文章编号：1003-1421(2026)04-0026-08
引用格式：张雯婕，魏少伟，魏培勇，等. 民用轻小型无人机检测认证现状及铁路场景需求分析[J]. 铁道运输与经济，2026，48(4)：26-33.
ZHANG Wenjie，WEI Shaowei，WEI Peiyong，et al. Current Status of Detection and Certification for Civilian Light and Small Unmanned Aerial Vehicles and Demand Analysis in Railway Scenarios[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(4)：26-33.

民用轻小型无人机检测认证现状及铁路场景需求分析

张雯婕[1,2]，魏少伟[1,2]，魏培勇[1,2]，王 琦[1,2]

(1.中国铁道科学研究院集团有限公司 高速铁路轨道系统全国重点实验室，北京 100081；
2.中国铁道科学研究院集团有限公司 铁道建筑研究所，北京 100081)

摘 要：为解决现有标准对铁路等专业场景覆盖不足的问题，构建适配铁路环境的检测认证框架。以民用轻小型无人机检测认证体系为研究对象，聚焦铁路巡检场景的特殊需求，通过国内外标准梳理分析，发现在铁路场景关键需求上存在显著缺口：接触网强电磁环境下的飞控稳定性测试缺失；山区强风雨等复杂气象条件的适应性检验方法空白。通过分析铁路巡检对无人机的特殊要求，结合电网、农业等行业专用标准实践经验，提出构建“通用指标+铁路专用指标”的双层检验体系。通用层延续可靠性、动力能源性能等普适性指标，保障基础安全；专用层增设接触网电磁抗扰度、风雨环境飞行稳定性等特色指标。研究结果表明，构建场景化检测认证体系可有效弥补现有标准对铁路环境的适配不足，为无人机在铁路桥梁巡检、接触网状态检测等场景的安全应用提供技术支撑。

关键词：无人机；铁路场景；检测认证；标准体系；低空经济
中图分类号：U216.3 **文献标识码**：A **DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250806002

Current Status of Detection and Certification for Civilian Light and Small Unmanned Aerial Vehicles and Demand Analysis in Railway Scenarios

ZHANG Wenjie[1,2]，WEI Shaowei[1,2]，WEI Peiyong[1,2]，WANG Qi[1,2]

(1. National Key Laboratory of High-Speed Railway Track System, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China; 2. Railway Engineering Research Institute, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China)

Abstract: To address the problem of insufficient coverage of professional scenarios including railways in existing standards, this paper developed a detection and certification framework adapted to railway environments. Taking the detection and certification system for civilian light and small unmanned aerial vehicles as the research object and focusing on the special requirements of railway inspection scenarios, this paper sorted out and analyzed Chinese and international standards and found significant gaps in the key requirements for railway scenarios: the lack of flight control stability tests under the strong electromagnetic environment of overhead contact lines and the absence of adaptability test methods for complex meteorological conditions such as high wind and rain in mountainous areas. By analyzing the special requirements of railway inspection for

收稿日期：2025-08-06
通信作者：王琦(1999—)，男，湖北仙桃人，中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所研究实习员。
基金项目：中国铁道科学研究院集团有限公司科研项目(2024YJ201，2024YJ360)

unmanned aerial vehicles and combining with practical experience from industry-specific standards in power grids, agriculture, and other industries, this paper proposed a two-tier inspection system of "general indicators + railway-specific indicators". The general tier retained universal indicators such as reliability and power and energy performance to ensure basic safety; the railway-specific tier added characteristic indicators including electromagnetic immunity of overhead contact lines and flight stability in wind and rain environments. The research results show that the established scenario-specific detection and certification system can effectively make up for the insufficient adaptability of existing standards to railway environments and provide technical support for the safe application of unmanned aerial vehicles in scenarios including railway bridge inspection and condition detection of overhead contact lines.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle; Railway Scenario; Detection and Certification; Standard System; Low-Altitude Economy

