铁路工务作业引入轨道快速检测设备的探索与思考

□刘浩然

中国铁路南昌局集团有限公司福州工务段

【摘　要】在我国铁路事业飞速发展，已对发现和维修铁路病害提出更快速、更精准、更高效要求，试用中的轨道线路设施状态的无人智能检测设备，集线路结构、几何尺寸检查与钢轨探伤等三大功能于一体，可远程遥控并融入现有体系。相较传统手段，其具有结构设计优良、信息采集传播快、节省人力体力、工作效率高等独特优势。但自身能力与配套设备体系稍有不足，将来如要推广应用有待于进一步探索研究。

【关键词】轨道快速检测设备；既有线路；检测设备体系；优势；问题

文献标识码：A　　文章编号：1003-1870（2026）05-0038-06

Exploration and Thinking on the Introduction of Rapid Track Detection Equipment in Railway Permanent Way

【Abstract】With the rapid development of China's railway industry, there are faster, more accurate, and more efficient requirements for identifying and repairing railway defects. The unmanned intelligent detection equipment for the status of track line facilities on trial integrates three major functions: line structure, geometric dimension inspection, and rail flaw detection. It can be remote-controlled and integrated into the existing system. Compared with traditional methods, it has unique advantages such as excellent structural design, fast information collection and dissemination, labor saving and physical strength, and high work efficiency. However, its own capabilities and the supporting equipment system are slightly insufficient, and further exploration and research are needed if it is to be popularized and applied in the future.

【Keywords】Rapid track detection equipment; Existing lines; Detection equipment system; Advantages; Problems

引言

截至2025年底，我国铁路营业里程已达16.5万公里，并已形成世界规模最大、最先进发达的高速铁路（以下简称高铁）路网。目前，铁路工务系统及其从业人员的现实问题包括：一是随着管辖的铁路线路、特别是高铁线路的持续增加，检修线路设备、保障行车安全的工作愈发繁重，不仅要解决既有线路的病害存量，还要防治新建线路病害的潜在增量；二是随着铁路建设技术的进步等，各地高铁和部分新建普速铁路（以下简称普铁）普遍出现了万米以上长大桥隧，西部许多铁路更从高原无人区、沙漠中穿行而过，这给接管线路检修工作的员工带来相当程度的困难。确保列车安全是铁路职工必须严守的红线和底线，而线路设备的质量直接关系到行车安全，为此现行普铁、高铁线路修理规则均明确提出“预防为主、防治结合、严检慎修”的要求[1]。周

期性检测作为一项基础性作业，正是承担定期检测监控线路设备状态、及时发现问题隐患这一任务。因此，在基层线路检测工作中引入可靠的新技术、新设备，通过提升基层工作信息化、智能化水平以提质增效、解放劳动力，已成为亟需解决的问题。近年来，国际上出现了一类用于轨道巡检的小型智能机器人设备[2]，国内一些企业和高校也开始研发一类以集约化、无人化、智能化为主要特征的新型轨道快速检测设备，已在部分干线铁路、企业专用铁路、城市轨道交通线路进行了测试，取得了一定成效[3-6]。某工务段瞄准这一趋势并结合自身实际，与相关科研单位和企业联合研发的某型号铁路轨道无人智能检测仪（以下简称检测仪），在这类设备中较具代表性[7]，相较目前各类线路检测手段其在试验试用中展现出独特优势，但也暴露出在当前条件下推广应用困难的一些问题。下面，笔者结合实践与现行体系比较，分析其优劣势，并以小见大对其未来的完备和推广运用提供一些浅见。

1　检测仪的设计理念和功能

如图1 所示为该检测仪整体结构图，其主要由走行平台、远程视频监控设备、防撞雷达、指挥中心系统、钢轨超声波探伤设备、线路结构巡检设备、轨道几何尺寸检测设备等组成，具有无人操控、载人操控、钢轨自动探伤、线路智能巡检、轨道几何状态检测、防意外撞击、环境监视等功能，适用于标准轨距电气化及非电气化铁路，可兼容43 kg/m、50 kg/m、60 kg/m、75 kg/m 等常见四种类型钢轨。

