

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)03-0162-05

基于远距离无线传输的配电网营销数据采集系统研究

霍鹏¹, 李海龙², 芮光辉³, 方剑¹, 杨丙¹

(1. 国网青海省电力公司信息通信公司 玉树运维分部, 青海 玉树 810008; 2. 国网青海省电力公司信息通信公司, 青海 玉树 810008 ;3. 国网青海省电力公司玉树供电公司, 青海 玉树 810008)

摘要:为了解决无线信号覆盖盲区造成的配电网营销数据采集效率低下问题,研究在现有的北斗短报文技术上,结合了远距离无线传输技术进行优化,设计了基于 Lempel-Ziv 1977 算法的数据无损压缩机制,以提高数据传输效率;采用动态管理机制对北斗终端进行统一调配和管理;利用分包传输机制解决了北斗短报文单次发送数据容量限制的问题。在可靠性测试中,研究方法准确率为 97.35%、其他方法准确率分别为 95.77%、93.12%和 91.49%;在效率测试中,研究方法的运行时间为 0.51 s,而其他方法运行时间分别为 1.12 s、1.82 s 和 2.26 s。在稳健性测试中,研究方法准确率降低了 4.56%,其他方法准确率分别降低了 5.14%、5.38%和 6.09%。实验结果表明,研究方法在无线信号覆盖盲区的配电网营销数据采集,拥有优秀的可靠性、效率和稳健性。此次研究为实现高海拔无信号地区营销数据安全、快速、有效的采集,提升电网整体智能化管控水平提供了指导。

关键词:远距离无线传输;北斗短报文;配电网;营销数据;数据采集

中图分类号: TP2274; TN927

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)03-0162-05

Research on distribution network marketing data acquisition system based on long-distance wireless transmission

HUO Peng¹, LI Hailong², RUI Guanghui³, FANG Jian¹, YANG Bing¹

(1. Yushu Operation and Maintenance Branch, State Grid Qinghai Electric Power Company Information and Communication Company, Yushu 810008, Qinghai, China; 2. State Grid Qinghai Electric Power Company Information and Communication Company, Yushu 810008, Qinghai, China; 3. Yushu Power Supply Company, State Grid Qinghai Electric Power Company, Yushu 810008, Qinghai, China)

Abstract: In order to solve the problem of low efficiency of distribution network marketing data collection caused by wireless signal coverage blind area, this paper studies the existing Beidou short message technology, combines the remote wireless transmission technology to optimize, and designs a data lossless compression mechanism based on Lempel-Ziv 1977 algorithm to improve data transmission efficiency. It adopts dynamic management mechanism for unified deployment and management of Beidou terminal. The subcontracting transmission mechanism is used to solve the problem of data capacity limitation of single transmission of Beidou short message, and the accuracy of data reorganization is ensured by packet header information. In the reliability test, the accuracy of the research method is 97.35%, the accuracy of other methods is 95.77%, 93.12% and 91.49%, respectively. In the efficiency test, the running time of the research method is 0.51 s, while the running time of other methods is 1.12 s, 1.82 s and 2.26 s, respectively. In the robustness test, the accuracy of the research method is reduced by 4.56%, and the accuracy of other methods is reduced by 5.14%, 5.38% and 6.09%, respectively. The experimental results show that the research method has excellent reliability, efficiency and robustness in the distribution network marketing data collection in the wireless signal coverage blind area. This study provides guidance for the realization of safe, fast and effective collection of marketing data in high-altitude no-signal areas and the improvement of the overall intelligent control level of the power grid.

Keywords: remote wireless transmission; Beidou short message; distribution network; marketing data; data acquisition

在智能电网管理中,实时和准确的数据采集是提高电网效率和可靠性的关键。随着电力需求的增长和配电网网络的扩展,在偏远和地理分散的区域,传统的数据传输方法面临着巨大的挑战^[1-2]。以青海玉树地区为例,青海玉

树地区受移动、电信、联通三大移动运营商基站建设布点限制属于无移动信号覆盖地区,存在无线信号覆盖盲区,造成配变台区数据无法实现采集^[3]。因此如何能够安全、快速、有效地实现配变台区及用户表计数据全采集,提升

收稿日期:2024-07-09;录用日期:2024-08-20

基金项目:国网青海省科技项目资助(522814230003)

作者简介:霍鹏(1996—),男,本科,助理工程师,研究方向:电力通信。

引用本文:霍鹏,李海龙,芮光辉,等. 基于远距离无线传输的配电网营销数据采集系统研究[J]. 自动化技术与应用, 2026,45(3):162-166. (HUO Peng, LI Hailong, RUI Guanghui, et al. Research on distribution network marketing data acquisition system based on long-distance wireless transmission[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(3):162-166.)