0　引言

随着无人机技术的快速迭代，民用轻小型无人机已广泛应用于农业植保、电力巡检、应急救援等民生领域，尤其在铁路巡检场景中，无人机对桥梁结构病害识别、接触网状态检测、外部环境巡检的应用需求日益凸显。据 Drone Industry Insights2024 年发布《Global Drone Industry Analysis 2024》显示全球民用无人机市场规模年均增长率提升[1]，但安全事故率亦同比上升，其中因电池热失控、电磁干扰导致的事故占比较多。产业生态中存在企业发展不规范、市场竞争无序等问题，导致“劣币驱逐良币”现象，产品质量良莠不齐。精准飞行、避障等核心技术成熟度不足，进一步加剧了安全风险[2]。从无人机系统风险类型看，电击、火灾、机械伤害等安全事件频发[3]，而“黑飞”现象与铁路沿线无人机侵入限界等问题，更凸显检测认证在空域管理与铁路运行安全中的必要性。

检测认证是无人机安全风险防控的技术基石，也是合规性与技术迭代的双重驱动。市场准入高度依赖检测认证，欧盟要求 2024 年起入境无人机需通过 CE 认证，美国对出口无人机实施 FCC、UL 认证，对于进口到英国市场的无人机要求进行 UKCA 认证。标准的约束性也倒逼企业开展技术升级。我国以《民用无人驾驶航空器系统安全要求》(GB 42590—2023)强制性标准为里程碑，首次明确了民用轻小型无人机的电子围栏、远程识别、应急处置、结构强度、整机跌落等 17 项核心安全指标，推动检测认证从单一性能验证向全生命周期安全管理转型[4]。《“十四五”民用航空发展规划》亦指出，需加强无人机适航验证方法研究，完善基于风险的适航管理模式[5]。但在铁路巡检场景中，现有检测认证体系的适配性不足问题已逐渐显现，例如在山区强风雨环境下无人机动力输出不稳定、飞控系统抗电磁干扰能力不足等问题，而现有标准未针对此类铁路特殊环境制定专项检测指标，导致无法通过认证体系筛选出适配产品。

鉴于上述原因，为解决现有标准对铁路等专业场景覆盖不足的问题，亟需构建适配铁路环境的检测认证框架。本研究以民用轻小型无人机检测认证体系为研究对象，聚焦铁路巡检场景的特殊需求，通过国内外标准对比分析、铁路场景需求解构及技术缺口识别，系统探讨检测认证体系的现状与优化路径。

1　检测认证现状

1.1　民用轻小型无人机系统构成及检测认证现状

民用轻小型无人机的核心运行主要依赖动力系统与飞控系统的协同工作，其中动力系统整合了能量供给与输出功能，包含电池、电机等关键部件，飞控系统负责飞行姿态与安全控制，两大子系统的性能与安全影响着整机运行效果，目前国内外已形成针对性检测认证规范，我国部分无人机标准现状如表 1 所示。

1.1.1　动力系统

动力系统是无人机飞行的核心执行单元，整合能量供给与能量输出功能。国内检测以 GB 42590—2023 强制性标准为核心准入要求，明确对锂离子电池、氢燃料电池、燃油动力系统的基础安全性底线；GB/T 38058 作为推荐性标准，进一步细化动力

表1　我国部分无人机标准现状

Tab.1　Current status of existing unmanned aerial vehicle standards in China

类别	对象	主要标准
整机	通用要求	GB/T 38152，GB/T 35081，GB/T 44091，GB 42590，GB/T 38058，GB/T 38924系列，GB/T 44715，GB/T 44717
动力能源	锂离子电池	GB/T 38058
	电机	GB/T 39567
	充电系统	T/CPSS 1007~1008
通信与服务系统		MH/T 4055.2，YD/T 3585，CTSO-C213
飞控与导航	通用要求	GB/T 38997

系统中电池模块的专项测试方法，涵盖充电时间、放电容量、循环寿命等性能指标，以及过充、短路、低气压、跌落、热滥用等13项安全试验的操作规范。但聚焦充电系统的专项细化标准，现有体系仍显薄弱，仅出台电机通用规范GB/T 39567及相关团体标准，缺乏系统性专项技术要求。

国外检测认证以通用安全与场景适配为核心。欧盟CE认证要求动力系统符合EN 62368-1标准，同时需通过电磁兼容(EMC)指令与无线电设备(RED)指令检测[6-9]。美国市场默认要求动力系统符合ANSI/UL 62368-1标准，未达标的产品面临下架风险；日本PSE认证以IEC 62368-1标准为核心，其中将无人机充电器列为“特定电气用品与材料”，实施严格的菱形认证制度。

