

白皮书  
2020-07



# 5G 行业虚拟专网网络架构



## 目录

5G行业虚拟专网研究背景 P1

5G行业虚拟专网网络架构设计原则 P3

5G行业虚拟专网网络架构 P5

5G行业虚拟专网典型案例 P15

主要贡献单位 P28

## 5G行业虚拟专网研究背景

### 1.1 5G行业虚拟专网的定义与内涵

随着行业数字化变革席卷全球，包括制造业、交通、能源、医疗卫生、媒体、金融等在内的各行各业都在积极探索其数字化转型道路，在数据采集、数据传输、数据应用三个方面寻求新技术的突破。当前，蜂窝移动通信技术演进到5G时代，网络带宽、时延及可靠性、连接数等技术能力指标大幅提升，面对行业领域供给侧技术的发展与需求的旺盛，5G将有效使能行业数字化建设，并逐渐成为热点。

在行业需求方面，行业企业已经在其内部利用以太网、Wi-Fi等网络技术开展多种生产、运营等服务，因此在网络使用需求都呈现出与个人消费者需求的差异化，其在网络功能、性能、稳定性等方面都提出了更高的要求，行业企业在引入5G时，需要通信服务企业根据业务及管理需求等方面做出适配，如网络部署架构、网络性能要求等。

在行业5G网络建设及运营方面，行业企业希望利用本身的站址、网络传输等资源探索与运营商合作构建5G网络的模式，在获得网络可管可控能力的前提下，进一步降低5G网络的使用成本，同时希望5G网络的运营运维模式能与企业现有的网络及业务管理体系无缝融合，在获得5G网络运营权的同时降低企业自身的网络及运营成本。

在行业5G应用构建方面，行业企业希望与运营商合作将5G平滑融入到现有业务系统中，最好做到“即插即用”，对现有业务流程不做大的修改，从而实现现有业务提质增效，同时又期望能够与通信服务企业合作探索新兴业务类型。

运营商在为行业提供上述5G网络服务时的网络建设模式主要有三种：1) “基于公网提供服务”（公网）；2) “复用部分公网资源，并根据行业诉求将部分网络资源由行业用户独享”（混合组网）；3) “采用行业专用频率为行业建立与公网完全物理隔离的行业专网”（专网）。其中模式1和模式2通常通过5G公用网络为行业企业提供独占的5G虚拟网络资源，因此对此两种模式进行综合和增强，本白皮书提出了5G行业虚拟专网的概念。5G行业虚拟专网就是指基于5G公网向行业用户提供的能满足其业务及安全需求的高质量专用虚拟网络，是为行业用户提供差异化、可部分自主运营等网络服务的核心载体。

### 1.2 5G行业虚拟专网对企业的价值

行业数字化转型的三要素是：数据采集、数据传输和数据应用，5G作为移动通信技术将在数据传输环节发挥重要作用。相比以往的无线技术，5G同时在速率、时延、可靠性及连接数等关键连接能力指标上都有断代式提升。这些技术能力的显著提升，将使得各行业基于5G技术的应用获得更高的能力，创造以往无线技术无法实现的价值。

5G行业虚拟专网为行业客户提供定制化的网络及服务，对于企业来说具有以下优势：

- **成本优势：**行业企业使用5G网络的成本包括网络设备成本、建设成本及网络运营运维成本、原有系统改造成本四大部分：在5G网络设备成本方面，5G行业虚拟专网可以复用公网成熟的5G产业链，该产业链通过运营商在消费者市场的规模建网构建，能够实现芯片、终端和网络设备的低成本化；在5G网络建设方面，5G行业虚拟专网促使行业企业摆脱“一次性建网、一次性投入”的高成本模式，可根据自身需求采用“以租代建”、“分步推进”、“共建共享”等多种网络建设模式，实现网络建设的低成本化；在5G网络运维方面，行业企业可同运营商协作，在获得网络运营及运维的自主权的前提下，摆脱复杂的5G网络设备运维等，实现多样化、简单化、自主化的5G网络使用和运维模式；在原有系统改造成本方面，5G行业虚拟专网充分考虑与原有系统的融合，提供“即插即用”的网络部署能力，对原有系统改动量小，减少融合改造成本。

- **安全优势：**安全保障是行业引入5G的前提，5G行业虚拟专网可根据行业用户的安全需求，将终端、网络、应用等多层次安全保障技术进行整合，在5G网络完备的安全基础之上，给企业提供定制化的安全保障，同时由于5G行业虚拟专网基于运营商公网改进而来，可完全借鉴电信级大规模通信网络安全运营经验，让行业/企业获得来自运营商的电信级安全保障服务。

- **网络性能优势：**5G行业虚拟专网由公网衍生而来，运营商负责行业内5G网络的规划、建设、维护和优化等工作，运营商同时作为5G公网及5G行业虚拟专网规划与优化的责任主体，可以有效减少5G网络自干扰导致的业务性能下降问题。同时运营商在网络性能优化等方面有丰富的经验，可以根据行业企业的业务类型（如数据采集、高清视频、AR/VR等）、业务分布、业务传输需求等优化5G网络，能够保障行业业务稳定、可靠的传输。

因此，综合考虑成本、安全和网络性能保障等方面的优势，5G行业虚拟专网是服务行业的最优的5G网络模式。本文将详细阐述5G行业虚拟专网的概念和内涵，主要包括5G行业虚拟专网具体的网络架构设计原则、网络架构设计及部署方案，同时介绍若干基于5G行业虚拟专网的应用案例，为行业企业引入5G提供参考。

## 5G行业虚拟专网网络架构设计原则

### 2.1 5G行业虚拟专网典型行业业务及网络需求

在国家5G新基建政策的大力推动下，5G行业虚拟专网逐渐成为各行业领域关注的焦点。本文针对不同的行业应用和场景，对行业虚拟专网在网络功能、性能以及部署等方面的要求进行梳理，从而保障5G行业虚拟专网全方位满足各行业需求：

- **降成本需求：**随着行业信息化程度不断提高，满足网络互联需求的通信网络成本越来越高。通信网络成本包括网络设备成本、网络建设成本、网络运营运维成本（包括流量资费成本、网络维护成本）以及原有网络的改造成本（硬件和软件）等。考虑到行业业务对网络升级的需求，通信网络系统需保障兼容性和扩展性，这也直接提高了网络的整体成本。因此，这就要求5G行业虚拟专网支持灵活、差异化的部署策略，充分利用或者复用运营商的公网网络，通过网络共建共维、通信资源共享、业务本地化处理以及运营商的规模性效益等能力，有效降低行业客户的通信网络成本。

- **多样性业务需求：**各行业不同业务对于网络的需求不同，视频、VR等相关业务要求高吞吐量，自动驾驶要求网络超低的传输时延和极高的可靠性，监控、诊断等业务需要网络具备海量接入能力。同时为了保障行业应用的业务连续性，网络覆盖能力、确定性时延以及灵活的业务部署等需满足更高的性能要求。因此，5G行业虚拟专网需满足多样化的业务需求。

- **高安全需求：**行业数据安全在企业运营中起到举足轻重的地位，某些机密性和安全性要求较高的核心业务要求数据不出园区，这给网络提出了强隔离以及本地化部署的需求。5G行业虚拟专网一方面需要为行业用户提供可靠的通信设备和完善的安全保障机制，在承载行业用户的核心业务数据的基础上，也可以承载公网业务数据，行业用户的核心业务数据在传输过程中与其它业务数据实现逻辑严格隔离，完成数据的本地化处理，以此保证核心业务数据不出园区。另一方面为了保证业务安全可靠的正常运行，5G行业虚拟专网需提供完备的鉴别服务、访问控制服务、数据保密服务、数据完整性服务、可审查性服务以及高可靠的通信设施，全方位保障行业客户的网络、数据以及应用等方面安全可靠。

- **融合需求：**行业应用的多样性导致各类应用场景对于网络的需求也不完全相同，现有的共存网络类型包括4G、窄带物联网(NB-IoT)、Wi-Fi、现场总线、以太网等多种网络，为了更合理的规划使

用网络并有效利用各种网络的优势，5G行业虚拟专网需要充分考虑与现有网络的融合，构建与现有系统（如：制造企业生产过程执行管理系统(MES)、数据采集与监视控制系统(SCADA)、企业资源计划(ERP)等）互联互通并深度融合的异构网络架构。因此，行业用户可根据不同的业务需求，选择不同的融合网络类型，并支持与现有用户企业私有云和共有云等云端服务的融合部署。

- **自运维需求：**虽然5G行业虚拟专网可以向行业用户提供专网级别的服务，但从行业用户角度来看仍需要拥有简单而必要的自运营和自运维能力，满足网络资源灵活配置、自主网络运营、业务变更调整等需求，主要包括三方面：1) 可管理能力，即：5G行业虚拟专网需要开放必要的网络监控和管理接口，实现用户的自配置和自管理，如：告警、巡检、诊断、维护（远程/多地）、升级等；2) 可扩展能力，即：5G行业虚拟专网需要开放必要配置接口，支持用户的自调整，用户可以根据自身需求的改变，在一定条件下动态调整网络，如：用户新建、删除、用户权限变更、业务变更、网络微扩容等；3) 交叉运维能力，即：当行业用户缺乏5G通信设备维护能力时，支持运营商与行业用户共同运维，只要运营商通过用户的安防申请，就可以完成相关网络的运维工作。

