地矿测绘
Geological and Mineral Surveying and Mapping
第 8 卷◆第 2 期◆版本 1.0◆2025 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

低空空域管制下无人机测绘安全保障体系

张东芳
沈阳东方恒达测绘科技有限公司
DOI:10.12238/gmsm.v8i2.2155

[摘　要] 随着无人机测绘技术的广泛应用,低空空域管制环境下的作业安全问题日益凸显。本文基于低空空域管制政策与无人机测绘作业特性,构建包含法规适配、技术防护、操作规范和应急响应的四维安全保障体系。通过分析"黑飞"导致民航延误、无人机碰撞输电线路等典型安全事故案例,结合激光雷达防撞、GPS信号丢失应急返航等技术应用,提出融合动态空域申报、多传感器避障系统和操作人员资质管理的具体措施。研究表明,完善的安全保障体系可有效降低无人机测绘作业的安全风险,为低空空域开放背景下的行业规范化发展提供理论与实践参考。
[关键词] 低空空域管制；无人机测绘；安全保障体系；避障技术；应急响应
中图分类号：V279+.2　**文献标识码**：A

Research on the Construction of Safety Assurance System for UAV Mapping Operations under Low-Altitude Airspace Control

Dongfang Zhang
Shenyang Oriental Hengda Surveying and Mapping Technology Co., Ltd.

[Abstract] With the widespread application of UAV mapping technology, the safety issues of operations in low-altitude airspace control environments have become increasingly prominent. Based on low-altitude airspace management policies and the characteristics of UAV mapping operations, this paper constructs a four-dimensional safety assurance system including regulatory adaptation, technical protection, operational specifications, and emergency response. By analyzing typical safety accident cases such as civil aviation delays caused by "illegal flights" and UAV collisions with transmission lines, and combining technical applications like lidar collision avoidance and emergency return when GPS signals are lost, specific measures are proposed that integrate dynamic airspace declaration, multi-sensor obstacle avoidance systems, and operator qualification management. The study shows that a sound safety assurance system can effectively reduce the safety risks of UAV mapping operations, providing theoretical and practical references for the standardized development of the industry under the background of low-altitude airspace opening.
[Key words] low-altitude airspace control; UAV mapping; safety assurance system; obstacle avoidance technology; emergency response

前言

2025年4月发布的GB/T45631-2025《无人机遥感测绘飞行管理信息要求》标志着我国无人机测绘行业进入标准化管理阶段。然而,当前低空空域管制政策与无人机技术快速发展之间仍存在协调不足的问题。据国家安全部通报,2025年初某测绘公司因未申请空域擅自开展无人机测绘,导致战区雷达启动异常空情处置,耗费大量资源并造成12万元经济损失。这类“黑飞”事件不仅威胁航空安全,也反映出行业安全保障体系建设的紧迫性。

无人机测绘具有作业灵活、数据获取高效等优势,但其在120米以下低空空域的频繁活动,与民航航线、军事管制区等形成潜在冲突。同时,广东韶关2024年发生的无人机碰撞输电线路事件,导致数千户停电的案例表明,技术故障或操作失误可能引发严重的社会安全问题[1]。在此背景下,如何构建适应低空空域管制要求的安全保障体系,成为无人机测绘行业可持续发展的关键课题。

1 低空空域管制与无人机测绘安全现状

1.1空域管制政策框架

我国低空空域管理已形成“分类管理、分级负责”的制度体系。根据《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》,无人机测绘作业需完成注册、操作员培训及空域申请等流程。2025年实施

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

的GB/T45631-2025标准进一步明确了飞行管理信息的传输要求,要求无人机测绘系统实时上传飞行状态数据至监管平台。这种“事前审批-事中监控-事后追溯”的管理模式,旨在平衡空域资源利用与安全管控需求。

但现有政策仍存在滞后性。2014年北京某公司无人机“黑飞”测绘事件中,操作人员因未申请空域导致多架民航飞机避让,甚至出动军机迫降,最终以“过失以危险方法危害公共安全罪”被起诉。此类案例反映出政策执行与技术应用之间的脱节,特别是在临时作业、复杂地形等场景下,传统空域审批流程难以满足无人机测绘的时效性需求。

1.2安全风险类型分析

无人机测绘作业的安全风险可分为三类：法规合规风险、技术故障风险和操作人为风险。法规合规风险主要表现为未申请空域、超高度飞行等"黑飞"行为。如2025年某测绘公司案例中,操作人员在不具备资质的情况下开展作业,直接触发军事雷达预警。技术故障风险涉及硬件与软件两方面,GPS信号丢失时无人机可能失控,而传感器故障会导致避障失效。操作人为风险则占事故原因的60%以上,广东韶关无人机碰撞输电线路事故,即因操作人员违规吊运物资引发[2]。

低空空域的复杂环境加剧了这些风险。城市建筑遮挡会影响GPS信号稳定性,而山区气流紊乱可能导致无人机姿态失控。同时,无人机与飞鸟、风筝等低空物体的碰撞概率也高于中高空飞行。

