文章编号：1003-1421(2026)05-0035-12
引用格式：李艳华，王越超，管玉宽. 基于国际视角的中国低空飞行保障体系建设研究[J]. 铁道运输与经济，2026，48(5)：35-46，130.
LI Yanhua，WANG Yuechao，GUAN Yukuan. Construction of China's Low-Altitude Flight Support System from International Perspective[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(5)：35-46，130.

基于国际视角的中国低空飞行保障体系建设研究

李艳华，王越超，管玉宽

(北京交通大学 交通运输学院，北京 100044)

摘 要：低空飞行保障体系是推动低空经济从战略布局迈向场景化发展的关键支撑，当前我国现有体系面临平台相互不连通、无人机和有人机运行不兼容以及适航审定迟滞等多维挑战。欧盟与美国在低空飞行保障体系上分别采取一体化管理与分布式协同两类路径，国际民航组织则从互操作与标准化角度提出要求。基于此，通过文献研究、案例剖析与比较分析，系统梳理了欧盟和美国低空飞行保障体系建设的实施路径与核心任务，并结合我国国情，提出了我国低空飞行保障体系建设思路：明确顶层统一建设模式，构建一体化的低空数据信息平台，以打破信息壁垒；明确地方政府在体系中的职责作用，并建立服务主体认证机制，为大规模推进应用奠定基础；做好分阶段的专项资金规划与社会资本融合，保障系统持续推进，以及创新低空航空器适航模式，以破解适航瓶颈等，为大规模场景应用提供保障。

关键词：低空经济；飞行保障体系；U-space；国际经验启示；总体建设思路
中图分类号：F562；U116 **文献标识码**：A **DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20251202002

Construction of China's Low-Altitude Flight Support System from International Perspective

LI Yanhua，WANG Yuechao，GUAN Yukuan

(School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The low-altitude flight support system is a critical enabler for promoting the low-altitude economy from strategic planning to scenario-based development. China's existing system faces multidimensional challenges, including disconnected platforms, incompatibility between unmanned and manned aerial vehicle operations, and delays in airworthiness certification. The European Union and the United States have adopted two paths to low-altitude flight support systems, namely integrated management and distributed coordination, respectively, while the International Civil Aviation Organization has put forward requirements in terms of interoperability and standardization. Against this background, this paper employed literature research, case analysis, and comparative analysis to systematically examine the implementation paths and core tasks in the construction of a low-altitude flight support system in the European Union and the United States. Considering China's national conditions, this paper proposed a construction approach to China's low-altitude flight support system. A unified top-level construction model should be clarified, and an integrated low-altitude data and information platform should

收稿日期：2025-12-02 **修订日期**：2026-04-02
基金项目：国家高端智库科研项目(2025GZKHB07)

be established to break information barriers. Clear local government responsibilities within the system and a certification mechanism for service providers are also needed to lay a foundation for large-scale application promotion. Phased special funding plans integrated with the social capital are essential to ensure continuous system promotion. In addition, innovation in low-altitude aircraft airworthiness models is needed to address airworthiness bottlenecks, providing support for large-scale scenario-based applications.

Keywords: Low-Altitude Economy; Low-Altitude Flight Support System; U-space; Insight from International Experience; Overall Construction Approach

0　引言

2025年11月7日，国务院颁布的《关于加快场景培育和开放推动新场景大规模应用的实施意见》(国办发〔2025〕37号)，标志着中国“低空经济”的发展逻辑正经历一场深刻变革——从宏观的战略号召转向以场景开放为核心、需求为牵引，加快关键技术迭代与服务体系升级的系统性推进[1]。当前铁路领域已经开始利用无人机开展的工程勘测设计、线路及设施巡检养护、防灾减灾等低空业务应用[2]，以及在中长距离应急物资运输中构建“火车-卡车-无人机”协同运输等空地一体化联运模式等[3]，在低空经济场景落地中不断创新。其他包括低空农林植保、低空文旅、低空应急、政务巡检、低空物流等也都在全国不同地区推广发展，但在高密度、大规模、普及性上还需要深入探索研究，推进国务院颁布的场景大规模应用指导意见落地实施。而大规模应用需要低空飞行保障体系作为重要支撑。

低空飞行服务保障体系是以低空空域资源为基础，通过技术手段和管理机制，为通用航空器、无人机等低空飞行活动提供全流程保障的综合性体系[4]。该体系涵盖从飞行计划制定、空域动态分配、实时监控到应急响应的全链条服务。其服务对象包括通用航空器、无人机，并应适应低空空域“碎片化、高频次、短周期”的特点[5]。

早在2018年，中国民用航空局(以下简称“民航局”)便已发布《低空飞行服务保障体系建设总体方案》，提出构建“国家—区域—服务站”三级服务体系，并以情报、通信监视、气象、飞行计划与法规标准“五大子体系”为核心，初步奠定了低空飞行服务的制度基础[6]。但当时“低空经济”尚未被高度重视，该体系主要面向通用航空飞行，缺乏对无人机和电动垂直起降航空器(eVTOL)等新兴航空器的有效支持。近年来，随着“低空经济”被纳入国家战略，各地发展热情高涨，地方政府、企业和科研单位等纷纷独立建设低空飞行服务保障系统，但是缺乏统一的顶层建设模式和协同机制，导致建设标准不一，数据结构各异[7]。同时，这些新建系统未能与现有的7个区域信息处理系统和32个飞行服务站实现有效对接且相互不共享，带来信息孤岛普遍、标准互认困难且监管与服务链条明显碎片的难题。

对比国际实践，美国与欧洲在低空运行管理与飞行保障体系建设上形成了2类具有代表性的路径：美国无人机管理系统(UTM)以分布式协同为主要特征，通过多主体参与的服务网络提供运行支撑，并依托统一的信息管理与数据交换机制实现监管侧的可视与可控[8]。欧洲的U空间(U-space)则强调服务化与市场化，将低空空域管理能力拆解为身份识别、地理数据/地理围栏、交通信息等标准化数字服务，由经认证的服务提供者面向用户提供，并在监管与标准框架下通过一体化信息平台实现数据互联互通与服务协同[9]。

因此，通过系统性梳理欧洲和美国在建设模式、实施路径与资金配套等方面的经验，可为我国低空飞行保障体系建设、标准推广与国际化发展路径提供重要参照，从而为我国低空飞行保障体系建设提供国际经验借鉴与实施参考。

