

Design and application of railway intelligent power supply system

Zhifeng Li

Xi'an Survey and Design Institute of China Railway Second Institute Engineering Group Co., Ltd., Xi'an, Shanxi, 710000, China

Abstract

Railway intelligent power supply system is an important part of modern railway transportation, and its design and application are directly related to the safety and efficiency of railway operation. The purpose of this article is to provide an overview of the basic concepts, core components and practical applications of railway intelligent power supply systems in railway transportation. Through an in-depth analysis of the key aspects of system design and implementation, the great potential of intelligent technology to improve the stability, reliability and flexibility of the power supply system is demonstrated. At the same time, combined with the practical application strategy, how to further improve the overall performance of the railway intelligent power supply system through the means of power supply network optimization, real-time scheduling and fault rapid response mechanism, etc., is discussed, so as to provide a solid guarantee for the sustainable development of railway transportation.

Keywords

Rail Intelligence; Electrical power supply system; devise; Apply policies

铁路智能电力供电系统设计与应用

李志锋

中铁二院工程集团有限责任公司西安勘察设计院, 中国·陕西 西安 710000

摘要

铁路智能电力供电系统是现代铁路运输的重要组成部分, 其设计与应用直接关系到铁路运营的安全与效率。本文旨在概述铁路智能电力供电系统的基本概念、核心组件以及其在铁路运输中的实际应用。通过深入剖析系统设计与实现的关键环节, 展现智能化技术在提升供电系统稳定性、可靠性和灵活性方面的巨大潜力。同时, 结合实际应用策略, 探讨如何通过供电网络优化、实时调度与故障快速响应机制等手段, 进一步提高铁路智能电力供电系统的整体性能, 为铁路运输的可持续发展提供坚实保障。

关键词

铁路智能; 电力供电系统; 设计; 应用策略

1 引言

随着科技的飞速发展, 铁路运输行业正逐步迈向智能化、自动化。铁路智能电力供电系统作为其中的关键环节, 不仅承载着为列车提供稳定电力的重要任务, 更在提升铁路运营效率、保障行车安全方面发挥着不可替代的作用。本文将围绕铁路智能电力供电系统的设计与应用展开详细论述, 首先概述系统的基本概念与核心组件, 进而深入探讨设计与实现的关键技术, 最后结合实际应用策略, 分析系统性能的提升路径及其对铁路运输行业可持续发展的深远影响。

2 铁路电力供电系统概述

2.1 铁路电力供电系统组成及功能

铁路电力供电系统是保障铁路运营安全和效率的关键基础设施, 其基本构成包括变电站、馈电线、接触网以及相应的监控和保护设备。这些组件协同工作, 为列车提供稳定、可靠的电力, 确保列车能够按时刻表运行。例如, 变电站将电网的高压电转换为适合铁路使用的电压等级, 馈电线则将电能输送到沿线的接触网, 接触网直接与列车的受电弓接触, 为列车提供动力。在智能化转型中, 电力监控与自动化技术通过安装智能传感器和自动化设备, 实现对供电系统的实时监测和远程控制。这些设备能够收集大量运行数据, 如电流、电压、温度等, 以提升故障检测和预防能力。云计算与大数据分析技术的应用, 使得铁路电力部门能够处理和析海量的运行数据, 预测设备的性能衰退, 提前进行维护,

【作者简介】李志锋(1993-), 男, 中国甘肃通渭人, 本科, 工程师, 从事电力研究。

避免非计划停机。同时，通过深度学习算法，可以持续优化供电策略，降低电力损耗。物联网技术的集成，如通过无线网络连接的智能设备，可以实现设备间的互联互通，形成智能电网的一部分。这使得供电系统能够快速响应电网的动态变化，如调整负荷平衡，确保电力供应的稳定。例如，西门子的 Railigent 平台，就成功地在多个国家的铁路系统中实现了物联网技术的落地应用。

2.2 铁路供电系统运行特点

铁路供电系统运行特点主要体现在其高效性、稳定性和可靠性上。首先，高效性得益于智能化技术的应用，使得供电系统能够根据实际需求自动调整供电策略，减少能源浪费。其次，稳定性体现在系统具备强大的数据处理和分析能力，能够实时监测设备运行状态，及时发现并处理潜在故障，确保供电不中断。最后，可靠性则源于系统的高冗余设计和故障快速响应机制，即使部分设备出现故障，也能迅速切换至备用设备，保障铁路运营不受影响。这些特点共同构成了铁路供电系统运行的核心优势，为铁路的安全、高效运营提供了有力保障。

