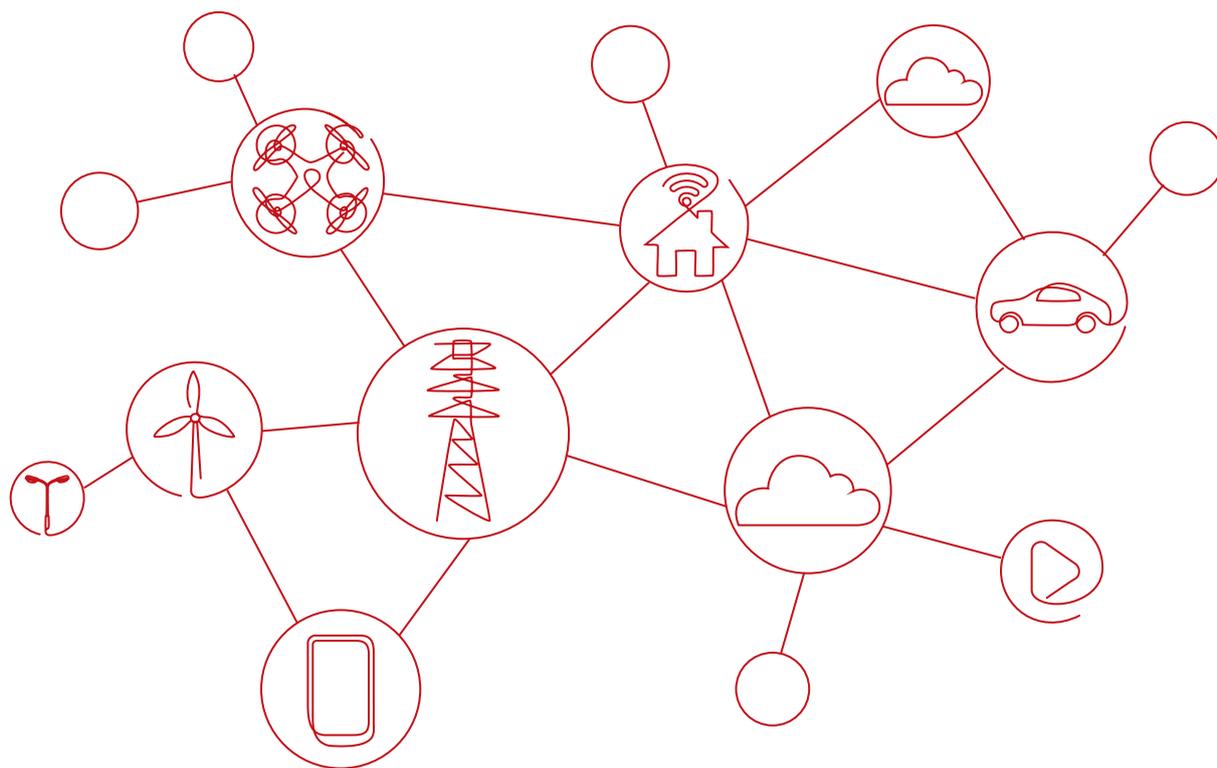


# 5G确定性网络@电力系列白皮书II： 5G电力虚拟专网建网模式



# 目录

## 前言

### 5G电力虚拟专网总体设计思路 01

- 1.1 5G行业虚拟专网网络架构走向标准化 01
- 1.2 5G电力虚拟专网的业务界面及设计思路建议 02
  - 1.2.1 关键概念说明 02
  - 1.2.2 业务界面建议 03
  - 1.2.3 总体设计思路 03
- 1.3 5G电力虚拟专网顶层设计方案 04
  - 1.3.1 电力切片规划思路 04
  - 1.3.2 切片隔离方案 05
  - 1.3.3 切片相关服务 08

### 5G电力虚拟专网网络建设方案 09

- 2.1 5G无线接入网建设方案 09
  - 2.1.1 5G无线接入网建设思路 09
  - 2.1.2 5G无线接入网方案建议 09
- 2.2 5G承载网建设方案 11
  - 2.2.1 5G承载网建设思路 11
  - 2.2.2 5G承载网方案建议 11
- 2.3 5G核心网建设方案 12
  - 2.3.1 5G核心网建设思路 12
  - 2.3.2 5G核心网方案建议 12
    - 2.3.2.1 方案1:公网专用:为电力独立部署专用UPF网元方案 13
    - 2.3.2.2 方案2:公网专用:为电力独立部署专用SMF+UPF方案 15
    - 2.3.2.3 方案3:专网专用:为电力独立部署完整5GC方案 16

### 5G电力虚拟专网管理与服务方案 17

- 3.1 电网对5G行业虚拟专网的自我管理需求 17
- 3.2 5G电力虚拟专网管理与服务总体架构建议 18
- 3.3 5G电力虚拟专网管理面部署方案建议 19

### 小结与展望 21

### 主要参考文献 22

### 缩略语 23

# 前言

作为 5G 赋能电力行业数字化转型的先行者和使能者，5G 确定性网络产业联盟（5GDNA，5G Deterministic Networking Alliance）下辖的能源互联网行业组一直致力于 5G+ 智能电网的产业共识推动、样板项目示范和商用落地推进，并于 2020 年发布了《5G 确定性网络 @ 电力系列白皮书 I：需求、技术与实践》。该白皮书作为《5G 确定性网络产业白皮书》的第一本行业衍生白皮书，首次基于 5G 确定性网络的 3D（Differentiated- 差异化网络、Dedicated- 专属网络、DIY- 自助网络）模型，重点针对智能电网对 5G 确定性网络的关键需求进行了具象化、实例化、量化的详细解读和分析，形成了电力行业对 5G 确定性网络的需求基线。

随着 2020 年 5G+ 智能电网产业样板项目的持续深入推进，产业信心持续提升，商用落地进入快车道。为了更好的顺应产业发展节奏，5GDNA 能源互联网行业组特组织联盟各成员单位，在需求、技术与实践白皮书的基础上，并联合 5G 切片产业联盟（5GSA），编写了第二本《5G 确定性网络 @ 电力系列白皮书 II：5G 电力虚拟专网建网模式》。本白皮书秉承理论与实践相结合的原则，基于多个产业标杆项目试点经验进行抽象提炼和总结，首次明确定义了 5G 确定性网络应用于电力行业的虚拟专网顶层设计原则和思路，细化了虚拟专网中无线、承载和核心网三个子域的建设和部署模式，为运营商向电力行业客户提供 5G 电力虚拟专网服务提供了有益的输入参考。同时这也是业界首份 5G 行业广域专网的建网模式白皮书，对于 5G 应用于更多行业场景具有重要的指导作用和良好的借鉴意义。

本白皮书主要参编单位（以下排名不分先后）：中国南方电网有限责任公司、全球能源互联网研究院有限公司暨国家电网公司电力通信网络技术实验室、中国电力科学研究院有限公司信息通信研究所、中国移动通信集团有限公司政企客户分公司、中国电信集团有限公司、中国联合网络通信集团有限公司、国网浙江省电力有限公司信通分公司、国网青岛供电公司、南京南瑞信息通信科技有限公司、广东省电信规划设计院有限公司、华为技术有限公司。

本白皮书主要参编人员（以下排名不分先后）：杨俊权、俞承志、洪丹轲、张国翊、郝晓龙、杨鹏、杨晓华、王劲、孙磊、周建勇、周荣、夏旭、童磊、郝晶晶、朱海龙、王莉、毛为民、袁宇清、王维、王浩、黄福全、吴彤浩、付佳佳、曾瑛、陈学军、林柔丹、李家樑、李炳林、吴鹏、姚继明、王智慧、杨德龙、朱思成、黄红兵、王彦波、邱兰馨、段凌霄、卢杉、徐阳洲、徐群、刘明峰、李坤、孟建、侯路、龚亮亮、胡阳、李洋、张影、梅承力、王恒、聂衡、吴沛喆、崔旭升、成龙、何诗文、黄海晖、符春全、赵侠、周远明、陈璇、柳强、任永铮、李宝、刘旻、程胜勇、张成龙、龚晋华、黄旭、胡维军、李艳涛、刘鹤贤、余晓光。

# 5G电力虚拟专网总体设计思路

## 1.1 5G行业虚拟专网网络架构走向标准化

2020年7月，由工信部指导、中国信通院牵头的5GAIA（5G应用产业方阵）首次发布了《5G行业虚拟专网网络架构白皮书》。白皮书指出：从应用场景、地理位置、服务范围等角度，5G行业虚拟专网可以分为广域虚拟专网和局域虚拟专网两大类。对于局域虚拟专网，一般适用于业务限定在特定地理区域，基于特定区域的5G网络实现业务闭环，保障行业核心业务不出园区的需求，主要应用场景包括制造、钢铁、石化、港口、教育、医疗等园区/厂区型企业；对于广域虚拟专网，可以不限定地理区域，通常可基于运营商的端到端公网资源，通过网络虚拟或物理切片等方式实现不同行业不同业务的安全承载，主要应用场景包括交通、电力、车联网以及跨域经营的特大型企业等。

5G行业虚拟专网主要包括两种重要的支撑技术：一种是网络切片，通过网络切片能力，可以构建端到端的5G虚拟网络，并且可以实现跨地域的虚拟专网形式，保障虚拟专网资源和公众网络的逻辑隔离甚至物理隔离。另一种是边缘计算，通过边缘计算能力，在工厂、园区等区域内构建一种独享或部分独享的虚拟网络资源。两种构建虚拟专网的技术也可以进行叠加使用，以更好的保障虚拟专网资源和质量。

