资料编码

eWBB 智能电网解决方案白皮书

文档版本　v1.0

发布日期　2013-01-30

华为技术有限公司

HUAWEI

目　录

1 概述

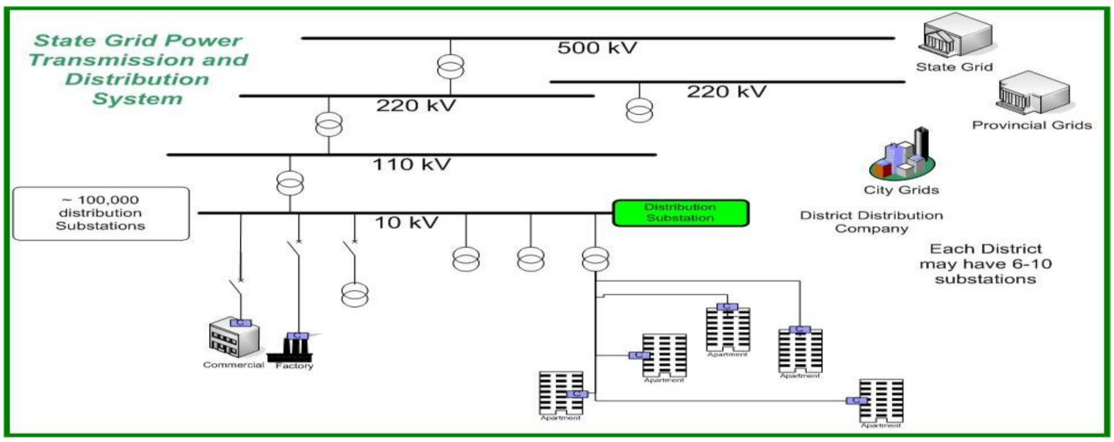
1.1 智能电网行业背景

“智能电网”的概念首先由奥巴马政府的能源班子提出。智能电网利用现代信息通信、控制技术，整合电力设施、设备、信息、以及市场成为协调的、协作的过程，使得电能的生产、分配、消费更加经济与有效，适应接纳新能源电力、满足双向互动等电网服务需求，提供可靠的电力供应。智能电网的覆盖范围包括从需求侧设施，到广泛分散的分布式发电，再到电力市场的整体电力系统和所有相关环节。

2009 年 5 月，国家电网公司首次公布了“坚强智能电网计划”， 以特高压电网为骨干网架，大范围能源资源优化配置，供电和用电并重，满足大规模可再生能源发展需要，集中和分散并重，以集中为主的坚强智能电网。2009 年 5 月，国家电网公司首次公布了“坚强智能电网计划”，分为三个阶段：第一阶段(2009~2012 年)是研究试点阶段，重点开展规划、制定技术和管理标准，开展关键技术研发和设备研制，以及各环节试点工作。第二阶段(2012~2015 年)是全面建设阶段，加快特高压电网和城乡配电网建设。第三阶段(2015~2020 年)是完善提升阶段，全面建成我国坚强智能电网，技术和装备全面达到国际领先水平。

总体上，中国的电网呈“骨干网强、接入网弱”、“高(电压)端强，低端弱”的态势，配电、用电环节的通信水平相对输电网而言差距较大，正是智能电网大有可为的场景。

1.2 电力系统背景介绍



电力系统由发电厂、电力网、配电系统、电力用户、用电设备这几部分组成。上图是其中配电系统的结构图，电力通信系统主要就是关注配电系统数据的传输和各个站点以及用电终端数据的采集。按照电压分电力网分为特高压网、超高压网、高压网、中压网、低压网。10kV 以下的是中低压网，无线接入主要分布在中低压网的各个站点以及终端上。

下面介绍一下中低压电网的一些常见的电力设备以及终端。

1. 柱上开关

位于路边电线杆上，沿线布放。主要是控制所控制片区进行过流保护。

2. 台式变压器

位于路边电线杆上，零星沿线布放。应用在220V市电变压的位置。

3. 环网柜

一般位于小区附件，零星分布。有过流保护开关的功能。

4. 配电房

一般位于住宅，商业区和工厂。主要是对所管辖区域进行供电断电管理。

5. 智能电表

除了具备用电数据记录外，还有射频功能，可以将用电数据通过无线方式传输出去。

1.3 电力系统对通信需求

1、配电终端的自动配置

应用在柱上开关、变压器、环网柜、配电房等场所。

配电终端具有具有结构复杂、数量多、分布广、固定位置的特点，配置过程对时延要求比较高。因此对于无线通信网络的覆盖能力，对无线传输时延，对于无线终端设备防极端温度、防潮、防尘、防雷的性能都有很高的要求，对于各种环境下通信终端的安装也有较高的要求。

2、用电终端数据的采集

主要应用在智能电表用电数据采集场景。

用电终端具有数量巨大、分布广、位置固定的特点，数据采集具有短时间数据量大的特点。对于无线通信网络的传输速率有比较高的要求。

3、视频监控

主要分布在一些关键的场所，如配电房、变电站、展厅；在电力现场进行视频指挥。

视频监控对于传输带宽的要求比较大。对于无线网络的传输速率有比较高的要求。

4、集群

野外作业通信，办公室，大型变电站等场所。

集群业务具有人员分布分散的特点，而且人员作业的环境比较复杂。有高压强磁场的环境，因此对于终端抗高压强磁场的性能有要求。

1.4 电力通信网络目前存在的问题

配电网处于电网末端，连接着电力最终用户，具有结构复杂、数量多、分布广的特点。随着社会和经济发展，一方面配电网越来越复杂，另一方面客户对供电服务的要求也越来越高。建设坚强配电网，提升配电网管理水平，提供优质的客户服务，离不开先进的技术装备手段的支持，而自动化和信息化水平的提升依赖于通信。

配电网通信需要解决变电站和供电所、配电线路、配变和户表等环节的数据传输问题。目前，电力通信网络中占主导地位的光纤通信、载波通信均属于有线通信技术。但多年实践证明，有线方式难以解决中低压配网点多面广的通信问题。国内主要采用有线方式解决配电网骨干网络通信问题，而采用无线公网方式作为补充。无线公网方式由于安全性、可靠性和带宽流量方面的限制，不宜作为配电网骨干网络通信方式。详细分析如下：

1、变电站和供电所业务多，传输信息量大，目前采用自建或租用光纤方式解决通信问题。但无法满足操作人员和管理者户外工作的需求。

2、对配电线路上的监控点（含配变）没有好的通信手段，存在调度和管理的“盲区”。自建光纤和载波方式，因造价高，难以做到全部覆盖。而采用租用无线公网方式，1）降低了系统安全性；2）通常出于经济性，降低数据流量，从而降低了实时性；3）对运营商依赖程度大，因欠费等问题影响可靠性。