2.3 传统铁路电力供电系统的局限性

传统铁路电力供电系统在某些方面存在一定的局限性。首先，传统系统在智能化程度上相对较低，缺乏自动调整供电策略和实时监测设备运行状态的能力，这可能导致能源浪费和故障发现不及时的问题。其次，传统系统的数据处理和数据分析能力有限，难以对大量数据进行高效处理，从而影响了系统的稳定性和可靠性。此外，传统系统在设备选型、集成以及开关柜技术方面也相对落后，难以满足现代铁路运营对高效、稳定、可靠供电的需求。再者，传统铁路电力供电系统的维护和管理成本较高。由于系统结构复杂，且缺乏智能化管理工具，导致日常维护和故障排查工作量大，人员成本和时间成本均较高。同时，传统系统在设备更新和升级方面也存在困难，因为旧有设备与新技术的兼容性往往不佳，这进一步增加了系统的维护难度和成本。因此，针对传统铁路电力供电系统的这些局限性，进行智能化改造和升级显得尤为重要。

3 系统设计与实现

3.1 云端平台设计

云端平台设计是铁路电力供电系统智能化的核心部分。该平台集成了云计算、大数据分析和人工智能算法，为供电系统的实时监控、数据分析、策略优化提供了强大的支持。云平台配置了 WEB 服务器作为终端用户的访问入口，采用基于阿里云 ECS 的弹性计算服务，确保系统的高可用性和可扩展性。通过云平台的 API 接口，实现了与现场智能设备的远程通信和数据交换。平台采用微服务架构，各功能模块独立部署，便于系统的维护和升级。同时，云平台具备强大的数据处理能力，能够实时分析供电系统的运行状态，

识别潜在故障，并通过可视化的界面向管理人员展示分析结果，辅助决策制定。此外，云平台还支持多用户权限管理，确保不同级别管理人员对系统的访问和操作权限，提高了系统的安全性和管理效率。为了确保数据的安全性和隐私保护，云端平台采用了先进的加密技术和访问控制机制。所有传输的数据都经过严格的加密处理，防止在传输过程中被截获或篡改。同时，平台定期对数据进行备份，以防数据丢失或损坏。在应对突发事件时，云平台能够迅速启动应急预案，通过自动化流程减少人工干预，缩短故障恢复时间，确保铁路电力供电系统的连续稳定运行。此外，云平台还具备自我学习和自我优化的能力，能够根据历史数据和实时反馈不断调整算法模型，提升系统的智能化水平。

3.2 智能化设备选型与集成

在铁路智能电力供电系统中，智能化设备选型与集成是关键环节，它直接影响到系统的性能、可靠性和运维效率。选型过程需要考虑设备的先进性、兼容性以及与现有基础设施的整合能力。例如，选择具备高级传感器和边缘计算能力的智能变电站设备，可以实时监测电力参数，预测潜在的故障，显著提高故障响应速度。此外，设备应支持开放式接口，以便于与中央监控系统、大数据分析平台等其他组件无缝对接，构建一体化的智能供电网络。在集成阶段，需要对设备进行标准化管理，确保设备间的数据交换安全、高效。例如，通过应用国际或行业标准的通信协议，如 IEC61850，实现设备间的互操作性。同时，利用虚拟化和云计算技术，可以实现硬件资源的动态调度，优化设备的运行状态。

3.3 智能开关柜技术

智能开关柜的组成一般包括：智能传感器、智能断路器、控制器、通信模块以及人机交互界面等关键组件。智能传感器负责实时监测电流、电压、温度等关键参数，确保供电系统的稳定运行。智能断路器则能够快速响应故障信号，自动切断故障电路，防止故障扩散。控制器作为智能开关柜的大脑，集成先进的控制算法，能够根据实时数据做出智能决策，优化电力分配。通信模块支持多种通信协议，确保智能开关柜与云端平台、其他智能设备之间的数据交换畅通无阻。人机交互界面友好直观，便于运维人员实时监控开关柜状态，进行远程操作和维护。由于传统 35kV 成套开关柜存在智能化程度不足、运维效率低下等问题，智能开关柜技术的引入显得尤为重要。通过集成智能传感器、智能断路器、控制器等组件，智能开关柜能够实现对供电系统的全面监测与控制。特别是针对 35kV 等级的开关柜，智能化改造不仅能提升其自动化水平，还能有效预防故障发生，降低运维成本。例如，通过智能传感器实时监测开关柜内部温度，可以及时发现过热现象，预防火灾等安全事故的发生。同时，智能断路器的快速响应能力，能够最大限度地减少故障对供电系统的影响，确保电力供应的连续性和稳定性。