## 2.2 5G行业虚拟专网网络架构设计原则

根据行业对网络建设及业务承载方面的需求，5G行业虚拟专网网络架构设计需要遵从以下网络设计原则：

- **通信网络成本降低原则：**设计5G行业虚拟专网网络架构需要充分考虑复用现有运营商5G网络资源和产业链，实现网络、设备、终端等资源同时为消费者及行业用户提供服务，降低通信网络成本。
- **多域多类业务承载原则：**设计5G行业虚拟专网网络架构需要考虑同时覆盖行业用户的广域和局域业务，并保障广域业务连续性和局域业务的本地疏导。通过网络切片，边缘计算等方式为不同类型业务配置相应的网络服务体系，提供不同的服务等级协议(SLA)保障，实现多类业务同时按需承载。
- **数据安全保障原则：**设计5G行业虚拟专网网络架构需考虑数据安全保障，一方面，通过用户面功能(UPF)等网络分流手段和切片安全隔离等措施来保障公网业务和行业业务、行业不同业务之间安全隔离传输，同时满足企业核心业务本地化部署的需求，保障企业核心业务数据不出园区；另一方面，5G行业虚拟专网需将本身网络的认证鉴权、数据加密、数据完整性等安全手段与行业业务安全融合，形成统一的数据安全保障措施。

- 与现有系统深度融合原则：设计5G行业虚拟专网网络架构时需要在保证数据安全前提下和园区现有信息网、控制网充分融合，打通园区全域数据，和企业互联网深度结合，满足企业互联网转型需求。
- 自主运营运维原则：5G行业虚拟专网通过建立对外能力开放平台，将5G网络的配置管理、用户开户、网络监测、网络能力调用等网络运营运维能力集中统一提供给行业用户，行业用户可以通过平台实现对网络的自主运营和运维的能力。

## 5G行业虚拟专网网络架构

### 3.1 5G行业虚拟专网网络总体架构设计

5G行业虚拟专网首先是基于5G标准的网络架构进行实现，包含边缘计算、网络切片、运维管理等能力。

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。

5G虚拟专网整体网络架构如图1所示。

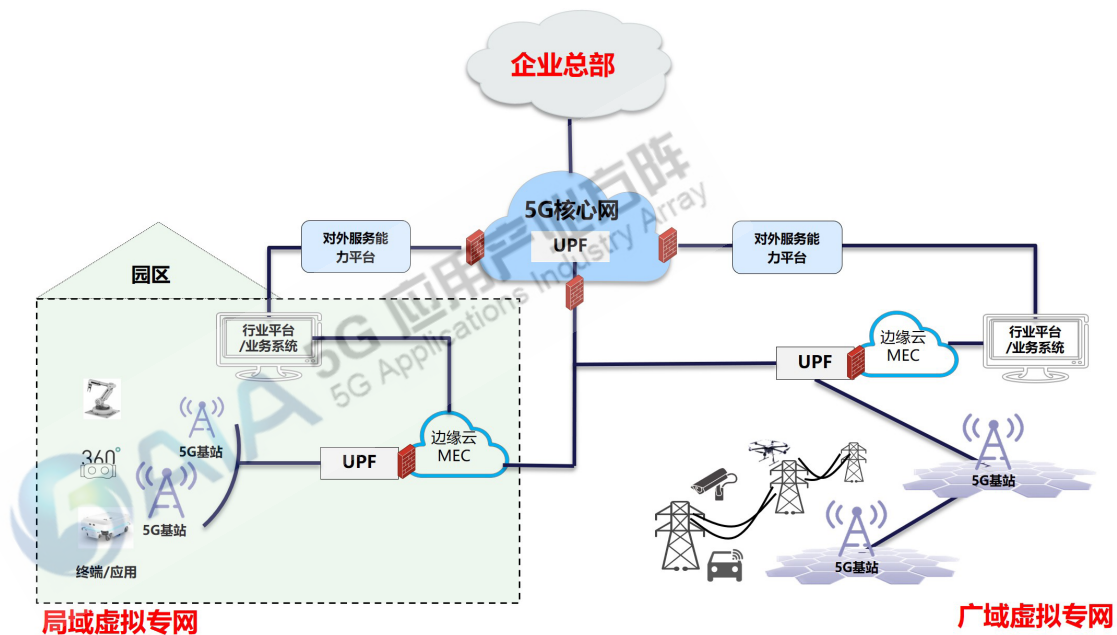


图1 5G行业虚拟专网网络总体架构设计

对于局域虚拟专网，如图1工厂、园区、港区、矿区型的行业虚拟专网，由基站、UPF、边缘计算平台、企业业务平台、5G虚拟专网自服务管理平台等部分组成。局域虚拟专网中的各类业务平台可部署于园区/厂区的边缘计算平台，也可以是企业自有的业务平台，以承载园区/厂区的各类行业平台或行业应用，如数据采集平台、协同研发平台、行业视觉平台等。对于园区/厂区型虚拟专网的运维，运营商可以借助能力开放、切片管理、综合网管等技术或系统构建5G行业虚拟专网自服务管理平台，以实现智能化管理，满足企业自主监测、管理、配置虚拟专网的需求。

对于广域虚拟专网，如图1区域1和区域2的跨域专网，或企业总部和区域1或区域2的跨域专网，由运营商公共网络、企业云平台、5G虚拟专网自服务管理平台等部分组成。广域虚拟专网的流量在运营商公网开通的专用切片资源内转发，可不受公众业务流量的影响和资源抢占；对于拥有跨区域的专网通道行业，如车联网类、游戏类、虚拟现实(VR)类行业，其可以通过切片专网和平台，在任何地点实现切片专网内的互访。广域虚拟专网的业务平台一般部署于集中云位置，也可以根据特定需要在特定位置的网络边缘计算平台部署子系统。



## 3.2 面向园区5G行业虚拟专网架构

### 3.2.1 逻辑架构设计

#### 1 逻辑部署方案

由于面向行业5G行业虚拟网络的首要原则是保障核心业务不出园区，因此在网络部署方面，网络架构分为两大类：第一，对于只需要用户面数据流进行安全保障的企业，核心网通过下沉UPF到园区来实现本地业务分流到企业内网，保障业务不出园区；第二，对于专网要求极高的少数企业，不但要求行业业务的数据流不出园区，也要求网络控制信令不出园区，这就需要将全套5G核心网元（控制面+用户面）整体下沉到园区。

对于大多数企业来说，不但要保障核心业务不出园区，还要保证建设及运维成本足够低，这种情况下，5G行业虚拟专网通过UPF下沉已经基本可以满足，如图2所示。

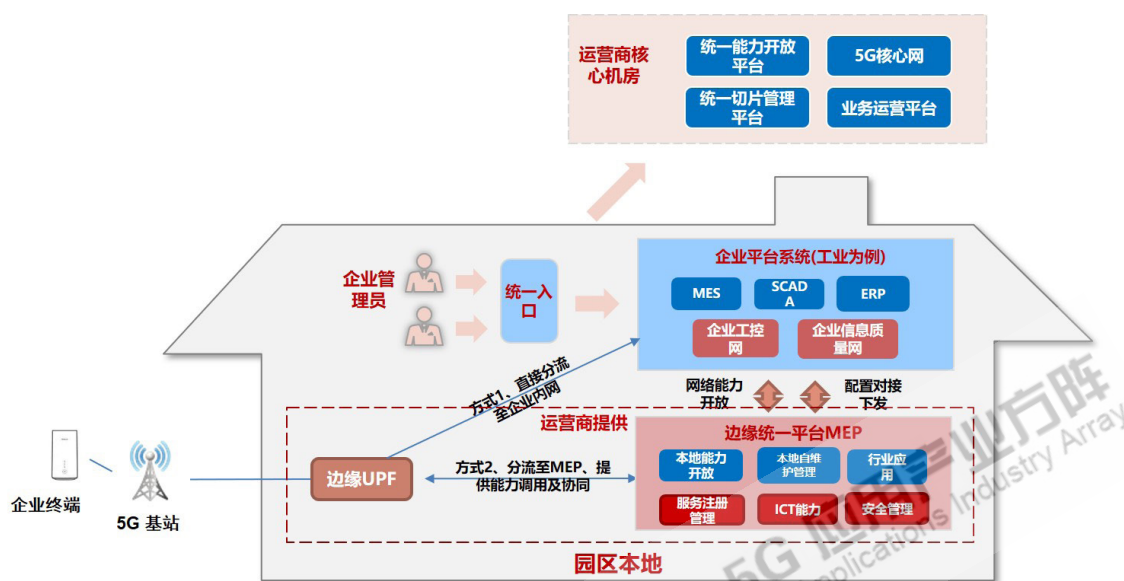


图2 5G行业虚拟专网用户面下沉方案

图2中，UPF是5G移动网络的流量出口，通过UPF下沉至园区，可以实现业务流量不出园区，UPF的下沉使企业终端至企业应用的端到端流程均在企业园区内部完成，极大缩短了5G网络的传输路

径，为低时延、大带宽业务提供更好的业务体验保障。从用户面流量角度来看，企业应用可采用两种方式与5G对接：方式一，UPF直接分流到企业内网既有业务系统，保障原有行业系统业务流不发生变化；方式二，UPF与多接入边缘平台(MEP)一起部署在企业，此时，MEP是运营商部署在边缘侧的平台，是企业侧业务和边缘网络对接的载体。MEP向企业提供流量接口，并能提供企业对于UPF等网元的配置以及对于网络能力调用的需求；MEP也可以作为企业应用和企业系统的承载平台，进一步实现业务和网络更好的联动。面向园区5G行业虚拟专网可以保障企业业务的本地化处理 and 企业的自管自维，网络侧所需要提供的关键技术包括本地分流技术、客户自运维portal、应用程序接口(API)开放等。

对于专网要求极高的少数企业，不但要求行业业务不出园区，也要求网络控制信令也不出园区，这就需要将全套5G核心网元整体下沉到园区，如图3所示。此时，企业应用在用户面的对接方案，完全与前述的仅用户面下沉方案相同。