电网整体智能化管控水平,完成青海玉树高海拔无信号地区营销数据采集多态网络模式研究显得尤为重要。针对以上问题,北斗短报文技术提供了一种独特的解决方案,其能够在没有传统通信基础设施支持的区域内,实现有效的数据通信。该技术不仅覆盖全球,而且具有低成本和高效率的特点,使其成为偏远地区配电网数据采集的理想选择^[4-5]。基于北斗短报文技术,研究致力于设计一个集成北斗短报文技术和远距离无线传输技术的配电网营销数据采集系统,通过无线传输解决传统有线通信在成本和实施上的局限,同时提高数据传输的可靠性和实时性。最后,通过将国内成熟的通信技术在青海玉树无信号地区通过实际应用进行比对,研究希望能够满足青海无信号地区营销数据采集需求的灵活多态的技术解决方案,从而实现无信号地区配电网台区及用户电表数据全采集及控制功能,为加快建设青海新型电力系统省级示范区提供可靠的通信力量。

1 配电网营销数据采集系统设计

1.1 营销数据采集系统需求分析

对于无线信号覆盖盲区,配电网营销数据采集一直是迫切需要得到解决的问题。配电网营销数据采集是实现智能电网的基础,其能够用于识别用户的用电模式,分析用户的生活方式特征,从而有助于制定针对性的配电网营销策略^[6]。由于无线信号覆盖盲区往往在高海拔、偏远、人口较少的地区,因此在设计无线信号覆盖盲区配电网营销数据采集系统之前,需要对该系统的需求进行分析。在系统功能需求方面,无线信号覆盖盲区配电网营销数据采集系统包括三个部分,即主站、通信信道和采集设备,如图1所示。

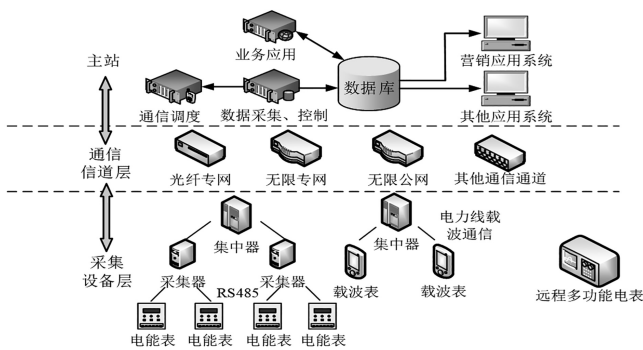


图1 配电网营销数据采集系统

Fig. 1 Distribution network marketing data collection system

图1中,主站是系统的核心,负责管理和存储从采集设备传来的数据,同时对数据进行处理和分析。主站通常包括高性能的服务器和数据库系统,以确保数据处理的效率和安全^[7]。采集设备安装在电网的各个节点,负责实时监测电网运行状态并采集相关的营销数据,如电能使用量、负载变化等。采集设备通常需要具备自动化功能,能够在预设的时间间隔内自动发送数据到主站,以极大地提升数据采集的效率和准确性^[8]。通信信道是连接主站和

采集设备的纽带,主要利用远距离无线传输技术和北斗短报文系统,以确保数据在无线信号覆盖盲区内进行可靠传输^[9]。在实际应用中,通道信道有无线和有线两种数据传输方式,但在无线信号盲区,这两种方式均无法确保数据传输的有效和可靠,如图2所示。

