



配用电无线通信专网在复杂地理环境下的应用研究

郭志华¹, 薛晓慧¹, 厉娜¹, 万江飞², 陈平³, 林喜⁴, 景钦锋⁵

(1. 国网青海省电力公司 西宁 810008;

2. 中国石油天然气管道通信电力工程总公司 廊坊 065000; 3. 普天信息技术研究院 北京 100080;

4. 国网青海省电力公司黄化供电公司 黄南藏族自治州 812200;

5. 国网青海省电力公司海北供电公司 海北藏族自治州 812200)

摘要: 针对我国广大山区、丘陵等复杂地区的配用电无线通信专网建设与应用进行了研究。探索了在此类地区建设电力无线通信专网的必要性和紧迫性, 以及无线通信专网的功能性能需求和经济性要求。结合配用电业务需求对主流无线通信技术体制进行分析对比, 推荐适合该类地区应用的 LTE230 电力无线通信专网系统。提出 LTE230 的建设思路和应用模式, 促进该类地区智能电网建设。

关键词: 智能电网; 配用电通信网; 无线通信专网; LTE230; 4G

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015134

Application Research on Wireless Communication Private Network of Distribution Power Grid for Special Areas

Guo Zhihua¹, Xue Xiaohui¹, Li Na¹, Wan Jiangfei², Chen Ping³, Lin Xi⁴, Jing Qinfeng⁵

(1. State Grid Qinghai Electric Power Company, Xining 810008, China; 2. China Petroleum Pipeline Telecom & Electricity Corporation, Langfang 065000, China; 3. Potevio Institute Of Information Technology, Beijing 100080, China;

4. Huanghua Electric Power Company, State Grid Qinghai Electric Power Company,

Huangnan Tibetan Autonomous Prefecture 811200, China; 5. Haibei Electric Power Company,

State Grid Qinghai Electric Power Company, Haibei Tibetan Autonomous Prefecture 812200, China)

Abstract: The research in wireless communication network construction and application for power grid distribution and consumption were focused on. The needs and urgency of wireless network construction in the less complex areas were analyzed. The function, performance and economical requirement of the power grid wireless network was explored, including the comparison of common kinds of wireless network combining the needs of distribution and consumption in power grid. LTE230 system has been recommended for power grid wireless communication network. As the result, the way of construction and application model for promoting the social stability and harmonious sustainable development was given.

Key words: smart grid, distribution power grid, wireless communication private network, LTE230, 4G

收稿日期: 2014-09-15; 修回日期: 2015-05-13

论文引用格式: 郭志华, 薛晓慧, 厉娜等. 配用电无线通信专网在复杂地理环境下的应用研究. 电信科学, 2015134

Guo Z H, Xue X H, Li N, *et al.* Application research on wireless communication private network of distribution power grid for special areas. Telecommunications Science, 2015134



1 引言

从 2010 年起,美国、澳大利亚等多个国家积极开展基于电力通信网的建设,我国国家电网公司(以下简称国家电网)在“十二五”规划中也大幅度增加了配用电通信和信息化的投入。但我国不同地区差异明显,尤其是在农村、山区、丘陵地带及中西部地区电网建设相对薄弱,配用电通信网更是由于地区经济能力有限、通信基础薄弱等原因,致使通信和信息化程度偏低,难以满足电网快速发展的需求。

在复杂地区配用电通信网建设面临诸多困难:资金匮乏限制了建设的规模与进度;通信和信息化基础薄弱增加了通信网建设的难度;地域广阔、山区、丘陵等多种复杂地形使有线通信网的建设不具备经济性及工程可行性,即便普通的无线通信系统,也因覆盖能力有限、建成成本高等原因难以实现规模建设与应用。

国家电网和中国南方电网有限责任公司(以下简称南方电网)近年来采用租赁无线公网信道(GPRS/CDMA/3G)的方式,开展用电信息采集和配网自动化建设。但因公网信道存在可靠性、信息安全多方面的潜在问题,近期基于公网信道的配用电的采集与控制逐步放缓,国家电网逐步认识到租赁公网信道难以满足智能电网的发展需要,建设电网专用的配用电无线通信网是必要且合适的。

