铁路信号系统智能化升级与技术革新研究

贾晨龙

国能朔黄铁路发展有限责任公司肃宁分公司 河北 沧州 062350

摘要: 铁路信号系统作为铁路运输的中枢神经,其智能化升级与技术革新对于提高铁路运输的安全性、效率和智能化水平具有重要意义。本文深入探讨了铁路信号系统智能化升级的背景、意义,详细分析了当前的技术革新趋势,包括故障-安全技术的发展、实时操作系统开发平台的应用、数字信号处理新技术的应用、计算机网络技术的发展以及人工智能与大数据的融合应用等。同时,文章还全面讨论了铁路信号系统智能化升级面临的挑战与应对策略。

关键词: 铁路信号系统;智能化升级;技术革新;故障-安全技术;人工智能

1 引言

随着全球轨道交通行业的蓬勃发展,铁路信号系统作为铁路运输的中枢神经,其重要性愈发凸显。面对日益增长的铁路运输需求,以及对运输安全性、效率和智能化水平的更高要求,铁路信号系统的智能化升级与技术革新已成为必然趋势。本文旨在深入探讨铁路信号系统智能化升级的背景、意义、技术革新趋势、面临的挑战与应对策略,以及未来的发展趋势。

2 铁路信号系统智能化升级的背景与意义

2.1 背景

2.1.1 铁路运输需求的增长

近年来,我国铁路运输需求持续攀升,旅客与货物运输量逐年递增。尤其在重载铁路领域,货物运输需求增长态势显著。随着城市化推进,城市交通压力增大,铁路运输成为缓解拥堵的关键途径。为满足整体及重载铁路运输需求,提升运输效率,铁路信号系统升级改造势在必行。

2.1.2 铁路运输安全形势的严峻性

铁路运输安全形势愈发严峻,在近年铁路交通事故中,信号系统故障引发事故的比例逐年提高,重载铁路因运输负荷大、运行环境复杂,信号系统故障潜在风险更高。这些事故暴露出我国铁路信号系统存在安全隐患,如信号设备老化、技术滞后、维护不足等。故而对铁路信号系统升级改造,强化铁路运输安全,尤其是重载铁路运输安全,成为当务之急。

2.1.3 新技术的发展与应用

科技水平不断提升,铁路信号技术持续发展。新型信号设备、智能信号系统、无线通信技术等新技术不断涌现,为铁路信号系统升级,包括重载铁路信号系统升级,提供了有力技术支持^[1]。此外,国际铁路信号技术也在进步,我国铁路信号系统升级改造有必要借鉴国际先

进经验,以适应重载铁路等不同场景需求。

2.2 意义

2.2.1 提高铁路运输安全性

铁路信号系统的智能化升级可以通过冗余设计、故障检测和自动保护功能,确保信号系统的稳定运行。例如,高可靠性、高安全性的故障-安全核心设备出现了“二取二”、“二乘二取二”、“三取二”、“全电子”等不同结构形式,其同步方式有软同步和硬同步,这些技术的发展为铁路信号系统的安全性提供了有力保障。

2.2.2 提升铁路运输效率

新型信号系统通过实时数据分析,能够对列车运行状态进行精准控制,减少列车等待时间和非正常运行时间,提高整体运输效率。信号系统升级还有助于实现多通道、多线路的列车运行,提高铁路运输网络的综合利用效率。

2.2.3 推动铁路技术创新

铁路信号系统智能化升级是我国铁路事业发展的重要举措。通过全面规划、分步实施,我国铁路信号系统升级改造取得了显著成效,为我国铁路运输安全、高效、可持续发展提供了有力保障。同时,这也将推动我国铁路信号设备技术水平的不断提升,增强国际竞争力。

3 铁路信号系统技术革新的趋势

3.1 故障-安全技术的发展

伴随计算机、微电子及新材料技术的革新,故障-安全技术实现了跨越式发展。从早期简易冗余设计,演进至当前复杂架构,故障-安全技术正持续向高可靠、高安全目标迈进。早期故障-安全技术多依赖硬件冗余,通过增设设备数量来提升系统可靠性。随着计算机技术进步,软件冗余技术逐步融入故障-安全系统,进一步增强了系统的安全性与稳定性。当前,西门子、阿尔斯通、日本日信等企业已推出多款基于硬件同步的安全型计算

