有色金属矿山电气自动化的通信网络构建

张 壮

(新巴尔虎右旗荣达矿业有限责任公司, 内蒙古 呼伦贝尔 021300)

摘 要 有色金属矿山电气自动化系统需要高速率、大容量的数据传输能力, 以及强大的抗干扰能力和稳定性。本文从有色金属矿山电气自动化的通信需求出发, 分析了高速率数据传输、抗干扰性和多协议支持的重要性, 并在此基础上提出了一套完整的通信网络构建方案, 包括分层分区的网络架构设计、光纤和无线相结合的混合组网、性能可靠的设备选型配置, 以及加密和访问控制等安全防护措施, 最后通过网络性能测试、故障排查和网络优化, 保证通信网络稳定高效运行, 旨在为有色金属矿山电气自动化系统提供可靠的通信支撑。

关键词 有色金属矿山; 电气自动化; 通信网络; 网络架构; 网络安全

中图分类号: TD65

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.13.008

0 引言

有色金属矿山生产过程自动化是现代化矿山建设的重要内容和标志。自动化系统涉及采矿、选矿、冶炼等生产环节和设备, 功能复杂、数据量大。高效、可靠的通信网络是支撑自动化系统运行的关键基础设施。网络需要满足高速率、大容量的数据传输, 同时确保在恶劣工况下的抗干扰能力和稳定性。此外, 还需兼容不同厂商的设备和通信协议。因此, 如何针对有色金属矿山电气自动化的特点, 构建一套合理、完善的通信网络方案, 对推动矿山自动化进程具有重要意义。

1 有色金属矿山电气自动化的通信需求分析

1.1 高速率、大容量的数据传输能力

有色金属矿山电气自动化系统涉及大量实时数据的采集、传输和处理。井下各类传感器不断产生海量监测数据, 视频监控系统也会占用大量带宽资源。此外, 自动化设备的远程控制、生产调度指令的下达, 都对通信网络的传输能力提出了更高要求。一旦出现网络堵塞或延迟, 将直接影响生产控制的实时性和有效性^[1]。因此, 自动化通信网络必须具备足够的带宽和吞吐量, 以满足高速率、大容量的数据传输需求。同时, 网络还需支持未来数据量增长和新业务接入的需要, 在设计之初就应考虑良好的可扩展性。只有构建高性能的通信网络, 才能确保生产控制数据的实时、准确传输, 为自动化系统的可靠运行提供有力保障。

1.2 强大的抗干扰能力和稳定性

有色金属矿山环境恶劣, 电磁干扰严重, 给通信

网络的稳定运行带来巨大挑战。矿区范围广、地形复杂, 存在大量电力设备、变频器等强电磁辐射源, 加之矿用设备振动大、粉尘多。各种干扰因素交织, 很容易引起通信信号的衰减、失真乃至中断。一旦关键数据传输出现延迟或错误, 就会影响自动化系统的控制精度和安全性, 造成设备故障甚至威胁作业人员的生命安全。因此, 矿山自动化通信网络必须具备超强的抗干扰能力, 尤其是对电磁干扰和物理破坏的防护。应从设备选型、拓扑设计、线缆铺设等多方面综合考虑, 确保通信系统能免受各类干扰的侵袭, 保证数据传输的高度稳定和可靠。同时, 还需采取冗余备份等容错机制, 在极端情况下也能维持通信系统的基本运转。只有如此, 才能为矿山电气自动化提供稳如磐石的通信支撑。

1.3 支持多种通信协议和设备接入

在现代化大型有色金属矿山自动化系统中, 通常集成了多个子系统和众多不同类型的现场设备, 这些设备和子系统来自不同厂商, 采用各自的通信协议和接口标准。要实现全矿统一的生产调度与管理, 必须打破设备和协议之间的壁垒, 构建起互联互通的统一通信平台。因此, 矿山自动化通信网络需要支持多种主流工业通信协议, 如Modbus、Profibus、EtherNet/IP等, 同时兼容不同厂商的设备接入。一方面, 需要在网络的汇聚层和核心层部署多协议交换机和协议网关, 实现不同协议网段之间的无缝连接^[2]。另一方面, 在网络边缘部署智能化的接入网关, 将现场设备的各类私有协议或总线接口转换为标准的工业以太网接口, 通过构建开放、融合的多协议通信网络, 才能最大限度

