



ICT

5G 电力虚拟专网架构及关键技术研究

王荣, 张剑寅, 宋月, 张昊, 魏彬
(中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053)

摘要: 介绍了 5G 电力虚拟专网架构、关键技术以及规模化应用分析。首先, 整体梳理了 5G 网络在电力领域应用过程中需要考虑的电力业务特性, 并通过几大典型电力业务场景具体介绍了电力业务对 5G 网络的网络能力要求; 其次, 重点阐述了 5G 电力虚拟专网体系及组网架构, 同时结合试点部署情况, 分析了电力 5G 专网规模化应用仍然面临的问题; 最后, 基于电网业务需求展望电力 5G 关键技术及其未来发展, 为 5G 网络在电力领域的应用落地和推广提供有益借鉴。

关键词: 5G 电力虚拟专网; 专网架构; 专网关键技术

中图分类号: TN915.85

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022126

Architecture and key technologies of 5G power private network

WANG Rong, ZHANG Jianyin, SONG Yue, ZHANG Hao, WEI Bin
China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China

Abstract: Some main aspects of 5G power private network including network architecture, key technologies and the analysis on the existing key issues aiming to large-scale commercial use were introduced. Firstly, the service characteristics of power grid was combed for 5G application, and the 5G network capability requirements from the power grid services were introduced in details via several typical scenarios. Secondly, the 5G power private network architecture and key technologies were introduced. And also, the key issues were analyze which were still exist aiming to large-scale application according to the pilot deployment of 5G power private network. Finally, the key technologies and its future evolution of 5G power private network were described based on the business needs. It can provide a useful reference for the application and promotion of 5G network in the power grid.

Key words: 5G power private network, private network architecture, key technologies for private network

0 引言

从国家战略到电力企业发展, 5G 都已成为新一轮技术革命和产业变革的关键技术之一。2018 年年底中央经济工作会议提出要加快 5G 商

用步伐, 形成强大的国内市场; 在“碳达峰、碳中和”的国家战略背景下, 国家能源多项发展规划和指导意见均提出构建绿色低碳、安全高效的现代能源体系, 促进能源和信息的深度融合。近年来, 国家电网和南方电网公司应国家战略号

召,联合运营商探索、促进 5G 技术与电网的融合发展,借助 5G 技术的引入,实现智能电网的应用创新和产业升级。

相较于以往的移动通信技术,5G 网络具备超高速、超低时延、超大规模连接的优势,能够面向更丰富的电力应用场景,提供高可靠、高可用、高灵活性的差异化服务能力;切片、边缘计算、网络功能虚拟化(network functions virtualization, NFV)、软件定义网络(software defined network, SDN)等技术的引入,使运营商可以为电力客户提供端到端定制化专用网络;更进一步结合能力开放技术,可提供切片定制设计、规划部署、运行监控等自主可控的管理能力。

电力网络涉及发、输、变、配、用等不同环节,应用场景繁多,业务服务范围各不相同,5G 电力虚拟专网在体系构建、组网架构、关键技术等方面需要充分考虑电力业务特性。本文将结合电力业务特性,重点分析 5G 电力虚拟专网架构体系及组网架构,并针对电力业务强相关的 5G 网络关键技术进行探讨和研究,为 5G 网络在电力领域的应用落地和推广提供有益借鉴。

1 电力业务分析

1.1 电力业务特性

(1) 局域与广域并存

电力业务环节如图 1 所示,存在发电、输电、变电、配电和用电五大业务环节,每个电力环节均包含差异化的电力业务场景,其业务服务范围各不相同。

发电环节,火电、水电、核电等大型电厂业务主要集中于局部区域,业务主站一般设置于电厂内部,终端业务数据一般可以在园区内闭环进入业务主站进行处理,而风电、太阳能发电等新兴清洁能源电厂,其风机等业务终端分布广泛。

输电环节,当前 35 kV 以上的主网通信网已具备完善的全光骨干网络和可靠高效数据网络,但输电线路的安全巡检、安全监测、隧道状态监测等电力业务随输电线路的铺设而分布,业务范围与传统通信网络的建设规划有部分重叠但存在大量盲区,例如偏远的无人区。

变电环节,变电站内部业务主要集中于在局部区域,现有站所内通常采用光纤或数据网等传统有线接入方式承载电网业务,移动性巡检或变电站监测业务需要园区内闭环进入业务主站。

配电环节,配电网大部分属于电网控制类业务,海量配电网设备需要实时监测或控制,传统的低压用户和工厂/园区用户、新型分布式能源均具备点多面广的特性,业务覆盖范围广泛。

(2) 高安全隔离要求

电力网络的安全、稳定运行关系国计民生,为保障电力监控系统的安全防护,国家能源局依据发改委 14 号令制定并颁布了《电力监控系统安全防护总体方案》等安全防护方案和评估规范,提出“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”的电力监控系统安全防护总体原则。

