



# 5G网络切片使能智能电网商业可行性分析

产业报告

2019年6月



# 目 录

---

<b>引言</b>	<b>1</b>
<b>1.0 当前智能电网中的通信技术</b>	<b>2</b>
1.1 电网通信技术	2
1.1.1 当前电网中使用的通信技术	2
1.1.2 当前电网通信技术的局限性	2
1.2 5G网络切片在智能电网中的应用优势	3
1.2.1 网络切片概述	3
1.2.2 5G网络切片在智能电网中的应用概览	4
<b>2.0 应用场景研究：5G网络切片使能智能电网的定性价值评估</b>	<b>5</b>
2.1 高级计量	5
2.2 配电自动化	6
2.3 基于无人机的电网智能巡检	6
2.4 毫秒级精准负荷控制	7
2.5 智能电网对5G网络切片的需求总结	8
<b>3.0 5G网络切片使能智能电网商业模式探索</b>	<b>9</b>
3.1 技术可行性：如何应用5G网络切片使能智能电网	9
3.2 商业可行性：5G网络切片使能智能电网潜在商业模式	10
<b>4.0 采样分析：5G网络切片使能智能电网的定量价值评估</b>	<b>12</b>
4.1 基于电网客户视角的总拥有成本（TCO）对比： 光纤专网 vs. LTE专网 vs. 5G网络切片	12
4.2 基于运营商视角的指示性投资回报率（ROI）论证	14
<b>5.0 结论</b>	<b>17</b>
<b>6.0 缩略语</b>	<b>18</b>
<b>7.0 参考文献</b>	<b>19</b>

---



## 引言

5G网络切片技术使得运营商可以建设既敏捷又灵活的网络，来满足不同垂直行业中的多重使用场景需求。到目前为止，网络切片技术最主要且最有运营效益的优点在于共享网络基础设施来实现多租户服务。而自动化的使用在这些应用中尤为关键。这些服务通过包括软件定义网络和网络功能虚拟化在内的几项自动化技术实现，并与不同的接入层、传输，以及核心网域相结合，进而为各个业务创造自定义切片。

智能电网有望通过网络切片技术来实现智慧化提升。作为垂直行业之一，电力行业中应用的基于无人机的电网智能巡检、毫秒级精准负荷控制和高级计量等实例，将能够通过使用网络中的不同切片来实现服务的优化运行。

然而，在智能电网中使用网络切片技术而产生的性能优化以及潜在效益，其经济效益无法准确量化。本研究致力

于解决这个问题，从两个角度对这项技术的商业价值进行定性和定量评价：

1. 基于电网客户视角的总拥有成本 (TCO) 对比：分析电网当前采用的主要通信系统及其存在的困难，并与5G网络切片进行总投资成本对比；
2. 基于运营商视角的投资回报率 (ROI) 论证：分析评估5G网络切片使能智能电网的投资回报率。

5G网络切片在智能电网的应用还在试点阶段，并在稳步推进中，考虑到网络切片标准成熟度以及5G建设节奏，我们预期大规模的部署有望最早于2022年开始。本文讨论话题的目标是为期望评估网络切片技术潜力以及商业可行性的运营商和公用事业单位带来一些经济效益方面的启发。





## 1.0 当前智能电网中的通信技术

“智能电网”这个术语通常用于描述电力网络中的各种数字化活动，旨在通过数字信息流动和远程遥控从而使得传统的电力系统实现现代化。智能电网是一个以最佳的途径从源头向终端用户供电，既智能又数字化的电力网络。智能电网有可能通过使用位于公用设施和电源装置之间的双向信息流来彻底改变发电、输电、配电以及用电等环节。以下七个数字化电网应用均很大程度上依赖于通信技术，如今也被广泛应用于智能电网分类：

1. 高级计量(AMI)
2. 配电自动化(DA)
3. 基于无人机的电网智能巡检
4. 精准负荷控制/需求响应(DR)
5. 智能变电站/所环境监控
6. 智能汽车充电站/桩 (V2G)
7. 分布式能源(DERs)和虚拟电厂(VPPs)

世界各地的公用事业企业越来越意识到智能电网的重要性，正大力投资来改善和数字化电网基础设施。以中国为例，非常有望在2020年前实现建设一个更强大智能电网的目标，并计划在未来十年投资大约770亿美金用于智能电网基础设施的建设。

### 1.1 电网通信技术

将智能电网概念变成现实的一个重要因素是拥有既可靠又经济的通信基础设施。通信网络在电力设备和公用设施之间提供信息流和控制，构成智能电网的“中枢神经系统”。智能通信技术带来的智能控制和监测使得如设备故障、容量限制和电力中断等更容易被发现和恢复，从而减轻由自然灾害带来的影响。

#### 1.1.1 当前电网中使用的通信技术

世界各地的电力企业正在应用各种不同的通信技术，无论是有线还是无线，来实现智能电网应用的不同目标功能。电力线通信、窄带物联网、无线局域网WiFi、无线电、蜂窝技术(3G, 4G/LTE)还有卫星通信正在全球范围内被使用，以进一步实现预期中的智能电网基础设施服务。电力企业普遍使用基于两种或两种以上技术相结合的通信网络来实现电网的接入，回传和面向特殊应用的骨干网络。

下图总结了智能电网应用中的四个代表性应用场景所使用的通信技术，这些应用场景也将是本文分析的重点。

表1：目前智能电网中使用的通信技术

智能电网应用场景	无线电 (射频)	电力线载波 (PLC)	窄带物联网 (NB-IoT)	WIFI	蜂窝网络 (3G, 4G/LTE)	光纤/DSL	卫星通信
高级计量		√	√		√	√	
配电自动化					√	√	
无人机巡检	√			√	√		

#### 1.1.2 当前电网通信技术的局限性

对于智能电网来说，理想的通信基础设施要求高可靠性以及可扩展性、可处理大容量的数据。当前应用在智能电网中的通信系统均存在一定的局限性，而这些局限性在选

择新的电网数字应用通信技术之前，必须被充分的考虑和借鉴。下图总结了应用于当前电网中的通信技术所面临的关键性挑战。

表2：目前智能电网中所使用通信技术的局限性

常见技术	智能电网应用的局限性
PLC	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 可扩展性</li> <li>· 电磁干扰问题</li> <li>· 维护要求高</li> <li>· 带宽有限</li> </ul>
光纤/DSL	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 部署成本高</li> <li>· 大规模铺设价格昂贵</li> <li>· 施工复杂 (开沟 &amp; 电缆埋设)</li> <li>· 实施时间长</li> </ul>
无线电 & WIFI	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 网络带宽有限</li> <li>· 覆盖面积有限</li> <li>· 安全风险</li> </ul>
蜂窝网络 (3G, 4G LTE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 功耗高</li> <li>· 建筑内部和地下室等无线覆盖问题 (例如AMI应用)</li> <li>· 如果采用运营商公网，则需要与移动用户共享网络，缺乏服务质量 (QoS) 保障措施</li> <li>· 如果建设私有LTE网络，则大规模全域覆盖的投资及维护成本高昂</li> </ul>
卫星通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 部署成本高</li> <li>· 延迟高</li> <li>· 带宽低</li> </ul>

### 1.2 5G网络切片在智能电网中的应用优势

数字技术正日渐改变电力网络并提供必要的推动力，从而促使企业向着有助于全球能源战略更加可靠而有效的方向发展。转变后的电网需要具有更好的控制和监测功能，从而需要更高水平的电网自动化，这也意味着更高的通信要求：(1) 基于高密特性，实现单个小区内成千上万的海量设备接入；(2) 基于超高宽带特性，实现海量维护或监控数据在同一时间稳定传输；(3) 基于超低时延特性，使得能够在一个工频周期 (例如当电力频率为50Hz，则对应的工频周期为20ms) 内完成设备的故障定位、隔离和恢复，实现分布式配电自动化；(4) 基于高安全高隔离性，使能智能电网免受网络安全风险的威胁，如近期发生的针对公用设施的网络攻击。(5) 最后，随着设备的增加，5G网络切片相比其它网络 (包括LTE专网) 具备更好的可扩展性。

#### 1.2.1 网络切片概述

5G是即将被大规模采用的第五代通信技术，有望使网络实现极高的吞吐量，更好地覆盖，更高水平的可靠性。然而，5G网络最重要且最显著的特征是它的网络管理，它使得移动运营商可以基于单个5G网络的物理层构造多张虚拟网络，也称作“网络切片”。5G网络切片提供按需网络定制，业务隔离和自动化运维。客户可以通过SLA协议，按需定制一张虚拟专属网络，进而用一种更经济、及时、有效的方式来提升业务运营效益。

