



中华人民共和国工业和信息化部
电子计量技术规范

JJF(电子) ××××—××××

半电波暗室校准规范

Calibration Specification for Semi-anechoic Chamber

××××—××—××发布

××××—××—××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

半电波暗室校准规范

Calibration Specification for Semi-anechoic
Chamber

JJF(电子) XXXX—XXXX
X

归口单位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：工业和信息化部电子第五研究所

参加起草单位：广州赛宝计量检测中心服务有限公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

丁 翔 （工业和信息化部电子第五研究所）
付贵瑜 （工业和信息化部电子第五研究所）
张 浩 （工业和信息化部电子第五研究所）

参加起草人：

张 成 （工业和信息化部电子第五研究所）
陈 彦 （工业和信息化部电子第五研究所）
黄仙健 （工业和信息化部电子第五研究所）

目 录

| | |
|---------------------|----|
| 引 言 | II |
| 1 范围 | 1 |
| 2 引用文件 | 1 |
| 3 术语和计量单位 | 1 |
| 4 概述 | 2 |
| 5 计量特性 | 2 |
| 6 校准条件 | 3 |
| 6.1 环境条件 | 3 |
| 6.2 测量标准及其他设备 | 3 |
| 7 校准项目和校准方法 | 6 |
| 7.1 校准项目 | 6 |
| 7.2 校准方法 | 6 |
| 8 校准结果表达 | 19 |
| 9 复校时间间隔 | 19 |
| 附录 A | 20 |
| 附录 B | 28 |
| 附录 C | 36 |

引 言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范是对 JJF (电子) 30805-2007《电波暗室校准规范》的修订。

与 JJF（电子）30805—2007 相比，主要修订的内容有：

- 对适用范围进行了调整，将电波暗室调整为半电波暗室；
- 将归一化场地衰减的频率范围调整为 30MHz~1000MHz；
- 将场均匀性的频率范围调整为 30MHz~18GHz；
- 将屏蔽效能的频率范围调整为 9kHz~40GHz；
- 增加校准项目：场地电压驻波比、归一化场地插入损耗、接地电阻、绝缘电阻、背景噪声；
- 对校准方法重新做了修订，主要对归一化场地衰减校准项目增加了“参考场地法”；场均匀性的校准项目增加了“恒定场强法”。
- 增加了附录 B：校准证书内页格式。
- 增加了附录 C：测量不确定度评定示例。

本规范历次版本的发布情况为：

- JJF（电子）30805—2007。

半电波暗室校准规范

1 范围

本校准规范适用于电磁兼容试验中 9kHz~40GHz 的半电波暗室场地性能的校准。本规范不包括用于通信、天线测试的微波暗室和天线暗室。

2 引用文件

本规范引用了下列文件

GB/T 12190-2021 电磁屏蔽室屏蔽效能的测量方法

GB/T 16895.23 低压电气装置 第 6 部分：检验

GB/T 6113.203 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法 第 2-3 部分：无线电骚扰和抗扰度测量方法 辐射骚扰测量

GB/T 4365 电工术语-电磁兼容

ANSI C63.4a-2017 美国国家标准 9 kHz~40 GHz 频率范围的低压电气和电子设备无线电噪声发射测量方法 修订版 1 测试场地确认 (American National Standard for Methods of Measurement of Radio-Noise Emissions from Low-Voltage Electrical and Electronic Equipment in the Range of 9 kHz to 40 GHz Amendment 1: Test Site Validation)

CISPR 16-1-4 无线电骚扰和抗扰度测量设备和方法规范 第 1-4 部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备 辐射骚扰测量用天线和试验场地 (Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Antennas and test sites for radiated disturbance measurements)

IEC 61000-4-3: 2020 电磁兼容 (EMC).第 4-3 部分:试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验 (Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-3: Testing and measurement techniques - Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test)

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 半电波暗室 semi-anechoic chamber

6 个内表面中的 5 面安装有能够吸收所关注频率范围内的电磁能量的吸波

材料（即射频吸收体）、底部的水平面铺设设有开阔试验场中所使用的导电接地平面的屏蔽室。

3.2 场地插入损耗 site insertion loss(SIL)

当信号发生器的输出与测量接收机的输入之间通过电缆和衰减器直接进行的电气连接被试验场地规定位置上的发射天线和接收天线所代替时，两副极化匹配的天线之间的传输损耗。单位为 dB。

3.3 屏蔽效能 shielding effectiveness (SE)

没有屏蔽体时接收到的信号值与在屏蔽体内接收到的信号值的比值，即发射天线与接收天线之间存在屏蔽体以后所造成的插入损耗。单位为 dB。

3.4 场地衰减 site attenuation (SA)

当一副天线在规定的高度范围内垂直移动，另一副天线架设在固定高度时，位于试验场地上的这两副极化匹配的天线之间测得的最小场地插入损耗。单位为 dB。

3.5 场地电压驻波比 site voltage standing wave ratio(S_{VSWR})

发射天线发出的直射信号和其在暗室内壁上的反射信号叠加产生的合成信号形成空间驻波，该合成信号的最大值和最小值之比即为电压驻波比。单位为 dB。

3.6 前向功率 forward power

从功率放大器输出后馈入到天线端的功率。单位为 dBm。

4 概述

半电波暗室是电磁兼容试验中用到的主要的试验场地，是除了地面外的其他五个面贴有吸波材料的屏蔽室，主要用于替代无电磁波干扰的开阔试验场进行电磁辐射骚扰测试和电磁辐射敏感度测试。

5 计量特性

5.1 屏蔽效能(SE)

频率：9kHz~1MHz，屏蔽效能：>60dB；

频率：≥1MHz~1GHz，屏蔽效能：>90dB；

频率：>1GHz~40GHz，屏蔽效能：>80dB。

5.2 归一化场地衰减(NSA)

频率:30MHz~1GHz；

归一化场地衰减: $\pm 4\text{dB}$ 。

5.3 场地电压驻波比(S_{VSWR})

频率: $1\text{GHz}\sim 18\text{GHz}$;

驻波比: $\leq 6\text{dB}$ 。

5.4 场均匀性(FU)

频率 $30\text{MHz}\sim 18\text{GHz}$, 在每个频点的均匀场域上所有栅格点中有 75% 的点的场强差值或者前向功率差值在 $0\text{ dB}\sim +6\text{ dB}$ 范围内, 对于 $0.5\text{ m}\times 0.5\text{ m}$ 的最小均匀场域, 要求 5 个栅格点的场强值或者前向功率值都应在 $0\text{ dB}\sim +6\text{ dB}$ 范围内。

5.5 归一化场地插入损耗(NSIL)

频率范围: $9\text{kHz}\sim 30\text{MHz}$;

最大允许误差: $\pm 4\text{dB}$ (3m 、 5m 测试距离)。

5.6 接地电阻

接地电阻: $< 4\ \Omega$ 。

5.7 绝缘电阻

绝缘电阻: $> 2\text{M}\Omega$ 。

5.8 背景噪声

满足比相应标准规定限值低 6dB 。

注: 以上技术指标不作合格性判别, 仅提供参考

6 校准条件

6.1 环境条件

- 1) 环境温度: $18^{\circ}\text{C}\sim 28^{\circ}\text{C}$;
- 2) 相对湿度: $\leq 80\%$;
- 3) 电源电压及频率: $(220\pm 22)\text{V}$, $(50\pm 1)\text{Hz}$;
- 4) 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 网络分析仪

- a) 频率范围: $9\text{kHz}\sim 18\text{GHz}$;
- b) 源输出幅度: 不低于 5dBm ;
- c) 具有最大值保持功能;

d) 动态范围（全频段动态范围优于 80dB）；

e) 接收幅度最大允许误差：±1 dB；

也可以使用信号源和频谱分析仪的组合。

6.2.2 电场探头

a) 频率范围：30MHz~18GHz；

b) 场强测量最大允许误差：±2dB；

c) 各向同性最大允许误差：±1dB。

6.2.3 信号发生器

a) 频率范围：9kHz~40GHz；

b) 最大输出电平：不小于 10dBm。

6.2.4 频谱仪

a) 频率范围：9kHz~40GHz；

b) 电平最大允许误差：±2dB。

6.2.5 宽带天线（用于屏蔽效能）

频率范围：9kHz~40GHz，可以由几种天线组合而成，如环形天线、双锥天线、偶极子天线、喇叭天线等。

6.2.6 环天线（用于归一化场地插入损耗）

a) 频率范围：9kHz~30MHz；

b) 尺寸：直径 60cm；

c) 驻波比：<1.5。

6.2.7 全向天线（用于场地电压驻波比）

a) 频率范围 1GHz~18GHz；

b) 性能要求：E 面辐射方向图主瓣方向在 $0^\circ \pm 15^\circ$ 和 $180^\circ \pm 15^\circ$ 之间且不进入到禁区中，H 面辐射方向性图的值与 $\pm 135^\circ$ 范围内的平均值的偏差不应超出下表给出的值

| 角度范围 | 1GHz~6GHz | 6GHz~18GHz |
|---|------------------|------------------|
| $-60^\circ \sim 60^\circ$ | $\pm 2\text{dB}$ | $\pm 3\text{dB}$ |
| $-60^\circ \sim 135^\circ$, $60^\circ \sim 135^\circ$ | $\pm 3\text{dB}$ | $\pm 4\text{dB}$ |
| $-135^\circ \sim 180^\circ$, $135^\circ \sim 180^\circ$ | $< +3\text{dB}$ | $< +4\text{dB}$ |

6.2.8 功率放大器

a) 频率范围：30MHz~18GHz；

- b) 谐波抑制比: $<-15\text{dBc}$;
- c) 能在规定距离的均匀域产生 $3\text{V/m}\sim 10\text{V/m}$ 的场强。

