

地铁车辆智慧运维数据分析及应用

刘元才

天津津轨道车辆有限公司, 天津 300000

DOI: 10.61369/SSSD.2025030021

摘 要 : 2025年我国开始全面推广城市轨道交通智慧运维系统在地铁车辆维护中的应用。智慧运维系统通过大数据分析、传感器技术等能够对地铁车辆进行全面的监控与维护。数据分析以及模型的建立是智慧运维的核心支撑。本文将围绕地铁车辆智慧运维, 探究数据分析及模型在其中的应用, 为提升地铁车辆运维水平提供思路。

关键词 : 城市轨道交通; 智慧运维; 数据分析; 工程实践

Data Analysis and Application of Intelligent Maintenance for Metro Vehicles

Liu Yuancai

Tianjin Jinrail Transit Vehicle Co., Ltd., Tianjin 300000

Abstract : In 2025, China will fully promote the application of urban rail transit intelligent maintenance systems in the maintenance of metro vehicles. The intelligent maintenance system can comprehensively monitor and maintain metro vehicles through big data analysis and sensor technology. Data analysis and model establishment are the core support of intelligent maintenance. This paper will focus on the intelligent maintenance of metro vehicles and explore the application of data analysis and models in it, providing ideas for improving the maintenance level of metro vehicles.

Keywords : urban rail transit; intelligent maintenance; data analysis; engineering practice

一、智慧运维数据分析的深度应用价值与实践意义

地铁车辆智慧运维数据在实际的应用中具有重要意义, 能够将状态预警、采取维修手段、调度资源等环节构建闭环^[1]。如轮对踏面缺陷达镟修阈值时, 系统可以自动联动设备与人员, 优化检修计划; 同样, 技术人员也可以根据碳滑板寿命的预测结果采购控制备件, 通过数据分析的优势优化管理, 降低航材成本^[2]。连续的监测与趋势分析还能够捕捉早期故障征兆, 提高地铁车辆运维的效率、经济性与安全性。

二、轮对在线检测系统的数据分析与应用

(一) 轮对状态预测分析

1. 踏面缺陷检测分析

轮对踏面缺陷检测采用图像检测方式, 能够对车辆轮对踏面擦伤、剥离、掉块的长度进行检测。在检测标准方面, 采用分级预警形式, 包含限制使用预警值和镟修扣停报警值。当同一轮连续3次超出限制使用预警值时, 系统会输出预警并进行人工复核; 若超出镟修扣停报警值, 系统则立即输出报警并人工复核。这种分级预警机制, 通过对踏面缺陷长度的精准检测和分级处理, 能够及时发现踏面缺陷问题, 为车辆的安全运营提供保障^[3]。

2. 轮径磨损预警分析

(1) 轮径磨损率计算逻辑与轮径均值计算标准较为复杂。月度轮径磨损率是将本次与前14次测量值的平均值记为 D_m , 然

后计算本次与一月前(没有同一日期则取附近日期)的同一车轮 D_m 的差值与公里数差值的比值。季度轮径磨损率则是本次与前29次测量值的平均值记为 D_s , 再计算本次与一季度前同一车轮 D_s 的差值与公里数差值的比值。年度轮径磨损率是本次与前59次测量值的平均值记为 D_y , 接着计算本次与一年前同一车轮 D_y 的差值与公里数差值的比值。

(2) 轮径磨损率趋势监测以年度为时间显示周期, 能够形成轮径磨损率趋势图, 通过该图可以直观地了解车辆各个车轮的年度轮径磨损率变化趋势。

(3) 轮径磨损率超限预警逻辑是总结车辆检修运营数据, 设定轮径磨损率限值。当计算的年度轮径磨损率超出上限值时系统报警, 而月度、季度轮径磨损率超出上限值时系统不报警。

(4) 车辆车轮剩余厚度寿命预警逻辑是以年度轮径磨损率来计算车轮是否可满足车辆大修里程数要求。当车轮寿命低于160万公里(此值可自定义)时, 系统会进行预警。通过对轮径磨损的多维度分析和预警, 能够提前掌握车轮的磨损情况, 合理安排检修和维护, 延长车轮的使用寿命^[4]。比如, 对于线路a上的车辆, 若年度轮径磨损率达到0.26mm/万公里, 超出限值, 系统报警, 此时需及时对车辆轮径进行检查和处理。

3. 轮缘厚度预警分析

(1) 轮缘厚度超限预警处置要求为: 同一车轮轮缘厚度测量值连续3次达到预警区间, 系统预警, 管理部门须控制运行里程数并优先安排镟修; 若达到报警区间, 系统报警, 车辆须立即扣停, 不允许上线运营。预警限值标准如表1:

表1 预警限值标准

序号	预警下限值		预警上限值	
	预警值	报警值	预警值	报警值
1	≤ 27.0mm	≤ 23.5mm	≥ 33.0mm	≥ 33.5mm

(2) 轮缘厚度磨损率预警中，计算逻辑是计算本次与一年前（没有同一日期则取附近日期）的同一车轮 Dy 的差值与公里数差值的比值，均值标准是本次与前 59 次测量值的平均值记为 Dy。轮缘厚度磨损率趋势监测以年度为周期，形成趋势图。当轮缘厚度磨损率计算值超出设定限值时系统报警并人工检查复核，各线路限值如表 2 所示：