1.1.2　飞控系统

飞控系统作为无人机飞行控制核心，涵盖传感器、控制器及执行机构，检测认证核心聚焦飞行姿态控制精度、抗电磁干扰能力、应急响应速度及数据传输安全性等。国内GB/T 38997—2020对轻小型多旋翼无人机飞行控制与导航系统提出通用要求，对功能、性能、软件、接口等以定性表述为主，量化指标少。GB 42590—2023强制性标准进一步明确要求，轻型和小型多旋翼无人机悬停时水平保持精度≤2 m(RMS)、高度保持精度≤2 m(RMS)，自动返航后降落点位置精度≤5 m(RMS)，同时需具备关键飞行参数限制与保护能力，包括最大飞行高度和最大平飞速度限制。该标准还要求飞控系统具备电子围栏触发自动返航机制，以及对数据链保护有所要求，但电磁兼容性方面仅对辐射发射、工频磁场、射频磁场及静电放电抗扰度进行了要求，针对铁路接触网强电磁干扰等专业场景没有制定专项抗干扰指标，专业场景适配性检测仍属空白。

国外飞控系统检测认证更注重多场景适配与数据安全。欧盟CE认证需通过数据安全专项测试，同时满足EN 301 489系列标准的电磁兼容性要求。美国FAA通过Part 89法规强制要求飞控系统具备Remote ID功能，从起飞到关机需持续广播无人机序列号、位置、速度、时间标记等核心信息，且需经第三方检测机构验证适航符合性[10]。澳大利亚展开RCM认证，强制要求产品需符合IEC 62368-1标准，并注册RCM标志，表明其符合电气安全和EMC要求。国际协同层面，ISO 2025年发布的《无人机感知与避障系统》ISO 15964标准规定了无人机感知与避障系统的基本功能，包括对航空器、建筑物及其他障碍物的实时探测与规避能力，标准特别针对如高楼密集区的城市复杂场景提出了适应性要求，确保无人机在高干扰环境下的稳定运行，相关技术条款被多个国家纳入飞控系统检测标准[11]。

1.2　国内外标准体系与实践

1.2.1　国内标准体系与实践

我国已形成“强制性标准+自愿性认证”的立体化体系。强制性标准以GB 42590—2023为核心，覆盖微型、轻型、小型无人机，涵盖电子围栏、远程识别、应急处置、结构强度、整机跌落等17项核心指标[12]，如电子围栏需在禁飞区边界外指定范围内触发自动返航等机制，整机需通过10 m跌落测试且不爆炸等。自愿性认证包括CQC45民用无人机认证、农机植保无人机认证、电力无人机认证等[5]。但如铁路巡检无人机的山区特殊环境适应、电气化铁路电磁兼容等特殊行业场景下的专项认证仍属空白。

《“十四五”民用航空发展规划》强调需完善无人机适航管理模式，凸显检测认证在技术验证中的战略地位[5]。检测机构方面，早在2015年，国家机器人检测与评定中心已启动认证工作，其认证范围覆盖无人机整机及关键零部件的安全与电磁兼容性。现如今，许多第三方检测机构如北京中关村e谷、广州赛宝(工信部第五研究所)、深圳检测院、重庆凯瑞机器人等，已具备综合环境试验、电磁兼容性试验等基础能力检测认证能力与资格，但高原低气压、铁路接触网强电磁环境、山区强风雨等特

殊场景化测试方面存在能力缺口。

1.2.2　国际标准体系与实践

国际上，对于无人机的检测认证也在稳步推行，美国FAA Part 107法规聚焦小型无人机操作员资质、飞行高度限制、禁飞区管理等操作要求[13]，Part 89法则明确无人机远程识别等硬件技术强制规范[10]；技术认证层面，无人机及其充电器需符合ANSI/UL 62368-1电气安全标准，美国海关与市场监督机构将其作为市场准入核心依据。英国在脱欧后，市场要求使用UKCA标志，其安全标准虽与EN 62368-1完全一致，但目前需要单独进行符合性评定和标注。加拿大进行CSA认证，强制要求无人机需符合CSA C22.2 No. 62368-1标准，该标准与UL标准高度协调一致。通常可与美国市场一起申请cULus认证，一次测试，同时获取两国证书。澳大利亚进行RCM认证，强制要求产品需符合IEC 62368-1标准，并注册RCM标志，表明其符合电气安全SAA和EMC要求。

