目全生命周期管理能力（从概念设计到试点示范）。

5.2 研发制造类

5.2.1 结构设计师

a) 理论知识

- 具备飞行器结构设计、加工工艺、常用结构材料尤其是复合材料等相关专业知识；
- 熟悉结构设计、强度计算、材料选用、零部件制造工艺制定、仿真分析、性能测试等专业知识。

b) 技术技能

- 掌握常用的三维建模设计软件等，例如CATIA、SolidWorks等；
- 掌握常用的强度计算软件、有限元仿真软件等，例如ANSYS等；
- 掌握常用的零部件性能测试实验方法，尤其是复合材料性能测试方法。

c) 工程实践

- 具备飞行器结构设计经验，尤其是轻量化复合材料结构设计经验；
- 能够根据要求对飞行器结构进行减重、设计优化；
- 具备定制化开发结构设计、强度校核、仿真分析相关软件的能力。

5.2.2 动力系统工程

a) 理论知识

- 具备飞行器、动力系统、结构设计等相关知识；
- 具备电池、电机、电控等相关知识；
- 具备活塞式发动机、涡桨发动机相关知识；
- 具备混合动力、新能源技术等相关知识。

b) 技术技能

- 能够熟练运用三维造型软件如CATIA等进行结构设计，掌握建模、仿真分析等相关方法；
- 能够开发飞行器动力控制系统，包括硬件设计、软件开发以及系统测试等，熟悉动力系统的测试设备。

c) 工程实践

- 能够根据总体要求设计电动飞行器动力系统的组成、结构等，尤其是明确电机、电池等关键部件的选用要求；
- 能够根据总体要求设计混合动力、非电动飞行器动力系统；
- 具备飞行器动力系统开发、测试相关经验。

5.2.3 飞控算法工程师

a) 理论知识

- 具备自动控制原理、飞行器飞行控制、信号处理、软件开发等相关知识；
- 具备飞行器机载软件适航审定相关知识。

b) 技术技能

- 能够熟练应用C/C++等编程语言；
- 具备软硬件系统集成能力；
- 能够应用MATLAB/Simulink等软件进行仿真分析；
- 熟悉ARP 4754A/B、DO-178B/C等标准。

c) 工程实践

- 具备飞控算法顶层需求定义、开发、评审、加载试验、适航取证等相关经验；
- 具备飞控算法仿真试验、优化迭代等相关经验。

5.2.4 机载传感器研发工程师

a) 理论知识

- 具备电子、通信、传感器、飞行器设计等相关专业知识；
- 掌握视觉、激光雷达、毫米波雷达等常见传感器设备的检测原理及标定方法；
- 熟悉飞行器电子硬件开发、验证有关流程；
- 了解多传感器信息融合技术及相关机器学习算法知识。

b) 技术技能

- 能够熟练运用C/C++、MATLAB等编程语言进行程序开发；
- 掌握一定的算法应用能力，能够实现读取、处理传感器的数据报文；
- 掌握一定的传感器驱动开发和维护技术，能够完成算法开发、验证、迭代等。

c) 工程实践

- 能够根据要求设计并选用飞行器大气数据、健康监测等传感器，并实现数据的集成、显示；
- 能够根据要求设计并选用飞行器通信、导航天线，根据不同需求实现卫星通导、5G通导等；
- 能够根据要求设计并选用飞行器感知环境相关的激光雷达、毫米波雷达等；
- 能够根据要求搭建系统实现多传感器数据的融合、集成。

5.2.5 自动飞行器研发工程师

a) 理论知识

- 具备飞行器设计、控制、软件等相关专业知识；
- 了解飞行管理、空域管理等相关法规；
- 掌握视觉、激光雷达、毫米波雷达等常见传感器设备的检测原理及标定方法；
- 熟悉飞行器电子硬件、软件开发、验证有关流程。

b) 技术技能

- 掌握常见的自动飞行算法、路径规划算法、避障算法等；
- 掌握飞行器横向控制、纵向控制、自动起降、自动避障等技术；
- 能够熟练运用C/C++、MATLAB等编程语言进行程序开发，并通过场景仿真软件进行验证。

c) 工程实践

- 具备自动飞行算法、路径规划算法、避障算法等开发、测试、验证、优化相关经验；
- 掌握多传感器融合技术（GPS/IMU/LiDAR/Camera），具备系统级联调经验；
- 熟悉飞行器总体架构设计，能完成动力系统、航电系统的参数匹配；
- 熟悉飞行器故障诊断技术，能快速定位并解决飞控系统异常问题。

