



广覆盖 LTE 230 系统在电力配用电应用中的研究与实践

周建勇¹, 田志峰¹, 李艳¹, 陈宝仁²

(1. 深圳供电局有限公司 深圳 518000; 2. 广东省电力设计研究院 广州 510663)

摘要:结合智能电网配用电应用的通信需求,基于 LTE 核心技术定制开发的 LTE 230 系统使用 230 MHz 频段,与高频段相比,信号传播距离远、绕射能力强,大幅提升了系统的覆盖能力。该系统在密集城区的覆盖能力可达 4 km 以上。基于 Okumura-Hata 模型,采用精确的链路预算,给出了 LTE 230 系统的理论覆盖能力。同时,根据深圳供电局在深圳福田区建设的 LTE 230 试验网的测试结果,验证了 LTE 230 系统在密集城区环境的实际覆盖能力与理论值相符。

关键词: 智能电网;无线专网;LTE 230 系统;广域覆盖

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.03.030

Research and Practice of LTE 230 System with Wide Coverage Characteristics in the Power Distribution and Utilization Application

Zhou Jianyong¹, Tian Zhifeng¹, Li Yan¹, Chen Baoren²

(1. Shenzhen Power Supply Bureau, Shenzhen 518000, China;

2. Guangdong Electric Power Design Institute, Guangzhou 510663, China)

Abstract: Combination with the smart grid communication needs, LTE 230 system is customized development based on the LTE core technology and uses 230 MHz frequency band. Compared with the high frequency, the signal of 230 MHz frequency spread far and has strong diffraction capability. It greatly improves the covering capacity of system. The covering capacity of the system can reach more than 4 km in the dense urban area. Based on the Okumura-Hata model and the precise link budget, the theory covering capacity of LTE 230 system was given. At the same time, according to the testing results of the LTE 230 experimental network which Shenzhen Power Supply Bureau has built in Shenzhen Futian district, the LTE 230 system is verified that the actual coverage ability correspond with the theoretical value in dense urban environment.

Key words: smart grid, wireless private network, LTE 230 system, wide coverage

1 电力无线通信网发展现状

智能电网配用电业务终端点多覆盖面广且分布分散,光纤通信方式虽然具备业务传输能力强的优势,但部署施工难度大、成本高,无法满足对海量配用电终端的全覆盖^[1]。随着无线宽带通信技术的迅速发展,作为电力有线光纤通

信的补充手段,无线通信对电力配用电侧业务的支持能力已经得到了较大的提高^[2],越来越多的电力通信业务考虑使用无线通信进行承载。

目前,配电网多采用租用电信运营商提供的 GPRS、CDMA 公网或 1.4 GHz/1.8 GHz 专网作为数据传输的无线通信手段^[3]。这些通信网络相比于 230 MHz 频段,工作频段



广覆盖 LTE 230 系统在电力配用电应用中的研究与实践

周建勇¹, 田志峰¹, 李艳¹, 陈宝仁²

(1. 深圳供电局有限公司 深圳 518000; 2. 广东省电力设计研究院 广州 510663)

摘要:结合智能电网配用电应用的通信需求,基于 LTE 核心技术定制开发的 LTE 230 系统使用 230 MHz 频段,与高频段相比,信号传播距离远、绕射能力强,大幅提升了系统的覆盖能力。该系统在密集城区的覆盖能力可达 4 km 以上。基于 Okumura-Hata 模型,采用精确的链路预算,给出了 LTE 230 系统的理论覆盖能力。同时,根据深圳供电局在深圳福田区建设的 LTE 230 试验网的测试结果,验证了 LTE 230 系统在密集城区环境的实际覆盖能力与理论值相符。

关键词: 智能电网;无线专网;LTE 230 系统;广域覆盖

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.03.030

Research and Practice of LTE 230 System with Wide Coverage Characteristics in the Power Distribution and Utilization Application

Zhou Jianyong¹, Tian Zhifeng¹, Li Yan¹, Chen Baoren²

(1. Shenzhen Power Supply Bureau, Shenzhen 518000, China;

2. Guangdong Electric Power Design Institute, Guangzhou 510663, China)

Abstract: Combination with the smart grid communication needs, LTE 230 system is customized development based on the LTE core technology and uses 230 MHz frequency band. Compared with the high frequency, the signal of 230 MHz frequency spread far and has strong diffraction capability. It greatly improves the covering capacity of system. The covering capacity of the system can reach more than 4 km in the dense urban area. Based on the Okumura-Hata model and the precise link budget, the theory covering capacity of LTE 230 system was given. At the same time, according to the testing results of the LTE 230 experimental network which Shenzhen Power Supply Bureau has built in Shenzhen Futian district, the LTE 230 system is verified that the actual coverage ability correspond with the theoretical value in dense urban environment.