以下是3GPP定义的三种关键网络切片类型，它们都可以应用于智能电网。

#### eMBB增强型移动宽带

增强型移动宽带的两个关键点将促进其在5G经济中的应用和价值创造。第一点是，将蜂窝覆盖延伸至更广阔的地方，包括办公大楼、工业园、购物商场和大型场馆；第二点是，对于巨大数据量的处理性能提升，尤其是本地数据的处理。网络的改善可以使数据传输更高效，成本更低，这将大力促进5G移动网络的使用。

#### mMTC海量机器类通信/大规模物联网

5G技术的采用将使得各行各业的经济规模都获得显著地增加，尤其是早期使用了传统的M2M和IoT应用投资领域。5G改良后的低功耗特性，可以在授权和未授权频段操作使用，可提供更深入更灵活的覆盖，将推动大型物联网装置的成本显著降低。反过来，这将扩大物联网的规模，推动更多移动技术的应用来处理大型物联网应用。

#### URLLC超高可靠超低时延通信

对于移动通信技术来说，超高可靠超低时延通信会带来更多新的市场机会。5G通信的这个重要特性将更好的支持需要超高可靠性、超低时延、超强安全性的应用。这将使无线技术可以提供一个超可靠的连接，从而很好的支持类似无人驾驶、复杂自动化设备的远程操作等应用。

### 1.2.2 5G网络切片在智能电网中的应用概览

智能电网中日益增加的连接正在给通信带来新的挑战,它需要一个足够灵活的网络来处理电网业务的多样化并满足可靠性要求。5G提供一个统一的网络,通过网络切片来匹配这些需求,使得全面提高智能电网的性能成为可能。从网络运营商的视角来看,智能电网业务可以分为三种类型:

工业控制类业务,除了信息流,高速控制是必需的,比如配电自动化和快速需求响应。5G网络切片为这些应用提供超低时延和超高可靠的通信支持。这是典型的5G网络uRLLC超高可靠超低时延切片的应用案例。

信息采集类业务,大量的电网末梢装置需要采集信息流并发送监测数据。典型的应用场景如:高级计量、分布式电源和配电自动化。5G网络切片的海量高密度接入和可靠性,在这些应用场景中起到了至关重要的作用。而这类电网业务也都可归于海量机器类通信(mMTC)切片应用。

高清图像和视频处理业务,例如基于无人机的电网巡检、智能变电站环境监控均需要高带宽来实时发送高质量图像和视频数据用于云处理。这些应用场景都依赖于5G网络增强型移动宽带(eMBB)切片技术。

5G网络切片有望解决当前智能电网通信系统的局限性,例如建筑物内部和拥挤区域存在的低能源效率和连接问题,或者其它传统的通讯技术问题,可通过使用演进后的5G网络结构来得以解决。这个网络结构使用大量的既有高密接入能力又有强互通性的基站,有望提供更高质量的服务。5G网络可用同一个基础设施网络,服务于电力网络的多个部门和业务需求,从而使得智能电网的建设无论是对于公用事业单位还是对于能源消费者来说都是经济的。

当前,世界各地的电信运营商正在试验5G网络切片技术。今年将有各种各样的网络切片先行者计划部署上线,这对于网络运营商来说是一个关键的时刻,他们可以观察网络切片的潜在客户——公用事业单位实施智能电网的使用情况。考虑到现有的通信技术存在瓶颈,大型的公用事业单位不得不采用专有光纤或LTE网络,网络切片有可能成为一个最合适且急需的解决方案,用来补足智能电网中对通讯技术泛在灵活性的更高要求。除了智能电网之外,5G网络切片还可能彻底改变智慧城市、无人驾驶和工业自动化等行业,在网络运营商和不同的垂直行业之间实现双赢。不仅个人用户会获得更好的业务体验,垂直行业在把5G网络切片和工业应用相结合之后,也将会获得巨大的经济效益。





## 2.0 应用场景研究: 5G网络切片使能智能电网的定性 价值评估

智能电网应用场景需要有安全的通信基础设施，以满足公用事业设备和用户的实时通信需求。5G网络切片的特性可以帮助电网公司以更有效的方式应对挑战。设备密度、处理能力、超低延时和有保证的服务质量等5G通信的主要优势和指标能够很好的匹配智能电网的各项需求。

如下所分析的4个智能电网应用场景，都高度依赖5G网络切片的各项高性能指标。这些应用场景也会因为5G网络切片技术的引入而获得更多的业务创新可行性。

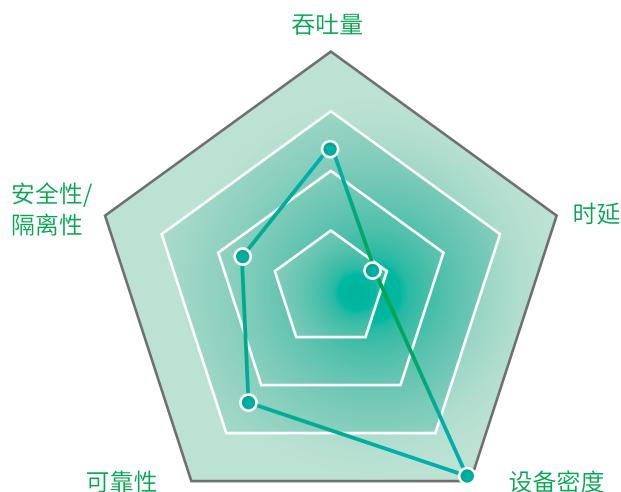
2.1 高级计量

高级计量技术与5G技术的深度应用融合，使得电力公司能够更大程度的了解客户实时负荷需求，也使得与客户之间的信息互动从单向测量向双向互动转变。

1. 可以实现终端用户侧负荷的实时感知

2. 可以实现分布式清洁能源的快速消纳
  3. 可以提高包括汽车充电桩在内的新兴业务能效管理  
(合理安排充电桩的充电效率和充电时长)
  4. 根据用户的用能习惯, 提供更加有效的用能服务和  
价格优惠(如峰谷价格指导)
  5. 为电网末端供电质量提升提供精确指导(例如末端  
电压过高或过低、三相不平衡、频率不稳定等)

图1:高级计量对5G网络切片的性能需求



2.2 配电自动化

基于5G uRLLC技术，实现网络的超低时延和超高可靠性，可以有效保障配电自动化业务的信息传递，实现线路故障毫秒级的精准判别，有利于故障区域的快速隔离，并实现区域供电的快速自愈。

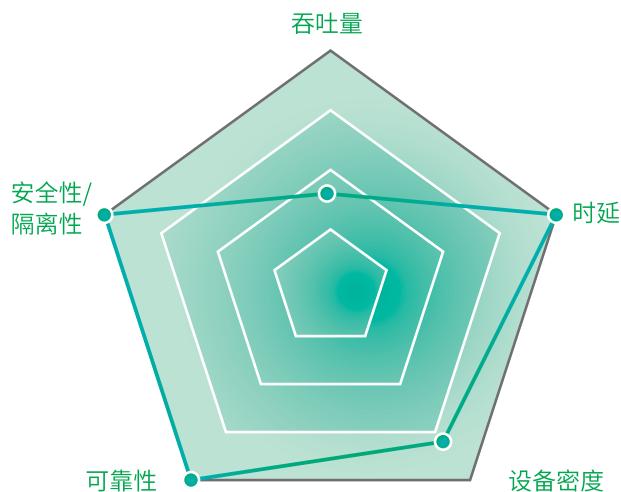
1. 通过超低时延有效实现故障的快速判别和快速隔离
  2. 超高可靠性保障配电自动化设备终端实时在线
  3. 配电网络的可靠性大幅提升,结合配电网络优化,可以实现99.9999%这一供电可靠性目标
  4. 通过边缘下沉技术还可以实现区域供电能力的自主判别,实现区域供电的故障自愈及效能管理

用于配电自动化的5G网络切片通信的关键要求如下：

- 超低延时 (以利于电网控制和保护设备的超快速运行)
  - 高安全性 (确保不会因系统中的网络攻击而导致断电)
  - 高设备密度 (在一个站点连接数千个电网控件和保护设备)
  - 高可靠性

使用5G网络的uRLLC切片可以满足配电自动化的这些通信要求：

图2:配电自动化对5G网络切片的性能需求



## 2.3 基于无人机的电网智能巡检

基于5G的eMBB切片，可以实现基于无人机的电网智能巡检，使能远程图像的高清晰度传输，解决远距离的巡视管理问题。

1. 实现包括偏远地域的线路、杆塔的巡视，提升巡视频次和效率
  2. 高清图像的传输便于开展设备缺陷识别和预警
  3. 增强应急抢修的现场管理能力
  4. 有效的图像传输还能够大幅提升对于线路及供电设备的风险识别能力（如超高车辆距离带电线路过近、施工导致设备损坏、非授权人员进入带电区域等）

