

中国民用低空空域发展的现状、问题及对策

韩宝亮

陆军装备部装备审价中心, 北京
Email: 308720613@qq.com

收稿日期: 2020年11月13日; 录用日期: 2020年11月27日; 发布日期: 2020年12月4日

摘要

民用低空空域作为多类型航空用户交织影响、和谐共生的活动空间, 近几年随着通用航空、无人驾驶航空等新兴用户的井喷式发展, 已成为当前国家航空领域炙手可热的基础关键资源和稀缺战略资源。根据中国民用航空产业的发展历程与实际状况, 本文在阐述低空空域概念内涵及典型用户发展特征的基础上, 总体概括了当前民用低空空域顶层规划设计、法律法规建设、理论技术研究和运营服务保障的发展现状, 深度挖掘了低空空域资源供给、用户飞行效率、运行监管能力存在的瓶颈问题, 针对战略、战术和事后层面, 分别从低空空域规划设计、运行管理和效果评价视角提出若干推动和促进低空空域产业发展的对策建议, 以期为实现各类低空用户“飞起来”、“飞得好”和“管得好”提供参考建议和方向指引。

关键词

低空空域, 通用航空, 无人驾驶航空, 发展现状, 发展问题, 发展对策

The Current Status, Problems and Countermeasures of Low Altitude Airspace Development in Chinese Civil Aviation Industry

Baoliang Han

Armament Valuation Centre, Army Armament Department of PLA, Beijing
Email: 308720613@qq.com

Received: Nov. 13th, 2020; accepted: Nov. 27th, 2020; published: Dec. 4th, 2020

Abstract

The low altitude airspace in civil aviation industry is a fly area where multiple types of aviation users coexist and interact with each other in harmony. In recent years, with the rapid development of emerging users such as general aviation and unmanned aviation, the low altitude airspace has become a hot basic resource with key position and strategic scarcity in China. According to the development history and practical situation of Chinese civil aviation industry, this paper studies the concept of low altitude airspace and characteristics of typical aviation users, and provides a systematical review on the development of low altitude airspace, focused on the current status of top-level planning and design, law and regulation construction, theory and technology research, and operational service. Then, three bottleneck problems, including the airspace resource supply, user movement efficiency, and operational supervision capabilities, are deeply analyzed based on the development review. Finally, from the strategic, practical and post-operational levels, several countermeasures and suggestions about low altitude airspace planning and design, operation management and effect evaluation are formulated to promote the development of Chinese low altitude airspace industry. The research in this paper is expected to provide reference suggestions and development directions for realizing the “flying”, “perfect flying” and “perfect management” for multiple aviation users in the national low altitude airspace system.

Keywords

Low Altitude Airspace, General Aviation, Unmanned Aviation, Development Status, Development Problem, Development Countermeasure

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

空域是指地球表面以上可供航空器飞行的空气空间，主要由点、线、域三类基本要素构成。其中，点要素包括导航台、定位点、位置报告点等，线要素包括高空航路、进离场航线、飞行程序等，域要素包括情报区、管制区、限制区、危险区、禁区等。作为国家的基础性航空资源和稀缺性战略资源，空域在服务空防空管建设、满足航空飞行需求、支撑航空产业发展等方面的地位和作用至关重要[1]。对国家空域资源进行科学的规划设计与使用管理，是提升军事航空、公共运输航空、通用航空、民用无人驾驶航空等各类航空用户飞行安全与效率的重要前提和根本保障。

低空空域作为国家空域系统的基本构成要素，是多类型航空用户交织影响、和谐共生的主要空间。考虑到军事航空对于任意一个国家的特殊性和敏感性，本文主要以“民用低空空域”为对象进行研究与探讨。近几年来，通用航空、民用无人驾驶航空等低空空域新兴用户得到了井喷式发展，相关的低空企业数量、通航机组规模、通用机场数量、年总飞行时长等指标逐年攀升，民用低空空域成为当前国家航空领域内炙手可热的关键资源，得到了国务院中央军委空管委、中国民用航空局及各级管理局/空管局、发达地区/省市地方政府以及相关航空用户的广泛重视[2]。中国民用航空局在2018年11月发布的《新时代民航强国建设行动纲要》中提出要做大做强低空空域市场，建立飞行流程全服务、国土空间全覆盖、能力服务高质量的基础保障体系，依托云系统建设低空空域运行管理大数据中心，提升低空空域航空用