地集成各类自动化设备资源,充分发挥系统整体效能,实现生产过程的全局优化控制。

2 有色金属矿山电气自动化通信网络构建方案

2.1 网络架构设计

矿山电气自动化通信网络的架构设计是整个系统的骨架,直接关系到网络性能与稳定性。通信架构应采用分层分区的设计理念,将矿山按照地理位置和功能划分为多个区域,每个区域内再按照核心层、汇聚层、接入层三层架构进行网络部署。核心层负责区域间高速数据交换,汇聚层连接各功能区域内的多个接入层设备,接入层则直接与现场设备相连,这种层次化架构便于系统管理和维护,当某个区域出现故障时,可迅速定位并隔离,避免影响整个系统运行。同时,关键节点和链路均应采用冗余设计,核心交换机、关键路由器双机热备,重要通信链路建立备用路径,确保在设备故障或链路中断时,系统能够自动切换,保持网络畅通。在具体实施过程中,可通过虚拟局域网(VLAN)技术对网络流量进行逻辑隔离,为不同类型的业务分配独立的VLAN,避免广播风暴和数据冲突;通过链路聚合技术提高带宽利用率,增强网络连接的可靠性;利用生成树协议预防网络环路,避免广播风暴,这种科学合理的网络架构设计,为矿山电气自动化系统提供了稳定高效的通信基础。

2.2 通信技术选择

在有色金属矿山电气自动化通信网络建设中,通信技术的选择至关重要,必须结合矿山环境特点与业务需求,合理选用有线与无线技术,构建高效可靠的综合通信网络。光纤通信技术是有线通信的首选,具有传输距离远、带宽大、抗电磁干扰能力强等显著优势,适合作为矿山通信网络主干。在矿区核心层与汇聚层间,可采用单模光纤构建 10 Gbps 或更高速率的主干网络,确保数据高速传输;在汇聚层与接入层间,可选用多模光纤构建 1 Gbps 的二级网络,满足区域内数据汇聚需求。对于电磁干扰特别严重的区域,如高压变电站、大型电机附近,应优先采用全光网络方案,避免铜缆传输易受干扰的问题。同时,无线通信技术在某些场景下也具有独特优势,特别是在移动设备接入、临时通信需求、布线困难区域,可灵活部署工业级 Wi-Fi、ZigBee 等无线网络。例如:在矿山采掘工作面,可利用工业级 Wi-Fi 实现采掘设备的移动接入;在矿区环境监测点众多、布线困难的区域,可利用 ZigBee 组建低功耗传感器网络。在实际应用中,常采用有线与无

线技术相结合的混合组网方式,以有线光纤网络作为骨干,无线网络作为补充,实现全面覆盖、灵活接入的通信系统,为矿山电气自动化提供强大的通信支撑。

2.3 设备选型与配置

有色金属矿山环境恶劣,对通信设备的可靠性和稳定性提出了严峻考验,因此设备选型与配置必须慎之又慎,确保系统长期稳定运行。

在设备选型方面,矿山通信网络应优先选择具有工业级标准的专业设备,如工业级交换机、工业路由器等,这些设备具有宽温设计、防尘防震、抗电磁干扰等特性,能够适应矿山恶劣环境。具体而言,核心层宜选用高性能模块化交换机,支持热插拔和不间断供电,保证网络核心稳定运行;汇聚层宜选用工业级三层交换机,具备路由能力和虚拟局域网划分功能;接入层则根据现场环境条件,选择相应防护等级的工业以太网交换机,特别是井下或潮湿环境,应选用 IP67 防护等级以上的设备。设备配置方面,需根据实际业务需求进行合理配置,例如根据数据流量预估合理配置端口速率和交换容量,确保网络不会因流量激增而拥塞;设置服务质量参数,为关键控制数据提供优先传输保障;配置 VLAN 隔离生产控制流量与管理流量,提高网络安全性;启用 RSTP/MSTP 等快速生成树协议,保证链路冗余切换效率。同时,各类通信设备应当实现统一网管,支持 SNMP 协议,便于集中监控和维护,这些精心选型与科学配置的设备将共同构成矿山电气自动化的可靠通信基础设施。

2.4 网络安全与防护

有色金属矿山电气自动化通信网络承载着生产控制数据和关键信息,其安全性直接关系到矿山生产的连续性和安全性,因此必须建立全方位、多层次的网络安全防护体系。首先,应强化通信数据加密保护,关键控制数据传输采用 SSL/TLS 等安全协议,确保数据传输过程不被窃听和篡改;敏感信息存储使用高强度加密算法,防止在存储环节发生信息泄露。其次,应当实施严格的访问控制策略,通过防火墙建立网络边界防护,限制不必要的网络访问;采用 802.1X 认证、RADIUS 服务器等技术,对网络接入设备进行身份认证;实施最小特权原则,根据用户角色分配不同的访问权限,确保生产系统仅能被授权人员操作。此外,还需建立完善的入侵检测系统,通过部署网络入侵检测设备,实时监控网络流量,识别可疑行为和攻击模式;定期进行漏洞扫描和安全评估,及时发现并修补系统

