

5G 助力

智能电网应用白皮书

2018.06



引言

近年来,南方电网努力践行“创新、协调、绿色、开放、共享”新发展理念和能源发展“四个革命、一个合作”战略思想,全力打造安全、可靠、绿色、高效的智能电网,积极服务清洁低碳、安全高效的能源体系构建,推动电网实现高质量发展,提升电网优质服务水平,为全面建成小康社会提供了坚强电力保障。

电力通信网作为支撑智能电网发展的重要基础设施,保证了各类电力业务的安全性、实时性、准确性和可靠性要求。经过多年建设,35kV 以上的骨干通信网已具备完善的全光骨干网络和可靠高效数据网络,光纤资源已实现 35kV 及以上厂站、自有物业办公场所 / 营业所全覆盖。在配电通信网侧,由于点多面广,海量设备需实时监测或控制,信息双向交互频繁,且现有光纤覆盖建设成本高、运维难度大,公网承载能力有限,难以有效支撑配电网各类终端可观可测可控。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,迫切需要构建安全可信、接入灵活、双向实时互动的“泛在化、全覆盖”配电通信接入网,并采用先进、可靠、稳定、高效的新兴通信技术予以支撑,实现智能电网业务接入、承载、安全及端到端的自主管控。

“4G 改变生活,5G 改变社会”。作为新一轮移动通信技术发展方向,5G 把人与人的连接拓展到万物互联,为智能电网发展提供了一种更优的无线解决方案。5G 时代不仅能给我们带来超高带宽、超低时延以及超大规模连接的用户体验,其丰富的垂直行业应用将为移动网络带来更多样化的业务需求,尤其是网络切片、能力开放两大创新功能的应用,将改变传统业务运营方式和作业模式,为电力行业用户打造定制化的“行业专网”服务,可更好地满足电网业务差异化需求,进一步提升了电网企业对自身业务的自主可控能力和运营效率。

经过南方电网、中国移动和华为前期的技术探讨,本白皮书基于智能电网的发展趋势给出了 5G 网络在智能电网的方案建议,未来我们将继续深耕电力行业,使 5G 能更好地在泛在接入、安全可靠、可管可控等方面助力智能电网典型业务应用,推动能源由粗放型管理向精细化转变,实现清洁能源替代和电能替代的核心战略落地。

——>	1 智能电网发展、趋势及新挑战	02
	1.1 智能电网定义	02
	1.2 智能电网发展现状	02
	1.3 智能电网发展趋势	03
	1.4 智能电网对电力通信网的新挑战	05
——>	2 5G+ 智能电网典型业务场景	08
	2.1 5G+ 智能电网应用概述	08
	2.2 典型业务场景分析	09
	2.2.1 控制类业务	09
	2.2.2 采集类业务	13
	2.3 业务指标小结	20
——>	3 5G 概述及其对智能电网的价值	21
	3.1 5G 的概念与特征	21
	3.2 5G 网络切片关键技术	22
	3.3 5G 对智能电网的价值	25

——>	4 5G 智能电网端到端网络切片解决方案	27
	4.1 总体体系	27
	4.2 终端部分	28
	4.2.1 业务类型与网络切片间映射关系	28
	4.2.2 5G 电力通信终端形态展望	28
	4.3 网络部分	30
	4.3.1 电力业务网络切片概述	30
	4.3.2 电力业务网络切片隔离方案	30
	4.3.3 电力业务网络切片可靠性保障方案	31
	4.3.4 电力业务网络切片能力开放方案	32
	4.4 电力业务通信管理支撑平台	34
	4.4.1 电力业务通信管理支撑平台总体架构	34
	4.4.2 电力业务通信管理支撑平台功能模块	35
	4.5 安全体系	36
	4.5.1 智能电网安全体系整体要求	36
	4.5.2 管侧安全方案	36
	4.5.3 端侧安全方案	37
——>	5 总结与展望	38

03

为实现“安全、可靠、绿色、高效”的总体目标，围绕智能电网发输配用全环节，未来发展趋势包括五大重点领域，分别为清洁友好的发电、安全高效的输变电、灵活可靠的配电、多样互动的用电、智慧能源与能源互联网。

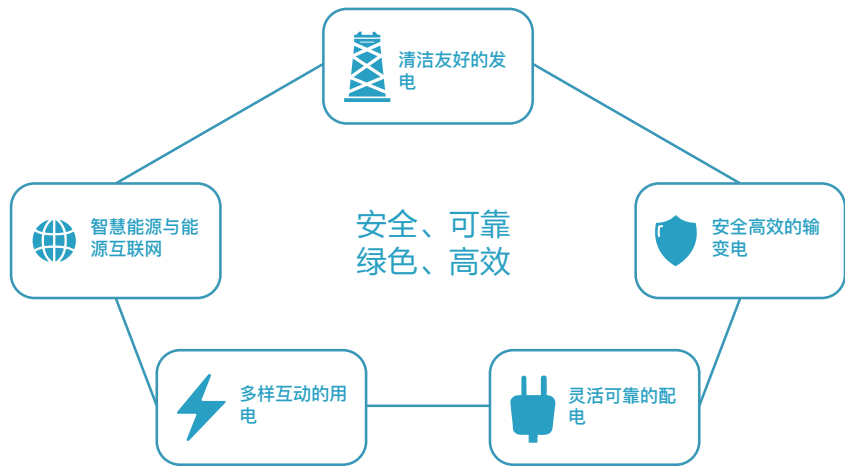


图 1-2 智能电网发展目标及重点方向

(1) 清洁友好的发电

关键特征为“清洁低碳、网源协同、灵活高效”。核心作用是增强系统灵活性，提升非化石能源消费比重，推动能源结构转型升级。以风能、太阳能为主的可再生能源开发利用技术日益成熟，成本不断降低，逐渐成为替代传统化石能源的重要选择，未来可再生能源逐步替代化石能源。另一方面，随着储能、分布式能源、微网等技术发展，能源供给形态将从集中式、一体化的能源供给向集中与分布协同、供需双向互动的能源供给转变。

(2) 安全高效的输变电

关键特征为“安全高效、态势感知、柔性可控、协调优化”。核心作用是提升输变电设备的智能化水平，构建全生命周期管理体系，提升电网安全防御能力、资源配置能力和资产利用效率。随着电力一次设备与在线监测传感器及过程层智能设备的有机整合，输变电环节将趋于测量数字化、控制网络化、状态可视化、功能一体化和信息互动化等，进而输电智能化水平、智能变电站智能运维水平将全面提升。同时，为保障城市在台风、低温、雨雪、凝冻等严重自然灾害下的基本运转，需构建纵深防御、安全可靠的城市保底电网为保障建设城市防灾保底电网。

(3) 灵活可靠的配电

关键特征为灵活可靠、可观可控、开放兼容、经济适用”核心作用是加强配电网自动化、

柔性化建设，实现配电网可观可控，满足多元负荷“即插即用”的接入需求，提升电网供电可靠性、电能质量和服务水平。城市内电动汽车、充电桩等新能源业务及农村更多的光伏扶贫、农光互补、渔光互补等新能源需保障接入和消纳将逐步普及，配电网需适配更多元负荷的“泛在接入”、“即插即用”的需求。同时，随着智能分层分布式控制体系逐步建立，配电网自动化水平将全面提升，其精准控制的能力将进一步加强。

(4) 多样互动的用电

关键特征为“多元友好、双向互动、灵活多样、节约高效”；核心作用是打造全方位客户服务互动平台，全方位加强客户互动，满足智慧用能的需求，提高终端能源利用效率，推动能源消费革命。电动汽车、电供暖（冷）、港口岸电等终端将逐步普及，电能占终端能源消费比重将不断上升；随着未来高级量测体系将被广泛部署，智能家居与智能小区业务将进一步丰富，随着阶梯电价、实时电价、用电负荷需求侧响应等业务将逐步渗透，用户将可更多地参与到自身的用电管理中。

(5) 智慧能源与能源互联网

关键特征为“多能互补、高效协同、开放共享、价值创新”；核心作用是打造具有独特竞争力的新型综合能源服务商，创新企业价值，促进互联网技术与能源系统深度融合，促进能源耦合系统基础设施建设，推动能源市场开放和产业升级，支撑低碳、清洁、高效的社会发展。随着传感、信息、通信、控制技术与能源系统的深度融合，传统单一能源网络向多能互补、能源与信息通信技术深度融合的智能化方向发展，电、热（冷）、气等各领域的能源需求将逐步统筹，从而实现多能协同供应和能源综合梯级利用。同时，随着综合能源服务业务、智慧能源的发展、及互联网技术的深入应用，能源耦合系统基础设施将逐步完善，能源市场将逐步开放，能源产业将进一步转型升级。

1.4 智能电网对电力通信网的新挑战

电力通信网作为支撑智能电网发展的重要基础设施，保证了各类电力业务的安全性、实时性、准确性和可靠性要求。构建大容量、安全可靠的光纤骨干通信网，以及泛在多业务灵活可信接入的配电通信网，这是通信网络建设的两个重要组成部分。在骨干通信网侧，经过多年建设，35kV 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，光纤资源已实现 35kV 及以上厂站、自有物业办公场所 / 营业所全覆盖。在配电通信网侧，由于点多面广，海量设备需要实时监测或控制，信息双向交互频繁，且现有光纤覆盖建设成本高、运维难度大，公网承载能力有限，难以有效支撑配电网各类终端可观可测可控。随着大规模配电网自动化、高级计量、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，迫切需要构建安全可信、接入灵活、双向实时互动的“泛在化、全覆盖”配电通信接入网，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，这是智能电网发展对配电网通信提出的新需求。

因此,从发展趋势看,未来智能电网的大量应用将集中在配电网侧,应采用先进、可靠、稳定、高效的新兴通信技术及系统,丰富配电网侧的通信接入方式,从简单的业务需求被动满足转变为业务需求主动引领,提供更泛在的终端接入能力、面向多样化业务的强大承载能力、差异化安全隔离能力及更高效灵活的运营管理能力。

(1) 电力通信网络是支撑智能电网发展的基础平台

智能电网的发展强调多种能源、信息的互连,通信网络将作为网络信息总线,承担着智能电网源、网、荷、储各个环节的信息采集、网络控制的承载,为智能电网基础设施与各类能源服务平台提供,安全、可靠、高效的信息传送通道,实现电力生产、输送、消费各环节的信息流、能量流及业务流的贯通,促进电力系统整体高效协调运行。