5.2.6 系统集成工程师

a) 理论知识

- 掌握无人机飞行原理、空气动力学、航空气象学等基础知识，熟悉多旋翼、固定翼等机型结构特点；
- 了解无人机相关法规标准，如民航局无人机管理规定、适航认证要求，以及行业技术规范。

b) 技术技能

- 熟练运用 AutoCAD、SolidWorks 等工具进行无人机硬件结构设计与优化，精通飞控系统（如 Pixhawk、APM）的参数配置与调试；
- 掌握 ROS、MATLAB/Simulink 等平台进行无人机算法开发与仿真，具备多传感器（IMU、GPS、LiDAR）数据融合与处理能力；

——熟悉嵌入式系统开发，能完成 Linux、RTOS 等操作系统在无人机主控板上的移植与驱动开发。

c) 工程实践

——具有完整无人机系统集成项目经验，熟悉从需求分析、方案设计到整机测试的全流程；
——具备无人机动力系统、通信链路、导航系统的联调经验，能独立解决系统兼容性、信号干扰等实际问题；
——掌握无人机飞行测试与数据分析方法，可通过飞行试验优化系统性能，并输出技术文档与改进方案。

5.2.7 试验测试工程师

a) 理论知识

——具备飞行器设计、控制、测试等相关专业知识；
——具备适航相关知识，尤其是试验、试飞相关内容。

b) 技术技能

——熟练掌握航空器试验验证的理论、方法等，能够在研发制造过程中通过试验来检验设计符合性，并通过试验结果对设计优化、迭代提出意见；
——具备测试系统的搭建能力，能够在测试、试验中获取相关信息；
——具备大数据的处理能力，能够运用算法处理所获取的试验、测试数据；
——具备试验、试飞方案的制定能力，能够有效、合理规划试验、试飞内容，实现测试目标。

c) 工程实践

——具有研发试验试飞、审定试验试飞经验，能够制定合理方案，支持试验、试飞、审定人员完成试验试飞目标；
——具备交付、运行前试验试飞经验，确保飞行器具有符合交付运行要求的条件状态。

5.2.8 适航认证工程师

a) 理论知识

——具备飞行器设计相关专业背景，掌握飞行器研制过程及各专业主要内容；
——具备适航相关知识，熟悉相关法规、适航规章及审定方法等；
——具备可靠性、安全性管理相关知识，了解航空产业零部件工业生产质量管理相关知识。

b) 技术技能

——能够根据现行适航法规要求中建立功能完善、运转顺畅的适航体系，在研发、制造、运行等产品全生命周期确保产品适航性，并将管理体系延伸到关键结构/系统供应商处；
——熟悉适航规章（主要包括CCAR 23/CCAR 25/CCAR 27/CCAR 29/ CCAR 92等适航规章及相关规范性文件）及相关审定方法，能够制定产品的适航审定计划，并对接、协调适航当局完成产品适航审定、制造符合性检查、单机适航检查、运行适航检查等，并确保产品“四证”（TC/PC/AC/OC）获颁；
——能够围绕飞行器的新特性、新特点，推动相关法规、适航规章不断修改完善，特别是探索根据航空器零部件的安全性、可靠性，形成预测航空器适航性的新方法、新思路，形成能够统筹低空经济发展与安全的监管环境。

c) 工程实践

——具备丰富的航空器适航经验、特别是适航审定经验；
——能够与适航当局进行沟通对接，争取支持并共同解决有关适航问题；

——能够指导各专业制定符合性表明方法、适航取证计划。

5.3 运营服务类

5.3.1 场景应用工程师

a) 理论知识

- 熟练掌握机械原理、无线电遥控、航空气象学、航空电子学、飞机构造、飞机飞行原理、飞机飞行器控制原理等基础知识；
- 熟练掌握固定翼、单旋翼、多旋翼无人机、电动垂直起降飞行器等低空飞行器系统组成、结构、功能；
- 熟练掌握了解固定翼、单旋翼、多旋翼无人机、电动垂直起降飞行器等低空飞行器的动力系统、控制与导航系统、任务系统、数据链和地面控制站等子系统的基本组成、功能和工作原理；
- 熟练掌握劳动保护与安全 and 相关法律、法规知识；
- 了解无人机、电动垂直起降飞行器等低空飞行器的应用场景。

