



美国空域管理——历史、现状、趋势与启示

李成智

北京航空航天大学 人文与社会科学高等研究院, 北京 100191

摘要: 空域开放是发展通用航空与低空经济的前提和必由之路。为对中国空域开放与低空经济发展提供借鉴, 本文系统考察美国空域管理的航行权立法进程、空域结构演变与无人机监管趋势。研究表明: 美国通过 1926 年《商业航空法》和 1938 年《民用航空法》确立了美国联邦政府对空域的统一监管权, 形成联邦统一监管与州政府协同的双轨体制; 现行空域依据国际民航组织 (ICAO) 建议划分为 A、B、C、D、E 类管制空域与 G 类非管制空域及特殊用途空域, 实际管制范围有限, 体现了公共通行权优先、政府管制最小化的核心理念; 无人机监管经历了从严格管控到适度监管的转向, 以技术成熟度为依据动态调整监管力度, 2025 年 108 部法规提案 (NPRM) 推动超视距飞行常态化运行。据此, 本文从核心理念、法规标准、技术保障三个层面对中国空域开放提出建议。

关键词: 空域管理; 空域开放; 航行权; 通用航空; 低空经济; 无人机

中图分类号: V355; F560

文献标识码:

文章编号: 1674-4969(XXXX)XX-0001-17

引言

1903 年 12 月 17 日, 美国人莱特兄弟 (Wilbur Wright、Orville Wright) 试飞成功世界上第一架有动力、可操纵且能够持续飞行的载人飞机——“飞行者 1 号” (Flyer-1), 由此开启了航空新纪元。1906 年 10 月 23 日, 旅居法国的巴西人桑托斯·杜蒙 (Alberto Santos-Dumont) 研制并试飞成功欧洲第一架动力飞机——“14 比斯” (14 bis)。他们不仅发明了重于空气

的飞行器, 也推动了通用航空的发展。早期飞机研制生产者在不断改进飞机的同时, 也在探索飞机的商业应用场景, 如飞机出售、专利转让、部件生产、空中观光、飞行表演、飞行竞赛、航空展览、货物运送、飞行员培训等, 目的是通过这一重大发明创造经济效益^{[1]192}。由于早期飞机飞行高度低、速度慢, 这类应用与当今低空经济的主要应用场景高度契合。因此, 低空经济可视为通用航空的延伸与发展, 尤其是随着无人机和电动垂直起降飞行器 (electric vertical take-off and landing,

收稿日期: 2025-11-29; **修回日期:** 2026-01-10

作者简介: 李成智 (1961—), 男, 博士, 教授, 研究方向为航空航天发展史与发展战略。E-mail: lichengzhi@263.net

引用格式: 李成智. 美国空域管理——历史、现状、趋势与启示[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20250165.

LI Chengzhi. U.S. Airspace Management: History, Current Status, Trends, and Insights[J]. Journal of Engineering Studies, DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20250165.

eVTOL)的大规模引入。从某种意义上说,低空经济就是通用航空与eVTOL的结合。由于飞机是前所未有的新事物,其活动区域即空域(airspace)最初对飞行完全开放,进而形成了公民拥有空域自由飞行权的理念。随着飞行活动日益增多,政府开始对空域及飞行活动进行管理。美国空域与空中交通管理体系的发展历经长期探索,其核心目标是在保障国家安全的前提下,最大限度提升空域资源利用效率,创造更高的经济效益与社会效益。美国空域管理先后经历了从“自由通行”到“联邦统一监管”,再到“分类精细管理”的演化过程,是当前全球范围内空域管理体系最为成熟、立法实践最为完善、运行经验最为丰富的国家。

“低空经济”日益获得国际社会认可,产业链条长、技术资金密集度高、带动作用强,是新质生产力的典型代表。中共中央、国务院多次提出要大力发展通用航空与低空经济。然而,发展低空经济,开放空域是前提与必由之路——没有充分开放的空域,低空经济蕴含的经济与社会效益便难以充分释放。当前,中国低空经济发展仍面临空域开放程度不足、法规标准体系滞后、关键技术储备薄弱等核心瓶颈,系统梳理美国空域管理的演化脉络与制度逻辑,对推动中国低空领域改革与产业发展具有直接借鉴价值。本文以美国空域管理为研究对象,从历史与现实双维度切入,沿“立法起源-结构演进-监管转型-经验借鉴”的逻辑线索展开研究,通过梳理美国空域管理法律法规的演化进程,揭示其制度变迁中的路径依赖与阶段性突破特征,通过比较空域分类与运行规则,提炼可供中国借鉴的制度核心理念,通过追踪无人机监管领域的最新政策动向,把握全球低空治理发展的共同趋势,最终结合中国低空领域发展的实际情境,提出具有针对性的政策参考建议。

1 美国空域航行权问题

1.1 飞机出现前的航行权困境

1919年的《巴黎公约》(*Convention Relating to the Regulation of Aerial Navigation*)在法律层面解决了领空或空域主权问题。然而,在各成员国中,飞行

员的航行权问题仍未得到解决。问题的根源出自一句罗马法格言——“*Cuius est solum, eius est usque ad coelum et ad inferos*”,其含义是“谁拥有土地,谁就拥有直到天空之上以及地下深处的一切”。这一格言的早期版本可追溯至13世纪意大利法学家阿库修斯(*Franciscus Accursius*)。在英国爱德华一世(1239—1307)统治时期,该格言被纳入普通法。在《英格兰法律评注》(*Commentaries on the Laws of England*)第二卷中,布莱克斯通(*William Blackstone*)阐述了理解不动产所赋予权利的重要性:土地在法律意义上具有无限延伸性,既向上延伸,也向下延伸^[2]。

由于这一法律原则,被定性为“非法侵入”的案件出现了很多,其中不乏一些荒唐的纠纷。典型例子便是1815年英国皮克林诉拉德案(*Pickering v. Rudd*),被告拉德与原告皮克林(*Pickering*)为邻居,原告的藤蔓/树枝生长蔓延至被告房屋墙面,被告将该枝条修剪;被告又在自家墙体向外钉了一块警示木板,木板向外伸出数英寸,悬垂在原告花园上空。原告起诉,主张木板越界悬垂构成非法侵入。一审法官艾伦伯勒勋爵(*Edward Law, 1st Earl of Ellenborough*)认定被告不承担非法侵入责任。他提出,若一块木板都算侵入行为,那么气球驾驶员是否会“因其气球在飞行过程中掠过的每一块田地而被土地占有人以‘非法侵入封闭土地’提起诉讼”呢?^[3]他还将子弹飞过一块土地与热气球飞越土地作比较,认为后者可能构成滋扰,但不构成非法侵入。然而,原告上诉后,英国法院断然推翻了艾伦伯勒勋爵的判决,认定干扰土地上空空间,要么构成滋扰,要么构成非法侵入,或两者兼有,从而“维护”了自古以来保护财产所有者“拥有土地就拥有其上的天空”的规则^[2]。此类非法侵入诉讼案件层出不穷,许多案件荒唐至极,令法官们哭笑不得。

美国各州都采用了英国普通法。加利福尼亚州在1850年正式成为美国的一个州时通过了一项普遍法律,规定:“英格兰的普通法,只要不与美国宪法或加利福尼亚州宪法或法律相抵触或不一致,应成为本州所有法院的裁决规则。”^[2]伊利诺伊州首席大法官卡拉维(*Llewellyn Callaway*)指出:“我国各法院的共识似乎是,至少在地面附近的空域几乎与土地本身

一样不可侵犯。”侵入空域即使不造成任何威胁也被视为非法侵入：仅仅将手臂伸过邻居的土地去取梯子就足以构成非法侵入^[2]。

19世纪，火车、电报的发明与普及引发了不少空中侵入纠纷案。1897年，芝加哥一家铁路公司在斯普林格（Warren Springer）拥有的一条小巷上方修建了仅1.2 m长的轨道。斯普林格遂对该公司提起诉讼，要求赔偿损失。法院最终判决该公司赔偿6.1万USD。1903年，纽约州布法罗市一家电话公司在巴特勒（Ernest Butler）的私人土地上斜拉了一条细线，高出该地块约6 m。巴特勒起诉后，纽约上诉法院毫不犹豫地判定这条电话线属于非法侵入。法官范恩（Irving G. Vann）表示：“从法律层面看，电话线所占据的空间是否属于土地的一部分？答案当然是肯定的。原告作为土地所有者，拥有无限向上延伸的权利，因此也拥有电话线所占据的空间。”^{[4]21-22}

飞机诞生于美国，它所面临的空域航行权问题，比电报线路、铁路线路铺设面临的问题严峻得多。美国纽约州法学家摩尔（Charles C. Moore）是较早关注这一问题的人士。1900年夏，纽约报纸报道了德国退役将军齐柏林（Ferdinand von Zeppelin）试验Lz-1号硬式飞艇的消息。摩尔随即为《法律笔记》杂志撰写了一篇短文。他在文中指出，根据英美普通法原则，土地所有者拥有其土地上的空间，且无高度限制。既然几乎所有土地及其上方的天空都有归属，那么飞艇还能飞往何处呢？它飞到哪里都算非法侵入。难道空中航线沿线的每一块土地的所有者都有权索要非法侵入的赔偿吗？因此，空中自由航行必须跨越一个法律障碍。航空旅行与财产法之间出现了不匹配——空中侵入将成为一大难题。空中旅行的愿景可能永远无法实现，因为飞行员需为使用土地所有者的空域而付费。他指出，在飞行员即将征服天空之时，法律却可能将他们拉回地面^{[4]7}。