2 配用电通信业务需求及建网原则

该类地区配用电通信以数据为主,从成本角度考虑,应优先考虑建设以数据业务为主的广覆盖、低成本的通信专网。该通信网建设应遵循如下原则。

- 全区域覆盖,非点或线路覆盖。以满足覆盖区域内零散分布的配用电节点的灵活接入需求。
- 符合广覆盖、低成本要求,该类地区资金投入有限,网络建设应在可承受的经济范围内。
- 对通信基础设置要求低。仅需少量站点即可达到大面积覆盖的效果,避免为此进行征地等工作。
- 无需长距离布线。挖沟埋线或架空布线工作量大、成本高,线路易受多种人为或自然因素破坏,部署和维护工作量都很大。

基于以上原则,有线通信网难以满足要求,应选择适当体制的无线通信接入网。在无线通信网技术体制选择时,应遵循如下原则。

- 符合无线通信主流技术发展方向。适度领先且产业

链相对成熟,确保供货和售后服务有保证。

- 借用电力已有通信基础设施,避免全新站点建设。借用已有变电站、营业厅、微波塔等站点,降低基建投入。
- 设备免维护。系统及终端设备可实现远程维护,可进行远程故障诊断及恢复。
- 采用电力已有的 230 MHz 频谱资源。避免新频谱申请工作,保证频谱专用,避免行业间干扰。同时 230 MHz 低频谱可保证无线信号的覆盖效果。

3 配用电通信网构成及建网要求

配用电通信网可分为电力通信骨干网和电力通信接入网两大部分,如图 1 所示。电力通信骨干网目前以光纤为传输介质,采用 SDH/PTN/MSTP 一种或多种技术体制,覆盖各省/市/县供电公司、35 kV 及以上变电站、大多数供电所和营业厅,起到承担电力通信骨干平台的作用。电力通信接入网定位为骨干网的延伸,实现最后数公里的延伸覆盖,实现配用电终端节点的采集与监控,如各类表计的用电信息采集、配网自动化的各类线路开关(FTU)和站所节点(DTU)的“二遥”或“三遥”等。

4 无线通信专网技术体制

代表无线通信主流发展方向的 4G 移动通信技术逐步成熟,全球移动设备供应商协会在其最新的《LTE 演进(evolution to LTE)》报告中证实:已经有 101 个国家和地区的 274 家运营商推出商用 LTE 业务,到 2014 年底商用 LTE 网络达到 350 张。2014 年 2 月中国移动正式启动 TD-LTE 二期招标,计划在 31 个省、市、自治区进行 TD-LTE 网络建设。中国联通和中国电信也在启动多个 LTE 网络建设。

除 LTE 外,国内外还有多种无线通信技术,国家电网对不同体制无线通信网进行了长期调研及实际验证。先后关注 230 MHz 数传电台、WiMAX、McWiLL 等技术。这里结合配用电业务就几种常用的无线通信系统进行简要对比。

(1)传统数传电台

该系统属于 20 世纪 80 年代兴起的技术,工作在 223~235 MHz 等频段。具有组网简单、成本低等优势。

但该系统采用轮询机制,终端无主动上报功能,传输时延大,速率低(单主台带宽在 1.2~19.2 kbit/s)、系统容量小。实际使用中实现全部终端的单次轮询需 8~24 h。系统