6.2.9 前置放大器

- a) 频率范围: $9\text{kHz}\sim 40\text{GHz}$;
- b) 增益: $> 20\text{dB}$ 。

6.2.10 同轴衰减器

- a) 频率范围: $30\text{MHz}\sim 1\text{GHz}$;
- b) 衰减量: 10dB ;
- c) 驻波比: <1.1 。

6.2.11 功率计/功率探头

- a) 频率范围: $30\text{MHz}\sim 18\text{GHz}$;
- b) 功率测量范围: $-50\text{dBm}\sim 20\text{dBm}$;
- c) 最大允许误差: $\pm 1\text{ dB}$ 。

6.2.12 双锥天线对 (用于归一化场地衰减)

- a) 频率范围: $30\text{MHz}\sim 200\text{MHz}$;
- b) 天线系数: 按 Cispr16-1-6 或 ANSI C63.5 进行校准获得。

6.2.13 对数天线对 (用于归一化场地衰减)

- a) 频率范围: $200\text{MHz}\sim 1000\text{MHz}$;
- b) 天线系数: 按 Cispr16-1-6 或 ANSI C63.5 进行校准获得。

6.2.14 发射天线 (用于场均匀性)

- a) 频率范围: $30\text{MHz}\sim 18\text{GHz}$;
- b) 3dB 波瓣宽度: 满足覆盖测试区域的要求。

6.2.15 接地电阻表

- a) 测量范围: $0.1\Omega\sim 100\Omega$;
- b) 最大允许误差: $\pm 5\%$ 。

6.2.16 绝缘电阻表

- a) 测量范围: $0.01\text{M}\Omega\sim 10\text{G}\Omega$;
- b) 最大允许误差 $\pm 5\%$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

| 序号 | 校准项目名称 |
|----|------------------|
| 1 | 外观结构及工作正常性检查 |
| 2 | 归一化场地衰减 (NSA) |
| 3 | 场地电压驻波比 (Svswr) |
| 4 | 场均匀性 (FU) |
| 5 | 归一化场地插入损耗 (NSIL) |
| 6 | 接地电阻 |
| 7 | 绝缘电阻 |
| 8 | 屏蔽效能 |
| 9 | 背景噪声 |

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

7.2.1.1 外观检查

被校半电波暗室结构应完好无损,吸波材料粘贴完好;地板的平坦度不超过最大值(3m 法暗室最大值为 4.5cm、5m 法暗室最大值为 6cm、10m 法暗室最大值为 8.4cm)。

7.2.1.2 工作正常性检查

被校半电波暗室电源电压正常、各部分的控制器(天线升降、转台转动、监视系统)能够正常工作。

7.2.2 归一化场地衰减 (NSA)

归一化场地衰减校准的场地布置图(如图 1),归一化场地衰减 (NSA)法与参考场地 (RSM)法均按以下步骤校准。

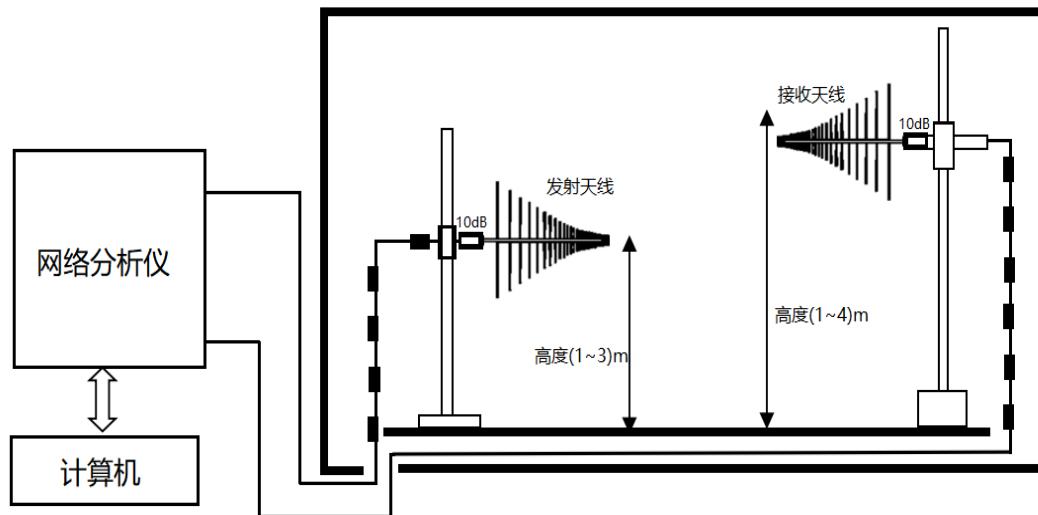


图1 归一化场地衰减校准的场地布置图

校准步骤及数据处理如下：

a) 开机预热

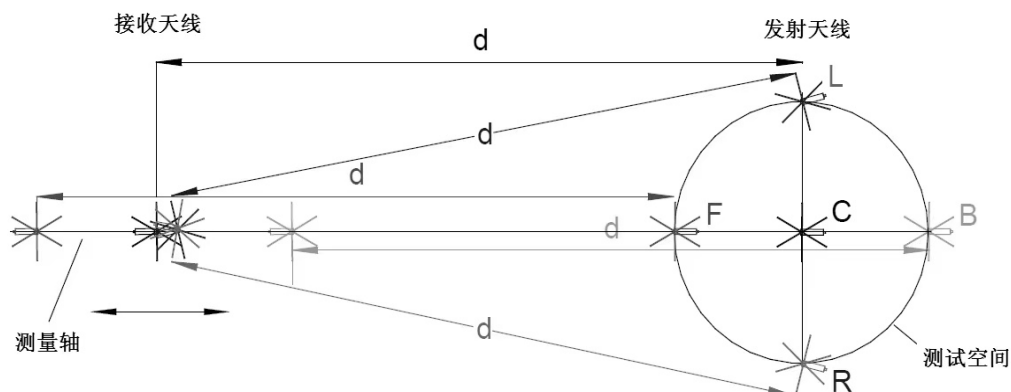
打开校准测量系统的仪器、设备电源，按要求开机预热。

b) 天线安装及线缆布置

如图 1 所示，将发射天线和接收天线（6.2.12，6.2.13）安装到天线架上，使用套有磁环的同轴线缆，分别接到网络分析仪输入/输出端，另一端连接同轴衰减器。

c) 标记天线摆放位置

如图 2 所示，根据所需校准的距离 d 和测试空间的直径 R ，在半电波暗室的地面上标出测试轴线和天线摆放的位置点，确保每组位置上收、发天线间的距离都为 d 。校准时，不断调整测试轴线使校准结果满足指标的要求。



d) 仪表设置及校准

设置网络分析仪为扫频模式，测量参数为 S_{21} ，设置相应的起始频率、终止频率、测量点数、中频带宽、源输出幅度、参考电平等，确保测量时的电平都能显示出来且不过载。以网络分析仪与收、发天线相连的两个端口为参考面，对网络分析仪进行全双端口校准。

e) 直连值测量

将衰减器用直通适配器连接，测量频率点在 30MHz~200MHz 的步进为 1MHz，200MHz~1GHz 的步进为 5MHz，完成直连值 (V_{DIRECT}) 的测量，记录测量的数值到表 A.2.1。测量完成后取下直通适配器，将连接衰减器的线缆分别接到对应发射和接收天线上（网络分析仪输出端连接发射天线，输入端连接接收天线）。

f) 连接天线后的场地衰减值测量

发射天线高度设 1m,沿测量轴与接收天线正对并摆放在中点位置 (c)，发射、接收天线设为相同的极化方式（垂直极化）。关闭暗室门，启动测试，控制接收天线在距离地面 1m~4m 的范围内进行高度扫描（确保仪器完成 1 次完整的频率扫描期间，接收天线的最大高度变化不大于 5cm），同时使用峰值保持（最大值保持）功测量各频点最大电平 (V_{SITE})，并将测量值记录到表 A.2.1。

g) 测量其他高度下的 V_{SITE}

调整发射天线的高度，其中水平极化发射天线的高度是 1m 和 2m，垂直极化发射天线的高度是 1m 和 1.5m（如果试验空间高度超过 2 m，则水平极化增加试验空间高度 h_{top} 的测试高度点；垂直极化增加 $(h_{\text{top}}-0.5)\text{m}$ 的测试高度点），重复步骤 f。

h) 测量其他位置下的 V_{SITE}

改变天线对在测试静区中位置，重复步骤 f~g，完成前点、后点、右点和左点位置上测量。

注 1：满足下述条件，可以减少所要求的测量次数：

1) 如果吸波材料和/或其他结构离测试空间的后周界的距离大于 1m，后点位置可以省略；

2) 如果天线的顶端至少能覆盖试验空间直径的 90%，左、右点位置水平极化的测量

可以省略;

3) 如果测试空间的顶部的高度小于 1.5m, 1.5m 高度位置上垂直极化的测量可以省略。

注 2: 也可以使用信号源和频谱仪进行校准。

i) 数据处理

可以使用下面两种方法计算得到归一化场地衰减偏差:

1) 归一化场地衰减法(NSA 法)

计算公式:

$$\Delta A_S = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - AF_T - AF_R - GSCF - A_N \dots\dots\dots(1)$$

式中:

ΔA_S ——归一化场地衰减偏差, 单位为 dB;

AF_T ——发射天线系数, 单位为 dB(1/m);

AF_R ——接收天线系数, 单位为 dB(1/m);

$GSCF$ ——特定布局修正系数, 从天线校准证书上获取, 单位为 dB;

A_N ——NSA 理论值, 见 ANSI C63.4a-2017 表 D.5 和表 D.6, 单位为 dB。

2) 参考场地法(RSM 法)

计算公式:

$$\Delta A_S' = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{\text{APR}} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$\Delta A_S'$ ——场地衰减偏差, 单位为 dB;

A_{APR} ——天线对参考场地衰减, 从天线校准证书上获取, 单位为 dB。

通过公式(1)或者公式(2)计算出所有位置、高度和频率下的偏差。利用计算机将校准结果绘制成曲线, 可以非常直观和容易作出判断。

7.2.3 场地电压驻波比 (Svswr)

场地电压驻波比校准的场地布置图 (如图 3)

