

5G通信基站工作特性及其电磁辐射问题研究

吴少旭, 张晓东, 贝新宇

核工业北京地质研究院, 北京

Email: wushaoxu@briug.cn, zhangxiaodong@briug.cn, beixinyu_0211011@163.com

收稿日期: 2021年5月28日; 录用日期: 2021年6月14日; 发布日期: 2021年6月28日

摘要

本文通过与4G通信基站对比, 简要介绍了4G和5G通信系统之间的主要相似性和差异, 并分析了5G通信基站的工作特性对于测量其电磁辐射值的影响, 最后选取某5G通信基站, 实地测量了该基站的电磁辐射情况, 总结了在不同条件下5G通信基站电磁辐射环境的变化规律。由监测结果得出, 与4G通信基站不同, 5G通信基站的电磁辐射值分布在空间上有明显差异, 且受到多种因素(包括: 5G基站工作模式、5G终端的位置、5G终端的网速等)的影响而随动。该研究对于5G通信基站辐射环境监测工作提供了理论帮助, 并推动了5G基站选址与建设工作。

关键词

5G系统, 通信基站, 电磁辐射环境

Research on Characteristics and Electro-Magnetic Radiation of 5G Communication Base Station

Shaoxu Wu, Xiaodong Zhang, Xinyu Bei

Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing

Email: wushaoxu@briug.cn, zhangxiaodong@briug.cn, beixinyu_0211011@163.com

Received: May 28th, 2021; accepted: Jun. 14th, 2021; published: Jun. 28th, 2021

Abstract

Compared with 4G communication base station, the main similarities and differences between 4G and 5G systems are introduced, and the influence of those characteristics of 5G communication

base stations on the measurement of the maximum electromagnetic radiation is analyzed. Finally, the electromagnetic radiation of 5G communication base station is measured on the spot, and the change law of electromagnetic radiation environment of 5G communication base stations under different conditions is summarized. Detection results show that the electromagnetic radiation distribution of 5G communication base station is different from that of 4G communication base station in space, and it is affected by many factors, including 5G base station working mode, 5G terminal location, 5G terminal network speed, etc. This study provides theoretical help for the radiation environment monitoring of 5G communication base station, and promotes the location and construction of 5G base station.

Keywords

5G System, Communication Base Station, Electromagnetic Radiation Environment

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着社会经济与科学技术的高速发展，人们对于移动通讯网络的要求越来越高，因此，第五代移动通信技术(5G)迅速走进我们的生活。5G 通信网络作为新一代无线移动通信网络，将以全新的网络架构、提供至少十倍于 4G 的峰值速率、毫秒级的传输时延和千亿级的连接能力，开启万物广泛互联[1] [2]。

相比于 4G 技术，5G 技术主要的技术特点之一在于使用了更高的信号频率。由于使用了更高的频率范围，基站的信号覆盖区域变小，基站的数量将大幅度增加，于是有民众认为 5G 基站更多、频率更高，担心电磁辐射更严重，这导致 5G 移动通信基站部署面临选址困难的问题[3]。而且，5G 通信技术应用了大规模多输入多输出(MIMO)天线和和相控阵天线波束成形等关键技术，这使得波束将聚焦用户，波束主瓣方向随着用户移动时刻发生变化，这个特点决定了 5G 基站电磁辐射的研究与传统的基站有着本质区别。

目前，国内开始了大力建设 5G 通信基站的热潮，而关于 5G 通信基站的电磁辐射研究还处于初步发展阶段，传统的电磁辐射监测技术不能完全适用于 5G 通信基站[4] [5]。因此，本文对 5G 基站工作特性及电磁辐射影响作了详细探讨，并对 5G 基站的电磁辐射进行了实地测试，研究了 5G 通信基站电磁辐射分布规律。

2. 5G 通信技术与 4G 通信技术的相似性和差异

2.1. 5G 技术与 4G 技术的基本特点

1) 频率与带宽。4G 通信技术只使用低于 6 GHz 的频率，但 5G 技术支持两种频段(FR)：频段 1，通常称为亚 6 GHz，范围从 450 MHz 到 7125 MHz；频段 2，通常称为毫米波，范围从 24 GHz 到 50 GHz。频段 1 的最大带宽为 100 MHz，而段 2 的最大带宽为 400 MHz。这些值比 4G 通信带宽(20 MHz)要大得多[6]。