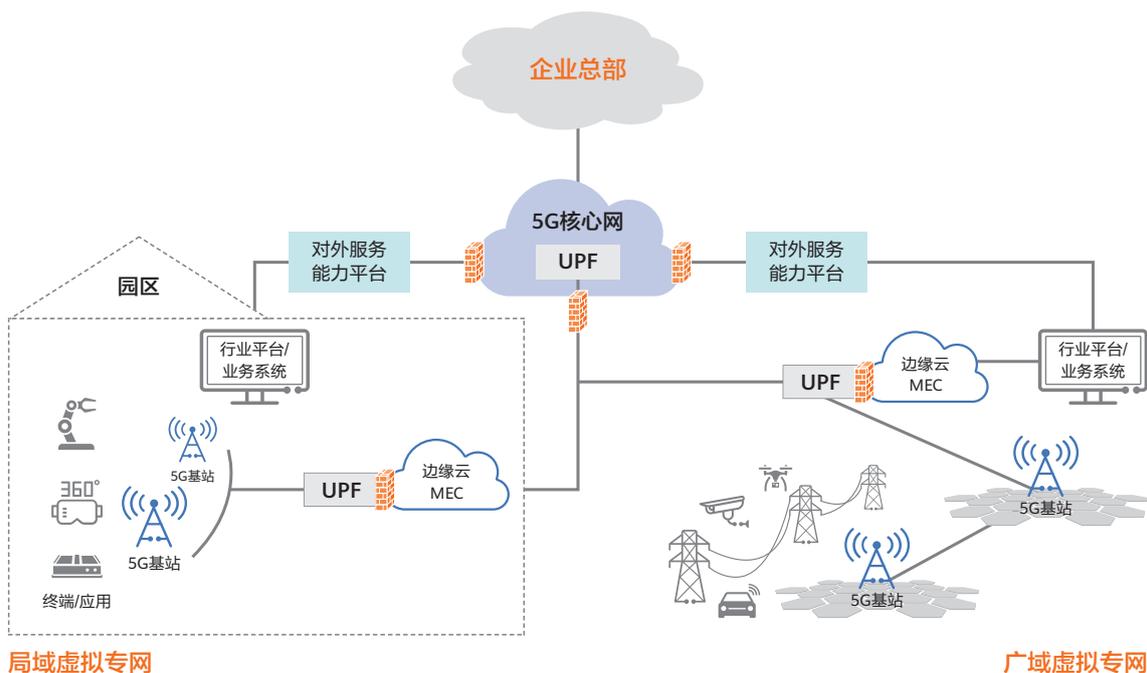


图 1.1 5G 行业虚拟专网网络总体架构设计（来源：5GAIA）

## 1.2 5G电力虚拟专网的业务界面及设计思路建议

电力行业包括电网企业、发电企业等，其对业务分类、安全管控的总体要求一致。本白皮书基于5GDNA联盟成员单位在5G+智能电网领域的实践经验进行提炼总结，相关解决方案可供电力行业其它企业参考。

### 1.2.1 关键概念说明

**5G 网络切片：**网络切片是在作为基础设施的公共物理网络之上创建的多个相互隔离的虚拟网络，在提供定制化能力以满足行业要求的同时，还提供一定的隔离能力，相互独立运行，可独立生命周期管理。5G网络可以为不同行业提供不同切片，例如电力、交通、政府、银行等。

**5G 电力虚拟专网：**5G电力虚拟专网是指在电信运营商的5G网络中，基于网络切片、MEC、能力开放等技术，在无线、承载、核心网等环节虚拟出一张面向电力行业的专用网络，并与电力通信专网跨域融合，实现端到端的电力业务承载、高强度安全隔离以及资源管理。

**5G 电力切片：**5G电力虚拟专网中的一组网络资源组合（涵盖基站、传输、核心网），与切片标识（S-NSSAI）对应，在同一张电力切片中可以配置多个DNN来区分不同的电力业务，是业务隔离保障的主要依据。

**5G 电力切片类型：**具有若干共同特征的电力切片，构成某一类切片，是未来资费 and 商务的主要依据。根据电力行业对5G网络的资源占用特点，当前总体上考虑把电力的切片类型可以分为**专用切片**、**通用切片**两大类。

专用切片：网络端到端配置专用资源、硬隔离管道，不与公众、其他行业业务混用。

通用切片：网络资源复用运营商面向垂直行业的切片资源，做不同程度的逻辑隔离。

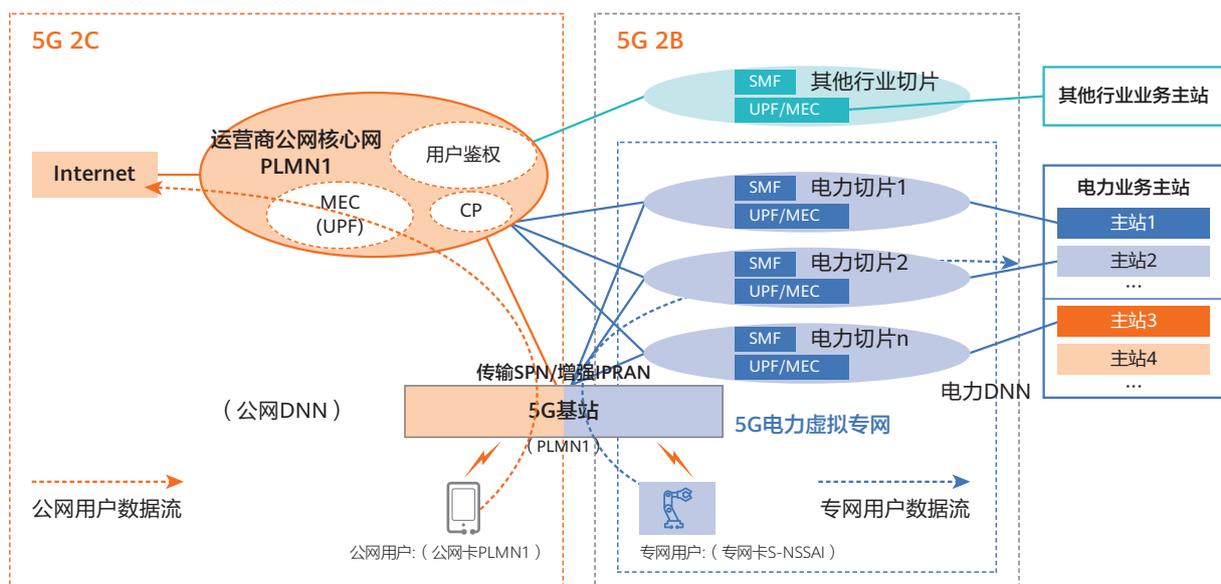


图 1.2.1 5G 电力切片总体设计示意图

### 1.2.2 业务界面建议

电力是一个典型的广域虚拟专网与局域虚拟专网结合的行业场景。考虑到国家相关政策、频谱规划及未来产业的发展趋势，本白皮书主要从5G行业快速规模推广的角度出发，重点讨论电力企业租赁电信运营商5G虚拟专网的模式，同时，除讨论5G虚拟专网的网络资源外，还针对5G切片的电力业务自我管理问题，给出相应的方案建议，使电力企业对切片实现更好的可观、可管、可控。具体界面分工建议如下：

- 1、运营商为电力企业提供5G广域/局域电力虚拟专网的基础网络服务：满足电力的安全隔离基本需求。
  - 1) 无线网：原则上由运营商建设，采用5G授权频段进行覆盖。
  - 2) 承载网：原则上由运营商建设，面向电网偏远变电站、输电线路等特殊场景，后续电网企业、电信运营商可逐步探索“运营商基站+电力传输回传”的共建共享模式。
  - 3) 核心网：原则上由运营商负责建设，可为电网客户配置专属的用户面UPF或MEC网元，或定制化叠加配置专属的SMF等控制面网元。其中针对UPF，在建设初期建议由运营商全托管建设，后续电网企业、电信运营商也可逐步探索其它建设模式。
  - 4) 专业服务：包括基础网络及切片的规划、建设、维护、优化等服务，保障5G虚拟专网安全可靠运营。
- 2、运营商为电力企业提供5G广域/局域电力虚拟专网的增值服务：
  - 1) 差异化SLA保障服务：基于电力不同业务场景的带宽、时延、授时、安全等个性化服务。
  - 2) 业务自我管理：运营商整合自身的NSMF、CSMF等各类平台，向电网客户提供统一的能力开放网关，电力建设面向5G的无线通信系统运行管控平台，实现与运营商5G能力开放的对接，最终实现电力切片的订购、管理、监控等。

### 1.2.3 总体设计思路

- 1、5G电力虚拟专网需要满足电力行业基本的安全防护要求。电力系统安全防护的首要原则是“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”的十六字方针。其中针对电力生产控制类的业务，5G电力虚拟专网需达到等同于物理隔离的网络专用程度，因此生产控制大区相关专属网元要独立部署，以满足电力监控系统安全防护要求（国能安全2015【36号】）。管理信息大区的专属网元原则上可以考虑与运营商ToB的资源池共享对于管理信息大区及其他业务。

注：经过前期深圳、青岛等多个5G+智能电网外场测试已初步验证了5G网络具备承载电力业务的能力，本白皮书基于前期试点成果提炼总结，探讨如何建设5G电力虚拟专网，对于电力管理信息大区的业务推广具有较高参考价值。同时电网企业正在联合国家权威安全测评机构开展5G承载电力业务（尤其电力生产控制类业务）的认证测评工作，后续将根据认证测评结果输出专门的5G电力安全白皮书，并对本白皮书进行迭代优化。

- 2、电力5G虚拟专网中的专属核心网用户面网元（UPF），主要考虑与电力业务的流向进行匹配，避免流量迂回。
- 3、电力5G虚拟专网中的专属控制面网元（SMF），原则上匹配不同电信运营商核心网控制面布局，以匹配电信云资源集约管理的特点，提高信令接续的效率。建议电力企业以省为单位配置。
- 4、电力5G虚拟专网中的专属控制面（SMF）与用户面（UPF）信令接口（N4）原则上由运营商信令专网统一承载，不能跨运营商网络和电力专网，以保障信令的有效分析和优化，降低网络管理的复杂性。
- 5、运营商需要给电力行业提供切片订购、切片设计、切片部署、切片质量监控、业务质量保障等服务能力，电力客户对所订购切片进行管理操作，原则上需经过运营商能力开放平台对接完成。

## 1.3 5G电力虚拟专网顶层设计方案

### 1.3.1 电力切片规划思路

根据 3GPP 规范，电力切片由 S-NSSAI（网络切片选择辅助信息）来标识，对应差异化的 SLA 保障，独立的网络 KPI 监控。S-NSSAI 包括 SST、SD 两部分信息。

