

基于光纤 + CAN 总线的 10 kV 馈线自动化技术研究

王东*, 贾思辉, 朱伟

(国网黑龙江省电力有限公司哈尔滨供电公司, 黑龙江 哈尔滨 150010)

摘要: 针对黑龙江农村 10 kV 线路较长引起的电压质量低、网络损耗较大和供电可靠率低的问题, 提出一种基于光纤 + CAN 总线的馈线自动化技术。首先, 针对传统馈线方式的局限性进行了分析, 详细阐述了光纤 + CAN 总线技术的设计原理与实现方式, 针对故障的实时监测和断路器的快速响应进行了需求描述。其次, 论述该系统通过多点无功功率优化补偿电压的机理, 对改善系统电压质量和降低线路损耗的机理进行了说明。最后, 通过案例分析, 验证了该技术在工程应用中的有效性。结果表明, 该技术能有效缩小停电范围, 缩短停电时间, 提升供电可靠率, 为电力系统的自动化改造提供了新的思路。

关键词: 馈线自动化; 光纤; CAN 总线; 供电可靠率

中图分类号: TM76

Research on 10 kV Feeder Automation Technology Based on Fiber Optics and CAN Bus

WANG Dong*, JIA Sihui, ZHU Wei

(State Grid Heilongjiang Electric Power Co., Ltd. Harbin Power Supply Company, Heilongjiang Harbin 150010, China)

Abstract: To address the issues of low voltage quality, high network losses, and poor reliability associated with the long 10 kV lines in rural Heilongjiang, a feeder automation technology based on fiber optics and CAN bus is proposed. Initially, the limitations of conventional feeder methods are analyzed, and the design principles and implementation of the fiber optic + CAN bus technology are elaborated, focusing on real-time fault detection and rapid circuit breaker response. Furthermore, the mechanism for multi-point reactive power compensation is explained, demonstrating how it improves voltage quality and reduces line losses. Finally, case studies validate the effectiveness of this technology in practical applications. Results demonstrate that the technology effectively minimizes outage areas and durations while improving supply reliability, offering a novel approach for the automation of power system upgrades.

Keywords: feeder automation; optical fiber; CAN bus; power supply reliability

黑龙江农村电网覆盖范围广泛, 负荷密度相对较小, 由于其中 10 kV 长距离线路供电占比较大, 存在一系列技术性问题。包括线路阻抗大、用户电能质量差和供电可靠性低^[1]。为达成建设新型电力系统的目标, 需要从电压合格率, 网络损耗和供电可靠率考虑^[2]。在技术层面上可通过无功补偿和馈线自动化 (feeder automation, FA) 解决^[3]。

传统的馈线自动化措施由于受安装位置的限制^[4], 具有一系列潜在风险, 如: 判断故障点不够准确导致停电范围扩大^[5]、停电时间长等问题。因此本文提出一种基于光纤 + CAN 总线的馈线自动化技术, 可在不扩大停电范围的情况下实现对线路的自动切除, 并通过上位机与下位机的相互配合实现无功功率的优化。

基金项目: 国家电网黑龙江省电力有限公司科技项目 (SGHLHR00KJJS2401088)。

收稿日期: 2024-08-19, **修回日期:** 2024-09-06

1 馈线自动化基本原理

馈线自动化是指在电力系统关键位置安装下位机, 通过传感器实时监测其电压电流等关键信息, 由通信系统实时上传到上位机, 上位机对数据进行分析, 实时监控电力网络的运行状态。

当电网中发生故障时, 上述系统可根据网络拓扑判断停电位置, 并迅速确定断路器动作次序并命令下位机控制断路器动作, 实现隔离故障, 及时恢复无故障区域的供电。馈线自动化的具体实施方式可分为主站集中式和就地分布式。主站集中式通过收集下位机监测信息, 判断网络运行状态, 从而实现故障定位和隔离。就地分布式通过各个下位机之间的信息通信和逻辑判断, 实现故障的隔离, 并将信息上报, 由于就地分布式的布置方式, 存在切断故障时间长、开关动作频繁等问题。本文拟在主站

集中式的基础上进行研究，其原理见图 1。

图 1 中， S_1 为变电站出线开关，具有重合闸功能，其余无重合闸功能，图中 A_7 和 A_8 间发生永久性故障时， S_1 保护动作， A_6 和 A_7 动作，此时线路 I 和线路 II 停电。由于 S_1 具有重合闸功能， S_1 闭合，此时线路 I 恢复供电，线路 II 中 H_1 区域未恢复供电。