b) 技术技能

- 熟练掌握空域申请流程和相关软件系统操作，能够完成飞行任务规划、实时监控和数据传输等功能操作；
- 熟悉无人机、电动垂直起降飞行器等低空飞行器的飞行控制系统，具备多类型飞行器的操控技术能力；
- 掌握低空飞行器在货物运输、巡检和应急救援等场景下的运行要求与操作流程，包括起飞前检查、飞行基本动作、起降航线飞行等关键环节；
- 熟练掌握飞行器作业技术，包括作业前准备、飞行操作、人员安全防护，以及飞行前检查和飞行后维护等环节；
- 具备数据处理和作业报告编制能力，能够制定场景作业应急预案并在紧急情况下迅速启动应急响应与处置措施。

c) 工程实践

- 具备无人机、电动垂直起降飞行器等低空飞行器的操控能力；
- 具有驾驶无人机、电动垂直起降飞行器等低空飞行器作业，满足各应用场景的运行要求或运行操作流程。

5.3.2 航线规划工程师

a) 理论知识

- 精通空域划设规则、航线动态优化算法及低空航路网络设计原理；
- 掌握GIS地理信息系统、三维建模及气象学基础知识；
- 了解无人机性能参数（续航、避障能力）对航线设计的影响。

b) 技术技能

- 熟练使用航线规划工具（如UgCS、Skyward、大疆智图）及仿真软件（如AirSim）；
- 能结合任务需求优化航线（如覆盖效率、能耗、安全性），实现多机协同调度；
- 具备航路冲突（如临时空域占用）分析能力，熟悉动态调整策略。

c) 工程实践

- 参与过复杂环境下的航线设计项目（如城市物流、山区测绘），输出合规性报告；
- 熟悉民航局报批流程，具备空域申请材料编制经验；

——能联合空管部门完成航线验证飞行及异常问题排查。

5.3.3 地面支持工程师

a) 理论知识

——掌握无人机地面站系统架构、通信协议（如MAVLink）及数据链技术（4G/5G、射频）；
——熟悉无人机起降场（vertiport）建设标准及地面保障设备（充电桩、气象站）配置要求；
——了解应急响应流程（如信号丢失、迫降处置）。

b) 技术技能

——能部署和维护地面控制站（GCS），完成软硬件联调及信号测试；
——熟练操作频谱仪、示波器等设备排查通信干扰问题；
——具备基础网络配置能力（如VPN、防火墙设置）保障数据传输安全。

c) 工程实践

——支持过10次以上野外作业任务，独立完成现场设备架设与故障快速恢复；
——制定过地面保障SOP（标准作业程序），包括设备巡检清单和应急预案；
——熟悉与空管、公安等部门的协同保障机制。

5.3.4 低空实施运维工程师

a) 理论知识

——精通无人机系统维护、故障诊断方法及寿命周期管理；
——熟悉电池管理、动力系统检测及飞控参数调校技术；
——了解适航认证要求（如CAAC、FAA）及维修资质标准。

b) 技术技能

——能使用诊断工具（如DroneLogbook）分析飞行日志，定位硬件/软件故障；
——掌握无人机拆装、校准及关键部件（如IMU、GPS模块）更换技能；
——具备远程运维能力，通过IoT平台监控机队状态并预警。

c) 工程实践

——累计维护50架次以上无人机，主导过重大故障（如电机失效）的返厂维修；
——制定过预防性维护计划，降低设备停机率；
——参与过运维体系数字化升级（如搭建预测性维护平台）。

5.3.5 无人机操控工程师

a) 理论知识

——掌握飞行器的基本构造、飞行原理、动力系统、通信与导航系统、飞控系统以及传感器系统等知识；
——熟练掌握无人机的组装、调试、维护以及低空飞行操控等技能；
——精通电路图解析，能独立完成电调焊接、飞控接线及传感器集成，熟悉电流计、电压表等工具检测电路异常；
——熟悉并掌握机电基础核心知识、机械结构原理、电子电路系统、飞控与软件技术。

b) 技术技能

——掌握传感器与数据应用、多光谱/热成像设备操作、场景下的传感器参数设置及数据采集规范；
——进行配件的选型、采购及性能测试，确保质量符合飞行要求；

- 识记装配图纸，使用专业工具和工装进行整机装配，确保精度与稳定性；
- 使用调试软件和工具，对飞行控制系统、动力系统、通信系统等进行联调，验证功能及性能；
- 调试位置控制系统，确保飞行姿态和位置控制准确；对自动驾驶仪进行精确校准，包括姿态、磁力计等，确保自主飞行能力；
- 使用专用检测仪器及软件，全面检测各系统，分析并诊断潜在故障，确保飞行安全。