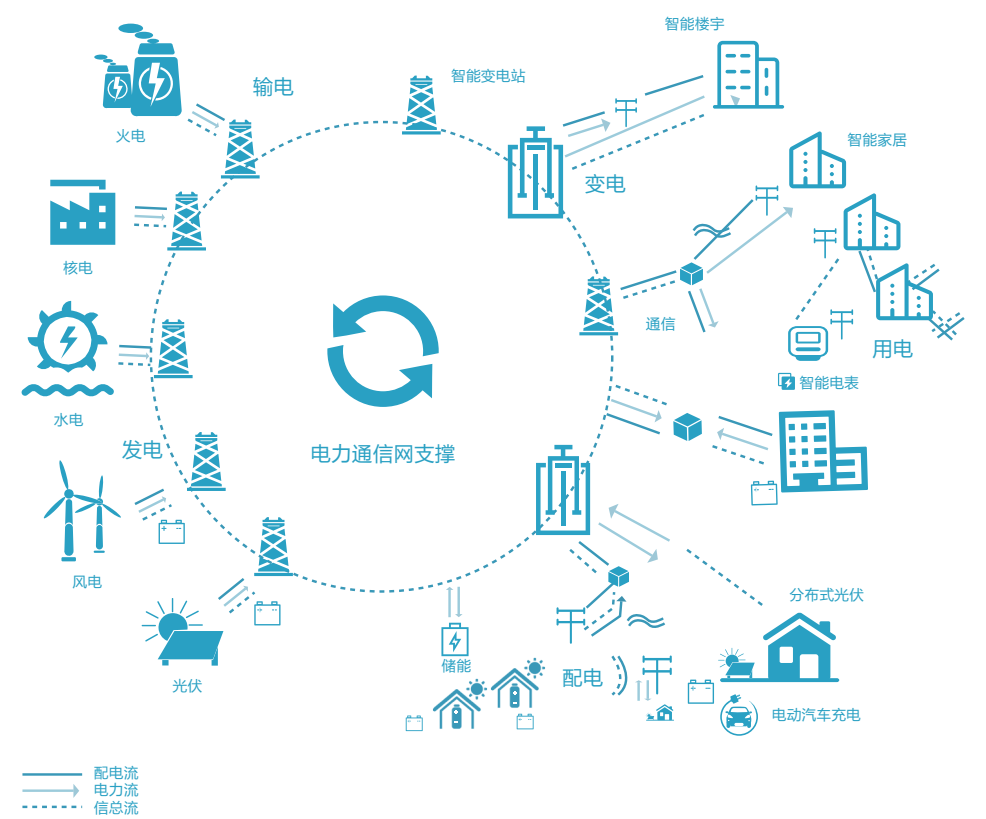


图 1-3 电力通信网络在智能电网中的定位

(2) 通信网络需要从被动的需求满足, 转变为主动的需求引领

目前业务系统通信需求均基于设备的生产控制为主, 未兼顾人、车、物等综合的管理场景需求。随着智能电网的发展, 通信的需求及业务类型具有多样性、复杂性及未知性等特点, 通信网络需适度超前, 提前储备, 提前满足未来多元化的业务承载需求, 如智能化移动作业、巡检机器人、数字化仓储物流、综合用能优化服务、电能质量在线监测、

能源间协调、源网荷储互动、双向互动充电桩等。

(3) 通信网络需具备更强大的承载能力, 差异化的安全隔离能力及更高效灵活的运营管理能力

为满足智能电网的五大发展重点, 通信网络需具备更强大的承载能力 (如百万~千万级的连接能力、单站具备 $n \times 10\text{Mbps}$ 的带宽承载能力, 具备毫秒级的时延能力)、对电力不同生产区业务能提供差异化的安全隔离能力, 同时能针对不同终端, 提供终端、连接甚至网络资源的灵活开放的运营管理能力。

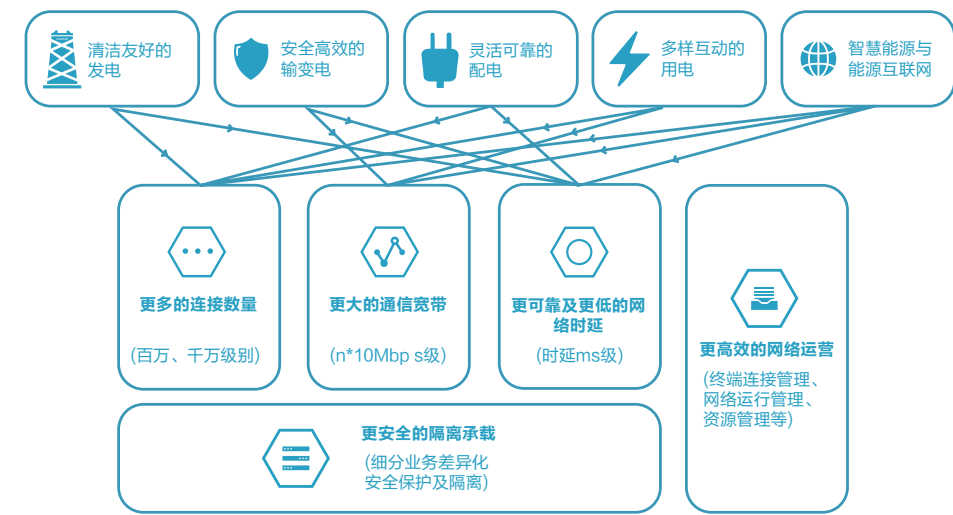


图 1-4 面向智能电网的通信网整体功能需求

(4) 通信网作为统一的通信平台, 实现业务的集约化承载, 进一步促进智能电网的数据共享及业务发展

通信网络需尽可能多地解决各类业务的接入需求, 最大限度地利用电网自身资源, 通过统一的通信平台, 提供可靠、安全的通信通道, 提高网络效率。同时, 通过通信网提供的灵活便捷的接入方式, 进一步促进能源互动、数据共享或有偿服务等能源互联网业务的发展提供帮助。

2. 5G+ 智能电网典型业务场景

2.1 5G+ 智能电网应用概述

智能电网无线通信应用场景总体上可分为控制、采集两大类。其中，控制类包含智能分布式配电自动化、用电负荷需求侧响应、分布式能源调控等；采集类主要包括高级计量、智能电网大视频应用。

控制类业务场景：当前整体通信特点为采用子站 / 主站的连接模式，星型连接拓扑，主站相对集中，一般控制的时延要求为秒级。未来随着智能分布式配网终端的广泛应用，连接模式将出现更多的分布式点到点连接，随着用电负荷需求侧响应、分布式能源调控等应用，主站系统将逐步下沉，出现更多的本地就近控制，且与主网控制联动的需求，时延需求将达到毫秒级。

采集类业务场景：未来采集频次、内容、双向互动方面将有较大变化。

采集频次：当前基本按照月、天、小时为单位采集，未来为满足负荷精确控制，用户实时定价等应用的发展，采集频次将趋于分钟级，达到准实时能力。

采集内容：当前主要以基础数据、图像为主，码率为 100kbps 级。随着智能电网、物联网的迅速发展，采集对象将扩展至电力二次设备及各类环境、温湿度、物联网、多媒体场景，连接数量预计至少翻一倍；中远期若在产业驱动下，集抄方式下沉至用户，采集内容将深入到户内用电设备的信息，连接数预计翻 50-100 倍；另外，采集内容亦从原有的简单数据化趋于视频化、高清化，尤其在无人巡检、视频监控、应急现场自组网综合应用等场景将出现大量高清视频的回传需求，局部带宽需求在 4-100Mbps 级。

双向互动：随着家庭能源管理应用的推广，通过智能电表实现家电用电信息采集；通过智能交互终端，以 APP 的方式，给用户实时电价和用电信息，实现对用户室内用电装置的负荷控制等各类互动服务与电力增值服务功能，达到需求侧管理的目的。

表 2-1 智能电网应用场景及整体发展趋势

业务类型	典型场景	当前通信特点	未来通信趋势
控制类	智能分布式配电自动化、用电负荷需求侧响应、分布式能源	1、连接模式：子站 / 主站模式，主站集中，星型连接为主 2、时延要求：秒级	1、连接模式：分布式点对点连接与子站主站模式并存，主站下沉，本地就近控制 2、时延要求：毫秒级
采集类	高级计量、智能电网大视频应用（包括变电站巡检机器人、输电线路无人机巡检、配电房视频综合监控、移动式现场施工作业管控、应急现场自组网综合应用等）	1、采集频次：月、天、小时级 2、采集内容：基础数据、图像为主，单终端码率为 100kbps 级 3、采集范围：电力一次设备，配网计量一般采用集抄方式，连接数量百个 /km2	1、采集频次：分钟级，准实时 2、采集内容：视频化、高清化，带宽在 4-100Mbps 不等 3、采集范围：近期扩展到电力二次设备及各类环控、物联网、多媒体场景，连接数量预计至少翻一倍；中远期若产业驱动将下沉至用户，并深入到户内，连接数预计翻 50-100 倍

2.2 典型业务场景分析

2.2.1 控制类业务

2.2.1.1 智能分布式配电自动化

智能分布式配电自动化终端，主要实现对配电网的保护控制，通过继电保护自动装置检测配电网线路或设备状态信息，快速实现配网线路区段或配网设备的故障判断及准确定位，快速隔离配网线路故障区段或故障设备，随后恢复正常区域供电。该终端后续集成三遥、配网差动保护等功能。

(1) 业务现状及发展趋势

①当前现状及未来的发展趋势

早期的配网保护多采用简单的过流、过压逻辑，不依赖通信，其不足之处在于不能实现分段隔离，停电影响范围扩大。为实现故障的精准隔离，需要获取相邻元件的运行信息，可采用集中式或分布式原理。

集中控制型，中心逻辑单元负责主要保护逻辑运算及发出保护跳闸指令，就地逻辑单元负责就地的信息采集并处理、执行就地保护跳闸指令，将处理后的就地信息传送给中心逻辑单元。

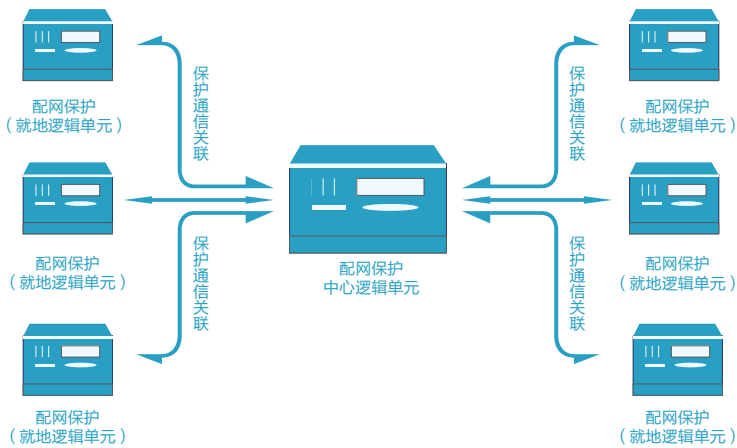


图 2-1 集中控制型保护典型拓扑

分布式控制型，根据网架结构划分设备组，分组内的每台终端都可以起到中心逻辑单元的作用，就地执行跳闸操作。各终端处理后的就地信息传送给运维中心。

在配网领域推广应用差动保护，可以进一步缩短故障持续时间，提高供电可靠性。

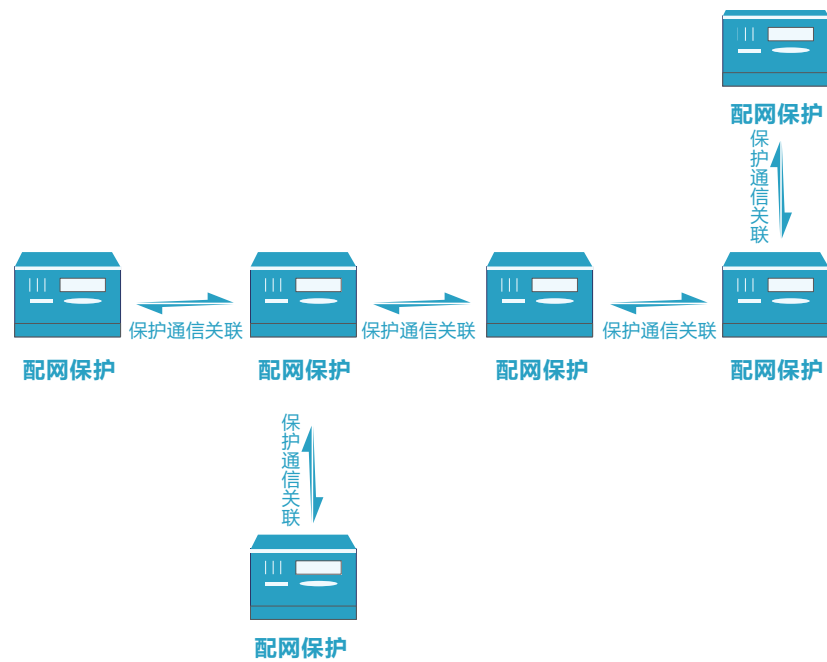


图 2-2 分布式控制型保护典型拓扑

(2) 未来的通信需求

- ① 带宽：差动保护带宽要求 2Mbps。
- ② 时延：差动保护要求延时小于 10ms，时间同步精度为 10us，电流差动保护装置所在变电站距离 <40km 主备用通道时延抖动在 ±50us。同时，为达到精准控制，相邻智能分布式配电自动化终端间在信息交互时必须携带高精度时间戳。
- ③ 可靠性：要求高，99.999%
- ④ 隔离要求：配电自动化属于电网 I/II 生产大区业务，要求和其它 III/IV 管理大区业务完全隔离
- ⑤ 连接数量：X*10 个 /km2。

