

5G 通信技术在电力新能源光伏发电系统中的应用研究

王向龙

国能内蒙古电力蒙西新能源有限公司 内蒙古呼和浩特 010000

摘要：随着“双碳”目标不断推进，光伏发电身为清洁能源的主要力量，其大规模接入给电力系统的实时监测、稳定运行以及高效管理给予了更高要求。5G 通信技术依靠自身高带宽、低时延、高可靠性以及海量连接的特点，为破解光伏发电系统的通信瓶颈提供了新视角。文章首先概述了 5G 通信技术的关键特性，继而分析了其应用于光伏发电系统的重要意义，并着重探讨了具体应用策略，覆盖构建智能网络切片架构、部署智能运维体系、完善系统保护功能以及建立协同控制机制等方面。研究表明，5G 通信技术的深度融合将显著提升光伏发电系统的智能化水平、运行效率以及安全可靠性能，是构建新型电力系统的关键支撑技术。

关键词：5G 通信技术；电力；新能源；光伏发电系统；应用研究

引言

电力新能源光伏发电系统是指在并网过程中综合运用储能技术、无功补偿技术、逆变控制技术以及实时通信技术等，通过电力电子装置把太阳能高效地转化成电能并接入电网，使清洁电力得以可靠消纳。光伏发电接入电网时，可能因为功率波动、谐波干扰以及运行环境复杂等因素引发一系列运行方面的问题，因此必须加强对接入过程的精细化管理，特别要保证海量运行数据和状态信息可实时可靠传输^[1]。在这个过程中，通信技术的作用相当关键，5G 通信技术作为突出代表备受关注。据行业发展规划，近些年来，我国分布式光伏装机容量将显著提升。在此形势下，研究 5G 通信技术在光伏发电系统中的应用是很有必要的。

1 5G 通信技术概述

5G 通信技术是新一代移动通信技术的核心，其核心技术特征可概括为“高速率、低时延、广连接”。

(1) 高速率 (eMBB)：5G 网络的峰值理论传输速率可达 10 Gbps 以上，远超 4G 网络，使得超高清视频监控、大规模数据包的高速上传与下载成为可能，为光伏电站的全面状态感知提供了带宽保障。

(2) 低时延 (uRLLC)：5G 网络的空口时延可低至 1 毫秒，端到端时延可控制在毫秒级。这一特性对于要求实时响应的电力业务至关重要，如继电保护、自动发电控制 (AGC) 和故障隔离等，能够确保控制指令的瞬时送达与执行。

(3) 广连接 (mMTC)：5G 网络每平方公里可支持

百万级别的设备连接，足以应对光伏发电系统中海量逆变器、传感器、智能电表等终端设备的并发接入，为构建全域物联网奠定基础。

(4) 网络切片 (Network Slicing)：该技术乃是 5G 极具变革特性的关键内容之一。它能在同一物理网络基础设施之上虚拟出多个独立的、按需定制的逻辑专用网络。比如可针对光伏电站的继电保护业务创建 uRLLC 切片，以此保证其有绝对优先性与隔离性；同时为环境监测数据创建 mMTC 切片，实现海量数据的经济化传输。

2 5G 通信技术运用于电力新能源光伏发电系统的意义

2.1 提升系统可观性与可控性

5G 通信技术凭借其增强移动宽带 (eMBB) 特性，为光伏发电系统提供了以往不曾有的数据传输能力^[2]。传统通信方式因带宽资源受限，一般只能传输经过聚合处理后的概要数据，难以实现精细化监控。5G 网络支持每平方公里百万级的连接密度以及 Gbps 级的传输速率，这让电站可实时采集并且传输每块光伏组件的电流、电压、温度以及逆变器工作状态等毫秒级数据。这种全要素且高精度的数据采集能力，使运维人员可以精准把握设备运行状态，及时察觉潜在异常，促使光伏系统监控从“站级”朝着“组件级”实现跨越式发展。

2.2 增强系统保护与安全稳定运行能力

5G 通信技术的超高可靠低时延通信 (uRLLC) 特性为光伏发电系统的保护控制带来了革命性变化。基于 5G

uRLLC 切片构建的配电网差动保护以及纵联保护等方案, 可把保护动作时间从以往传统的百毫秒级别缩短至 10 毫秒以内。各保护单元通过 5G 网络实时交换电流相量以及开关状态信息, 实现保护范围的精准配合以及故障的迅速隔离^[3]。这样的毫秒级响应速度可以大幅缩短故障切除时间, 有效限定故障影响范围, 避免单一设备故障引发系统级事故。同时, 5G 网络切片技术为保护业务提供专门的传输通道, 确保关键控制信号的可靠传输, 较大提升了含高比例光伏发电的配电网安全稳定运行水平。