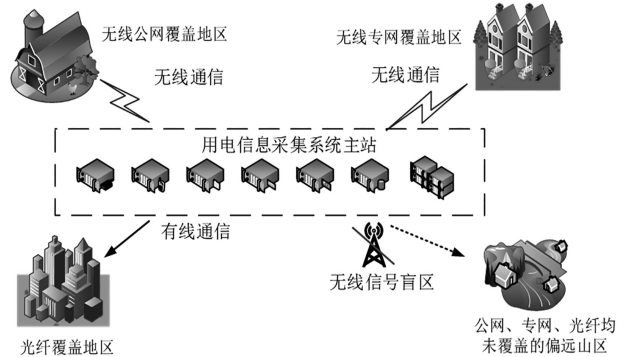


图2 通道信道数据传输方式示意图

Fig. 2 Schematic diagram of channel data transmission mode

如图2所示,无线信号盲区所在的地区往往在偏远地区,这些地区往往具有极端的地形,导致光纤共网无法覆盖,光纤通道更是难以实现^[10]。目前只能采用人工收集的方式,安排配电网员工到现场收集配电网营销数据。为此,设计基于远距离无线传输和北斗短报文的配电网营销数据采集系统是具有重要意义的,其不仅能节省大量的人力物力财力,还能实现对偏远地区配电网智能化管控。在性能需求方面,由于北斗短报文技术存在数据容量限制、信号干扰和服务延迟等问题,这在无信号覆盖盲区进行配电网营销数据采集有一定难度^[11]。改进的采集系统需要具备传输效率高、稳健性强和可靠性等性能。其中传输效率是针对无线信号盲区配电网营销数据采集耗时问题,需要将数据进行压缩,以提升系统传输效率。稳健性是指系统在极端环境下的表现,由于无线信号盲区大多位于极端地形,因此需要确保系统的稳健性。可靠性包括系统可靠性和传输可靠性,系统可靠性要确保在无人监管的情况下,系统能够稳定地持续运行;传输可靠性要确保无线信号盲区所有配电网营销数据能够被准确接收。

1.2 配电网营销数据采集系统设计

为了满足无线信号盲区配电网营销数据采集的需求,研究设计了基于远距离无线传输和北斗短报文的数据采集系统。系统设计的重点在无线信号配电网营销数据远距离可靠性传输设计,和配电网营销数据无损压缩的算法数据两个方面,实现流程如图3所示。

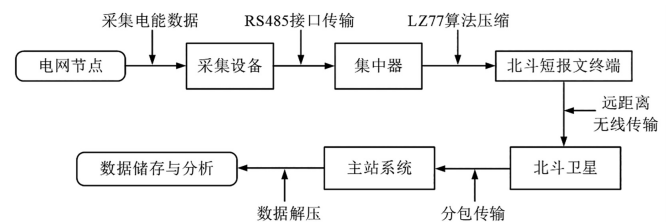


图3 配电网营销数据采集系统设计实现流程

Fig. 3 Design and implementation process of the distribution network marketing data collection system

如图3所示,首先将安装在电网各个节点的采集设备实时监测电网运行状态,并采集相关的营销数据。这些数据通过RS485接口传输到集中器。然后将采集到的数据在集中器端进行预处理和压缩,采用Lempel-Ziv 1977算法进行无损压缩。再将压缩后的数据通过远距离无线传输技术发送到北斗短报文终端,并通过北斗前置服务软件传输到主站系统。前置服务软件负责数据的协议转换和解压操作,将压缩数据恢复为原始数据。最后,主站系统对接收到的数据进行存储和管理,通过高性能服务器和数据库系统进行分析处理,以支持配电网的智能化管控。对于终端管理能力,研究设计了前置机服务软件负责北斗终端的动态管理。软件能够实时读取北斗指挥机用户卡信息,根据数据传输需求,对北斗卡资源进行统一调配和管理^[12]。针对北斗短报文通信的限制,研究设计了一套分包机制,允许将较大数据量的信息分成多个最大75字节的子包进行传输。这些子包各自配备一个由三部分构成的包头,包括初始序列号、子包总数、子包序号,以保证数据在接收端能被准确重组^[13-15]。设计后的配电网营销数据采集系统的技术架构,如图4所示。

