DOI: 10.12398/j.issn.2096-7217.2026.02.001

农用无人驾驶航空器法规与标准发展

薛新宇[1, 2, 3], 顾伟[1, 2, 3*], 兰玉彬[3, 4], 孔伟[1, 2, 3], 孙竹[1, 2], 徐阳[1, 2]

(1. 农业农村部南京农业机械化研究所,江苏南京,210014; 2. 农业农村部现代农业装备重点实验室,江苏南京,210014; 3. 农业农村部航空植保重点实验室,河南安阳,455000; 4. 华南农业大学人工智能与低空技术学院,广东广州,510642)

摘要:农用无人驾驶航空器作为低空经济在农业农村领域的核心载体,近年来呈现爆发式增长态势,已成为推动农业现代化和乡村振兴的重要技术力量。产业规模的急剧扩张与技术应用的快速迭代,而配套法规与标准建设仍存在滞后性。本文在梳理国内外农用无人驾驶航空器法规与标准发展的基础上,系统分析了空域管理、适航审定、人员资质等法规框架构成,以及国家标准、行业标准、地方标准和团体标准四级标准框架的建设现状。研究表明,我国已初步形成以《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》为上位法的法规框架和以《低空经济标准体系建设指南》为顶层设计的标准架构,但在应用场景覆盖、部件/分系统要求和方法标准配套等方面仍存在短板。面向未来,应推进基于运行风险的分类分级管理、加速标准体系的场景拓展与方法完善、构建数字化智能监管体系,为农业低空经济的高质量发展提供制度保障。

关键词:农用无人驾驶航空器;法规;标准;低空经济;精准农业

中图分类号:S24 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-7217(2026)02-0001-10

薛新宇, 顾伟, 兰玉彬, 孔伟, 孙竹, 徐阳. 农用无人驾驶航空器法规与标准发展[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2026, 7(2): 1—10

Xue Xinyu, Gu Wei, Lan Yubin, Kong Wei, Sun Zhu, Xu Yang. Development of regulations and standards for agricultural unmanned aerial vehicles [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2026, 7(2): 1—10

0 引言

低空经济是以低空空域中各类有人驾驶和无人驾驶航空器飞行活动为核心,辐射带动相关领域融合发展的综合性经济形态[1]。自2023年中央经济工作会议将低空经济列为战略性新兴产业以来,这一新赛道持续升温:2024年"低空经济"首次被写入国务院政府工作报告[2],2025年政府工作报告进一步提出推动其"安全健康发展"[3],2026年更将低空经济定位为"新兴支柱产业"[4]。3年之内从"新增长引擎"到"新兴支柱产业"的政策定位跃升,标志着低空经济在国家创新体系中的战略地位持续强化。在农业农村领域,低空经济凭借其活动空间的立体性、运行模式的融合性及服务对象的广泛性,正加速融入农业生产与乡村建设的各个环节,成为农业新质生产力发展的重要切入点[5]。2014年中央一号文件首次提出"加强农用航空建设"[6]。时隔十年,2025年中央一号文件明确要求"拓展人工智能、数据、低空等技术应用场景"[7],2026年中央一号文件进一步强调"拓展无人机、物联网、机器人等应用场景"[8],连续两年的政策部署为农业低空经济的发展提供了持续的制度激励。

农用无人驾驶航空器(亦称农用无人飞机)是低空经济在农业农村领域应用的核心载体。自2008年农业农村部南京农业机械化研究所研制出我国第一台自主作业植保无人飞机以来[9],在飞控技术、传感器技术和智能算法等关键技术持续突破的推动下,产业规模呈现爆发式增长态势。在市场化方面,2016年后基于实时差分定位与航线规划的无人飞机喷雾应用逐步开始大规模应用,2019年开始全面进入自动化与智能化阶段,具备仿地飞行、变量喷施、自主避障、多机协同等多功能集成能力[10-13]。据统计,2024年全国植保无人飞机保有量已超过30万架,年作业面积突破3.07×10^7 hm^2[14]。农业农村部南京农业机械化研究所等科研机构和相关企业围绕飞行器设计、飞行控制、机载任务

收稿日期:2026-03-20 修回日期:2026-04-20

基金项目:国家重点研发计划(2023YFD2000200); 江苏省前沿技术研发计划(现代农业)项目(BF2025309)

第一作者:薛新宇,女,1969年生,江苏苏州人,博士,研究员;研究方向为植保机械与农用无人飞机技术与装备。E-mail: xuexynj@qq.com

*通信作者:顾伟,男,1988年生,江苏太仓人,硕士,副研究员;研究方向为植保机械与农用无人飞机技术与标准化。E-mail: guwei01@caas.cn

载荷及信息感知等关键技术开展了系统攻关[9,15-17],作业类型也从单一的植保施药延伸至授粉[18]、播种[19]、施肥[20]、遥感监测[21]及农产品物流运输[22]等多种场景,成为农业生产不可或缺的智能农机装备[23]。

然而,产业规模的急剧扩张与技术应用的快速迭代,使配套法规与标准建设的滞后性问题日益凸显。薛新宇等[24]指出,我国农用无人飞机产业快速发展的同时,相关配套的法规和标准却相对滞后。从法规建设看,2017年农业部、财政部、民航局联合启动植保无人飞机购置补贴试点[25],推动了产业规范应用的初步探索,相关补贴资质认定要求延续至今[26];2023年以来,《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》《国家空域基础分类方法》《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》等法规密集出台,标志着管理制度体系加速构建。当前从智能植保装备的宏观视角来看,在国际农机领域,我国仅在植保无人机上具有一定的技术优势,而法规标准体系的完善是实现从技术优势到产业优势转化的关键制度保障[16]。从我国标准建设来看,2017年国家八部委联合制定的《无人驾驶航空器系统标准体系建设指南(2017—2018年版)》提供了顶层设计框架,2021年该指南进行了首次修订[27],并在2025年国家市场监督管理总局等部门在该指南基础上进一步发布了《低空经济标准体系建设指南(2025年版)》[28],推动标准体系从通用无人机向低空经济全产业链延伸。2014年,在农业农村部的主导推动下,农业行业标准开始制定,已从2018年仅有的NY/T 3213—2018《植保无人飞机 质量评价技术规范》,扩展至2025年已涵盖植保作业质量、安全施药、遥感监测、操控员培训等十余项标准,体系正在加速完善。兰玉彬等[29]进一步指出,当前农用无人飞机各技术模块间存在数据传输不统一、兼容性差的问题,严重限制了农业低空经济技术的推广和应用效果,亟须通过标准体系的完善来解决。