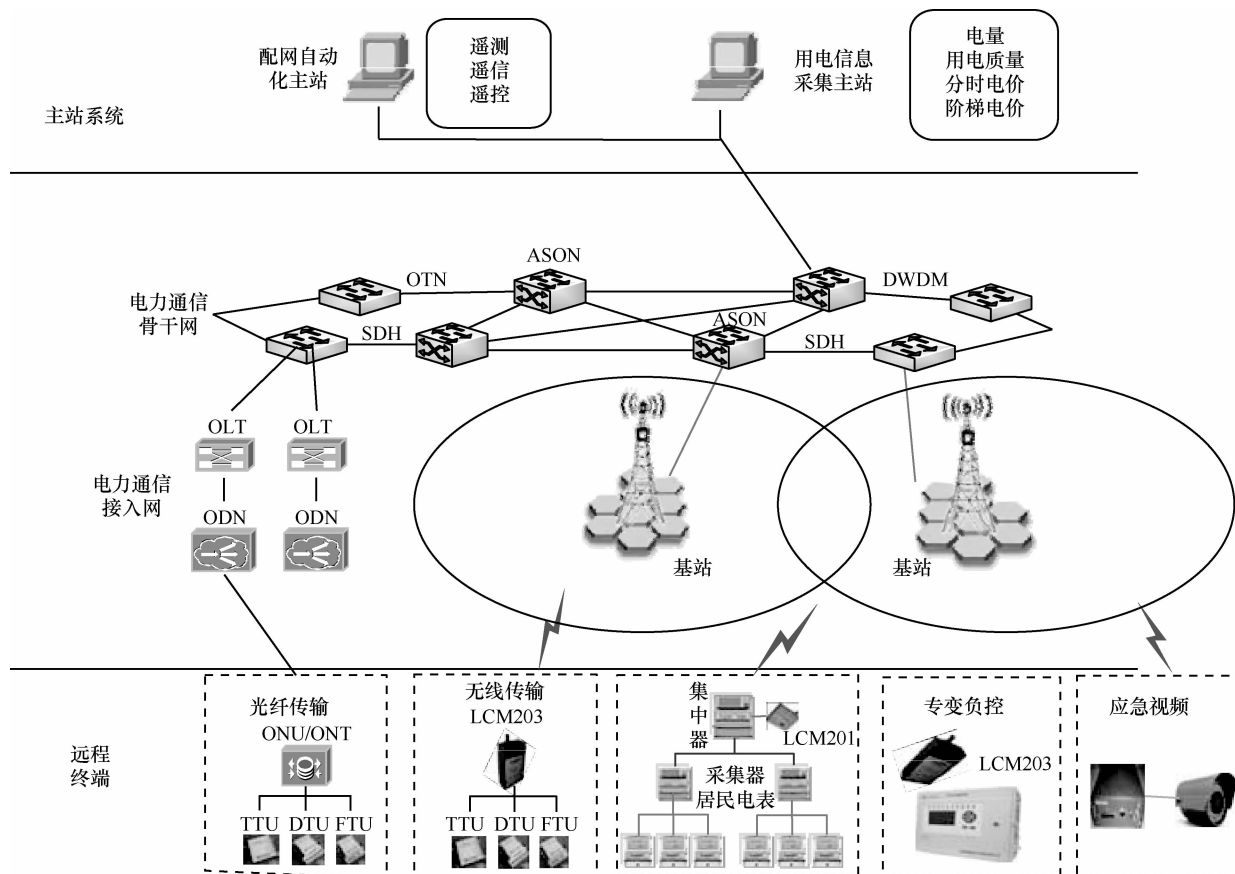


图 1 配用电通信网及业务承载示意

无专门的网管设备,可维护手段少,安全性差,目前各地电力公司在逐步停用该系统。

(2) WiMAX、McWiLL

这两种体制是基于 3G 核心技术的宽带无线接入技术,具有接入能力强、传输带宽大、非视距传输等特点。

但 WiMAX 为国外技术,我国不具备自主知识产权,国家电网与南方电网均明确表示不支持 WiMAX 系统在电网中的规模应用。McWiLL 系统在湖南、辽宁等电力公司已开展试点应用,但效果不理想,主要问题是实际覆盖距离近(市区有效覆盖距离为 1 km),无符合国家电网规范的终端产品。同时,McWiLL 与无线宽带 LTE 主流发展技术不相符,技术演进方向不明朗,产业链不完善,产品独家供货,后续规模应用存在很不确定的技术和政策风险。

(3) LTE230

“新型 230 MHz 电力无线宽带通信系统”(简称“LTE230”系统)将电力已有的 230 MHz 频段离散频谱与先进的 4G 移动通信技术(TD-LTE)相结合,通过采用离散频谱聚合、频谱感知等技术,大幅提高 230 MHz 无线频率

的使用效率,在窄带频谱上实现宽带数据传输,为电力行业提供无线宽带通信信道。系统具有低成本广覆盖、支持海量终端实时在线、工作于电力已有频谱、频谱利用效率高、系统安全性强等优点。

“LTE230”系统是结合电力配用电业务需求定制开发的一套无线宽带通信系统,可为用电信息采集、负荷控制等业务的远程通信提供无线通信信道。

不同无线通信网体制对比见表 1。

综上所述,“LTE230”系统适于承担我国在偏远地区电力配用电无线通信专网的建设,具有良好的应用前景。

5 “LTE230”系统适于承建偏远地区配用电通信

5.1 系统定位

“LTE230”系统定位在电力配用电业务,可用于用电信息采集、配电自动化、应急抢修、生产调度、营销核算、视频监控、新能源接入、智能台区等多种业务,目标应用场景如下:

- 偏远农村或山区光纤铺设难度大的区域;