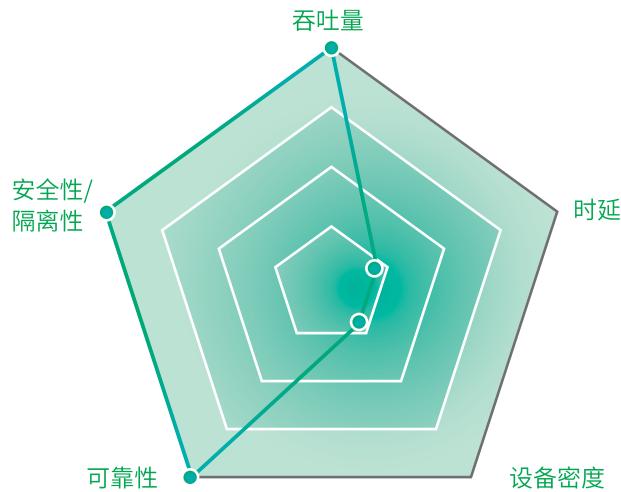
以下是使用5G网络进行基于无人机的检查对网络切片的要求：

- 超高处理能力(高清图像和视频传输需要Gbit / s的带宽)
  - 普遍的覆盖范围和移动性(无人机需要在网络中进行地理漫游)
  - 能效(无人机功耗更高的能效)

使用5G网络的eMBB切片可以满足这些通讯需求

使用5G网络的EMBB切片可以满足这些通用要求。

图3:无人机巡检对5G网络切片的性能需求



使用无人机进行空中检查可以避免危险的人工作业，使公用设施操作更安全。通过降低维护成本，减少检查时间和早期问题检测，以便及时维修，防止更大的故障，从而可以节省开支。

#### 2.4 毫秒级精准负荷控制

基于毫秒级精准负荷控制改变了传统“拉路式”的粗放管理方式(切除整条线路负荷)，可以柔性管理用户的可中断负荷，并采用双向协商机制，使得最终用户因负荷切除而造成的影响降到最低。利用5G的uRLLC切片，实现用户内部可中断负荷的毫秒级业务响应，有效保障了精准负荷控制业务的实现，提升了电源侧与末端负载侧的协调适配能力。

1. 可以实现用户侧的快速负载管理
2. 柔性管理用户内部负荷，减轻用户用能不良感知(例如将空调设定温度提升2-3度、延迟空调启动、降低空调启动频次等)

3. 在区域供电出现较大负荷缺额情况下，与用户侧负荷的快速联动，实现电源供给与用户负载间的精准适配，提升电网抵御风险能力

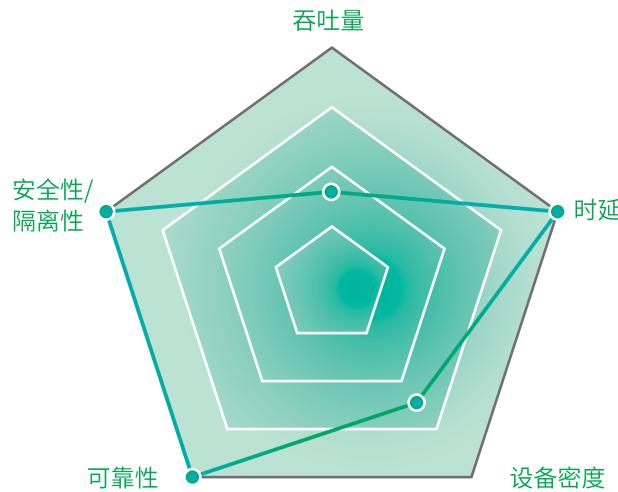
以下是对该应用场景的性能要求：

- 超低延时(以毫秒为单位，快速响应不断增长的需求)
- 高网络可靠性(高达99.999%，确保设备和机器可在需要时即时运行)
- 高安全性(可以控制用户电器和工业机械;任何网络安全漏洞都可能造成重大损失)
- 中设备密度

使用5G网络的uRLLC切片可以满足需要精准负载控制的应用案例的通信要求。



图4:毫秒级精准负荷控制对5G网络切片的性能需求



## 2.5 智能电网对5G网络切片的需求总结

5G网络及其服务化架构是一个统一的网络，具有灵活、可靠、低延迟、高数据速率和高带宽等特点，可满足智能电网的所有关键通信需求。在历史上，由于电网运营商广泛使用了光纤专网、LTE无线专网等多种网络技术，电信运营商为电网提供的通信服务相对有限。另一个重要原因在于传统的3G/4G公用网络是一个大型的一体化管道，运营商无法为电力行业客户提供差异化的服务质量/服务水平维护。例如，如果在农历新年期间，由于普通消费者数据的大量传输，3G/4G通信网络变得拥挤不堪，电力系统的高级计量的抄表业务将受到较大的影响。

这些问题导致一些公用事业单位针对特定应用场景采用专有通信网络，包括光纤专网和LTE专网。5G网络切片使得通过统一基础设施架构满足多样化应用场景的需求成为了可能，可以通过规模经济降低成本。基于5G的关键网络指标，电信运营商可以为公用事业单位提供比以往蜂窝网络更加可靠的蜂窝通信平台。电信运营商可以提供5G网络切片服务，使能公用事业单位实现部署智能电网的各种应用场景的大规模部署。

下表总结了上述智能电网的各种典型应用场景，以及移动运营商为满足智能电网的通信要求而需要打造的5G网络切片服务：

表3:智能电网对5G网络切片的需求总结

智能电网应用案例	5G网络切片
高级计量(AMI)	mMTC
配电自动化	uRLLC
无人机巡检	eMBB

事实上，除了上述这四种典型业务场景之外，5G网络切片技术的引入，还将为智能电网带来更加安全、可靠、经济的泛在接入技术，从而使能更多的智能电网应用创新。以配网保护业务为例：配网PMU同步相量测量 (phasor measurement unit) 业务场景具有广域分布、带宽需求大

(终端间流量带宽为4Mbps左右，而且是持续性高频通信流量)、传输时延短(需要ms级网络时延)、本地化策略控制、超高安全可靠性等特点，5G网络切片可以很好的匹配此类业务对于泛在灵活接入及高安全可靠性需求之间的平衡。



## 3.0 5G网络切片使能智能电网商业模式探索

鉴于5G网络切片的诸多优点,它可以给智能电网带来直接的效益。但是重要的是要考虑电信运营商如何从提供5G网络切片服务中受益,从而选择合适的商业模式以服务这个新兴市场。

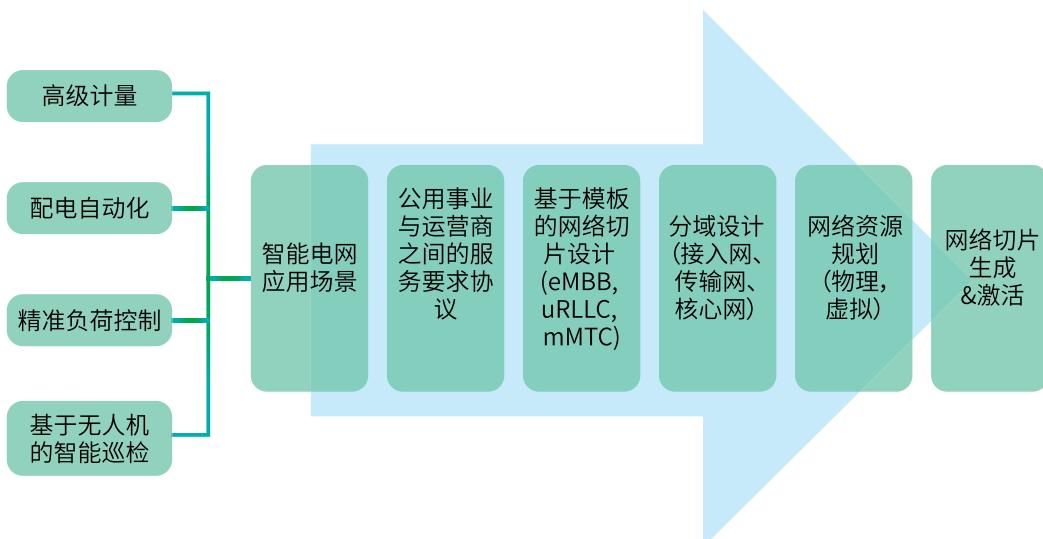
### 3.1 技术可行性:如何应用5G网络切片使能智能电网

5G网络切片是在共享基础设施上运行的多个逻辑网络,提供给租户一定的独立运营能力的可保证的SLA基础上的定制化网络。5G网络切片具有三大特点:差异化加确定性的QoS/SLA保障、业务隔离性、独立运营性。5G网络切片综合了软件定义网络(SDN)、网络虚拟化(NFV)、服务化架构(SBA)与其他自动化技术,能够按照不同用户的需求

