



5G 基站无用发射 OTA 测试环境分析

宫剑¹, 南楠²

(1. 国家无线电监测中心检测中心, 北京 100041;
2. 国家无线电监测中心陕西监测站, 陕西 西安 100010)

摘要: 根据工业和信息化部针对 5G NR 2 600 MHz 基站无用发射 OTA 测试项规定的较为严格的试验网标准要求, 针对不同的 OTA 场地包括远场、紧缩场、近场、动态波束紧缩场等环境以及其他的关键因素进行了实测对比分析, 并给出能够通过测试的环境建议。

关键词: 5G 杂散 OTA 测试; 远场; 紧缩场; 近场; 动态波束紧缩场

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020036

Unwanted emission OTA test environment analysis of 5G basestation

GONG Jian¹, NAN Nan²

1. The State Radio Monitoring Center Testing Center, Beijing 100041, China
2. The State Radio Monitoring Centre Shaanxi Monitoring Station, Xi'an 100010, China

Abstract: Based on the strict unwanted spurious emission OTA requirements of China local regulation for 5G 2 600 MHz Base Station, the path loss of the different chambers including far field, CATR (compact antenna test range), near field, DBFC (dynamic beam forming compact range chamber) and other key factors were presented and analyzed according to the measured data. The compared results in different test environment were also shown and the suggestion for passing the test were given.

Key words: 5G unwanted emission spurious OTA test, far field, CATR, near field, DBFC

1 引言

3GPP 射频一致性测试标准 TS38.141-2 对 5G NR 基站定义的 1-H、1-O 和 2-O 基站站型, 均规定了相应的 OTA (over the air) 射频测试项^[1]。尤其是 1-O 和 2-O 的站型, 没有了传统的传导测试的天线接口, 所有的射频测试项都需要在 OTA 环

境下进行测试^[2], 杂散测试也不例外。在 5G 的杂散 OTA 测试规范中, 共定义了 4 种杂散类型: 部分频段无用发射; 通用杂散; 特殊频段保护的共存杂散; 与其他系统共站址的杂散发射。

这 4 种 OTA 杂散类型, 又分为两种测试方法, 一种是 TRP (total radiated power) 的测试方法, 适用于无用发射、通用杂散和共存杂散; 另一种



是共址 OTA 测试方法,适用于共站址杂散。在工业和信息化部无线电管理局对 2 600 MHz 频段 IMT 系统基站试验网射频技术要求中,对于部分频段无用发射测试项,由于我国北斗和定位导航系统的存在,OTA 测试标准比 3GPP 标准要严格很多,所以成为杂散 OTA 测试的难点。如果不适用合适的测试场地和方法,就无法取得测试的通过。通过实测数据分析影响无用发射 TRP 的测试因素,其中包括测试场地路损评估、陷波器参数以及频谱仪选择等底噪控制因素,并给出相应的测试环境建议。

2 无用发射测试指标

我国针对 2 600 MHz 频段 IMT 系统基站的无用发射 TRP 测试指标见表 1,主信号频率范围 2 515~2 675 MHz。IMT 系统基站在 2 483.5~2 500 MHz 和 2 700~2 900 MHz 频段无用发射总辐射功率 (TRP) 要求见表 1。

比参考文献[1]中 3GPP TS 38.141-2 标准在宏基站 OBUE 中规定的“Wide area BS operating band unwanted emission limits (1 GHz < NR bands ≤ 3 GHz) for category B option1”的指标严格了几十 dB。

3 测试场地

3GPP 标准中虽然建议了远场、紧缩场、近场等不同的 OTA 测试场地,并给出了不同场地 MU (measurement uncertainty) 以及校准和测试方法建议^[3],但并没有给出针对每个测试项确切的场地指标和局限性。在对各种场地进行无用发射测试