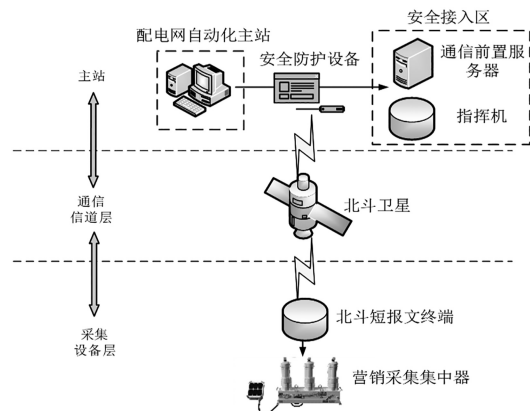


图4 基于北斗短报文的配电网营销数据采集系统架构

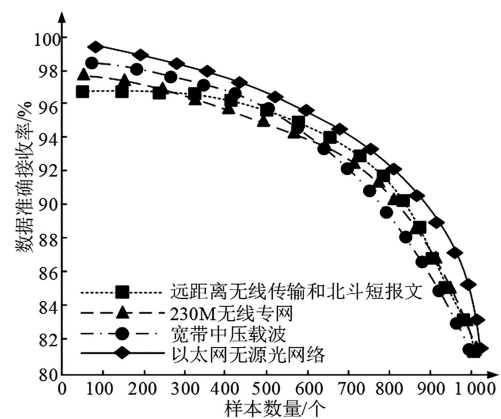
Fig. 4 Architecture of distribution network marketing data collection system based on Beidou short messages

如图4所示,此次研究设计的配电网营销数据采集系统的主站由北斗通信前置服务和北斗指挥机组成。通过北斗通信前置服务,实现北斗通信与主站营销用电信息采集系统的无缝连接。主站侧指挥机通过北斗卫星实现与现场侧北斗短报文终端之间的通信。通信通道层主要由北斗卫星组成,实现主站指挥机与现场北斗终端之间的双向通信。设备层主要由北斗短报文终端组成,通过北斗卫星实现与主站侧指挥机之间的通信。另一方面,针对配电网营销数据无损压缩的算法设计,研究使用无损压缩算法Lempel-Ziv 1977并进行优化。该算法通过建立固定大小的“搜索缓冲区”作为字典,利用滑动窗口技术实时更新字典内容,从而达到压缩数据的目的^[16]。在配电网营销数据的应用中,LZ77算法由于其简单的字典建立过程和较小的存储空间需求,特别适合在资源受限的单片机环境中实现^[17]。此外,研究优化了压缩码的输出结构,将原本

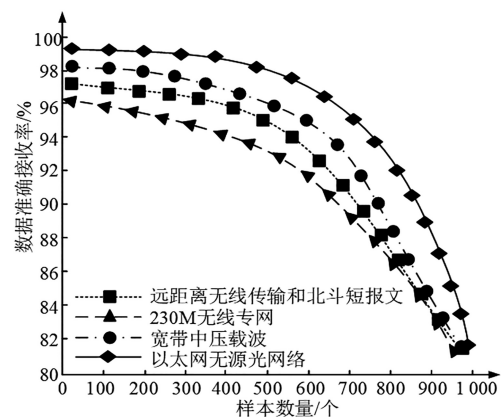
的三元组结构简化为二元组。如果在搜索缓冲区中找到当前字符串的最长匹配数据段,则输出的二元组中地址值最小设置为1;若无匹配,则输出二元组,解码时遇到0则直接输出其后的字符。这种结构的简化不仅缩减了压缩数据流的长度,也提升了压缩和解压的效率,以实现无线信号盲区的电力系统实时数据处理。

2 系统性能试验结果与分析

为了验证基于远距离无线传输和北斗短报文的配电网营销数据采集系统的性能效果,研究首先搭建了合适的实验平台。测试的CPU采用Intel CoreTMi7-9700CPU@3.00GHz×16,GPU采用NVIDIA GeForce RTX 1660。数据来自青海玉树无移动信号覆盖地区,将70%数据作为训练集,30%的数据作为测试集。对比方法为目前常用的三种数据采集方法,包括230M无线专网、宽带中压载波技术和以太网无源光网络。对比指标为可靠性、传输效率高和稳健性。可靠性以无人监管的情况数据采集的准确接收率来表现,结果如图5所示。



(a) 训练集



(b) 测试集

图5 配电网营销数据采集系统可靠性对比

Fig. 5 Reliability comparison of distribution network marketing data collection system

如图5所示,图5(a)为训练集下4种采集系统的性能测试结果,图5(b)为测试集下4种算法的性能测试结果。从图5(a)中可以看出,在训练集中,随着样本数量的增加,所提的配电网营销数据采集系统的数据准确接收率

