

# 5G 技术对新能源接入配电网继电保护的影响分析

张海鹏 金巴顿 李 敖

国网吴忠供电公司 宁夏吴忠 751100

**摘 要:** 随着新能源在配电网中大规模渗透, 继电保护面临着新的挑战, 5G 技术凭借其高速率、低时延、广连接等特点, 为继电保护创新提供了新思路。本文深入剖析了 5G 技术对新能源接入配电网继电保护的多方面影响, 重点探讨了新能源发电的间歇性、谐波扰动、接入位置、故障电流双向等问题对继电保护可靠性的冲击。在此基础上, 提出了构建 5G 通信专网、开发自适应智能算法、推动信息共享与协同、实现边缘化虚拟部署等优化对策。5G 与继电保护的融合发展, 有望显著提升配电网的故障识别、隔离与恢复能力, 进而保障新能源友好接入与电网安全稳定运行。

**关键词:** 5G 技术; 新能源; 配电网; 继电保护; 优化对策

## 1 5G 技术的关键特性及其在配电网中的应用场景

### 1.1 5G 技术的关键特性

作为新一代移动通信技术的 5G 技术, 相比 4G 有着显著提升。其优势突出之处主要集中在三个方面: 其一为传输速率方面的高特性。在 5G 网络环境下, 其峰值速率能够达到 10Gbps 以上, 达到了 4G 速率的数十倍之多, 如此便为大规模数据进行实时采集以及传输打下了坚实基础; 其二在于时延方面的低表现<sup>[1]</sup>。5G 网络从端到端的时延能够被控制在 1ms 以内, 这种低时延的特性恰好满足了像配电自动化这类场景对于通信实时性所提出的苛刻要求; 其三体现于连接密度方面的大优势。从理论层面来讲, 5G 网络能够支持每平方公里达到百万级别的设备接入, 进而为配电物联网的建设给予了强有力的支撑。

### 1.2 5G 技术在配电网中的应用场景

(1) 配电自动化的提质增效。5G 技术以其高速率、低时延、高可靠的通信优势, 正加速赋能配电自动化领域。通过 5G 网络对智能开关、故障指示器、配电终端 RTU 等二次设备进行精准、实时的监测和控制, 配电自动化的动作速度和控制精度将得到显著提升。故障检测、隔离与恢复的全过程时间有望缩短至 100ms 量级, 从而最大限度减少停电时间, 提高供电可靠性。此外, 5G 技术还可发挥多连接、大带宽的特长, 实现配电终端海量异构数据的就地汇聚与分析。依托 5G 网络边缘计算能力, 主站层的故障研判、恢复策略制定等核心控制功能可前移至配电一次设备侧。

(2) 配电设备状态的实时监测。随着配电设备智能传

感技术的飞速发展, 借助 5G 这一“信息高速公路”, 对开关柜、环网柜、电缆等配电一次设备实施全方位、多参数、高精度的在线监测已成为可能。通过在一次设备上规模部署振动、局放、温度等各类传感器, 并利用 5G 网络的海量连接特性实现传感器组网, 配电设备的机械特性、绝缘特性、热稳定性等健康状态指标可被实时采集。超高清视频、红外测温等非电量参数的高速回传也不再受通信瓶颈制约。配电设备的缺陷隐患有望在萌芽状态即被察觉, 为精准状态检修创造条件。将实时监测数据引入故障预测、余寿评估等智能算法中, 可进一步勾勒配电设备“从摇篮到坟墓”的全生命周期画像<sup>[2]</sup>。

(3) 配电故障快速定位与隔离。配电网覆盖广、线路长、设备点多面广, 一旦发生故障, 部署传统的“人工+车辆”模式实施抢修存在着定位不准、到达不及时、处置不得等等诸多痛点。5G 技术有望针对性地破解这些难题。首先, 通过在配电线路开关、分支箱等处广泛布设故障测距装置, 并利用 5G 网络的低时延、高可靠通信, 可在毫秒级时间内完成故障信息的采集与汇聚, 实现故障点的精准定位。在此基础上, 智能开关、故障指示器等现场设备的信号也可通过 5G 网络实时上传, 综合构建全维度的故障“百科图谱”。依托故障信息的“快采快决”, 配电自动化主站可远程控制故障区段开关的精准跳闸, 在最短时间内完成故障隔离。