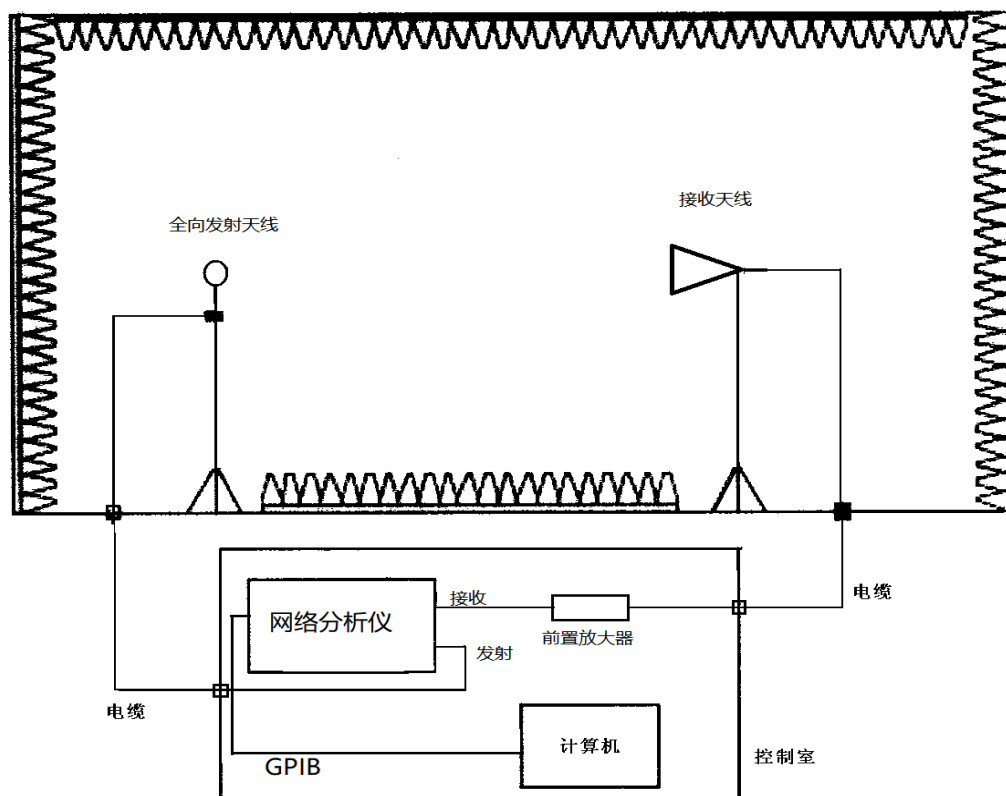


图3:场地电压驻波比校准的场地布置图

校准步骤及数据处理如下:

a) 开机预热

打开校准测量系统的仪器、设备电源, 按要求开机预热。

b) 天线安装及配套设备设置

按图 3 将全向天线 (6.2.7) 安装到能准确控制前后位置移动的天线走架上 (或手动移动的天线架), 喇叭天线安装到天线塔上, 使用高频低损耗同轴线缆接到网络分析仪上对应的输入/输出端。

c) 标记测试轴线和测量时天线摆放的位置点

根据所需校准的距离 d 和测试静区的直径 R , 按图 4 所示在半电波暗室的地面上标出测试轴线和测量时天线摆放的位置点。

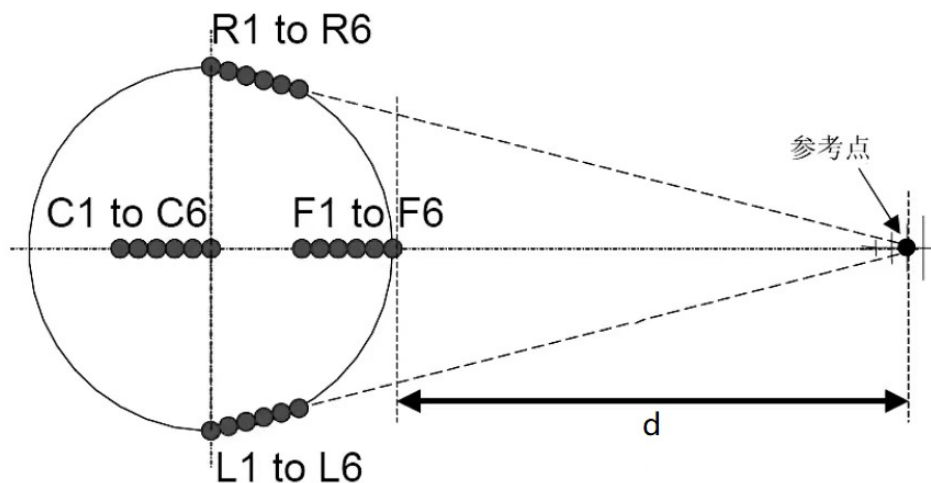


图4: 校准时天线位置图

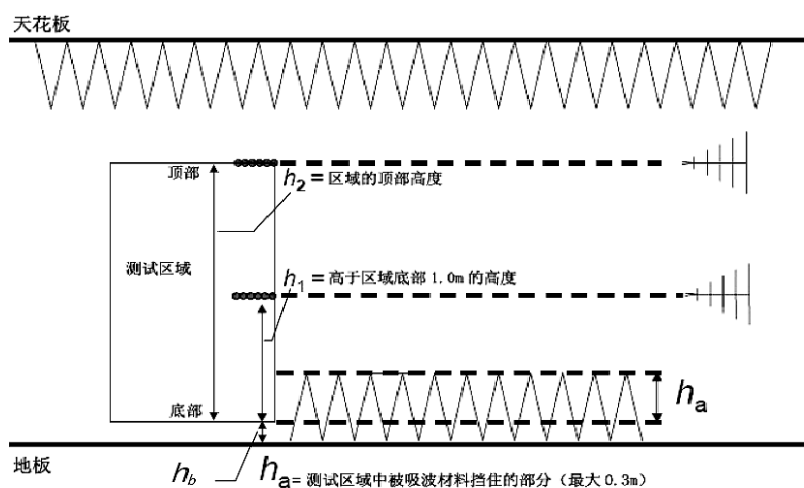
d) 仪表设置及校准

设置网络分析仪为扫频模式，测量参数为 S_{21} ，设置相应的起始频率、终止频率、测量点数、中频带宽、源输出幅度、参考电平等，以满足接收到的电平超出显示的本底噪声20dB要求。以网络分析仪与收、发天线相连的两个端口为参考面，对网络分析仪进行全双端口校准。

注：也可以使用信号源和频谱仪进行测量。

e) 铺设场地吸波材料及确定天线高度

地面应使用吸波材料并按承建方的方案进行铺设。吸波材料一般放置在试验空间的边界和接收天线之间的中间位置。根据现场地面铺设吸波材料的高度，确定发射和接收天线的高度，如果 h_b 不为 0，则收、发天线底部的高度应为 $(h_b+h_1)m$ ；顶部的高度为 $(h_b+h_2)m$ ，见图 5。

图5: S_{VSWR} 测量高度示意图

f) 测量前点位置下的信号电平 M

将发射天线放置在 F6 (各组位置以 F6、C6、L6 和 R6 为参考位置进行计算), 高度 h_1 , 接收天线放置在从测试静区的边界到接收天线参考点实测的距离 d 处。接收、发射天线沿测量轴正对并置于水平极化方式, 关好暗室门, 启动自动化程序进行测量, 频率步长应为 50MHz 或更小。在每一个频率点, 记录电平 M_{F6h1H} 到表 A3.1 (下标代表位置 F6, 高度 h_1 , 水平极化)。逐步移动发射天线的位置, 使其分别处于位置 F5~F1 上 (F5~F1 的位置分别距 F6 点背离接收天线方向 2cm, 10cm, 18cm, 30cm 和 40cm), 记录信号电平 $M_{F5h1H} \sim M_{F1h1H}$ 。将发射天线和接收天线的极化方式改为垂直极化, 测量并记录信号电平 $M_{F6h1V} \sim M_{F1h1V}$ 到表 A3.2 (所有电平都需要满足超出显示的本底噪声 20dB 的要求)。

g) 测量其他位置下的信号电平 M

接收天线位置不动, 将发射天线移到中点、左点、右点位置 (摆放左右点时以 L1、R1 为静区边缘点定位整组位置点), 按步骤 f 测量并记录该位置下的信号电平。将发射天线放置在前点, 高度 h_2 , 接收天线的高度也为 h_2 , 重复步骤 f 测量并记录顶点位置的信号电平。

注: 当测试静区直径小于 1.5m 时, 可以省去中间位置测量点。当 h_2 小于 1.5m 时, 可以省去高度为 h_2 的前端测量点。

h) 数据处理

对于所有的测量, 使用公式(3)将电压信号数据归一化到参考位置点的距离上。

$$M'_{mnopq} = M_{mnopq} + 20 \log(d_{mnopq}/d_{ref})(dB) \cdots \cdots (3)$$

式中:

d_{mnopq} ——喇叭天线参考点与全向天线位置点距离;

d_{ref} ——喇叭天线参考点到参考位置点距离;

M_{mnopq} ——以 dB 为单位表示的实测信号;

M'_{mnopq} ——将电压数据归一化相应参考位置点的距离后的值。

然后使用公式(4)，分别对于每种极化、每种位置组合、每个测量频率点，从接收到的最大信号 M_{\max} 中减去接收到的最小信号 M_{\min} 计算 S_{VSWR} ， S_{VSWR} 应小于 6dB。

$$S_{VSWR} = M_{\max} - M_{\min} (\text{dB}) \cdots \cdots (4)$$

利用计算机将测量结果绘制成曲线，可以非常直观和容易作出判断。

7.2.4 场均匀性 (FU)

场地布置图见图 6，发射天线 (6.2.14) 放置在均匀场域的中心，天线和均匀场域之间的距离 d 能使均匀场域处于发射场的主波瓣宽度以内，该距离最好为 3m，最小距离为 1m。该距离是从双锥形天线的中心、对数周期天线或组合天线的顶端、喇叭或双脊波导天线的前沿到均匀场域的距离。