户在智慧物流、智慧城市、智慧农业等领域的服务能力[3]。在此形势下,民用低空空域的开放、使用和管理成为当前及未来中国航空业界的关注焦点和发展重点。

结合中国民用航空产业的发展历程与实际状况,本文在阐述低空空域概念内涵及典型用户发展特征的基础上,按照“全面了解发展现状→准确定位发展问题→科学拟制发展对策”的总体思路,对低空空域发展进行了系统深入研究:首先,针对顶层规划设计、法律法规建设、理论技术研究和运营服务保障四个方面,系统综述了当前中国低空空域的发展现状;然后,通过深度挖掘低空空域资源供给、用户飞行效率、运行监管能力方面的诸多关键问题,准确定位了当前低空空域发展面临的现实问题和迫切需求;最后,针对战略、战术和事后层面,从低空空域规划设计、运行管理和效果评价多维视角,针对性地提出若干有助于推动和促进低空空域产业发展的对策建议,旨在为中国低空空域的科学、和谐、可持续发展提供参考建议和方向指引,确保各类低空用户“飞起来”、“飞得好”和“管得好”。

2. 研究范围与对象的界定

2.1. 主要研究范围的界定

为建立规范、统一的空域分类标准,国际民航组织将空域划分为 A、B、C、D、E、F、G 七类空域。各缔约国根据本国实际情况和需求,对国际民航组织空域分类标准进行选择性和扩充,形成了框架统一、各具特色、略显差异的空域分类体系[4][5]。在美国,低空空域主要包括 E、G 两类空域,其中 E 类空域在全美面积最大且应用最为广泛,允许目视和仪表混合运行,提供管制和非管制服务;G 类空域的高度范围一般在地表至真高 1200 英尺之间,允许目视和仪表混合运行,但不提供管制服务[6]。在欧洲,各国规定的低空空域上下限各不相同,一般为除了 A、B、C、D 四类公共运输航空使用空域、特殊用途空域(危险区、限制区、禁区)之外的其它空域[7]。

结合中国具体的国情和空情特色,本文研究的“低空空域”主要是指真高 1000 米(未来中国有望放开至 3000 米)以下的空间范围,在此空域内允许目视和仪表混合运行,提供管制和非管制服务。中国低空空域主要涉及管制空域、监视空域、报告空域、目视飞行航线等多种低空空域单元,承载通用航空、无人驾驶航空、运输航空(部分飞行阶段)等多种类型低空航空用户,满足客运飞行、货运飞行、作业飞行、抢险救灾、文化体育、个人娱乐等多元化低空飞行需求。

2.2. 主要研究对象的界定

本文的研究对象除了低空空域物理资源本身之外,还包括使用低空空域资源的典型航空用户。低空空域内的航空用户包括军事航空和民用航空,而民用航空又包括公共运输航空、通用航空和民用无人驾驶航空(以下适情简称“民用无人机”)三类。考虑到军事航空对国家的特殊性和敏感性,不在本文的探讨范围内;考虑到公共运输航空全运行周期内大多数时间的飞行高度在 6000 米以上,仅有起飞和降落阶段短时使用低空空域,亦不在本文的探讨范围内。与公共运输航空相比,通用航空和民用无人驾驶航空飞行组织方式多样、活动类型繁多,且通常在低空、超低空和城市区域进行飞行作业,高度分散、点多、线多、面广,具有明显的飞行目标较小、运行方式灵活、过程难以预测等特点。因此,本文重点选取通用航空和民用无人驾驶航空,作为低空空域典型航空用户进行分析。

3. 低空空域发展现状研究

为了切实推动我国低空空域相关产业快速发展,国家各级部门根据国情空情、地区特点和航空需求,对低空空域开放、使用和管理进行了一系列积极探索和试点建设,本节分别从顶层规划设计、法律法规建设、理论技术研究和运营服务保障四个方面对低空空域发展现状进行总体概述。

