 DOI: https://doi.org/10.12349/ptc.v4i1.4723

Research on the reliability assessment and predictive maintenance method of commercial vehicle brake system

Jifa Hong Maowei Wu

Jiangling Automobile Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330000, China

Abstract

This paper explores reliability evaluation and predictive maintenance methods for commercial vehicle braking systems. Initially, it introduces the importance and basic structure of commercial vehicle braking systems. Subsequently, it analyzes several techniques for assessing the reliability of braking systems, including statistical analysis and failure mode analysis. In terms of predictive maintenance, the paper investigates various data-driven and model-driven approaches and their advantages in enhancing system reliability. Finally, the practical implementation strategies and challenges of these methods are discussed, including technological implementation complexity and data acquisition issues. The study demonstrates that integrating advanced predictive maintenance technologies can significantly improve the reliability and safety of commercial vehicle braking systems, helping to reduce maintenance costs and extend equipment lifespan.

Keywords

Commercial vehicles; braking systems; reliability assessment; predictive maintenance; failure mode analysis; data-driven

商用车制动系统可靠性评估及预测性维护方法研究

洪吉发 吴茂伟

江铃汽车股份有限公司，中国·江西 南昌 330000

摘 要

本论文探讨了商用车辆制动系统的可靠性评估和预测性维护方法。首先，介绍了商用车辆制动系统的重要性和基本构成。接着，详细分析了几种用于评估制动系统可靠性的技术，包括统计分析和故障模式分析等。在预测性维护方面，本文研究了基于数据驱动和模型驱动的多种方法，以及其在提高制动系统可靠性方面的优势。最后，讨论了这些方法的实际应用策略及面临的挑战，包括技术实施难度和数据获取问题。研究表明，结合先进的预测性维护技术可以显著提升商用车辆制动系统的可靠性和安全性，有助于降低维护成本和延长设备使用寿命。

关键词

商用车辆；制动系统；可靠性评估；预测性维护；故障模式分析；数据驱动

1 引言

在现代物流和运输行业中，商用车扮演着不可或缺的角色。这些车辆从事着长时间、高负荷的运输任务，其安全性直接关系到公共交通的安全和货物的保交付。因此，确保商用车的高效可靠运营成为业界及科研人员共同关注的重点。其中，作为车辆安全核心的制动系统，其可靠性尤为重要。制动系统的突然失效不仅会导致车辆的运行中断，更有可能引发严重的交通事故，造成财产损失和人身伤害。

随着科技的进步，自动化和智能化逐渐渗透到车辆制造和维护领域。传统的定期维护模式逐渐暴露出其不足之处，特别是在应对不可预见的故障时。因此，如何通过先进的工具和技术手段来提高商用车制动系统的稳定性和安全性，成为一个亟待解决的问题。

2 商用车制动系统概述

2.1 制动系统分类及功能

商用车的制动系统是确保车辆能够安全减速和停下的关键部件。根据驱动介质的不同，商用车制动系统主要分为气压制动系统和液压制动系统。

①气压制动系统：这种系统常见于大型商用车，利用压缩空气传递制动力，具有传递力量大、反应迅速的特点。典型构造包括空气压缩机、储气罐、制动阀和制动气室等。

②液压制动系统：多用于中小型商用车，通过液压油传递制动力。系统组件主要包括制动泵、制动油管、制动钳和刹车片。液压制动系统具有传动平稳、制动力均匀的优势。

两种制动系统均具备减速、停车、防滑等功能，是保

【作者简介】洪吉发（1987–），男，中国江西南昌人，本科，工程师，从事汽车设计、汽车产品研发或者汽车零部件等研究。

障商用车行驶过程中的核心安全系统。

2.2 制动系统的组成部件

商用车的制动系统由多个关键部件组成，各部件合作以实现高效制动：

①制动器：负责将制动信号转化为制动车辆的实际动作，常用形式有碟式制动器和鼓式制动器。

②制动钳及刹车片：通过液压力或气压作用，使刹车片与制动盘或制动鼓产生摩擦，从而实现减速或停车。

③制动液：用于液压制动系统中，传递来自制动踏板的力。其品质、状态直接影响制动效能。

④制动阀和气泵：在气压制动系统中，用于生成和调节制动气压。

2.3 当前制动系统存在的问题

尽管现代商用车制动系统的技术已有显著进步，但其可靠性及性能仍面临多方面挑战：

①故障多发：制动系统的频繁使用及复杂环境使其成为故障高发区域，常见问题包括空气泄漏、液压系统漏油、磨损不均等。

②维护难度大：由于商用车运行环境复杂、工作强度大，制动系统的部件容易磨损并且不易检测，增加了维护的难度和成本。

③应急能力不足：在极端情况下，如载荷过重或长时间下坡时，制动系统可能会难以提供足够的制动力，存在安全隐患。

总的来说，商用车制动系统的重要性不言而喻，其可用性与可靠性直接影响车辆的安全和经济性能。因此，对制动系统的深入分析与优化维护至关重要。通过引入先进技术和方法，提升制动系统的可靠性和稳定性，将有效保障商用车运输工作的安全性与效率。