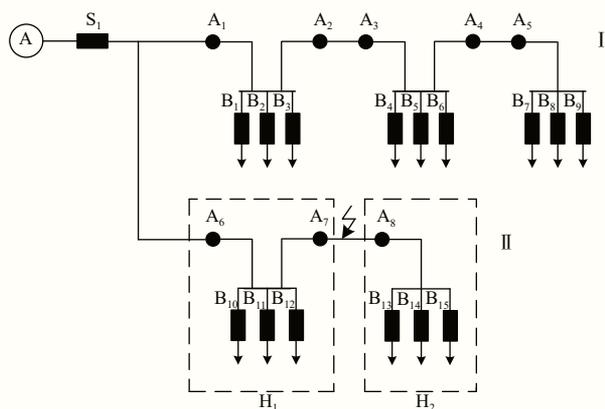


图1 馈线自动化装置切除故障示意图

2 基于光纤+CAN 总线的馈线自动化

2.1 传统馈线自动化原理

传统的馈线自动化方式隔离故障时一般按照以下顺序，首先变电站出线开关动作切断电源，分段开关失压分闸，此后出线开关延时进行重合闸，分段开关按照供电有故障记忆在线路有压确认时间后进行合闸，其他无记忆开关按上述时间+延长时间后合闸。各级开关分段逐级合闸，最终合闸至故障点，此时由于故障导致线路电流突变，故障点前端开关判定合闸至故障点，直接跳闸并闭锁，故障点后端开关因瞬时恢复供电闭锁合闸，故障隔离完成。

此方式在故障定位时将导致无故障区域停电，且各区域恢复供电缓慢，降低了电力系统的供电可靠率。此外停电范围的扩大化也影响电力企业在用户中的信誉与形象。

2.2 基于光纤+CAN 总线的馈线自动化原理

为了提高供电可靠率，本文提出一种基于光纤+CAN 总线的馈线自动化技术，通过在各个节点设置 CAN 总线控制器，各节点间通过光纤进行通信，实现故障切除。

CAN 总线对比其他总线具有许多优点，如最大通信速率可达 1 Mb/s，通信误码率小于 10^{-13} 。对比 RS485、RS232 等总线，CAN 总线的最大通信距离在不增设中继时可达 10 km，而 RS485 的最大通信距离约为 1.2 km，RS232 则更短，仅为 15 m。对比 CAN 总线的多主从结构，RS485 的单主从结构总线利用率较低，各节点间通信不够迅速。此外 CAN 总线每帧数据都有 CRC 校验等检错措施，可在高干扰工况下使用，具有较高的可靠性。而 RS485 没有此种检错措施，在故障时将导致总线瘫痪。CAN 总线器件价格几乎为 RS485 的两倍，但由于其在通信上的稳定性，本文选择其作为下位机的通信方式。

在上位机与下位机的通信方式上，本文选择光纤作为通信方式，系统的通信即可视为零距离通信，保证了时效性，此外不受天气状况与地理环境的干扰，是最可靠的通信手段。若采用 GPRS 或 5G 等技术，在线路发生短路或天气状况较差时，会产生较大的电磁干扰，影响各个节点间的正常通信，降低了系统的可靠性。此外要增设认证服务器和防火墙来确保通信网络的安全性，增加了额外的成本。

光纤+CAN 总线的馈线自动化装置在设备上由负责遥测遥控的上位机和进行信息采集和控制开关动作的下位机构成，见图 2。

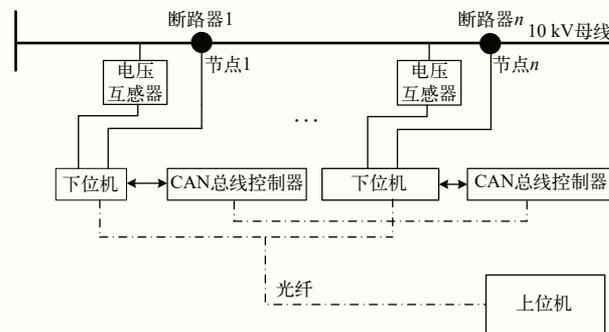


图2 光纤+CAN 总线的馈线自动化装置结构图

在设备安装时，先对 10 kV 线路中的多个断路器节点进行排序，从电源端依次排序节点位帧 ID，末端的节点位帧 ID 最小，优先级最高，此时形成网络的拓扑数据。当线路上发生短路故障时，短路点以上的线路断路器采集到短路电流，激活 CAN 总线控制器，此时末端节点 CAN 总线控制器主动与其他节点 CAN 总线控制器交换数据，距短路点最

近的高优先级节点 CAN 总线控制器与检测到短路电流的 CAN 总线控制器进行通信，通信完毕后，通过下位机驱动断路器跳闸。下位机检测到断路器短路跳闸的信息后，通过光纤将其上传到上位机，上位机收到短路跳闸信息。

