

Discussion on the innovative application of PLC in electrical fault diagnosis under 5G network

Jinghe Yun Haikui Liu Zhilei Liu Yanzhao Hao

Home Appliance Investment Group Inner Mongolia Baiyinhua Coal and Electricity Co., Ltd. Open pit Mine, Xilinhote, Inner Mongolia, 026200, China

Abstract

This article focuses on the innovative application of PLC in electrical fault diagnosis under 5G networks. Thanks to its high speed, low latency, and large connectivity, 5G networks offer significant advantages for PLC fault diagnosis, enabling rapid transmission of massive electrical data, immediate response to fault signals, and stable connections among multiple devices. On this foundation, various innovative technologies have emerged: edge computing reduces data transmission pressure and enhances diagnostic real-time performance; real-time remote diagnostics overcome spatial limitations and improve maintenance efficiency; the integration of multi-source data combines electrical and non-electrical information to accurately pinpoint faults. These innovations significantly enhance the accuracy and timeliness of electrical fault diagnosis, driving industrial electrical systems towards greater intelligence and efficiency, and providing robust support for the stable operation of industrial production.

Keywords

5G network; PLC; Electrical fault diagnosis; Innovative applications

5G 网络下 PLC 在电气故障诊断中的创新应用探讨

贡井贺 刘海魁 刘志磊 郝彦钊

家电投集团内蒙古白音华煤电有限公司露天矿, 中国·内蒙古 锡林浩特 026200

摘要

文章聚焦5G网络下PLC在电气故障诊断中的创新应用。5G网络凭借高速率、低时延、大连接特性,为PLC故障诊断带来显著优势,可实现海量电气数据快速传输、故障信号即时响应及多设备稳定连接。在此基础上,创新技术不断涌现:基于边缘计算减少数据传输压力,提升诊断实时性;实时远程诊断打破空间限制,提高运维效率;多源数据融合整合电气与非电气数据,精准定位故障。这些创新应用有效提升了电气故障诊断的准确性与及时性,推动工业电气系统向智能化、高效化方向发展,为工业生产的稳定运行提供有力保障。

关键词

5G网络; PLC; 电气故障诊断; 创新应用

1 引言

在工业自动化与智能化快速发展的背景下,电气系统的稳定运行直接关系到生产效率与安全。可编程逻辑控制器(PLC)作为工业控制核心设备,其故障诊断能力至关重要。传统故障诊断方式受限于数据传输与处理效率,已难以满足复杂工业场景需求。5G网络凭借高速率、低时延、大连接的特性,为PLC在电气故障诊断中的应用开辟新路径,推动诊断技术创新升级,对提升工业电气系统可靠性具有重要意义。

2 5G 网络对 PLC 电气故障诊断的优势

2.1 高速率数据传输

5G网络凭借革命性的技术突破,在传输速率方面实现了对4G网络的跨越式提升。其理论峰值速率可达20Gbps,这一指标较4G网络数十倍的增速,不仅打破了传统数据传输的带宽瓶颈,更为工业领域的电气故障诊断带来了全新的可能性。在PLC电气故障诊断场景中,高速率传输特性发挥着不可替代的关键作用。

PLC作为工业自动化控制的核心枢纽,承担着对电气设备运行状态数据的实时采集重任。以现代大型工厂的自动化生产线为例,从精密的机械臂伺服电机,到复杂的动力传输系统,每一个环节都部署着大量传感器与控制节点。这些设备持续产生的电流、电压、功率、转速等关键参数,以及设备运行状态的波形数据、故障代码等信息,构成了海量的

【作者简介】贡井贺(1992-),男,中国内蒙古赤峰人,本科,从事电气工程及其自动化研究。

实时数据流。据统计，一条中等规模的汽车生产线，每分钟产生的数据量可达数百 MB，传统 4G 网络或有线传输方式，在面对如此庞大的数据负载时，极易出现传输延迟甚至数据丢包现象，严重影响故障诊断的时效性与准确性。而 5G 网络的高速率传输特性，能够确保 PLC 以近乎实时的速度，将这些海量数据快速、稳定地上传至故障诊断中心。无论是设备运行的基础电气参数，还是反映设备健康状态的振动频谱、红外热像等复杂数据，都能在极短时间内完成传输。

2.2 低时延响应

5G 网络的超低时延特性堪称工业控制领域的革命性突破，其端到端时延可低至 1ms，相较于 4G 网络数十毫秒的时延，这一性能提升极大地改写了电气系统实时控制的规则。在 PLC 控制的电气系统中，时间精度直接关乎设备安