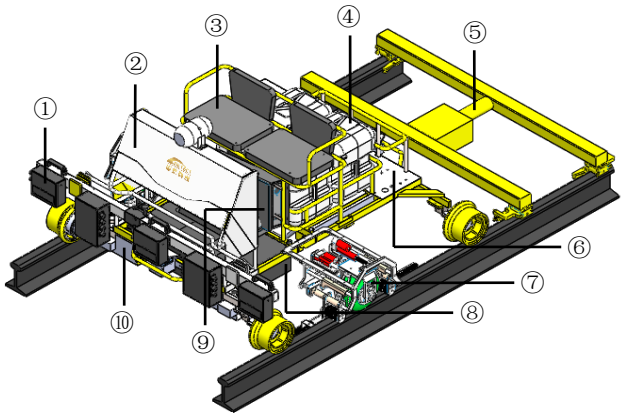


图1　某型号铁路轨道无人智能检测仪整体结构图

注：①巡检摄像机组；②中控台；③座椅；④喷淋耦合水箱；⑤轨道几何尺寸机械检测装置；⑥后底盘；⑦对中伺服机构及轮式探头；⑧工控箱；⑨采集箱；⑩前底盘。

1.1　设计理念适合实际

该检测仪的设计贴合工务系统段、车间、工区三级管理，线路车间下设检查工区，负责周期检查与病害复核；探伤车间等专业检修车间独立设置。检测仪源于基层实际，将钢轨超声波探伤（以下简称探伤）、线路结构巡视检查（以下简称巡检）、轨道几何尺寸检测（以下简称轨检）三项基本工作功能，集成于单一的无人走行平台，辅以控制、监视、避障等必要技术功能，通过硬件精确测量、信息有效传输、软件自动分析和数形化管理，实现钢轨伤损、轨道几何及结构状态的智能检测。

1.2　主要功能适合需要

从走行与控制模块的情况看。该检测仪的走行与控制模块主要包括前后底盘、中控台、工控箱、控制电脑及电池等，可加装最多2 排2 人座椅。底盘设计有总电源、耦合水路、电气及功能模块接口；中控台搭载摄像头和巡检支架。控制电脑实时显示检测仪耦合剂余量、电量、运行状态、行驶速度、预计作业完成时间和现场实时监控视频等信息。工控箱根据指令控制自动驾驶与数据采集，并支持远程制动、启动等应急操作。

从轨道几何尺寸检测作业模块的情况看。该模块由机械检测装置、轨检数据

采集分析系统和智能型轨检数据分析处理软件

组成，可记录分析轨距、水平、左右股高低、左右股轨向、三角坑、左右股复合不平顺、曲线超高、曲线半径、车体水平和垂直振动加速度等数据，并实时显示。数据超限时自动报警并及时记录。如图2 所示，作业后可用配套软件对检测数据作进一步分析。

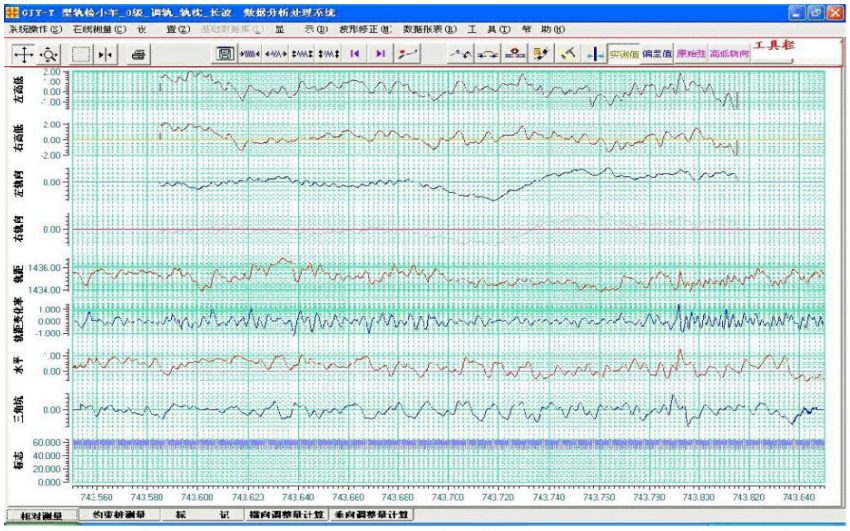


图2　轨检作业成果示意图

从轨道结构巡检作业模块的情况看。该模块由摄像机组、巡检数据采集系统和数据分析处理系统组成，可在动态条件下对轨道及其周边表面状态进行连续图像采集，并智能识别钢轨、轨枕、扣件等缺陷。如图3 所示，作业后配套软件可自动出具缺陷报表，人工可回看图像审定，为维修工作提供可靠依据。