为判断故障是瞬时性还是永久性故障，上位机通过光纤指令下位机重合一次，下位机接到指令延时 0.5 s 后驱动短路跳闸断路器重合。此时，若为瞬时性故障则合闸成功，恢复正常状态，若为永久性故障则由 CAN 总线控制器通过下位机驱动断路器跳闸，上位机收到重合不成功跳闸信息后指令下位机将线路断路器闭锁跳闸状态。该策略避免了扩大停电范围，可有效提高电力企业的供电可靠率。

2.3 基于馈线自动化系统的无功优化功能

针对于黑龙江省农村 10 kV 线路较长与阻抗较大引起的电压质量问题和线路损耗问题，在本馈线自动化系统中，可通过上位机控制下位机投切电容器补偿的措施进行无功功率的优化。图 3 为无功功率优化结构示意图。

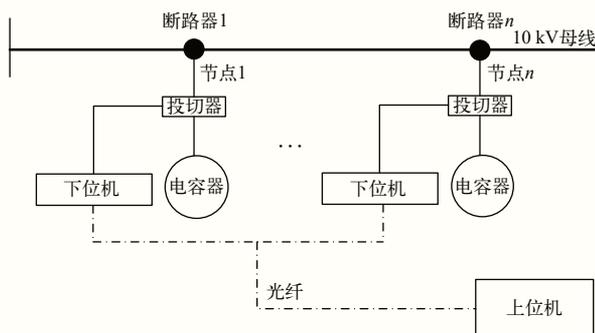


图3 无功功率优化结构示意图

基于图 3 的布置策略，本馈线自动化系统只需要安置点的电压信息、电容器的投切状态信息和线路首段无功功率需求值，不需要电流、有功功率和功率因数等信息，实现以安置点电压为约束条件和线路首端无功功率需求为约束条件的双控目的。

在采集各节点信息后通过光纤上传至上位机，上位机根据模糊控制算法计算出所需补偿线路需要投入或切除的补偿电容器的容量，此后通过下位机采集的线路各补偿点投切状态信息和实测电压确定投切对象后，再通过远程通信网络向下位机发送控制指令，使下位机根据命令投切电容器。实现了以往无功补偿单点控制转换为一条线路多点控制的

目的。

通过以上无功补偿策略，可同时实现减少线路损耗和保证电压质量的双重目标。

3 案例分析

本文对黑龙江省某地配电线路进行分析，当短路故障发生在 10 kV 开式网中时，如图 4 所示，其中 A 为电源， S_1 为变电站出线开关，其余为断路器，图中黑色实心表示为合闸上状态。当 A_4 左侧发生故障时， S_1 、 A_1 、 A_2 和 A_4 采集到短路点电流信息，此时 CAN 总线控制器激活，此时 A_4 的位帧 ID 最小，优先级最高。 A_4 节点的 CAN 总线控制器主动与其他节点交换信息，经过优先级判断 A_4 断路器跳闸，并上传信息至上位机，此时为判断故障是否为瞬时性故障，上位机命令 A_4 断路器延时 0.5 s 后重合，若恢复正常供电，则为瞬时性故障，否则 A_4 断路器重合闸不成功，并向值班人员发出信息。此种方式停电范围线路 II 中 H_1 区域断电，未扩大停电范围，提高了供电可靠率。

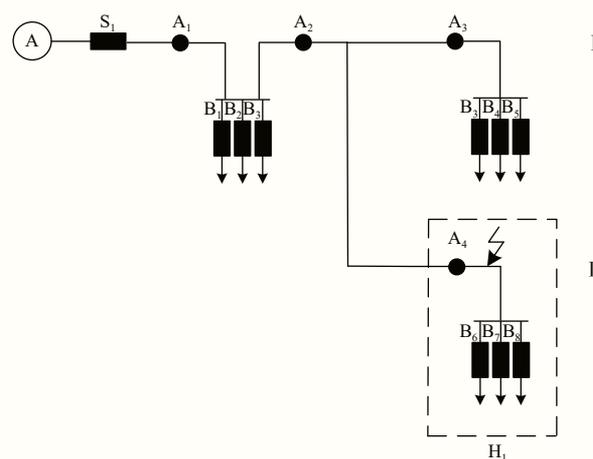


图4 开式网排除短路故障示意图

当短路故障发生在 10 kV 多端供电网中时，如图 5 所示，其中包含 A、B、C 3 个电源，其中 A_5 与 A_7 表示断路器未合闸。线路左侧电源 A 线路 A_4 的位帧 ID 最小，优先级最高，线路右侧电源 B 线路 A_5 的优先级最高，电源 C 线路 A_7 的优先级最高。当 A_2 和 A_3 中间线路上发生永久性故障时，此时经过判断，选择从电源至短路点方向离短路点的最近的优先级最高的节点 A_2 主动跳闸，线路 I 中 H_1 区域断电。为恢复供电，需要选择从电源 B 或电源 C