Key words: smart grid, wireless private network, LTE 230 system, wide coverage

1 电力无线通信网发展现状

智能电网配用电业务终端点多覆盖面广且分布分散,光纤通信方式虽然具备业务传输能力强的优势,但部署施工难度大、成本高,无法满足对海量配用电终端的全覆盖^[1]。随着无线宽带通信技术的迅速发展,作为电力有线光纤通

信的补充手段,无线通信对电力配用电侧业务的支持能力已经得到了较大的提高^[2],越来越多的电力通信业务考虑使用无线通信进行承载。

目前,配电网多采用租用电信运营商提供的 GPRS、CDMA 公网或 1.4 GHz/1.8 GHz 专网作为数据传输的无线通信手段^[3]。这些通信网络相比于 230 MHz 频段,工作频段

较高、信号绕射能力较弱、传播距离受到限制、系统覆盖半径较小,而电力配用电业务分布范围广,业务终端数量大,单站的覆盖能力和系统容量直接决定建网和运维成本。

LTE 230 系统是工作在 230 MHz 频段的无线专网通信系统,低频段覆盖距离远的特点使其在建网和后期维护成本上皆优于其他系统。另外在频率使用政策上,针对 230 MHz 频段,国家无线电管理委员会发布的《关于印发民用超短波遥测、遥控、数据传输业务频段规划的通知》^[4](国无管[1991]5号)中规定,电力行业拥有专用的 40 个授权频点。因此,LTE 230 系统在电力行业中基于频率使用政策上的天然优势,结合 LTE 先进技术及广覆盖优势,在电力配用电领域具有良好的推广应用价值。

2 LTE 230 无线专网系统覆盖能力

LTE 230 系统是针对物联网应用的无线通信需求,基于 OFDM、自适应编码调制、自适应重传等 LTE 核心技术^[5],采用全 IP 网络架构设计,使用各行业在 230 MHz 频段已有离散频谱资源,创新研发,为行业客户深度定制^[6]的具有自主知识产权的无线宽带通信系统。LTE 230 系统具有覆盖广、容量大、频谱效率高、频谱适应性强、安全性高、可靠性好、部署扩展平滑等特点^[7]。

智能电网配用电业务终端分布范围广且分散,采用广覆盖基站可减少同等面积下的基站数量。LTE 230 系统以其工作在 230 MHz 低频段的天然覆盖远优势,采用更加高效的发射机技术和高灵敏度的接收机技术,大大提升了系统的覆盖能力,可实现大范围高质量的无线覆盖。下面将基于精确的链路预算,分析 LTE 230 系统在密集城区、郊区、农村 3 种场景下的理论覆盖能力,同时给出工作在不同频段的通信系统在农村环境下的覆盖能力对比。

2.1 仿真模型

对 LTE 230 系统覆盖能力的仿真采用的是 Okumura-Hata 模型^[8]。该模型根据实测数据建立,提供的数据较齐全,应用较广泛,适用于 150~1 920 MHz 频段。该模型的特点是:以准平坦地形大城市地区的场强中值路径损耗作为基准,对不同的传播环境和地形条件等因素用校正因子加以修正。不同传播环境下,Okumura-Hata 模型基本传输损耗计算为:

$$L = 69.55 + 26.16 \times \lg(f_c) - 13.82 \times \lg(h_t) - [(1.1 \times \lg(f_c) - 0.7) \times h_r - 1.56 \times \lg(f_c) + 0.8] + [44.9 - 6.55 \times \lg(h_t)] \times \lg(d) + C$$

