

城市轨道交通智慧运维中 低空无人机技术应用探讨

彭朝仿, 廖龙飞, 莫珊珊

(南宁轨道交通运营有限公司, 广西 南宁 530004)

摘要 随着城市轨道交通网络规模的发展及“智慧城轨”战略的推进, 传统的依赖站外人工巡检方式面临效率有瓶颈、安全有风险的双重困境。本文重点分析城市轨道交通中人工巡视现状、存在问题, 提出基于智慧运维的一体化无人机智能巡检体系构架, 详细阐述了构建无人机智能巡检体系所需装备、主要功能及各设备间联动功能情况, 以期对城市轨道交通智慧运维中低空无人机技术的应用有所裨益。

关键词 城市轨道交通; 低空无人机; 智慧运维; 智能巡检

中图分类号: U12; TP24

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.10.011

0 引言

城市轨道交通是现代城市重要的交通大动脉, 想要安全高效地运行需要确保车站外沿线保护区内的整体环境安全。传统人工巡视难以持续满足城市轨道交通线网迅速扩大的安全管理需要, 低空技术和智能识别的无人机巡检技术迅速发展已为智能运维提供新的应用思路。基于此, 本文立足于城市轨道交通智能运维现实需求, 分析传统巡检的缺陷, 提出低空无人机智能巡检系统的构造、功能的要求、系统间的联动以及预期效果等方面可行路径的探讨。

1 城轨站外人工巡视现状

根据中国城市轨道交通协会 2025 年发布数据显示: 目前我国城市轨道交通运营线路总长达 11 710 公里, 共有车站 6 680 余座, 由此形成的安全保护区面积规模十分庞大。目前大部分地铁运营单位对地铁安全保护区仍采用人工徒步巡视方式进行日常管理。坚持“四定”原则, 即: 定人(巡查员)、定时(每天某个时间段)、定线(巡查路线)、定责(职责划分)。巡查员负责监督管理站口违停乱放、维护秩序; 保护区内有无违章搭建、堆载、搭设、挖掘等妨碍地铁构筑物安全的行为; 防汛、防火等抢险设施是否完好等, 巡查区域范围大, 事项繁杂, 工作任务重。巡查区域范围大, 事项繁杂, 工作任务重。

2 传统人工巡视模式的固有缺陷与时效性瓶颈

人工巡检这种方式仍然存在各种局限性, 在现阶段已经无法更好地满足城市轨道交通线网规模持续扩

大的实际需求。而且这种巡检工作方式不利于进一步提高线路的安全管理水平, 特别是精细化和智能化水平, 主要表现在以下四个方面。

2.1 效率低, 覆盖范围有限

人工巡检受人力步行速度的限制, 每天能巡视的范围有限。当遇到突发情况(暴雨后的排除隐患), 或需要扩大巡检范围的情况, 存在无法继续响应的问题。人工巡检无法做到 100% 全覆盖。例如: 人员只能巡检地面或者距离地面 2 米的范围内的设施, 对高架桥梁底、隧道顶、边坡陡坡、密布管线区的地方就难以巡检^[1]。

2.2 工作强度大, 环境适应性差

由于巡视员需在线路保护区内露天工作, 劳动强度大, 如寒冷天气时行动不灵活, 影响巡检精度与效率; 环境适应性差在夜间作业时(凌晨 0 点-4 点)疲劳状态工作下这个问题更加突出明显。

2.3 主观性强, 易产生疏漏与误判

人工巡检的质量受人员责任心、经验、精神状态影响较大, 漏巡漏检、标准不一致的情况时有发生。不同的巡检人员在同一事物的认知也有偏差, 仅凭经验很难准确观测到设备设施变形量、温度变化情况以及裂缝宽度等参数, 数据录入也容易造成漏记、误记、错别字、定位不准等问题。

2.4 数据孤岛, 管理闭环不畅

人工巡检产生的数据多为纸质、分散的电子文档或者专用数据格式, 难以进行有效的数字化汇总、统计、

作者简介: 彭朝仿(1984-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 交通机电设备。

归类和深度分析。巡检的数据仅仅是一个简单问题的记录，用于问题发生后的责任追究。大量的巡检信息数据不能变成有价值的资产数据，并且难以和智慧运维平台融合，实现从“发现问题”到“分析预警”再到“处置反馈”的智能化闭环管理。

