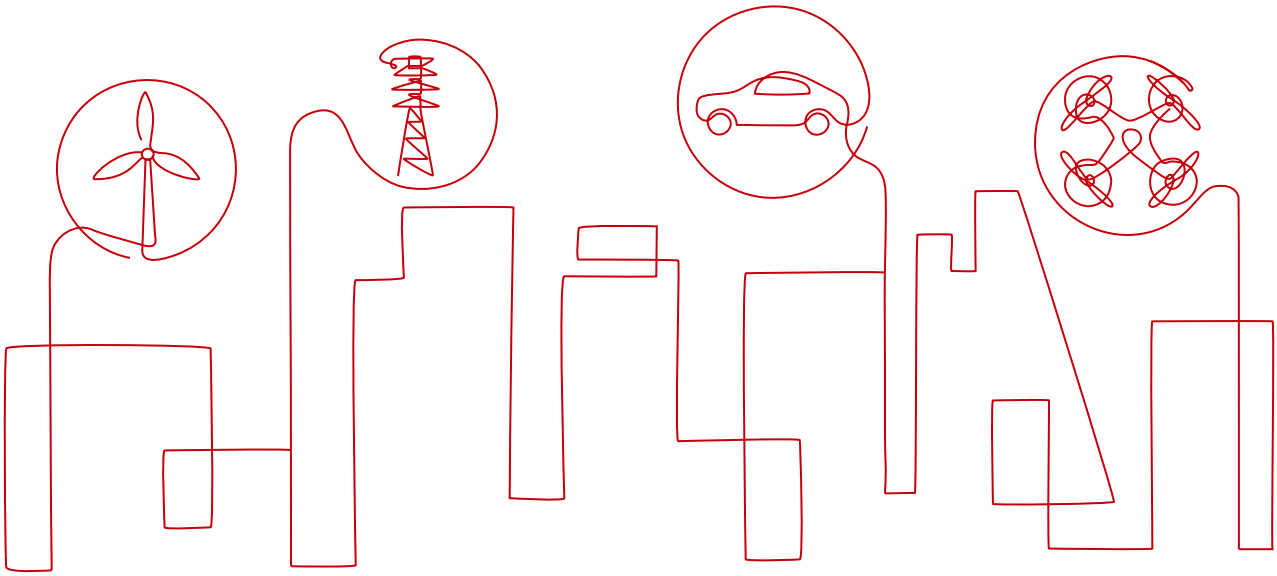
5G DNA
Deterministic Networking Alliance
确定性网络产业联盟

5G 确定性网络 @ 电力系列白皮书 I: 需求、技术及实践



中国南方电网 CHINA SOUTHERN POWER GRID
广东省电信规划设计院有限公司 GUANGDONG PLANNING AND DESIGNING INSTITUTE OF TELECOMMUNICATIONS CO.,LTD.
国家电网 STATE GRID 全球能源互联网研究院有限公司
国家电网 STATE GRID 国网青岛供电公司
四方
NARI 南瑞集团
中国移动 China Mobile
中国电信 CHINA TELECOM
China unicom 中国联通
HUAWEI

目录

前言

5G确定性网络@电力之需求洞察 01

1.1 行业数字化要求差异化、专属和可自定义的3D网络服务 01
1.2 电力是5G确定性网络最具代表性的行业之一 02
1.2.1 电力典型场景对5G确定性网络需求概览 02
1.2.2 电力对5GDN差异化网络的需求洞察 03
1.2.2.1 持续上行带宽流量需求 04
1.2.2.2 毫秒级的网络时延和抖动需求 05
1.2.2.3 对连续丢包性能的需求 06
1.2.2.4 微秒级的时钟同步需求 06
1.2.2.5 4个9的通道可用性需求 07
1.2.2.6 非IP化传输需求 08
1.2.3 电力对5GDN专属网络的需求洞察 08
1.2.4 电力对5GDN自助网络的需求洞察 09
1.2.4.1 E2E切片自助服务需求 10
1.2.4.2 电力专用MEC自助服务需求 10

5G确定性网络@电力之关键技术方案 11

2.1 5GDN@电力关键支撑技术与需求匹配 11
2.2 无线域 12
2.2.1 精准时钟同步授时 12
2.2.2 超级上行SUL 13
2.2.3 灵活的无线隔离调度技术 14
2.2.4 Non-Slot特性缩短上下行时延 14
2.2.5 上行免调度传输（UL Grant-free） 15
2.3 承载域 15
2.3.1 硬隔离(Hard Isolation)技术 15
2.3.2 软隔离(Soft Isolation)技术 16
2.4 核心网域 16
2.4.1 多路冗余传输 17
2.4.2 5G LAN 18
2.4.3 核心网隔离技术 18
2.4.4 电力MEC多接入边缘计算 19
2.5 安全域 19
2.5.1 5G电力终端安全解决方案 20
2.5.2 5G电力网络安全解决方案 20
2.6 管理支撑域 20
2.6.1 E2E电力切片自管理 21
2.6.2 电力MEC自管理 22

5G确定性网络@电力之应用实践 22

3.1 南方电网&中国移动深圳5G智能电网应用案例 23
3.2 国家电网&中国电信青岛5G智能电网应用案例 24
3.3 国家电网&中国联通驻马店5G智能电网应用案例 25

小结与展望 26

附录 27

前言

无切片，不To B。网络切片是5G区别于4G的标志性技术之一，是5G使能千行百业数字化转型升级的关键技术底座。伴随着3GPP R16标准的基线化、CCSA端到端网络切片标准以及中国三大运营商5G SA独立组网建设的有序推进，2020年将成为中国5G 2B商用的元年。而2B相比2C的最关键差异化需求在于行业需要的是一张确定性网络，也就是说能为所承载的业务提供包括时延、抖动、丢包率等关键指标在内的确定性业务保证的能力。5G确定性网络（以下简称5GDN）依托5G原生的超大带宽、超低时延超高可靠性、海量接入三大特性，结合网络切片、MEC边缘计算等关键解决方案，可以完美的匹配电网行业对于业务可用、安全可靠、可管可控的核心诉求，为电力终端接入网提供了泛在、灵活、低成本、高质量的全新技术选择，因此业界公认电力有望成为5G 2B商用的第一波行业之一。

为此，5GDNA（5G确定性网络产业联盟）能源互联网小组集合了电网公司、电力终端和应用提供商、系统集成商、电信运营商、网络设备提供商等端到端产业链的力量，共同编制了本篇白皮书，一方面旨在统一产业共识、形成电力行业对5G确定性网络的需求基线，另一方面也希望能够有助于运营商提前做好网络能力准备，共同加速5G智能电网的商用进程。

本白皮书作为《5G确定性网络产业白皮书》的系列化行业衍生白皮书之一，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，接着以原子能力的方式，针对匹配行业需求所需要的关键技术和解决方案进行了介绍，最后再辅以外场PoC的实测结果，通过理论与实践的有机结合，初步验证了5G确定性网络赋能智能电网和能源互联网行业数字化转型的可行性。

- 5G确定性网络@电力
  =5GDN差异化网络（确定性的带宽+时延+抖动+连续丢包率+时钟同步+通道可用性+非IP化传输）
  +5GDN专属网络（隔离+安全）
  +5GDN自助网络（切片自助服务+电力专用MEC自助服务）

- 5G确定性网络@电力的解决方案=基于网络切片+MEC的5G电力行业虚拟专网

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、广东省电信规划设计院有限公司、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、国网青岛供电公司、北京四方继保自动化股份有限公司、南京南瑞信息通信科技有限公司、中国移动通信集团有限公司、中国电信集团有限公司、中国联合网络通信集团有限公司、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、刘建明、张国翊、洪丹轲、王劲、杨晓华、赖剑锋、黄伟如、林柔丹、沈鹏、李炳林、郭云飞、徐群、刘明峰、李坤、徐骏、许健、胡阳、李洋、张影、吴沛喆、胡玉双、李勇、夏旭、蒋春元、梅承力、文涛、肖羽、周汉、刘奇、郝晶晶、孙磊、王维、周建勇、丘国良、付佳佳、吴赞红、林和昀、孙严智、董武、洪杰、陆国生、叶萌、黄观金、谢俊毅、徐全、杨根甜

5G确定性网络@电力之需求洞察

1.1 行业数字化要求差异化、专属和可自定义的3D网络服务

综合10多个行业100多个应用场景的解析和实践，行业数字化对5G网络的诉求可收敛为3个维度，即能力可编排的差异化（Differentiated）网络，数据安全有保障的专属（Dedicated）网络，以及自主管理可自助服务的DIY网络。

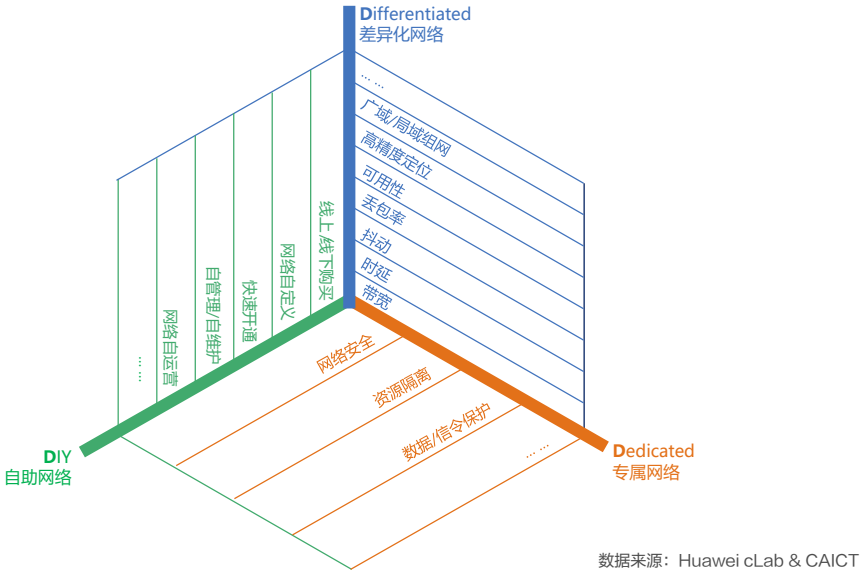


图 1-1行业数字化对网络SLA的3D要求（来源：《5G确定性网络产业白皮书》）

差异化网络是行业数字化的关键诉求。不同于公众消费者用户的普遍需求，行业应用的需求天然是千差万别、多维度的。比如远程抄表，需要的网络连接很多，对带宽和时延并不敏感。而远程医疗、自动驾驶等业务对网络的确定性低时延、安全可靠提出更高的要求，甚至要达到6个9，每年的故障时间只有几秒钟。5G为行业数字化打开想象空间，缘于5G可以提供多维度的有体验保证的网络能力。

专属网络保证数据安全隔离和数据隐私的保护，是行业应用的普遍要求。对于工业互联网、智能电网等行业，网络安全、分权分域管理、资源的隔离、数据及信令的保护是这类严苛类行业应用场景基本的要求。用户数据以及业务数据不出园区，要求做到公网专用，是行业应用的共性需求。

可DIY的自助网络，是行业敏捷创新不可或缺的部分。响应快速变化的业务需求，行业用户希望自定义、按需设计、DIY自己的网络。以园区物联网场景为例，客户希望可以自主完成物联网络服务能力的编排/调度/管理，灵活的组网并部署创新应用，随时添加或删除设备。

基于这三个维度构筑确定性能力的网络，就是运营商推动各行业在5G时代实现数字化转型的核心资产，也就是5G确定性网络（5GDN）。5GDN所能够提供的差异化程度越高、越灵活，则5G网络就能够被应用于更多的潜在市场；5GDN可达到的SLA确定性越强，则可以进入更高端、潜在收入空间更大的细分市场（如工业自动化、能源互联网等）。

1.2 电力是5G确定性网络最具代表性的行业之一

2019年，5G确定性网络在全球各区域均开展了广泛的试点部署。特别在中国市场，由运营商、行业、电信设备提供商、通信服务产业多方联合，在很多领域进行了深入合作探索，并获得了显著成效。这些成果一方面论证了5GDN技术在部分行业已具备了部署应用条件，另一方面，展示出了方案所能够带来的商业价值。