2) 正交频分复用技术(OFDM)。4G 通信和 5G 通信都使用正交频分复用技术(OFDM)。在 4G 通信技术中，子载波间隔固定等于 15 kHz，而 5G 通信技术采用了可变子载波间隔。子载波间隔可以被选择为等于 $2^{\mu} \cdot 15 \text{ kHz}$ ($\mu = 0, 1, 2, 3, 4$)，等于 4G 通信子载波间隔的 2^{μ} 倍。这两种通信技术的调制方案是相

似的,包括二进制相移键控(BPSK)、正交相移键控(QPSK)和正交幅度调制(16阶、64阶和256阶)。4G通信和5G通信的帧的时间长度都等于10ms,并且每个帧由10个子帧组成,每个子帧的时间长度为1ms。然而,5G通信技术采用不同的数字命理学,子帧中的OFDM符号数量与4G通信不同。在5G通信技术中,子帧被划分在每14个OFDM符号(12个符号用于扩展循环前缀)的 2^{μ} 时隙中[7]。

3) 物理资源结构。在4G通信和5G通信中,最小的物理资源是由频域上的一个子载波和时域上的一个OFDM符号组成的资源元素(RE)。在5G通信中,根据所采用的数字命理学,RE以不同的方式映射到时频域。多个RE可以组成资源块(RB),RB在频域中由12个连续的子载波组成。最后,多个RB组成资源网格(RG),RG代表了一个时隙(Slot)中的传输信号[8][9][10]。

2.2. 接入模式: 频分双工(FDD)与时分双工(TDD)

通信信号的接入方式对于通信基站信号传输功率的影响至关重要。5G通信系统主要采用时分双工(TDD)模式,其中下行链路和上行链路传输共享相同的载波频率,由严格的时间表来进行区分。而4G通信系统使用的首选接入模式是频分双工(FDD)(尽管4G系统也允许少数几种TDD配置),其中下行链路和上行链路传输占用不同的频率。图1显示了4G(a)和5G(b)源的零跨度测量结果,即给定频率下接收功率随时间的演变[11]。

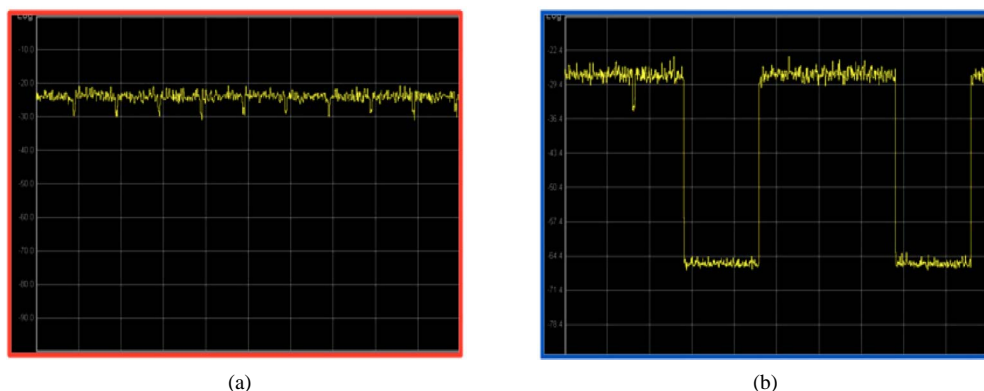


Figure 1. Zero span measurement for a 4G Frequency Division Duplexing (FDD) source (a) and a 5G Time Division Duplexing (TDD) source (b)

图 1. 4G 频分双工(FDD)源(a)和 5G 时分双工(TDD)源(b)的零跨度测量结果

与 FDD 源相比, TDD 源所产生的电磁辐射强度是相当不同的。在 FDD 系统中,源是“始终开启”的,即在载波频率处的传输是连续的。

2.3. 无源与有源天线: 波束扫描

从 4G 网络到 5G 网络的主要改进是使用有源天线。借助这种智能天线,运营商可以最大限度地利用其有限的频谱资源来增加网络容量。在 5G 通信技术出现之前,天线被设定为一个固定的辐射模式,其形状和波束方向不会随时间改变。配备有源天线的 5G 通信系统能够合成指向不同方向的多个波束,并根据电磁环境进行动态重构。与 4G 通信系统相比,5G 广播频道的传输模式大大改变。图 2 为 4G 通信基站(a)中使用的固定波束以及 CRS(b)接收功率的对应零跨度测量结果[12]。