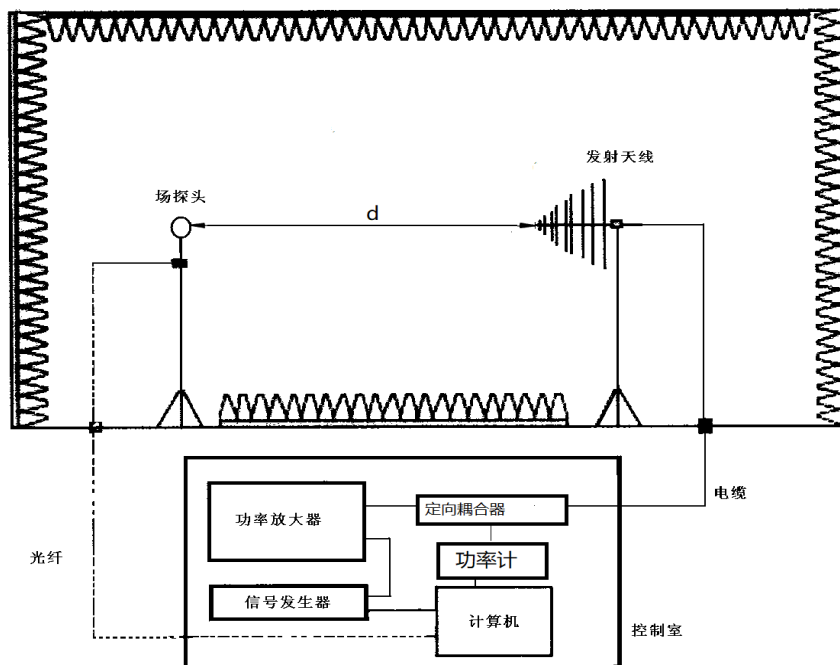


图6：场均匀性场地布置图

校准步骤及数据处理如下：

a) 开机预热

打开场均匀性校准测量系统的仪器、设备电源，按要求开机预热。

b) 校准方法

均匀场域及电场探头的位置如图 7 所示，分别为 1.5m×1.5m 的均匀场域和 0.5m×0.5m 的最小均匀场域。

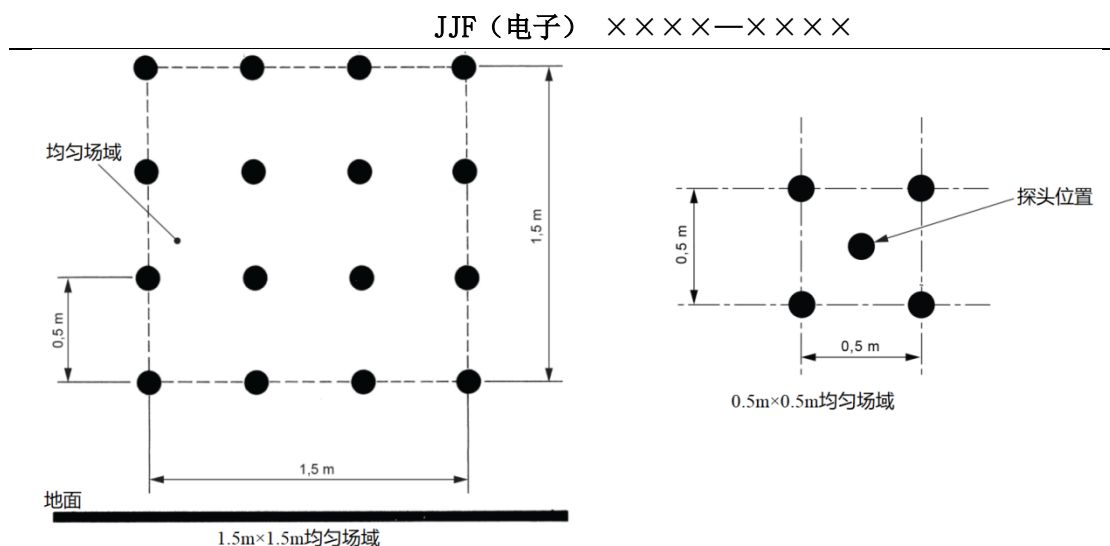


图7：均匀场域及电场探头的位置

1) 恒定功率法。

在 $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ 的垂直平面上，发射天线为水平极化方式，以 16 个位置中的一个作为参考位置，通过调节信号源的输出电平，使得电场探头读数为参考值（ $3\text{V/m} \sim 10\text{V/m}$ ），利用功率计测量定向耦合器馈入发射天线的功率（前向功率）并记录下来。在全频率范围内，以 1% 为频率步进，在其余 15 个位置上的每个频率点，调节信号源输出电平使得馈入天线的功率与参考位置上功率相等，记录电场探头读数到表 A.4.1。然后把发射天线的改成垂直极化，完成垂直极化方式下的测量。如果校准 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ 的均匀场域，只需测量探头在 5 个位置上的读数值。

2) 恒定场强法。

在 $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ 的垂直平面上，发射天线为水平极化方式，以 16 个位置中的一个作为参考位置，通过调节信号源输出电平，使得电场探头读数为参考值（ $3\text{V/m} \sim 10\text{V/m}$ ），利用功率计测量定向耦合器馈入发射天线的功率（前向功率）并记录到表 A.4.3。在全频率范围内，以 1% 为频率步进，在其余 15 个位置上的每个频率点，调节信号源输出电平使得电场探头的读数与参考位置上读数相等，记录前向功率值。完成 16 个位置的测量后把发射天线的改成垂直极化，完成垂直极化方式下的测量。如果校准 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ 的均匀场域，只需测量探头在 5 个位置上的前向功率的读数。

c) 数据处理及生成曲线

把方法 1 或者方法 2 记录的数据，取最接近的 75% 的测试点数值，用最大值减去最小值，判断差值是否在 $0\text{dB} \sim 6\text{dB}$ 的范围内；如果是 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ 的最

小均匀场域, 则用测到的 5 个数值的最大值减去最小值, 判断差值是否在 0dB~6dB 的范围内。

可以利用计算机将校准结果绘制成曲线, 可以非常直观和容易作出判断。

注: 对于其他尺寸的均匀场域, 以 0.5m×0.5m 的网格步进定义均匀场域的尺寸, 如 0.5m×1.0m、1.0m×1.0m, 要求均匀场域内栅格点中 75% 的测量点的数值在 0dB~6dB 的范围。

7.2.5 归一化场地插入损耗(NSIL)

归一化场地插入损耗校准的场地布置图 (图 8), 归一化场地插入损耗 (NSIL) 法与参考场地 (RSM) 法均按以下步骤校准

将发射天线和接收天线 (6.2.6) 安装到天线架上, 环天线中心距离地面的高度为 1.3m, 环天线和网络分析仪之间使用套有磁环的同轴线缆进行连接, 连接时注意接收天线和发射天线线缆不可形成回路, 可以使用加隔离变压器、加接地回路去耦单元或者把网络分析仪在暗室内, 测量设备放在暗室外的方法避免。

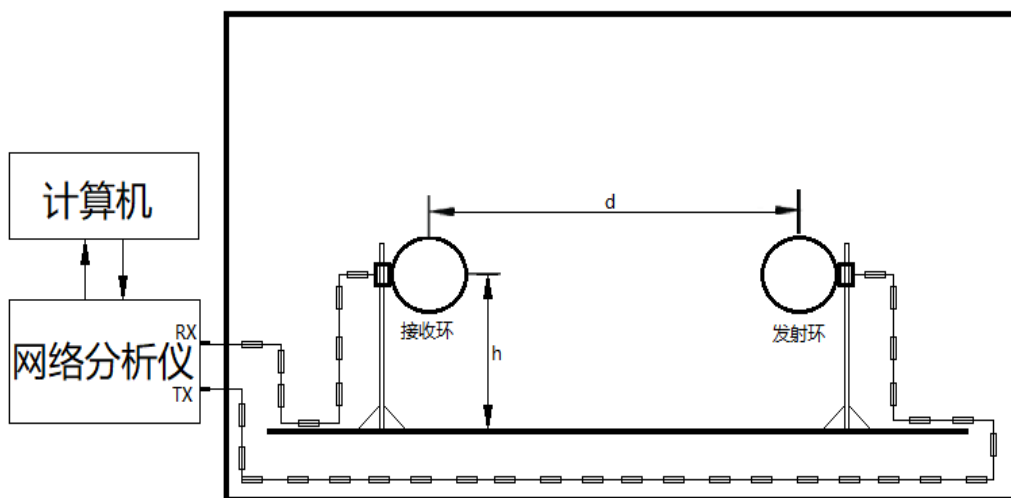


图8：归一化场地插入损耗的场地布置

校准步骤及数据处理如下：

a. 开机预热

打开校准测量系统的仪器、设备电源, 按要求开机预热。

b. 标记天线摆放位置

确认好所需校准的距离 d 和测试静区的直径 R 后, 按图 9 所示在半电波暗室的地面上标出天线摆放的位置, 确保每组位置上收、发天线间的距离都为 d 。

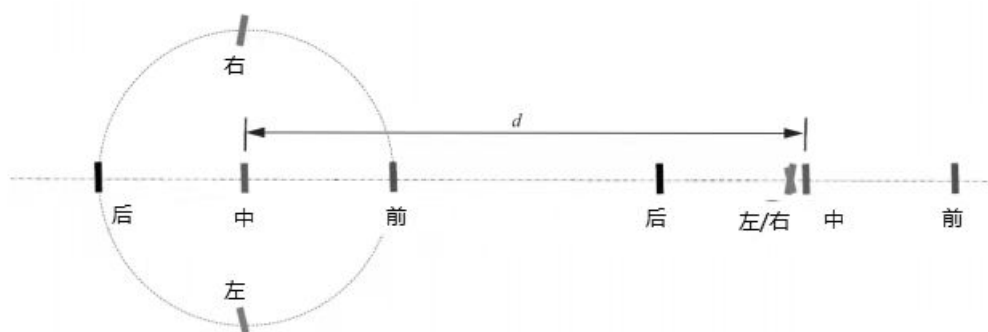


图9: 收发天线位置图

c. 仪表设置及校准

设置网络分析仪为扫频模式, 测量参数为 S_{21} , 扫描类型为对数频率, 设置相应的起始频率、终止频率、测量点数、中频带宽、源输出幅度, 保证测量时的电平幅度进入网络分析仪的动态范围内; 以网络分析仪与收、发天线相连的两个端口为参考面, 对网络分析仪进行全双端口校准。