表 1 不同无线通信网体制对比

项目	“LTE230”系统	McWiLL	数传电台
采用标准	3GPP 4G	信威自主技术	—
频谱资源	电力已有频谱	新申请	电力已有频谱
调制编码	自适应(先进)	自适应(先进)	低阶(落后)
纠错技术	先进	先进	落后
信道编码	先进	先进	落后
干扰协调	支持	无	无
离散频率	支持	不支持	支持
载波聚合	支持	无	无
双工技术	TDD	TDD	FDD/TDD
适用业务	数据采集/实时控制/视频监控	数据采集/远程控制/视频监控	数据采集
工作频段	230 MHz	1 800 MHz、400 MHz	230 MHz
安全性	高	高	低
频带占用	$N \times 25$ kHz ($N=1, 2, \dots, 340$); 离散频谱	5 MHz; 连续频带	25 kHz
单小区最大在线终端数/个	2 000	300	—
实时性	高	高	低
覆盖能力	广域覆盖	普通覆盖	广覆盖
峰值速率	上行/下行:14.96/5.8 Mbit/s (8.5 MHz)	上下行共 15 Mbit/s (5 MHz)	1.2~19.2 kbit/s
峰值速率/1 MHz 带宽	上行/下行:1.76 Mbit/s、 0.71 Mbit/s	1.5 Mbit/s	不支持

- 负荷分散,部署光纤成本过高的区域;
- 供电线路长,光纤无法实现覆盖的区域;
- 偏远无公网信号区域;
- 地下室等无公网信号区域;
- 老旧无光纤城区或市政建设频繁、光纤覆盖无法应对快速变化的区域。

5.2 系统优势及所获得资质

“LTE230”系统采用电力已有的 230 MHz 频谱资源,无需新申请频谱资源;系统具有广覆盖特性,单基站覆盖能力可达 30 km,是其他无线蜂窝通信系统覆盖距离的 4~5 倍,建设成本是其他无线蜂窝通信系统的 1/5;“LTE230”系统满足配用电海量终端的实时在线的传输需求。系统采用与公网隔离的策略,同时具有多层安全加密机制,保证电力数据的信息安全。

“LTE230”系统具有符合国网规范的系列通信模块(LCM),可实现对 GPRS 公网模块的替换,最大限度地保护配用电设备投资。系统具有宽带终端(CPE),可实现图像、视频、语音等业务。

操作维护中心(OMC)不但实现对系统设备的管理,还具有对终端统一远程管理的功能,可对系统及终端设备进

行远程批量升级。采用友好的图像化操作界面(如图 2 所示),操作便捷,可将告警以声、光的方式直观地呈现给管理维护人员。

“LTE230”系统受到国家科学技术部、工业和信息化部等多部门支持,近年承担多项国家科技重大专项及专项资金项目;2014 年 2 月,成为首个通过中国电力科学研究院安全认证的无线专网系统;国家无线电管理委员会召开专题研讨会,鼓励 230 MHz 频谱在电力行业中的创新应用;系统通过工业和信息化部传输所针对实际现场网络的测试验证。

5.3 关键技术指标

“LTE230”系统工作在国家无线电管理委员会统一规划的民用超短波遥测、遥控、数据传输业务专用 230.025~235 MHz 频段,满足以 25 kHz 为单位、非连续灵活配置的要求。系统在 8.5 MHz 带宽下峰值速率可达 14.96 Mbit/s。系统采用具有国家自主知识产权的 TD-LTE 核心技术,采用 OFDM 及 64QAM 高级调制技术。系统接收灵敏度达到 -120 dBm,优越于传统无线通信系统,加上 230 MHz 低频段黄金频谱,“LTE230”系统在单基站最远覆盖距离可达 30 km,是其他类似无线通信技术的 5~6 倍。为满足行业海量终端实时在线、突发数据的传输需求,“LTE230”系统通

