



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

无线路测仪校准规范

Calibration Specification for Wireless Network Testers

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局发布

无线路测仪校准规范

Calibration Specification for

Wireless Network Testers

JJF XXX-2021
代替 JJF1394-2013

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：中国信息通信研究院

中国计量科学研究院

本规范委托全国无线电计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
3.1 误差矢量幅度.....	(1)
3.2 相位误差.....	(1)
3.3 波形质量.....	(1)
3.4 广播控制信道.....	(1)
3.5 业务信道.....	(1)
3.6 接入试探.....	(2)
4 概述.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
5.1 发射电平.....	(2)
5.2 矢量调制.....	(2)
5.3 频谱发射模板.....	(3)
5.4 接收电平.....	(4)
6 校准条件.....	(4)
6.1 环境条件.....	(4)
6.2 测量标准及其他设备.....	(4)
7 校准项目和校准方法.....	(5)
7.1 外观及工作正常性检查.....	(5)
7.2 发射电平.....	(5)
7.3 矢量调制.....	(6)
7.4 频谱发射模板.....	(6)
7.5 接收电平.....	(7)
7.6 功能检查.....	(7)
8 校准结果表达.....	(8)
9 复校时间间隔.....	(8)
附录 A 校准记录表格.....	(9)
附录 B 校准证书内页格式.....	(14)
附录 C 不确定度评定实例.....	(19)
附录 E 常见无线路测仪制式和频段.....	(24)

引 言

JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

本规范是对 JJF1394-2013《无线路测仪校准规范》的修订，与 JJF1394-2013 相比，主要变化的内容包括：

- 增加了 WCDMA (wideband code division multiple access) 无线路测仪、LTE(Long Term Evolution)无线路测仪、IMT2020 5G 无线路测仪等校准项目；
- 发射频谱改为频谱发射模板；
- 发射调制改为矢量调制；
- 规范中的测试方法不体现传导测量和辐射测量，改为方法一和方法二，并对测试框图进行了修改；
- 不确定度以 5G 路测仪为例，增加了发射电平、接收电平、矢量调制的不确定度分析示例；
- 对规范中的语句进行了一些编辑性修改。

无线路测仪校准规范

1 范围

本校准规范适用于 GSM 无线路测仪、CDMA 无线路测仪、WCDMA 无线路测仪、LTE 无线路测仪、IMT2020 5G(sub 6G)无线路测仪的校准，其他路测仪也可以参照执行。

2 引用文件

JJF1276-2011 《宽带码分多址接入(WCDMA)数字移动通信综合测试仪校准规范》

JJF1443-2014 《LTE 数字移动通信综合测试仪校准规范》

3GPP TS 38.201 无线接入网技术规范 物理层概述

3GPP TS 38.211 无线接入网技术规范 物理层的信道与调制

3GPP TS 38.101-1 15.2.0 5G NR UE radio transmission and reception; Part1: Range 1 Standalone

注：凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 误差矢量幅度 error vector magnitude, EVM

在矢量坐标图上，由于射频放大器的非线性与噪声、传输通道的干扰与衰落等，使得矢量的幅度与相位产生变化，它是测量到的矢量与参考矢量之间矢量差的幅度。该量为标量，通常表示为对参考矢量峰值的百分比。

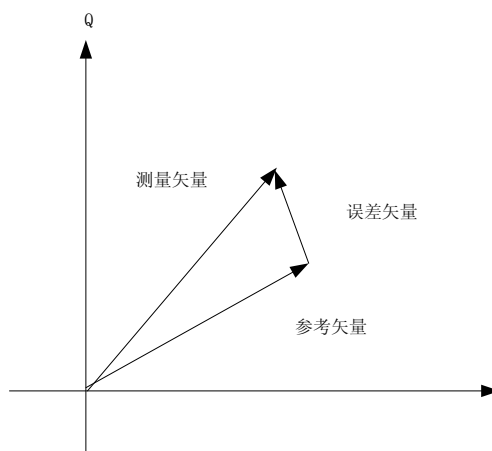


图1 误差矢量图

3.2 相位误差 phase error

在数字调制的载波信号中，一串码元的载波相位形成一个相位轨迹，它是每个码元相位差值与回归线之差。单位为度（°）。

3.3 波形质量 waveform quality

应用于不只是 CDMA 系统中的度量参数，它是相关功率对总功率的比值；相关功率通常是由测得的信号与一个已知编码的参考基带信号之间通过互相关计算得到的。

3.4 广播控制信道 broadcasting control channel, BCCH

传输通用信息，用于移动台测量信号强度和识别小区标志等。

3.5 业务信道 traffic channel, TCH

用户（移动台）和基站之间的通信通路，用于用户业务和信令信号传输，包括成对的

前向业务信道和反向业务信道。

3.6 接入试探 access probe

包括一个前导和一个消息的接入信道发送过程。在长度上发送整数个帧，在内容上发送一个接入信道消息。

4 概述

无线路测仪通常是在测试手机的基础上，通过内部设置专用的软件，配合外部测量软件，实现手机与基站间下行信息的解码与翻译。无线路测仪是网络覆盖评估、网络优化、网络 KPI 评估的一个重要组成内容。无线路测仪可以模拟一个真实用户在网络中的感受，根据不同运营商的不同需求，对无线环境的业务性能进行验证，并提供相关采集数据，用于支持无线网络环境的合理规划和资源的优化配置，准确反映出无线网络的运行质量。