其中,安全分区是电力监控系统安全防护体系的结构基础,电力内部的业务系统需要划分为生产控制大区和管理信息大区,生产控制大区又

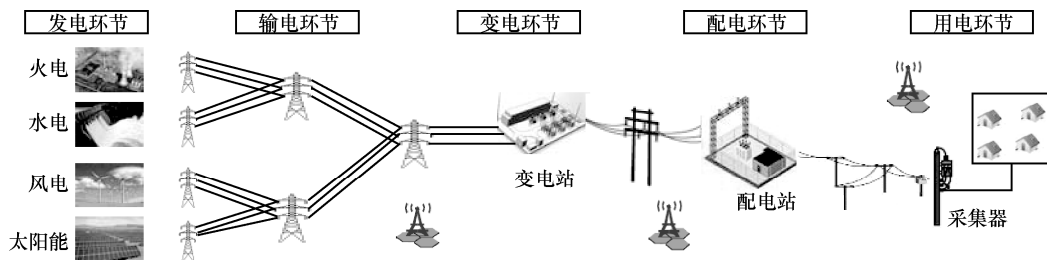


图 1 电力业务环节



可以分为控制区（安全区 I）和非控制区（安全区 II）；管理信息大区内部在不影响生产控制大区安全的前提下，可以根据各企业不同安全要求划分安全区。同时，生产控制大区与管理信息大区之间物理隔离，大区内部逻辑隔离，需要避免形成不同安全区的纵向交叉联接。

生产控制大区（安全区 I）内的业务系统是电力生产的重要环节，纵向使用电力调度数据网络或专用通道，是安全防护的重点与核心；生产控制大区（安全区 II）内的业务系统是电力生产的必要环节，在线运行但不具备控制功能，使用电力调度数据网络；管理信息大区内的业务系统是电力生产控制大区以外的电力企业管理业务系统的集合，电力企业可根据具体情况划分安全区。

（3）高网络性能要求

各分区内电力业务的网络服务质量需求如图 2 所示，遵循国家安全要求，当前电力业务主要分为 4 个安全区。总体来看，各分区对网络服务质量的需求不同，生产控制大区主要面向实时生产类业务，对安全隔离、时延抖动需求相对更严苛。管理信息大区主要面向辅助类业务，对带宽需求更强烈。

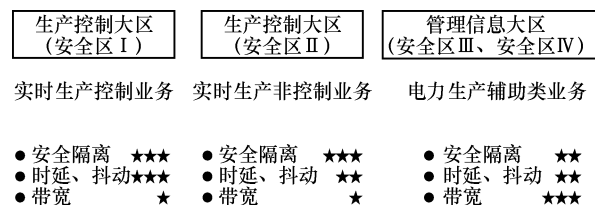


图 2 各分区内电力业务的网络服务质量需求

1.2 电力业务场景及网络需求分析

1.2.1 生产控制大区业务（安全区 I、安全区 II）

（1）配电自动化三遥

遥信、遥测和遥控统称为配电自动化三遥，可实现对电网运行状态的网络监测，并在此基础上通过计算分析决策，完成配电网的调度配置。目前配电自动化三遥主要通过光纤通信，但市内配电网光纤敷设难、成本高。结合 5G 技术，配电

自动化三遥设备可利用 5G 网络将遥信、遥测的监控数据和测量数据上传到配电自动化主站系统，同时配电自动化主站通过计算决策，通过 5G 网络向配电设备下发远程控制指令。其业务通信需求^[1]为：时延<2 s、带宽≥19.2 kbit/s、误码率≤1×10⁻⁵。

（2）精准负荷控制

精准负荷控制系统由切负荷主站、切负荷子站及用户侧智能网荷互动终端构成，毫秒级控制系统控制指令等数据信息在智能网荷互动终端与切负荷子站、切负荷主站之间交互。可实现电网与电源、负荷友好互动，达到电力供需瞬时平衡，支撑能源大范围优化配置。其业务通信需求^[1]为：时延≤50 ms、带宽≥48.1 kbit/s、业务可靠性>99.999%。

（3）分布式电源

分布式能源由分布式电源监控主站、分布式电源监控子站、分布式电源监控终端和通信系统等部分组成。结合 5G 技术，分布式电源监控终端可利用 5G 网络实时将分布式能源信息发送给分布式电源监控主站/子站，分布式能源调控系统根据当前电网状态，通过 5G 网络将协调控制信息发送至分布式电源监控终端。其业务通信需求^[2]为：带宽≥2 Mbit/s、采集类业务时延<3 s、控制类业务<1 s、可靠性大于>99.9%。