2.2.1.2 用电负荷需求侧响应

需求响应即电力需求响应的简称，是指当电力批发市场价格升高或系统可靠性受威胁时，电力用户接收到供电方发出的诱导性减少负荷的直接补偿通知或者电力价格上升信号后，改变其固有的习惯用电模式，达到减少或者推移某时段的用电负荷而响应电力供应，从而保障电网稳定，并抑制电价上升的短期行为。

用电负荷需求侧响应主要是引导非生产性空调负荷、工业负荷等柔性负荷主动参与需求侧响应，实现对用电负荷的精准负荷控制，解决电网故障初期频率快速跌落、主干通道潮流越限、省际联络线功率超用、电网旋转备用不足等问题。未来快速负荷控制系统将达到毫秒级时延标准。

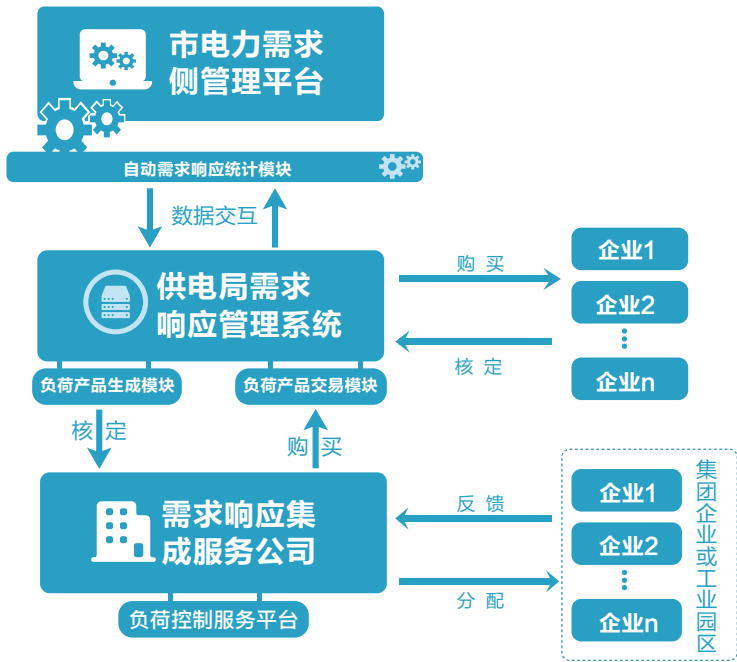


图 2-3 用电负荷需求侧响应示意图

(1) 业务现状及发展趋势

① 当前现状

传统需求侧响应对负荷的控制指令在终端与主站之间交互，终端横向之间无数据交互。对负荷的控制，通常只能切除整条配电线路。以直流双极闭锁故障为例，若采用传统方式，以 110KV 负荷线路为对象，集中切除负荷，将达到一定的电力事故等级，造成较大社会影响。

② 后续发展趋势

未来用电负荷需求侧响应将是用户、售电商、增量配电运营商、储能及微网运营商等多方参与，通过灵活多样的市场化需求侧响应交易模式，实现对客户负荷进行更精细化的控制，控制对象可精准到企业内部的可中断负荷，如工厂内部非连续生产的电源、电动汽车充电桩等。在负荷过载时，可有线切断非重要负荷，将尽量减少经济损失，降低社会影响。

(2) 未来的通信需求

- ① 带宽：负荷管理控制终端 50kbps~ 2Mbps。
- ② 时延：毫秒级负荷管理控制时延小于 50ms。
- ③ 可靠性：要求高，99.999%
- ④ 隔离要求：属于电网 I/II 生产大区业务，要求和其它 III/IV 管理大区业务完全隔离。
- ⑤ 连接数量：X*10 个 /km2。

2.2.1.3 分布式能源调控

分布式能源包括太阳能利用、风能利用、燃料电池和燃气冷热电三联供等多种形式。其一般分散布置在用户 / 负荷现场、或邻近地点，一般接入 35kV 及以下电压等级配电网，实现发电供电。分布式发电具有位置灵活、分散的特点，极好地适应了分散电力需求和资源分布，延缓了输配电网升级换代所需的巨额投资；与大电网互为备用，也使供电可靠性得以改善。

分布式能源调控系统主要具备数据采集处理、有功功率调节、电压无功功率控制、孤岛检测、调度与协调控制等功能，主要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。

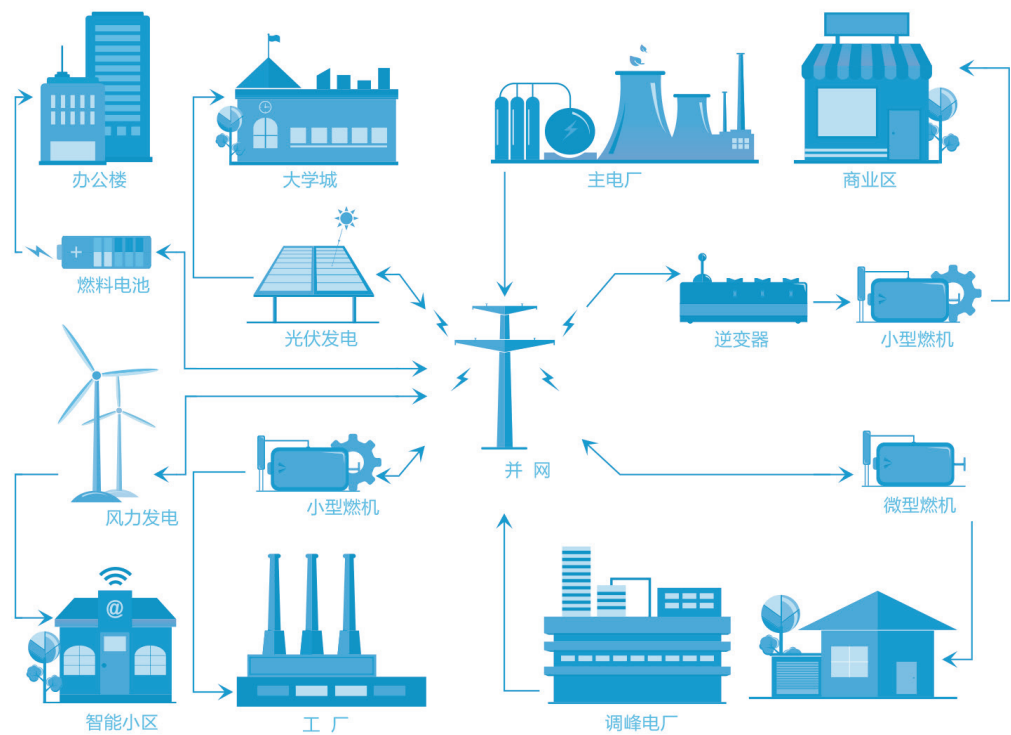


图 2-4 分布式能源构成及并网结构图

(1) 业务现状及发展趋势

在风暴和冰雪天气下，当大电网遭到严重破坏时，分布式电源可自行形成孤岛或微网向医院、交通枢纽和广播电视等重要用户提供应急供电。同时，分布式电源并网给配电网的安全稳定运行带来了新的技术问题和挑战。

分布式电源接入配电网后，网络结构将从原来的单电源辐射状网络变为双电源甚至多电源网络，配网侧的潮流方式更加复杂。用户既是用电方，又是发电方，电流呈现出双向流动、实时动态变化。未来需增加配电网的可靠性、灵活性及效率。

(2) 未来的通信需求

- ① 带宽：带宽综合在 2Mbps 以上
- ② 时延：采集类小于 3s，控制类小于 1s

③ 可靠性：采集类要求 99.9%，控制信息要求 99.999%

④ 隔离要求：同时有 I/II/III 区的业务。安全 I 区包括分布式电源 SCADA 监控信号和配网继电保护信号是生产控制信号。安全 II 区包括电源站计量业务、保护信息管理与故障录播业务，安全 III 区包括电源站运行管理业务、发电负荷预测、视频监控业务。

⑤ 连接数量：海量接入，随着屋顶分布式光伏、电动汽车充换电站、风力发电、分布式储能站的发展，连接数量将达到百万甚至千万级。

2.2.2 采集类业务

2.2.2.1 高级计量

高级计量将以智能电表为基础，开展用电信息深度采集，满足智能用电和个性化客户服务需求。对于工商业用户，主要通过企业用能服务系统建设，采集客户数据并智能分析，为企业能效管理服务提供支撑。对于家庭用户，重点通过居民侧“互联网+”家庭能源管理系统，实现关键用电信息、电价信息与居民共享，促进优化用电。

(1) 业务现状及发展趋势

① 当前现状

当前主要通过低压集抄方式进行计量采集。目前多以配变台区为基本单元进行集中抄表，集中器通过运营商无线公网回传至电力计量主站系统。目前一般以天、小时为频次采集上报用户基本用电数据，数据以上行为主，单集中器带宽为 10kbps 级，月流量 3~5MB。

② 后续发展趋势

未来在现有远程抄表、负荷监测、线损分析、电能质量监测、停电时间统计、需求侧管理等基础上，将扩展更多新的应用需求，例如支持阶梯电价等多种电价政策、用户双向互动营销模式、多元互动的增值服务、分布式电源监测及计量等。

近期主要呈现出采集频次提升，采集内容丰富、双向互动三大趋势。

采集频次提升，为更有效地实现用电削峰填谷，支撑更灵活的阶梯定价，计量间隔将从现在的小时级提升到分钟级，达到准实时的数据信息反馈。

采集内容丰富，对于家庭用户，未来除用电家庭为单位的整体用电信息，采集内容将延伸至用户住宅内的室内网络（HAN），实现户内用电设备的信息计量。此外，随着以双向方式将分布式电源、电动汽车、储能装置等用户侧设备接入电网，电网计量观测范围将进一步加大。

双向互动，通过推广部署家庭能源管理系统，通过智能交互终端，辅助用户实现对家用电器的控制，包括家电用电信息采集、与电网互动、家电控制、故障反馈、家电联动、负荷敏感程度分类等，同时，给用户实时电价和用电信息，并通过 APP 的方式，实

