

基于可靠性工程的和谐3型内燃机车故障预测与维护策略研究

顾明浩

国能朔黄铁路发展有限责任公司车辆分公司 河北 沧州 062350

摘要：本文围绕基于可靠性工程的和谐3型内燃机车故障预测与维护策略展开。先阐述可靠性工程基础，包括理论、机车系统结构及数据收集处理。再依据该理论，柴油机故障、传动系统故障，牵引系统等关键部件的典型故障模式。之后构建故障预测模型，涵盖技术选型、数据驱动模型搭建及多源数据融合预测。最后优化维护策略，对比传统方式，提出基于PHM的维护策略及数据驱动、风险评估等优化手段，以提升机车可靠性与维护效率。

关键词：和谐3型内燃机车；可靠性工程；故障预测；维护策略

1 和谐3型内燃机车可靠性工程基础

和谐3型内燃机车作为铁路运输的关键设备，其可靠性工程基础是保障机车稳定运行、提升运输效率的核心支撑。从可靠性理论体系来看，它遵循全面且系统的可靠性工程原理。在设计阶段，充分考虑机车运行过程中可能遭遇的各种工况与环境因素，运用先进的可靠性设计方法，如冗余设计、降额设计等，为机车打造坚实的可靠性根基。例如，关键部件采用冗余配置，当某一部件出现故障时，冗余部件能及时投入工作，确保机车持续运行。在制造环节，严格的质量控制体系是保障可靠性的关键。从原材料采购到零部件加工、组装，每一个步骤都遵循高标准的质量规范。先进的制造工艺和精密的检测设备，确保机车各部件的加工精度和质量一致性，降低因制造缺陷导致的故障风险。试验验证是可靠性工程不可或缺的一环。和谐3型内燃机车在投入使用前，会经历一系列严格的可靠性试验，包括环境适应性试验、耐久性试验等。通过模拟机车在实际运行中可能遇到的各种极端条件，检验机车的性能和可靠性，及时发现并解决潜在问题^[1]。运行监测与维护管理是机车可靠性的重要保障，借助先进的传感器技术和信息化系统，对机车运行状态进行实时监测，收集运行数据，运用数据分析技术提前发现故障隐患。同时制定科学合理的维护计划，根据机车的实际运行状况和维护数据，实施精准维护，有效延长机车使用寿命，降低故障发生率。和谐3型内燃机车的可靠性工程基础涵盖设计、制造、试验、运行监测与维护等多个方面，通过各个环节的协同配合，构建起全方位、多层次的可靠性保障体系，为铁路运输的安全、高效运行提供了坚实保障。

2 基于可靠性工程的和谐3型内燃机车典型故障模

式分析

2.1 柴油机故障分析

和谐3型内燃机车的核心动力来源于其高效柴油机。在实际运行中，柴油机可能遭遇多种故障模式，严重影响机车的牵引性能。其中，燃油喷射系统故障是导致柴油机动力下降的主要原因之一，包括喷油嘴堵塞、燃油泵压力不足等问题，这些故障会导致燃油雾化不良，燃烧不充分，进而引发功率下降和排放恶化。此外，柴油机冷却系统故障同样值得高度关注。冷却液泄漏、散热器堵塞等问题若不及时处理，均可能直接导致发动机过热。气缸套与活塞环磨损也是常见的故障模式，长期运行会导致密封性能下降，机油消耗增加，同时影响柴油机的经济性和可靠性。

2.2 传动系统故障分析

和谐3型内燃机车的传动系统负责将柴油机的动力高效传递至车轮，其故障同样对机车的运行稳定性构成挑战。万向轴与联轴器，作为动力传输链路上的核心组件，其运行状态直接影响到机车的动力传递效率和稳定性。长期运行中的磨损与松动，会导致动力传输过程中的振动加剧和异常噪音的产生，这些不仅降低了乘坐的舒适性，还可能对机车结构产生额外负担，影响行驶安全。牵引电动机的性能同样对机车的整体表现至关重要，电动机绕组可能出现的短路，以及轴承因润滑不足或过度负载导致的过热现象，都会直接削弱机车的牵引能力和制动效能。这些故障不仅降低了机车的响应速度和运行效率，严重时还可能危及行车安全，因此必须给予充分的重视和及时的维护。