（4）配网差动保护

电流差动保护是配网差动保护中的一种，通过差动保护终端比较两端或多端同时时刻电流值（矢量）判定故障状态，及时执行差动保护动作，隔离故障线路，快速切换备用线路，保障线路安全。目前光纤能够满足这种高要求，但市内配电网光纤敷设难、成本高。结合 5G 技术，配网差动保护装置可利用 5G 网络对终端进行高精度网络授时，为电力系统线路上的电流相位等数据提供精准的时标信息，并通过 5G 网络把数据发送给同一条配网线路上的其他终端。其业务通信需求^[22]为：带宽 2 Mbit/s、时延<20 ms、可靠性>99.999%、

授时精度 $<10\ \mu\text{s}$ 。

1.2.2 管理信息大区业务(安全区Ⅲ、安全区Ⅳ)

智能化巡检指通过巡检设备、机器人等终端搭载高清和红外摄像机等专业设备代替传统人工巡检,将电力线路和设备的运行状态通过视频图像、红外感知等信息实时回传至调度控制中心,保障电力系统安全高效地运行。结合5G技术,智能化巡检终端可利用5G网络高速率、低时延、海量连接特性实现巡检终端遥控及数据采集,实时回传高清视频,远程指导控制作业。其业务通信需求^[2]为:带宽4~100 Mbit/s、时延 $<200\ \text{ms}$ 、可靠性 $>99.9\%$,部分需远程控制智能巡检,控制类信息时延 $<100\ \text{ms}$ 、可靠性 $>99.999\%$ 。

2 5G 电力虚拟专网

2.1 5G 电力虚拟专网概述

基于“网随业动,按需建网”的原则,考虑到电力业务特性中电力业务局域与广域并存的特性,5G电力虚拟专网需要包含两种类型虚拟专网,局域虚拟专网和广域虚拟专网。

局域虚拟专网面向变电站、换流站等封闭场景的局域业务,这些业务可以通过5G电力虚拟专网承载,通过基站、移动边缘计算(mobile edge computing, MEC)的独享服务,满足电力业务“数

据不出园区”的需求。广域虚拟专网主要是面向电网生产控制、管理信息这种开放场景的广域业务,这部分业务可以通过电力切片专网承载,通过端到端安全隔离能力满足差异化业务需求。

5G电力虚拟专网体系如图3所示,主要由电力业务系统、5G网络系统、5G电力业务终端、运营管理系统4部分构成。

电力业务终端种类繁多,按用途可分为电源类终端、电网类终端、负荷类终端、储能类终端以及辅助设备控制类终端等。针对不同类型的电力业务终端,5G网络系统将结合切片、边缘计算等原子能力,组成局域/广域的虚拟专网,将电力业务终端连接至电力业务系统。为保障电力网络安全,在终端数据进入电力业务系统之前,可能需要通过电力安全边界进行接入安全检测和监控。此外,管理运营系统将提供切片、边缘云、电力终端等管理能力,共同形成5G电力虚拟专网体系。