相比于 4G 通信系统,图 3(a)显示了 5G 通信系统传输 SSB 的动态波束扫描技术。每个波束与同步信号 PBCH 块(SSB)的传输相关联。图 3(b)显示了 SSB 接收功率的相应零跨度测量结果。由图可知,由于波束扫描技术,SSB 中导频信道的接收功率在时间上不再是恒定的。因此,在进行 5G 通信基站辐射环境的监测时,应该监测足够长的时间以获得更准确的结果。

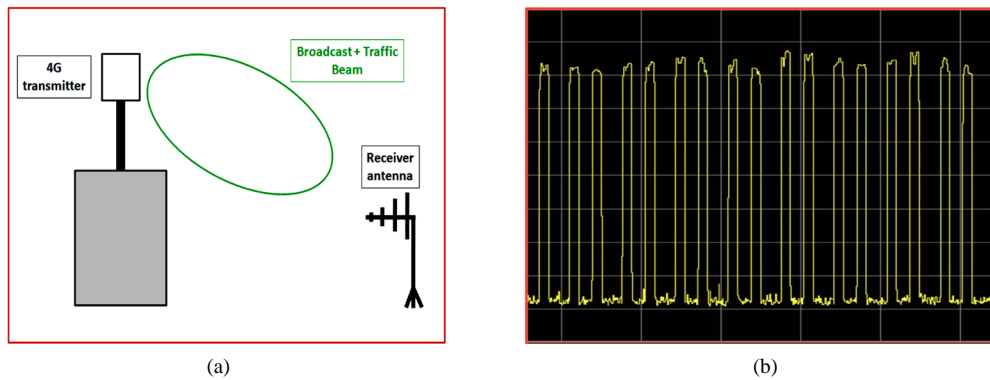


Figure 2. A 4G passive antenna (a) and zero span measurement of the Cell-Specific Reference Signal (CRS) received power level (b)

图 2. 由 4G 无源天线(a)和小区参考信号(CRS)接收功率电平(b)的零跨度测量结果

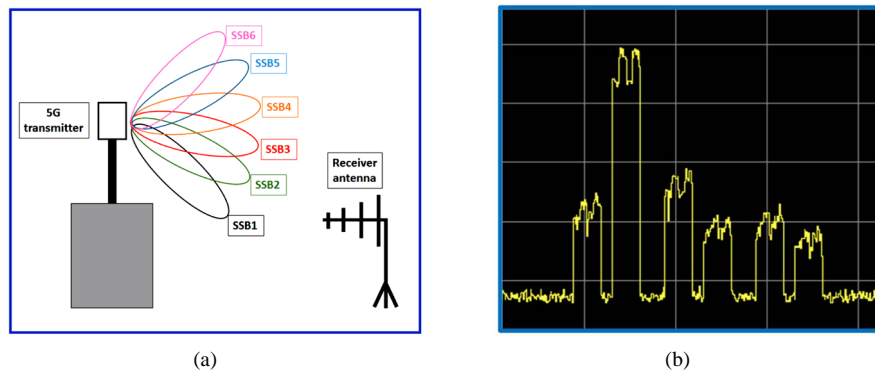


Figure 3. A 5G active antenna (a) and zero span measurement of the Synchronization Signal Block (SSB) received power level (b)

图 3. 由 5G 有源天线(a)合成的波束扫描和同步信号块(SSB)接收功率电平(b)的零跨度测量结果

2.4. 无源与有源天线：波束赋形

用于 5G 通信基站的有源天线还能够实现波束赋形，即用于高增益定向信号传输的信号处理技术。这项技术可以克服信号传输的路径损耗，尤其是在 3 GHz 及更高频率下。波束形成是通过组合天线阵列来实现的。由于 5G 通信系统的波束赋形技术，通信基站可以向用户设备合成高增益定向信号以提高数据传输效率[13] (图 4)。

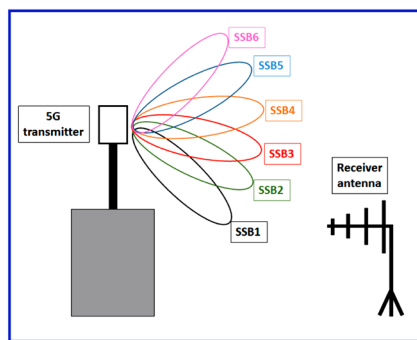


Figure 4. Beamforming technology of active antenna

图 4. 有源天线波束赋形技术示意图

这一特征对于 5G 通信基站的电磁辐射环境监测有很大影响。在 5G 通信系统中，与广播信道(即，打包到 SSB 中的信号)相关联的接收功率不再是最大可接收功率电平的参考，因为实际数据传输可以通过具有比 SSB 波束更高增益的波束赋形专用模式来传输。因此，在进行 5G 通信基站辐射环境的监测时，应该考虑到电磁辐射情况在空间上的分布规律。