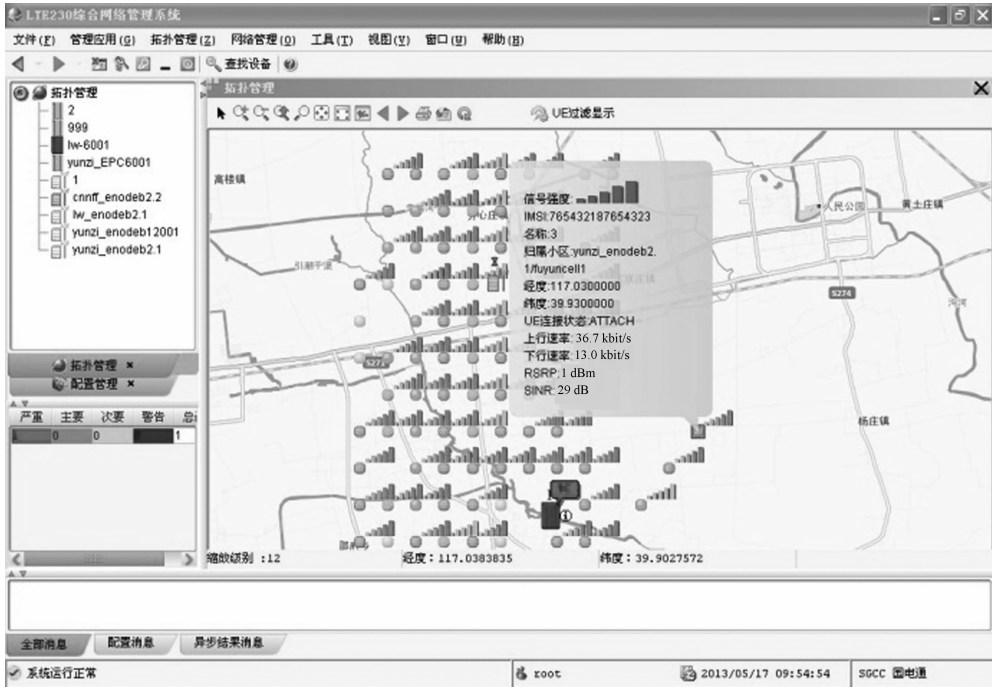


图 2 图形化操作界面

过设计优化,大幅度提升单逻辑小区支持的终端规模,从传统无线通信的 100~200 个终端/小区提升到 2 000 个终端/小区。部分技术指标见表 2。

表 2 “LTE230”系统关键技术指标

项目	指标
工作频段	223.025~235 MHz
多址方式	OFDM 多址方式
双工方式	TDD 双工方式
调制方式	QPSK、16QAM 和 64QAM
基站信道带宽	离散 8.5 MHz
单小区吞吐量	峰值速率 14.96 Mbit/s
单小区在线用户数	2 000 个
终端峰值速率	峰值速率 1.76 Mbit/s
覆盖半径	密集城区 3 km、郊区 10 km、农村 30 km
接收灵敏度	-120 dBm

6 “LTE230”系统建设方案

基站选址是无线通信系统规划和建设的一项重要内容。众所周知,在产品指标确定的情况下,基站天线越高、周围环境越开阔,信号覆盖的范围越广且信号质量越高。站址选择合适与否,很大程度上决定了无线网络建设的成败。

结合我国欠发展地区配用电网现状,有“宏蜂窝基站”和“微蜂窝基站”两种应用方案可供选择。这里结合站址选择、

业务覆盖范围和通信基础条件对两种方案分别进行分析。

6.1 “宏蜂窝基站”建设方案

(1)业务定位

针对偏远地区地广人稀、地形复杂、配用电线路及设备分部广的特点,部署宏蜂窝基站,最大限度地实现单个无线基站的覆盖区域,单个基站尽可能多地覆盖配用电终端节点,充分体现“LTE230”系统“广覆盖、低成本”优势。减少组网区域内所需无线基站数量,降低在偏远地区,特别是山区、丘陵等通信基础设施缺乏环境下电力无线通信专网建设投入及后续维护成本。

(2)选址原则

在山区、丘陵地带,变电站、营业厅大多建设在当地地势低凹点,故电力已有的此类地点不是无线基站的理想备选站址。微波系统从 20 世纪 80 年代开始大量应用于电力通信,微波站点一般建在周围数公里到数十公里的制高点处,且建设有高度为 50~100 m 的通信塔,以实现单跳微波信号 30~60 km 的远距离传输。近年来微波系统在逐步退出应用,但微波站点的通信塔多数还存在。仿真及实际测试表明,“LTE230”在此类地点建站,可实现半径 20~30 km 的覆盖,单基站覆盖面积可达 1 000 km² 以上,是普通无线基站覆盖面积的数十倍甚至上百倍。所以在此类地区,微波站是非常理想的备选站点。基于微波塔站点的广覆盖方案如图 3 所示。