安全漏洞。在日常运维中,要建立安全事件响应机制,制定详细的应急预案,明确安全事件的报告、处置和恢复流程,最大限度降低安全事件的影响^[3]。同时,对操作人员进行安全意识培训,提高全员安全防范能力,通过这些综合性的安全防护措施,构建起坚固的矿山电气自动化通信网络安全屏障,保障矿山生产系统的安全稳定运行。

3 有色金属矿山电气自动化通信网络测试与优化

3.1 网络性能测试

为了确保有色金属矿山电气自动化通信网络能够满足实际生产需求,必须对网络性能进行全面的测试和评估。首先,应测试网络的数据传输速率、时延、丢包率等关键指标,分析网络的实时性和可靠性,通过模拟不同的数据流量和负载场景,评估网络的承载能力和稳定性。其次,应测试网络的覆盖范围和信号强度,特别是在一些较为复杂的矿区环境中,如地下巷道、露天采场等,确保网络能够实现全覆盖、无盲区。再次,还应测试网络的兼容性和互操作性,验证不同厂家的设备能否顺利接入并正常通信,不同子系统之间能否实现数据的无缝交换和共享。最后,根据测试结果,对网络进行优化和改进,如调整网络拓扑、优化设备配置、消除通信瓶颈等,确保网络性能满足甚至超出实际需求,为矿山电气自动化系统的稳定运行提供有力保障。

3.2 故障排查与修复

通信网络故障是影响有色金属矿山电气自动化系统正常运行的重要因素之一。为了及时发现和解决网络故障,必须建立完善的故障排查和修复机制。首先,应建立网络故障监测和报警系统,对网络关键节点和链路进行实时监控,一旦发生异常情况,能够第一时间发出警报,通知运维人员进行处理。其次,应制定详细的故障排查流程和方案,明确各级人员的职责和权限,确保故障排查工作有序、高效地开展。针对常见的网络故障类型,如设备故障、链路中断、配置错误等,应总结故障特征和处理经验,形成标准化的排查和修复方法,指导一线运维人员快速定位和解决问题^[4]。再次,应加强备品备件的管理,储备充足的备用设备和器件,确保在发生故障时能够及时更换和恢复。最后,还应做好故障分析和总结工作,通过对典型故障案例的深入剖析,找出故障发生的根本原因,制定针对性的预防和改进措施,不断提高网络的稳定性和可靠性。

3.3 网络优化与升级

随着有色金属矿山电气自动化系统的不断发展和应用深化,对通信网络的需求也在不断变化。因此,必须根据实际需求和网络性能,对通信网络进行持续的优化和升级。首先,应定期评估网络的使用情况和性能指标,分析网络中的瓶颈和不足之处,制定优化方案和改进措施。如调整网络结构、优化设备配置、升级传输介质等,提高网络的传输效率和可靠性。其次,应紧跟通信技术的发展趋势,适时引入新技术和新设备,如采用更高速的光纤传输技术、更智能的网络管理系统等,提升网络的整体性能和智能化水平。再次,还应重视网络的扩展性和灵活性,在网络规划和设计时预留足够的接口和带宽资源,满足未来业务发展和系统扩容的需要^[5]。最后,优化和升级过程中要注重与现有系统的平滑过渡和兼容,避免对生产运行造成影响,通过持续不断的网络优化与升级,可使有色金属矿山电气自动化通信网络始终保持先进性和适用性,为矿山的智能化、信息化发展提供有力支撑。

4 结束语

有色金属矿山电气自动化对通信网络提出了高速率、大容量、高可靠的要求。构建一套高性能、高可用的自动化通信系统,需要从需求分析、方案设计、实施优化等环节,进行系统性的考虑和规划。分层分区的网络架构、光无混合组网技术、可靠稳定的设备选型、完备的安全防护措施,是通信网络构建方案的关键要素。此外,还需建立科学的性能测试评估和故障处理机制,并紧跟技术发展趋势,适时开展网络优化升级。只有进行全方位、体系化的顶层设计,才能真正构建起满足矿山自动化生产需要的新型通信网络,为实现矿山的本质安全、清洁高效、智能环保的运行提供坚实支撑。

参考文献:

- [1] 周莉. 电气自动化通信网络信道数据低时延传输方法[J]. 长江信息通信, 2024, 37(12): 176-178.
- [2] 杨燕妮, 孟乐. 矿山通信的网络信息安全问题及无线网络构建研究[J]. 数字通信世界, 2024(04): 17-21.
- [3] 袁斌华, 薛彪. 矿山电气自动化控制中智能化技术的应用[J]. 世界有色金属, 2023(21): 1-3.
- [4] 刘海鹏, 周淑秋. 网络切片技术在矿山通信网络中的应用研究[J]. 工矿自动化, 2020, 46(08): 28-31, 57.
- [5] 张爵明. 基于矿山电气自动化控制中PLC技术应用的探究[J]. 中国金属通报, 2020(04): 65, 67.