5G端到端切片

SLA行业需求研究



中国信息通信研究院

2020年9月

报告编委会

指导：

潘 峰 中国信息通信研究院无线电研究中心副主任

组长：

李 珊 中国信息通信研究院无线电研究中心无线应用与产业研究部主任

成员：

张春明 中国信息通信研究院无线电研究中心无线应用与产业研究部工程师

申晓峰 中国信息通信研究院无线电研究中心无线应用与产业研究部工程师

李泽捷 中国信息通信研究院无线电研究中心无线应用与产业研究部工程师

目录

CONTENTS

前言 01

01 5G端到端切片 SLA研究背景和意义 02

（一）发展现状和存在的问题 02

（二）5G端到端切片 SLA研究的意义 03

02 5G端到端切片的典型网络架构 04

（一）端到端切片管理架构 05

（二）5G切片端到端网络技术典型实现方案 05

（三）5G切片的产业节奏 07

03 5G端到端SLA分级建议 08

（一）SLA指标参考 08
（二）行业SLA需求的马斯洛模型 09
（三）5G切片SLA分级需求调色板 10
（四）SLA调色板具体分级建议 11

04 SLA调色板在典型行业的需求分析 13

（一）医疗行业 13
1. 医疗行业应用现状 13
2. 医疗行业应用分类 16
3. 医疗行业SLA分级 19

（二）制造行业 21
1. 制造行业应用现状 21
2. 制造行业应用分类 23
3. 制造行业SLA分级 25

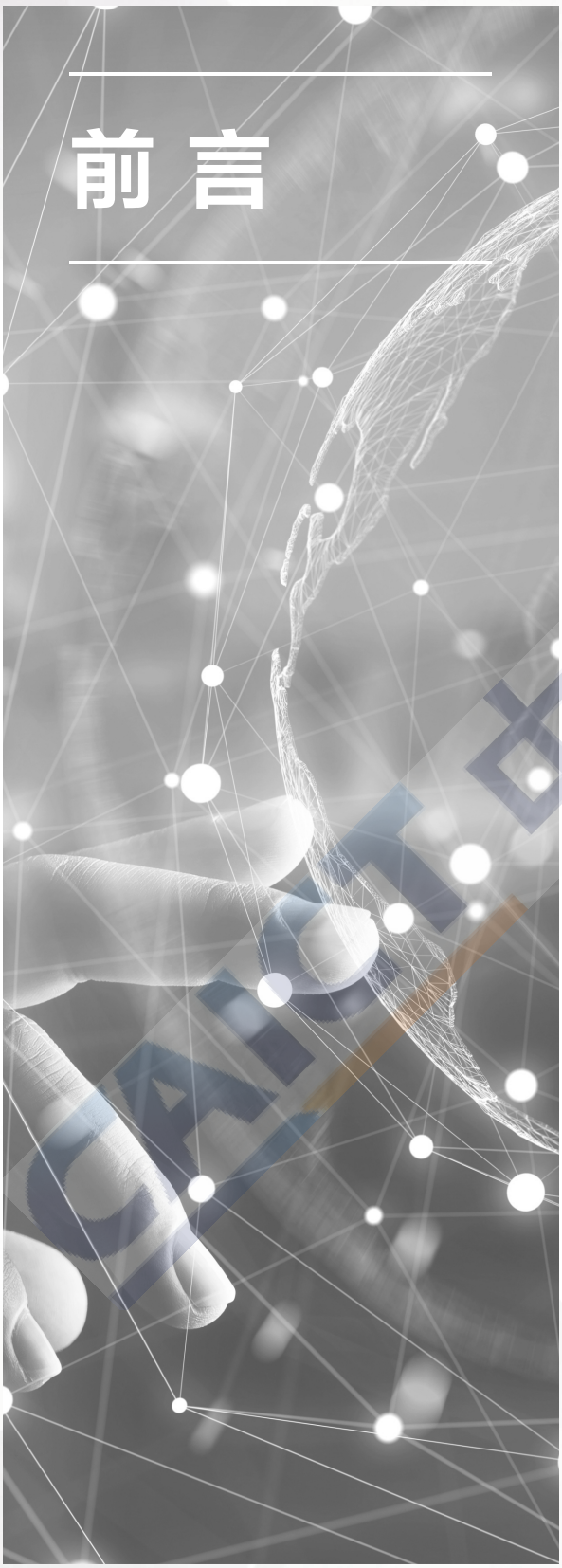
（三）电力行业 27
1. 电力行业应用现状 27
2. 电力行业应用分类 28
3. 电力行业SLA分级 32

05 发展建议 34

06 缩略语 35

07 参考文献 37

致谢 38



前言

5G 作为新一轮通信技术代际跃迁，更多聚焦于为垂直行业赋能赋智。5G 网络切片为不同业务提供独立运行、相互隔离的定制化专用网络服务，是 5G 服务垂直行业的关键切入点。工业、医疗、能源等行业应用方对 5G 切片技术表现出极大的热情，希望借此推动业务模式创新，促进产业转型升级。

目前，5G 网络切片的技术标准和网络基础基本就绪，然而大多数行业客户仍不清楚网络切片如何与自身的行业应用场景相匹配，亟需建立 5G 切片 SLA 等级划分标准，一方面，方便行业用户理解 5G 切片能力，并根据自身业务需求快速选择匹配的等级；另一方面，对于运营商可以实现服务归一化和简化设计，并实现客户 DIY 的新商业模式（客户自选并自动生成配置和计费）。

本文基于 5G 端到端切片的典型网络架构，结合业界常用的 SLA 相关标准，定义了行业联接 SLA 需求的马斯洛模型，从业务可用、安全可信、自主可控三个维度描绘了行业 SLA 需求的分级体系，并形成了 5G 切片 SLA 分级调色板， 同时，本报告选择了医疗、制造业、能源三个先锋行业，经过调研并结合 SLA 分级调色板工具，对三个行业的需求进行了深入分析。最后，本报告还提出了后续推进 5G 产业发展和切片 SLA 分级工作的相关建议。

01

5G 端到端切片 SLA 研究背景和意义

一 发展现状和存在的问题

5G 不仅是移动通信技术的一次代际跃迁，更将成为行业应用创新的“主阵地”。与历届移动通信技术主要满足“人人互联”通信需求相比，5G 更重视人与物、物与物的通信需求，更多聚焦于为垂直行业赋能赋智，加速开启“万物互联”新时代。5G 网络切片将共享的物理基础设施切割成了多个独立的虚拟网络，为不同业务提供独立运行、相互隔离的定制化专用网络服务，是 5G 服务垂直行业的关键切入点。工业、医疗、能源等行业应用方对 5G 切片技术表现出极大的热情，希望借此推动业务模式创新，促进产业转型升级。

5G 网络切片的技术标准和网络基础基本就绪。5G 网络切片作为一个按需定制的端到端的逻辑网络涉及无线、传输、核心网和管理域，在今年 7 月冻结的 3GPP R16 版本中，5G 网络切片已经初步实现 eMBB 和 uRLLC 类切片的基本功能和基本流程的定义，为第一波 5G 部署和网络切片业务商用奠定了坚实基础。与此同时，5G SA 网络初步商用，为端到端网络切片技术的应用创造了基础条件。今年我国四大运营商 5G 网络建设均以 SA 独立组网方式为主，全面推进 5G SA 网络商用步伐。中国电信预计于今年 9 月开展 5G SA 商用，经过一年时间测试调整后可开展规模化商用；中国联通也于今年第三季度启动 5G SA 公测计划，当前正在招募公测用户；中国移动计划今年第四季度实现 SA 成熟。深圳全面完成了 5G SA 组网，累计建成超过 4.6 万个 5G 基站，网络建设步入了第二个阶段，各种各样的 5G 行业应用落地将成为当前的重点。

5G 网络切片 SLA 等级划分对规模商用至关重要，而目前还没有清晰的定义。由于网络切片面向不同行业及场景提供不同网络能力的组合，如何定义和划分不同等级的 SLA（服务等级协议）对网络切片服务的提供者以及消费者都至关重要，然而目前对切片进行 SLA 等级划分还面临多方面的问题。首先，在行业用户方面，虽然部分行业应用场景已经基于 SA 网络开展了一些试验，但大多数行业客户对网络切片能力并没有清晰的认识，不清楚网络切片如何与自身的行业应用场景相匹配、切片所能够带来的商业价值以及如何选购切片。其次，在运营商方面，5G 切片 SLA 等级划分涉及行业应用场景众多且各行业专业性强，需要通信企业与行业客户进行大量的共同

探索研究，需要行业龙头企业深度参与切片 SLA 等级标准的定义和划分。最后，在切片管理方面，切片的划分并非越多越好，如何达到运营管理复杂度与客户需求多样性之间的平衡是一个很大挑战，能够同时满足服务双方的清晰的 SLA 规范和服务质量管理流程需要通过市场的多次验证和更新迭代才可以完成。

二 5G 端到端切片 SLA 研究的意义

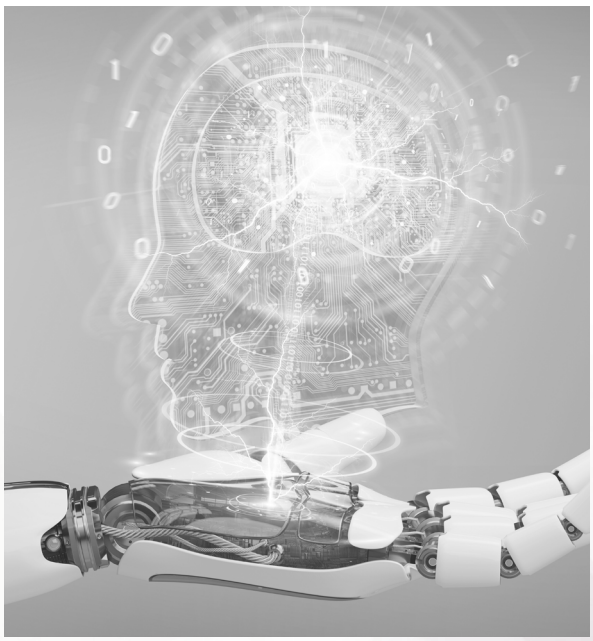
5G 行业融合应用已经进入到关键探索期，研究如何对 5G 网络切片 SLA 等级划分是加快 5G 网络切片在各行业落地应用和规模推广的重要前提，对行业用户、运营商、政府（行业主管部门）都有积极而深远的意义。

5G 网络切片 SLA 等级划分帮助行业用户了解切片并利用好切片。用户对网络切片的了解需要一定的认知过程，清晰的 SLA 指标有助于行业用户直观感受到网络切片所能提供的服务类别及其差别，并参考 SLA 标准所定义的服务等级，选择适合自己行业业务特性的网络切片服务，从而降低了行业间沟通的壁垒，推进 5G 融合应用的落地，让行业用户早日享受 5G 技术所带来的红利。

5G 网络切片 SLA 等级划分能有效提高运营商服务行业用户的能力。首先，运营商在参与 SLA 标准制定过程中可以更深入的了解行业对 5G 的应用需求，制定出符合大部分行业需求的网络切片服务。**其次，**SLA 标准有助于降低运营商的运营成本。运营商基于不同的 SLA 标准制定灵活的差别化定价服务，提供可协商服务价格和保障等级的沟通平台，有助于在满足行业客户多样化定制网络需求和降低 5G 运维成本之间达到有效的平衡。**最后，**SLA 标准可提升运营商切片的服务质量。运营商借助切片 SLA 管理平台，可以为大量行业应用提供 5G 网络切片服务，同时能够精准地控制单个切片的服务质量。

5G 网络切片 SLA 等级划分为行业主管部门提供决策参考。一是为政策监管的研究提供判断标准和参考依据。各行业对安全要求较高，5G 应用于各行业需要从行业管理顶层制定 5G 网络、终端、数据方面的安全技术指标，需要建立通信行业与各行业的安全认证对接机制。若要将 5G 作为行业用网的可选技术之一，在技术指标制定过程中，政府需要参考 5G 网络能力的量化指标和行业标准，清晰的 SLA 等级指标将是一个重要参考。二是为构建产业互联网“联接力”的评估体系奠定基础。通过 SLA 分级，可以量化行业数字化的联接能力，用于国家评估行业数字化的实际效果，分析存在的短板和调整投资方向。