1.3　标准体系现存不足

我国无人机检测标准主要存在覆盖缺失、性能滞后、接口不统一、国际接轨程度较低等问题。现有标准以硬件基础安全为核心导向，GB 42590—2023等标准重点规范动力系统的电池安全、结构强度、可控性等基础安全指标[4]，对专业场景适配性与数据安全的覆盖相对有限，且缺乏针对特殊环境的专项检测要求，无法支撑高精度、高智能化的导航需求；动力系统等关键指标也缺乏统一约束，核心部件的协议呈现碎片化状态。

相较于国外体系，我国标准与FAA，ISO等国际规范衔接不足，国际互认难度较大。国外多以“统一认证+专项管控”为核心，英美等区域认证构成市场准入关键，在遵循国际标准的基础上，强化区域空域管理适配性要求，管理模式更具灵活性与针对性。例如，欧盟通过EASA框架整合各国法规，依托U-Space系统实现无人机空域的精细化管控，其认证体系既涵盖通用安全要求，也包含复杂场景专项适配条款；美国、澳大利亚等则通过专项法规明确场景化技术要求，形成“国际标准 + 区域特色”的认证模式，更能满足不同国家的管理与应用需求。

2　检测认证核心项目与方法

2.1　检测认证项目体系

检测认证项目需覆盖无人机全生命周期的关键技术指标，结合国内外标准及应用场景需求，可基本划分为安全性能、飞行性能、动力能源性能、环境适应性4大维度。其中部分检测认证项目分类与标准依据如表2所示。

2.2　检测方法

2.2.1　检测方法概述

现阶段检测方法以物理测试与实验室模拟为核心，通过标准化流程验证无人机在不同场景下的性能稳定性，其技术依据主要源于GB/T 38058《民用多旋翼无人机系统试验方法》及GB/T 38924《民用轻小型无人机系统环境试验方法》系列标准。该类方法已形成成熟的分类框架，主要涵盖环境适应性、安全性能、飞行性能3大核心检测维度，为通用场景下的产品质量验证提供了基础技术支撑。

（1）环境适应性检测。环境适应性检测聚焦无人机在不同气候与复杂物理环境中的耐受能力。如

表2　检测认证项目分类与标准依据

Tab.2　Classification and standard basis of detection and certification items

一级项目	二级项目	核心测试内容(部分)	国内标准	国际参考标准
安全性能	电子围栏	禁飞区边界响应精度、自动返航功能	GB 42590—2023	FAA Part 107
	应急处置能力	导航失效响应、避障灵敏度	GB 42590—2023，GB/T 38058—2019	ASTM F3826-21
	数据链保护	加密破解率	GB 42590—2023	FIPS 140-2
飞行性能	悬停精度	定点悬停误差(≤1.5 m)	GB/T 38058—2019	ISO 5286—2023
	超视距(BVLOS)	13英里通信延迟≤50 ms	民航局试点标准	FAA Part 107
动力能源性能	锂电池安全	跌落冲击、过充保护、热失控防护	GB 42590—2023	UN38.3
环境适应性	综合环境	高低温、湿热等环境试验项目	GB/T 38924系列	IEC 60068-2-30
	电磁兼容性	发射、抗扰度	GB 42590—2023	FCC Part 15 / EN55022
	抗风能力	起风条件下稳定飞行	GB/T 38058—2019	IEC 60068-2-64

