

轨道交通车辆轮轴固死故障预测模型研究

李 白

神铁二号线（天津）轨道交通运营有限公司 天津 300300

摘 要：随着轨道交通的快速发展，轨道交通车辆的安全问题日益突出。其中，轮轴固死故障作为一种严重的故障形式，若不及时处理，可能导致严重的行车事故。因此，研究轨道交通车辆轮轴固死故障预测模型及其预防措施显得尤为重要。本文旨在探讨轨道交通车辆轮轴固死故障预测模型的研究方法、模型构建、以及未来发展方向，以期为轨道交通车辆的安全运行提供理论依据和技术支持。

关键词：轨道交通；轮轴固死；故障预测模型；大数据分析；安全运行

引言

轨道交通作为现代城市交通的重要组成部分，其安全性和可靠性直接关系到乘客的生命安全和社会稳定。轮轴作为轨道交通车辆的关键部件，承担着导向、移动和承载的功能，其运行状态直接影响车辆的安全性能。轮轴固死故障作为一种严重的故障形式，通常由轮轴组装不当、检修时操作过激、电腐蚀等原因引起，若不及时处理，可能导致严重的行车事故。因此，研究轨道交通车辆轮轴固死故障预测模型及其预防措施，对于保障轨道交通车辆的安全运行具有重要意义。

1 轨道交通车辆轮轴固死故障的原因分析

1.1 轮轴组装不当的细致分析

轮轴组装是轨道交通车辆制造过程中的关键环节，其组装质量直接关系到车辆的运行稳定性和安全性。轮轴组装不当，如装配误差、配合间隙过大或过小等问题，都可能成为轮轴固死故障的潜在诱因。具体来说，装配误差可能导致轮轴在运行过程中受力不均，进而产生异常磨损和变形；配合间隙过大则可能导致轮轴在高速运转时产生晃动，加剧磨损；而配合间隙过小则可能使轮轴在运转过程中产生过大的摩擦热，导致材料热膨胀、变形，甚至熔化，最终引发轮轴固死。因此，在轮轴组装过程中，必须严格控制装配精度和配合间隙，确保轮轴能够平稳、高效地运转。

1.2 检修时操作过激的深入剖析

检修是轨道交通车辆维护保养的重要环节，但检修过程中的不当操作也可能成为轮轴固死故障的诱因。例如，使用不合适的工具或方法检修轮轴，可能会对其表面造成划痕、凹凸面等损伤。这些损伤在轮轴运行过程中会成为磨损的起点，加剧轮轴的磨损和变形，进而引发轮轴固死。此外，检修过程中若未对轮轴进行充分的清洁和润滑，也可能导致轮轴在运行过程中产生干摩

擦，加速磨损和变形。因此，在检修过程中，必须严格按照操作规程进行，使用合适的工具和润滑剂，确保轮轴得到充分的保护和润滑。

1.3 电腐蚀的详细探讨

电腐蚀是轨道交通车辆轮轴固死故障的另一大元凶。在车辆运行过程中，由于电气系统的故障或异常操作，可能导致轮轴表面产生电腐蚀现象。电腐蚀会破坏轮轴表面的金属结构，形成擦伤缺损等问题，这些缺损在轮轴运行过程中会成为应力集中的区域，加剧磨损和变形，进而引发轮轴固死。此外，电腐蚀还可能产生腐蚀产物，这些产物在轮轴运转过程中会加剧摩擦和磨损，进一步加速轮轴的损坏^[1]。因此，在车辆运行过程中，必须加强对电气系统的维护和检查，及时发现并处理潜在的电气故障，防止电腐蚀对轮轴造成损害。

2 轨道交通车辆轮轴固死故障预测模型构建

2.1 数据收集

数据收集是构建预测模型的第一步，也是至关重要的一步。针对轨道交通车辆轮轴固死故障，需要收集车辆运行过程中的多种关键数据，以全面反映车辆的运行状态。具体来说，牵引电流是反映车辆动力性能的重要指标，其变化可能预示着轮轴受力状态的异常；各架轴速则直接反映了轮轴的运转情况，是判断轮轴是否存在异常磨损或固死趋势的重要依据；参考速度则是车辆运行过程中的基准速度，有助于对比实际速度与预期速度的差异，从而发现潜在问题。这些数据应通过多种传感器实时监测获取，并确保数据的准确性和完整性，为后续分析提供可靠基础。在数据收集过程中，还应注意数据的时效性和代表性。时效性要求数据能够及时反映车辆当前的运行状态，避免因数据滞后而导致的预测误差；代表性则要求数据能够覆盖车辆运行的各种工况和条件，以确保模型的泛化能力。