SST (Slice/Service Type)，为必选字段，标识切片类型，由 8bit 组成，取值范围为 0~255，其中：取值 0~127 为协议定义的标准 SST，标准 SST 全网通用；当前协议 3GPP TS23.501 中定义了 4 种标准 SST，分别为 eMBB、uRLLC、mMTC、V2X，取值 128~255 为运营商自定义 SST，仅在本运营商网络下有效。

SD (Slice Differentiator)：可选，对 SST 进行补充，进一步区分相同 SST 的多个切片，属于运营商定制的网络切片信息，一般运营商可根据区域、行业和公司等信息自定义 SD。

S-NSSAI 的字段标识有限，面对行业的千差万别的业务应用，运营商对该标识有自身的规划。目前对于电网企业 S-NSSAI 有一定的字段预留，具备细化至业务级别的能力，但综合考虑 5G 设备能力及运维复杂度等多方面因素，建议分阶段、分节奏实施并逐步优化 5G 电力切片规划：

**近期：遵循电力安全“业务分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”要求，电网切片 S-NSSAI 以安全分区为颗粒度，可分为 4 个切片：生产控制区（又称安全区 I）、生产非控制区（又称安全区 II）、生产管理区（又称安全区 III）、管理信息区（又称安全区 IV）。需要说明的是，针对电网中的互联网业务（又称 V 区业务），是否采用切片或切片安全隔离要求尚未明确，因此不在本白皮书中展开讨论。**

**中远期：随着设备能力提升及业务应用发展，可按不同分区的业务类型为颗粒度，逐步独立配置 S-NSSAI，分配更多的电力切片。**

S-NSSAI	SST	SD	
字段定义	国际标准定义 (作为默认值)	近期规划：按电力业务分区	中远期：电力业务类型
Option	eMBB、uRLLC、 mMTC	生产控制区（又称安全区 I）、生产非控制区（又称安全区 II）、 管理信息大区（又称安全区 III/IV）	配电自动化、计量自动 化、配网差动保护等
定义者	运营商	电网企业	电网企业
例 1	uRLLC	生产控制区（安全区 I）	配网差动保护
例 2	eMBB	管理信息大区 - 安全区 IV	视频监控

表 1.3.1 5G 电力切片 ID 规划建议

### 1.3.2 切片隔离方案

当前运营商针对 5G 网络端到端（无线、传输、核心网）的切片隔离保障，主要给出了三种不同方案，分别为基于 Qos 保障、专属 5G 服务、专用 5G 网络。**电力企业可以根据其业务特点，对不同的网络环节进行不同的方案组合，形成具有行业特色的 5G 切片隔离方案。**

5G 网络	Qos 保障	专属 5G 服务	专用 5G 网络
无线	5QI 优先级保障	5QI 高优先级 +RB 无线空口资源预留	载频共享的专用基站或小区
传输	VPN 隔离 +Qos 调度	FlexE 接口隔离 +VPN 隔离	FlexE 接口隔离 +VPN 隔离
核心网	共用大网、ToB 核心网	UPF 网元资源专建专享	UPF、SMF 网元或更多定制化的 5GC 资源专建专享

表 1.3.2.1 5G 网络切片隔离方案

根据电力企业业务安全要求，各分区典型业务示例如下，其中局域专网的场景主要是指大型电厂、变电站、园区等，将包含若干种不同分区的业务类型。

电力业务分区	典型业务举例
生产控制区（又称安全区 I）	能量管理、广域相量测量、配电自动化、变电站自动化等
生产非控制区（又称安全区 II）	故障录波信息管理、电能量计量等
管理信息大区 - 安全区 III	调度生产管理、工地监控、机器人巡检、无人机巡检、智能配电房、智慧品控等
管理信息大区 - 安全区 IV	

表 1.3.2.2 电力业务分区及典型业务举例

结合安全性、可靠性、经济性、可操作性等多种因素，未来电力切片隔离主要有以下三种方案建议：

方案 1：在所管辖的区域内（主要指省或市）划分 4 张电力切片，分别对应安全区 I、II、III、IV。1 个切片可对应多个业务，每个业务分配一个 DNN，根据 S-NSSAI+DNN 选择切片和 UPF。

针对生产控制大区：无线侧采用 RB 资源预留实现硬隔离，并采用不同的 5QI 优先级调度实现安全区 I 和 II 之间的逻辑隔离；传输侧采用 FlexE 进行硬隔离，并划分不同的 VLAN 实现安全区 I 和 II 之间的逻辑隔离；核心网侧每个省份 / 大地市为生产控制大区部署物理独立的 UPF，并划分两个逻辑独立的 UPF 租户，分别承载安全区 I、II 的业务。

针对管理信息大区：无线侧采用不同的 5QI 优先级调度实现逻辑隔离；传输侧采用 VLAN 实现逻辑隔离；核心网侧管理信息大区共用运营商 ToB 专用 UPF，负责承载安全区 III、IV 切片业务，并与 ToB 其他业务进行逻辑隔离，需额外开通 N6 接口专线至电力企业。

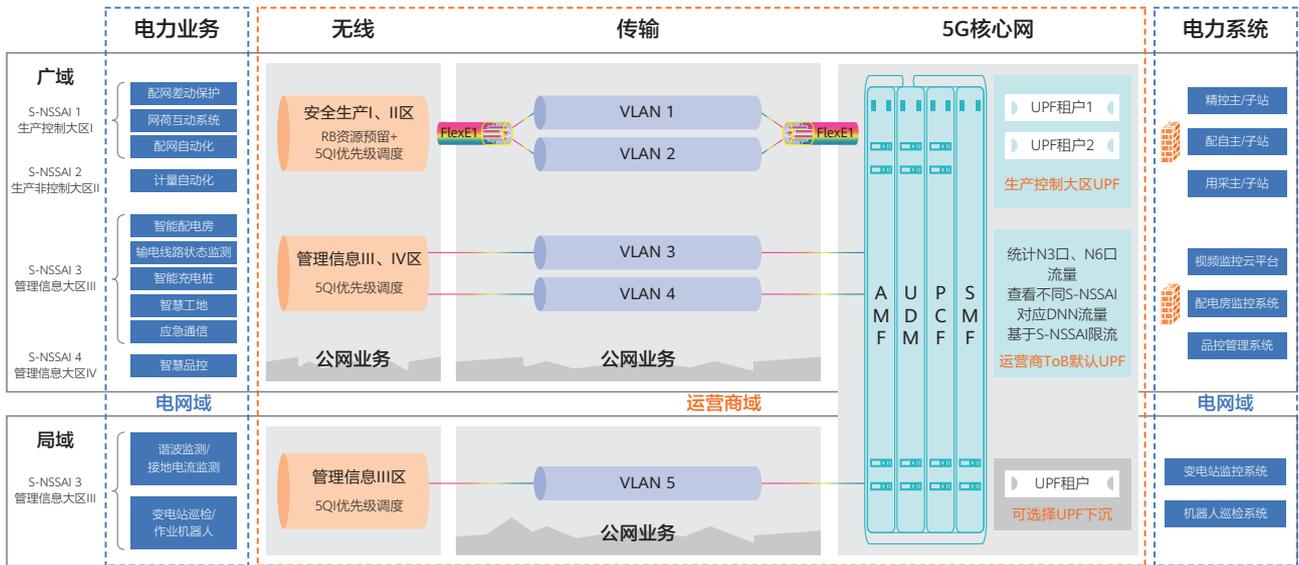


图 1.3.2.1 5G 电力切片备选隔离方案 1

方案 2：在所管辖的区域内（主要指省或市）划分 4 张电力切片，分别对应安全区 I、II、III、IV。

针对生产控制大区：同方案 1。

针对管理信息大区：无线侧采用不同的 5QI 优先级调度实现逻辑隔离；传输侧采用 FlexE 进行硬隔离，并划分不同的 VLAN 实现安全区 III 和 IV 之间的逻辑隔离；核心网侧管理信息大区部署物理独立的 UPF，并分别划分两个逻辑独立的 UPF 租户，分别承载安全区 III 和 IV 的业务。其他业务复用运营商 ToB 资源，并与 ToB 其他业务进行逻辑隔离，需额外开通 N6 接口专线至电力企业。

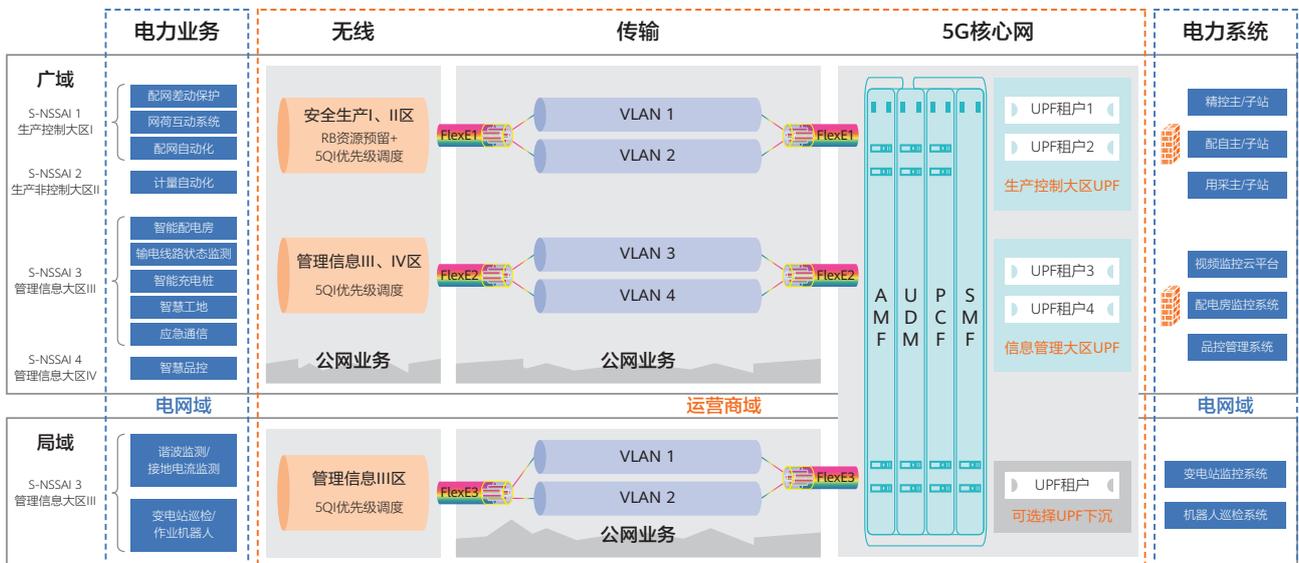


图 1.3.2.2 5G 电力切片备选隔离方案 2

方案 3：在所管辖的区域内（主要指省或市）以电力业务为颗粒度划分多张电力切片，针对生产控制大区和管理信息大区的切片隔离原则同方案 2，只是切片 ID 的颗粒度实现了基于业务粒度的精细化划分，以实现差异化的 SLA/QoS 业务体验保障，以及更加精细化的切片全生命周期管理（KPI 可观、可管、可控）。