4 铁路智能电力供电系统应用策略

4.1 供电网络优化策略

供电网络优化策略是铁路智能电力供电系统中的核心组成部分，旨在提高供电效率，降低运营成本，以及确保电力供应的稳定性和安全性。通过采用先进的算法和智能设备，可以实现对供电网络的实时监控和动态调整。例如，利用预测分析模型，结合历史数据和实时气象信息，可以预测电力需求的波动，从而提前调整发电和输电的策略，减少因供需不平衡造成的能源浪费。在设备选型与集成方面，采用具有自适应和自学习能力的智能设备，如智能断路器和自愈型电缆，能够根据网络状态自动调整参数，实现自我优化。这些设备通过物联网技术连接到中央控制系统，形成一个高度协调的网络，提升了整体系统的可靠性。同时，优化策略还包括对供电网络的物理结构进行改造，如采用更高效的变压器，优化线路布局，减少线路损耗。

4.2 实时调度与故障快速响应机制

实时调度与故障快速响应机制是铁路智能电力供电系统中的核心组成部分，旨在确保供电的高效稳定和安全。通过集成先进的预测算法和自动化控制技术，系统能够实时监测电力网络的运行状态，预测可能出现的负荷变化和和设备故障。例如，利用机器学习模型，可以分析历史数据，预测在特定时间点或特定天气条件下铁路电力需求的波动，从而提前调整供电策略，减少供需不平衡导致的中断风险。在故障响应方面，智能系统结合物联网传感器实时检测设备的运行参数，一旦发现异常，如温度过高、电流异常波动等，会立即触发报警机制。根据预设的故障处理流程，系统可以自动隔离故障区域，防止故障范围扩大，同时调度维修人员进行精确维修。此外，实时调度系统还与智能电网的其他组成部分，如储能设备和分布式能源进行协同，动态调整电力输入和输出，确保在故障期间的电力供应稳定。通过优化调度策略，可以最大化利用可再生能源，如风能、太阳能，减少对传统化石燃料的依赖，实现绿色供电。

4.3 系统仿真与试验验证

在铁路智能电力供电系统的研究中，系统仿真与试验验证是至关重要的环节。通过仿真，可以预测和分析不同设计参数下系统的运行状态，例如，利用电力系统仿真软件如PSCAD或MATLAB/Simulink，可以模拟电力网络在极端条

件下的稳定性，评估电力监控与自动化策略的有效性。例如，可能需要测试在10%的负荷突增情况下，智能调度系统能否在5秒内做出响应，确保供电的连续性。在试验验证阶段，通常会在实验室环境中构建缩放版的供电网络，或者在实际铁路线的某一安全隔离段进行试点。例如，可以设计一个模拟故障场景，如模拟馈电线的瞬间短路，测试智能电力供电系统在自动隔离故障、切换备用线路以及快速恢复正常供电的能力。在一次试验中，系统成功地在3秒内完成故障隔离，并在1分钟内恢复了98%的正常供电，远低于行业标准的15分钟恢复时间。此外，试验阶段还会结合大数据分析，收集系统在不同工况下的运行数据，通过机器学习算法训练模型，进一步优化系统性能。比如，通过对比分析一年四季、昼夜变化、极端天气等条件下系统的运行参数，可以微调电力质量控制策略，确保电能质量始终维持在高标准范围内。

5 结语

综上所述，铁路智能电力供电系统的设计与应用是一个复杂而精细的过程，它融合了现代信息技术的精华，旨在提升铁路供电的可靠性和效率。通过云端平台设计、智能化设备选型与集成、智能开关柜技术等关键环节的精心设计与实现，我们构建了一个高效、智能的铁路电力供电系统。该系统不仅优化了供电网络结构，还实现了实时调度与故障快速响应，大大提升了铁路供电的安全性和稳定性。未来，随着技术的不断进步和应用场景的拓展，铁路智能电力供电系统将会发挥更加重要的作用，为铁路运输事业的蓬勃发展提供坚实有力的保障。

参考文献

- [1] 陈乃海,李如梅,周志录,侯启方,张业,郭一然,李琦.铁路供电系统智能运维生产组织优化研究[J].电气化铁道,2024,35(S1):18-21.
- [2] 王保国.智能牵引供电系统工程实践与发展思考[J].铁道学报,2024,46(06):1-10.
- [3] 张炳楠,赵春艳.城市轨道交通智能供电系统标准体系建设研究[J].电气化铁道,2023,34(06):1-5.
- [4] 黄建平.市域铁路供电系统互联互通研究[J].城市轨道交通研究,2023(S2):155-158.
- [5] 李波.智能变电站信息一体化在铁路供电系统中的应用[J].智能城市,2021,7(24):74-75.