从下表可以看出，智能电网对于5G差异化、专属化和自助服务的需求在TOP代表行业中，都是相关度最高的，属于5G确定性网络最具代表性的行业应用之一。

5GDN维度	智慧港口	智能电网	智能制造	AR/VR
Differentiated差异化网络	◑	●	●	◑
Dedicated 专属网络	◑	●	●	◑
DIY 自助网络	◑	●	◑	◔

● 强相关　◑ 中相关　◔ 弱相关

表 1-1四类典型行业应用与5GDN能力相关度（来源：《5G确定性网络产业白皮书》）

1.2.1 电力典型场景对5G确定性网络需求概览

从电力业务的生产消费环节维度分析，主要涵盖“发、输、变、配、用”5个主要环节，随着电力电力物联网发展，对先进、可靠、高效的新兴无线通信技术提出了较大需求。以南方电网为例，其通过对发、输、变、配、用等电网全业务场景的系统性梳理，共计识别出54种5G+智能电网潜在应用场景（详见附录）。经过多年建设，电力110kV及以上变电站、大型电厂等区域已实现光纤覆盖。尤其在变电环节中，传统的电力生产控制业务，如调度电话、线路保护、安稳控制，自动化EMS、电能计量等已基于光纤实现稳定运行，随着电力物联网及智能变电站的业务发展，如输电线路视频监控、电力隧道环境及视频监控、变电站视频及环境监控、变电站巡检机器人、移动作业/巡检，以及新增的多媒体、物联网类业务（包括生产、安监、市场、物资等）逐步兴起，业务呈现出大带宽、高可靠、移动性等特点，需要考虑引入可靠的无线通信方式解决业务接入。在配用电领域，由于点多面广，现有光纤覆盖建设成本高、运维难度大，难以有效支撑其”可观、可管、可控”。随着大规模配电网自动化、低压集抄、分布式能源接入、用户双向互动等业务快速发展，各类电网设备、电力终端、用电客户的通信需求爆发式增长，传统光纤专网的建设成本高、业务开通时间长，无法满足快速灵活的广域接入需求。同时变电站机器人巡检、输配电线路无人机巡检等移动性场景也对无线通信提出了刚需，因此迫切需要构建安全可信、接入灵活、双向实时互动的通信接入网，并采用先进、可靠、稳定、高效的新兴通信技术及系统予以支撑。

针对上述业务发展特点，我们主要从通信的视角出发，将电力业务对5G确定性网络的诉求收敛为以下四大类型：

1）针对点多面广广域覆盖的配电、用电等业务：基于电力“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”的原则，可进一步细分为生产控制I区、生产控制II区、管理信息区三大业务类型；

2）针对特定区域有限覆盖的发电、变电等业务：从通信网络建设的视角划分独立的局域园区类型，以满足业务数据不出厂站的核心安全隔离需求。在局域园区专网内部，同样存在着生产控制区和管理信息区的多样化场景。

不同类型业务对差异化网络、专属化网络和自定义网络的需求不同，如图1-2所示。图中0~1表示需求程度，10表示需求强烈，0表示无需求。

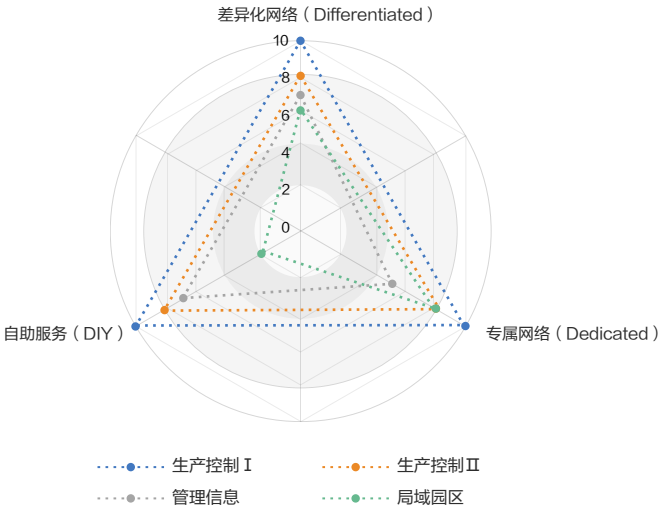


图 1-2 不同类型业务的确定性网络需求

生产控制大区控制区（安全区I）业务是电力生产的重要环节，直接实现对电力一次系统的实时监控，，电力生产的重要环节主要包括配网差动保护、智能分布式配电自动化、精准负荷控制、分布式能源调控等。生产控制I区类业务对时延、抖动等网络性能要求高，同时具有严格的安全隔离和自助管控要求，对专属网络和自助服务的需求度高，传统2/3/4G网络的性能、隔离性和自助服务能力等均无法有效稳定地满足其需求。

生产控制大区非控制区（安全区II）业务是电力生产的必要环节，在线运行但不具备控制功能，主要包括配网高级计量、配网PMU、应急现场自助网综合应用等。该类业务由于不具备控制功能，因此，与生产控制I区类业务相比，对差异化网络性能需求相对较低。但由于该类业务涉及电力生产过程，因此对安全隔离和自助管控需求度较高。

管理信息大区是指生产控制大区以外的电力企业管理系统的业务，主要包括变电站巡检机器人、输电线路无人机巡检、配电房视频综合监视和移动式现场施工作业管控等。该类业务的主要内容是视频传输，对网络带宽要求高，传统4G网络难以满足其带宽需求。但由于该类业务的目标是辅助电力生产和管理，专属网络需求较低，但对自助服务需求度较高。

局域园区类业务是指数据和服务需要就地处理的业务，如换流变电站、抽水蓄能电厂、光伏/光热/风电等新能源厂站等。该类场景一般覆盖面积较大，业务接入类型复杂，涉及室外、室内各种不同环境，需要考虑深度覆盖的同时，还包括新能源大量传感器的接入、智能巡检、智能检测与闭环优化、运维辅助等。同时，该类场景业务一般在变电站内、电厂内，或在就近的巡维中心（区县级）卸载，一般不允许进入公网。因此对专属网络需求较高。此外，不同业务可能存在差异化网络需求。

值得一提的是，以上四种业务类型划分并不是一成不变的，其可能随着电力行业本身的业务发展趋势变化而更新，需要我们以发展演进的视角去拥抱变化。例如，近年来随着能源互联网的战略发展，国家电网在传统电力业务4大分区之外，又提出了新的互联网大区业务。

1.2.2 电力对5GDN差异化网络的需求洞察

网络差异化需求可以从持续上行带宽流量、时延抖动、丢包率、同步授时和通道可用性等维度分析，并结合电力业务应用增加非IP化传输需求。图1-3给出三种典型生产控制I区类业务（配网差动保护、智能分布式FA、配网PMU）对差异化网络需求。其中，配网差动保护通过计算线路两端的电流差值来判断故障位置并实现故障线路隔离；智能分布式FA主要通过DTU之间的协调操作实现故障隔离后停电区域的自动复电；配网PMU通过汇集分布在配电网不同位置地PMU装置测量信息实现对配网运行状态的实时监控。

考虑到生产控制I区业务对差异化网络的要求最为突出，如果5G能够满足其差异化网络的需求，原则上就可以满足其他电力业务的需求，因此5GDN在差异化网络能力的设计上，重点聚焦满足该类业务。同时，通过我们对行业的需求分析，电力生产控制I区业务的差异化网络需求较高，若5GDN满足了电力的需求，在其他行业具有极高的推广价值。

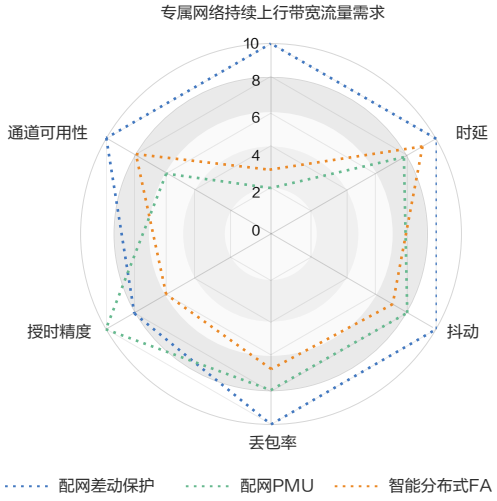


图 1-3 配网差动保护和PMU的差异化网络需求

1.2.2.1 持续上行带宽流量需求

该类需求典型的业务如：配网差动保护、配网PMU业务。

以配网差动保护业务为例，每一个保护终端都通过通信通道将本端的电气测量数据发送给对端，同时接收对端发送的数据并加以比较，判断故障位置是否在保护范围内，并决定是否启动将故障切除。保护终端的典型采集频率为1200Hz，每隔0.833ms发送一次数据，单次数据量为245Byte，通信带宽需求为2.36Mbps。由于配网故障发生是随机的，配网差动保护需要持续实时通信传递数据来判断和检测线路是否发生故障，因此具有持续上行带宽流量需求，并且对对带宽资源保障要求高。此外，持续通信也将产生大量的网络流量，单个终端DOU约为886GB，对网络的流量承载能力要求高。

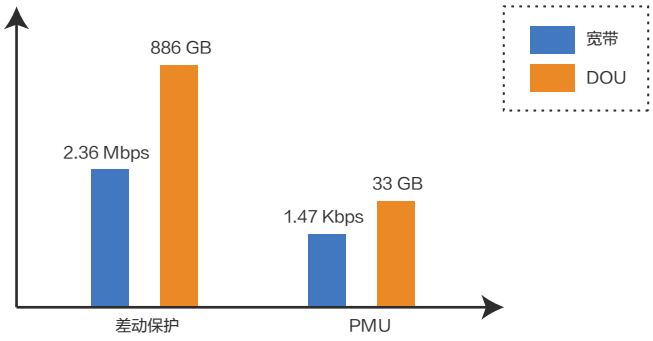


图 1-4 持续上行带宽流量需求

1.2.2.2 毫秒级的网络时延和抖动需求

在电力业务中，网络通信时延=业务执行时间－业务处理时间。其中业务执行时间取决于业务需求，业务处理时间主要取决于硬件装置。在业务执行时间确定的条件下，网络通信时延与业务处理时间强相关：网络通信时延越短，预留给业务处理的时间越长；反之亦然。通过降低网络通信时延可以为应用提供更多的裕度。

在配网差动保护业务场景中，业务处理时间主要包括采样处理时间、逻辑判断时间、出口继电器时间和开关跳闸时间。不同硬件装置的业务处理时间也不相同，采样处理是保护装置与通信装置之间的转换接口设备的处理时延，一般为1~3ms；为避免随机误差引起保护误动作，一般连续5个采样点进行一次综合判断，一般为3ms左右。出口继电器时延是指出口继电器从接受到信号到驱动配电网开关跳闸的时间，一般为5ms。开关跳闸时间是指断路器执行跳闸执行所需时间，一般为50~80ms。

由于配网差动保护业务属于新兴业务，其业务执行时间要求尚未确定。现阶段，配网差动保护业务执行时间可以采用以下两种方法确定：沿用主网差动保护的技术规范和参考配网常规保护的技术规范。

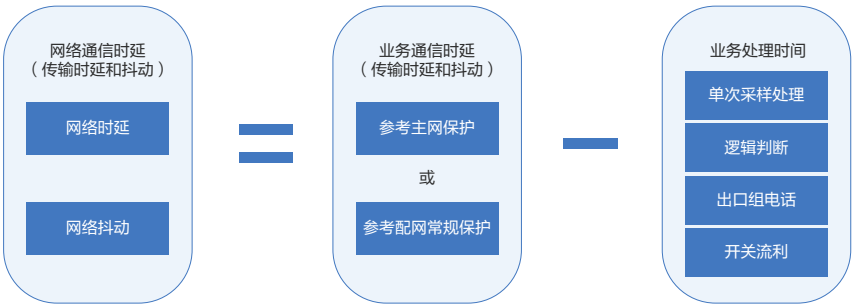


图 1-5 配网差动保护整组动作时间

(一)、沿用主网差动保护的技术规范要求

主网差动保护技术规范要求：当差动电流≥2倍整定值时，要求除开关跳闸时间外的保护动作时间（含采样处理、逻辑判断、出口继电器时间）≤25ms；当差动电流大于1.2倍整定值时，保护动作时间≤30ms。这里采用最严格的25ms作为配网差动保护的保护整组动作时间，相应的网络时延要求≤15ms。