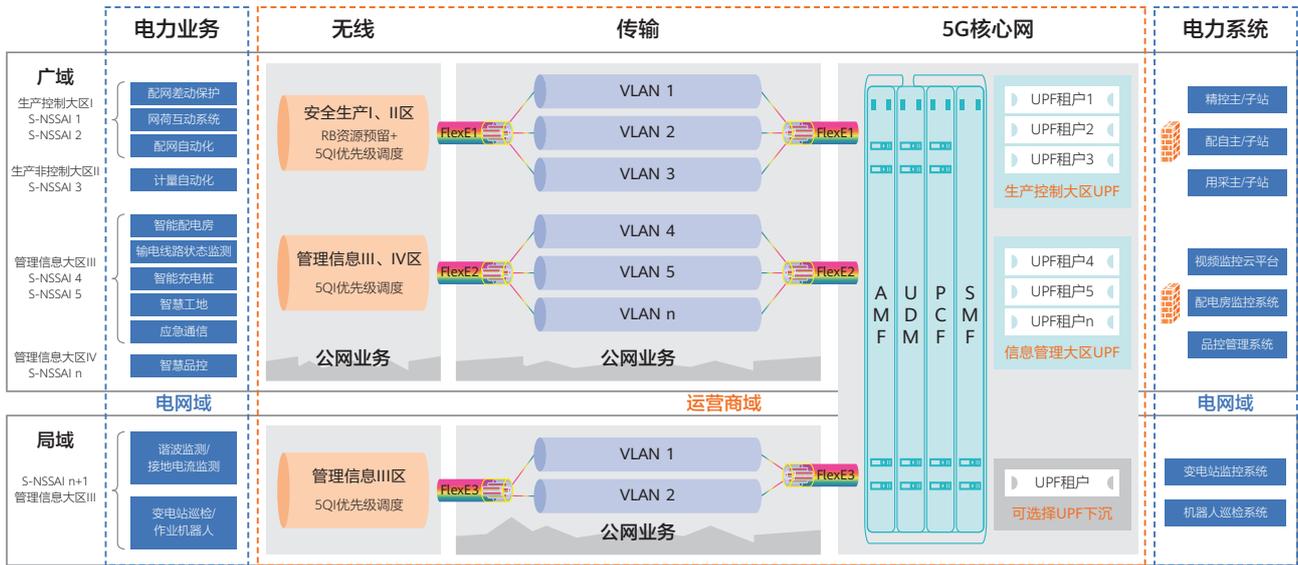


图 1.3.2.3 5G 电力切片备选隔离方案 3

上述三种方案对电力生产控制大区业务的保障能力上是一致的，对管理信息大区乃至其他业务方面，有不同的差异。电力企业可以结合自身不同的业务需求，与当地不同运营商的建设能力选择合适的方案。

电力业务分区		方案 1	方案 2	方案 3
安全隔离性	安全区 I、II	3 个方案一致，无线、传输采用“专属服务”、核心网采用“专用网络”		
	安全区 III、IV	无线、传输采用“Qos 保障”，核心网采用“专属服务”共用 ToB 资源，与 ToB 业务逻辑隔离	无线“Qos 保障”、传输“专属服务”、核心网“专用网络”	
业务可靠性保障	安全区 I、II	3 个方案一致，无线、传输采用“专属服务”、核心网采用“专用网络”		
	安全区 III、IV	如果能够预留足够的冗余通道带宽和核心网处理能力，则体验差异不大	传输网专用硬隔离管道、核心网专用用户面，可靠性保障更高	
运维管理	运营商	安全区 III、IV 可集约运维管理	相对方案 1，增加了管理信息大区电力专属 UPF 的网元管理	相对方案 2，增加管理的颗粒度从安全分区至电力业务类型，运维管理最复杂
	电网	对 5G 切片的规划、申请、管理相对简单（仅到分区维度），但需要做好内部业务的 IP 地址规划，并根据 IP 地址开展业务关联及更精细化的分析		对 5G 切片的规划、申请、管理相对复杂（按业务维度），但对 IP 地址的管理可更为灵活简单

表 1.3.2.3 5G 电力切片备选方案对比

### 1.3.3 切片相关服务

为满足电网行业业务需求，运营商要根据电力行业业务特点及业务 SLA 要求提供专业服务，包括：

- 1、切片网络规划设计：根据电网切片顶层设计，输出每一个应用对应的切片 ID（N-SSAI）、DNN、5QI 及 UPF 的对应关系，每一个应用的终端与主站、终端与终端之间的路由规划设计。
- 2、切片部署与开通：通过切片编排系统或者线下命令行方式，向无线、传输、核心网下发切片配置，在各个应用的接入点，用测试终端验证切片网络端到端连通性，保障业务可用。
- 3、切片网络运维保障：通过切片运维管理平台，实现网络级、切片级、终端级业务体验可视、可管与故障定界。
- 4、切片网络调优：针对当前业务体验不佳的业务或者终端，针对性进行切片网络的优化调整。



# 5G电力虚拟专网网络建设方案

## 2.1 5G无线接入网建设方案

### 2.1.1 5G 无线接入网建设思路

#### (一) 广域场景：

- 1、配电网络对 5G 的主要需求是覆盖，根据前期外场测试结果，建议配网终端处于小区中近点，以保证配网差动保护等业务的时延需求。
- 2、配网差动保护、配网同步相量测量等业务可能需要基于 5G 网络提供高精时钟同步授时功能，此时基站对终端的授时应该满足 3GPP R16 标准定义格式，要求在小区边缘仍然满足 1us 以内的授时精度，无线电力终端和行业 DTU（Data Transfer Unit，数据传输装置）之间的授时格式遵循行业标准要求。

#### (二) 局域场景：

- 1、针对局域专网场景，原则上优先采用复用共享 5G 基站、通过 5QI 优先级调度的方式实现逻辑隔离。但是针对智能变电站场景，其机房 / 设备可能存在大量的室内覆盖、地下覆盖需求，且变电站内部值守人员有限，人网通信需求不强，此时可以考虑通过新建专用室分、小站等方式实现局域场景覆盖；
- 2、变电站场景对 5G 的主要需求是上行容量，在资源不足的情况下，可考虑上行增强手段，如 FDD 上行辅助，增加新的载波，调整时隙配比等手段。
- 3、针对变电站等局域专网，在部署 5G 数字化室内分布系统的场景，可以考虑基于 5G 基站提供米级精度的定位服务。

### 2.1.2 5G 无线接入网方案建议

- 1、采用不同无线频段，灵活适配电网不同场景的通信需求：

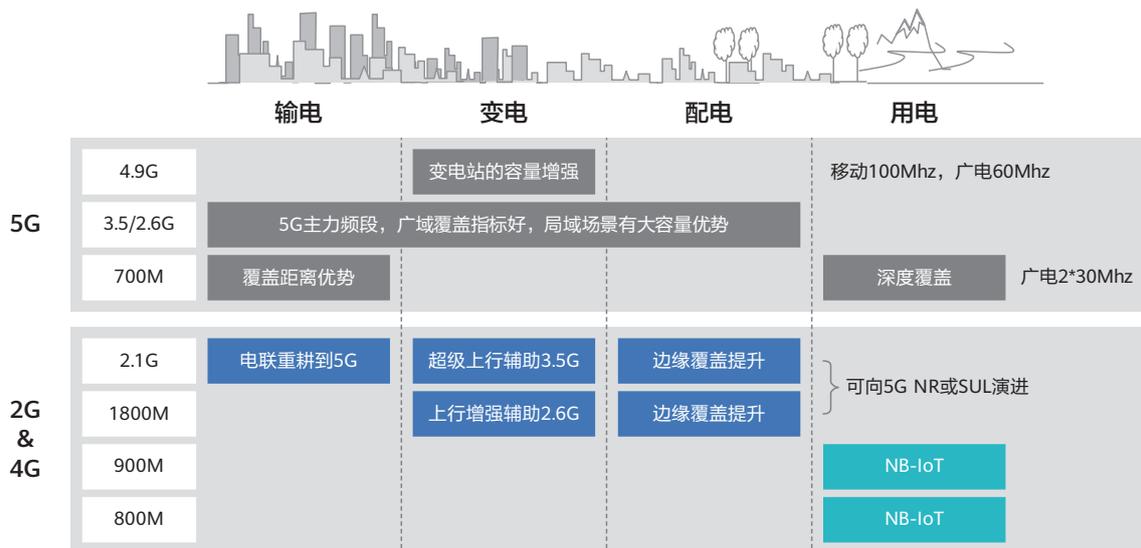


图 2.1.2.1 不同无线频段灵活适配电网不同场景

2、采用不同基站形态，灵活适配电网不同场景的通信需求：

基站形态	发电场景	输电场景	变电场景	配电场景	用电场景	地下管廊
宏站 (室外)	主力站型，提供发电厂大规模视频监控的回传	主力站型，提供线路视频监控的回传和无人机巡检	变电站主力站型，提供站内视频监控的回传和机器人巡检	主力站型，提供站内视频监控的回传和机器人巡检	主力站型，提供广覆盖能力，收集用户用电数据	
杆站				作为广域覆盖的补充		
微站				作为广域覆盖的补充		主力站型，用于管廊内的连续覆盖，视频回传和语音业务
小站 (室内)	发电站办公场景		变电站办公等室内场景			主力站型，用于管廊内的连续覆盖，视频回传和语音业务