高低温循环测试需在可调控的环境箱内模拟，−20 ℃~60 ℃温度区间，以不大于3 ℃/min的温度变化速率将试验箱(室)内温度调节至有关文件规定的高温工作温度，保持此温度直至无人机系统温度稳定再降温，并对过程中功能/性能进行检测记录检测结果。针对高原场景，需在低气压试验舱内模拟规定海拔的气压环境，监测动力系统效率下降率。电磁兼容性测试则在屏蔽室内施加射频干扰信号，检测通信链路中断次数等功能，确保能在其运行的电磁环境下保障系统安全工作，且不对公共信号产生干扰。此外，IP防护等级测试也要通过防尘试验箱与喷水装置验证无人机防尘防水能力[14]。特殊行业应用的如警用无人机还需通过不同风场环境，在不同水平风速、垂直风速等条件下，测试起飞降落稳定性与航线保持能力[15]。

（2）安全性能检测。安全性能检测围绕无人机控制系统的可靠性、数据链保密性等方面展开。应急处置能力测试对于不同的失效情况，观察无人驾驶航空器是否自动完成返航、降落、悬停/空中盘旋、开伞等保护动作。数据链保护要求被测样机预留上位机或测试工具的接入接口；应具有数据链安全功能的配置工具、抓包工具、协议分析工具和密码算法检测工具。

（3）飞行性能检测。飞行性能检测以动态实操测试为核心，主要是测试无人机的飞行及定位精度。通过RTK定位设备(精度≤0.1 m)测量无人机定点悬停、返航、与历史航线等的位置偏差[16]。续航能力测试采用工况法，模拟实际作业航线，如电力巡线的“起飞爬升–悬停作业–航路转移”循环，实测续航时间与标称值的偏差[17]。

2.2.2　检测实施方案

无人机检测试验的开展，遵循国标、行标、企标构成的层级化标准体系，具体检测类型可划分为第三方型式试验、出厂试验、验收检验、送样检测、专项抽检及到货抽检6大类。其中，外观特性、巡航功能、巡检功能、地面站软件特性为各类检测均需强制覆盖的基础项目；涉及部件损坏风险的破坏性检测项目，通常仅在型式试验与专项抽检中开展；其余非强制性检测项目，可由供需双方根据实际应用场景需求协商确定是否实施。

3　铁路无人机系统检测认证需求

3.1　铁路无人机系统检验的需求分析

随着我国国民经济的快速发展，铁路基础设施建设持续推进。截至2025年底，全国铁路营业里程达16.5万km，其中高速铁路超5万km。在轨道交通领域，高速列车的安全运行依赖于高性能动力系统——当前高速铁路普遍采用电气化牵引技术，动车组通过受电弓从27.5 kV接触网获取电能[18]。这一技术特性使得铁路接触网及变电所周边形成特定强度的电磁场环境[19]，对临近作业的无人机电子系统构成潜在干扰风险。与此同时，我国高速铁路网络跨区域气象环境复杂多样。随着线路里程的持续扩展，列车运行面临的气象条件愈发多元，其中风载荷与强降雨是影响铁路安全运营的典型环境因素[20]。上述铁路场景的技术特性与复杂环境，对无人机巡检的环境适应性提出差异化要求，亟需在检测认证体系中增设针对性的电磁兼容性与极端气象耐受性测试指标。

当前国家层面的无人机检验标准如GB 42590，GB/T 38058等多侧重通用安全性能，尚未充分覆盖铁路场景中接触网电磁干扰、山区风雨等特殊环境对无人机系统的影响，导致在通信抗干扰能力、极端气象适应性等关键性能方面存在检验指标与方法空白。现有无人机性能指标体系缺乏对铁路复杂场景的针对性，例如传统检测方法未考虑高原低气压环境对无人机动力系统效率的影响，也未涉及电气化铁路接触网周边强电磁环境对飞控系统稳定性的干扰测试。在“抗电磁干扰检验、风雨环境飞行稳定性测试”等铁路场景核心需求方面，现有标准仅提供通用环境适应性指标，与铁路山区实际存在的强侧风、突发降雨等极端气象条件不匹配。

当前其他行业已针对“通用标准难以覆盖专业场景”的问题形成较为成熟的应对思路，通过制定专用标准实现精准适配。电网领域已发布DL/T 1578—2021《架空电力线路多旋翼无人机巡检系统》，在通用标准基础上补充了电力巡检专属技术要求：明确无人机需具备6~10 m/s抗风能力、小雨环境下稳定飞行不小于5 min的抗雨性能；细化可见光、红外传感器等任务设备的作业精度指标，强