其中, f_c 为工作频率(MHz), h_t 为基站发射的有效天线

高度(m), h_r 为终端接收的有效天线高度(m), d 为覆盖距离(km), C 为环境补偿因子,其值为:

$$\begin{cases} \text{城区: } C=0 \\ \text{郊区: } C=-2 \times [\lg(f_c/28)]^2 - 5.4 \\ \text{农村: } C=-4.78 \times \lg(f_c) \times \lg(f_c) + 18.33 \times \lg(f_c) - 40.98 \end{cases}$$

LTE 230 系统工作在 230 MHz 频段,仿真过程中考虑了该频段频谱呈 25 kHz 窄带离散梳状分布的特点,并选取了密集城区、郊区、农村 3 种典型环境作为仿真对象,分别考虑了不同环境下的干扰余量、解调门限、阴影衰落等影响,对 LTE 230 系统的覆盖能力进行了较为准确的评估。具体的链路预算见表 1。

2.2 单基站覆盖半径

本文基于第 2.1 节的链路预算,采用 Okumura-Hata 模型,分别对 LTE 230 系统在密集城区、郊区和农村环境下进行仿真。在基站天线挂高 45 m 时,得到了 3 种环境下不同调制方式的系统覆盖能力,见表 2。可以看出,LTE 230 系统的最远覆盖半径在密集城区达到 4 km,在郊区环境达到 9 km,农村环境达到 29 km,充分验证了系统的广域覆盖能力。

本文除了对 LTE 230 系统的覆盖能力进行详细分析外,又在同等条件下,选取农村环境,分别对 230 MHz、400 MHz、1 400 MHz、1 800 MHz、2 400 MHz 频段的覆盖能力进行仿真测试,结果如图 1 所示。可以看到,230 MHz 频段的覆盖半径约为 2 400 MHz 频段的 5.5 倍,低频段的广覆盖优势尤为显著。

由此可见,工作频段的选择对于通信系统的覆盖能力影响重大,LTE 230 系统工作在 230 MHz 低频段,在发射功率相同的情况下,可以获得几倍于高频段的覆盖能力,加之覆盖面积与覆盖半径的平方关系,LTE 230 系统单基站可以实现近 3 000 km² 的覆盖(在农村环境下),而采用 2 400 MHz 频段系统覆盖相同面积则需要近 30 个基站。

覆盖能力不仅是无线通信系统的重要指标,更直接影响到网络成本。这里的成本不仅包括硬件成本,同时包括站址的租金、工程安装、供电、人员维护成本。基站数量的增加不仅带来建站及维护成本的提高,更提升了网络规划、网络优化的复杂度,增加了基站边缘弱覆盖、盲区出现的概率,提高了通信网无缝覆盖的难度,使终端切换变得频繁,电力通信的稳定性和可靠性随之降低。

因此,采用具备广覆盖能力的通信系统是电力通信的首选,LTE 230 系统的优势也由此显现。深圳市供电局结



表 1 LTE 230 系统链路预算

基本参数			
调制方式	QPSK	16QAM	64QAM
基站/终端发射功率/dBm	37,23	37,23	37,23
基站/终端天线增益/dBi	11.5,3.5	11.5,3.5	11.5,3.5
热噪声密度/(dBm·Hz ⁻¹)	-174	-174	-174
接收机噪声系数/dB	6	6	6
业务带宽/kHz	25	25	25
接收机噪声功率/dBm	-124.02	-124.02	-124.02
电缆损耗/dB	1	1	1
OKUMURA-Hata 路损模型相关参数			
系统工作频率/MHz	230	230	230
基站/终端天线高度/m	45,1.5	45,1.5	45,1.5
终端天线修正因子/dB	-0.04	-0.04	-0.04
路损公式中的距离因子	34.07	34.07	34.07
路损公式中的常数因子	108.52	108.52	108.52
密集城区/郊区/农村环境			
干扰余量/dB	20,15,15	20,15,15	20,15,15
业务目标的 SNR/dB	4	8	22
接收机灵敏度/dBm	-100,-105,-105	-96,-101,-101	-82,-87,-87
最大允许传播损耗/dB	137,142,142	133,138,138	119,124,124
阴影衰落余量/dB	8.00	8.00	8.00
最大允许路径损耗/dB	129,134,134	125,130,130	111,116,116
路损公式中的环境补偿因子	0,-7.07,-24.35	0,-7.07,-24.35	0,-7.07,-24.35