3.1. 顶层规划设计现状

为最大限度地释放空域资源红利、提升航空运行活动效率,我国一直致力于空域管理体制变革工作。国务院中央军委于2010年11月发布《关于深化我国低空空域管理改革的意见》,对我国低空空域管理改革方向做出明确部署,首次明确了深化低空空域管理改革的总体目标、阶段步骤和主要任务。国务院于2012年7月和2016年5月陆续发布《关于促进民航业发展的若干意见》《关于促进通用航空业发展的指导意见》[8][9],提出要大力发展通用航空,充分发挥市场机制作用,加大改革创新力度,加强通用航空基础设施、监管技术和法规标准建设,以期建成布局合理、便利快捷、制造先进、安全规范、应用广泛、军民兼顾的通用航空体系。为满足民用无人机发展需求,中国民用航空局于2019年5月发布《关于促进民用无人驾驶航空发展的指导意见(征求意见稿)》,提出要把握民用无人机运行特点规律,构建“社会管理+行业管理”的格局,形成安全、高效、顺畅、可持续的民用无人机运行体系,实现民用无人机“无缝隙”融入国家空域系统,打造与各类航空器相适应的运行生态系统[10]。为进一步探索推进空域分类管理和低空空域管理改革,建立空域动态管理与灵活使用机制,国务院中央军委于2017年12月批复四川省低空空域协同管理试点建设方案,该试点方案的获批成为我国改革开放以来空域管理体制创新的一次重大突破,为其他地区低空空域管理体制机制改革奠定了重要基础[11]。深圳作为全球无人机领军企业——大疆科技有限公司的总部所在地,亦在参与推动国家低空空域管理改革方面走在了全国前列,于2018年发布《深圳地区无人机飞行管理实施办法(试行)》,明确除不可随意飞行空域以外,无人机无需提前申报便可在其它区域飞行。另外,为有效推动低空产业快速发展,中国工业和信息化部于2017年11月发布《关于促进和规范民用无人机制造业发展的指导意见》,明确了民用无人机产业发展的路线图和时间表,对2020年至2025年民用无人机产业产值、国际知名企业培育和核心关键技术等提出了要求[12]。为探索无人机行业管理与社会管理深度融合的新路径,有序开展我国民用无人机发展试点示范工作,中国民用航空局于2020年5月发布《民用无人驾驶航空试验基地(试验区)建设工作指引》,旨在引导民用无人机产业发展、培育产业生态,为无人机运行理论研究、风险评估、技术应用等提供试运行平台[13]。除港澳台之外,目前全国已有30余个省市自治区制定了通用航空发展规划和通用机场建设规划,对行政区域内通航产业发展做出全面部署,制定了面向未来不同阶段的发展目标和工作重点。上述探索为中国低空空域发展提供了良好的运行框架、方向指引和政策环境。

3.2. 法律法规建设现状

法律法规是创造良好的低空空域发展环境、确保低空空域及其相关产业规范有序运作的重要基石。国务院在1986年1月发布的《关于通用航空管理的暂行规定》中首次将“专业航空”更名为“通用航空”,明确了通用航空行业管理机构、从事通用航空活动需履行的报批手续、从事通用航空经营活动的审批管理程序等要求。在《中华人民共和国民用航空法》出台之前,该规定为通用航空和民用无人机行业管理提供了法规依据。目前,通用航空和民用无人机飞行活动政策和管理的法律依据是1996年3月发布的《中华人民共和国民用航空法》以及后续的若干修正版,其设定了通用航空的定义以及从事通用航空活动的条件,明确提出保障飞行安全,保护用户、地面第三人以及从事通用航空活动的单位和个人的合法权益。2000年7月,国务院中央军委发布《中华人民共和国飞行基本规则》,规定在组织与实施通用航空飞行活动时,必须按照有关规定履行报批手续,并向当地飞行管制部门提出飞行申请,各航空单位应当按照批准的飞行计划组织实施。随后发布的《通用航空飞行管制条例》成为管理大陆通用航空飞行活动的基本依据,该条例规范了从事通用航空飞行活动的单位或个人向当地飞行管制部门提出飞行计划申请的程序、时限要求等。为保障民用无人机飞行管理工作顺利高效开展,中国民用航空局于2018年1月发布《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例(征求意见稿)》,对民用无人机系统、无人机驾驶员、无人机飞行空域和