化自主精细化巡检功能要求；同时提升抗电磁干扰等级至A级，明确通视条件下数据传输距离不小于4 km，全面适配电力线路巡检的强电磁、复杂气象场景。农业领域的GB/T 43071《植保无人飞机》同样遵循“通用+专用”的逻辑，在基础安全指标之外，增设农业植保场景专属要求，例如液泵连续运转30 min无异常、药箱加液口直径不小于10 cm等，确保设备适配田间作业需求。

参考上述行业实践，结合铁路巡检对无人机系统的特殊要求，亟需构建铁路无人机“通用特性指标+铁路专用特性指标”的双层检验体系：通用层延续可靠性、动力能源性能等普适性指标，确保无人机满足基础安全要求；专用层针对铁路场景增设接触网电磁环境下飞控及通信稳定性、风雨条件下载荷数据采集精度、高原低气压环境动力系统效率衰减率等特色指标，例如要求无人机在12 m/s风速+中雨环境中飞行姿态角偏差不超过±15°。该双层体系设计可有效弥补现有标准对铁路场景特殊风险的覆盖缺失，为无人机在桥梁巡检、接触网状态检测等铁路作业中的安全应用提供技术依据。

3.2　铁路无人机系统检验方法分析

铁路沿线强电磁、山区风雨等环境对无人机安全运行影响显著，但现有检验方法难以模拟真实场景，导致检验结果与实际运行效果脱节。针对铁路强电磁环境，需搭建接触网电磁模拟平台，通过设备采集高原铁路、高速铁路等线路的真实电磁环境数据[21]，在实验室环境中复现包含工频磁场、射频磁场干扰等多成分耦合的复杂电磁场景，测试无人机在电气化铁路接触网电磁强度下的飞控指令响应延迟、数据链丢包率等关键参数。针对山区风雨等特殊环境，需利用风雨模拟装备，构建包含梯度风速、不同降雨强度及风向突变的综合试验场景，动态监测无人机在复杂气象条件下的姿态角波动、航线偏移距离、载荷设备成像清晰度等数据，解决传统室内风洞试验无法模拟自然湍流的技术瓶颈。

结合层级化标准体系与铁路场景特殊性，制定差异化检测实施方案：型式检验需实现全项目覆盖，既包含通用安全与性能指标验证，也需通过接触网电磁模拟平台、风雨综合试验舱等专用设备，完成铁路场景特有的电磁抗扰度、复杂气象适应性、高原海拔适配性等专项测试，确保产品全维度符合技术要求；出厂检验聚焦核心安全参数与基础功能性指标，重点核查外观基本状态、控制站运行功能、防差错设计有效性、巡航自检测能力及电池基础功能特性等，保障产品出厂核心性能达标；专项抽检则针对特定线路场景需求，如高原低气压和强电磁叠加环境等，灵活组合对应专项测试项目开展针对性验证。所有检测严格遵循国标、行标及铁路标准技术要求，按标准化检验方法执行，提升检验结果与铁路实际作业需求精准匹配度。

4　检测认证发展方向

4.1　智能化检测技术

智能化检测技术已成为产品认证体系革新的核心驱动力，其核心逻辑在于通过部署多维度传感器，实时捕获设备运行过程中的温度、振动、电流及电压等关键参数，构建全域覆盖的动态监测网络[22]。所采集的数据经无线传输技术同步至后端分析平台后，依托机器学习算法对数据特征进行深度挖掘，精准识别潜在故障关联的异常模式[23]。通过学习历史运行数据建立设备基准工况模型，系统可在实时数据偏离阈值时自动触发预警机制，为产品认证提供兼具量化性与时效性的科学依据。

一方面，该技术显著改善了传统性能测试的固有局限——自动化测试平台能够模拟复杂多变的实际工况，开展长时间、高强度的稳定性验证，通过精准调控测试参数，有效规避人力操作带来的误差，大幅提升认证测试的效率与准确性[23]。另一方面，在安全认证环节，大数据分析技术通过对历史故障数据的系统性解构，可精准定位设计缺陷、材料性能短板及生产工艺偏差等安全关键影响因素。基于这些分析结果形成的针对性改进建议，还能通过模拟实验完成有效性验证，进一步强化认证结果的可靠性[24]。未来的无人机将更加智能化、自主化、集群化和网联化，配套的检测认证技术必须同步跟进，为整个行业的健康发展提供支撑[3]。