1902年春天，弗朗西斯·贝克（Francis Baker）获任联邦上诉法院法官，芝加哥律师协会为他举办宴会，贝克发表了餐后演讲。他提及桑托斯-杜蒙驾驶飞艇环绕埃菲尔铁塔飞行的壮举，认为这项发明有望改变世界。随后他说道：“马可尼的无线电报，或桑托斯-杜蒙的横贯大陆飞艇航线，对地表以上一千英

尺（约304.8 m）高度的通航权的使用是否构成对土地的侵占？这些土地的所有权是‘谁拥有土地，谁就拥有其上下的一切’，因而这属于非普通法的问题。”纽约诉讼律师亚瑟·E戈特霍尔德（Arthur E. Gotthold）谈及桑托斯-杜蒙时，不无嘲弄地说：“难以置信的是，……桑托斯-杜蒙先生必须就其飞艇可能飞越的每一栋房屋的所有者，就技术性侵入向其赔偿。”^{[4]8-9}

1.2 联邦航空立法权的争议与探索

第一次世界大战凸显了飞机全新的空中打击能力。战后，飞机应用日益普遍，航空的经济价值也愈加显著。出于安全以及飞越权等方面的考虑，迫切需要制定空域管理相关法律。美国总统哈丁（Warren Gamaliel Harding）强调要促进新技术的普及与有效利用，阐述了监管铁路、无线电以及飞机的必要性。商务部部长胡佛（Herbert Clark Hoover）起初并未意识到对航空实施联邦监管的必要性，但在各方游说下，他改变了态度，转而支持通过联邦立法监管航空飞行^{[5]92-93}。由于国会未批准《巴黎公约》，航空界和法律界提出了两个设想：一是由联邦政府修改现行宪法；二是从土地所有者手中购买土地上的航道。前者涉及修宪，而修宪面临诸多问题，尤其是此举可能会扩大联邦的管辖权，这是最高法院无法接受的。1922年，国会提出的第一项民航管理法案未能通过^[6]。购买航道不仅费用高昂，而且在实际操作上也困难重重。总之，经过几年讨论，空域自由航行问题仍未找到合法、可行的解决办法。

既然联邦政府无权通过修宪来管理航空事务，那么相关法律就只能由各州来制定。1920年，美国律师协会（ABA）下设的全国统一州法委员会任命了一个分委员会，负责探讨制定统一州法以管理航空业的可行性。1921年初，康奈尔大学法学院院长博格特（George Gleason Bogert）起草了一项拟议的统一法草案。经过几轮修订，全国航空会议在1922年夏季年会上批准了《统一州航空法》（The Uniform State Law for Aeronautics）。该法案涵盖范围广泛，包括飞机所有者对地面人员或财产造成损害以及与其他飞机相撞的责任、州法院对与飞行相关的合同和侵权

行为的管辖权、禁止在人口稠密区进行危险特技表演、禁止空中狩猎等。该法案最重要的部分是第3条和第4条，这两条界定了非法侵入的问题。第3条重申了土地所有者对方空域的权利；第4条则规定：“飞机在本州土地和水域上空飞行是合法的，但飞行高度不得过低，以免干扰所有者当时对该土地或水域，或该土地或水域上方空域的现有用途。”^[7]《统一州航空法》既保留了原有的普通法原则，又赋予飞行员飞越私人土地的权利，只是要求他们飞行高度足够高，避免打扰下方的土地所有者。

法案主要起草者博格特将这种飞行权描述为“地役权”（easement），即使用他人财产的权利。他将其比作普通法赋予私人拥有的可通航水道的航行地役权，这种飞行权就属于地役权。他认为：“如果不赋予这种地役权，航空业就不可能发展……要求每个飞行员在土地上空飞行必须持有土地所有者的许可证，并强制对飞机航线进行征用程序，将永久阻碍航空业的发展。”^{[4]126-127}

美国早期的商业航空大规模活动始于航空邮政事业。随着新航线的开通和航空邮政业务的拓展，邮政部门逐步改进机上设备与地面服务设施，包括机场与飞机间的通信系统、机场夜间航行系统等。1925年，美国国会通过了《航空邮政法案》（Air Mail Act of 1925），要求政府将航空邮政事业交由民间经营^[8]。此举不仅推动了航空邮政的发展，还促进了民用飞机的更新换代。政府与民营公司签订承包合同，并提供一定补贴。该法案对美国民航事业的发展起到了关键作用，一批卓越的航空运输公司由此应运而生，如联合航空、美国航空和东方航空等^{[5]117}。此外，该法案还考虑到保护美国航空工业，规定承包邮政航线的公司必须购买美国生产的飞机^{[9]117-118}。

由于飞机迅速发展，远程飞行已屡见不鲜，若跨州飞行缺乏统一的联邦法律规范，便会引发诸多问题。法律界与航空界纷纷呼吁国会出台联邦航空法。然而，国会担忧制定航空法会违宪，因为联邦政府是否具备监管航空业的权力尚不明确^{[4]127}。许多人认为，联邦监管航空的权力可依据宪法赋予的海事管辖权，该条款曾被用于支持联邦对通航水道航运的监管。然而，海事管辖权能否延伸至空域领域尚存争

议。空气空间与水域在属性层面存在一定相似性，这种相似性在20世纪前二十年引发了旷日持久的学术与政策争论，争论核心为是否存在与国际水域航行自由对等的国际空域航行自由。美国航空协会主席卡伯特（Godfrey Cabot）主张，空域具备可航行性；依据宪法海事管辖权的权力延伸逻辑，若联邦政府享有水上运输的管制权，则其对空中运输享有管制权具备更充分的正当性依据。哥伦比亚大学法学教授特里（Charles Thaddeus Terry）认为：水和空气之间的类比“非常完美。联邦政府通过其机构制定了交通规则，可以说，涉及船只问题，规定了应该发出什么信号以及船只如何通行。为什么飞机不可以呢？”^{[4]152}不过，法院方面和一些律师仍持不同意见，且理由似乎也相当充分。

1.3 联邦航空立法的正式确立

法律专家和法学家们为解决立法困境想尽了办法，但这些办法或存在程序方面的问题，或很难迅速见效。参议院与众议院立场各异，前者坚持联邦监管范围仅涵盖州际和国际飞行，后者则希望构建统一的联邦监管体系^{[5]117}。最终，只剩下一个选择：若国会要监管空中航行，其权力必须源自商业条款。国会拥有对跨越州界和国界的商业事务立法的权力，这源于宪法中的商业条款：“国会有权……规范与外国以及各州之间的商业……”^[10]显然，航空运输服务涉及州际商业和国际商业，国会可依据进行监管。商务部负责航空事务的助理部长麦克克拉肯（William Patterson MacCracken Jr.）认为，已有案例足以证明，“即便联邦政府的航空立法范围广泛，能够同时规范州际和州内的空中航行，其合宪性也将得以维持。”由于社会上反对之声较少，由国会立法监管全国空中飞行便顺理成章了。

1926年5月20日，美国国会颁布《商业航空法》（The Air Commerce Act of 1926，又译为《鼓励和规范商业及其他用途使用飞机的法案》）^[11]。该法案的核心在于促进航空贸易，旨在通过扶持新兴航空业，鼓励并支持州际及国际贸易。为此，该法案指示商务部长确保新出台的限制或法规不会阻碍创新。法案还责成商务部长研究如何应用航空技术，制定并执行相

关规则,保障飞行安全,建立飞行员执照制度,对飞机进行适航认证与登记,调查民航事故,并与外国政府交换民航相关信息。法案着重强调美国民用航空的整体发展,涵盖机场建设、导航设施、气象服务以及空中交通规划等方面。《商业航空法》明确宣告,在国家的“可航空域”(navigable airspace)内,存在一种“州际和国际航行自由的公共权利”。其中,“可航空域”被界定为商务部规定的最低安全飞行高度之上的所有空域^[4]164-165。空域自由航行权对民用航空发展而言,是一个根本性的重大问题。公民享有此权利,意味着航空业的各类商业场景将获得极大拓展。

《商业航空法》也设有空域保留条款:“空域保留——总统有权通过行政命令,在美国境内划定并保护用于国家防卫或其他政府用途的空域保留区;此外,还可在哥伦比亚特区划定用于公共安全目的的空域保留区。”^[11]1928年颁布的《商业航空条例》规定,飞越人口稠密区的飞机,最低巡航高度须超过1000英尺(约300 m);在其他地区飞行,最低巡航高度须超过500英尺(约150 m)^[12]。这一规定旨在协调自由航行权与土地所有者权利之间的矛盾。

