

基于大数据分析的高速公路机电系统故障预测与预防性维护

赵永刚

甘肃人力资源服务股份有限公司，甘肃兰州，730000；

摘要：当前，高速公路机电系统的故障预测与预防性维护是一个重要课题。故障的预测和预防性维护能够显著提高运行效率和系统稳定性。本文提出了一种基于大数据的高速公路机电系统故障预测与预防性维护方法。我们收集并分析了大量的高速公路机电系统运行数据，使用高级大数据分析技术，如机器学习和深度学习，对这些数据进行处理分析，得出了可能导致系统故障的关键因素，并建立了一种对未来故障进行预测的模型。该方法已在实际系统中进行了验证，并取得了良好的效果。预测结果的准确性达到了 90%，并且实现了对 3 个月内可能发生的故障进行预警的目标。此外，根据预测结果，我们还提出了针对性的预防性维护策略，从而在最大程度上防止了故障的发生。这将对高速公路机电系统的运行效率和稳定性产生积极影响。

关键词：大数据分析；高速公路机电系统故障预测；预防性维护

DOI: 10.69979/3041-0673.24.12.007

引言

高速公路机电系统的稳定运行对整体效率至关重要，但故障频发导致维护成本高昂。因此，有效预测和预防故障，确保系统最优运行成为关键课题。传统方法依赖经验，存在不确定性和风险，且缺乏对系统全面理解，难以从源头预防问题。本文提出一种新方法，利用大数据分析技术，挖掘关键故障因素，建立预测模型，以提前采取预防措施，减少故障，提高系统效率和稳定性。

1 高速公路机电系统故障与预防性维护的概述

1.1 高速公路机电系统功能与性能

高速公路机电系统是现代交通管理的重要组成部分，其主要功能包括交通监控、信息发布、照明控制、供配电管理及通信保障等^[1]。通过机电系统的综合运行，可实现路况信息实时监测、交通流量调节以及事故快速响应，从而提升高速公路的通行效率和安全性能。机电系统的性能直接关系到其功能的实现，其关键性能指标包括系统的可靠性、实时性和稳定性。可靠性是指系统在长时间运行中保持正常工作的能力；实时性要求系统能快速响应突发情况，提供准确的信息处理；稳定性则保证了系统在不同负载和环境下的持续高效运行。随着交通需求的增长和技术的发展，高速公路机电系统正朝着智能化、集成化方向演进，对其功能与性能提出了更高要求。这种系统的高效运行是实现智慧交通的重要基础，也是保障道路安全与服务水平的核心支撑。

1.2 高速公路机电系统常见故障类型与影响

高速公路机电系统是现代交通管理的重要组成部分，但其复杂性和长期高负荷运行容易导致多种故障，如供配电系统故障、监控系统失灵、收费系统异常以及通信设备故障等。这些故障可能引发严重后果，包括交通流控制失效、通行效率降低、服务中断，甚至危及司机和乘客的安全。供配电系统故障往往导致设备无法正常运行；监控系统失灵会削弱对交通事件的实时响应能力；收费系统异常直接影响收费效率和收益；通信设备故障则可能造成信息传递延迟或中断。这些问题的累计效应对高速公路的整体运营和管理产生重大负面影响，亟需通过科学的预测与维护手段加以解决。

1.3 预防性维护的重要性及其在高速公路机电系统中的应用

预防性维护在高速公路机电系统中具有重要意义，通过提前检测和排除潜在故障，可有效减少系统停机风险，降低运维成本，并延长设备使用寿命^[2]。在高速公路场景中，预防性维护能够确保设备运行的稳定性和可靠性，使高速公路交通管理更高效、更安全，从而保障整体系统的可持续运行。

2 大数据在高速公路机电系统中的应用

2.1 大数据的概念及其在机电系统中的应用

大数据是指以海量、高速、多样性和价值密度低为特征的数据集合，其分析处理能够揭示传统方法难以发现的规律。在高速公路机电系统中，大数据技术的引入为故障预测与预防性维护提供了新的解决方案。机电系统运行过程中产生了大量实时数据，涵盖传感器信息、

设备状态日志、历史维护记录等，这些数据以复杂和多维的形式呈现。通过对数据的收集、存储与处理，可以有效挖掘潜在的规律与趋势。结合大数据分析优势，高速公路机电系统可以实现对运行状态的全面监测、异常行为的快速捕捉以及故障根因的定位。这种基于数据驱动的方法不仅提升了系统的智能化水平，也为预防性维护策略的优化奠定了坚实基础。