2 安全保障体系的核心构成

2.1法规适配与流程优化

构建安全保障体系的首要环节是建立合规作业流程。操作人员需完成中国民用航空局(CAAC)规定的注册和培训,获取操作员证书。针对测绘作业特点,应开发专用的空域申请平台,实现“任务报备-空域审批-动态调整”的全流程线上化。2025年实施的GB/T45631标准要求飞行管理信息实时传输,可通过API接口将无人机状态数据接入监管系统,实现违规行为的自动预警。

对于紧急测绘任务,可设计分级审批机制。如自然灾害应急测绘,可申请“绿色通道”,在2小时内完成空域审批。同时,应建立测绘单位的信用档案,对违规行为实行扣分制,累计扣分达到阈值的单位暂停作业资格。这种"信用+审批"的管理模式,可提高法规执行效率。

2.2技术防护系统集成

2.2.1多传感器避障系统

激光雷达(LiDAR)与视觉传感器的融合应用,可显著提升无人机的环境感知能力。室内防撞无人机通过激光雷达生成3D点云数据,结合SLAM(即时定位与地图构建)技术,实现无GPS环境下的自主避障。在室外测绘中,可采用“激光雷达+毫米波雷达”的组合方案,激光雷达提供高精度测距,毫米波雷达则适用于恶劣天气下的障碍物探测[3]。广东韶关事故的教训表明,缺乏有效避障系统的无人机,在接近输电线路等细长障碍物时极易发生碰撞。

2.2.2导航与返航冗余设计

GPS信号丢失是导致无人机失控的重要原因。完善的导航系统应包含多重备份:GPS为主导航,北斗系统为备用,同时集成视觉定位和惯性测量单元(IMU)。当GPS信号弱时,自动切换至视觉-惯性导航模式,维持无人机稳定悬停。应急返航机制需设置多重触发条件,如电量低于20%、通信中断超过10秒或姿态异常时,立即启动返航程序。某无人机厂商的测试数据显示,优化后的返航逻辑可将失控概率降低80%以上[4]。

2.2.3硬件防撞结构优化

无人机机身采用碳纤维与航空铝的复合框架,可增强抗碰撞能力。实验表明,加装航空铝支撑杆的无人机,在单点碰撞测试中能保持结构完整并继续飞行。对于特殊测绘场景,如地下管道或岩洞作业,可配备防撞网或防护罩,允许无人机进行碰撞飞行。这种硬件防护措施,为技术故障或操作失误提供了最后的安全屏障。

2.3操作规范与人员培训

2.3.1标准化操作流程

飞行前检查需包含电池状态、螺旋桨完整性和飞行控制器功能等项目。可采用Checklist模式,逐项确认后才能起飞。飞行中应实时监控气象数据,风速超过6级或能见度低于1公里时立即停止作业。某无人机测绘项目的安全方案显示,严格执行飞行前检查可使设备故障引发的事故率下降75%。

2.3.2分级资质管理

操作人员资质应与作业难度挂钩。基础级资质允许开展简单地形的低空测绘,专业级资质则需通过复杂气象条件和应急处理的考核。培训内容应包括法规知识、飞行技术和数据安全等模块,培训结束后需通过理论和实践双重考试。定期复训制度可确保操作人员持续更新知识,建议每两年进行一次复训。

2.3.3情景模拟训练

利用虚拟现实(VR)技术构建复杂作业场景,如机场净空区测绘、山区应急测绘等,让操作人员在虚拟环境中练习应对突发状况。2024年某无人机培训案例显示,VR模拟训练可使操作人员的应急响应速度提升40%。这种沉浸式训练方式,能有效弥补传统课堂教学的不足[5]。

2.4应急响应与事故处置

2.4.1多层级应急机制

建立“现场处置-企业支援-政府协调”的三级应急体系。现场操作人员发现异常时,立即启动无人机返航或迫降程序；企业应急小组负责数据备份和设备回收；涉及公共安全的事故,如无人机坠落居民区,应立即上报空管和公安部门。2025年某测绘事故的处置经验表明,明确的应急分工可减少事故影响范围达60%。

2.4.2数据安全防护

测绘数据传输需采用加密技术,避免敏感信息泄露。飞行数据应实时备份至云端,同时在本地存储加密副本。操作人员需签署数据保密协议,未经授权不得对外提供测绘成果。某无人机安全方案强调,数据安全措施与飞行安全具有同等重要性。

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

2.4.3事故调查与改进

任何安全事故都应进行根本原因分析(RCA),形成改进措施并落实。如针对无人机碰撞输电线路的事故,应从设备避障能力、操作人员培训和作业风险评估等方面提出改进方案。建立行业事故数据库,共享经验教训,可促进整个无人机测绘领域的安全水平提升。

3 体系实施的保障措施

3.1政策协同与标准落地

(1)构建高效的政策协同机制与确保标准精准落地,是推动安全保障体系顺利实施的关键基石。空管、测绘、应急管理等多部门应迅速建立常态化的联席会议机制,每月至少召开一次会议,针对安全保障体系实施过程中出现的各类复杂问题,进行集中研讨与协调解决。