(二)、参考配网常规保护的技术规范

配网目前的常规保护业务处理时间（包含开关跳闸时间）要求≤100ms。考虑到配网自动化系统开关级联较多，因此需要考虑线路末端差动保护与变电站线路出口保护的时间配合问题，一般变电站出口保护预留给配网系统隔离故障的最大业务执行时间为300ms。为了缩小停电范围，同时考虑开关拒动的扩大化隔离故障，一般要求开关下游发生故障需要在150ms完成故障隔离，即业务执行时间为150ms。考虑预留一定的裕度，实际工程要求业务执行时间≤120ms，因此网络通信时间 = 业务执行时间（120ms）－业务处理时间（100ms）= 20ms，考虑预留一定的裕度，要求网络延时≤15ms。

在智能分布式FA场景中，如果配网某点发生故障后，故障点之前的开关控制器产生GOOSE信号，并向上下游DTU传递，每台DTU通过GOOSE信号和本级过流信号的比对，就地确定并执行故障区间并执行隔离策略、非故障区域自愈复电策略。全过程时延如下图所示：

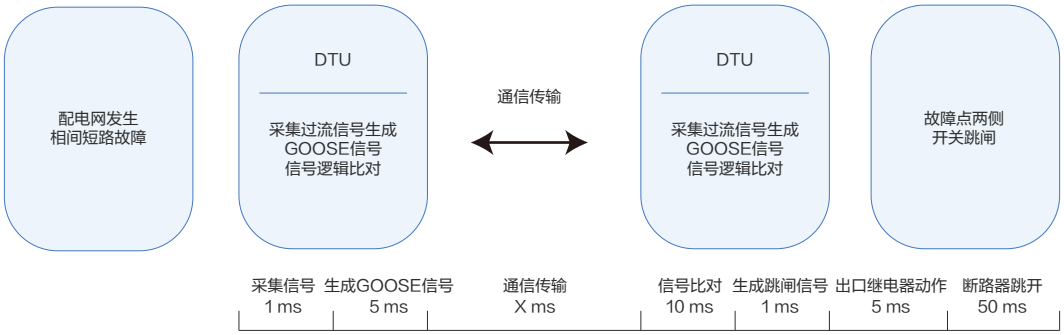


图 1-6 分布式FA整组动作时间

为避免引起客户用电闪动，要求FA全过程时间不超过100ms。因此通信传输 ≤ 全过程时间100ms－采集信号1ms－GOOSE信号生成5ms －信号比对10ms－生成跳闸信号1ms－出口继电器动作5ms减断路器跳闸50ms = 28ms。考虑预留一定的裕度，要求网络延时<=20ms。

此处应该说明，网络通信时延 = 网络传输时延 + 传输抖动。一般情况下，传输抖动较小，网络通信时延主要取决于网络传输时延。在保证业务传输可靠性的情况下，抖动越小越好。目前电网对传输抖动的要求没有量化的标准，为了适应5G网络的不确定性传输，一般通过设置缓存区本身的大小和应用层容错设计来解决此问题。

1.2.2.3 对连续丢包性能的需求

丢包是指一个或多个数据包无法在规定的时间内通过网络传输到达目的地。连续丢包可能会影响业务的正常运行。以配网差动保护为例，为了保证业务的顺利开展，规定如果保护终端连续3个时间间隔接收不到对端发送的数据包，该终端就会判断线路故障，并通过闭锁差动保护功能逻辑模块输出闭锁保护，同时产生差动保护闭锁告警信号并上传至配电主站；当通信恢复和数据正常保持大于40ms后解锁闭锁，差动保护逻辑模块恢复正常运行，同时产生差动保护闭锁接触信号并上传至配电主站。为了保障差动保护业务的顺利进行，要求连续丢包数＜3。

1.2.2.4 微秒级的时钟同步需求

电力系统中的装置如PMU、保护终端、DTU等都内置了时钟，但这些时钟之间由于时钟初始值或时钟计时精度等问题难以同步，导致其相应的采集量也会出现时间偏差，进而影响电力业务的正确执行。以配网差动保护为例，如图1-7所示，线路两端保护终端不同步将导致线路两端差动电流I_A-I_B数值计算不准确，影响差动电流计算和保护逻辑判断的准确性。因此，需要通过卫星授时等技术来实现全网设备和采集量的同步对时。实际工程中，配网差动保护要求对时精度＜10us；配网PMU要求对时精度＜1us。

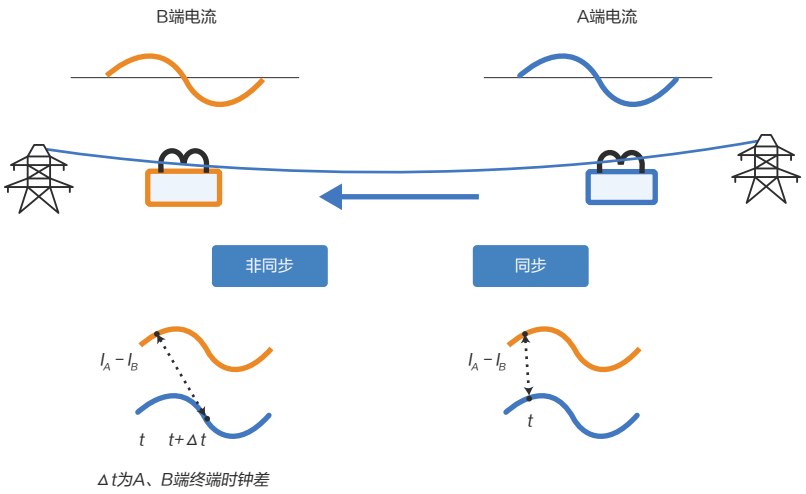


图 1-7 配网差动保护同步对时需求示意图

1.2.2.5 4个9的通道可用性需求

通道可用性是通信通道全年可正常通信的分钟数占全年总分钟数之比，是电力客户与运行商的主要衔接指标。

以配网差动保护为例，配网差动保护依赖对端持续发送的电流实时测量数据以判别故障，通信通道是否可用直接影响配网差动保护的正确顺利运行，因此对通道可用性要求高。电力企业要求一个配网差动保护判断周期内（连续5个采样点），通道可用率不低于99.9%，折算到单次通道可用率为99.99%。配网PMU对通道可用性的要求也相对较高，一般为99.9%。分布式FA属于事件触发类业务，对通道可用性的要求相对较低，一般为99%。

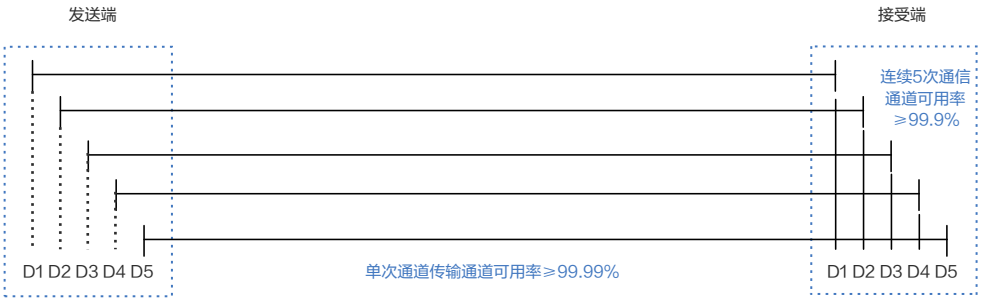


图 1-8 配网差动保护的通道可用率需求

1.2.2.6 非IP化传输需求

IEC61850 GOOSE和SV协议是电力场景常用的协议，是基于二层组播方式进行通信。不同组播组不仅组播MAC相互有区别，同时也携带不同的VLAN。目前不同DTU的组播MAC/VLAN都采用工具规划，并在设备投运前，由人工近端操作使用工具进行配置。

基于5G网络，需要终端CPE、无线、核心网都支持5GLAN特性，并支持VLAN+组播MAC的组播通信方式。为了减少支持组播复杂度，一个VLAN内携带组播MAC的消息需要同时发给VLAN内的所有DTU终端。环网柜间的GOOSE/SV消息，需要通过5G网络；环网柜内的GOOSE/SV消息，则不需要经过CPE或5G网络通信。

协议	EtherType	有效MAC地址数量
COOSE	0x88B8	512个
SV	0x88BA	512个

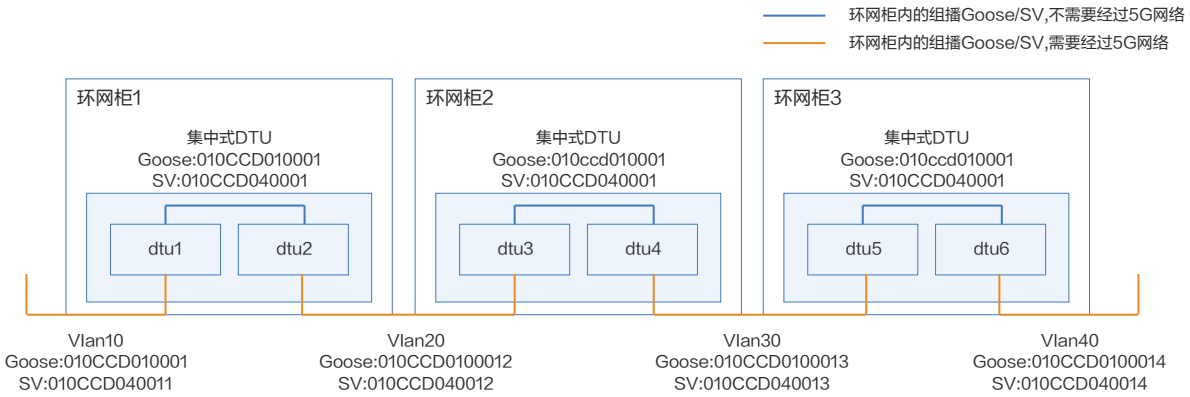


图 1-9 配网自动化的非IP化传输需求

1.2.3 电力对5GDN专属网络的需求洞察

作为民生基础行业，电力需要专属网络来保证其业务数据安全。电力监控系统安全防护的总体原则为“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”，其中，安全分区指的是电力监控系统应划分为生产控制大区和管理信息大区。网络专用指的是电力监控系统的生产控制大区应在专用通道上使用独立的网络设备组网，在物理层面上实现与其它通信网及外部公用网络的安全隔离；横向隔离指的是在生产控制大区与管理信息大区之间应设置通过专用横向单向安全隔离装置，禁止HTTP、TELNET等双向的通用网络安全服务通信；生产控制大区及管理信息大区内部系统之间应实现逻辑隔离；纵向认证要求在生产控制大区与广域网的纵向联接处应设置电力专用纵向加密认证装置或者加密认证网关及相应设施。电力安全防护主要针对网络系统和基于网络的电力生产控制系统，重点强化边界防护，提高内部安全防护能力，保证电力生产控制系统及重要数据的安全。

随着5G在电力行业的逐步推广应用，电力行业一方面要利用好5G的技术优势，同时保障电力安全防护要求，实现5G网络对智能电网各类电力业务的灵活承载，数据的安全传输。电力5G安全架构需要从终端安全、网络设备及通道安全、接入区安全等方面考虑，电力5G总体安全防护架构如下图所示：