4.2　国际标准互认

国内检测认证和国际检测认证目前存在着异

同，目前中国民用航空局与美国联邦航空局先后签署的《适航实施程序》正式生效，实现了两国民用航空产品的全面对等互认，内容涵盖适航审定在设计批准、生产监督活动、出口适航批准、设计批准证后活动及技术支持等方面的合作。未来无人机检测认证需在现有民航适航互认框架基础上，推动认证结果的国际互认，尤其针对铁路巡检、城市物流等新兴场景，建立专项技术规范的互认机制，通过检测数据跨境共享减少重复测试成本，最终形成“国内标准为基、国际互认为翼”的认证体系，助力无人机从区域合规迈向全球通认。

4.3　全场景检测能力建设

针对近年来无人机逐渐在多领域应用，出现了很多新兴场景，如铁路无人机巡检等，需加快专项标准制定，并且随着应用场景多元化，检测能力需向极端环境与专业领域延伸。高原无人机需通过低气压测试，而沿海无人机需强化盐雾腐蚀测试，铁路场景需要模拟电气化铁路电磁环境与山区强风雨环境。最终形成覆盖全场景、全环境、全生命周期的检测认证能力矩阵，为无人机在轨道交通等各专业领域的规模化应用筑牢安全屏障。

5　结论

研究系统梳理国内外标准体系，从安全性能、飞行性能、环境适应性等维度解析检测认证核心项目与方法，参考电网、农业等行业专用标准的实践经验，揭示出现有体系在保障基础安全的同时，对铁路等专业场景特殊需求的覆盖存在显著缺口。针对铁路巡检中接触网强电磁环境、山区复杂气象、高原低气压等典型场景的适配不足问题，结合铁路场景特殊性，提出构建“通用特性指标+铁路专用特性指标”的双层检验体系，强调在现有标准框架下增设接触网电磁抗扰度、复杂气象飞行稳定性等特色检测项目，为解决铁路无人机运行中的实际安全风险提供了技术路径。面向低空经济规模化发展需求，未来需重点推进3方面工作：①强化智能检测技术研发，完善专项检测方法，提升接触网电磁模拟、山区风雨环境等场景化测试能力；②加快国内外标准协同，推动铁路等专业领域检测规范的国际互认；③聚焦新兴应用场景，构建覆盖全环境、全生命周期的检测认证能力矩阵，为无人机在轨道交通等专业领域的安全合规应用筑牢技术支撑。

参考文献：

[1] WACKWITZ K. Global Commercial Drone Industry Analysis 2024: Market Trends, Operations Data, and Company Rankings[M]. Hamburg: Drone Industry Insights, 2024.

[2] 胡应东，胡　涛，苗延青. 民用无人机质量安全问题及应对措施探析[J]. 航空标准化与质量，2021(2)：19-23.
HU Yingdong, HU Tao, MIAO Yanqing. Quality and Safety Problems and Countermeasures of Civil Unmanned Aircraft System[J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2021(2): 19-23.

[3] 王　湛，王江东，杨宏伟. 民用轻小型无人机系统检测认证研究[J]. 质量与认证，2019(12)：52-54.
WANG Zhan, WANG Jiangdong, YANG Hongwei. Research on Test Item Planning for Civilian Lightweight and Small UAV System[J]. China Quality Certification, 2019(12): 52-54.

[4] 郭　坤，崔爱英，王　丹. 国内低空飞行器检验检测现状及发展趋势[J]. 质量与认证，2025(2)：61-64，68.
GUO Kun, CUI Aiying, WANG Dan. Current Status and Development Trends of Inspection and Testing for Low-Altitude Aircraft in China[J]. China Quality Certification, 2025(2): 61-64, 68.

[5] 常　猛，武新波，王江东. 无人机产业检验检测体系发展现状[J]. 质量与认证，2023(7)：34-36.