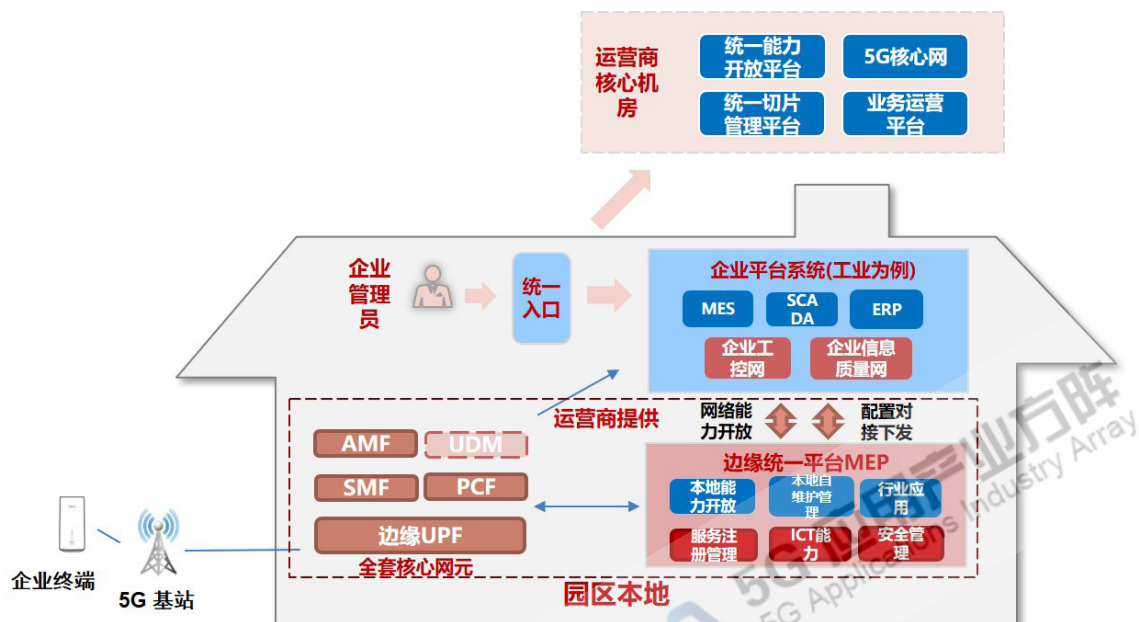


图3 全套核心网下沉至园区方案

全套核心网下沉方案是将5G轻量级核心网的控制面AMF/SMF等网元及用户面网元UPF都下沉到企业内部，实现业务建立等控制指令及核心业务数据流都在企业园区内部，提供更好的数据及业务隔

离性。图3中，UDM为用户卡资源及码号管理网元，涉及到用户管理、鉴权、入网认证等，一般应部署在运营商侧，部分对于用户卡及码号管理有特殊要求的企业，可考虑将UDM下沉至园区。全套核心网下沉方案虽然对业务安全保障级别最高，但是需要承担5G核心网的整体费用，总体投资较大，5G核心网对企业自身的网络维护、管理能力要求也很高，因此应用场景相对较少。

在上述两种部署模式下，为降低入驻安装、维护的复杂度与成本，运营商在企业提供的设备（如核心网控制面、用户面、MEP等）均推荐由运营商统一部署、安装和基础维护，并实现运营商和企业进行分权管理。这种方式既能保障运营商从网络安全和统一调度的角度，对于系统平台进行必要的集中高效远程管理，又能保障企业期望的自我运维（例如对于应用APP管理）需求。

## 2 业务分流方案

UPF下沉到企业内部，因此网络侧可以采用的DNN、ULCL UPF、本地数据网络服务区(LADN)三种本地分流技术来实现公网业务和行业业务的分流，保障行业业务的安全隔离需求。

- 数据网络标识DNN：企业终端签约特殊DNN，网络侧根据DNN为企业选择本地专用UPF来提供本地流量出口服务；使用特殊DNN的业务流量都会通过本地专用UPF作为出口；

- 上行分类器ULCL UPF：终端可不签约特殊DNN，网络侧基于终端所在的位置区选择本地的ULCL UPF为终端提供服务，ULCL UPF通过流量DPI解析等方式来将业务流量按需送至本地企业侧或MEP；

- 本地数据网络服务区LADN：企业终端签约LADN服务，网络侧根据签约信息和终端所在的位置选择本地的LADN UPF，由LADN UPF为终端提供本地流量出口服务。

## 3 统一运营运维方案

行业企业能够利用运营商所提供的统一对外能力服务平台或者基于已有平台界面开发，从而实现对于网络能力开放、切片管理、资源配置管理等的一点接入需求。通过统一界面，在本地层面，行业企业可以访问到MEP，进行UPF分流规则配置、本地网络能力调用、网络自维护管理等操作；通过5G公网，行业企业还可以访问到运营商能力开放平台、切片管理平台等进行网络差异化的订购和定制。

### 3.2.2 部署方案

面向园区的5G行业虚拟专网部署根据下沉的网络设备的不同，分为UPF部署、UPF+MEP部署、5G轻量级核心网部署等方案，下面将各种部署方案适用的条件及主要优缺点进行说明：

部署模式	UPF 部署	UPF+MEP 部署	5G 轻量级核心网+MEP 部署
流量本地出口	业务	业务	业务+控制信令
网络能力调用	不可提供	可提供	可提供
行业自助运维管理	不可提供	可提供	可提供
部署复杂度	最简单	较为简单	涉及到核心网元的部署及管理，较复杂
部署造价	最低	相对较高	全套核心网、造价最高
企业需要具备的能力	机房资源、与运营商网络对接	机房资源、与运营商网络对接；平台及网络的简单自维护管理能力及人员	机房资源、与运营商网络对接；平台及网络的复杂自维护管理能力及人员

三种部署模式分别适用于对网络和业务有不同需求的企业：

- 部署UPF：主要适用于中小型企业，企业对流量不出园区、时延指标有需求，但终端状态及分流需求相对固定，无网络能力调用需求、无自管自维需求；对于传输改造困难场景、机房空间或供电受限场景，可采用UPF与基站共机房等部署方式；

- 部署UPF+MEP：主要适用于大中型企业，企业存在网络能力调用、网络及平台自管自维、业务规则制定等需求，也可在MEP承载部分企业应用和企业系统，实现业务和网络更好的联动，企业具备一定的网络及平台管理能力；对于传输改造困难场景、机房空间或供电受限场景，可采用UPF+MEP与基站共机房等部署方式；

- 部署5G轻量级核心网：主要适用于大型企业，企业对核心业务有最高级别的安全隔离需求，又同时存在网络能力调用、网络及平台自管自维、业务规则制定等需求，具备一定的网络及平台管理能力。

上述三种模式是逐步递进的关系，单纯UPF的部署模式可以支持向UPF+MEP部署模式来进行演进，UPF+MEP也支持向5G轻量级核心网方式演进，因此企业也可以根据需求采用分阶段方式来进行部署。

### 3.3 面向广域5G行业虚拟专网架构

#### 3.3.1 逻辑架构设计

## 1 逻辑部署方案

面向广域的5G行业虚拟专网是基于运营商5G公网的广域覆盖能力，在较大地理区域为行业客户提供专网服务，具有覆盖广、跨域大的特点。面向广域的5G行业虚拟专网由5G无线接入网、5G核心网、边缘计算平台组成。

按照行业企业对5G网络资源的共享情况来看，面向广域的5G行业虚拟专网总体逻辑架构分为两大类：

第一，网络资源共享的逻辑架构，此种模式下，各行业用户使用运营商5G公网的网络资源，不同的行业用户可通过虚拟专用的切片实现业务逻辑隔离，行业用户可根据需求共用核心网控制面和用户面，也可以通过逻辑专用切片实现核心网控制面资源的虚拟专用，用户面网元UPF则可以根据是否虚拟化分为虚拟专用或者物理专用。此模式通过网络切片、DNN、QoS等技术手段实现业务优先保障和业务汇聚，满足网络速率、时延、可靠性优先保障的需求，网络架构如图4所示。

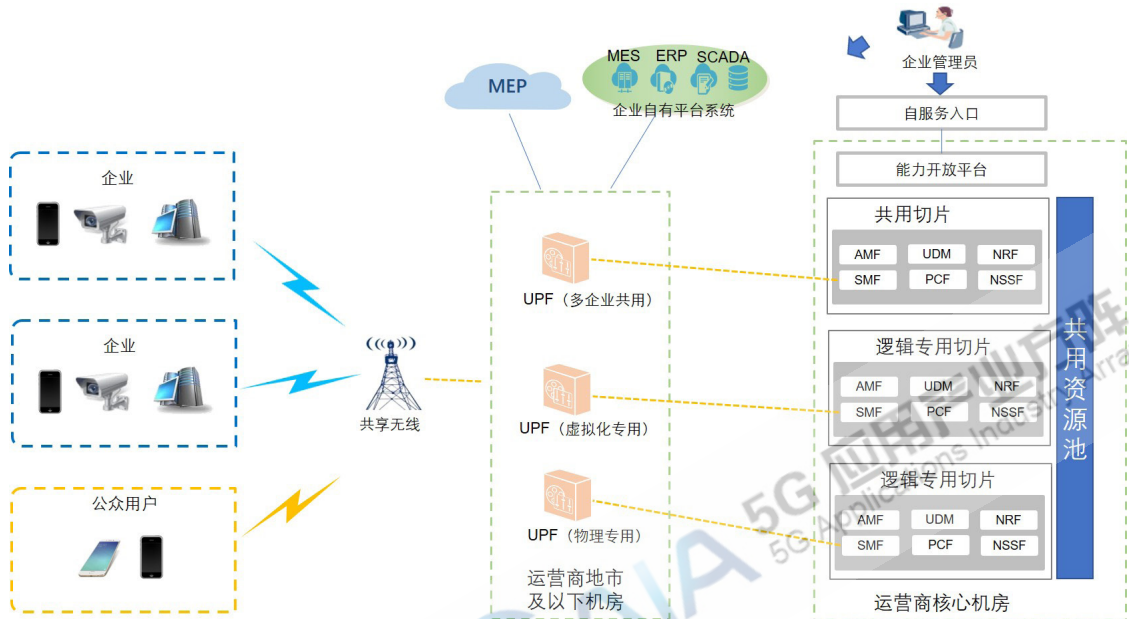


图4 广域5G行业虚拟专网逻辑架构：网络资源共享

第二，物理资源独享的逻辑架构，此种模式下，无线接入网仍共享5G公网的无线网络资源，核心网侧运营商通过为行业企业提供物理隔离的专用切片的方式满足业务传输需求，核心网控制面通过专用服务器承载物理专用的切片实现物理资源独享，用户面网元UPF则可以根据是否虚拟化分为虚拟专用或者物理专用，实现业务流量隔离。网络架构如图5所示。