5 计量特性

5.1 发射电平

5.1.1 GSM 路测仪发射电平

频率范围：890 MHz~915 MHz；

电平范围：0 dBm~33 dBm；

电平最大允许误差： $\pm(2\text{ dB}\sim 5\text{ dB})$ 。

5.1.2 CDMA 路测仪发射电平

频率范围：824 MHz~849 MHz；

电平范围：0 dBm~33 dBm；

电平最大允许误差： $\pm(2\text{ dB}\sim 5\text{ dB})$ 。

5.1.3 WCDMA 路测仪发射电平

频率范围：1920MHz~1980 MHz；

电平范围：0 dBm~24 dBm；

电平最大允许误差： $\pm(2\text{ dB}\sim 5\text{ dB})$ 。

5.1.4 LTE 路测仪发射电平

频率范围：1800MHz~2655 MHz(TDD)，1700MHz~1800MHz(FDD)；

电平范围：0 dBm~23 dBm；

电平最大允许误差： $\pm(2\text{ dB}\sim 5\text{ dB})$ 。

5.1.5 IMT2020(5G)路测仪发射电平

频率范围：2515MHz~2675MHz，3400MHz~3500MHz，3500MHz~3600MHz，4800MHz~4900MHz；

电平范围：0 dBm~26 dBm；

电平最大允许误差： $\pm(2\text{ dB}\sim 7\text{ dB})$ 。

5.2 频谱发射模板

5.2.1 900 MHz 频段 GSM 路测仪频谱发射模板：

频偏 Δf (kHz)	100	200	250	400	$1800 > \Delta f$ ≥ 600	$3000 > \Delta f$ ≥ 1800	$6000 > \Delta f$ ≥ 3000	≥ 6000
限值 (dB)	+0.5	-30	-33	-60	-60	-63	-65	-71

5.2.2 1.8GHz 频段 GSM 路测仪频谱发射模板：(输出功率 $\leq 24\text{dBm}$)

频偏 Δf (kHz)	100	200	250	400	$1800 > \Delta f \geq 600$	$6000 > \Delta f \geq 1800$	≥ 6000
限值 (dB)	+0.5	-30	-33	-60	-60	-59	-67

5.2.3 CDMA 路测仪频谱发射模板：

频偏 Δf	885 kHz~1.98 MHz	1.98 MHz~4 MHz
限值(dB)	-42	-54

5.2.4 WCDMA 路测仪频谱发射模板：

频偏 Δf	2.5MHz~ 2.7MHz	2.7MHz~ 3.5MHz	3.5MHz~ 7.5MHz	>7.5MHz
限值(dB)	-22(测量带宽 30kHz)	-34(测量带宽 30kHz)	-21(测量带宽 1MHz)	-25(测量带宽 1MHz)

5.2.5 LTE 路测仪频谱发射模板：

频偏 Δf	0.05MHz~5.05MHz	5.05 MHz~10.05 MHz	10.05 MHz~15 MHz
限值(dB)	-7~-14(测量带宽 100kHz)	-14(测量带宽 100kHz)	-13(测量带宽 100kHz)

5.2.6 IMT2020(5G)路测仪频谱发射模板：

频偏 Δf	2.5MHz~3.5 MHz	3.5MHz~ 7.5MHz	7.5MHz~ 8.5MHz	8.5MHz~ 12.5MHz
限值(dB)	-50(测量带宽 30kHz)	-39(测量带宽 1MHz)	-49(测量带宽 1MHz)	-49(测量带宽 1MHz)