c) 工程实践

- 熟练掌握维护检修专项技能、操控无人机完成起降、悬停、航线跟踪、复杂环境（城市/山区）机动等动作，掌握遥控器校准与飞行模式切换；
- 持有CAAC视距内/超视距驾驶员执照，遵守《民用无人驾驶航空器安全管理条例》；
- 根据故障诊断结果，使用相关工具进行维修，包括更换部件、调整参数等，恢复飞行器性能。对修复后的飞行器进行性能测试，确保各项性能指标达标；
- 通过远程控制设备，进行低空飞行操控，包括起飞、飞行、降落等，确保任务顺利完成。
- 对功能模块进行维护保养，包括清洁、润滑、检查等，延长使用寿命；
- 编制装配、测试、维修及飞行操控等报告，记录工作过程和结果，为后续分析提供参考。

5.3.6 装调维修工程师

a) 理论知识

- 掌握航空器结构与飞行原理、理解无人机的动力系统、飞控系统及气动布局设计等无人机理论基础知识；
- 熟悉无人机分类与系统组成，掌握多旋翼、固定翼、复合翼等类型无人机的特点，以及导航系统（GPS/北斗）、传感器（IMU、雷达）等核心组件的协同工作机制；
- 掌握飞行合规性知识、《无人机飞行管理条例》、禁飞区划定规则、飞行高度限制及实名登记流程等法律法规与空域管理知识；
- 了解无人机采集数据的隐私保护法规及通信链路加密技术要求。

b) 技术技能

- 掌握传感器与数据应用、多光谱/热成像设备操作、场景下的传感器参数设置及数据采集规范；
- 熟悉遥感影像拼接、点云建模工具及5G/卫星通信在实时数据传输中的应用等数据处理与传输技术；
- 可以通过AI辅助决策系统实现优化航线规划、通过视觉识别技术实现自动避障或目标跟踪；
- 学习多机通信协议及集群任务分配算法，实现编队协同控制作业场景。

c) 工程实践

- 熟练操控无人机完成起降、悬停、航线跟踪、复杂环境（城市/山区）机动等动作，掌握遥控器校准与飞行模式切换；
- 针对信号丢失、电量不足、机械故障等场景，需快速执行紧急降落、姿态调整或切换备用控制系统；
- 能使用地面站软件规划三维航线，实时监控飞行参数，并控制任务载荷执行飞行任务；
- 能够掌握基础设备维护与故障诊断，熟悉日常维护技术；
- 根据飞行任务完成无人机整体系统装配及任务载荷，并完成系统整体调试，设计作业方案及应急处置预案，操纵无人机在多种运行场景下完成运行，进行作业数据后期处理。

5.4 安全监管类

5.4.1 空域动态监控员

a) 理论知识

- 具备良好的数据分析、路径规划算法基础，对无人机路径动态规划算法、气象数据分析有较深的了解；
- 熟悉空域运行数据的整合与分析，识别飞行冲突、设备异常等风险，并完成系统故障排查及修复；
- 熟悉并掌握《空域管理法规》《无人机驾驶航空器飞行管理条例》等相关的航空法规和飞行规则等专业知识。

b) 技术技能

- 熟悉监控系统操作；
- 具备数据分析能力，能够通过监控数据发现潜在的问题并进行及时处理；
- 了解导航原理、航空通信技术和航空电子设备。

c) 工程实践

- 具备操作雷达、ADS-B、空域管理系统等监控设备和数据分析与故障处理的经验；
- 能够持续学习与技术更新，通过人工智能、大数据、数据智能分析工具等新技术解决实际问题，更新空管知识体系以适应行业技术迭代；
- 具有良好的职业素养，具备高度责任心、抗压能力及长时间专注力，确保监控工作的连续性和可靠性，遵守保密规定，保护空域运行数据安全；
- 具备应急响应与能力，能独立处理航空器紧急迫降、空域非法侵入等突发事件，与管理部门、区域管制中心、气象部门等单位联动协同，保障空域管理等任务。