注: 也可以使用信号源和频谱仪进行测量。

d. 直连值测量 (V_{DIRECT})

把接天线端的线缆用直通适配器连接, 完成直连值 (V_{DIRECT}) 的测量, 其中 9kHz~20kHz 步进频率为 1kHz, 20kHz~150kHz 步进频率为 5kHz, 150kHz~1MHz 步进频率为 50kHz, 1MHz~30MHz 步进频率为 100kHz, 记录测量到的数值到表 A.5.1。

e. 连接天线后的场地衰减测量 (V_{SITE})

将两根线缆分别接到收、发天线上, 调整天线的形态和位置, 使得收发天线位于测试静区的中点位置、收发天线的主轴对正、天线对处于共轴形态, 关闭暗室门, 完成 V_{SITE} 的测量, 记录测量到的数值。

f. 把天线调整天线到共面 (水平极化) 和共面 (垂直极化), 重复步骤 e。

g. 改变天线的在测试静区中位置, 重复步骤 e~f, 完成前点、后点、右点和左点位置上测量。

h. 数据处理及生成曲线

可以使用下面两种方法计算得到归一化场地插入损耗偏差:

1)归一化场地插入损耗法(NSIL 法)

计算公式:

$$\Delta A_S = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - F_{aT} - F_{aR} - A_N \cdots \cdots \cdots (5)$$

式中:

 ΔA_S ——归一化场地插入损耗偏差,单位为dB; F_{aT} ——发射天线的磁场天线系数,单位为 dB(S/m); F_{aR} ——接收天线的磁场天线系数,单位为dB(S/m); A_N ——NSIL 理论值,见 Cispr16-1-4-2013 表 J.1~J.3,单位为 dB(m²/S²)。

2)参考场地法(RSM 法)

计算公式:

$$\Delta A_S' = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{\text{LPR}} \cdots \cdots \cdots (6)$$

式中:

 $\Delta A_S'$ ——场地插入损耗偏差,单位为dB; A_{LPR} ——天线对参考场地衰减,从天线校准证书上获取,单位为dB。

计算出所有位置和频率下的偏差,其值应在±4dB 以内(10m 测试距离不作要求)。利用计算机将校准结果绘制成曲线,可以非常直观和容易作出判断。

7.2.6 接地电阻

校准接地电阻布置图(图 10)

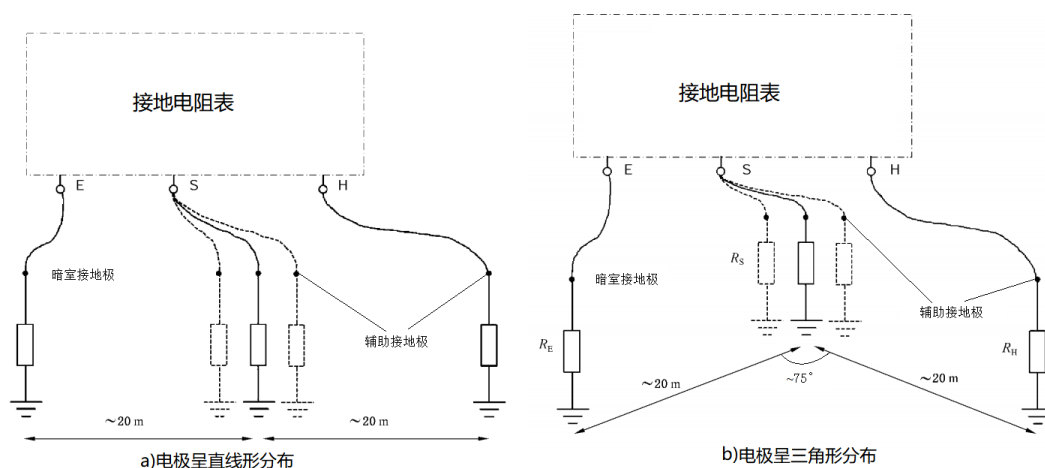


图10 接地电阻测试布置图

根据现场条件,按图 10 布置图进行布置,在暗室接地极 E 附近打入两个辅助接地极 H 和 S,然后使用接地电阻表直接测量接地电阻,记录到表 A6。

将辅助电极 S 从原来的位置沿直线向 E 或 H 移动约 10%的距离,再测取两

次的电阻值。若三次得到的结果大体一致,取三次读数的平均值为接地极 E 的电阻,如不一致,则加大 E 与 H 的距离,重复上述测试。

注:当现场条件不能满足上述方法时,可以使用 GB/T 16895.23-2020 里的方法 2 或者方法 3 进行校准。

7.2.7 绝缘电阻

校准绝缘电阻布置图(图 11)

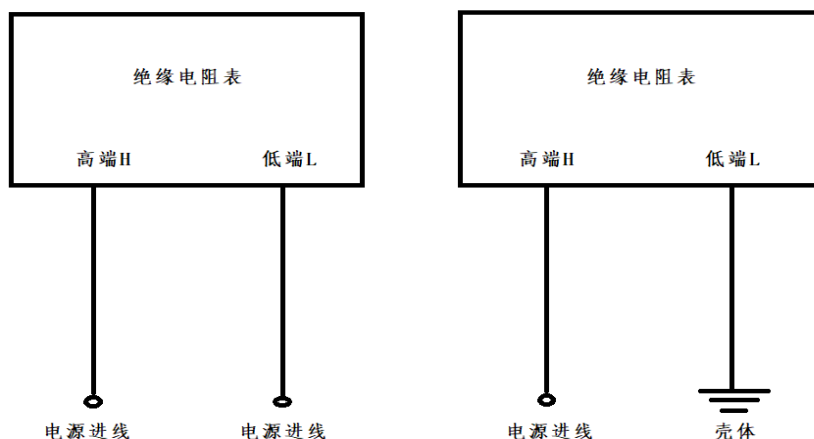


图11 绝缘电阻测试布置图

根据现场条件,断开所有的电源进电,按图 11 布置图进行布置,绝缘电阻表高低端分别接到暗室的电源进线,高端接电源进线,低端接暗室壳体,输出 500V 直流电压。分别测量暗室电源进线之间、电源进线与壳体之间绝缘阻值,记录到表 A7。

注:1)在电源系统中,标称电压不超过 500V,绝缘电阻校准电压最低为 500V 直流,标称电压超过 500V 则绝缘电阻校准电压最低为 1000V。

2)当回路中存在可能影响测量结果或可能被损坏的设备时,仅应在连接在一起的带电导体和大地之间进行测量。

7.2.8 屏蔽效能

屏蔽效能的校准方法按照国标 GB/T 12190。暗室在屏蔽壳体建造完成后,尚未添加吸波材料之前应先进行屏蔽效能的校准。

7.2.9 背景噪声

背景噪声的校准方法按照国标 GB/T 6113.203 7.3, 7.6 移除 EUT 后进行校准。校准结果通过公式(7)计算后生成曲线。

$$E = V_{\text{SITE}} + V_{\text{CABLE}} + \text{AF} \cdot V_{\text{P}} \cdots \cdots (7)$$

式中:

V_{SITE} ——测量值

V_{CABLE} ——回路线缆损耗

AF——天线系数

V_{P} ——前置放大器增益

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和应用有关时, 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;
- 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

半电波暗室的校准周期一般为 3~5 年。

附录 A

原始记录格式

送校单位： 证书编号：
 仪器名称： 仪器型号：
 仪器编号： 制造厂商：
 环境温度： ℃ 环境湿度： %RH
 校准依据：

A. 1 外观及工作正常性检查_____

A. 2 归一化场地衰减

表 A. 2. 1 归一化场地衰减-NSA 法(天线高度 1m, 水平极化)

| 频率 MHz | T _x 极 化/高 度 | 理论值 dB | 双天线系数 dB(1/m ²) | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_s dB | | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | | | | | | |

表 A. 2. 2 归一化场地衰减-NSA 法(天线高度 1m, 垂直极化)

| 频率 MHz | T _x 极 化/高 度 | 理论值 dB | 双天线系数 dB(1/m ²) | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_s dB | | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | | | | | | |

表 A. 2. 3 归一化场地衰减-NSA 法(天线高度 2m, 水平极化)

| 频率 MHz | T _x 极 化/高 度 | 理论值 dB | 双天线系数 dB(1/m ²) | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_s dB | | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | | | | | | |

表 A. 2. 4 归一化场地衰减-NSA 法(天线高度 1.5m, 垂直极化)

| 频率 MHz | T_x 极 化/高 度 | 理论值 dB | 双天线系数 dB(1/m ²) | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_S dB | | | | |
|-----------|---------------------|-----------|--------------------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | | | | | | |

表 A. 2. 5 归一化场地衰减-RSM 法(天线高度 1m, 水平极化)

| 频率 MHz | T_x 极 化/ 高度 | 天线对参考场 地衰减 dB | 直连值 V_{DIR} dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 归一化场地衰减偏差 dB | | | | |
|-----------|---------------------|---------------------|------------------------|----------------------|---|---|---|---|-----------------|---|---|---|---|
| | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | | | | | |

表 A. 2. 6 归一化场地衰减-RSM 法(天线高度 1m, 垂直极化)

| 频率 MHz | T_x 极 化/ 高度 | 天线对参考场 地衰减 dB | 直连值 V_{DIR} dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 归一化场地衰减偏差 dB | | | | |
|-----------|---------------------|---------------------|------------------------|----------------------|---|---|---|---|-----------------|---|---|---|---|
| | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | | | | | |

表 A. 2. 7 归一化场地衰减-RSM 法(天线高度 2m, 水平极化)

| 频率 MHz | T_x 极 化/ 高度 | 天线对参考场 地衰减 dB | 直连值 V_{DIR} dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 归一化场地衰减偏差 dB | | | | |
|-----------|---------------------|---------------------|------------------------|----------------------|---|---|---|---|-----------------|---|---|---|---|
| | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | | | | | |

表 A. 2. 8 归一化场地衰减-RSM 法(天线高度 1.5m, 垂直极化)

| 频率 MHz | T_x 极 化/ 高度 | 天线对参考场 地衰减 dB | 直连值 V_{DIR} dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 归一化场地衰减偏差 dB | | | | |
|-----------|---------------------|---------------------|------------------------|----------------------|---|---|---|---|-----------------|---|---|---|---|
| | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | | | | | |

A.3 场地电压驻波比

表 A.3.1 场地电压驻波比(天线高度 1m, 水平极化, 前点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | F1h1 | F2h1 | F3h1 | F4h1 | F5h1 | F6h1 | F1h1 | F2h1 | F3h1 | F4h1 | F5h1 | F6h1 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 A.3.2 场地电压驻波比(天线高度 1m, 垂直极化, 前点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | F1h1 | F2h1 | F3h1 | F4h1 | F5h1 | F6h1 | F1h1 | F2h1 | F3h1 | F4h1 | F5h1 | F6h1 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 A.3.3 场地电压驻波比(天线高度 1m, 水平极化, 中点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | C1h1 | C2h1 | C3h1 | C4h1 | C5h1 | C6h1 | C1h1 | C2h1 | C3h1 | C4h1 | C5h1 | C6h1 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 A.3.4 场地电压驻波比(天线高度 1m, 垂直极化, 中点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | C1h1 | C2h1 | C3h1 | C4h1 | C5h1 | C6h1 | C1h1 | C2h1 | C3h1 | C4h1 | C5h1 | C6h1 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 A.3.5 场地电压驻波比(天线高度 1m, 水平极化, 左点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | L1h1 | L2h1 | L3h1 | L4h1 | L5h1 | L6h1 | L1h1 | L2h1 | L3h1 | L4h1 | L5h1 | L6h1 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 A.3.6 场地电压驻波比(天线高度 1m, 垂直极化, 左点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | L1h1 | L2h1 | L3h1 | L4h1 | L5h1 | L6h1 | L1h1 | L2h1 | L3h1 | L4h1 | L5h1 | L6h1 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 A.3.7 场地电压驻波比(天线高度 1m, 水平极化, 右点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | R1h1 | R2h1 | R3h1 | R4h1 | R5h1 | R6h1 | R1h1 | R2h1 | R3h1 | R4h1 | R5h1 | R6h1 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 A.3.8 场地电压驻波比(天线高度 1m, 垂直极化, 右点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | R1h1 | R2h1 | R3h1 | R4h1 | R5h1 | R6h1 | R1h1 | R2h1 | R3h1 | R4h1 | R5h1 | R6h1 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 A.3.9 场地电压驻波比(天线高度 2m, 水平极化, 前点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | F1h2 | F2h2 | F3h2 | F4h2 | F5h2 | F6h2 | F1h2 | F2h2 | F3h2 | F4h2 | F5h2 | F6h2 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 A.3.10 场地电压驻波比(天线高度 2m, 垂直极化, 前点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | F1h2 | F2h2 | F3h2 | F4h2 | F5h2 | F6h2 | F1h2 | F2h2 | F3h2 | F4h2 | F5h2 | F6h2 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

A.4 场均匀性

表 A.4.1 场均匀性-恒功率法(水平极化)

| 频率 MHz | 电场强度 V/m | | | | | | | | | | | | | | | | 场均匀性 (dB) |
|-----------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18000 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

表 A. 4. 2 场均匀性-恒功率法(垂直极化)

| 频率 MHz | 电场强度 V/m | | | | | | | | | | | | | | | | 场均匀性 (dB) |
|-----------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18000 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

表 A. 4. 3 场均匀性-恒场强法(水平极化)

| 频率 MHz | 电场强度 V/m | | | | | | | | | | | | | | | | 场均匀性 (dB) |
|-----------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18000 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

表 A. 4. 4 场均匀性-恒场强法(垂直极化)

| 频率 MHz | 电场强度 V/m | | | | | | | | | | | | | | | | 场均匀性 (dB) |
|-----------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18000 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

A. 5 归一化场地插入损耗

表 A. 5. 1 归一化场地插入损耗-NSIL 法(共轴 HX)

| 频率 MHz | 理论值 dB(m ² /S ²) | 双天线系数 dB(S/m) | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_s dB | | | | |
|-----------|--|------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 0.009 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | |

表 A. 5. 2 归一化场地插入损耗-NSIL 法(共面(垂直极化)HY)

| 频率 MHz | 理论值 dB(m ² /S ²) | 双天线系数 dB(S/m) | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_s dB | | | | |
|-----------|--|------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 0.009 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | |

表 A. 5. 3 归一化场地插入损耗-NSIL 法 (共面 (水平极化)HZ)

| 频率 MHz | 理论值 dB(m ² /S ²) | 双天线系数 dB(S/m) | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_S dB | | | | |
|-----------|--|------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 0.009 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | |

表 A. 5. 4 归一化场地插入损耗-RSM 法 (共轴 HX)

| 频率 MHz | 天线对参考 场地衰减 dB | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_S dB | | | | |
|-----------|---------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 0.009 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | |

表 A. 5. 5 归一化场地插入损耗-RSM 法 (共面 (垂直极化)HY)

| 频率 MHz | 天线对参考 场地衰减 dB | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_S dB | | | | |
|-----------|---------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 0.009 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | |

表 A. 5. 6 归一化场地插入损耗-RSM 法 (共面 (水平极化)HZ)

| 频率 MHz | 天线对参考 场地衰减 dB | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_S dB | | | | |
|-----------|---------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 0.009 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | |

A. 6 接地电阻

表 A. 6 接地电阻

| 接地电阻 Ω | | |
|------------------|-------|-------|
| 第 1 组 | 第 2 组 | 第 3 组 |
| | | |

A.7 绝缘电阻

表 A.7 绝缘电阻

| 绝缘电阻 MΩ | |
|---------------|--|
| 电源进线 1—电源进线 2 | |
| | |
| 电源进线 1—电源进线 N | |
| 电源进线 1—壳体 | |
| | |
| 电源进线 N—壳体 | |

A.8 屏蔽效能

表 A.8 屏蔽效能

| 频率 MHz | 参考值 dBm | 各位置点校准值 dBm | | | | | 各位置点屏蔽效能值 dB | | | | |
|-----------|------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 门 | | | | | 门 | | | | |
| 0.009 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| 40000 | | | | | | | | | | | |

附录 B

校准证书内页格式

送校单位： 证书编号：
 仪器名称： 仪器型号：
 仪器编号： 制造厂商：
 环境温度： ℃ 环境湿度： %RH
 校准依据：

B.1 外观及工作正常性检查_____

B.2 归一化场地衰减

表 B.2.1 归一化场地衰减-NSA 法(天线高度 1m, 水平极化)

| 频率 MHz | 位置 | 理论值 dB | 双天线系数 dB(1/m ²) | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_s dB | | | | |
|-----------|----|-----------|--------------------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | | | | | | |

表 B.2.2 归一化场地衰减-NSA 法(天线高度 1m, 垂直极化)

| 频率 MHz | 位置 | 理论值 dB | 双天线系数 dB(1/m ²) | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_s dB | | | | |
|-----------|----|-----------|--------------------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | | | | | | |

表 B.2.3 归一化场地衰减-NSA 法(天线高度 2m, 水平极化)

| 频率 MHz | 位置 | 理论值 dB | 双天线系数 dB(1/m ²) | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_s dB | | | | |
|-----------|----|-----------|--------------------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | | | | | | |

B. 2. 4 归一化场地衰减-NSA 法(天线高度 1.5m, 垂直极化)

| 频率 MHz | 位置 | 理论值 dB | 双天线系数 dB(1/m ²) | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_S dB | | | | |
|-----------|----|-----------|--------------------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | | | | | | |

B. 2. 5 归一化场地衰减-RSM 法(天线高度 1m, 水平极化)

| 频率 MHz | 位置 | 天线对参考场 地衰减 dB | 直连值 V_{DIR} dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 归一化场地衰减偏差 dB | | | | |
|-----------|----|---------------------|------------------------|----------------------|---|---|---|---|-----------------|---|---|---|---|
| | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | | | | | |

B. 2. 6 归一化场地衰减-RSM 法(天线高度 1m, 垂直极化)

| 频率 MHz | 位置 | 天线对参考场 地衰减 dB | 直连值 V_{DIR} dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 归一化场地衰减偏差 dB | | | | |
|-----------|----|---------------------|------------------------|----------------------|---|---|---|---|-----------------|---|---|---|---|
| | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | | | | | |

B. 2. 7 归一化场地衰减-RSM 法(天线高度 2m, 水平极化)

| 频率 MHz | 位置 | 天线对参考场 地衰减 dB | 直连值 V_{DIR} dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 归一化场地衰减偏差 dB | | | | |
|-----------|----|---------------------|------------------------|----------------------|---|---|---|---|-----------------|---|---|---|---|
| | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | | | | | |

B. 2. 8 归一化场地衰减-RSM 法(天线高度 1.5m, 垂直极化)

| 频率 MHz | 位置 | 天线对参考场 地衰减 dB | 直连值 V_{DIR} dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 归一化场地衰减偏差 dB | | | | |
|-----------|----|---------------------|------------------------|----------------------|---|---|---|---|-----------------|---|---|---|---|
| | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | | | | | |

B.3 场地电压驻波比

表 B.3.1 场地电压驻波比(天线高度 1m, 水平极化, 前点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | F1h1 | F2h1 | F3h1 | F4h1 | F5h1 | F6h1 | F1h1 | F2h1 | F3h1 | F4h1 | F5h1 | F6h1 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 B.3.2 场地电压驻波比(天线高度 1m, 垂直极化, 前点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | F1h1 | F2h1 | F3h1 | F4h1 | F5h1 | F6h1 | F1h1 | F2h1 | F3h1 | F4h1 | F5h1 | F6h1 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 B.3.3 场地电压驻波比(天线高度 1m, 水平极化, 中点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | C1h1 | C2h1 | C3h1 | C4h1 | C5h1 | C6h1 | C1h1 | C2h1 | C3h1 | C4h1 | C5h1 | C6h1 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 B.3.4 场地电压驻波比(天线高度 1m, 垂直极化, 中点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | C1h1 | C2h1 | C3h1 | C4h1 | C5h1 | C6h1 | C1h1 | C2h1 | C3h1 | C4h1 | C5h1 | C6h1 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 B.3.5 场地电压驻波比(天线高度 1m, 水平极化, 左点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | L1h1 | L2h1 | L3h1 | L4h1 | L5h1 | L6h1 | L1h1 | L2h1 | L3h1 | L4h1 | L5h1 | L6h1 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 B.3.6 场地电压驻波比(天线高度 1m, 垂直极化, 左点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | L1h1 | L2h1 | L3h1 | L4h1 | L5h1 | L6h1 | L1h1 | L2h1 | L3h1 | L4h1 | L5h1 | L6h1 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 B.3.7 场地电压驻波比(天线高度 1m, 水平极化, 右点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | R1h1 | R2h1 | R3h1 | R4h1 | R5h1 | R6h1 | R1h1 | R2h1 | R3h1 | R4h1 | R5h1 | R6h1 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 B.3.8 场地电压驻波比(天线高度 1m, 垂直极化, 右点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | R1h1 | R2h1 | R3h1 | R4h1 | R5h1 | R6h1 | R1h1 | R2h1 | R3h1 | R4h1 | R5h1 | R6h1 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 B.3.9 场地电压驻波比(天线高度 2m, 水平极化, 前点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | F1h2 | F2h2 | F3h2 | F4h2 | F5h2 | F6h2 | F1h2 | F2h2 | F3h2 | F4h2 | F5h2 | F6h2 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

表 B.3.10 场地电压驻波比(天线高度 2m, 垂直极化, 前点)

| 频率 GHz | 测量值 M dB | | | | | | 修正值 dB | | | | | | 电压 驻波 比 dB |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | F1h2 | F2h2 | F3h2 | F4h2 | F5h2 | F6h2 | F1h2 | F2h2 | F3h2 | F4h2 | F5h2 | F6h2 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |

B.4 场均匀性

表 B.4.1 场均匀性-恒功率法(水平极化)

| 频率 MHz | 电场强度 V/m | | | | | | | | | | | | | | | | 场均匀性 (dB) |
|-----------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18000 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

表 B. 4. 2 场均匀性-恒功率法(垂直极化)

| 频率 MHz | 电场强度 V/m | | | | | | | | | | | | | | | | 场均匀性 (dB) |
|-----------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18000 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

表 B. 4. 3 场均匀性-恒场强法(水平极化)

| 频率 MHz | 电场强度 V/m | | | | | | | | | | | | | | | | 场均匀性 (dB) |
|-----------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18000 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

表 B. 4. 4 场均匀性-恒场强法(垂直极化)

| 频率 MHz | 电场强度 V/m | | | | | | | | | | | | | | | | 场均匀性 (dB) |
|-----------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18000 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

B. 5 归一化场地插入损耗

表 B. 5. 1 归一化场地插入损耗-NSIL 法(共轴 HX)

| 频率 MHz | 理论值 dB(m ² /S ²) | 双天线系数 dB(S/m) | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_s dB | | | | |
|-----------|--|------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 0.009 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | |

表 B. 5. 2 归一化场地插入损耗-NSIL 法(共面(垂直极化)HY)

| 频率 MHz | 理论值 dB(m ² /S ²) | 双天线系数 dB(S/m) | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_s dB | | | | |
|-----------|--|------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 0.009 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | |

表 B.5.3 归一化场地插入损耗-NSIL 法(共面(水平极化)HZ)

| 频率 MHz | 理论值 dB(m ² /S ²) | 双天线系数 dB(S/m) | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_S dB | | | | |
|-----------|--|------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 0.009 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | |

表 B.5.4 归一化场地插入损耗-RSM 法(共轴 HX)

| 频率 MHz | 天线对参考 场地衰减 dB | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_S dB | | | | |
|-----------|---------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 0.009 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | |

表 B.5.5 归一化场地插入损耗-RSM 法(共面(垂直极化)HY)

| 频率 MHz | 天线对参考 场地衰减 dB | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_S dB | | | | |
|-----------|---------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 0.009 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | |

表 B.5.6 归一化场地插入损耗-RSM 法(共面(水平极化)HZ)

| 频率 MHz | 天线对参考 场地衰减 dB | 直连值 dB | 测量值 V_{SITE} dB | | | | | 偏差 ΔA_S dB | | | | |
|-----------|---------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 | 中 | 前 | 后 | 右 | 左 |
| 0.009 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | |

B.6 接地电阻

表 B.6 接地电阻

| |
|------------------|
| 接地电阻 Ω |
| |

B.7 绝缘电阻

表 B.7 绝缘电阻

| 绝缘电阻 MΩ | |
|-----------------|--|
| 电源进电线 1—电源进电线 2 | |
| | |
| 电源进电线 1—电源进电线 N | |
| 电源进电线 1—壳体 | |
| | |
| 电源进电线 N—壳体 | |

B.8 屏蔽效能

表 B.8 屏蔽效能

| 频率 MHz | 参考值 dBm | 各位置点校准值 dBm | | | | | 各位置点屏蔽效能值 dB | | | | |
|-----------|------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 门 | | | | | 门 | | | | |
| 0.009 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| 40000 | | | | | | | | | | | |

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 归一化场地衰减测量结果不确定度评定

C.1.1 测量模型

使用RSM法进行校准时的测量模型：

$$\Delta A_S = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{\text{APR}} \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔA_S ——场地衰减偏差；

A_{APR} ——天线对参考场地衰减；

V_{DIRECT} ——直接连接电缆后网络分析仪读数；

V_{SITE} ——电缆连接到天线后网络分析仪读数。

C.1.2 不确定度来源

- a) 测量重复性引入的不确定度分量 u_1 ；
- b) 直接连接电缆时网络分析仪读数 V_{DIRECT} 引入的不确定度分量 u_2 ；
- c) 电缆连接到天线时网络分析仪读数 V_{SITE} 引入的不确定度分量 u_3 ；
- d) 端口失配引入的误差 u_4 ；
- e) 天线对的场地衰减引入的不确定度分量 u_5 ；
- f) 发射天线上的电缆二次辐射或者反射引入的不确定度分量 u_6 ；
- g) 接收天线上的电缆二次辐射或者反射引入的不确定度分量 u_7 ；
- h) 天线位置对不准引入的误差 u_8 ；

C.1.3 标准不确定度评定

C.1.3.1 测量重复性误差引入的标准不确定分量 u_1

考虑到连接和天线位置移动的重复性，用网络分析仪独立校准测量 10 次，得到 10 次 V_{DIRECT} 和 V_{SITE} 的测量结果从而计算得到 10 次的场地衰减偏差值。按照贝塞尔公式，在所测的频段内取标准差最大的值为最终结果。

在 30MHz~200MHz 频段用双锥天线，200MHz~1000MHz 频段用对数周期天线对场地进行 10 次测量，使用下式得到单次测量的标准差 u_1 ：

表 C.1 归一化场地衰减测量重复性试验数据

| | | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/ dB | 3.13 | 2.92 | 2.62 | 2.73 | 3.24 | 2.60 | 2.32 | 2.71 | 2.42 | 2.53 |
| \bar{x} / dB | 2.72 | | | | | | | | | |

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.30 \text{ dB}$$

C.1.3.2 直接连接电缆后接收机读数 V_{Direct} 引入的标准不确定分量 u_2

网络分析仪通过同轴电缆连接到衰减器后，在连接天线端用 N 型直通直接连接，在 30MHz~1000MHz 频段使用校准件校准，结合实际测量频点处的幅度范围，由网络分析仪的不确定度计算器计算得到其最大值为 0.25dB， $k=2$ ，则

$$u_2 = 0.25/2 = 0.125 \text{ dB}$$

C.1.3.3 将电缆连接到天线后接收机读数 V_{Site} 引入的标准不确定分量 u_3

将电缆连接到天线后，在 30MHz~1000MHz 频段使用校准件校准，结合实际测量频点处的幅度范围，由网络分析仪的不确定度计算器计算得到其最大值为 0.40dB， $k=2$ ，则

$$u_3 = 0.40/2 = 0.20 \text{ dB}$$

C.1.3.4 端口失配引入的标准不确定分量 u_4

a. 网络分析仪发射端与接收端的失配引入的标准不确定分量 u_{4a}

网络分析仪发射端的回波损耗为 17dB，其反射系数为 0.141；接收端的回波损耗为 17dB，其反射系数为 0.141，由失配误差公式估算出失配误差的极限为 $8.68 \times 0.141 \times 0.141 = 0.173$ ，按反正弦分布， $k=\sqrt{2}$ ，则

$$u_{4a} = 0.173/\sqrt{2} = 0.122 \text{ dB}$$

b. 网络分析仪发射端与发射天线间的失配引入的标准不确定分量 u_{4b}

由失配引入的不确定度可由公式 (C.2) 计算

$$\delta_M = 20 \lg[1 + 2|\Gamma_p||S_{11}| + |\Gamma_p|^2|S_{11}|^2] \dots \dots \dots (C.2)$$

