

[融合基站]

基于智能变电站技术的矿山融合基站级联组网性能提升研究

文/崔萌¹ 张勇²

1. 国电建投内蒙古能源有限公司; 2. 中国移动通信集团内蒙古有限公司鄂尔多斯分公司

随着矿山安全生产需求的提升和现代化信息技术的发展, 矿山融合基站级联组网技术逐渐成为关键的技术路径之一。详细探讨基于智能变电站技术的矿山级联组网方案设计, 包括矿山级联组网拓扑结构的优化设计、通信协议与标准的适配、矿山基站实时监测系统的集成应用以及矿山组网数据传输路径的智能优化等关键技术, 并通过一系列技术应用测试验证所提方案的有效性, 旨在显著提升矿山融合基站级联组网的性能, 确保矿山通信网络的高效可靠运行。

在现代矿业活动中, 信息技术的整合和网络通信的可靠性是提高安全生产效率和灾害预防能力的关键因素。矿山融合基站级联组网技术应运而生, 旨在通过高效的数据通信网络支持矿山的日常运营和紧急响应系统。随着矿山作业环境的复杂性增加, 传统的通信网络已难以满足高效率和低延迟的通信需求, 尤其是在地下深处, 网络信号的稳定传输成为一个技术挑战。智能变电站技术是电力系统管理的一个重要创新, 提供实时数据处理和远程监控能力, 其在矿山级联组网中的应用, 预示着一种全新的解决方案。

智能变电站的基本原理围绕其核心功能——提升电网的可靠性、安全性和经济性而展开, 集成先进的通信技术、自动控制系统和数据处理平台, 实现对变电站所有关键设备的实时监控和管理。这种技术使变电站能够在接收到来自各级联基站的数据时进行快速处理和响应, 确保电力供应的连续性和稳定性。具体来说, 智能变电站利用综合自动化系统收集并分析来自传感器和监测设备的数据, 如电压、电流、温度和负载等参数, 根据实时数据分析, 预测和诊断潜在的设备故障, 从而提前采取维

护措施, 减少故障停机时间。此外, 智能变电站通过其高度的网络连接性, 能够与矿山的基站级联组网系统无缝对接, 支持数据的双向流动和命令的远程执行, 这在提高矿山运营效率和响应紧急情况时尤为关键。

矿山融合基站级联组网的现状与需求

矿山融合基站级联组网在当前的矿山信息化和自动化建设中的主要目标, 是通过高效的数据通信网络支持矿山的日常运营和安全监控系统。然而, 随着矿山作业环境的复杂性增加以及对安全生产和效率要求的提升, 传统的矿山通信网络面临诸多挑战, 其中网络覆盖不足、数据传输延迟高、网络可靠性低和难以维护等问题尤为突出, 严重制约矿山生产的智能化和信息化水平的提升。为解决这些问题, 矿山融合基站级联组网的现状亟需引入新技术和优化现有网络结构来进行改进, 其中智能变电站技术的应用提供一种可行的解决方案。该技术通过其自动化和智能化的特点, 可以有效地提升矿山通信网络的稳定性和数据处理能力, 同时智能变电站的引入还可以优化能源管理和减少运维成本, 进而

提高矿山通信网络的整体性能和经济效益。此外，随着矿山作业自动化程度的不断提高，对实时数据传输和处理的需求日益增加，智能变电站技术能够提供高效的数据收集、处理和分析能力，确保矿山安全监控系统能够快速响应各种突发情况，保障矿工安全 and 生产效率。