1938年,美国国会颁布了《民用航空法》[*Civil Aeronautics Act of 1938*, 现已废止,1958年被《联邦航空法》(*Federal Aviation Act of 1958*)取代]。法案宣告:“美利坚合众国,在美国上空拥有并行使完全的和排他的国家主权,包括所有内陆水域的上空以及毗邻公海、海湾和美国根据国际法、条约或公约对这些湖泊行使国家管辖权。”法案再次宣告了美国公民的空中航行自由权:“兹确认并宣布:任何美国公民,在美国可航空域内从事航空运输活动享有公共通行自由权。”^[13]该法案的显著特点之一,是将美国公民的自由航行空域扩展至全部可航空域。这体现了美国空域管理的一个基本理念:政府拥有国家空域主权,公民享有空域航行自由权。开放空域必然引发飞行安全问题,因此,《民用航空法》制定了一套复杂程序以确保航空安全,包括制定飞行员、飞机和航空公司执照颁发以及设备维护的相关规章制度。该法案授权成立航空安全委员会,并设立独立机构民航局(*Civil Aeronautics Authority*, CAA, 1958年演变为美国联邦航空管理局,即FAA)。FAA的任务是监管航

空运输、促进国内外贸易、改善邮政服务以及处理与国防相关的事务。

通过颁布实施《商业航空法》《商业航空条例》《民用航空法》以及《联邦航空法》,美国构建了较为完善的民用航空法律体系,对民用航空涉及的各方面问题作出了明确规定。除各类详细的技术性规定外,这几部法律明确了美国联邦政府的空域主权(领空权)和公民的空域自由通行权。有了法律保障,美国商业航空得以迅猛发展,极大地推动了航空事业在技术、经济和社会层面的进步。到20世纪40年代中期,美国在航空技术以及民用航空的各个领域全面超越欧洲各国,位居世界第一,并一直保持至今。

2 美国空域结构的演变

自1922年制定《统一州航空法》至1938年国会颁布《民用航空法》,美国航空监管与空域管理逐渐走向正规化。这些法律既强调联邦政府对领空拥有绝对的专属主权和排他权,也承认土地所有者享有上方空域的产权,同时还规定公民拥有在一定高度以上空域的自由航行权。在具体操作上,法律明确了最低飞行高度,为定期航班划分了特殊通道,并对各类航空器实施飞行监管。为满足政府特殊需求,国家空域被划出一系列保留区。这些特殊空域的划分会根据政治、军事及安全需求不断调整。根据上述规定,公民可自由飞行的空域是连通的,且占国家空域系统的绝大部分,而政府空域保留区则是相对孤立的区域。此外,某些保留区或特殊用途空域在一定条件下也会对公民开放。

2.1 空域分类的形成与调整

在第二次世界大战结束前,美国空域划分较为简单。二战后,空中交通量成倍增长,然而在扩大空管系统容量、加强空中防撞措施方面,成效却甚微。1950—1955年间,美国发生了65起飞机相撞事故。部分原因在于,空管系统无法区分按目视飞行规则(VFR)飞行的飞机与按仪表飞行规则(IFR)飞的飞机,也无法区分慢速飞行与高速飞行的飞机。1957年12月1日,交通部航空局将美国大陆所有24000英

尺 ($\approx 7315.2 \text{ m}$) 以上的空域划定为“大陆管制区”，并规划了12条“超级空中通道”，为跨大陆商业航班提供直达且可控的高空航线。1958年5月，经修改的《民航条例》第60部授权民航局局长，将17000~35000英尺 (5181.6 ~ 10668 m) 之间、宽度不超过40英里 (64.37 km) 的水平空域指定为“绝对管制航段”。在这一空域内，禁止所有VFR飞行。该空域具有极端封闭性，只有高性能民航机能在其中巡航飞行。

1958年12月31日FAA正式成立后，对美国原有空域划分进行了优化。1959年5月15日，FAA将原本属于禁飞区和限制区的空域恢复为军民共用；1961年2月21日，FAA将管制区（航路）的最低高度从700英尺（约213 m）提升至至少1200英尺（约360 m），为通用航空及个人飞行释放了更多非管制空域；1961年12月26日，FAA将设有塔台服务的机场划定为机场交通区（airport traffic areas）空域，并要求双向无线电通信；1965年3月4日，FAA将美国本土48个州内所有24000~60000英尺（约7200~18000 m）的空域合并为一个整体，即“大陆绝对管制区”，这后来成为A类空域的雏形；1973年，FAA开始设立机场终端管制区和雷达服务区，前者适用于大型机场，后者适用于中型机场。这三个空域连同1961年确定的机场交通区，成为1993年空域重新规划中B、C、D空域的雏形^[14]。

军用、民用和私人飞行对空域的需求变化大且快，尤其是军事需求多样，这使得空域划分极为复杂，且存在严重的重复问题。据FAA 1982年的统计，美国空域类别多达11个^[15]。特殊用途空域还可进一步细分为多种空域，据统计，当时美国的空域类型超过22个^[16]。数量繁多的管制空域类型，既为空中交通管制工作带来了极大阻碍，也大幅降低了空域使用的便利性。据此，20世纪80年代初期，美国联邦政府与FAA启动了针对现行空域划分体系的根本性改革规划。

1982年4月22日，第一版国家空域审查计划（NAR）在《联邦公报》（47 FR 17448）正式公布，该计划要求对既有空域系统与空中交通管制体系开展评估并公开征求改进意见。其核心目标包括六项：①

适配空中交通管制服务需求的变化；②简化空中交通管制体系；③控制不断上涨的燃油成本；④提升空中交通流量管理水平；⑤满足民用用户（如通用航空）不断变化的使用需求；⑥适配不断调整的军事训练需求^[17]。为推进该计划实施，FAA组建了多个专项技术小组开展研究。同期，加拿大正开展本国空域分类的重新界定工作，以简化其既有空域管理体系，因此NAR明确要求跟踪研究加拿大空域改革进展，论证该体系与美国空域系统的兼容性及对美国的可借鉴性。

1985年2月，FAA专项技术小组完成评估与建议报告《空域重新分类/服务/要求》（*Airspace Reclassification/Services/Requirements*）。报告指出，技术小组主要参照加拿大空域分类方案提出空域优化方案，对美国原有空域体系进行合并与简化，并依据飞行规则要求实现与加拿大空域符号系统的一一对应。加拿大新型空域分类体系将全部空域简化划分为六类，分别采用英文字母A、B、C、D、E、F作为标识，每一类空域均对应明确的飞行员资质要求、飞行操作规则与特定空中交通管制服务标准^[18]。本次整合遵循清晰的逻辑路径，即合并同类空域，实现一一对应适配。

2.2 美国现行空域类别与范围

A类空域（美国——绝对管制区）是民航飞机巡航飞行的空中走廊，该空域内所有飞行都必须按照IFR进行，且会为所有飞机提供空中交通管制间隔服务。B类空域（美国——终端管制区）是指所有飞行都必须按照IFR或受控VFR进行，所有飞机都能获得空中交通管制分离服务的空域。C类空域（美国——机场交通区）是指，除非在进入前获得空管授权，否则所有飞行均须按IFR进行。D类空域（美国——小型机场）是指允许按照IFR或VFR飞行的空域，不过空管服务仅提供给IFR飞行的飞机。E类空域（美国——非管制空域）是指任何飞行都不受空管服务约束，或该空域不提供任何空管服务的区域。F类空域（美国——特殊用途空域）是指具有特定尺寸，且因其活动性质而必须受到限制的空域^[19]。

国际民航组织（International Civil Aviation Organization, ICAO）空中航行委员会（Air

Navigation Commission, ANC) 一直期望为成员国制定统一的空域划分标准。该组织的目视飞行规则小组专家借鉴加拿大的空域分类概念, 于1983年6月29日发布了空域划分草案: 将空域划分为7个类型, 分别用英文字母A、B、C、D、E、F、G表示, 其中前5个为管制类空域, 后2个为非管制类空域, F类提供空管服务, G类不提供^[19]。该小组的建议被ICAO采纳。1990年7月22日, ICAO在《国际民用航空公约》(Convention on International Civil Aviation) 新版附件11“空中交通管制服务”中正式发布这一空域分类标准^[20]。此后, 几乎所有成员国都参照这一分类方法并结合本国实际, 对本国空域进行了重新划分。

FAA依据ICAO的空域分类标准, 制定了美国最新的空域类型划分方案(图1)^[21], 并于1991年12月17日在《联邦公报》(56 Fed. Reg. 65638)上发布。1993年9月16日, 该方案经国会立法正式通过并颁布实施(49 U.S. Code Section 40103, 空域主权与使用)。FAA在《联邦公报》“空域重新划分”相关内容中指出: 新的空域划分旨在①简化空域划设方式; ②使空域分类与国际标准保持一致; ③提高不同空域分类中运行所需设备要求的标准化水平; ④明确各类空域适用的飞行员执照要求、目视飞行规则的能见度和云间距规定, 以及所提供的空中交通服务; ⑤履行美国作为国际民用航空组织成员国的责任。FAA认为, 简化空域分类能降低现有空域的复杂程度, 进而提升飞行安全^[22]。