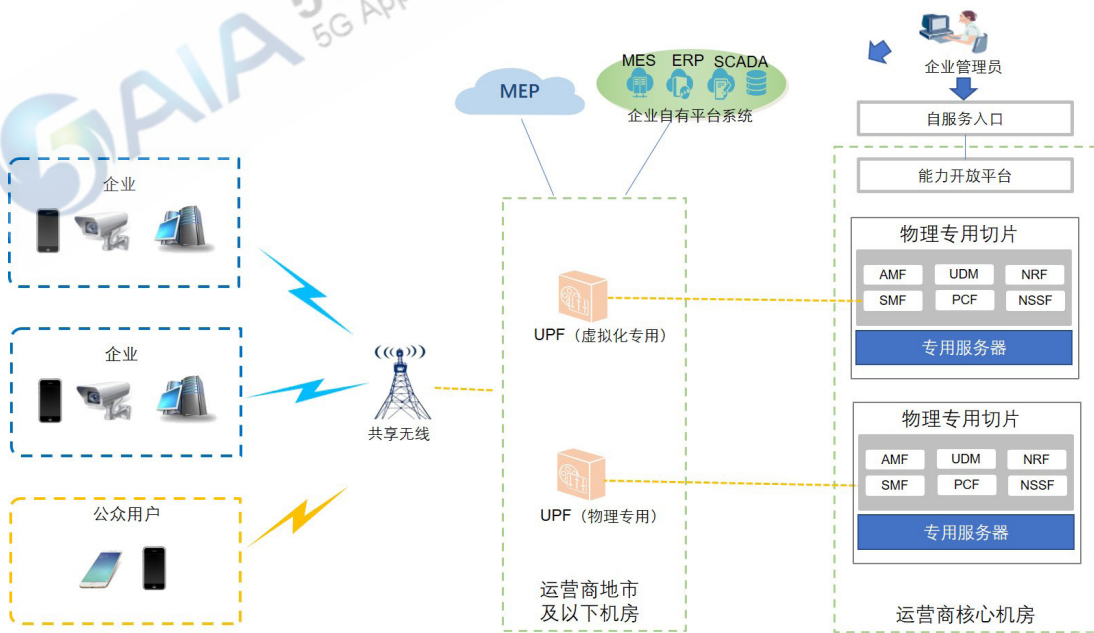


图5 广域5G行业虚拟专网逻辑架构：物理资源独享

## 2 业务分流方案

面向广域覆盖场景下的行业应用仍存在业务分流需求，如V2X等，仍需要在靠近用户侧将特定业务分流至企业内网或边缘业务平台，由于广域场景下不具备园区分流条件，因此通过在靠近用户侧的运营商机房（如区县）部署分流UPF，通过ULCL、Multi-homing等业务分流功能将特定行业用户业务就近分流到企业内部业务平台和应用。广域网络架构的分流方案与局域网络架构的区别是UPF在企

业外部，因此行业的业务流需要通过运营商公用承载网络返回企业内部网络，在UPF上分流方案与局域网络架构上的分流方案相同。

### 3 统一运营运维方案

为满足网络运维服务需求，行业用户能够通过5G能力开放平台获得网络运行状态、切片指标查询、网络监控报警、企业内部成员管理（含终端）、用户接入管理等能力；同时还能够按需获得5G网络能力调用，包括无线网络位置、QOS管理、分流规则自定义、黑白名单控制等功能。

#### 3.3.2 部署方案

面向广域的5G行业虚拟专网可以分为行业企业与运营商共享网络资源以及独立建设物理专用的核心网资源两种部署场景，下面将各种部署方案适用的条件及主要优缺点进行说明：

建网方式	网络资源共享部署	专用物理核心网切片部署
对企业部署的建议	主要面向对网络时延、带宽、抖动有较高要求和一定的安全隔离要求的企业	主要面向对网络覆盖、速率、时延和可靠性等网络关键性能指标、高安全隔离、端到端 SLA 保障、对切片管理运营有明确要求的行业客户
安全隔离	逻辑隔离	物理隔离
用户面	共用或专用	专用
覆盖	全程全网 重要数据可分流至企业	全程全网 重要数据可分流至企业
体验保障	带宽/低时延/抖动保障	带宽/低时延/高可靠
运维投入	KQI/KPI/管理企业成员（终端）	KQI/KPI/管理企业成员（终端）/管理无线接入白名单
模式主要优点	采用虚拟隔离方式复用网络资源，网络使用和运维成本低	采用物理隔离方式复用网络资源，对行业业务安全隔离保障级别更高
模式主要缺点	行业业务安全保障采用虚拟隔离方式进行	建设/运维投入相对较高、需要企业具备相应的自运维技术能力及人员储备

