

现代化铁路机务设备维护与故障诊断技术研究

中 政

国家能源投资集团朔黄铁路公司机辆分公司 河北 沧州 062350

摘 要：现代化铁路机务设备在铁路运输中占据核心地位，其维护与故障诊断技术面临设备复杂度攀升、诊断实时性要求高及成本控制难等挑战。本文系统探讨状态监测、预防性维护等维护技术，以及基于人工智能、智能传感与数据分析融合的故障诊断技术，剖析技术应用优势与优化方向。研究表明，智能化、自动化、集成化将成为未来发展趋势，为铁路机务设备安全高效运行提供关键保障。

关键词：现代化铁路机务设备；维护技术；故障诊断技术

引言

在现代化铁路运输体系中，机务设备作为铁路运输的“心脏”，其稳定运行是保障列车安全、高效行驶的核心要素。随着科技的飞速发展，铁路机务设备向高度集成化、智能化与复杂化演进，对设备维护与故障诊断工作提出更高要求。高效精准的维护与诊断技术，是保障铁路运输连续安全、降低运营成本、提升运输效率的关键。设备结构繁杂、故障诊断实时苛、维护成本难控，深研技术对铁路发展意义重大。

1 现代化铁路机务设备维护的重要性

在现代化铁路运输体系中，机务设备的稳定运行是确保列车安全、高效运行的核心基础。随着科技的飞速发展，铁路机务设备日益呈现出高度集成化、智能化与复杂化的特点，这对设备的维护工作提出了前所未有的高要求。维护工作以预防性修理和前瞻性部署为核心，旨在从源头预防故障发生，保障铁路运输的连续性。通过对机务设备的定期检查、保养与更新，严格践行“可修可不修必须修，部件可换可不换必须换，决不让带病机车上线作业”的理念，有效识别并消除潜在的安全隐患，防止因设备故障导致列车延误、取消甚至安全事故，确保铁路运输网络的平稳运行。这关乎运输服务质量，更直接关系到国家经济动脉的畅通。高效的维护工作能显著提升铁路机务设备的使用寿命与运行效率。依托科学合理的预防性维护策略与状态监测技术，及时发现并解决设备性能下降问题，避免小故障演变为大事故，减少因设备故障导致的维修成本与时间损失。通过优化维护流程，引入先进的远程监控、大数据分析等技术，提升维护工作的精准性与效率，为铁路运输的高效运营筑牢坚实基础，现代化铁路机务设备的维护工作还肩负着推动行业技术创新与可持续发展的使命。在维护实践中，不断探索新技术、新方法的应用，能提升设备维护水平，还

能促进整个铁路行业的技术进步与产业升级。通过构建智能化、数字化的维护管理体系，实现设备维护的精细化管理，为铁路行业的可持续发展奠定坚实基础。

2 现代化铁路机务设备维护技术

2.1 状态监测技术

在现代化铁路机务设备维护体系里，状态监测堪称设备稳定运行的“定海神针”。它如同敏锐的“侦察兵”，借助先进传感器与智能算法，实时捕捉设备细微变化，精准诊断潜在隐患。通过持续监测、动态分析，为维护决策提供科学依据，将故障扼杀于萌芽，有力保障铁路机务设备安全、高效、平稳运行。其核心在于借助先进的传感器技术，在设备核心与关键部位精准部署，实时采集温度、振动、压力等关键运行参数，这些参数如同设备运行状况的“晴雨表”，精准反映设备实时状态。以铁路机车牵引电机为例，作为动力输出核心部件，其运行状态直接影响列车安全与效率。在牵引电机绕组与轴承处安装高灵敏度温度传感器，实时监测电机运转温度变化。正常工况下，电机温度维持在基于设计参数与长期经验确定的合理区间；如果温度异常升高，可能预示电机内部绕组短路或轴承严重磨损。振动传感器可捕捉电机运行振动信息，正常运行时电机振动幅度与频率具有特定规律，当出现零部件松动、不平衡等状况，振动幅值与频率将发生异常变化。各类传感器采集的数据通过有线传输网络或无线通信协议，高效准确汇聚至数据处理中心。中心利用强大的数据分析算法，对海量数据深度挖掘与分析，通过复杂数学模型与逻辑判断，精确评估设备运行状态，为直流车辅修、小修、中修，以及交流车C1、C2、C3、C4等不同修程的维护决策提供科学依据，助力实现前瞻性的维护部署^[1]。

