 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i4.5302

Research on the condition monitoring and fault early warning technology of railway signal equipment

Haitao Hu

National Energy Group Shuohuang Railway Co., Ltd., Xinzhou, Shanxi, 034000, China

Abstract

Railway signal equipment is an important part to ensure the safety of railway transportation, and its normal operation is directly related to the smooth and safety of railway traffic. With the continuous expansion and complexity of railway transportation system, the intelligence and automation requirements of railway signal equipment are increasing. The traditional manual maintenance and inspection mode gradually fails to meet the requirements of efficient and accurate management in modern railway operation. To meet this challenge, more and more intelligent monitoring systems and automated maintenance technologies are being introduced into the management of railway signaling equipment. Through the combination of the Internet of Things, big data analysis and artificial intelligence technology, it can not only monitor the status of equipment in real time, but also predict potential faults and maintain in advance, so as to improve the safety and operational efficiency of railway transportation.

Keywords

railway signal equipment; condition monitoring; fault warning; Internet of things; big data; artificial intelligence

铁路信号设备的状态监测与故障预警技术研究

胡海涛

国能集团朔黄铁路股份有限公司，中国 · 山西 忻州 034000

摘　要

铁路信号设备是确保铁路运输安全的重要组成部分，其正常运行直接关系到铁路交通的顺畅与安全。随着铁路运输系统的不断扩展和复杂化，铁路信号设备的智能化和自动化需求日益增强。传统的人工维护和检查模式逐渐无法适应现代铁路运营中对高效、精准管理的要求。为了应对这一挑战，越来越多的智能监控系统和自动化维护技术被引入到铁路信号设备的管理中。通过物联网、大数据分析和人工智能技术的结合，不仅能够实时监测设备状态，还能预测潜在故障，提前进行维护，从而提高了铁路运输的安全性和运营效率。

关键词

铁路信号设备；状态监测；故障预警；物联网；大数据；人工智能

1 引言

铁路运输作为国家交通架构的核心组成部分，其安全与效率属性对社会经济发展及人民生命财产安全产生直接关联，铁路信号设备是维护铁路运输安全、时效性及效率的关键技术核心部分，是实施铁路列车运行调度与控制的核心操作，传统铁路信号设备普遍实行人工检查与周期性维护，及至铁路运输网络扩大及信号设备数量上升阶段，当前管理模式面临效能局限，亟需智能化技术以实现创新与优化的升级。信号设备状态监测与故障预警技术是铁路信号系统安全性与稳定性提升的核心技术手段，该技术逐渐成为学术研究的热点议题，采用前沿的信息技术系统，对信号设备的工作状态实施不间断的跟踪，具备对潜在故障进行即时识别与迅速捕捉的机制，采用智能预警技术进行故障管理，减少故障的发生频次及其影响规模，提升铁路信号系统的可靠性及维护作业效率的层级。

【作者简介】胡海涛（1973–），男，中国山西太原人，本科，技师，从事铁路信号研究。

2 铁路信号设备的状态监测技术

2.1 状态检测技术的基本原理

状态监测是维系信号设备稳定性的核心手段，主要采用传感器、数据采集系统及数据分析技术，对信号设备的关键部分进行监测实施，于电源、传输线路及核心组件等关键部分配置监测装置，实施对设备运行状况的实时监控与分析，本传感器对设备的温度、振动、电流及电压等关键性能指标进行精确的采集与分析，数据被导入至集中处理中心，无线与有线传输方式均可选。系统对数据进行实时性分析与剖析，若设备运行参数超出预定正常值域，系统迅速启动警报机制，自动调节流程，确保设备迅速进行修复并执行停工程序，阻截重大故障的爆发，采用智能化监控技术手段，采

用先进的智能化监控手段，设备运行效率显著进步，也提升了信号系统的安全与可靠性水平 [1]。

2.2 物联网技术在状态监测中的应用

该技术结合了传感器、通信技术及数据分析的组成部分，形成了智能化技术的新体系，近期已普遍融入多个产业实践，尤其是在铁路信号设备的状态监控领域展现出卓越性能，铁路运输安全与铁路信号设备的稳定操作紧密相依，传统设备维护与管理体系以人工巡检为基本手段，通常存在效率低下、反应滞后及易遗漏的缺陷，物联网技术借助无线传感器网络进行数据采集，实时采集监测点的数据流，数据传输至云端或本地服务器中心，设备状态监控技术实现了对人工巡检时间与空间边界的突破，技术实现了对设备状态的远程实时监控，提升了监控的时效性。

