

# 5G 基站电磁辐射环境特征及监测实证研究

韦庆<sup>1</sup>, 葛晓阳<sup>2</sup>

(1. 江苏省辐射环境保护咨询中心, 江苏 南京 210019;

2. 江苏省苏核辐射科技有限责任公司, 江苏 南京 210019)

**摘要:**根据5G基站工作原理及发射特点,研究了5G基站的电磁辐射方向、强度与用户终端位置分布及应用场景存在的对应关系。经实测验证,终端位置移动将导致电磁辐射方向发生显著变化;多终端窄波辐射相互叠加与应用场景明显相关,基站小区辐射覆盖范围扩大。建议对现行移动通信基站电磁辐射环境监测技术方法进行研究修订。

**关键词:**5G基站;电磁辐射;环境特征;监测方案

中图分类号:X837 文献标志码:B 文章编号:1006-2009(2021)04-0053-04

## Empirical Research on Monitoring and Characteristics of Electromagnetic Radiation Environment of 5G Base Stations

WEI Qing<sup>1</sup>, GE Xiao-yang<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Province Radiation Environmental Protection Advisory Center, Nanjing, Jiangsu 210019, China;

2. Jiangsu Province Suhe Radiation Technology Limited Liability Company, Nanjing, Jiangsu 210019, China)

**Abstract:** According to the working principle and transmitting characteristics of 5G base station, the relations between the direction and intensity of electromagnetic radiation, the location distribution of user terminal and the application scenario of 5G base stations were studied. The practical measurement results showed that the moving of terminal position resulted in significant change in radiation direction. The superposition of multi-terminal narrow-wave radiation had significant correlation with application scenarios. The radiation coverage of the base cell was expanded. It was suggested to revise the current method of electromagnetic radiation environmental monitoring for mobile communication base station.

**Key words:** 5G base station; Electromagnetic radiation; Environmental characteristics; Monitoring scheme

在“新基建”的政策驱动下,5G建设迈向规模化部署与应用创新落地的新进程,基站建设与用户数量即将迎来快速增长<sup>[1-2]</sup>。相对于4G通信技术而言,5G网络的优势主要体现在数据传输更快、信号质量更高、网络应用更广泛,同时也将导致基站电磁辐射强度增大,甚至造成周边电磁辐射环境监测值超标,引发社会负面舆情<sup>[3-5]</sup>。准确合理地测量5G基站电磁辐射环境水平已成为辐射环境监管部门和电信运营部门的重要任务。

今通过设定不同的应用场景及监测布点位置,对5G基站电磁辐射影响的方向性、衰减规律及与应用场景的相关性做系统研究,为5G基站电磁环境监测及生态环境主管部门的管理提供

技术支撑。

### 1 试验

#### 1.1 5G基站电磁辐射技术特点

移动通信网络依靠电磁波进行信号传输,使用的电磁波频段越高,在传输过程中携带的能量越大,即可形成更高的传输速率。根据奈奎斯特定律,通信速率和带宽成正比关系,传输带宽的增大,

收稿日期:2020-07-24;修订日期:2021-05-11

基金项目:江苏省生态环境科研课题“5G基站辐射环境监测技术和环境影响研究”基金资助项目(2020014)

作者简介:韦庆(1979—),男,江苏连云港人,高级工程师,硕士,从事电磁辐射环境监测与评价工作。

将导致信道容量和传送速率的上限增加<sup>[6]</sup>。与现网相比,5G 通信网络使用了更高的工作频段和更大的带宽,是传输速率提升的根本原因。我国 4G、5G 工作频段及带宽见表 1。

为克服由高频电磁波波长较短所带来的衍射能力差、传输衰减快速等技术难点,5G 网络运用智能化设备形成电磁波赋形波束,面向需求精准提供短时有有效的业务窄波,实现良好的信号覆盖效果。通信网络设计参数表明,5G 基站天线发射功率是现网基站天线的 4 倍以上。在相同环境条件下,4G 基站规划覆盖范围为 1 000 m,5G 基站规划覆盖范围仅为 100 m ~ 300 m<sup>[6-7]</sup>。因此,波束赋形技术需要加大射频发射功率,增加基站分布密度。

大规模多收多发(Massive MIMO)天线阵列是克服 5G 网络信号衰减、改善信号覆盖效果的关键技术,其充分利用了频谱资源,在天线发射功率有限的条件下,大幅提升传输通道数量,增加信号覆盖维度,通过形成高增益、可调节的赋形波束,实现提升信号可靠性、提升小区吞吐率、降低周边信号干扰等技术特点<sup>[7]</sup>。以华为 AAU 为代表的有源天线解决方案,在多频多模建网模式下,实现有限站点资源的高效利用,同时,降低单个基站的运行能耗,该方案正逐步成为基站规模化建设的趋势<sup>[7-9]</sup>。