[6] European Union. Directive (EU) 2014/53 on the Harmonisation of the Laws of the Member States Relating to the Making Available on the Market of Radio Equipment[A]. Strasbourg: European Union Official Journal, 2014.

[7] European Union. Directive (EU) 2014/30 on the Harmonisation of the Laws of the Member States Relating to Electromagnetic Compatibility [A]. Strasbourg: European Union Official Journal, 2014.

[8] European Union. Directive (EU) 2014/35 on the Harmonisation of the Laws of the Member States Relating to the Safety of Low-Voltage Electrical Equipment[A]. Strasbourg: European Union Official Journal, 2014.

[9] European Union. Directive (EU) 2011/65 on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and

Electronic Equipment[A]. Strasbourg：European Union Official Journal，2011.

[10] Federal Aviation Administration. Part 89：Remote Identification for Unmanned Aircraft Systems. Title 14[A]. Washington：Federal Aviation Administration，2025.

[11] International Organization for Standardization. Detection and Avoidance Systems for Uncrewed Aircraft Systems：ISO 15964：2025[S]. Geneva：International Organization for Standardization，2025：5-16.

[12] 黄辉雄，林　俊，郭瑞睿. 民用无人机产品认证实施规则与测试标准[J]. 质量与认证，2023(7)：37-38.
HUANG Huixiong，LIN Jun，GUO Ruirui. Civil UAV Product Certification Implementation Rules and Test Standards[J]. China Quality Certification，2023(7)：37-38.

[13] Federal Aviation Administration. Part 107：Small Unmanned Aircraft Systems. Title 14 of the Code of Federal Regulations[A]. Washington：Federal Aviation Administration，2025.

[14] 解晓琴，申国锋，王　湛. 民用轻小型无人机飞行项目检测能力建设的方法[J]. 质量与认证，2022(4)：78-80.
XIE Xiaoqin，SHEN Guofeng，WANG Zhan. The Way of the Testing Capability Construction of Civil Light and Small UAV[J]. China Quality Certification，2022(4)：78-80.

[15] 李　牧，范殿梁，邱日祥，等. 警用无人机检测需求分析[J]. 中国安全防范认证，2016(5)：8-12.

[16] 杨宏伟，王　湛，王世琦. 民用轻小型无人机测控系统关键指标及检测思路[J]. 质量与认证，2019(12)：55-57.
YANG Hongwei，WANG Zhan，WANG Shiqi. The Key Technical Indicators and Detection Technology for Telecommand and Telemetry System of Civil Lightweight and Small UAV[J]. China Quality Certification，2019(12)：55-57.

[17] 王　湛，王江东，杨　帆. 关于无人机续航性能测试的研究[J]. 质量与认证，2019(2)：73-75.
WANG Zhan，WANG Jiangdong，YANG Fan. Research on the Performance Testing of Unmanned Aerial Vehicle[J]. China Quality Certification，2019(2)：73-75.

[18] 李祥瑞. 电力机车电磁辐射的机理及对周边环境的影响[J]. 中国新技术新产品，2013(20)：118-119.

[19] 黄　盾. 高速铁路电磁辐射环境影响因素研究[J]. 铁道工程学报，2013，30(8)：88-93.
HUANG Dun. Research on the Environmental Impact Factors of Electromagnetic Radiation from High Speed Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society，2013，30(8)：88-93.

[20] 冷　丹. 风雨耦合作用对高速铁路桥梁和车辆气动性能的影响机理研究[D]. 成都：西南交通大学，2020.

[21] 王　瑞，李亚群. 列车经过对高铁灾害监测系统风雨监测设备电磁环境影响研究[C]//中国智能交通协会. 第十二届中国智能交通年会大会论文集. 北京：中国铁道科学研究院电子计算技术研究所，2017：406-411.

[22] 何俊杰. 电力工器具智能化检测技术[J]. 大众用电，2024，39(2)：39-40.

[23] 张一鸣. 智能化检测技术在电力行业产品认证中的应用与发展趋势[J]. 产品可靠性报告，2025(5)：52-53.

[24] 周　洋. 电力计量装置故障智能化检测技术[J]. 电子元器件与信息技术，2022，6(11)：231-234，239.

(责任编辑　吴文娟)