

基于智能技术的机车压缩机故障预测与维护策略优化

贺小龙

国能新朔铁路有限责任公司机务分公司 内蒙古鄂尔多斯 017000

摘要: 本论文聚焦铁路机车压缩机智能故障预测与优化保养策略。阐述了研究背景与意义,介绍铁路机车压缩机故障预测方法,涵盖基于数据驱动、模型驱动及混合方法,并分析各方法优缺点。提出优化保养策略,包括基于状态的保养、预测性保养和可靠性为中心的保养。通过案例分析验证策略有效性,指出研究在数据质量、模型复杂度、多因素耦合等方面面临挑战,展望未来研究方向,为铁路机车压缩机安全高效运行提供参考。

关键词: 铁路机车; 压缩机; 智能故障预测; 优化保养策略

引言

铁路机车作为铁路运输的核心设备,其安全稳定运行至关重要。在铁路机车中,压缩机是空调系统和制动系统等核心部件的关键动力源。若压缩机发生故障,不仅会干扰机车的正常运行,还可能触发安全事故,进而导致重大经济损失和社会影响。以往的压缩机故障诊断与保养主要依靠定期检修和人工巡检,但这种方式存在耗时费力的问题,而且难以发现一些隐蔽的故障,容易出现过度维修或维修不足的情况,增加了维修成本,降低了机车的运行效率。

在当今数字化浪潮奔涌向前、信息技术以前所未有的速度迭代升级的时代背景下,大数据分析、人工智能算法、物联网监测等一系列先进的信息技术如璀璨星辰般不断涌现并相互交融,深刻地改变着众多行业的传统运作模式。在这样的时代洪流中,铁路机车维护领域也迎来了前所未有的变革契机,智能故障预测与优化保养技术犹如一颗冉冉升起的新星。通过对铁路机车压缩机运行数据的实时监测和分析,利用先进的算法模型实现对故障的早期预警和准确识别,并根据预测结果制定合理的保养策略,可以有效提高压缩机的可靠性和使用寿命,降低维修成本,保障铁路运输的安全和顺畅^[1]。

一、铁路机车压缩机的概述

1. 铁路机车压缩机的类型与作用

铁路机车压缩机通常采用活塞式或螺杆式结构,其工作原理是通过机械运动将空气压缩至一定压力,以满足机车制动系统等设备的需求。活塞式压缩机依靠活塞在气缸内的往复运动,经过吸气、压缩和排气三个阶段来完成空气压缩。而螺杆式压缩机则是利用两个相互啮

合的螺杆转子旋转,在转子与机壳之间形成压缩腔,从而实现空气的压缩,从而实现空气的压缩。

2. 压缩机的工作原理

在铁路机车制冷系统中,压缩机作为核心部件,主要负责将低温低压的制冷剂气体转化为高温高压气体,为整个制冷系统提供动力支持。压缩机的工作原理基于热力学和机械学的原理,通过机械能转化为制冷剂气体的内能,从而实现制冷剂的压缩和加热^[2]。

压缩机的类型是多种多样的,因此它们的工作原理和结构特点也不尽相同。常见的主要有活塞式压缩机、螺杆式压缩机、离心式压缩机等。活塞式压缩机通过活塞在气缸内的往复运动来压缩制冷剂气体;螺杆式压缩机通过两个相互啮合的螺杆来压缩制冷剂气体;离心式压缩机借助叶轮的高速旋转运动,将制冷剂气体向外抛甩并实现压缩过程。

二、铁路机车压缩机故障预测方法

1. 基于数据驱动的故障预测方法

基于数据驱动原理的故障预测技术,主要依托于各类传感器实时采集压缩机的运行参数,诸如压力值、温度变化、振动频率等,随后运用数据挖掘技术与机器学习算法对这些海量数据进行深度剖析与处理,进而构建出精准的故障预测模型。其中,神经网络、支持向量机、决策树等算法是该领域的常用手段。

以神经网络为例,它凭借卓越的非线性映射能力及自适应学习机制,能够从海量的运行数据中自动提炼出压缩机的故障特征与内在规律。经过对历史故障数据的深度学习,神经网络可实现对压缩机未来运行态势的精准预判,并给出故障发生的可能性概率。不过,神经网络方法也并非尽善尽美,它存在模型架构复杂、训练周