美国新的空域划分中, 第一类是管制空域, 分为

A、B、C、D、E类, 这与国际民航组织的分类建议基本一致。其中, A类为绝对管制空域, 相当于高空飞行走廊; B、C、D类相当于大、中、小型机场区域的管制区, B、C类类似于倒置的三层、二层蛋糕形状, D类为圆柱形, 对直径和高度均有规定; E类空域填补了A、B、C、D类空域之外, 高度最低为G类空域上限、最高至A类下限的所有空间, A类上限以上的空域也属于E类, 它是容积最大的空域。第二类是非管制空域, 代号为G, 位于地面与E类空域最底层之间, 不提供交通管制服务。第三类是特殊用途空域, 是政府与军方划定的专用空域, 包括禁止空域、限制空域、警报区、警告区、受控射击区、军事行动区、国家安全区等。第四类为“其他空域”, 指不符合上述空域或特殊用途空域类别定义的空域, 主要涉及临时飞行限制区域^[23]。

上述四类空域的划分, 看似管制类空域数量居多, 但实际上真正受管制的空域所占国土面积并不大。A类空域属于绝对管制类, 是介于最低18000英尺(5486.4 m)、最高60000英尺(18288 m)之间的空中走廊, 一般通用航空不会在这一高度飞行。禁止空域严禁未经允许的飞机进入, 涉及华盛顿特区、戴维营、布什牧场、核设施、潜艇基地以及国家动物保护区等极少数敏感区域。限制区或特殊军事用途的空域, 在使用时为禁区, 不使用时则开放。B类和C类空域仅在大中型机场一定范围内禁止通航飞行, 其中B类涉及37个机场, C类涉及122个机场, 对通航飞行的影响有限。D类空域主要覆盖不繁忙的小型机场, 数量最多, 在没有航班时便降为E类空域。除A

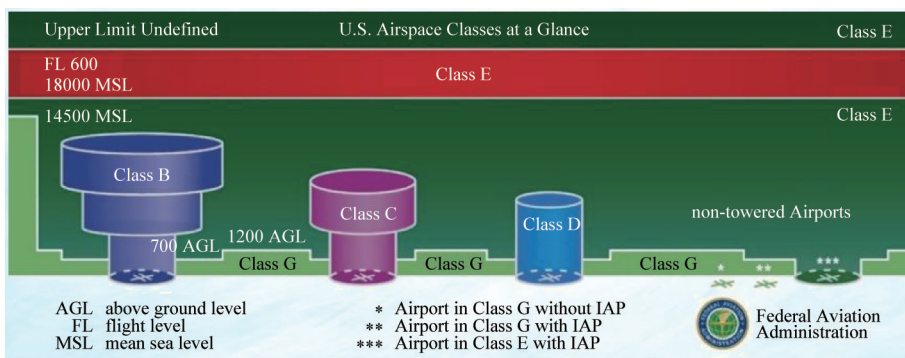


图1 美国现行空域划分^[21]

Figure1 Airspace classes in the United States^[21]

类区域外，所有管制类空域均以特定颜色在航图上标示，供飞行员实时了解，避免无端闯入。有资料表明，美国对民用开放的空域占国土面积的80%~90%，特殊用途空域仅占10%~20%^[24]。FAA航空规则制定委员会（Aviation Rulemaking Committee, ARC）于2022年表示，按国土面积计算，美国非管制空域所占面积高达99%^[25]。

G类空域因为是非管制区，因而完全对所有人开放，不须申请、报批、备案。它的高度从地面（AGL）延伸到700~1200英尺（213.4~365.8 m），位于E类空域的下限。在一些人迹罕至的地区，G类空域的上限可升至14500英尺（4400 m）。飞行人员要自行关注天气情况、飞行状况、地理状况，遵守飞行速度限制、“看见即避让”原则，安全自行负责。

对于通用航空及低空经济而言，E类空域最具价值。G类空域受高度限制，实际上难以真正实现大范围自由飞行。而E类空域则不同，其空间极为广阔，为飞行员和通用航空提供了充足的飞行空域。在大多数情况下，只要满足VFR的最低天气要求（如云层、能见度等），飞行人员便可在E类空域自由飞行，无须事先获得空中交通管制部门的授权。当然，为确保飞行安全，并随时了解附近飞机的分布、拥挤程度以及天气状况等，飞行员通常会按照IFR飞行，此时需获得空中交通管制部门的许可，与其保持通信，并接受其指令，同时还能获得态势感知和安全感。此外，从G类空域过渡到E类空域更为顺畅、安全^[26]。由于E类和G类空域为飞行人员提供了充分的自由度，因此，只要提前做好充分准备，飞行人员便可驾驶小型飞机，携带全家从纽约某个小型无塔台机场起飞，沿途避开大中型机场和大中城市，一路向西飞行。根据天气和能见度情况，他们可在G类空域和E类空域间自由切换，中途可在小型机场甚至平坦的草地上降落和起飞，最终抵达洛杉矶郊区某小机场降落。整个行程无须任何申报和审批程序。

2.3 空域划分的核心理念

通过以上介绍可以看出，美国空域划分及管制情况体现了以下理念和特点：①美国公民享有通过可航空域的公共航行权利；②尽可能提升空域利用率，发

挥其经济社会效益；③严格管制的空域是在可航空域内划出的一座座“孤岛”，尽量少占用公共空域资源；④强调灵活使用空域，突破军用与民用空域界限；⑤大量管制空域在许多情况下也向公民开放；⑥适合通用航空飞行的空域广阔且连通，便于通用航空作业。美国空域对民用航空极为开放，这是该国通用航空极为发达的根本原因之一。

3 无人机空域管理趋势

3.1 无人机监管的历史演进

无人机（unmanned aerial vehicle, UAV）的定义为：“一种不搭载人类操作员，利用空气动力提供升力，能够自主飞行或进行远程遥控驾驶，既可一次性使用也可回收使用，且可携带致命或非致命有效载荷的动力飞行器。”^[27]无人机历史悠久，长期以来主要分为两类：一类是军用无人机，其飞行需参照军用机限制区的规则；另一类是小型无人机，类似于航模，在美国常被视为个人玩具，可在G类空域自由飞行。美国对小型无人机的监管经历了自愿监管、严格监管和适度监管三个阶段。2007年之前，无人机通常被视为模型飞机，FAA一直秉持自愿监管的原则，几乎不对其采取任何强制性监管措施^[28]。

2007年以后，随着无人机技术的发展和生产运行成本的降低，无人机迅速普及带来了滥用风险并危及空域飞行安全，促使FAA开始转向严格监管。2007年2月，该局发布政策声明《国家空域中的无人驾驶航空器系统（UAV）操作——临时运行批准指南》（*Unmanned Aircraft Operations in the National Airspace System*），将无人机归入飞机子类，制定了公众使用无人机的指南，明确了评估无人机在国家空域系统中运行的豁免或授权证书（COA）申请流程。该指南主要基于安全考虑，担忧无人机的运行不仅可能干扰商用和通用航空飞机的运行，还可能对其他飞行器以及地面人员或财产构成安全隐患。因此，指南明确声明：FAA目前针对无人机系统运营的政策是，未经特定授权，任何人不得在国家空域系统内操作无人机系统。当然，指南支持在可接受的安全水平下开

展无人机飞行活动,并规定了无人机认证、与有人驾驶飞机的安全距离、安全飞行高度、安装应答机和防撞灯、保持与塔台联络等内容^[29]。2014年6月,FAA发布《对模型飞机特殊规定的释义》(Interpretation of the Special Rule for Model Aircraft),将载人飞机法规适用于大部分无人机。《释义》将无人机分为三类:用作公共飞机的无人机、用作民用航空器的无人机、用作模型飞机的无人机。前两类均纳入有人驾驶类飞机的监管范围。模型飞机仅限于业余爱好或娱乐用途,采取自愿监管原则^[30]。

2015年12月,美国《联邦法规汇编》第14编第48部(14 CFR Part 48)出台,进一步强化了对除模型飞机外无人机的监管,要求所有无人机操控员必须履行无人机注册与识别义务。2016年6月,FAA又发布《联邦法规汇编》第14编第107部(14 CFR Part 107),对无人机空域飞行及监管提出了详尽规范。概括起来,主要有以下几点:①所有无人机操作员均需认证并注册;②所有无人机均需认证并注册;③供娱乐的无人机可在G类空域400英尺(122 m)以下自由飞行;④在G类空域400 m以上及管制空域飞行,必须获得空管部门许可;⑤多数无人机重量限制在55磅(25 kg)以内;⑥商用、科研等无人机可突破400英尺高度限制,但需经空管部门许可;⑦农用无人机在特定作业地块飞行无须申报;⑧在城市区域进行短时无人机飞行,需经当地空管部门批准;⑨军用部门及其他敏感地区上空禁止无人机飞行;⑩有特殊需求的无人机飞行需申请政府豁免^[31]。该条例还有其他规定,包括限制飞行速度、禁止携带危险品、应在视线范围内飞行、无人机不得包含外露旋转部件等。为保障飞行安全,规定无人机通常不得在人群上空飞行^[32]。