表 2 LTE 230 系统覆盖半径

场景类型	调制方式		
	QPSK	16QAM	64QAM
密集城区/km	4.00	3.05	1.18
郊区/km	9.04	6.90	2.68
农村环境/km	29.04	22.17	8.61

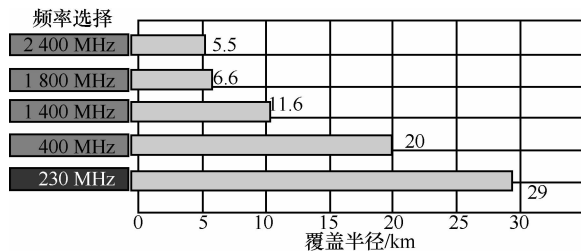


图 1 不同频段无线通信系统的覆盖能力(农村环境,135 dB 路损)

合电力配用电领域的业务通信需求,在福田区建立了 LTE 230 试验网,下面将详细介绍深圳试验网的具体情况。

3 深圳电力 LTE 230 试验网情况

深圳供电局在福田区建设了 LTE 230 试验网,通过实

际的建网测试分析,验证了 LTE 230 系统在密集城区的覆盖能力。测试结果表明,LTE 230 系统在密集城区的覆盖能力可达 4 km 以上,与理论值基本相符,在部分覆盖良好的区域甚至可达 10 km。

3.1 网络拓扑结构

整个网络拓扑结构如图 2 所示,由 1 套核心网设备、1 套 eOMC 网管设备、2 套基站和若干个配套通信终端构成。

两套基站均位于深圳市福田区,同属密集城区环境,根据实际测试结果,LTE 230 系统在密集城区的覆盖理论值均可达到 4 km 以上,在部分覆盖良好的区域甚至达到了 10 km,这使得 LTE 230 系统的广覆盖能力得到充分验证。具体的覆盖测试结果及分析如第 3.2 节和第 3.3 节所述。

3.2 RSRP 覆盖测试结果

新洲站位于深圳市 COCOPARK 购物中心,中航站位于深圳市华强北商业中心,二者同属高密度城区环境,对无线信号的传输极具挑战性。新洲站点的参考信号接收功率(RSRP)测试结果如图 3 所示,RSRP 信号强度区间分布

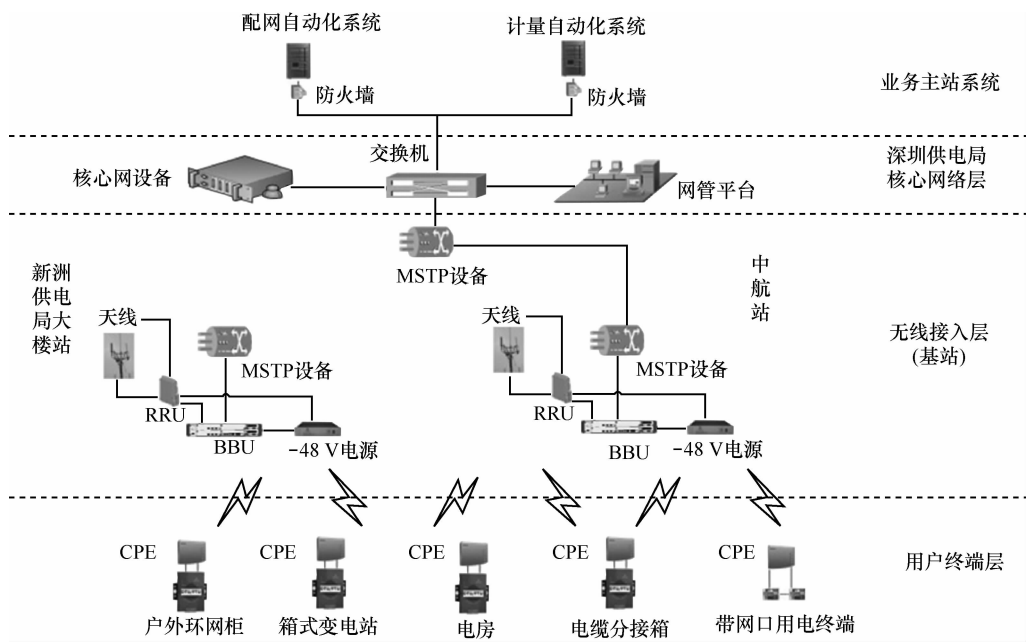


图 2 深圳电力 LTE 230 无线专网拓扑



图 3 新洲站 RSRP 覆盖测试效果

情况见表 3,新航站点的测试结果类似,受篇幅所限,此处不再赘述。

表 3 新洲站 RSRP 信号强度区间分布情况

序号	RSRP 分布区间	百分比
1	-75 ~ 0 dBm	37.95%
2	-90 ~ -75 dBm	11.08%
3	-110 ~ -90 dBm	39.21%
4	-200 ~ -110 dBm	11.76%