3 制动系统可靠性评估

3.1 可靠性理论基础

制动系统的可靠性评估是确保商用车辆在运行过程中安全性和性能稳定性的关键一环。可靠性理论为我们提供了评价系统表现的框架。在这一部分，我们将探讨与制动系统可靠性相关的一些基本概念和指标。

可靠性是指产品或系统在规定条件下和规定时间内执行规定功能的能力。其衡量指标中，平均无故障时间（MTBF，Mean Time Between Failures）和故障率最为常用。MTBF 反映了系统在两个连续故障间平均能够正常运行的时间，而故障率则是单位时间内发生故障的频率。为了保障商用车的安全运行，高 MTBF 和低故障率是制动系统设计和维护的重要目标。

3.2 评估方法

可靠性评估方法多种多样，其中包括统计分析、失效模式及影响分析（FMEA）以及可靠性测试与数据收集等。

①统计分析：通过收集和分析大量制动系统的维修和故障数据，可以识别出常见问题和故障趋势。借助统计软件，可以对数据进行深度挖掘，以预测潜在的故障模式并提高系统的整体可靠性。

②失效模式及影响分析（FMEA）：FMEA 是一种系统化的方法，用于识别和分析系统可能出现的潜在故障及其后果。通过对故障模式（如制动器磨损、液压泄漏等）进行分析，可以提前制定预防措施，减少故障发生的可能性及其影响。

③可靠性测试与数据收集：进行实际操作和测试，是评估制动系统可靠性的一种直接方法。可靠性测试通常在实验室中进行，通过模拟各种操作环境测试系统的耐久性和失效点。数据收集则涉及对实地操作过程中出现的故障进行详细记录，为进一步的分析和改进提供基础数据。

4 预测性维护方法

4.1 预测性维护概述

预测性维护是指通过采集设备运行状态数据，利用数据分析技术对设备故障进行预测，从而在设备故障发生之前进行必要的维护。这种方法与传统的周期性维护和事后维护相比，具有更高的效率和更低的维护成本。传统的维护方法通常依赖于预定的维修时间表或在设备故障后进行修复，而预测性维护则通过实时监测设备运行情况，预测可能的故障，实现“预防为主”的维护策略。

4.2 预测性维护技术

4.2.1 传感器技术及数据采集

在预测性维护中，传感器技术起着至关重要的作用。通过安装在商用车制动系统中的各种传感器，可以实时采集数据，包括温度、压力、振动等。这些数据对于评估制动系统的健康状况至关重要。传感器技术的发展使得数据采集更加精准和可靠，为后续数据分析提供了坚实的基础。

4.2.2 机器学习与大数据分析的应用

机器学习和大数据分析技术是预测性维护的核心工具。通过对大量历史数据的分析，机器学习算法能够识别出设备运行规律，预测未来的故障发生。应用机器学习的几种常用算法包括神经网络、支持向量机、随机森林等，这些算法能够处理非线性和复杂的数据集，从而提供准确的故障预测。

4.2.3 远程监控与诊断

远程监控技术使得对商用车制动系统的实时监控成为可能。通过无线通信技术，采集到的运行数据可以实时传输到中央数据库中进行分析和诊断。这种远程监控技术不仅提高了数据分析的效率，还能够实现快速响应，有效减少制动系统的故障停机时间。

4.3 预测模型构建

4.3.1 数据预处理与特征提取

数据预处理是预测模型构建的第一步。通过清洗和转换原始数据，去除噪声和异常值，可以提高模型的精度。特征提取则是从原始数据中提取出有意义的特征，以帮助模型更好地进行预测。

4.3.2 模型选择

预测模型的选择是决定模型性能的关键因素。常用的模型包括决策树、神经网络和随机森林等。决策树易于解释，但可能过拟合；神经网络能够处理复杂的模式，但需要大量数据和计算资源；随机森林作为集成模型，通常能够在精度和稳定性之间达到良好平衡。

4.3.3 模型训练与验证

模型训练是利用历史数据训练预测模型的过程，模型的验证则是评估其在未见过的数据上的表现。通过交叉验证和测试数据集，验证模型的泛化能力和准确性，以确保其能够可靠地预测制动系统的潜在故障。