机。这些设备在铁路信号系统中广泛应用，为铁路运输安全构筑了坚实防线。以西门子SIMIS系列为例，其采用前沿硬件同步与故障诊断技术，可实时监控系统状态，迅速识别并处理故障，确保信号系统稳定运行^[2]。展望未来，故障-安全技术将继续追求更高可靠性与安全性。随着人工智能技术的融入，故障-安全技术将更加智能化，能够实时监测并预测潜在风险，进一步提升铁路运输安全水平。例如，借助机器学习算法分析信号系统运行数据，可提前发现设备故障隐患，并及时采取预防性维护措施。

3.2 实时操作系统开发平台的应用

在铁路信号系统技术革新的浪潮中，实时操作系统开发平台的应用正成为推动行业发展的关键力量，朔黄铁路在这一领域的实践便极具代表性。目前，朔黄铁路已广泛运用基于实时操作系统开发平台构建的CTC（调度集中控制）系统、TDCS（列车调度指挥系统）以及专家诊断系统。CTC系统借助实时操作系统开发平台的高效性能，实现了对列车运行的集中调度与精准控制。它能够实时收集并处理来自铁路沿线的各类信号数据，依据列车运行计划自动调整信号显示和列车进路，极大地提升了运输效率，减少了人为干预可能带来的失误，保障了列车运行的安全与有序。TDCS系统同样依托实时操作系统开发平台，构建起一个高效的信息传输与处理网络。通过该系统，调度人员能够实时掌握全线列车的运行状态、位置、速度等关键信息，实现列车运行的动态监控与科学指挥。这不仅为调度决策提供了坚实的数据支撑，还优化了运输资源的配置，提高了铁路运输的整体效能。而专家诊断系统则是实时操作系统开发平台在铁路信号系统故障诊断领域的创新应用。它利用实时操作系统强大的数据处理与分析能力，对铁路信号设备的运行数据进行实时监测与分析，能够快速准确地识别设备故障，并提供针对性的维修建议，有效缩短了故障处理时间，降低了设备停机对运输的影响。

3.3 数字信号处理新技术的应用

传统信号设备存在信号处理能力有限、抗干扰能力差等问题，难以满足高速、高密度铁路运输的需求。随着数字信号处理技术的发展，在铁路信号处理中引入了新的实用技术，如ZFFT（ZOOM-FFT）、小波信号处理技术、现代谱分析技术等。ZFFT技术能够在频域内对信号进行局部放大，提高信号的分辨率；小波信号处理技术能够有效地分析非平稳信号，提取信号的特征信息；现代谱分析技术能够更准确地估计信号的频谱特性。这些技术能够更高效地处理铁路信号，提高信号处理的准

确性和实时性。数字信号处理新技术的应用将进一步提升铁路信号系统的智能化水平，为铁路运输的安全性和效率提供有力支持^[3]。未来，随着技术的不断进步，数字信号处理技术在铁路信号系统中的应用将更加广泛和深入。例如，利用数字信号处理技术实现列车运行状态的实时监测和故障诊断，提高列车运行的安全性和可靠性。

3.4 计算机网络技术的发展

铁路信号系统的网络化架构，构成了铁路运输综合调度指挥的基石。依托网络化体系，系统得以推进信息化进程，达成集中化与智能化的管理目标。借助网络化技术手段，铁路信号系统可促成不同设备间的信息交互与协同运作，进而提升系统的整体效能与稳定性。当前，现代铁路信号系统广泛运用了光纤通信、无线通信、卫星通信及定位技术等前沿通信手段。光纤通信凭借其大容量传输与强抗干扰特性，契合了铁路信号系统对海量数据传输的需求；无线通信技术则实现了列车与地面设备间的即时通信，增强了列车运行的机动性与安全性；卫星通信与定位技术为铁路信号系统提供了精准的位置数据，支持列车的精确定位与导航功能。这些技术的融合应用，为铁路信号系统的信息化提供了坚实支撑，助力指挥人员全面掌握管辖区域内的实时状况，灵活调配系统资源，确保铁路系统的安全、高效运作。智能化层面涵盖系统整体与控制设备的智能化发展。伴随计算机网络技术的演进，铁路信号系统将进一步迈向智能化，具备自动监测、故障诊断及自动修复等能力。例如，通过部署传感器并运用智能算法，系统可实现对信号设备的实时监控，一旦设备发生故障，系统能够自动分析故障成因，并启动相应的修复流程。此举将显著提升铁路运输的安全性及效率，同时削减人工维护成本。