近几年,无人机发展异常迅猛、花样不断翻新,尤其是eVTOL飞行器的研发呈井喷态势。无人机应用场景也日益广泛,承担着空中服务等方面的业务,如城市医疗用品(如血浆、人体器官)、邮政包裹的快速运送等。美国注册的无人机数量极多,已达822039架(估计数),其中商用无人机433407架,娱乐无人机377484架^[31]。空中快递服务常常需要超视距飞行(beyond visual line of sight, BVLOS),而这

违反了107部法规的规定。因此,FAA采取临时性审批的办法,要求业务公司为重量超过25 kg、进行超视距飞行以及超出107部规定范围的其他业务飞行申请豁免。豁免申请需单独审查,涉及烦琐的文书工作和技术分析,且通常需要漫长的等待时间。这种逐案审批流程受到运营商和监管机构的广泛批评,他们认为这是扩大商用无人机运营的主要障碍,无形中影响了这类业务的正常开展^[33]。

在反对严格监管的各方势力推动下,FAA逐渐转向对无人机运营实施适度监管。2018年4月,美国国会通过《2018年联邦航空管理局再授权法案》(FAA Reauthorization Act of 2018, Pub. L. 115-254),增设了针对无人机系统的新规定,包括以风险大小作为重要监管分类标准、放宽FAA对无人机的审查标准、授权小型无人机运营商在美国境内提供运输服务、建立基于风险的适航统一安全标准等^[34]。同年6月,美国国家科学院发布《无人机系统纳入国家空域系统的风险评估》报告,指出当前FAA存在对风险的恐惧心理,过于保守的监管态度会极大地阻碍该领域技术的发展。在此情况下,美国政府及FAA认识到,必须根据无人机应用的最新发展趋势,全面更新107部法规,以更开放的态度,本着服务于技术创新和社会经济发展的理念监管无人机飞行。

3.2 BVLOS规则与108部法规NPRM

2021年6月8日,FAA成立了无人机超视距(BVLOS)运营规则制定委员会,负责研究BVLOS运营相关问题。2022年3月10日,该委员会发布了长达381页的研究报告——《无人机超视距航空运营规则制定委员会最终报告》(Unmanned Aircraft Systems Beyond Visual Line of Sight Aviation Rulemaking Committee Final Report,简称《报告》)^[25]。《报告》阐述了无人机BVLOS运营所带来的巨大经济与社会效益,同时指出技术创新已使这类运营成为可能,而FAA现行法规阻碍了无人机BVLOS运营的扩张,导致难以实现社会和经济效益的最大化。因此,建立一个全新的监管框架至关重要,这将有助于充分利用无人机系统,确保美国在航空创新领域的持续领先地位。

《报告》明确提出，随着无人机自动化水平提升以及一对多操作等新模式涌现，应适当调整、更新无人机操作员资质审核标准。《报告》就开放BVLOS运营提出了多达70条具体建议。其中，有些建议具有理念创新，比如将传统无人机适航认证改为合规审核：FAA不再对无人机进行交通管制，改由该局认证的第三方机构共同组建不断扩展的无人机交通管理系统（UTS）进行分布式管理。许多其他建议也颇具新意，例如以动能而非重量对无人机进行分类；引入第三方UTS服务提供商、构建以风险为基础且性能导向的规则框架；强调从“视见即避让”（see-and-avoid）向“探测即避让”（detect-and-avoid, DAA）转变；对飞行环境（空中风险/地面风险）进行分类；推动载人航空器从被动“避让”转向“共享空域”格局；等。

《报告》对BVLOS运营的风险管理尤为关注。在“风险管理”章节，《报告》提出：首先，需制定一套安全标准链，确保所有操作均遵循统一的安全性能标准；其次，开发一个由运行风险矩阵和自动化矩阵支撑的监管框架；第三，由第三方机构为无人机系统设定认证路径；第四，通过采取缓解措施，降低飞行活动的风险。《报告》建议FAA对可接受风险水平（ALR）进行评估，为业界和监管机构提供明确指引，包括制定行业标准、简化实施流程、增进理解并简化合规方式，同时促进不同无人机用户间的互操作性。《报告》还阐述了以下观点：无人机运营旨在获取经济与社会效益，这必然伴随风险，且此类风险必须被接受；随着技术与管理的发展，无人机飞行的可接受风险应低于传统通用航空运营；公众已理解现有交通方式存在一定风险，因此也会接受无人机飞行带来的风险；满足ALR的风险缓解方法（包括战略、技术或两者结合）的选择应由无人机运营商决定，前提是他们能充分证明符合可接受风险水平；需合理评估第三方风险水平，涵盖人员、财产及建筑物；FAA应对特定空域的无人机飞行能力进行评估。

《报告》还提出了无人机战略冲突消解（strategic deconfliction）概念，强调对无人机和风险水平进行分类，让不同无人机在不同风险水平的空域内飞行，如此既能保障飞行安全，又能降低无人机准

入门槛。《报告》特别指出，要适时开发无人机系统新技术，如探测及避让设备、新型感知系统与传感器、先进通信系统、先进飞控系统、机载位置广播系统（ADS-B或TABS），以及由运营商提供的通信链路服务、监控服务、流量分流服务、自动化操作等系统。地面系统与空中系统密切配合，有望大幅降低无人机BVLOS作业的风险。FAA充分考虑了ARC的报告和建议，着手制定替代联邦法规107部的新法规108部。此后五年，FAA开展了多个试点项目，包括无人机系统集成试点项目、安全计划伙伴关系项目以及BVLOS运营项目，以加深该局和利益相关方对无人机BVLOS安全运行最低性能标准的共同认知。2024年5月17日，拜登总统签署新的《联邦航空管理局重新授权法案》（FAA Reauthorization Act of 2018, Public Law 115-254），要求FAA在9月16日前发布联邦法规第108部的“拟议规则制定通知”（Notice of Proposed Rulemaking, NPRM）。2025年6月6日，特朗普发布行政指令“释放美国无人机领导地位”，要求FAA在30 d内出台NPRM，并在征求意见后于240 d内正式发布联邦法规108部^[35]。2025年7月初，参议院确认任命贝德福德（Bryan Bedford）为FAA新局长。2025年8月5日，运输部部长达菲（Sean P. Duffy）正式宣布备受期待的“超视距无人机运营”NPRM。他声称：“我们正在使我们航空业的未来成为现实，并释放美国无人机的领导地位……我们的新规则将改革阻碍创新者的过时法规，同时也增强了我们天空的安全。多亏了特朗普总统，是美国，而不是中国，将在这项令人兴奋的新技术方面处于领先地位。”^[36]NPRM长达731页，约合33万汉字。它充分借鉴甚至采纳了ARC提交的《报告》中的诸多建议。以下对NPRM的要点进行概略介绍^[37]。

（1）超视距无人机运营的业务范围涵盖四类：包裹递送、农业用途、航空测量以及公共利益（政府相关职能）。（2）无人机运营企业需设立运营主管、飞行协调员、无人机操作员、维护员、地勤服务人员、包裹装卸员等岗位，每类人员均需接受相关培训，不过，无人机操作员无须像107部规定的那样取得飞行员认证。（3）BVLOS运营的无人机重量限制分为25、50和600 kg三档，较107部规定的25 kg以下限

制大幅放宽。(4) BVLOS 飞行空域除传统的 G 类空域外, 还可有条件地开放 B、C、D、E 类管制空域, 但要求无人机配备相应的专业设备。运营商无须提前获得 FAA 授权, 即可在上述开放的管制空域 120 m 以下高度开展无人机运营。(5) 允许无人机在人群上空飞行。该规则根据人员密集程度将区域分为 5 类, 要求无人机利用橡树岭国家实验室开发的 LandScan US 实时人口密度工具判断所飞区域的人口密集情况, 人口越密集, 飞行限制越多, 例如采用位置广播、战略冲突消解等手段避免碰撞, 配备感知即避让设备等。(6) 由第三方构建无人机交通管理系统。这是一个持续完善的生态系统, 也是分布式管理系统, 由 FAA 授权的第三方自动化数据供应商 (ADSP) 提供各类空中交通信息服务。为构建 UTM 系统, FAA 曾与供应商在纽约州罗马镇与锡拉丘斯之间进行了 7 万余次飞行试验。(7) 以战略冲突消解为核心, 主要措施包括三个方面: 一是进行空域飞行规划, 划定飞行间隔; 二是在无人机上安装更多探测、防撞和广播设备等; 三是由第三方供应商提供各类交通管理服务信息。(8) 由 FAA 与利益相关方共同提出无人机设计、研制、试验、生产的共识标准 (consensus standards), 无人机开发商需严格依据这一标准进行开发, 并向 FAA 提交“合规声明” (declaration of compliance, DOC)。FAA 通过书面审查即可为开发商颁发适航证书。(9) 对无人机研制生产提出更高标准, 包括加装大量专门设备用于战略冲突消解, 如感知即避让系统、双向通信链路、GPS 系统、安全数据处理系统、Landscan 人群热度系统、自动数据服务系统接收机、电子显眼 (EC) 设备、标牌、识别和标记、防撞灯、位置照明灯、防火系统、网络安全设备、防雷系统、飞行数据记录器、飞行数据分析仪、信号监控和传输系统, 以及满足特定运行目的的有效载荷设计和性能要求。(10) 充分利用社会资源, 包括自动化数据供应商。