的时候,发现场地路损是影响 OTA 杂散 TRP 测试的核心因素,所以以下分析主要基于远场、紧缩场、近场和动态波束紧缩场进行分析^[4]。

3.1 远场

根据远场距离公式 $2D^2/\lambda$, D 为被测件天线最大口径, λ 为被测频率波长,所以被测件与测量天线之间的远场距离取决于这两个因素,假设 $D=1$ m, 频率=2.6 GHz, 远场距离应大于 17.33 m,即被测物天线相位中心距离测量天线之间的距离至少为 17.33 m,根据自由空间传播损耗公式: $\text{Loss (dB)} = 32.45 + 20\lg F + 20\lg D$, F 为频率, D 为测试距离,取 $F=2.6$ GHz, $D=18$ m, $\text{Loss}=65.85$ dB。再加上系统中射频电缆等插损, Loss 值将增大至 70~90 dB。

3.2 紧缩场

紧缩场是目前为止最好的等效远场,既符合远场测试条件,又大大减小了测试空间。紧缩场增加了馈源和反射面系统,使得球面波在较短的距离内就可以转化成平面波,所以路径损耗可以更小。清华电子工程系紧缩场测试场地如图 1 所示,以 20 m×10 m×10 m 的紧缩场为例,反射面 5 m×5 m,静区尺寸长为 3 m、直径为 2 m 圆柱,频率范围 1~40 GHz。在 2.6 GHz,路径损耗约为 -62 dBm (使用 11 m 线缆),如果将仪表移至暗室内尽量靠近被测物以减少射频线缆损耗,路径损耗可以优化至 -56 dBm。

3.3 近场

近场单探头是 OTA 测试中对空间需求相对较小的测试方法,由于测试距离可以在 3 m 以下,路径损耗可达 46 dB 以内。虽不满足远场条

表 1 无用发射限值

频率范围	无用发射限值 (TRP)	测量带宽	检波方式
2 483.5~2 500 MHz	-40 dBm	1 MHz	有效值
2 700~2 900 MHz			

件,但对于 TRP 的测试而言,近场和远场的测试都是有效的^[5-6]。是德科技单探头测试场地如图 2 所示。

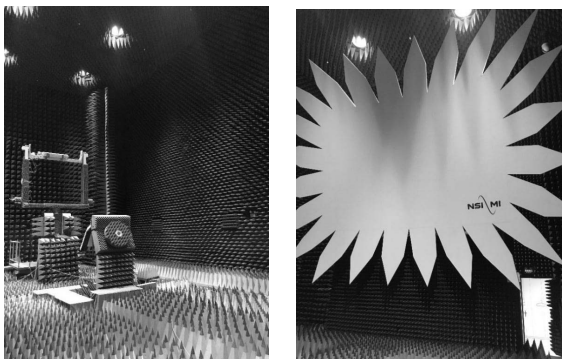


图 1 清华电子工程系紧缩场测试场地



图 2 是德科技单探头测试场地

3.4 动态波束紧缩场

动态波束紧缩场 DBFC (dynamic beam-forming compact range chamber) 是目前 5G NR 测试中较为创新的一种方法,原理类似紧缩场将球面波通过变换在较近的距离内形成平面波,不同的是,用天线阵面加调相网络的方法取代了馈源和反射面,进一步降低了暗室的尺寸和造价。类似近场,小型 OTA 暗室即可满足。对带内信号的测试指标也可以较好的满足。但受限于调相网络的动态范围,路径损耗在 60~80 dB 之间。频率范围和带宽也受限于调相网络,一般只支持 6 GHz 频率 500 MHz 带宽以下的带内频段。如图 3 所示为中国信息通信研究院研制的动态波束紧缩场,通过一定的改造,例如仅使用其中的一个天线阵子