综上所述,我国农用无人驾驶航空器产业正处于从规模扩张向规范发展转型的关键时期。系统梳理现有法规与标准体系的演进脉络、结构特征与现存短板,对标国际先进标准框架,具有重要的理论意义与实践价值。本文系统分析我国农用无人驾驶航空器法规框架和标准体系的建设现状,剖析其结构性不足与技术适应性挑战,并提出完善建议,以期为相关学科研究、政策制定和产业实践提供参考。

1 国际法规和标准进展

1.1 民用无人飞机法规和标准

在民用无人飞机领域,国际法规与标准的制定长期滞后于产业技术的快速发展[30]。早期,无人机标准工作主要集中于通用性框架,主导机构包括国际民航组织(international civil aviation organization, ICAO)[31]、欧洲航空安全局(European union aviation safety agency, EASA)[32]、美国材料与试验协会(American society of testing materials, ASTM)[33]等;日本作为国际上无人机应用最为广泛的国家之一,其国土交通省[34]和产业用无人航空机工业会(JUAV)[35]也持续为无人机的高效运行制定法规与标准。然而,这些法规和标准多聚焦于空域运行安全、驾驶员资质和适航审定等[24],对农业作业特有的环境安全、作业规范与作业质量要求鲜有涉及。近年来,随着农用无人机在全球范围内的广泛应用,行业对专用技术标准的迫切需求推动着国际标准体系向纵深发展。国际标准化组织(international organization for standardization, ISO)无人驾驶航空器系统分委会于2020年发布了首个相关国际标准ISO 21895:2020《民用无人机系统分类及分级》,此后又陆续发布了总计27项标准[36],涵盖通用产品组件及测试评估等关键技术方向。

1.2 农业领域法规和标准

农业领域法规和标准是本文的研究重点。日本是最早将无人机应用于农业作业的国家,其农林水产省[37]和农林水产航空农业支援服务协会(原农林水产航空协会)[38-40]主要围绕以水稻为主的农业生产模式,制定了相应的法规和标准。近年来,这两类文件之间的界限日趋模糊,内容已广泛涉及作业安全、农业社会化服务、喷雾设备性能、产品注册管理、操作员培训等多个方面[24]。2023年起,ISO植保机械分委会先后发布了两项专门针对农用无人空中喷雾系统的国际标准[41]——ISO 23117-1:2023和ISO 23117-2:2025,标志着全球农用无人飞机领域首次拥有了系统性的技术基准与测试方法标准,对规范行业发展、促进国际互认具有里程碑意义,同时也为我国农用无人飞机的标准化工作提供了重要借鉴。

1.2.1 ISO 23117-1:2023

ISO 23117-1:2023《农业和林业机械 无人驾驶空中喷洒系统 第1部分:环境要求》是全球首个针对农用无人空中喷雾系统(unmanned aerial spraying systems, UASS)环境安全的国际标准[42]。该标准与通用喷雾机环境要求标准ISO 16119-1配套使用,专门规定了以无人航空器系统(UAS)为平台、用于农业、林业、草坪及休闲区域植物保护产品喷洒的UASS在设计及性能方面的环境要求,旨在最大限度地降低使用过程中(包括制造商可预见的误操作情形)对环境的潜在污染风险。该标准明确要求其环境条款优先于ISO 16119-1中的相关规定,同时界定该系列标准不涵盖UASS的

人身安全方面及无人航空器系统、远程驾驶员或旁观者的安全方面。

在适用范围上，该标准明确规定不适用于最大起飞重量超过150 kg的无人机。这一质量上限的设定与国际上对轻型无人航空器系统的通用界定相衔接，也与我国《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》中关于农用无人驾驶航空器管理分级分类的实践具有互鉴意义。当前我国农用无人飞机最大有效载荷已从早期的10～20 kg提升至50 kg以上，80 kg以上机型在不久将来也将推出，部分油动机型载荷能力更可达100～300 kg，大载荷化已成为农用无人机的重要发展方向[43]。

从技术要求层面看，ISO 23117-1：2023的核心关注在于喷雾飘移控制与沉积均匀性两大环境风险管理维度。由于植保无人飞机雾化程度高、雾滴粒径小，且受旋翼风场和飞行速度等因素影响，航空喷施雾滴沉积区域不稳定、运动规律不明确，防飘移技术始终是低空植保领域亟待解决的关键难题[11]。ISO 23117-1对喷雾系统的设计提出了具体要求，包括防滴漏装置的设置、药液箱的防泄漏设计、喷雾量可控性，以及与飞行参数相匹配的施药精度保持能力等，为上述技术难题的解决提供了标准化的设计要求框架。

1.2.2　ISO 23117-2：2025

ISO 23117-2：2025《农业和林业机械 无人驾驶空中喷洒系统 第2部分：评定水平横向喷雾分布的试验方法》是ISO 23117系列的配套测试方法标准[44]，专门规定了田间喷雾沉积量测定方法，用于评估特定农用无人空中喷雾器在垂直于飞行方向的平面区域内喷雾液的沉积量和分布规律。该标准的核心应用价值在于为有效作业幅宽的科学确定提供统一、可复现的测试方法。

在技术路径上，该标准采用平面沉积测定法，通过在垂直于飞行方向的采样面上布置标准化采集器，量化喷雾液在该截面上的分布均匀性。这一方法能够直观反映喷雾系统在不同飞行高度、速度和配置参数下的沉积横向分布特性。ISO 23117-2：2025所提供的横向分布测试框架，播撒作业的质量评估同样可以参考。无论离心式还是气力式撒播，沉积均匀性均受飞行高度、速度和播撒盘转速等参数的显著影响，标准化的测试方法是优化作业参数、提升沉积质量的基础[45]。