3 智慧运维模式下的低空无人机巡检体系：硬件构建与设施部署

为打破传统人工巡检的局限性，在智慧运维顶层

表1 轨道交通无人机巡检系统核心硬件参数选型表

硬件类型	核心参数	适用场景	主流产品型号
工业级无人机	续航 ≥ 30 分钟，抗风等级 ≥ 6 级，有效载荷 ≥ 1 kg	站场巡视、高架区间检测	大疆 M30T、极飞 P100 Pro
任务载荷	高清摄像头（4K/30帧）+热成像（测温范围 $-20 \sim 50$ ℃）+激光雷达	设备过热监测、三维建模测距	禅思 H20T、Livox Mid-40
自动机场	支持自动起降/充电/数据传输，适应 $-10 \sim 50$ ℃环境	车站屋顶、车辆段无人值守	大疆 Dock 2、云圣智能天枢II
飞行调度平台	支持多机协同、AI智能分析、5G低延迟传输城轨	控制中心集中调度	智慧运维平台（定制化）

3.1 智能无人机机体与任务载荷

智能无人机机体是巡检系统的移动平台，要选择适合城市复杂环境、较强的抗干扰能力的工业级无人机。对于无人机的技术要求包含以下几点：第一，续航时间应不低于30分钟；第二，抗风等级需要不低于6级；第三，最大飞行高度应不大于120米；第四，有效载荷不得低于1kg。

任务载荷是执行感知任务的核心部件，主流任务载荷配置^[3]包括：

1. 高清变焦光学摄像头，不小于4K分辨率、支持30倍光学变焦，用于日常高清晰拍照和录制视频，识别设施外观异常、异物侵入或违章施工等情况。

2. 热成像（红外）摄像头，测温范围在 $-20 \sim 500$ ℃，具备热像及可见光融合，可以热成像和可见光的相互“透视”，适用于夜巡、电网设备发热情况监测或者火源排查。

3. 特定传感器模块，如激光雷达传感器能够实现地铁结构三维建模以及精准测距、变形监测方面的需求；温湿度传感器采用非接触式测关键设备的微参数。

3.2 自动机场（无人机机巢）

自动机场为无人机无人化、自动化运维的重要基础设施。自动机场要求实现无人值守，设置在车站屋顶、车辆段、控制中心附近等重要位置，需要具备占地面积少、安装简单、抗风能力强等特点。

自动机场主要实现以下功能：一是自动起降，根据任务指令自主起飞，自动归位；二是自动充电或者

设计体系下，引入低空无人机智能巡检系统是一项较好的举措。这是一个整合“端、网、云”的整体化方案^[2]，通过硬件之间的协同联动和软件上的智能调度，实现自动化的、智能化的安全保护区巡检。

无人机智能巡检系统核心硬件包括智能无人机机体和任务载荷、自动机场（无人机机巢）、低空巡航飞行调度平台三大部分，应结合具体应用场景选择，各模块相应参数见表1。

电池更换，采用快充方式，快速恢复续航；三是实现数据的传输与存储，利用5G网络把无人机采集来的信息、图像或视频等，实时传输并存储至调度平台数据库；四是能感知天气信息和飞行安全保障，自动机场中内设气象站，可以感知气象信息，遇到恶劣天气会自动返航和停止任务。

3.3 低空巡航飞行调度平台

低空巡航飞行调度平台是无人机智能巡检系统的核心枢纽设备^[4]，一般设置于城市轨道交通控制中心，集任务规划和自动飞行、数据集成和通信中继、AI智能分析引擎于一体，是无人机巡检系统实现智能化的核心。

1. 任务规划与自动飞行，能提前在电子地图上预设巡航线与各项参数设定（包括飞行高度、速度、拍照时间间隔等）；支持动态的航线调整，发现异常情况无人机能自动悬停并变焦或者改变飞行路线做重点区域拍摄。

2. 数据集成和通信中继，能实时接收和处理回传的高清视频流、传感器数据和飞行状态。利用5G高速网传输实现实时的数据回传，确保控制中心能够实时掌握现场巡检情况。平台具有多源数据集成的能力，可以将各类采集数据进行融合，为安全管理部门提供数据支撑。

3. AI智能分析引擎是整个调度平台的核心部分，将计算机视觉算法和深度学习模型相融合，实现对巡检视频的实时分析并识别出事前设定好的风险模型。

例如：设施破损、非法入侵或出现烟雾火焰等现象。一旦判定存在异常，立即预警并报送。

4 低空无人机智能巡检系统核心功能、预期效果与多级联动机制

低空无人机智能巡检系统能实现高频次自动巡查、全域无死角覆盖、智能识别主动预警、数据资产化趋势分析等功能，并与既有管理系统深度融合，构筑一体化的立体化智能安全网络体系。