运行管理等进行了规范[14]。四川省率先就通用航空发展进行立法,于2019年10月发布《四川省通用航空条例(草案代拟稿)》,明确了通用机场、空域与飞行、应急保障、产业促进、创新发展等诸多事宜。目前,涉及到通用航空和民用无人机的民航规章共有30余部,主要包括《一般运行和飞行规则》《小型航空器商业运输运营人运行合格审定规则》等安全管理规章、《通用航空经营许可管理规定》《非经营性通用航空登记管理规定》等经济管理规章,以及专业机构和从业人员的资质审定规章。为保证通用航空作业质量,引导和规范通用航空企业开展作业项目,国家先后发布了一系列通用航空作业标准。上述法律法规和规章为中国低空空域发展提供了良好的法治保障。

3.3. 理论技术研究现状

低空空域相关理论技术研究是支撑低空空域运营服务保障的重要手段,目前国内在该领域的研究主要侧重低空空域规划设计(空域结构视角)和低空飞行活动管理(空域用户视角)两个方面。考虑到本文的研究定位及篇幅问题,此处主要对相关理论技术研究工作进行总体概括,而并不过多涉及微观层面的研究细节。在低空空域规划设计方面,目前主要从国家政策视角将其划分为管制空域、监视空域、报告空域、目视飞行航线四类,有部分学者根据航空用户飞行需求,对特定类别(主要是飞行航线)的低空空域进行了规划设计。例如,白龙等人分析了城市区域(超)低空空域无人机活动规则、覆盖区规则和隔离区规则,在3D城市模型的基础上应用最优函数地图对最优活动通道进行了优选设计[15];冯登超等人研究了空间实景和虚景的三维可视化以及多源异构参数分类的可视化展示技术,并对可视化数据源的获取方法、展示技术及建模产品进行了梳理[16];潘卫军等人基于Reich模型建立了有人机与无人机的侧向碰撞风险模型,对无人机融入有人机管制空域时的侧向间隔使用进行了优化,所推导的防碰撞间隔满足ICAO规定的碰撞风险要求[17]。在低空飞行活动管理方面,主要针对通用航空和无人驾驶航空,在确保低空飞行器运行安全的前提下,对飞行前的计划管理、飞行中的路径规划等进行研究。例如吴仁彪等人研究了通航飞行计划安全性和飞行成本的一般性评估方法,结合低空飞行器的巡航高度、飞行路径和飞行速度等信息对作业类飞行任务的飞行计划评估方法进行了分类研究[18];马亚冰对通航飞行计划中的垂直航迹剖面、配载平衡、燃油消耗、作业区域气象条件等指标进行了分类计算,并提出了通航飞行计划的评估流程[19];田凤基于无人机飞行计划生成的静态航迹对飞行航迹冲突点进行探测,提出了一种多无人机无冲突航迹规划方法[20];王亮等人建立了基于障碍边界归一化的低空无人机实时避撞路径规划方法,实现了陌生环境下无人机的实时路径规划[21];赵帅针对多无人机在三维空间中的冲突风险问题,把无人机路径优化问题转化为最优控制问题,提出了基于Gauss伪谱法的无人机路径优化方法[22];张启钱等人考虑空域环境、运输任务等内外限制,以飞行时间、能耗及危险度最小为目标,建立了多限制条件下物流无人机的路径规划模型及启发式算法[23]。上述研究成果为中国低空空域发展提供了一定的理论基础和方法支持,但如何从整体性和统筹性视角对不同范围、不同类别的低空空域单元进行一体化规划设计,如何对多种类别的低空用户融入国家空域系统内的混合运行活动进行一体化优化,目前尚未得到系统研究,导致空域资源效益和航空用户效率无法得到进一步的有效提升。