3、目前户表集抄主要采用低压载波和微功率无线方式，将户表数据传输到配变集中，再由配变统一上送。存在的问题是：1）带宽较低，传输数据量小，实时性低；2）受谐波和环境影响，可靠性难以保证；3）支持业务种类有限，难以直接与用户互动。

4、建设或运行费用高。以单个市区为例，配电网的设备数量从几十（站所），到几百（线路开关），到几千（配变），到几十万（户表）。需要考虑通信设备的建设成本和通道运维费用：1）光纤或其他有线方式初次建设费用高；2）租用无线公网方式运行费用高。

由上述分析可知，由于配电网通信网络薄弱，完全制约了配电网业务的发展。配电网通信方案需要在适应设备点多面广、环境各异的同时，还需要满足可靠性、实时性、安全性、经济性和带宽的要求，且配电网通信的难点在于中低压配电网通信问题。

在电网中，由于无线网络的发展不受限于地面线路结构，且最新的无线通信技术已经具备非视距传输能力强、抵抗自然灾害能力强、部署周期短、安全传输等优点，无线通信在电网配用电网中应用有着其不可比拟的优势。可靠、安全、快速、经济的无线通信方式是解决电网中低压配网通信难题的有效方式。

常用的无线通信方式及各无线技术的应用场景及对比分析如下所示：

技术	优势	劣势	结论
光纤	●高容量 ●远距离传输 ●时延短 ●私密性强	●网络部署困难，部署周期长 ●初期投资成本高 ●不便于后期扩容及网络调整 ●故障定位困难	适合重要配电和光纤铺设方便的信息点使用。
无线宽带专网	●**可自行分配上下行带宽资源，最大满足电力上行业务的大带宽需求** ●易于利用现网资源部署，部署周期短 ●大带宽和大面积覆盖 ●Qos和安全性高 ●组网灵活，不受空间及部署位置的限制 ●一张网络即可支持多种业务演进 ●**强大的网络管理能力** ●故障定位容易	●需要无线频率资源 ●需要专业的维护团队	适合终端数量庞大且分散的场景（**如低压配用电城网**）；光纤铺设困难、部署周期短、覆盖要求广的场景。
2G/3G公网	●无需进行前期的网络部署和后期维护 ●覆盖好 ●易扩展 ●成熟的产业链，便于通信模块定制	●**和公网共享资源**，业务传输可靠性低 ●私密性弱，安全性低 ●**带宽低，且基本都为下行业务，上行带宽非常小；时延大（1s以上）** ●业务无法演进 ●**完全依赖2G/3G电信运营商，没有网管，无法控制管理网络** ●话务繁忙时，QoS得不到保证	只能是权宜之计，不能作为大范围长期配网通信使用**（新疆7.5事件，公网的数据通信全面封锁，导致新疆电力抄表业务中断近半年，损失惨重）**

技术对比	TDD LTE	Wimax	HSPA	CDMA DO	TD-HSPA	McWill
国内主要频段	1.8G/2.3G/2.6G	1.8G/2.5G/3.5G	2.1G	800M/2.1G	1.9G/2.1G	1.8G/3.3G
载波/双工	1.4MHz/5M/10M/20M(TDD)	5，7，10MHz / TDD	5MHz / FDD	1.25MHz / FDD	1.6MHz / TDD	5MHz / TDD
接入方式	OFDMA	OFDMA	CDMA+TDMA	CDMA+TDMA	TDMA+CDMA	CS-OFDMA
下行峰值速率	71Mbps（10MHz单扇区）	35.36Mbps（10MHz,单扇区）	14.4Mbps	3.1Mbps	2.8Mbps	15Mbps
上行峰值速率	36.54Mbps（10MHz单扇区）	11.98Mbps（10MHz单扇区）	5.76Mbps	1.8Mbps	384kbps	5Mbps
单载扇支持同时在线用户数	400	256	256	61	24	几十用户
支持移动速度	400km/h	120km/h	350km/h	350km/h	120km/h	100km/h

通过上述比较分析，发现无线宽带TDD-LTE具有高上行带宽、终端种类丰富等特点，同时其“上、下行带宽可调，最大上行比下行可达3：1”的特点能够满足视频回传等上行高带宽并发业务应用需求，适合电力行业应用。本方案推荐采用TDD-LTE技术来解决中低压配电网通信问题，特别是中低压配网设备密集、无线环境较为复杂的城区。

华为公司成熟应用的华为无线宽带专网 TDD-LTE 系统可以完成电力通信工程的建设。本无线宽带解决方案是基于第四代（4G）无线通信技术（OFDM 及 MIMO），根据电力输电、配电、用电网络的信息采集与远程控制、视频监控等业务的需要进行研发的。这种基于 IP 的新一代无线通信技术，能够在非视距的条件下为用户提供固定及车速移动等应用场景下的宽带无线接入业务。此方案可以提供高速、高带宽的数据上下行接入业务，亦可提供集群 VOIP、视频监控等多种增值业务。

2 解决方案介绍

2.1 智能电网通信的组网

2.1.1 整体架构方案

图 1 智能电网无线解决方案架构图

整个解决方案可以分为接入通信层、子站通信层、主站控制层，下面分别介绍这几层的构成。

- 接入通信层

  指的是从企业终端到传输网络这一段，包括了手持终端、CPE、配电终端、摄像头、电表、数据采集终端等设备。企业终端通过完全网关或者直接和CPE连接；CPE通过无线空口和基站通信。

- 子站通信层

从基站到核心网这一段。通过光纤传输连接各个基站和核心网，大部分电力系统已经有了现成的传输网，只需要把基站连接到传输网。

- 主站控制层

  这一层是通信系统和电力系统之间数据的交互，包括网管对通信系统的管理和电力主站对电力终端的管理，都通过和核心网的交互传输到个通信终端和电力终端。主站内部的局域网一般电力系统都已经建设完成，通信核心网只要接入电力网络即可。