国内行业标准NY/T 3213虽已规定喷雾均匀性变异系数的室内测试方法及限值要求，但在田间实际作业条件下的横向分布测试方法方面，仍有进一步与国际标准协调衔接的空间[5]。陈盛德等[46]基于GNSS（global navigation satellite system）定位系统对植保无人机航空喷施飞行质量进行了评价，提出了航线精度、飞行参数均匀性等质量指标的测试方法，这些研究成果为国内测试方法标准的完善提供了数据基础。

1.2.3　ISO 23117系列标准的启示

综合审视ISO 23117系列两项标准的发布，可以提炼出以下特征：第一，该系列聚焦于环境安全与作业质量两个与农业可持续发展紧密相关的维度，标准制定者选择了“环境风险管控”作为农用无人机标准化的优先切入口，这一路径与我国当前农业生产中日益重视的减量增效、面源污染防治政策导向高度契合[47]。第二，该系列采用“性能导向”（performance-based）的制定原则，即规定应达到的性能指标而非限制采用何种技术方案，既保证了标准的通用性和技术中立性，也为企业技术创新预留了空间。第三，ISO 23117系列的制定为我国参与国际规则制定提供了重要契机。我国在农用无人飞机的生产规模、应用场景多样性与作业数据积累方面具有全球领先优势，但在国际标准制定中的话语权与我国产业体量仍有差距[5]。

2　我国管理法规框架的演进

农用无人驾驶航空器的管理法规框架是国家对低空经济活动实施规范治理的制度基础。我国在该领域的法规建设经历了从无到有、从分散到体系化的演进过程，逐步形成了涵盖空域管理、运行规则、证照资质、适航审定等多维度的管理架构。

2.1　政策法规的演进

我国农用无人驾驶航空器管理法规的演变，可划分为三个阶段，其演进脉络与国家低空空域管理改革和低空经济战略升级的宏观进程高度耦合。

第一阶段：探索起步期（2012年以前）。21世纪初，我国农业航空仍以有人驾驶固定翼飞机和直升机为主力，无人机的农业应用尚处于科研试验阶段[48]。2008年，农业农村部南京农业机械化研究所研制出我国第一台植保无人飞机“N-3”型油动单旋翼机型[9]，标志着我国农用无人机研发的实质性起步，但相关配套管理规范几乎处于空白状态。2010年，国务院和中央军委联合发布《关于深化我国低空空域管理改革的意见》，首次从国家层面对低空空域管理改革作出系统部署，为无人机进入低空空域运行提供了政策空间。

第二阶段：制度建构期（2013—2022年）。2013年，中国民用航空局发布《民用无人驾驶航空器系统驾驶员管理暂行规定》，开启了无人机管理的制度探索。此后十年间，民航局等部门相继出台了《轻小无人机运行规定（试行）》等一系列法规和规范性文件，见表1。2017年，农业部、财政部、中国民航局联合发布《关于开展农机购置补贴引导植保无人机规范应用试点工作的

通知》,以财政补贴政策引导产业规范发展[25]。同年,国家八部委联合制定《无人驾驶航空器系统标准体系建设指南(2017—2018年版)》。“十三五”国家重点研发计划项目“地面与航空高工效施药技术及智能化装备”和“农用航空作业关键技术研究与装备研发”等科技项目及协会、联盟等行业组织的建立为后续法规标准的制定提供了技术支撑和组织基础。2022年,中国民航局集中发布《民用无人驾驶航空器系统适航审定管理程序》《民用无人驾驶航空器系统适航审定分级分类和系统安全性分析指南》等适航审定基础文件。

表1 相关法规及规范性文件

Table 1 Laws or regulatory documents

序号	法规/规范性文件	发布时间	发布机构
1	民用无人驾驶航空器系统驾驶员管理暂行规定(2018修订)	2013年11月	中国民航局
2	轻小无人机运行规定(试行)	2015年12月	中国民航局
3	民用无人驾驶航空器系统空中交通管理办法	2016年9月	中国民航局
4	民用无人驾驶航空器实名制登记管理规定	2017年5月	中国民航局
5	关于开展农机购置补贴引导植保无人飞机规范应用试点工作的通知(农办机〔2017〕10号)	2017年9月	农业部、财政部、中国民航局
6	关于促进和规范民用无人机 制造业发展的指导意见	2017年12月	工业和信息化部
7	民用无人驾驶航空器经营性飞行活动管理办法(暂行)	2018年3月	中国民航局
8	轻小型民用无人机飞行动态数据管理规定	2019年11月	中国民航局
9	民用无人机无线电管理暂行办法	2020年10月	工业和信息化部
10	民用无人驾驶航空器分布式操作试运行等级管理规程(暂行)	2022年2月	中国民航局
11	民用微轻小型无人驾驶航空器系统运行识别概念(暂行)	2022年3月	中国民航局
12	民用无人驾驶航空器系统适航审定管理程序	2022年12月	中国民航局
13	民用无人驾驶航空器系统适航审定分级分类和系统安全性分析指南	2022年12月	中国民航局
14	民用无人驾驶航空器国籍登记管理程序	2023年1月	中国民航局
15	无人驾驶航空器飞行管理暂行条例	2023年6月	国务院、中央军委
16	国家空域基础分类方法	2023年12月	中国民航局
17	民用无人驾驶航空器生产管理若干规定	2023年12月	工业和信息化部
18	民用无人驾驶航空器运行安全管理规则	2024年1月	交通运输部
19	民用微轻小型无人驾驶航空器运行识别最低性能要求(试行)	2024年1月	中国民航局
20	民用无人驾驶航空器系统适航安全评定指南	2024年2月	中国民航局
21	中型民用无人驾驶航空器系统适航标准及符合性指导材料(试行)	2024年7月	中国民航局
22	农用无人驾驶航空器操控员培训管理规定(试行)	2025年1月	中国民航局、农业农村部
23	民用无人驾驶航空器事件信息管理办法	2025年5月	中国民航局
24	基于计算机的民用无人驾驶航空器运行控制系统管理办法	2026年1月	中国民航局
25	限用类无人驾驶航空器系统适航标准	2026年2月	中国民航局