5.3 矢量调制

5.3.1 GSM 路测仪

发射频率误差： $\pm(\text{载波频率} \times 1 \times 10^{-7})$ ；

发射峰值相位误差： $\leq 20^\circ$ ；

发射均方根值相位误差最大允许误差： $\pm 5^\circ$ 。

5.3.2 CDMA 路测仪

发射波形质量： ≥ 0.944 ；

发射误差矢量幅度： $\leq 24\%$ ；

发射相位误差最大允许误差： $\pm 17^\circ$ ；

发射频率误差： $\pm 300\text{ Hz}$ (在频段类别 0)。

5.3.3 WCDMA 路测仪

发射误差矢量幅度： $\leq 17.5\%$ ；

发射相位误差最大允许误差： $\pm 17^\circ$ ；

发射频率误差最大允许误差： $\pm 300\text{ Hz}$ 。

5.3.4 LTE 路测仪

发射误差矢量幅度： $\leq 17.5\%$ ；

发射相位误差最大允许误差：±17°；
发射频率误差最大允许误差：±300 Hz。

5.3.5 IMT2020(5G)路测仪

发射误差矢量幅度：≤30%；
发射相位误差最大允许误差：±17°；
发射频率误差最大允许误差：±300 Hz。

5.4 接收电平

5.4.1 GSM 路测仪接收电平

频率范围：935 MHz~960 MHz，1.805 GHz~1.88 GHz；
电平范围：-40 dBm~-104 dBm(900MHz 频段)，-40 dBm~-100 dBm(1.8GHz 频段)。

5.4.2 CDMA 路测仪接收电平

频率范围：869 MHz~894 MHz；
电平范围：-40 dBm~-104 dBm；
电平最大允许误差：±(4dB~6dB)。

5.4.3 WCDMA 路测仪接收电平

频率范围：2110MHz~2170 MHz；
电平范围：-40 dBm~-104 dBm；
电平最大允许误差：±(4dB~6dB)。

5.4.4 LTE 路测仪接收电平

频率范围：1800MHz~2655MHz(TDD)，1840MHz~1875MHz (FDD)；
电平范围：-40 dBm~-104 dBm；
电平最大允许误差：±(4dB~6dB)。

5.4.5 IMT2020(5G)路测仪接收电平

频率范围：2515MHz~2675MHz，3400MHz~3500MHz，3500MHz~3600MHz，
4800MHz~4900MHz；
电平范围：-40 dBm~-104 dBm；
电平最大允许误差：±(4dB~6dB)。

注：以上所有指标不用于合格性判别，仅提供参考，5G毫米波部分参照执行。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：(23 ±5) °C
相对湿度：≤80%
电源电压及频率：(220 ±11) V，(50 ±1) Hz
周围无强电磁场干扰及无影响校准系统正常工作的机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 无线通信测试仪（以下简称综测仪）

通信标准制式：应包括被校无线路测仪的通信标准；
频率测量范围：800 MHz~6 GHz；
频率准确度： 1×10^{-8} ；
输出电平范围：-120 dBm~0 dBm；
输出电平最大允许误差：±1.0 dB；
输入电平范围：-50 dBm~33 dBm；
输入电平测量最大允许误差：±(0.5 dB~1.0 dB)；
频率误差测量最大允许误差：GSM：±(10 Hz+ $f_0 \times$ 时基准确度)；
CDMA/WCDMA/LTE/5G：±(30 Hz+ $f_0 \times$ 时基准确度)；

- GSM 峰值相位误差测量最大允许误差: $\pm 2.0^\circ$;
 GSM 均方根值相位误差测量最大允许误差: $\pm 0.6^\circ$;
 CDMA 均方根值误差矢量幅度测量最大允许误差: $\pm 4\%$;
 CDMA 均方根值相位误差测量最大允许误差: $\pm 0.6^\circ$;
 CDMA 波形质量测量最大允许误差: ± 0.003 ;
 WCDMA 均方根值误差矢量幅度测量最大允许误差: $\pm 4\%$;
 WCDMA 均方根值相位误差测量最大允许误差: $\pm 1^\circ$;
 LTE 均方根值误差矢量幅度测量最大允许误差: $\pm 4\%$;
 LTE 均方根值相位误差测量最大允许误差: $\pm 1^\circ$;
 5G 均方根值误差矢量幅度测量最大允许误差: $\pm 4\%$;
 5G 均方根值相位误差测量最大允许误差: $\pm 1^\circ$.

6.2.2 屏蔽盒 (或电磁屏蔽室)

频率范围: 800 MHz~6GHz;

屏蔽效能: >50 dB。

6.2.3 天线

频率范围: 800 MHz~6GHz;

增益不确定度: (1.0~2.0) dB ($k=2$)。

7 校准项目和校准方法

校准项目一览表见表 1。

表 1 校准项目一览表

序号	项目名称
1	外观及工作正常性检查
2	发射电平
3	频谱发射模板
4	矢量调制
5	接收电平
6	功能检查

7.1 外观及工作正常性检查

7.1.1 被校无线路测仪应有说明书及全部配套附件。

7.1.2 被校无线路测仪各开关、旋钮、按键等应安装牢固, 调节正常。仪表不应有影响电气性能的机械损伤。

7.1.3 进行以下校准时, 无线路测仪应放置于手机屏蔽盒 (或电磁屏蔽室) 中, 被校无线路测仪及校准用设备应按规定时间预热。

7.2 发射电平

7.2.1 方法一:

7.2.1.1 如图 2 所示, 使用射频电缆将综测仪与无线路测仪连接。

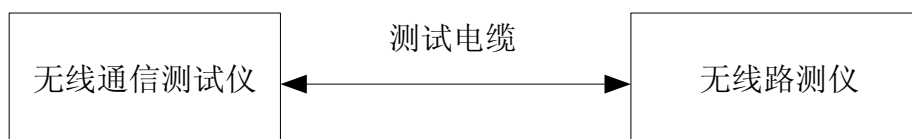


图 2 线缆连接测量示意图

7.2.1.2 根据路测仪制式，设置综测仪为相应制式的信令模式，根据线缆损耗设置测试端口衰减补偿值。

7.2.1.3 综测仪选择该制式的频段 **Band**、信道频率（信道号）**Channel** 和输出功率，并通过综测仪设置无线路测仪的发射功率 L_M 。

7.2.1.4 无线路测仪进行小区注册，并与综测仪建立呼叫连接。将综测仪设置在功率测量模式，读取综测仪功率测量值，并记录于附录表 A.1 中。

7.2.1.5 通过综测仪改变无线路测仪的发射功率 L_M 和频带、信道频率（信道号） f_T ，重复步骤 7.2.1.3~7.2.1.4。

7.2.2 方法二（需要在屏蔽环境下进行）：

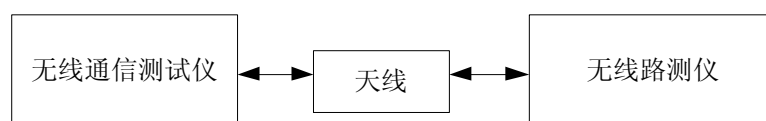


图 3 天线耦合测量连接示意图

7.2.2.1 如图 3 所示，使用天线将综测仪与无线路测仪连接。

7.2.2.2 根据路测仪制式，设置综测仪为相应制式的信令模式，根据天线增益，空间损耗设置测试端口衰减补偿值，并根据公式(1)计算天线与路测仪之间的距离。

$$L = 32.45 + 20 \lg D + 20 \lg f - (G_T + G_R) \quad (1)$$

其中：

D 是收发天线的距离，单位 **m**；

f 是工作频率，单位 **GHz**；

G_T 是发射天线增益，单位 **dB**，在距离较近时，该值要比标称值小；

G_R 是接收天线增益，单位 **dB**；

L 是路径损耗，单位 **dB**。

7.2.2.3 综测仪选择该制式的频段 **Band**、信道频率（信道号）**Channel** 和输出功率，并通过综测仪设置无线路测仪的发射功率 L_M 。

7.2.2.4 无线路测仪进行小区注册，并与综测仪建立呼叫连接。将综测仪设置在功率测量模式，读取综测仪功率测量值，并记录于附录表 A.1 中。

7.2.2.5 通过综测仪改变无线路测仪的发射功率 L_M 和频带、信道频率（信道号） f_T ，重复步骤 7.2.2.3~7.2.2.4。

7.3 频谱发射模板

7.3.1 如图 2 所示，使用射频电缆将综测仪与无线路测仪连接；或如图 3 所示，使用天线将综测仪与无线路测仪连接。

7.3.2 根据路测仪制式，设置综测仪为相应制式的信令模式，根据线缆损耗或天线增益，空间损耗设置测试端口衰减补偿值。

7.3.3 综测仪选择该制式的频段 **Band**、信道频率（信道号）**Channel** 和输出功率，并通过综测仪设置无线路测仪的发射功率 L_M 。

7.3.4 无线路测仪进行小区注册，并与综测仪建立呼叫连接。将综测仪设置在频谱测量模式，频偏设置为 Δf ，读取综测仪频谱测量值，并记录于附录表 A.2 中。

7.3.5 改变综测仪的频偏 Δf 和不同频带、信道频率（信道号） f_T ，重复步骤 7.3.3~7.3.4。

7.4 矢量调制

7.4.1 如图 2 所示, 使用射频电缆将综测仪与无线路测仪连接; 或如图 3 所示, 使用天线将综测仪与无线路测仪连接。

7.4.2 参考步骤 7.3.2~7.3.3 设置综测仪。

7.4.3 无线路测仪进行小区注册, 并与综测仪建立呼叫连接。将综测仪设置在调制测量模式, 读取综测仪调制参数测量值, 并记录于附录表 A.3 中。

7.4.4 改变综测仪不同频带、信道频率(信道号) f_T , 重复步骤 7.4.2~7.4.3。

7.5 接收电平

7.5.1 方法一:

7.5.1.1 如图 2 所示, 使用射频电缆将综测仪与无线路测仪连接。

7.5.1.2 根据路测仪制式, 设置综测仪为相应制式的信令模式, 根据线缆损耗设置测试端口衰减补偿值。

7.5.1.3 综测仪选择该制式的频段 Band、信道频率(信道号) Channel 和输出功率, 并通过综测仪设置无线路测仪适当的发射功率 L_M 。

7.5.1.4 无线路测仪进行小区注册。无线路测仪设为功率测量模式, 读取无线路测仪的功率测量值, 并记录于附录表 A.4 中。

7.5.1.5 改变综测仪频段 Band, 信道频率(信道号) Channel 和输出功率 P_m , 重复步骤 7.5.1.3~7.5.1.4。

7.5.2 方法二(需要在屏蔽环境下进行):

7.5.2.1 如图 2 所示, 使用天线将综测仪与无线路测仪连接。

7.5.2.2 根据路测仪制式, 设置综测仪为相应制式的信令模式, 根据天线增益, 空间损耗设置测试端口衰减补偿值。并根据公式(1)设置好天线和路测仪的距离。

7.5.2.3 综测仪选择该制式的频段 Band、信道频率(信道号) Channel 和输出功率, 并通过综测仪设置无线路测仪适当的发射功率 L_M 。

7.5.2.4 无线路测仪进行小区注册。无线路测仪设为功率测量模式, 读取无线路测仪的功率测量值, 并记录于附录表 A.4 中。

7.5.2.5 改变综测仪频段 Band, 信道频率(信道号) Channel 和输出功率 P_m , 重复步骤 7.5.2.3~7.5.2.4。

7.6 功能检查

7.6.1 如图 2 所示, 使用射频电缆将综测仪与无线路测仪连接; 或如图 3 所示, 使用天线将综测仪与无线路测仪连接。

7.6.2 根据路测仪制式, 设置综测仪为相应制式的信令模式, 根据线缆损耗或天线增益, 空间损耗设置测试端口衰减补偿值。综测仪的频率(信道号)设为无线路测仪所在频段内的中心频率, 并设置适当的输出功率。如表 2 所示设置接入和控制参数:

表 2 接入和控制参数

序号	参数
1	移动国家码
2	移动网络码
3	位置区码
4	网络色码
5	基站色码
6	基站时隙
7	业务信道工作模式
8	周期性位置更新计时器
9	系统识别号

10	网络识别号
11	基站识别号
12	激活集
13	相邻小区集
14	保留集
15	初始功率偏置
16	接入试探发射功率增加步长
17	一个接入序列中接入试探数
18	接入序列
19	功率控制步进

7.6.3 无线路测仪进行小区注册，并与综测仪建立呼叫连接。读取无线路测仪小区的接入和控制参数测量值，并记录于附录表 A.5 中。

7.6.4 无线路测仪和综测仪断开连接。综测仪关闭信令输出，改变小区接入和控制参数设置值，重复步骤 7.2.5.2~7.2.5.3。

7.6.5 按照无线路测仪说明书要求，对无线路测仪的接通率、掉话率、切换次数，下载速率等统计功能进行检查，并记录于附录表 A.6 中。

8 校准结果表达

校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的说明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔，推荐为 1 年。

附录 A

原始记录推荐格式

A.1 发射电平

制式	频段 Band	频率 f_1 /MHz 信道号	标称值 L_M /dBm	实测值/dBm	不确定度 ($k=2$)		

A.2 频谱发射模板

制式	频段 Band	频率 f_T /MHz 信道号	频偏 Δf	实测值/dBc	不确定度($k=2$)		

A.3 矢量调制

制式	频段 Band	频率 f_T /MHz 信道号	调制参数	实测值	不确定度($k=2$)		

A.4 接收电平

制式	频段 Band	频率 f_T /MHz 信道号	实际值 L_B /dBm	实测值/dBm	不确定度 ($k=2$)		

A.5 功能检查 (接入和控制参数)

接入和控制参数	综测仪设置值	无线路测仪实测值

A.6 功能检查 (统计功能检查)

功能	检查结果
通话率	
掉话率	
切换次数	
....	

附录 B

校准证书内页推荐格式

B.1 发射电平

制式	频段 Band	频率 f_T /MHz 信道号	标称值 L_M /dBm	实测值/dBm	不确定度 ($k=2$)		

B.2 频谱发射模板

制式	频段 Band	频率 f_T /MHz 信道号	频偏 Δf	实测值/dBc	不确定度($k=2$)		

B.3 矢量调制

调制制式	频段 Band	频率 f_T /MHz 信道号	调制参数	实测值	不确定度($k=2$)		

B.4 接收电平

制式	频段 Band	频率 f_T /MHz 信道号	实际值 L_B /dBm	实测值/dBm	不确定度 ($k=2$)		

B.5 功能检查（接入和控制参数）

接入和控制参数	综测仪设置值	无线路测仪实测值

B.6 功能检查（统计功能检查）

功能	检查结果
通话率	
掉话率	
切换次数	
....	