提供灵活的定制化服务。因此,运营商仅需一张物理网,便可针对不同行业的应用场景,提供不同功能的5G网络切片。

第二章提到,智能电网行业存在多种应用场景,它们的通信时延需求、数据传输大小、设备数量多少都存在差异,从而造成信息交互也千差万别。因此,电信运营商需要与电网公司密切合作,定义网络切片模板、设计网络切片架构,为智能电网提供合适的网络切片,同时还要能够针对不同应用场景对网络切片进行灵活调整。图5是网络切片设计及部署的全流程示意图。通过这一方法,运营商能够同时为一个或多个电网公司的不同应用场景设计、管理并维护多张电网切片。

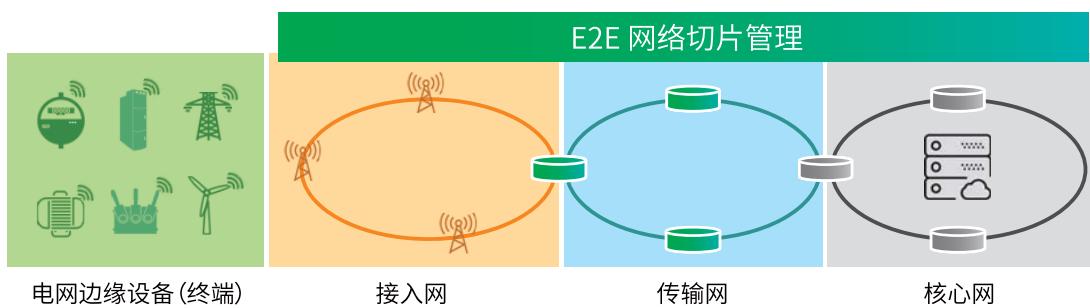
图5:5G网络切片的生成流程



5G端到端网络切片由接入网、传输网、核心网组成,这三者与电网终端设备和应用相互配合,满足智能电网不同

应用场景的需求。在将5G网络切片应用于智能电网的过程中,接入网、传输网、核心网三个域的作用都十分关键。

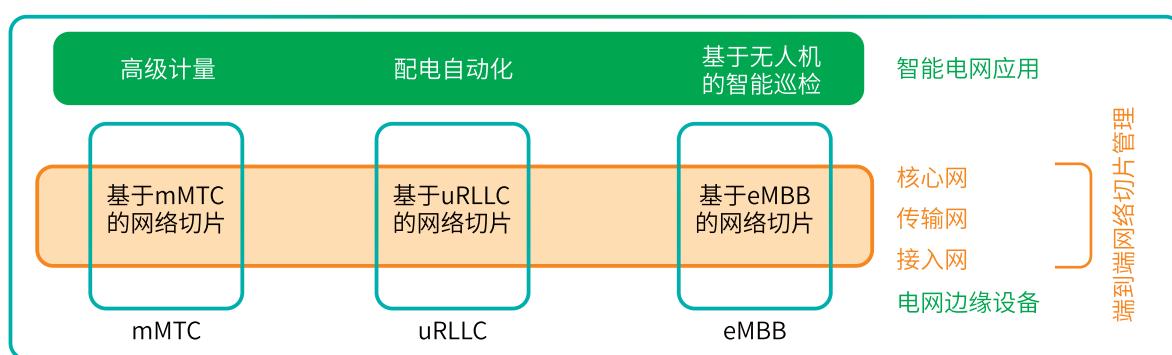
图6:5G网络切片的三个网络域



接入网、传输网、核心网由多种物理和虚拟的网络功能构成,因此这三者能够通过匹配不同的功能,为不同的智能

电网应用场景定制网络切片,从而在同一个基础设施分层框架上发挥作用。

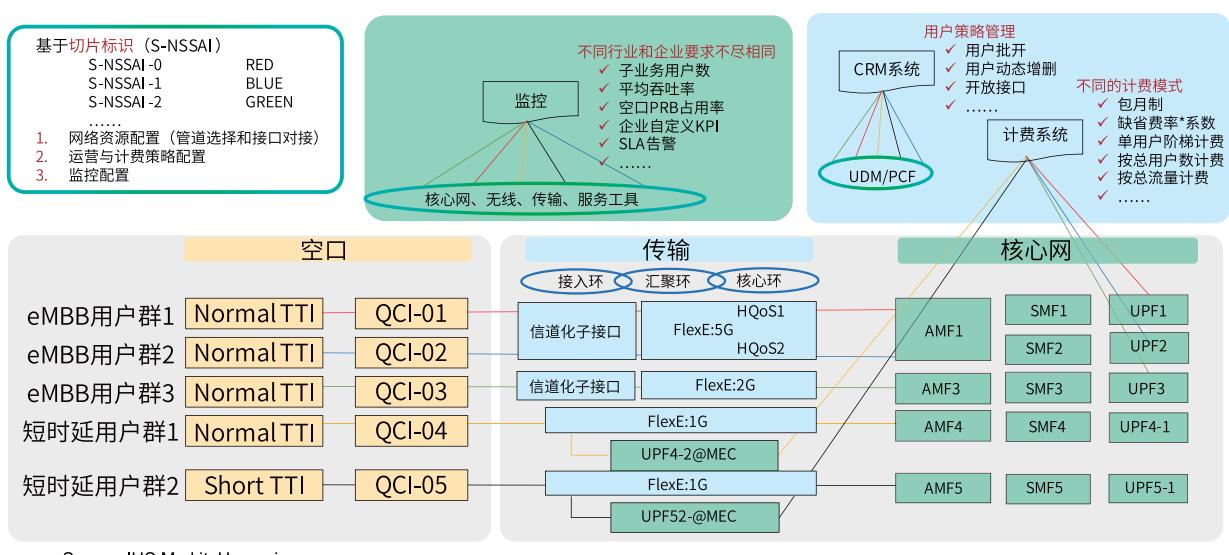
图7:跨网络域的网络切片管理



运营商可针对不同应用场景的特定需求,提供不同的网络切片配置组合,并提供网络切片的端到端全生命周期服务,这具体取决于运营商和电网之间的商业模式以及服

务条款,包括但不限于切片开通、KPI监测、运行维护、切片优化、切片停用等。

图8:5G网络切片使能智能电网示例



Source: IHS Markit, Huawei

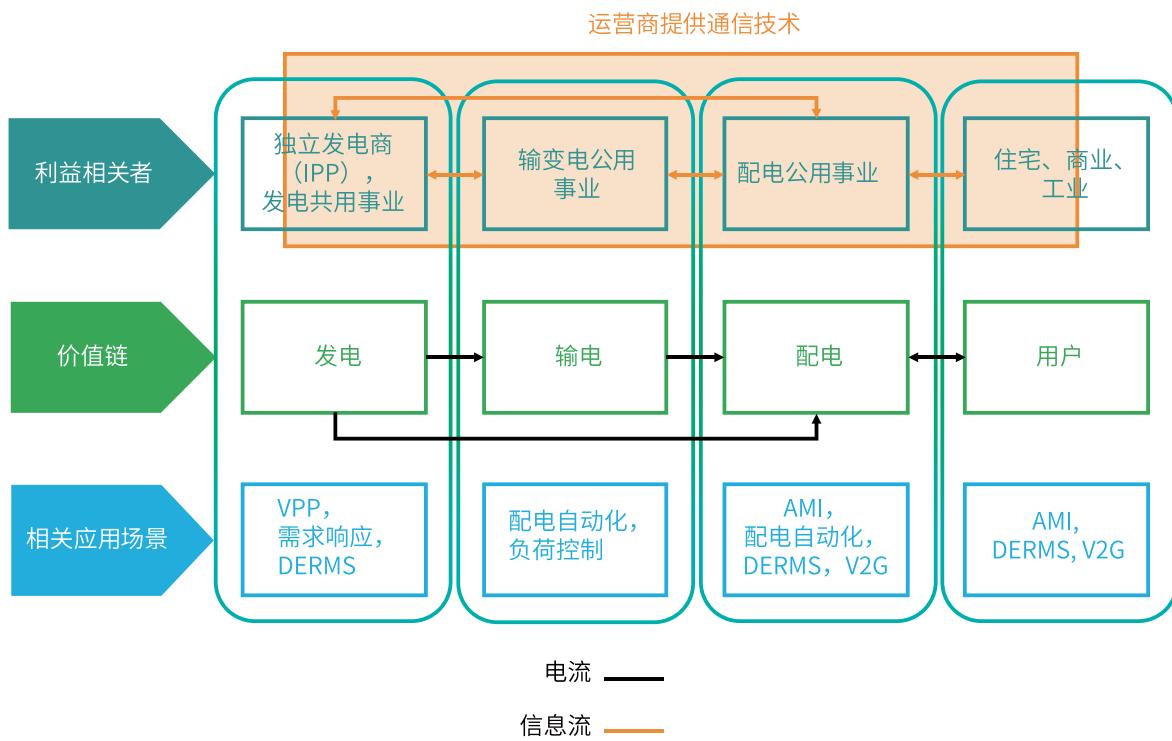
@2019 IHS Markit

### 3.2 商业可行性:5G网络切片使能智能电网潜在商业模式

图9展示的智能电网的产业链价值链,很明显在价值链中

公用事业公司是运营商的关键客户。其他软件供应商可能会产生影响,但在大多数情况下,运营商服务的直接客户将是公用事业公司。

图9:5G网络切片价值链分析



过去,电信运营商并未积极参与到公用事业领域。公用事业单位更倾向于采用专有的通信方案,如PLC、NB-IoT和LTE专网来满足其电力通信的需求。最重要的原因之一是传统电信运营商的单一共享、尽力而为型的网络不能满足公用事业单位高服务质量(QoS)的需求。运营商需要为公用事业单位提供高服务质量保证的网络,而5G网络切片可以作为一个很好的切入点,为公用事业公司提供统一的网络服务。即使仍然是基础设施共享型网络,网络切片的高安全隔离性也可以满足公用事业单位的智能电网应用场景的定制化需求,并通过新型应用场景创新和可观的成本节约为公用事业单位创造额外的效益增值。