2.1.2 子网方案

1、 配电子网

- CPE对接DTU（无网关）

  CPE对接DTU（无网关）的组网具有下面的特性：

  CPE和DTU组成局域网；

  DTU通过FE口与CPE连接；

  DHCP server通过CPE自动分配DTU的IP地址；

  CPE具有NAT功能；

图2 CPE对接DTU(无网关)示意图

- CPE对接RTU（带安全网关）

  CPE对接RTU（带安全网关）的组网具有下面的特性：

  CPE和安全网关组成局域网，这个时候CPE可以和多个RTU相连；

  DHCP server通过CPE自动分配安全网关的IP地址；

  CPE具有NAT功能。

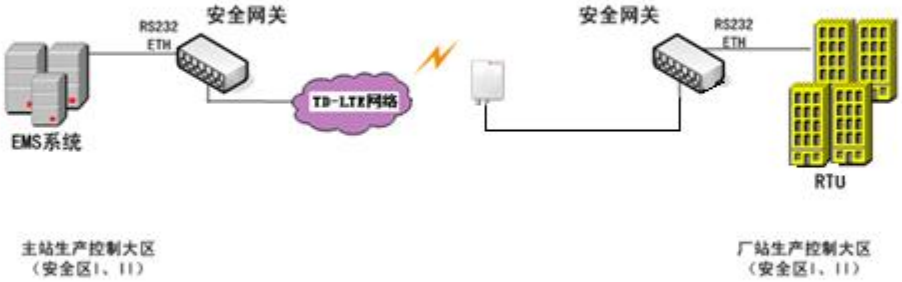


图3 CPE对接RTU(带安全网关)示意图

2、 智能集抄子网

智能集抄子网具有下面的特性：

CPE和集中器组成局域网；

CPE和集中器之间通过FE接口来连接，还可以根据集中器提供的接口来定连接的方式；

CPE还可以接多个集中器，这个时候需要在中间加一个安全网关；

采集器和集中器之间的窄带载波传输网络由电力系统提供；

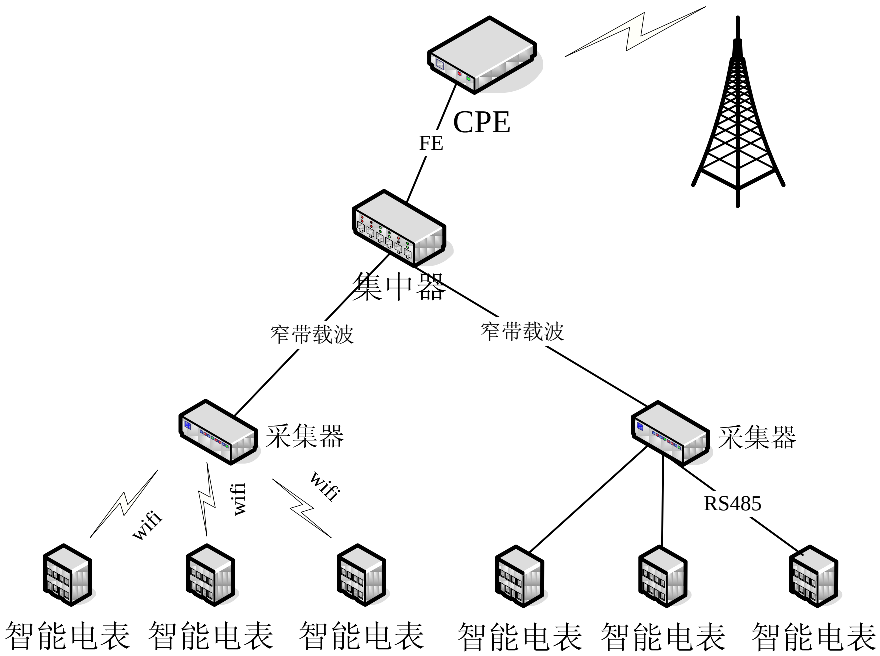


图4 智能集抄示意图

智能电表和采集器之间的数据采集要根据智能电表和采集器的性能来决定传输方式，可以通过wifi 无线和有线的方式来实现智能电表和采集器之间的通信，这一部分的实现也基本上由电力系统自己完成。

2.1.3 CPE 产品

我司目前提供了 1.8GHz 的 TDD-LTE CPE 产品，具有高增益、高发射功率等优势，可以根据客户需求提供其它频段的 CPE 产品。可以满足各种子网方案的需求。

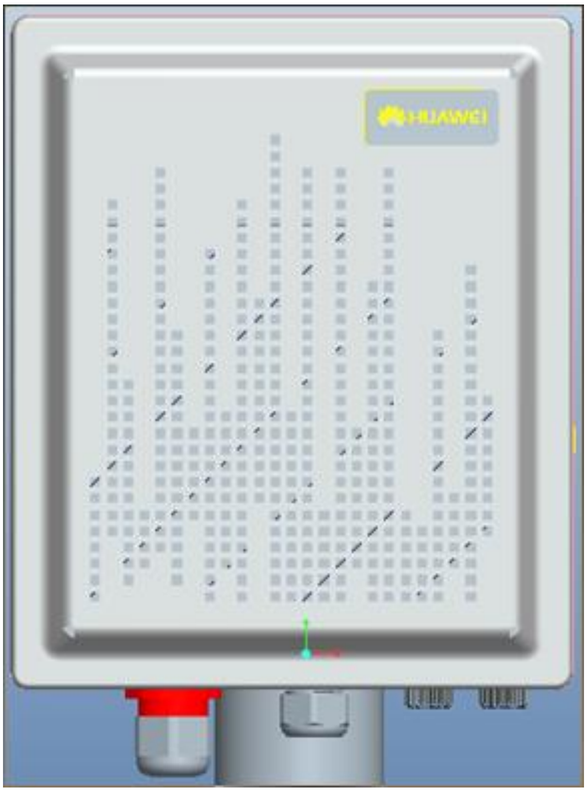


图 5 CPE 示意图

2.2 LTE 网络设计

2.2.1 网络

LTE网络的设计主要是对于基站的设计。理想的组网设计是实现客户需求的基础，这个阶段的工作很大程度上决定了网络最终的性能。组网设计的前提是明确客户需求，覆盖、容量、业务类型、用户数量、移动性要求，这些输入决定了需要设计的基站数量、基站配置、小区覆盖距离等重要信息。

组网设计包括如下的内容：

- 站址选择，明确基站站址。

  如果客户已经提出基站数量，则直接按照客户要求进行设计。如果客户已经确定站址位置，则省略站址设计步骤。在没有客户具体输入的条件下，根据用户覆盖面积，和我司设备在通常情况下的覆盖性能，可以大致推断出覆盖目标区域总计的基站数量，一般在最低数量基础上增加一定余量，以保证实际组网的覆盖可靠性。尽量均匀的在覆盖区域布放站点，可以利用Google地图寻找可用站址，保证站点形成蜂窝形状。这个阶段确