## 2 5G 技术对新能源接入配电网继电保护的影响分析

### 2.1 新能源发电的间歇性导致继电保护整定难度加大

新能源发电, 尤其是风能和太阳能发电, 其出力具有

显著的波动性和间歇性特征。这种不稳定性主要源于新能源的发电效率高度依赖于风速、日照等自然条件。当新能源渗透率较高时，其出力波动将直接影响配电网的潮流分布。在高渗透率场景下，配电网中可能同时存在正向潮流和反向潮流，这使得继电保护的定值整定面临困境。一方面，若将定值设置过高，继电保护可能无法及时响应微小故障，从而降低对系统的保护灵敏度，影响供电可靠性；另一方面，若将定值设置过低，又可能导致保护装置频繁误动，造成不必要的停电或设备损坏<sup>[3]</sup>。

## 2.2 新能源发电的谐波扰动致使继电保护可靠性降低

新能源发电设备，如风力发电机组和光伏逆变器，通常采用了大量的电力电子器件进行能量变换和控制。这些电力电子装置在运行过程中会产生丰富的谐波和间谐波。当新能源渗透率提高时，大量谐波注入配电网，可能引起电能质量问题。谐波的存在会扭曲配电网电压和电流的基本波形，改变其幅值和相位关系。当谐波含量超过一定限值时，可能干扰继电保护装置的故障识别和测量，导致保护盲区的出现或动作时间的延迟。严重时，继电保护装置可能完全失去对故障的响应能力，或者在没有故障发生的情况下误动，威胁电网的安全稳定运行。

## 2.3 新能源接入点位置影响继电保护选择性与速动性

随着新能源在配电网中渗透率的提升，越来越多的新能源电源直接接入配电系统，逐步改变着原本单一的配电网结构。新能源接入点的位置分布与接入容量，对继电保护的选择性和速动性具有显著影响<sup>[4]</sup>。当新能源接入点位于配电网末端时，由于电气距离较远，故障时的暂态过程更加复杂，继电保护装置采集到的故障信息可能出现“失真”，故障特征不够明显，这将导致继电保护灵敏度不足，面临一定的欠动风险；而当新能源集中接入距离变电站较近的位置时，由于馈线阻抗较小，继电保护面临的重大问题则是选择性配合。针对性解决上述难题，需要继电保护装置在决策时综合考虑系统全局信息。这对继电保护信息的采集广度与传输实时性提出了更高要求。5G网络凭借其覆盖范围广、传输速率高等优势，可实现继电保护的就地决策与主站协同。通过5G通信，继电保护可快速获取系统全貌，并借助边缘计算能力完成故障识别、出口选择等任务。

## 2.4 新能源接入引起故障电流方向难以判别

在传统单向放射式配电网中，故障电流的流向具有明

确性和唯一性。但当配电网接入大量新能源电源时，情况变得复杂。由于新能源发电具备一定的电压支撑能力，当配电网发生故障时，新能源所在微电网可为故障点提供一定的短路电流。这部分短路电流与主网馈线向故障点供给的短路电流流向相反，形成“双向短路电流”。双向短路电流的存在，对配电网传统的定向元件形成严峻挑战。定向元件通过比较故障前后电流方向的变化来识别故障类型，当故障电流存在反向分量时，定向元件易产生“判断错乱”，进而丧失故障选择性。为克服新能源接入背景下定向元件的适应性不足，需要继电保护从“定向”思路向“定距”思路转变。这就要求继电保护不仅要获取故障方向信息，还需掌握故障距离等空间信息。传统的继电保护采集手段难以满足实现上述功能的信息基础。

## 3 5G 技术对新能源接入配电网继电保护的优化建议

### 3.1 构建覆盖全域的 5G 通信网络，实现保护信息的高速传输

针对新能源接入配电网继电保护面临的挑战，构建一张覆盖全域、专用于配电层级的 5G 通信网络至关重要。应充分利用 5G 技术的超大带宽优势，在配电站、开闭所、环网柜、电缆分支箱等配电设施处规划布设 5G 通信基站和终端设备<sup>[5]</sup>。这些设备应具备工业级防护、电磁兼容等性能，以适应复杂多变的配电网运行环境。通过精心规划和优化设计，5G 专网可实现对配电网覆盖的“毫米级”精细化，做到“主站端到台区端、地上到地下、全域全时”的无盲区连接。在 5G 专网的支撑下，继电保护的信息传输将迈入“高速公路”。海量的故障录波文件、高精度的保护动作信息、毫秒级的故障报文都可通过 5G 网络实现快速、可靠的采集与共享。这不仅能够最大程度还原故障全貌，为继电保护提供更加完备的决策依据，同时还极大拓展故障信息的应用广度。通过将实时故障信息与历史数据、仿真分析相结合，可全面刻画配电网故障特性，预判故障演化趋势，为继电保护优化决策提供数字孪生底座。

### 3.2 开发自适应整定的智能保护算法，提升继电保护的鲁棒性

新能源渗透率的提升使得配电网的故障特性更加难以捉摸，继电保护难以沿用“一招鲜吃遍天”的传统定值整定思路。为确保继电保护适应“新能源 + 配电网”的复杂场景，亟需开发自适应整定的智能保护算法。5G 网络可为智

