

无线计轴监测系统技术革新研究

刘岩炜 王芝超 王智翔 李睿
北京科技职业大学 北京 100000

摘要：本文研究主要针对铁路轨道区段分路不良从而导致无法短路问题，为上述问题设计了一套无线计轴监测系统。该系统融合电磁感应探测技术与LoRa无线传输技术，通过排布于轨道区段入口及出口的轮缘传感器实时采集车轮信息，经电子检测盒处理后无线传输至室内处理主机，实现区段空闲或占用状态的精准判断。系统具备占用检测、状态信息输出、故障报警、复位及数据记录等功能，可适用于普速铁路、高速铁路及城轨等多场景地形。研究表明，该系统能有效解决轨面污染、锈蚀等导致分路不良问题，提升行车安全性与作业效率，并且具有安装便捷、维护便利、场景适应性强、造价二次利用成本低等优势。

关键词：无线计轴；无线传输技术；高速铁路；场景适应性

1 研究背景和意义

随着我国经济的高速发展，在《中长期铁路网规划》提出的“八纵八横”旨在构建覆盖整个国家、连接地方区域经济中心的高速铁路路线。计轴是铁路产业安全的重要组成部分，同时拥有诸多发展可能和规范化的挑战与难题。在铁路运输信号设备中，能够准确判断轨道区段的空闲与占用状态是保障列车安全运行的核心环节，也是该行业首要攻关难点。传统轨道电路技术依赖钢轨回路电气特性检测列车占用，但受轨面生锈腐蚀、异物压轨、沙土堆积等因素影响，常出现分路不良导致无法正常短路的问题。以N区为例，其存在10余处分路不良区段，导致值班员需人工确认区段状态，极大的增加了劳动强度与安全隐患。可如今现有“打磨”“喷涂”等解决方案因持久性不足或干扰机车信号，难以根本解决问题。我们利用计轴设备基于轴数比较原理，和与钢轨特性无关这一特点，将计轴技术与无线传输技术结合，开发无线计轴监测系统。对提升铁路信号系统可靠性、实现智能化监测具有重要工程价值，可有效规避分路不良影响，使问题从根本上解决由于轨面生锈腐蚀或有其他附着物等原因造成的轨道电路分路导致无法短路的不良问题。

1.1 国内外研究现状与发展趋势

国外计轴技术起步时间比起国内较早，早在十九世纪60年代起德国西门子就研制出SICAS计轴系统并采用冗余设计；国外如Semtech公司的LoRa技术在低功耗远程通信领域应用广泛，为无线计轴提供了技术支持等；1978年，在制定“七五一八五”全国铁路科技发展规划时，将研制计轴设备正式列入到规划中。计轴设备研制^[1]始于（现北京全路通信信号研究设计院有限公司前身），其

中为设备研发提供规范的标准有TB/T2296等，但铁路信号领域应用低功耗无线技术的无线计轴系统仍还处于试用阶段。特别是抗干扰算法和复杂多变的场景下的集成设计，都需要突破。未来趋势是进一步提高无线传输的可靠性、系统的环境适应性和结合AI算法实现故障预测与诊断的智能化水平。

1.2 行业痛点与技术挑战

行业痛点主要包括：（1）轨道电路分路不良导致无法短路的行车安全隐患；（2）传统问题既有线设备改造难度大、成本高的局限性；（3）无线设备传输的稳定性和抗干扰能力，需要确保在复杂电磁环境下数据可靠、稳定的传输；（4）室外设备的环境适应性，需满足从南到北各个地方，温度从-40°C至+80°C、湿度从4%至100%、强振动等恶劣条件；（5）传感器的精准探测，需适应不同车速和轮对尺寸；系统的防雷和EMC防护设计。

1.3 主要研究内容

本研究主要包括：系统功能分析，明确列车占用检测、状态输出、故障处理等核心功能；系统边界与接口设计，定义车轮探测、太阳能供电等接口规范；系统架构与设备组成，设计室外传感器、电子检测盒及室内处理主机的硬件结构和工作流程；关键技术研究，包括电磁感应、计轴原理、LoRa无线通信和室外储能技术；系统环境适应性设计，解决气压、温度、湿度等环境因素的影响；成本估算与应用分析，评估系统成本及在不同铁路场景的应用效益。