第三阶段:规范成熟期(2023年至今)。2023年6月,国务院和中央军委发布《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》,于2024年1月1日正式施行,这是我国首部专门针对无人驾驶航空器管理的法律性文件。条例明确规定最大起飞重量不超过150 kg的农用无人驾驶航空器可在不需要空管批准的情况下自由飞行。同期,中国民航局发布《国家空域基础分类方法》,工业和信息化部出台《民用无人驾驶航空器生产管理若干规定》,交通运输部发布《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》,完善了无人驾驶航空器的管理制度。2025年,民航局与农业农村部联合发布《农用无人驾驶航空器操控员培训管理规定(试行)》,专门规范农业作业人员的培训与资质管理。

2.2 空域管理与运行规则

空域是国家的重要自然资源,是实施低空经济的先决条件。我国空域管理的基本法律依据源于《中华

人民共和国民用航空法》，该法明确规定国家对领空实行统一的规划和管理。2023年12月，中国民航局发布《国家空域基础分类方法》，对空域分类体系作出新的系统规定，为低空空域的精细化管理和无人机运行提供了更清晰的空域划设依据。从农用无人驾驶航空器的运行特点看，其作业具有飞行高度低、速度慢、远离人口密集区域等显著特征。薛新宇等[24]的调查表明，农用无人飞机作业绝大多数发生在农村地区，除机场净空保护区、高铁线路等外，极少触及禁飞空域或管控空域，主流的农用无人飞机产品均已内置机场净空保护区等电子围栏禁飞设置。

然而，现行空域管理规则也面临技术快速迭代带来的新挑战。农用无人飞机已从手动遥控全面转向全自主作业模式，多机协同、超视距飞行、夜间作业等新技术应用日趋普遍，人员介入越来越少[10]。另外，随着大载荷农用无人飞机的快速发展，单机作业能力大幅提升，多机协同的需求也愈发迫切[49-50]，而现行运行管理规定对多机编队飞行、机间通信协作和集中调度指挥尚无明确的审批标准和安全规范。何勇等[5]将此列为农业低空经济当前面临的主要技术挑战之一，指出应推进空域精细化管理，在省级乃至县域层面构建低空空域动态监管系统，保障低空经济的安全高效运行。

2.3　适航与人员管理

适航审定是无人机合法飞行的前置条件，也是保障航空安全的核心制度安排。《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》对无人机的分类管理、空域划设、飞行活动审批、适航管理及运营要求作出了系统性规定，明确提出对农用无人驾驶航空器也需实施专门化管理。中国民航局于2022年集中发布了《民用无人驾驶航空器系统适航审定管理程序》和《民用无人驾驶航空器系统适航审定分级分类和系统安全性分析指南》，按无人机的重量、用途和运行风险进行分级分类审定。2024年至2026年间，中国民航局又相继发布了《民用微轻小型无人驾驶航空器运行识别最低性能要求（试行）》《中型民用无人驾驶航空器系统适航标准及符合性指导材料（试行）》和《限用类无人驾驶航空器系统适航标准》等配套文件，分级分类适航管理制度日趋健全，目前农用无人飞机企业已能平稳过渡。

在人员资质管理方面，2025年1月，中国民航局与农业农村部联合发布《农用无人驾驶航空器操控员培训管理规定（试行）》，统一了操控员的培训内容、考核标准与发证程序。部分培训机构已联合无人机制造商开展“培训＋推荐就业”一体化服务，有力推动了农村飞手职业化发展。兰玉彬等[29]指出，智慧农业需要既懂农业又懂技术的复合型人才，当前人才供给与产业需求严重失衡，低空经济的快速发展既吸引技术人才进入农业领域，也推动部分传统农业从业者学习低空技术，为复合型人才培养提供了产业牵引。

3　我国标准现状分析

标准体系是法律法规落地的技术支撑，也是引领产业高质量发展的关键基础设施。我国在该领域的标准建设起步虽晚，但凭借产业规模的快速扩张和政策的有力引导，已初步形成国家标准、行业标准、地方标准和团体标准四级互补的标准架构[24]。

3.1　标准体系的顶层设计

我国农用无人驾驶航空器标准体系建设的纲领性文件有两份：一是2017年由国家八部委联合制定并在2021年修订的《无人驾驶航空器系统标准体系建设指南》[27]，二是2023年国家市场监督管理总局等部门发布的《低空经济标准体系建设指南》[28]。前者从管理和技术两个维度构建了无人机标准体系的顶层架构，将管理标准的7个生命周期维度（研发、注册、鉴定、制造、流通、运行和报废）与技术标准的3个系统层级（系统级、分系统级和部件级）共同构成标准体系矩阵。后者则将视野从无人机系统拓展至低空经济全产业链，涵盖基础设施、运行服务、产业应用、安全保障等领域，为农业低空经济标准体系的持续完善提供了更系统的制度引领。在组织管理层面，农业农村部是农业行业标准的主导制定机构。在通用标准由民航口统一牵头、行业应用标准由各主管部门分头负责的管理模式下，农用无人驾驶航空器的产品标准、作业规程、培训规范等由农业农村部归口管理。随着低空经济定位持续升级和标准体系的纵深推进，农用无人驾驶航空器标准有望迎来更密集的制定和修订周期，在覆盖范围、技术深度和国际协调性等方面取得更大突破。

3.2　农业领域各级标准的分层现状

在顶层设计框架下，我国农用无人驾驶航空器标准已形成国家标准、行业标准、地方标准和团体标准四级互补格局。国家标准与行业标准是标准框架主干。截至2026年3月，据不完全统计，已发布的农林类国家标准和行业标准已有十余项，见表2。在植保领域，GB/T 43071—2023是植保无人飞机的产品标准；NY/T 3213—2018（2023年修订）规定了限高限速限距、电子围栏、失效保护、避障等安全要求，奠定了产品准入基准；NY/T 4258—2022和NY/T 4259—2022分别规范了作业质量指标和安全操作要求；NY/T 4260—2022提供了作物专用防治技术规范。在播种领域，NY/T 3881—2021填补了非植保场景的标准空白。在遥感监测领域，NY/T 4151—2025为无人机低空遥感