作为测量天线,路损可以降至 45 dB 左右,也可以用作杂散 TRP 测试环境。

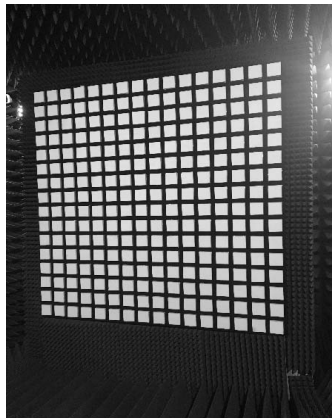


图 3 中国信息通信研究院动态波束紧缩场

3.5 OTA 测试场地建议

根据在各场地实测数据的对比,场地的路损极大的影响了最终的测试结果,必须选择小于 50 dB 的 OTA 场地进行测试,否则难以满足国内严格的 5G NR 基站的 OTA 杂散测试需求。通过实测可知,由于 TRP 的结果为球面各点的积分值,如果基站的杂散性能较差,就必须要选择更为有利的测试环境,如图 4 所示,如果场地路损能够控制在 45 dB 左右,可以获得更加理想的测试结果。这里的测量天线不限于图 2 中单探头天线,也可以为图 1 中由馈源和反射面组成的系统,或者图 3 中经过改造的动态紧缩场系统,最根本的条件为场地路损的值要足够小。

4 系统底噪分析

整个系统的底噪性能对杂散测试指标是至关重要的,尤其在频率资源日益紧张,使用情况更加复杂的现如今,各个系统之间的相互干扰和兼容性,使得 5G 基站杂散指标的要求比以往更加苛刻,所以门限已无法再像以前那样,比实测值高出十几甚至几十 dB。很多被测系统处在过与不过的边缘或者余量不高,于是控制底噪就成为决定测试是否通过的重中之重。

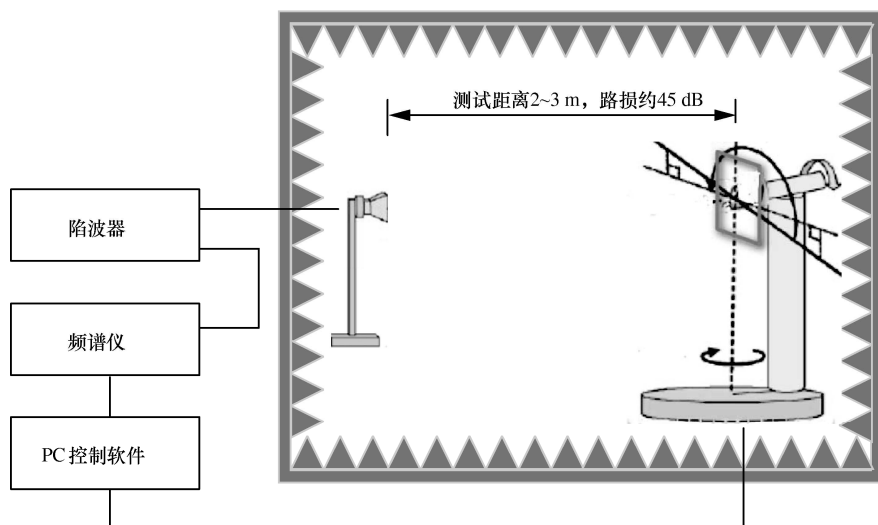


图4 路损约为45 dB的OTA杂散TRP测试方案示意图

第3节所述的OTA暗室测试场地路损,是影响系统低噪重要的前提。除此之外还包括频谱仪动态性能,陷波器的通带插损以及陷波器的阻带抑制等。

4.1 频谱仪

频谱仪的底噪在衰减器为0,预放打开的情况下,可以在 $-170 \sim -160$ dBm/Hz,即 $-110 \sim -100$ dBm/MHz,如图5所示为罗德施瓦茨公司的FSW频谱仪DANL(displayed average noise level)截图。需要补偿到频谱仪的offset值包含场地路损和陷波器通带损耗以及射频线缆损耗。由于无用发射TRP的限值为 -40 dBm/MHz,根据TRP计算公式,当使用EIRP(equivalent isotropic radiated power)进行测量时,TRP_{Estimate}定义为:

$$\text{TRP}_{\text{Estimate}} = \frac{\pi}{2NM} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \text{EIRP}(\theta_n, \phi_m) \sin \theta_n \quad (1)$$

N 和 M 是 θ 和 ϕ 角的采样点数。每一组 (θ_n, ϕ_m) 对应一个采样点。所以球面上扫描各点的EIRP功率值,必须保证可以测到 -40 dBm/MHz(单极化 -43 dBm/MHz)以下,才能有通过的可能。根据计算可知,若使用底噪为 -100 dBm/MHz的频谱仪,“场地路损+陷波器通带损耗+线缆损