1　国际低空飞行保障体系的发展现状与主要模式

1.1　欧盟低空飞行保障体系目标及运营模式

欧盟U-space作为低空飞行保障体系的整体支撑框架，通过统一规则与服务协同，推动低空运行管理向体系化、一体化方向建设。

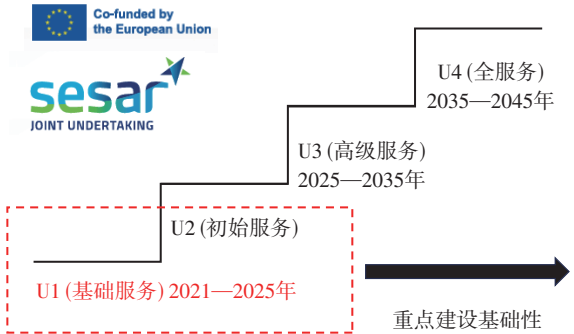
1.1.1　欧盟U-space阶段性目标

欧盟提出的U-space在规则体系上呈现清晰的层级结构：在通用法规层面，《欧盟委员会授权条例》的第2019-945条例与第2019-947条例确立了基于风险的“开放”“特定”和“认证”三级运行类别，为无人机产品与运行奠定基本规范[10]。此后颁布的第2021-664条例明确了U-space空域的设立程序与必须提供的4项核心服务——网络识别、地理感知、飞行授权与交通信息，并规定了U-space服务提供商与通用信息服务提供商的认证与互操作要求[11]。同时第2021-665条例和第2021-666条例进一步打通了与有人驾驶航空器的协同运行接口[12-13]。在战略引导层面，《无人机战略3.0》为城市空中交通、人才培养与通信导航监视一体化等关键行动提供了顶层设计与路线图[14]。

总体来讲，U-space框架分为4个渐进阶段：U1(基础服务)，提供电子注册和地理围栏等基本服务设施；U2(初始服务)，引入飞行计划和动态空域管理；U3(高级服务)，支持城市区域带有冲突检测的复杂操作；U4(全服务)，旨在实现无人机操作的完全集成和自动化。欧盟U-space发展阶段和重点任务如图1所示。

1.1.2　欧盟U-space运行模式

U-space运行模式如图2所示。U-space运行保障主体为U-space服务提供商和通用信息服务商。U-space服务提供商首先需通过欧盟层面的统一能力认证，至少提供4项基本服务，包括网络身份识别服务、地理感知服务、无人机飞行授权服务以及交通信息服务。这些服务在U1阶段已基本建成，是无人机运行中的基础保障。而天气信息服务以及



阶段	重点任务
U4	全面实现无人机与有人机以及空中交通服务的一体化运行
U3	1.动态地理围栏 2.动态容量管理 3.飞行中冲突处置 4.与空中交通管制的协同接口
U2	1.战术地理围栏 2.飞行计划管理 3.低空飞行通信导航与监视 4.无人机航空信息管理系统 5.应急管理与冲突避免
U1	1.电子注册和电子身份识别 2.飞行前地理围栏信息

图1　欧盟U-space发展阶段和重点任务

Fig.1　Development phases and key tasks of U-space in European Union

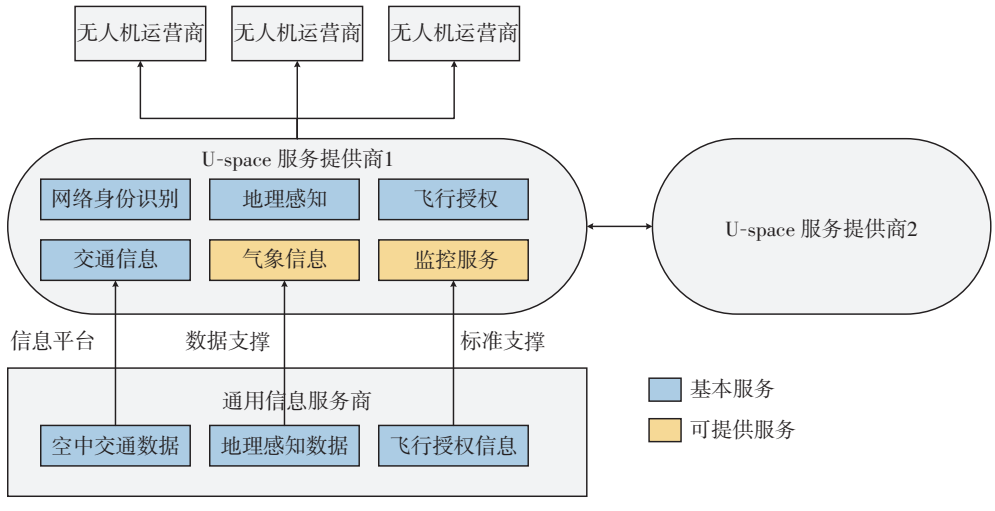


图2　U-space运行模式

Fig.2　Operational mode of U-space

监控服务属于U2阶段重点建设任务，未来可根据空域情况和任务类型由U-space服务提供商选择性提供。图2中U-space服务提供商1和U-space服务提供商2指向线表示，若同一空域内存在多家U-space服务提供商，则其需共享通信、导航和监视信息，以维持统一的运行态势与冲突预防。通用信息服务可由U-space服务提供商以及空中交通管理部门提供，也可由成员国指定全国统一的通用信息服务商提供服务，后者必须通过欧盟认证，以提供统一的空中交通数据、低空地理区域/临时空域数据以及飞行授权请求信息数据。此外，同一空域内只能由一家通用信息服务商提供服务，避免数据的多头管理。此外，无人机运营商必须获得所在国航空当局的电子身份认证、操作员资质认证以及运营许可。最后，空中交通管理单位负责向通用信息服务商提供空中交通管理情况、航空情报信息及航行通告数据，并通过标准化接口与U-space服务提供商协同完成飞行计划审批、有人/无人机交通信息共享与监控任务。在服务中，欧盟通过欧洲无人机系统标准协调组、欧洲民航设备组织以及欧洲标准化委员会与欧洲电工标准化委员会等专业化标准团队滚动发布飞行服务标准，保障低空飞行安全。

1.2　美国低空飞行保障体系模式

美国UTM以分布式服务供给为特征，通过统一的信息管理平台与接口规范保障低空飞行安全与协同。美国UTM建设总体经历了法律奠基、自动化授权、互操作验证、规模化标准建设、空域整合以及强制实施的演进过程。在顶层法律支撑方面，联邦航空管理局(FAA)以Part 107构建了基础运行框架，借助低空飞行授权与通知功能逐步实现低空空域的自动化授权，并通过UTM试点验证服务商网络与飞行信息管理系统的信息交互模式，在远程识别等规则支撑下逐步形成面向规模化运行的数字身份与监管基础[15]。当前美国UTM已进入常态化运行阶段并将向更复杂的运行模式过渡，如视距外运行与先进空中交通，其低空飞行保障体系呈现模块化与分布式特征，由接入与身份认证、远程识别与数据门户、既有飞行服务、监管与认证以及基础设施集成等能力共同支撑，并通过飞行信息管理系统与统一接口规范保障各服务商的协同运行与安全监管[16]。