2.2 预防性维护技术

(1) 数据驱动故障预测体系。预防性维护技术的

核心是构建数据驱动的故障预测体系。该体系基于对设备状态监测获取的实时数据及长期历史运行数据的深度分析,运用大数据处理技术与先进统计分析模型,挖掘设备各部件故障发生规律与潜在风险。基于可靠性理论,精准估算各部件故障概率,构建科学的故障预测模型,提前识别故障高发部件与潜在故障时间点,为预防性维护策略制定提供有力支撑。(2)关键部件的预防性维护策略。针对设备中故障概率高、影响大的关键部件,预防性维护技术采取前瞻性维护策略。详细梳理关键部件故障数据,结合预测模型,提前规划并实施针对性更换或维修作业。秉持“可修可不修必须修,部件可换可不换必须换”的原则,针对突发性故障隐患或特殊运行状况,开展平推检查、专项普查、春季设备鉴定、秋季设备整治等前瞻性作业,全面排查潜在风险,避免关键部件突发故障影响设备运行,确保铁路运输连续性与安全性。精准把握维护时机,减少不必要停机时间,降低维护成本,提高设备利用率。(3)动态调整与成本优化。预防性维护技术具备动态调整与成本优化优势。设备运行过程中,状态监测系统实时反馈运行状态数据,维护策略据此灵活调整预先制定的维护计划。当设备部件磨损速率或性能下降超出预期时,及时调整维护时机与方案,并结合平推、普查等专项作业成果,确保维护工作与设备实际状况紧密匹配。这种动态调整机制有效延长设备使用寿命,优化控制维护成本,通过精准预测与适时干预,提升铁路机务设备维护工作的科学性与经济性^[2]。

3 现代化铁路机务设备故障诊断技术

3.1 基于人工智能的故障诊断技术

在现代化铁路机务设备故障诊断领域,基于人工智能的技术展现出非凡实力。其凭借强大的数据处理与分析能力,能迅速从海量数据中挖掘故障特征,精准识别故障类型与位置。这一技术为故障诊断带来高效、精准的解决方案,有力保障了铁路机务设备的稳定运行。神经网络技术以其强大的非线性映射与自学特性,在铁路机务设备故障诊断中得到广泛应用。以机车电气系统这一复杂且关键的部分为例,在正常运行以及各类故障工况下,电气系统会呈现出不同的特征参数。诸如电压、电流以及功率因数等参数,这些参数犹如电气系统运行状态的独特标识。将这些正常与故障状态下的特征参数精心整理,作为神经网络的输入样本,同时将与之对应的故障类型设定为输出样本,以此对神经网络展开系统训练。在历经大量样本数据的反复训练后,神经网络便具备了对电气系统运行状态的敏锐感知与判断能力。如果输入全新的机车电气系统运行参数,该神经网络能够

迅速启动内部复杂的运算机制,精准判断设备是否陷入故障状态,并且明确指出故障的具体类型。在铁路机务设备故障诊断中,先进技术手段展现强大效能。当机车出现不明原因功率下降时,借助专业设备精准采集电气系统参数,输入已训练完备的神经网络。神经网络凭借强大运算能力,快速甄别故障根源,是功率模块损坏还是控制系统故障,为维修人员指明方向。专家系统深度整合领域专家知识与经验,构建知识库与推理机制。当机车冷却系统出现水温异常、风扇运转异常等故障时,系统依据现场现象,在知识库中推理匹配,精准判断是水泵故障、散热器堵塞还是温控阀问题,并给出针对性维修建议,有力保障铁路机务设备的高效维修^[3]。

3.2 智能传感与数据分析融合技术

(1)智能传感技术作为智能传感与数据分析融合技术的数据采集前端,在铁路机务设备故障诊断中至关重要。它通过部署高精度传感器,如光纤光栅传感器,对轮对等设备运行状态全方位监测,精确采集应力、应变数据,凭借其特性确保数据准确全面,为故障分析提供可靠基础。(2)多源数据的深度融合分析。数据分析技术作为智能传感与数据分析融合技术的核心,承担着从海量数据中挖掘潜在故障信息的重要任务。将智能传感器采集到的轮对应力、应变数据与车辆的运行速度、载重、行驶里程等多源数据进行深度融合分析,是提升故障诊断效能的关键步骤。通过采用先进的数据挖掘算法和机器学习模型,对这些融合后的数据进行深度挖掘,能揭示出轮对在不同运行条件下的应力变化规律及潜在的故障特征。这种多源数据的综合分析方法,提高了故障诊断的准确性和全面性,还为故障的早期预警提供了有力支持。(3)故障诊断与早期预警机制。基于智能传感与数据分析融合技术,构建出高效的故障诊断与早期预警机制。对轮对应力、应变数据的持续监测与分析,当发现数据出现异常波动或超出正常范围时,系统迅速识别并判断轮对是否存在裂纹、磨损等故障隐患。结合前期构建的应力变化规律及数据分析模型,系统能准确预测故障的发生趋势,并及时发出预警信号。这种早期诊断与预警机制,使得维修人员能够在故障发生前提前介入,采取针对性的维修措施,有效避免了因轮对故障引发的铁路运输安全事故,保障了铁路运输的高效、稳定运行。