期冗长以及易陷入过拟合困境等局限性。

2. 基于模型驱动的故障预测方法

基于模型驱动的故障预测方法是根据压缩机的物理特性和工作原理，建立其数学模型，通过模型仿真和分析来预测故障的发生。常见的模型包括热力学模型、动力学模型等。

热力学模型可以描述压缩机内部的热传递和能量转换过程，通过对模型的求解可以得到压缩机的温度、压力等参数的变化情况。当这些参数超出正常范围时，可能预示着故障的发生。动力学模型则可以描述压缩机的运动学和动力学特性，通过对模型的分析可以预测压缩机的振动、磨损等故障。基于模型驱动的故障预测方法具有物理意义明确、可解释性强等优点，但模型的建立需要准确的物理参数和边界条件，且对于复杂的系统，模型的求解难度较大。

3. 混合故障预测方法

混合故障预测策略融合了数据驱动与模型驱动两种技术路径，通过协同发挥两者的互补优势，实现故障预测精度与稳定性的双重提升。具体而言，该策略可先采用数据驱动技术对压缩机运行数据进行预处理，完成关键特征变量的智能提取；随后将提取的特征参数作为输入变量，导入基于物理机理或知识规则的模型驱动预测框架中，开展二次分析与精准预测。这种分级递进式的预测架构，既保留了数据驱动方法的灵活性与适应性，又发挥了模型驱动方法的可解释性与可靠性，有效规避了单一方法的局限性。

混合故障预测方法可以有效地解决单一方法的局限性，但在实际应用中，如何实现两种方法的有效融合和数据共享是一个需要解决的问题^[3]。

三、铁路机车压缩机优化保养策略

1. 基于状态的保养策略

基于状态的保养策略是根据压缩机的实际运行状态制定保养计划，而不是按照固定的时间周期或运行里程进行保养。通过对压缩机的运行数据进行实时监测和分析，评估其健康状况和剩余使用寿命，当压缩机的状态达到一定的阈值时，及时进行保养维护。

基于状态的保养策略可以避免过度维修和维修不足的问题，提高保养的针对性和有效性。例如，针对运行状态良好的压缩机，可结合实际工况适当延长维护周期；而对于存在潜在故障隐患的机组，则需及时采取针对性措施，通过强化监测、调整运行参数或提前安排检修等方式，规避故障风险，可以提前进行保养，防止故障的发生。

2. 预测性保养策略

预测性维护策略以故障趋势预判为核心，基于对设备运行状态的动态评估，预先规划维护周期与措施，通过主动干预手段防范潜在故障风险。通过对压缩机的故障预测，确定故障发生的时间和部位，提前准备好所需的备件和工具，安排专业的维修人员进行保养维护。

预测性保养策略可以最大程度地减少压缩机的停机时间，提高机车的运行效率。例如，当预测到压缩机的某个部件即将出现故障时，可以在故障发生前对该部件进行更换或维修，避免因故障导致的紧急停机。

3. 可靠性为中心的保养策略

可靠性为中心的保养策略是以提高压缩机的可靠性为目标，综合考虑故障的后果、发生概率和维修成本等因素，构建精准的保养优化方案。借助压缩机故障模式与影响分析（FMEA）技术体系，深度识别系统核心故障形态及关键部件节点，针对这些关键部件制定重点保养计划。

可靠性为中心的保养策略可以有效地降低压缩机的故障率，提高机车的运行安全性。例如，对于一些关键部件，可以采用更加严格的保养标准和更加先进的保养技术，确保其可靠运行^[4]。

四、案例分析

1. 案例背景

某铁路局管辖的铁路线路覆盖范围广，运行里程长，且线路条件复杂，包括山区、平原、隧道等多种地形。该铁路局的一列内燃机车在长期运行过程中，其空调系统压缩机频繁出现故障，故障现象主要表现为压缩机启动困难、运行噪音大、制冷效果不佳等。这些故障不仅影响了乘务人员的工作环境，降低了旅客的乘坐体验，还增加了机车的维修成本和停运时间，对铁路运输的安全和效率产生了一定的影响。

为了深入了解压缩机故障的原因，该铁路局组织专业技术人员对故障压缩机进行了详细的检查和分析。通过对压缩机外观、内部结构以及运行数据的检查，发现压缩机存在轴承磨损、润滑不良、密封件老化等问题。同时，通过对压缩机运行数据的统计分析，发现压缩机的压力、温度、振动等参数在故障发生前会出现异常波动，这为采用智能故障预测与优化保养策略提供了依据。

2. 故障预测与保养策略实施

数据采集：为了实现对压缩机运行状态的实时监测，于压缩机系统内，配置了具备高分辨率特性的压力感知单元、温度探测装置及振动监测模块。这些精密元件可

同步捕获压缩机的进气端压力、排气端压力、润滑油温度、轴承热态参数以及机械振动幅值等关键运行数据，并将数据通过无线传输技术传输到铁路局的数据中心。同时，为了确保数据的准确性和可靠性，对传感器进行了定期的校准和维护。

