

基于复合传感器在走行部监测系统中的应用

姜雪岩

上海季丰电子股份有限公司

DOI:10.32629/acair.v4i2.20404

[摘要] 车辆走行部是轨道交通装备安全运行的核心部件,其工作状态直接关系到行车安全。针对传统监测手段仅依靠单一类型传感器、监测维度偏少、现场抗干扰能力不足、故障预警不够及时等问题,本文提出并研制一套基于复合传感器的走行部在线监测系统。该系统运用多源信息融合思路,同时采集振动、温度、冲击等多类状态信号,实现对转向架、轮对、轴承等关键部件的状态评估与超前预警;系统选用DS18B20数字测温芯片改善测温稳定性,依托冲击信号与转速脉冲协同判断逻辑提升脱轨识别可靠性,并设计符合车载环境的网络隔离与通信架构。试验与装车验证表明,本系统能够有效提升故障检出率,强化走行部运行安全保障能力,对轨道交通智能化运维具有工程应用价值。

[关键词] 走行部监测; 复合传感器; 多参数融合; 故障诊断; 轨道交通安全

中图分类号: TP732 **文献标识码:** A

Application of Composite Sensors in Running Gear Monitoring Systems

Xueyan Jiang

Shanghai Giga Force Electronics Co., Ltd.

[Abstracts] Running gear serves as critical load-carrying and moving parts for rail transit vehicles, and its health status is closely related to operation safety. In view of the limitations of conventional single-sensor monitoring methods, such as insufficient monitoring dimensions, poor anti-interference performance and lagging fault early warning, an online monitoring system for running gear based on composite sensors is developed. The system adopts multi-source information fusion to collect vibration, temperature, impact and other signals synchronously, so as to realize condition assessment and early warning for bogies, wheelsets, bearings and other key components. The DS18B20 digital temperature sensor is adopted to enhance measurement stability, a combined logic of impact and speed pulse is used to realize reliable derailment detection, and a network architecture that meets vehicle-mounted isolation and communication requirements is constructed. Tests and field applications show that the system can effectively improve fault detection accuracy, strengthen the operation safety of running gear, and provide technical support for intelligent operation and maintenance of rail transit.

[Key words] bogie monitoring; multi-sensor system; multi-parameter fusion; fault diagnosis; railway safety

引言

在轨道交通车辆中,走行部由转向架、轮对、轴箱、轴承等部件构成,长期承受交变应力、摩擦损耗与外部冲击,是整车故障率较高的系统。以往监测大多采用温度或振动单点传感器,监测信息单一,在车载复杂电磁环境下容易受到干扰,难以对早期微弱故障进行准确识别与提前预警。复合传感与多参数信息融合技术能够同时获取多维度状态信息,通过不同信号之间的互补提升监测可靠性,已逐渐成为轨道交通车载安全监测领域的重要技术路线^[1]。本文围绕工程应用需求,设计一套集多类型传感、前端信号调理、智能诊断分析、车载网络通信于一体的走行部监测系统^[3],为轨道交通车辆走行部安全监测提供可落

地的实施方案。

1 系统总体设计

1.1 系统架构

本文设计的走行部监测系统从下到上依次由传感器层、前置处理层、车载主机层和后端管理平台四部分构成。

传感器层

温度传感器: 系统配置5路测温通道,对关键部位温度变化进行连续采集。

振动传感器: 系统配置4路振动采集通道,获取振动幅值、频率特征等信息,用于早期故障判别。

前置处理层



图1 脱轨报警逻辑

前置处理器的主要任务是对传感器输出的弱信号进行调理、滤波和初步整合,完成多源数据的时间同步与格式统一,为后续诊断环节提供高质量输入。其主要功能包括:

- (1)多源数据时间对齐与统一格式转换;
- (2)噪声抑制、去趋势项、异常点检测与剔除;
- (3)数据归一化处理;
- (4)提取时域特征(峰值、有效值、峭度等)与频域特征(小波变换、短时傅里叶变换);
- (5)阈值报警输出与基础故障模式识别。

车载主机层

车载主机对经过前端预处理的数据做深度分析、存储与管理,运行诊断算法,完成设备状态评估与分级预警。

后端管理平台

中央管理控制台(CMC)实现对多车组车载系统的远程集中管理,支持状态实时查看、参数配置下发、运维任务调度等功能。

系统整体工作流程

供电与自检:电源板上电后,系统完成自检,并将状态信息上报至TCMS。

状态监测:脱轨检测板实时监测轨道冲击状态,报警信息经总线汇总至整车网络;转速采集板处理零速信号与转速信息,为脱轨判断提供依据。

数据处理:转速信号经采集传输板转发,由数据采集板做预处理后上传;交换机板负责数据路由调度,计算板完成算法分析与数据存储。

通信与控制:TRDP板负责主机与TCMS之间的安全通信;计算板统一协调各功能板卡运行,并支持远程运维与调试。

1.2 数字测温方案

传统模拟测温方式容易受线缆阻抗、接触不良等因素影响,导致温度读数跳变,影响监测可靠性。为此,本系统采用DS18B20数字测温芯片实现高精度温度采集。温度信号在传感器内部完成数字化转换,通过1-Wire单总线直接传输到前置处理器,显著降低传输过程中的干扰。同时,对连接器采取灌胶加固处理,提高系统在长期振动环境下的可靠性^[2]。