2.2 5G 电力虚拟专网组网

(1) 组网架构

基于5G电力虚拟专网体系,在组网过程中,需要将电力业务域终端与电力业务平台通过5G网络安全高效地进行连接,5G电力虚拟专网组网架构如图4所示。

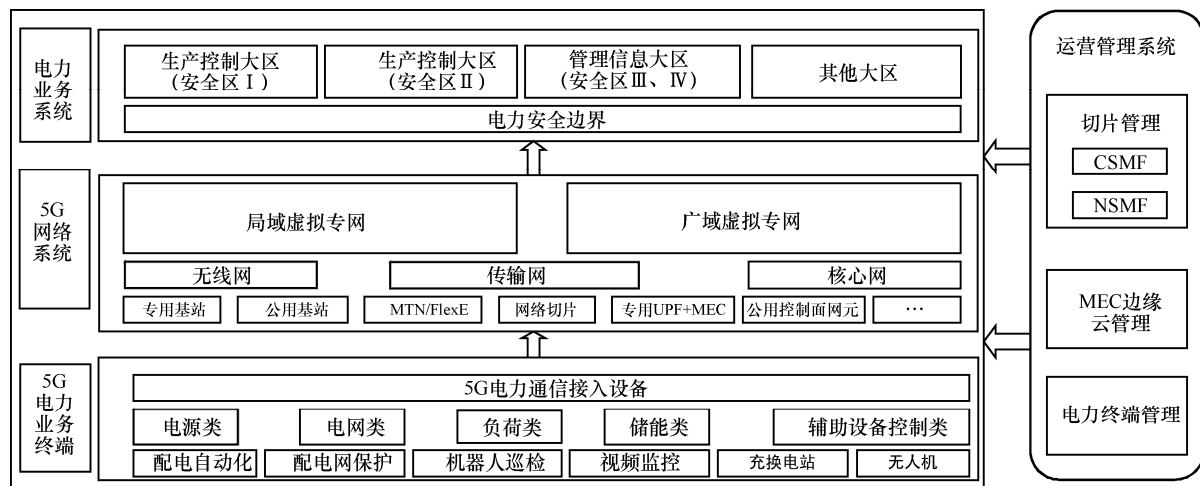


图3 5G 电力虚拟专网体系

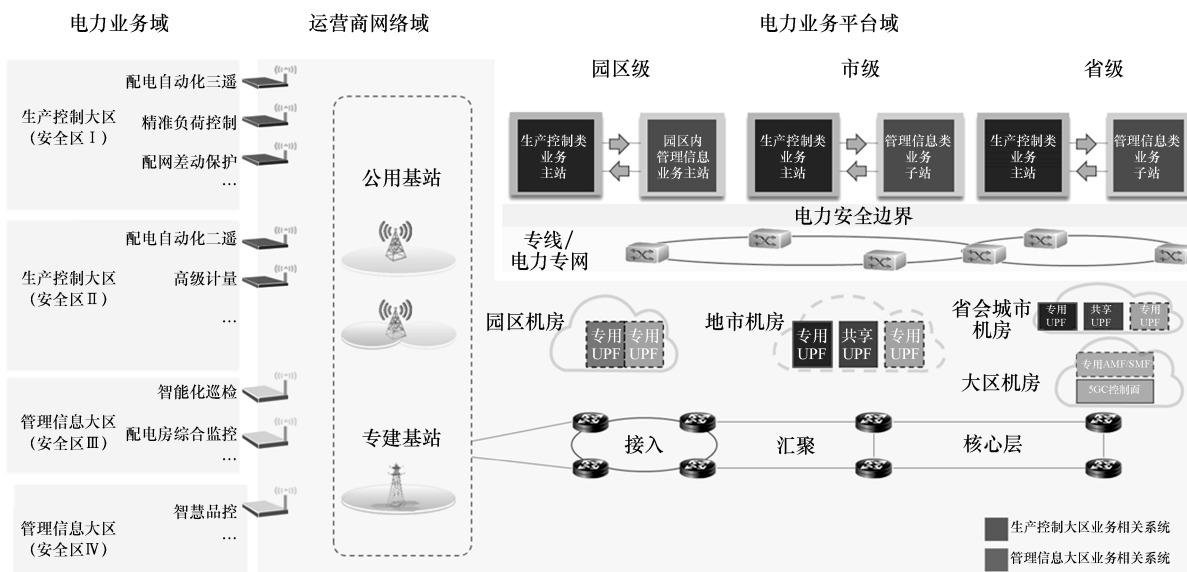


图 4 5G 电力虚拟专网组网架构

- 无线侧，考虑电力业务终端存在“泛在化”连接需求，如配用电业务环节，配电网终端分布范围广，但数据带宽占比低，可基于公用 5G 基站实现电力终端的泛在覆盖和连接；同时，通信网络规划覆盖可能存在盲区，如输电业务环节，无人区的输电线路巡检等业务场景下，必须在公用基站覆盖之外与专建基站形成互补。专建基站主要指公用基站建设规划之外根据特定业务场景需求建设的基站，满足覆盖补盲需求，后续是否允许公网用户接入可视客户需求而定。
- 承载侧，可采用切片分组网（slicing packet network, SPN）技术，按照接入层、汇聚层和核心层部署，接入层以下到客户侧之间可采用小型化接入 SPN，解决“最后一公里”的接入问题。
- 核心网侧，针对局域业务场景，用户面用户面功能（user plane function, UPF）可下沉部署至地市或园区机房（运营商机房或电力机房），针对广域业务场景，用户面 UPF 可部署于省会城市机房，控制面网元原则上

集中部署于大区/省会，但在特定业务需求下，可为电网客户分配专用会话管理功能（session management function, SMF）、接入和移动管理功能（access and mobility management function, AMF）等核心网网元，满足电力客户的定制化组网需求。

（2）安全隔离技术及架构

网络切片作为 5G 网络的核心技术，可以在通用的物理平台上为行业客户构建多个专用、虚拟化、互相隔离的逻辑或物理专用网络，能够最大程度地提升网络对外部环境、客户需求、业务场景的适应性，提升网络资源使用效率。

5G 电力虚拟专网广域/局域切片安全隔离技术架构如图 5 所示，5G 电力虚拟专网将采用切片隔离技术，从终端、无线、传输、核心网打通网络“管道”，实现业务分区隔离，保障差异化服务。生产控制类业务和管理信息类业务划分单独的专用切片进行物理隔离。

广域网络架构适用于配网差动保护、配电自动化、高级计量、配电房综合监控等输/配/用电领域，需要广域全程全网覆盖的电力业务。局域网络架构适用于变电站、电厂等局域业务。