3.5 人工智能与大数据的融合应用

随着轨道交通运输日益复杂和多样化，传统运维方式已难以满足当前的需求。人工智能与大数据的融合应用为铁路信号系统的智能运维提供了新的解决方案。例如，北京和利时系统工程有限公司打造的“和行”轨道交通大模型，通过大数据分析、机器学习、计算机视觉、自然语言处理等技术，进一步提升数据处理和模型训练能力，增强系统的智能化水平，让铁路运维更高效。通过对大量运维数据的分析，该模型可以预测设备的故障趋势，提前制定维护计划，减少设备故障对铁路运输的影响。人工智能与大数据的融合应用还可以实现铁路信号系统的智能调度。通过对列车运行数据的实时分析和预测，系统能够自动调整列车运行计划，优化资源配置，提高铁路运输的效率和安全性^[4]。例如，利用

机器学习算法对列车的历史运行数据进行分析，建立列车运行模型，根据实时的线路情况、客流需求等因素，自动调整列车的发车时间、运行速度和停靠站点，实现列车的高效运行。未来，随着人工智能与大数据技术的不断发展，其在铁路信号系统中的应用将更加广泛和深入。这将进一步推动铁路信号系统的智能化升级，为铁路运输的安全、高效、可持续发展提供有力支持。例如，实现列车的自主运行和智能决策，提高铁路运输的自动化水平。

4 铁路信号系统智能化升级面临的挑战与应对策略

4.1 挑战

(1) 技术复杂性：铁路信号系统智能化升级涉及多种先进技术的应用，如故障—安全技术、实时操作系统、数字信号处理、计算机网络技术、人工智能与大数据等。这些技术的复杂性和相互之间的兼容性给升级工作带来了很大的挑战。例如，不同技术之间的接口标准和数据格式可能存在差异，需要进行大量的技术协调和整合工作。(2) 成本投入：铁路信号系统智能化升级需要大量的资金投入，包括设备采购、系统研发、人员培训等方面。这对于铁路企业来说是一个不小的负担。特别是对于一些老旧铁路线路的升级改造，需要投入的资金更多。此外，技术研发和人员培训也需要长期的资金投入。(3) 安全风险：在升级过程中，如果系统出现故障或不稳定情况，可能会对铁路运输安全造成严重影响。因此，如何确保升级过程中的安全性是一个亟待解决的问题。例如，在升级过程中可能会出现信号系统故障，导致列车运行受阻甚至发生事故。

4.2 应对策略

4.2.1 加强技术研发与合作

铁路企业应加强与科研机构、高校等单位的合作，共同研发适合铁路信号系统智能化升级的新技术。同时，积极引进国际先进技术，提高我国铁路信号设备的技术水平。例如，建立产学研合作机制，共同开展技术

攻关项目，加速新技术的研发和应用。

4.2.2 合理规划资金投入

铁路企业应根据自身实际情况，合理规划资金投入。在升级过程中，可以优先考虑对安全性、效率提升贡献较大的项目进行投入，逐步推进智能化升级工作。例如，制定详细的投资计划，根据项目的重要性和紧急程度安排资金，确保资金的有效利用。

4.2.3 建立安全保障机制

在升级过程中，应建立完善的安全保障机制。例如，制定详细的升级计划、风险评估报告和应急预案等，确保在出现突发情况时能够及时应对，保障铁路运输的安全性和稳定性。同时，加强对升级过程的监控和管理，及时发现和解决潜在的安全问题。

结语

铁路信号系统智能化升级与技术革新是应对日益增长的铁路运输需求、提高运输安全性和效率、推动铁路技术创新的重要举措。通过故障—安全技术、实时操作系统、数字信号处理、计算机网络技术、人工智能与大数据等先进技术的应用，铁路信号系统实现了从传统到智能的跨越式发展。然而，在升级过程中也面临着技术复杂性、成本投入和安全风险等挑战。为了应对这些挑战，铁路企业应加强技术研发与合作、合理规划资金投入、建立安全保障机制等措施。

参考文献

- [1]王勇,李东亮,朱文平.京津城际铁路信号系统升级改造技术[J].铁路通信信号工程技术,2020,17(03):39-43+67.
- [2]王林涛,樊星,李鹏飞,等.铁路信号系统的智能监测技术运用分析[J].中国设备工程,2024,(18):13-15.
- [3]肖锦绣.铁路信号系统三维可视化运维平台设计与实现[J].铁路技术创新,2024,(02):49-55.
- [4]郭大帅.高速铁路信号系统更新改造成套技术研究[J].铁道建筑技术,2023,(07):38-42.