3.4. 运营服务保障现状

为进一步提高低空空域产业运营管理水平,中国民用航空局于2015年12月发布咨询通告《轻小民用无人机运行规定(试行)》,明确了民用无人机的定义和分类,引入了民用无人机云的数据化管理,以大数据和“互联网+”为依托,对“低、小、慢”民用无人机运行实施放管结合的细化分类管理,以进一步维护轻小型民用无人机的飞行秩序,确保运行安全[24]。随后,于2016年9月发布《民用无人驾驶航空器系统空中交通管理办法》,针对在航路航线、进近(终端)和机场管制地带等民用航空使用空域范围内或

者对以上空域内运行存在影响的民用无人机, 提出对其飞行活动实施空中交通管理, 对隔离空域和非隔离空域管理和民用无人机空中交通服务进行了规范[25]。为加快推进北斗、ADS-B 等技术在低空空域服务应用, 中国民用航空局于 2017 年 4 月发布《民用航空低空空域监视技术应用指导意见》, 旨在加强对低空空域通用航空活动的监视服务能力, 不断提升低空飞行服务水平与质量, 为低空空域管理改革工作提供技术支撑, 为北斗民航应用形成突破并奠定坚实基础[26]。2018 年 9 月, 中国民用航空局发布了《低空飞行服务保障体系建设总体方案》, 旨在加快构建行业社会共建、军民融合发展、服务高效便捷的低空飞行服务保障体系, 促进通用航空业发展, 保证低空空域安全高效使用[27]。同年 12 月, 四川省低空空域协同运行中心正式挂牌成立, 采取政府主导、企业参与的模式, 由四川省低空空域协同管理委员会办公室统一部署, 川航集团建设及运营, 相关基础设施已基本建成, 系统平台亦进入调试和试运行阶段, 为四川省内通用航空和民用无人机运行管理提供了直接支撑。在系统建设方面, 中国民用航空局于 2017 年在深圳地区开展无人驾驶航空器空管信息服务系统试点, 通过协调引接行业内外现有系统数据, 实现民用无人机及驾驶员在线登记注册管理以及对合作目标的身份认证与动态追踪功能, 同时提供民用无人机特许飞行任务及计划的智能化管理服务。目前, 该平台正在深圳地区真高 120 米以下低空空域进行示范应用, 实现了民航、军方、公安三方之间对民用无人机数据的共享, 使民用无人机监管更加精确、及时和规范化。上述工作为中国低空空域发展提供了坚实的决策服务支持。

4. 低空空域发展问题研究

中国虽已在低空空域顶层规划设计、法律法规建设、理论技术研究和运营服务保障方面取得了初步的研究与应用成果, 但仍存在诸多体制性障碍、结构性矛盾和瓶颈性问题, 导致多用户飞行冲突、通用航空器坠毁、无人机黑飞乱飞等现象频发, 本节分别从空域资源供给不足、用户飞行效率不高、运行监管能力不强三个方面对低空空域发展问题进行深度挖掘。

4.1. 低空空域资源供给不足

目前, 欧美等航空发达国家和地区根据各自发展需求和航空特点, 已对低空空域的上下边界范围、飞行活动规则、提供服务类型等进行了详细的划分, 有效地满足了通用航空、无人驾驶航空飞行活动对低空空域资源的使用需求。当前, 中国已有的空域规划设计与分类管理成果大多集中在中空和高空区域, 涉及公共运输机场、终端区、扇区、区域、航路等空域单元。然而, 针对低空管制空域、监视空域、报告空域和目视飞行航线的规划管理工作则相对缺乏和滞后, 主要停留在概念范畴界定层面, 对于如何规划设计与开放管理各类低空空域资源尚未进行充分论证, 已试点开放的部分低空空域分类划设水平尚处于粗放式初级管理阶段, 可用的民用低空空域资源仍较为稀缺, 无法满足即将到来的井喷式低空飞行发展需求。以四川省这一国内目前低空开放政策红利最多、最为典型的试点建设地区为例, 目前发布的两批低空空域资源仅包括 5 片固定空域(即机场/起降点空域)和 5 条低空目视通道(含连接线)。随着通用航空和民用无人机逐步融入国家空域系统, 迅猛增长的低空飞行需求与极其有限的低空空域供给之间的矛盾不断加剧, 通用航空、无人驾驶航空与公共运输航空之间的空域资源使用冲突更为加剧, 尤其是无人机黑飞乱飞问题对公共运输航空的安全和高效运行造成了严重影响。因此, 如何增强低空空域供给能力, 确保各类低空用户“飞起来”, 成为亟待解决的关键问题。