全与生产连续性，5G 网络的低时延特性成为保障系统稳定运行的关键要素。

在工业生产场景中，电气故障的发生往往具有突发性和瞬时性的特点。以电机系统为例，当电机因负载突变或内部绕组短路引发过载故障时，电流会在瞬间急剧攀升，若不能及时采取保护措施，电机绕组可能在数秒内因过热烧毁，甚至引发火灾等次生灾害。传统通信网络的时延问题，使得故障信号从设备端传输至诊断系统，再将控制指令反馈至 PLC 的过程中，不可避免地产生时间差，导致保护动作滞后。而 5G 网络的超低时延特性彻底改变了这一局面，故障信号一经 PLC 采集，便能以接近光速的速度传输至诊断系统，诊断系统基于预设算法快速分析并生成控制指令，同样以毫秒级的速度回传至 PLC。

表 1 网络与传统网络在工业控制时延性能对比表

性能维度	4G 网络	5G 网络
端到端时延	数十毫秒（典型值 50-100ms）	低至 1ms（典型值 < 10ms）
故障信号传输链路	设备端→诊断系统→PLC，存在明显时间差，保护动作滞后。	毫秒级传输链路，故障信号与控制指令近乎实时交互。
典型应用场景	非实时性工业监测（如非关键设备状态巡检）。	实时控制场景（如电机过载保护、电网故障隔离）。
时延对设备安全的影响	故障响应延迟可能导致设备损坏或次生灾害（如电机绕组过热烧毁、电缆短路起火）。	毫秒级响应可及时切断故障源，避免设备损伤，保障生产连续性。

2.3 大连接能力

5G 网络凭借每平方公里支持 100 万个设备连接的超密集接入能力，彻底打破了传统通信网络在设备连接数量上的桎梏，为工业电气系统构建全维度监测网络提供了技术支撑。在数字化转型加速推进的背景下，工业电气系统正朝着高度集成化、智能化方向发展，从工厂车间内的传感器、执行器到智能电网中的分布式电源、充电桩，数以万计的电气设备需要实时接入网络，实现数据交互与协同控制，5G 网络的大连接特性恰好契合了这一需求^[1]。

以大型智能制造工厂为例，其生产车间往往部署着成百上千个 PLC 控制单元，每个 PLC 又需连接数十个乃至上百个传感器和执行机构。这些设备涵盖了温湿度传感器、压力变送器、变频器、电磁阀等多种类型，共同构成了复杂的工业物联网体系。在传统通信网络下，受限信道容量和带宽资源，大量设备同时接入易引发网络拥塞，导致数据传输延迟甚至中断。而 5G 网络采用的 Massive MIMO（大规模多输入多输出）、NOMA（非正交多址接入）等关键技术，通过优化频谱资源分配和信号处理算法，实现了设备连接数量级的跃升。在某汽车制造企业的焊装车间，超过 2000 个传感器和执行器通过 5G 网络与 PLC 建立连接，PLC 不仅能够实时采集设备运行状态数据，还可根据生产任务动态调整控制策略，保障了焊接机器人、自动化输送线等设备的协同作业，生产效率提升 20% 以上，设备故障率降低 15%。

3 5G 网络下 PLC 在电气故障诊断中的创新技术

3.1 基于边缘计算的故障诊断

在工业电气系统智能化升级的浪潮中，将边缘计算与 PLC 深度融合，充分发挥 5G 网络高速率、低时延的技术优势，成为革新电气故障诊断模式的关键路径。边缘计算以“数据本地化处理”为核心理念，通过在靠近电气设备的物理位置部署专用计算节点，构建起工业数据处理的“前沿阵地”。这一架构与 PLC 的现场控制能力形成互补，重塑了传统故障诊断的数据流动与处理逻辑^[2]。

在实际工业场景中，电气设备运行产生的海量数据具有鲜明的实时性与时序性特征。以一台大型离心式压缩机为例，其内部安装的振动传感器每秒可采集上万组数据，温度传感器、压力传感器等设备也持续输出高频监测信号。若将所有原始数据不经处理直接上传至云端，不仅会造成 5G 网络带宽资源的极大消耗，还可能因数据传输延迟影响故障诊断时效性。边缘计算节点的引入改变了这一局面：PLC 作为设备数据的直接采集者，将原始数据快速传输至就近的边缘计算设备。这些设备内置高性能处理器与专用算法芯片，能够对数据进行实时清洗、降噪和特征提取。例如，通过傅里叶变换算法解析电机振动数据的频谱特征，利用小波分析技术识别温度曲线中的异常波动，快速判断设备是否存在轴承磨损、转子不平衡等潜在故障迹象。