两种部署模式分别适用于对网络和业务有不同需求的企业：

■ 第一种网络资源共享模式适用于对行业业务性能指标有强需求，而对安全隔离需求不那么高的企业。其部署方式可分为共用用户面和专用用户面。

共用用户面方式的部署方案如图6所示。

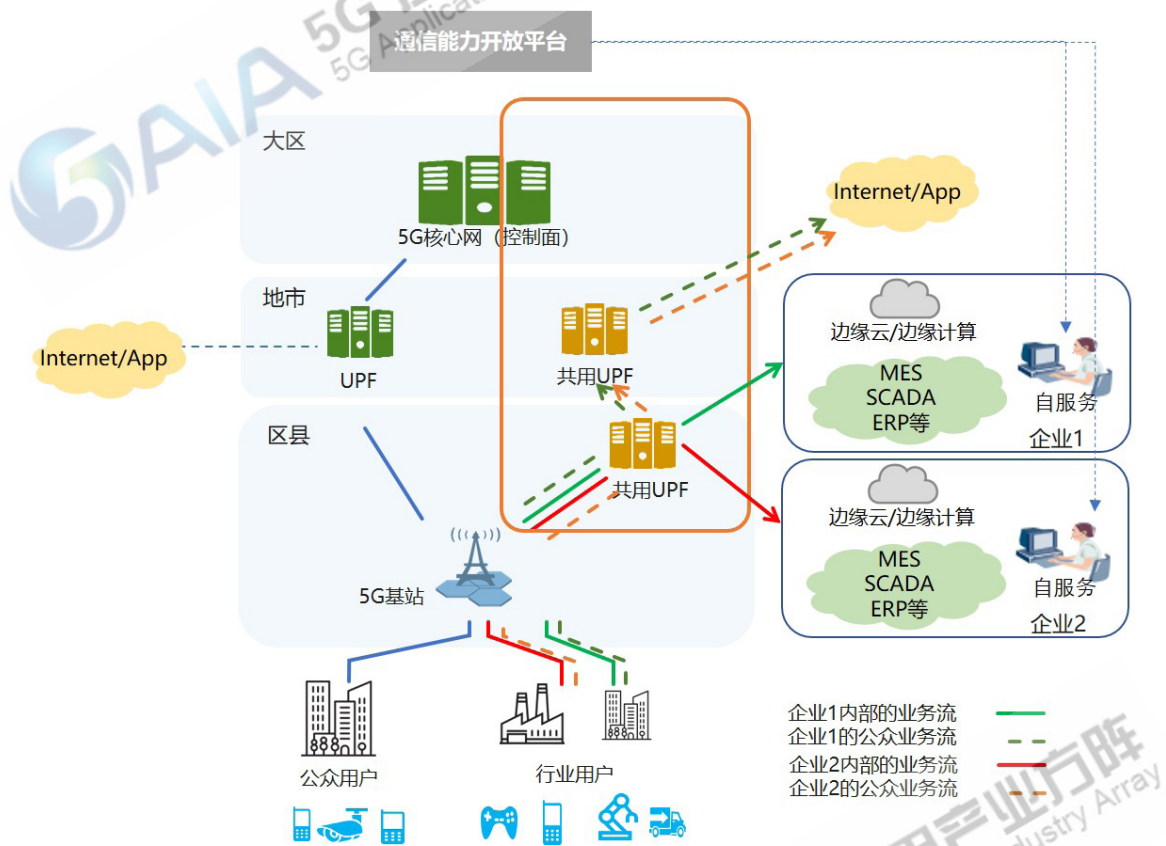


图6 共享网络资源（共用用户面）部署方案

专用用户面方式的部署方案如图7所示。



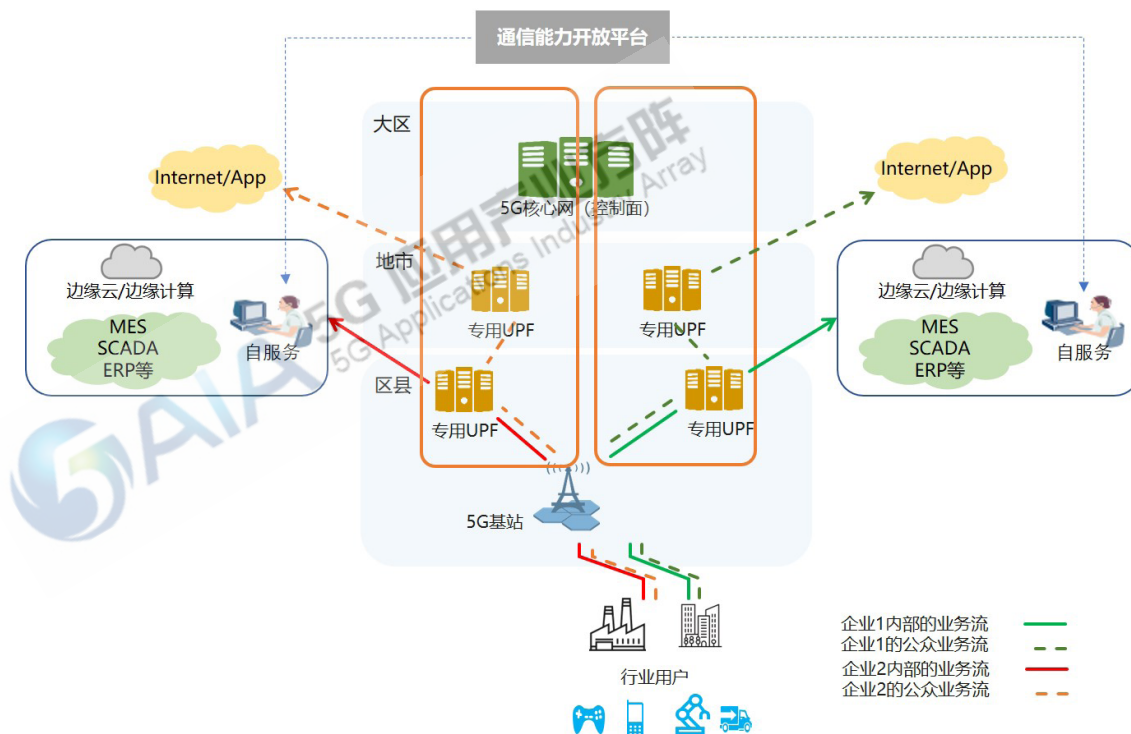


图7 共享网络资源（专用用户面）部署方案

网络资源共享部署方式的特点如下：

- 共用5G公网基站。
- 通过行业用户专用切片ID、DNN和QoS实现业务隔离及差异化服务。
- 集中部署核心网控制面，可行业用户共用切片，也可为行业用户分配逻辑专用切片。
- 用户面网元可共用或专用，专用用户面网元可为虚拟专用用户面网元（虚拟化设备）或物理专用用户面网元（物理设备）。
- 用户面网元和边缘计算平台可以按需部署在地市或者下沉区县（区县以下），通过ULCL、Multi-homing等方式实现业务分流。提供低时延保障。

■ 第二种专用物理核心网切片模式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，其要求核心业务需要采用专线及专用设备进行承载，其部署方式如图8所示。

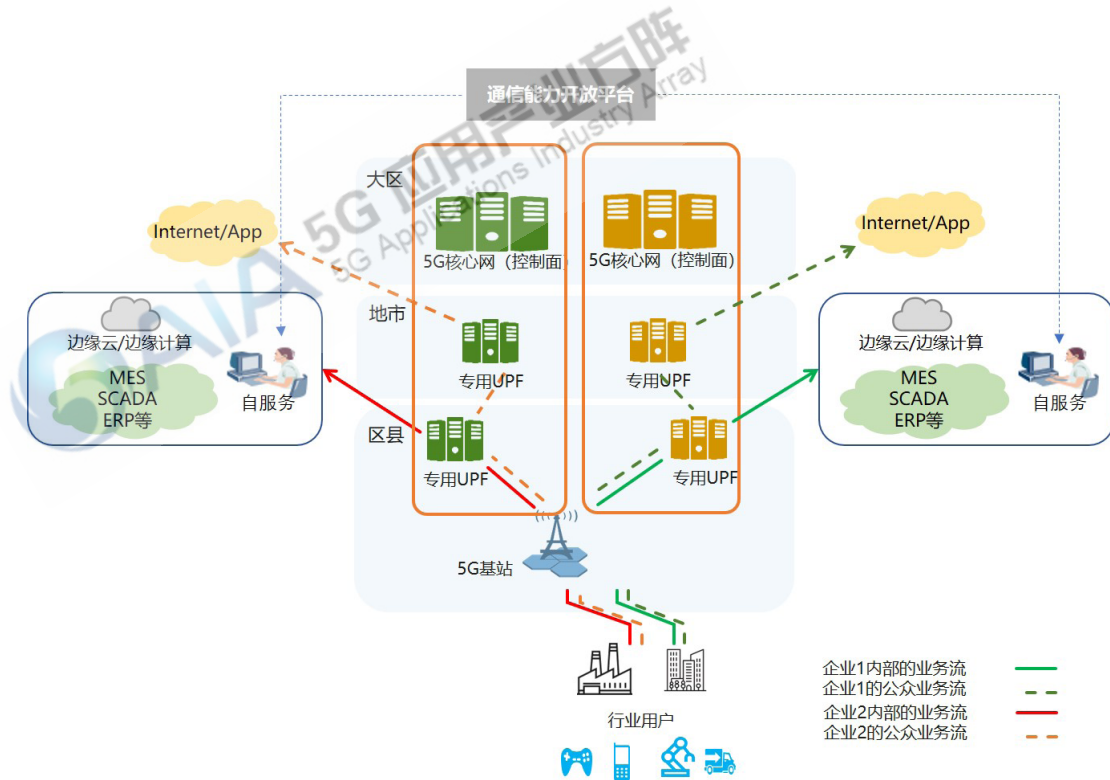


图8 专用物理核心网切片部署方案

专用物理核心网切片部署方式的特点如下：

- 共用5G公网基站。
- 核心网网络资源物理专用，用户面网元和边缘计算平台按需部署至区县及区县以下，提供更好的用户体验。
- 通过网络资源物理隔离、行业用户专用切片ID、DNN和QoS实现业务隔离及差异化服务。
- 通过ULCL、Multi-homing等方式实现业务就近分流。

## 5G行业虚拟专网典型案例

### 4.1 上海宝钢

中国电信联合上海宝钢在钢铁制造行业实现了基于5G虚拟专网的业务应用，包括在AGV路径、AGA末端库、滩涂库等指定仓库区域范围内实现在5G条件下的AGV车载高清监控视频实时查看。监控终端包括PC、智能终端、大屏幕等形式。通过5G实现24小时自动化、无人化的钢卷运输，贯通了以往独立运行的无人仓库与无人码头，整个环节构成了一个完整闭环，避免人为误操作，实现零交通事故，同时借助5G低时延高带宽的特性，整个厂内物流过程在指挥中心完全透明化、实时化，各部门可以对计划把握得非常精准，与整个车队的调度完美衔接，有效提升了生产效率。

本案例采用SA组网模式构建虚拟专网，全区域新建7个5G站点，其中宏站5个、室分2个，共12个小区。在SA组网情况下部署MEC和UPF，UPF下沉到用户侧机房，实现了本地业务和非本地业务的分流。MEC的解决方案把服务器和企业网打通，通过深度包解析识别本地和非本地业务，从而保持企业业务本地化，避免了路由迂回，降低了用户访问时延，缓解网络压力；同时强化了本地内容的安全性，便于开展相关增值服务。具体实现的网络架构如图9所示。

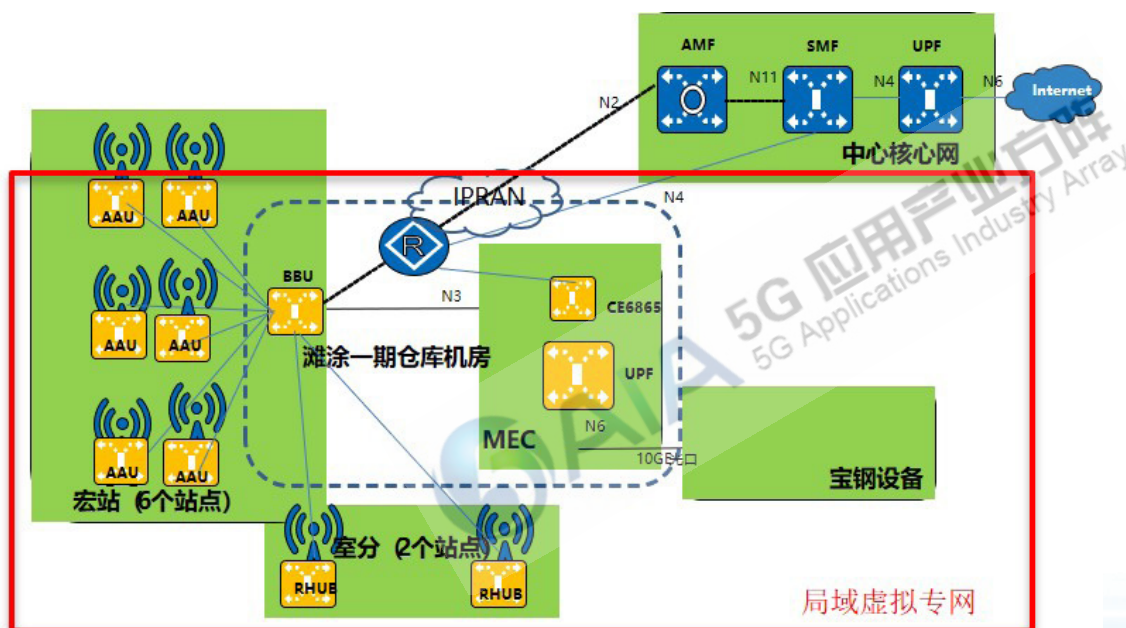


图9 上海宝钢5G网络架构

传统的挂车运输钢卷，存在极大的安全隐患；转运效能低于产能，造成产品积压，交货周期长；同时，由于仓库和码头与车队管理是完全割裂的，导致企业无法对车队精确调度以满足运输精细化管理。通过5G虚拟专网，无人驾驶重载框架车装备“视觉摄像头”，通过视觉识别路面引导线和预设条形码，获取车辆横向纵向位置，精度可达20厘米；通过5G回传视觉摄像头的高清视频信号，实现车辆路径规划与轨迹控制；指挥室可随时结合需求，随时发出决策指令，比如自由行驶、跟车、变道、停车、穿框架、停车入位、多车调度及避让等指令。