附录 C

不确定度评定实例

C.1 发射电平不确定度评定

C1.1 测量方法

使用无线通信综合测试仪直接测量 IMT2020(5G)路测仪的发射电平。以使用无线综合测试仪 E7515B 测试 5G 路测仪输出频率 3500 MHz, 标称功率 20 dBm 的信号为例, 进行不确定度评定。

C1.2 不确定度来源

- (1) 测试电缆衰减误差引入的不确定分量 u_1
- (2) 综测仪功率测量引入的不确定分量 u_2
- (3) 综测仪功率测量分辨力引入的不确定分量 u_3
- (4) 综测仪与无线路测仪失配引入的不确定分量 u_4
- (5) 校准过程中的连接及读数重复性引入的不确定分量 u_5

C1.3 不确定度评定

- (1) 测试电缆衰减误差引入的不确定分量 u_1

测试电缆通常都是特定接口, 随被校无线路测仪一起送, 测试电缆的衰减由厂家提供, 其最大测量误差为 ± 0.1 dB, 该值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_1 = \sqrt{3}$

标准不确定度 $u_1 = 0.1 / \sqrt{3} \approx 0.058$ dB

- (2) 综测仪功率测量引入的不确定分量 u_2

由仪表的指标说明书得到, 综测仪功率测量最大允许误差为 ± 0.5 dB, 该值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_2 = \sqrt{3}$

标准不确定度 $u_2 = 0.5 / \sqrt{3} \approx 0.29$ dB

- (3) 综测仪功率测量分辨力引入的不确定分量 u_3

综测仪功率测量分辨力为 0.01 dB, 由分辨力引入的最大误差为 ± 0.005 dB, 该值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_3 = \sqrt{3}$

标准不确定度 $u_3 = 0.005 / \sqrt{3} \approx 0.0029$ dB

- (4) 综测仪与无线路测仪失配引入的不确定分量 u_4

系统失配引入的最大允许误差 $M = 2|\Gamma_g||\Gamma_L|$, 则 $a_4 \approx 2 \times 4.34 \times |\Gamma_g||\Gamma_L|$ (dB)

由仪表的指标说明书和厂家提供的资料得到, 综测仪输入输出端口电压驻波比小于 1.25, 无线路测仪射频端口电压驻波比一般小于 2, 因此对应的反射系数分别为 0.111, 0.333。综测仪与无线路测仪失配引入的最大测量误差 $a_4 = 4.34 \times 2 \times 0.111 \times 0.333 = 0.32$ dB, 该值落在该区间内的概率分布为反正弦分布 $k_4 = \sqrt{2}$

标准不确定度 $u_4 = 0.32 / \sqrt{2} \approx 0.23$ dB

(5) 校准过程中的连接及读数重复性引入的不确定分量 u_5

无线路测仪输出频率 3500 MHz, 标称功率 20 dBm, 进行 10 次重复性测量, 测试结果如下:

测量次数	实测值(dBm)
1	19.24
2	19.27
3	19.22
4	19.27
5	19.34
6	19.25
7	19.31
8	19.27
9	19.29
10	19.33

$$\text{试验标准差 } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \approx 0.039 \text{ dB}$$

标准不确定度使用试验标准差表示, 则 $u_5 = s = 0.039 \text{ dB}$

C1.4 合成标准不确定度

发射电平不确定度分量综合表

序号	u_i	不确定度来源	a_i	分布	k_i	u_A	u_B
1	u_1	测试电缆衰减值误差	0.1 dB	均匀	$\sqrt{3}$	/	0.058 dB
2	u_2	综测仪功率测量	0.5 dB	均匀	$\sqrt{3}$	/	0.29 dB
3	u_3	综测仪功率测量分辨力	0.005 dB	均匀	$\sqrt{3}$	/	0.0029 dB
4	u_4	校准过程中失配	0.32 dB	反正弦	$\sqrt{2}$	/	0.23 dB
5	u_5	连接及读数重复性	/	/	/	0.039 dB	/

$$\text{合成标准不确定度 } u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^5 u_i^2} \approx 0.38 \text{ dB}$$

扩展因子为 $k = 2$, 则扩展不确定度 $U = k \cdot u_c = 2 \times 0.38 = 0.76 \text{ dB}$

C.2 误差矢量幅度不确定度评定

C.2.1 测量方法

使用无线通信综合测试仪直接测量 IMT2020(5G)路测仪的矢量调制(误差矢量幅度)。以使用无线综合测仪 E7515B 测试 5G 路测仪输出频率 3500 MHz, 标称功率 20 dBm 的信号为例, 进行不确定度评定。