4.1 核心功能与预期效果

1. 高频次自动化巡查：无人机巡检系统可以实现每日多次巡检，理论上相比人工效率提升 8 倍以上。
2. 全域无死角覆盖：无人机能覆盖人高空、边坡、隧道顶部、密集管线区等区域，在三维空间延伸拓展视觉，可以全域无死角覆盖整个防护区^[5]。
3. 智能识别与主动预警：通过使用 AI 算法引擎分

析，使无人机巡检系统自动发现巡检区域内的安全隐患，自动按照预定程序进行预警。例如：机械违章作业、边坡滑坡、非法焚烧、设施破损、异物入侵、人员聚集等隐患，系统平台按照隐患轻重缓急来生成相应的工单分配给相应责任单位。

4. 数据资产化与趋势分析：所有巡检的工作将形成一系列的数字文件，包含备注地理位置信息的高清图片、视频、传感器数据等内容。该数字文件存储到数据库里进行备份留存，并提供给智能运维平台进行数据追溯、比较以及设备状态变化的趋势分析。同时不断积累相关数据形成可观的、有价值的巡检数据资产。

4.2 与控制中心、车站的联动要求

无人机智能巡检系统要与城市轨道交通已有的系统深度融合，形成有机联动的工作机制，让安全隐患得到及时、快速的处置（见表 2）。

表 2 无人机巡检与城轨现有系统联动流程表

触发条件	联动流程	响应时间
无人机识别到保护区违规施工 / 火灾隐患	1. 推送报警信息 + 现场画面 2. 联动 CCTV 调取周边视频 3. 生成工单派发至现场人员	≤ 30 秒
车站出入口非机动车乱停放 / 人员聚集	1. 车站接收画面预警 2. 工作人员现场处置 3. 无人机二次巡查确认整改效果	≤ 5 分钟
线路异物入侵 / 边坡滑塌前兆	1. 无人机自动悬停跟踪 2. 应急中心启动响应预案 3. 无人机提供实时救援视角	≤ 1 分钟

1. 与控制中心 OCC 的联动：将无人机智能巡检系统作为子系统，集成到轨道交通智慧运维平台或综合监控系统，预警信息可直接推送到调度工作站上，并与视频监控系统（CCTV）联动，可自动触发该处点位（如有）摄像画面多视角确认。

2. 与车站的联动：车站级管控平台可以接收到该车站保护区内无人机的报警以及画面信息，如巡视期间发现秩序类问题，可以实时回传画面信息并快速处理，同时可以远程喊话提醒、指挥疏导。

3. 无人机是形成一整套“空中无人机 + 固定视频 + 人工复核”的一体化巡检方式。无人机用于大规模的巡查、高频次巡查、应急巡查等，发现问题自动生成工单，引导相关人员针对性处置。

5 结束语

将低空无人机技术应用到城市轨道交通智慧运维体系中，可实现低空自主无人化巡检的立体空域安全监控网络，极大地拓展了安全监测的维度与效能，是城市轨道交通安全管理创新性突破的一个重要路径。

低空无人机技术应用能较好地实现从传统人工巡视到机器设备的自动化巡视，打破原有的生产及管理模式，通过数据驱动重塑了安全风险的预警与处置的闭环，优化安全生产管理模式，也是科技为安全生产管理赋能的勇于尝试。

参考文献：

- [1] 史龙,孙亮,叶轲,等.低空铁路巡检场景技术研究[J].铁路通信信号工程技术,2025,22(05):1-8.
- [2] 秦勇,张紫城,杨怀志,等.轨道交通基础设施自主无人机智能巡检技术现状与发展趋势[J].铁路通信信号工程技术,2025,22(02):1-10.
- [3] 邓超.无人机智能感知技术在城轨低空巡检中的应用研究[J].科海故事博览,2025,10(30):28-30.
- [4] 李广智,李飞,黄志伟,等.编组站无人机智能巡检调度系统研究[J].铁路通信信号工程技术,2025,22(02):18-23,83.
- [5] 李浩,牛洪蛟,李夏洋,等.基于无人机协同编队控制的铁路智能巡检方法[J].铁路通信信号工程技术,2025,22(02):11-17,70.