上海宝钢5G虚拟专网采用面向局域专网架构中的UPF方案构建，在直接效益方面，该案例平均单个钢卷的转运作业时间为3分30秒，大大低于人工作业时间；对应库区工作人员从130人降至30人以内，在降本增效的同时，切实提高了AGV的可视性、可感知性和可控性，提高安全感。在社会效益方面，该案例完成后钢卷产品不再需要堆放在厂外，缓解了当地公共交通压力和卫生环境；本案例中的AGV使用电动机行驶，通过绿色制造助力低碳环保；整个案例的成功实施也使得钢铁行业对5G的效率有了更直观的认识，产生了更大的探索动力。

## 4.2 宁波舟山港

中国移动与宁波舟山港就5G智慧港口项目进行深度合作，针对智慧港口港机远程控制、智能理货、集卡自动驾驶等业务特性，提出港口5G专网解决方案，旨在将5G与港口生产业务深度融合，提升港口自动化水平、实现降本增效。

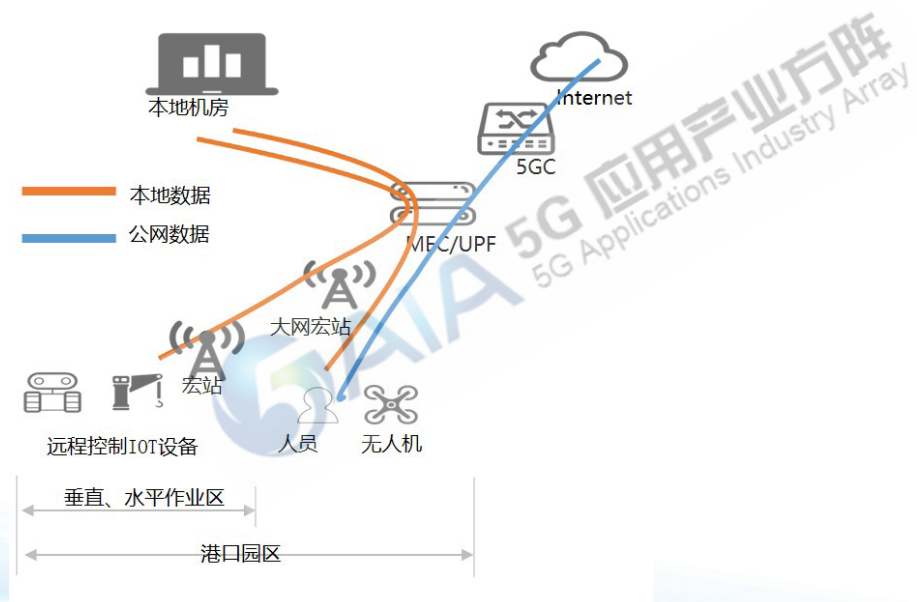


图10 宁波舟山港5G混合专网架构

港口网络架构如图10所示。案例整体采用SA组网，在港口区域部署大网宏站和专用宏站，提供港口生产业务的频率专用服务，通过接入控制方案保障其它用户无法接入专网小区，大大增强其业务性能（如时延、可靠性、速率）保障效果；目前已完成多个堆场连续覆盖，满足港口对速率、时延、可靠性、安全隔离等方面需求。核心网部署专用5GC核心网切片，将UPF下沉至港口区，保障港口敏感业务的数据安全隔离性，其余核心网设备位于运营商机房，物理设备与其他项目共享，通过切片进行虚拟隔离。港机PLC等港口设备通过CPE接入5G网络，港区内的人员和无人机等则通过5G基站直接接入。

为保证港机远程控制等核心生产业务的业务质量，案例通过专用无线频率和用户面下沉分流等方式，对上述业务进行承载，保证业务的网络资源和安全隔离；园区内的公网数据则通过共享公网无线资源回到运营商核心网，完成到大网的数据访问。

宁波舟山港5G虚拟专网采用面向局域专网架构中的UPF方案构建，UPF同时承载公网和行业专网业务，经实际环境测试，对于本地分流的业务流，端到端时延能够保持在10–20ms量级，单用户峰值速率超过250Mbps，能够很好满足客户超低时延和大带宽的业务需求。目前宁波舟山港的5G行业专网已进入批量投用阶段，助力宁波港的港口自动化发展。

### 4.3 格力

中国联通在广东和格力合作实现了国内首个基于MEC边缘云+智能制造领域5G SA切片的专网网络，该案例是工信部工业互联网创新发展工程项目，通过5G+MEC+切片打造了一个智能制造的示范工厂。

格力电器出于安全考虑，要求企业内数据不出园，仅在企业内部转发和使用，同时专用网络与公网之间应进行有效隔离或者差异化保障。针对格力电器提出的网络诉求及智能制造业务场景规划，制定了5G+MEC边缘云+SA切片专网总体方案。整体采用5G SA架构组网，其中核心网部分，控制面采用广东联通5GC大区商用网络，与普通用户共享，用户面UPF下沉到格力园区部署，由格力园区独占，本地分流园区内专网用户流量。“MEC+切片”5G企业专网方案实现了企业业务与公众用户业务物理隔离，确保了企业数据不出园区，保障生产数据安全，同时，结合承载网FlexE等技术实现了带宽资源独占。格力5G网络架构及专网切片方案如图11和图12所示。

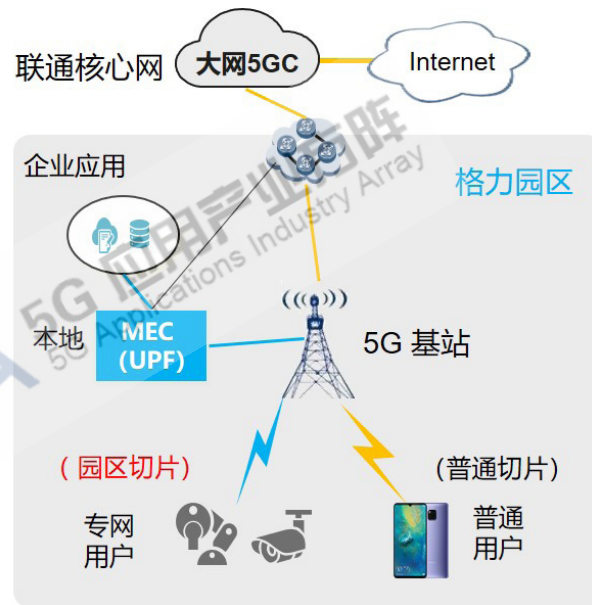


图11 格力5G网络架构

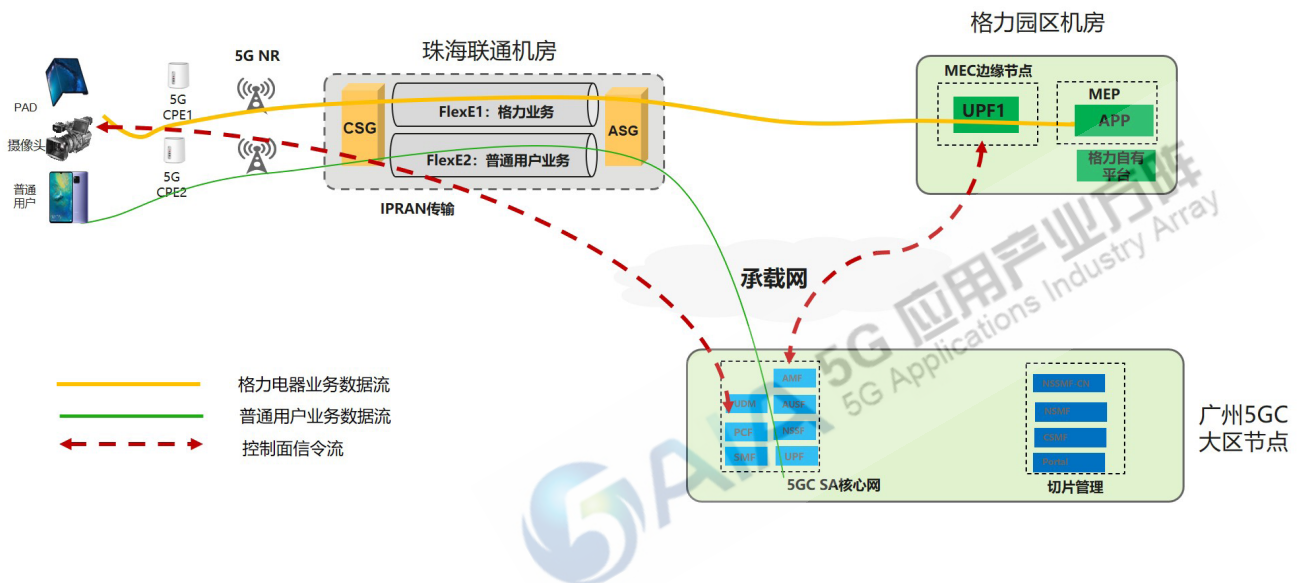


图12 格力5G专网切片方案

格力园区5G虚拟专网采用面向园区专网架构中的UPF+MEP方案构建，依托5G专网支持，已完成产线无纸化首检及产线视频监控等业务场景验证。在产线无纸化首检业务中，通过5G网络每个首检PAD最大可获得800Mbps带宽。此外，5G专网支持下的首检既能减少大量纸质文件，也能实现移动检查，大大提高了首检效率。在产线视频监控业务中，通过5G网络的上行大带宽，将产线实时视频上传到企业服务器，并从后台进行基于AI的工艺行为识别，提升生产过程的产品质量控制。

