

电力无线专网 5G 关键技术分析

魏琪航

随着信息社会的快速发展，5G 技术已成为推动数字化进程的重要引擎，电力无线专网作为 5G 技术的关键应用领域，具有举足轻重的地位。目前，由于电力行业的特殊性，要求其拥有高可靠、低时延、大带宽等特点的通信网络，以满足复杂的监控、控制和数据传输需求。基于此，本文对电力无线专网 5G 关键技术的研究和应用具有重要意义，旨在探讨电力无线专网 5G 关键技术价值，并深入分析了电力无线专网 5G 关键技术要点，以供相关人士借鉴与参考。

电力无线专网 5G 技术的引入，将极大地提升电力系统的通信能力和数据处理效率，为电力生产、传输、配送等各个环节提供全方位的支持。同时，其基于超高速率、超低时延、大容量、大连接性和高可靠性的特点，使得电力系统得以实现更高水平的智能化、自动化和网络化管理。未来，电力无线专网 5G 技术将为电力行业带来更广阔的应用前景，促进电力与信息通信技术的深度融合，从而推动电力行业向高质量发展迈进。

一、电力无线专网 5G 关键技术价值

5G 技术的高速率和低时延特性为电网的实时数据传输提供了坚实的基础，例如，5G 技术能够支持每秒上万次的数据更新，时延低至 1 ms，这一能力对于电网自动化中的实时故障检测、智能调度、远程控制等应用至关重要。具体来说，通过 5G 专网，电力公司可以实时收集和分析各种设备的运行数据，如变压器、配电柜等，及时发现异常情况，预防事故发生。同时，通过 5G 技术支持的高可靠性通信保障了关键操作命令的及时传达，显著提升了电网的应急响应能力和系统恢复速度，有效避免了因通信故障引发的连锁反应。

5G 技术的高带宽和大连接数特性，为智慧电网中的大规模物联网（IoT）设备提供了强有力的网络支持。在智慧电网的环境下，各种传感器和智能设备需要实时地传输数据至中心服务器进行处理和分析。5G 专网不仅能够连接更多的设备，处理更大量的数据，而且还能够更精准地预测电力需求和优化电力资源的分配。例如，通过分析从智能电表和传感器收集到的数据，

电力公司可以精确地了解到用户的用电模式和峰谷时间，进而优化电网运营策略，实现节能减排和降低成本。5G 网络的应用还支持电网的需求响应管理，通过调控大规模分布式能源资源和调峰设备，增强了电网对可再生能源波动的适应能力。

二、电力无线专网 5G 关键技术

（一）毫米波通信技术

毫米波是指 30 ~ 300 GHz 频段的电磁波，这一频段的波长在 1 ~ 10 mm 之间，在 5G 通信中，毫米波技术通常涉及 24 GHz 以上的频段，这比传统的移动通信频段（如 700 MHz ~ 3 GHz）要高得多。毫米波技术在电力无线专网领域的应用，体现在其提供的宽频带上，由于毫米波频段相对于传统的移动通信频段而言，使用的用户相对较少，频段资源更加丰富，因此可以提供更宽的频带，从而获得更高的数据传输速率。例如，在 5G 通信中，可利用的宽频带高达 400 MHz，而在 4G LTE 中，频带宽度通常只有 20 MHz，这意味着毫米波 5G 理论上能够提供比 4G 快近 20 倍的速率，达到数十甚至数百 Gbps 的数据传输速度。

第一，在电力无线专网中，使用毫米波通信技术有几个具体的应用场景。对于电力生产环节，毫米波通信可以用来连接发电站中的各种控制系统和监测设备，确保实时数据的迅速传输；对于风力发电和太阳能发电等新能源发电形式，由于其分散性，使用毫米波技术可以实现远程监控和优化控制，有效提升发电效率。

第二，在电力传输环节，毫米波通信可以应用于变电站与控制中心之间的高速数据链接。因为毫米波具备极高的数据传输能力，能够快速地传输实时的电网运行状态、负载变化和故障信息。同时，毫米波还可以实现电网自动化的广泛部署，从而使得电网可以进行更加灵活地调度，优化电能流。

第三，在电力分配及用户环节，毫米波通信技术能够支持智能电网中大量智能电表的数据回传，以及与家庭自动化系统的高速连接，使家庭与电网的实时互动成为可能，用户可以基于电网的实时状态进行用电决策，电网也可以根据用户的用电习惯进行优化调整。