综上，清晰的 SLA 等级划分是千行百业和 5G 技术之间的沟通桥，是 5G 端到端切片满足各行业多样化差异化通信能力要求并且迈向规模化商业运营的第一步。充分了解各行业的 5G 业务需求及其对 5G 网络切片的确定性 SLA 要求，并支撑客户确定性的联接体验，是现阶段的重要工作。



02

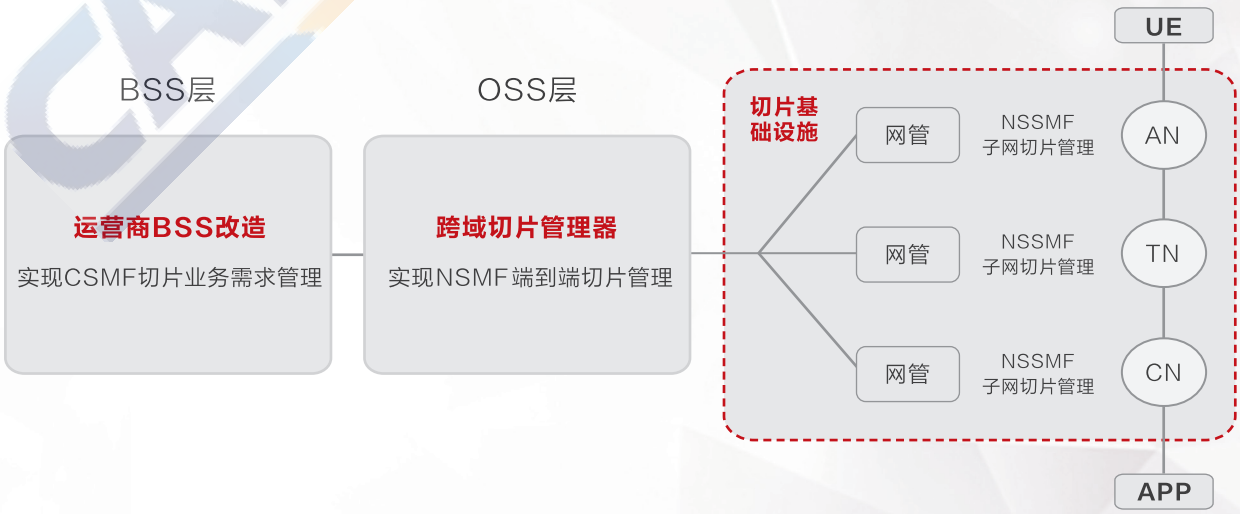
5G 端到端切片的典型网络架构

5G 网络切片在 3GPP TS 23.501 中已经定义，通过将物理网络切分为多个逻辑网络实现一网多用，使运营商能够在一个物理网络之上构建多个专用的、虚拟的、隔离的、按需定制的逻辑网络，来满足不同行业用户对网络能力的不同需求（如时延，带宽，连接数等）。

5G 网络切片需要基于 SA 网络架构实现。3GPP R15 协议基于 5G SA 架构定义了切片标识和 E2E 标识用户群，说明了切片如何使能差异化。通常只有复杂的网络和终端配置才能实现对某类用户群的差异化，而 2G/3G/4G/5G NSA 等协议缺少 E2E 统一标识某类用户群的手段。

5G 网络切片是端到端的架构设计，包含多个子域，且涉及管理面、控制面和用户面等三个层面，其端到端架构示意如下：

图 1 – 5G 端到端切片的网络架构



一 端到端切片管理架构

主要包含以下几个关键部件：

CSMF (Communication Service Management Function) 是切片设计的入口。将承接业务系统的需求转化为端到端网络切片需求，并传递到 NSMF 进行网络设计。 CSMF 功能一般由运营商 BSS 改造提供。

NSMF (Network Slice Management Function) 负责端到端的切片管理与设计。得到端到端网络切片需求后，NSMF 产生一个切片的实例，根据各子域 / 子网的能力，进行分解和组合，将对子域 / 子网的部署需求传递到 NSSMF。NSMF 功能一般由跨域切片管理器提供。

NSSMF (Network Slice Subnet Management Function) 负责子域 / 子网的切片管理与设计。核心网、传输网和无线网均有各自的 NSSMF。

NSSMF 将子域 / 子网的能力上报到 NSMF，当获得 NSMF 的分解部署需求后，实现子域 / 子网内的自治部署和使能，并在运行过程中，对子域 / 子网的切片网络进行管理和监控。通过 CSMF、NSMF 和 NSSMF 的分解与协同，完成端到端切片网络的设计和实例化部署。

端到端切片的全生命周期管理，包括切片实例创建、监控、释放，如分解网络需求到无线网、承载网、核心网各单域，完成切片 E2E 配置; 收集各单域信息，汇总形成切片级统计指标，随后进行可视化呈现；与 BSS 系统集成支持行业切片模板设计和上线。

二 5G 切片端到端网络技术典型实现方案

端到端 5G 网络切片包含无线网切片、核心网切片和传输网切片三部分：

1. 无线网络切片

无线的切片资源包括空口资源（频谱、小区），设备资源（AAU、BBU 资源）；切分方式包括硬切（资源隔离）、软切（资源抢占）。例如：在空口资源调度时，能做资源预留（某段空口时频资源给某切片专用，资源隔离）、基于优先级的资源抢占（高优先切片抢占低优先级切片的空口资源）、基于切片业务容量的空口资源保障和限额等。在设备资源调度时，设备资源如 CPU、内存、队列等资源被某切片专用或基于切片优先级抢占式的共享使用。

无线网络切片技术实现节奏上分为两个阶段。第一阶段主要完成无线网络对切片的感知，打通终端接入切片网络的端到端流程，支持切片级优先级（即对切片内用户群设定的群优先级），如对高优先级切片内用户设定最低保障速率，对低优先级切片内用户设定最大速率；在网络拥塞时，高优先级切片内用户可抢占低优先级切片内用户的资源。第二阶段不同的切片可根据业务需求选择各自最适合的 PHY/MAC/RLC/PDCP 无线协议栈。对于 uRLLC 切片，为保证业务低时延及高可靠，PHY 层采用低时延优化的编码方式，MAC 层采用 HARQ 盲重传，RLC 层不采用确认模式；对于 eMBB 切片，为保证大带宽，PHY 层采用大负荷优化的编码方式，MAC 层采用 HARQ 重传，RLC 层采用确认模式；对于 mMTC 切片，为保证深度覆盖及低功耗，PHY 层采用覆盖增加及能耗优化的编码方式，MAC 层采用多次 HARQ 重传来提供深度覆盖，数据面采用 Data over NAS 信令面传输方式。无线切片第一阶段技术已经成熟，第二阶段还在探索中。

2. 核心网切片

SA 网络架构下，核心网的各网络功能被化整为零，拆分成众多细颗粒的模块化组件，微服务就是 5GC 核心网网络功能的最小模块化组件。核心网切片实现如下：

微服务按业务需求不同，进行灵活编排，形成不同的切片。如 FWA 切片，固定终端不需要部署移动性管理，需要部署 CPE 接入管理，另外考虑到 FWA 上承载的 IPTV 业务，需要部署 IPTV 组播功能；如 uRLLC 类切片，因为低时延高可靠性的要求，会话管理中需要增加 1+1 热备份功能，用户面功能增加低时延转发 / 时延监控等功能。

根据时延或带宽等需求不同，切片的微服务可以灵活部署在网络的不同位置。如 FWA 切片，因为对于时延不敏感，FWA 切片对应的核心网微服务都可以部署在核心数据中心；而对于 uRLLC 类切片，因为低时延的要求，切片的用户面微服务必须就近部署在边缘数据中心。对于时延不敏感的信令面微服务，如接入移动性管理以及会话管理功能可按要求部署在核心数据中心或区域数据中心。

各微服务可被不同切片独占或共享。独占模式相当于每个切片各有一套核心网，彼此之间互不影响；或者部分共享部分独占，如某些微服务可以被多个切片共享（如统一的用户接入鉴权管理、统一的用户数据管理、统一的用户策略管理），而其他微服务（移动性管理、会话管理、用户面功能等）每个切片独自各有一套。



3. 传输网切片

传输网切片的实现分为转发面和控制面两个层面，转发面有光层 /IP 层硬管道（物理隔离），IP 层软管道（层次化 QoS 调度）；控制面实现各切片间不同的逻辑拓扑以及智能选路。

转发面软硬管道隔离：

光层硬管道：通过为不同的业务分配不同的波长（λ）或者单波长内不同的 ODUk（光通道数据单元，即一个波长内不同的时隙单元），实现各切片的光传输资源独占和业务隔离；

IP 层硬管道：采用 FlexE（灵活以太）技术实现不同切片分配独享的接口资源，实现基于硬管道的业务隔离（FlexE 技术：Ethernet 接口的物理层划分时隙，MAC 层灵活选择一个或多个时隙组成可变带宽的接口，例如在 5*40G 的接口上提供 20 个 10G 的带宽）；

IP 层软管道：通过 TE 隧道技术（TE：Traffic Engineering，通过在每个路由器节点上配置控制协议协商链路带宽，实现逻辑隧道上各个节点的带宽预留）构建软管道为不同的业务切片分配链路带宽资源，通过 HQos（层次化 QoS：采用多级调度的方式，精细区分不同用户和不同业务的流量，提供区分的带宽管理）实现不同用户不同业务流量的优先级调度。

控制面实现各切片间不同的逻辑拓扑以及智能选路：基于网络控制器和 IGP 多拓扑扩展技术实现各切片独立逻辑拓扑、选路和管理；并基于时延、带宽等进行智能选路，提供确定的时延 / 带宽保障。

三 5G 切片的产业节奏

由于切片基于 5G SA 架构实现，因此切片的商用落地需要运营商、设备商和垂直行业进行紧密的联合技术验证和商业创新，商用落地节奏预计如下：

1）2020 年 -2022 年，随着 2020 年 5G SA 商用，未来 1-2 年将逐步成熟，少数对 SLA 有强烈需求的行业将率先在切片领域进行创新探索，如工业互联网、智慧医疗、智能电网、AR/VR/ 游戏、远程教育等。

2）2023 年及以后，随着 5G 切片技术的进一步成熟，将会有更多的行业选择切片服务。

我国在 5G 切片目前处于领先位置，2018 年巴塞罗那世界移动通信大会上，中国移动、华为、德国电信、Fraunhofer FOKUS、国家电网、中国电力科学研究院、腾讯、意大利电信、大众以及数字王国宣布成立 5G 切片联盟。经过两年的探索，中国运营商在 VR 直播切片、游戏切片、智能电网切片和智能油田切片等多领域都已经进行了大量实践，5G 切片技术已经逐步走向成熟。

03

5G 端到端 SLA 分级建议

一 SLA 指标参考

SLA（Service Level Agreement）：双方正式协商达成的协议，有时也称为服务水平保证。它是服务提供商和客户之间的合同（或合同的一部分），旨在建立对服务、优先级、责任等的共同理解。服务水平规范（SLS）：可以看作是 SLA 的技术组件和指标，用来定义纳入 SLA 指标参数以及相关门限值[2]。

目前，业界提出了一些 SLA 相关标准，结合 GSMA 与 3GPP 标准，5G 切片的 SLA 指标主要包括:“用户带宽、时延、包可靠、吞吐率、定位精度、隔离度等”，分别定义如下表:

表 1 – SLA 主要指标

SLA指标	定义
网络可用度	产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力。（来源：GJB451-90、IEC61907）
用户带宽（UL/DL）	获得足够质量体验所需的最低网络带宽，广播类业务的情况除外（其给定的值是所需的最大值）。（来源：3GPP TS 22.261/22.104）
时延	端到端时延：在通信接口处测量的，从源点处传输到目的地成功接收所花费的时间。（来源：3GPP TS 22.261）
包可靠	在网络层数据包传输的上下文中，在目标业务所需的时间约束内成功传送到给定系统实体的网络层数据包的数量除以已发送的网络层数据包总数的百分比值。（来源：3GPP TS 22.261）
定位准确度	定位准确度：描述UE测量位置与真实位置值的接近程度。（来源：TR 22.872）
授时精度	本定义参考3GPP中Clock Synchronicity定义如下：主时钟和任何单个UE时钟之间同步域内允许的最大时间偏差。（来源：3GPP TS 22.104）
网络安全	保障在网络中传输、交换和存储的信息的机密性、完整性，不被未经授权的篡改、泄露和破坏，同时，保障系统连续可靠地运行，不中断的提供连续通信服务。
隔离度	租户业务需求对资源的隔离要求。“不共享”指租户要求切片资源完全隔离，租户业务与其它业务不能共享同一个NSI。共享：租户对资源的隔离没有强制要求，运营商/企业可以按自有部署策略来满足切片SLA。
可视	企业可以监控和查看切片相关的各种信息。
可管	企业可以进行业务管理，如切片业务开通、UE管理、业务策略等。
可运营	企业通过网络能力开放API，自行实现上述所有运营能力。