(2)GB/T45631-2025标准作为重要的行业规范,其有效实施离不开配套细则的支撑。相关部门应组织行业专家、企业代表等,深入研究该标准,制定详细的配套细则,明确政府部门、企业、测绘单位等各参与主体在无人机测绘安全保障工作中的具体责任和义务。

(3)地方政府在政策制定方面也应发挥积极作用,依据区域特点,因地制宜地制定低空空域无人机测绘实施办法。以粤港澳大湾区为例,作为我国低空经济高度活跃地区,可大胆开展试点工作,探索更灵活、更具创新性的空域管理政策。

3.2技术创新与产业支持

(1)技术创新是提升无人机测绘安全性能的核心驱动力,而产业支持则为创新提供了坚实的物质基础和良好的发展环境。政府应出台一系列优惠政策,鼓励企业加大在无人机测绘设备研发方面的投入。对于采用先进避障技术、高精度定位技术等的产品,给予税收减免、财政补贴等实质性优惠。

(2)为进一步推动低空空域安全技术研究,政府可设立专项基金,每年投入数亿元资金,支持高校和科研机构开展相关课题研究。在研究方向上,聚焦无人机与民航飞机的防撞技术、复杂环境下的导航算法、无人机通信抗干扰技术等关键领域。例如,在无人机与民航飞机的防撞技术研究中,科研团队可通过建立高精度的飞行轨迹预测模型,开发智能防撞预警系统,当无人机与民航飞机的飞行路径出现潜在冲突时,能够及时发出警报并自动调整无人机飞行姿态,避免碰撞事故的发生[6]。

3.3公众参与与社会监督

(1)公众参与和社会监督是构建全方位无人机测绘安全保障体系不可或缺的重要环节。首先,应建立专门的无人机测绘安全公众举报平台,该平台可通过手机APP、微信公众号等多种渠道接入,操作简便、反馈及时。对于市民举报的“黑飞”行为,相关部门要迅速响应、认真核查,一经查实,依法依规严肃处理,并及时向举报人反馈处理结果,对有效举报给予一定的物质奖励,充分调动市民参与监督的积极性。

(2)通过广泛开展科普宣传活动,全面提高公众对无人机安全的认知水平。在社区、学校、企业等场所定期举办无人机法规和安全知识讲座,邀请行业专家和执法人员现场讲解,内容涵盖无人机飞行许可制度、禁飞区域规定、安全操作规范等。同时,利用电视、网络、报纸等各类媒体,制作并播放通俗易懂的科普视频、漫画等宣传资料。新闻媒体在报道无人机安全事件时,应秉持客观、公正的原则,如实还原事件真相。以2024年广东韶关的停电事故为例,当时因无人机违规飞行导致电力设施受损,引发大面积停电。媒体通过对这一事件进行深入报道和分析,剖析事故原因和造成的严重后果,以真实案例对行业和公众进行警示教育,切实增强全社会的无人机安全意识。

4 结尾

在低空空域管制日益严格的背景下,构建科学完善的无人机测绘作业安全保障体系,是行业健康发展的必然要求。本文提出的法规适配、技术防护、操作规范和应急响应四维体系,融合了最新的政策标准和技术成果,为解决无人机测绘安全问题提供了系统性方案。从北京“黑飞”事件到广东韶关的碰撞事故,案例教训反复证明,只有将安全理念贯穿于作业全流程,才能实现无人机测绘技术的安全、高效应用。

随着GB/T45631-2025等标准的实施和技术的不断进步,无人机测绘安全保障体系也需要持续优化。未来的研究方向应包括：人工智能在无人机自主避障中的深度应用、低空空域动态管理模型的构建、以及跨部门安全数据共享机制的建立等[7]。只有通过政策、技术、管理的协同创新,才能为低空经济的发展筑牢安全基石,推动无人机测绘在智慧城市、环境保护等领域发挥更大价值。

[参考文献]

[1]华鹏军.无人机航测技术在工程测量中的应用分析[J].工程技术研究,2022,7(4):209-211.

[2]毛建华.低空轻型无人机航测技术在矿山地形测绘中的应用探究[J].世界有色金属,2018(21):16,18.

[3]奎春香,周玉秀,王永菊.无人机遥感技术在测绘工程测量中的运用[J].工程技术研究,2020,5(19):96-97.

[4]李中立.无人机遥感技术在测绘工程测量中的运用[J].中国战略新兴产业,2018(46):166.

[5]郭晨,许强,董秀军,等.无人机在重大地质灾害应急调查中的应用[J].测绘通报,2020(10):6-11,73.

[6]杨超.浅析低空无人机在测绘中的应用[J].科学中国人,2016(8Z).

[7]袁伟韬.工程测绘中无人机遥感测绘技术的应用研究[J].中国金属通报,2020(1):267,269.

作者简介：

张东芳(1981--),男,辽宁省盘锦市人,大学本科,工程测量专业中级职称,沈阳东方恒达测绘科技有限公司总经理,研究方向测绘工程与地理信息。