14

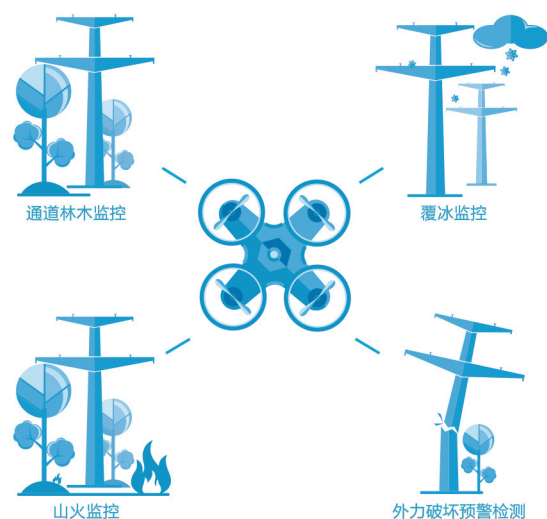


图 2-7 无人机巡检及应用场景

未来随着无人机续航能力的增强，及 5G 通信模组的成熟，结合边缘计算（MEC）的应用，5G 综合承载无人机飞控、图像、视频等信息将成为可能。无人机与控制台均与就近的 5G 基站连接，在 5G 基站侧部署边缘计算服务，实现视频、图片、控制信息的本地卸载，直接回传至控制台，保障通信时延迟在毫秒级，通信带宽在 Mbps 以上。同时还可利用 5G 高速移动切换的特性，使无人机在相邻基站快速切换时保障业务的连续性，从而扩大巡线范围到数公里范围以外，极大提升巡线效率。

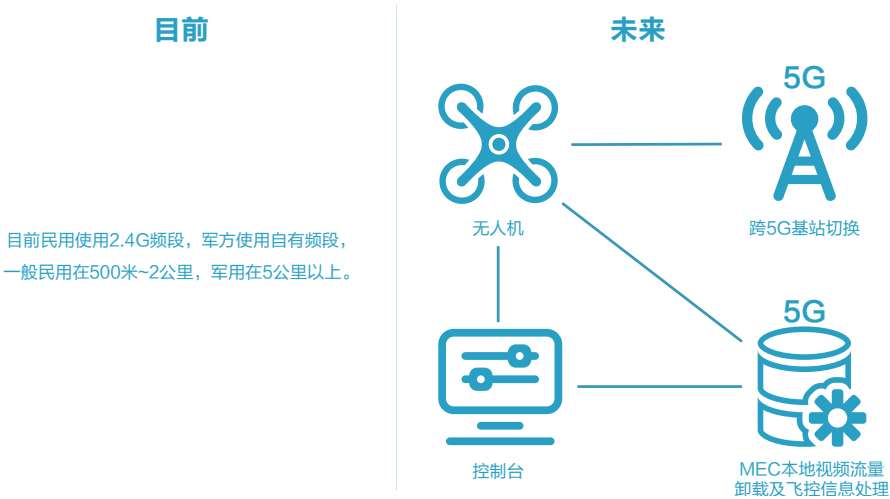


图 2-8 5G 无人机巡检新模式

③ 配电房视频综合监视

该场景主要针对配电网重要节点（开闭站）的运行状态、资源情况进行监视。该类业务一般在配电房内或相对隐蔽的公共场所，是集中型实时业务，业务流向为各配电房

视频采集终端集中到配网视频监控平台。

当前，配电房内大量配电柜等设备，其各路开关的运行信息多采用模拟指针式，其运行状态及各开关闭合状态仍需人工勘察巡检，手抄记录。同时大量的配电房仍缺乏视频安防及环境监控。光纤覆盖难度大。

未来，重要配电房节点（开闭站）内可配备智能的视频监视系统，按照配电房内配电柜的布局，部署可灵活移动的视频综合监视装备，对配电柜、开关柜等设备进行视频、图像回传，云端同步采用先进的 AI 技术，对配电柜、开关柜的图片、视频进行识别，提取其运行状态数据、开关资源状态等信息，进而避免了人工巡检的繁琐工作。在满足智能巡检的基础上，该系统还可完成机房整体视频监视，温湿度环境等传感器的综合监控功能。

考虑到该智能巡检装备至少需搭载 2 路摄像头，图像格式质量达到 4 CIF 要求，视频为高清以上，单节点带宽需 4~10Mbit/s 以上，且带宽流量需连续稳定。为保障视频传送不卡顿，时延小于 200ms，且需要考虑配电房或隐蔽公共场所的弱覆盖问题。

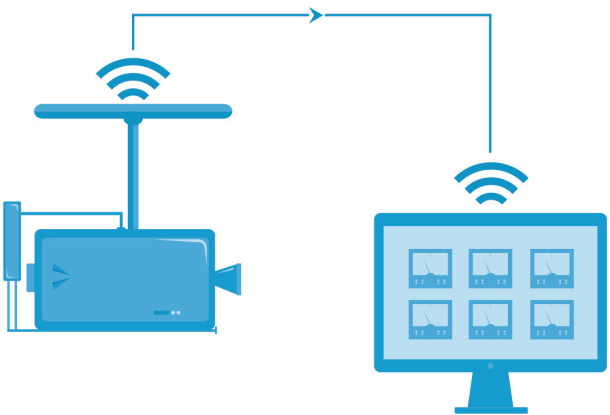


图 2-9 配电房视频综合监控应用场景

④ 移动式现场施工作业管控

在电力行业，涉及强电作业，施工安全要求极高，该场景主要针对电力施工现场的人员、工序、质量等全放位进行监管，并针对方案变更、突发事故处理等紧急情况提供远程实时决策依据，并提供事故溯源排查等功能。

目前施工现场的监管主要依靠现场监理，并通过手机、平板等智能终端进行关键信息的图片、视频回传。由于施工现场具有随机、临时的特征，不适合采用光纤有线接入的方案。若采用 4G 网络回传，在密集城区的施工场地，4G 网络的容量受限，往往无法提供持续稳定的多路视频同时回传，在郊外空旷区域，4G 网络覆盖难以满足业务接入需求。

未来利用 5G 提供稳定持续的视频回传功能，在现场根据需求，临时部署多个移动摄像头对施工现场进行实时监控，在紧急情况下，可移动摄像头聚焦局部区域，提供实时决策，施工完毕后，移动的摄像头可以复用到其他施工现场。

预计局部施工现场需提供 5-8 个移动摄像头，每个摄像头提供长期稳定的高清视频回传，带宽需求在 20~50Mbps，为避免视频卡顿，时延迟在 200ms 以内。

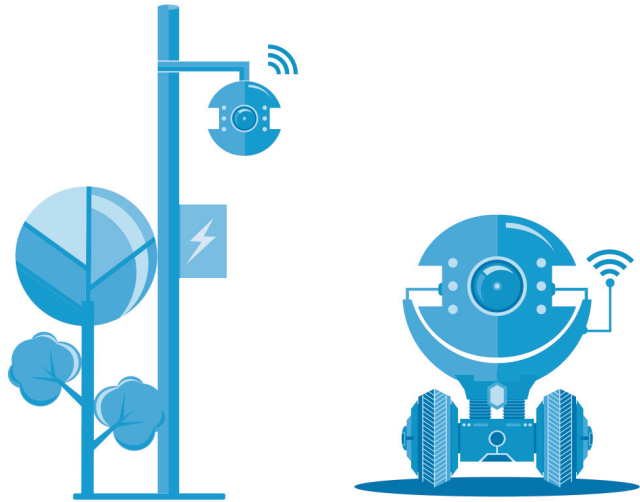


图 2-10 移动式现场施工作业管控应用场景

⑤ 应急现场自组网综合应用

主要针对地震、雨雪、洪水、故障抢修等灾害环境下的电力抢险救灾场景，通过应急通信车进行现场支援，5G 可为应急通信现场多种大带宽多媒体装备提供自组网及大带宽回传能力，与移动边缘计算等技术像结合，支撑现场高清视频集群通信、指挥决策。

目前应急通信车主要采用卫星作为回传通道，配备了卫星电话、移动作业等装备，现场集群通信以语音、图像为主，通过卫星回传至远端的指挥中心进行统一调度和指挥决策。

未来应急通信车将作为现场抢险的重要信息枢纽及指挥中心，需具备自组网能力，配备各种大带宽多媒体装备，如无人机、单兵作业终端、车载摄像头、移动终端等。应急通信车可配备搭载 5G 基站的无人机主站，通过该无人机在灾害区域迅速形成半径在 2-6km 的 5G 网络覆盖，其余无人机、单兵作业终端等设备可通过接入该无人机主站，回传高清视频信息或进行多媒体集群通信。应急通信车一方面作为现场的信息集中点，结合边缘计算技术（MEC），实现基于现场视频监控、调度指挥、综合决策等丰富的本地应用。另一方面，可为无人机主站提供充足的动力，使其达到 24 小时以上的续航能力。

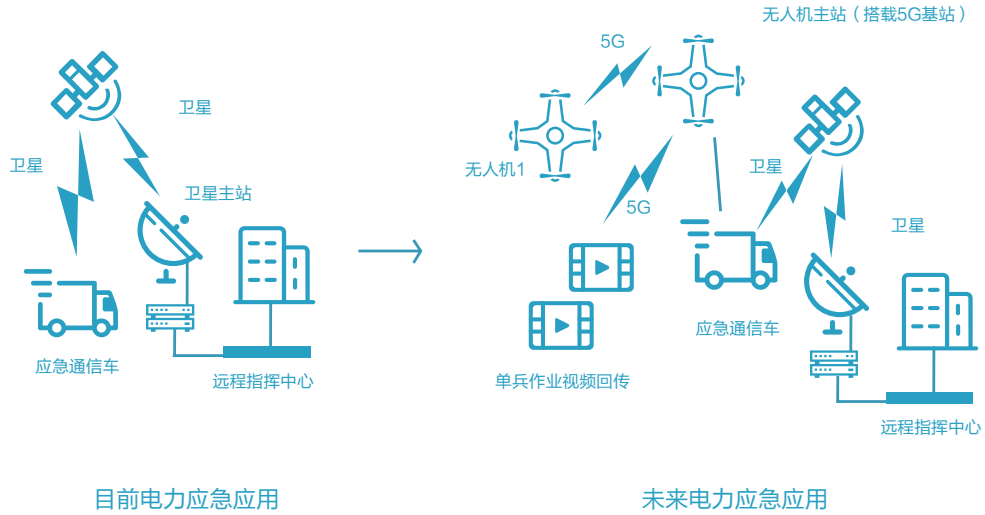


图 2-11 应急现场自组网综合应用场景

预计 v 单个应急通信车需提供 4-10 路稳定持续的高清视频回传通道，带宽需求在 50~100Mbps，为避免视频卡顿，时延迟在 200ms 以内。

(2) 未来的通信需求

- ① 带宽：根据场景不同，要求可持续稳定的保障 4~100Mbps。
- ② 时延：多媒体信息时延要求小于 200ms。控制信息时延迟小于 100ms。
- ③ 可靠性：多媒体信息可靠性要求 99.9%，控制信息可靠性要求 99.999%
- ④ 隔离要求：基本属于电网 III 区业务，安全性要求低于 I/II 区。少量控制功能如巡检机器人需远程操作的控制信息属于 I/II 区。
- ⑤ 连接数量：集中在局部区域 2~10 个不等。
- ⑥ 移动性：移动速率相对较低，在 10~120km/h 范围内。