CAICT 中国信通院

二 行业 SLA 需求的马斯洛模型

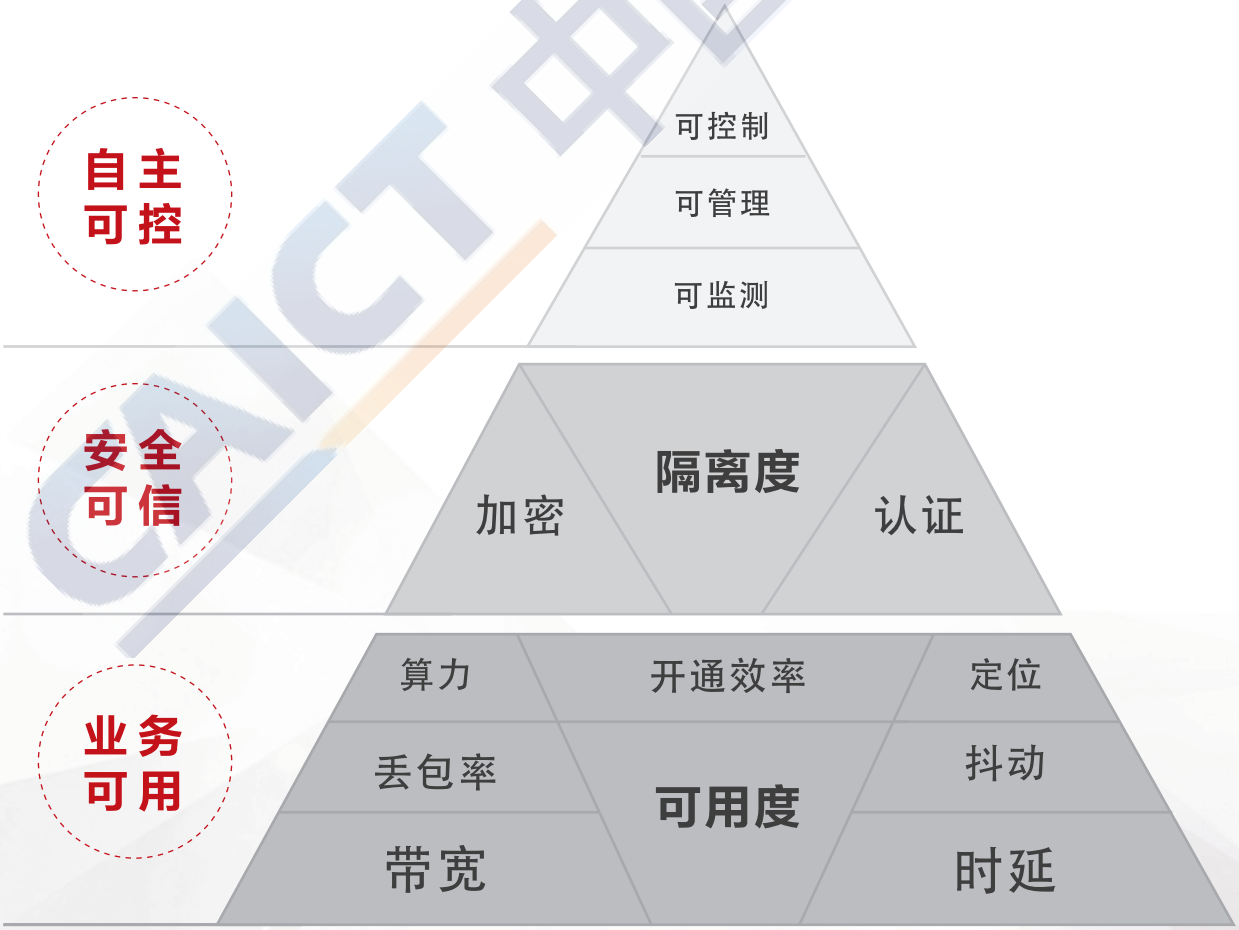
通过对现有标准的梳理和行业用户需求的调研，我们进行归纳总结后，认为企业对于网络的需求存在“马斯洛模型”，基本层级是从基础的业务可用，到安全可信，再到自主可控。

业务可用：某个用户群需要在带宽、时延、丢包率、抖动、可用度、开通效率上提供差异化服务处理，除 SLA 保障外，也包括差异化限制（如对 P2P 用户进行速率限制），为使能 E2E 的业务可用，可能还需要提供 AI 边缘算力和定位等差异化 SLA 服务。

安全可信：某些行业对于安全性和可靠性要求极高，需要一张类似专网的逻辑网络，与其他业务隔离，有时会要求对数据进行加密处理和鉴权认证，确保其他业务不会对本切片业务造成影响，并将这些信息嵌入到行业用户业务系统，支持其业务系统进一步智能化、自动化。

自主可控：某些行业用户希望对运营商所承诺的时延、带宽等 KPI 进行监控，对切片网络进行自主管理和维护、配置，甚至要求部分网元设备（如核心网关、边缘计算等）资产归企业自己所有。

图 2 – 行业 SLA 需求的马斯洛模型



三 5G 切片 SLA 分级需求调色板

马斯洛模型涉及指标较多，为便于行业用户理解和使用，我们对指标进行了简化，选择了现阶段行业用户最为关注的指标。业务可用选择用户级带宽和时延两大指标，安全可信主要从资源隔离等级考虑，自主可控从行业用户管理上能力上进行分级，未来随着业务的深度开展，可以增加更多的分级维度。

为便于行业用户理解切片等级，并快速与业务需求相结合，我们参考数据中心的分级方式，提出了“5G 切片 SLA 分级调色板”，可以作为业务设计的参考工具。行业用户可以在带宽 B1~B5，时延 T1~T5，安全可信 S1~S2，自主可控 M1~M3 等选项中，根据业务属性进行选择和调色，定义出自身业务的 SLA 分级（如某电网视频监控对应 SLA 为“**B3,T2,S1,M3**”）。

图 3－5G 切片 SLA 分级需求调色板

业务类型	业务描述（应用场景、方案成熟度、用户规模等）	业务SLA要求													
		业务可用（单用户、单业务）										安全可信		自主可控		
		宽带需求/单用户（Mbps）					业务时延需求（ms）					逻辑隔离：共享，基于优先级隔离 物理隔离：独占，基于物理(通道/时隙)隔离		可视:可查看业务状态，用户信息 可管:可修改业务，生命周期管理 可运营:通过API，实现业务自运营能力		
		B1	B2	B3	B4	B5	T1	T2	T3	T4	T5	S1	S2	M1	M2	M3
		1～10	10～20	20～50	50～100	>100	50～100	20～50	10～20	5～10	<5	逻辑隔离	物理隔离	可视	可管	可运营
业务类型1																
业务类型2																

四 SLA 调色板具体分级建议

具体分级建议如下，并针对每个指标给出基本验收方法。

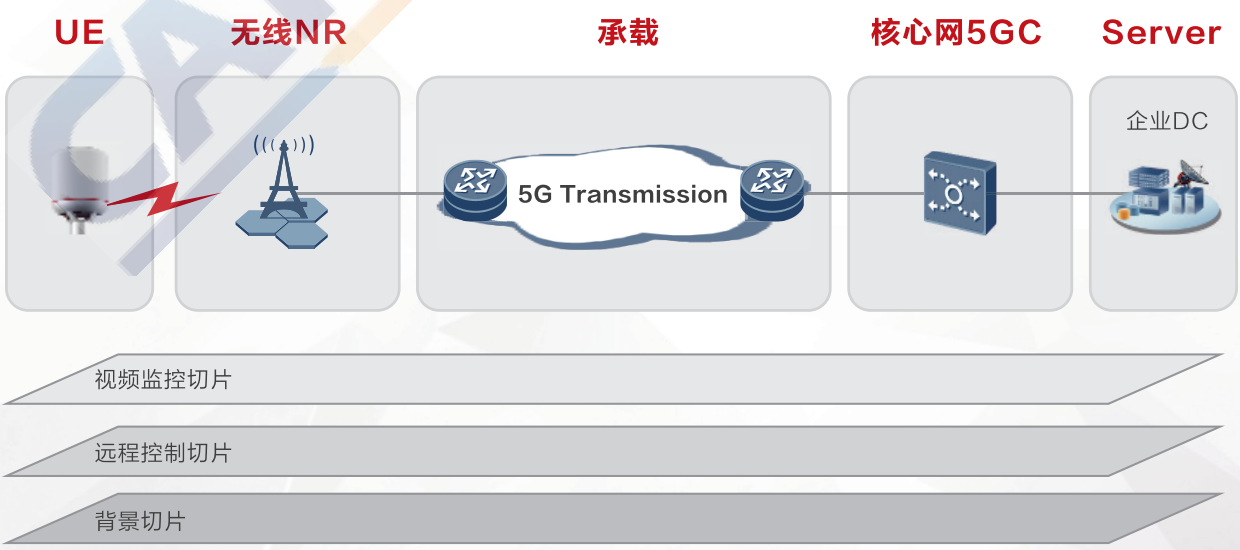
（1）单用户带宽等级

该指标可以通过在 UE 侧或 Server 侧进行灌包测试（包括上行或下行）进行验收，也可以统计规定时间内切片业务成功传输数据进行计算验收。

表 2 – 单用户带宽等级

等级	范围（单位Mbps）	主要场景举例
B1	1~10	资产管理、远程办公
B2	10~20	视频监控
B3	20~50	机器视觉（边缘检测）
B4	50~100	4K直播
B5	>100	8K直播、无人机测绘

图 4 – 用户带宽测试网络结构



CAICT 中国信通院

（2）时延等级

该指标可以通过在 UE 侧或 Server 侧进行 ping 包测试进行验收，统计数据包的 RTT 时延。

表 3 – 时延等级

等级	范围（单位ms）	主要场景
T1	50~100	4K直播、无线专科诊断
T2	20~50	远程会诊、配电网自动化
T3	10~20	差动保护、龙门吊控制
T4	5~10	移动机器人、CloudVR强交互
T5	<5	远程驾驶、运动控制

（3）隔离等级

该指标需要测试某业务切片在背景切片的影响。如视频监控切片在背景切片影响下，用户速率无影响，则为物理隔离，否则为逻辑隔离。

表 4 – 隔离等级

等级	主要场景
S1逻辑隔离	企业内个人用户与办公业务共享网络资源，按优先级处理。
S2物理隔离	电网的管理区要求与生产区严格物理隔离。

（4）管理等级

该指标通过 UE 侧或 Server 侧操作管理界面验收，根据是否提供对应功能进行判断。

表 5 – 管理等级

等级	主要场景
M1可视	企业查看切片状态、查看用户信息、获取SLA报表等。
M2可管	企业进行业务修改、终止等、UE生命周期管理、简单故障诊断。
M3可运营	通过开放API，企业实现切片业务监控、业务管理等自运营能力。

04

SLA 调色板在典型行业的需求分析

5G 商用以来，产业各方协同努力，积极探索 5G 与实体经济各行业的融合创新发展。据中国信息通信研究院监测，医疗健康、工业互联网、能源、车联网、新媒体等行业创新活跃，应用数量占比超过 50%，有望成为 5G 应用率先爆发的重点领域。本报告选择了医疗、制造业、能源三个先锋行业，经过调研并结合 SLA 分级调色板工具，对三个行业的需求进行了深入分析。