实施无线传感器在铁路信号设备关键区域的布置，实时采集铁路信号设备温度、湿度、压力和振动等多维数据的物联网监测体系，数据流经稳定的通信网络，汇聚至中央服务器，在服务器端部层面，系统借助其卓越的数据处理与分析实力，系统对数据进行细致的挖掘，阐释并揭示设备故障及异常的潜在预兆，进而提升预警的精确性水平。本系统采用远程监控技术，对设备运行状态进行实时掌握，也可借鉴历史数据，对设备寿命周期进行预测性分析，实施既定维护与更换计划，减少由突发故障引起的潜在安全风险，物联网技术的引入显著优化了设备管理的精确性与快速响应水平，系统借助实时数据源，系统自动鉴定设备运行特性，进而依照既定标准执行自动化决策程序，降低对人工干预的依赖性依赖，增进决策流程的效率与精确性，该改进显著促进了资源利用效率的提升，有效降低了维修支出，有效增强了铁路信号设备的整体安全与可靠性水平 [2]。

2.3 大数据与人工智能在状态监测中的支持

铁路信号设备状态监测对大数据技术的采纳，采用先进的数据存储与处理体系，对历史运行数据实施深入挖掘，铁路信号设备长期作业历史，数据积累量大，采集温度、振动、压力等资讯，实施数据挖掘分析，实施数据资源的有效管控，开展数据挖掘，识别信号设备运行中的潜在风险及异常信号，历史数据走势挖掘，可对设备故障概率进行前瞻性分析，并识别运行中的关键根源，采用大数据分析，管理人员实现设备维护决策的科学化，进而降低故障频次，延长设备运行寿命阶段，降低非计划停机次数。

智能技术途径，尤其是基于机器学习的方法，对设备状态监测具有核心作用力，实时数据作为学习与预测的支撑，模型可识别设备的常规工作与异常模式，预感设备故障先兆，以设备当前运行状态为分析依据背景，对设备未来故障类型及时间进行预测，铁路系统实施智能故障预警机制，立即实施维护方案，防止因设备故障造成的安全事故及运营受阻，实施大数据与人工智能技术的整合，铁路信号设备监测的精度及智能化水平大幅提升，大幅增强设备维护的效率与安全性。

3 铁路信号设备的故障预警技术

3.1 故障预警的基本原理

现代设备管理界说，故障预警技术占据核心，对设备状态进行实时监测与分析，维持设备高效运转，降低设备故障引起的生产停顿及财务损害，该技术依赖实时及历史设备数据集，实施先进数据挖掘技术，采用阈值设定、异常探测与模式识别等手段，对设备运行状态进行深度挖掘，设备状态呈现异常标志，越界预定值，系统执行既定报警程序，即时启动报警程序，需运维人员实施检查与应对。

故障预警系统的核心模块，依托设备历史与实时数据的综合分析手段，识别潜在故障苗头，重点捕捉故障早期微妙迹象，探讨设备振动、温度及压力波动现象，系统发现设备初期异常迹象，预估故障发生的具体时间点及空间区域，实施预防性维护程序，运维人员可预先应对，阻断故障扩散，也能对故障设备实施，即刻实施针对性修复，显著提升设备管理效能与安全水平，减少停工及维修成本开销 [3]。

3.2 基于机器学习的故障预测模型

故障预警技术进步与机器学习技术融合，尤其在铁路信号设备监控阶段，作为核心岗位，机器学习对设备历史数据实施训练分析，构建高精度故障预测模型，进而实施对设备运行状态的实时监控与预测，模型可从设备运行数据中挖掘潜在异常模式，采用持续的学习与优化途径，持续增强故障预测的精确性与响应速度。

通用机器学习模型族，诸如决策树、支持向量机（SVM）及神经网络等类别，均能彻底挖掘信号设备运行数据，进而对设备故障进行模式分类，采用决策树模型进行结构化，从设备历史数据中各因素变动趋势分析，识别故障早期迹象，据此实施预防性故障预防，SVM 对数据实施高维空间投影，优化数据分割平面，实现分类与回归的优化分析，实现设备异常状态识别算法。尤其是深度学习模型，采用多层次非线性映射策略，应对设备运行数据的复杂结构，挖掘故障的深层逻辑，协同实施该算法集，准确识别与掌握设备运行模式，机器学习技术揭示其潜力，预估设备故障的种类及其潜在发生时间点，信号操作阶段点，实时监测数据揭示异常现象，预警系统迅速激活，指导维护人员实施修复行动，预防设备故障造成的安全风险及运营中断风险，显著提升了故障预警的精确性，有效增进设备管理效率，降低维护费用支出。