FAA 发布的 NPRM 在 60 d 内征求意见后, 将进一步对规则进行修改, 期限大概几个月或更长时间。此后, FAA 将谋求对正式的联邦法规 108 部进行立法, 时间预计为 NPRM 发布的 240 d 后, 亦即 2026 年上半年。

NPRM 发布后, 得到各方人士的积极评价。FAA 局长贝德福德表示, 此举是“实现无人机社会和经济效益的关键”。白宫科技主管克拉齐奥斯 (Michael Kratsios) 说: “今天的 NPRM 是大胆、前瞻性的一步, 有助于释放无人机超视距运营的全部潜力……在特朗普总统的领导下, 我们正在为创新者提供一条可预测、可扩展的途径来执行超视距运营任务, 以确保美国在无人机技术领域保持全球领先地位。”亚马逊公司的子公司 Prime Air 一直在利用无人机执行城市内部的快递业务, 但由于 14CRF-107 部法规限制无人机超视距运营, 因此该公司每次快递飞行都需要向 FAA 申请豁免, 耗费大量时间和成本, 据称 2022 年每次快递的花费达到 484 美元。NPRM 发布后, 亚马逊公司公共政策团队在 X 平台上表示, 新的规则可望大幅降低无人机快递运营成本^[38]。

前面指出, 通用航空+无人机 (含 eVTOL) 约等于低空经济。可以相信美国空域对通用航空的高度开放以及 108 部法规的颁布, 将极大促进美国式低空经济的发展, 也将为全球低空经济的发展提供可资借鉴的示范。

4 美国开放空域的启示

4.1 美国开放空域的经验借鉴

美国是通用航空产业最为发达的国家, 最根本的原因之一是其空域对民用高度开放。根据前文介绍与分析, 美国在航空技术与航空产业发展的早期, 就明确了空域主权归国家所有, 空域自由航行权归公民所有。因此, 在 20 世纪初相当长的一段时间里, 美国公民在满足一定条件 (如飞机与飞行员认证、飞行高度与速度) 的情况下, 可在所有可航空域自由飞行。政府设立民用航空管理机构后, 其对飞行的管理主要基于安全考虑, 而非权力限制。当美国政府和军方拥有飞行器后, 为满足公共与军事事务需求, 政府开始在原本属于公共区域的空域划设一个个“保留区”, 这些保留区演变成了现今的特殊用途空域。在保证政府或军方需求的前提下, 这些空域中的大多数仍向公众开放。20 世纪 90 年代, 美国国家空域划分基本定

型，真正受管制的空域占国土面积不到10%。对于小型、低速的飞机或直升机而言，只要满足一定条件（如气象、速度、高度），它们几乎可以在大部分国土上空自由飞行，在E类和G类空域飞行几乎不受限制，无须申报审批。这充分体现了空域航行权属于公民这一基本理念。正是由于低空空域高度开放，美国通用航空得以极大发展，与低空经济相似的各类应用场景在美国早已实现。这些应用极大地带动了通用飞行器研制、通用机场建设和飞行员培训的发展，推动了航空技术进步，并带来了巨大的社会经济效益。在国际上，空域和空中交通管理也经历了从管制（control）到管理（management），再到服务（services）的重大转变。欧洲航空安全组织在新一轮空域服务改革中，更加强调灵活使用空域（flexible use of airspace, FUA），目的都是充分、高效、安全地使用空域，提高社会经济效益。

正如前节所述，21世纪初，无人机数量迅速增长，技术性能大幅提升，飞行频率远超通用飞行器。因此，出于安全考虑，美国FAA开始对无人机实施严格管理。这种严格管理极大地限制了无人机的商业应用场景，适航与豁免程序的复杂性也导致其商业应用潜力未能充分释放。随着美国联邦法规第108部的颁布实施，无人机的商业应用前景将更为广阔。届时，无人机与通用航空将共同创造更大的社会与经济效益。

4.2 中国空域管理与低空经济瓶颈

中国的空域一直属于空军所有，长期以来始终执行从严管理的政策。国务院、中央军委发布《关于深化我国低空空域管理改革的意见》^[39]（国发〔2010〕25号），将1000 m以下空域确定为低空空域，并要求在多地进行低空空域试点开放。同年，国务院将航空产业列为战略性新兴产业。2012年，《低空空域管理改革指导意见》^[40]获批，明确在北京、兰州等5个飞行管制区分类划设低空空域。2014年，国务院、国家空管委组织召开低空空域管理改革工作会议，对沈阳、广州等10个飞行管制分区进行真高1000 m以下空域管理改革试点，开始实行空域分类化管理。2018年到2023年2月，国家空管委先后批准四川开展低空

空域协同管理改革试点，以及湖南、江西、安徽3个省份的低空空域协同管理改革试点扩展。2023年中国民航局发布新版《国家空域基础分类方法》，其中新增无人机空域。

与此同时，中共中央和国务院一再强调要大力发展通用航空、低空经济等新质生产力。2021年2月，中共中央、国务院印发《国家综合立体交通网规划纲要》^[41]，首次将低空经济概念写入国家规划，明确提出发展低空经济。2023年12月，中央经济工作会议上将低空经济定位为战略性新兴产业。2024年全国两会，低空经济首次被写入《政府工作报告》。党的二十届三中全会进一步明确提出“发展通用航空和低空经济”。2025年全国两会上，《政府工作报告》再次强调推动低空经济等新兴产业健康发展。在地方层面，截至2025年1月，全国约30个省份将低空经济纳入省政府工作报告，并出台了一系列支持政策^[42]。

近年来，国内多省份与重点城市已相继启动低空空域及低空航线划设试点工作，开展了一系列低空商业运营探索实践。但在“安全第一”的原则导向下，当前已划设的可航低空空域普遍存在远离城市核心区、总量规模偏小、覆盖面积有限、低空航线供给不足等问题，空域资源供需错配、空域连通性不足、空间碎片化特征极为突出，甚至同一城市范围内的两片可航空域也无法实现自由连通，已成为制约低空经济发展的关键瓶颈^[43]。开放低空空域是推动低空经济发展的核心前提，我国亟须在充分借鉴国际成熟经验的基础上，结合本土实际加快推进低空空域开放进程。

4.3 加快推进空域开放的路径与保障

第一，贯彻习近平总书记提出的以人民为中心的发展思想，确立空域飞行权属于人民的核心理念。第二，落实党的二十届四中全会重申的以经济建设为中心的发展要求，明确通用航空与低空经济的核心经济地位，加快消除阻碍行业发展的体制机制障碍（例如缩减军事管理空域的规模与面积）。第三，在当前发展阶段，稳步推进空域军民融合共享，逐步推动空域资源配置向民用领域倾斜。第四，依据国际民航组织

的相关建议与我国空域划分规则,落实G类与W类空域的开放工作。第五,在具备条件的地区与城市,分阶段逐步推进D类与E类空域开放。第六,借鉴美国与欧洲部分国家的空域管理经验,实施空域分层管理制度,允许不同类型无人机在对应层级空域内开展飞行活动。第七,针对应急救援类通用航空器与无人机的飞行任务,准予其在任务所需的任意空域内通行。第八,将无人机空中交通管理权责下放至地方(省级行政区或核心城市),由获得中国民用航空局认证的第三方机构提供专业化管理服务。

风险与空域开放的程度正相关。因此,在逐步开放低空空域的同时,应要求无人机开发商和部件供应商加强无人机系统安全性、可靠性的研究与开发,加强防撞、避让、感知、告警、通信、电子显眼、标牌、识别和标记、防撞灯、位置照明灯、防火系统、网络安全、飞行数据记录、飞行数据分析、信号监控和传输等系统的研发,为提高低空飞行安全提供技术上的保障^[44]。

5 结论

低空经济产业链条长、技术资金密集度高、带动作用强,是新质生产力的典型代表,而空域开放是释放其经济与社会效益的前提与必由之路。美国是通用航空起步最早、空域管理制度最为成熟完备的国家之一,其百余年间航行权立法、空域结构演变与无人机监管转型的完整历程,为后发国家推进空域开放提供了可资对照的现实样本。本文系统考察了美国空域管理从20世纪初至今的演进脉络、当前结构与无人机空域管理趋势,为中国低空空域开放与低空经济发展

提供历史镜鉴与现实参照。研究发现:

(1) 美国空域管理遵循“自由探索-联邦立法-分类管制-精细管理”的演进脉络。1926年《商业航空法》与1938年《民用航空法》确立了联邦的监管权与国家空域的主权,并形成联邦统一监管与州政府协同的“双轨”体制。

(2) 美国现行空域分类以国际民航组织(ICAO)建议为基础,将空域划分为A、B、C、D、E五类管制空域与G类非管制空域,管制空域类别虽多,但实际占用国土面积有限,体现了“公共通行权优先、空域利用效率最大化、政府管制最小化”的核心理念。

(3) 面对民用无人机的爆发式增长,美国联邦航空管理局(FAA)经历了从严格管控到适度监管的转向:2007—2016年的严格监管、2018年的政策调整,以及2025年发布108部法规NPRM以推动BVLOS常态化运行,呈现出“以技术成熟度为依据、动态调整监管力度”的演进逻辑。