2.3 促进新能源高效消纳与“源网荷储”协同

5G 通信技术为解决高比例新能源接入所带来的消纳难题给予了关键技术支持。借助 5G 网络, 可实时收集分布式光伏发电的功率预测数据、负荷用电特点以及储能系统状态信息, 构建源、网、荷、储全环节的实时感知体系。基于这些实时数据, 区域能源管理系统借助智能算法生成最优调度策略, 并利用 5G 低时延的特性, 在毫秒级时间中将控制指令发送至各执行单元。当光伏出力出现波动时, 系统可以迅速调节储能系统的充放电功率、投切可调负荷, 以此实现功率实时平衡, 这种协同控制机制有效减轻了光伏发电的波动性和随机性, 提高了电网对新能源的消纳能力与运行韧性。

3 5G 通信技术在电力新能源光伏发电系统中的应用策略

3.1 构建智能网络切片架构, 实现多业务差异保障

在电力新能源光伏发电系统中, 5G 通信技术借助构建智能网络切片架构, 可为多种业务给予差异化的通信保障, 是支撑系统智能化运行的关键。针对光伏电站中的继电保护、数据采集以及视频监控等业务在速率、时延以及连接数方面呈现出的不同需求, 5G 网络切片技术能够基于统一的基础设施虚拟出多个逻辑独立的端到端网络, 分别提供超高质量低时延、海量连接以及大带宽的通信服务。

在实际进行部署时, 可以针对不同的业务场景配置相应的网络切片。比如说, 为继电保护和无功补偿控制分配 uRLLC 硬切片, 借助预留专用资源块以及采用 FlexE 端口隔离技术, 确保传输时延低于 10 毫秒, 可靠性达到 99.999%, 满足电力控制类业务对实时性和可靠性的极高要求。对于光伏组件、逆变器以及环境监测装置的海量数据采集, 可采用 mMTC 切片, 借助优化连接管理和功耗控制, 支持每平方公里百万级终端接入, 并利用 QoS 机制保障数据采集的完整性。同时, 为高清视频监控和移动巡检应用分

配 eMBB 切片, 借助载波聚合和 Massive MIMO 技术提供下行超过 1Gbps 的传输速率, 保障视频流顺畅传输以及实时分析。通过网络切片管理平台, 运维人员可动态调整切片资源、实时监控各切片运行状态, 从而实现网络资源的按需分配与精细化管理。

3.2 部署智能运维体系, 提升故障定位精度

传统运维模式因通信能力受限, 难以达成组件级精细化监测以及快速响应。5G 通信技术依靠其低时延、高可靠以及大连接的特性, 为构建“云-边-端”协同的智能运维体系提供了可能。通过在系统中大量部署智能传感设备, 并依托 5G 网络实现数据的高速传输与处理, 运维人员能够精确掌握设备运行状态, 及时发现异常情况。

在实际应用当中, 可以在光伏阵列、汇流箱和逆变器等相关设备处部署集成 5G 模组的智能传感器, 实时采集电流、电压、温度以及绝缘电阻等运行参数。这些数据经由 5G 网络传输到边缘计算节点, 利用内置的故障诊断算法来进行分析处理。当检测到异常数据时, 系统可自动触发预警机制, 并且依靠 5G 网络将预警信息实时推送给运维人员。运维人员可远程调取相关设备的详细运行数据, 结合历史数据对比分析, 准确判断故障类型和位置。基于 5G 网络的低时延特性, 系统能够在毫秒级时间内完成从数据采集到故障诊断的全过程, 实现对热斑、组串故障等常见问题的精准定位^[4]。同时, 运维人员可通过 5G 网络远程下发控制指令, 及时隔离故障设备, 防止故障扩大化。

3.3 完善系统保护功能, 增强安全防护能力

光伏发电系统大规模接入的背景下, 5G 通信技术给提升系统保护能力以及安全防护水平提供了新的解决方案。传统保护系统难以适应分布式光伏并网之后潮流方向不断变化、故障特性复杂的运行环境, 然而 5G 通信技术的低时延、高可靠性能够满足现代电力系统对保护速动性和选择性提出的更高要求。通过构建基于 5G 通信的广域保护体系, 可以实现保护装置之间的快速信息交互以及协同动作, 提升系统对故障的响应能力^[5]。同时, 5G 网络切片技术可为不同安全等级的业务给予差异化防护, 结合加密认证机制, 构建多层次的安全防护体系。