5.4.2 低空网络安全工程师

a) 理论知识

- 熟悉雷达、ADS-B、VHF通信等设备原理，掌握卫星导航系统在空域监控中的应用；
- 掌握程序管制、雷达管制、机场管制等具体操作规范，熟悉飞行间隔标准、交通流量管理及冲突解脱策略；
- 掌握航路网络规划、空域分类划分和空域环境数据、空域结构数据、空域运行数据等低空空域管理技术；
- 熟悉《国际民用航空公约》（ICAO标准）、中国民航局（CAAC）发布的航行规章及空中交通服务程序；
- 掌握IT服务国际标准（如ITIL）、空管行业技术规范、《低空空域管理条例》、《民用无人机运行安全管理规定》等法规。

b) 技术技能

- 需掌握数据分析与建模，熟练使用Pix4D、ContextCapture等工具处理航测数据，生成空域三维数字孪生模型、熟练使用运筹学方法进行空域容量评估，通过仿真工具预测流量并优化资源分配；
- 掌握IT服务部署、风险评估及质量管理方法，具备复杂系统项目的全周期管理能力；
- 熟练使用Shell、Python等脚本语言实现系统监控、日志分析及资源调度的自动化，具备Docker/Kubernetes容器部署经验，了解混合云架构在空管数据存储与分析中的应用。

c) 工程实践

- 需掌握无人机空域管理专项技能，熟悉北斗网格编码在低空空域分区管理中的应用，掌握无人机超视距飞行监控方案设计和UTM系统集成；

- 应用机器学习算法实现空中交通流量预测和冲突预警，优化空域资源动态分配；
- 负责数据安全防护，掌握网络入侵检测、数据加密传输技术，确保系统满足国际民航组织（ICAO）网络安全标准。

5.4.3 空域管理系统工程师

a) 理论知识

- 掌握5G/6G、LoRa、Wi-Fi 6E等低空无线通信技术，了解动态自组网（MANET）的拓扑结构及脆弱点；
- 熟悉并掌握构建低空网络防火墙与入侵检测系统（IDS），抵御针对ADS-B信号欺骗、GPS干扰等安全架构；
- 了解无人机群通信加密技术、量子密钥分发（QKD）等前沿技术保护数据链；
- 熟悉《低空空域管理条例》、《民用无人机运行安全管理规定》等法规，确保空域数据采集合法性。

b) 技术技能

- 熟悉无人机飞控系统、RTOS操作系统的漏洞挖掘与防护，了解GPS/北斗等导航系统的欺骗攻击、抗干扰技术，实现数据安全和完整性验证；
- 使用Python/Go编写自动化脚本，针对遥控链路破解、传感器数据伪造、载荷劫持进行渗透测试，识别身份伪造、数据劫持等风险，采用逆向工程与模糊测试技术挖掘硬件固件漏洞，提出加固方案；
- 采用国密算法加密飞行器与地面站间的遥测、图像数据传输实现空域数据安全防护，通过区块链技术实现数据溯源，满足合规审计。

c) 工程实践

- 监测低空网络流量，识别异常行为并启动隔离机制，分析飞行控制系统的日志数据，定位潜在入侵路径；
- 研究低轨卫星通信与地面站协同的安全防护策略、跟踪低空网络攻防技术，优化防御算法；
- 主导低空网络安全事件溯源，防御针对低空设备的物理攻击，包括电磁脉冲干扰、硬件逆向工程防护；
- 运用区块链技术固化飞行日志，实现攻击链路的不可篡改回溯。

5.5 数据应用类

5.5.1 遥感数据处理师

a) 理论知识

- 具备地理信息系统相关知识，包括地理信息系统的作用、常用的空间数据分析方法以及空间数据可视化方法等；
- 具备遥感专业相关知识，包括激光雷达、多光谱相机、卫星等数据采集方式、数据处理方式以及可视化方法等；
- 具备现代地图学相关知识，熟悉高精度地图的建图流程；
- 熟悉地理信息采集、处理、应用、管理等相关法律法规。

b) 技术技能

- 熟悉激光雷达、多光谱相机、卫星等常用地理信息采集方法，能够使用数据处理软件对采集到的数据进行处理，包括数据处理、加载、编辑以及可视化等；

——熟悉高精度低空地图处理软件（OpenDrive等）的操作，包括新地图要素添加、不同地理坐标相互转换，空间信息拓扑检查、属性完整性及合理性检查、要素提取完整性检查等。

c) 工程实践

——具备利用多种遥感方式采集地理数据，进行数据预处理等经验能力；
——具备多数据融合，实现时间同步、空间同步，以及不同地理坐标数据转化等经验能力；
——具备制作、编辑高精度地图，并对高精度地图进行质量检查的经验能力。