3.3 SNR 覆盖测试结果

信噪比(SNR)覆盖测试结果如图 4 所示,SNR 不同区间强度分布情况见表 4。

3.4 覆盖测试结果

RSRP 主要用来衡量接收信号的能量大小,SNR 值主

要用来衡量接收信号的质量如何,覆盖成功与否由 RSRP 和 SNR 值共同决定。参考信号目标 RSRP 设为-110 dBm,目标 SNR 设为 5 dB,当且仅当 RSRP 大于-110 dBm,SNR 大于 5 dB 时,小区覆盖成功;否则,覆盖失败。从测试结果看,新洲站 RSRP 大于-110 dBm,SNR 大于 5 dB 的区域超过 95%,中航站超过 85%,达到预期覆盖效果。实测结果与密集城区覆盖能力的理论值 4 km 相符,在部分覆盖良好的区域更达到了 10 km 以上,充分验证了 LTE 230 系统的广域覆盖能力。

4 结束语

LTE 230 系统专注于电力配用电业务的无线通信需求,以其广覆盖低成本优势广泛应用于电力配用电网。本



图4 新洲站 SNR 覆盖测试效果

表4 新洲站 SNR 不同区间强度分布情况

序号	SNR 分布区间	百分比
1	-50 ~ 0 dB	3.83%
2	0 ~ 5 dB	4.93%
3	5 ~ 15 dB	23.67%
4	15 ~ 50 dB	67.57%

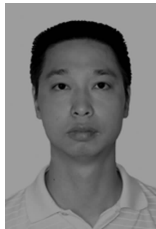
文基于 Okumura-Hata 模型,采用精确的链路预算,从理论上得到了 LTE 230 系统在密集城区、郊区、农村 3 种环境下的覆盖能力,同时与其他频段的通信系统进行了覆盖能力的对比分析,建立了低频段具有广域覆盖能力的理论基础。深圳电力基于 LTE 230 系统,在福田区建立了 LTE 230 试验网,在理论分析的基础上,充分验证了系统在密集城区的广覆盖能力,最大覆盖半径可达 10 km 以上。理论与实际的密切结合体现了 LTE 230 电力无线专网的实际可行性,深圳电力 LTE 230 试验网的成功投入运行,为深圳全市乃至南方电网的电力通信网建设提供了良好的借鉴和示范。

参考文献

- 1 刘振亚.智能电网知识问答.北京:中国电力出版社,2010
- 2 刘建明,李祥珍.物联网与智能电网.北京:中国电力出版社,2010
- 3 中国南方电网.“数字南方电网”专题研究报告,2007
- 4 国家无线电管理委员会.关于印发民用超短波遥测、遥控、数据传输业务频段规划的通知,1991
- 5 Sesia S, Toufik I, Baker M. LTE-UMTS 长期演进理论与实践.马霓,邬钢,张晓博等译.北京:人民邮电出版社,2009
- 6 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
- 7 普天信息技术研究院有限公司.新型 230 MHz 无线宽带通信系统技术白皮书,2010

8 吸钢,孙卓.移动通信原理.北京:电子工业出版社,2011

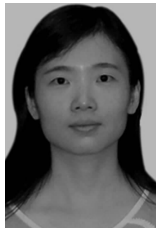
【作者简介】



周建勇,男,深圳供电局有限公司高级工程师、副主管,主要研究方向为电力通信。



田志峰,男,深圳供电局有限公司工程师、班长,主要研究方向为电力通信。



李艳,女,深圳供电局有限公司高级工程师、副主任,主要研究方向为继电保护及自动化。



陈宝仁,男,广东省电力设计研究院工程师、设计总工程师,主要研究方向为电力系统通信技术设计。

(收稿日期:2013-11-28)