4 现代化铁路机务设备维护与故障诊断技术的挑战与发展趋势

4.1 挑战

随着铁路技术的飞速发展,新型机车、车辆及其配套设施的复杂性日益增加,尤其是在智慧重载数字化背

景下,单位开行的三万吨重载列车与自动驾驶系统持续推进,设备集成机械、电气、电子等多领域高科技技术,各系统高度耦合、相互依存,提升了故障诊断的复杂性与难度。三万吨重载列车的牵引传动系统与自动驾驶控制系统融合尖端电力电子技术与精密机械结构设计,如果发生故障,排查过程涉及众多关键部件与复杂线路,传统故障诊断方法难以快速准确定位问题根源。运输高强度、高密度的运营模式对故障诊断实时性提出极高要求。在铁路网络高效运转环境下,任何设备故障都可能迅速影响整个运输系统,造成运营秩序混乱。当前故障诊断技术在数据采集、传输与处理环节存在时延问题,部分传感器数据传输速率有限,无法满足实时诊断需求,导致诊断结果滞后,影响对设备故障的及时响应与处理。维护成本控制也是一大难题。现代化铁路机务设备购置成本高昂,使得日常保养耗材、故障维修零部件更换及人员培训管理等维护费用居高不下,设备老化导致故障率上升推高成本。在探索三万吨重载列车与自动驾驶系统过程中,持续的技术研发与现场试验对设备可靠性和安全性要求极高,关键部件的微小故障都可能引发重大安全事故,带来行车隐患。但这些实践也为技术突破积累了可靠的数据支撑,为后续更大规模的技术革新奠定基础^[4]。

4.2 发展趋势

(1) 未来的现代化铁路机务设备维护与故障诊断技术将深度融入智能化元素。借助物联网技术实现设备各部件无缝互联,实时精准采集与高效传输运行数据;依托大数据技术深度挖掘分析海量数据,结合先进人工智能算法构建智能故障诊断模型,自动识别故障类型、预测故障发展趋势,实现智能化故障诊断,提升诊断准确性与效率,为设备维护决策提供科学依据,推动智慧重载数字化发展。(2) 自动化技术在铁路机务设备维护领域的应用将不断拓展。自动化检测设备与智能机器人逐步取代部分人工维护工作,实现设备巡检、故障诊断及部分维修任务自动化执行。如轨道巡检机器人自主沿铁

轨运行,利用多种传感器全面检测轨道、供电系统等,及时发现磨损、松动等安全隐患,并通过远程控制或自主操作进行初步修复,大幅减少人工维护工作量,提高维护效率与安全性。(3) 集成化正成为现代化铁路机务设备维护与故障诊断技术的关键走向。通过将状态监测系统精准捕捉设备动态、故障诊断系统迅速定位隐患病灶、维修决策支持系统科学规划维护策略等技术与系统深度融合,构建一体化解决方案。各系统打破数据壁垒,实现高效共享与协同,如同精密齿轮紧密咬合。维护人员能借此全面掌握设备“健康状况”,精准制定维护方案,提升系统协同作战能力,有力推动铁路机务维护诊断技术实现跨越式发展。

结束语

现代化铁路机务设备维护与故障诊断技术是铁路运输安全高效运行的关键支撑。本文深入探讨状态监测、预防性维护等维护技术,以及基于人工智能、智能传感与数据分析融合的故障诊断技术,分析其优势与不足。尽管当下铁路机务设备相关技术尚存提升空间,但智能化、自动化、集成化的时代浪潮正滚滚而来。这一趋势为技术升级带来新契机,先进技术将深度赋能设备运行,为铁路事业高质量发展筑牢根基,引领其阔步迈向全新发展阶段。

参考文献

- [1] 聂新利.现代化铁路信号设备的维护与故障诊断技术[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(11):185-188.
- [2] 陈宏,黄拔仁,王长春.基于大数据的电气化铁路牵引变电设备故障预测与诊断研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(12):018-021.
- [3] 范方川.机载电子设备故障诊断技术的研究分析[J].中国设备工程,2023(1):146-148.
- [4] 胡晓波.铁路电务工务设备的智能检修与维护技术研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2023(10):45-48.