从历史上看,运营商在为公用事业单位提供通信服务时,不同设备型号都采用流量套餐方式支付固定的网络租赁费用。运营商的服务定价并不会因网络的带宽或其他关键运行指标而进行差异化定价。产生这种情况的根本原因是现有的智能电表等连接设备对通信的要求非常低。

但是,运营商需要打破每台设备固定租金的业务模式,从而获取更高价值的收益。这需要从追求用户订阅数增长的业务模型,转变为面向网络服务质量提升的业务模型。这意味着在传统的每台设备固定收费模式之上,运营商需要根据定制网络切片的KPI指标进行差异化收费,也就是基于性能的服务水平协议(SLA)收费。由于使用了5G网络切片(第2章),基于网络切片提供连接的运营商可以演化产生新的业务模式,可以基于对公用事业带来的增值服务来定价。运营商可以通过这部分增值的收入分成来收取额外费用。

提供网络切片服务,运营商还可以提供额外的增值服务,如切片管理平台,其中公用事业单位可以用易于使用的接口来接收包含所有KPI的网络数据,经过网络运营商授权即可拥有一定程度的自运维自管理权限,根据需要管理正在使用的网络切片,例如添加或者移除一个设备到已订阅的切片,以确保满足SLA服务水平协议的要求。



## 4.0 采样分析：5G网络切片使能智能电网的定量价值评估

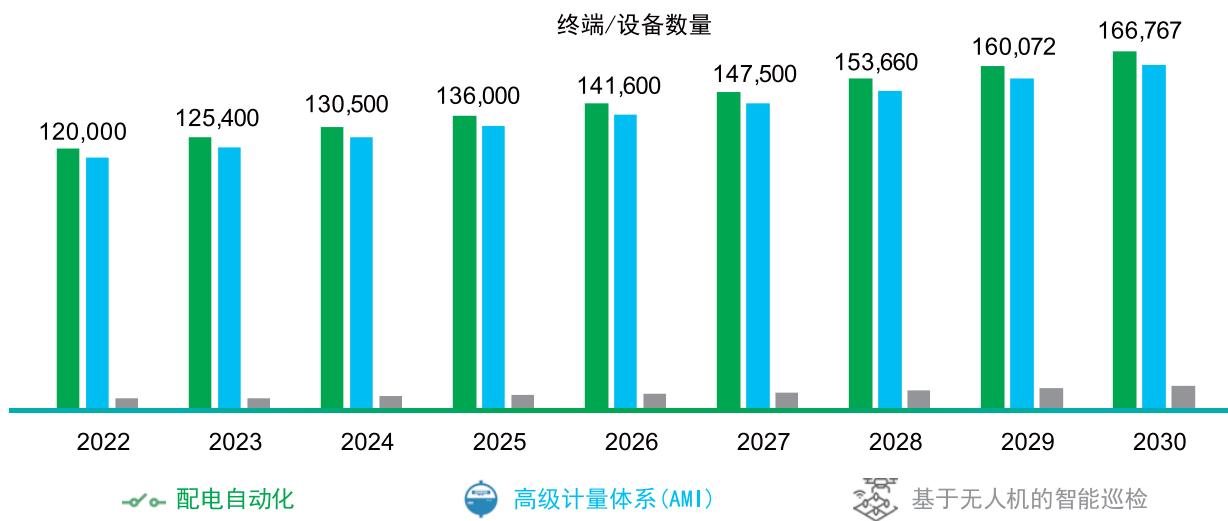
### 4.1 基于电网客户视角的总拥有成本 (TCO) 对比： 光纤专网 vs. LTE专网 vs. 5G网络切片

目前，5G网络切片的应用技术已经取得重大进步，这方面的论文数量也颇多。但却没有量化分析和讨论运营商将网络切片应用于智能电网等行业的多种应用场景能够获得的投资回报率 (ROI)。与此同时，我们也缺乏对于5G网络切片使能垂直行业所需要的总拥有成本 (TCO) 量化分析。为了研究这一问题，埃士信 (IHS Markit) 分析了5G网络切片技术与现有电力通信主流技术的总投资成本对比，其中现

有技术主要包括光纤网络，以及中国等世界各国的电网公司都在使用的LTE专用网络。

本研究以一个中国的区域公用事业单位为研究对象和采样样本，并基于此样本基础进行了适当校正。假设这一地区在2022年时已经建成一个功能齐全、基于5G网络切片建设的5G网络，有大约12万台设备都通过这一网络互相连接。我们通过调整设备比例确保该区域能够代表整个中国的电网情况。

图10: 基于电网客户视角的总所有成本 (TCO) 比较 - 终端/设备



对于这一地区公用事业单位而言，评估光纤网络的总拥有成本需要考虑专用光纤的建设成本和运营支出、以及通过专用光纤网络连接的所有电网设备终端为了接入光纤网络所需的接口改造成本；评估4G/LTE专网的总拥有成本需要考虑基站、核心网、通信塔等相关网络设备的建设成本，运营支出，以及每个终端为了接入LTE专网所需的芯片/

模组改造成本。评估5G网络切片的总拥有成本，则主要考虑了基于不同业务场景的差异化QoS/SLA需求，而支付给电信运营商的不同等级的切片即服务 (NSaaS) 订阅费用，最终可简单折算为不同业务终端所支付的不同价格的月租费用 (不同ARPU)。

图11和图12比较了使用光纤网络、4G LTE、网络切片连接该区域公用事业单位下辖所有设备的总投资成本。埃士信(IHS Markit)认为主要的5G网络切片基础设施投资将在2022年开始获得回报,因此图表的起始时间为2022年。在2022年到2030年间,电网公司通过5G网络切片连接电网终端设备的累积成本约为9,140万美元。2020到2030年,利用专用光纤网络连接设备的成本为7.11亿美元,通过专用4G LTE网络连接设备的成本为1.52亿美元。5G网络切片租赁模式的累计总投入成本以及总体基础设施费用在这三者中最低。

图11:基于电网客户视角的总所有成本(TCO)比较 – 金额(美元)