实施方面, 可以利用 5G uRLLC 切片构建分布式差动保护通道, 使各保护单元通过 5G 网络实时交换电流相量以及开关状态信息。当系统出现故障时, 保护装置可在毫秒级时

间内完成数据比对以及故障判别,准确识别故障区段并执行隔离操作。针对网络安全防护,可采用国产密码算法对传输数据进行加密处理,在网络边界部署电力专用纵向加密认证装置,实现终端身份认证以及数据传输安全。运维人员可通过 5G 网络实时监控保护装置的运行状态,建立安全态势感知平台,对异常流量以及非法访问进行检测预警。同时,利用网络切片技术实现生产控制大区与管理信息大区的逻辑隔离,依靠配置不同的安全策略以及访问权限,防止网络安全风险跨区蔓延。在设备层面对时,可为智能终端嵌入安全芯片,实现硬件级加密保护,并结合区块链技术建立操作指令的防篡改机制,确保控制命令的完整性和可靠性。

3.4 建立协同控制机制,提升电网消纳能力

在新型电力系统建设的过程当中,5G 通信技术依靠自身低时延以及高可靠的特性,为光伏发电系统与电网协同控制机制的建立提供了关键支撑。光伏发电出力有间歇性和波动性,这一直是限制电网消纳能力的瓶颈所在,而 5G 通信技术可达成源、网、荷、储各环节的实时数据交互以及快速响应。通过构建基于 5G 的协同控制体系,可以对光伏电站出力、负荷特性以及储能状态进行统筹,实现动态优化调度,有效平抑功率波动,提升电网对高比例新能源的接纳能力。

实际应用中可利用 5G 网络实时采集光伏电站的超短期功率预测数据、负荷用电特性以及储能系统的荷电状态,将这些数据通过 5G 网络以低时延的方式传输至区域能源管理系统。系统基于多时间尺度的优化算法,生成储能系统充放电功率、可调节负荷投切等控制指令,并通过 5G 网络下发至各个执行单元。当光伏电站出力出现剧烈波动时,协同控制系统可在秒级时间内做出响应,依靠调节储能系统出力或者投切可中断负荷来维持功率平衡。例如,当云层遮挡致使光伏出力骤降时,系统可马上启动储能放电或者调节可控负荷,在极短的时间内补偿功率缺额;当光伏出力过剩时,则

可控制储能充电或者启动可调节负荷,有效避免弃光现象。5G 网络的端到端低时延特性保证了控制指令的快速执行,uRLLC 切片为关键控制业务提供专用传输通道,保证控制信号的可靠传输。同时,基于 5G 网络构建的广域测量系统,能够实时监测电网频率和电压波动,为协同控制提供准确的系统状态信息。

4 结束语

综上所述,5G 通信技术并非简单的通信方式升级,而是为电力新能源光伏发电系统的数字化、智能化转型注入核心动力的赋能技术。它通过构建高速、可靠、智能的通信神经网络,极大改变了光伏系统的监控、保护、运维以及运营模式,使其变得更透明、高效、可靠。尽管目前在大规模应用中仍面临网络覆盖深度、终端成本、标准体系完善等挑战,但其应用前景十分广阔。未来,随着 5G-Advanced/6G 技术的演进,以及和人工智能、边缘计算、数字孪生等技术的深度融合,5G 通信技术将在构建以新能源为主体的新型电力系统中扮演越来越重要角色。

参考文献:

- [1] 牛守慧.5G 技术在电力系统新能源接入中的应用研究[J].科技资讯,2025(3).
- [2] 秦毅玮,卢旭鑫,谢宝兴,等.5G 通信技术在新能源场站中的应用研究[J].信息记录材料,2025,26(2):105-107.
- [3] 金萍,杨贵,王焰.5G 技术在电力系统新能源接入中的应用研究[J].湖北电力,2023,47(1):112-117.
- [4] 梁永亮,吴跃斌,马钊,等.新一代低压直流供用电系统在"新基建"中的应用技术分析与发展展望[J].中国电机工程学报,2021,41(1):12.
- [5] 山博轩,杨郁.新型电力系统通信技术应用及研究综述[J].智能电网(汉斯),2023,13(6):93-101.