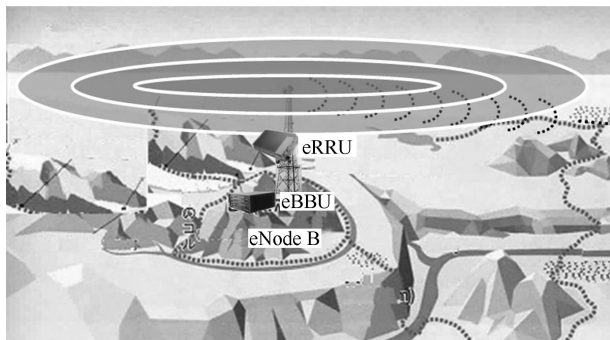


图3 基于微波塔站点的广覆盖方案

(3)已具备的通信基础设施

微波塔所在地具备电源、微波信号落地后的有线回传信道等基础设施。“LTE230”系统的电力无线通信专网可充分利用相关已有资源,降低基础设施建设投入。对少数不具备有线回传信道的微波站点,“LTE230”系统的基站可采用无线网桥进行回传。由于微波站点通常位于地理制高点,通常具备到附近供电公司、变电站或营业厅的可视路径,无线网桥回传具有优越的地理条件。

6.2 “微蜂窝基站”建设方案

(1)业务定位

若“LTE230”系统覆盖所在地不具备建设“宏蜂窝基站”条件,可采用另外一种思路:建设多套“微蜂窝基站”实

现目标区域内无线专网覆盖。

“微蜂窝基站”的建设思路是采用具有小功率、小容量、安装便捷特点的“LTE230”系统微基站,沿配电线路部署。原则上1~2个台区部署1个微基站,每个微基站覆盖1 km左右的范围。由于220/380 V供电半径一般在500~1 000 m,故“LTE230”系统微基站能够实现配电台区周围配用电终端节点的接入。

(2)选址原则

“LTE230”系统微基站可部署在柱上变、箱变、环网柜、开闭所等所在处,该类地点取电方便且无需征地,安装便捷。

(3)基础设施

微基站采用“一体化”设计思路,满足户外环境运行要求,不需要机房,安装便捷。对于微基站的回传,有两种备选方案:一是对光纤到台区的站点,微基站回传可就近接入光纤网络;二是对光纤未覆盖的台区站点,可采用具有 mesh 组网的无线网桥进行回传。基于台区的微基站覆盖方案如图4所示。

6.3 实际应用情况

“LTE230”系统已在内蒙、青海、新疆、冀北、河北等多个地区建设商用网络,单基站实测覆盖距离达到29 km,很好地满足了当地远程数据采集和监控、视频传输等业务应用需求。