3. 5G 通信基站电磁辐射环境监测

3.1. 电磁辐射环境监测原理

确定最大电磁辐射的一种测量方法就是所谓电磁场(EMF)测量。根据《5G 移动通信基站电磁辐射环境监测方法(试行)》(HJ 1151-2020)的要求，测量 5G 移动通信基站电磁辐射环境时应使用选频式电磁辐射监测仪，监测仪器的检波方式为方均根检波方式。这种监测方式基于功率监测(dBm)，通过天线系数(dB/m)和/或天线孔径(m²)，可以将功率测量结果转换为功率密度(W/m²)或电场强度(V/m) (见图 5) [14] [15]。

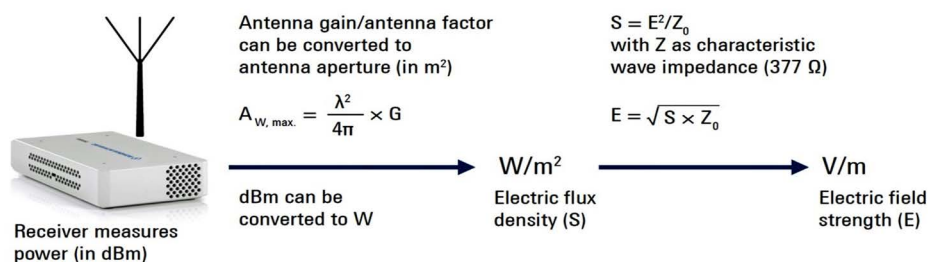


Figure 5. Relationship of power, electric flux density and electric field strength
图 5. 功率、功率密度和电场强度的关系

3.2. 5G 通信基站电磁辐射环境实测

为了研究 5G 通信基站在不同影响条件下的电磁辐射值大小及变化规律，本文对某 5G 通信基站进行了实地监测，并对监测结果进行了分析。

3.2.1. 监测方法

采用《移动通信基站电磁辐射环境监测方法》(HJ972-2018)和《5G 移动通信基站电磁辐射监测方法(试行)》(HJ 1151-2020)两种方法进行对比监测。

3.2.2. 监测站点情况

该 5G 通信基站为屋面抱杆架设，该基站架设有电信 5G 天线，并同时还架设 2G 及 4G 天线。

3.2.3. 监测仪器

本次监测选用监测仪器为：射频综合场强仪 SEM-600 和射频选频分析仪 SRM-3006，两台仪器对基站的电磁辐射影响进行了同步监测，监测仪器和基站的工作频段见表 1。

Table 1. Frequency range of operator base station and monitoring equipment
表 1. 运营商基站及监测仪器工作频段

基站及仪器	频段(MHz)
2G、4G	800~2500
电信 5G	3400~3500
SEM-600	0.1~6000
SRM-3006	75~6000

3.2.4. 实地监测及监测结果

在该通信基站附近进行了两次监测，基站监测时，5G 终端采用数据传输场景，基站周围没有其他 5G 终端使用 5G 网络，测试终端上网速率为 900 M/s，基本占用整个 5G 基站的带宽资源。第一次监测选取基站附近的 3 个监测点位分别进行监测，主要探究 5G 通信基站与 4G 通信基站的辐射环境情况对比，以及 5G 通信基站电磁辐射值在基站附近空间上的分布规律；第二次监测选取该基站附近的某一个固定测点(距离天线的水平距离为 48 m，高差为 17 m)进行监测，主要探究基站处于不同工作模式时的电磁辐射环境情况。

1) 第一次监测结果见表 2。

Table 2. First monitoring results

表 2. 第一次监测结果

监测点位	水平距离(m)	高差(m)	监测仪器	监测结果(W/m ²)		
				未使用 5G 终端	5G 终端数据传输	5G 终端离开测点 10 m
1	13	2	SEM-600	0.0821	1.2642	
			SRM-3006	0.0011	0.8658	
2	/	/	SEM-600	0.1163	0.2084	/
			SRM-3006	0.0017	0.0523	
3	53	18	SEM-600	0.0051	0.3487	0.2273
			SRM-3006	0.0010	0.2311	0.1182

