

轨道交通电力监控系统研究与应用

高新

天津一号线轨道交通运营有限公司 天津 300000

摘要：本文研究了轨道交通电力监控系统的架构、研究过程、运行参数及其在轨道交通中的综合应用。系统架构包括控制中心层、车站层和现场设备层，通过光纤、以太网等通信方式实现数据高速传输。研究过程涵盖需求分析、系统设计和开发与测试。系统实时监测电力设备运行参数，如电压、电流和功率，并具备实时状态可视化、故障快速诊断与处理辅助、节能优化控制及与其他系统协同联动等功能，有效提升轨道交通运营效率和安全性。

关键词：轨道交通；电力监控系统；应用

引言

随着轨道交通的快速发展，电力监控系统在保障其安全、高效运营中发挥着关键作用。该系统能够实时监测和控制电力设备的运行状态，及时发现并处理故障，优化电力资源利用。本文旨在深入探讨轨道交通电力监控系统的架构、功能及其在实际应用中的表现，以期为轨道交通的智能化、自动化管理提供有力支持。

1 轨道交通电力监控系统架构

1.1 系统整体架构

轨道交通电力监控系统主要包括控制中心层、车站层和现场设备层，如图1所示。控制中心层集成了监控主机、数据服务器、通信服务器和大屏幕显示系统等关键组件。监控主机为操作人员提供直观的人机交互界面，实现对全线电力设备的实时监控、操作控制及报警

处理；数据服务器负责存储包括设备状态、历史运行及报警数据在内的系统运行数据；通信服务器确保与控制中心层外部设备的数据通信畅通；大屏幕显示系统则以直观方式呈现全线电力设备运行状态，帮助操作人员全局掌握系统情况。车站层则专注于监控和管理本车站及相邻区间的电力设备，包括车站监控计算机、通信控制器和智能电力仪表等，它们共同协作，接收现场设备层数据并进行处理分析，再将结果上传至控制中心层。而现场设备层作为系统的底层，它涵盖了变电站和环控系统，这些系统都是电力供应和环境保护的关键组成部分，在变电站中，各种高压设备通过精密的传感器和变送器装置，能够实时监测其运行参数，并将这些关键数据转换为电信号，这些电信号随后被上传至车站层，供监控系统进行进一步的处理和分析。

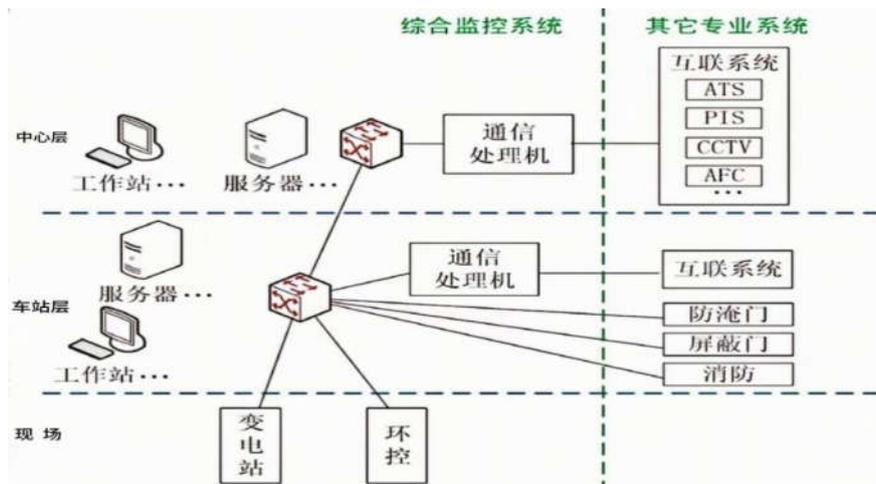


图1 综合监控系统结构图

1.2 系统通信架构

通信系统是轨道交通电力监控系统的重要组成部分，它实现了控制中心层、车站层和现场设备层之间的

数据传输。电力监控系统巧妙地融合了多种通信方式，包括光纤通信、以太网通信和串口通信等，它们各自展现独特的优势，共同作用于数据传输的全过程。在控

制中心层与车站层之间, 光纤通信凭借其高速的传输速率、强大的抗干扰能力以及远距离传输的特性, 成为首选的通信手段, 轻松满足电力监控系统对大量数据高速、可靠传输的高标准要求, 确保控制中心能够实时、准确地获取车站层的关键数据, 从而实施精确有效的监控与管理。而在车站层内部, 以太网通信方式则以其组网灵活便捷、数据传输速率快、成本相对较低的优势, 成为连接车站监控计算机、通信控制器、智能电力仪表等设备的理想选择。通过以太网, 这些设备形成了一个紧密协作的局域网, 实现了数据在设备间的无缝流通, 不仅显著提升了车站层内部的工作效率, 也为车站的实时监控和故障快速排查提供了坚实的技术支撑^[1]。