的数据处理提供了标准化流程。在人员培训领域,NY/T 4615—2025配合法规性培训管理规定,构建了完整的人员能力建设标准体系。此外,NY/T 3893—2021和NY/T 4587—2025等涉及具体应用场景的标准进一步丰富了技术规范及作业规程。

表2 已发布的农林类国家标准和行业标准

Table 2 Issued national and industry standards for agriculture and forestry

序号	标准名称	标准号
1	植保无人飞机	GB/T 43071—2023
2	植保无人飞机 质量评价技术规范	NY/T 3213—2018
3	遥控飞行播种机 质量评价技术规范	NY/T 3881—2021
4	植保无人飞机 作业质量	NY/T 4258—2022
5	植保无人飞机 安全施药技术规程	NY/T 4259—2022
6	遥控飞行喷雾机棉花脱叶催熟作业规程	NY/T 3893—2021
7	植保无人飞机防治小麦病虫害作业规程	NY/T 4260—2022
8	农业遥感监测无人机影像预处理技术规范	NY/T 4151—2025
9	植保无人飞机施药农作物中农药残留试验准则	NY/T 4587—2025
10	农用无人驾驶航空器操控员培训指南	NY/T 4615—2025
11	农业野生植物原生境保护点无人机监测技术规范	NY/T 4616—2025
12	无人机释放赤眼蜂技术指南	LY/T 3028—2018

在行业标准尚未健全的早期阶段,地方标准和团体标准对农用无人飞机产业的规范化发展起到了积极作用。在地方标准层面,最早的农用无人飞机地方标准可追溯至2013年湖南省发布的DB43/T 849—2013《超低空遥控飞行植保机》;湖南、重庆、江西、广西、吉林、河南、贵州、辽宁、山东等地相继出台了植保无人飞机的技术条件和作业规程等地方标准,为当时的行业应用提供了区域性规范依据。在团体标准层面,中国农业机械化协会是主要制定力量,其于2019年首批发布的9项团体标准(T/CAMA 02~10)系统覆盖了术语、分类与型号编制规则、安全操作规程、农药使用规范、作业质量、云系统接口数据规范、电磁兼容性试验方法、驾驶员培训要求和运营人要求,2022年发布的第二批系列团体标准(T/CAMA 64~68)进一步覆盖了避障系统、仿地飞行系统、一控多机作业系统、变量施药系统和离心喷头等新技术领域;此外,中国农药工业协会、中国农业技术推广协会等社会团体也从用药技术规范、病虫害防治作业规程等应用角度制定了系列团体标准。这些团体标准为行业标准和国家标准的后续制定进行了有益探索,在方法上具有前瞻性和系统性,部分团体标准已启动向行业标准的升级转化。

3.3 农业领域标准体系的完善方向

尽管我国农业领域标准已取得显著进展,但从产业发展的实际需求和与ISO 23117系列等国际标准的对照来看,仍存在三个结构性短板。

第一,应用场景覆盖仍有拓展空间。当前已发布标准仍以植保作业为主,播种、施肥领域标准数量有限,授粉、农业物流运输、巡田监测等场景尚无专门标准。何勇等[5]已指出应同步制定播种、施肥、遥感、辅助授粉等应用标准。无人机播撒应用已从大田播种扩展到变量施肥、造林种草、生物防治(如赤眼蜂投放)等多个领域,播撒装置类型包括离心式、气力式、单体条播和集排条播等,但相应场景的作业质量评价标准仍不完善[45]。目前制修订的标准计划已覆盖颗粒播撒、农业运输、农业巡田、社会化服务组织要求等领域,表明标准拓展正在加速推进。最新的《DG/T 247农用无人驾驶航空器(征求意见稿)》已同步纳入喷洒、播撒、吊运等多种作业模式的适用性评价,体现了标准从单场景向多场景整合的趋势。

第二,部件/分系统与方法标准需与整机标准加强配套。相较于整机评价标准,关键任务载荷的性能测试方法标准仍有完善空间。陈盛德等[4]在展望植保无人机施药技术发展趋势时指出,配套技术具有巨大的研究潜力和发展空间,包括专用航空喷嘴(静电喷嘴、可控雾滴粒径谱喷嘴、变量喷嘴)、专用航空药剂及航空助剂等技术的研发与标准化。2022年,中国农业机械化协会发布的团体标准已涵盖避障系统、仿地飞行系统、一控多机作业系统和离心喷头等部件的技术要求,将整机功能分解为可独立测试验证的分系统,为行业标准向部件级延伸积累了技术基础。下一步需将团体标准中的成熟内容经完善后升级为行业标准,形成“整机—部件—方法”协调配套的标准簇。

第三,国际标准话语权有待持续提升。我国拥有全球最大的农用无人驾驶航空器市场和应用数据库,但在国际标准制定中的参与度和主导权与我国产业体量相比仍有提升空间。多年以来不同国家和地区的研究人员采集了大量的研究数据,但因为各自应用的目标、采集的标准、使用的传感器和采集的平台都不尽相同,数据难以兼容和共享,严重阻碍了精准农业航空技术在全球范围内的推广与协同发展[16]。现在应加强国

际合作，为全球农业现代化提供可复制的“中国方案”[2]。在标准领域，这一目标意味着将国内成熟的检测方法与实践经验转化为国际标准提案，通过技术实力和应用数据深度参与国际规则制定。

4　结论与政策建议

4.1　研究结论

本文通过系统性文献调研与政策分析，梳理了我国农用无人驾驶航空器法规与标准体系的演进脉络和发展现状，并与国际标准ISO 23117系列进行了对照分析。主要研究结论如下：