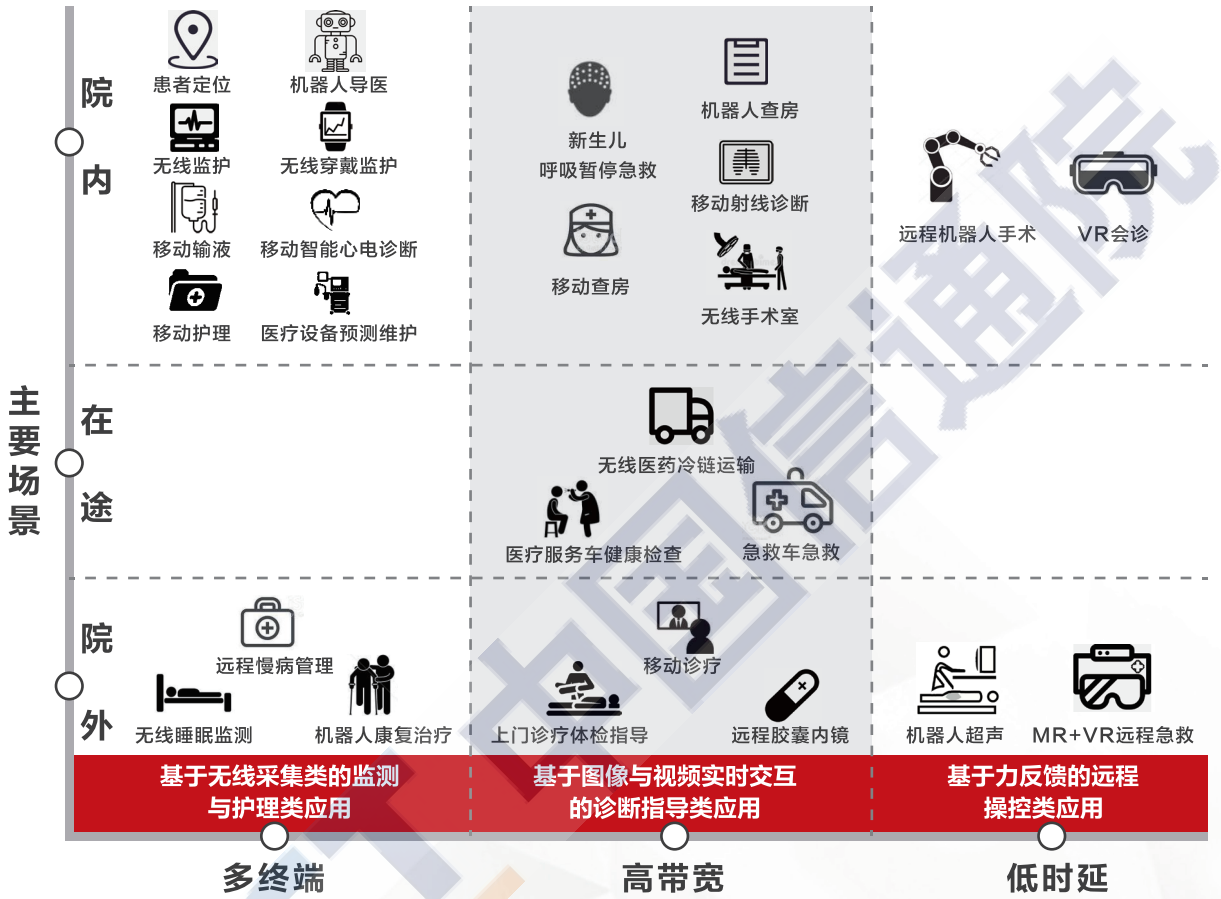
一 医疗行业

5G+ 医疗健康是融合 5G 技术和医疗技术而衍生出的新领域，各医疗卫生机构开始尝试借助无处不在的高速互联网络，为医疗健康产业的发展插上腾飞的翅膀，整合人工智能成果和大数据智慧，提高医院移动信息化程度和运营管理效率，提高医疗服务质量，实现优质医疗资源下沉，让高质量的医疗服务飞入寻常百姓家。

1. 医疗行业应用现状

目前 5G+ 医疗健康领域主要开展的应用包括三大类，一是基于图像与视频实时交互的诊断指导类应用，比如实时远程会诊，无线手术示教等；二是基于力反馈的远程操控类应用，比如远程机器人手术等；三是基于无线采集类的监测与护理类应用，比如无线输液、移动护理、患者实时位置监测等。另一方面，从医疗机构的使用场景来看，可将 5G 智慧医疗应用分院前、院内、院间三大主要场景，全方位赋能医疗行业。

图 5 – 5G 助力院内院外全流程医疗救治



我国大力开展 5G 智慧医疗健康应用创新。国家发改委、工信部印发《组织实施 2020 新型基础设施建设工程（宽带网络和 5G 领域）的通知》，推动“面向重大公共卫生突发事件的 5G 智慧医疗系统建设”。北京、上海、重庆、山东、浙江、湖南等省市已陆续出台相关政策，支持 5G 医疗应用落地。新冠疫情期间，国务院联防联控机制发布《关于开展线上服务进一步加强湖北疫情防控工作的通知》，组建 5G+ 远程医疗救援队，中国 22 个省市地区开展 5G 智慧医疗抗疫应用。行业不断探索应用实践，产业链成熟度不断提升。华为、迈瑞、华大制造、联影、天智航等企业推动 5G 大型医疗装备、5G 医疗模组等产品加速成熟，运营商、系统集成企业等也积极探索 5G 智慧医疗健康系统集成模式。

医疗行业通常采用有线连接方式进行数据传输，建设和维护成本高、移动性差。5G 网络具备十倍于 4G 的超高带宽和毫秒级的传输时延，可有效满足医疗救治过程中对安全可靠性、快速实时性的要求。**当前许多医院已进行了 5G 网络改造，借助 5G 网络的诸多特性，极大地提升了医疗健康领域的远程诊疗、应急救护、无线监护等服务能力，**特别在新冠肺炎疫情期间，基于 5G 网络开展的医疗援助更是发挥了重要的作用。

在远程诊疗领域，专家能够通过视频实时指导基层医生对患者开展检查和诊断。2020 年新冠疫情期间，中日友好医院国家远程医疗与互联网医学中心承担了新冠肺炎重症、危重症患者国家级远程会诊平台任务，武

汉火神山医院的一线医务人员通过 5G 专网，在平台上将本地医疗数据（含 CT 影像、检测指标等）共享给省外专家，省外专家与一线医护人员可实时互动、紧密配合，共同实施现场救治，在一定程度上缓解了武汉一线医护人员调配紧张、超负荷工作的痛点，也可减少外地医疗专家前往武汉的风险。随着医疗设备朝小型化和移动化发展，出现了手持超声和移动数字 X 光摄影系统等移动式无线医疗设备，越来越多的医疗检查开始由检查室延伸到病房，从而推动了远程实时会诊延伸到患者床旁。5G 赋能现有远程实时会诊、远程重症监护、移动医护等应用场景，一是有效解决偏远地区医疗机构光纤建设周期长、运营成本高等问题；二是满足医生随时随地接入需求，充分利用医生碎片化时间开展远程诊疗服务；三是提升诊疗服务能力和管理效率。此外 5G 技术与诊疗服务创新融合催生出远程超声检查、远程手术等新型应用场景。

案例：浙江联通 5G 切片专网助力县域医共体数字化转型

2020 年初，浙江联通在新昌县部署 5G 网络切片和边缘云 MEC 应用于医共体智慧医疗业务，集中聚焦医疗影像，实现多场景多业务的医共体之间业务协同。

5G 网络切片在核心网、承载网、无线网端到端拉通部署，核心网设置专用切片 ID 资源，承载网使用 1GB 颗粒度的 FLEX-E 硬切片， 5G SA 基站启用 QoS 机制，高优先级的 5QI 6 对应医疗切片。医院内 PACS 系统与 MEC 边缘云专线互通，实时推送 CT、MRI 影像数；MEC 使用了虚拟化 GPU 技术，提供强大的图形计算能力。通过网络切片和边缘云计算实现三维影像重建等实时交互类业务的时延和带宽保障，并且数据不出院区，保护了患者的医疗数据安全。

为了检验切片专网部署的成效，浙江联通进行了多项业务感知体验测试，实际测试了在不同的带宽和时延条件下的影像感知效果。测试结果表明，在带宽 20Mbps 的条件下，用户侧时延 10ms，影像缩放 / 旋转流畅，无时延感知。

测试宽带	时延值	三维影响重建体验描述
20Mbps	10ms	影像缩放/旋转流畅，无时延感知
10Mbps	110ms	影像缩放/旋转，略有延迟
3Mbps	179ms	影像缩放/旋转，延迟较大

在应急救护领域，急救人员、救护车、应急指挥中心和医院之间通过相互沟通协作开展的医疗急救服务。在疾病急救和自然灾害救援现场，医疗人员需要紧急进行患者伤情检查，并将检查结果传输到应急指挥中心和医院，同时针对疑难病情患者，通过移动终端由医院进行远程救治指导。在急救车转运途中，医疗人员可通过移动终端调阅患者电子病历信息，通过车载移动医疗装备持续监护患者生命体征，并通过车载摄像头与远端专家会诊病情协同诊断治疗。5G 在救护车、应急指挥中心、医院之间构建应急救援网络，确保急救车在外出接回病患的途中即可传回高清无卡顿的视频影像和生理数据，从而联动院内各科室及系统，帮助院内医生做出正确指导并提前制定抢救方案。新冠疫情爆发期间，各地救护车网络都面临了重大考验。据央视报道，2019 年 1 月份武汉市急救中心出车量约为 400 趟 / 天，而在新冠肺炎疫情下，出车量长期接近 600 趟 / 天，高峰期更超过 800 趟。高速移动中的智能救护车对通信网络的稳定性、时延性和传输速率都提出了极高的要求。借助 5G 网络上行超过 100Mbit/s 的数据传输速率，5G 疑似病患救护车搭载了 4K 高清视频监控设备可将高清影音视频、患者体征数据实时回传至指挥部，以便监控人员与随车工作人员就转运细节、患者情况进行及时充分交流。必

要时，指挥部还可启动与救护车及医院专家的三方 5G 远程视频会诊，实现院前急救与院内救治的无缝对接。5G+4K 疑似病患救护车有效实现了移动工作场景视频化、生理体征数据化、指令传达即时化，改变了以往的转运模式，提高了收治的效率和效果。

在无线监护领域，5G 结合生命体征检测设备，将患者生命体征数据实时传输到管理平台上，并且具备智能预警等功能，助力医护人员护理工作以及患者出院后的管理工作高效进行。目前有两类患者对无线监护诉求较强烈。一是术后患者。术后患者早期下床活动，可以帮助患者康复，预防多种术后并发症，但术后病情变化风险大，医护人员需要持续对患者的生命体征进行监护；二是突发性疾病患者，如心脏病患者，正常活动状态下也需生命体征监护。对这两类患者，医院可采用无线可穿戴监护方式，实现无活动束缚的持续患者监护。作为中国首批 5G 试点城市，福州市一些医院已经开展 5G 生命体征监测试验。福州孟超肝胆医院投入使用的“脂肪肝健康管理系统”，利用 5G 网络解决了穿戴设备上的体征数据与系统间的交互传输问题。病人将黑色的智能手表戴在腕上，手表可监测病人的每日运动量、生命体征、饮食热量等数据，这些数据直接联入诊疗系统，自动比照医生为病人制定的运动饮食方案，一旦体征数据有超标或不达标，手表就会发出提醒，同时将数据传送给医生。通过健康体征实时监测设备，病人可以进行健康自我管理，医生也能有效开展健康管理和随访工作。

总体来看，5G 无线采集与监护、图像与视频交互类医疗应用技术方案在前期探索阶段已取得良好的应用效果和社会效益，后续在明确各场景需求的同时，进一步加快应用推广，促进产业化落地。5G+ 远程手术等远程操控类应用仍处于探索初期，需要政策法规、技术标准、设备研发、测试验证的进一步推动。

2. 医疗行业应用分类

基于调研和案例分析，我们归纳总结出三种典型的 5G 医疗应用，可覆盖绝大多数场景，包括基于图像与视频实时交互的诊断指导类应用、基于力反馈的远程操控类应用和基于无线采集类的监测与护理类应用。

（1）基于图像与视频实时交互的诊断指导类应用

基于图像与视频实时交互的诊断指导类应用通过视频传输和医学影像数据的高速传输与共享，让身处不同地域的双方实时进行交互。典型应用场景包括远程会诊、无线手术示教等。

1）远程会诊通过多方实时连接，提升诊断准确率和指导效率，促进优质医疗资源下沉，会诊通常基于高清视频进行双方交互，部分应用还需实时回传患者端的医疗操作手法，因此需要网络提供大带宽和低时延的通信保障，确保双方交互时音画传输流畅、延迟较低。