图3　巡检作业成果示意图

从钢轨超声波探伤作业模块的情况看。该模块由喷淋耦合设备、对中伺服机构、轮式探头、探伤数据采集系统和数据回放分析系统组成，可同时对线路的两股钢轨进行内部伤损探测，并将返回的超声信号以B 型显示呈现，如图4 所示。作业人员依据探伤作业模块的探头布置、作业参数，可直观了解钢轨内部伤损类型及其水平位置、垂直深度。

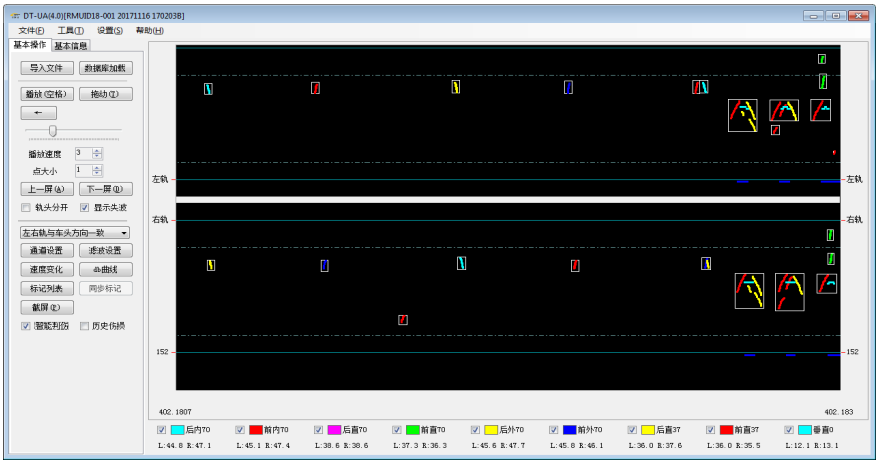


图4　探伤作业成果示意图

可见，检测仪设计适合已被证明行之有效的现行工务作业管理实际，功能也符合现有铁路轨道检测需要且操作较简便。

2　既有线路设备检测体系的适用性和不足

2.1　既有线路设备检测体系仍具适用性

经过长期实践与改革，铁路工务系统已逐渐形成一套机械化、信息化水平较高的的线路设备检测体系（以下简称体系）。体系按运用层级分为高层（国铁、路局）和基层（段、车间、工区），涵盖线路静态、动态及钢轨检测，覆盖轨检轨检、巡检、探伤三项工作。各项目、层级、设备间互为补充，并已通过建章立制明确了检查周期与优先级，还建立起严格、通畅的信息传递机制。这说明，既有线路设备检测体系在当前情况下仍具适用性。

2.2　既有线路设备检测体系存在的不足

既有线路设备检测体系信息采集慢、传递滞后等问题。静态检测主要依靠人力及轨检仪、轨距尺等工具，几何尺寸检测需检测轨距、水平、高低、等多项指标，结构检查涵盖扣件、钢轨间隙、接头夹板、道床及标志标识等，且多依赖人工巡查，静态数据虽然能够反映出线路实际与设计差异，但却无法还原列车动态运行状态的情况；结构检查周期长、效率低、易漏检。动态检测（如综合检测列车）可发现轨枕空吊等隐性病害，但数据需经多道核实、复核及报告流程方能传至一线，同样存在信息传递耗时、依赖人工等短板。

3　检测仪相较现有体系的优劣势

3.1　检测仪相较现有体系的优势

目前，机械化设备和信息化技术已在铁路工务系统得到广泛应用，检测仪作为机动性更强、科技含量更高的新一代设备，如何融入已相当成熟的检测设备体系并取得一席之地，既要对检测仪自身状况有个基本把握，还要将引入检测仪后前后的工作状态的优劣势进行充分比较。

3.1.1　提高了工作效率

目前，因仪检、人工巡检和双轨探伤工作职责及其范围分散于不同车间，因此在同一工作区间和时段内各自作业计划不可避免地产生冲突。例如，轨检人员推行轨检仪作业时，推行速度一般需控制在5~8 km/h[8]，且在长度5 km 以下作业区段一般不停，5 km 以上则根据实际情况决定暂停与否；巡检人员为平衡工作进度与巡查质量，行走速度一般需控制在3~5 km/h，发现异常还要止步观察。这样便产生了快者迁就慢者、复杂迁就简单的现象，同样会造成检测效率降低和天窗时间浪费。