表 2.1.2.1 不同基站形态灵活适配电网不同场景

3、采用多种无线切片方案，灵活适配电网不同业务场景的隔离需求：

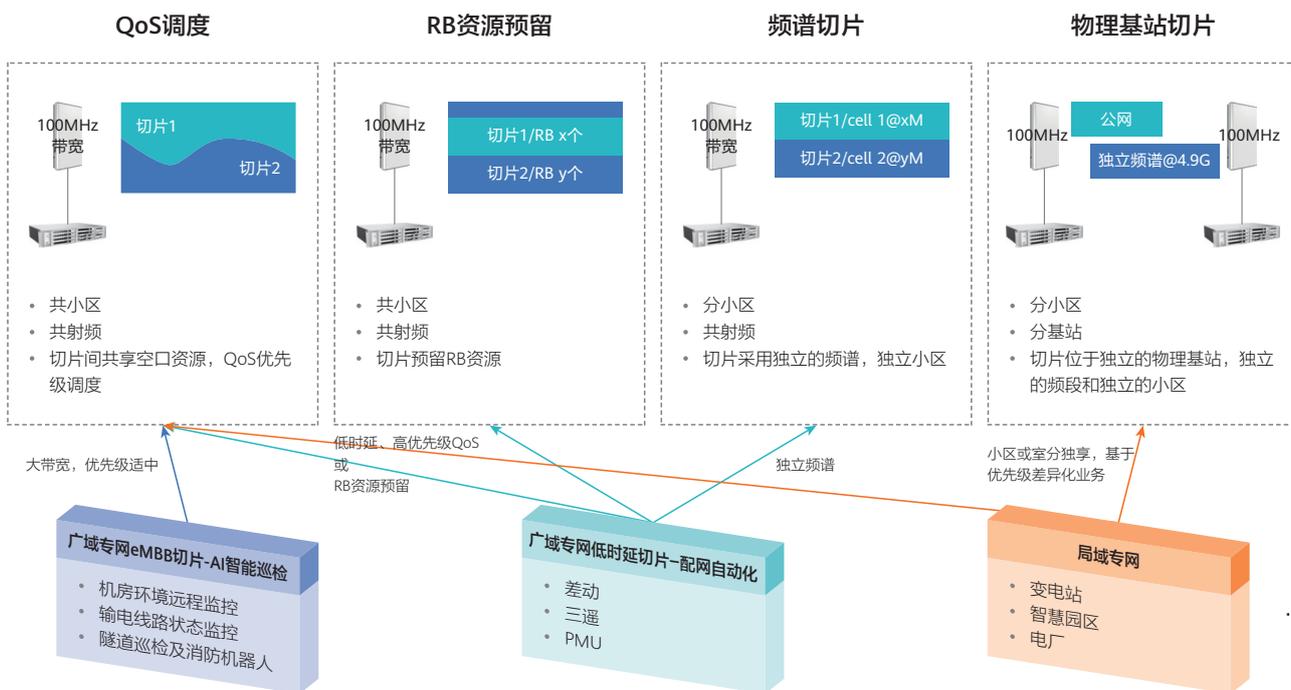


图 2.1.2.2 多种无线切片方案灵活适配电网不同场景

4、采用多种技术手段，灵活应对电网不同场景的上行大带宽需求：



图 2.1.2.3 多种技术手段灵活应对电网上行大带宽需求

## 2.2 5G承载网建设方案

### 2.2.1 5G 承载网建设思路

- 1、基于 FlexE/G.MTN 硬隔离技术创建独立网络切片，确保电网业务安全可靠；超低时延类业务采用独立切片承载，确保业务低时延承载；小带宽切片需求，可以采用 X Mbps 级 FlexE 小颗粒技术满足；
- 2、承载网物理组网需要具备双路由，结合双归属保护功能，实现链路、节点故障的 50ms 恢复能力；
- 3、低时延业务关联的电力设备，规划阶段要求接入到同一区域的承载网设备，实现业务就近转发，避免传输跨区域业务调度导致无法满足时延要求：每 100KM 传输距离会产生 0.5ms 传输时延，在评估承载网时延时需要综合评估无线设备到 UPF/MEC 的光纤距离。

### 2.2.2 5G 承载网方案建议

- 1、从网络安全隔离视角出发：广域场景的 5G 承载网需要按照接入、汇聚和核心三级的网络架构进行建设，并部署端到端的 FlexE/G.MTN 切片，实现业务硬隔离；

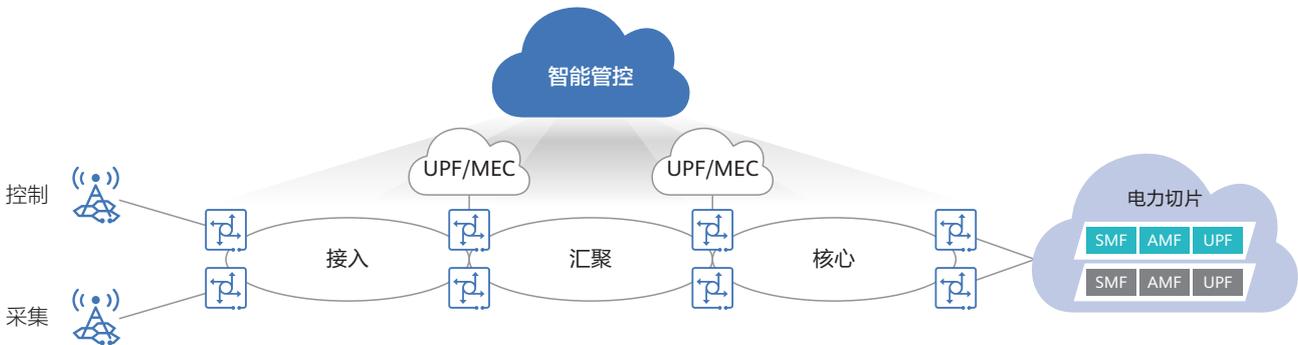


图 2.2.2.1 广域场景 5G 承载网三级网络架构

2、从差异化 + 确定性 SLA 业务体验保障视角出发：

- 1) 电力业务规划单独的端到端 L3 VPN 承载，针对不同的业务，规划不同的 L3VPN；
- 2) 承载网和无线及核心网之间通过 VLAN 作为端到端切片标识的传递；
- 3) 不同业务规划不同的 5QI，在无线和核心网上映射到不同的 DSCP 值，在承载网上实现不同的优先级调度；
- 4) 针对差动保护类低时延业务，需要开启业务 iFIT 逐包时延检测，真实反映业务时延、抖动、丢包率指标；切片端口开启毫秒级带宽检测，实时监控切片带宽利用率。

## 2.3 5G核心网建设方案

5G 电力虚拟专网中网络建设复杂度最高、行业定制化特点最强的子域就是 5G 核心网。

### 2.3.1 5G 核心网建设思路

1、从网络安全隔离视角出发，需要满足如下需求：

- 1) 综合网络建设成本，以及电力十六字方针，建议需要独立部署的电力专用 5GC 网元选择原则如下：

5G 核心网可以分为控制面和用户面，控制面网元主要包含 AMF、SMF、NSSF、AUSF、UDM、PCF 等，用户面主要为 UPF。其中与电力客户业务转发强相关的网元主要为 SMF、UPF。在电力终端接入 5G 网络基本信令及连接建立后，SMF、UPF 将负责电力业务的会话管理和业务转发，具体包括 SMF 负责电力业务的 IP 地址分配管理、UPF 选择、策略实施、QoS 中的控制部分、计费数据采集、漫游等功能。UPF 负责电力业务的路由转发、策略实施、流量报告、QoS 处理等，相当于业务出口网关。因此，建议电力 5G 切片配置专用的 UPF（必选）、SMF（可选）。

- 2) 考虑到电网可能以省 / 市为单位，分别与不同运营商进行商业合作，因此各运营商为电网所提供的专用 SMF/UPF 网元均需要分别独立部署，不能复用。

- 3) 除了 5G 网络内部隔离之外，5G 核心网用户面 UPF/MEC 和电力主站 / 子站之间的 N6 接口，也需要通过专线承载，以确保 E2E 安全隔离。

2、从差异化 + 确定性 SLA 业务体验保障视角出发，考虑到传输距离对时延的影响，需要根据时延要求考虑 UPF/MEC 的下沉位置，UPF/MEC 部署位置尽量和电力主站 / 子站等业务系统的部署原则对齐，避免路由迂回；

3、从可靠性视角出发，基于电力高可靠性需求，生产控制、管理信息大区对应的电力专用 5GC 网元 UPF、SMF 均应考虑冗余备份（同城或异地）方案。

### 2.3.2 5G 核心网方案建议

5G 电力虚拟专网中的核心网部分，总体可以分为公网专用（部分网元共享 + 部分网元独立专用相结合）与专网专用（完整 5GC 均由行业专用独占）两大模式，其中前者根据具体的独立专用网元不同，又可进一步细分为仅用户面 UPF 专用、以及用户面 UPF+ 信令面 SMF 专用 2 种子方案。下表小结了上述 3 种部署方案的主要优缺点对比：

建设方案	公网专用 1：电力仅专用 UPF	公网专用 2：电力专用 UPF+SMF	专网专用 3：电力专用 5GC
安全隔离	中 (用户面物理隔离)	中 (用户面物理隔离 + 信令面会话强相关网元物理隔离)	高 (用户面 + 信令面全物理隔离)
建设成本	中低	中	高
运维成本	中	中	高
优点	网络架构相对简单、易实施、部署成本最低，对行业客户的 ICT 自运维能力要求不高	平衡网络建设运维成本和电网安全隔离需求	为电网独立建设专用 5GC，物理隔离，安全隔离性最好
缺点	信令面采用共享方案，行业客户可能会有安全顾虑	信令面除 SMF 网元外的其它网元仍然采用共享方案，行业客户可能仍会有顾虑，认为不够彻底	建设和运维成本最高，对行业客户的 ICT 自运维能力要求高（也可选择运营商代维）