2.2 数据预处理

数据收集完成后,接下来是数据预处理工作。这一步骤的目的是对原始数据进行清洗、去噪和归一化处理,以提高数据的质量和可用性。数据清洗包括剔除无效数据、填补缺失值等操作,确保数据的完整性和一致性;去噪则是通过滤波等方法去除数据中的噪声干扰,提高数据的信噪比;归一化则是将数据按照一定比例进行缩放,使其处于同一量级范围内,便于后续的特征提取和模型训练。通过这些预处理操作,可以得到更加干净、有序的数据集,为构建准确的轮轴固死故障预测模型奠定坚实基础。

2.3 特征提取与选择

在轨道交通车辆轮轴固死故障预测模型的构建过程中,特征提取与选择是承上启下的关键步骤。这一步骤旨在从预处理后的数据中挖掘出与轮轴固死故障紧密相关的特征参数,为模型预测提供有力支撑。特征提取是基于对数据的深入理解与分析,通过数学方法或信号处理技术,从原始数据中提炼出能够反映轮轴运行状态的关键信息。例如,可以从牵引电流数据中提取出电流的变化率、峰值等特征,这些特征可能预示着轮轴受力状态的异常变化;从各架轴速数据中,可以计算出轴速的波动率、加速度等特征,这些特征能够反映轮轴运转的平稳性和是否存在异常磨损;同时,还可以结合参考速度数据,分析车辆实际速度与预期速度的偏差,提取出速度偏差率等特征,以判断车辆是否处于非正常运行状态。特征提取完成后,接下来是特征选择工作^[2]。由于提取出的特征可能数量众多,且其中部分特征可能对模型预测的贡献较小,甚至可能引入噪声干扰,因此需要通过特征选择来筛选出最具预测价值的特征参数。这通常可以通过统计方法、机器学习算法或领域知识来实现。例如,可以利用相关性分析来评估特征与轮轴固死故障之间的关联程度,选择相关性较高的特征;或者通过构建初步预测模型,利用特征重要性评估方法来筛选出对模型预测贡献最大的特征。通过精细的特征提取与选择,可以得到一组既具有代表性又能够准确反映轮轴运行状态的特征参数,为构建高效的轮轴固死故障预测模型奠定坚实基础。这不仅有助于提升模型的预测精度和稳定性,还能够降低模型的复杂度,提高运算效率,为轨道交通车辆的运维管理提供更加精准、及时的决策支持。

2.4 模型构建与训练

在完成了特征提取与选择之后,便进入了轮轴固死故障预测模型构建与训练的关键阶段。这一阶段的目标

是利用所选特征参数,构建一个能够准确预测轮轴固死故障的模型,并通过历史数据对其进行训练和优化。模型构建是这一步骤的核心。可以根据问题的具体性质和数据的特性,选择适合的机器学习算法或深度学习算法来构建预测模型。例如,支持向量机(SVM)算法在分类问题上表现出色,可以用于构建轮轴固死故障的二分类预测模型;而随机森林(Random Forest)算法则因其强大的泛化能力和抗过拟合特性,适用于处理复杂的多特征数据集。此外,深度学习算法如卷积神经网络(CNN)和循环神经网络(RNN)等,在处理大规模、高维度和时序数据方面具有独特优势,也可以考虑用于构建预测模型。模型构建完成后,接下来是模型的训练阶段。需要使用历史数据对模型进行训练,通过迭代优化算法来调整模型参数,使其能够更好地拟合数据并预测轮轴固死故障。在训练过程中,可以采用交叉验证等方法来评估模型的性能。交叉验证是一种将数据集划分为多个子集,并轮流用其中一部分作为训练集、其余部分作为验证集来评估模型性能的方法。通过交叉验证,可以得到模型在不同数据集上的表现,从而更全面地评估其泛化能力和预测准确性。根据交叉验证的结果,可以对模型进行相应的调整和优化。例如,调整算法的超参数、增加或减少特征数量、改变模型结构等,以进一步提升模型的预测性能。通过不断的训练和优化,可以得到一个高效、准确的轮轴固死故障预测模型,为轨道交通车辆的运维管理提供有力支持。