2 监测系统功能分析

2.1 监测系统阐述

无线计轴监测系统是一种列车空闲或占用检查监测装置^[3]，通过布置在铁路轨道分区入口及出口端的传感

器实时探测列车驶入和驶离情况，持续输出区段占用信息，待列车驶离后输出空闲信息。系统将分路不良区段的空闲或占用状态实时反馈给车站值班员，为进路作业提供参考，减轻劳动强度，提高安全性，并具备数据查阅功能。

2.2 核心功能描述

2.2.1 列车占用状态检测

通过传感器利用电磁感应原理，实时响应进入和驶离区段的列车轮对信息，经电子检测盒处理后无线传输至室内主机，主机进行进出轴数比较，判断该区段占用或空闲状态。有列车进入时输出占用信息并显示净轴数，列车完整驶离后输出空闲信息。

2.2.2 状态信息输出

室内处理主机通过显示界面输出区段的空闲或占用状态，同时显示区段信息、报警信息及无线通道连接信息，为车站值班员提供直观的区段状态参考。

2.2.3 故障处理功能

设备故障时，系统自动输出区段占用信息，避免因故障导致的误判。同时，系统具备故障监测和报警功能，便于运维人员及时发现和处理故障。

2.3 辅助功能

2.3.1 复位清零功能

系统具备复位清零功能，在初次上电、故障修复后或区段状态与实际不一致时，经车站人员确认区段无车后，执行复位操作，使区段变为空闲状态。

2.3.2 工作状态监测与数据记录

室内处理主机实时检查室内外设备工作状态，对监测数据记录生成日志文件，存储历史数据，方便车站人员查阅过车信息和进行故障分析。

2.4 系统性能指标

计轴容量：8191轴；占用到空闲及空闲到占用的应变时间：均不大于50s；传感器探测能力：适用于350km/h车速环境；适用轨道：43Kg/m及以上；检测轮对尺寸：适用于350mm以上轮径或满足TB/T1010-2005要求的轮对；传输距离：大于2Km；阴雨环境下室外设备持续运行时间：至少5天。

3 关键技术研究

3.1 电磁感应技术

轮缘型传感器通过对铁磁物质检测，判断在有效范围内磁场强度的变化，将其转化为感应电流变化^[2]。发射线圈产生的磁力线因车轮接近而偏转，接收感知线圈的变化，从而实现对列车车轮轮缘的检测。

3.2 计轴原理

通过比较列车进入和离开计轴检测区段的轴数判别区段状态。区段无车时空闲，列车进入后轴数增加变为占用，全部驶离后轴数归零恢复空闲，提高可靠性。

3.3 无线通信技术

LoRa技术概述LoRa是由Semtech公司开发的低功耗远程无线通信技术，基于扩频技术，具有传输距离远、功耗低、节点多、成本低、抗扰等特性。

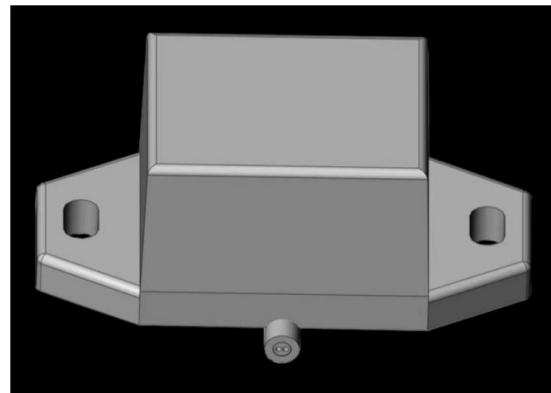
3.4 室外储能技术

3.4.1 太阳能发电技术

利用光伏光电效应将太阳辐射能转换为电能，存储装置为太阳能电池。光伏板组件由半导体物料制成，可制成不同形状，为室外设备提供清洁电能，具有普遍、无害、巨大、长久等优点。