## 1.2 5G 基站电磁辐射环境特征

与现网基站扇形小区信号覆盖不同,5G 基站在无业务状态下,以广播等公共信道扫描小区覆盖范围内的终端位置及业务需求(数据传输、语音通话)。当存在业务需求时,运用波束赋形技术,在最优化算法路径实现明显的阵列增益,进而形成有

效业务窄波,以达到高速精准数据传输的目标。由此可见,5G 基站天线辐射方向与强度和信号需求及电磁环境噪声存在理论对应关系,天线辐射方向随业务需求位置(即终端所处方向)的移动而改变。电磁辐射强度的测量可理解为对所形成的窄波进行测量,窄波的形成受网络应用场景(即业务需求内容,如数据传输、语音通话等),电磁环境噪声条件,路径损耗等因素影响。故在 5G 基站电磁辐射监测时应着重考虑在用户终端方向布点监测,监测过程中应记录网络应用场景、周边其他电磁辐射源、测点距离天线距离等,将选频测量结果与非选频测量结果作对比,反映监测期间的电磁环境噪声条件。

## 1.3 环境监测方案设计

### 1.3.1 基站主要技术参数

监测对象选取了 3 处已经组网运行的 5G 试验基站,均采用商用发射设备,具备多通道、有源阵列天线及波束赋形增益等技术特征,天线发射功率均为 200 W,天线阵子数均为 192 个,天线通道数均为 64T64R,采取多网共址建设,具有良好的代表性。监测基站技术参数见表 2。

### 1.3.2 监测仪器及天气条件

选择多台套德国 Narda 公司 SRM - 3006 型选频场强仪,德国 Narda 公司 NBM - 550 型综合场强仪(搭配 EF - 0691 型探头)进行同步测量,监测仪器均在检定有效期内。监测在无雨雪的天气条件下开展,满足移动通信基站监测技术方法<sup>[10]</sup>和监测仪器使用技术要求。

### 1.3.3 监测应用场景及监测点位布设

考虑到应用场景对监测结果的影响,设定了数

表 1 4G/5G 通信网络商用频段及带宽

Table 1 Commercial frequency band and bandwidth of 4G/5G communication network

通信运营商	5G 网络		4G 网络	
	频段 $f$ /MHz	带宽/M	频段 $f$ /MHz	带宽/M
中国移动	2 515 ~ 2 675, 4 800 ~ 4 900	260	1 880 ~ 1 900, 2 320 ~ 2 370, 2 575 ~ 2 635	130
中国电信	3 400 ~ 3 500	100	2 370 ~ 2 390, 2 635 ~ 2 655	40
中国联通	3 500 ~ 3 600	100	2 300 ~ 2 320, 2 555 ~ 2 575	40

表 2 监测基站技术参数

Table 2 Technical parameters of monitoring base stations

所属单位/编号	基站设备型号	天线设备型号	天线波瓣宽度(水平/垂直) $\theta/^\circ$	天线增益/dBi	天线架设类型	天线高度 $h$ /m	共址通信网络
南京移动/YD1	DBS 5900 5G	AAU 5619	13/6.5	25	落地景观塔	25	GSM900/DCS1800/LTE - FDD
南京移动/YD2	DBS 5900 5G	AAU 5619	13/6.5	25	楼顶抱杆	46	GSM900/DCS1800/LTE - FDD
宿迁联通/LT1	V 9200 5G	AAU 9611	13/7.0	24.5	楼顶拉线塔	40	WCDMA/LTE - FDD

据传输、语音通话和无业务广播 3 种应用场景分别监测。应用场景中使用的终端为华为 Mate 20 手机搭配 5G SIM 测试卡,数据传输场景时终端持续进行数据批量下载,语音通话场景时终端长时间处于通话状态,无业务广播场景时手机终端处于待机状态。为模拟监测时的典型工况,并减少终端上行信号对测量结果的干扰,采用终端随点位移动和终端位于测量远端两种监测布点方案,见图 1(a)(b)。辐射方向性测量时,终端放置于监测点位后方 2 m 处并随点位移动,能够更有效反映波束方向;叠加、衰减及应用场景测量时,将终端放置于测量远端,距离测点 10 m 以上,可以减少上行信号对于测量结果的干扰。

### 1.3.4 监测时间及读数

选频场强测量时测量频段设置为 5G 基站工作频段,读取连续 6 min 方均根检波示值。综合场强测量时每个测点连续监测 5 次,每次监测时间不少于 15 s,读取稳定状态下的最大值,读数起伏较大时,须延长监测时间。