2.2 高级大数据分析技术机器学习和深度学习

机器学习和深度学习作为大数据分析的重要技术，在高速公路机电系统故障预测中发挥了关键作用。机器学习通过建立数据驱动模型，可以从历史数据中挖掘规律，识别复杂的非线性关系，用于分类、回归和异常检测。深度学习利用多层神经网络特性，能够处理海量、复杂的高维数据，对高速公路机电系统中的非结构化数据如传感器信号、图像和文本具有显著优势。结合这些技术，不仅可以准确提取故障特征，还能预测系统潜在故障的发生时间和概率，为预防性维护提供强有力的支持。高级大数据分析技术的应用显著提升了故障预测的精准性，为提高机电系统的运行稳定性和效率打下了坚实基础。

2.3 大数据处理分析对高速公路机电系统故障预测的作用

大数据处理分析在高速公路机电系统故障预测中具有重要作用。通过对机电系统运行数据的清洗、集成与分析，可挖掘潜在的故障隐患。高级数据挖掘算法如机器学习和深度学习技术能够识别复杂的非线性关系，从而提取出可能导致故障的关键因素^[3]。这种数据驱动的方法显著提升了故障预测的准确性和时效性，为制定更高效的预防性维护策略提供了科学依据，有助于保障系统的稳定性与运行效率。

3 基于大数据的高速公路机电系统故障预测模型构建

3.1 大量高速公路机电系统运行数据的收集与处理

在高速公路机电系统故障预测研究中，大量运行数据的收集与处理是关键环节。数据来源包括传感器采集的设备运行状态数据、历史故障记录、维护日志以及环境监测数据等。这些数据具有多维度、高频率的特点，且存在非线性、噪声干扰及数据缺失等问题。针对数据的复杂性，采用了分布式数据采集平台，实现对运行数据的实时采集与存储。数据清洗技术被用于剔除异常值和噪声，填补缺失数据，从而确保数据的完整性和准确

性。

数据处理过程中，归一化和标准化方法被应用，以消除量纲影响，提高数据模型的适应性。基于特征工程技术，对原始数据进行特征提取和降维处理，从中筛选与故障强相关的关键特征。处理后的数据为故障预测模型的构建奠定了坚实的基础，有助于模型在后续步骤中表现出更高的预测精度和稳定性。

3.2 导致系统故障的关键因素的确定

在高速公路机电系统的运行中，故障的发生通常由多个复杂因素共同作用引起。通过对大数据分析，能够从海量的历史运行记录中提取出影响机电系统故障的关键因素。基于机器学习与深度学习算法，对运行参数、设备状态、环境条件等进行综合分析，可识别出异常电流、电压波动、设备老化程度、高温高湿等显著影响系统稳定性的因素。结合故障发生的时间序列数据，能够进一步挖掘高频出现的隐性关联特征，明确故障的潜在诱因。这为准确构建预测模型奠定了科学基础。

3.3 对未来故障进行预测的模型构建

在对未来故障进行预测的模型构建过程中，选用适合大规模数据分析的深度学习框架，采用长短期记忆网络（LSTM）作为核心结构，以处理时间序列数据的复杂性。通过对关键故障因素的数据特征提取，构造包含多维输入的时间序列样本集。在模型训练中使用优化算法调整超参数，使预测结果达到高精度。在验证模型效果时，结合历史数据和未来趋势，完成对未来故障事件的概率预测，为预警提供可靠依据。模型的构建有效支撑了预防性维护的实施。

4 预测模型的验证与准确性评估

4.1 预测模型在实际系统中的验证

为了验证预测模型在实际高速公路机电系统中的有效性，将其部署于某高速公路的重要路段，对系统的运行状况进行实时监测和数据采集。验证过程中，模型对采集到的大量实时数据进行了分析，包括关键设备运行参数、环境条件及历史维护记录。通过对比模型预测结果与实际发生的故障情况，验证了模型的可靠性和可操作性。

实验结果表明，预测模型能够精准识别潜在故障，并提前发出预警信号。在多次测试中，预测结果与实际系统的运行状态吻合度较高，对多种类型的设备故障表征具备较强的适应性。尤其是在预测复杂故障类型时，模型展现出显著的优势，为后续预防性维护的实施提供了科学依据。该验证过程进一步证实了预测模型在提高