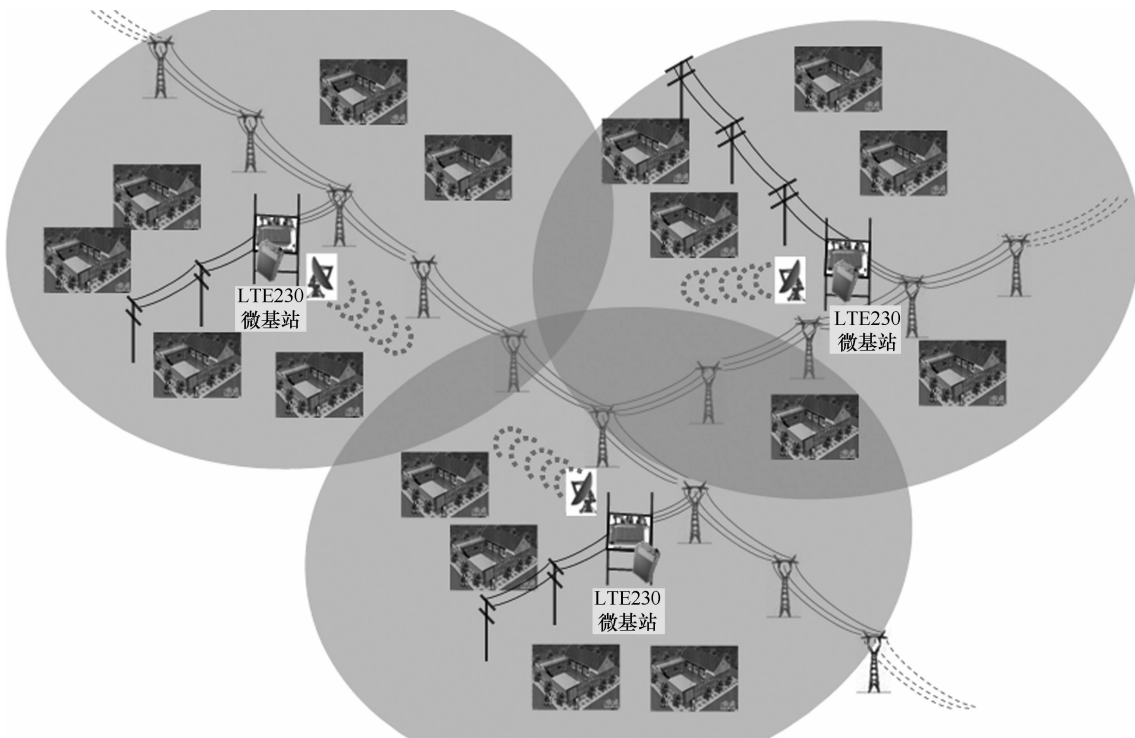


图4 基于台区的微基站覆盖方案

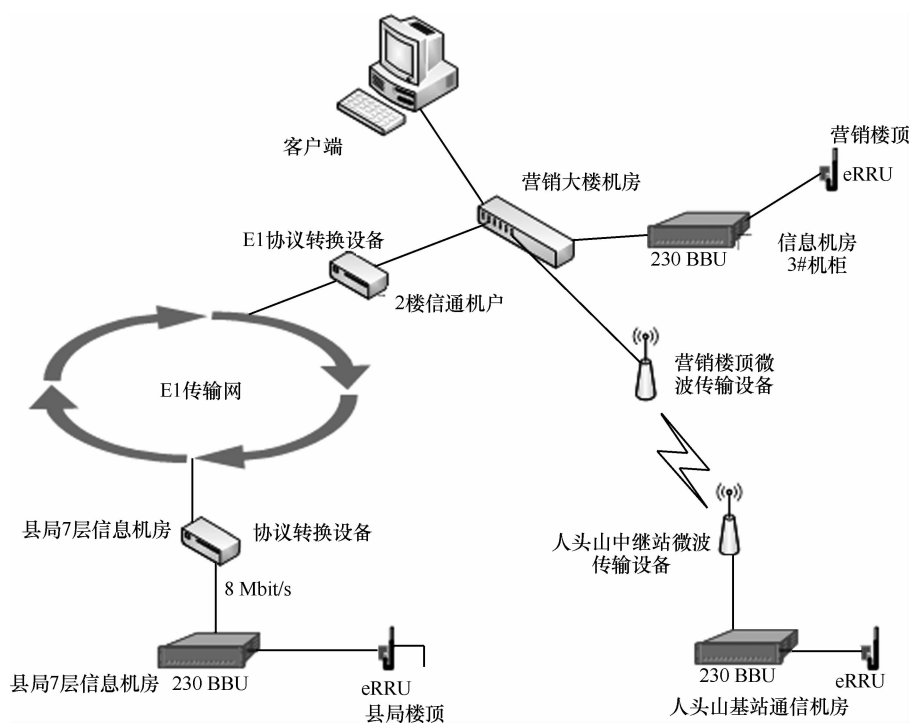


图 5 实际组网拓扑

7 应用与验证

“LTE230”系统在国家电网、南方电网、石油石化等开展多处应用,在中国西北、西南等多个省份建立商用网络,弥补了此类地区有线网络建设不便、运营商网络在此类地区信号质量差或无法覆盖的问题。2013 年 5 月,张家口供电公司建设“LTE230”系统的无线通信专网,组网结构如图 5 所示,满足了张家口电力无线通信专网建设的成本和进度要求。此无线回传设备安装调试便捷,成本不到光纤通道建设的 10%,目前该无线回传通道已稳定运行超过 12 个月。

针对西沙河基站路开展覆盖测试,测试结果如下:东南方向沿解放路和胜利路进行拉远测试,到工业南横街处 5.2 km 处,信号强度为 -106~-102 dBm,基本达到东南方向小区边缘;正南方向沿明德南路、清水河路,到天秀花园二期 5.1 km 处,信号强度为 -106~-104 dBm,基本达到正南向小区边缘;西南方向沿西环路、西坝岗路,到天秀花园一期 5.2 km 处,信号强度为 -107~-103 dBm,基本达到西南向小区边缘。覆盖效果如图 6 所示,RSRP 数据详细统计见表 3。