C.2.2 不确定度来源

- (1) 综测仪调制测量引入的不确定分量 u_1
- (2) 综测仪调制测量分辨力引入的不确定分量 u_2

(3) 校准过程中的连接及读数重复性引入的不确定分量 u_3

C 2.3 不确定度分析

(1) 综测仪调制测量引入的不确定分量 u_1

根据指标说明书, 综测仪调制测量最大允许误差为:

调制参数	最大允许测量误差
5G 均方根值误差矢量幅度	4 %

该值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_1 = \sqrt{3}$, 则标准不确定度:

调制参数	标准不确定度 u_1
5G 均方根值误差矢量幅度	2.3 %

(2) 综测仪调制测量分辨力引入的不确定分量 u_2

根据指标说明书, 综测仪调制测量分辨力为 a_2 , 由分辨力引入的最大误差为 $a_2/2$, 该值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_2 = \sqrt{3}$, 则标准不确定度为:

调制参数	分辨力 a_2	标准不确定度 u_2
5G 均方根值误差矢量幅度	0.1 %	0.029 %

(3) 校准过程中的连接及读数重复性引入的不确定分量 u_3

被校无线路测试仪输出 5G 信号, 频率 3500MHz, 输出标称功率 25 dBm, 对 5G 调制信号误差矢量幅度进行 10 次重复性测量, 测试结果如下:

测量次数	5G 调制信号误差矢量幅度实测值(%)
1	2.48
2	2.52
3	2.50
4	2.34
5	2.58
6	2.52
7	2.53
8	2.42
9	2.45
10	2.26

则试验标准差 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \approx 0.097\%$

标准不确定度使用试验标准差表示, 则 $u_3 = s = 0.097\%$

调制参数	标准不确定度 u_3
5G 均方根值误差矢量幅度	0.097 %

C 2.4 合成标准不确定度

(1) 不确定度分量综合表

矢量调制——误差矢量幅度不确定度分量综合表

序号	u_i	不确定度来源	a_i	分布	k_i	u_A	u_B
1	u_1	综测仪调制测量引入的不确定分量	4%	均匀	$\sqrt{3}$	/	2.3%
2	u_2	综测仪调制测量分辨力引入的不确定分量	0.1%	均匀	$\sqrt{3}$	/	0.029%
3	u_3	校准过程中的连接及读数重复性引入的不确定分量	0.097%	/	/	0.097%	/

(2) 各标准不确定度分量各不相关, 因此合成标准不确定度 $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^3 u_i^2} \approx 2.3\%$

(3) 扩展因子为 $k=2$, 则扩展不确定度 $U = k \cdot u_c = 2 \times 2.3 = 4.6\%$

C.3 接收电平不确定度评定

C3.1. 测量方法

使用无线通信综合测试仪直接测量 IMT2020(5G)路测仪的接收电平。以使用无线综合测试仪 E7515B 输出频率 3500 MHz, 标称功率-50 dBm 的信号为例, 进行不确定度评定。

C3.2 不确定度来源

- (1) 测试电缆衰减值误差引入的不确定分量 u_1
- (2) 综测仪输出功率最大允许误差引入的不确定分量 u_2
- (3) 被校无线路测仪功率测量分辨力引入的不确定分量 u_3
- (4) 综测仪与无线路测仪失配引入的不确定分量 u_4
- (5) 校准过程中的连接及读数重复性引入的不确定分量 u_5

C 3.3 不确定度评定

- (1) 测试电缆衰减值误差引入的不确定分量 u_1

测试电缆通常都是特定接口, 随被校无线路测仪一起送检, 测试电缆的衰减值由厂家提供, 其最大测量误差为 ± 0.1 dB, 该值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_1 = \sqrt{3}$

标准不确定度 $u_1 = 0.1 / \sqrt{3} \approx 0.058$ dB

- (2) 综测仪输出功率最大允许误差引入的不确定分量 u_2

由仪表的指标说明书得到, 综测仪功率测量最大允许误差为 ± 0.5 dB, 该值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_2 = \sqrt{3}$

标准不确定度 $u_2 = 0.5 / \sqrt{3} \approx 0.29$ dB

- (3) 被校无线路测仪功率测量分辨力引入的不确定分量 u_3

被校无线路测仪功率测量分辨力为 0.1 dB, 由分辨力引入的最大误差为 ± 0.05 dB, 该值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_3 = \sqrt{3}$

标准不确定度 $u_3 = 0.05 / \sqrt{3} \approx 0.029$ dB

- (4) 综测仪与无线路测仪失配引入的不确定分量 u_4

系统失配引入的最大允许误差 $M = 2|\Gamma_g||\Gamma_L|$, 则 $a_4 \approx 2 \times 4.34 \times |\Gamma_g||\Gamma_L|$ (dB)