表 2.3.2.1 5G 电力虚拟专网核心网建设方案对比

2.3.2.1 方案 1：公网专用：为电力独立部署专用 UPF 网元方案

1、从网络安全隔离及 SLA/QoS 业务体验保障视角出发：

针对 UPF，由于运营商在用户面上的一致规划原则均采用以省、市为单位下沉部署，并可按需进一步下沉到区县或者园区。因此针对电力专用核心网用户面（UPF），在满足大区间 / 内业务隔离的基础上，还需要考虑与电力业务的流向进行匹配，避免流量迂回。

根据电网业务需求，在各省集中部署省级 UPF+MEC，卸载省集中的业务流量，在各地市分别集中部署地市级 UPF+MEC，卸载本市流量。对于变电站特殊场景，可考虑区级部署 UPF+MEC，如以若干个变电站为一个区域，共用 UPF+MEC。

对于运营商网络域而言，UPF+MEC 基于“就近终结”原则进行部署，根据不同业务的管理单位不同，选择对应的三级 UPF+MEC 进行路由转发，确保进入电力专网的路径最短：

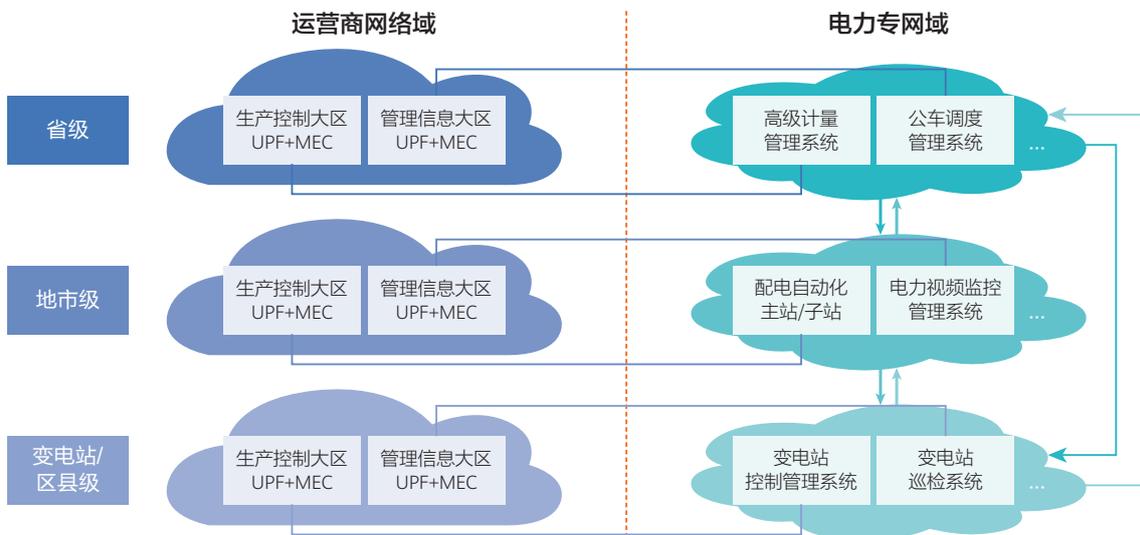


图 2.3.2.1 电力专用 UPF 三级架构部署示意图

- 1) 省级：主要针对省集中业务（主站在分子公司），UPF 在省公司层面部署，卸载省集中的业务流量，如计量、公车监控等。
    - 运营商侧：电网业务终端通过无线基站，经本地 + 省内跨地市承载网接入省及 UPF 进行流量转发，N6 接口根据电力业务类型开通不同的 DNN 专线至电网客户侧（若 UPF 部署在电力机房，则无需专线）。省级 UPF 通过运营商信令专网，与大区 / 省集中的控制面相关网元进行信令交互。
    - 电网侧：N6 专线在电力侧落地后，经过电力的业务转发点 + 电力承载网进行业务分发，在进入各业务主站前，根据安全防护要求配置安全接入区或 DMZ 区等（若后续 5G 切片的安全性得以权威验证认可，可以考虑取消安全接入区，大幅降低业务时延，提升业务体验）。
  - 2) 地市级：主要针对地市终结业务（主站在地市局），UPF 地市集集中部署，卸载本市流量，如配电自动化三遥、配网差动保护、精准负荷控制、配网同步相量测量、配变监测、智能配电房、输电线路在线监测等。
    - 运营商侧：电网业务终端通过无线基站，经本地承载网接入地市 UPF 进行流量转发，N6 接口根据电力业务类型开通不同的 DNN 专线至电网客户侧（若 UPF 部署在电力机房，则无需专线）。地市 UPF 通过运营商信令专网，与大区 / 省集中的控制面相关网元进行信令交互。
    - 电网侧：N6 专线在电力侧落地后，经过各地市电力的业务转发点 + 电力承载网进行业务分发，地市业务直接卸载，省集中业务由电力承载网转发至省中心业务主站。在进入各业务主站前，根据安全防护要求配置安全接入区或 DMZ 区等（若后续 5G 切片的安全性得以权威验证认可，可以考虑取消安全接入区，大幅降低业务时延，提升业务体验）。
  - 3) 变电站 / 区县级：特大型城市、变电站 / 换流站、抽水蓄能电厂等大型封闭区域。主要针对大型变电站、大型电厂或区域性的巡维监控中心等高要求场景，建议采用 UPF+MEC 按需下沉至变电站或区县级，以满足电力低时延业务需求（如 <math><15\text{ms}</math>）、业务不出园区、边缘计算应用等需求。
- 2、从可靠性视角出发：基于电力高可靠性需求，生产控制、管理信息大区对应的 UPF 网元均应考虑冗余灾备方案。不论其部署位置在省、地市或者区县 / 园区，均需要在生产控制大区和管理信息大区内部进行容灾备份，推荐采用主备容灾。



### 2.3.2.2 方案 2：公网专用：为电力独立部署专用 SMF+UPF 方案

对于专用 UPF、SMF 建设的必要性，除安全隔离的基本要求以外，电网企业设置专用 UPF、SMF 网元对业务质量自定义、计费稽查、安全增强等方面具有较大意义。电力行业关键定制化需求及其和 SMF、UPF 的相关性如表 2.3.2 所示：

序号	电力关键定制化需求	SMF 相关性	UPF 相关性
1	<b>IP 地址自主可控：</b> 在运营商指定的段内，电网客户希望能够通过固定 IP 或动态 IP 的方式为电网终端指定地址	Y	Y
2	<b>UPF 路由自主选择：</b> 电网客户希望能够通过专用 SMF 控制选择不同专用 UPF	Y	Y
3	<b>业务质量自定义：</b> 电网客户希望能够利用专用 SMF 对不同卡的 PDU 隧道进行维护，或通过专用 UPF 自行配置流量控制策略	Y	Y
4	<b>计费核查：</b> 电网客户希望能够进行计费话单信息采集，实时掌握业务的话单信息	Y	Y
5	<b>安全增强：</b> 在鉴权、认证、加密等环节对电力业务的安全保障提供支撑。 例如在电力终端二次鉴权中，需要 SMF 把 SUPI 和 NSSAI 信息传给电力 AAA 服务器	Y	Y

表 2.3.2. 电力行业关键定制需求及其与 SMF、UPF 相关性分析

本方案中，针对 UPF/MEC 的部署建议同 3.3.2.2。而针对 SMF 的部署，由于不同运营商的核心网网络部署规划存在差异性，因此电力专用 SMF 需要匹配不同电信运营商的核心网控制面布局，尽量避免跨区调度，流量迂回。