3.4.2 蓄电池储能技术

储能蓄电池用于太阳能发电设备能源储蓄，需具备宽温度范围工作（-30-60°C）、低温性能好、容量一致性好、充电接受能力强、寿命长等特点，以确保室外设备在阴雨天气正常运行。



4 辅助产品研究

4.1 探测接口

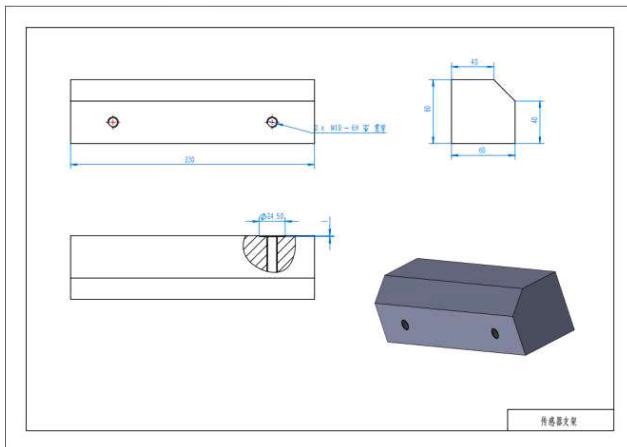
计轴设备通过传感器探测列车车轮信息，每个区段出入端均布置传感器。采集接口为电磁感应，车轮驶过时磁场磁力线偏转，传感器工作频率在PD CLC TS 50238-3-2019要求的234KHz-363KHz范围内。

4.2 供电模式

可采用太阳能、风能+储能供电方式，阴雨天气至少正常工作3天，并能输出低压报警。太阳能板、风车叶片均防止在室外设备提供能量，储能电池存储电能以保证出现问题可持续供电。

4.3 连接显示

室内设备可采用220V±22V、频率50Hz±1Hz的不同断电源，由电源屏提供稳定电力，以确保室内主机等设备正常运行。



5 应用场景分析

5.1 实际应用

5.1.1 普速铁路应用

可应用于普速铁路，尤其是运载量大、分路不良区段较多的车站，提高作业效率和安全性，减轻值班员劳动强度。

5.1.2 客专及高速铁路应用

适用于客专及高速铁路站内需要监测区段状态的场合，解决分路不良导致无法短路问题，保障高速列车运行安全。

5.1.3 城轨应用

适用于城轨站内区段状态监测，满足城市轨道交通高密度、安全可靠的运营要求。

5.2 经济效益与社会效益分析

5.2.1 经济效益

经济效益方面，系统可减少因分路不良导致无法短路从而引发的行车事故，提升铁路行驶安全，节约维护

成本，提高铁路运营效率。

5.2.2 社会效益

社会效益方面，提升行车安全性，减轻值班员工作负担，为铁路运输提供更可靠的信号保障，具有良好的经济和社会效益。

6 主要研究结论

本文研究设计的无线计轴监测系统融合电磁感应与LoRa无线传输技术，确保了列车区段占用状态的精准监测，解决了轨道电路分路不良导致无法有效短路问题。系统功能完善，并具备状态检测、信息输出、故障处理、数据记录等功能，环境适应性强，成本较低，可广泛应用于不同的铁路场景。

7 未来工作展望

在未来可进一步升级优化LoRa通信协议，提高数据传输速率和抗干扰能力；研究更加高效的太阳能储能技术，延长室外设备续航时间；引入人工智能算法，提升系统故障诊断能力和预测能力；拓展系统在铁路轨道其他领域的应用，例如编组场车辆计数等，推动铁路信号系统的智能化发展。

参考文献

- [1]周应觉.计轴设备在中国的发展[J].铁路通信信号工程技术,2014,11(05):80-82.
- [2]张朝.高铁车轮对计轴传感器空间电磁场分布的影响分析[J].电子技术,2025,54(03):42-44.
- [3]刘改红.计轴传感器在线监测装置设计与研究[J].铁道运营技术,2024,30(04):26-29.DOI:10.13572/j.cnki.tdyy.2024.04.007.