2.3 牵引系统故障

牵引系统作为和谐3型内燃机车的动力源泉，其故障

模式直接关系到机车的牵引性能和运行效率。牵引电机故障是牵引系统的主要问题之一,包括电机绕组短路、断路、绝缘损坏等,这些故障可能导致电机过热、振动加剧甚至烧毁,严重影响机车的牵引力输出。逆变器故障也是牵引系统常见的故障模式,表现为功率模块损坏、控制电路故障等,导致逆变器无法正常工作,影响电能的转换效率和机车的运行平稳性。传动装置故障如齿轮箱漏油、轴承损坏等,也会降低机车的传动效率,增加运行噪音和振动。这些故障模式对机车的牵引性能和运行效率产生严重影响,需及时诊断并修复。

2.4 制动系统故障

制动系统是和谐3型内燃机车安全运行的重要保障,其故障模式直接关系到机车的制动性能和行车安全。制动失效是制动系统最严重的故障之一,可能由制动管路泄漏、制动缸故障或制动控制系统失灵引起,导致机车在紧急情况下无法迅速减速停车,引发严重事故^[2]。制动距离过长也是制动系统常见的问题之一,可能由制动蹄片磨损,影响机车的制动效果和行车安全。制动噪音大也是制动系统故障的一种表现,可能由制动部件松动、磨损不均或润滑不良引起,降低乘客的乘坐舒适度。这些故障模式对机车的制动性能和行车安全构成严重威胁,需加强日常维护和检修。

2.5 其他辅助系统故障

除了上述主要系统外,和谐3型内燃机车还包括空调系统、照明系统、通信系统等辅助系统。这些辅助系统虽然不直接参与机车的牵引和制动过程,但其故障模式同样不容忽视。空调系统故障可能导致车内温度过高或过低,影响机车的运行环境。照明系统故障则可能影响机车的夜间运行安全,增加事故风险。通信系统故障可能导致信息传递不畅,影响机车的调度和管理效率。辅助系统中的电气元件老化、线路短路等问题也可能引发火灾等严重后果。这些故障模式虽不直接危及行车安全,但对机车的整体性能和乘客的乘坐体验产生负面影响,需引起足够重视。

3 和谐3型内燃机车故障预测模型构建

3.1 故障预测技术选择

故障预测技术的选择是构建有效预测模型的基础。针对和谐3型内燃机车的复杂系统特性,需综合考虑多种预测技术的优缺点,选择最适合的技术方案。首先,基于物理模型的预测方法通过建立机车的物理模型,利用数学公式和物理定律预测故障发生。然而这种方法高度依赖于对机车物理特性的准确理解,且对于复杂非线性系统的建模难度较大。其次,统计学习方法,如时间序

列分析、回归分析等,通过对历史数据的统计分析,发现故障发生的规律性。这类方法相对简单易行,但需要大量的历史数据支持,且对数据的完整性和准确性要求较高。近年来,随着人工智能技术的快速发展,机器学习与深度学习算法在故障预测领域展现出巨大潜力。如支持向量机(SVM)、随机森林、神经网络等算法,能够自动从数据中学习故障特征,实现故障的精准预测。特别是深度学习算法,如卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)及其变体长短期记忆网络(LSTM)等,在处理大规模、高维度数据时表现出色,适用于复杂系统的故障预测。

3.2 数据驱动预测模型构建

数据收集方面,需从和谐3型内燃机车的多个子系统中收集数据,包括但不限于发动机状态、传动系统、制动系统、电气系统等。数据类型涵盖运行参数、故障代码、维护记录等,确保数据的全面性和多样性。数据处理阶段,需对收集到的数据进行清洗、归一化、特征提取等操作,以消除噪声、统一数据尺度,并提取出对故障预测有用的特征。模型训练阶段,选择合适的机器学习算法,如LSTM神经网络,利用处理后的数据进行训练。训练过程中,需设置合理的超参数,采用交叉验证等方法评估模型性能,避免过拟合或欠拟合现象的发生^[3]。构建完成后,需对模型进行验证与优化。通过对比模型预测结果与实际故障发生情况,评估模型的准确性、召回率等指标,并根据评估结果对模型进行调整与优化,以提高预测性能。

3.3 多源数据融合预测

和谐3型内燃机车的运行涉及多个子系统,各子系统之间相互关联、相互影响。因此在故障预测中,单一数据源往往难以全面反映机车的运行状态。多源数据融合预测技术通过整合来自不同子系统的数据,实现更全面、更准确的故障预测。多源数据融合包括数据级融合、特征级融合和决策级融合三个层次。数据级融合直接对原始数据进行融合,适用于数据结构相似、时间同步性好的情况;特征级融合则对各子系统的特征进行融合,适用于数据结构差异较大、但特征可提取的情况;决策级融合则基于各子系统的预测结果进行融合,适用于各子系统预测模型独立且结果互补的情况。在实际应用中,可根据和谐3型内燃机车的具体特点,选择合适的融合层次和方法。通过多源数据融合预测技术,可充分利用各子系统的信息,提高故障预测的准确性和可靠性。