第一，我国农用无人驾驶航空器法规框架经历了从探索起步期到制度建构期再到规范成熟期的三阶段演进。以《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》施行为标志，已初步形成覆盖空域管理、适航审定、生产管理、人员资质和运行规则的全要素法规体系。低空经济连续三年写入政府工作报告并升级为“新兴支柱产业”，为法规体系的持续完善提供了战略牵引。

第二，在标准体系方面，以《低空经济标准体系建设指南》为顶层设计，已建立起国家标准、行业标准、地方标准、团体标准四级标准架构。国家标准和农业行业标准已覆盖植保、播种、遥感监测、农药残留检测、操控员培训等领域。团体标准在术语、作业质量、云系统接口、避障、仿地飞行、一控多机、变量施药、离心喷头等方面进行了前瞻性探索，部分团体标准已启动向行业标准升级。

第三，与ISO 23117系列国际标准对照，我国在农用无人飞机环境安全要求和作业质量测试方法标准领域已有国内标准基础，但在标准制定的“性能导向”思维、方法标准的精细化程度和国际标准化进程的主导力等方面仍有提升空间。

4.2　政策建议

基于上述研究结论，本文提出以下政策建议：

第一，推进空域精细化与风险导向管理。建立基于运行场景风险评估的分级分类管理体系，对在人口稀疏农区从事常规作业的机型适用简化审批程序；扩大低空空域管理改革试点范围，将四川、辽宁、广东等地的成熟经验推广至全国主要农业省份。探索在农业高新技术示范区设立“监管沙盒”，支持智能多机协同、大载荷运输等新技术的合规测试。

第二，加速标准体系的多场景拓展与纵深配套。围绕鉴定大纲修订中已纳入的喷洒、播撒、吊运等多场景评价框架，加快制定颗粒播撒、农业运输、农业巡田、授粉等作业质量标准。持续推进云系统接口数据规范、避障系统、仿地飞行系统等团体标准向行业标准转化升级。加强对大载荷无人机吊运稳定性、播撒均匀性等新作业模式的测试方法研究，为标准的科学制定提供数据基础，构建全链条的标准簇。

第三，提升国际标准化参与度和话语权。组织产学研力量，系统性参与农用无人驾驶航空器国际标准制定，将我国海量应用数据和成熟检测方法转化为国际标准提案。积极参与ISO 23117系列后续标准的制定与修订工作，特别是在播撒装置测试方法、大载荷机型安全要求等我国具有技术优势的领域争取主导权。

第四，构建智能化数字化监管体系。推进无人机云系统功能升级，依托统一的数据接口标准，打通部门间数据壁垒。加快县域级低空服务节点建设，结合5G、北斗和AI技术实现飞行态势的实时感知与智能风险研判。建立无人机登记信息、驾驶员资质、作业合同、农药使用记录等静态数据与飞行轨迹、气象环境等动态数据的关联融合机制，实现从准入审批向全程风险管理的跨越。

第五，完善人才培养与基础保障体系。全面落实《农用无人驾驶航空器操控员培训管理规定（试行）》及相关标准，推动飞手队伍从经验型向专业型转变。鼓励高校开设农用无人驾驶航空器应用技术专业，依托企业和科研院所建设实训基地。将农用无人机场、充电设施、维修网点纳入现代农业基础设施规划，在农业主产区合理布局，形成覆盖全生命周期的产业服务网络。

参　考　文　献

[1] 沈映春．低空经济：“飞”出新赛道[J]．人民论坛，2024(8)：74－79.

[2] 李强．政府工作报告[R/OL]．(2024－03－12)[2026－03－13]．https://www.gov.cn/gongbao/2024/issue_11246/202403/content_6941846.html.

[3] 李强．政府工作报告[R/OL]．(2025－03－12)[2026－03－13]．https://www.gov.cn/gongbao/2025/issue_11946/202503/content_7015861.html.

[4] 李强．政府工作报告[R/OL]．(2026－03－13)[2026－03－13]．https://www.gov.cn/gongbao/2026/issue_12646/202603/content_7064134.html.

[5] 何勇，王月影，何立文，等．低空经济政策和技术在农业农村的应用现状与前景[J]．农业工程学报，2025，41(8)：1－16.
He Yong，Wang Yueying，He Liwen，et al. Current status and prospects of low-altitude economy policies and technologies in agriculture and rural areas [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2025，41(8)：1－16.

[6] 中共中央,国务院. 关于全面深化农村改革加快推进农业现代化的若干意见[EB/OL]. (2014－01－19)[2026－03－13]. https://www.moa.gov.cn/gk/zcfg/qnhnzc/201401/t20140121_3743917.htm.

[7] 中共中央,国务院. 关于进一步深化农村改革 扎实推进乡村全面振兴的意见[EB/OL]. (2025－02－23)[2026－03－13]. https://www.gov.cn/zhengce/202502/content_7005158.htm.

[8] 中共中央,国务院. 关于锚定农业农村现代化 扎实推进乡村全面振兴的意见[EB/OL]. (2026－02－03)[2026－03－13]. https://www.gov.cn/zhengce/202602/content_7056931.htm.

[9] Xue X Y, Lan Y B, Sun Z, et al. Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying system [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 128: 58－66.

[10] 徐阳, 孙竹, 薛新宇. 我国植保无人飞机机型发展概况[J]. 现代农药, 2023, 22(3): 10－16.
Xu Yang, Sun Zhu, Xue Xinyu. Review on the machine type development of crop protection UAV in China [J]. Modern Agrochemicals, 2023, 22(3): 10－16.

[11] 陈盛德, 廖玲君, 徐小杰, 等. 中国植保无人机及其施药关键技术的研究现状与趋势[J]. 沈阳农业大学学报, 2023, 54(4): 502－512.
Chen Shengde, Liao Lingjun, Xu Xiaojie, et al. Research status and trends of plant protection UAV and its key technology of spraying in China [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2023, 54(4): 502－512.

[12] 兰玉彬, 王林琳, 张亚莉. 农用无人机避障技术的应用现状及展望[J]. 农业工程学报, 2018, 34(9): 104－113.
Lan Yubin, Wang Linlin, Zhang Yali. Application and prospect on obstacle avoidance technology for agricultural UAV [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(9): 104－113.