由仪表的指标说明书和厂家提供的资料得到, 综测仪输入输出端口电压驻波比小于 1.25, 无线路测仪射频端口电压驻波比一般小于 2, 因此对应的反射系数分别为 0.111, 0.333。综测仪与无线路测仪失配引入的最大测量误差 $a_4=4.34 \times 2 \times 0.111 \times 0.333=0.32$ dB, 该值落在该区间内的概率分布为反正弦分布 $k_4 = \sqrt{2}$

标准不确定度 $u_4=0.32/\sqrt{2} \approx 0.23$ dB

(5) 校准过程中的连接及读数重复性引入的不确定分量 u_5

综测仪输出频率 3500 MHz, 功率 -50 dBm, 被校无线路测仪进行 10 次重复性测量, 测试结果如下:

测量次数	实测值(dBm)
1	-50.3
2	-50.2
3	-50.5
4	-50.3
5	-50.7
6	-50.3
7	-50.2
8	-50.5
9	-50.6
10	-50.2

$$\text{试验标准差 } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \approx 0.18 \text{ dB}$$

标准不确定度使用试验标准差表示, 则 $u_5=s=0.18$ dB

C 3.4 合成标准不确定度

接收电平测量不确定度分量综合表

序号	u_i	不确定度来源	a_i	分布	k_i	u_A	u_B
1	u_1	测试电缆衰减值误差	0.1 dB	均匀	$\sqrt{3}$	/	0.058 dB
2	u_2	综测仪输出功率	0.5 dB	均匀	$\sqrt{3}$	/	0.29 dB
3	u_3	被校无线路测仪功率 测量分辨力	0.05 dB	均匀	$\sqrt{3}$	/	0.029 dB
4	u_4	校准过程中失配	0.32 dB	反正弦	$\sqrt{2}$	/	0.23 dB
5	u_5	连接及读数重复性	/	/	/	0.18 dB	/

$$\text{合成标准不确定度 } u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^5 u_i^2} \approx 0.42 \text{ dB}$$

扩展因子为 $k=2$, 则扩展不确定度 $U = k \cdot u_c = 2 \times 0.42 = 0.9$ dB

附录 D

常见无线路测仪制式和频段

表 D.1 GSM 上下行频段和频率对应表

频段	上行频率 (MHz)	下行频率 (MHz)
GSM450	450.4~457.6	460.4~467.6
GSM850	824~849	869~894
P-GSM900	890~915	935~960
E-GSM900	880~915	925~960
R-GSM900	876~915	921~960
DCS1800	1710~1785	1805~1880
DCS1900	1850~910	1930~1990

表 D.2 CDMA 上下行频段和频率对应表

频段	上行频率 (MHz)	下行频率 (MHz)
BC0	815~849	860~894
BC1	1850~1910	1930~1990
BC2	872~915	917~960
BC3	887~925	832~870
BC4	1750~1780	1840~1870
BC5	410~483	420~493
BC6	1920~1980	2110~2170
BC7	776~788	746~758
BC8	1710~1785	1805~1880
BC9	880~915	925~960
BC10	806~901	851~940

表 D. 3 WCDMA 上下行频段和频率对应表

频段	上行频率 (MHz)	下行频率 (MHz)
1	1920~1980	2110~2170
2	1850~1910	1930~1990
3	1710~1785	1805~1880
4	1710~1755	2110~2155
5	824~849	869~894
6	830~840	875~885
7	2500~2570	2620~2690

表 D. 4 LTE FDD 上下行频段和频率对应表

频段	上行频率 (MHz)	下行频率 (MHz)
1	1920~1980	2110~2170
2	1850~1910	1930~1990
3	1710~1785	1805~1880
4	1710~1755	2110~2155
5	824~849	869~894
6	830~840	875~885
7	2500~2570	2620~2690
8	880~915	925~960
9	1749.9~1784.9	1844.9~1879.9
10	1710~1770	2110~2170

表 D. 5 LTE TDD 上下行频段和频率对应表

频段	上行频率 (MHz)	下行频率 (MHz)
33	1900~1920	1900~1920
34	2010~2025	2010~2025
35	1850~1910	1850~1910
36	1930~1990	1930~1990
37	1910~1930	1910~1930
38	2570~2620	2570~2620
39	1880~1920	1880~1920
40	2300~2400	2300~2400
41	2496~2690	2496~2690
42	3400~3600	3400~3600
43	3600~3800	3600~3800
44	703~803	703~803

表 D. 6 5G NR 频段和带宽对应表

频段	上行频率 (MHz)	下行频率 (MHz)
n1	1920~1980	2110~2170
n2	1850~1910	1930~1990
n3	1710~1785	1805~1880
n5	824~849	869~894
n7	2500~2570	2620~2690
n38	2570~2620	2570~2620
n41	2496~2690	2496~2690
n77	3300~4200	3300~4200
n78	3300~3800	3300~3800
n79	4400~5000	4400~5000
n257	26500~29500	26500~29500
n258	24250~27500	24250~27500
n260	37000~40000	37000~40000