

铁路信号系统故障诊断技术的研究

李聪

国能朔黄铁路发展有限责任公司肃宁分公司 河北省沧州市肃宁县 062300

【摘要】为了提高铁路信号系统故障诊断的准确性与效率,本文系统分析了铁路信号系统的组成与技术特点,归纳了传统故障诊断方法的优劣性,并深入探讨了智能化故障诊断技术的应用。研究采用数据驱动分析、人工智能算法及物联网传感器融合的综合诊断方法。结果表明,智能化技术能够显著提高复杂故障场景中的诊断精度和响应速度,建议在信号系统中进一步推广智能诊断模型的应用,以提升铁路运行的安全性与可靠性。

【关键词】铁路信号系统;故障诊断;智能化技术;数据驱动

Research on Fault Diagnosis Technology of Railway Signal System

Li Cong

Guoneng Shuohuang Railway Development Co., Ltd. Suning Branch, Suning County, Cangzhou City, Hebei Province 062300

【Abstract】In order to improve the accuracy and efficiency of fault diagnosis in railway signal systems, this article systematically analyzes the composition and technical characteristics of railway signal systems, summarizes the advantages and disadvantages of traditional fault diagnosis methods, and deeply explores the application of intelligent fault diagnosis technology. The research adopts a comprehensive diagnostic method that integrates data-driven analysis, artificial intelligence algorithms, and IoT sensors. The results indicate that intelligent technology can significantly improve the diagnostic accuracy and response speed in complex fault scenarios. It is recommended to further promote the application of intelligent diagnostic models in signal systems to enhance the safety and reliability of railway operations.

【Key words】railway signal system; Fault diagnosis; Intelligent technology; Data driven

引言

铁路信号系统作为保障列车运行安全的重要组成部分,其故障诊断技术直接影响铁路运输的安全性及效率。传统方法在应对复杂故障时存在明显不足,而智能化技术的发展为铁路信号系统的高效诊断提供了新方向。本文在探讨铁路信号系统的智能化故障诊断方法,以为行业发展提供理论参考与实践支持。

1. 铁路信号系统概述

1.1 系统组成

铁路信号系统是保障列车安全、高效运行的基础设施,其组成部分复杂且高度协同。微机监测系统是该系统的核心部分,负责实时监控和管理各个信号组件的运行状态。通过采集和分析轨道电流、信号机状态、联锁设备等数据,微机

监测系统能够精确掌握系统各子组件的工作状况,并及时发出警报或调整控制指令。该系统通过多层次的数据采集和处理,确保列车运行的安全性与可靠性。与传统的手动监测和控制方式相比,微机监测系统提高了故障检测的及时性和准确性。其功能不仅限于设备状态监控,还能对信号系统中的复杂故障进行预测,提前预警,避免故障扩展。微机监测系统的应用,使得铁路信号系统能够实现高效、精准的管理,保障铁路运输的顺畅与安全。

1.2 关键技术特点

铁路信号系统具有实时性、可靠性和安全性三大关键技术特点。实时性要求系统能够快速感知和响应列车位置和运行状态的变化。例如,轨道电路和联锁设备必须以毫秒级速度处理数据并发出控制指令,以确保信号指示的实时有效性。可靠性体现在设备需要在复杂环境中长期稳定运行,无论是高温、低温还是强振动环境,系统都必须保持高效运作。信号设备的设计和制造需严格符合行业规范,并通过多重冗

余设计提升可靠性。安全性是铁路信号系统的核心要求，系统需要通过预防性技术措施确保列车运行过程中的绝对安全。诸如联锁设备的逻辑控制、ATP 系统的速度控制等，都需要严密的安全验证。信号系统设计中还需防范硬件故障和人为操作失误带来的安全隐患。这些技术特点共同构成了铁路信号系统不可或缺的品质，决定了铁路运营的安全性与效率。