1.3　国际民航组织对于低空飞行保障体系要求

尽管国际民航组织(ICAO)仍主要聚焦于保障传统民航飞行的安全，但随着低空飞行(尤其是无人机)的不断发展，其规范性和保障能力严重影响传统民航飞行安全[17]。因此，ICAO在《全球空域管理计划》和相关文件中提出“低空飞行(包括无人机)应融入现有空域管理系统，采用分区分层的空域管理方式，以确保低空和高空飞行的安全隔离”。在《低空无人机操作管理规范》中，其进一步要求各国建立统一的飞行计划、空域管理及数据共享平台，推动信息服务平台的标准化建设，以便各服务商通过统一接口实现协同运行，保障低空飞行的安全与效率[18]。

2　国际低空飞行保障体系建设经验

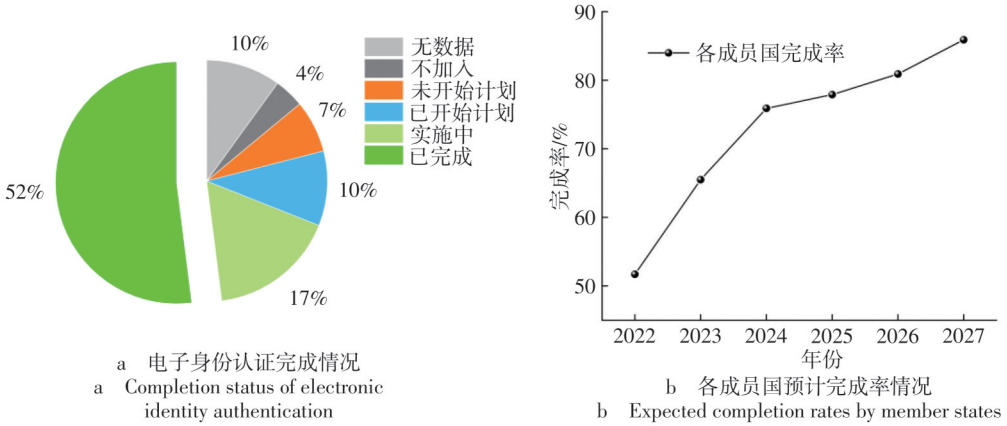
2.1　欧盟U-space建设重点任务与资金配套机制

目前，欧盟各成员国已基本完成U1阶段的主要任务，并正积极推进U2阶段的系统建设。在该阶段欧盟将基础设施建设和一体化服务平台的搭建置于优先地位，重点建设任务包括围绕电子身份认证的进一步完善、低空地理数据系统的试点运行、无人机航空信息管理系统的搭建等。

2.1.1　电子身份认证

电子身份认证是欧洲低空飞行监管的核心保障，包括飞行前实名认证、飞行动态监控以及飞行后动态可追溯的全流程闭环管理机制。为实现电子身份认证的实施，欧盟将其分为两阶段推进，U1阶段重点完成电子注册与电子身份识别能力建设，解决身份确认的基础问题；U2阶段则在指定空域内由认证服务商常态化提供网络身份识别服务和直接远程识别服务，实现操作员注册号、无人机序列号、位置、高度、速度等数据权限共享。

2021年底欧盟各成员国完成无人机注册情况如图3所示。图3a统计了各成员国的无人机身份认证完成情况，已有15个成员国完成无人机身份注册，另有5个国家正积极推进相关流程的开发工作。图3b表示2022—2027年欧盟各成员国预计完成率情况，到2025年除部分未加入国家需全部完成。



a　电子身份认证完成情况
a　Completion status of electronic identity authentication

b　各成员国预计完成率情况
b　Expected completion rates by member states

注：数据来源于U-space Services Implementation Monitoring Report。

图3　2021年底欧盟各成员国完成无人机注册情况

Fig.3　Status of unmanned aerial vehicle registration across member states in European Union by the end of 2021

截至2025年5月，欧盟部分成员国的电子注册服务已实现常态化运行，注册操作员已突破200万。为加强欧洲的无人机操作员和无人机的电子身份认证和资格审查，欧洲航空安全局(EASA)推出了一系列的法规和标准要求，包括飞行员能力证书、无人机的电子认证和远程识别等，通过传输无人机的唯一序列号、操作员注册号和实时位置数据，增强空域感知能力和安全性。目前U-space成员国中已有28个国家(欧盟27个成员国及挪威)开设了在线飞行员培训和测试，颁发的飞行员证书包括欧盟能力证书(A1/A3)和欧盟远程飞行员证书(A2)，欧盟无人机操作员证书如图4所示。



图4　欧盟无人机操作员证书

Fig.4　European Union certificates for unmanned aerial vehicle operators

2.1.2　低空地理数据系统建设

地理感知能力是低空地理数据系统建设的基础，该服务旨在为无人机运营商提供包含空域限制与适用运行条件的关键信息。《欧盟委员会执行条例》的第2019-947条例首次明确定义了“地理感知服务”概念，并规定成员国必须以统一数字格式发布空域信息；此后颁布的第2021-664条例进一步将该服务确立为U-space空域中的强制性服务之一。《欧盟委员会执行条例》规定的4项强制性服务如表1所示。

在U1阶段，EASA已基本完成地理感知数据平台的系统建设。欧盟发布的ED-318《地理区域与U-space数据提供/交换技术规范》已于2024年生效，并于2025年将原属于ED-269《地理围栏最低性能规范》的地理围栏最低性能标准部分正式并入ED-318中，标志着低空地理数据模型与交换接口已完成标准化定型。在此基础上，EASA构建了创新空中交通平台整合各成员国发布的地理区域数据，并于2025年5月上线“Where to Fly”和“Geo Zones”交互页面，作为U2阶段搭建数据信息平台并实施推广试点的基础。

表1　《欧盟委员会执行条例》规定的4项强制性服务

Tab.1　Four mandatory services as stipulated in *European Commission Implementing Regulation*

强制服务项	服务对象	建设阶段	主要功能
网络身份识别服务	授权用户	U2	无人机及操作员身份共享
地理感知服务	无人机运营商	U1	空域运行条件及地理信息通告
无人机飞行授权服务	无人机运营商	U2	飞行批复并放行
交通信息服务	无人机运营商	U2	交通信息共享

目前，意大利d-Flight公司已于2024年12月取得通用信息服务提供商资质，并于2025年2月进一步获得U-space服务提供商许可，成为欧洲首个具备双重资质的服务实体。该公司在首次试点的U-space空域运行中，实现了静态地理限制信息与动态空域状态数据的持续发布与融合应用，初步完成了从数据到服务的闭环验证。立陶宛的Oro Navigacija公司与比利时的Skeyes公司也分别于2025年2月和6月获得通用信息服务提供商认证，成为所在成员国的地理区域信息统一发布机构。