耗”在频谱仪上的总体offset补偿值,必须控制在 57 dB以下。所以场地路损本身大于 57 dB的OTA暗室场地就无法满足无用发射测试条件。实测结果表明,路损在 45 dB左右的测试场地,由于补偿值更小,其底噪更低,可以取得更好的杂散TRP测试结果。

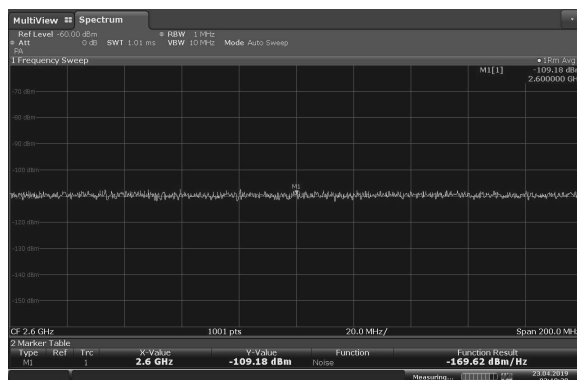


图5 频谱仪FSW底噪

4.2 陷波器特性

对于陷波器特性,推荐使用通带插损尽可能小同时阻带的抑制度尽可能大的,例如在 2.6 GHz通带插损 2 dB,阻带抑制 70 dB以上,这样对测试结果更加有利。原因在于 $5G$ SUB $6G$ 基站的TRP功率为 200 W以上^[7],峰值EIRP一般大于 74 dBm,如果抑制度不够大,进入到频谱仪的信

号将会较大,那么将导致频谱仪的预放无法打开,内置衰减器不能设置为 0,而且还可能需要增加额外的外置衰减导致 offset 进一步增大,这种情况下无法保证频谱仪在最佳底噪情况下工作,也无法满足 OTA 杂散 TRP 测试条件。所以抑制度越大的陷波器就越有利于发挥最佳的频谱仪底噪能力。图 6 所示为推荐使用的陷波器通带阻带指标。由于有用信号与被测杂散信号的间隔只有 15 MHz (低端)和 25 MHz (高端),需要满足通带 2 dB 插损到阻带 70 dB 的过渡,所以对陷波器的制作提出了更高的要求。

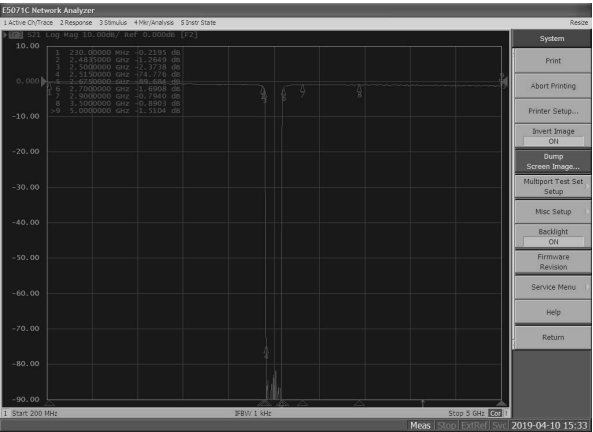


图 6 陷波器通带阻带指标举例

4.3 低噪放

外加低噪放虽然可以改善系统底噪,但影响

有限,尤其是在打开频谱仪内置预放的情况下,根据噪声系数计算式, $NF_{total}=NF_1+(NF_2-1)/Gain_1$,可知当频谱仪内部预放打开的情况下,加入外置的 LNA (low noise amplifier) 对系统低噪的改善极为有限。除非使用增益极高,同时噪声系数极小的低噪放,考虑到成本因素和低噪放额外引入的干扰不确定因素,本文未使用低噪放进行测试。