2.3 业务指标小结

表 2-2 智能电网典型应用场景关键通信需求指标汇总

业务类别	业务名称	通信需求				
		时延	带宽	可靠性	安全隔离	连接数
控制类	智能分布式配电自动化	≤ 10ms	≥ 2Mbps	99.999%	安全生产Ⅰ区	X*10 个 /km2
	用电负荷需求侧响应	≤ 50ms	10kbps~2Mbps	99.999%	安全生产Ⅰ区	
	分布式能源调控	采集类≤ 3s 控制类≤ 1s	≥ 2Mbps	99.999%	综合包含Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区业务	百万~千万级
采集类	高级计量	≤ 3s	1~2Mbps	99.9%	管理信息大区Ⅲ	集抄模式 X*100 个 /km2 下沉到用户后翻 50~100 倍
	变电站巡检机器人	≤ 200ms	4~10Mbps	99.9%	管理信息大区Ⅲ	集中在局部区域 1~2 个
	输电线路无人机巡检		20~100Mbps			局部区域内 5~10 个
	配电房视频综合监控					
	移动现场施工作业管控					
	应急现场自组网综合应用					

3. 5G 概述及其对智能电网的价值

3.1 5G 的概念与特征

随着 4G 进入规模商用，面向 2020 年及未来的第五代移动通信（5G）已成为全球通信发展热点。相对 4G，5G 将以一种全新的网络架构，提供 10Gbps 以上的带宽、毫秒级时延，及超高密度连接，实现网络性能新的跃升。ITU 定义了 5G 三大场景：增强移动带宽（eMBB）、超高可靠低时延通信（uRLLC）、大规模机器类通信（mMTC）。相对应 ITU 的三大场景，我国 IMT2020 提出了连续广域覆盖、热点高容量、低时延高可靠和低功耗大连接四大场景。

(1) 行业趋势：5G 是新一轮移动通信的演进方向

自 20 世纪 80 年代以来，移动通信每十年出现新一代革命性技术，推动着信息通信技术、产业和应用的革新，为全球经济社会发展注入源源不断的强劲动力。截至目前，移动通信技术已经历了 1G 至 4G 四个时代，正朝着第五代移动通信技术（5G）阔步前行，由此引发的新一轮技术创新浪潮正在蓄积。

(2) 5G 实现“万物互联”，满足更多垂直行业需求

相比于 4G 以人为中心的移动宽带网络，5G 网络将实现真正的“万物互联”，并缔造出规模空前的高新技术产业，为移动通信带来无限生机。物联网扩展了移动通信的服务范围，从人与人通信延伸到物与物、人与物智能互联，使移动通信技术渗透至更加广阔的行业和领域。垂直行业是 5G 时代重要的业务场景，从传统以人为中心的服务拓展至以物为中心的服务。能源、车联网、工业控制等物联网行业的业务特征和对网络的需求差异巨大，传统网络一种架构满足所有场景的设计模式难以满足 5G 时代新业务新能力的要求。

(3) 5G 提供定制化的端到端网络切片服务，更好满足“行业专网”的需求

网络切片四大特征包括定制性、隔离和专用性、分级 SLA 保障以及可基于统一平台灵活构建、自动化运维。

定制性：网络能力可定制、网络性能可定制、接入方式可定制、服务范围和部署策略可定制，有助于行业分步骤、按需、快速地开通新业务所需要的网络新特性。

隔离和专用性：为不同的切片提供服务于特定的应用场景的差异化资源使用策略、数据访问安全、高可用性等保障，使得不同切片之间相互隔离，互不影响。

按需连接服务：为垂直行业提供按需采购、稳定可靠的连接服务。

统一平台：5G 引入了如 SDN（软件定义网络）和 NFV（网络功能虚拟化）。实现

软件与硬件的解耦，网络功能以虚拟网元的形式部署在统一基础设施上，提升切片的管理效率，提供更为高效的行业服务。

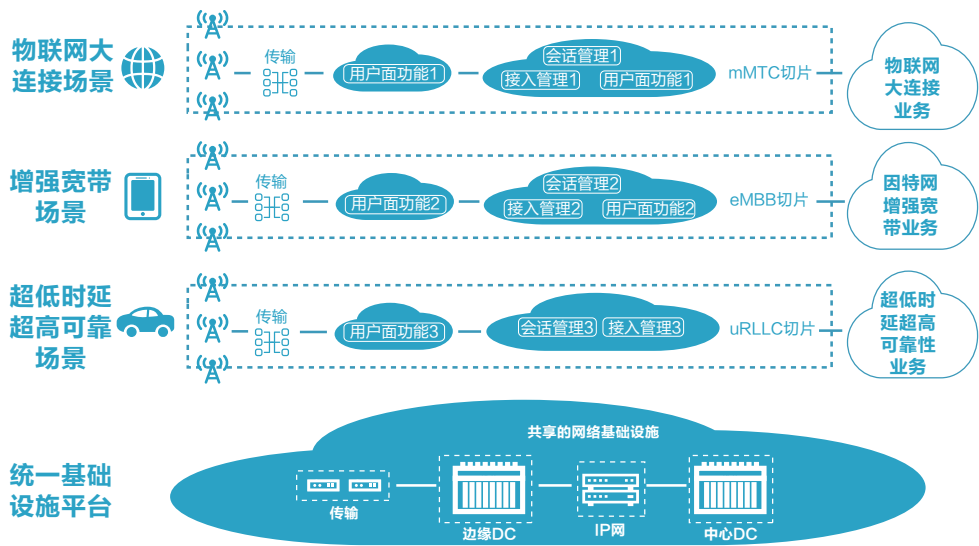


图 3-1 网络切片示意图

3.2 5G 网络切片关键技术

网络切片整体包括接入、传输、核心网域切片使能技术，网络切片标识及接入技术，网络切片端到端管理技术，网络切片端到端 SLA 保障技术 4 项关键技术。其中，接入、传输、核心网域切片使能技术作为基础支撑技术，实现接入、传输、核心网的网络切片实例；网络切片标识及接入技术实现网络切片实例与终端业务类型的映射，并将终端注册至正确的网络切片实例；网络切片端到端管理技术实现端到端网络切片的编排与管理；网络切片端到端 SLA 保障技术可以对各域网络性能指标进行采集分析和准实时处理，保证系统的性能满足用户的 SLA 需求。

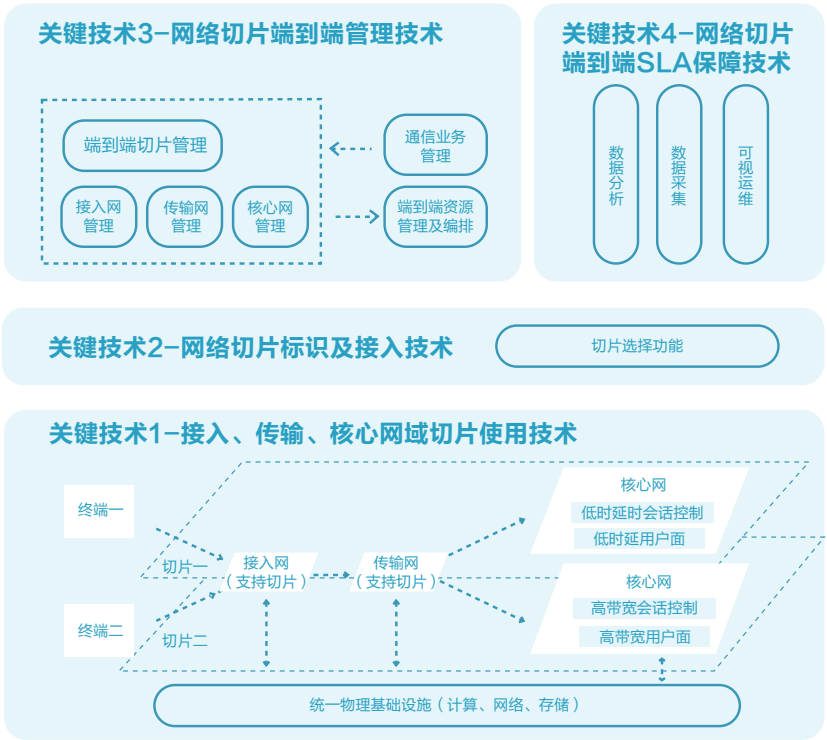


图 3-2 5G 端到端网络切片总体架构

关键技术 1：接入、传输、核心网域切片使能技术

3GPP 标准定义了切片总体架构，其满足资源保障、安全性、可靠性 / 可用性等多方面的隔离诉求。具体到各技术域，可以支持多种不同的资源隔离与共享方式，以适应不同等级的性能、功能以及隔离诉求。

核心网：未来核心网是基于虚拟化部署，核心网功能设计及架构是基于服务化架构，因而相比于无线接入网和承载传输网来说，核心网可更加灵活地支持网络功能定制化、切片隔离、基于切片的资源分配。核心网管理可以对终端可接入的切片标识进行分配与更新，完成切片接入流程与安全校验的主要功能。

接入网：接入网自身技术特征所产生的关联需求决定了其对网络切片的支持方式，比如接入网使用的稀缺资源（空口频谱资源），因而在网络切片技术中要考虑其资源使用效率需求。接入网侧主要是支持对切片的感知、基于切片的路由、资源隔离，并支持基于切片的灵活资源调度。

传输网：承载传输网对于网络切片的支持立足于解决各种垂直行业的 QoS 差异，隔离性，以灵活性需求。对于承载传输，天生就是基于网络资源层面切片实现的。比如，针对切片网络的时延和抖动要求有一定弹性，不是严格的要求如 10ms 以内，则可以考虑使用 VLAN 及 QoS 的调度软隔离方式来支持；针对有时延和可靠性要求的网络切片，

可采用硬隔离的承载传输技术，如基于 FlexE 交叉或是 OTN 等。

关键技术 2：网络切片标识及接入技术

网络切片标识由两部分组成：

1) 切片类型，即 3GPP 中定义的 Slice type (SST)，用于描述切片的主要特征与网络表现

2) 切片差异化标识符，即 Slice Differentiator (SD)，用于进一步细化差异切片标识是从标识行业客户对切片需求的重要标识。

执行网络切片选择时，终端支持在 RRC 和 NAS 携带网络切片标识的能力。基站支持基于网络切片标识选择核心网网络功能的能力。核心网中引入新的网络切片选择功能 (NSSF) 并支持接入管理功能 (AMF) 重定向及选择其他网络功能 (SMF 等) 能力，当执行完网络切片选择后，核心网随之更新终端携带的网络切片标识。

关键技术 3：网络切片端到端管理技术

网络切片端到端管理技术可以采集网络切片各技术域的通信状态信息与过程信息，从而对网络切片的功能与资源进行按需调配，使得整个网络的运行更加高效，并对 S L A 进行端到端的管理。具体功能包括：

- 1) 负责端到端网络切片实例的生命周期管理。切片实例可以区分地域来管理，根据行业的不同需求，每个切片标识可以对应多个实例。
- 2) 负责切片的端到端跨域资源调配
- 3) 负责切片的整体策略配置

关键技术 4：网络切片端到端 SLA 保障技术

SLA 的保障在通信网络里一直是非常挑战的问题，在 5G 网络切片基础上，区别于过去的电信网络，移动运营商通过以下几方面的协作，实现 SLA 保障：

- 1) 网络资源的 SLA 保证：在网络切片的创建过程中，通过各域的质量保证技术协同，实现网络资源合理分配，基于一定概率提供承诺的 SLA 保证；
- 2) SLA 的监控及可视化：在网络切片的运行过程中，管理面提供基于租户粒度的 SLA 监控、统计、上报等特性；支持 SLA 可视化管理；
- 3) 端到端 SLA 的闭环：现有网络运维基础上引入闭环业务保障机制，网络基于可

预测的 QoS 及实时上报的性能指标，与应用层配合，及时根据当前业务性能指标对于网络进行调整。

3.3 5G 对智能电网的价值

从宏观层面，全球各国已达成共识，5G 已成为全球各国数字化战略的先导领域，是国家数字化、信息化发展的基础设施。同时，如电力、汽车、工业制造等更多的垂直行业深度参与了 5G 标准，引导了各自领域的标准制定，使 5G 技术能够更好地服务于各垂直行业。