能算法提供数据支撑与通信保障。一方面,通过5G网络接入配电自动化主站,智能算法可实时获取新能源出力预测信息,并结合配电网在线安全分析功能,对新能源接入导致的电压、电流、阻抗等变化进行前瞻性评估,基于评估结果,智能算法可自动校核继电保护各项定值参数,识别定值偏移风险,并进行自适应修正;另一方面,5G网络还可为智能算法搭建“数据高速路”,通过采集和汇聚配电网海量历史故障数据,并利用大数据分析、机器学习等人工智能技术,智能算法可深度挖掘故障电流、电压、矢量等特征信息间的内在联系。在数据驱动下,智能算法将从“经验型”向“知识型”跃迁,构建起继电保护设计、整定、评估的知识图谱和专家规则库。当配电网接入新能源时,这些知识和规则可为继电保护提供“千变不离其宗”的优化指导,实现从“粗放式”到“精准化”的定值整定范式转变,从而显著强化继电保护的鲁棒性与自适应能力。

### 3.3 推动配电网继电保护的信息共享与协同,强化保护配合

继电保护的可靠性取决于元件级装置,而更高层级的安全稳定则离不开系统级保护的默契配合。当前,受制于通信瓶颈,配电网继电保护的横向协作与纵向配合往往是“盲人摸象”。5G网络为打破这一僵局提供了契机。应积极借助5G网络搭建继电保护的信息共享平台,实现保护信息的网络化管理。在纵向上,该平台可打通配电主站、分站、一次设备端的数据通道。各级继电保护可通过平台共享故障检测、指令执行等信息,在逻辑上形成“主从协调”的等级式配合。在横向上,平台可相互连接馈线、主变、母线等各侧继电保护。通过比对不同测量点的故障信息,继电保护可准确判断故障方向、类型和区段。多个保护间的信息交互有助于避免“三只手指指月亮”的盲区遗漏。此外,通过5G网络共享继电保护的動作信息,可为广域故障隔离与恢复提供依据,实现“以邻带自”的就地化负荷恢复。

### 3.4 探索继电保护的虚拟化实现与边缘部署,提高智能化水平

当前,配电网继电保护的物理实现仍以传统的嵌入式装置为主,这类装置专用性强,灵活性差,难以适应新能源接入背景下配电网保护的个性化需求。5G网络为继电保护的

虚拟化实现提供了新路径。依托5G网络强大的边缘计算能力,可将继电保护的核心功能从专用硬件中剥离,转化为可灵活部署的软件应用。通过将保护逻辑容器化并动态配置,可实现继电保护的“按需定制”。当配电网接入不同类型、不同规模的新能源时,边缘云可快速下发与之匹配的保护应用镜像。与硬件固化的实现方式相比,这种“软件定义”的继电保护可显著提升灵活性与适应性,降低二次设备改造与维护成本。更重要的是,得益于5G网络的毫秒级传输时延,虚拟化的继电保护应用可部署在靠近配电一次设备的边缘云节点。这种就地化保护模式可最大限度减少通信链路,从而显著改善故障响应速度,降低保护盲区。未来,随着人工智能技术的不断发展,智能算法有望进一步下沉至边缘侧,与虚拟化继电保护深度融合。

## 4 结束语

总之,5G技术以其优异的传输性能和灵活的组网方式,正加速与电力物联网的融合发展。作为智能配电网的重要使能技术,5G有望全面赋能继电保护创新变革,进而保障新能源高比例接入下配电网的安全稳定运行。在未来研究中,应进一步加强5G技术与配电自动化、智能感知、人工智能等的系统集成应用,为能源互联网时代构建智慧、弹性的配电网保护体系。

## 参考文献:

- [1] 王睽,江旭东.分布式新能源接入配电网的继电保护[J].能源与节能,2024,(06):65-68.
- [2] 姜孟宇.5G技术对新能源接入配电网继电保护的影响及优化[J].电气时代,2024,(04):46-49.
- [3] 袁瑞,周轲宇.继电保护装置在新能源接入配电网中的应用[J].现代工业经济和信息化,2024,14(03):148-150.
- [4] 张娣.分布式新能源接入配电网的继电保护研究[J].自动化应用,2023,64(17):82-84.
- [5] 李凡,齐蓬勃,弋富国,等.5G技术对新能源接入配电网继电保护的影响及优化[J].制造业自动化,2023,45(08):77-80.

**作者简介:**张海鹏(1998—),男,回族,宁夏省吴忠市人,本科生,就职于国网吴忠供电公司,普通职工,研究方向为继电保护。