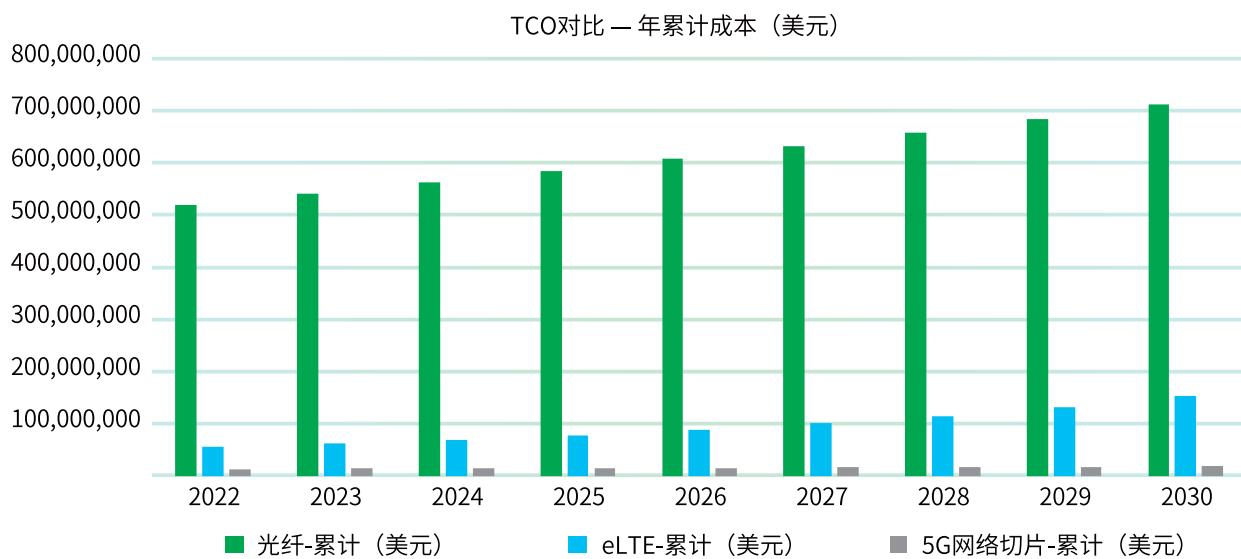
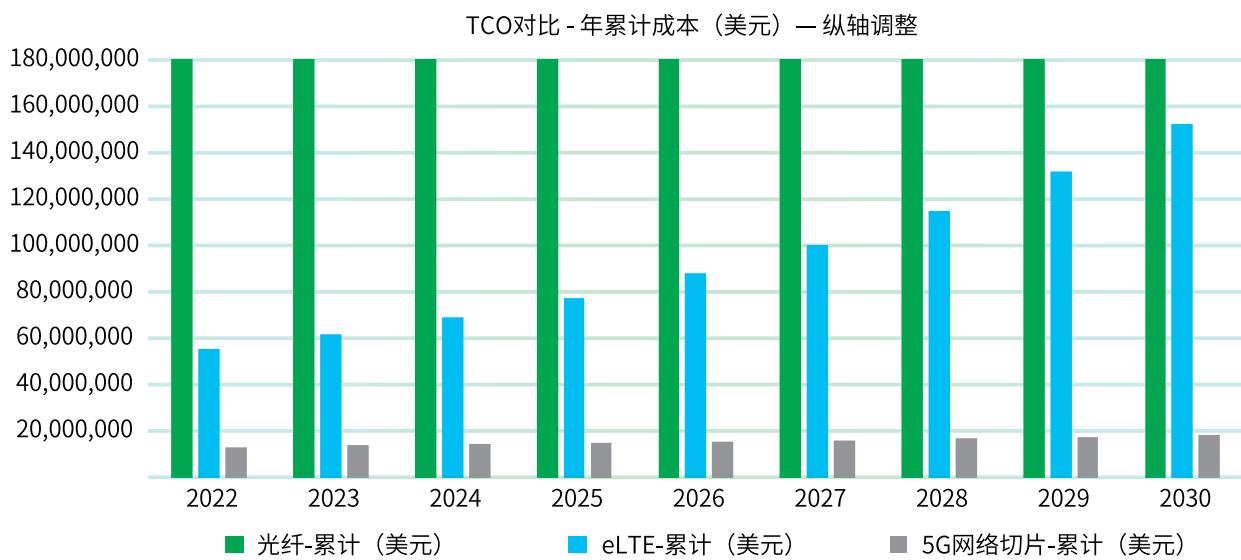


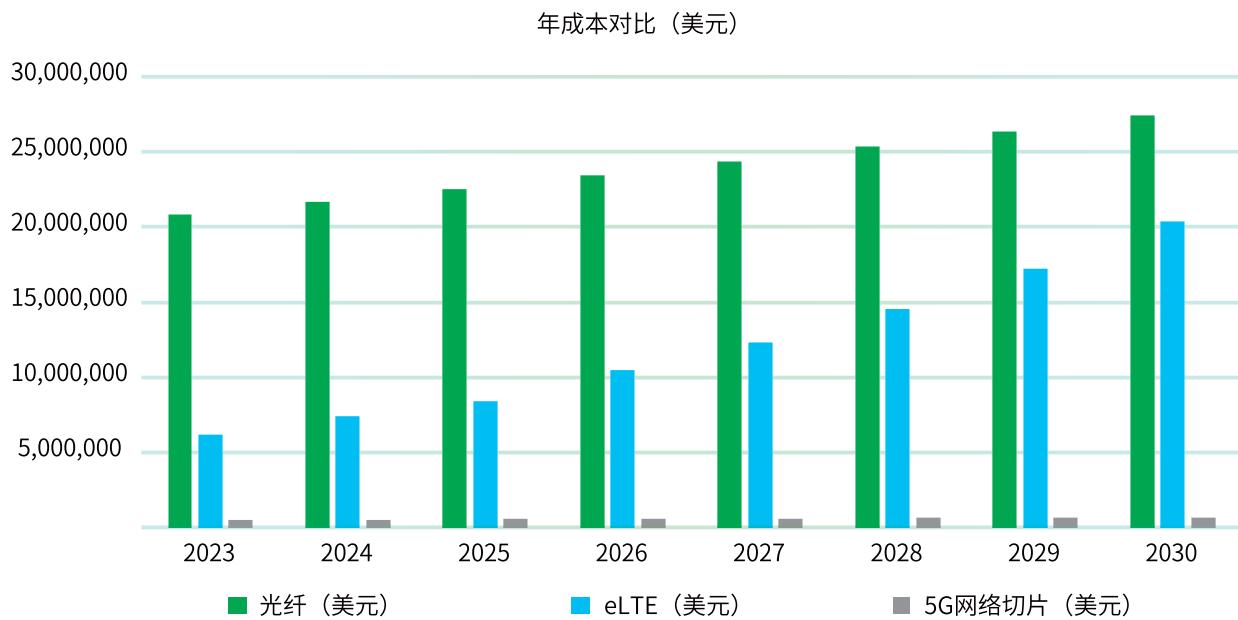
图12:基于电网客户视角的总所有成本(TCO)比较 – 金额(美元) - 纵轴调整



需要注意的是,计算总投资成本的前提是,假设网络运行要求的所有资本支出都已经提前支付。因此,如果未来连接设备的数量不断增长、这些网络投入使用,推动网络更新升级,那么成本的同比增长值将计入运营成本。

端设备的累积成本约为9,140万美元。2020到2030年,利用专用光纤网络连接设备的成本为7.11亿美元,通过专用4G LTE网络连接设备的成本为1.52亿美元。5G网络切片租赁模式的累计总投入成本以及总体基础设施费用在这三者中最低。

图13:年度运营成本对比(美元)



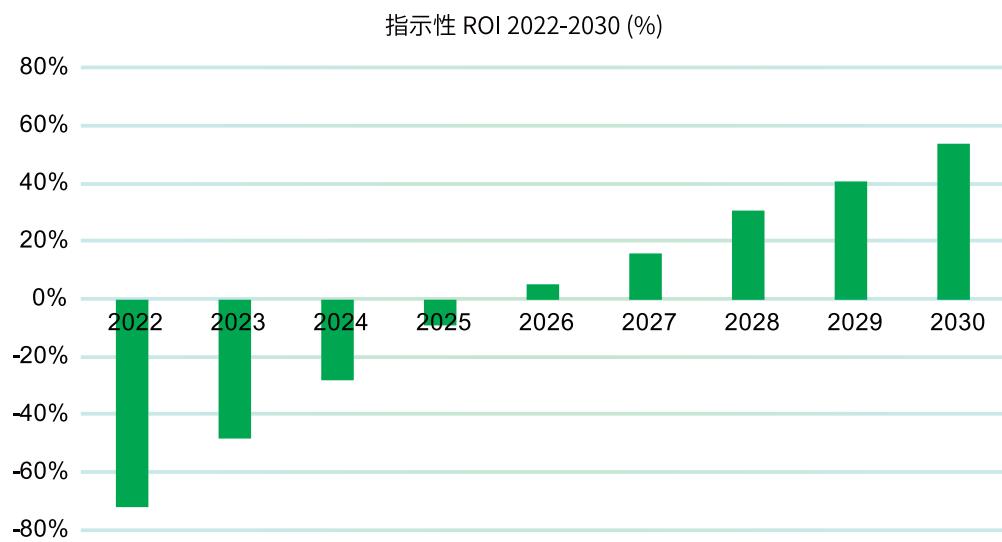
相比专网而言，5G网络切片的整体成本较低，主要原因之一便是网络共享。5G网络切片通过一张共享基础设施网络，可以满足不同垂直行业不同应用场景的定制化需求，因此运营商可避免重复投资建设多张网络。在应用场景不断增加的情况下，这大大降低了每一个应用场景的硬件资本支出。使用5G网络切片，运营商可使用同一基础设施服务于不同垂直行业的应用场景，无需增加重复基础设施投资便可为每个应用场景提供不同QoS/SLA水平的定制化服务。这大大降低了5G网络切片的总投资成本，从而帮助运营商获得更高的投资收益。

#### 4.2 基于运营商视角的指示性投资回报率(ROI)论证

通过计算投资回报率评估该区域公用事业单位5G网络切片使能智能电网三个典型应用场景的投资回报率，分析使用网络切片为电网公司创造的附加价值(收入增加/节约成本)。为了便于说明，我们用每台设备的单价来计算运营商可从电网公司获得的年收益。假设运营商为配电自动化设备提供网络切片服务的价格为200美元/年，为高级计量AMI提供网络切片服务的价格为20美元/年，为无人机设备提供网络切片服务的价格为40美元/年，那么从2022年算起，该运营商不到五年便可实现收支平衡。