呈下降趋势,其中研究提出的配电网营销数据采集系统始终优于其他3种先进系统。在图5(b)测试集中,研究所提远距离无线传输和北斗短文系统更展现出明显优势。在样本数量为100个时,研究方法的准确率最高,为99.54%,其他3种方法分别为98.34%、97.02%和96.12%。在样本数量为600时,研究方法与其他3种方法的准确率差异最大,研究方法为97.35%、其他3种方法分别为95.77%、93.12%和91.49%。可见研究方法在无移动信号覆盖地区采集配电网营销数据时,具有可靠的性能,优于230 M无线专网、宽带中压载波和以太网无源光网络。接下来对不同系统的数据传输效率进行对比,如图6所示。

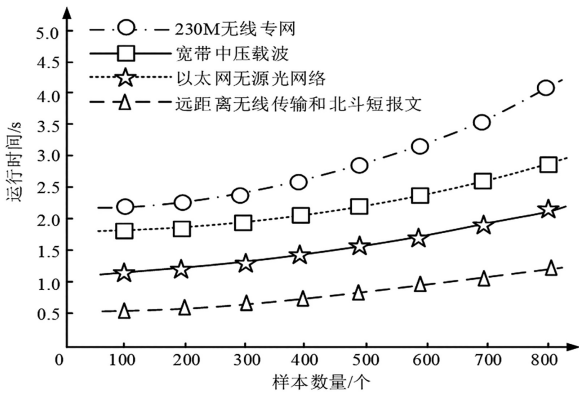


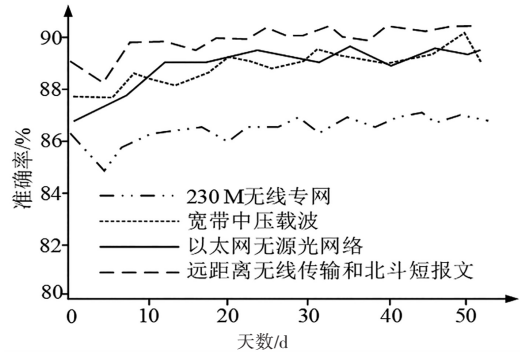
图6 配电网营销数据采集系统效率对比

Fig. 6 Efficiency comparison of distribution network marketing data collection system

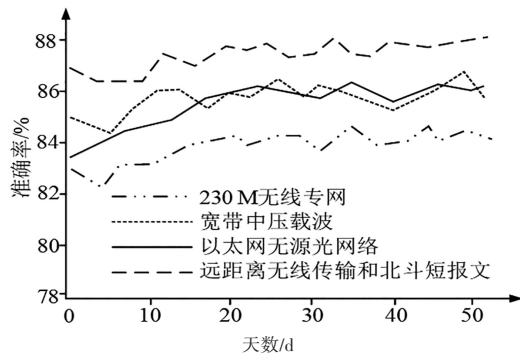
如图6所示,在测试中,随着样本数量的增加,所有配电网营销数据采集系统的运行时间增加,效率降低。其中研究所提的远距离无线传输和北斗短报文的运行时间始终最短,表示整体效率最佳。具体来说,在样本数量为100个时,研究所提方法的运行时间为0.51 s,而其他3种方法分别为1.12 s、1.82 s和2.26 s。当样本数量为1000个时,研究所提方法的运行时间为1.02 s,而其他3种方法分别为1.81 s、2.66 s和4.02 s。整体来看,当样本数量由100个增加至1000个时,研究方法的运行时间增加了0.51 s,以太网无源光网络的运行时间增加了0.69 s,宽带中压载波的运行时间增加了0.84 s,230 M无线专网的运行时间增加了1.76 s。实验结果表明,在无线信号盲区,受到特殊地形限制,其他3种先进方法的数据采集效率较低,而此次研究所提方法有最佳的效率表现。最后,为了证明系统的稳健性,研究将不同数据采集系统应用至实际的青海玉树无移动信号覆盖地区,分别在夏季和冬季进行了性能测试,统计每天数据采集的准确率,测试不同数据采集系统在真实环境下的稳健性,如图7所示。

图7(a)为夏季不同数据采集系统在真实环境下的稳健性表现,图7(b)为冬季不同数据采集系统在真实环境下的稳健性表现。从图7(a)中可以看出,在真实环境下,研究方法虽然也在环境因素下出现了准确率波动,但是整体的准确率最佳。整个夏季的测试中,研究方法的平均准确率达到99.54%,远高于其他3种方法,且每一天的准