3 预测模型的应用与验证

3.1 实时预测与预警

构建并优化完成的轮轴固死故障预测模型,其核心价值在于能够实时应用于轨道交通车辆的监测与预警系统中。这一系统通过无缝对接车辆的实时运行数据,如牵引电流、轴速、振动信号等,利用预测模型对这些数据进行高效处理与分析。当模型检测到任何可能预示轮轴固死故障的异常模式或趋势时,系统会立即触发预警机制,向运维人员发送明确的预警信号。这不仅包括故障发生的可能性,还涵盖故障的可能类型、严重程度以及建议的预防措施。这样的实时预测与预警能力,为运维团队提供了宝贵的提前量,使他们能够迅速响应,采取必要的检修或替换措施,从而有效避免轮轴固死导致的安全事故,确保轨道交通的安全高效运行。

3.2 模型验证与优化

预测模型的准确性和可靠性是其生命线。为了验证模型在实际应用中的表现,必须将其置于真实的轨道交通运行环境中,通过与实际故障记录的对比,来评估模

型的预测精度和召回率。这一验证过程不仅关乎模型的初次部署,更是一个持续进行的循环。随着车辆运行数据的不断累积,可以利用这些新数据对模型进行回溯测试,揭示模型在应对新情况、新故障模式时的表现。基于验证结果,可以对模型进行细致的调整和优化^[3]。这可能涉及修改特征选择、调整算法参数、甚至引入新的算法架构。同时,借助在线学习技术,模型能够在新数据到来时自动更新其参数,保持与车辆运行状态的同步,从而持续提升预测准确性。这种持续验证与优化的循环,是确保预测模型始终保持最佳性能的关键,也是轨道交通车辆运维管理不断进步的驱动力。

4 未来发展方向

4.1 数据融合与多源信息利用:挖掘潜能,提升预测精度

在轨道交通车辆轮轴固死故障预测的研究中,数据融合与多源信息利用无疑是提升模型准确性和可靠性的重要方向。当前,虽然已经能够基于车辆运行数据构建有效的预测模型,但数据的单一性仍然限制了模型的预测潜力。因此,未来的研究应致力于打破数据孤岛,实现多源数据的深度融合。具体而言,可以将车辆运行数据与车辆状态数据(如轮轴磨损程度、轴承温度等)、环境因素数据(如天气状况、轨道条件等)以及历史故障数据进行有机融合。这样的数据融合不仅能够提供更全面、更丰富的信息支持,还能够揭示出隐藏在数据背后的更深层次关联和规律。通过运用先进的数据处理和分析技术,可以从这些融合数据中挖掘出更多与轮轴固死故障相关的特征,从而进一步提升预测模型的准确性和可靠性。

4.2 智能诊断与维护决策支持:技术赋能,推动运维智能化

随着人工智能技术的飞速发展,智能诊断与维护决策支持成为轨道交通车辆运维管理的未来趋势。在轮轴

固死故障预测的基础上,我们可以进一步利用深度学习、机器学习等先进技术,对车辆运行数据进行更加深入和细致的分析。通过构建智能诊断模型,可以实现对轮轴固死故障的智能识别和精确分类。这不仅能够帮助运维人员快速定位故障点,还能够提供故障的原因分析和可能的解决方案^[4]。同时,基于诊断结果,可以进一步开发维护决策支持系统,为运维人员提供科学、合理的维护建议。这样的系统能够综合考虑车辆的运行状态、维修历史、备件库存等多种因素,为运维人员提供最优的维护方案,从而大大提高维护效率和质量。

结语

轨道交通车辆轮轴固死故障预测模型的研究对于保障轨道交通车辆的安全运行具有重要意义。通过深入分析轮轴固死故障的原因,构建有效的预测模型,并应用于实时监测和预警系统中,可以及时发现潜在的故障风险,并采取相应的预防措施,以避免事故的发生。未来研究可以进一步探索数据融合与多源信息利用、智能诊断与维护决策支持等方法,以提高预测模型的准确性和可靠性,为轨道交通车辆的安全运行提供更强大有力的技术支持。

参考文献

- [1]洪旭,陈美霞,滑瑾.轨道交通车辆轮轴固死故障预测模型研究[J].城市轨道交通研究,2024,27(05):171-174.
- [2]李大伟,何开浒,李兰.贵阳地铁1号线电客车轮轴卡死、闸片抱死异常情况下应急处理措施研究[J].科技创新与应用,2020,(22):128-130.
- [3]李康民,王鹏.轨道交通车辆智能化维修管理研究[J].轨道交通装备与技术,2023,(S2):137-140.
- [4]王隆龙,袁涛,汪宇昕.物联网技术在轨道交通车辆的应用场景分析及试验验证[J].铁道机车车辆,2024,44(03):113-118.