4.4 不同测试条件下的数据对比

针对同一基站在 2 483.5 MHz 点给出详细的测试参数,见表 2。可见不同的 OTA 场地,不同的频谱仪,陷波器参数导致了不同的 TRP 结果。小的场地路损是测试的基本要求,但即使在场地区路损都小于 46 dB 的情况下,也不一定都能得到理想的测试结果,例如实测条件 1 和实测条件 2 由于使用了不同阻带抑制的陷波器,导致频谱仪的预放一个打开一个无法打开,此时测试信号的最小值相差 14 dB 多,最终的 TRP 结果是一个通过,一个不通过,相差 10 dB 多。而测试条件 1 和测试条件 3 由于使用了不同动态范围的频谱仪导致测试结果相差 6 dB 多。

5 结束语

根据实测数据,针对 OTA 的 TRP 测试结果,对于 5G 基站 OTA 测试较为严格的国内无用发射

表 2 不同底噪控制因素对杂散 TRP 测试结果的影响

实测条件	1	2	3
场地路损	45.77 dB	45 dB	43.2 dB
陷波器通带	3.3 dB	2 dB	5.2 dB
陷波器阻带	68~100 dB	30~40 dB	80~100 dB
Offset 补偿	50.09 dB	47 dB	49.2 dB
频谱仪	FSW	N9040B	N9020A
频谱仪 ATT	0	0	0
频谱仪预放	ON	OFF	ON
可测量的最小信号功率	-64.15 dBm/MHz	-49.49 dBm/MHz	-57.79 dBm/MHz
杂散 TRP@2 483.5 MHz	-48.35 dBm/MHz	-38 dBm/MHz	-41.8 dBm/MHz



频段指标要求所使用的测试环境和方法进行了分析和对比。提出更小路损的 OTA 测试场地对杂散 TRP 测试更有优势,同时陷波器性能和频谱仪动态也是决定测试结果的重要因素。陷波器通带和阻带性能比以往的杂散测试都要求得更高,同时对所使用的频谱仪动态范围和底噪性能也提出了更高的要求。

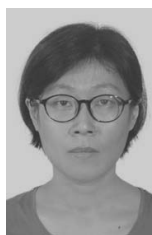
参考文献:

- [1] 3GPP. 3rd generation partnership project technical specification group radio access network NR base station (BS) conformance testing part 2: radiated conformance testing (Release 15): TS38.141- 2 V15.0.0[S]. 2018.
- [2] 3GPP. 3rd generation partnership project technical specification group radio access network NR base station (BS) radio transmission and reception (Release 15): TS38.104 V15.4.0 [S]. 2018.
- [3] 3GPP. 3rd generation partnership project technical specification group radio access network; evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA) and universal terrestrial radio access (UTRA); radio frequency (RF) requirement background for active antenna System (AAS) base station (BS) radiated requirements (Release 15): TR 37.843 V15.2.0 [S]. 2018.
- [4] 宫剑, 任宇鑫, 熊林. 5G 基站 OTA 测试场分析[J]. 数字通信世界, 2019(4): 10-12.
GONG J, REN Y, XIONG L X. 5G base station OTA test chamber

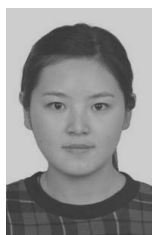
analysis[J]. Digital Communication World, 2019(4): 10-12.

- [5] 3GPP. LS on revision of ERC recommendation 74-01, on unwanted emissions in the spurious domain: R4-1803463[R]. 2018.
- [6] 3GPP. LS on unwanted emissions for the revision of ERC Rec 74-01: R4-1808505[R]. 2018.
- [7] 崔新凯, 李豪, 高向川, 等. 2.6 GHz 下的 5G NR 覆盖能力分析[J]. 电信科学, 2019, 35(8): 104-110.
CUI X K, LI H, GAO X C, et al. Analysis of 5G NR coverage capability at 2.6 GHz[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(8): 104-110.

[作者简介]



宫剑 (1977-), 女, 国家无线电监测中心检测中心工程师, 主要研究方向为无线电设备监测和检测、5G 基站及毫米波雷达测试方法及其标准。



南楠 (1984-), 女, 国家无线电监测中心陕西监测站工程师, 主要研究方向为无线电监测。

电信科学

Telecommunications Science



邮发代号: 2-397 国外代号: M841 定价: 68.00元

ISSN 1000-0801



9 771000 080200