2.1.3　统一的低空信息与数据体系

低空飞行高度依赖统一的信息和数据平台。但目前参与欧盟U-space计划的有29个成员国(欧盟27个成员国及挪威、瑞士)，因此构建一个跨所有成员的统一信息化数据平台是很困难的。针对此，U-space将重点构建一个一体化的低空信息共享体系[19]。首先，EASA建立了统一的注册数据交换枢纽系统，将各成员国的注册库连接到统一网络，实现了无人机和操作员“一国认证，全欧可查”的功能[20]。同时，U-space框架要求成员国向认证服务商开放注册接口，确保运行过程中的身份实时校验与跨国互认。此外，EASA构建了创新空中交通平台作为统一的地理区域数据平台和数据接口。在运行保障层面，体系要求每一片指定的U-space空域必须设立通用信息服务，作为该空域的“数据底座”，统一发布空域结构、性能要求、服务清单等关键信息，并通过专用网络传输共享[21]。同时，这些服务平台的低空飞行信息和数据可通过专用网络统一传输到欧盟的低空数据平台中，并根据申请权限传输到必要的节点，实现数据的互联互通。

2.1.4　基于风险分级的差异化适航认证体系建设

欧盟正逐步建立起一套基于运行风险分级和任务类型的差异化适航认证体系[22]。该体系以特定运行风险评估方法(Specific Operations Risk Assessment，SORA)为核心工具，通过评估得到特定保证与完整性等级(Specific Assurance and Integrity Level，SAIL)，进而依据此等级将飞行器运行风险从低到高划分为Ⅰ—Ⅵ级，并据此实施开放类、特定类、认证类3类差异化适航认证方法[23]。开放类为低风险运行情景，对应SAIL Ⅰ—Ⅱ级，此时飞行器无需经过传统适航审定，仅需完成合格标识认证与C类标识认定(C0—C6)并满足直接远程识别的产品要求。特定类为中风险运行情景，对应SAIL Ⅲ—Ⅳ级。其中，SAIL Ⅲ级须满足已发布的“符合性方法”要求；SAIL Ⅳ级则通常需获取EASA签发的“设计验证报告”，以证明其设计符合相应安全目标。认证类为最高风险场景对应SAIL Ⅴ—Ⅵ级，包括载客、危险品运输等，要求与有人航空保持一致，需依次获取设计组织批准(DOA)、生产组织批准(POA)与型号合格证(TC)，并对每架无人机颁发限制性适航证[24]。欧盟适航认证要求如图5所示。

2.1.5　分阶段的资金支持和多元资金来源

U-space的资金来源呈现显著的阶段性特征。根据《U-space服务实施监测报告》，欧盟U-space投资额及投资类别如图6所示[25]。预计到2035年，欧盟对U-space的累计总投资额将达到45亿欧元，其中空中飞行系统建设投资约为10亿欧元，地面保障系统建设投资约为35亿欧元；到2050年，总投资额将达到65亿欧元。可以看出，U1阶段空地投资规模接近，而到了U2阶段，大幅度地增加了地面基础设施建设投资预算(为空中投资的十余倍)，重点完善无人机空中交通管理、无人机系统以及空管接口与机场配套设施等。进入U3和U4阶段，地面服务配套设施的资金来源逐渐转向U-space服务提供商和无人机运营商，政府的专项资金则重点完善无人机系统、增强数据提供与信息共享、机场及敏感点保护等。

2.2　美国低空运行管理系统(UTM)治理模式

2.2.1　分布式管理架构

根据FAA发布的《Aeronautical Information Manual (AIM) Basic with Change 1》以及Part 107规则[26]，美国UTM总体采取“FAA及其他监管机构制定规则与接口、社会主体提供信息化服务，双方通过系统协议网络得到保障”的分布式治理思路。在该框架下，FAA主要负责运行规则制定、空域约束信息发布与合规监管，并通过飞行信息管理系统等机制与第三方服务商通过统一网络建立交互关系。服务商在统一接口与数据交换规范约束下，承接飞行计划提交、信息服务与冲突管理等运行支撑能力，并遵循FAA侧的信息发布、授权机制(如自动化空域授