表2 各线路车辆轮缘厚度磨损率限值

序号	线路	限值
1	a	0.10mm/ 万公里
2	b	0.064mm/ 万公里
3	c	0.05mm/ 万公里
4	d	0.03mm/ 万公里

(3) 同轴轮缘厚度差预警逻辑是当同轴左右车轮轮缘厚度差值超出设定限值时系统报警，以检查车辆轮对是否发生偏磨，各线路限值如表 3 所示：

表3 车辆同轴左右车轮轮缘厚度差值限值

序号	线路	限值
1	a	2.0mm
2	b	2.0mm
3	c	2.5mm
4	d	2.0mm

轮缘厚度的准确监测和预警，对于保障车辆的运行稳定性和安全性至关重要。若某车轮轮缘厚度连续 3 次测量为 26.8mm，达到预警下限值，系统预警，需及时安排镟修，防止轮缘厚度进一步减小。

4. 轮缘高度预警分析

(1) 预警处置要求与轮缘厚度类似，同一车轮轮缘高度测量值连续 3 次达到预警区间，系统预警，管理部门控制运行里程并优先安排镟修；达到报警区间，系统报警，车辆立即扣停。轮缘高度的合理控制能够确保车辆与轨道的良好接触，避免出现脱轨等危险情况。

5. QR 值预警分析

预警逻辑是当车轮 QR 值超出预警区间值 6.5-12.7 时需报警，以检测车轮状态是否满足标准要求。QR 值的准确监测有助于判断车轮的轮廓是否正常。

6. 直径差预警分析

对比同轴、同转向架、同车的轮径差，超出预警值需报警，轮径值取 Dy 值。

表4 预警限值标准

序号	同轴车轮径差		同转向架车轮径差		同车车轮径差	
	预警值	报警值	预警值	报警值	预警值	报警值
1	> 2.5mm	> 3.0mm	> 4mm	> 6mm	> 6mm	> 7mm

预警处置要求为同一车辆的轮径差连续 3 次达到预警区间，

系统预警，管理部门控制运行里程并优先安排镟修；达到报警区间，系统预警，车辆立即扣停。直径差的合理控制能够保证车辆运行的平稳性，减少车辆部件的磨损。若同轴车轮径差为 2.8mm，达到预警值，需及时进行调整。

7. 车轮径跳值预警分析

预警逻辑是径跳值连续 3 次达到预警区间，系统预警，管理部门控制运行里程并优先安排镟修；达到报警区间，系统报警，车辆立即扣停。预警限值为：预警值 > 0.5mm，报警值 > 1.0mm。车轮径跳值的监测能够及时发现车轮的跳动异常，避免因车轮跳动过大而影响车辆的运行安全和乘坐舒适性^[5]。

(二) 轮对在线检测系统自检分析

1. 系统自身状态检测

(1) 检测范围包括轮径值、轮缘高度、轮缘厚度。

(2) 以每次测量值作为参考值制定置信区间，计算公式为（测量值 - |设备精度值| × 2） ≤ 置信区间 ≤ （测量值 + |设备精度值| × 2），其中设备精度值如表 5 所示：

表5 轮对在线检测系统检测精度

序号	轮径值精度	轮缘高精度	轮缘厚度精度
1	± 0.5mm	± 0.5mm	± 0.5mm

(3) 检测标准为若下一次测量值超出置信区间，即设备自身检测精度出现异常，系统报警。通过系统自身状态检测，能够确保检测设备的准确性和可靠性，为轮对检测数据的有效性提供保障^[6]。

2. 车轮镟修数据值比法

比对逻辑是对比车辆镟修后的车轮数据与镟修后最近一次的系统过检数据，若差值超出系统检测精度要求（表 5）范围，系统需给出报警。比对范围包括轮径值、轮缘高度、轮缘厚度。这种比对方法能够验证系统检测数据的准确性，及时发现系统可能存在的问题^[7]。

三、碳滑板状态与异常磨损检测的数据分析与应用

(一) 碳滑板磨损预警分析

1. 碳滑板剩余厚度预警

定位碳滑板厚度最低点位，判断其是否超过厚度预警值。碳滑板剩余厚度预警限值标准为：剩余厚度预警值在正常磨损期为 26.5mm，异常磨损期为 30.5mm；碳滑板更换剩余厚度限值为 24.5mm。通过对碳滑板剩余厚度的监测和预警，能够及时掌握碳滑板的磨损情况，合理安排更换时间。

2. 同一受电弓碳滑板厚度差值预警

即计算同一受电弓两个碳滑板同一检测点位的厚度差值，并判断其是否超过预警值，用于检测受电弓弓头结构是否正常。标准为同一受电弓两个碳滑板同一检测点位的厚度差 ≥ 2mm，该预警能够及时发现受电弓弓头结构可能存在的问题，确保受电弓的正常工作。