定的站点位置只是大致位置，甚至是指一个区域，在后续的勘测中，根据站点可获得性、后期可维护性、站高和周边建筑环境、用户分布来决定具体站址。

- 基站配置。

基站配置决定了一个基站覆盖区域所能提供的容量。根据用户数、用户总吞吐量、基站数量，可以大致计算出每个基站需要承载的容量，按照我司网规仿真口径中给出的单小区容量，可以评估单个基站需要配置几个小区。一般按照一个全向小区、3扇区来配置，在容量不足的情况下，也可以配置4扇区或者6扇区，但扇区越多，对频率带宽的要求越高。

- 频率规划。

LTE支持全网同频组网，即所有小区使用相同的频率，此时，系统频谱效率最高，但小区边缘处性能最差。在客户对性能要求较高的情况下，尽量使用异频组网。常用的异频组网是1×3×3方式，即一个基站的3个扇区使用不用的频点。如下图所示：

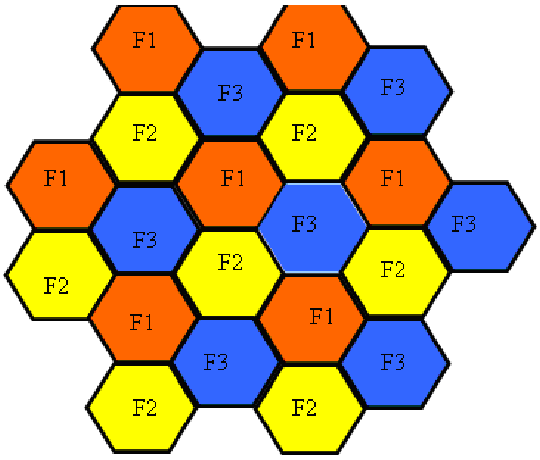


图6 1X3X3异频组网图

此时用户频谱需要划分成3个可用频带。1×3×3是频率复用度适中的方案，在多数场景中应用，在频率效率和系统性能取得折中。

- 天馈设计。

天线挂高取决于覆盖要求和可用站址实际情况。在一般城区，天线安装在屋顶抱杆，高度约25米，是比较典型的安装高度。

在郊区，广覆盖场景，需要使用更高的天线高度，一般安装在专用的通信塔上，站高40米以上。在三扇区配置中，基站天线一般使用65度水平波瓣的定向天线，其增益通常在17dBi以上。在全向小区配置中，基站天线使用全向天线，其增益通常在9dBi以上。

- 特殊场景覆盖。

用户环境千变万化，一般的设计无法保证100%满足覆盖要求。对于覆盖盲区，通过分布式天线、高增益天线、光纤直放站、RRU拉远来补充覆盖。

2.2.2 eNodeB 产品

我司的eNodeB、核心网提供了行业技术领先产品可以完成网络设计的各种要求。我司实现了先进的分布式eNodeB产品，即BBU和RRU分开布局。我司有丰富的eNodeB产品，多种支持公网的eNodeB产品和一系列支持企业网的产品，技术在业界领先，能够为客户提供多种高质量的选择。基带和射频单元之间采用CPRI接口，通过光纤连接传输CPRI信号。

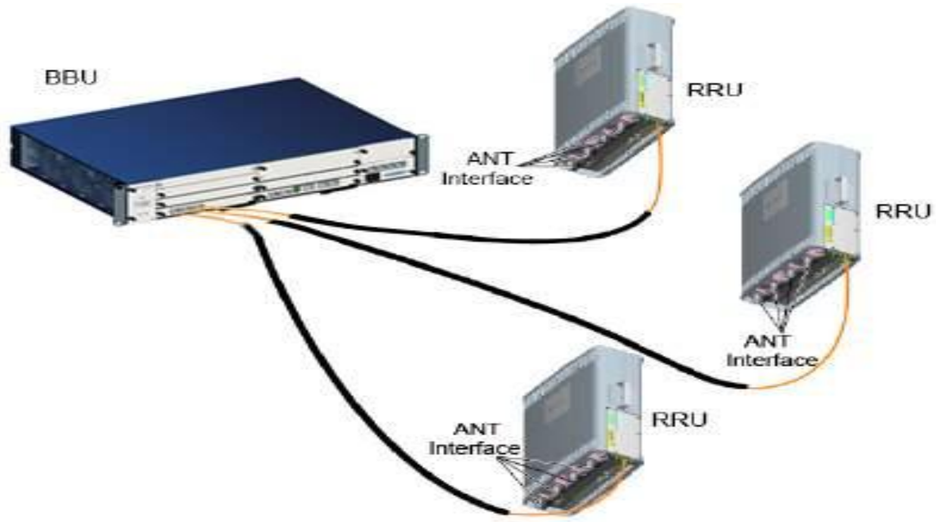


图7 eNodeB示意图

2.2.3 核心网产品

核心网主要负责对各个基站的维护以及各个 CPE 终端的注册、业务管理等。我司的核心网产品丰富，不仅支持不同制式、单框单柜，而且我司还针对企业网的特点制定了企业级产品，可以为客户提供性价比高的核心网产品