基于上述认识,对中国而言的启示有:一是确立“空域属于人民”的核心理念,加快空域军民融合共享;二是通过法规与标准体系建设,保障低空空域有序开放;三是强化感知、防撞、通信、识别等关键技术的研发与监管,以技术进步支撑空域开放与飞行安全并重。

总之,低空经济是通用航空向无人机与eVTOL的延伸与发展,其实质是空域资源的开放利用与重新分配。美国空域管理的成功经验表明,唯有在保障国家安全与飞行安全的前提下,持续推进空域开放、技术升级与监管创新,方能充分释放空域的经济与社会价值。中国低空经济的高质量发展,仍需在理念、法规、技术、产业四个层面协同推进。

参考文献

- [1] Tobin J. To Conquer The Air: The Wright Brothers and the Great Race for Flight[M]. New York: Simon & Schuster, 2004.
- [2] Donohue L K. Who Owns the Skies Ad Coelum, Property Rights, and State Sovereignty[EB/OL]. (2021)[2025-09-07]. <https://scholarship.law.georgetown.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3387&context=facpub>.
- [3] Pickering v Rudd, High Court(1815)[EB/OL]. [2025-09-07]. <https://ipsaloquitur.com/land-law/cases/pickering-v-rudd/>.
- [4] Banner S. Who Owns the Sky: The Struggle to Control Airspace from the Wright Brothers On[M]. Cambridge: Harvard University Press, 2008.

-
- [5] Seyer S. Sovereign Skies: The Origins of American Civil Aviation Policy[M]. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2021.
- [6] H. Rept. 69-572: Civil Aviation[EB/OL]. (1926-03-17)[2025-09-07]. https://www.govinfo.gov/content/pkg/SERIALSET-08532_00_00-123-0572-0000/pdf/SERIALSET-08532_00_00-123-0572-0000.pdf.
- [7] National Conference of Commissioners on Uniform State Laws. Uniform State Law for Aeronautics[EB/OL]. San Francisco, (1922-08)[2025-09-09]. <https://nap.nationalacademies.org/read/22735/chapter/12>.
- [8] Air Mail: 39 U.S.C. §§ 463-467 (Suppl. 7, 1925)[EB/OL]. [2025-09-09]. <https://tile.loc.gov/storage-services/service/ll/uscode/uscode1925-00803/uscode1925-008039013/uscode1925-008039013.pdf>.
- [9] 顾诵芬, 史超礼. 世界航空发展史[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1998.
Gu S F, Shi C L. The History of the World Aviation Development[M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1998.
- [10] Denn E N. Air Law — Navigable Airspace — State Jurisdiction — Complaints of Landowners Adjacent to Airports[J]. Notre Dame Law Review, 1958, 33(2): 273-283.
- [11] The Air Commerce Act of 1926[EB/OL]. [2025-09-15]. <https://libraryonline.erau.edu/online-full-text/books-online/aircommerceact1926.pdf>.
- [12] 19 CFR Part 122: Air Commerce Regulations[EB/OL]. [2025-09-15]. <https://www.ecfr.gov/current/title-19/chapter-I/part-122>.
- [13] Civil Aeronautics Act of 1938[EB/OL]. [2025-09-15]. <https://libraryonline.erau.edu/online-full-text/books-online/CivilAeronauticsAct.pdf>.
- [14] FAA. FAA Historical Chronology, 1926-1996[EB/OL]. [2025-09-15]. https://www.faa.gov/about/history/chronolog_history.
- [15] FAA. 14 CFR Parts 65, 71, 91, 93, 103, and 105[EB/OL]. Federal Register, 1985, 50(24). (1985-02-05)[2025-09-18]. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-1985-02-05/pdf/FR-1985-02-05.pdf>.
- [16] What were the 20 airspace classes in the US before 1993[EB/OL]. [2025-09-18]. <https://aviation.stackexchange.com/questions/38038/what-were-the-20-airspace-classes-in-the-us-before-1993>.
- [17] National Airspace Review Plan, 1982[EB/OL]. [2025-09-18]. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-1982-04-22/pdf/FR-1982-04-22.pdf>.
- [18] Aeronautics Act (R.S.C., 1985, c. A-2): General operating and flight rules[EB/OL]. Justice Laws Website, [2025-10-08]. <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/SOR-96-433/page-54.html#h-993463>.
- [19] Airspace Reclassification/Services/Requirements[EB/OL]. [2025-10-08]. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-1985-02-05/pdf/FR-1985-02-05.pdf>.
- [20] ICAO. Annex 11: Air traffic services[EB/OL]. 9th ed. (1990-03-12) [2025-10-08]. https://applications.icao.int/postalhistory/annex_11_air_traffic_services.htm.
- [21] Federal Aviation Administration. National airspace system[EB/OL]. (2026-05-22)[2026-09-13]. https://www.faa.gov/air_traffic/nas.
- [22] US House. 49 U.S. Code Section 40103: Sovereignty and Use of Airspace[EB/OL]. [2025-10-11]. <https://uscode.house.gov/view.xhtml?req=granuleid:USC-1999-title49-section40103&num=0&edition=1999>.
- [23] FAA. Aeronautical Information Manual: AIM[EB/OL]. [2025-10-11]. https://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/aim_html/.
- [24] 国际市场在低空经济上的技术标准、运营经验对中国有哪些可借鉴之处?我国在国际标准制定中有何参与空间与竞争力?[EB/OL]. (2025-06-15)[2025-09-15]. https://news.sohu.com/a/904626799_121475950.
What lessons can China draw from international markets in terms of technical standards and operational experience in the low-altitude economy What room for participation and competitive strengths does China have in the formulation of international standards[EB/OL]. (2025-06-15)[2025-09-15]. https://news.sohu.com/a/904626799_121475950.
- [25] ARC. Unmanned aircraft systems beyond visual line of sight aviation rulemaking: Committee Final Report[EB/OL]. (2022-03-10)[2025-10-15]. https://www.faa.gov/regulations_policies/rulemaking/committees/documents/media/UAS_BVLOS_ARC_FINAL_REPORT_03102022.pdf.
- [26] Swayne Martin. Class E Airspace explained[EB/OL]. (2023-11-28)[2025-10-22]. <https://www.boldmethod.com/learn-to-fly/airspace/class-e-airspace/>.
- [27] The Free Dictionary. Unmanned aerial vehicle[EB/OL]. [2025-10-22]. <https://www.thefreedictionary.com/Unmanned+Aerial+Vehicle>.
- [28] FAA. AC 91-57: Model aircraft operating standards[EB/OL]. (1981-06-09) [2025-10-22]. https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/91-57.pdf.
- [29] FAA. Unmanned aircraft operations in the national airspace system[EB/OL]. (2007-02-06)[2025-10-22]. https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/uas/resources/policy_library/frnotice_uas.pdf.
- [30] FAA. Interpretation of the special rule for model aircraft[EB/OL]. (2014-06-25)[2025-10-22]. <https://www.federalregister.gov/documents/>

- 2014/06/25/2014-14948/interpretation-of-the-special-rule-for-model-aircraft.
- [31] FAA. Drones[EB/OL]. [2025-10-22]. <https://www.faa.gov/uas>.
- [32] FAA. 14 CFR Part 107: Small unmanned aircraft systems[EB/OL]. [2025-10-22]. <https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-F/part-107>.
- [33] Rule T A. Airspace in an age of drones[J]. Boston University Law Review, 2015, 95: 155-208.
- [34] 廖慧姣. 面向低空经济产业的无人机监管体系研究: 基于美国经验的思考[J]. 中国流通经济, 2025, 39(2): 16-29.
Liao H J. Research on the UAV regulatory framework for the low-altitude economy: Based on the experience of the United States[J]. China Business and Market, 2025, 39(2): 16-29.
- [35] White House. Unleashing American drone dominance[EB/OL]. (2025-06-06)[2025-10-25]. <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/06/unleashing-american-drone-dominance/>.
- [36] FAA. U. S. Transportation Secretary Sean P. Duffy Unveils Proposed Rule to Unleash American Drone Dominance as Part of His Innovation Agenda[EB/OL]. (2025-08-06) [2025-10-25]. <https://www.faa.gov/newsroom/us-transportation-secretary-sean-p-duffy-unveils-proposed-rule-unleash-american-drone>.
- [37] FAA, TSA. Normalizing unmanned aircraft systems beyond visual line of sight operations[EB/OL]. (2025-08-07)[2025-10-25]. <https://www.federalregister.gov/documents/2025/08/07/2025-14992/normalizing-unmanned-aircraft-systems-beyond-visual-line-of-sight-operations>.
- [38] Meyjes T. Jeff Bezos' dream of amazon drone deliveries gets huge boost[EB/OL]. (2025-08-06)[2025-10-28]. <https://www.newsweek.com/drones-new-rule-amazon-deliveries-2109540>.
- [39] 国务院, 中央军委. 关于深化我国低空空域管理改革的意见[EB/OL]. (2010-08-19)[2026-09-13]. https://www.nmg.gov.cn/zwgk/zfgb/2010n_4950/201010/201008/t20100819_300396.html.
State Council of the People's Republic of China, Central Military Commission of the People's Republic of China. Opinions on deepening the reform of China's low-altitude airspace management[EB/OL]. (2010-08-19)[2026-09-13]. https://www.nmg.gov.cn/zwgk/zfgb/2010n_4950/201010/201008/t20100819_300396.html.
- [40] 中国民用航空局. 低空空域管理改革指导意见[EB/OL]. [2026-09-13]. https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TZTG/201411/t20141118_76452.html.
Civil Aviation Administration of China. Guiding opinions on low-altitude airspace management reform[EB/OL]. [2026-09-13]. https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TZTG/201411/t20141118_76452.html.
- [41] 中共中央, 国务院. 国家综合立体交通网规划纲要[EB/OL]. (2021-02-24)[2026-09-13]. https://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content_5588654.htm.
Central Committee of the Communist Party of China, State Council of the People's Republic of China. Outline of the national comprehensive three-dimensional transportation network plan[EB/OL]. (2021-02-24)[2026-09-13]. https://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content_5588654.htm.
- [42] 澎湃社. 全国低空经济项目密集落地, 30省份将低空经济写进政府工作报告[EB/OL]. (2025-02-25)[2025-10-29]. https://m.thepaper.cn/baijiahao_30238630.
The Paper. Low-altitude economy projects rolled out nationwide, with 30 provinces incorporating the low-altitude economy into government work reports[EB/OL]. (2025-02-25)[2025-10-29]. https://m.thepaper.cn/baijiahao_30238630.
- [43] 万福军, 周幸窃, 陶赞, 等. 中国低空经济现状及标准化发展探析[J]. 标准科学, 2025(12): 16-22.
Wan F J, Zhou X Y, Tao Z, et al. Analysis of the current status and standardization development of China's low-altitude economy[J]. Standard Science, 2025(12): 16-22.
- [44] 何志凯, 舒振杰, 王晓华, 等. 无人机蜂群综合试验标准研究[J]. 标准科学, 2025(2): 105-110.
He Z K, Shu Z J, Wang X H, et al. Research on the comprehensive test standard for UAV swarm[J]. Standard Science, 2025(2): 105-110.