聚焦到智能电网领域，尤其在智能配用电环节，5G 技术为配电通信网“最后一公里”无线接入通信覆盖提供了一种更优的解决方案，智能分布式配电自动化、高级计量、分布式能源接入等业务未来可借力 5G 取得更大技术突破。5G 网络可发挥其超高带宽、超低时延、超大规模连接的优势，承载垂直行业更多样化的业务需求，尤其是其网络切片、能力开放两大创新功能的应用，将改变传统业务运营方式和作业模式，为电力行业用户打造定制化的“行业专网”服务，相比于以往的移动通信技术，可以更好地满足电网业务的安全性、可靠性和灵活性需求，实现差异化服务保障，进一步提升了电网企业对自身业务的自主可控能力。

(1) 全球各国均将 5G 作为数字化战略的先导领域

全球各国的数字经济战略均将 5G 作为优先发展的领域，力图超前研发和部署 5G，普及 5G 应用。欧盟于 2016 年发布《欧盟 5G 宣言 -- 促进欧洲及时部署第五代移动通信网络》，将发展 5G 作为构建“单一数字市场”的关键举措。韩国在 2018 年平昌冬奥会期间开展 5G NSA 预商用试验。我国自 2014 年便开始 5G 场景需求的制定、技术研发和测试验证工作，2018 年将全面开展 5G 规模试验，在 2019 年实现 5G 试商用，2020 年实现全面商用。

(2) 各垂直行业充分参与 5G 标准制定，使 5G 更好服务垂直领域

3GPP 在 5G 的标准制定中，广泛征求各垂直行业应用场景及需求。除运营商、传统通信设备厂商意外，各垂直行业代表（如德国大众、西门子、博世、阿里巴巴、南方电网等）

纷纷加入 3GPP 标准组织，充分发表各自领域对标准的要求。其中，南方电网首次参加 3GPP 标准制定，提出切片管理信息开放、5G 公网授时等电力行业需求相关的标准提案 10 余项，其中 7 项被采纳。这也意味着南方电网公司将更深度参与到 5G 电力需求及技术方案的标准制定中，助力 5G 基础设施更广泛地服务于电力行业用户。

(3) 5G 网络切片技术，可为智能电网不同业务提供差异化的网络服务能力

智能电网业务需求广泛，同时包含了 eMBB（如巡检机器人、无人机巡检、应急通信等智能电网大视频应用）、uRLLC（智能分布式配电自动化）、mMTC（高级计量、分布式能源等）三大场景。不同网络的切片服务可更有针对性地解决智能电网的通信传输需求。

(4) 5G 网络切片技术，可为电网不同分区业务提供高可靠安全隔离

在不同生产、管理大区的电力业务有不同的安全隔离要求。5G 网络切片技术可为电网不同分区业务提供物理资源、虚拟逻辑资源等不同层次的安全隔离能力，为智能电网的业务承载提供更好的安全保障。

(5) 5G 网络具备能力开放，实现电力终端通信的可管可控

电力企业可利用公网运营商提供的各种能力开放（包括网络切片定制、规划部署、运行监控能力，公网运营商开放给用户的各类数据，以及通信终端或模组采集的各类数据），实现电力通信终端的连接管理、设备管理、业务管理、专用网络切片管理、认证和授权管理等创新业务，更好地支撑智能电网运维管理。

4. 5G 智能电网端到端网络切片解决方案

4.1 总体体系

5G 智能电网整体解决方案总体分为端、管、云、安全体系 4 个部分。

端的层面，主要包括智能分布式配电自动化终端、集中器、电表、无人机、巡检机器人、高清摄像头等不同电力终端，分别对应 5G 三大网络切片场景。

管的层面，主要包括基站、传输承载、核心网等网络，共同为智能电网提供网络切片服务。并可根据电力业务的不同分区，在三大网络切片基础上，进一步为电力企业不同的业务提供不同的子切片服务，保证电力业务的安全隔离要求，通过与电力各类业务平台对接，实现电力终端至主站系统的可靠承载。同时运营商网络通过能力开放平台，实现终端与网络信息的开放共享，进而为电力行业提供网络切片二次运营的可能。

云的层面，5G 基于 NFV/SDN 的网络实现方式，为电力行业客户提供更开放、更便捷的终端业务自主管理、自主可控能力。基于此，电力领域的业务平台总体上可分为两大类。

第一类是传统的电力业务平台，如配网自动化、计量自动化等主站系统。

第二类是电力业务通信管理支撑平台，主要包括通信终端管理、业务管理、切片管理、统计分析及应用等 5 大类应用。此平台对电力内部，作为通信管理的能力开放平台，为第一类业务平台提供切片管理服务以及终端状态、流量状态等信息，实现电力终端通信的可管可控；对外，将作为与运营商网络的接口，通过对接运营商网络能力开放平台或终端应用层交互的方式，获取终端、业务、网络等信息，并在此基础上提供基于大数据的更多高级应用。

安全体系方面，涵盖了端、管、云三个层次，云层面将根据电力行业及国家相关要求，电力生产控制类业务通过 5G 公网进入电力业务平台前，将接入安全接入区，进行必要的网闸隔离。5G 智能电网安全手段，重点聚焦在管、端两侧，主要通过利用 5G 提供的统一认证框架、多层次网络切片安全管理、灵活的二次认证和密钥能力及安全能力开放等新属性，进一步提升安全性。

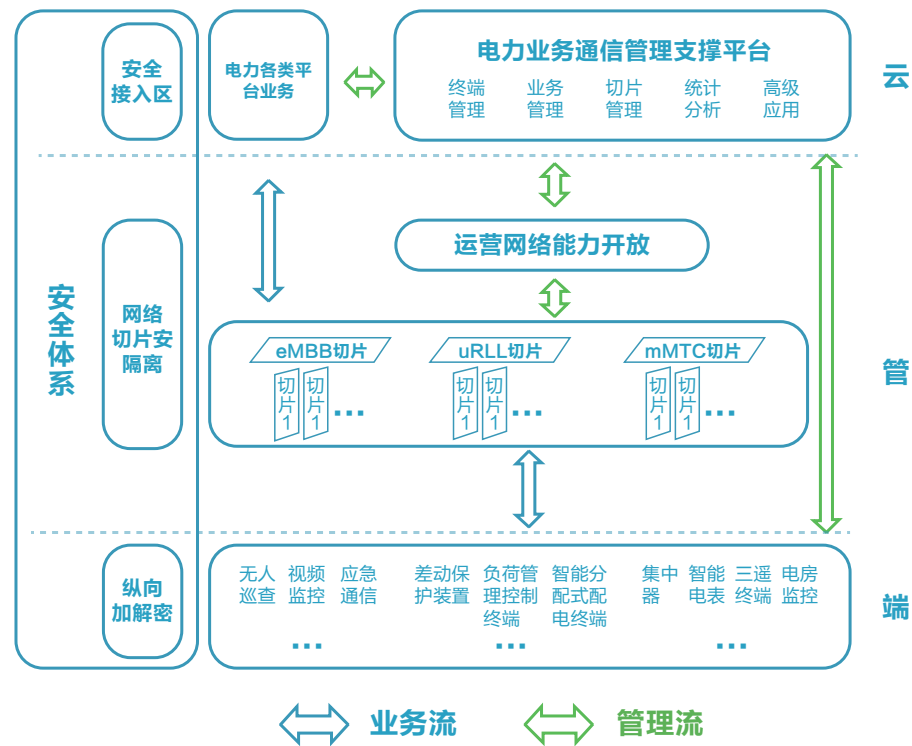


图 4-1 5G 端到端网络切片总体体系

4.2 终端部分

4.2.1 业务类型与网络切片间映射关系

5G 系统中 eMBB、uRLLC、mMTC 三大场景将为智能电网各类典型业务提供能力。其中，eMBB 场景主要为智能电网的大视频应用，包括了变电站巡检机器人、输电线路无人机巡检、配电房视频综合监控、移动现场施工作业管控、应急现场综合自主网应用。uRLLC 场景主要包括智能分布式配电自动化、用电负荷需求侧响应业务。mMTC 场景主要为分布式能源调控及高级计量两大业务。

4.2.2 5G 电力通信终端形态展望

5G 电力通信终端形态将包括独立式通信终端（CPE）、嵌入式通信模块两类。其中 CPE 南向与电力业务终端的接口进行通信连接适配，嵌入式通信模块把 5G 的通信能力集成到电力业务终端内部。两种设备均通过北向接入 5G 网络。

在智能电网 5G 典型应用场景中，综合考虑终端形态、改造成本、移动性、负载性、取电等因素，对于变电站巡检、无人机巡线、配电房视频综合监控、移动现场施工作业管控、应急通信等大视频应用的终端，建议后续主要采用嵌入式模块方式。对于智能分布式配

电自动化、用电负荷需求侧响应、分布式能源调控的终端可采用 CPE 或嵌入式通信模块的方式。

表 4-1 典型电力终端的通信终端形态及其网络切片映射

业务类别	典型电力终端	5G 通信终端形态	主要考虑因素	网络切片类型
智能分布式配电自动化	智能分布式配电终端、智能 DTU	CPE/ 嵌入式模块	-	uRLLC
用电负荷需求侧响应	负荷管理控制终端	CPE/ 嵌入式模块	-	uRLLC
分布式能源调控	分布式采集、控制终端	CPE/ 嵌入式模块	-	mMTC
高级计量	集中器、智能电表	嵌入式模块	形态小，低成本	mMTC
变电站巡检	巡检机器人	嵌入式模块	移动性、取电难	eMBB
输电线路巡检	无人机、高清摄像头、线路故障指示器	嵌入式模块	移动性、减少负载、取电难	
配电房视频综合监控	移动高清摄像头	嵌入式模块	移动性、形态小	
移动现场施工作业管控	移动作业终端	嵌入式模块	形态小	
应急现场自组网综合应用	无人机、智能头盔、单兵作业终端	嵌入式模块	移动性、形态小、减少负载	