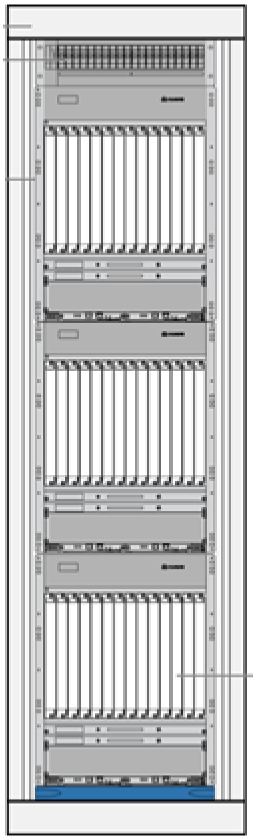


图 8 华为核心网设备示意图

2.2.4 网管

我司的网管致力于为用户提供界面友好的产品，针对企业网特别制定了企业级网管，使用户维护更加容易。

2.3 工程安装

工程安装主要涉及的 CPE 在各种室外场景的安装。下面根据 CPE 的安装场景分为室外安装、室内安装、地下室安装来分别进行介绍。

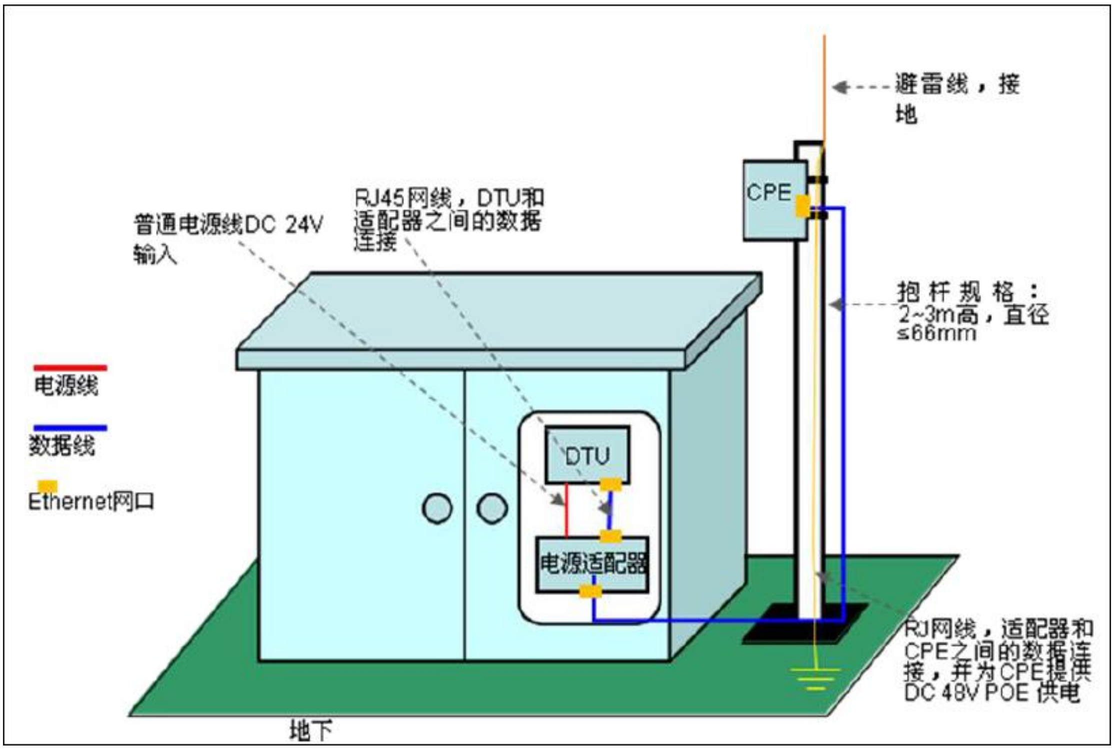
2.3.1 室外安装

1、 环网柜室外抱杆

室外抱杆的安装场景适合于CPE离基站比较远，覆盖弱的地方。

- DTU提供24V电源输入给电源适配器；
- DTU通过RJ45网线和电源适配器连接；

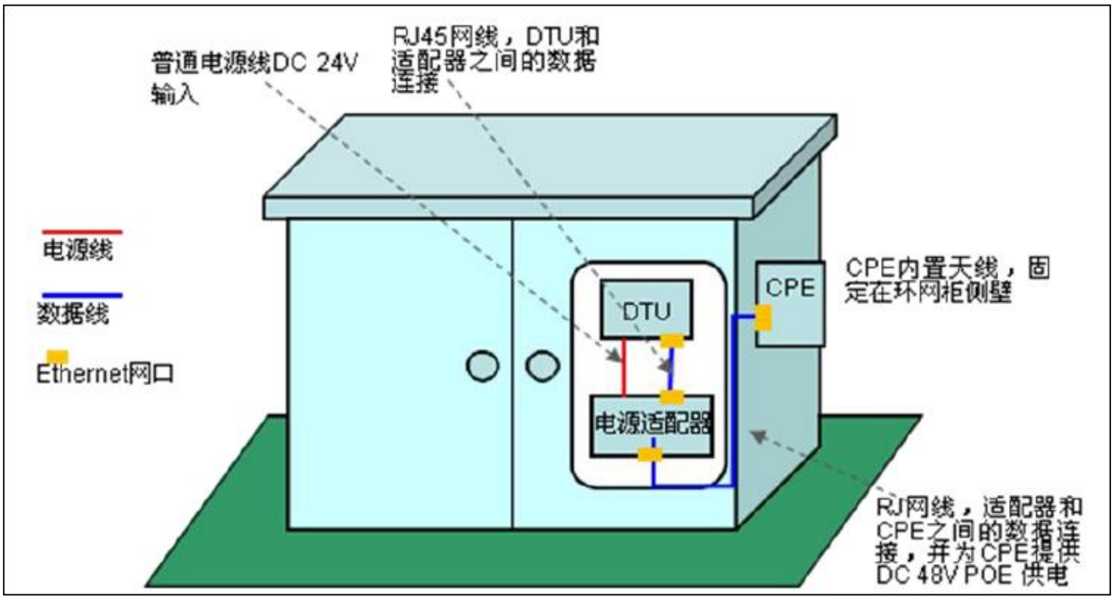
- 电源适配器通过RJ网线和CPE相连，和CPE传输数据并且为CPE提供DC 48V POE供电；
- 抱杆的高度不能太高，主要是考虑POE供电的距离问题，推荐2~3m高；
- 室外安装CPE涉及了避雷设施；
- 室外安装要为CPE涉及防护罩，可以对保护CPE起到一定作用。