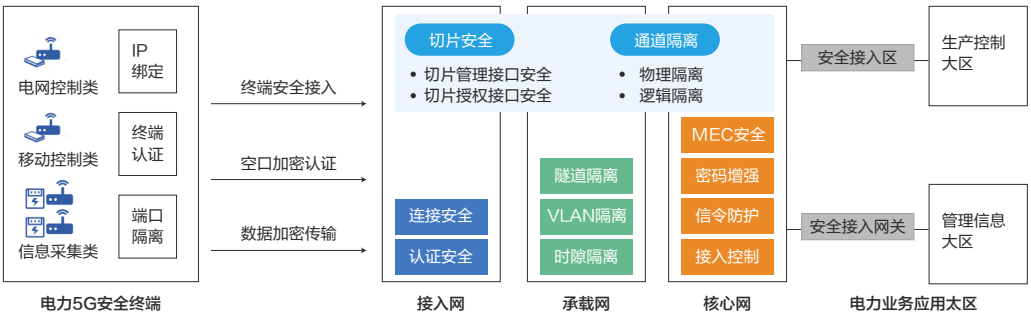


图 1-10 电力5G专属网络安全防护框架

其中终端安全包括端到端的安全认证，5G终端接入安全接入区需要进行芯片级加密认证，进行访问控制和网络攻击检测；内网的边界采用公司专用的安全接入平台实现无线业务终端到网络边界的加密传输、终端合法性认证和数据隔离交换等安全功能。

通道安全主要包括在运营商网络中传输电力专网数据以实现不同类型业务之间专用网络的相互隔离，其中，接入生产控制大区和管理信息大区的业务之间需要采用物理隔离等措施，而接入管理信息大区的不同业务之间，以及生产控制大区的不同业务之间需要采用逻辑隔离等措施。电力切片安全需要对接入网切片、承载网切片和核心网切片统一考虑，涉及切片管理安全、切片授权安全等技术。其中切片管理安全包括网络切片控制器攻击防范和业务配置管理面攻击防范，切片授权安全要求能够提供切片内认证和授权机制，防止非授权用户访问切片资源。

接入区安全指生产控制大区的业务系统在与其终端的纵向联接中使用无线通信网、电力企业其它数据网（非电力调度数据网）或者外部公用数据网的虚拟专用网络方式（VPN）等进行通信时应设立安全接入区。此外，上述终端如果接入管理信息大区要求通过专用的信息网络安全接入网关。

移动边缘计算MEC用户面的灵活部署，一方面可以将服务下沉至基站侧，将使得网络边界扩大，使得针对非法终端接入对电网业务系统进行入侵和数据窃取的防护更为复杂；另一方面可以实现业务数据的本地化处理，保证数据不出厂站，提高了业务安全性。因此在部署MEC应用时，需要对MEC进行安全监管，对MEC部署的业务类型、运行情况及安全性进行实时监控，解决MEC下沉带来的安全性问题。

1.2.4 电力对5GDN自助网络的需求洞察

电力企业对于5GDN自助网络的需求主要表现在E2E切片和电力专用MEC两个方面。

1.2.4.1 E2E切片自助服务需求

处于业务安全和运行监控的需求，电力企业要求具备5G自助网络全流程管理能力，如图1-11所示。

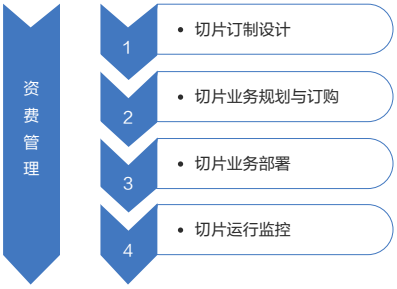


图 1-11 电力5G自助网络管理需求

电力企业对E2E切片的管理需求可以归纳为以下5个方面：

1）电力业务网络切片订制设计。为了满足不同类型电力业务的差异化需求，运行商与电力企业需要开展深度合作，协同完成电力切片模板的订制设计工作。

2）电力业务网络切片业务规划与订购。针对不同类型的电力业务开展通信需求整合，确定业务切片类型、数量、服务区域、切片容量、带宽、SLA需求等参数，完成电力业务网络切片规划，形成网络切片服务订购清单，并在运营商的网络能力开放平台上完成网络切片订购。

3）电力业务网络切片业务部署。电力企业在完成业务网络切片采购后，可自主在订购的切片上布置业务，并具备自主业务上下线和调整、业务终端和卡管理、网络资源分配能力等。

4）电力业务网络切片运行监控。主要为电网对所订购切片的网络状态感知、故障定位及业务体验。具体为电网企业通过运营商能力开放平台采集所订购切片的业务带宽、时延、网络资源状态等，并关联通信终端、业务终端的信息，进行智能故障定位，另外，可以通过拨测等方式主动针对某些业务开展业务体验评价，以更加全面客观地评估所订购切片的运行状态。

5）电力业务网络切片资费管理。电力企业明确切片的资费套餐模型，并对资费台账进行记录和分析，与运营商同步相关资费信息，实现透明消费的效果。

1.2.4.2 电力专用MEC自助需求

考虑到电网对于业务的高安全高隔离要求，运营商和行业客户已达成基本共识，需要为电力构建专用独享的用户面（MEC），以便能够确保和业务强相关的数据流始终流转在电力的虚拟专网中。

因此，在E2E切片自运维自管理的基础上，电力行业客户对于电力专用MEC同样存在可视可管可控的需求，包括但不限于如下几方面的主要需求：

1、租户业务可视：例如用户数、流量等KPI监控

2、租户网络监控：例如异常事件通知、告警等监控

3、租户管理：针对园区内企业的租户管理

4、应用管理：企业自有APP的上下线、APP状态监控等

5G确定性网络@电力之关键技术方案

5GDN基于网络切片技术可以虚拟出多个“行业专网”，进行更高强度的安全隔离，定制化按需分配资源；基于5G MEC、TSN等技术则可以实现更低时延和更确定性的连接，从而能够作为现有电力通信专网的有效补充，解决智能配电网及智能巡检等无线通信业务“卡脖子”问题。

5GDN的差异化网络能力可满足超低时延抖动、超高授时精度和可靠性需求。5GDN的专属网络能力服务可以满足电力虚拟行业专网的严格安全隔离需求。同时，5GDN的自助网络能力可以通过北向API能力开放，满足电力客户对于切片KPI可视化、切片内用户管理等一定权限的自运维自管理需求。因此，基于5G确定性网络的配网差动保护解决方案，在满足电力行业高安全高隔离的前提下，能够提供更加高效灵活的接入方案，相比传统光纤可有效节省部署成本，并大幅提升业务开通效率。

2.1 5GDN@电力关键支撑技术与需求匹配

5GDN本身可以分为无线、承载、核心网、安全、管理支撑五大领域，不同领域拥有不同的关键技术。为了满足电力行业对3D（差异化网络、专属网络、DIY网络）的需求。可以通过不同技术组合编排来满足电力业务的差异化需求。5GDN网络的关键技术与需求之间的对应关系如表2-1所示。

5G确定性网络技术领域	关键技术	差异化网络						专属网络		自助网络	
		带宽	时延抖动	丢包率	时钟同步	通道可用性	非IP化传输	隔离	安全	切片自运维	MEC自运维
无线域	精准时钟同步				Y						
	超级上行（SUL）	Y									
	灵活的无线隔离调度技术	Y						Y			
	Non-Slot低时延		Y								
	上行免调度传输（UL Grant- Free）		Y								
承载域	硬隔离		Y					Y			
	软隔离		Y					Y			
核心网域	多路冗余传输			Y		Y					
	5G LAN						Y				
	核心网隔离技术							Y			
	电力MEC多接入边缘计算		Y					Y			
安全域	5G电力终端安全								Y		
	5G电力网络安全								Y		
管理支撑域	E2E电力切片自管理									Y	
	电力MEC自管理										Y

表 2-1 5G关键技术与网络需求的映射关系

2.2 无线域

2.2.1 精准时钟同步授时

基于5G网络可实现微秒级的高精时钟同步授时能力，一方面解决了电力业务高精度授时需求，另一方面，间接降低了网络抖动的严苛要求。具体技术实现主要包括以下3个流程：

1、 时钟源来自GPS或者北斗，基站通过自身GPS天线或北斗天线获取时钟，基站也可以通过1588 V2协议从承载网获取时钟。5G推荐采用GPS或北斗+1588 V2异构组网、实现天地互备，大幅提高网络授时的安全可靠性；

2、5G基站将时钟信息通过空口广播（带内SIB16）或单播（携带SFN指示时钟参考点）方式传递给5G CPE；

3、5G CPE将时钟信息通过IRIG-B码接口方式传递给电力终端，最终实现电力终端间微秒级的高精时钟同步需求。

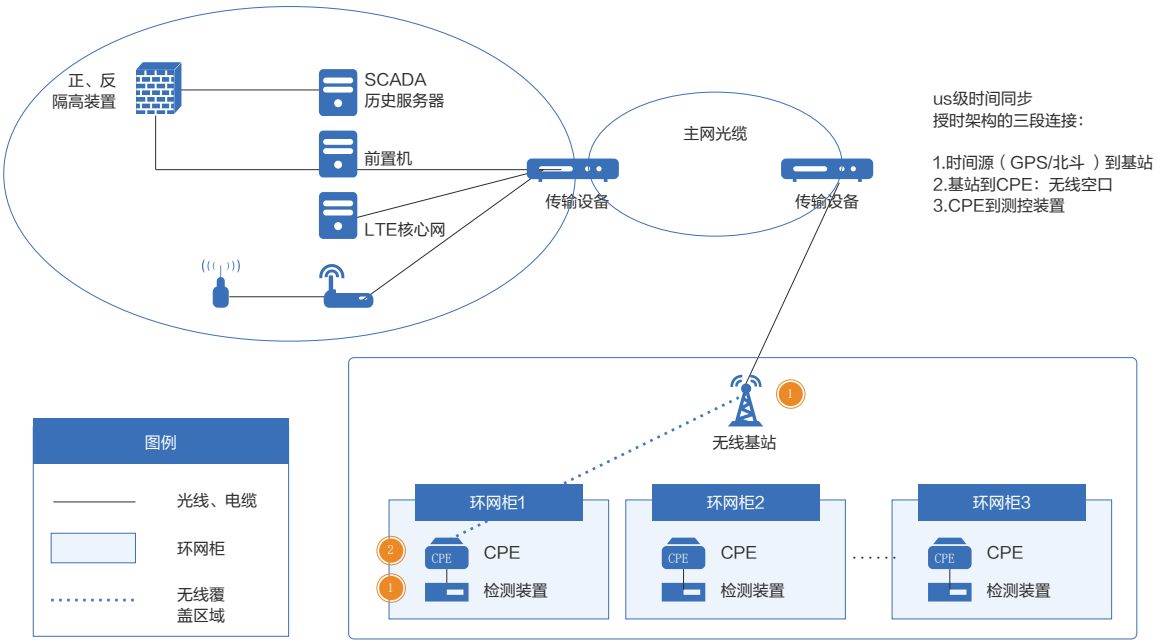


图 2-1 基于5G网络的精准时钟同步授时原理图

2.2.2 超级上行SUL

面向电力行业，超级上行技术主要为了解决电力上行为主的业务需求（包括覆盖能力、带宽承载及时延体验）。电力行业应用以采集为主（上行），具有以下三大发展特征：1）结构化向非结构化发展；2）集中式向分布式控制发展，如配电网差动保护（2Mbps+）、配网PMU（100kbps+），将呈现“类视频”的实时数据传输形态；3）从低频次向高频次发展，如采集频次将从天、小时级提升至分钟级。此外，由于电力部分业务地处环境偏僻，高频段覆盖性能难以达到较好效果，随之也影响着时延、带宽的体验。

虽然5GDN的传输速率有所提升，但从无线空口时隙配比上看，现阶段仍以下行为主，如3.5GHz频段采用双周期，上下行时隙配比主要为3：7，2.6GHz频段采用5ms单周期，上下行时隙配比主要为2：8，这样导致上行速率和调度实时性受限。5G需要利用TDD高频与FDD低频结合的方式，通过动态频谱、共享频谱技术，提升其上行能力。目前中国电信率先主导验证了3.5GHz+2.1GHz超级上行技术，中国移动也正在计划利用2.6GHz+1.8GHz提升其上行能力。