#### 4.4 江西星火

中国电信联合星火有机硅厂在江西实现了基于5G行业虚拟专网的业务应用。星火有机硅厂是中国化工集团旗下企业，是国家重点国防化工和化工新材料生产大型企业。本案例中5G虚拟专网主要用于星火厂区内580仓库智能物流、三分厂与四分厂的智能仓库、三分厂中控室的智能安监、以及一分厂的智能巡检。共规划5G站点18个，其中S111站型1个、S11站型1个，S1站型16个，共21台AAU，14台用于室内覆盖，7台用于室外覆盖。园区采用独立APN，隔离园区内网和公网访问，同时部署MEC保障数据不出园区，RTT时延从40ms降低到了15ms。MEC通过2台CE6865交换机，以25GE/10GE电口与UPF进行本地组网。网络组网架构如图13所示。

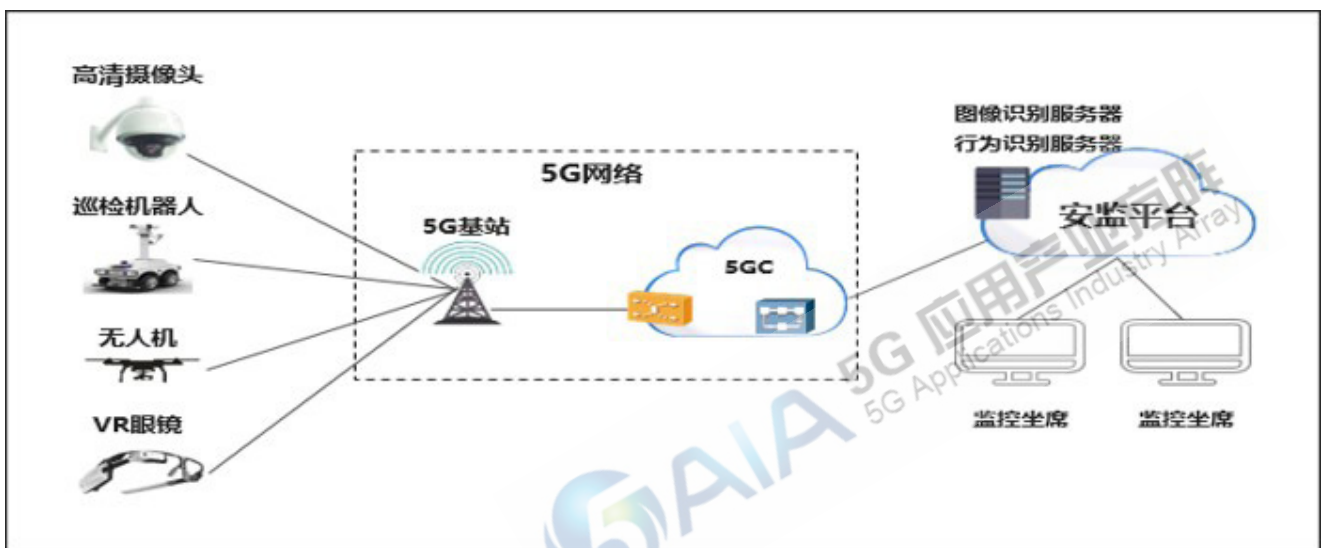


图13 江西星火5G网络架构

通过江西星火5G网络建设，承载了包括5G+精准定位、5G+智能巡检、5G+机器视觉等多项业务：1) 5G+精准定位：部署定位引擎，每5秒对终端信号进行采集，实现亚米级定位。定位信息被实时上传到安监平台，识别员工是否进入危险区域或已经发生危险等状态，并及时采取相应措施；2) 5G+智能巡检：员工手持防爆手机对仪表数据、阀门状态、管线温度等进行采集，利用5G网络上传给安监平台，进行数据分析和危险识别，降低人为录入误差、漏检率，提升预防性维修率；3) 5G+机器视觉：在智能安监平台上部署图像识别和行为识别服务，通过数据训练后，生成人工智能模型。企业内的高清摄像头、无人机摄像头、巡检机器人及AR眼镜等采集的视频传送到安监平台后，根据模型识别出危险行为后通知安监人员。

江西星火5G虚拟专网采用面向局域专网架构中的UPF+MEP方案构建，5G网络提升了江西蓝星星火有机硅厂的安全和效益管理能力，实现人员、设备和环境的可视化防控，确保企业安全责任零事故发生。通过5G+精准定位，企业人员定位精度提升300%+、减少安全隐患点262个；通过5G智能巡检，实现企业人员巡检数据录入准确率提升19%、漏检率降低25%。通过5G机器视觉，实现企业人员违规行为减少78%；通过5G无人机，样品检测由原来人工送检4个小时到即到即送。

#### 4.5 长虹

长虹集团协同5G运营商通过对四川绵阳河坝镇“虹创一号”智能电视工厂园区、爱联智能模组工厂园区实施网络改造，规划并建设长虹工业园区5G虚拟专网，孵化基于5G网络的工业数据应用、基于室内精准定位技术的新一代AGV管理系统、基于5G连接的协同生产管理系统等，实现覆盖产品全生命周期和全供应链的智能化工厂。

长虹工业园区5G虚拟专网采用5G模组或CPE组网方式，通过室分基站、宏基站接入5G网络，以SPN连接园区移动边缘计算(MEC)，结合原有以太网、NB-IoT、WiFi等网络连接方式形成融合网络，如图14所示。结合5G网络大带宽、低时延、大连接、安全可靠网络特性，实现河坝镇“虹创一号”智能电视工厂园区内的业务数据共享、互联需求。同时，考虑到工厂数据的高敏感性，利用边缘服务器计算节点MEC实现数据本地化，保障园区数据的私密性及安全性。



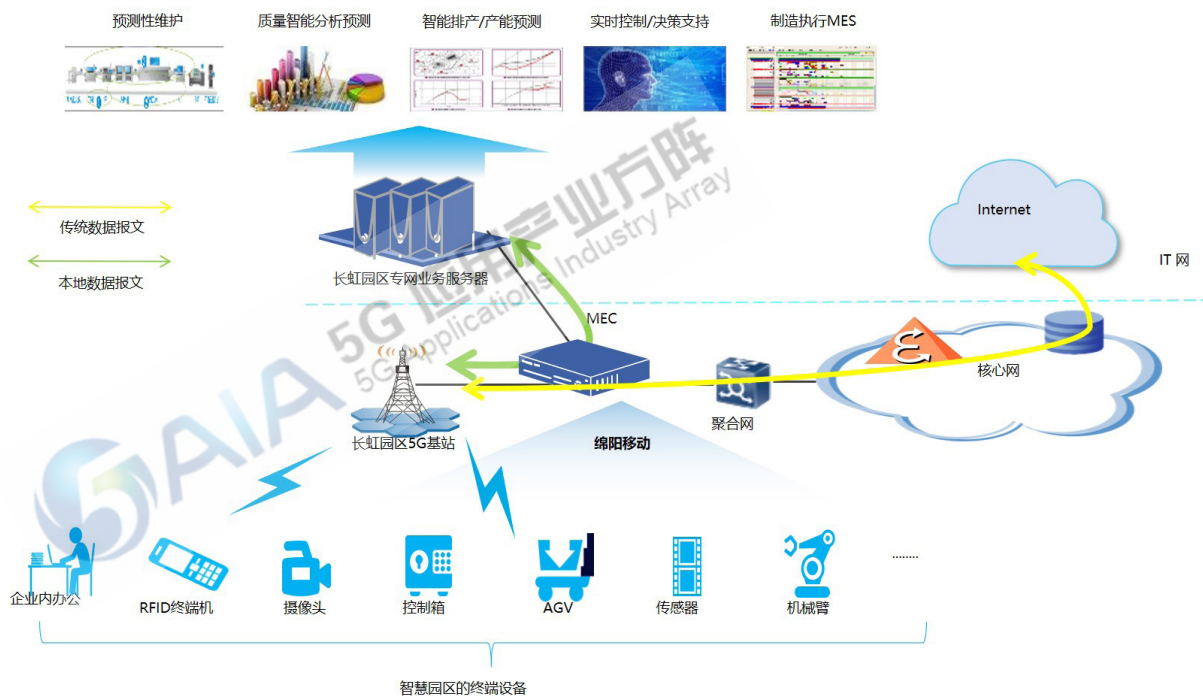


图14 长虹工业园区5G网络架构

其中，核心网借助现有设备进行网元部署；无线网通过2个5G基站实现网络覆盖，单基站小区数6个覆盖范围为多楼层的室内工业制造车间，主要覆盖目标为室内工作人员、智能制造设备、传感器和AGV无人小车；；传输网充分利用现网传输成环资源，有效避免网络中断；频率策略方面，使用4.9GHz作为该案例5G网络的承载频率；设备选型方面，当前5G基站的主设备形态以室外的AAU+BBU（CU/DU合设）以及室分有源设备为主，以发挥5G网络部署的灵活性和覆盖优势；网络运维方面，通过建设网管平台，实现网络远程运维管理和网络质量监测。

通过长虹工业园区5G虚拟专网建设，建立基于5G的工业数据采集和传输体系，借助5G高带宽、低时延、大连接的网络特性，对工业园区各环节实现数据采集点的进一步细化和补充；建立基于5G的机器视觉质量检测系统，在边缘端、云端构建海量数据机器自学习的质检算例库，与边缘段图像采集设备高效联动；研发基于5G的AGV管理系统，通过芯片厂商对于5G室内定位技术的研究，结合5G网络

通信抗干扰、稳定、低时延、室外覆盖等优势，对AGV小车及其控制系统进行优化。

长虹工业园区5G行业虚拟专网采用面向园区专网架构中的UPF+MEP方案构建，运营商进行宏站的部署，长虹和运营商在工厂车间、园区机房联合进行微站、室分基站、MEC的部署，现阶段网络运维工作主要由运营商承担，后续与长虹内网融合的专网部分由运营商提供部分管理界面接口以实现纳入长虹统一内部网络管理体系。借助5G虚拟专网结合工业互联网，长虹通过对智能化工业应用的研究与优化，实现河边镇工业园区订单交付周期小于21天，人效提升65%，生产和物流设施占地节省50%，整机周转12次/年，资金占用减少20亿。