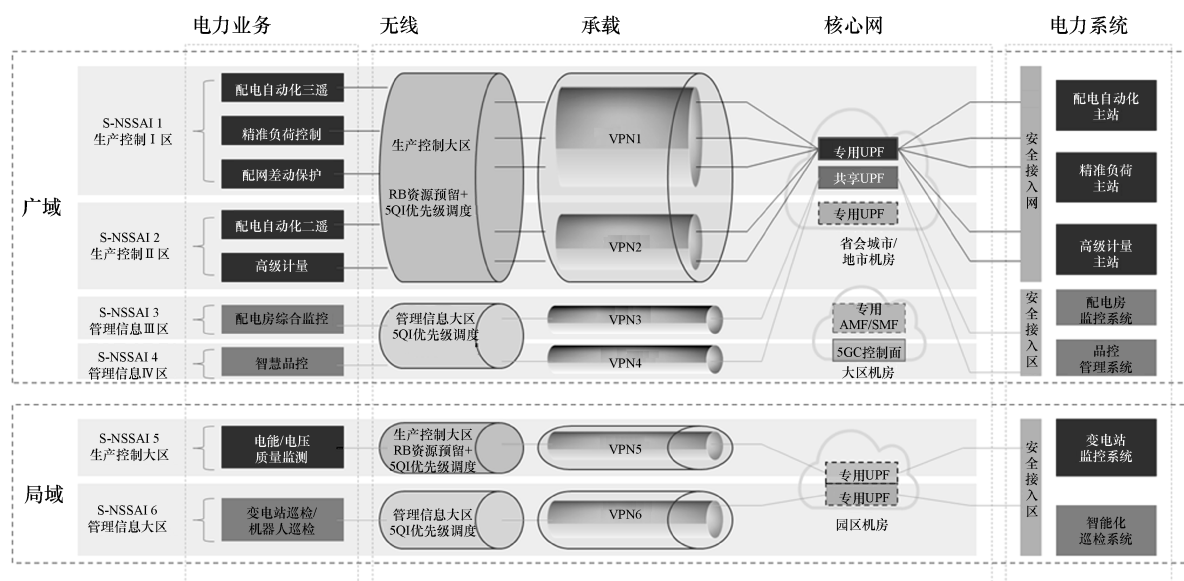


图5 5G电力虚拟专网广域/局域切片安全隔离技术架构

广域网络架构和局域网络架构均可通过切片实现生产控制类业务与管理信息类业务的物理隔离，以及生产控制I区与II区、管理信息III区与IV区之间的逻辑隔离。在局域场景下，可优先使用共享5G基站，在室内或地下覆盖需求，可考虑通过新建专用室分、小站实现局域场景覆盖。

- 无线侧，通过RB资源预留技术实现电力生产控制类业务在5G空口资源的隔离与专用，通过切片技术实现电力不同分区业务之间的逻辑隔离，通过切片级5QI技术实现不同电力业务的差异化QoS保障。
- 承载侧，通过MTN/FlexE硬切片实现生产控制类业务硬隔离，通过VPN软切片实现生产控制大区或管理信息大区内传输资源共享的情况下，不同安全分区业务之间的逻辑隔离。
- 核心网侧，生产控制类业务使用电力专用UPF实现与管理信息类业务和其他公网业务的物理隔离；管理信息类业务使用行业网共享UPF，并通过切片ID和DNN实现与其他行业用户的逻辑隔离。

3 5G电力虚拟专网关键技术

从技术角度来看，针对差异化的电力业务场景及网络需求，5G网络现已具备多种网络能力提供服务，如网络切片、边缘计算、能力开放等，面向未来，5G电力虚拟专网关键技术的发展依赖于行业需求的深入挖掘和5G标准方案的制定和推进，本节将围绕电力行业的几项代表性特殊需求，介绍与其相关的5G关键技术及其未来演进。

(1) 二层局域网通信

配网差动保护业务场景如图6所示，在配网差动保护场景中，差动保护终端需要比较两端或多端同时刻电流值（矢量），判定故障状态，及时执行差动保护动作，隔离故障线路，快速切换备用线路，以保障线路安全。