5 实施策略与挑战

5.1 实施预测性维护的步骤

在商用车制动系统中实施预测性维护需要系统的规划和执行，其主要步骤包括：

①需求分析与规划。首先，需要对商用车制动系统进行需求分析，明确预测性维护的目标。这包括识别关键性能指标，如制动效率、组件磨损以及故障发生率。规划阶段需要整合企业的商业目标和操作流程，确保预测维护策略的实施能提高系统的可靠性并降低维护成本。此外，需评估所需资源，包括人力、技术和财务支持。

②系统集成与部署。在明确需求后，下一步是系统集成，将传感器、数据采集系统与现有的制动系统相结合。成功的集成要求硬件与软件的无缝协作，确保能够实时监测和预警制动系统的状态。部署过程中，应确定数据采集的频率、模型的训练与验证周期，以及维护的具体操作流程。同时，需进行系统测试，以验证系统的功能和可靠性，并根据反馈进行优化。

5.2 实施中可能面临的挑战和对策

即便有详细的实施策略，在实际操作中依然会面临诸多挑战：

①数据隐私与安全。在预测性维护中，收集和分析大量的数据是必不可少的，这也带来了数据隐私和安全的挑战。为了保护数据，企业需要建立健全的数据管理政策，使用先进的加密技术保护数据传输和存储。同时，获得用户的明确同意，并确保信息的使用符合相关法规。对于可能的数据泄露事件，也需要制定快速响应计划。

②技术瓶颈与解决方案。实施过程中可能遇到的技术瓶颈包括传感器可靠性不足、数据传输延迟、模型准确性受限等。为克服这些瓶颈，可采用高精度传感器并优化数据传输网络。在建模方面，需不断优化算法，提升故障预测的准确性。同时，引入人工智能技术以增强模型的自我学习能力，从而改善预测准确性和系统适应性。此外，培训技术人员，提高其对新技术的接受度和适应能力，也是解决技术难题的重要策略之一。

通过以上策略的有效实施以及对潜在挑战的积极应对，可以显著提高商用车制动系统的维护效率和可靠性。

6 结语

本研究详细探讨了商用车制动系统可靠性评价及预测性维护方法的重要性。随着交通运输行业的不断发展，车辆的安全性能直接关系到乘客和货物的安全。其中，制动系统作为核心安全部件，其可靠性直接影响车辆的整体安全性能。因此，通过提高制动系统的可靠性，可以有效减少故障发生的概率，降低维护成本，提高车辆的使用稳定性。在本研究中，我们从可靠性分析、故障预测、维护策略优化等方面进行了深入研究，提出了系统化的解决方案。这不仅能够帮助维护人员更好地掌握系统状态，还能通过预测性维护策略的实施，提前预知系统可能的故障点，从而在问题出现之前采取相应措施，大大减少突发故障带来的风险。

随着科技的进步，新技术在商用车制动系统的可靠性评估与维护中将扮演日益重要的角色。物联网（IoT）技术的发展使得实时监控和数据采集变得更加高效。通过传感器网络可以实现对制动系统实时状态的追踪与数据分析，为预测模型提供准确的数据支撑。此外，人工智能（AI）在大数据分析中的应用可以提高故障预测的准确性和维护策略的合理性。

未来，跨领域的合作和标准化发展也将成为趋势。交通领域的复杂性决定了单一学科的研究难以全面解决制动系统的所有问题。因此，需加强机械工程、材料科学、计算机科学等多学科的交叉融合，促进可靠性评估和预测性维护技术的发展。同时，行业标准的统一与规范化可以推动技术成果的广泛应用，确保新技术的安全性和适应性，为交通运输行业的持续发展提供强有力的技术保障。

参考文献

[1] 变环境试验下车辆可靠性增长评估方法研究. 徐泽宇.南京林业大学,2022

[2] 高炉炼铁工序能效评估软件实现. 吕仓.冶金自动化研究设计院,2018

[3] 城市道路建设工程生命周期评估软件的研究及应用. 冯述青.复旦大学,2014

[4] 组网雷达系统性能评估软件的设计与实现. 何凯鸽.西安电子科技大学,2021

[5] 既有建筑可靠性评估理论及系统软件开发研究. 熊博文.长沙理工大学,2015

[6] 基于失效数据的软件可靠性评估及分析工具的实现. 姚珍.电子科技大学,2007

[7] 电网运行可靠性评估分布式算法研究及软件实现. 杨飞虎.合肥工业大学,2006

[8] 基于云模型的可靠性评估方法及软件开发. 陈景龙.哈尔滨工业大学,2014

[9] 基于试验技术的发动机可靠性评估. 潘高平.江西理工大学,2016

[10] 雷电风险评估软件的设计及实现. 李海雷.山东大学,2013