4.2. 低空用户飞行效率不高

目前, 美欧等航空发达国家和地区在通用航空和民用无人机等低空用户服务保障体系建设方面已相对成熟。例如, 美国通用航空具备完善的服务保障体系, 包括数以万计的通航机场、可提供广泛服务的

飞行服务站, 以及经营良好的固定运营基地和维修基地, 上述要素共同保障其规模庞大的通用航空体系正常运转; 欧洲制定了通用航空发展路线图, 对通用航空体系发展工作重点进行了详细规划。在民用无人机管控运行概念方面, 美国联邦航空管理局于 2018 年 3 月发布了《无人机管控运行概念》, 欧洲航行安全组织于 2018 年 11 月发布了《无人机管控整体运行概念》, 新加坡民航局于 2017 年 2 月发布了《咨询通告: 无人机运行许可》。我国通用航空和民用无人驾驶航空的服务保障体系建设较为初步, 虽然已提出构建涵盖全国低空飞行服务国家信息管理系统(国家级)、区域低空飞行服务区域信息处理系统(区域级)和飞行服务站(终端级)的低空飞行服务保障体系, 但目前尚未形成一套系统、科学和完善的低空飞行运行概念框架, 相关的体系机制、运行模式、系统功能、业务流程、标准规范等仍需进行系统性和深入性探索, 无法为低空用户提供高效的飞行计划、航空情报、航空气象、告警和协助救援服务, 进而导致低空空域系统内多类型用户的飞行效率较为低下。因此, 如何提高低空用户飞行效率, 确保各类低空用户“飞得好”, 成为亟待解决的关键问题。

4.3. 低空运行监管能力不强

为满足低空空域内多类型航空用户的运行监管需求, 美欧已初步研制了较为成熟的系统工具, 实现了对低空飞行活动的安全运行监管。例如, 美国航空航天局为联邦航空管理局设计了无人机空管系统 UTM, 该系统成为商用无人机顺利引入美国空域管理的关键, 其研发成功大幅推进了美国无人机的商业应用[28]。欧洲 Skyguide 与 AirMap 联合研发欧盟首个无人机空管系统 U-Space, 以确保欧洲空域内数百万无人机安全有序地完成各项空中飞行任务[29]。然而, 当前低空空域运行监管尚处于法规和程序的规范阶段, 仅有部分试点区域建设了初步的通用航空和民用无人机信息管理系统平台, 实现了飞行计划审批和飞行活动监视, 初步实现了低空飞行信息共享与责权关系划分。然而, 当前低空空域相关体系建设主要聚焦飞行服务保障体系, 且侧重低空飞行信息管理系统建设, 对于低空空域运行监管体系涉及的组织机构、协调关系、运行机制、规则程序、系统平台等一系列核心要素尚未系统化建立, 导致建好的基础信息平台因缺乏其它运行监管体系要素而无法充分发挥运行效能。特别是在我国民航由单一的航空运输强国向多领域的民航强国跨越的进程中, 通用航空、无人驾驶航空和公共运输航空等多类型航空用户的混合运行监管能力更是极为缺乏, 低空飞行安全运行监管面临重大挑战。因此, 如何增强低空运行监管能力, 确保各类低空用户“管得好”, 成为亟待解决的关键问题。

5. 低空空域发展对策研究

结合中国低空空域发展现状及问题分析, 本节针对战略、战术和事后三个层面, 从低空空域规划设计、运行管理和效果评价视角, 针对性地提出若干有助于推动和促进低空空域产业发展的对策建议, 以期低空空域的科学、和谐、可持续发展提供参考建议和方向指引。