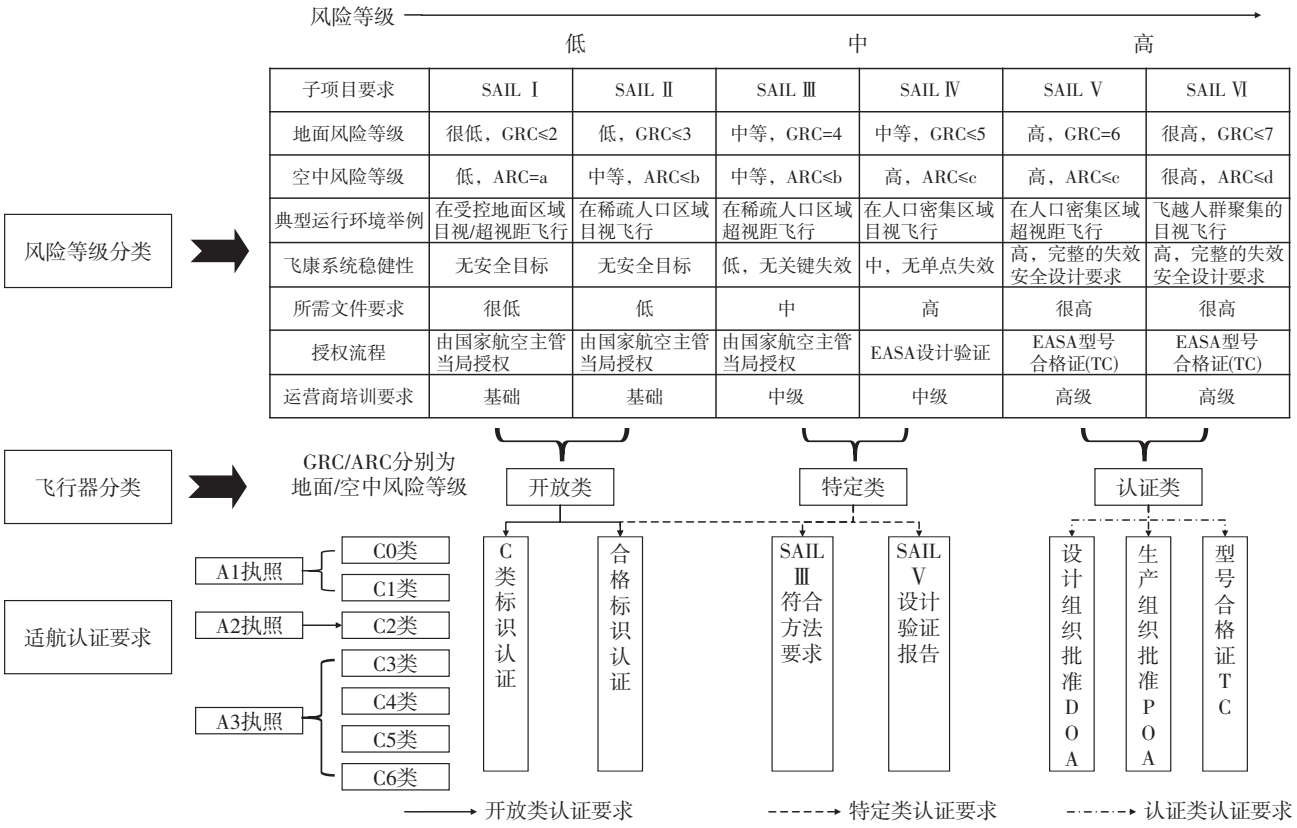


图5　欧盟适航认证要求

Fig.5　Requirements for airworthiness certification in European Union

投资类别	2035年投资额/亿欧元
基础设施与服务	34
空管接口与机场配套设施	12
无人机空中交通管理	9
机场及敏感地点保护	3
电信与卫星通信	6
地理围栏数据库	1
增强数据提供与信息共享	1
无人机空中交通监管	1
电子注册与识别	1
系统硬件与软件	7
无人机系统	6
其他航空器系统	1
人力资源	4
流程开发	3
空管人员培训	1
总计	45

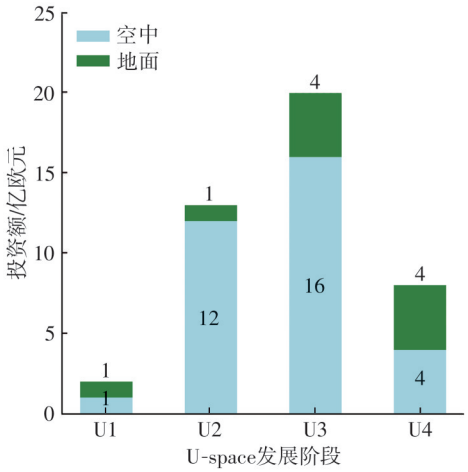


图6　欧盟U-space投资额及投资类别

Fig.6　U-space investment amounts and categories in European Union

权能力)运行，提高运行效率[27]。UTM运行框架及职责界定如表2所示。

2.2.2　统一数据平台与网络链路支撑

与欧盟不同，美国UTM在同一空域内允许多家服务商为不同运营主体提供运行支撑和信息服务。为保障各服务商在环境下的信息一致与可监管性，FAA以飞行信息管理系统作为关键数据交换枢纽与统一接口：一方面向服务商网络发布空域约束、授权等监管信息，另一方面接收并汇聚各服务商按统一格式回传的飞行意图与运行状态数据。同时，美国通过自动化授权工具将常规空域申请链路自动化，并以远程识别构建无人机数字身份底座，

表2　UTM运行框架及职责界定

Tab.2　UTM operational framework and allocation of responsibilities

	功能	责任划分		
		无人机操作员	无人机服务商	FAA
间隔	无人机和无人机之间(目视距离和超视距)	√	S	
	无人机和低空有人机的目视距离	√	S	
	无人机和低空有人机的超视距	√	S	
地形/障碍物避撞	危险气象	√	S	
	地形避免	√	S	
	障碍物躲避	√	S	
状态	UTM运行状态	S	√	
	航行情报档案	√	S	
	航行情报服务	√	S	
咨询	气象情报	√	S	
	向受影响的无人机空域使用者发出警报	√	S	
	危险信息(例如障碍物、地形)	√	S	
	特定危险信息(例如电力线、禁止UAS区域)	√	S	
规划、意向和授权	运营计划制定	√	S	
	运营意图共享	√	S	
	运营意图协商	√	S	
	管制空域授权		S	√
	飞行控制	√		
	空域分配与约束定义		S	√

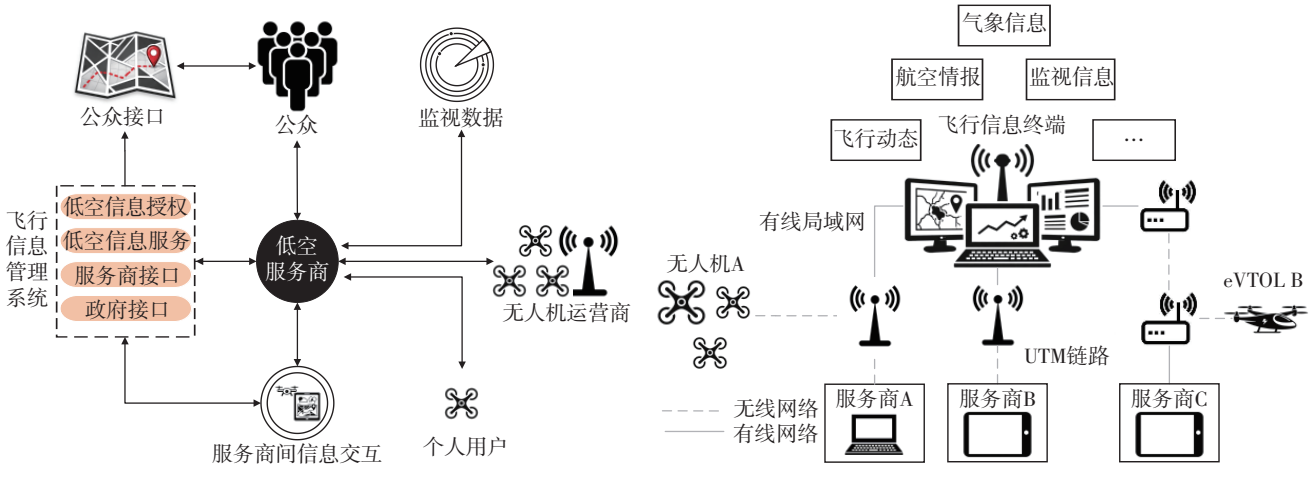
注：√表示首要职责；S表示支持。

增强跨主体识别、追溯与执法支撑能力。美国低空飞行信息管理系统运行模式和网络链路支撑如图7所示。其中，图7a为以飞行信息管理系统为核心的低空信息共享与分布式服务协同模式，图7b为服务商、操作员及信息服务主体通过UTM网络链路实现信息共享的示意。