所谓超级上行技术，主要是通过TDD+FDD聚合方式，实现上行全时隙调度，上行资源大幅增加，同时大大缩短ACK/NACK反馈时延。如下图所示：

- UL时隙，使用2.6G/3.5G频谱发送
- DL时隙，使用空闲1.8G/2.1G频谱发送，使能上行全时隙

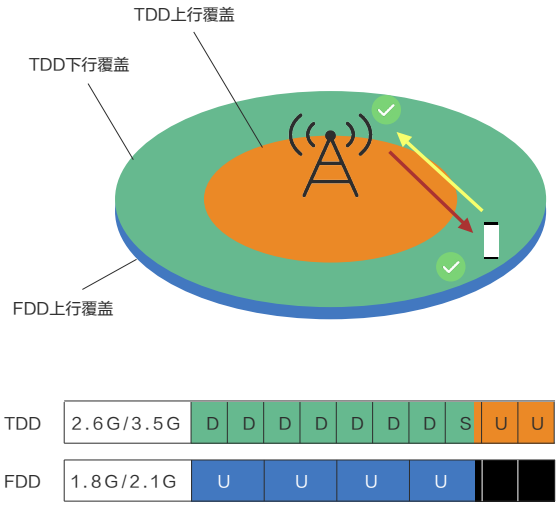


图 2-2 超级上行Super UL示意图

2.2.3 灵活的无线隔离调度技术

5G NR隔离调度方式主要有QoS（5QI）优先级、RB资源预留两种，其中RB资源预留是区别于4G的重要特性。利用这一特性，可以更好地为电力不同区的业务提供不同等级的隔离、优先级调度服务。

1、基于QoS的调度：在资源有限的情况下，为不同业务提供“按需定制”的差异化服务质量，包括业务调度权重、接纳门限、队列管理门限等，在资源抢占时，高优先级业务能够优先调度空口的资源，在资源拥塞时，高优先级业务也可能受影响。

2、RB资源预留：无线空口的RB资源，是指基于时、频、空域等多个正交维度划分的基本单位，业务、信令将承载在RB资源上，基站对RB资源进行调度，以提升频谱这类稀缺资源的使用效率。在5G NR设计中，允许多个切片共用同一个小区的RB资源，也可以为特定切片预留分配一定量RB资源，这是5G区别于4G的重要特性，具体可以采用动态共享或静态预留两种分配方式：

动态共享方式：为指定切片预留的资源允许一定程度上和其他切片复用。在该切片不需要使用预留的RB资源时，该切片预留的RB资源可以部分或全部用于其它切片数传。在上下行有数传时，可以及时调配所需资源。

静态预留方式：为指定切片预留的资源在任何时刻都不能分配给其他切片用户使用。确保任何时刻有充足资源随时可用。由于电网场景时延可靠性要求高，建议优选此方式。

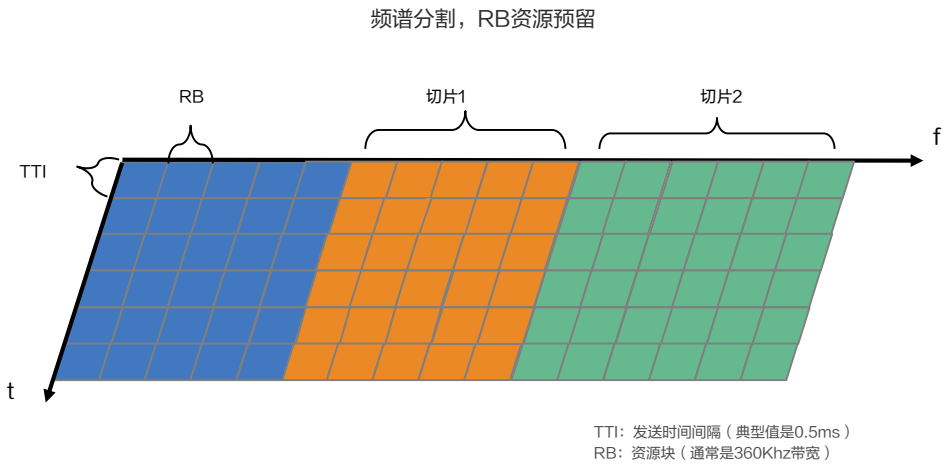


图 2-3 RB资源预留示意图

综合电力行业安全分区的隔离性要求，推荐针对电力生产控制大区业务采用基于RB资源预留的物理隔离方案，针对电力管理信息大区业务采用基于5QI优先级调度的逻辑隔离方案。

2.2.4 Non-Slot特性缩短上下行时延

Non-Slot特性是指在低频TDD上下行数据传输的过程中，空口使用更短的TTI(Transmission Time Interval)长度，这就意味着发送等待时间缩短，提高了传输的灵敏性。这个一特性，尤其对于电力小包业务，一方面可以提高重传的效率，另一方面，降低了传输时延迟。具体原理如下图，按普通Slot调度，下行或上行需要占用完整一个slot，共14个符号长度，TTI时长为0.5ms。启用Non-Slot后，以下行为例，可以支持2/4/7符号长度，这样TTI可以减少85%，等待时延更小，上行类似。

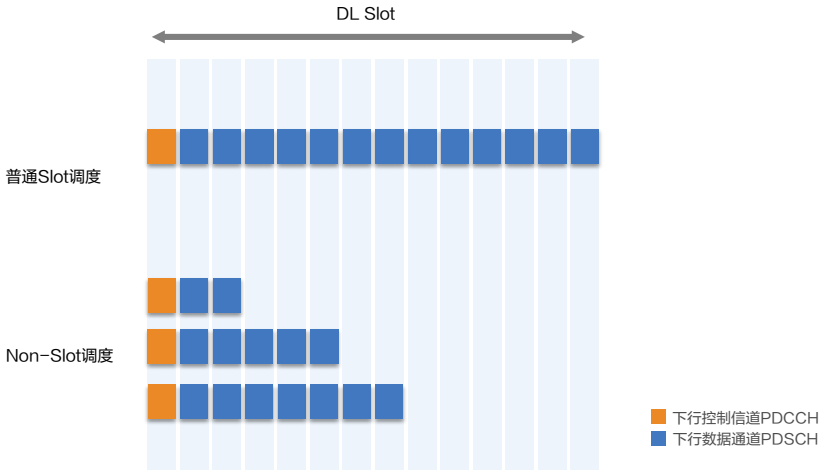


图 2-4 Non-Slot技术示意图

2.2.5 上行免调度传输（UL Grant-free）

上行免调度传输（UL Grant-free）是标准Rel-15引入的一种上行数据传输方式。不同于常规的上行调度数据传输，UL Grant-free用户可以基于预配置资源，在指定周期时间内，根据需要自行发送数据，该特性特别适用于电力领域大量有周期性的采集型业务：

用户有上行数据需要传输：使用预配置资源发送。

用户没有上行数据需要传输：无需发送一个Padding的PUSCH。

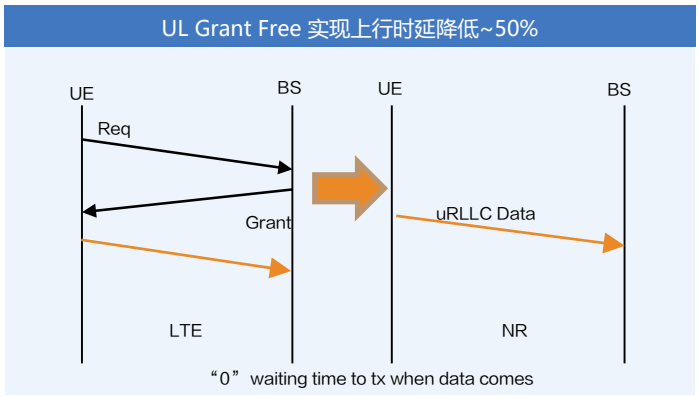


图 2-5 UL Grant Free技术示意图

2.3 承载域

RAN与CN之间的移动传输网络根据对切片安全和可靠性不同诉求，分为硬隔离和软隔离，其中硬隔离主要包括Flex-E/MTN接口隔离、MTN交叉隔离，软隔离主要指VPN+Qos隔离调度技术。硬隔离技术主要可用于电力生产控制大区、管理信息大区以及与公网的安全隔离，软隔离技术主要用于在同一个大区内的不同业务隔离保障。

2.3.1 硬隔离(Hard Isolation)技术

1、FlexE/MTN接口隔离：FlexE/MTN接口是基于时隙调度将一个物理以太网端口划分为多个以太网弹性硬管道，在网络接口层面基于时隙进行业务接入，在同一个FlexE/MTN接口内基于以太网进行统计复用 。

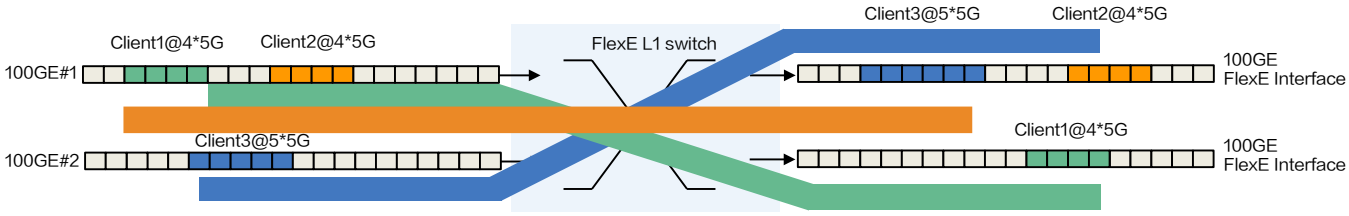


图 2-6 FLEX交叉技术示意图

2.3.2 软隔离(Soft Isolation)技术

VPN+Qos隔离：VPN+QoS可实现多种业务在一个物理基础网络上的逻辑隔离。VPN+Qos软隔离不能实现硬件、时隙层面的隔离，无法达到物理隔离效果。

同样地，结合电力安全分区的隔离性要求，推荐针对电力生产控制大区和管理信息大区配置不同的FlexE/MTN刚性隔离通道，实现电力大区间、以及电力和其它行业业务之间的物理隔离；同时在两个大区内部通过VPN+QoS再划分不同的软隔离通道，以实现大区内部（例如实时控制类I区业务和非实时控制类II区业务之间）的逻辑隔离。

2.4 核心网域

2.4.1 多路冗余传输

从电力行业来看，可靠性指标有两种含义：

a）设备连续正常工作的可靠性（=可用性）：比如5个9，意味着年平均故障时间<5分钟；

b）通信正确传输的可靠性（=丢包率）：比如5个9，意味着10万个包允许错误/丢失一个包。

为了达成电力行业的上述两种可靠性指标，需要从两个方面进行保障，一方面是设备本身的可靠性，需要能达到稳定的连续正常工作的可用性标准，另外一个方面是通信链路上需要能满足业务正确的传输可靠性需求，做到丢包率，时延和抖动等指标的可控。

为了达成上述两个目标，当前电网中采用的方式一般是采用双网双宿的方式进行可靠性保障。如下图所示毫秒级精准控制模式传输系统/组网，主要的网络中心节点和处理节点均采用双网双宿的方式部署。