U.S. Airspace Management: History, Current Status, Trends, and Insights

LI Chengzhi

Institute for Advanced Study of Humanities and Social Sciences, Beihang University, Beijing 100191, China

Highlights

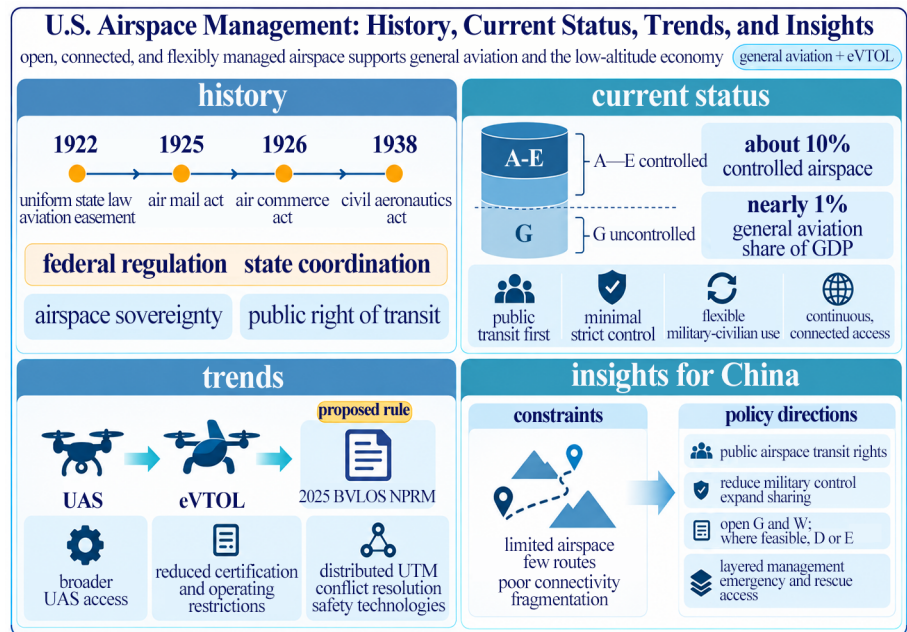
Proposes the view that the low-altitude economy is roughly equivalent to general aviation plus eVTOL.

Reveals the significance of the airspace management principle—the government has exclusive sovereignty over the airspace of the United States and a citizen of the United States has a public right of transit through the navigable airspace—for the evolution of airspace management in the United States.

An objective summary is provided of the history, current status, and trends of low-altitude and UAV airspace management in the United States.

Practical recommendations are put forward for China's opening of low-altitude airspace.

Graphical Abstract



Abstract: The United States is currently the world's most advanced country in civil aviation and general aviation, one of the key reasons being its highly open national airspace system. As China is vigorously developing general aviation and the low-altitude economy, one of the major bottlenecks it faces is the insufficient opening of low-altitude airspace. Therefore, studying the historical experience of the U.S. airspace management and airspace openness has important implications and reference value for China.

This paper employs methods including literature analysis, historical research, policy analysis, and case studies to systematically examine the history, current status, experience, and trends of U.S. airspace management. The study finds that in 1922, the National Conference of Commissioners on Uniform State Laws approved the *Uniform State Law for Aeronautics*, which initially reconciled the conflict between aerial navigation and the common law doctrine “*Cuius est solum, eius est usque ad coelum et ad inferos*” through the concept of an aviation “easement”. Subsequently, the U.S. Congress enacted a series of laws, including the *Air Mail Act of 1925*, the *Air Commerce Act of 1926*, and the *Civil Aeronautics Act of 1938*, establishing the principle that the federal government has exclusive sovereignty of U.S. airspace, while any citizen has a public right of freedom of transit in air commerce activities through navigable airspace. These laws greatly promoted innovation and development in the U.S. military aviation, civil air transport, and general aviation, while also driving national defense construction and socio-economic development.

From the end of World War II through the 1990s, the U.S. government and the Federal Aviation Administration (FAA) continuously optimized and refined the National Airspace System through classification-based management, forming a series of concepts and measures conducive to the efficient utilization of low-altitude airspace. Controlled airspace occupies only a small proportion of the national territory, generally about 10%. As a result, U.S. general aviation has achieved remarkable

development, generating substantial socio-economic benefits in disaster relief, emergency medical services, aerial tourism, cargo transportation, agricultural operations, geological surveying, and remote sensing, contributing nearly 1% of GDP. These achievements are largely attributable to the highly open airspace system.

U.S. airspace classification and control practices reflect the following principles and characteristics: (1) U.S. citizens possess a public right of transit through navigable airspace; (2) airspace utilization efficiency is maximized to realize its economic and social value; (3) strictly controlled airspace occupies as little public airspace as possible; (4) flexible use of airspace is emphasized, transcending rigid boundaries between military and civilian airspace; (5) controlled airspace is, in many cases, also accessible to the public; and (6) airspace suitable for general aviation operations is vast, continuous, and well connected, facilitating flight activities.

The explosive growth of civil unmanned aircraft systems (UAS) and electric vertical takeoff and landing (eVTOL) aircraft has introduced new challenges to airspace management. After years of exploration, research, and localized trials, the U. S. Department of Transportation announced on August 5, 2025, a *Notice of Proposed Rulemaking* (NPRM) for Unmanned Aircraft Systems Beyond Visual Line of Sight (BVLOS) operations. The key elements of the NPRM include: permitting BVLOS operations; relaxing UAS weight limits; easing airspace restrictions on UAS; reducing certification requirements; loosening restrictions on operations over people; proposing the development of a distributed unmanned traffic management (UTM) system; advocating the use of strategic conflict resolution to enhance flight safety; emphasizing the development of safety-enhancing components, systems and autonomous operating system software; and promoting the full utilization of societal resources.

In February 2021, China explicitly proposed the development of the low-altitude economy for the first time at the national level. During the 2024 and 2025 annual sessions of the National People's Congress (NPC) and the Chinese People's Political Consultative Conference (CPPCC), the low-altitude economy was included in the Government Work Report. However, the pilot regions currently have a limited number of designated navigable low-altitude airspaces, characterized by small areas, few routes, poor connectivity, and severe fragmentation, which significantly constrains the development of the low-altitude economy. To address these issues, this paper proposes further airspace openness policy suggestions, including: establishing the principle that airspace transit rights belong to the people; highlighting the strategic role of general aviation and the low-altitude economy; removing institutional barriers to their development (such as reducing the size of military-controlled airspace); accelerating military – civilian airspace sharing with a greater tilt toward civil use; fully opening Class G and W airspace and, where feasible, further opening Class D or E airspace; implementing layered and segmented airspace management; and allowing emergency and rescue general aviation aircraft to operate in any airspace where needed. While progressively opening low-altitude airspace, it is also necessary to strengthen research and development on the safety and reliability of UAS and components, thereby providing technological support for enhancing low-altitude flight safety.

Keywords: airspace management; airspace opening; flight rights; general aviation; low-altitude economy; unmanned aerial vehicles (UAVs)

Received: 29 Nov. 2025; **Accepted:** 25 Feb. 2026; **Published online:** 25 Sep. 2026