5.5.2 空域数字孪生架构师

a) 理论知识

——具备大数据、数字孪生等相关专业知识；
——具备物联网、地理信息系统（GIS）、建筑信息模型（BIM）等相关专业知识；
——具备一定的系统架构设计、开发等相关专业知识。

b) 技术技能

——熟练掌握至少一门Web编程语言，能够完成界面及演示Demo等开发；
——掌握React、VUE等一种或多种技术栈；
——掌握三维渲染技术，精通cesium、unity、OpenGL等至少一种三位引擎。

c) 工程实践

——具有智慧园区、智慧城市等大中型数字孪生项目的设计、开发经验，对地理信息系统、建筑模型等有一定的了解；
——具有物联网相关项目的参与经验，能够利用孪生系统进行场景模拟，并根据结果提出现实情况的优化建议。

5.5.3 低空大数据分析师

a) 理论知识

——具备大数据相关专业知识，掌握常见算法原理和机器学习相关理论；
——掌握常用大数据产品Flink、Clickhouse、MongoDB等的技术架构和原理。

b) 技术技能

——精通一门或多门编程语言，熟悉linux操作系统，具有扎实的算法、数据结构基础；
——精通分布式计算框架、分布式系统的设计和应用，熟悉分布式、缓存、消息等机制，能够合理搭建分布式计算框架；
——掌握常见的数据分析工具，掌握数据挖掘、机器学习算法。

c) 工程实践

——具备深度学习算法和机器学习算法开发经验；
——具备交通行业特别是低空行业数据分析和算法开发经验。

5.5.4 低空 AI 训练师

a) 理论知识

——具备人工智能相关专业知识，掌握常见人工智能算法原理和机器学习相关理论；
——具备大数据相关专业知识，掌握数据管理、标记等相关方法；
——熟悉人工智能、数据管理等相关法规。

b) 技术技能

——具备数据处理、清洗能力，能够根据人工智能系统的要求和特征，对数据进行清洗、标注；

- 具备算法调试能力，能够使用测试工具、数据等对人工智能系统进行训练、测试，并根据结果对算法进行优化调试；
- 具备系统优化能力，能够根据不同场景对人机交互进行优化。

c) 工程实践

- 具备人工智能系统应用经验，能够在复杂场景、多场景切换等条件下数据清洗、标注，算法调试、系统优化等。

5.6 操控培训类

5.6.1 无人机驾驶培训师

a) 理论知识

- 掌握无人机系统组成（飞行平台、动力系统、导航系统、任务载荷等）及工作原理；
- 熟悉《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》《民用无人机驾驶员管理规定》等法律法规；
- 了解气象学基础知识（如风速、气压、能见度对飞行的影响）及航空安全操作规范；
- 具备教育学、心理学相关知识，掌握成人学习特点与教学方法设计。

b) 技术技能

- 具备多旋翼/固定翼无人机熟练操控能力，可完成起飞、悬停、航线规划、应急处理等操作；
- 熟练使用无人机飞行模拟器（如FlightGear、凤凰模拟器）进行教学演示；
- 掌握教学课件制作（PPT / 动画）、视频剪辑（如无人机飞行案例分析）等数字化教学技能；
- 能通过现场观察与数据复盘（如飞行日志分析）精准诊断学员操作问题。

c) 工程实践

- 具备 3 年以上无人机驾驶培训教学经验，累计培训学员不少于 50 人；
- 主导或参与过 2 个以上无人机培训课程开发项目（如定制化行业应用课程）；
- 曾担任无人机赛事裁判或应急救援演练培训讲师者优先。

5.6.2 低空安全操作考评员

a) 理论知识

- 精通《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》《通用航空飞行管制条例》等安全法规；
- 掌握低空飞行安全操作规范（如起降流程、避障规则、无线电通讯协议）；
- 熟悉气象学、空气动力学与低空环境风险分析基础知识；
- 了解教育测量与评价理论，掌握考评方案设计与结果分析方法。

b) 技术技能

- 熟练使用无人机安全监管平台、频谱监测设备、飞行数据回放软件；
- 具备无人机模拟飞行操作能力，可复现典型违规场景辅助教学；
- 能通过数据可视化工具（如Tableau）分析操作行为风险点；
- 掌握应急救援流程，可在考评现场快速响应突发安全事件。

c) 工程实践

- 具5年以上低空领域安全管理或考评工作经验，累计完成不少于200人次考核；
- 主导或参与过1项以上省级/行业级低空安全操作标准制定；
- 曾处理过至少3起低空飞行安全违规案例，具备风险研判与处置经验。