准确率都最高。从图7(b)中可以看出,在冬季,无线信号盲区地区受到极端天气影响,数据采集的准确率有明显降低。相较于夏季,研究方法的平均准确率相对降低了4.56%,以太网无源光网络的平均准确率相对降低了5.14%,宽带中压载波的平均准确率相对降低了5.38%,230 M无线专网的平均准确率相对降低了6.09%。可以看出研究方法受到的极端天气影响更低,更具有稳健性。



(a) 夏季



(b) 冬季

图7 配电网营销数据采集稳健性对比

Fig. 7 Comparison of robustness in distribution network marketing data collection

3 结论

此次研究设计并验证了基于远距离无线传输和北斗短报文的配电网营销数据采集系统,针对无线信号盲区地区的特殊需求,实现了数据的高效、可靠和安全采集。通过对比测试,研究设计的系统相较于其他国内先进方法展现出了显著的性能优势,包括更高的数据传输准确率和更低的运行时间。在效率测试中,当样本数量由100个增加至1000个时,研究方法的运行时间增加了0.51 s,以太网无源光网络的运行时间增加了0.69 s,宽带中压载波的运行时间增加了0.84 s,230 M无线专网的运行时间增加了1.76 s,验证了研究设计的系统具有更高的效率。研究不仅为无线信号盲区的配电网营销数据采集提供了一种创新的技术解决方案,而且为智能电网的远程监控和高效管理提供了强有力的支持。不过,此次研究在选择无损压缩算法时采用的是最广泛应用的算法,并未对其他潜在的优秀算法进行测试,因此研究设计的数据采集系统还有一定的优化空间。未来工作将集中在进一步优化系统性能,扩

展系统的应用范围,并探索新的传输技术以满足更广泛的实用需求。

参考文献

- [1] 马礼智,唐睿,张睿智,等. 基于无线能量传输的物联网数据采集系统中资源分配机制的设计[J]. 信息与控制, 2023, 52(2): 220-234.
- [2] 熊志文. 基于无线网络的舰船实时导航数据采集与传输研究[J]. 舰船科学技术, 2022, 44(23): 153-156.
- [3] 匡政睿, 晏国华, 余玫铮. 基于 STM32 的无线多源数据采集系统的设计[J]. 电气自动化, 2022, 44(5): 81-83.
- [4] 姜斌, 徐振华, 葛振营, 等. 基于北斗短报文的海洋观测实时通信系统的设计与研发[J]. 海洋科学, 2023, 47(8): 68-74.
- [5] 殷俊, 巴挺杰, 张建伟, 等. 基于北斗短报文的智能电表数据通信方法研究[J]. 电子设计工程, 2023, 31(17): 159-163.
- [6] 李刚, 程博, 崔娟, 等. 面向航天器地面测试的双参量同步采集与无线传输系统设计[J]. 测试技术学报, 2023, 37(6): 497-506.
- [7] BOULEMZAOU L, LATRECHE S, KHEMLICHE M. Design and implementation of a long range wireless data acquisition system for photovoltaic installation based on LoRa technology[J]. Engineering, Technology&Applied Science Research, 2022, 12(2): 8473-8481.
- [8] 刘筱萌, 张瞳. 环境监测数据采集与传输系统的设计与应用[J]. 机械设计与制造工程, 2022, 51(12): 49-53.

- [9] HOLTORF L, TITOV I, DASCHNER F, et al. UAV-based Wireless data collection from underground sensor nodes for precision agriculture [J]. AgriEngineering, 2023, 5(1): 338-354.
- [10] 张霞, 刘文楚, 孟双双, 等. 环境空气质量监测数据采集与传输的标准化研究及设计[J]. 中国环境监测, 2022, 38(6): 152-160.
- [11] LIU Y. Design and implementation of smart agriculture system based on wireless sensors networks[J]. Advances in Computer, Signals and Systems, 2023, 7(5): 105-112.
- [12] 庞辉, 刘涛. 医院船医疗设备数据采集和传输系统设计[J]. 舰船科学技术, 2023, 45(7): 162-165.
- [13] 何颖. 基于 nRF24L01 的无线气象数据采集系统设计[J]. 微型电脑应用, 2023, 39(9): 30-32.
- [14] 张驰俊, 王晓琪, 钟敏, 等. 基于 Kettle 抽数的配电网供电指挥智能调度系统[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(9): 131-134, 175.
- [15] 潘红光, 叶傲霜, 钟佳时, 等. 基于需求响应的主动配电网源网荷协调规划模型设计[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(8): 176-179, 188.
- [16] HERNANDEZ-BENITEZ A, BALAM A, VAZQUEZ-CASTILLO J, et al. An ultra-low-power strain sensing node for long-range wireless networks in carbon nanotube-based materials [J]. IEEE Sensors Journal, 2022, 22(10): 9778-9786.
- [17] 史磊. 基于 STM32 嵌入式的无线通信远程数据传输控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(11): 111-115.