基于智能变电站技术的矿山级联组网方案设计

1. 矿山级联组网拓扑结构优化设计

在矿山融合基站级联组网性能提升的研究中，拓扑结构的优化设计是实现网络高效运行的关键。矿山环境的独特性，如地形复杂多变和大量无线信号遮挡区域，要求级联组网拓扑结构必须具备高度的灵活性和稳定性。基于智能变电站技术的矿山级联组网方案通过引入先进的网络设计理念和技术，能够显著提高矿山通信网络的覆盖范围和数据传输效率。拓扑结构优化主要涉及合理配置网络节点和选择最佳的数据传输路径，以减少通信延迟，提高数据传输的可靠性和网络的容错能力。智能变电站是网络中的核心节点，要承担数据汇聚和分发的任务，还应用其智能处理功能，实时分析网络状态和数据流量，动态调整网络配置以适应矿山环境的变化和网络负载的变动。在设计过程中，采用图论和网络优化理论来构建模型，根据算法求解得到最优的网络结构，这包括确定节点的最佳位置、配置必要的中继节点以及设计冗余路径以防单点故障。特别是在实际应用中，利用智能变电站的高速数据处理能力，结合地理信息系统（GIS）和无线传感器网络（WSN），对矿山区域进行详尽的地形和环境分析，以此来指导基站的布局 and 连接结构的设计。

2. 通信协议与标准的适配

在矿山融合基站级联组网性能提升研究中，通信协议与标准的适配能够确保整个系统高效运行，特别是在结合智能变电站技术的背景下，选择和适配合适的通信协议及标准成为提升网络性能的核心环节。智能变电站是高度自动化的电力设施，其通信需求复杂，涉及到的数据类型和处理速度要求远高于传统设施，因此必须采用能够支持高数据吞吐量和低延迟通信的协议和标准。在设计矿山级联

组网方案时，需考虑如何将这些高效的通信协议如 IEC 61850、DNP3 以及 OPC UA 等与现有的矿山通信系统进行集成。这些协议不仅支持智能变电站的基本操作，还能够确保数据在设备间的安全传输。为确保协议适配工作的准确性和系统性，通过详细的技术分析和试验验证，对不同协议在实际矿山环境中的表现进行评估，以确定最适合矿山环境的通信协议和标准。几种常用通信协议在矿山级联组网中的应用评估结果见表1。

表1 通信协议在矿山级联组网中的应用数据

通信协议	处理速度 / ms	数据类型支持	系统兼容性	稳定性评分
IEC 61850	10.25	高	高	95.75
DNP3	15.40	中	高	92.30
OPC UA	20.55	高	中	90.85
Modbus	25.60	低	低	88.40
MQTT	5.20	中	中	94.20

从表1中可以看出，不同通信协议在处理速度、数据类型支持、系统兼容性和稳定性方面表现各有千秋。选择合适的通信协议不仅取决于其技术性能，还需要考虑矿山具体环境和具体需求，确保所选协议能够为矿山融合基站级联组网提供最优化的性能支持。

3. 矿山基站实时监测系统的集成应用

在矿山融合基站级联组网性能提升的研究中，实时监测系统的集成应用可以提高矿山运营效率 and 安全性，实时监测系统通过持续追踪和评估矿山内部的通信网络状态，包括信号强度、节点活性、数据传输错误率以及各种环境参数，确保矿山运营的连续性和安全性。集成智能变电站技术，实时监测系统得以利用先进的数据处理和分析能力，增强对矿山基站网络的实时响应和故障预测。

实时监测系统的核心是基于改进的卡尔曼滤波算法，该算法用于估算和预测网络状态的动态变化，确保数据的准确性和实时性。该算法的基本形式可以表示为

$$x_{k|k-1} = F_k x_{k-1|k-1} + B_k u_k \quad (1)$$

$$P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k \quad (2)$$

式中， $x_{k|k-1}$ 为预测的状态估计； F_k 为状态转移矩阵； B_k 为控制输入矩阵； u_k 为控制输入； $P_{k|k-1}$ 为预测误差协方差； Q_k 为过程噪声协方差矩阵。

观测更新阶段为

$$K_k = P_{k|k-1} H_k^T (H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k)^{-1} \quad (3)$$

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k (z_k - H_k \hat{x}_{k|k-1}) \quad (4)$$

$$P_{k|k} = (I - K_k H_k) P_{k|k-1} \quad (5)$$

式中, K_k 为卡尔曼增益; H_k 为观测矩阵; z_k 为实际观测值; R_k 为观测噪声协方差矩阵; $x_{k|k}$ 为更新后的状态估计; $P_{k|k}$ 为更新后的误差协方差。