图14:总体指示性ROI分析



为了证明运营商将5G网络切片应用于智能电网能够获利,我们对2个典型应用场景的投资回报率之和进行了估计(图15-图16)。为电力公司提供网络切片的运营商在五年内能够实现投资回报率转正。但是,如果我们仔细分析这些应

用场景,不难发现,有的应用场景投资回报率的增长速度更快,因此,运营商在刚开始更倾向于为这一类应用场景提供服务。

图15:配电自动化指示性ROI分析

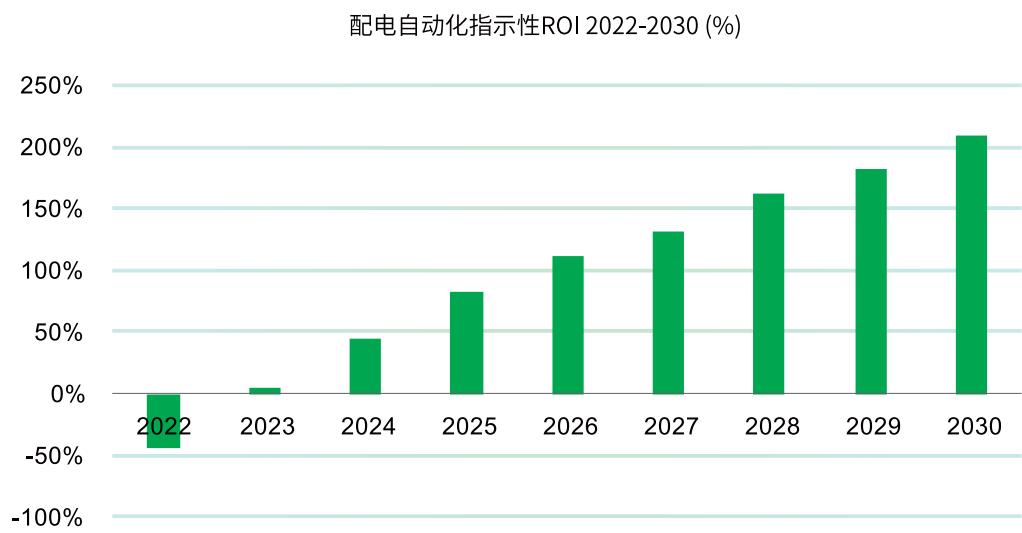
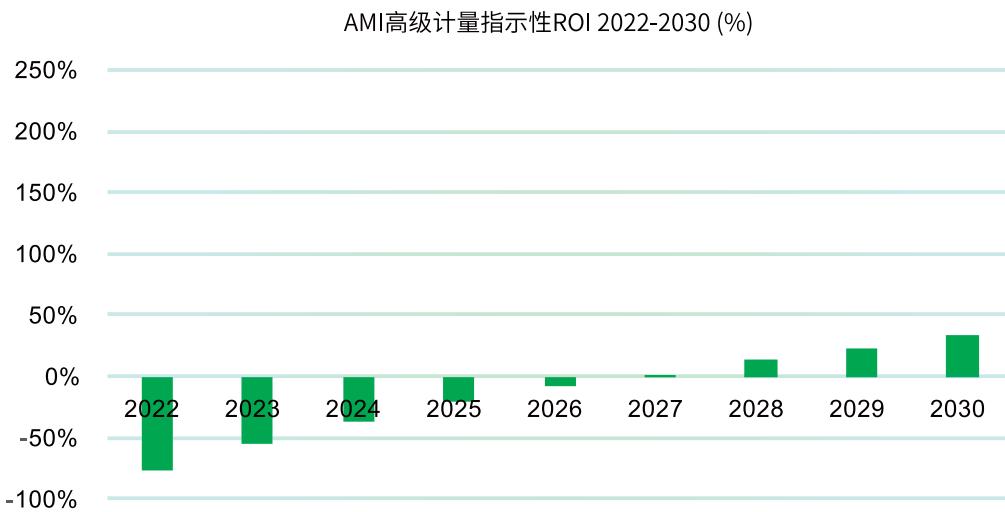


图16:高级计量指示性ROI分析



配电自动化设备的投资回报率最高，因为运营商对应于超高可靠、低延迟通信(uRLLC)的切片定价较高。事实上，运营商与电网公司在评估不同应用场景的定价结构时，需要首先就智能电网应用场景的关键网络指标(KPI)达成一致，然后基于不同的QoS/SLA服务质量，针对不同的网络切片制定不同的价格结构。这样电网公司在节省成本的同时，也可以按需获得更好的网络服务，从而提升电网本身

运营效率，并为最终用电用户提供更好的服务，实现运营商和电网公司的双赢。

当然，需要强调的是，除了技术可行性和商业可行性验证之外，5G网络切片要想真正在智能电网规模应用，还需要解决政策管理规定等相关问题，并通过严格第三方安全可靠性测试。



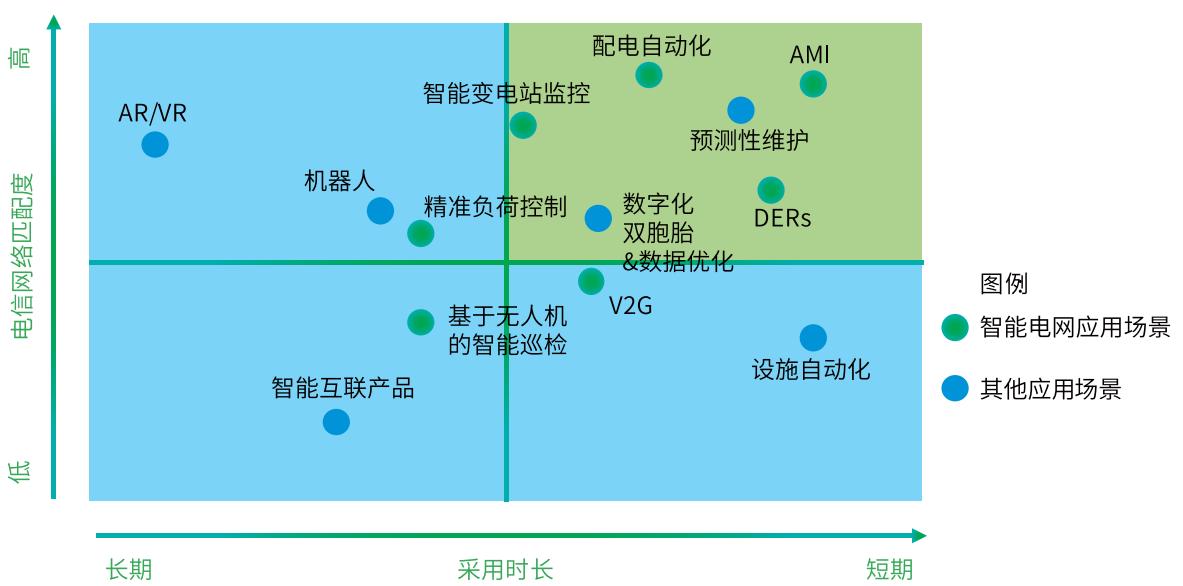


## 5.0 结论

5G网络切片使能智能电网的应用场景能够为电网公司带来诸多益处，因为网络切片作为一个生态系统，能够灵活应对不同的应用场景。现有的通信技术存在诸多局限，无法应对新的业务场景的发展需求。而网络切片能够突破现有技术局限，为电网公司带来了高附加值，同时运营商也有机会与电网公司建立更加密切的合作关系。

除了技术方面，网络切片还可带来其他益处。网络切片仅通过一张共享基础设施网络，便可满足多种应用场景的需求，因此它极具吸引力，同时在商业上也具有可行性，这一点已被广泛接受。如果想要将网络切片应用于智能电网的多个应用场景，运营商必须评估其他垂直行业，发现更多可通过同一张物理网络服务的应用场景，实现投资回报率最大化。

图17:5G网络切片使能智能电网应用场景



如果运营商能够针对不同应用场景，使用同一网络基础设施提供40~50个甚至更多数量的网络切片服务，那么便有望在2-3年内实现收支平衡，具体时间的长短取决于运营商的定价结构以及针对不同应用场景的网络切片附加值定义。智能电网的应用场景及其他垂直行业需要一个灵活且可定制的网络支撑终端设备与日俱增的更高通信需求。

运营商倾向于将获得投资回报速度更快的应用场景作为初始服务对象，之后再扩展至其他应用场景。

毋庸置疑，如果运营商想要参与向数字经济转型的过程，就需要尽快发展5G网络切片。不久的将来，5G网络切片的盈利潜力将不断增加，同时它在通信网络中的重要性也会与日俱增。投资网络切片的运营商必将从中受益。



## 6.0 缩略语

TCO总拥有成本

ROI投资回报率

AMI高级计量

DA配电自动化

DR精准负荷控制/需求响应

V2G智能汽车充电站/桩

DERs分布式能源

VPPs虚拟电厂

SLA服务等级协议

eMBB增强型移动宽带

mMTC海量机器类通信

uRLLC超高可靠超低时延通信

PMU同步相量测量

SDN软件定义网络

NFV网络虚拟化

SBA服务化架构

KPI关键业绩指标

TTI发射间隔时间

QCI服务质量等级标识

PLC电力线载波

NB-IoT窄带物联网

NSaaS切片即服务

ARPU每用户平均收入





## 7.0 参考文献

[1] Smart Energy International, “China to invest \$77.6 bn in smart grid infrastructure”, 4 August 2016  
<https://www.smart-energy.com/region-al-news/north-america/smart-grid-china-northeast-group/>.