数据预处理环节：所采集的原始数据通常包含噪声干扰与数据缺失等异常状况，需通过专业手段进行系统性修正。具体操作包括：运用滤波算法对数据流实施去噪净化，精准剥离干扰信号；采用插值技术对缺失数据点进行智能填补，确保数据序列的连续性；同时实施归一化变换，将数据特征值映射至统一量纲区间，将不同量纲的数据转换为统一的范围，便于后续的分析 and 处理。

故障预测模型建立：综合考虑数据驱动和模型驱动方法的优缺点，采用混合故障预测方法。首先，采用数据驱动技术框架下的支持向量机（SVM）模型，对压缩机运行数据实施特征降维与模式分类，通过构建多维特征空间映射关系，实现设备正常工况与异常故障状态的特征模式智能辨识。然后，建立压缩机的热力学模型和动力学模型，将提取的特征参数作为输入，通过模型仿真分析压缩机的运行状态和故障发展趋势。在模型训练过程中，采用历史故障数据对模型进行训练和优化，提高模型的预测准确性。

保养策略制定：根据故障预测结果，制定了基于状态和预测性的保养策略。对于运行状态良好的压缩机，根据其剩余使用寿命和运行工况，制定合理的保养周期，定期进行润滑油更换、滤芯清洗等常规保养工作。对于存在潜在故障隐患的压缩机，根据故障预测结果，提前准备好所需的备件和工具，安排专业的维修人员进行针对性的保养和维修。例如，当预测到压缩机的轴承即将出现磨损故障时，提前更换轴承；当预测到压缩机的密封件老化时，及时更换密封件。

3. 实施效果评估

故障率降低：在实施智能故障预测与优化保养策略后，压缩机的故障率明显降低。通过对实施前后的故障数据进行对比分析，发现实施后压缩机的故障次数减少，故障间隔时间延长。这表明智能故障预测与优化保养策略能够有效地提前发现压缩机的潜在故障隐患，及时进行保养和维修，避免了故障的发生。

维修成本降低：由于采用了优化保养策略，减少了不必要的维修工作，降低了维修成本。同时，通过对备

件库存的精准管理，避免了备件的积压和浪费，进一步降低了备件采购成本。实施后，压缩机的维修成本降低。

机车运行效率提高：压缩机的稳定运行保证了机车空调系统的正常工作，提高了乘务人员的工作环境和旅客的乘坐体验。同时，减少了因压缩机故障导致的机车停运时间，提高了机车的运行效率。实施后，机车的准点率提高了，运输能力得到了有效提升^[5]。

五、结论

1. 研究结论

本研究对铁路机车压缩机智能故障预测与优化保养策略进行了深入探讨，提出了基于数据驱动、模型驱动和混合的故障预测方法，以及基于状态、预测性和可靠性为中心的保养策略。通过案例分析验证了所提出的故障预测方法和保养策略的有效性和可行性。

2. 研究不足与展望

尽管本研究取得了一定的成果，但仍存在一些不足之处。例如，故障预测模型的准确性和可靠性还有待进一步提高，保养策略的优化程度还不够，对于复杂多变的运行环境，故障预测和保养策略的适应性还需要进一步研究。

未来研究可聚焦于突破性故障预测算法与模型的研发，通过引入前沿计算技术提升预测效能的精准度与稳定性。具体而言，需深度融合大数据分析、云计算架构及人工智能算法，构建铁路机车压缩机远程监测网络，实现实时数据采集与智能诊断决策。在此基础上，依托动态数据反馈机制持续优化维护策略，形成“预测-决策-维护”的闭环管理体系，最终达成提升铁路运输系统安全性与经济性的双重目标。

参考文献

- [1] 张省伟, 刘瑶. 螺杆式压缩机常见故障分析[J]. 微型电脑应用, 2018, 34(10): 120-122.
- [2] 黄志高, 王元芳. 铁路机车双螺杆式空气压缩机保养探讨[J]. 装备制造技术, 2017(03): 128-129, 159.
- [3] 徐红. 铁路客车空调机组压缩机绝缘不良原因及对策[J]. 铁道车辆, 2017, 55(08): 42-43, 5.
- [4] 何成才, 黄志高. 铁路机车双螺杆式空气压缩机过热原因分析[J]. 铁道机车车辆, 2013, 33(04): 94-96.
- [5] 高永斌. 铁路旅客列车空调压缩机故障原因分析及建议[J]. 上海铁道科技, 2011(04): 44-45.