2 轨道交通电力监控系统研究过程

2.1 需求分析

轨道交通电力监控系统的研究过程始于详尽的需求分析阶段, 此阶段至关重要, 旨在清晰界定系统所需功能、性能指标及用户实际需求。通过与轨道交通运营部门、设计单位及设备供应商等利益相关方的深入沟通, 我们系统性地收集并整理了关于电力设备监控、系统性能、用户界面及系统集成等多方面的需求。具体而言, 我们明确了需监控的电力设备类型、数量及其关键运行参数, 并界定了对电力设备的远程控制需求, 涵盖远程合闸、分闸及设备参数调节等操作。同时, 结合轨道交通运营特点, 我们设定了系统的性能指标, 要求数据采集周期不超1秒, 数据传输延迟不超过50毫秒, 系统平均无故障时间(MTBF)至少达到10000小时等。此外, 我们还深入了解了操作人员对人机交互界面的偏好, 确保界面设计直观易用, 便于操作人员在各种工况下迅速准确地获取信息并执行操作。最后, 我们综合考虑了电力监控系统与轨道交通其他系统的集成需求, 明确了数据交互接口、通信协议及数据共享机制, 旨在实现系统间的无缝集成, 从而全面提升轨道交通运营的整体效率与管理水平。

2.2 系统设计

在完成需求分析之后, 系统设计阶段随即展开, 这一阶段主要涵盖系统架构设计、功能模块设计、数据库设计及通信设计等多个方面。(1) 依据需求分析的结果, 系统架构设计会确定电力监控系统的整体框架, 优选分层分布式架构, 并明确各层的功能及所含设备, 同时兼顾系统的可扩展性和兼容性, 为日后的系统升级与扩展预留接口。(2) 功能模块设计则是将系统功能细分为数据采集、数据处理、设备控制、报警处理、报表生成和用户管理等模块, 每个模块负责实现特定功能, 并

通过相互协作维持整个系统的运作。这些模块的设计包括详细的输入输出接口、处理流程及算法设计等。数据库设计会依据系统的数据存储需求, 规划合理的数据库结构, 明确所需存储的数据类型, 并设计相应的数据表结构, 同时考虑性能优化措施如索引建立和数据分区, 以提升数据存储与查询的效率。(3) 通信设计会依据系统架构和设备布局, 制定可靠的通信方案, 包括选择合适的通信方式和协议、确定通信网络拓扑结构以及设计通信设备的配置与参数, 以确保通信系统能够满足电力监控系统对数据传输的实时性、可靠性和安全性要求^[2]。

2.3 系统开发与测试

在系统开发与测试阶段, 整个开发流程严格遵循软件工程的规范, 确保软件的高质量和良好的可维护性, 各个功能模块经历了独立的开发、调试以及随后的系统集成测试, 旨在验证各模块间的协同工作能力, 确保系统整体功能的正常运作。系统测试作为保障电力监控系统质量的核心步骤, 其中功能测试依据需求规格说明书, 逐一验证系统各项功能是否准确实现, 包括数据采集的精确度、设备控制的可靠性以及报警提示的及时性; 性能测试则通过模拟实际运行环境, 评估系统的性能指标, 确保这些指标均符合设计要求; 可靠性测试通过长时间运行系统来观测其故障或异常情况, 计算平均无故障时间(MTBF)等可靠性指标, 并结合故障注入测试, 模拟硬件故障、软件错误及通信中断等场景, 验证系统的高可靠性和容错能力; 兼容性测试确保了电力监控系统与不同厂家电力设备、通信设备及其他相关系统的顺畅通信和协同作业, 有效规避了潜在的兼容性问题。

3 轨道交通电力监控系统运行参数

3.1 电力设备运行参数

对于电压参数, 系统实时监测接触网电压(直流1500V或交流25kV)以及电力变压器的输入和输出电压, 确保这些电压保持在允许的波动范围内。接触网电压的允许范围分别为直流1000-1800V和交流19-29kV, 而变压器的输入电压通常为110kV或35kV, 输出电压为10kV或0.4kV。通过对电压大小和相位的分析, 系统能够判断变压器的运行状态, 及时发现过电压、欠电压或三相电压不平衡等问题。在电流参数方面, 系统监测牵引电流和馈线电流。牵引电流反映了列车从接触网获取的电流, 是评估列车运行状态和电力负荷的关键指标。馈线电流则体现了变电所向接触网的供电情况, 通过对馈线电流的分析, 系统能够判断是否存在过载或短路故障, 并在必要时自动触发保护装置, 切断故障馈线的电源。电力监控系统还监测功率参数, 包括有功功率、无