在这个典型业务场景中，差动保护终端需要实现终端之间基于二层的单播、多播、广播等局域网通信需求，同时，智能分布式馈线自动化(FA)也存在终端之间的局域网通信。

3GPP Release 16 (Rel-16)版本针对这一类业务需求制定了5G局域网(5G LAN)技术方案。

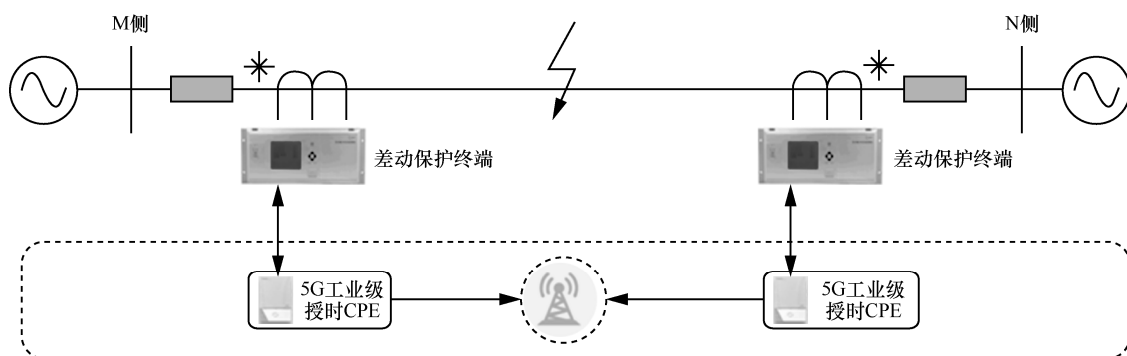


图6 配网差动保护业务场景

该方案中，可根据签约信息实现群组管理、基于二层或三层的UPF增强本地转发等特性；可完成在本地或局端进行数据交互或业务卸载，避免跨地区迂回，降低传输时延。这样的设计使5G UPF具备了直接数据处理和转发的功能，不需要N6接口上路由器或应用服务器的转发，缩短了数据转发路径。

5G LAN支持电力终端通过UPF进行局域网通信如图7所示，5G LAN技术的引入，使得某一个数据传输单元（data transfer unit，DTU）终端的广播/多播消息通过5G网络中的UPF节点，转发给其他同广播域或同组的DTU终端，UPF将这一份DTU终端发送的数据进行复制，分别通过N3/N9接口（也可能是N19接口）发送给其他终端。但这可能引入另一个问题，如果多个DTU终端连接在同一个UPF或同一个基站下，同一份广播数据报文，UPF需要复制多份，并同时通过多条会话通道发送出去，这将对UPF与基站之间的网络资源、空口资源提出更高的带宽要求，且造成不必要的资源浪费和消耗。因此3GPP Rel-17引入5G多播—广播服务（5G multicast-broadcast services，5MBS）技术方案^[3]。MBS主要是指一种点对多点的业务，数据从一个源实体发送给多个接收者，发送给广播服务区中的所有用户，或者发送给多播组中的用户。5GMBS技术将允许MBS数据从5GS入口分发到NG-RAN节点，然后再分发到UE。

可有效利用RAN和CN资源，重点是无线电接口效率。

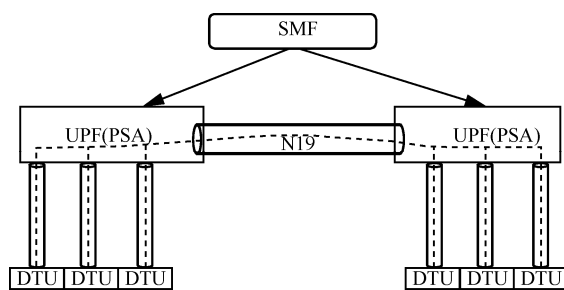
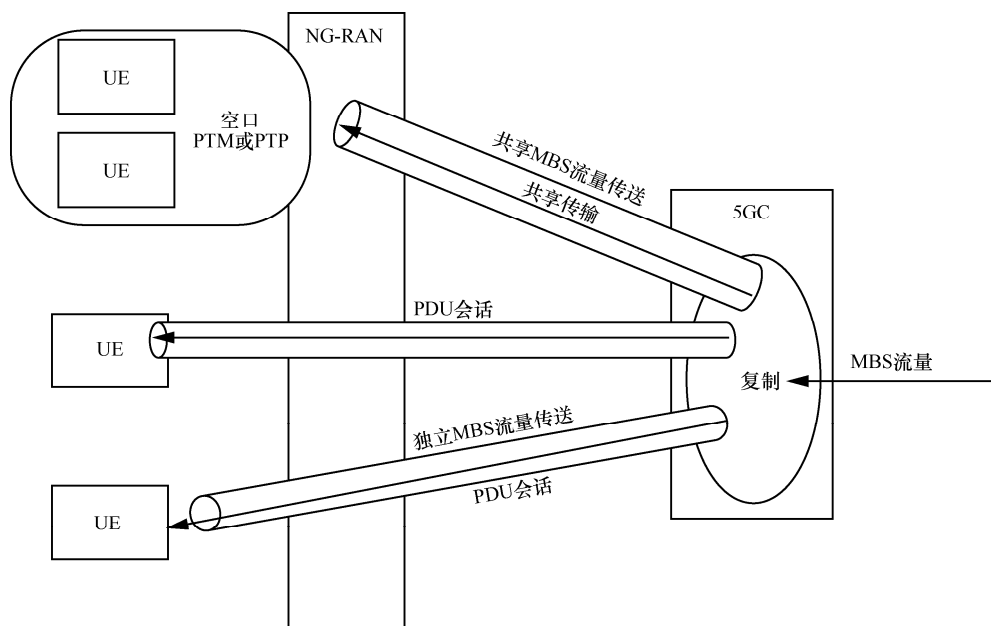