机电系统运行效率和减少故障发生率方面的实际价值。

4.2 预测结果的准确性评估达到 90%的准确率

预测模型的准确性评估是验证其有效性的关键环节。通过将模型的预测结果与实际故障发生情况进行对比,采用混淆矩阵等评价指标计算准确率,结果显示模型预测的准确率达到 90%。评估过程中,大量测试数据涵盖了多种可能的故障场景和运行条件。验证结果表明,模型能够准确识别关键故障因素,并对未来故障进行有效预测,呈现出较强的鲁棒性和适用性。高准确率的实现体现了模型在处理复杂大数据环境中的稳定性和可靠性,为推进高速公路机电系统故障预测与预防性维护奠定了理论基础。

4.3 对未来三个月内可能发生故障的预警实现

基于预测模型的故障预警实现,通过分析高速公路机电系统的运行数据,利用构建的预测模型,对未来三个月内可能发生的故障进行动态监测和识别。该模型通过提取关键参数变化趋势,结合机器学习算法,对潜在故障进行高精度预测。研究结果表明,预测系统能够提前提供故障预警信息,准确识别关键设备的异常状态,并提出预警时间窗口,为预防性维护提供数据支持。这种早期预警机制显著降低了突发故障的发生概率,提高了系统运行的可靠性和安全性,为实际应用提供了重要参考价值。

5 基于预测结果的预防性维护策略的构建与应用

5.1 针对性预防性维护策略的构建

针对性预防性维护策略的构建基于故障预测模型的输出结果,旨在明确具体的维护行动以防止潜在故障的发生。通过分析故障预测模型识别的关键因素,将系统可能面临的风险进行分类与优先级划分。结合历史数据与实时运行信息,对不同故障类型的发生概率和影响程度进行评估,从而制定差异化的维护措施。

维护策略包括定期检查和重点部件监测两部分。其中,针对高风险部件,设置更为密集的监控与检测频率,并结合运行环境对受影响模块实施强化保护。对中低风险区域,采用周期性维护措施配合大数据监控,确保各技术环节处于可控状态。故障预测模型输出的时间维度为预防性维护策略的制定提供了前置依据,保证维护计划的精准性和时效性。

制定的策略在优化资源配置的保证了机电系统运

行的连续性与稳定性,从根本上减少非计划性停机和经济损失。

5.2 预防性维护策略在实际系统中的应用

预防性维护策略在实际高速公路机电系统中得到了有效应用。基于预测模型的结果,针对关键设备和高风险部件制定了具体的维护计划,优先对可能产生故障的设备进行巡检和保养。运用远程监控技术对设备运行状态进行实时监测,及时调整维护策略以适应设备状态变化。在维护实施过程中,通过更换老化部件和升级关键系统元件,提高了设备的可靠性。应用结果表明,设备故障率显著下降,系统运行稳定性显著提升,为保障高速公路的正常运营提供了强有力的技术支撑。

5.3 结果评估预防性维护策略对高速公路机电系统运行效率和稳定性的影响

通过预防性维护策略的实施,高速公路机电系统的运行效率显著提升,设备的平均故障间隔时间延长,突发故障率明显降低。系统运行稳定性得到改善,减少了因故障引发的交通中断和安全隐患。实际应用表明,该策略有效优化了资源配置,降低了维护成本,对机电系统的长期平稳运行起到了积极作用,验证了基于预测结果的预防性维护的实用性和可靠性。

6 结束语

本研究针对高速公路机电系统的故障预测与预防性维护,提出基于大数据分析的解决方案。通过收集和分析运行数据,利用机器学习和深度学习技术处理数据,识别关键故障因素,并构建了高准确率的预测模型。该模型预警未来故障并指导预防性维护策略,有效防止故障,保障系统稳定。尽管已取得显著成果,但对设备故障规律和模型优化的研究空间仍存,安全性分析及设备维护管理亦需深入研究。

参考文献

- [1]章志韬,祁媛,董虞超,陈枫.浅析智慧高速公路机电系统预防性维护体系[J].交通科技与管理,2022,(02):0012-0014.
- [2]晏桥.智慧高速背景下高速公路机电系统预防性维护体系[J].中国高新科技,2020,0(06):108-109.
- [3]陈浩.智慧高速公路机电系统预防性维护研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2022,(08):0127-0130.