3　我国当前低空飞行服务保障建设中存在的问题

3.1　已有飞行服务平台不连通，造成数据孤岛

目前我国低空飞行保障平台建设呈现明显的碎片化态势。根据2018年民航局《低空飞行服务保障体系建设总体方案》要求，全国已全面建成32个飞行服务站。但彼时低空经济概念尚未形成，其设计服务主要面向通用航空[28]。而随着低空经济应用场景的快速扩展，各省市地方政府、企事业单位以及科研机构纷纷独立推进飞行服务系统开发与部署，从而形成了各自为营的分散建设格局。据中国航空运输协会统计，当前我国有人机运营企业超800家，无人机运营企业逾2万家。2025年11月中央空中交通管理委员会发布的《国家级和省、市级低空飞行综合监管服务平台功能要求(1.0版)》明确指出，此类分散建设模式存在“顶层设计缺失、标准互认困难、基础设施共享不足”等深层次矛盾，



a　低空飞行信息管理系统运行模式

a　Operation mode of low-altitude flight information management system

b　UTM信息系统网络链路

b　Network links of UTM information system

注：数据来源于Unmanned Aircraft Systems Traffic Management Pilot Program (UPP) — UPP Phase 1 Technical Report。

图7　美国低空飞行信息管理系统运行模式和网络链路支撑

Fig.7　Operational mode and network link support of low-altitude flight information management system in the United States

从而导致各类飞行计划、空域状态、航空器位置及气象情报等关键数据无法在一体化的信息平台流通，严重制约低空飞行服务保障体系安全和整体效能[29]。

3.2　已有飞行服务系统不能同时兼容通航飞行和无人机飞行

受发展历程与监管对象差异影响，我国已建成的通用航空飞行服务系统与民用无人驾驶航空器综合管理平台(UOM)分属独立运行体系，在技术架构、数据标准与业务流程上存在明显差异，形成“双轨并行”的格局[30]。在此架构下，现有飞行服务站面向传统通航飞行，UOM针对无人机飞行，导致用户在实际运行中面临服务盲区，飞行计划、空域状态、航空器位置及气象情报相互传输时效性差且接口规范不一，难以形成统一低空态势感知能力[31]。在当前无人机飞速发展阶段，影响民航和通航飞行安全。

3.3　缺乏适合新场景的低空适航模式

我国低空航空器适航管理正处于由“特许飞行证”向“基于运行风险的分级审定”转型阶段。但目前仍存在地方性文件与国家标准衔接不足、面向特定运行场景的专门条款缺乏，以及局方审定能力难以匹配行业增速等问题[32]。截至2025年9月，全国仅16款无人机和12款eVTOL完成了全流程认证，待审中大型无人机型号超过800个，审定供给与产业需求存在明显缺口，导致合规可运行机型规模不足。由此一方面使低空飞行服务站的功能闲置，利用效能受限；另一方面也使得低空飞行保障能力与适航要求不匹配，缺乏常态化运行功能验证和支撑[33]。

4　我国低空飞行保障体系建设思路

梳理欧盟和美国的低空飞行服务保障体系建设历程和建设内容，分析其可用借鉴点，结合我国低空经济当前发展实际，探索提出我国低空飞行保障体系建设思路。

4.1　明确顶层统一建设模式，重点构建一体化的低空数据信息平台

首先，应在顶层明确构建统一的低空飞行服务建设体系，并出台专项政策文件以支撑其高质量发展。建议构建“国家–省–市”三级体系架构，并重点搭建起一套全国一体、标准统一、监管智能的一体化低空数据信息平台，从而带动上下游产业发展。

在国家一级层面，应统一标准体系制定和运行保障监管，并在平台建设工作中做好“五个兼顾”。一是兼顾有人机和无人机运行，并集成到同一平台；二是兼顾多种监视手段，包括ADS-B、北斗、4G/5G等，并以后两者为主；三是兼顾低空空管能力，合理划分空域，确保低空高效利用以及无冲突飞行；四是兼顾服务与监管，对合作目标进行低空综合服务管理，对非合作目标进行有效发现、辅助处置，防止出现飞行安全事故；五是兼顾空地协同新业态，支撑空铁联运[34]、“空中+公路+铁路”多式联运等新型场景的业务集成与一体化调度[35]。

在省一级层面，做好面向用户的信息支持与跨域协同工作，构建相应信息与数据子系统，即飞行计划数据子系统、飞行监视数据子系统、低空气象数据子系统、航空情报数据子系统、电子围栏数据子系统、无人机和企业认证子系统、低空通告数据子系统、空域审批数据子系统以及电子航图数据子系统。

在市一级层面，作为低空服务第一线，做好运行保障工作。在审批服务流程上，完成飞行器ID验证、飞行记录、飞行计划审批信息管理与对接等数字化流程的搭建与对接。在风险管理上，实现空域监控预警、空中交通风险识别、非合作飞行器处置交互、告警及救援以及航空应急救援等重要功能。在飞行保障上，提供航空情报、气象信息、低空通信、导航以及监视等关键服务。

所提出的一体化低空数据信息平台概念框架模型如图8所示。

4.2　明确地方政府职责边界与服务主体认证机制

在已建成的统一低空飞行保障信息平台基础上，应积极引导地方政府及企事业单位参与低空飞行保障体系建设，为此应做好以下2方面的工作。一方面，应重点明确地方政府在低空基础设施建设与运维(含通信、监视、气象等节点)、基础地理信息保障属地化空域协同管理，以及低空应急响应等关键领域的具体责任范围与服务要求，避免职能交