2）无线手术示教是通过术野摄像机对手术创口、手术台画面和医疗仪器（如内窥镜和监护仪等）画面进行在线实时采编录像和无线直播，实现手术音像资料存档、远程观摩教学和专家指导的一种医疗应用形式。无线手术示教可以帮助提升偏远区域医院的医疗技术水平。手术现场医生可以通过高清视讯设备和远端会诊专家或学员进行视频实时交流，远端医疗专家或学员可以同步看到手术环境和患者实时的医疗信息。为保证视频能够流畅传输，同样需要大带宽保障。

传统的诊断指导类应用通常采用有线连接方式进行通信，在数据量较大时，由于带宽限制导致传输速率较慢。而手术室内设备多、线缆乱，也影响医护人员手术操作活动，网线有绊倒医护人员的安全风险，所以手术室对无线通信需求强烈。此外，在 ICU 进行救治的患者需要进行各类检查，几天的检查文件达 20 多 GB，用云盘上传及下载均需耗时 6 小时，严重耽误医疗救治时间。三维 CT 病理切片，每下达一次检查指令需要传输大量数据，并且需要保证指令能够在较短

时间内进行传达，因此对网络的传输速率和时延要求较高，上下行速率要求 30Mbps~50Mbps，时延要求 20~50ms 左右，而 5G 高速率、低时延的技术特性能很好地满足要求。

该应用对通信具体量化指标如下：

表 6 – 基于图像与视频实时交互的诊断指导类应用的通信能力需求

关键指标	通信能力需求
带宽	1080P：10Mbps/路 4K：20Mbps/路
时延	＜50ms
安全隔离	逻辑隔离， 可共享切片资源
5G终端 数量及分布	通常＜5个

（2）基于力反馈的远程操控类应用

基于力反馈的远程操控类应用包括远程手术、远程超声等术前 / 术中远程指导等，当前开展最多的试验为远程机器人手术。

1）远程机器人手术是依托机器人、定位和传感等技术，为实现手术微创性，采用电子机械手开展手术的一种医疗形式。开展机器人手术前，需要先进行手术方案规划，方案确定后，将技术参数传送给机器人，机器人进行手术位置精确定位，并根据医生指令执行自动化或半自动化的手术操作。机器人手术定位有双目视觉和X光透视两种方式，视觉定位具有非接触性、较高的准确度和无辐射性的优点，更好的保证了外科手术的安全性。

与远程会诊等应用不同的是，手术为有创操作，延迟或错误的操作将造成严重的后果，甚至危及生命。远程手术要求操作的一致性和实时性，其次还包括抗干扰和高通量信号传输、信号的稳定等技术。现有的 4G 商用网络和卫星传输，由于其窄带宽、信号时延不确定性和数据包丢失率等问题，远不能满足远程手术的基本要求，这严重制约着远程手术的安全开展。5G 通信技术的成熟，使得通信时延降低到 5ms 以内，显著降低了远程手术操作的时延，极大提升医生操作体验与手术质量。

当前阶段主要进行的是固定部位的手术指导，例如积水潭医院开展的远程骨科手术，主要运用手术机器人进行手术定位，辅助医生决策手术位置。远程机器人手术过程中，需要实现高清 3D 影像与声音的即时、稳定传输。利用 5G 高带宽特性，患者端影像能够流畅地传输到远程指导的医生端，远程医生通过高清 4K 画面，指导患者端医生进行手术三维定位，再操纵机械臂实施手术。该过程为人 – 机互动过程，手术机器人只作为辅助使用，真正手术过程由患者端的医生操作导针实施。因此该类型的手术过程允许两端视频时延的存在，只需保证网络连续不间断、视频没有卡顿即可。

2）远程超声的检查方式与 CT、磁共振等技术相比，很大程度上依赖于医生的扫描手法，一个探头就类似于医生做超声检查时的眼睛，不同医生根据自身的手法习惯来调整探头的扫描方位，选取扫描切面诊断病人，最终检查结果也会有相应的偏差。由于基层医院往往缺乏优秀的超声医生，故需要建立能够实现高清无延迟的远程超声系统，充分发挥优质医院专家优质诊断能力，实现跨区域、跨医院之间的业务指导、质量管控，保障下级医院进行超声工作时手法的规范性和合理性。远程超声由远端专家操控机械臂对基层医院的患者开展超声检查，可应用于医联体上下级医院，及偏远地区对口援

助帮扶，提升基层医疗服务能力。5G 的毫秒级时延特性，将能够支持上级医生操控机械臂实时开展远程超声检查。相较于传统的专线和 Wi-Fi，5G 网络能够解决基层医院和海岛等偏远地区专线建设难度大、成本高，及院内 Wi-Fi 数据传输不安全、远程操控时延高的问题。

基于力反馈的远程操控类应用对通信的需求如下表：

表 7 – 基于力反馈的远程操控类应用的通信能力需求

关键指标	通信能力需求
带宽	10~20Mbps
时延	远程手术：＜5ms 远程超声：＜20ms
安全隔离	远程手术： 物理隔离，资源独享 远程超声： 逻辑隔离，可共享切片资源
5G终端 数量及分布	通常2个

（3）基于无线采集类的监测与护理类应用

基于无线采集类的监测与护理类应用主要包括远程监护、院内人员安全管理、医疗设备全生命周期管理等。

传统医院建设的环境是局域网环境，局域网环境是相对安全、相对封闭的环境。目前医院现行的运营和管理模式面临着巨大的挑战和压力，很难适应数字化医院的发展。5G 海量连接场景构建院内医疗物联网，将医院海量医疗设备和非医疗类资产有机连接，能够实现医院资产管理、院内外急救调度、医务人员管理、设备状态管理、门禁安防等服务，提升医院管理效率和患者就医体验，促进了数字化医院的成熟，提升了智慧医院管理水平。以生命体征监测应用为例，它能够实现对患者生命体征的实时、连续和长时间的监测，并将获取的生命体征数据和危急报警信息以无线通信方式传送给医护人员。无线监护使医护人员实时获悉患者当前状态，做出及时的病情判断和处理。依托 5G 低时延和精准定位能力，可以支持可穿戴监护设备在使用过程中持续上报患者位置信息，进行生命体征信息的采集、处理和计算，并传输到远端监控中心，远端医护人员可实时根据患者当前状态，做出及时的病情判断和处理。

以中日医院为例，医院北区、西区共有床位 1610 张，以最大接入量统计，预计接入监测类终端数量当前 1700 余个，终端定位精度在 5 米内。未来随着远程医疗需求增加，终端数量还将进一步增多。

基于无线采集类的监测与护理类应用对通信需求如下：

表 8 – 基于无线采集类的监测与护理类应用的通信能力需求

关键指标	通信能力需求
带宽	1~10Mbps
时延	＜200ms
安全隔离	逻辑隔离，安全加密认证
5G终端 数量及分布	千量级
终端定位精度	5米内

3. 医疗行业 SLA 分级

基于上述应用类型对通信需求的分析，医疗行业 SLA 标准分级可分为三大类：基于图像与视频实时交互的诊断指导类切片、基于力反馈的远程操控类切片、基于无线采集的监测与护理类切片。参考第三章第四节“SLA 调色板具体分级建议”，医疗行业三类切片 SLA 分级如下：

表 9 – 医疗行业三类切片 SLA 分级

等级	业务可用										安全可信		自主可控		
	B1	B2	B3	B4	B5	T1	T2	T3	T4	T5	S1	S2	M1	M2	M3
	1~10	10~20	20~50	50~100	>100	50~100	20~50	10~20	5~10	<5	逻辑隔离	物理隔离	可视	可管	可运营
基于图像与视频实时交互的诊断指导类切片			Y				Y				Y		Y		
基于力反馈的远程操控类切片		Y								Y		Y	Y		
基于无线采集的监测与护理类切片	Y					Y					Y		Y		

（1）基于图像与视频实时交互的诊断指导类切片（B3，T2，S1，M1）

该类切片承载远程会诊、无线手术示教等应用，主要传输实时视频流、影像检查文件等。

用户带宽等级为 B3（20~50Mbps）：远程实时会诊、手术示教等应用基于高清视频传输，部分应用还需额外回传一路患者端的医疗操作手法影像，因此需要网络提供 10~30Mbps 带宽的通信保障。对于病理切片等文件传输，50Mbps 带宽 6.25MB/s 的理论传输速率也可以在 3 分钟之内将 1GB 的文件传输完成。

时延等级为 T2（20~50ms）：远程会诊等视频流传输类应用在三处可能产生时延。一是推流时，对采集到的音视频数据进行处理和编码时会产生时延。二是通过流媒体协议进行推流时，受选择的协议以及网络状态的影响会产生时延。三是在拉流端对音视频数据拉取和解码时会产生时延。因此直播类应用通常对网络侧时延较不敏感。但由于远程会诊过程存在双方交互，过高的时延会严重影响双方交互体验，故远程会诊网络侧时延建议控制在 50 ms 以内。

隔离等级为 S1（逻辑隔离）：由于远程会诊通常不涉及相关业务等敏感数据，只需使用逻辑隔离，与其他用户、其他业务共享网络资源即可。

管理等级为 M1（可视）：医疗行业用户通常不熟悉 SLA 切片等相关专业知识，通过调研反馈希望切片的管理权限在运营商，院方可查看切片状态、查看用户信息、获取 SLA 报表等即可。

（2）基于力反馈的远程操控类切片（B2，T5，S2，M1）

该类切片承载远程手术、远程超声等应用，主要传输患者端手术部位影像、B 超探头影像、操作摇杆控制信号、力反馈触觉信号等数据。

用户带宽等级为 B2（10~20Mbps）：远程手术、B 超等低时延类应用需要实时回传患者端、探头等影像，因此需要网络提供 20Mbps 左右带宽以流畅传输视频流。

时延等级为 T5（< 5ms）：当前阶段进行的远程手术为基于人 – 机交互的远程手术，即远程专家端通过视频回传影像，操作手术机器人辅助患者端医生进行手术术前、术中规划与实施。由于人 – 机交互过程中存在人体的反应延迟，因此对于网络侧时延要求则可适当放宽，待患者端医生确认无误后，远程专家再进行下一步操作，时延可在 10~100 毫秒级别；而真正意义上的远程手术为机 – 机交互，即远程专家直接操作机械臂进行手术，此种手术对于时延要求越低越好，以此保证两端尽可能地同步操作，时延需< 5ms 级别。

隔离等级为 S2（物理隔离）：为保证手术过程不受外界网络波动等因素影响，此类切片应与其他业务物理隔离，需要资源独享（E2E 硬切片），等级要求为 S2 物理隔离，保证网络安全性与高性能。

管理等级为 M1（可视）：医疗行业用户通常不熟悉 SLA 切片等相关专业知识，通过调研反馈希望切片的管理权限在运营商，院方可查看切片状态、查看用户信息、获取 SLA 报表等即可。