根据表 2 的监测结果可以发现，当使用 5G 终端上网时，相对未使用 5G 终端进行数据传输，基站电磁辐射的测值明显升高，该现象出现在所有测点的监测数据中，且与所使用的监测仪器无关。因此可以得出，基站在进行 5G 通信时的电磁辐射值比基站进行 4G 通信时要高。

在通信基站的工作模式固定时，对比不同点位处的监测数据可以发现，在基站处于 4G 通信模式时，随着与基站水平距离的增大，监测数据逐渐减小，这符合 4G 通信基站的电磁辐射值分布规律；而在基站处于 5G 通信模式时，这一规律并没有出现，在近场区(监测点位 2)，电磁辐射值较小，主要是受到天线副瓣的影响，而在远场区(监测点位 1 和 3)，电磁辐射值随着距离的增加呈衰减趋势。

值得注意的是，在常规监测时，5G 终端与监测点位保持一致。因此，在监测点位 3 进行了 5G 终端位置变化造成 5G 基站电磁辐射变化的特殊测试，当 5G 终端离开监测点位 10 m 时，SEM-600 的测值由 0.3487 W/m² 下降为 0.2273 W/m²，SRM-3006 的测值由 0.2311 W/m² 下降为 0.1182 W/m²。这一规律说明相对 2G 和 4G 基站，5G 基站的电磁辐射方向性更强，能够针对终端的具体位置调整电磁波的波束方向，该结果印证了 5G 通信系统波束赋形技术，这一特性与 4G 通信系统不同。

2) 第二次监测结果见表 3。

Table 3. Second monitoring results

表 3. 第二次监测结果

监测仪器	工作模式				
	未使用 5G 终端	使用 1 个 5G 终端数据传输	使用 2 个 5G 终端数据传输	使用 1 个 5G 终端视频交互	使用 2 个 5G 终端视频交互
SEM-600	0.0065	0.0136	0.0125	0.0068	0.0057
SRM-3006	0.0005	0.0052	0.0059	0.0009	0.0012

根据监测结果可以看出,无论在何种工作模式下,当两台 5G 终端同时工作时,基站的带宽资源要分享给两个用户使用,两个用户共享 900Mb/s 的网速,电磁辐射测值与一个 5G 终端工作时的测值没有明显变化。

对比未使用 5G 终端,在视频交互场景下电磁辐射测值升高不明显,而在数据传输场景时的电磁辐射测值升高比较明显。主要是 5G 终端在视频交互场景下的网络资源占用相对数据传输场景下较少,网络速率通常为 2-5Mb/s,而 5G 终端在数据传输场景下的网络资源占用较高,网络速率可以达到 900Mb/s 的峰值。因此,可以得出 5G 基站的电磁辐射和网络资源占用成正相关,这一特性与 4G 通信基站不同。

在监测过程中还发现,5G 基站的电磁辐射测值和 5G 终端的网速有关,因为 5G 主要为 TDD(时分双工)技术,上下行共用相同频段,当 5G 终端进行下载(数据从基站到终端)时,网速较高,则电磁辐射测值较大;当 5G 终端进行上传(数据从终端到基站)时,网速相对较低,电磁辐射测值和未使用 5G 终端时的测值相当。

4. 结论

本文通过对比 4G 和 5G 系统之间的主要相似性和差异,分析了 5G 通信基站的工作特性对于测量其电磁辐射最大值的影响,最后实地测量了 5G 通信基站的电磁辐射情况,总结了在不同条件下 5G 通信基站电磁辐射环境的变化规律。得出以下结论:

① 相比于 4G 通信技术,5G 通信技术在频率带宽、正交频分复用技术(OFDM)和物理资源结构等方面有了明显提升。5G 通信系统主要采用时分双工(TDD)模式,其中下行链路和上行链路传输共享相同的载波频率,由严格的时间表来进行区分。并且,5G 通信基站采用有源天线实现了波束扫描和波束赋形技术,提高了通信基站对用户设备传输数据的效率。

② 在各个监测点位,当使用 5G 终端上网时,相对未使用 5G 终端进行数据传输,基站电磁辐射的测值明显升高,该现象与所使用的监测仪器无关。

③ 4G 通信基站的电磁辐射值在基站所处位置最高,而后随着与基站的水平距离增大而逐渐减小;而 5G 通信基站的电磁辐射值在近场区较小,而在远场区,电磁辐射值随着与基站水平距离增大而逐渐减小。