同时，电力专用 SMF 可以考虑物理独立（专享硬件服务器），也可以考虑逻辑独立（共享硬件服务器和 IaaS，为电力配置独立的 VNF）。

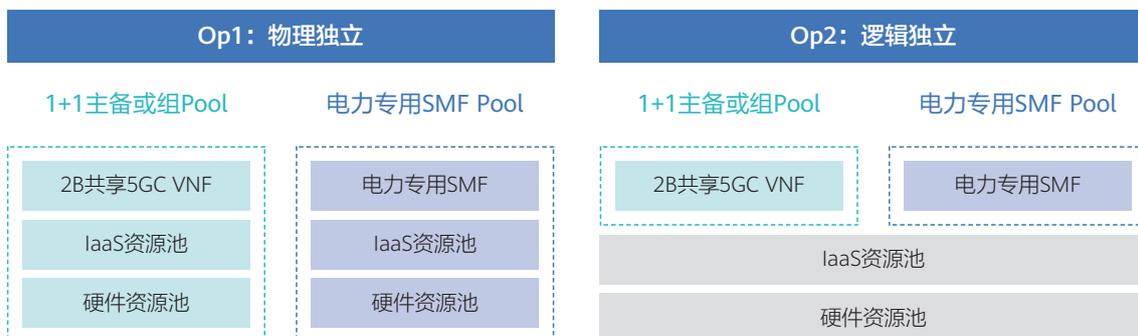


图 2.3.2.2 电力专用 SMF+UPF 部署示意图

## 2.3.2.3 方案 3：专网专用：为电力独立部署完整 5GC 方案

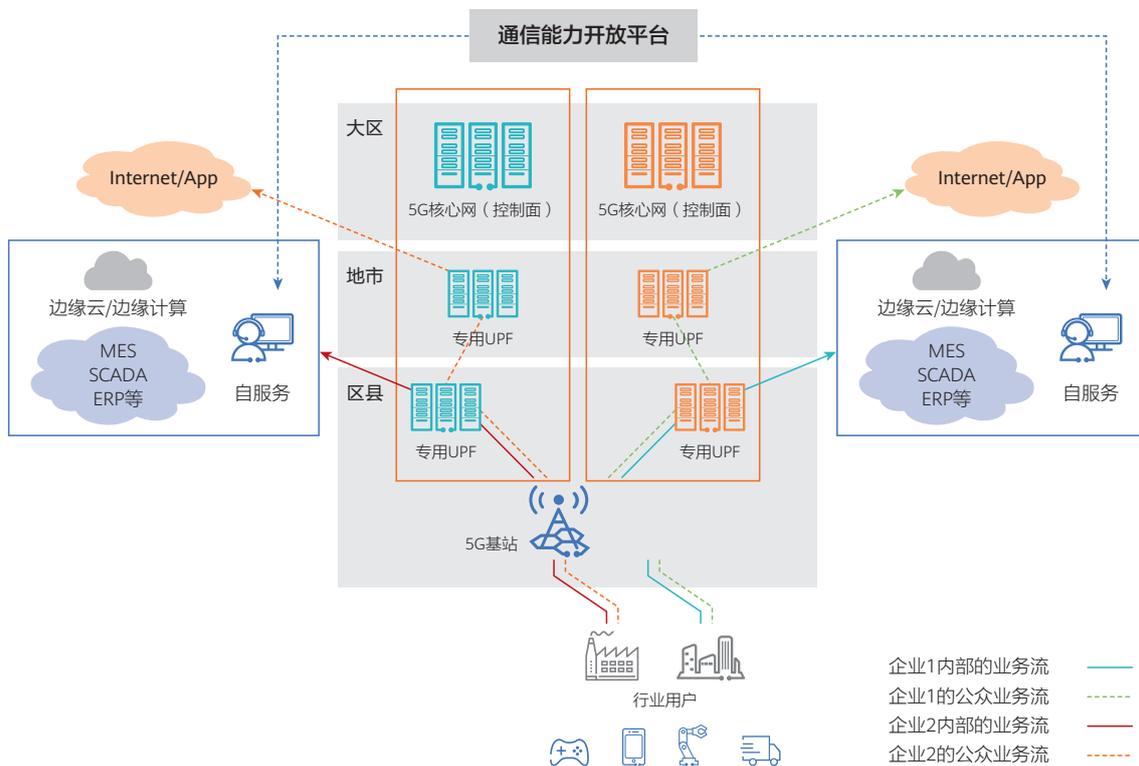


图 2.3.2.3 为电力独立部署 5GC 示意图（来源：5GAIA）

行业专用 5G 核心网切片的特点如下：

- 为行业提供完整 5G 核心网，网络资源物理专用
- 其中信令面建议集中部署，用户面 UPF/MEC 可按需部署至县及区县以下，提供更好的用户体验
- 区别于传统 MOCN 虚拟运营商方案，在实际部署时，行业用户的开户信息原则上需要由运营商统一管理
- 本场景下，电力行业专用 5GC 同样需要支持网络切片，并同样适用本白皮书第二章的总体设计思路。

该方案对行业 / 企业自我管理自服务的能力要求高，适用于对行业业务性能指标有强需求，且对安全隔离需求有强烈诉求的大型企业，且以有限覆盖的园区局域专网场景为主。

# 5G电力虚拟专网管理与服务方案

## 3.1 电网对5G行业虚拟专网的自我管理需求

基于电网对 5G 网络使用的自服务需求，运营商需实现以下网络能力的开放，以满足电网对 5G 网络可观、可管、可控的诉求：

### 1、5G 电力切片服务管理

#### 1) 切片订购开通

电网使用的 E2E 网络切片的生命周期管理，包括切片管理（切片订单），如切片基本信息定义、SLA 定义、变更、终止，切片订单的查询，切片方案设计，切片自动开通，切片实例管理，切片按需修改，切片激活、去激活，切片扩容等。

#### 2) 卡号开通

对电网采购的 SIM 卡的开通、切片关联、信息配置、管理。

### 2、5G 电力切片网络管理

#### 1) 切片管理

切片基本信息展示，切片状态监控，切片拓扑呈现，切片事件（通过对无线无线、承载、核心网三域重要故障告警监控，比如小区退服告警，无线、承载、核心网三域重要事件监控，比如链路倒换，进行切片级业务影响分析，形成切片级事件），切片 KPI 指标如带宽、时延等。

#### 2) 终端用户管理

通信终端状态监控，终端业务模拟拨测，通信终端事件管理，通信终端性能列表，通信终端业务 SLA 可视，业务 SLA 告警，业务端到端故障辅助定界定位等。

### 3、5G 电力切片计费管理

对电网使用的 5G 网络能力支持多量纲、多模式计费方式。



### 3.2 5G电力虚拟专网管理与服务总体架构建议

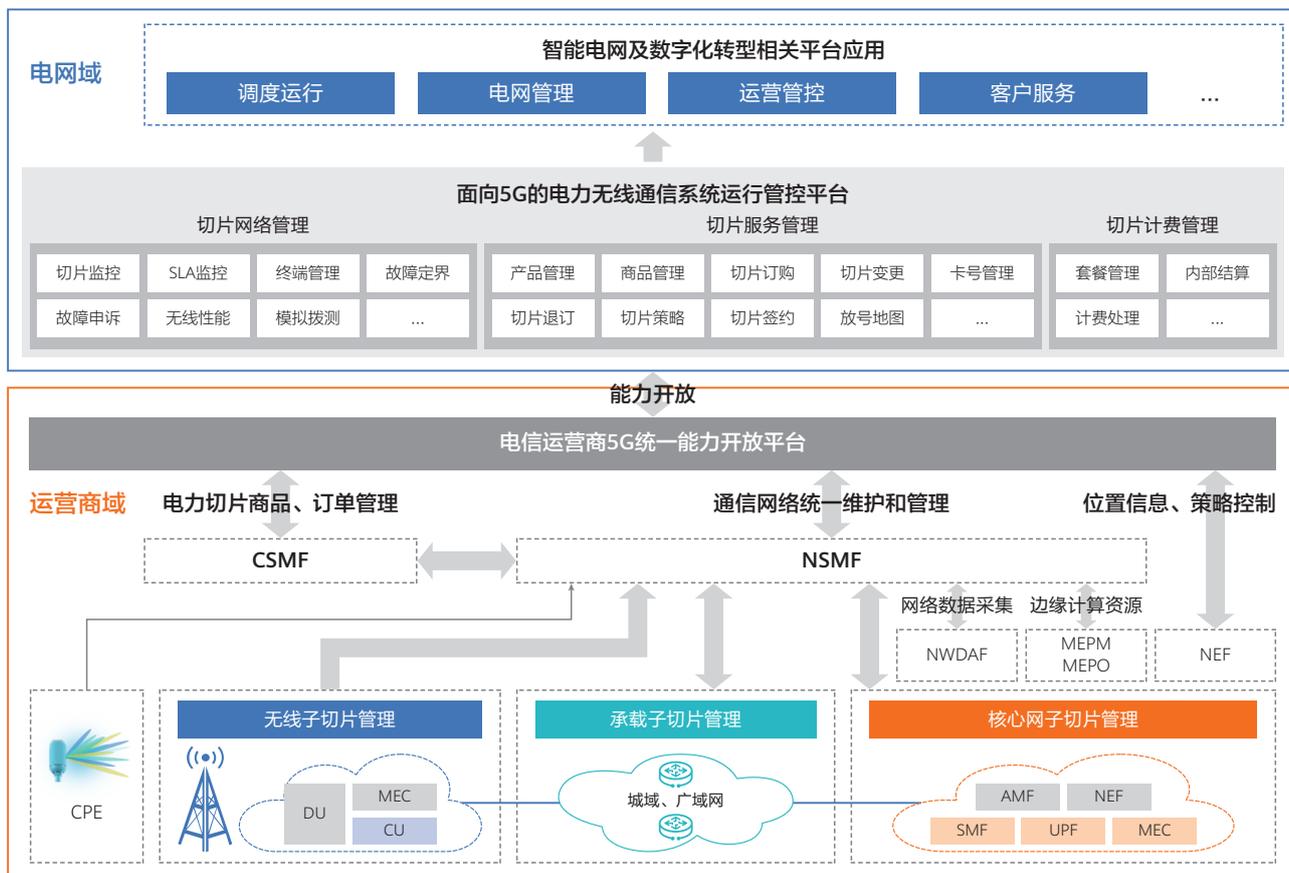


图 3.2 5G 电力虚拟专网管理与服务总体架构建议

**总体设计原则：**基于“公网专用、能力开放、分权分域”的理念，通过电信运营商的 5G 统一能力开放平台，向电网开放对应的 5G 行业虚拟专网服务和能力，主要包括 5G 电力切片、电力专用网元（如 UPF/MEC 等）、电力通信终端、业务 SLA 的可视、可管、可控能力及故障定界、故障快速恢复能力，让电网行业客户像用水、用电一样，实现对 5G 行业虚拟专网的“简简单单购买、明明白白消费”。根据电力行业的 5G 电力虚拟专网管理需求，重点针对必选项及边缘计算的详细功能设计如下：

序号	管理类型	5G 主要的开放能力实体	所能开放的能力范围	对电网的价值	重要性
1	切片服务管理	CSMF (切片服务管理功能)	E2E 网络切片的生命周期管理, 包括切片商品信息、切片订购受理、费用台帐、连接管理; SIM 卡的开通、切片关联、信息配置、管理等。	线上业务 / 服务订购、台帐、计费管理	必选
2	切片网络管理	NSMF (网络切片管理功能)	E2E 网络切片的生命周期管理, 切片网络开通、切片变更、切片终止等; 5G 网络的信息可视, 包括切片网络拓扑、带宽、时延、核心网资源利用率、切片网络故障告警、网络质量拨测等指标。	资源预警及故障定位	必选
3		MEAO (MEC 资源编排功能)	根据 APP 需求, 对 MEPM、基础设施资源进行编排, 包括服务器、CPU、内存、存储、虚拟机等。	边缘计算的资源编排管理	可选 (注 1)
4		MEPM (MEC 平台管理功能)	MEP 资源管理, 包括服务注册、策略控制、APP 应用规则设置、服务申请管理、生命周期管理。	边缘计算应用服务管理	可选 (注 1)
5		NWDAF (网络数据分析功能)	带宽、流量、时延、时长、业务体验等多量纲数据统计。	数据采集	可选
6	策略控制	NEF (网络开放功能)	位置信息、IP 地址配置、流量控制策略定义配置等。	通道质量自我管理、自调度	可选
7	能力开放	统一能力开放平台	通过 API 接口, 面向内、外部渠道, 提供能力注册、能力调用、能力计费一站式服务平台。	一站式能力接口	可选