反观检测仪，在一定条件下能实现轨检、巡检、探伤工作的同步进行，实现跨专业综合利用。以最高12 km/h 的速度进行连续测量，摄像抓拍与智能分析较人眼判定更高效，续航约3 h。高铁180~240 min 的天窗时间内，可连续、较准确检测20 km 及以上线路，普铁90~180min 的天窗时间内也能采集单个站间区间的数据。

3.1.2　减少了人力体力

检测仪整体采用轻量化、性能优秀的钛合金材料，装满耦合剂后重270 kg，略重于双轨探伤仪和轨检仪重量之和。只做单项或两项作业时重量更轻，

检测速度可达15 km/h。模块化设计可减轻上下道转运负担。自轮走行也比推行或徒步走行省力。

目前少数场景虽能同步作业，但人员需分开安排。检查工区在单独巡检或仪检作业至少需安排3人，同时做两项作业至少需5 人。如表1 所示，使用检测仪则可同时进行两项或三项作业，人数可减少20~55%，效率提升150%。按国家统计局公布的2023年交通运输等国有单位就业人员年均工资106261 元计，理论上一台检测仪每年最多可节省人力成本50余万元。

表1　引入检测仪前后理论上工作效率提升情况

作业项目	当前		引入检测仪后		理论提升效率（%）
	工作速度（km/h）	工作人数	工作速度（km/h）	工作人数	
轨检（仪检）	5~8	3	8~12	3	50~60
巡检	3~5	3	10~15	3	100~300
探伤（双轨）	10~15	4	10~15	4	——
轨检+ 巡检	3~8	5	8~12	3	150~345
轨检+ 探伤	5~15	7	8~12	4	273~460
巡检+ 探伤	3~15	7	10~15	4	678~1067
轨检+ 巡检+ 探伤	3~15	9	8~12	4	380~620

可见，使用检测仪作业所需人员数量减少了，但检测工作的安全和质量仍能得到基本保证。因此，使用检测仪相较使用现行体系设备，人力使用上做到了“减人增效”。

3.1.3　优化了信息管理机制

现有动态检测周期往往短于静态检测周期。因此，检查工区可根据动态检测给出的病害报表，优先巡检尚未覆盖的线路区段对病害就地销号，体现出动静检测功能互补，也揭示出普铁动态与静态检测并重、高铁以动态检测为主的病害信息管理机制比较成熟、可靠。但也很显然，这种机制存在改进空间。首先，因动态巡检数据需经段级反馈，而车间和工区无法第一时间掌握。其次，线路病害可能发生，若计划安排不周易造成漏检；再次，单个线路车间管内的巡检图像数据量已达到TB 级别，逐级传输和拷贝耗时长而导致基层核对滞后。而检测仪可在车间层面一体化完成高效检、智能分析与人工复核，弥补动态检测的时空盲区，增强了信息处理时效。

3.2　检测仪相较现有体系的劣势

3.2.1　设备自身能力不足

任何一个设备从研发到技术成熟都需要经过反复测试，才能发现并解决问题。而目前笔者所了解到有关检测仪的自身问题主要有两类：一是暂时无法解决的共性问题，二是检测仪本身设计上的原始缺陷。

巡检工作中，检测仪模块能够清晰识别扣件的移位、反装、变形、缺失，钢轨表面的擦伤、掉块，轨枕的横纵向裂纹等视觉上明显的结构病害，但对扣件扭力不足、钢轨轨枕竖向裂纹等摄像盲区病害却无能为力。根源在于巡检设备只能沿线路纵向拍摄，弹条最底部出现离缝等竖向特征需靠人工检查。这说明，检测仪“以动代静”的工作模式存在局限性。轨检模块受制于电池组集成外置的结构设计，采用1 级轨检仪技术，其检测精度低于高铁常用的0 级轨检仪，在10~12 km/h 这一接近仪器性能上限时准确性及对隐形危害、动态指标的检测效果仍有待进一步检验。此外，检测仪电池组满电续航能力在3 h 左右，低于轨检仪和双轨探伤仪[8–9]，适应150–240 min 的天窗，但对于更长天窗则显得不足。

3.2.2　外部环境支持不够

首先看检测仪的经济和工作效益成本。为追求设备整体轻量化，检测仪整体采用钛合金材料制造并采用模块化设计，从而造成联结零件增多，且探测用精密元器件随功能的集成一起增加，导致其整机制造成本比轨检仪、双轨探伤仪翻了一倍多。因此，检测仪能否完全替代轨检仪和双轨探伤仪、什么场景和层级下使用、是否存在失真胡无效的现象等一系列现实问