室外抱杆工程图

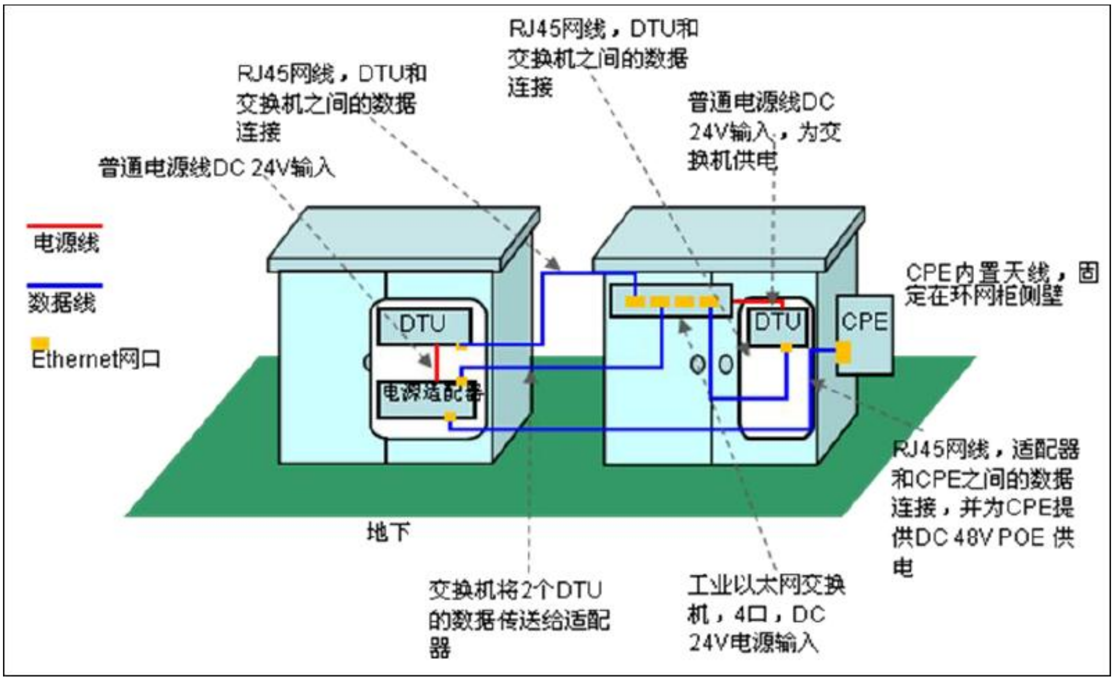
2、 环网柜室外挂壁

室外挂壁和抱杆基本上没有太大的区别，除了没有防雷的要求。



室外挂壁工程图

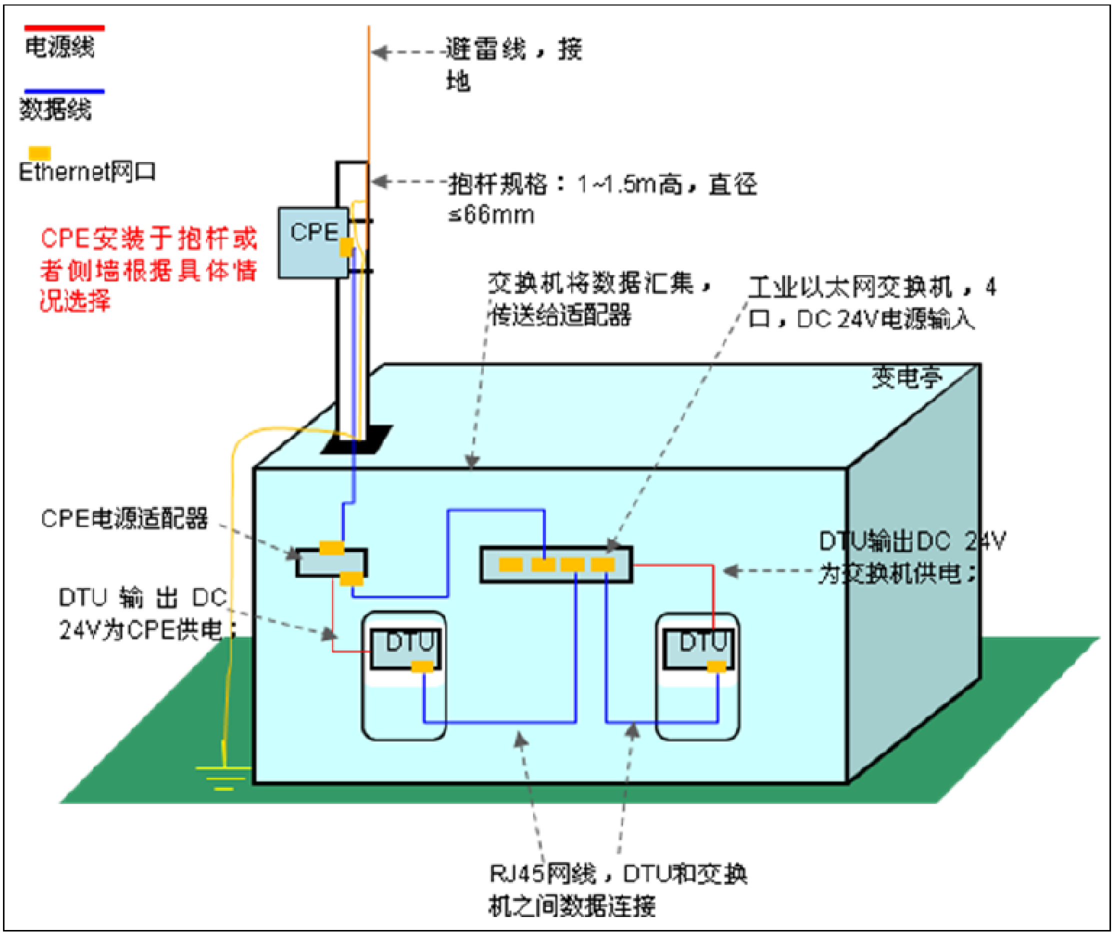
环网柜并柜的应用如下图所示，两个 DTU 通过交换机连到电源适配器。



室外环网柜并柜的工程图

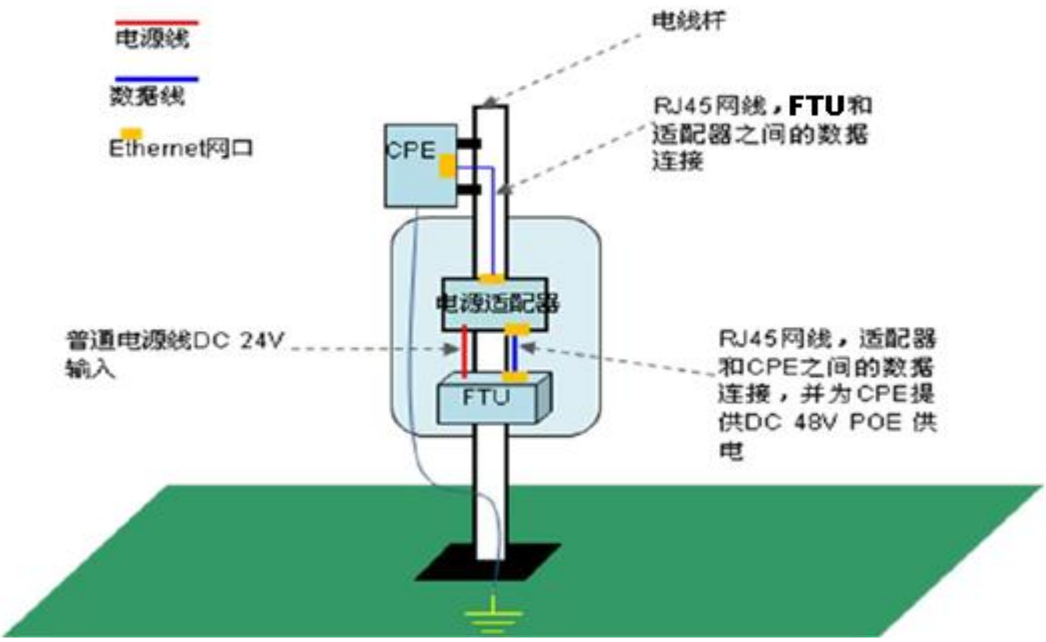
3、 室外变电所/配电房抱杆

工程和室外的环网柜抱杆安装没有区别，只是抱杆的位置放在了屋顶。



室外变电所/配电房工程图

4、 柱上开关

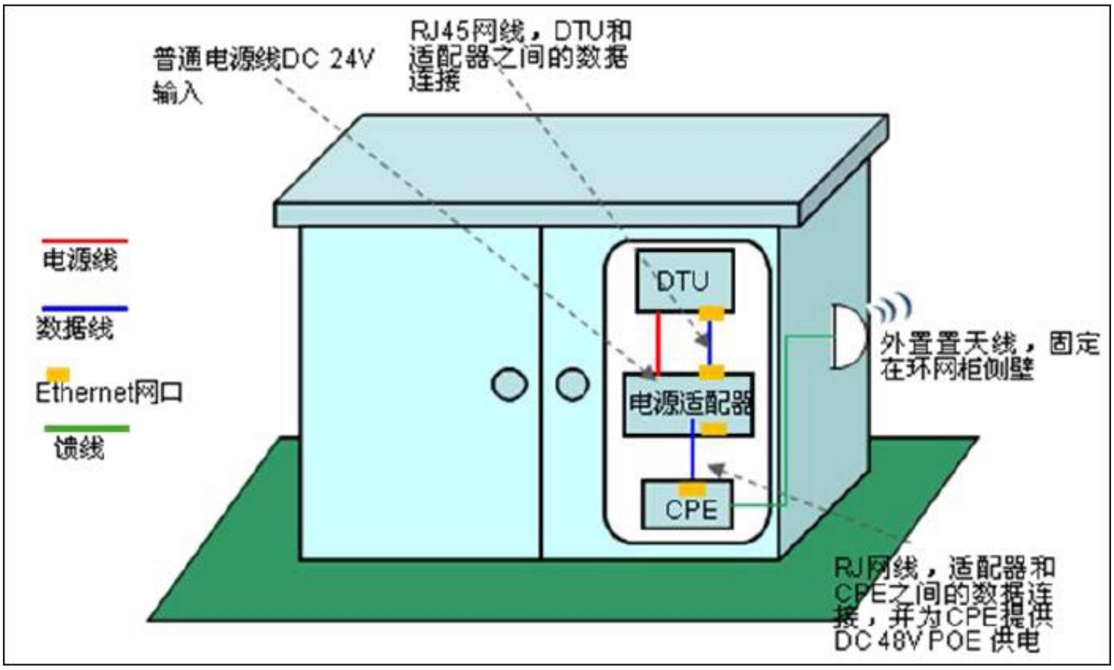


柱上开关工程图

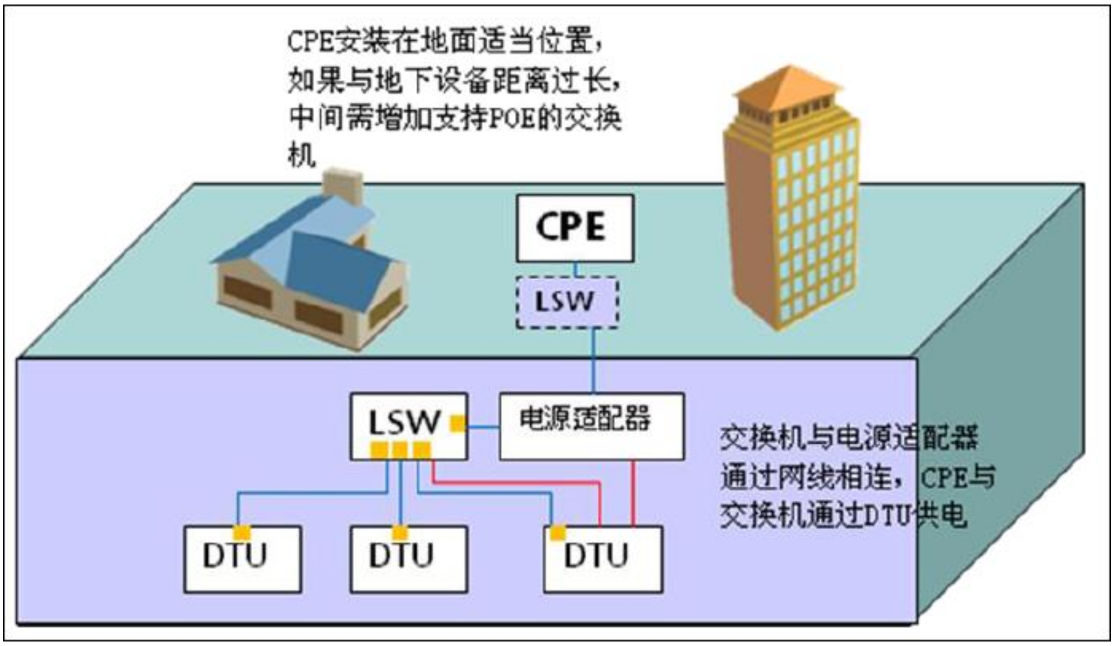
类似于室外抱杆的安装方式，电线杆充当了抱杆。

2.3.2 室内安装

通过外置天线的方式实现CPE放在室内，其它的安装方式和室外的一样。



2.3.3 地下室安装



地下室工程图

CPE 会安装在地面适当的位置，如果与电源适配器之间的距离过长，中间需要增加支持 POE 的交换机，否则电源适配器无法为 CPE 供电。

2.4 智能电网业务承载

2.4.1 配置业务

配置业务可以分为上行和下行业务。下行业务主要包括对开关站、环网柜、变电器的操作命令以及状态查询命令。上行业务基本上都是对下行命令的响应。大概的业务和性能要求如下表所示：

	业务类型	性能要求（不同设备的要求不同，只提取了最高要求）
下行	新建业务	端到端时延<5S，可靠性 99.5%
	动态命令	端到端时延<1S，可靠性 99.9%
	设备状态查询	端到端时延<4S，可靠性 99.5%
	sensor 数据收集	端到端时延<4S，可靠性 99.5%

上行	新建业务响应	端到端时延<2S，可靠性 99.5%
	动态命令响应	端到端时延<1S，可靠性 99.9%
	设备状态响应	端到端时延<3S，可靠性 99.5%
	数据收集响应	端到端时延<1S，可靠性 99.9%
	Alarm 上报	端到端时延<4S，可靠性 99.5%