(二) 大规模 MIMO 技术

第一，大规模多输入多输出（MIMO）技术能够显著提升无线通信网络的容量、覆盖范围和效率。MIMO 技术通过在发射端和接收端使用多个天线，可以同时发送和接收多个数据流，从而大幅提高数据传输速率和频谱效率。在 5G 电力无线专网中，大规模 MIMO 技术的实施尤其关键，它通过部署数十个甚至上百个天线来处理数百个并行信号线路，这与传统的 4G 系统中使用的 2 ~ 8 个天线形成鲜明对比。例如，一个典型的大规模 MIMO 系统可能配备了 64 个发射天线和 64 个接收天线（64T64R），这样的配置使得网络不仅能够处理更高密度的用户连接，同时也能够在相同的频谱资源下提供更高的吞吐量和更优的信号质量。

第二，大规模 MIMO 技术可以极大地增强电力基础设施的数据处理能力。在电力生成、传输及分配过程中，需要实时处理和传输大量的监测数据和控制信息。通过大规模 MIMO 技术，可以实现更高效的数据传输，例如，在电力监控中心和远程变电站之间，可以通过部署大规模 MIMO 来确保即使在大量数据传输需求的情况下也能保持通信的稳定性和低时延^[1]。在技术实施方面，大规模 MIMO 系统还采用了高级的信号处理算法来管理这些大量的天线和信号路径，包括使用预编码和波束成形技术，这些技术可以直接将信号精确地传送到特定的用户或设备，而非传统的广播模式。其中，预编码技术允许系统在发送信号前根据用户的地理位置和设备类型进行调整，以优化信号传输路径和功率分布，从而减少干扰和提高信号到达率。

第三，大规模 MIMO 技术在实际部署时还面临着硬件成本和计算复杂性的挑战。每增加一个天线，系统的硬件成本和功耗都会增加，同时对信号处理硬件的要求也随之提高，在实际部署时需要在系统性能提升和成本控制之间找到合理的平衡点。

(三) 网络切片技术

5G 网络切片技术的应用至关重要，在电力行业中，有着极其严格的通信可靠性和低时延要求。根据电力系统的不同业务场景，如遥测数据传输、远程控制、视频监控以及紧急事故响应等，都对网络带宽、延迟、可靠性和安全性有着不同的需求，通过 5G 网络切片技术，可以构建满足这些不同需求的专用网络，实现资源的有效分配和管理。假设一个电力公司需要为其不同的业务部门提供通信服务，包括日常的办公数据传输、实时的电力设备监控和紧急时的灾难响应。首先，对于日常的办公数据传输，网络切片可以配置为“标准办公切片”，它可能被分配较低的优先级，允许的

延迟在 50 ~ 100 ms，吞吐量需求不高；其次，对于电力设备的实时监控，可以创建一个“实时监控切片”，这个切片需要更高的优先级，延迟需控制在 10 ms 以内，同时保证了较高的数据吞吐量和极高的数据传输可靠性，以确保监控数据的实时性和准确性；最后，对于紧急情况下的灾难响应，可以设计一个“紧急响应切片”，这个切片的优先级最高，要求延迟低至 1 ~ 5 ms，同时确保通信的极端可靠性和安全性^[2]。

网络切片的实现依赖于一系列先进的技术。例如，网络功能虚拟化（NFV），它允许将传统的网络功能软件化，运行在通用的硬件上，可以实现快速部署和灵活配置；软件定义网络（SDN）技术使得网络资源的分配和流量的控制变得更加灵活和动态，网络运营商可以通过中央控制系统来高效管理不同切片的流量和策略。此外，网络切片管理系统需要实现端到端的切片生命周期管理，包括切片的创建、修改、激活和释放。

在具体的操作中，网络切片的创建会根据业务需求来确定所需的网络资源和服务质量指标（QoS）参数，这些参数包括带宽、时延、丢包率、连接密度、移动性支持等。例如，为实时监控业务创建的网络切片可能会配置 5 Gbps 的带宽，1 ms 的端到端延迟，丢包率低于 0.1%，以及能够支持每平方公里连接多达 1 万个设备的连接密度^[3]。网络切片的部署还需要考虑安全性问题，每个网络切片都需要有独立的安全机制，包括加密通信、身份验证、访问控制等，以确保数据的安全和隐私，在电力无线专网中，这一点尤为重要，因为它涉及关键基础设施的运营安全。网络切片技术在电力无线专网中的应用可以极大地提升网络的灵活性和效率，满足不同业务场景的需求，同时降低运营成本。随着电力行业向智能化、数字化转型的不断深入，5G 网络切片技术的应用前景广阔，将为行业带来根本的变化。