（3）基于无线采集的监测与护理类切片（B1，T1，S1，M1）

该类切片承载无线监护、移动查房等应用，主要传输患者端生命体征、电子病历、医嘱单等数据。

用户带宽等级为 B1（1~10Mbps）：由于多终端接入类应用类似物联网连接，传输的业务数据不包含图片、视频等，数据量较小且不频繁，因此速率等级为 B1。

时延等级为 T1(50~100ms)：多终端接入类应用通常为对患者体征等数据进行监测，只需保证数据能够

传输到医护人员侧即可，因此对时延较不敏感，可选择 T1 时延等级。

隔离等级为 S1（逻辑隔离）：对于生命体征、病理等数据传输，要求逻辑隔离，安全加密认证（可共享切片资源）。

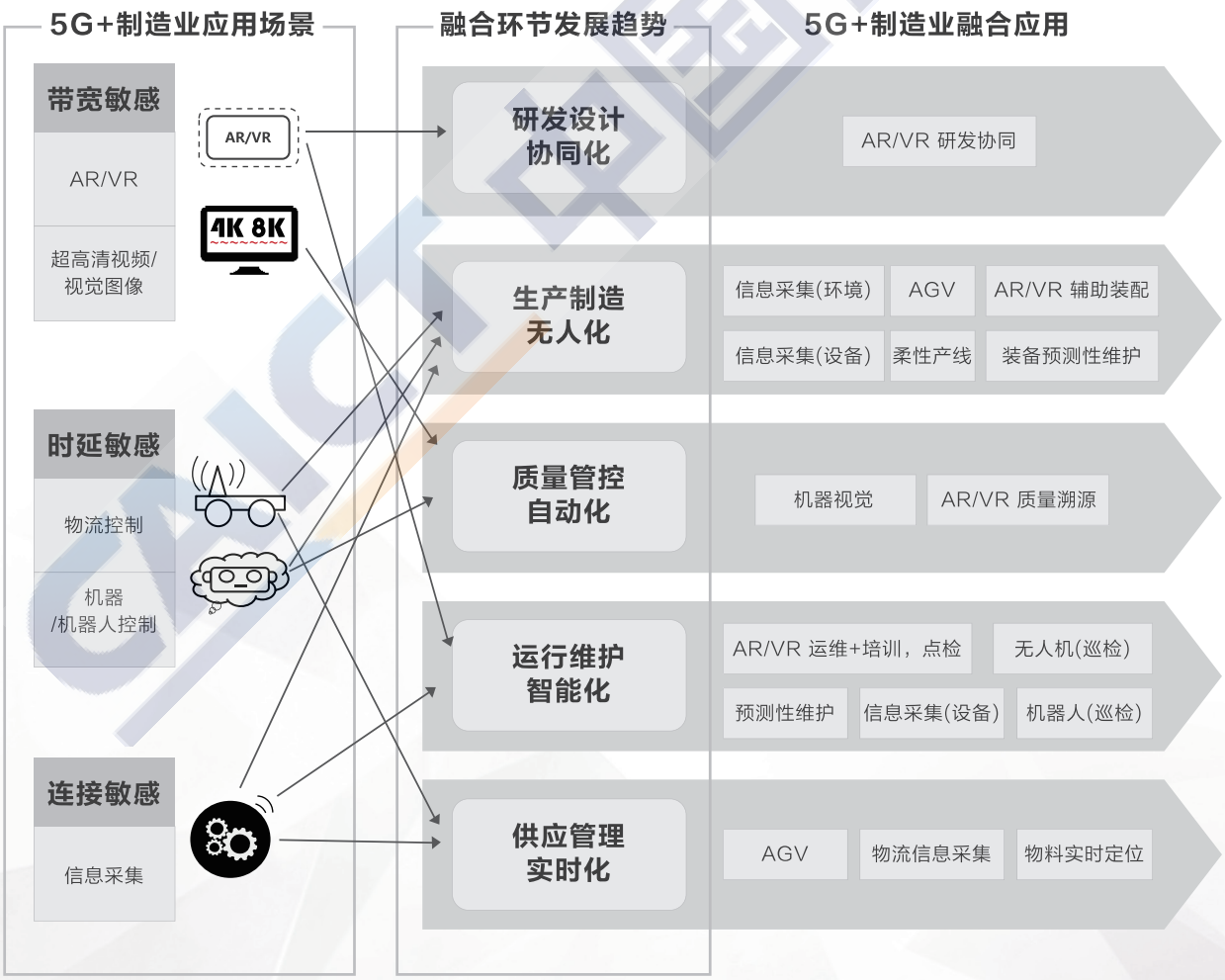
管理等级为 M1（可视）：医疗行业用户通常不熟悉 SLA 切片等相关专业知识，通过调研反馈希望切片的管理权限在运营商，院方可查看切片状态、查看用户信息、获取 SLA 报表等即可。

二 制造行业

1. 制造行业应用现状

5G 在工业制造行业的深入应用已成为产业界探索的重要方向。5G 融合云计算、大数据、人工智能等技术，赋能离散型和流程型等工业行业，在设计、制造、质检、运维、安全等关键环节，形成了协同设计、仿真验证、辅助装配、精准操控、柔性加工、视觉检测、远程维护、无人巡检等典型应用场景，降本、提质、增效作用初步显现。

图 6 – 5G 工业制造应用场景



中央和地方相继出台“5G+ 工业互联网”政策支持产业发展。2017 年底，国务院出台《关于深化“工业互联网 + 先进制造业”发展工业互联网的指导意见》，提出要加快5G在工业互联网中的应用研究。2019年初，工业和信息化部出台《工业互联网网络建设及推广指南》提出支持建设基于 5G 建设网络技术测试床。2019 年 11 月，工业和信息化部出台《“5G+ 工业互联网”512 工程推进方案》，提出打造 5 个产业公共服务平台，加快内网建设改造覆盖 10 个重点行业，提炼形成至少 20 大典型应用场景。今年 3 月，工业和信息化部在《关于推动工业互联网加快发展的通知》《关于加快推动 5G 发展的通知》两个文件中，再次强调实施“5G+ 工业互联网”512 工程。**地方政策上，近 20 个省市相关政策文件中提出支持“5G+ 工业互联网”发展，**其中北京、山西、辽宁、江西、湖北、湖南、重庆、四川、宁夏的政策文件中明确“5G+ 工业互联网”专栏政策。山西、天津、安徽、湖南、广东、重庆等地区利用现有工业互联网、单项冠军、首台（套）重大技术装备、技术改造、智能制造等支持政策进行引导，山东、辽宁、江西等地区通过 5G 产业投资基金等进行支持。

目前我国 5G+ 工业互联网融合应用场景已达到 50 多项，案例数近百个，在工业制造领域，以高清视频监控和质检、信息采集、远程控制为主。

在高清视频监控和质检场景，4K/8K 超高清视频监控摄像头已经成为未来工业监控环节的主流配置，超高清显示对上行带宽和摄像头灵活布局提出了更高的要求。5G 利用大带宽，灵活布局的特性，能够把高清视频数据实时上传到安全监控后台或者质检系统，有效的提升了企业的管理能力和产品质量监测能力。在视频监控的应用中，三一重工将 5G+ 高清视频融入到园区的安防监控中，实现采集监测视频 / 图像实时回传，结合统一监控平台，实现人员违规、厂区环境风险监控的实时分析和报警。在视频质量检测应用中，鞍钢部署“5G+ 机器视觉”质检系统，实现 5G+8K 超高分辨率的产品表面检测，钢材缺陷检出率 90% 以上，缺陷识别率达到 85%，提升了产线带钢成品质量，质量异议率下降 10%。

在信息采集场景，5G 网络在工业应用的高密度海量连接、可靠性、网络移动性管理等方面优势显著，是大规模工业数据采集的关键使能者，可以将工厂内外海量的生产设备及关键部件进行互联，并提升数据采集及时性，为生产流程优化、施工监控等提供网络支撑。中国宝武利用 5G 网络将远端设备的运行状态、参数、传感器数据实时传输至本地监控中心，实现设备的远程监测、信息采集、故障报警等功能。

在远程控制场景，工业闭环控制系统是工业制造领域的关键性基础环节，为确保工业系统的安全稳定运行，需要对工业生产设备实施精准及时的控制，如果发生传输错误，将导致生产停机，会造成巨大的财务损失。5G 网络切片能够提供低时延及高可靠性的连接服务，助力工业闭环控制系统通过无线网络实现远程控制。受限于 5G 技术对于实时性和可靠性等指标的满足程度及与工业体系融合深度，在工业设备广泛支持 5G 联网能力之前，难以形成规模。目前 5G+ 远程控制仅在港口行业应用，天津港利用 5G 网络实现工程机械远程操控，通过 5G 网络远程控制抓取集装箱，改善操作人员的工作环境，有效保障操作人员安全，助力企业生产施工降本增效。

案例：复星南钢打造 “5G+ 工业互联网”智能工厂

复星南钢始建于 1958 年，是国家战略布局的 18 家重点钢企之一，是中国特大型钢铁联合企业，目前已具备年产 1000 万吨钢的综合生产能力。

2019 年以来，南钢与华为在“5G+ 工业互联网”领域保持深入合作。2020 年 7 月 8 日，南钢“JIT+C2M（准时制生产 + 用户直连制造）”智能工厂正式投产。南钢“JIT+C2M”智能工厂，以工业互联网为基础，打造“5G+ 工业互联网”的钢铁个性化定制智能工厂，自主实现对数控机床、六轴机器人、桁架机器人以及 AGV 小车等高端制造装备的端到端集成。未来计划通过 5G+ 工业机器人协同作业，实现上下料分拣、视觉物料识别、热处理设备、抛丸、喷涂、自动打包、自动

化立体库等工序智能协同，实现离散制造模式向流程制造模式转变，全面解决用户在产品个性化定制、轻量化、绿色环保、供应链稳定等方面的痛点问题，并实现了从耐磨替代品种到超级耐磨钢、高韧性耐磨钢的全系列覆盖。

总体来看，5G 助力工业制造体系变革，有望突破传统“烟囱式”的工业网络体系和“封闭”的技术产业生态，开辟出一条工业网络技术创新发展的崭新路径。5G 在工业制造领域实践，首先在 5G+ 超高清视频监控、无人巡检等叠加赋能型应用展开，然后逐步在 5G+ 视觉检测、AR/VR 辅助装配等场景融合人工智能等新技术，用于在部分生产环节进行替代和增强的业务融合型应用，再到促进 5G+ 工业控制等与核心生产环节深度融合的产业升级型应用发展。

2. 制造行业应用分类

经过深入广泛的调研，按照业务功能特性划分，5G 在工业制造行业的应用可分三大类，**包括基于上行高带宽的外围服务类应用、基于海量信息采集的辅助生产类应用和基于高可靠精准控制的生产核心类应用。**

（1）基于上行高带宽的外围服务类应用

基于上行高带宽的外围服务类应用一般不直接参与工业生产制造，主要负责生产环境的实时监控和监测，5G 与超高清视频的结合可以使设备巡检情况实时传到云端识别，提升预测性维护、设备巡检质量和效率。该类应用主要以高清视频监控为主，终端形态多以固定摄像头或 MR 终端等形式呈现，也可以是无人视频巡检车或视频监测无人机等形式，5G 网络可以满足视频监控对各种灵活场景布局的需求。

从可靠性角度来看，上行带宽需求明显高于下行带宽，单路 1080p 视频，通信速率 2-10Mbps，4K 高清视频 12-40Mbps,8K 超高清视频 48-160Mbps，下行控制信息速率小于 100kbps。时延要求不高，为保障视频传送不卡顿，小于 100ms。包的可靠性要求不高，时延抖动性正常，对于定位和授时精度无要求。**从安全可信度角度来看，**租户对资源的隔离度没有强制要求，数据完整持续稳定即可满足需求。**从自主可控角度来看，**可视就能满足基本需求。该应用对通信具体量化指标如下：

表 10 – 基于上行高带宽的外围服务类应用通信需求

关键指标	通信能力需求
带宽	上行：1080p，2-10Mbps， 4k，12-40Mbps 8k，48-160Mbps 下行：<100kbps
时延	<100ms
可靠性	99.9%
安全隔离	逻辑隔离，可共享切片资源
5G终端数量及分布	数量<100,呈均匀分布

（2）基于海量信息采集的辅助生产类应用

基于海量信息采集的辅助生产类应用主要为生产核心业务提供诸如物料配送、现场信息采集等支撑性服务，间接的参与生产制造。具体应用场景有 VGA 小车物理配送、工厂环境监测、设备信息采集上报等。该类业务传输速率不高，但是终端接入数量比较庞大，有些场景数以万级，此外信息上报频次比较高。工业传感器和环境检查芯片通过 5G 工业模组或者 5G 工业 CPE 将采集到数据信息实时上传到工业控制平台或内部云端，为工业控制和环境监测体统决策提供信息服务。

从可靠性角度来看，上下行带宽均不高， 单节点上下行带宽速率小于 200kbps， 但上行数据流量明显

大于下行，下行仅对采集设备发送少量的控制指令。信息数据对于系统控制，时延敏感性较强，要求小于50ms，包的可靠性要求高需达到 99.99%，时延抖动性正常，对于定位和授时精度目前暂无要求。从 5G 终端数量及分布看，基于生产线布局分布，数以万计。从安全可信度角度来看，租户对资源有隔离度需求，与其他切片资源保持隔离，数据完整持续稳定即可满足需求。从自主可控角度来看，可视就能满足基本需求。该应用对通信具体量化指标如下：

表 11 – 基于海量信息采集的辅助生产类应用通信需求

关键指标	通信能力需求
带宽	上行/下行：<200kbps
时延	<50ms
可靠性	99.99%
安全隔离	逻辑隔离，不可共享切片资源
5G终端数量及分布	数量<10000,按生产线分布
特殊功能需求	海量数据链接，采集终端无线信号稳定，具有抗干扰性，终端以固定类为主，也有少量移动性终端