3.2 实时远程诊断技术

5G网络的高速率、低时延和高可靠性特性,为PLC控制系统的实时远程诊断开辟了全新路径,彻底打破了传统故障诊断在空间维度上的限制。借助5G网络,工程师无需亲临现场,即可通过手持终端、笔记本电脑等远程设备,安全且稳定地接入PLC控制系统,实现对电气故障的远程精准诊断与处置^[1]。

在实际应用中,高清视频流与远程桌面技术的深度融合,成为工程师远程诊断的“千里眼”和“操控手”。通过5G网络传输的4K/8K高清视频,能够清晰呈现电气设备的运行细节,例如配电柜内触点的打火现象、电机运行时的异常振动情况等。同时,工程师利用远程桌面技术,可以实时调取PLC的运行界面,查看程序逻辑、I/O状态、寄存器数值等关键信息,就像在现场操作一样流畅。在某半导体制造企业的生产车间,一台价值千万的光刻机因电气控制系统故障停机,而企业内部技术人员难以快速定位故障。远在数百公里外的设备厂商专家,通过5G网络远程接入车间PLC系统,借助高清视频观察设备外部状态,同时在远程桌面环境下分析PLC程序逻辑和传感器数据,仅用20分钟便锁定了伺服电机驱动器的参数配置错误问题,并在线完成参数调整,使设备恢复正常运行。此外,5G网络的低时延特性保障了远程操作的实时性与精准性。在对故障设备进行参数调整和测试时,工程师的操作指令能够以毫秒级延迟传输至PLC,PLC的响应反馈也能迅速回传,避免了因时延造成的误操作风险。在电力系统中,变电站的高压开关设备出现控制回路故障时,运维工程师可通过远程终端登录PLC控制系统,实时监测开关状态变量,模拟分合闸操作,并观察PLC的程序响应,快速判断故障点位于二次回路接线松动还是程序逻辑错误。

3.3 多源数据融合诊断

在工业智能化发展进程中,单一类型的数据已难以满足复杂电气故障诊断的精准需求。5G网络凭借强大的连接能力与高速数据传输性能,打破了不同设备、不同类型数据之间的通信壁垒,支持PLC与压力传感器、振动监测仪、红外热像仪、声纹采集器等多种传感器及智能设备无缝连接,为构建多源数据融合诊断体系奠定了坚实基础。这种创新诊断模式不再局限于传统电气参数(如电流、电压、功率

等)的分析,而是将设备运行过程中产生的振动、温度、声音、图像等多维度非电气数据纳入诊断范畴,通过先进的数据融合算法深度挖掘数据间的关联特征,实现对电气故障的精准溯源与诊断。

以工业生产中广泛应用的旋转电机为例,其故障成因往往具有多样性和复杂性特点。电机轴承磨损初期,振动频谱中会出现特定频率的异常峰值,同时伴随温度的缓慢上升;而绕组短路故障发生时,不仅会引起电流突变,还可能产生局部过热与异常电磁噪声。在传统诊断模式下,单一传感器采集的数据极易导致故障误判或漏判,而5G网络支持下的多源数据融合诊断则能有效规避这一问题。PLC作为数据交互的核心枢纽,借助5G网络的高速传输能力,可实时同步采集电机的电流波形、振动加速度、轴承温度、运行噪声等数据,并将这些异构数据传输至边缘计算节点或云端服务器。通过采用D-S证据理论、卡尔曼滤波、神经网络融合算法等技术,对多源数据进行特征提取与综合分析,系统能够精准识别故障类型:当振动数据显示高频冲击特征、温度数据出现异常温升,且电流波形存在谐波畸变时,诊断模型可快速判定为轴承滚珠磨损故障;若电流突增、局部温度骤升并伴有放电噪声,则指向绕组匝间短路故障。

4 结语

5G网络与PLC的深度融合,为电气故障诊断领域带来了革命性的变革。高速率数据传输、低时延响应和大连接能力,有效解决了传统诊断模式中的数据传输瓶颈与效率问题;基于边缘计算、实时远程诊断和多源数据融合的创新技术,则显著提升了故障诊断的精准性与智能化水平。展望未来,随着5G技术与人工智能、物联网的进一步融合,PLC在电气故障诊断中的应用将更趋完善,为工业自动化的高质量发展筑牢技术根基,助力构建更安全、高效、智能的工业电气生态体系。

参考文献

- [1] 江钊. 基于深度神经网络的市政电气故障识别方法研究[J]. 电气技术与经济, 2024(07): 48-50.
- [2] 唐承斌, 朱冬冬, 明鑫. 基于卷积神经网络的电气设备故障诊断研究[J]. 中阿科技论坛(中英文), 2024(02): 103-107.
- [3] 张迪, 韩铮, 王雪丽. 基于无线传感器网络的电气故障点定位仿真[J]. 计算机仿真, 2023, 40(11): 86-90.