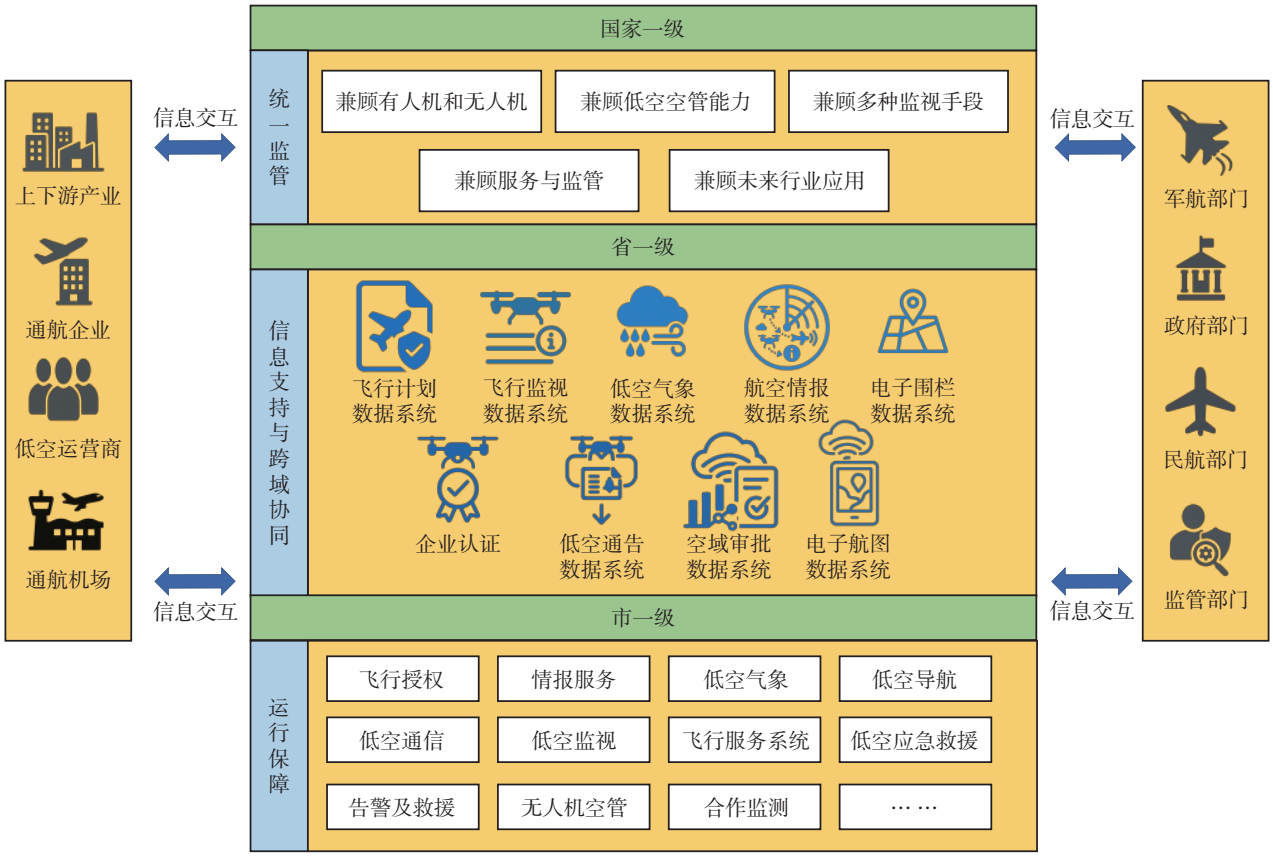


图8　一体化低空数据信息平台概念框架模型

Fig.8　Conceptual framework model of integrated low-altitude data and information platform

叉或真空。另一方面，应构建覆盖全国、标准统一的低空飞行保障资格认证体系。所有面向社会提供相关服务的主体，须经该体系认证合格后方可运营，从源头确保服务的专业性、一致性及运行安全。从而形成国家与地方协同推进的良好局面，共同提升我国低空飞行保障体系的整体效能。

4.3　做好不同阶段的专项资金规划以及社会资本融合

分阶段推进低空飞行保障体系建设，应对低空经济发展所需的总体基础设施，包括空地基础设施，做好分阶段的专项资金规划。在第一阶段，专项资金重点聚焦于通信、导航、监视网络及起降场站等物理设施建设，此阶段以政府财政资金为主导，奠定公共基础。在第二阶段，重点转向低空飞行保障系统的集成，包括省市一级各信息与数据子系统的搭建以及运行标准和安全规程的完善，通过设立产业引导基金吸引社会资本共同投资技术开发。进入第三阶段，侧重空地协同的保障能力建设，通过支持典型应用场景示范，带动运行机制和服务模式的优化，资金模式逐渐转为“政府引导、市场参与”，政府角色从直接建设者开始向战略合作伙伴与数据资源提供方转变。到第四阶段，专项资金重心转向商业化服务的规模化运营，经过严格资质认证的大量第三方服务提供商可以发挥更大作用，政府则侧重标准制度的建设，并通过开放空域、数据等核心资源并宏观调控，筑牢安全底线的同时实现市场驱动与低空生态繁荣。

4.4　创新低空航空器适航模式

针对低空适航审定资源不足与标准不统一问题，应创新低空航空器适航模式。参考欧洲经验并立足我国国情，一方面，构建分级分类的适航体系，对轻小微无人机由工信部按产品管理方式监管；对中大型无人机、eVTOL及传统航空器，由民航局依据型号合格证(TC)、生产许可证(PC)、适航证(AC)三证体系实施审定等模式基础上，研讨探索第三方委任代表机制的适航模式，在机构资质标准

建设的基础上，对委任机构的权责边界、法律责任、监管细则等方面进行系统研究，让专业社会组织与科研机构在适航认证中发挥更大作用，形成政府监管与社会协同的审定体系。此外，推行借鉴国际做法，研究推进“适航认证+强制保险”联动机制，使得取得认证的第三方适航委任机构在能够担得起风险的机制下为低空装备安全合规提供保障，通过模式创新推进更多安全可用的低空飞行器进入市场。

参考文献：

[1] 谭洪波，秦盛晋. 新质生产力引领低空经济高质量发展：基本特征与突破路径[J]. 价格理论与实践，2025(10)：62-68.
TAN Hongbo，QIN Shengjin. New Quality Productive Forces Leading the High-Quality Development of Low Altitude Economy：Basic Characteristics and Breakthrough Paths[J]. Price：Theory & Practice，2025(10)：62-68.

[2] 刘佳雯，王锣莹，沈　通，等. 国内外低空经济发展及其在铁路领域的应用场景研究[J]. 铁道运输与经济，2025，47(10)：30-43.
LIU Jiawen，WANG Liuying，SHEN Tong，et al. Low-Altitude Economy Development in China and Abroad and Its Application Scenarios in Railways[J]. Railway Transport and Economy，2025，47(10)：30-43.

[3] 钟导峰，尹传忠，梁亚莉，等. 应急物资“火车-卡车-无人机”协同运输优化[J]. 铁道运输与经济，2025，47(8)：40-50，58.
ZHONG Daofeng，YIN Chuanzhong，LIANG Yali，et al. Optimization of Train-Truck-Drone Cooperative Transportation for Emergency Supplies[J]. Railway Transport and Economy，2025，47(8)：40-50，58.

[4] 韩德强，熊　伟，王子玲. 深度多模态时代的低空经济与信息融合[J]. 航空学报，2026，47(S1)：732853.
HAN Deqiang，XIONG Wei，WANG Ziling. Low-Attitude Economy and Information Fusion in Era of Deep Multi-Modality[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica，2026，47(S1)：732853.

[5] 全　权，李　刚，柏艺琴，等. 低空无人机交通管理概览与建议[J]. 航空学报，2020，41(1)：023238.
QUAN Quan，LI Gang，BAI Yiqin，et al. Low Altitude UAV Traffic Management：An Introductory Overview and Proposal[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica，2020，41(1)：023238.

[6] 张晓兰，黄伟熔. 低空经济发展的全球态势、我国现状及促进策略[J]. 经济纵横，2024(8)：53-62.
ZHANG Xiaolan，HUANG Weirong. Development of Low-Altitude Economy：Global Trend，China’s Current Situation，and Promotion Measures[J]. Economic Review，2024(8)：53-62.