4.3 网络部分

4.3.1 电力业务网络切片概述

基于电力行业的需求和网络切片技术理念，面向电力的端到端切片解决方案如下图所示

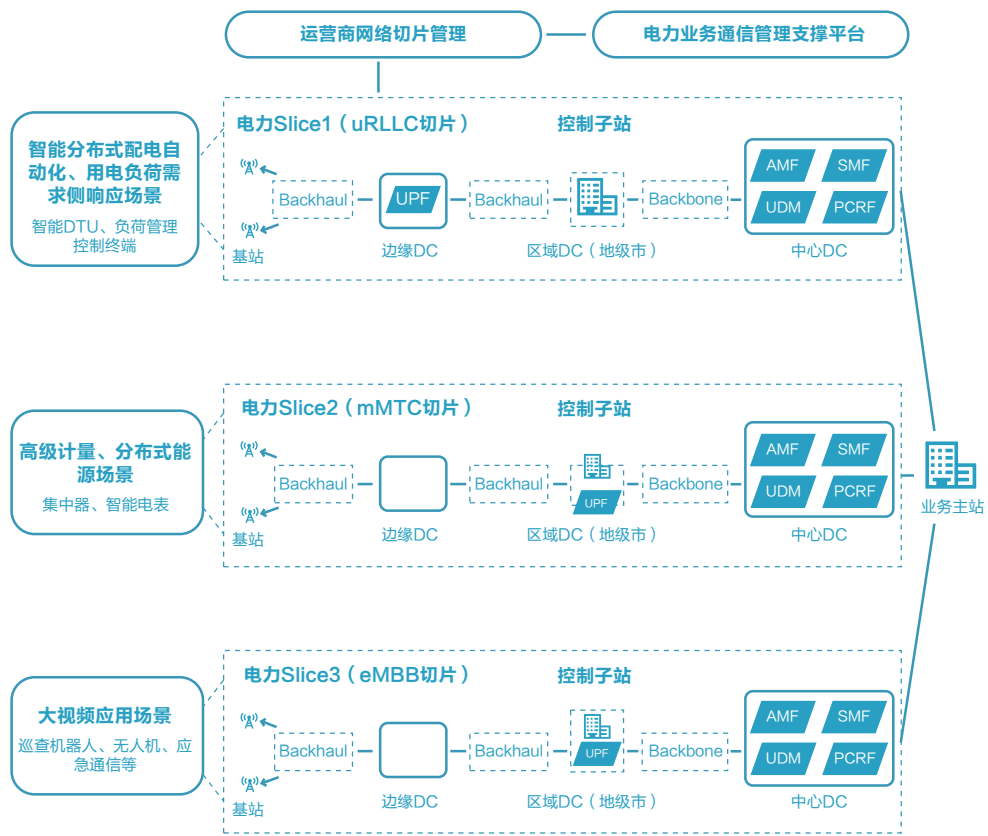


图 4-2 基于 5G 的电力业务网络切片整体方案

运营商将提供三大类切片满足不同类型的业务需求：eMBB 切片满足高带宽业务需求、uRLLC 切片满足低时延业务需求，mMTC 切片满足大连接业务需求。每类切片可按需构建多个网络切片实例，电网企业可根据切片运行的状态及业务需求，为所属各单位提供差异化的电力业务网络切片服务。智能电网不同业务场景与网络切片类型的映射关系可参考 4.2.1 章节。

4.3.2 电力业务网络切片隔离方案

电力行业网络切片隔离主要包括以下两大维度：电力与其他行业及个人用户通信业

务之间的隔离，以及电力自身不同分区业务之间的隔离。针对上述两大维度，可从接入网（含空口、基带、协议栈等）、传输网和核心网三个层面分别定制不同的隔离策略。

(1) 接入网隔离方案

接入网的整体功能分为三个部分，空口 / 射频、基带处理和高层协议栈。

高层协议栈功能具备灵活的隔离架构，既可以完全共享，也可以对电力不同区域或类型的业务进行按需隔离。

在空口频谱资源的使用策略上，电力业务和运营商网络中的其他业务共享频谱资源，采用相同的上下行配比。所有业务在时域和频域两个维度都可进行动态的按需调度。其中 uRLLC 和 eMBB 可以共享频段，通过不同的物理层参数、调制编码方案、调度方案等达成差异化的时延、可靠性目标。

基于频谱资源共享的前提，接入网的低层设备资源如射频、前传、基带等部分功能与资源也都是共享的。

针对电力业务网络切片中可能存在的紧急保障类需求，可以通过优先接纳、负载控制等技术，优先保障电力高优先级业务，避免其他切片中的业务影响电力业务的性能表现。在确有必要的情况下，运营商可以为电力配置特定的抢占策略，以抢占其他优先级更低的切片资源。

(2) 传输网隔离方案

RAN 与 CN 之间的回传网络连接可以用运营商网络，以便达成更好的 E2E 切片配合效果。回传网络的业务切片，根据对安全和可靠性的不同诉求，分为硬隔离和软隔离。

硬隔离基于 TDM 时隙交叉实现，软隔离基于 VLAN 和 QoS 实现，支持灵活的业务区分。通过支持软硬隔离的传输网络切片可以满足电力需求。

(3) 核心网隔离方案

在无线蜂窝网 3GPP 标准中已经明确，核心网在逻辑功能上严格隔离，区分切片，每个切片都有专用的功能。

核心网隔离有两大类方案：物理隔离，即物理服务器电力专用，如有极高的安全需要，可将服务器部署在不同地理位置；逻辑隔离，即电力与运营商其他业务共享硬件服务器、区分虚拟机。

4.3.3 电力业务网络切片可靠性保障方案

公网运营商网络可为关键、核心的电力业务网络切片提供至少 99.99% 的整体网络通道可用度服务，并有多样化的保障机制来满足电力的不同业务需求。

- (1) 传输硬管道和主备保护链路：传输为电力业务网络切片提供硬管道，保护业务传输不受其他业务影响，保证业务的带宽和时延等。运营商核心网和回传部分的传输通道可以采用备份机制，基于快速主备切换技术，支持电力业务在主用和备用通道之间无损迁移。
- (2) 故障检测与快速处理：运营商通过部署实时监控技术，针对网络中的多项运行指标进行联合分析，检测不同类别的异常场景，进行故障隔离和快速恢复。
- (3) 接入侧双频组网：运营商可以在基础覆盖能力上进行按需增强，比如采用多个频段进行交叠组网，当某一个频段出现覆盖丢失、极度拥塞的情况时，将电力业务转移到另一个频段上。

4.3.4 电力业务网络切片能力开放方案

电力业务网络切片由公网运营商向电网企业提供切片订制的可选菜单，运营商针对电力的业务订购，转换成网络语言进行切片部署，切片部署的过程对电网企业是透明的，且公网运营商可把切片的实时运行状态（如基础资源运行状态、业务关键指标、异常告警信息等）开放给电网企业，电网企业可根据切片运行状态及不同分区的业务需求，为所属各单位进行高强度的安全隔离，定制化分配资源，提供差异化切片服务，从而形成行业切片运行闭环管理。

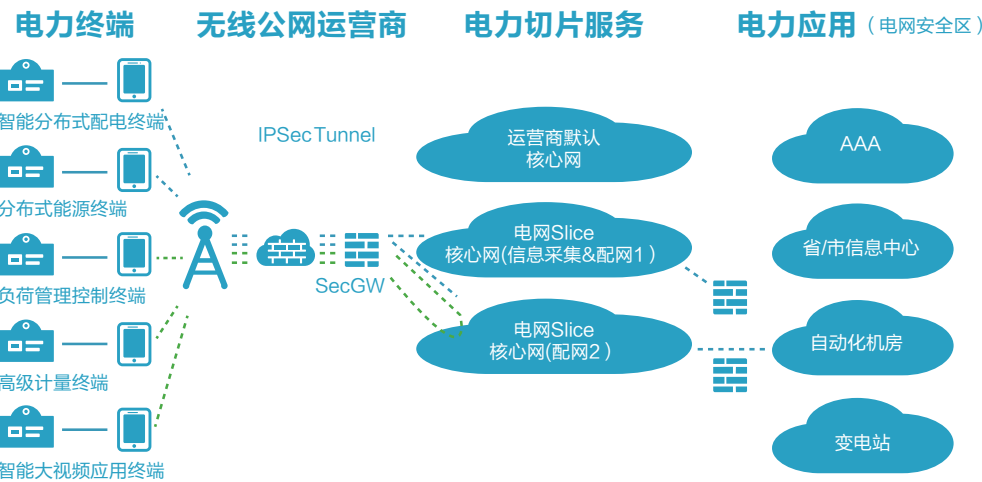


图 4-3 5G 电力业务切片服务

围绕电力业务网络切片的定制、部署、运行三个环节，公网运营商拟向电力行业用户开放的切片管理能力包括切片定制设计、切片规划与部署、切片运行监控三方面。

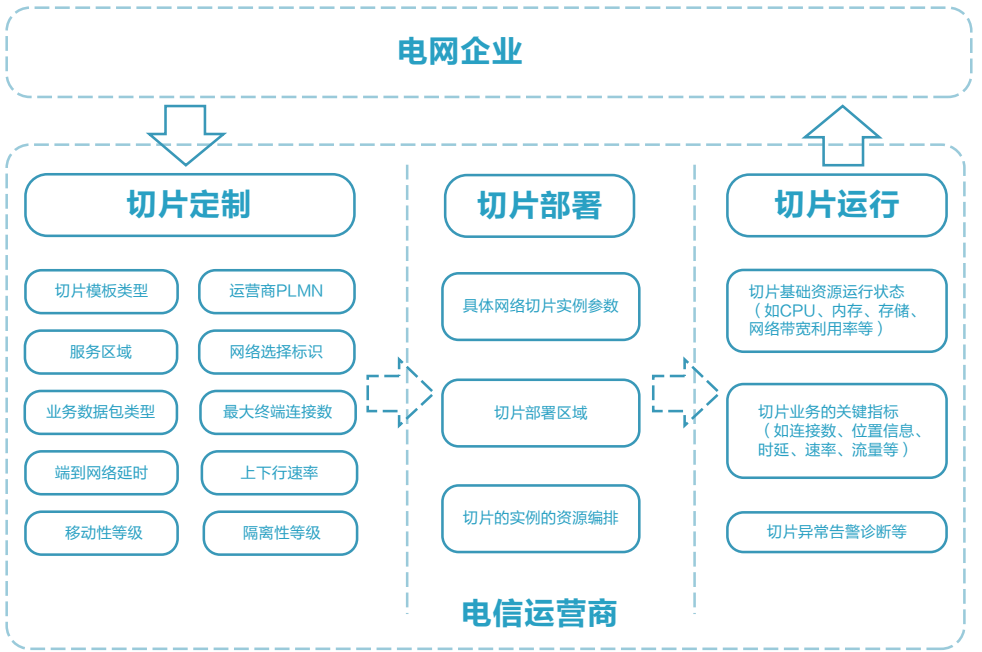


图 4-4 电力业务网络切片能力开放架构图

(1) 电力业务网络切片定制设计

基于电力行业与运营商达成的商业意向，电网企业可参与到电力业务网络切片的顶层设计过程中。在业务设计阶段，电网企业可参与的内容包括：

在 eMBB、uRLLC、mMTC 三大类基础上，电网企业可按需扩展自定义切片类型，以区分不同分区业务或有特殊管理需求的业务

设置具体电力业务与网络切片类型的映射关系。对于通信安全、可靠性、部署位置等需求差异很大的业务，可以通过网络切片隔离来实现；只在时延、速率、丢包率方面有细微差异的业务，且没有独立管理需求的，可以通过 5QI 来区分。

设置接入网络切片的终端数量，不同类型的网络切片，其允许设置的终端接入数量级别也有差异，uRLLC 网络切片支持的终端数量相对较少。

定义每个网络切片的逻辑功能，如针对不需要移动性的网络切片，可以不需要移动性处理模块；针对需要定位服务的网络切片，可以增加定位处理功能。

(2) 电力业务网络切片规划与部署

同一种网络切片类型、同样的电力业务，在不同的地理范围内可以定义多个网络切片实例。例如，为各省 / 地 / 市分别部署不同的网络切片实例，最终在全网范围内形成几十个可管理的切片实例。电力业务网络切片综合管理器则可部署在集中区域，便于查看所有电力业务网络切片的实例状态。

对于每一类型切片，可按需选择资源冗余、主备倒换方案等，以满足不同可靠性要求；对于超高可靠性的业务，可单独定义是否需要双频组网等特殊覆盖部署；针对地理位置特殊的电力业务，尤其是地下室等需要深度覆盖的特定区域，可按需定义其室内部署方式。

(3) 电力业务网络切片实例运行监控

公网运营商通过可视化界面或 API 接口将网络切片运行相关信息开放给电网企业，以便对不同类型不同业务的多个网络切片实例进行实时监控管理。切片运行相关信息如核心网的 CPU、内存，接入网的频谱资源使用情况等；切片业务关键性能指标，如切片在线用户数、时延、速率等；以及切片运行异常告警与诊断信息。