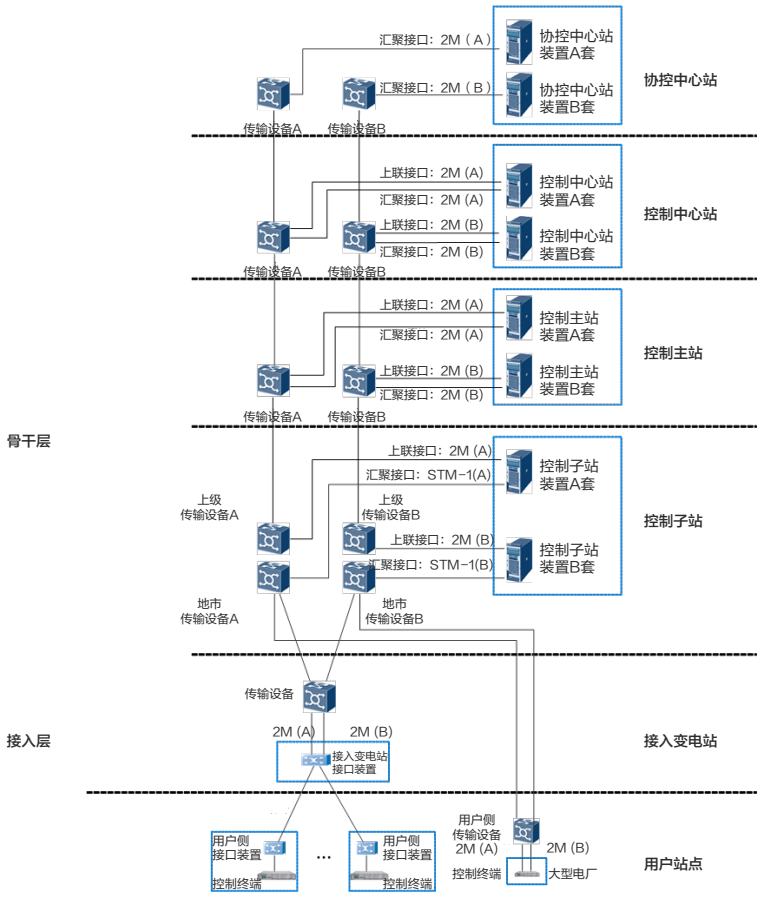


图 2-7 多路冗余传输示意图

3GPP R16标准中定义了可靠性的E2E双路冗余传输标准方案，为电力双网双宿需求，提供了移动通信网的解决方案。与传统电网利用有线传输网不同的是，5G网络主要通过核心网控制，为同一个业务分配不同的PDU Session，从而映射到5G端到端的网络资源中：

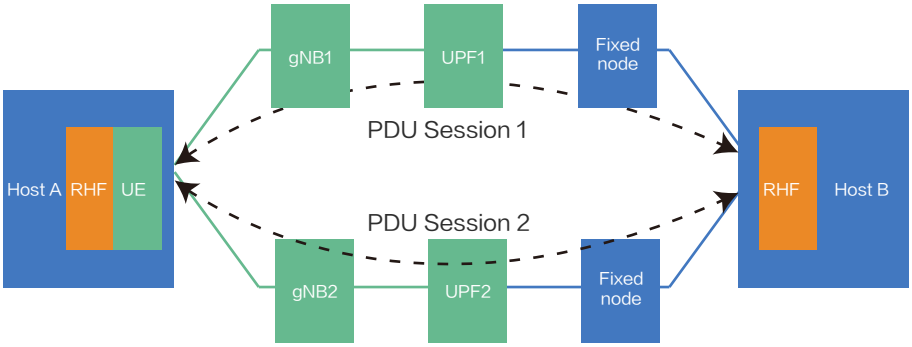


图 2-8 E2E双路冗余传输标准

在UE和DN之间建立两个独立的PDU会话，每个PDU会话的DNN+S-NSSAI不同，采用双PDU会话应用数据冗余发送，提高端到端的用户面传输可靠性，UE和DN中的应用层支持包复制和包去重。此种方案主要由核心网控制，可以通过创建不同的5G切片来对应于不同的会话通道，同时要求5G NR，MEC，传输设备冗余部署。这种冗余传输部署模式，需要应用层协议支持冗余传输协议，例如TSN系统中的802.1CB协议。

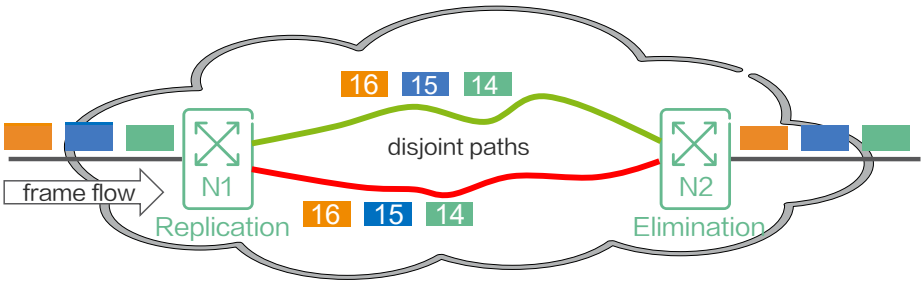


图 2-9 多路冗余传输

2.4.2 5G LAN

在工业能源领域，仍有大量非IP化的业务形态，如针对智能分布式配电自动化业务，其使用的是Goose/SV 协议，为了支持工业协议的消息转发，基于R16标准定了5G LAN解决方案，需要核心网、无线、终端共同配合实现。其中核心网是5G LAN的核心，主要在核心网5GC上提供了5G LAN组的管理和二层广播组内的终端管理，并实现了终端间L2的通信交换能力，包括支持广播、组播等。终端CPE等主要支持以太会话的创建。

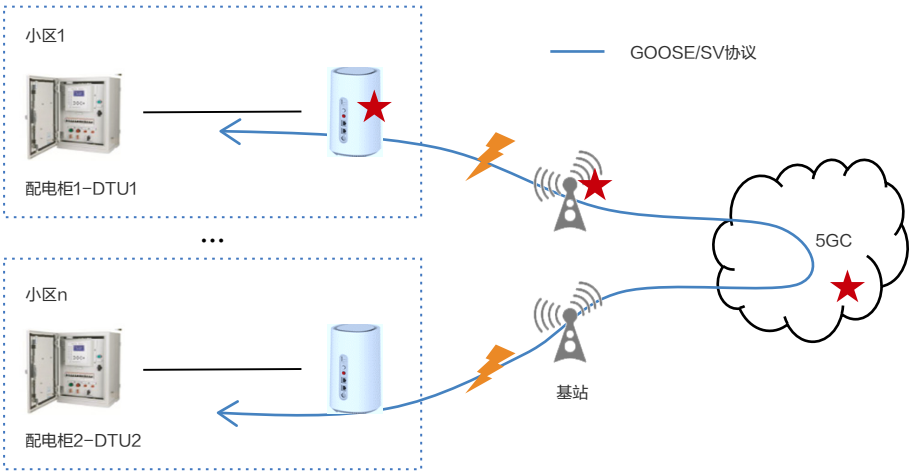


图 2-10 5G LAN

2.4.3 核心网隔离技术

核心网隔离技术是指5G切片在核心网部分的资源分配与SLA保障，主要可以分为资源视图、组网视图两部分。核心网资源视图可以分为硬件资源、虚拟资源和网元功能；而网络视图主要指5G核心网数据中心内数通网络的隔离性。基于5G核心网的资源和组网两个视图，结合不同业务场景的需求，可分为以下3种技术方案：

1、完全共享模式：能力等同于2/3/4G网络的“一条跑道、尽力而为”，通常适用于公众网的普通消费者业务，对于安全隔离性无任何特殊需求；

2、部分独占模式：结合行业实际需求，通过共享大部分网元功能+少量网元功能独占专享的方式，在安全隔离性需求和成本之间做到最佳平衡，从而能够满足大多数通用行业的网络切片分级需求。

3、完全独占模式：能力等同于建设一张完整的行业专用核心网，安全隔离性最好、但建设和运营成本也最高。因此仅适用于极个别需要超高安全隔离性而对成本不敏感的特需行业。

同样地，考虑到电力安全分区的隔离要求，以及建网成本之间的最佳平衡，我们建议针对电力生产控制大区和管理信息大区分别建设物理独占专享的MEC用户面网元（和会话强相关），同时在每个大区的MEC网元内部划分不同的逻辑切片以匹配大区内部业务间逻辑隔离的需求；而针对和会话弱相关/不相关的5G核心网信令面网元（如SDM、PCF、NSSF、NRF、AMF、SMF等），则采用大网资源共享的方式进行建设，以有效降低网络使用成本。

2.4.4 电力MEC多接入边缘计算

多接入/移动边缘计算 (MEC，Multi-Access/Moblie Edge Computing)，一般指在网络边缘侧通过运营商连接和计算能力的下沉部署，将网络业务流量在本地分流和处理，从而提升业务指标的技术。MEC技术的引入，对于电网而言主要可降低业务时延，同时对于部分重要数据，可避免穿越公网，在提高数据的安全性的同时，尽量减少云端集中处理带来的大量传输带宽租赁成本。

在连接能力上：通过5G MEC下沉及网络侧策略配置，可以将电网所需的流量全部在变电站等边缘区域内直接分流，不再按照传统模式传送至运营商核心网络，从而满足电网数据不出局站的需求；同时由于5G空口时延较4G的极大提升，以及MEC下沉后用户面业务流将在本地处理，5G+MEC在电力行业的广泛应用，可以将电网客户的业务时延准确地控制在15ms以内，满足配电网差动保护等对5G网络的超低时延需求。

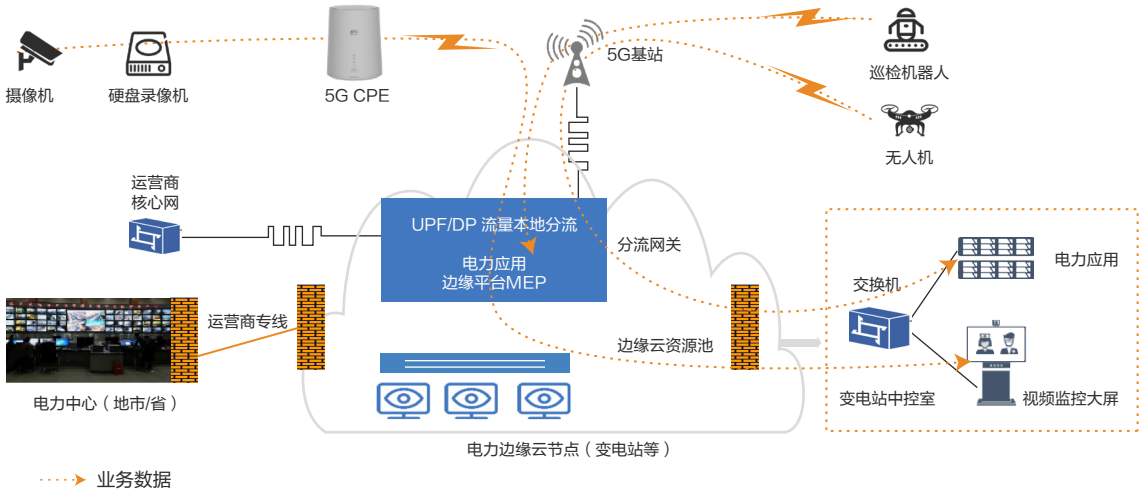


图 2-11 典型5G+MEC在电网应用

在计算能力上：5G+MEC+边缘变电站的应用场景中，变电站内的设备监控终端、视频监控摄像头、巡检机器人、巡检无人机等设备的流量通过运营商核心网侧配置，直接卸载到变电站内部署的MEC边缘应用服务器进行处理，实现业务数据的本地采集、处理、分析；对于非时延敏感业务或者需要电力中心处理的业务，还可以通过变电站至电力省/市中心的专线送至核心节点来汇总处理。

2.5 安全域

站在确定性网络的角度，5G在智能电网应用的安全，重点需要考虑终端及网络安全两大领域。终端安全主要需电力企业在终端功能上进行标准化设计，网络安全则更多需要电信运营商提供可靠的保障方案，双方需一起配合，相互联动，方可切实提升安全防护能力。

2.5.1 5G电力终端安全解决方案

对终端的安全防护应注意对终端自身的安全防护和接入网络时对终端的保护。

1、对终端自身进行安全防护，主要技术措施如下：

在终端内部加入可信计算，终端系统基于可信根安全启动，保证系统和应用的完整性，保障系统的安全措施和设置不会被绕过，从而确定系统或软件运行在设计目标期望的可信状态。

对存储在终端内的隐私数据加强保护，如明确需要外发的数据，对不应外发的数据禁止外发；敏感数据外发时应要求加密，禁止明文传输；加密存储隐私数据等。

2、在终端接入网络时，为避免对终端的攻击，应加强交互时对终端的保护，主要技术措施如下：

启用双向认证和切片认证，验证通信双方的身份，避免欺骗行为。

绑定终端身份和USIM卡，第三方AAA服务器应在终端接入网络后对终端进行二次认证，防范电网USIM卡插入恶意终端，攻击电网或滥用USIM卡。

具体到电力行业而言，其差异化的行业特色终端安全解决方案主要有2个：

1、在电力通信终端中内置安全芯片或TF卡，实现机卡绑定，以防范盗卡接入的风险；

2、通过电信网络的AAA与行业应用的AAA服务器之间的交互，实现二次认证，进一步规避恶意终端攻击的风险。

2.5.2 5G电力网络安全解决方案

电力行业切片的网络安全包括切片自身的安全和用户使用切片的安全。

1、切片自身安全主要是保证切片间资源的安全隔离和切片内网元间通信的安全。

对于切片资源的安全隔离，通过隔离承载网资源和核心网资源实现，防止切片间资源挤占，将切片的故障或对切片的攻击限制在该切片内，避免影响到其他切片。

对于切片内网元间通信的安全，应基于NSSAI进行NSSAI和网元资源间的映射，网元间（含终端）使用NSSAI进行通信，防止提权、欺骗行为的出现。网元间支持TLS进行相互认证和加密传输，切片业务可视情况启用。