4. 矿山组网数据传输路径的智能优化

在矿山融合基站级联组网中, 数据传输路径的智能优化能够提高网络的性能, 特别是在智能变电站技术支持下, 可以实现更高效和可靠的数据流动。应用图论和最短路径算法, 可以优化矿山组网的数据传输路径, 从而减少延迟, 提高数据传输的稳定性和效率。具体地, 使用Dijkstra算法进行路径优化, 该算法能够找到网络中所有节点间的最短路径, 为数据传输提供最优路由。

Dijkstra算法的基本步骤:

1) 初始化距离数组 $d[v]$, 对于源点 s , $d[s]=0$; 对于所有其他顶点, $d[v]=\infty$ 。

2) 设定未处理的节点集合 Q , 最初包含图中的所有节点。

3) 重复以下步骤直到 Q 为空: 从 Q 中选择一个距离最小的节点 u , 移除 u 并更新所有邻居 v 节点 v 的距离。

更新公式为

$$d[v] = \min(d[v], d[u] + w(u, v)) \quad (6)$$

式中, $w(u, v)$ 为节点 u 和 v 之间的边的权重。

在智能变电站支持的矿山级联组网中, 使用Dijkstra算法不仅优化数据传输路径, 还能够动态调整路径以适应网络状态的变化。

技术应用测试

在本研究中, 所用数据集均为实测数据, 通过在实验室内模拟的矿山环境中部署的网络模拟器和实时数据采集设备收集得来。这些设备模拟了矿山通信网络的各种工作条件和可能遇到的障碍, 确保数据的真实性和实验的有效性。数据集专门用于测试基于智能变电站技术的矿山融合基站级联组网系统的功能, 而非用于训练任何预测模型。因此, 所有收集的数据均用于系统性能的测试分析。共收集约18 000条数据。测试整体运行3 h, 没有进行分

组处理, 每0.5 h生成一组数据, 以连续评估系统性能的变化。测试主要关注四个指标: 网络延迟(从数据发送到接收的时间, 衡量网络反应速度)、数据传输成功率(成功传输的数据包与总数据包的比例, 衡量网络可靠性)、系统稳定性(系统无重大故障运行的时间比例, 衡量系统的持续运行能力)和数据完整性(传输数据的完整性和准确性, 衡量数据是否在传输过程中被篡改或丢失)。这些指标共同反映了矿山级联组网系统的综合性能。测试数据见表2。

表2 测试数据

时间/h	网络延迟/ms	数据传输成功率(%)	系统稳定性(%)	数据完整性(%)
0.5	10.23	99.87	100.00	99.98
1.0	9.56	99.89	100.00	100.00
1.5	9.41	99.92	100.00	100.00
2.0	9.38	99.93	100.00	99.99
2.5	9.22	99.95	100.00	99.97
3.0	9.19	99.96	100.00	100.00

从表2中可以看出, 网络延迟随时间逐渐减少, 这表明网络随着时间的推移逐渐稳定, 是因为系统对环境的适应和智能优化算法的调整。数据传输成功率始终维持在一个较高的水平, 显示了网络的高可靠性。系统稳定性在整个测试期间保持100%, 说明系统在测试期间没有发生任何重大故障, 展示系统的强大稳定性。数据完整性也保持在高水平, 证明数据在传输过程中的安全和准确性。这些测试结果表明, 基于智能变电站技术的矿山融合基站级联组网系统在提供高效稳定的数据传输方面表现优异, 足以支撑矿山复杂且变化多端的运营环境^[5]。

结束语

通过智能变电站技术优化的矿山融合基站级联组网, 不仅提高网络的可靠性和安全性, 还增强网络的灵活性和扩展性。在此基础上, 矿山可以实现更为高效的资源管理和更快速的决策过程, 尤其是在遇到紧急情况时, 能够迅速调配资源, 确保生产安全和效率。这些研究成果将对矿山通信网络设计提供理论指导和实践案例, 为矿业安全生产提供坚实的技术支撑。EA

(收稿日期: 2024-11-01)