4.4 电力业务通信管理支撑平台

4.4.1 电力业务通信管理支撑平台总体架构

电力业务通信管理支撑平台总体上分为数据采集与控制层、平台层、管理应用层及横向接口四个层次。

数据采集与控制层，可通过 RestFul 接口与运营商的网络能力开放平台对接，或直接通过应用层协议从无线终端采集相关状态数据。同时，通过运营商能力开放平台获取终端所属网络切片状态的信息。该平台需要考虑与多个运营商网络能力开放平台对接，以保障接入不同运营商网络的终端均可观、可控。数据采集层通过消息总线向上提供灵活的数据交互能力。

平台层通过 API 接口为上层应用提供数据存储、流量引擎、负载均衡等公共服务能力，实现基础能力的统一封装，支撑上层应用的快速上线。

应用层主要包括终端管理、业务管理、切片管理、统计分析及其他高级应用等，向下通过 API 接口调用平台层所封装的能力，实现业务灵活快速上线，对外通过 Web 等方式实现各类管理终端的远程接入。

横向接口层提供 RestFul、Http、FTP 等丰富接口适配传统电力各类业务系统，如系统运行、计量自动化、配网自动化等。

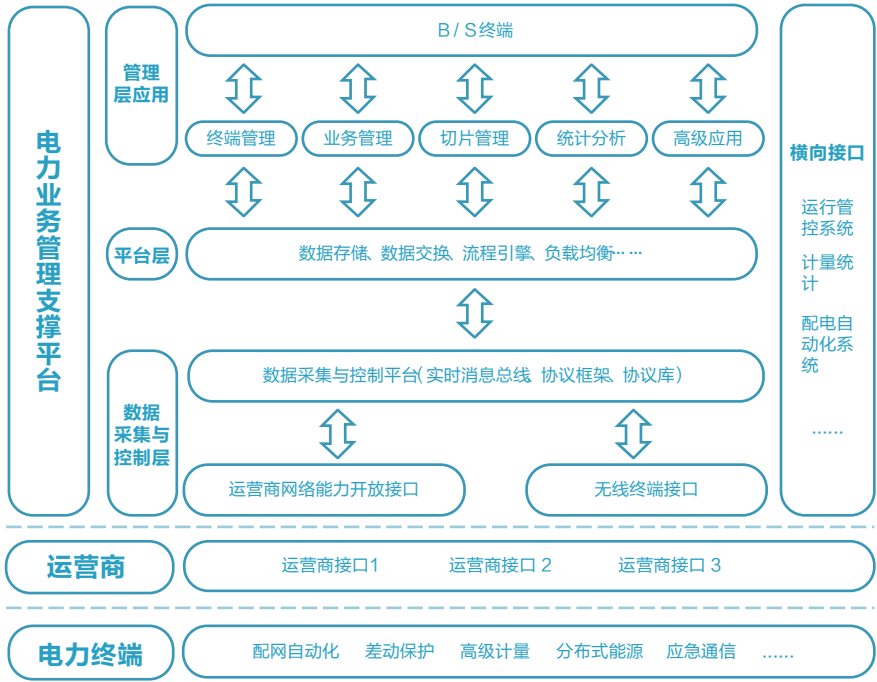


图 4-5 电力业务通信管理支撑平台总体架构

4.4.2 电力业务通信管理支撑平台功能模块

电力业务通信管理支撑平台主要包括数据采集域、应用域、管理域、统一接口服务域的基本功能模块。有别于以往的移动通信网络发展模式，依托 5G 网络能力开放和切片技术，未来该平台将为电网企业提供更丰富的、更多元化、更灵活的网络切片服务管理能力，同时电力业务通信管理支撑平台自身也以更开放的架构，向电力内部业务提供支撑服务。

数据采集域：主要实现接口层的适配，实现与运营商接口、无线终端的统计接口采集。

应用域：包括通信终端管理、连接管理、网络切片管理、统计分析等 4 项基础应用及高级应用。

其中通信终端管理、连接管理主要实现电力通信终端位置、状态、性能、台账、卡号、流量、业务资费、在线状态等信息的监测管理

网络切片管理分为两类，一类是状态监测型，主要包括对运营商网络的业务切片属性、切片资源视图、切片负荷运行状态的监测，另一类是控制管理型，包括根据电力企业的需求订购网络切片，选择网络切片类型、容量、性能及相关覆盖范围，可根据电力企业的需求调整切片的功能、业务属性、资源分配，调整不同业务之间切片隔离程度（如物理隔离、逻辑隔离），并可以给与电力企业自行进行切片上下线管理的权限等。

统计分析应用主要包括终端、业务运行、SIM 卡状态、网络切片及故障告警灯基础分析。

高级应用基于大数据态势感知分析的驾驶舱综合展示、重要场景保障监视、区域隐患预警、终端预警分析等。

统一接口服务域：主要实现本支撑系统与系统运行控制系统、计量系统、自动化系统的对接，以微服务的方式向各类系统提供通信终端、状态、网络的相关数据服务。



图 4-6 电力业务通信管理支撑平台功能模块

4.5 安全体系

4.5.1 智能电网安全体系整体要求

在上述云、管、端三大领域中，云领域属于应用层安全，电网的业务系统应严格遵循国家有关部委颁布的电力监控系统安全防护要求，5G 助力智能电网的安全提升将重点关注管、端两大领域。

管领域

为满足电力监控系统安全防护总体要求，5G 网络将发挥其灵活、高强度安全隔离的网络切片技术优势，辨识电力业务的安全分区属性，将其映射到不同的网络切片，为不同区域业务制定不同的安全策略，提供不同的专网安全保障服务。

端领域

一般终端可采用基于非对称加密技术的安全防护手段，实现终端对主站的身份鉴别与报文完整性保护。对重要终端可采用双向认证加密技术。此外，针对特定的重要业务，还可以采用机卡绑定、基于终端证书等信息的二次认证方式进一步提高业务的安全性。

4.5.2 管侧安全方案

对于智能电网的应用，管侧安全重点聚焦“网络专用、横向隔离”，5G 网络将重点关注网络切片安全，以及网络安全的能力开放两方面。

(1) 5G 核心网提供多层次的切片安全保障, 为智能电网业务提供差异化的隔离服务。5G 切片安全机制主要包含三个方面：UE 接入安全、网络域安全，外网设备访问安全。

① UE 接入安全：通过接入策略控制来应对访问类的风险，由 AMF 对 UE 进行鉴权，从而保证接入网络的 UE 是合法的。另外，可以通过 PDU（分组数据单元）会话机制来防止 UE 的未授权访问。

② 网络域安全：网络域通信安全可以分为三种情况：

A、NF 间互访安全：NF 理论上具备访问其他所有 NF 的能力，因此切片内的 NF 需要安全的机制控制来自其他 NF 的访问，防止其他 NF 非法访问。安全机制可考虑使用 NF 间的认证与授权机制。

B、不同切片间 NF 的隔离：不同的切片要尽可能保证隔离，各个切片内的 NF 之间也需要进行安全隔离，比如，部署时可以通过 VLAN（虚拟局域网）/VxLAN（虚拟扩展局域网）划分切片。

C、切片内的 NF 间安全：切片内的 NF 之间通信前，按需可以先进行认证，保证对方 NF 是可信 NF，然后通过建立安全隧道保证通讯安全，如 IPSec。

③ 外网设备访问安全：在切片内 NF 与外网设备间，部署虚拟防火墙或物理防火墙，保护切片内网与外网的安全。如果在切片内部署防火墙则可以使用虚拟防火墙，不同的切片按需编排；如果在切片外部署防火墙则可以使用物理防火墙，一个防火墙可以保障多个切片的安全。

(2) 5G 网络安全能力开放，助力智能电网实时更灵活的安全保障措施。体现 5G 网元与外部业务提供方的安全能力开放，包括开放认证与密钥管理。也可以实根据业务对于数据保护的安全需求，提供按需的用户面保护。

4.5.3 端侧安全方案

端侧安全重点聚焦“纵向加密”。智能电网可利用 5G 所提供的统一的认证框架、二次认证和密钥管理的新功能进一步提升终端侧的安全管理能力。

(1) 利用 5G 统一的认证框架，满足更丰富的智能电网终端接入认证需求。为了使用户可以在不同接入网间实现无缝切换，5G 网络将采用一种统一的认证框架，实现灵活并且高效地支持各种应用场景下的双向身份鉴权，进而建立统一的密钥体系。

(2) 5G 提供灵活的二次认证和密钥管理，提升智能电网的终端管理能力。二次认证主要提供了 UE 与外部数据网络(如, 业务提供方)之间的业务认证以及相关密钥管理功能。在智能电网领域，电网 CPE 通常位于无人值守的户外，其所使用的 USIM 卡可能被攻击者窃取，然后插入其他设备中冒充正常 CPE 接入电网网络而发起攻击。二次认证可以解决由于电网客户终端设备（CPE）所使用的 USIM 卡被盗而引起的针对电网网络发起的攻击。

5G 网络可以与智能电网的业务侧平台配合，通过二次认证可以实现外部数据网络的 AAA 服务器对与其有签约关系的 UE 进行认证，然后根据认证是否成功来决定该 UE 是否被允许接入上述数据网络。

需要注意的是，与 UE 接入运营商网络时进行首次认证所使用的存储于 USIM 的信任状不同，二次认证需要通过额外的信任状（如证书）来实现，并且该信任状仅在二次认证过程中被使用。由于攻击者所使用的终端不具备二次认证所使用的信任状，当攻击者在尝试接入电网网络时会因为无法通过二次认证而被拒绝，以保证电网网络的安全。

5. 总结与展望

本白皮书通过分析 5G 智能电网业务 5 类典型应用场景的现状 & 未来通信需求，结合 5G 网络切片关键技术研究 & 分析，给出了适合电力行业的基于端、管、云、安全 4 大领域的智能电网端到端网络切片解决方案。在实际 5G 智能电网应用中，终端侧，需重点推动电力终端通信模组的通用化；网络侧，需量化网络切片服务的元素、技术指标；平台侧，需定义网络开放能力、网络管理界面、接口标准等；安全体系方面，需进一步细化网络切片的安全隔离方案，探讨终端二次认证的场景及方案。

5G 在设计之初便面向更广泛的垂直领域，为智能电网，尤其在配电网领域，提供了一种更优的无线解决方案。对于电力企业，利用 5G 网络为电力业务提供差异化、安全可靠的“行业专网”服务和网络自身的开放能力，实现智能电网低成本、快速便捷、安全可靠的无线通信接入承载及更自主可控的网络管理能力。对于电信运营商，智能电网应用是 5G 解决方案的典型，通过深入研究电力业务通信需求，提供 5G 智能电网行业解决方案，可逐步完善自身 5G 网络的建设规划，并为其他行业的推广提供经验。

5G 智能电网应用目前处于起步阶段，后续电力企业应与电信运营商、通信设备厂商共同引领电力通信领域技术的准化，推动电力通信终端模组通用化，做好通信业务管理支撑平台，实现差异化的电力网络切片服务，提升对通信业务的可管可控能力，支撑智能电网的可持续发展。

参编单位

中国南方电网电力调度控制中心
深圳供电局有限公司
广东省电信规划设计院有限公司
中国移动通信有限公司政企客户分公司
中国移动通信有限公司研究院
中国移动通信集团广东有限公司
华为无线应用场景实验室（Wireless X Labs）
华为未来网络架构实验室