5.1. 加强战略层面的低空空域规划设计

低空空域规划设计是优化通用航空和民用无人驾驶航空运行环境的基础前提和根本保证。面向战略层面的低空空域发展问题, 中国可在科学预测未来中长期通用航空和无人驾驶航空飞行需求的基础上, 结合我国具体的国情空情特色以及地方经济社会发展特点, 对管制空域、监视空域、报告空域、目视飞行航线等各类低空空域单元进行科学分类, 对每一类低空空域单元进行合理设计, 并结合 5G、北斗等中国先进技术的战略布局, 对空域系统建设涉及的通信、导航、监视等设施设备进行优化布局, 实现低空空域资源的最大程度开放, 全面释放低空空域资源红利, 为通用航空和民用无人驾驶航空提供广阔的运行环境。另外, 考虑到低空空域管理涉及国家空管体制机制改革范畴, 上述对策的顺利实现必须依赖于国家层面的空域系统统筹设计与建设规划, 以及各地区/省市低空空域管理具体发展方向与宏观政策。

5.2. 加强战术层面的低空空域运行管理

低空空域运行管理是实现通用航空和民用无人驾驶航空安全高效运行的关键手段和核心支撑。面向战术层面的低空空域发展问题,中国可分别针对低空空域使用管理(资源管理视角)和低空用户运行管理(用户管理视角),攻关低空空域信息环境设计、低空航线统筹布局、低空空域动态配置、低空运行态势监控、低空飞行冲突管理、低空飞行路径规划、多类型低空用户一体化管控、跨地区低空空域协调管理等一系列关键技术,并研制相应的低空空域运行管理系统平台,解决当前低空空域运行主要依赖信息系统平台而缺乏直接的运行管控技术平台的现实难题,为提升通用航空和民用无人驾驶航空等多类型用户的飞行效率提供技术支撑和决策支持。随着飞行驾驶汽车、无人机物流派送等低空新兴业务的萌芽和发展,低空空域运行管理还可能面临其它前所未有的技术挑战。

5.3. 加强事后层面的低空空域效果评价

低空空域效果评价是定位低空空域运行问题、挖掘低空用户飞行瓶颈、辅助低空空域发展建设的直接手段和决策依据。面向事后层面的低空空域发展问题,中国可从安全水平、效率水平、环保水平等不同视角构建一套低空空域效果评价指标体系,在此基础上采用科学的评估方法对各类效果评价指标进行分类计算与综合评价,并通过相关机构定期或不定期发布低空空域效果评价报告。基于低空空域效果评价结果,发现低空空域规划设计和运行管理中存在的主要问题和薄弱环节,通过闭环机制对低空空域的开放、使用和管理过程进行反馈优化,实现低空空域系统的迭代优化与不断演进。借助人工智能、大数据与机器学习等先进技术的发展,对海量、多源、异构的低空空域运行数据进行深度挖掘分析,探寻有价值的低空空域辅助决策信息,亦将成为低空空域效果评价的重要方式。

6. 结束语

中国是名副其实的民用航空大国,航空运输市场规模位居世界第二已有十余年之久,预计将于五年之内超越美国成为世界第一的民用航空大国。目前,中国仍不是民用航空强国,但低空空域系统内通用航空、无人驾驶航空等新兴用户的蓬勃发展,却为中国民用航空由大向强跨越、变道超车带来了前所未有的发展机遇。同时,因其与军事航空、公共运输航空等其他用户之间存在交织影响,低空空域在开放、使用与管理方面亦面临巨大挑战,已成为当前及未来全球航空业共同关注的热点和焦点问题。站在国家战略布局、地区发展布局、市场运行布局的高位,针对战略、战术和事后等低空空域发展的全生命周期,系统性突破低空空域规划设计、运行管理和效果评价等领域的基础理论、关键技术和系统平台,针对性解决空域资源供给不足、用户飞行效率不高、运行监管能力不强等瓶颈问题,对于加快推动实现低空空域科学、和谐、可持续发展具有重要的理论意义和应用价值。

参考文献

- [1] 朱永文, 陈志杰, 唐治理. 空域管理概论[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [2] 高志宏. 我国低空空域管理体制改革的变迁与未来取向[J]. 海南大学学报(人文社会科学版), 2019, 37(1): 40-47.
- [3] 中国民用航空局. 新时代民航强国建设行动纲要[R]. 北京: 中国民用航空局, 2018.
- [4] International Civil Aviation Organization (2014) ICAO Annex 11: Air Traffic Services, Chapter 2, Section 2.6. ICAO, Montreal.
- [5] 刘得一, 张兆宁, 杨新渥. 民航概论[M]. 北京: 中国民航出版社, 2011.
- [6] Federal Aviation Administration (2020) ATS Airspace Classification. FAA, Washington DC.
- [7] European Organisation for the Safety of Air Navigation (2003) EUROCONTROL Manual for Airspace Plan-