表 3.2 5G 电力虚拟专网管理与服务需求细化

注 1: 未来电力专用 MEC 存在两种可能性: 1) 电网租用运营商 MEC; 2) 电网自建 MEC。如果采用方案 1), 即基于运营商公网专用、能力开放的思路, 则可以选择上述 2 个功能; 如果采用方案 2), 则不需要。

注 2: 表 4.2 重点从需求视角描述了电力行业客户希望实现的 5G 电力虚拟专网能力开放需求, 未来具体落地时, 建议结合运营商平台实际情况共同进行接口定义、能力设计和平台对接。

### 3.3 5G电力虚拟专网管理面部署方案建议

经调研, 5G 面向行业的业务拓展, 未来预计主要采用“省级受理业务, 集团集约支撑”的方式, 电力侧的管理平台与运营商的能力开放平台对接, 具备全网统一技术版本的条件下, 后续电力企业的专网管理平台部署方案建议如下:

- 兼容性方面:** 首先平台要具有兼容性, 实现电力无线通信的统一运行管控。包括对各大运营商的兼容(移动、电信、联通)、对无线公网各种制式的兼容(2、3、4、5G、NB-IOT)。
- 功能规划方面:** 除了兼容多种制式, 还需要通过和运营商网络能力运营平台对接, 实现对通信终端的综合管理, 具备对通信质量的完整分析能力。
- 平台布局方面:** 要匹配电网自身业务流量特点, 避免流量迂回, 同时匹配运营商对物联网、5G 相关系统布局, 以集约管理为基本原则, **建议以省为基本单位开展布局, 并做到网、省、地三级协同**, 省公司平台将作为业务受理开通的主要入口, 完成基础性的外部接口对接、数据查询、切片订购、状态检测、资费处理等功能, 网公司收集各省数据进行全网的运行分析, 地市公司通过省公司的数据开放, 实现个性化应用创新。

- 4、**平台部署方面**：全网需要在数据格式、接口规范、管理对象、性能参数，监控统计等方面具备统一的基线版本。同时注重对电力其他系统的数据开放，助力数字电网各类应用创新。
- 5、**标准化工作方面**：由于不同省份使用的能力开放平台厂商不同，存在接口不统一的情况，建议电网与运营商 / 信通院一起，共同定义电力系统能力开放接口行标，减少多次适配工作。

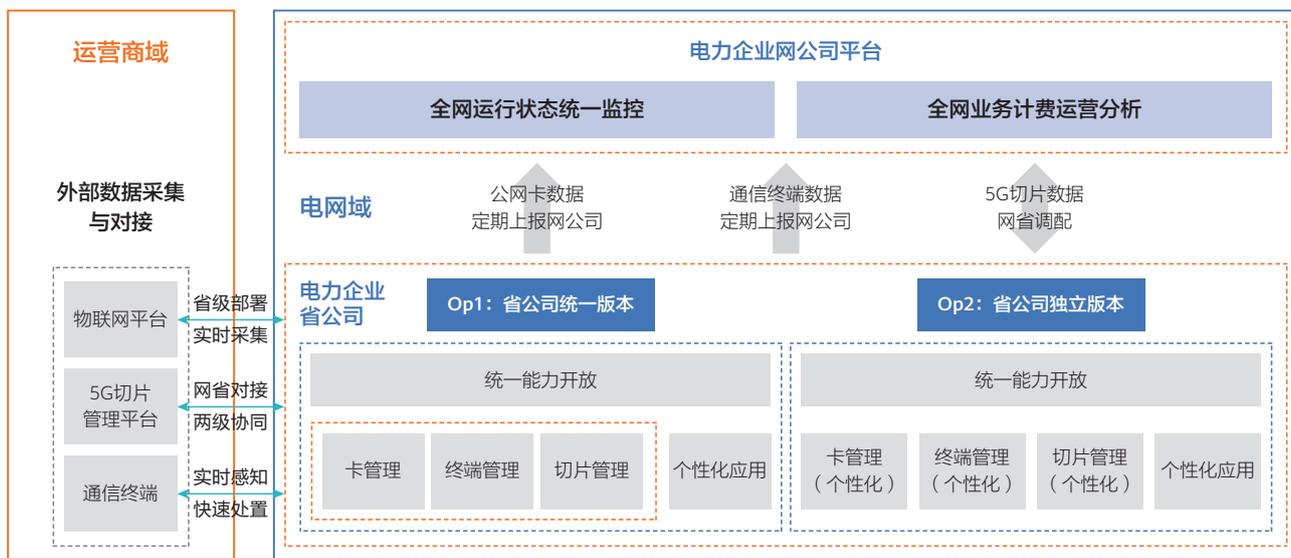


图 3.3 5G 电力虚拟专网管理面部署方案建议



# 小结与展望

如果说 2019 年是 5G 商用的元年，那么 2020 年就是 5G 实现行业市场商用的元年。国家电网、中国南方电网、中国移动、中国电信、中国联通、华为、四方继保等 5G 确定性网络产业联盟成员单位，积极探索 5G 确定性网络赋能电力行业数字化转型，并在应用试点、标准推动、终端补齐等方面取得了业界领先的阶段性成果：

2020 年 1 月，由南方电网、中国移动、华为联合完成发改委 5G 应用示范项目验收，首次实现无线、传输、核心网端到端切片运营流程的打通，并稳定运行在电力切片平台上。这标志着 5G 电力切片首次实现端到端打通。

2020 年 6 月底，由国网青岛供电公司、中国电信青岛分公司和华为联合开发的青岛 5G 智能电网项目一期工程正式交付投产，并成功签署业界首个 5G+ 智能电网的商业合同。这标志着 5G+ 智能电网开始从应用试点走向商业落地。

2020 年 7 月，由中国电信牵头并联合中国南方电网、国家电网、华为、中国移动、中国联通等 5G 确定性网络产业联盟成员单位，以及海内外运营商、设备商等 28 家成员单位提交的 5G 智能电网研究项目在 3GPP R18 中成功立项，将第一次定义 5G+ 智能电网端到端标准体系架构，为 5G+ 智能电网的快速发展奠定标准框架和平台。

2020 年 8 月，由南方电网、中国移动、华为联合研发的电力 5G 授时 CPE 在深圳现网试商用，其授时精度、通道延时、线路差流都达到预期指标。这标志着 5G+ 智能电网在产业生态成熟上迈出了坚实的步伐，5G 电力行业终端正在快速补齐。

2020 年 12 月，南方电网深圳供电局联合深圳移动、华为在国内电力行业率先应用 5G 商用独立组网，并于龙岗区成功投运自动化三遥智能柜应用终端，2020 年完成 101 个 5G 电力终端的商用部署，2022 年商用终端将超 4400 个，形成输、变、配、用全领域全业务可复制、可借鉴的商用基线。南方电网广东广州供电局则联合广州移动、华为，启动广州南沙 5G+ 智能电网应用示范区建设。2020 年完成一键顺控、变电巡检机器人、配电自动化三遥、配网 PMU 等 15 类业务 5G 连通性测试。预计 2022 年将完成 8000 余个电网业务终端 5G 改造，实现 51 类业务集中示范。这标志着 5G+ 智能电网在 5G 规模化应用方面迈出了坚实一步。

伴随着 5G+ 智能电网进入商用快车道，5G 电力虚拟专网的规模建设也开始提上历史日程。在此背景下，5GDNA 联盟组织编写白皮书的初衷，也正是为了更好的顺应产业发展进程，为运营商向电力行业客户提供虚拟专网服务提供有益的参考。当然，我们也清醒的认识到，要想实现 5G+ 智能电网规模商用的目标，还需要持续从技术、商业、生态、政策等视角进行全方位推动，真正打通产业断点。因此，下阶段 5GDNA 联盟能源互联网行业组还将重点聚焦 5G 确定性网络使能智能电网的安全解决方案、商业模式等专题研究，为基于 5G 确定性网络的电力虚拟专网规模商用做好充分准备。

# 主要参考文献

1. 3GPP TS 23.501 5G 系统架构 System Architecture for the 5G System
2. 3GPP TS 29.531 网络切片选择服务 Network Slice Selection Services
3. 3GPP TS 28.531 网络和网络切片的管理和编排；提供（Management and orchestration of networks and network slicing; Provisioning）
4. 国家能源局. 国能安全 2015【36号】《电力监控系统安全防护总体方案》. 2015年
5. 5G 确定性网络联盟.《5G 确定性网络 @ 电力系列白皮书 I：需求、技术及实践》. 2020.09
6. 5G 应用产业方阵.《5G 行业虚拟专网网络架构白皮书》. 2020.07
7. 中国移动.《中国移动 5G 行业专网技术白皮书》. 2020.6
8. 中国电信.《中国电信 5G 定制网产品指导手册》. 2020年
9. 中国联通.《中国联通 5G 行业专网白皮书（2020）》. 2020年
10. 国家电网, 中国电信, 华为.《5G 网络切片使能智能电网产业报告》. 2018.01
11. 中国南方电网, 中国移动, 华为.《5G 助力智能电网应用白皮书》. 2018.06
12. 陶志强, 王劲, 汪梦云.《5G 在智能电网中的应用》. 2019年



# 缩略语

5GC : 5G Core 5G 核心网

5GDNA : 5G Deterministic Network Association 5G 确定性网络产业联盟

AMF : Access and Mobility Management Function 接入和移动管理功能

AUSF : Authentication Server Function 鉴权服务器功能

DTU : Data Transfer Unit 数据传输单元

NSSF : Network Slice Selection Function 网络切片选择功能

PCF : Policy Control Function 策略控制功能

PMU : Phasor Measurement Unit 相量测量装置

RB : Resource Block 资源块

SMF : Session Management Function 会话管理功能

UDM : Unified Data Management 统一数据管理

UPF : User Plane Function 用户平面功能





本文档版权归 5G 确定性网络产业联盟所有，保留一切权利。  
非经 5G 确定性网络产业联盟书面同意，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本手册内容的  
部分或全部，并不得以任何形式传播。