吞吐量性能表明,“LTE230”系统传输效率高达

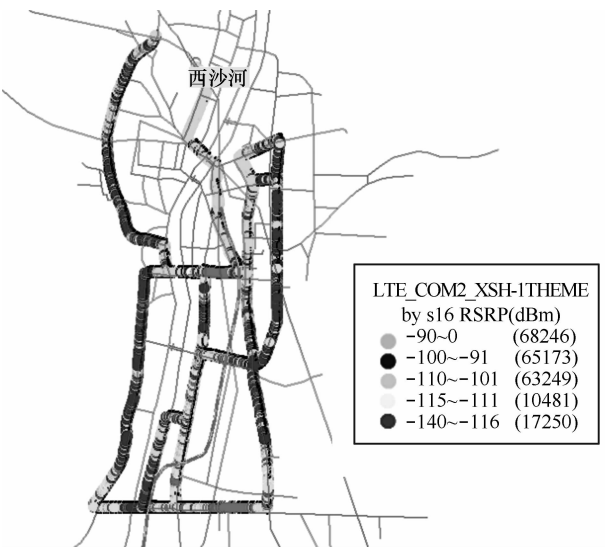


图 6 西沙河基站南向拉远测试效果

表 3 RSRP 数据结果统计

RSRP 分布区间	分布点数	百分比
-90 ~ -10 dBm	68 215	27.28%
-100 ~ -91 dBm	70 708	28.28%
-110 ~ -101 dBm	76 256	30.49%
-117 ~ -111 dBm	18 136	7.25%
-150 ~ -118 dBm	16 750	6.70%



2.44 bit/(s·Hz),较传统数传电台提高 3.18 倍,满足配电网业务需求,理论峰值速率达 1.76 Mbit/s,外场实测平均传输速率最高达到 1.6 Mbit/s。抄表成功率 100%。聚合 40 个频点时,不同调制方式下的上行传输速率测试结果见表 4。

表 4 吞吐量测试

调制方式	外场验证速率均值/(Mbit·s ⁻¹)	实验室验证速率均值/(Mbit·s ⁻¹)	传输速率理论值/(Mbit·s ⁻¹)
QPSK	0.2~0.42	0.423	0.423 4
16QAM	0.7~0.88	0.882	0.939 8
64QAM	1~1.58	1.742	1.76

8 结束语

“LTE230”系统是为配用电通信量身定制的系统,因其独有的广覆盖、低成本,对通信基础设施要求低、部署简单、免维护等特点,能很好地满足山区、丘陵、农村等复杂地区配用电通信网通信需求。自 2010 年以来在电网、石油石化等行业建立多个商用网络,系统性能稳定、系统及终端产品形态齐全,受到客户的一致好评。

参考文献

- 王凤,司孝平,赵方等. 基于某典型实例的配网通信方式研究与比较. 电信科学,2013, 29(11):87~93
Wang F, Si X P, Zhao F, *et al.* Research and comparison of distribution automation communication mode based on a typical case. Telecommunications Science, 2013, 29(11):87~93
- 国家电网公司. Q/GDW_380.5-2009 电力用户用电信息采集系统管理规范;通信信道运行管理规范,2009
State Grid Corporation of China. Q/GDW_380.5-2009. Power User Electric Energy Data Acquire System Functional Specification: Communication Channel Operation, 2009
- 国家能源局. DLT 814-2002 配网自动化功能规范,2002
The National Energy Bureau. DLT 814-2002. Power Grid Distribution Automation Functional Specification, 2002
- 普天 LTE230 系统研发团队. 电力无线宽带 LTE230 系统, 2012
Potevio LTE230 System R&D Department. Power Grid Wireless Broadband LTE230 Telecommunication System, 2012
- Xin W. EPS Service Application Technology. Beijing: China Electric Power Press, 2010
- 刘建明. 现有无线宽带通信技术在电力行业应用对比分析. 国家电网公司信息通信分公司, 2013
Liu J M. Analysis of the wireless broadband communication

technology application in the electric power industry. State Grid Information and Telecommunication Branch, 2013

- 刘振亚. 智能电网知识问答. 北京:中国电力出版社,2010
Liu Z Y. A&Q for Smart Grid Knowledge. Beijing: Chinese Power Press, 2010

[作者简介]



郭志华,男,国家电网青海省电力公司高级工程师,主要从事电能计量及用电信息采集管理工作。



薛晓慧,女,国家电网青海省电力公司工程师,主要从事计量、用电信息采集工作,目前结合青海公司实际情况开展配网用电信息采集及通信研究工作。



厉娜,女,国家电网青海省电力公司电力工程师,主要从事线损、计量采集专业管理工作。



万江飞,男,中国石油天然气管道通信电力工程总公司工程师,主要从事通信专网运营及企业信息化建设工作。

陈平,男,普天信息技术研究院工程师,主要从事 3G/4G 无线移动通信技术研究、提供行业系统通信解决方案。

林喜,女,国家电网青海省电力公司黄化供电公司电能计量高级技师,主要从事电能计量及用电信息采集运维工作。

景钦锋,男,国家电网青海省电力公司海北供电公司工程师,主要从事计量管理及用电信息采集工作。