[7] 廖小罕，徐晨晨，叶虎平. 低空经济发展与低空路网基础设施建设的效益和挑战[J]. 中国科学院院刊，2024，39(11)：1966-1981.
LIAO Xiaohan，XU Chenchen，YE Huping. Benefits and Challenges of Constructing Low-Altitude Air Route Network Infrastructure for Developing Low-Altitude Economy[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences，2024，39(11)：1966-1981.

[8] LIEB J，VOLKERT A. Unmanned Aircraft Systems Traffic Management：A comparsion on the FAA UTM and the European CORUS ConOps Based on U-Space[C]//2020 AIAA/IEEE 39th Digital Avionics Systems Conference (DASC). San Antonio，TX，USA：IEEE，2020：1-6. https：//ieeexplore.ieee.org/document/9256745/. DOI：10.1109/DASC50938.2020.9256745.

[9] SESAR JU. U-space Conops and Architecture (edition 4)[EB/OL]. (2023-07-20)[2025-11-16]. https：//www.sesar-ju.eu/sites/default/files/documents/reports/U-space%20CONOPS%204th%20edition.

[10] EUR-Lex. Commission Delegated Regulation (EU) 2019/945 of 12 March 2019 on Unmanned Aircraft Systems and on Third-Country Operators of Unmanned Aircraft Systems[EB/OL]. (2019-03-12)[2025-11-16]. https：//eur-lex.europa.eu/legal content/EN/TXT/qid=1560259925294&uri=CELEX：32019R0945.

[11] EUR-Lex. Commission Implementing Regulation (EU) 2021/664 of 22 April 2021 on a Regulatory Framework for the U-Space[EB/OL]. (2021-04-22) [2025-11-16]. https：//eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/？uri=ELEX%3A32021R0664.

[12] EUR-Lex. Commission Implementing Regulation (EU) 2021/665 of 22 April 2021 Amending Implementing Regulation (EU) 2017/373 as Regards Requirements for Providers of Air Traffic Management/Air Navigation Services and Other Air Traffic

Management Network Functions in the U-Space Airspace Designated in Controlled Airspace[EB/OL]. (2021-04-22) [2025-11-16]. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/uri=CELEX%3A32021R0665.

[13] EUR-Lex. Commission Implementing Regulation (EU) 2021/666 of 22 April 2021 Amending Regulation (EU) No 923/2012 as Regards Requirements for Manned Aviation Operating in U-space Airspace[EB/OL]. (2021-04-22) [2025-11-16]. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/uri=CELEX%3A32021R0666.

[14] 殷　鹏. 低空经济数字基础设施关键技术与规划方法[M]. 北京：人民邮电出版社，2025.

[15] Federal Aviation Administration (FAA). 14 CFR Part 107: Small Unmanned Aircraft Systems[EB/OL]. https://www.ecfr.gov/current/title-14/part-107, 2026-01-27.

[16] DECKER C, CHIAMBARETTO P. Economic Policy Choices and Trade-Offs for Unmanned Aircraft Systems Traffic Management (UTM): Insights from Europe and the United States[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2022, 157: 40-58.

[17] 李诚龙，岳伊杨，张学军，等. 基于非参数误差建模的无人机空中风险实时量化评估[J/OL]. 华南理工大学学报(自然科学版)，1-10[2026-03-31]. https://link.cnki.net/urlid/44.1251.T.20251125.1609.004.

[18] 杜佳信，钟　超，郜亮亮. 低空经济推动农业现代化的路径探索：国际经验与中国实践[J]. 资源科学，2025，47(8)：1718-1731.
DU Jiaxin, ZHONG Chao, GAO Liangliang. Pathways for Advancing Agricultural Modernization through Low-Altitude Economy: International Experiences and China's Practices[J]. Resources Science, 2025, 47(8): 1718-1731.

[19] ASGHARI O, IVAKI N, MADEIRA H. Integration of U-Space Safety Assessment Methodologies with Experimentation[C]// 2023 53rd Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks Workshops (DSN-W). Porto, Portugal: IEEE, 2023: 72-75.

[20] SI-MOHAMMED S, BOUAZIZ M, HELLAOUI H, et al. Supporting Unmanned Aerial Vehicle Services in 5G Networks: New High-Level Architecture Integrating 5G with U-Space[J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2021, 16(1): 57-65.

[21] BERTIZZOLO L, TRAN T X, BUCZEK J, et al. Streaming from the Air: Enabling Dron-Sourced Video Streaming Applications on 5G Open-RAN Architectures[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2023, 22(5): 3004-3016.

[22] BIEHLE T. Urban Dimension of U-Space: Local Planning Considerations for Drone Integration[J]. Drones, 2025, 9(11): 744.

[23] HASSANALIAN M, RICE D, ABDELKEFI A. Evolution of Space Drones for Planetary Exploration: A Review[J]. Progress in Aerospace Sciences, 2018, 97: 61-105.

[24] LAPPAS V, ZOUMPONOS G, KOSTOPOULOS V, et al. EuroDRONE, a European Unmanned Traffic Management Testbed for U-Space[J]. Drones, 2022, 6(2): 53.

[25] European Organisation for the Safety of Air Navigation. Eurocontrol[EB/OL]. [2026-01-27]. https://brill.com/display/db/iybo.

[26] Federal Aviation Administration (FAA). Aeronautical Information Manual(AIM)[EB/OL]. [2026-01-26]. https://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/aim_html/index.html.

[27] HATFIELD M, CAHILL C, WEBLEY P, et al. Integration of Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System-Efforts by the University of Alaska to Support the FAA/NASA UAS Traffic Management Program[J]. Remote Sensing, 2020, 12(19): 3112.

[28] 宋志勇. 高质量建设低空飞行服务保障体系[J]. 大飞机，2024(5)：11-13.

[29] 刘　菲，吕人力. 民用无人机运行管理立法分析与建议[J]. 科技导报，2020，38(16)：15-28.
LIU Fei, LYU Renli. The Legislation for Unmanned Aircraft Operation and Suggestions for Improvement[J]. Science & Technology Review, 2020, 38(16): 15-28.

[30] 张　军，陈　磊，高智杰，等. 低空无人机技术研究现状与展望[J]. 中国工程科学，2025，27(2)：73-85.
ZHANG Jun, CHEN Lei, GAO Zhijie, et al. Low-Altitude Unmanned Aerial Vehicle Technology: Current Status and Prospects[J]. Strategic Study of CAE, 2025, 27(2): 73-85.

[31] 刘志硕，李　鑫，王文帅，等. 基于移动闭塞的低空交通系统设计与运行管控[J]. 铁道运输与经济，2025，47(11)：66-75.
LIU Zhishuo, LI Xin, WANG Wenshuai, et. al. Design and Operation Control of Low Altitude Traffic System Based on Moving Block[J]. Railway Transport and Economy, 2025, 47(11): 66-75.

（下转第130页）