系统采用等间隔采样方式,采样频率为2Hz,每0.5秒更新一组温度数据。系统支持超温报警、温升速率报警以及传感器故障诊断:当温度超过阈值或温升速度过快时自动报警;当传感器断线或工作异常时,能够快速识别并上报故障,保证监测全程可靠。

1.3 脱轨报警功能设计说明

前置处理器脱轨计算设计说明

核心检测逻辑

触发条件:当列车轮对连续3次撞击轨枕,且每次撞击的冲击信号 $\geq 80g$ (软件可调阈值),同时转速脉冲间隔符合理论脱轨模型时,判定为脱轨^[4]。

关键参数与公式

表1 脱轨检测核心参数说明

参数	说明
轨枕间隔(I)	默认 500mm,支持软件配置,且可绑定线路公里标(不同区段设置不同间隔)。
轮径(D)	优先从 TCMS 获取实时数据(单位:mm),缺省时采用默认值 810mm。
转速脉冲数(N)	每转脉冲数,需根据车速传感器特性设定(例如: $N=80$ 脉冲/转)。
撞击脉冲范围	连续 3 次撞击的脉冲间隔需满足: $(I \cdot N / 2 \pi D) \pm 10\%$ (理论轮对滚动周长匹配)。

算法实现流程

系统采用冲击信号与转速脉冲联合判断的策略实现脱轨检测。当轮对连续多次撞击轨枕并产生超阈值冲击加速度时,系统结合转速脉冲间隔进行逻辑验证,条件满足则确认脱轨。核心参数包括轨枕间距、轮径、转速脉冲数等。脉冲间隔允许 $\pm 10\%$ 误差,以适应轮轨滑动、测量偏差等现场工况。系统支持远程调整阈值、撞击次数、轨枕间距等参数,并可按公里标自动匹配对应区段参数。为提高安全冗余,系统采用双MCU架构,4路冲击传感器分为两组,分别送入独立MCU计算,经交叉验证后输出脱轨信号。系统在停车、切除开关动作或自检异常时自动屏蔽报警功能,减少误报。

2 主机网络架构系统

车载主机计算板提供两路RMII以太网接口,用于连接前置采集单元、调试口、TRDP通信模块、脱轨检测板、转速传输模块等设备。为满足车载安全通信要求,TRDP模块与TCMS通信网络与车内监测网络相互物理隔离,保障车辆控制网络安全^[5]。前置

处理器、脱轨板、转速板、调试口等处于同一网段,支持本地调试与直接数据访问。网络采用双网隔离架构:一路面向车辆通信交互,一路面向内部监测数据交换,结构简洁稳定,满足车载电磁兼容与安全隔离相关规范。

3 全文总结

本文设计并实现了一套基于复合传感技术的轨道交通走行部监测系统,通过多物理量采集与信息融合方法,完成状态监测、故障预警与脱轨识别功能。数字测温方案提升了系统抗干扰能力与长期稳定性,冲击与转速脉冲联合判断逻辑提高了脱轨识别准确率,网络架构符合车载安全标准。系统具备较强的工程实用性,能够有效提升走行部早期故障检出能力,为轨道交通智能运维提供可靠技术支撑。后续可进一步优化信息融合算法与嵌入式硬件设计,提升系统在复杂工况下的适应能力。

[参考文献]

- [1]李丽,王健.基于振动与温度融合的轴承故障诊断方法[J].机械科学与技术,2021,40(8):1210-1215.
- [2]周明,吴海峰.DS18B20数字温度传感器在车载监测系统中的应用[J].传感器与微系统,2022,41(5):156-158.
- [3]黄涛.轨道交通走行部在线监测系统设计与实现[D].成都:西南交通大学,2022.
- [4]刘伟,陈勇.基于冲击加速度与转速脉冲的脱轨判别算法[J].中国安全科学学报,2021,31(7):178-184.
- [5]郑涛,李娟.轨道交通车载网络TRDP通信协议实现[J].铁道通信信号,2023,59(2):67-71.

作者简介:

姜雪岩(1990--),男,汉族,河南周口人,硕士(在读),工程师,研究方向:电子与通讯。