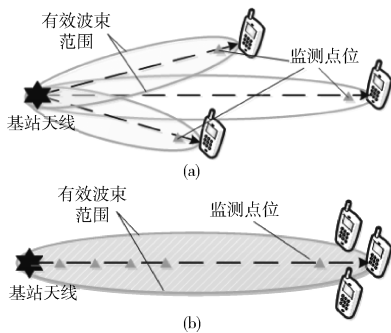


图 1 监测点位布点方案示意

Fig.1 Location diagram of monitoring site

## 2 结果与讨论

### 2.1 辐射方向性测量

沿移动终端方向布设监测点位,记录移动终端附近且位于天线主辐射区和其他区域的测量结果。测量时,移动终端持续进行数据传输作业,基站 YD1、YD2 辐射方向性测定结果见图 2(a)(b)。其中 A 为终端 2 m 处且终端位于主辐射区的测量结果,B 为终端 2 m 处且终端位于其他区域的测量结果,C 为沿天线主射线方向且距终端 >10 m 处测量结果,D 为沿天线其他射线方向且距终端 >10 m 处测量结果。由图 2 可见,移动终端持续作业时,基

站 YD1 终端附近测值为 2.45 V/m ~ 3.06 V/m 及 1.56 V/m ~ 2.97 V/m,基站 YD2 终端附近测值为 1.88 V/m ~ 2.97 V/m 及 1.07 V/m ~ 2.14 V/m,终端附近的功率密度测值整体高于其他区域,当终端位于天线主辐射区域时测值最高,5G 频段的选频测量结果表现更为明显。说明 5G 基站天线发出的窄波带有显著的赋形方向,并且随业务需求(即终端方向)的移动而改变。

### 2.2 辐射强度的叠加与衰减

将单台或多台移动终端固定放置在测量远端,沿终端方向连续布点测量,记录多台终端引发的功率密度叠加测值及功率密度随传输距离的衰减变化,测量时终端均处于持续的数据下载状态,基站 YD1、YD2 辐射叠加与衰减测定结果见图 3(a)(b)。其中 A 为 3 台终端叠加方向不同距离测量值,B 和 C 为 1 台终端方向不同距离测量值,D 为无终端方向不同距离测量对照值。由图 3 可见,基站 YD1、YD2 在 3 台终端叠加方向测值分别为 2.25 V/m ~ 4.68 V/m 和 1.21 V/m ~ 6.34 V/m,多台终端方向沿线测量值均明显高于单台终端方向测量值,多台终端引发的射频窄波存在叠加现象。考虑到目前 5G 用户终端较少,持续的数据下载作业能够形成较为稳定的射频窄波,距离天线 140 m 范围内无明显随距离衰减的情况,故对 5G 基站电磁辐射的监测范围应由现行技术规范<sup>[8]</sup>中的 50 m 扩大至 150 m 甚至整个天线覆盖范围。

### 2.3 辐射强度与应用场景的相关性

选择数据下载、语音通话及无业务广播 3 种应

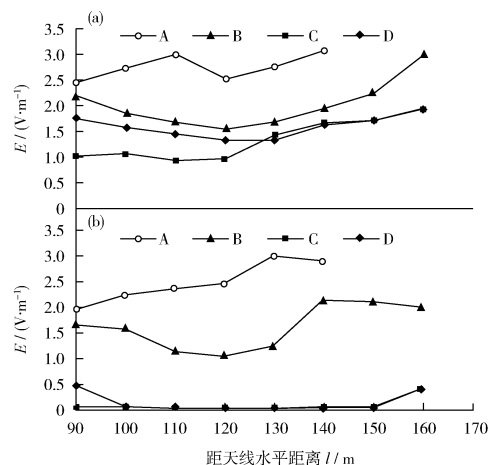


图 2 辐射方向性测量结果

Fig.2 Measurement results of radiation direction

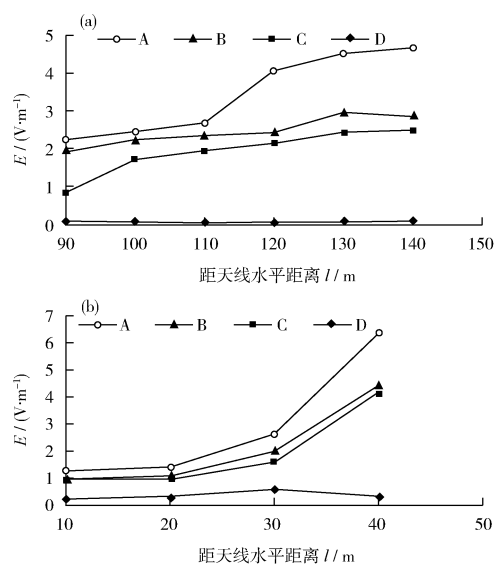


图3 5G 基站辐射叠加与衰减测量结果

Fig. 3 Measurement results of radiation superposition and attenuation of 5G base station