2、用户使用切片安全包括了无线空口的机密性和完整性保护、传输网的加密，核心网对终端的认证授权等。

对于无线侧，应启用信令面的机密性和完整性保护和用户面的机密性保护，要求用户加密传输隐私数据，确保未授权的站点无法从网络中截取数据。

对于传输网侧，可使用IPsec保障传输数据的安全，但启用IPsec会导致传输性能下降，目前国内运营商的移动网络和传输网络都是自建网络，基于性能和安全的平衡考虑，建议暂不启用IPsec，可考虑应用层加密的方式保障数据安全。

对于认证授权，使用标准化的认证授权流程。终端凭借3GPP凭证（如NSSAI等）和用户凭证（如用户ID）等接入切片，由AUSF统一进行认证授权。AUSF对终端进行初次认证后，电力系统自身AAA服务器对终端进行二次认证。通过使用标准化的多重的身份验证机制来满足电力行业不同切片的需要，避免非法接入，越权访问网络切片。

而针对园区局域专网的切片数据安全，首先应配置相应策略，做到数据不出园区。其次，对于切片内敏感数据可本地加密存储，对于切片内用户数据应进行加密传输。最后应配置访问控制策略，用户仅能访问自己切片内的数据，确保切片间数据安全隔离。

2.6 管理支撑域

面对5G切片服务的新模式，电力企业对所租赁切片服务的管理内容（如切片、MEC等）、指标颗粒度（如带宽、时延迟、核心网资源利用率等）、业务流程（如需要增加卡与切片的映射环节）、资费模式（如按切片服务）、定购方式（如线上定购、修改等）均有较大变化，电网企业需要系统化的支撑手段，进一步提升切片应用的管理效率。

2.6.1 E2E电力切片自管理

5G网络能力开放和切片技术的应用，一方面使得运营商可以提供差异化和定制化的网络切片服务能力，另一方面也赋予电力企业更丰富、更多元化、更灵活的网络切片自管理能力，为网络切片的快速部署和全过程监控提供支撑服务。

针对电力切片而言，其自管理功能包括电力切片模板设计、电力业务模型定义、电力通信需求分析、E2E电力切片订购、电力切片业务部署与管理、电力切片运行监控和资费管理。

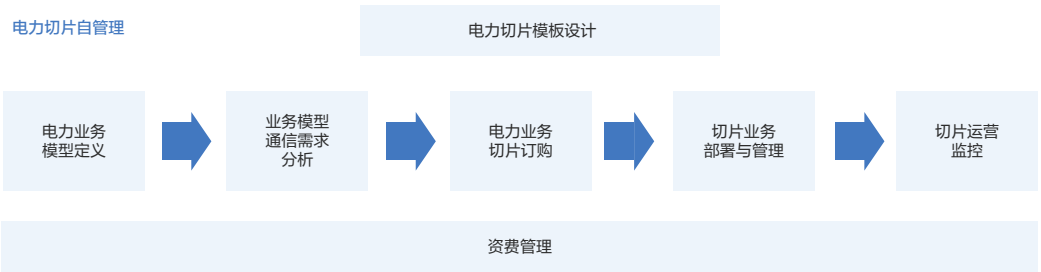


图 2-12 E2E电力切片自管理

1） E2E电力切片模板设计

基于电力企业与运营商达成的商业意向，电力企业参与运营商电力切片模板的顶层设计。在运营商eMBB、uRLLC、mMTC三大类切片的基础上，结合电力企业不同类型业务的需求扩展定义电力切片类型以满足不同类型的业务安全隔离或独立管理需求。

对于切片性能需求差异很大或有独立管理需求的电力业务，通过网络切片隔离来实现；对于切片性能需求差异较小或没有独立管理需求的业务，通过分级Qos来区分。对于高可靠性要求的电力业务，可以通过传输硬管道和主备保护链路等技术来保证网络切片高可靠性要求。明确电力业务类型与切片模板之间的映射关系。

2） 电力业务模型定义

定义电力业务模型，确定业务类型、服务范围和服务对象。业务类型是指根据业务的内容明确其类型，比如控制类、采集类等。不同业务类型对应不同通信指标和规模需求和安全隔离模型。务范围是指明确服务覆盖的区域范围，比如区县、市、省、地区等。不同的区域范围，对电力业务网络切片的部署具有较大影响。服务对象是指明确使用主体，比如公司决策层、市场人员、运维人员等。

3） 电力业务通信需求分析

首先根据电力业务的类型、服务范围和服务对象，建立其通信需求的关键指标模型包括某种业务的带宽、时延、连接、可靠性、安全隔离等参数的配置，建立其关键通信指标模型；然后基于该模型，对申请的批量业务进行整体通信需求分析，并按照不同的维度对批量业务进行整合；最后，基于整合后的通信需求，并适当考虑未来业务的通信需求发展，对业务进行整体切片规划，包括利旧、新增或删除某个切片，再把本次申请单中的业务添加到相应的切片中，形成切片订购清单。

4）电力业务切片订购

电力企业根据业务通信需求，在运营商的网络能力开放平台上选择切片类型并录入切片的相关性能参数，包括切片连接数、带宽、延时、SLA等，实现切片的订购、修改、删除等功能。

5）电力切片业务部署与管理

电力企业具有自行进行切片业务部署和管理的权限。对电力切片而言，电力企业可以自主部署和调整其承载业务，包括新业务上下线管理、业务终端和卡管理、网络资源分配等管理。对业务而言，电力企业可以自主选择合适的切片进行部署，以满足业务安全隔离和发展需求。

6）电力切片运营监控

电力企业具有电力切片运行监控能力。一方面，通过与运营商网络能力开放平台对接，实现对网络切片的运行状态、业务隔离程度、性能全面监控和异常告警。另一方面，还可以通过开发扩展相应的业务应用，以满足电力企业对电力切片的特殊监控需求，比如业务终端监控等。

7）资费管理

资费管理一方面帮助电力客户根据运营商不同的商业模式，制定资费模型，另一方面将帮助电力客户实现资费台账的综合智能分析，实现电力客户与运营商资费同步、台账清晰、费用透明。

2.6.2 电力MEC自管理

针对行业客户针对电力MEC自管理的需求，运营商5G网络将提供如下的能力开放：

1、业务管理：实现电网企业不同业务开通、部署、生命周期管理等。

2、运营管理：在电网侧实现运营商计费资源的统计和内部分配管理，统计分析和日志管理。

3、资源管理：实现业务终端及MEC相关设备资源管理及平台性能状态监控，分流策略配置，内部不同业务网络指标、能力的分配，API管理等。

4、运维管理：实现不同业务的故障定位告警、运行状态监控和动态质量控制。

而上述自管理功能可以通过2种方式提供：

1、运营商直接为电力行业客户提供企业portal；

2、运营商通过北向API能力开放，将上述能力被集成到电力自有的综合管理平台中，实现一站式管理。

5G确定性网络@电力之应用实践

3.1 南方电网&中国移动深圳5G智能电网应用案例

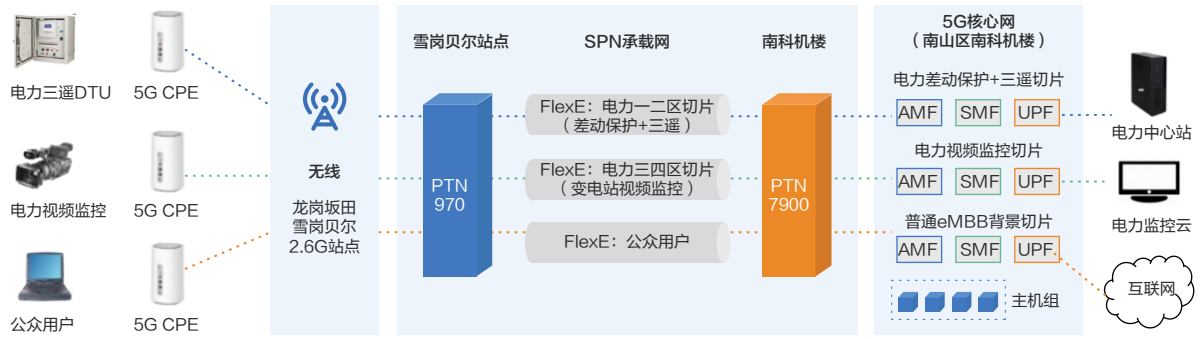


图 3-1 深圳5G智能电网应用示范工程项目

深圳5G智能电网应用示范工程是南方电网公司携手中国移动公司打造的首个5G智能电网工程项目，对5G承载部分电力业务开展了实际工程验证，对推动5G在智能电网中的推广应用具有重大意义。测试内容和结果如下：

1、构建配网差动保护和配网PMU业务场景并进行工程测试验证，其中配网差动保护实测端到端最大时延11.65ms、平均时延8.3ms，同步授时精度<10us；配网PMU最大时延13.7ms，平均时延10.73ms，同步授时精度<10us。测试结果表明5G网络可以有效承载该类业务，能够满足该类业务的确定性网络需求；

2、通过加装5G通信模块，构建包含100台三项电表和10台I型集中器的110个业务终端节点的高级计量业务场景并进行工程测试验证，实现了对电表关键数据的分钟级采集和冻结，测试结果表明5G可以有效承载配网高级计量业务场景；

3、通过建设5G基站构建应急通信和电网设备在线监测业务等典型管理信息类场景并进行工程测试验证，5G确定性网络带宽可以满足该类业务的需求，实现了多路视频实时回传，测试结果表明5G可以有效承载管理信息类业务。

4、开展E2E网络切片安全隔离测试，通过eMMB灌包测试核心网和传输网切片性能，其中核心网切片灌包前后平均时延分别为0.98ms和1ms；传输网切片灌包前后丢包数为零，时延＜210us（eMMB切片单向时延＞5ms）。测试结果表明切片隔离可以实现生产控制I/II类业务与管理信息类业务和公共业务切的安全隔离以及不同切片之间业务的互不影响，安全隔离程度满足电力业务需求。

5、落地业界第一个面向切片运营的“NSMF平台+CSMF平台+电力核心能力平台”三层平台架构：搭建CSMF、电力核心能力服务平台，实现电力行业切片端到端资源开通：通过NSMF实现网络端到端切片资源的开通，通过CSMF实现运营商网络切片资源的对外能力开放及运营，通过电力核心能力平台实现电网企业与运营商的切片订购，并对所购买切片进行监控及管理。