附 录 A
(资料性)
低空产业人才岗位能力提升

A.1 低空产业人才岗位能力提升内容

岗位能力提升内容应包括：

- a) 基础知识、专业知识等相关知识提升；
- b) 基本技能、专业技能等相关技术技能提升；
- c) 基于项目经验的工程实践能力提升。

A.2 低空产业人才岗位能力提升阶段和方式

低空产业人才岗位能力提升分为岗前提升和在岗提升两个阶段，构成低空相关岗位从业人员不同阶段和能力水平的终身教育体系。

- a) 岗前提升方式，包括：
 - 1) 理论教学；
 - 2) 理论与实践一体化教学；
 - 3) 项目实训、企业实习等方式。
- b) 在岗提升方式，包括：
 - 1) 内部在岗培训；
 - 2) 外部脱岗培训；
 - 3) 项目实践或导师辅导等。

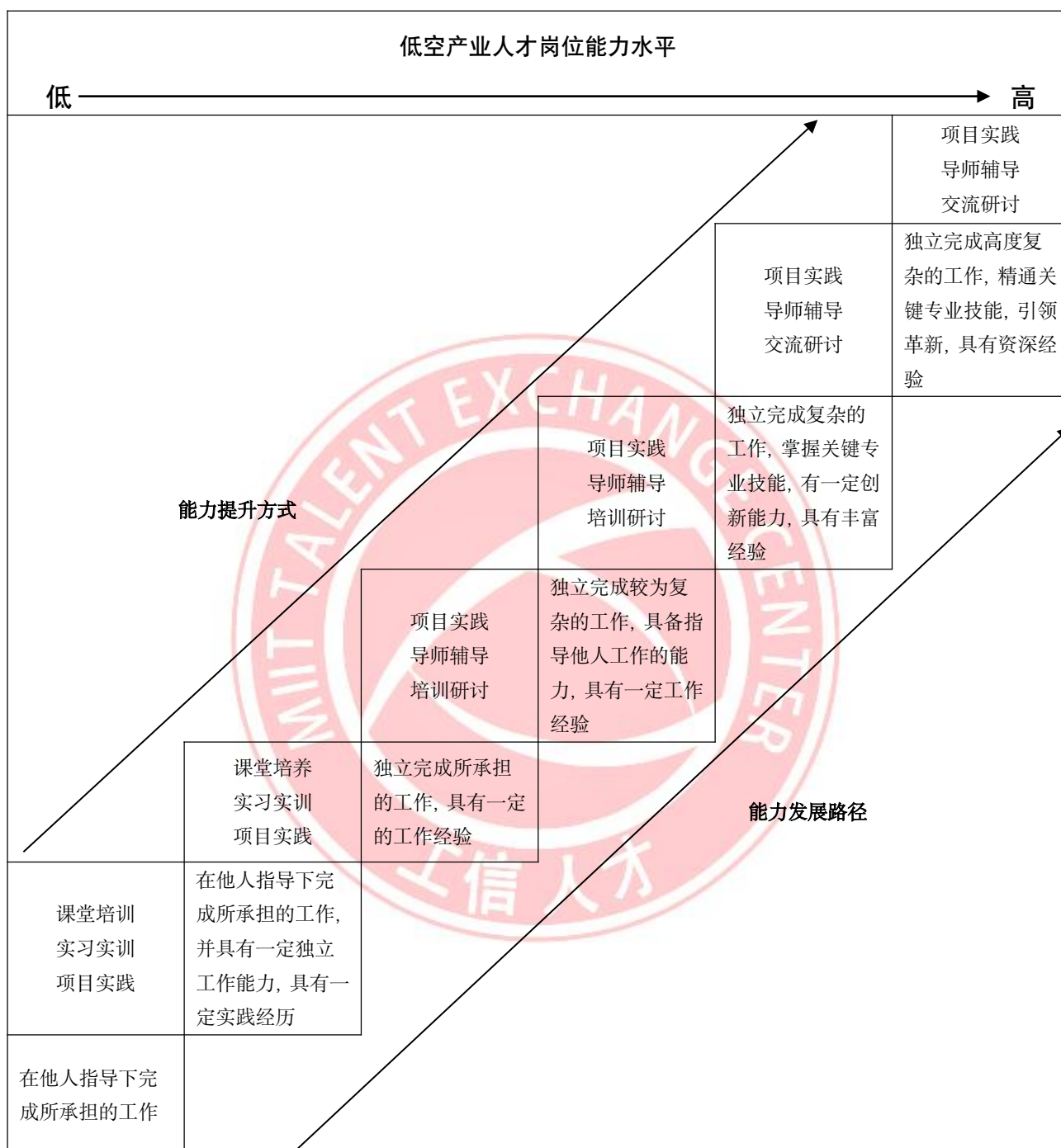
A.3 低空产业人才岗位能力提升活动供给类别

低空产业人才岗位能力提升活动供给包括：

- a) 教育、培训机构培养：符合要求的各级教育机构（普通高校、中等和高等职业院校等）及培训机构应根据低空领域各岗位能力要求，制定人才能力提升方案，为低空领域及企业培养合格的从业人员，满足个人发展需要；
- b) 企业培养：企业结合业务发展需要，应根据低空领域各岗位能力要求有针对性、有计划地实施岗位能力提升计划，满足个人发展需要，增强企业竞争力；
- c) 个人培养：从业人员根据个人发展计划，做好职业规划与岗位定位，对标低空产业人才岗位能力要求，不断提升理论知识、技术技能水平，丰富工程实践经验。

低空产业人才岗位能力提升路径见图A.1。

图 A.1 低空产业人才岗位能力提升路径



附 录 B
(资料性)
低空产业人才岗位能力评价

B.1 低空产业人才岗位能力评价方法

对从业人员进行评价和定级，评价结果可以作为低空产业人才能力胜任、职业发展等活动的依据。
评价方式包括：

- a) 理论知识主要通过笔试考核的方式进行评价；
- b) 技术技能主要通过实验考核的方式进行评价；
- c) 工程实践主要通过成果评价的方式进行评价。

B.2 低空产业人才岗位能力评价等级

低空产业人才岗位能力评价等级可以分为初、中、高级三级，能力分为9等。

- a) 初级（1—3级）：在他人指导下完成所承担的工作，并具有一定独立工作能力，具有一定实践经验；