用场景分别测定电磁辐射水平,测定时终端固定放置在远端(距监测点位150 m),沿终端方向布点测量综合场强值。数据下载应用场景测量时,所测天线后台显示接入用户总数3个~5个,资源占用率52%~79%,下行速率250 Mb/s~320 Mb/s,语音通话应用场景测量时,终端语音通话保持接通状态,无业务广播测量时终端处于待机状态。为便于评价辐射水平达标情况,仅给出电场强度综合场强测值,结果见表3。由表3可知,单台5G终端各典型应用场景下,基站周边电磁辐射环境测量值为0.49 V/m~6.34 V/m,能够满足国家标准对应限值要求<sup>[11]</sup>。不同5G应用场景条件下基站周边电磁辐射水平存在较大差异,数据下载场景下的整体测量结果明显高于语音通话场景和无业务广播场景,说明5G终端在执行数据下载作业期间引发的射频窄波对电磁辐射水平的贡献值明显,将导致电磁辐射水平显著升高。

表3 单台终端运行时典型应用场景辐射水平测量结果

V/m

Table 3 Measurement results of radiation level in typical application scenarios with single terminal running

V/m

基站编号	数据下载应用场景			语音通话应用场景			无业务广播		
	距天线 40 m	距天线 90 m	距天线 120 m	距天线 40 m	距天线 90 m	距天线 120 m	距天线 40 m	距天线 90 m	距天线 120 m
YD1	6.34	4.07	4.27	1.58	1.95	1.67	1.02	0.90	0.49
YD2	5.35	3.87	3.68	1.52	0.98	1.10	1.60	1.13	0.55
LT1	4.67	3.46	3.92	1.12	2.05	2.32	1.76	1.07	0.62

### 3 结语

基于5G通信基站的辐射技术特点开展电磁辐射环境监测,实测结果表明,电磁辐射强度与应用场景、移动终端分布状况明显相关,采用《移动通信基站电磁辐射环境监测方法》(HJ 972—2018)已无法准确测量5G基站的电磁辐射强度和范围,建议研究制订专门的5G通信基站电磁辐射环境监测技术方法标准。考虑到受终端设备、监测仪器及监测时间的限制,为便于基站环境监测工作的有序开展,建议先测量基站周边综合场强(功率密度或电场强度)值,如超过保守标准限值,再选频测量特定应用场景下的5G频段辐射强度(连续6 min方均根值),以增加环境监测的针对性,提高现场工作效率。

#### [参考文献]

[1] 刘艳红,黄雪涛,石博涵. 中国“新基建”:概念、现状与问题[J]. 北京工业大学学报(社会科学版),2020,20(6):1-12.

- [2] 吴文化,向爱兵. 双擎发力同步推进“新基建”与“老基建”[J]. 中国经贸导刊,2020(13):22-24.
- [3] 王晓云,陈志平. 基于相位差的多系统通信基站的电磁辐射监测[J]. 环境监测管理与技术,2019,31(1):68-71.
- [4] 李刚,李炎龙,王磊,等. 新疆乌鲁木齐市移动通信基站电磁辐射监测与污染状况分析[J]. 四川环境,2019,38(4):113-117.
- [5] 段临林,杨传俊,唐超. 厦门市电磁环境解析[J]. 中国环境监测,2018,34(2):122-129.
- [6] 杨文东,魏琛,钱玉峰. 5G移动通信系统发展综述[J]. 数字通信世界,2018(1):24-28.
- [7] 林泓池,孙文彬,郭继冲,等. 5G先进技术研究进展[J]. 电信科学,2018,34(8):34-45.
- [8] 许方敏,仇超,赵成林. 业务需求推动下的5G若干关键技术探讨[J]. 电子技术应用,2016,42(7):5-7.
- [9] 陈丽萍. 传统基站到有源天线基站的演进[J]. 电讯技术,2015,55(8):942-946.
- [10] 生态环境部. HJ 972—2018 移动通信基站电磁辐射环境监测方法[S]. 北京:中国环境科学出版社,2018.
- [11] 环境保护部,国家质量监督检验检疫总局. GB 8702—2014 电磁环境控制限值[S]. 北京:中国环境科学出版社,2014.