图7 5G LAN支持电力终端通过UPF进行局域网通信

5MBS数据传输模式如图8所示^[3]，5MBS的数据传输模式的引入在5GC和NG-RAN之间支持共享MBS流量传输和独立MBS流量传输两种模式，在NG-RAN与UE之间支持PTM或PTP传输方式。当前3GPP Rel-17标准尚未冻结，各项技术细节尚在持续不断地优化、完善中，但结合3GPP未来技术演进，5G网络将更好地为电力网络中存在的二层局域网通信需求提供服务、保障局域网通信需求的同时，优化CN资源和无线电空口资源的利用率。

（2）终端接入控制

如电力业务特性分析中提到的，安全是电网业务运行的首要要求，那么终端的接入控制必然是重中之重。接入控制主要包含两个层面的要求：在电力专用基站或基站专用资源下，实现特定的电力终端准入、非特定电力终端禁入，保障5G电力虚拟专网资源的专用性；特定的电力终端只能在指定的

图8 5MBS 数据传输模式^[3]

覆盖范围内接入，而出指定覆盖范围区则禁用，保障5G电力虚拟专网连接终端时的区域限制性。

3GPP Rel-16 版本针对垂直行业专网引入了公共网络集成的非公共网络（public network integrated-non-public network, PNI-NPN）技术方案，在公共网络中集成专网功能。该技术方案基于封闭接入组（closed access group, CAG）实现了一整套接入控制功能，将无线网络划分为独立的接入区域，进而控制形成相对封闭的专属网络。

CAG接入控制如图9所示，PNI-NPN技术方案的引入使得电力终端可签约一个或多个CAG号码（称为CAG information list）。在开机过程中根据自身支持的CAG information list选择广播消息中包含该终端支持的CAG的小区并接入，当终端移动至小区边界时，若临近小区不支持该终端签约的CAG信息则切换失败，禁止移出限定区域；同时在专用基站或基站专用资源情况下，可以在基站侧进行设置使得基站仅为特殊行业终端（即支持CAG功能的终端）提供服务，普通用户禁止接入。该技术方案将为5G电力虚拟专网提供有效的接入控制机制，保障电力业务安全运行。

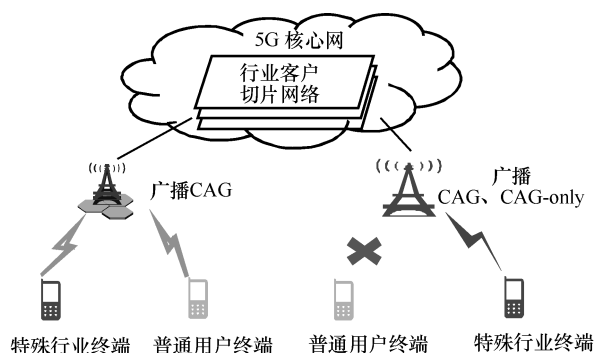


图9 CAG 接入控制

（3）5G 终端芯片和模组设计

电网业务场景丰富，终端种类数量众多，根据电力业务通信需求分析，电网业务终端数量上亿，包括智能电表、各类保护、采集、控制等设备。如此大规模的终端设备如果采用5G网络承载，当前高昂的5G模组必将成为5G在电力领域大规模应用的最大阻力。

当前5G终端芯片和模组设计复杂、研发成本高，但大多数的行业应用对于速率等指标没有很高的要求，因此3GPP研究并引入了5G新空口（NR）低复杂度低成本终端低容量（reduced capacity, RedCap）UE^[4]。主要针对中端物联网用



例的需求,以降低终端成本和复杂度为目标对标准 5G 终端能力进行裁剪,RedCap 将可能减少终端的天线数并限制终端的带宽,当前 3GPP 标准已完成技术可行性研究阶段,具体技术方案仍在制定中,针对电网典型业务场景,包括智能电表在内的配用点终端,都将在 5G 网络提供接入服务的同时享受较低的 5G 终端成本,这项技术将为 5G 在电力领域大规模应用奠定基础。

4 5G 电力虚拟专网应用分析

当前,5G 智慧电力在全国范围内实现了广泛探索、验证和应用,落地上百个 5G 智慧电力项目。国家电网和南方电网与运营商携手在山东、广东、浙江等地打造了省级 5G 智慧电力示范区,实现全国最大规模 5G 行业终端接入。在山东省建成全国首个省域电力 5G 专网,接入上千台 5G 台区智能终端,实现超万座分布式光伏的监控和调度;在广东省广州市南沙区 103 km² 范围的 5G 智慧电力全业务接入示范区,实现了“发—输—变—配—用”全流程 53 项应用场景测试验证。

针对差异化的电力业务场景及网络需求,5G 网络为智慧电力的发展提供了强有力的支撑,在输电场景下,“5G+智慧巡检”改变传统人工爬塔跑电站的低效率高危险的工作现状,实现智慧电力的无人化;在配网场景下,“5G+配电自动化”“5G+差动保护”解决“最后一公里”的连接问题,以高安全、低时延、高可靠的优势满足电网控制类业务需求,实现智慧电力的智能化。