- ning—Common Guidelines. EUROCONTROL, Brussels.
- [8] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于促进民航业发展的若干意见[EB/OL]. http://www.gov.cn/zwqk/2012-07/12/content_2181497.htm, 2012-07-12.
- [9] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院办公厅关于促进通用航空业发展的指导意见[EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-05/17/content_5074120.htm, 2016-05-17.
- [10] 中国民用航空局. 关于促进民用无人驾驶航空发展的指导意见(征求意见稿) [R]. 北京: 中国民用航空局, 2019.
- [11] 郝旭东, 罗军. 四川省低空空域协同管理改革试点综述[J]. 科技和产业, 2020, 20(8): 115-120.
- [12] 中华人民共和国工业和信息化部. 关于促进和规范民用无人机制造业发展的指导意见[R]. 北京: 中华人民共和国工业和信息化部, 2017.
- [13] 中国民用航空局. 民用无人驾驶航空试验基地(试验区)建设工作指引[R]. 北京: 中国民用航空局, 2020.
- [14] 中国民用航空局. 无人驾驶航空器飞行管理暂行条例(征求意见稿) [R]. 北京: 中国民用航空局, 2018.
- [15] 白龙, 路紫, 杜欣儒, 郜方. 城市区域(超)低空空域无人机活动通道划设规则与方法[J]. 地球科学进展, 2016, 31(11): 1197-1204.
- [16] 冯登超. 面向低空安全的三维空中走廊可视化研究综述[J]. 电子测量技术, 2018, 41(9): 2-9.
- [17] 潘卫军, 陈佳炆, 张智巍, 张晓磊, 刘铠源, 王思禹. 管制空域内无人机与有人机侧向碰撞风险研究[J]. 计算机与现代化, 2020(3): 1-5.
- [18] 吴仁彪, 何理, 王晓亮, 张喆, 王鹏. 通用航空飞行计划评估方法综述[J]. 信号处理, 2019, 35(3): 114-122.
- [19] 马亚冰. 通用航空飞行计划评估技术及实现方法研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 中国民航大学, 2016.
- [20] 田凤. 无人机飞行计划管理及其验证系统研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2017.
- [21] 王亮, 魏铂淞, 熊瑜, 许卓凡. 基于边界归一化的低空无人机实时避障路径规划[J]. 西北工业大学学报, 2017, 35(2): 213-219.
- [22] 赵帅. 低空空域下多无人机无冲突路径规划研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2019.
- [23] 张启钱, 许卫卫, 张洪海, 邹依原, 陈雨童. 复杂低空物流无人机路径规划[J]. 北京航空航天大学学报, 2020, 46(7): 1275-1286.
- [24] 中国民用航空局. 轻小民用无人机运行规定(试行) [R]. 北京: 中国民用航空局, 2015.
- [25] 中国民用航空局. 民用无人驾驶航空器系统空中交通管理办法[R]. 北京: 中国民用航空局, 2016.
- [26] 中国民用航空局. 民用航空低空空域监视技术应用指导意见[R]. 北京: 中国民用航空局, 2017.
- [27] 中国民用航空局. 低空飞行服务保障体系建设总体方案[R]. 北京: 中国民用航空局, 2018.
- [28] Kopardekar, P.C., Rios, J., Prevot, T., Johnson, M., Jung, J. and Robinson, J.E. (2016) Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) Concept of Operations. *Proceedings of the 16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*, Washington DC, 13-17 June 2016, 1-16.
- [29] Barrado, C., Boyero, M., Brucculeri, L., Ferrara, G., Hatley, A., Hullah, P., Martin-Marrero, D., Pastor, E., Rushton, A.P. and Volkert, A. (2020) U-Space Concept of Operations: A Key Enabler for Opening Airspace to Emerging Low-Altitude Operations. *Aerospace*, 7, 24. <https://doi.org/10.3390/aerospace7030024>