智能能源国际,“中国将投资776亿美元用于智能电网基础设施建设”,2016年4月8日,<https://www.smart-energy.com/region-al-news/north-america/smart-grid-china-northeast-group/>.

[2] “The value of 5G for cities and communities”,  
<https://d10wc7q7re41fz.cloudfront.net/wp-content/uploads/2018/03/Smart-Cities-Report.pdf>.

“5G对城市及社区的价值”,<https://d10wc7q7re41fz.-cloudfront.net/wp-content/uploads/2018/03/Smart-Cities-Report.pdf>.

[3] Adrien Mathew, “Which Communications technologies for AMI projects?”, <https://www.bearingpoint.com/fr-ch/blogs/blog-energie/which-communications-technologies-for-ami-projects/>.

阿德里安 · 马修,“针对环境智能的通讯技术”,  
<https://www.bearingpoint.com/fr-ch/blogs/blog-energie/which-communications-technologies-for-ami-projects/>.

[4] Huawei, “5G Unlocks A World of Opportunities\_ Top Ten 5G Use Cases”, Page 12 <https://www-file.huawei.com/-/media/CORPORATE/PDF/mmb/5g-unlocks-a-world-of-opportunities-v5.pdf?la=en>.

华为,“5G时代十大应用场景白皮书”第12页,  
<https://www-file.huawei.com/-/media/CORPORATE/PDF/mmb/5g-unlocks-a-world-of-opportunities-v5.pdf?la=en>.

[5] James Conca, Forbes, “ ‘Demand Response’ is how the Smart Grid Will Save Us Billions”, <https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2015/02/24/solving-americas-energy-future-requires-a-demand-response/#50e3e7705984>.

詹姆斯 · 孔卡,福布斯,“智能电网将通过需求反馈帮助我们节省数亿美元”,<https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2015/02/24/solving-americas-energy-future-requires-a-demand-response/#50e3e7705984>.

[6] Huawei,”5G Network Slicing Enabling the Smart Grid”, Page 10, <http://www-file.huawei.com/-/media/CORPORATE/PDF/News/5g-network-slicing-enabling-the-smart-grid.pdf>.

华为,“5G网络切片使能智能电网”,第10页,<http://www-file.huawei.com/-/media/CORPORATE/PDF/News/5g-network-slicing-enabling-the-smart-grid.pdf>.

[7] T&D World, “Utility Line Workers: One of the Top 10 Most Dangerous Profession”, <https://www.td-world.com/transmission/utility-line-workers-one-top-10-most-dangerous-professions>.

T&D World,“电网公司的一线工人:十大最危险的职业之首”,<https://www.tdworld.com/transmission/utility-line-workers-one-top-10-most-dangerous-professions>.

[8] eSmart Systems, "Thundercloud: Unleashing the Power of End to End Drone Operations in Power Line-inspections", <https://response.esmartsystems.com/hubfs/Content%20Offers/PDF/English/eSmart%20Systems%20Thundercloud%20.pdf?hsCtaTracking=3ea51137-de96-47bb-96c3-7472acf4fc9%7C9dff9505-3258-4494-8195-fb83fd5602e9>.

eSmart Systems, "Thundercloud: 在电力线路巡检中利用端到端无人机, 释放无人机潜力", <https://response.esmartsystems.com/hubfs/Content%20Offers/PDF/English/eSmart%20Systems%20Thundercloud%20.pdf?hsCtaTracking=3ea51137-de96-47bb-96c3-7472acf4fc9%7C9dff9505-3258-4494-8195-fb83fd5602e9>.

[9] MMC," How drones benefit the power industry?", <http://www.mmcuav.com/2018/12/24/how-drones-benefit-the-power-industry/>

MMC,“无人机如何惠及能源产业?”, <http://www.mmcuav.com/2018/12/24/how-drones-benefit-the-power-industry/>

[10] Ericsson, British Telecom, "Scalable Network Opportunities, An economic study of 5G network slicing for IoT service deployment," Ericsson, Stockholm, 2018.

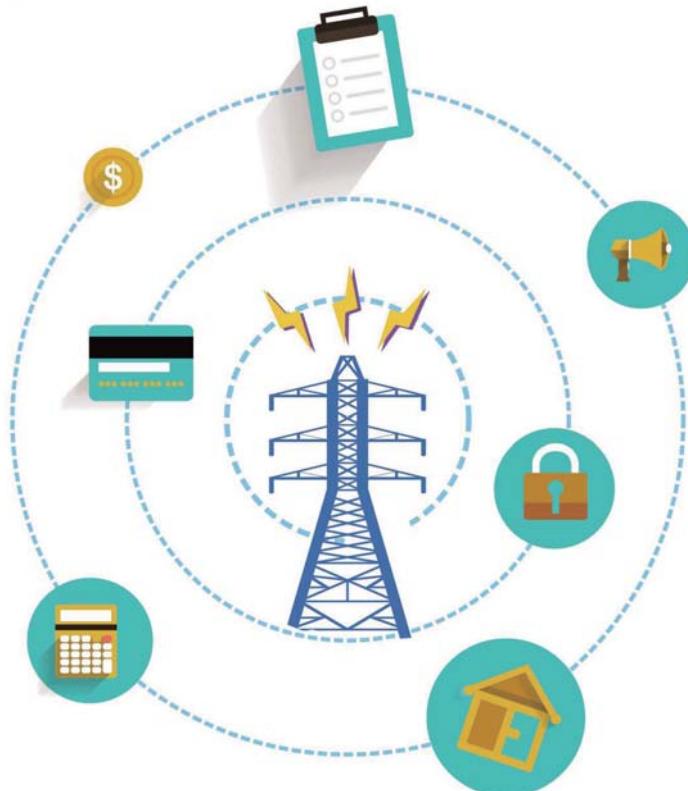
爱立信, 英国电信, "可伸缩网络的机遇, 5G网络切片应用于物联网的经济分析", 爱立信, 斯德哥尔摩, 2018.

[11] Huawei, Leading New ICT Building a Better Connected Smart Grid (Huawei in Smart Grid), Huawei Technologies Co. Ltd., Shenzhen, 2016.

华为, “引领新ICT,共建全联接世界”(华为智能电网), 华为技术有限公司,深圳, 2016

[12] "2017 Electricity & Other Energy Statistics (Update of June 2018)." Translated by China Energy Portal, 2017 Electricity & Other Energy Statistics, China Energy Portal, 14 June 2018, [chinaenergyportal.org/en/2017-electricity-other-energy-statistics-update-of-june-2018/](http://chinaenergyportal.org/en/2017-electricity-other-energy-statistics-update-of-june-2018/).

“2017年电力及其他能源数据(2018年6月更新)”中国能源门户译,2017年电力及其他能源数据,中国能源门户, 2018年6月14日, [chinaenergyportal.org/en/2017-electricity-other-energy-statistics-update-of-june-2018/](http://chinaenergyportal.org/en/2017-electricity-other-energy-statistics-update-of-june-2018/).



该报告是按照华为公司的要求完成的一项客户调查, 是一份独立的评估报告。IHS Markit对该报告和当中的所有分析及内容负全部责任。该报告中的分析及衡量标准谨代表IHS Markit公司的观点。

**IHS Markit Customer Care:**

CustomerCare@ihsmarkit.com

Americas: +1 800 IHS CARE (+1 800 447 2273)

Europe, Middle East, and Africa: +44 (0) 1344 328 300

Asia and the Pacific Rim: +604 291 3600

**产业报告相关联系人:**

华为技术有限公司 杨晓华 yangxiaohua@huawei.com

国网南京供电公司 李维 liwei.nj@js.sgcc.com.cn

中国电信智能网络与终端研究院 夏旭

Xiaxu.bri@chinatelecom.cn

**执笔单位：**

中国电信智能网络与终端研究院

中国电信股份有限公司江苏分公司

中国电信股份有限公司南京分公司

国网江苏省电力有限公司

国网江苏省电力有限公司南京供电分公司

全球能源互联网研究院有限公司

国网江苏省电力有限公司电力科学研究院

华为技术有限公司云核心网产品线

华为技术有限公司SPO LAB

IHS Markit