④ 相对 2G 和 4G 基站,5G 基站的电磁辐射方向性更强,能够针对终端的具体位置调整电磁波的波束方向,这就是 5G 通信系统的波束赋形技术。

⑤ 当两台 5G 终端同时工作时,基站的带宽资源要分享给两个用户使用,两个用户共享 900Mb/s 的网速,电磁辐射测值与一个 5G 终端工作时的测值没有明显变化。

⑥ 对比未使用 5G 终端,在视频交互场景下电磁辐射测值升高不明显,而在数据传输场景时的电磁辐射测值升高比较明显,所以,5G 基站的电磁辐射和网络资源占用成正相关。

⑦ 由于 5G 通信系统的 TDD(时分双工)技术,当 5G 终端进行下载(数据从基站到终端)时,电磁辐射值增大,当 5G 终端进行上传(数据从终端到基站)时,电磁辐射值和未使用 5G 终端时的测值相当。

综上,与 4G 通信基站相比,5G 通信基站的电磁辐射值分布规律在空间上具有明显的差异,且受到多种因素的影响而随动。因此,传统的通信基站电磁辐射测量方法无法满足 5G 通信基站的电磁辐射环境监测,在进行 5G 基站的监测时,应该严格按照《5G 移动通信基站电磁辐射监测方法(试行)》(HJ 1151-2020)的要求,充分考虑不同的基站工作场景,并合理选点。

参考文献

- [1] 戴春伟. 5G 基站能耗管控与环境影响[J]. 江苏通信, 2020, 36(4): 29-32.

-
- [2] 王华刚, 罗森文, 陈少川. 5G 基站与射频电磁辐射漫谈[J]. 广东通信技术, 2020, 40(8): 70-74.
- [3] 王守源, 安少赓, 呼彦朴, 等. 5G 基站的电磁特性检测[J]. 安全与电磁兼容, 2020(6): 18-22.
- [4] 罗勇, 石丹, 王冠, 等. 5G 基站电磁辐射[J/OL]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2021: 1-4. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1746.TN.20210330.1052.002.html>, 2021-06-08.
- [5] 李可才. 5G 基站电磁辐射探析[J]. 信息通信, 2020(6): 269-271.
- [6] Franci, D., Coltellacci, S. and Grillo, E. (2020) An Experimental Investigation on the Impact of Duplexing and Beamforming Techniques in Field Measurements of 5G Signals. *Electronics*, **9**, 223. <https://doi.org/10.3390/electronics9020223>
- [7] Keller, H. (2019) On the Assessment of Human Exposure to Electromagnetic Fields Transmitted by 5G NR Base Stations. *Health Physics*, **117**, 541-545. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001089>
- [8] Migliore, M.D. (2019) Horse (Electromagnetics) Is More Important than Horseman (Information) for Wireless Transmission. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **67**, 2046-2055. <https://doi.org/10.1109/TAP.2018.2889158>
- [9] Song, C.H., Liu, K. and Yang, Z.Q. (2020) Evaluation of Electromagnetic Radiation Level of a 5G Mobile Communication Base Station in Jinshan, Shanghai. *Advances in Environmental Protection*, **10**, 208-212. <https://doi.org/10.12677/AEP.2020.102024>
- [10] Aerts, S., Verloock, L. and Van Den Bossche (2019) *In-Situ* Measurement Methodology for the Assessment of 5G NR Massive MIMO Base Station Exposure at Sub-6GHz Frequencies. *IEEE Access*, **7**, 184658-184667. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2961225>
- [11] 杜岳华. 浅谈 5G 移动通信基站的电磁辐射环境影响[J]. 科技风, 2020(30): 83-84.
- [12] 邓晓钦, 高鹏. 5G 移动通信基站电磁辐射监测波束引导必要性研究[J]. 四川环境, 2020, 4(11): 142-145.
- [13] 付松. 5G 基站电磁辐射评估[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2020, 5(13): 122-126.
- [14] 中华人民共和国生态环境部. 《移动通信基站电磁辐射环境监测方法》(HJ972-2018) [S]. 2018-09-30.
- [15] 中华人民共和国生态环境部. 《5G 移动通信基站电磁辐射监测方法(试行)》(HJ 1151-2020) [S]. 2020-12-14.