配置业务的数据量都非常小，最大的基本上 1 天的数据量也就在 10k 以下，因此在数据量上面 LTE 是完全没有问题的。主要难点在于满足端到端 1S 时延的问题。端到端 1S 时延对于 LTE 网络的时延要求需要满足小于 100ms 时延才能满足要求，我司采用了特殊的处理方式来解决了突发性命令 100ms 时延的要求。

2.4.2 集抄业务

集抄业务只有上行的业务。集抄的数据量大概是 2400bytes/表/次，抄表的频率平时 15 分钟一次用于动态掌控用电数据，临晨 0 点会集中抄表，要求在 1 分钟内完成所有电表数据的收集。

集抄业务相对比较高的要求就是 1 分钟内完成电表数据的收集，这样 CPE 的传输速率会限制可以集抄的电表数据。我司目前的 CPE 传输速率 5MHz 带宽下都有最高超过 10Mbps 的传输速率，基站的上行业务吞吐量在 300Mbps，大大的超过了目前实际集抄业务对于速率的需求。

2.5 技术指标

2.5.1 LTE 方案的技术指标

设备	指标项	性能
核心网	吞吐量	4Gbps
eNodeB	支持频段	支持 LTE TDD 主流频带
	单扇区支持激活用户数(TDD)	1200（10MHz），600（5MHz）
	单扇区支持调度用户数(TDD)	200（10MHz），100（5MHz）
	单基站支持的小区数	12
	业务吞吐量	下行 450Mbps，上行 300Mbps

	最大输出功率	4X20W
	天线	最大支持 4T4R
CPE	支持频段	1.8GHz
	上行传输最大速率	5MHz 带宽下大于 10Mbps，10MHz 带宽下大于 20Mbps
	发射功率	23±2 dBm

3 解决方案的关键技术

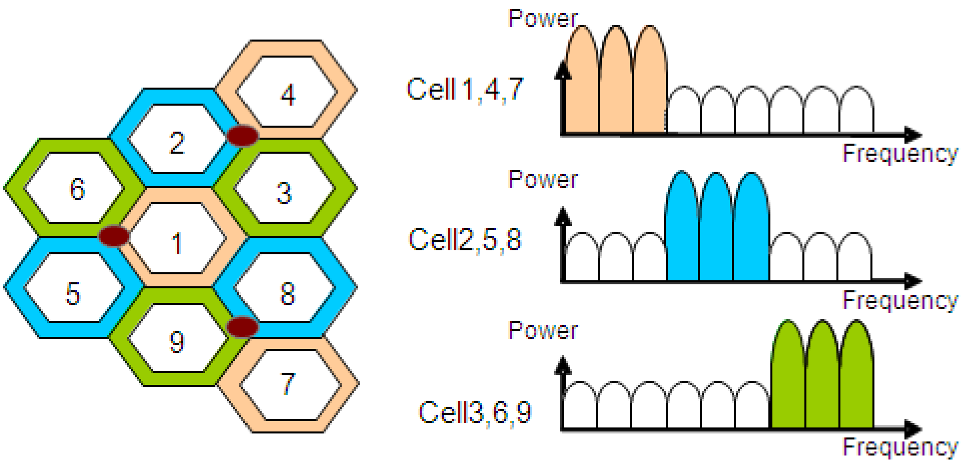
3.1 上下行配比 3：1

TDD LTE 支持灵活的上下行子帧配比，在上下行子帧配比 0（UL:DL 3:1）的情况下，上行业务吞吐量达到最大。智能电网业务上行数据量要远远大于下行数据量，因此在实际配置时应该尽可能选择 3：1 的上下行时隙配比。

Uplink-downlink configurations	Downlink-to-Uplink Switch-point periodicity	Subframe number									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

3.2 ICIC 技术

在 LTE 中为了提高频率利用效率同时保证边缘的信号质量，SFR 软频复用作为主流的频率复用方式应用在 LTE 规划中。SFR 频率复用时，初始时每个三扇区站点的每个小区边缘都使用不同的 1/3 频率，但每个小区中心区域可以使用相同的频率，如下图所示



4 商用实例

南方电网项目采用的是1.8GHz的频段，带宽10MHz，TDD-LTE制式的解决方案。我司的无线解决方案已经成功的实现了商用。

5 方案亮点

5.1 LTE 技术优势

1、LTE是第4带移动通信技术，是所有无线通信的最终演进方向；

2、LTE采用了MIMO，OFDM，HARQ等先进的无线通信技术，使得无线传输速率最高能够达到100Mbps以上；

3、LTE采用了扁平化的网络结构，只有核心网与基站两层，减少了信令交互的时间，使得业务传输时延在10ms以内；

4、TDD-LTE的频谱带宽灵活，可以支持1.4/3/5/10/20MHz的频率宽度，并且能够根据业务需求调整上行和下行的资源分配。

5.2 方案特有优势

1、我司LTE技术在业界处于领先，产品的稳定性已经得到了大量商用项目的验证；

2、我司方案支持突发性命令端到端1s时延的要求；

3、我司方案提供完整的QoS保障，为不同的业务提供丰富的差异性服务；

4、我司方案单个基站能够支持大量的用户，减少客户的建设费用，为以后电力终端扩容奠定了基础；
5、我司为核心网产品实现了单框构造，在布局安装上更加灵活；
6、我司特别为企业网开发了企业级的网管，使操作与维护更加简便；
7、我司提供的轻量解决方案大大降低设备体积、重量、功耗，提供绿色解决方案，降低了用户的CAPEX。

6 附录

表6-1 List of abbreviations 缩略语清单：

Abbreviations 缩略语	Full spelling 英文全名	Chinese explanation 中文解释
LTE	Long Term Evolution	长期演进
TDD	Time Division Duplex	时分复用
CPE	Customer Premises Equipment	无线客户端设备
RRU	Remote Radio Unit	远端无线单元
QoS	Quality of Service	服务质量
BBU	Base Band Unit	基带单元
ICIC	Inter-Cell Interference Coordination	小区间干扰协调
MIMO	Multiple Input Multiple Output	多入多出
HARQ	Hybrid Automatic Repeat-reQuest	混合自动重传请求
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	动态主机设置协议
RTU	Remote Terminal Unit	远方终端
DTU	Data Transmit Unit	数据传输单元
NAT	Network Address Translation	网络地址转换

Abbreviations 缩略语	Full spelling 英文全名	Chinese explanation 中文解释
OFDM	Orthogonal Frequency division Multiplexing	正交频分复用
CN	Core Network	核心网
eNodeB	evolved NodeB	演进 NodeB
eCNS	evolved Core Network System	演进的核心网设备