#### 4.6 海尔

海尔基于运营商的5G网络在总部园区落地MEC（UPF+MEP），构建了行业内首个“5G+MEC”虚拟专网。

园区通过MEC的本地分流功能和新增单独的APN，从技术上实现所有生产数据在工厂内卸载不出园区，确保数据安全；5G MEC 服务器为工厂提供灵活的计算能力：生产应用APP可以根据不同的业务需要，通过MEP平台直接调用MEC的强计算、AI等能力满足自己对硬件服务器的要求，从而替代本地服务器；由于 MEC 距离终端或信息源非常近，网络响应用户请求的时延大大减小，满足各种创新应用对低时延和大带宽的要求；MEC将企业的内部生产数据在本地园区闭环，避免传递到公网上，对传输网和核心网造成网络拥塞；位于网络边缘的 MEC 能够实时获取例如基站 ID、可用带宽等网络数据以及与用户位置相关的信息，为各种生产应用提供网络开发能力，极大地改善用户的服务质量体验。

基于5G+MEC虚拟专网基础网络，海尔实现了中德园区的冰箱、滚筒、中央空调三家互联工厂的应用赋能。验证的主要项目有5G+AR/VR、5G+机器视觉、5G应用于高清视频传输（智能安防）、5G应用于远程维修、5G应用于工厂大数据等。

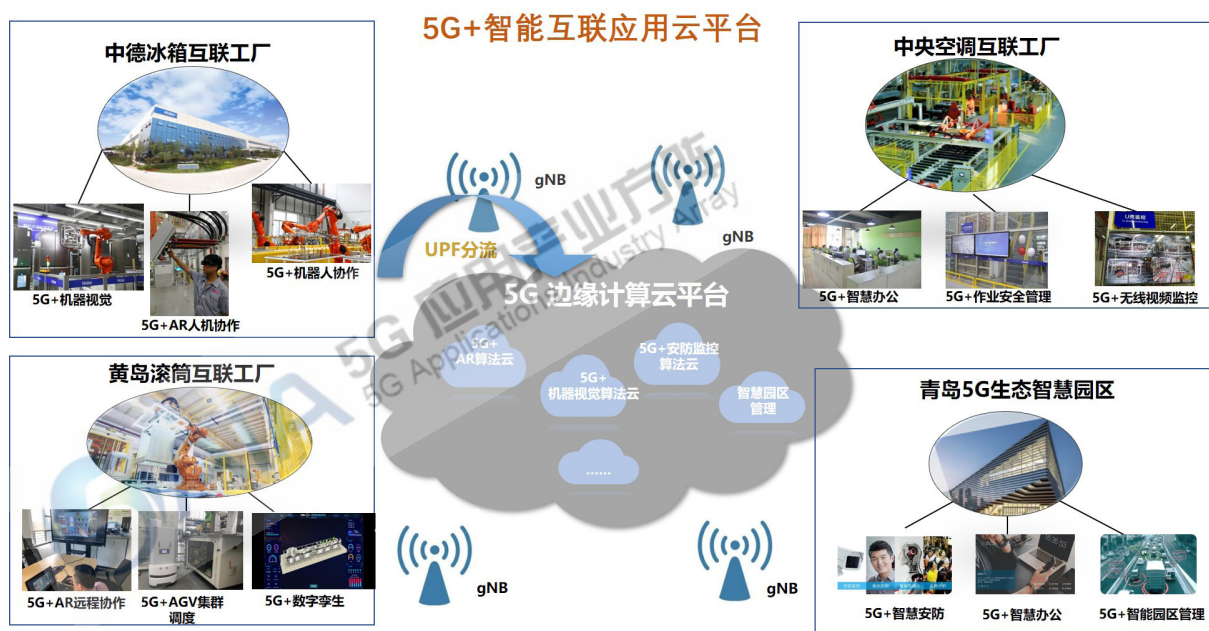


图15 海尔基于5G+MEC虚拟专网架构

以机器视觉为例，海尔中德冰箱互联工厂落地了行业内首个“5G+机器视觉”应用，工业相机所拍摄的高清图片无需绕经传统通信网络的核心网，MEC平台可对采集到的数据进行本地实时处理和反馈，数据在本地完成卸载，减少泄露的可能性，提升对数据的保密性。同时实现了机器和设备相关生产数据的实时分析处理和本地分流，提升生产效率。

海尔园区5G虚拟专网采用面向园区专网架构中的UPF+MEP方案构建，UPF同时承载公网和行业专网业务，保证了核心生产数据不出厂的数据安全要求，达到了企业降本增效的目的。基于5G无线传输取代有线千兆网传输，打破了有线传输有效距离近的限制，为实现算法处理层从设备端上升到边缘端打通了传输路径，算法处理统一规划到MEC当中，可以根据工厂实际的处理量统一配置计算能力。该方案实现设备端轻量化，产线机器视觉应用点只保留工业相机，取消单独的工控机，工厂或园区统一部署MEC，总体方案降低布线成本、硬件及算力浪费，总体投资成本降低约40%。目前已上线运行近半年时间。

## 4.7 南方电网

中国移动与南方电网合作，针对深圳市南方电网业务中智能分布式配电自动化（智能分布式配网差动保护和配网自动化三遥）、电网应急通信保障及配网计量等4个业务特性，基于5G SA架构和切片技术提供系统性的5G指挥电网解决方案，该案例旨在探索面向垂直行业的5G创新业务及需求，验证5G网络及业务的能力，并为5G商用奠定基础。

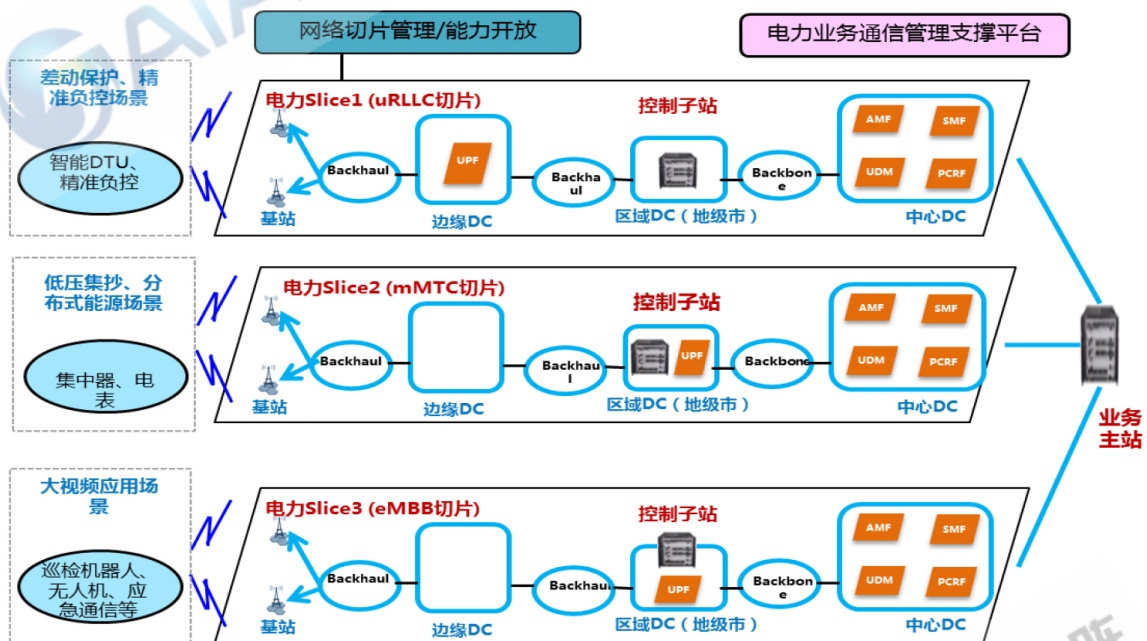


图16 南方电网基于5G的电力业务网络切片整体方案

案例实现的网络架构如图16所示。该案例规划三大类切片承载不同类型的电网业务，为所属各单位提供差异化的电力业务网络切片服务：eMBB切片满足高带宽业务需求，承载智能电网的大视频应用，包括了变电站巡检机器人、应急现场综合自组网应用；uRLLC切片满足低时延业务需求，承载智能分布式配电自动化业务；mMTC切片满足大连接业务需求，主要承载采集类业务，包括配网计量等。

案例基于切片提供两个维度的隔离能力：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，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。

南方电网5G虚拟专网采用面向广域专网架构中的网络资源共享切片构建，通过定制化硬切片提供物理隔离能力的安全、小于15ms的端到端超低时延、精度达1us的网络授时等服务和特性，满足综合承载配网差动保护、PMU、配网自动化三遥等核心业务的要求，给配网控制与管理带来重大变化，可以极大提升配网自动化管理水平。其次，5G高上行传输带宽（上行10MHz）保障（网络切片PRB硬保障）、近实时通信时延（小于15ms）、MEC本地智能化、10MHz的小颗粒SPN FlexE硬隔离传输承载等，为电网构建融合无人机、智能机器人、远程AR/VR诊断等的信息实时展示、任务智能规划、动作一键下达、状态智能感知、决策智能辅助的无人化智能运维平台，大幅提升工作效率、降低设备及人员的成本与风险，保障电网安全稳定运行。

## 主要贡献单位

**CAICT** 中国信通院

 **中国电信**  
CHINA TELECOM

 **中国移动通信**  
CHINA MOBILE

 **China unicom** 中国联通

 **HUAWEI**

**ZTE中兴**

 **大唐移动**  
DTmobile

**FOSUN** 复星

 **宝信软件**  
BAOSIGHT

 **和利时**  
HollySys

**长虹**  
CHANGHONG

**Haier** 海尔

**中控·SUPCON**

**Hisense**

  
**NISCO**



联系方式

电话: +86-10-62300184

邮箱: [5gaia@5gaia.org](mailto:5gaia@5gaia.org)

COPYRIGHT © 2019 5G Applications Industry Array  
ALL RIGHTS RESERVED.