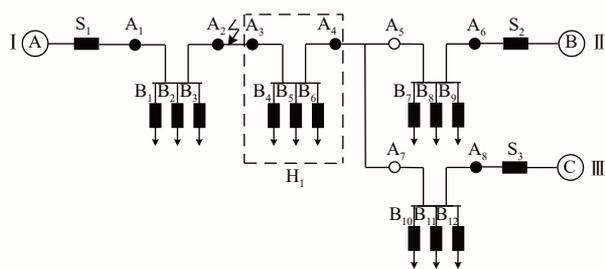


图5 多端供电网排除短路故障示意图

重构电能。此时经上位机计算电源 B 或电源 C 剩余容量是否能承担停电部分负荷并计算线路功率损耗，避免某一电源过载导致停电范围扩大。经计算后上位机选择最优线路进行重构电能，根据计算结果对 A₅ 或 A₇ 发出合闸命令，恢复故障区域停电。同时上位机对网络拓扑和各节点 CAN 总线位帧 ID 进行更新并上报。

4 结束语

本文论述了一种基于光纤+CAN 总线的馈线自动化技术工作原理，并指出可利用现有馈线自动化装置实现线路多点无功功率补偿，从而提高电网的电能质量并减小功率损耗。结合实际工作中的开式网和多端供电网分析了工作过程，对比传统的馈线自动化方式，本馈线自动化技术可缩小停电范围、缩短停电时间，有效提高电网的供电可靠率 and 经济效益。针对于长距离且负荷密度小的 10 kV 线路，建议采取此种馈线自动化技术对线路进行改造。

参考文献

- [1] 董庆峰. 10 kV 配电线路故障的智慧化抢修方案[J]. 电工技术, 2023 (21): 146-149.
- [2] 唐金锐, 鲍柯方, 曹芸玉, 等. 考虑负荷停电差异化的配电自动化终端混合优化配置方法[J]. 电力系统自动化, 2024, 48 (14): 157-166.
- [3] 王轩. 配网自动化方案设计[J]. 电工技术, 2022 (22): 132-135.
- [4] 晓宇. 配置馈线自动化的配网故障监控方案研究[J]. 农村电气化, 2023 (11): 51-53.
- [5] 李志, 余绍峰, 彭佳盛, 等. 考虑开关设备和馈线自动化模式的配电网弹性评估方法[J]. 电力建设, 2024, 45 (1): 83-91.

作者简介

王东 (1977—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为计算机科学, E-mail: sgccwd@163.com.

(责任编辑: 袁航)

资讯

内蒙古成功开展中压发电车多机并网不停电作业

2024 年 10 月 25 日, 在阿拉善左旗巴彦浩特镇西城区, 内蒙古电力集团阿拉善供电公司工作人员进行了中压发电车“多机并网并网”作业, 这是内蒙古自治区内首次采用多台中压发电车并网技术进行不停电作业。此项技术的成功运用, 进一步丰富了地区综合性不停电技术应用范围, 大大提升城市供电可靠性。

10 月 25 日 10:40, 随着发电车运行平稳且各项参数趋于正常后, 3 台中压发电车成功并网接入 10 kV 西城区 I 回线与西城区 II 回线的部分负荷。据了解, 这 2 条线路承担阿拉善左旗巴彦浩特镇西城区部分政务办公场所及居民小区的供电任务, 用电时间集中, 负荷较大, 尤其是进入供暖季后, 线路承担的“煤改电”负荷也随之加大, 为消除供电隐患, 该公司通过新建线路及切改, 将原有两回线路分为四回线路, 缩短供电半径, 提升供电质量。为保证线路切改期间居民正常用电, 该公司通过 3 台中压发电车并网转带负荷的方式, 使居民在停电“零感知”的情况下完成负荷转带工作。

作业过程中, 该公司各部门作业人员密切配合, 协同操作, 顺利解决了在多机并网过程中发电机组间通信及并网期间同步控制的难题, 实现了中压发电车并网全过程带电进行, 形成临时微网供电近 10 h, 有效保障沿线近 4 000 户客户稳定用电。

此次作业有效解决了末端负荷无法通过现有网架进行倒接的问题, 实现了配网不停电作业由“无源型作业”向“有源型作业”、被动作业向主动作业的转型, 完成了发电车供电和网电之间的“无感切换”, 为重负荷线路不停电作业提供了有效示范。“多台发电车并网覆盖客户更多、供电时间更长, 在电网检修、应急保电时能提供更加可靠的临时电源保障, 减少停电造成的经济损失, 提升客户满意度感。”该公司生产技术部副部长杨永义介绍。

信息来源: 内蒙古电力集团