但通过当前的试点应用项目可以看到,通信网络在与电力融合的过程中,仍然存在很多问题,本节将从试点应用到规划化商用的角度进行简要分析。

(1) 面向规模化商用,大网环境与测试环境差异较大,需要做适配和调整

如第 1 节分析,电力业务具备局域与广域并存的特点,尤其是在广域的配电网场景下,考虑成本和资源的高效利用,5G 需要利用大网无线资

源为电力业务提供服务。在现有项目的推进过程中发现,虽然试点测试环境中电力控制类业务的时延、带宽满足业务需求,但进入大网环境中,往往存在时延变大、窝包等问题,整体来看,造成以上差异的原因主要有以下两点。

- 现有的大网无线部署未考虑电力业务终端位置,存在信号阻隔、天线仰角不合适等部署类问题。
- 针对大网业务的某些无线参数无法适用于电力业务,即使在无线网络上进行了 TTI 级 RB 资源预留,该类无线参数仍然具备全局影响性。例如,为了实现省电功能节约功耗,基站可能会开启 BWP2 功能,当该基站为电力控制类业务预留 RB 资源并提供服务时,BWP2 依然有效,基站在数据调过程中,对电力控制类业务的小包数据产生累积效应,出现窝包。

因此,针对电力业务应用,大网无线部署、无线业务参数均需要进行必要的调整和适配。

(2) 面向规模化商用,需探索多业务复合场景,完善网络方案

当前的 5G 智慧电力项目,更多在于验证 5G 网络对电力业务的承载能力、隔离能力、安全能力。针对各个电力业务分别进行相应的测试和验证,但如第 1 节的分析,电力业务存在发、输、变、配、用等不同环节,应用场景繁多,业务服务范围各不相同,可能在某一个特定的大区域内,同时存在变电站巡检、配电自动化、计量自动化等多项业务,多业务复合的场景下,对无线和核心网的组网方案都会提出更高的要求。例如,在核心网侧,不同的业务主站可能要求不同的业务数据出口,数据园区内卸载、数据市级汇总、数据省级汇总同时存在,多业务的复合场景下核心网的网络方案可能存在多种可能性。因此,在将 5G 电力虚拟专网从样板房打造成商品房的道路上,需要以终为始,探索并完善多业务复合场

景下的组网及网络方案。

5 结束语

在“双碳”国家战略政策的推动下,能源领域与 5G 网络必将产生深度融合,形成绿色低碳、安全高效的现代能源体系。本文结合电力业务分析,从电力业务特性和电力业务场景两个角度探讨了电力业务对 5G 网络的需求,分析了符合电力业务需求的 5G 电力虚拟专网体系及组网架构。同时,基于电网业务需求展望了面向电力业务的 5G 关键技术及其未来发展,为电网“安全、可靠、绿色、高效”的发展目标实现提供有益参考。

参考文献:

- [1] 陈文伟,朱玉坤,张宁池,等.面向能源互联网的 5G 关键技术及应用场景研究[J].电力信息与通信技术,2021,19(8): 83-90.
CHEN W W, ZHU Y K, ZHANG N C, et al. Research on 5G key technologies and application scenarios for energy Internet[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2021, 19(8): 83-90.
- [2] 王甜甜,杨鸿珍,毛秀伟,等.基于 5G 电力虚拟专网的电力业务典型应用[J].电力信息与通信技术,2021,19(9): 38-44.
WANG T T, YANG H Z, MAO X W, et al. The typical application scenarios based on 5G power virtual private network[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2021, 19(9): 38-44.
- [3] 3GPP. Architectural enhancements for 5G multicast-broadcast services: TS 23.274[S]. 2021.
- [4] 3GPP. Study on support of reduced capability NR devices: TS 38.875[S]. 2021.

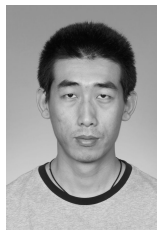
[作者简介]



王荣(1988-),女,中国移动通信有限公司研究院研究员,主要研究方向为移动通信核心网网络架构、关键技术演进及标准化等。



张剑寅(1974-),男,博士,中国移动通信有限公司研究院高级工程师、主任研究员,主要研究方向为核心网演进、5G 专网、天地一体化等。



宋月(1984-),男,中国移动通信有限公司研究院高级工程师、主任研究员,主要研究方向为核心网演进、5G 专网、边缘计算等。

张昊(1979-),男,中国移动通信有限公司研究院网络与 IT 技术研究所所长,曾获三项省部级科技进步奖一等奖,长期从事移动通信发展策略、体制标准研究与技术研发工作。

魏彬(1983-),男,中国移动通信有限公司研究院网络与 IT 技术研究所副所长、高级工程师,多次获得中国通信标准化协会科学技术奖、中国移动重大创新特别贡献奖、中国移动科技进步奖一等奖等,长期从事 3G/4G/5G 核心网标准化推进及商用技术攻关、5G 行业网、流量经营等相关工作。