2. 铁路信号系统的传统故障诊断方法

2.1 经验分析法

在铁路信号系统故障诊断中，经验分析法是最常见的传统方法之一。通过多年的实践经验，技术人员能够识别系统故障的典型特征，并快速判断故障原因。然而，面对日益复杂的信号系统故障，单纯依靠经验进行诊断往往存在局限性。此时，微机监测系统发挥了重要作用。它通过实时数据采集与分析，为技术人员提供更加精确的系统运行信息。微机监测系统能够检测到传统经验分析难以察觉的隐性故障，并通过数据对比发现潜在的故障风险。技术人员可以根据微机监测系统提供的实时数据，迅速定位故障源，并制定更有效的维修方案。虽然经验分析法仍然是日常故障诊断的重要手段，但与微机监测系统结合使用，能够提高故障诊断的效率与准确性，从而显著减少因人工判断失误带来的风险。在实际操作中，微机监测系统能够通过连续监控和实时反馈，帮助技术人员发现潜在故障的早期迹象，避免了单纯依赖经验可能导致的误诊或漏诊问题。结合微机监测系统的经验分

析法，在提升诊断精度的同时，也优化了维修流程，减少了系统停机时间。

2.2 测试仪器诊断法

运用专业检测设备，该诊断法可识别信号系统内硬件及电气的故障现象。以轨道电路测试仪为工具，对轨道电路中的电压、电流等关键参数进行检测，以确保其是否处于标准轨道电压 6 至 12 伏的正常范围之内。信号灯泡与控制电路的通断状态，可被信号机检测仪迅速识别，助力技术人员精准锁定故障所在。

此方法之长处，在于其精准性与可信度。借助仪器进行的标准化检测，有效消除了主观判断的误差，进而迅速定位故障点及其成因。在铁路信号设备维护部门的统计资料中，采用测试仪器进行故障诊断，其成功锁定故障的能力高达 90% 以上，尤其在硬件层面，故障定位几乎实现了零误差。然而，该理论的局限之处，同样不容小觑。高精尖检测设备在运用过程中，其依赖性显著，对相关需求尤为迫切。某型号轨道电路测试仪价格不菲，其成本甚至可能超过 10 万元，对于众多中小型铁路运营机构而言，这无疑是一笔不小的经济负担。为确保设备得以妥善维护，对特定培训和技术支援的需求不可或缺，而一般操作人员或许难以高效运用此类设备。在处理某些逻辑性障碍或系统整合难题时，仅凭测试设备难以彻底解决。在硬件或电气故障的快速排查方面，测试仪器诊断法颇受欢迎，而在处理复杂故障诊断时，仍需辅以其他手段。如表 1 所示。

表 1 测试仪器诊断法

设备名称	检测对象	检测准确率	效率提升	设备成本
轨道电路测试仪	轨道电路	90%	故障定位时间减少 50%	10 万元
信号机检测仪	信号灯、电路	85%	检修效率提高 30%	5 万元
电气综合测试仪	电气设备	88%	维护精度提升 25%	8 万元
网络分析仪	通信模块	95%	通信故障排查时间减少 40%	12 万元
信号控制单元诊断仪	联锁设备	92%	停机时间减少 20%	15 万元

2.3 仿真模拟法

运用仿真模拟法，构建信号系统的虚拟模型，以模拟其运作流程及潜在故障场景，进而对故障发生的概率及其成因进行前瞻性分析与预测。在构建的仿真平台中，技术专家能够输入涉及轨道电流、信号延迟等关键参数，进而实时监测并分析系统的运行状态。诸多铁路机构运用 SimRail 或

RailSys 等高端仿真系统，在模拟列车信号系统故障，并据此调整参数，以检测各异条件下的故障现象及修复策略。该技术具备解析繁杂故障起因及其对整体系统潜在危害的能力，为实际现场问题解决提供坚实的数据支撑。