有功功率和功率因数。有功功率反映了电力设备将电能转换为其他形式能量的能力，而无功功率则用于建立磁场，对电力系统的电压稳定和功率因数有重要影响。系统通过测量电压和电流的有效值及相位差，计算出这些功率参数，并实时监测。功率因数作为有功功率与视在功率的比值，反映了电力设备对电能的利用效率，当功率因数低于设定值时，系统可自动投入无功补偿装置，以提高功率因数，降低运行成本。

3.2 系统运行性能参数

一是数据采集周期。数据采集周期是指电力监控系统对电力设备运行参数进行采集的时间间隔，数据采集周期的长短直接影响系统对电力设备运行状态的实时监测能力。一般来说，对于重要的电力设备运行参数，如接触网电压、牵引电流等，数据采集周期应不超过1秒，以确保能够及时捕捉到设备运行状态的变化，而对于一些变化相对缓慢的参数，如电力变压器的油温等，数据采集周期可适当延长至几分钟。二是数据传输延迟。数据传输延迟是指从现场设备采集到的数据传输到控制中心所需的时间，数据传输延迟主要受通信网络的带宽、传输距离、通信协议等因素的影响，在轨道交通电力监控系统中，要求数据传输延迟不超过50毫秒，以保证操作人员能够及时获取电力设备的实时运行状态信息，对设备故障和异常情况做出快速响应。三是系统响应时间。系统响应时间是指从操作人员发出设备控制命令到设备执行相应操作并反馈操作结果所需的时间，系统响应时间的长短直接影响电力监控系统的控制性能和可靠性，一般电力监控系统的系统响应时间应不超过1秒，以确保对电力设备的控制操作能够及时、准确地执行。

4 电力监控系统在轨道交通中的综合应用展示

4.1 实时状态可视化

在轨道交通运营调度中心，电力监控系统的可视化界面成为核心展示窗口。通过高分辨率大屏，将整个供电网络以直观的图形化呈现，不同颜色清晰标识各电力设备的运行状态。绿色代表设备正常运行，黄色提示设备处于预警状态，红色则警示设备故障。以接触网系统为例，沿着线路走向，每一段接触网的电压数值实时显示在对应位置，一旦某区域电压出现异常波动，该部位立即闪烁变色，调度人员能第一时间察觉并定位问题。各车站的高低压开关柜、变压器等设备的状态也同样直观呈现，开关的分合闸状态通过图标动态显示，变压器

的油温、负载率等关键参数以数字形式清晰标注，使调度人员对整个供电系统的实时状况一目了然。

4.2 故障快速诊断与处理辅助

当电力设备出现故障时，电力监控系统强大的故障诊断功能即刻启动。系统迅速收集故障设备及周边关联设备的各类实时数据和历史数据，运用复杂的算法模型进行比对分析，当某台变压器油温突然升高并触发报警，系统一方面快速查询该变压器近期的负载变化曲线、冷却系统运行数据，另一方面对比同型号变压器在相似工况下的正常运行参数。通过综合分析，快速判断故障原因，可能是负载过载、冷却风扇故障或是变压器内部绕组短路等。同时，系统自动生成详细的故障处理建议报告，包括故障设备的定位、可能原因说明以及相应的处理步骤，为维修人员提供清晰的指引，极大缩短故障排查与修复时间，保障轨道交通供电的连续性^[3]。

4.3 节能优化控制

基于对电力设备运行参数的持续监测与深度分析，电力监控系统助力轨道交通实现节能目标。在非高峰运营时段，系统根据列车运行时刻表和实际负载情况，智能调整供电策略，适当降低部分车站和区间的照明亮度，优化通风空调系统的运行频率，对变压器进行经济运行方式切换，在满足基本运营需求的前提下，降低不必要的电力消耗。通过长期的数据分析，系统还能精准预测不同时段的电力负荷变化，提前做好供电设备的调整准备，避免设备频繁启停造成的额外能耗，实现电力资源的高效利用，降低轨道交通运营成本。

结束语

综上所述，轨道交通电力监控系统在保障轨道交通安全、高效运营方面具有重要意义。通过实时监测和控制电力设备，系统不仅提升了运营效率，还降低了运营成本。未来，随着技术的不断进步，电力监控系统将更加智能化、自动化，为轨道交通的可持续发展贡献更大力量。

参考文献

- [1]姚永高.城市轨道交通电力监控系统研究[J].中国新技术新产品,2020(3):17-18.
- [2]王骁将.城市轨道交通电力监控系统调试技术研究[J].电力设备管理,2022(14):116-118.
- [3]李鹏.城市轨道交通电力监控系统的应用[J].电力设备管理,2023(2):171-173.