（3）基于高可靠精准控制的生产核心类应用

基于高可靠精准控制的生产核心类应用属于企业的关键性生产制造环节，对通信系统的时延和可靠性要求最高，是 5G 未来主要攻克和应用的方向。为达到远程精准控制的效果，受控设备需要在远程感知的基础之上，通过 5G 通信网络向控制端发送状态信息。控制端依据收到的状态信息进行分析判断，并作出决策，通过 5G 通信网络向受控设备发送相应的动作指令，受控设备接收指令完成规定动作。

从可靠性角度来看，上下行带宽均不高，小于2Mbps，时延要求高，为保障设备精准控制，时延小于10ms，包的可靠性要求级极高，需要达到 99.99%，时延抖动性正常，对于定位和授时精度无要求。**从安全可信度角度来看，**租户对资源的隔离度要求高，要求切片资源完全隔离，数据完整持续稳定，不被未经授权的篡改、泄露和破坏。从自主可控角度来看，一般可视就能满足基本需求，在某些安全性要求较高的企业，有可管可控的需求。该业务对通信具体量化指标如下：

表 12 – 基于高可靠精准控制的生产核心类应用通信需求

关键指标	通信能力需求
带宽	上行/下行：<2Mbps
时延	<10ms
可靠性	99.99%
安全隔离	物理隔离，资源独享
5G终端数量及分布	数量<1000,按生产线分布

3. 制造行业 SLA 分级

基于上述应用类型对通信需求的分析，制造行业 SLA 标准分级可分为三大类：基于上行高带宽的外围辅助类切片、基于海量信息采集的辅助生产类切片、基于高可靠精准控制的核心生产类切片。参考第三章第四节“SLA 调色板具体分级建议”，制造行业三类切片 SLA 分级如下：

表 13 – 制造行业三类切片 SLA 分级

等级	业务可用										安全可信		自主可控		
	B1	B2	B3	B4	B5	T1	T2	T3	T4	T5	S1	S2	M1	M2	M3
	1~10	10~20	20~50	50~100	>100	50~100	20~50	10~20	5~10	<5	逻辑隔离	物理隔离	可视	可管	可运营
基于上行高带宽的外围辅助类切片			Y				Y				Y		Y		
基于海量信息采集的辅助生产类切片	Y						Y				Y		Y		
基于高可靠精准控制的核心生产类切片	Y								Y			Y		Y	

（1）基于上行高带宽的外围辅助类切片（B3,T2,S1,M1）

该类切片主要包括高清视频监控和高清视频质量监测等应用场景，主要传输大视频类数据。

用户带宽等级为 B3（20-50Mbps）：视频监控上行带宽最大 160Mbps，4K 视频监控在工业企业使用广泛，目前没有 8K 视频监控需求，所以基于 4K 标准定义带宽，上限 40Mbps，带宽等级属于 B3。

时延等级为 T2(20-50ms)：外围辅助类切片对时延要求普遍不高，约 50ms，时延等级要求为 T2。

隔离等级为 S1（逻辑隔离）：由于视频监控类切片通常不涉及相关业务等敏感数据，只需使用逻辑隔离，与其他用户、其他业务共享网络资源即可。

管理等级为 M1（可视）：企业用户通常不熟悉 SLA 切片等相关专业知识，通过调研反馈希望切片的管理权限在运营商，企业可查看切片状态、查看用户信息、获取 SLA 报表等即可，无需自管理和自运营。

（2）基于海量信息采集的辅助生产类切片（B1,T2,S1,M1）

该类切片主要包括设备信息采集和环境监测等应用场景，采集内容当前以基础数据为主，主要需求为大连接类。

用户带宽等级为 B1（1-10Mbps）：工厂环境监测和设备信息采集场景中，单节点上下行带宽速率小于 200kbps，下行仅对采集设备发送少量的控制指令，对带宽要求均不高。

时延等级为 T2(20-50ms)：由于信息数据对于系统控制，时延敏感性较强，要求小于 50ms。

隔离等级为 S1（逻辑隔离）：由于视频监控类切片通常不涉及相关业务等敏感数据，只需使用逻辑隔离，与其他用户、其他业务共享网络资源即可。

管理等级为 M1（可视）：企业用户通常不熟悉 SLA 切片等相关专业知识，通过调研反馈希望切片的管理权限在运营商，企业可查看切片状态、查看用户信息、获取 SLA 报表等即可，无需自管理和自运营。

（3）基于高可靠精准控制的核心生产类切片（B1,T4,S2,M2）

该类切片主要包括远程控制等应用场景，传输内容主要以控制信令为主。

用户带宽等级为 B1（1-10Mbps）：远程控制场景中，上下行带宽均不高，小于 2Mbps。

时延等级为 T4（5-10ms）：为保障设备精准控制，时延小于 10ms，包的可靠性要求级极高，如果控制信息发生传输错误，将导致生产停机，会造成巨大的财务损失。

隔离等级为 S2（物理隔离）：由于远程控制场景要求切片资源完全隔离，且数据完整持续稳定，不被未经授权的篡改、泄露和破坏。

管理等级为 M2（可管）：企业用户需要进行业务修改、终止等、UE 生命周期管理、简单故障诊断。

三 电力行业

电力行业是智慧能源的基本保障，是推动我国经济社会协调、可持续发展进程的重要物质基础，5G 技术将助力电力提升智能化水平，推动能源由粗放型管理到精细化转变，为智能化工业革命提供坚实基础。

1. 电力行业应用现状

电力系统包括发电、输电、变电、配电、用电五大环节，5G 凭借其技术优势已应用于电力系统的各个环节，助力清洁友好的发电、安全高效的输变电、灵活可靠的配电、多样互动的用电，加速电网数字化转型升级进程。对于发电、输电、变电这三大环节，5G 技术主要以移动巡检、视频监控、环境监测等新型业务方式增强电力系统管理能力。在配电环节，5G 技术将有效推动配电自动化、柔性化转型。一方面，通过提升配电设备数字化、网络化、智能化水平，实现配电网设备可管可控，并提升控制的精细化水平；另一方面，通过 5G 实现分布式能源泛在接入和智能化管理，保障配网稳定。在用电环节，5G 助力用电端向服务化、智能化方向发展，例如通过支持阶梯电价、实时电价等业务实现精准预测用电需求，并提升供需协同。**从目前的应用业务的发展情况看，5G 技术对配电和用电环节业务影响较大，变革趋势较为明显。**

图 7- 5G 技术应用于电力行业各个环节



为顺应新时代背景下能源革命和数字革命融合发展趋势，助推我国电力行业实现数字化、智能化高质量发展，国家发改委、能源局、工信部在《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》中明确指出，要加强支撑能源互联网的信息通信设施建设，推进信息系统与物理系统的高效集成与智能化调控。

目前 5G 技术在能源电力领域已展开广泛探索，其中，移动巡检、配网差动保护、精准负荷控制、设备信息采集业务为主要应用探索方向，已形成一定规模，市场价值初步显现。

各省市积极开展 5G 在智能电网领域的应用探索，推动示范落地，国家电网、南方电网在全国各地区积极开展 5G 业务的探索。5G 低时延和高精度为**配电网差动保护**等控制类业务提供保障，解决分布式电源接入对配电网带来的诸多问题。南方电网在 2019 年初完成了基于 5G 网络的配网差动保护业务外场测试，成功验证了单基站场景下，配网 DTU 终端之间端到端时延平均在 10ms 之内，空口授时精度小于 300ns，可满足该业务毫秒级低时延、微秒级高精度授时的网络需求。5G 低时延支持实现更加**精细地调控负荷，**规避由于局部故障导致大面积停电的风险。国家电网已在南京完成 5G SA 的电力切片测试，经实测端到端平均时延为 37ms，可满足在突发电网负荷超载情况下对末端小颗粒度负荷单元的精准管理能力，验证了精准负荷控制业务在 5G 网络下的可行性。5G+ 超高清视频、机器人、无人机保障电力系统安全稳定运行，随着 eMBB 场景标准的最先完善，**移动巡检类**业务率先成熟，目前处于高速发展期。广东、陕西、河南、浙江、山西、天津等多地已开展基于 5G 网络的无人机巡检、机器人巡检，极大地提高了运维效率，有效降低作业风险，减少人力成本。

目前 5G 在电力领域的应用仍处于探索初期，其应用呈现从采集监控类业务向实时控制类业务梯次发展的局面。基于大带宽特性的 5G 移动巡检业务相对成熟，未来无人机巡检、机器人巡检等新型运维业务将支撑能源领域监控、作业、安防向智能化、可视化、高清化升级。具备较高安全性和可靠性要求的控制类业务现处于探索阶段，未来随着网络安全架构、终端模组等逐渐成熟，控制类业务将会进入高速发展期。设备信息采集等大连接类应用后期会随着相关标准的完善而得到进一步发展。

2. 电力行业应用分类

根据不同业务类型对网络通信能力的需求，智能电网无线典型业务可以分为三类：

（1）基于高清视频的巡检类应用

通过巡检可及时了解设备故障情况，消除潜在隐患，保障电力系统安全稳定运行，该类应用场景包括输电线无人机巡检、变电站机器人巡检、配电房综合视频监控、AR/VR 智能巡检等。当前的方案存在以下问题：

1）巡检范围有限：输电线路无人机巡检主要针对网架之间的输电线路物理特性检查，如弯曲变形、物理损坏等特征，一般用于高压输电的野外空旷场景，距离较远。目前主要是通过输电线路两端检测装置的监测数据计算判断，辅助以人工现场确认。也有无人机巡检，当前控制台与无人机之间主要采用 2.4G 公共频段的 Wi-Fi 或厂家私有协议通信，有效控制半径一般小于 2 千米，巡检范围有限。

2）无法实时回传：变电站机器人巡检主要针对 110kV 及以上变电站范围内的电力一次设备状态综合监控、安防巡视等需求，目前巡检机器人主要使用 Wi-Fi 接入，所巡视的视频信息大多保留在站内本地，不能实时地回传至远程监控中心。

3）光纤无法全覆盖：配电房视频综合监视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。当前，配电房内有大量配电柜等设备，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，而光纤覆盖难度大。

5G 可以有效解决传统巡检范围有限、实时回传困难、光纤覆盖不足等难题。智能电网通过 5G 网络将无人机、机器人等移动巡检设备采集到的高清图像、视频等数据实时回传至控制中心，控制中心工作人员可远程解决现场作业难题，不仅有效降低作业风险、减少人工成本，还能提高运维效率，同时可基于 5G 移动性，无人机、机器人在切换区域间保证业务连续性，极大扩大巡线范围。

该类应用主要针对电力生产管理中的移动场景，通过现场可移动的视频回传替代人工巡检，避免了人工现场作业带来的不确定性，同时减少人工成本，极大提高运维效率，主要传输大视频类业务，对带宽要求高。

基于高清视频的巡检类应用对通信网络的需求：

表 14 – 基于高清视频的巡检类应用通信需求

关键指标	通信能力需求
带宽	AR巡检： ≥30Mbps 无人机/机器人巡检： ≥2Mbps 视频监控：4-10Mbps
时延	AR巡检： <50ms 无人机/机器人巡检： <300ms 视频监控：<200ms
可靠性	视频数据＞ 99.99%；无人机遥控>99.99%
安全隔离	Ⅲ/Ⅳ 管理大区业务：逻辑隔离，安全加密认证（可共享切片资源）
5G终端需求	CPE/内置通信模块

（2）基于低时延的电网控制类应用

基于低时延的电网控制类应用包含智能分布式配电自动化、精准负荷控制、分布式能源调控三个典型场景。

1）智能分布式配电自动化

配电自动化主要通过继电保护自动装置检测配电网线路或设备状态信息，快速实现故障判断和准确定位，并隔离故障区段或故障设备，随后恢复正常区域供电。早期的配网保护没有通信功能，不能实现分段隔离，停电影响范围大。在配网设备集成三遥、差动保护等功能，通过监测设备输入电流与输出电流数值，一旦二者差值超过阈值，则立即启动保护机制，及时实现配电网故障的定位和隔离，可以有效缩短故障持续时间，提高供电可靠性，但目前差动保护设备状态信息借助有线网络传送到监控中心。

随着设备部署规模的快速扩张，高成本的有线接入方式不能继续满足日益增长的网络需求。并且，电流差动保护系统具有非常严格的同步及时延要求，各个环网柜的时间同步精度要求不高于 10 微秒，交互信息的传输时延最大不能超过 15 毫秒。5G 网络的低时延、高可靠特性可以有效保障实现配电网的差动保护控制，快速实现配网故障判断及定位，从而大幅降低电网线路抢修时间，提升电网整体运营的高效性、稳定性和可靠性。