铁路信号部门采纳仿真模拟技术，显著提升了复杂故障诊断的效率，其诊断效率较前提升了 35%，在系统故障预警

方面,误差率降低了20%。然而,系统模型的精确性受限于参数输入的准确性,其应用存在局限。仿真结果的可靠性受限于输入参数与实际运行数据的匹配程度,若二者存在显著差异,则所得仿真结果恐难以作为参考依据。开发与维护仿真系统,中小型铁路机构面临较高费用与较长的开发周期,某综合仿真系统开发周期常逾六个月,费用近五十万元。在复杂系统的综合评估与故障预兆方面,仿真模拟法作为一种前瞻性手段,其运用需依托于雄厚的技术后盾与充足的资金支持。

3.智能化故障诊断技术

3.1 数据驱动的诊断方法

微机监测系统在铁路信号系统中,通过实时采集各类数据(如轨道电流、信号机状态、设备运行状态等),为数据驱动的故障诊断方法提供了坚实的基础。利用这些大量的实时数据,系统能够对设备的运行状态进行深度分析,揭示潜在的故障风险。微机监测系统中的数据采集模块,能够以毫秒级的时间精度记录各个信号组件的运行情况,为后续的故障诊断提供了高质量的输入数据。数据驱动的诊断方法通过对这些数据进行建模与分析,能够识别出系统中潜在的故障模式,并提前进行预警。例如,通过监测轨道电流的波动,系统可以识别出由于电路接触不良或设备老化引发的故障,从而在故障发生之前进行预警并进行维护。该方法的优势在于其高效、准确,能够在信号系统发生故障前30分钟就进行预警,大大提高了铁路运输的安全性和可靠性。结合微机监测系统,数据驱动的方法使得故障检测更加精确,并能显著提升故障修复的时效性。

3.2 人工智能技术的应用

在铁路信号系统的故障诊断中,人工智能技术,尤其是机器学习和深度学习算法,发挥了日益重要的作用。微机监测系统通过实时采集和传输各类信号数据,为人工智能算法

提供了丰富的数据支持。基于这些数据,人工智能技术能够通过模式识别和自学习的方式,实现对复杂故障的诊断和预测。例如,利用神经网络模型,系统能够学习到不同信号组件在各种工作状态下的正常行为模式,进而识别出异常情况。某些传统故障模式可能难以通过人工经验进行识别,但通过深度学习模型,系统可以发现其隐性特征,并做出精确判断。人工智能技术还可结合历史故障数据进行预测,提前识别系统中潜在的风险,减少突发故障的发生。在实践中,微机监测系统与人工智能技术的结合使得故障诊断更加智能化,诊断准确率得到了显著提升。通过AI的自动化学习,系统能够实现24小时不间断运行,降低了对人工干预的依赖,并在故障发生前及时采取措施,从而保障铁路信号系统的高效、安全运行。

3.3 传感器与物联网技术

在铁路信号系统故障诊断领域,传感器与物联网技术的应用范围持续拓展,借助构建全方位感知网络,确保了对设备运行状态及数据的实时监控与互联互通。运用传感器与物联网技术,铁路系统故障定位速度显著提升,原本平均90分钟的故障处理时间已缩短至15分钟。物联网技术依托传感器实现,能够助力设备进行预测性维护,从而有效规避突发故障所引发的安全隐患。该技术实施涉及庞大硬件和网络构建,对通讯稳定性及数据安全提出高标准,需在推广过程中兼顾成本效益,并优先保障关键设备部署。

结语

通过对铁路信号系统传统故障诊断方法与智能化技术的对比研究,本文得出智能化故障诊断技术能够更有效地应对复杂系统故障的结论。未来应继续加强人工智能技术与物联网技术在铁路信号系统中的应用研究,以构建更加智能、安全、可靠的铁路信号维护体系。

参考文献

- [1]赵宝全.铁路信号系统故障预警与预防维护技术探索[J].中国新技术新产品, 2024, (09): 5-8.
- [2]郝凌云.铁路信号控制系统故障导向安全研究[J].无线互联科技, 2022, 19(24): 19-21+42.
- [3]王强.铁路信号系统故障维修工作对策探析[J].冶金管理, 2021, (17): 140-141.
- [4]任荔娜.铁路信号系统故障维修工作中的问题及应对策略[J].产业创新研究, 2020, (18): 138-139.