3.2 国家电网&中国电信青岛5G智能电网应用案例

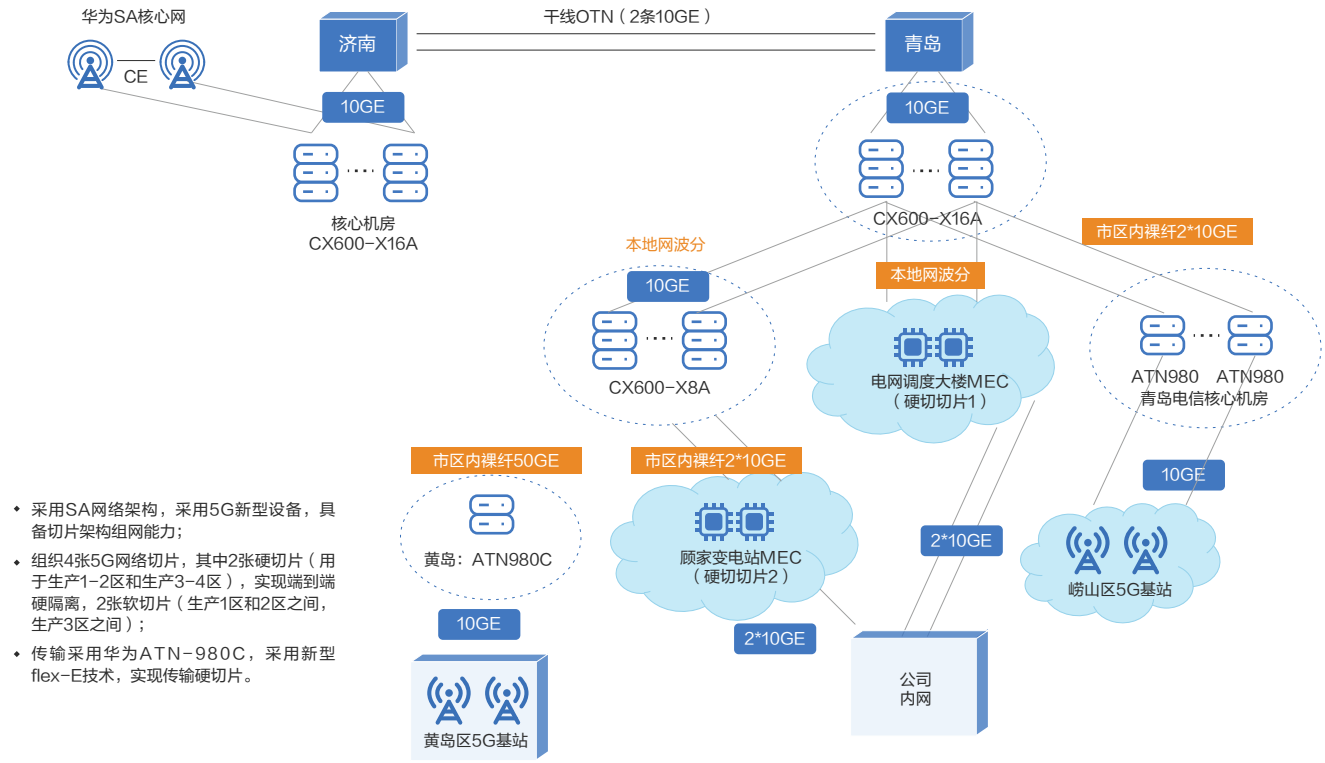


图 3-2 青岛5G智能电网应用示范工程

青岛金家岭示范工程是国家电网公司携手中国电信供公司打造的智能电网示范工程项目，该项目对SA网络、网络切片、配网差动保护、边缘计算等业务场景和功能开展了测试，探索了5G在智能电网中的应用模式，推动了5G和智能电网的深度融合发展。测试项目和结果如下：

1、依据信息网络安全防护总体方案要求，结合5G承载电网业务应用模型，联合中国电信、中国电科院、电信安全院和华为公司共同制定5G电力切片安全隔离测评方案，为5G正式入网电力行业构建安全基础。

2、目前国内规模最大的、基于5G SA独立组网的5G智能电网实验网，包括29个5G基站以及2套电力专用5G MEC边缘计算系统，确保电网业务数据在电力虚拟专网内部流通。

3、在配网线路上部署线路差动保护并进行了故障测试，实地测试结果保护终端之间的通信时延＜8.5ms，差动保护判定逻辑全部正确，测试结果表示5G网络有效解决配网差动保护的通信难题，其性能满足差动保护需求。

4、上线态势感知系统，在跨国企业领导人峰会期间实现了对主场馆供电设备监控信息的高频采集和实时录播，大幅提高供电保障水平。

5、在金家岭示范区开展基于5G的输电线路通道可视化试点，实现高清视频实时回传，完成独立组网模式下5G柔性切片的实际应用。

3.3 国家电网&中国联通驻马店5G智能电网应用案例

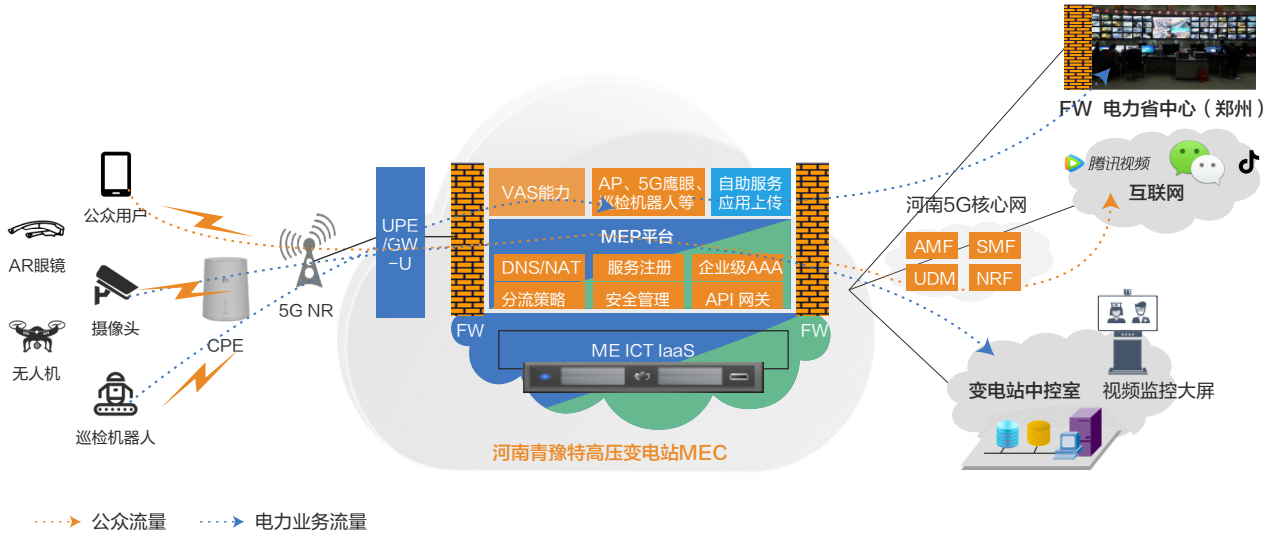


图 3-3 驻马店青豫特高压变电站EEC示范工程

“青豫±800千伏特高压直流线路工程”是国家重点工程，是世界上首个以服务光伏发电为主、全清洁能源打捆外送的特高压工程，该项目的建成将有效促进西部清洁能源外送，对扶贫工作、西部大开发、促进藏区经济建设等具有重大战略意义。为了提高该项目的智能化运行管理水平，建设完成了全国首个“5G+边缘计算”全感知智能变电站。测试项目和结果如下：

1、 在特高压变电站中开展了基于5G的视频监控类、安全管控类和生产管理类等电力业务应用。基于中国联通MEC平台部署的主要应用有5G智能巡检机器人、5G鹰眼、无人机巡检、动态布控球、单兵作业装备、AR远程辅助检修、5G VR等。此外，还通过MEC平台和电力专网进行对接，探索电力国网云与云变电站边缘的云边协同应用。

2、通过在特高压变电站部署5G和边缘计算MEC，为变电站打造安全、可靠、低时延的虚拟专网和业务近端处理能力，为变电站部署的AR远程辅助检修、5G鹰眼、巡检机器人、视频监控、无人机巡检等应用提供最优网络支持和业务数据分流：部分业务数据转发至变电站中控室的监控大屏，实现变电站业务的本地可视化,提高提高变电站全方位的感知能力和智能化水平；部分业务数据转发至河南省中心的监控大屏，为省电力中心远程全面实时掌控变电站的运行状况、远程实时指挥调度提供最前沿技术保障。在业务上真正实现了AR远程辅助检修、单兵指挥等多个应用的远程协同，有效提高了变电站检修作业效率和质量。

小结与展望

当瓦特遇上比特，5G为电力终端接入网提供了泛在、灵活、低成本、高质量的全新技术选择，为打造更加安全、可靠、绿色、高效的智能电网提供了强大的基础能力。5G确定性网络不仅能够大幅降低用户平均停电时间、有效提升供电可靠性和管理效率；同时可以极大的丰富和扩展电网应用场景，降本增效，助力电网向综合能源服务商转型，为人民群众提供更好的电力综合服务。

2017年以来，以5GDNA联盟平台为依托，能源互联网小组各成员单位联合产业链各方共同开展了大量的5G确定性网络使能智能电网技术可行性验证，并取得一定的阶段性成果：

1. 国际标准推动：由中国电信牵头、联合南方电网、国家电网、中国移动、中国电信、华为以及VDF等欧洲运营商和政府机构等28家单位在3GPP R18成功立项5G智能电网需求框架，首次为5G在电力行业的应用构筑了体系化的标准平台。该标准的立项成功离不开5GDNA联盟中南方电网、国家电网等产业PoC样板项目的输入，依托本次立项，5GDNA会持续加强与3GPP、IEEE、5G-ACIA、CIGRE等国际标准组的合作，确保5G+智能电网项目在3GPP等国际标准的工作持续健康发展。

2. 产业组织协同：南方电网、国家电网5G智能电网案例多次入选GSMA中国5G垂直行业应用案例集、GSMA 5G独立组网应用驱动案例集、GSMA全球切片PoC案例、；并作为中国5G 2B优秀实践案例先后输出到欧洲Networld 2020、葡萄牙5GO.PT、5GSA（5G切片联盟）、GIO（全球行业组织圆桌会议）等产业组织，极大促进了5G+智能电网的全球推广。

但是我们也清醒的认识到，要想实现5G+智能电网规模商用的终极目标，还需要我们持续从技术、商业、生态政策等视角进行全方位推动，真正打通产业断点。此外，下阶段5GDNA联盟能源互联网小组还将重点聚焦如下工作，为基于5G确定性网络的5G电力行业虚拟专网的商用做好充分准备：

1. 5G确定性网络使能智能电网的网络建设模式研究

2. 5G确定性网络使能智能电网的商业模式研究

一网千营、使能万业，5G确定性网络将成为包括电力在内的千行百业数字化转型升级的重要基础设施，并与云、人工智能等新一代信息技术一道成为数字化社会、智能化社会的底座，真正实现5G改变社会的使命与蓝图。

附录：5G+智能电网

涉及电网环节	5G+智能电网示范应用场景
发电	微能源网综合应用（光伏监控）
	微能源网综合应用（微风发电）
	微能源网综合应用（光热供能）
	小水电厂接入
	智慧电厂生产系统
	智慧电厂管理监控系统
	智慧电厂时空定位及可视化运维
输电	输电线路状态在线监测及视频监控
	隧道巡检及消防机器人
	隧道状态监测
	两栖带电作业机器人
	输电线路无人机巡检
	输电线路泥石流等地质灾害监测及预警
	输电线路山火监测及预警
	输电线路覆冰监测及预警
变电	变电设备在线监测
	变电站智能视频及环境监控
	变电站巡检机器人
	变电站作业机器人
	智能安全工器具管理及可穿戴运维
	电能质量监测
	电压质量监测
	一键顺序控制
	变电站巡检无人机
	换流站内变电设备状态监测（智能传感）
配电	配电自动化（三遥）
	配电网保护与控制（配网差动保护）
	智能配电房
	智能配电台区
	智能管廊
	配网带电作业机器人
	配电网同步相量测量
	配网微型感知控制传感器
用电	计量自动化
	电动汽车充放电优化控制
	智慧灯杆
	低压用户智慧用能
	工业厂区和工商业园区智慧用能
	智慧商业楼宇智慧用能
	用电负荷需求侧响应
	分布式储能（基岩供能）
	分布式储能（电储能）
	分布式储能（固体氧化物储能）
	分布式储能（分布式台区储能）
	分布式储能（大型化学储能）
	网荷互动系统
综合	应急抢修及保供电（卫星通信+无人机、5G集群通信）
	智慧工地
	办公物业智慧楼宇（园区）管理
	智慧车辆管理
	云桌面
	智慧品控
	智能化库房
	变电站通信通道应急应用