2）精准负荷控制

用电负荷需求响应是指当电力价格升高或系统可靠性受威胁时，电力用户主动减少负荷，达到减少或者推移某时段的用电负荷，从而保障电网稳定。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，影响范围较大。

精准负荷控制是将传统的区域型控制转换为区域内单个设备独立控制，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，切断非重要负荷，将尽量减少经济损失，降低社会影响。精准负荷控制要求极高的网络可靠性，毫秒级端到端控制时延，可充分满足电网紧急情况下的应急处置需求。

3）分布式能源调控

分布式电源是一种建在用户端的能源供应方式，包括太阳能发电、风力发电、电动汽车充电站等，可以在大电网遭到严重破坏时，自行形成紧急供电网络，为电网系统提供可靠性保障。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，需要增加配电网的可靠性、灵活性及效率，实时监测设备状态信息，保障系统稳定运行。

分布式电源设备分布零散、数量众多可达百万甚至千万级，传统的有线接入方式存在建设成本高、部署难度大、监测实时性差等诸多问题，难以形成统一的设备管理系统。5G 大连接、低时延、高可靠的特征极好地适应电力需求分散和资源分布不均衡场景，可实现海量设备的实时监测与精准控制，为建立跨地域、大规模分布式能源设备的统一管控系统提供稳定的网络保障。

表 15 – 基于低时延的电网控制类应用通信需求

关键指标	通信能力需求
带宽	⩾2Mbps
时延	差动保护：<15ms（D2D单向时延，需要UPF下沉） 负荷控制：<50ms（主站/子站到负控终端的单向时延） 能源调控：采集类<3s；控制类<1s
可靠性	差动保护/负荷控制：99.99% 能源调控：采集类99.9%；控制信息99.99%
安全隔离	Ⅰ/Ⅱ区业务，需要与Ⅲ/Ⅳ区物理隔离，资源独享（E2E硬切片）
5G终端需求	差动保护/负荷控制：可采用CPE（以太网或RS485接口等）
特殊功能需求	差动保护/负荷控制：高精时钟同步（10us）、终端永久在线、高频通信（通常设置为1/24s）、 L2/L3层组播 能源调控：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。

（3）基于无线采集的监测类应用

基于无线采集的监测类应用主要包括用电信息采集、配网状态监测两个典型场景。

1）用电信息采集

用电信息采集的数据流向包括上行和下行两类，下行数据流是指用电信息采集系统主站下发指令到电能表，开展跳合闸、安全认证命令等控制业务；上行数据包括当前日冻结数据、负荷曲线等，未来将扩展停电时间上报、户变关系识别、线损分析、电能质量监测、电动汽车充电等业务，呈现出高频次深度数据采集、双向互动、事件主动上报等趋势。

2）配电网状态监测

配电网状态监测是指通过传感器、网络、平台对配电网设备运行状态、运行环境进行监测，提升关键设备设施的管理水平，保障配网安全稳定运行。配电网网络规模大，如公司配电变压器、开关柜、环网柜、分支箱、故障指示器、电动汽车充电设施、分布式电源等。配网状态监测数据呈现出显著的“小数据”特征，且监测节点多位于地下室、配电柜等环境，需要无线通信系统提供海量连接、大容量、广 / 深覆盖等性能支撑。

表 16 – 基于无线采集的监测类应用通信需求

关键指标	通信能力需求
带宽	用电信息采集：10kbps-100kbps（集中器带宽为10kbps级，月流量3-5MB） 配网状态监测：单个监测节点约1-10kbps
时延	用电信息采集：0.5~5s（单向时延） 配网状态监测：百毫秒至秒级
可靠性	用电信息采集：一次采集成功率≥97%，遥控正确率≥99.99% 配网状态监测：99.99%
安全隔离	Ⅲ/Ⅳ 管理大区业务：逻辑隔离，安全加密认证（可共享切片资源）
5G终端需求	CPE（以太网口/TTL串口/RS232）/内置通信模块
特殊功能需求	广/深覆盖（地下室、配电柜等）、 海量连接 （集中器数百个/km2，电表上万个/km2， 配电设备数百~上千个/km2）

3. 电力行业 SLA 分级

基于上述应用类型对通信需求的分析，电力行业 SLA 标准分级可分为三大类：基于高清视频的巡检类切片、基于低时延的电网控制类切片、基于无线采集的监测类切片。参考第三章第四节“SLA 调色板具体分级建议”，电力行业三类切片 SLA 分级如下：

表 17 – 电力行业三类切片 SLA 分级

等级	业务可用										安全可信		自主可控		
	B1	B2	B3	B4	B5	T1	T2	T3	T4	T5	S1	S2	M1	M2	M3
	1~10	10~20	20~50	50~100	>100	50~100	20~50	10~20	5~10	<5	逻辑隔离	物理隔离	可视	可管	可运营
基于高清视频的巡检类切片			Y				Y				Y				Y
基于低时延的电网控制类切片	Y							Y				Y			Y
基于无线采集的监测类切片	Y					Y					Y				Y

（1）基于高清视频的巡检类切片（B3,T2,S1,M3）

该类切片包括输电线移动巡检、配电房综合视频监控、变电站机器人巡检、AR/VR 智能巡检等应用场景，主要传输大视频类业务。

单用户带宽等级为 B3（20-50Mbps）：带宽要求根据传输的视频类型有所不同，其中 AR 巡检≥ 30Mbps，无人机 / 机器人巡检≥ 2Mbps，视频监控在 4-10Mbps 之间。

时延等级为 T2(20-50ms)：巡检类应用对时延要求普遍不高，AR 巡检 <50ms，无人机 / 机器人巡检 <300ms，视频监控 <200ms。

隔离等级为 S1（逻辑隔离）：电网应用包括生产控制大区和管理信息大区两大类，视频监控类应用属于管理信息大区业务，需要与公网业务、其他行业应用、以及电力生产控制大区业务之间物理隔离，同时大区内部的安全Ⅲ区与安全Ⅳ区业务之间需要逻辑隔离。兼顾业务需求和建网成本之间的最佳平衡，建议 5G 核心网和承载网可采用物理隔离，无线接入网侧采用基于优先级调度的资源抢占机制实现逻辑隔离。

管理等级为 M3（可运营）：电力巡检类应用涉及多个区域，一般需要自定义用户群组管理、新业务上线调测、自主排障，并控制接入和访问权限，属于 M3 可运营。

（2）基于低时延的电网控制类切片（B1,T3,S2,M3）

该类切片包括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。

单用户带宽等级为 B1（1-10Mbps）：控制类数据多为指令性数据，数据大小在 2Mbps 左右。

时延等级为 T3（10-20ms）：差动保护最高时延不能超过 15ms，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，将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。

隔离等级为 S2（物理隔离）：配电自动化、精准负荷控制等应用属于电力生产控制大区业务，需要与公网业务、其他行业应用、以及电力管理大区业务之间严格物理隔离，同时大区内部的安全Ⅰ区与安全Ⅱ区业务之间需要逻辑隔离。建议采用端到端物理隔离，即除了 5G 核心网和承载网外，无线接入网侧需采用 Rb 资源预留机制实现物理隔离。

管理等级为 M3（可运营）：电力行业涉及多个省市公司，通过开放 API，用户可以实现切片业务监控、业务管理等自运营能力，属于 M3 可运营。

（3）基于无线采集的监测类切片（B1,T1,S1,M3）

该类切片包括用电信息采集、配网状态监测等场景，采集内容当前主要以基础数据、图像为主，主要需求为大连接类。

单用户带宽等级为 B1（1-10Mbps）：需要传输的控制信息和监测数据多为小数据包，单次数据传输带宽需求在 1-100bps 之间。

时延等级为 T1（50-100ms）：对设备运行状态和运行环境的监测多为提升关键设备设施的管理水平，时延需求在百毫秒级到秒级之间。

隔离等级为 S1（逻辑隔离）：无线采集类应用属于管理信息大区业务，需要与公网业务、其他行业应用、以及电力生产控制大区业务之间物理隔离，同时大区内部的安全Ⅲ区与安全Ⅳ区业务之间需要逻辑隔离。兼顾业务需求和建网成本之间的最佳平衡，建议 5G 核心网和承载网可采用物理隔离，无线接入网侧采用基于优先级调度的资源抢占机制实现逻辑隔离。

管理等级为 M3（可运营）：无线采集类应用涉及众多电力终端和设备，一般需要自定义用户群组管理、自主排障，并控制接入和访问权限，属于 M3 可运营。

05

发展建议

通过调研，本报告根据企业对网络的需求的马斯洛模型研究，提出 5G 切片 SLA 调色板分级工具，并结合医疗、制造、电力三个行业的实际情况，给出了 SLA 分级建议。

SLA 作为切片服务提供商和切片用户之间的业务保障协议，将在 5G 行业应用拓展和商业化中发挥关键作用。为了推动 5G 产业的发展和 5G 切片 SLA 分级进一步落地，我们提出以下几方面的建议。

一是呼吁各方积极参与 SLA 研究。目前的 SLA 研究工作主要以通信运营商和设备商为主，而 5G 融合应用涉及行业众多，各行业专业性强，需要垂直行业的龙头企业加大参与力度，通过深入沟通了解切片对行业的商业价值，共同探讨下一步研究工作。

二是加快基于 SLA 网络切片的测试验证。目前 SLA 定义网络切片还处于理论性探索阶段，SLA 等级划分离某些行业的真正落地还有一定的距离，需要结合行业大量反复的 5G 应用试验去判断和调整，并进一步优化 SLA 的参数指标，推动标准化相关工作。

三是加速 5G 切片 SLA 商业落地。通过 SLA 产业各方的参与，共同探索 5G 切片的商业模式，加快产品研发，降低行业间沟通的壁垒，推进 5G 融合应用的落地，让行业用户早日享受 5G 技术所带来的红利。

06

缩略语

缩略语	全称	中文解释
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划
SA	standalone	独立组网
eMBB	enhanced Mobile Broadband	增强移动宽带
uRLLC	ultra-reliable low-latency communication	超高可靠性超低时延通信
eMTC	enhanced Machine Type Communication	增强型机器类通信
SLA	Service Level Agreement (SLA)	服务水平协议
CSMF	Communication Service Management Function	通信服务管理功能
NSMF	Network Slice Management Function	网络切片管理功能

缩略语	全称	中文解释
NSSMF	Network Slice Subnet Management Function	网络切片子网管理功能
BSS	Business Support System	业务支撑系统
PHY	physical layer	物理层
MAC	Media Access Control	媒体接入控制
RLC	Radio Link Control	无线链路控制
PDCP	Packet Data Convergence Protocol	分组数据汇聚层协议
HARQ	hybrid automatic repeat request	混合自动重传请求
NAS	non-access stratum	非接入层
AAU/BBU	active antenna unit / baseband unit	有源天线处理单元/基带单元
FWA	fixed wireless access	固定无线接入
CPE	customer-premises equipment	客户终端设备
IGP	Interior Gateway Protocol	内部网关协议
SLS	Service Level Specification	服务水平规范
KPI	Key performance indicator	关键性能指标

CAICT 中国信通院

07 参考文献

1.3GPP TS 22.261/ TS 22.104/ TR 22.872;

2.IEC 61907

3. TMForum SLA 管理手册

CAICT 中国信通院



致 谢

在报告完成之际，课题组要特别感谢为本项研究做出直接或间接贡献的技术专家、行业专家和科研院所。

受访专家：

在本报告撰写中，课题组围绕 5G 端到端切片的网络架构、分级建议和行业需求分析等内容与华为公司 ICT 联接领域首席战略专家杜伟、中国区战略专家齐建华、云核心网战略专家杨晓华、无线技术专家辛波、数据通信战略专家刘悦以及浙江联通交付中心 5G 创新支撑总监王群青、上海复星集团产品及科创中心副总经理林锦斌等进行了深入交流，感谢他们对课题研究给予的支持。

受访机构与企业：

另外，课题组也向中国联合网络通信集团有限公司浙江分公司、中日友好医院国家远程医疗与互联网医学中心、积水潭医院骨科机器人远程手术中心、北京天智航医疗科技股份有限公司、北京清华长庚医院、北京缙铖医疗科技有限公司、南京钢铁股份有限公司、北京福田康明斯发动机有限公司、海尔智家股份有限公司、中国石化胜利油田等研究机构和企业进行了调研并获得了数据支持，在此一并致以诚挚的谢意。