3. 碳滑板异常磨损预警

即单根碳滑板磨损率和平均碳滑板磨损率。单根碳滑板磨损

率是根据每一个测量点位(1mm/点)前后两次检测数据差值和两次检测间隔的走行里程差值,计算各测量点的磨损率,取最大值作为本次碳滑板磨损率;平均碳滑板磨损率是当天所有检测车辆碳滑板的磨损率平均值。标准采用三级预警:正常(绿)0-4mm/万公里;警告(黄)4mm-10mm/万公里;危险(红) $\geq 10\text{mm}$ /万公里。碳滑板磨损率和平均磨损率均按此标准预警。通过异常磨损预警,能够及时发现碳滑板的异常磨损情况,分析原因并采取相应措施^[8]。

4. 碳滑板寿命预测

即根据每日碳滑板磨损率(单根碳滑板磨损率、平均碳滑板磨损率取大)及剩余厚度,计算全部列车各碳滑板可继续运行的里程^[9]。标准为碳滑板寿命 \leq 图定最大运营公里数*2时预警。碳滑板寿命预测能够为碳滑板的更换提供科学依据,避免因碳滑板寿命到期而影响车辆的正常运营。

(二) 碳滑板外观状态检测分析

建立单根碳滑板厚度与检测点关系曲线图,并显示前后两次检测数据的差值。通过该曲线图可以直观地了解碳滑板厚度的变化情况。

系统需具备受电弓碳滑板凹槽检测算法,标准是在受电弓检测中心线左右320mm区间范围内,以10mm为一个测算区间,检测本测算区间两端的深度差大于5.76mm时进行报警。该算法能够及时发现碳滑板的凹槽缺陷,确保碳滑板的正常使用。

四、数据分析模型的建立与应用

(一) 数据收集与处理

地铁车辆智慧运维中,需要收集大量的数据,如轮对的踏面缺陷、轮径磨损、轮缘厚度,以及碳滑板的剩余厚度、厚度差值、磨损率、外观状态等数据。对收集到的数据进行清洗、整理和预处理,去除噪声数据和异常数据,确保数据的准确性和完

整性^[10]。

(二) 模型建立

1. 轮对状态预测模型

基于轮对的历史检测数据,如轮径磨损率、轮缘厚度磨损率等,可采用时间序列分析、回归分析等方法建立轮对状态预测模型,预测轮对在未来一段时间内的状态,为轮对的检修和维护提供依据。

2. 碳滑板寿命预测模型

结合碳滑板的历史磨损数据、运行里程等因素,利用机器学习算法建立碳滑板寿命预测模型,根据当下碳滑板的状态和运行条件,预测碳滑板的剩余寿命,为碳滑板的更换提供科学建议。

3. 故障诊断模型

通过对轮对和碳滑板等部件的故障数据进行分析,建立故障诊断模型,以便根据检测到的异常数据,快速判断故障的类型和位置,为故障的排除提供指导。

(三) 模型应用

通过模型对实时检测数据进行分析 and 预测,能够对车辆部件状态进行实时监控和预警。例如,当碳滑板寿命预测模型预测到碳滑板剩余寿命不足时,系统会提示更换碳滑板,同时,故障诊断模型能够帮助维护人员快速定位故障,提高故障排除效率。

五、结束语

综上所述,智慧运维通过数据驱动改变了传统的运维模式,对于交通建设具有重要意义。文章探究了地铁车辆智慧运维在轮对与碳滑板等关键部件的状态管理中展现出的优势。通过数据的融合与智能算法的结合,能够提升故障预测的精准性与决策的科学性,在提升运维效率、降低成本、保障安全等方面具有重要意义。

参考文献

- [1] 于秋波,魏秋实,冯培,等.城市轨道交通智慧运维研究现状及展望[J].兰州交通大学学报,2025,44(02):53-58.
- [2] 耿禹,李守勤.城轨车辆智慧运维系统的技术架构与发展规划[J].交通世界,2025,(09):15-17.
- [3] 阳连兴,吴志强.城市轨道交通设备智能运维系统的设计与实施[J].华东科技,2024,(11):109-111.
- [4] 闫金阳,方素平.列车轮对踏面故障在线检测系统研究[J].现代机械,2021,(03):61-64.
- [5] 王廉正.城市轨道交通信号智慧运维的应用与实践探索[J].人民公交,2024,(16):107-109.
- [6] 杨君.基于计算机视觉的受电弓碳滑板磨损及接触面损伤检测研究[D].兰州交通大学,2024.
- [7] 李亚平.动车组受电弓故障动态检测问题研究[D].兰州交通大学,2024.
- [8] 王勇.基于目标识别与边缘检测的受电弓碳滑板磨损检测系统研究[D].西南交通大学,2023.
- [9] 曾东亮.列车轮对轨旁在线检测系统的应用研究[J].科技与创新,2022,(20):143-145+148.
- [10] 刘尚昆.基于图像处理的轮对擦伤在线检测系统的研究[D].北京交通大学,2019.