3.3 多层次故障预警机制的构建

追求故障预警系统的高准确度与快速响应水平，多级预警体系的实施极为关键，该机制采用分级预警阈值体系，对设备异常状况进行审查，实时优化预警层级，若设备运行数据突破常规检测阈值，系统初期运用既定预警阈值对异常状况进行初步判断，系统按预警级别向运维人员发布警示，预警等级细分为多个级别段，分为“初级预警”“中级预警”

及“高级预警”，预警等级与故障风险等级及处理时效性相匹配。

4 铁路信号设备监测与预警系统的集成应用

实现铁路信号设备状态监测与故障预警的有效应用，需要依赖于综合性的信息化系统。通过将各项技术进行集成，形成一个统一的监控平台，可以更加高效地管理铁路信号设备，提升整个铁路网络的安全性和运营效率。

4.1 综合监控平台的建设

综合监控平台是现代设备管理中不可或缺的关键系统，旨在将设备状态监测、故障预警、运维管理等多个功能进行高度集成。通过该平台，运维人员可以实现对所有设备的实时监控，随时查看各类设备的运行数据、健康状况以及可能存在的故障风险。系统会根据设备的实时数据和历史数据，自动进行故障预警，一旦检测到设备出现异常或故障的征兆，平台会迅速发出警报并通知相关人员，确保能够及时响应并采取措施，从而减少设备故障对运营的影响。

综合监控平台还具有远程控制和调度功能，运维人员可以通过平台直接对设备的运行状态进行调整，远程启动、停机或调度设备，从而避免了人员频繁到现场进行操作，极大提高了工作效率和响应速度。此外，平台还集成了各项运维管理功能，如设备的维修记录、历史故障数据、维护计划等信息，可以实时更新和共享。这种信息集成不仅提高了运维管理的精度，还加强了信息流转的效率，避免了信息孤岛和重复工作。通过综合监控平台的建设，不仅提升了系统的智能化水平，使得设备管理更加精细化、自动化，还有效整合了各项信息资源，优化了运维流程，降低了人工干预和管理成本，进一步提升了设备的安全性和可靠性。

4.2 云平台与大数据的结合

结合云计算与大数据技术，可以实现对信号设备运行状态的全面监控与分析，极大提高了设备管理的效率和可靠性。云计算平台能够实时接收设备在运行过程中产生的大量数据，并通过强大的计算能力对其进行高效存储与处理。云平台不仅能承载来自不同地点、不同系统的设备数据，还能够通过高效的数据传输机制将这些数据汇聚到中心平台进行综合分析。这种技术架构能够帮助运营者全面了解设备运行状况，并及时发现潜在问题。

大数据技术在该系统中的应用，尤其是在数据挖掘与模式识别方面，起到了至关重要的作用。通过对历史数据的积累与分析，系统能够进行故障趋势预测，识别出潜在的设备故障或风险因素。例如，设备的温度、压力、运行速度等参数会持续被监测，数据的长期积累使得系统能够察觉到设备运行中的微小异常，通过趋势分析提前预警，防止设备故障或停机事件的发生。此外，跨地域和跨系统的多维度数据融合分析，使得各地的设备监控信息能够无缝对接，增强了数据的完整性与准确性。云平台的便捷数据共享功能极大地促进了不同地区、不同团队之间的协作。技术人员能够共享分析结果、实时数据和处理意见，从而加快了问题诊断与解决的速度，提高了处理的效率和精确度。这种集成化的技术支持为设备的维护、管理以及故障预防提供了强有力的技术保障，减少了人为疏漏和延误，提高了整体设备的可靠性和运行效率。

5 结语

铁路信号设备状态监测与故障预警技术构成保障铁路运输安全与运维效率的核心措施，得益于物联网、大数据及人工智能技术的持续进步浪潮，铁路信号设备管理迈向智能化、自动化新阶段，采用高效的状态监测与故障预警手段，实时监测设备运行轨迹，早期识别故障苗头，立即实施干预行动，降低故障对铁路运输的连锁冲击，技术进步与实施延伸，铁路信号设备运维管理将步入高效智能化的新阶段，对铁路安全与运营效率的提升具有重要意义。

参考文献

[1] 王洪亮,刘可昌.铁路信号集中监测设备的综合校验台研究[J].科技资讯,2025,23(02):60-63.

[2] 王海忠.铁路信号室内设备运行环境综合监测研究[J].铁道工程学报,2024,41(04):80-83.

[3] 韩永君.重载铁路信号设备机房防雷接地监测系统方案研究[J].铁道建筑技术,2023,(04):170-173.