- b) 中级（4—6级）：独立完成较为复杂的工作，具备指导他人工作的能力，具有3年及以上工作经验；
- c) 高级（7—9级）：独立完成高度复杂的工作，精通关键专业技能，引领革新，具有5年及以上工作经验。

B.3 低空产业人才岗位能力等级评价权重

低空产业人才岗位能力等级评价权重表如下：

B.1 低空产业人才岗位能力等级评价权重表

评价维度		理论知识	技术技能	工程实践
岗位等级		评价分值权重		
高级	9 级	20%	30%	50%
	8 级			
	7 级			
中级	6 级	50%	25%	25%
	5 级			
	4 级			
初级	3 级	70%	25%	5%
	2 级			
	1 级			
备注		评价总分满分为 100 分，由理论知识、技术技能、工程实践三项评价维度的权重总分所得。		

参 考 文 献

- [1] GB/T 41867-2022 信息技术 人工智能 术语
- [2] GB/T 35275-2017 应急管理术语
- [3] 应急救援员国家职业技能标准 (2019年版)
- [4] GB/T 38318-2019 民用无人驾驶航空器系统术语
- [5] GB/T 45001-2020 职业健康安全管理体系 要求及使用指南
- [6] 国家职业技能标准编制技术规程 (2018年版)
- [7] GB/T 35018-2018 民用无人驾驶航空器系统分类及分级
- [8] GB/T 38152-2019 无人驾驶航空器系统术语
- [9] JT/T 1197-2018 快件民航运输交接操作要求
- [10] GB/T 38726 快件航空运输信息交换规范
- [11] JT/T 1197 快件民航运输交接操作要求
- [12] YZ/T 0172-2020 无人机快递投递服务规范
- [13] JT / T 1440—2022 无人机物流配送运行要求
- [14] T/LYCY 3071-2024森林草原防火无人机监测技术规范
- [15] DL/T 1482-2023 架空输电线路无人机巡检作业技术导则
- [16] DL/T 2697-2023 架空输电线路无人机巡检数据自动采集及处理规范
- [17] T/CSAA 30-2024 航空应急救援装备配置及运行要求 森林灭火
- [18] T/CSAA 31-2024 航空应急救援装备配置及运行要求 医疗救护
- [19] T/CEC 193-2018 电力行业无人机巡检作业人员培训考核规范