4 基于故障预测的维护策略优化

随着现代工业设备复杂性的增加和运行环境的多变,传统维护策略已难以满足高效、精准的维护需求。基于故障预测的维护策略优化,尤其是结合PHM(故障预测与健康管理)技术,成为提升设备可靠性和降低维护成本的关键途径。

4.1 传统维护策略分析

传统维护策略主要分为定期维护和故障后维护两种模式。定期维护,即按照预设的时间间隔或运行里程对设备进行全面检查与维护,旨在预防潜在故障的发生。然而这种策略往往导致“过度维护”或“维护不足”的问题。一方面,对于状态良好的设备,频繁的维护不仅增加了维护成本,还可能因不当操作引入新的故障;另一方面,对于已出现早期故障征兆的设备,定期维护可能因时间间隔过长而错过最佳维护时机,导致故障恶化。故障后维护则是在设备出现故障后进行的修复性维护,这种策略虽然能够解决当前故障,但往往伴随着较高的停机时间和维修成本,且可能因故障导致的连锁反应影响整个系统的正常运行,故障后维护难以提前预防故障的发生,对设备长期可靠性的提升作用有限。

4.2 基于PHM(故障预测与健康管理)的维护策略

PHM技术通过集成传感器、数据采集与处理、故障预测算法以及维护决策支持系统,实现了对设备状态的实时监测与故障预测。基于PHM的维护策略,旨在根据设备的实时状态和预测结果,制定个性化的维护计划,实现精准维护。具体而言,PHM系统首先通过传感器收集设备的运行数据,如温度、振动、压力等,然后利用数据采集与处理技术对数据进行清洗、分析和特征提取。接着,通过故障预测算法(如机器学习、深度学习等)对提取的特征进行分析,预测设备未来的故障趋势和剩余使用寿命。最后,根据预测结果,结合维护资源、成本效益等因素,制定最优的维护计划,包括维护时间、维护内容、维护方式等。基于PHM的维护策略具有以下优势:一是能够提前发现设备的潜在故障,避免故障恶化导致的严重后果;二是能够根据设备的实际状态制定个性化的维护计划,减少不必要的维护工作;三是能够降低维护成本,提高设备的可用性和可靠性。

4.3 维护策略优化方法

维护策略的优化是一个持续迭代的过程,需要结合实际运行数据和维护经验不断调整和完善。以下介绍几种常见的维护策略优化方法;(1)数据驱动优化:利用大数据分析和机器学习技术,对设备的历史运行数据和维护记录进行深入挖掘,发现设备故障的规律性和影响因素,从而优化维护策略^[4]。(2)风险评估优化:建立设备故障的风险评估模型,综合考虑故障发生的可能性、影响程度以及维护成本等因素,对维护策略进行优先级排序。通过优先处理高风险故障,可以降低设备停机时间和维修成本,提高整体维护效率。(3)动态调整优化:根据设备的实时状态和预测结果,动态调整维护计划。例如,当设备出现早期故障征兆时,可以提前安排维护工作,避免故障恶化;当设备状态良好时,可以适当延长维护周期,减少维护成本。(4)协同优化:考虑设备之间的相互影响和依赖关系,实现多设备协同维护。通过优化设备之间的维护顺序和资源分配,可以提高整体维护效率,降低维护成本。

结束语

本文深入探讨了基于可靠性工程的和谐3型内燃机车故障预测与维护策略。通过系统研究,不仅揭示机车典型故障模式,还构建高效的故障预测模型,并提出了基于PHM的维护策略及多种优化方法。这些研究成果为提升和谐3型内燃机车的可靠性和维护效率提供有力支持。未来,随着技术的不断进步,将继续完善故障预测模型和维护策略,为铁路运输系统的安全稳定运行贡献力量。

参考文献

- [1]沈刚.内燃机车常见故障分析及维修措施研究[J].内燃机与配件,2021(16):2.DOI:10.3969/j.issn.1674-957X.2021.16.053.
- [2]王峰,佟胜奇,牛鹏飞.铁路内燃机车常见故障与维修工作研究[J].内燃机与配件,2020(12):180-181.
- [3]高国栋.铁路内燃机车常见故障与维修[J].科技经济导刊,2020,28(04):64-65.
- [4]周多虎.工程机械液压系统的现场故障诊断与维修技术研究[J].内燃机与配件2021(22):108-110.