(上接第 119 页)

析,本文得出结论。当工作面推进距离为 4 m 时,采煤机的运行状态相对较为稳定,且异常分量值达到一个较为理想的水平。因此,确定最佳的工作面推进距离为 4 m,有助于优化采煤作业过程,提高采煤效率,同时减少因设备异常导致的潜在风险。

基于光纤传感的辨识方法既可以实现快速的数据跟踪,又不会受到数据自身波动对异常磨损故障态的辨识效果,在不同的时间间隔中,均可以实现与实际情况相一致的辨识效果,可以应用在煤矿采煤机的实际工况监测中,保障其使用寿命。

5 结论

煤矿采煤机异常磨损的自动辨识方法不断更新和完善,此次提出的基于光纤传感辨识方法,经过实验论证了其有效性以及应用价值,但仍存在不足,如对采煤机异常磨损故障态的举例较少,需要持续研究和改进。未来,可以采用更多的跨学科技术和创新方法,为煤矿的安全生产和高效运行提供更有力的保障。

参考文献

- [1] YING K, PENG J, DAN L, et al. Ocean-atmosphere teleconnections play a key role in the interannual variability of seasonal gross primary production in china[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2022, 39(8): 1329-1342.
- [2] JOHARI S, YAGHOUBI M, KOBRAVI H R. Non-linear model predictive

control based on hyper chaotic diagonal recurrent neural network [J]. Journal of Central South University, 2022, 29(1): 197-208.

- [3] 杨威, 余海湖. 高灵敏保偏光纤模式干涉温度传感研究[J]. 压电与声光, 2023, 45(5): 769-774.
- [4] 张泽伦, 杨志斌, 李晓劼, 等. 基于机器学习的 SCADE 模型组合验证环境假设自动生成方法[J]. 计算机科学, 2023, 50(6): 297-306.
- [5] 徐磊, 高广军, 彭畅, 等. 融合光纤传感与压电感知的列车结构健康监测方法[J]. 铁道科学与工程学报, 2023, 20(7): 2763-2772.
- [6] 杨志, 黄雯利, 赵丽娟. 光纤传感技术在油浸式电力变压器状态监测应用的研究进展[J]. 高压电器, 2023, 59(6): 137-146.
- [7] 梁兴, 李东明, 刘帅, 等. 井中永置式套管外三分量光纤 MEMS 地震检波器研究[J]. 石油物探, 2024, 63(1): 149-160.
- [8] 韩国庆, 刘显明, 雷小华, 等. 光纤传感技术在航空发动机温度测试中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2022, 43(1): 145-164.
- [9] 马文长, 田源, 柴少磊, 等. 基于光纤传感的输电线路杆塔倾斜预警系统[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(3): 137-141.
- [10] 高翔宇. 采煤机磨损检测技术及其优化[J]. 机械管理开发, 2023, 38(4): 252-253.
- [11] 田晓刚. 采煤机滚筒螺旋叶片磨损机理研究[J]. 机械管理开发, 2023, 38(9): 46-47.
- [12] 李为, 邓建中, 曾嘉, 等. 基于脉冲激光快速响应传感的输电线路监测系统[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(6): 117-121.
- [13] 刘银报, 卞涛, 张顺. 浅析采煤机牵引电动机故障及提升措施[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(增刊 2): 352-358.
- [14] 孙晓春, 丁华, 牛锐祥, 等. 基于 LW-DenseNet 的采煤机摇臂齿轮故障诊断[J]. 煤炭工程, 2023(11): 186-192.
- [15] 李嘉琪, 夏尚飞, 李东民. 基于多传感器融合的农业机械轴承半监督故障诊断方法[J]. 农机化研究, 2026, 48(3): 94-102.
- [16] 苏发, 牛涛, 吕晓明. 综采工作面采煤机各类故障判断方法及预防措施研究[J]. 中国煤炭, 2022, 48(增刊 1): 400-403.