题已经摆在铁路工务部门面前，这也是目前新设备融入成熟体系过程中迫切需要解决的问题。

此外，在目前条件下检测仪无人操控、远程监控的功能尚未进行现场大规模测试，主要原因有三：一是检测仪机电运转走行部分如因故障停机故障而操作人员距离较远未及时妥善处理将会造成一定安全隐患；二是检测仪接受远程操控时的通信维持和抗干扰能力受到隧道或长大桥梁等外部因素影响导致与控制终端存在通信信号失联问题，同样可能造成一定安全隐患；三是检测仪电池组的长续航能力还需进一步提升。这既表明人在目前阶段对检测工作的无可替代性，也与“设备越充分测试、越能发现问题、越能向好改进”的基本道理产生了矛盾。

4 对检测仪未来发展的建议

针对具有高度集成化、智能化特征的检测仪，其应用显然将给现有检测工作生态带来多方面影响，甚至颠覆性影响，需要研发人员对于攻克关键技术及其短板，以及促使铁路基层人员对其推广应用的接受度，笔者提出以下建议：

4.1 咬定已有问题，尽快补齐短板

眼下的目标，应从确保检测仪能继续有效、安全运行角度出发。以解决检测仪若因电池组可靠性不够导致中途耗尽，且人机分离距离远难以及时救援，这个会造成一定安全隐患问题为例，短期内可考虑随机多载装一个备用电池组，在常用电池组突然耗尽时能及时、自动供电的设想出发解决问题。

4.2 放眼发展趋势，力求前沿前瞻

中长期目标，应以使检测仪进一步智能化出发。再以解决检测仪若因电池组可靠性不够导致中途耗尽，且人机分离距离远难以及时救援，这个会造成一定安全隐患问题为例，可考虑添加一种设备，在常用电池组突然耗尽时能及时、自动就地、短时间完成充电，或能及时、自动就地或就近离开轨道抵达安全地点。

4.3 紧扣观念转变，抓牢培训推广

目前检测仪的推广应用比较难，最重要的原因之一是因为不少铁路基层工务作业管理者、特别是普通员工习惯于既有体系的操作运用，思想观念没转变过来。因此，建议有关设备企业和研发单位，针对性更强、语言更通俗易懂、形式更多样地开展推广宣传和培训以扭转一些人员现有观念。

5 结语

当前我国铁路行业深化改革，以科技创新引领新质生产力发展，不断塑造铁路高质量发展新动能、新优势。随着我国铁路线网持续完善，既有线路设备的检查、养护、维修工作越发艰巨繁重。本文提出的检测仪开创了小型集成式线路检查设备的先例，其应用有望成为线路检查提质增效、迈向智能时代的转折点，甚至可能重塑铁路基础设施领域的生态。下一步关键时帮助职工转变观念，尽快掌握该设备的功能和用法。这需要立足于工务专业实际，结合检测仪自身不足，在提升紧迫感的同时提高学习效率，唯有如此才能在新旧设备并行中实现平稳过渡甚至无缝接轨。

参考文献

[1]《高速铁路线路维修规则》编写组.《高速铁路线路维修规则》主要修订条文解读[M]. 中国铁道出版社:2024.

[2] 李杰, 张楠, 李智, 等. 铁路轨道检测技术研究的进展[J]. 电子技术,2024,53(06):208−209.

[3] 郭继林. 轨道巡检机器人在青藏铁路的应用探索[J]. 铁道建筑技术,2024,(10):67−70.

[4] 赵守强, 张洋, 彭文娟, 等. 基于机器视觉的轻量化轨道巡检系统的探索与实现[J]. 铁道工务,2025,3(05):99−103.

[5] 卞能建, 夏前寅, 廖国恬, 等. 城轨车辆智能巡检机器人检测系统[J]. 机车车辆工艺,2025,61(06):36−40.

[6] 甘航萍. 铁路轨道巡检系统专利技术分析[J]. 科技创新与应用,2026,16(05):11−15.

[7] 黄杰. 基于大桥环境的线路综合检测机器人研究[J]. 流体测量与控制,2026,7(01):9−13.

[8] 铁路轨道检查仪TB/T 3147−2020[S],2020.

[9] 钢轨超声波探伤仪:TB/T 2340−2012[S],2012.

作者简介

刘浩然（2001—），男，汉族，福建宁德，大学本科，助理工程师。现供职于中国铁路南昌局集团有限公司福州工务段，主要从事铁路线路检修、设备维护及技术应用研究工作。