[13] 沈跃, 张念, 孙志伟, 等. 基于多速率卡尔曼滤波的植保无人机仿地飞行方法[J]. 农业机械学报, 2023, 54(3): 190－197.
Shen Yue, Zhang Nian, Sun Zhiwei, et al. Terrain following flight for plant protection UAV based on multi-rate Kalman filter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023, 54(3): 190－197.

[14] 农业农村部. 农用无人机保有量超过30万架[EB/OL]. (2026－01－22)[2026－03－13]. https://www.gov.cn/zhengce/202601/content_7055869.htm.

[15] 曹光乔, 李亦白, 南风, 等. 植保无人机飞控系统与航线规划研究进展分析[J]. 农业机械学报, 2020, 51(8): 1－16.
Cao Guangqiao, Li Yibai, Nan Feng, et al. Development and analysis of plant protection UAV flight control system and route planning research [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(8): 1－16.

[16] 孙竹, 顾伟, 崔龙飞, 等. 智能植保装备关键技术研究现状与发展趋势[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2024, 5(4): 1－23.
Sun Zhu, Gu Wei, Cui Longfei, et al. Research status and development trends of key technologies for intelligent plant protection equipment [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2024, 5(4): 1－23.

[17] 黄泽权, 马伟, 田志伟. 机器视觉技术在农用无人机田间作业的应用现状及趋势[J/OL]. 浙江大学学报(农业与生命科学版): 1－14[2026－03－13]. https://link.cnki.net/urlid/33.1247.S.20260104.1621.004.

[18] 胡淑芬, 曹昕奕, 邓勇杰, 等. 植保无人机飞行参数对油茶授粉雾滴分布及坐果率的影响[J]. 农业工程学报, 2023, 39(20): 92－100.
Hu Shufen, Cao Xinyi, Deng Yongjie, et al. Effects of the flight parameters of plant protection drone on the distribution of pollination droplets and the fruit setting rate of camellia [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023, 39(20): 92－100.

[19] 何伟灼, 刘威, 姜锐, 等. 无人机点射式水稻播种装置控制系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2022, 38(18): 51－61.
He Weizhuo, Liu Wei, Jiang Rui, et al. Control system design and experiments of UAV shot seeding device for rice [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(18): 51－61.

[20] Zhou H, Yao W, Su D, et al. Application of a centrifugal disc fertilizer spreading system for UAVs in rice fields [J]. Heliyon, 2024, 10(8): e29837.

[21] 于丰华, 李世隆, 金忠煜, 等. 基于无人机遥感技术的大田作物精准施肥决策研究进展[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(6): 788－797.

[22] Lu J, Liu Y, Jiang C, et al. Truck-drone joint delivery network for rural area: Optimization and implications [J]. Transport Policy, 2025, 163: 273－284.

[23] 林恒毅, 麦煜炬, 施琳琳, 等. 农业低空经济应用场景拓展与技术动态[J]. 中国农机化学报, 2025, 46(10): 8－20.

[24] 薛新宇, 顾伟, 徐阳, 等. 农用无人飞机法规与标准制定现状分析[J]. 农业机械学报, 2020, 51(10): 1－10.
Xue Xinyu, Gu Wei, Xu Yang, et al. Review on current state of agricultural UAS regulations and standards [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(10): 1－10.

[25] 农业部办公厅, 财政部办公厅, 中国民用航空局综合司. 关于开展农机购置补贴引导植保无人机规范应用试点工作的通知(农办机〔2017〕10号)[EB/OL]. (2017－11－

02)[2026－03－13]. https://njhs.moa.gov.cn/tzggjzcjd/201711/t20171102_6314837.htm.

[26] 农业农村部，财政部．2024—2026年农机购置与应用补贴实施意见(农办机〔2024〕3号)[EB/OL]．(2024－04－30)[2026－03－13]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202406/content_6955539.htm.

[27] 国家标准化管理委员会，工业和信息化部，自然资源部，农业农村部，国家能源局，中国民用航空局．关于印发《无人驾驶航空器系统标准体系建设指南(2021年版)》的通知[EB/OL]．(2021－09－13)[2026－03－13]. https://www.sac.gov.cn/xw/tzgg/art/2021/art_c255c927c9a64d2783b4ccab163996c4.html.

[28] 市场监管总局，中央空管办，国家发展改革委，工业和信息化部，自然资源部，交通运输部，农业农村部，我国气象局，国家能源局，中国民航局．关于印发《低空经济标准体系建设指南(2025年版)》的通知[EB/OL]．(2025－12－11)[2026－03－13]. https://www.samr.gov.cn/bzjss/zcfg/art/2026/art_688745c034654328b589af994eb4d2f6.html.

[29] 兰玉彬，王朝锋，孙贺光，等．低空技术赋能智慧农业：技术体系、应用场景及挑战建议[J]．智慧农业(中英文)，2025，7(6)：18－34.
Lan Yubin，Wang Chaofeng，Sun Heguang，et al. Low-altitude technology empowering smart agriculture：technical system，application scenarios，and challenge recommendations [J]. Smart Agriculture，2025，7(6)：18－34.

[30] 何勇，戴馥霜，朱姜蓬，等．农业低空经济应用场景及产业发展现状与趋势[J]．智慧农业(中英文)，2025，7(6)：1－17.
He Yong，Dai Fushuang，Zhu Jiangpeng，et al. Current status and trends of application scenarios and industrial development in the agricultural low-altitude economy [J]. Smart Agriculture，2025，7(6)：1－17.

[31] ICAO. ICAO model UAS regulations [EB/OL]. [2026－03－13]. https://www.icao.int/UA/icao-model-uas-regulations.

[32] EASA. Unmanned aircraft systems (UAS) [EB/OL]. [2026－03－13]. https://www.easa.europa.eu/en/regulations/unmanned-aircraft-systems-uas.

[33] ASTM. Committee F38 on unmanned aircraft systems [EB/OL]. [2026－03－13]. https://www.astm.org/membership-participation/technical-committees/committee-f38.