(四) 时延优化技术

时延优化是确保电力系统高效、可靠运行的核心因素之一，电力系统的实时性要求极高，任何通信的延迟都可能导致对系统运行状态的错误判断，甚至引发安全事故，5G 网络在电力行业的应用需要对时延进行严格优化，以满足对实时数据传输的需求。

第一，在物理层技术方面，5G 网络采用了更高效的调制解调技术，如高阶调制技术，可以在相同的频谱资源下传输更多的数据，这样可以减少由于等待传输时隙而产生的时延。例如，在 5G 中，使用了 256QAM（Quadrature Amplitude Modulation）或更高阶的调制方式，相较于 4G 网络中的 64QAM，可以显著

提升传输速率，从而减少传输时延^[4]。

第二，5G 网络架构的优化也是减少时延的重要手段。传统的网络架构通常是基于中心化的，数据必须先传输到远端的核心网，然后再分发到目的地，这就导致了较高的时延。因此，5G 网络通过引入边缘计算（Mobile Edge Computing, MEC）技术，将处理能力和数据存储从核心网络迁移到网络边缘，即靠近用户设备的位置，这样就可以将数据处理和业务逻辑放在用户的近端，从而大幅度降低传输时延。在电力通信场景下，MEC 可以使得数据分析和决策的时延降低到 10 ms 以下，大大提高了电力系统的反应速度。

第三，核心网络的改进对于时延优化也至关重要。5G 引入了基于服务的架构（Service-Based Architecture, SBA），这使得核心网的功能模块化，并且这些模块可以通过标准化的 API 进行通信，这种设计不仅使得核心网能快速响应服务需求，还能减少处理和传输时延。例如，通过网络切片技术，为电力自动化系统设计的切片可以在核心网中获得专用的处理资源，确保了控制信令的快速处理，从而使得核心网内部的处理时延可以被优化至 1 ms 以内^[5]。

第四，除了以上技术层面的优化，端到端的时延管理也是非常关键的。端到端时延管理涉及数据从发送端到接收端的整个传输过程，包括无线传输时延、传输网络时延和数据处理时延。为了实现端到端的时延优化，需要多个技术协同工作，比如，在无线传输方面，可以通过动态调整无线资源分配，优先保障关键业务的数据传输；在传输网络时延方面，通过优化路由选择和网络协议，减少在传输过程中的跳数和处理时间；在数据处理时延方面，通过优化算法和硬件加速，提高数据处理速度。

如果一个电力监控应用要求端到端的时延不超过 5 ms，那么，无线接入网的时延需要控制在 1 ms 以内，传输网络的时延需要控制在 2 ms 以内，而数据处理的时延则需要控制在 2 ms 以内。为了实现这样的时延要

求，无线接入网可能需要使用毫米波技术来提供足够高的数据速率，传输网络可能需要使用光纤直连和优化后的路由协议，数据处理则可能需要部署在离数据源更近的数据中心或采用边缘计算技术。

5G 时延优化技术的发展让电力无线专网的通信更加快速和可靠，对于实现高效的电力自动化和智能电网具有重要意义。随着 5G 技术的不断成熟和电力行业需求的进一步明确，时延优化技术将在电力无线专网中发挥越来越关键的作用。

三、结语

电力无线专网 5G 技术的发展是电力行业数字化转型的重要里程碑，为电力系统的智能化、自动化和网络化管理提供了强大支撑。随着技术的不断创新和应用的不断拓展，电力无线专网 5G 技术将会展现出更加广阔的应用前景。未来，随着电力行业的不断发展和对数据传输需求的不断增长，电力无线专网 5G 技术将逐步成熟，并在电力生产、传输、配送等各个环节发挥越来越重要的作用。

引用

- [1] 周洋,王华,刘强,等.基于5G无线虚拟专网的电力精准切负荷控制系统技术研究[J].网络安全和信息化,2024(2):104 - 106.
- [2] 郑伟军,储建新,程振杰.基于非正交多址的电力无线专网技术研究[J].浙江电力,2020,39(11):22 - 27.
- [3] 汪大洋,李伟,戴勇,等.电力无线专网抗同频干扰技术方案的设计与分析[J].电力信息与通信技术,2020,18(9):90 - 98.
- [4] 熊正平,完颜绍澎,顾舒娴,等.700MHz频段5G网络在电力系统中的应用分析[J].山东电力技术,2020,47(8):1 - 4.
- [5] 王宏延,完颜绍澎,顾舒娴,等.VoLTE在1.8GHz电力无线专网中的应用技术研究[J].电力信息与通信技术,2020,18(7):20 - 25.

作者简介：魏琪航，大唐海口清洁能源发电有限责任公司，本科，高级工程师，研究方向为电厂设备管理。