[34] 国土交通省．無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルール[EB/OL]．[2026－03－13]. https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html.

[35] JUAV. 安全確保の仕組み [EB/OL]. [2026－03－13]. https://www.juav.org/safety_standard/index.html.

[36] ISO. ISO/TC 20/SC 16：Uncrewed aircraft system [EB/OL]. [2026－03－13]. https://www.iso.org/committee/5336224.html.

[37] 农林水产省．無人航空機による農薬等の空中散布に関する情報 [EB/OL]. [2026－03－13]. https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/g_kouku_zigyo/muzinkoukuuki.html.

[38] 农林水产航空农业支援服务协会．産業用無人航空機共通 [EB/OL]. [2026－03－13]. https://www.j3a.or.jp/mujin/.

[39] 农林水产航空农业支援服务协会．産業用無人ヘリコプター [EB/OL]. [2026－03－13]. https://www.j3a.or.jp/mujin_heli/.

[40] 农林水产航空农业支援服务协会．産業用マルチローター各種基準 [EB/OL]. [2026－03－13]. https://www.j3a.or.jp/multicopter/.

[41] ISO. ISO/TC 23/SC 6：Equipment for crop protection [EB/OL]. [2026－03－13]. https://www.iso.org/committee/47056.html.

[42] ISO. Agricultural and forestry machinery-unmanned aerial spraying systems-Part 1：Environmental requirements：ISO 23117－1：2023 [S]. Geneva：International Organization for Standardization，2023.

[43] 展义龙，陈盛德，兰玉彬，等．大载荷农用无人机关键技术与应用综述[J]．农业机械学报，2026，57(3)：1－16.
Zhan Yilong，Zhang Wanxia，Zhang Yipeng，et al. Review on key technologies and applications of heavy-load agricultural UAVs [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2026，57(3)：1－16.

[44] ISO. Agricultural and forestry machinery-Unmanned aerial spraying systems-Part 2：Test methods to assess the horizontal transverse spray distribution：ISO 23117－2：2025 [S]. Geneva：International Organization for Standardization，2025.

[45] 宋灿灿，王国宾，韩金钢，等．农用无人机播撒装置与技术研究综述[J]．农业机械学报，2025，56(1)：110－122.
Song Cancan，Wang Guobin，Han Jingang，et al. Review of research progress on agricultural UAV spreading devices and technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2025，56(1)：110－122.

[46] 陈盛德，兰玉彬，周志艳，等．植保无人机航空喷施飞行质量的试验与评价[J]．华南农业大学学报，2019，40(3)：89－96.
Chen Shengde，Lan Yubin，Zhou Zhiyan，et al. Test and evaluation for flight quality of aerial spraying ofplant protection UAV [J]. Journal of South China Agricultural University，2019，40(3)：89－96.

[47] 邓巍，陈立平，张瑞瑞，等．无人机精准施药关键技术综述[J]．农业工程，2020，10(4)：1－10.

Deng Wei, Chen Liping, Zhang Ruirui, et al. Review on key technologies for UAV precision agro-chemical application [J]. Agricultural Engineering, 2020, 10(4): 1−10.

[48] 郭永旺, 袁会珠, 何雄奎, 等. 我国农业航空植保发展概况与前景分析[J]. 中国植保导刊, 2014, 34(10): 78−82.

[49] Xu Y, Sun Z, Xue X, et al. A hybrid algorithm based on MOSFLA and GA for multi-UAVs plant protection task assignment and sequencing optimization [J]. Applied Soft Computing, 2020, 96(4): 106623.

[50] 阚平, 姜兆亮, 刘玉浩, 等. 多植保无人机协同路径规划[J]. 航空学报, 2020, 41(4): 260−270.
Kan Ping, Jiang Zhaoliang, Liu Yuhao, et al. Cooperative path planning for multi-sprayer-UAVs [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2020, 41(4): 323610.

Development of regulations and standards for agricultural unmanned aerial vehicles

Xue Xinyu[1, 2, 3], Gu Wei[1, 2, 3*], Lan Yubin[3, 4], Kong Wei[1, 2, 3], Sun Zhu[1, 2], Xu Yang[1, 2]

(1. *Nanjing Institute of Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing* 210014, *China*; 2. *Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing* 210014, *China*; 3. *Key Laboratory of Aviation Plant Protection, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Anyang* 455000, *China*; 4. *College of Artificial Intelligence and Low-Altitude Technology, South China Agricultural University, Guangzhou* 510642, *China*)

Abstract: As a core carrier of the low-altitude economy in the agricultural and rural sectors, agricultural unmanned aircraft have experienced explosive growth in recent years and have become a vital technological force driving agricultural modernization and rural revitalization. While the industrial scale has expanded dramatically and technological applications have undergone rapid iteration, the development of supporting regulations and standards has lagged behind. Based on a review of the development of domestic and international regulations and standards for agricultural unmanned aerial vehicles, this paper systematically analyzes the legal framework for airspace management, airworthiness certification, and personnel qualifications-as well as the current status of the four-tier standards framework including national standards, industry standards, local standards, and group standards. The findings indicate that China has initially established a regulatory framework with the Interim Regulation on the Flight Management of Unmanned Aircraft as the overarching legislation, and a standards architecture with the Guidelines for the Construction of the Low-Altitude Economy Standards System as the top-level design. However, shortcomings remain in areas such as application scenario coverage, component and subsystem requirements, and supporting methodological standards. Looking into the future, efforts should be directed toward advancing risk-based classification and hierarchical management, accelerating the expansion of application scenarios and the refinement of methods within the standards system, and building a digital intelligent supervision system, thereby providing institutional safeguards for the high-quality development of the agricultural low-altitude economy.

Keywords: agricultural unmanned aerial vehicles; regulations; standards; low-altitude economy; precision agriculture

Foundation items: National Key R&D Program of China(2023YFD2000200); Jiangsu Frontier Technology R&D Program (Modern Agriculture) Project(BF2025309)

First Author: Xue Xinyu, E-mail: xuexynj@qq.com

***Corresponding Author:** Gu Wei, E-mail: guwei01@caas.cn