计算得到网络分析仪发射端与发射天线间的失配为 0.2dB，按反正弦分布， $k=\sqrt{2}$ ，则

$$u_{4b}=0.2/\sqrt{2}=0.14 \text{ dB}$$

c. 网络分析仪接收端与接收天线间的失配引入的标准不确定分量 u_{4c}

由失配引入的不确定度可由公式 (C.2) 计算,

计算得到网络分析仪接收端与接收天线间的失配为 0.2dB, 按反正弦分布,

$k=\sqrt{2}$, 则

$$u_{4c}=0.2/\sqrt{2}=0.14 \text{ dB}$$

所以有: $u_4 = \sqrt{(u_{4a})^2 + (u_{4b})^2 + (u_{4c})^2} = 0.233 \text{ dB}$

C. 1. 3. 5 天线对的参考场地衰减SA引入的标准不确定分量 u_5

校准证书上给出的天线对的参考场地衰减的不确定度为 1dB, $k=2$, 则

$$u_5=1/2=0.5 \text{ dB}$$

C. 1. 3. 6 发射天线电缆二次辐射或者反射引入的标准不确定分量 u_6

根据相关文件得到由于发射天线电缆二次辐射或者反射导致的误差约为 0.3dB, 按均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_6=0.3/\sqrt{3}=0.17 \text{ dB}$$

C. 1. 3. 7 接收天线电缆二次辐射或者反射引入的标准不确定分量 u_7

根据相关文件得到由于接收天线电缆二次辐射或者反射导致的误差约为 0.3dB, 按均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_7=0.3/\sqrt{3}=0.17 \text{ dB}$$

C. 1. 3. 8 天线位置对不准引入标准不确定分量 u_8

天线位置对不准, 包括发射天线的高度, 发射天线和接收之间的间隔和对准, 接收的高度扫描速度, 其引入的误差约为 0.3dB, 按均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_8=0.3/\sqrt{3}=0.17 \text{ dB}$$

C. 1. 4 合成标准不确定度

归一化场地衰减的测量不确定度汇总于表C.2中。

表 C.2 归一化场地衰减测量不确定度分量一览表

| 不确定度分量 | 不确定分量来源 | 评定方法 | 分布 | k | 标准不确定度(dB) |
|--------|--------------------------|------|-----|------------|------------|
| u_1 | 测量重复性 | A 类 | 正态 | / | 0.2 |
| u_2 | 直连读数 V_{Direct} | B 类 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.125 |
| u_3 | 测量读数 V_{site} | B 类 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.2 |
| u_4 | 端口失配 | B 类 | 反正弦 | $\sqrt{2}$ | 0.233 |
| u_5 | 天线对的衰减 SA | B 类 | 正态 | 2 | 0.5 |
| u_6 | 发射天线电缆二次辐射或者反射 | B 类 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.173 |
| u_7 | 接收天线电缆二次辐射或者反射 | B 类 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.173 |
| u_8 | 天线位置对不准 | B 类 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.173 |

各测量不确定度分量按不相关考虑，则合成标准不确定度 u_c 为：

$$u_c = \sqrt{(u_1)^2 + (u_2)^2 + (u_3)^2 + (u_4)^2 + (u_5)^2 + (u_6)^2 + (u_7)^2 + (u_8)^2} = 0.74 \text{ dB}$$

C.1.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 1.5 \text{ dB } (k=2)。$$

C.2 场地电压驻波比测量结果不确定度的评定

C.2.1 测量模型

$$S_{VSWR} = M_{\text{max}} - M_{\text{min}} (\text{dB}) \quad (\text{C2})$$

C.2.2 不确定度来源

1.测量最大信号电平时引入的不确定度 $u_{1(M_{\text{max}})}$ ；

2.测量最小信号电平时引入的不确定度 $u_{2(M_{\text{min}})}$ ；

C.2.3 标准不确定度评定

C.2.3.1 测量最大信号电平时引入的不确定度 $u_{1(M_{\text{max}})}$

不确定度来源主要有以下几点：

- 1)测量重复性误差引入的标准不确定分量 u_1 ；
- 2)网络分析仪测量传输系数引入的标准不确定分量 u_2 ；
- 3)端口失配引入的误差 u_3 ；
- 4)天线安装定位不准引入的误差 u_4 ；

5)前置放大器增益不稳引入的误差 u_5 ;

6)由于电缆反射引入的误差 u_6 。

C.2.3.1.1 测量重复性误差引入的标准不确定分量 u_1

考虑到连接和天线位置移动的重复性,用网络分析仪独立校准测量 10 次,得到 10 次 M_{\max} 和 M_{\min} 的测量结果从而计算得到 10 次的场地电压驻波比结果。按照贝塞尔公式,在所测的频段内取标准差最大的值为最终结果。

在 1GHz~18GHz 频段对场地进行 10 次测量,使用下式得到单次测量的标准差 u_1 :

表 C.3 场地电压驻波比测量重复性试验数据

| | | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/ dB | 3.79 | 4.01 | 3.97 | 3.87 | 4.34 | 4.22 | 4.62 | 3.92 | 4.38 | 4.55 |
| \bar{x} / dB | 4.17 | | | | | | | | | |

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.30 \text{ dB}$$

C.2.3.1.2 网络分析仪测量传输系数引入的标准不确定分量 u_2

网络分析仪接收到的幅度范围在 10dBm~-60dBm 之间,由网络分析仪的不确定度计算器计算得到其最大值为 0.6dB,按正态分布, $k=2$, 则

$$u_2 = 0.3 \text{ dB}$$

C.2.3.1.3 端口失配引入的标准不确定分量 u_3

i). 网络分析仪发射端与发射天线的失配引入的标准不确定分量 u_{3a}

网络分析仪发射端的回波损耗为 17dB,其反射系数为 0.141;发射天线的驻波比为 1.6,其反射系数为 0.23,由失配误差公式估算出失配误差的极限为 $8.68 \times 0.141 \times 0.23 = 0.281$,按反正弦分布, $k = \sqrt{2}$, 则

$$u_{3a} = 0.281 / \sqrt{2} = 0.20 \text{ dB}$$

ii). 接收天线与前置放大器输入端的失配引入的标准不确定分量 u_{3b}

网络分析仪发射端的回波损耗为 17dB,其反射系数分别为 0.141;前置放大器输入端的驻波比为 1.5,其反射系数为 0.2,由失配误差公式估算出失配误差的极限为 $8.68 \times 0.141 \times 0.2 = 0.245$,按反正弦分布, $k = \sqrt{2}$, 则

$$u_{3b}=0.245/\sqrt{2}=0.173 \text{ dB}$$

iii). 前置放大器输出端与网络分析仪接收端的失配引入的标准不确定分量

u_{3c}

网络分析仪接收端的回波损耗为 17dB, 其反射系数分别为 0.141; 前置放大器输出端的驻波比为 1.5, 其反射系数为 0.2, 由失配误差公式估算出失配误差的极限为 $8.68 \times 0.141 \times 0.2 = 0.281$, 按反正弦分布, $k=\sqrt{2}$, 则

$$u_{3c}=0.281/\sqrt{2}=0.20 \text{ dB}$$

$$\text{所以有: } u_3 = \sqrt{(u_{3a})^2 + (u_{3b})^2 + (u_{3c})^2} = 0.33 \text{ dB}$$

C. 2. 3. 1. 4 天线安装定位不准引入的标准不确定分量 u_4

天线安装定位不准, 包括收发天线之间的距离, 天线高度不准、位置移动不准等, 经试验得到其引入的标准不确定分量约 0.3dB, 按均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_4=0.17 \text{ (dB)}$$

C. 2. 3. 1. 5 前置放大器增益不稳引入的标准不确定分量 u_5

由相关文件得到前置放大器增益不稳引入的标准不确定分量约为 0.3dB, 按均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_5=0.17 \text{ (dB)}$$

C. 2. 3. 1. 6 由于电缆反射引入的标准不确定分量 u_6

经测试得到, 由于电缆反射引入的不确定度分量约为 0.3dB, 按均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_6=0.17 \text{ (dB)}$$

则测量最大信号电平时引入的不确定度:

$$u_1(M_{\max}) = \sqrt{(u_1)^2 + (u_2)^2 + (u_3)^2 + (u_4)^2 + (u_5)^2 + (u_6)^2} = 0.636 \text{ dB}$$

C. 2. 3. 2 测量最小信号电平时引入的不确定度 $u_2(M_{\min})$

由于测量最小信号电平时的过程和测量最大信号电平时一样, 所以得到

$$u_2(M_{\min}) \approx u_1(M_{\max}) = 0.636 \text{ dB}$$

C. 2. 4 合成标准不确定度

场地电压驻波比的测量不确定度汇总于表C.4中。

表 C.4 场地电压驻波比测量不确定度分量一览表

| 不确定度分量 | 不确定分量来源 | 标准不确定度(dB) |
|-----------------|----------|------------|
| $u_1(M_{\max})$ | 测量最大信号电平 | 0.636 |
| $u_2(M_{\min})$ | 测量最小信号电平 | 0.636 |

各测量不确定度分量按不相关考虑, 则合成标准不确定度 u_c 为:

$$u_c = \sqrt{(u_1(M_{\max}))^2 + (u_2(M_{\min}))^2} = 0.90\text{dB}$$

C.2.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 1.8 \text{ dB}(k=2)。$$

C.3 场均匀性测量结果不确定度的评定

C.3.1 测量模型

使用恒功率法进行校准时的测量模型:

$$FU = E_{\max} - E_{\min} \quad (C3)$$

C.3.2 不确定度来源

1. 测量最大电场电平时引入的不确定度 $u_1(E_{\max})$;
2. 测量最大电场电平时引入的不确定度 $u_2(E_{\min})$ 。

C.3.3 标准不确定度评定

C.3.3.1 测量最大电场电平时引入的不确定度 $u_1(E_{\max})$

不确定度来源主要有以下几点:

- a) 测量重复性误差引入的标准不确定分量 u_1 ;
- b) 场强探头的稳定性引入的标准不确定分量 u_2 ;
- c) 功率计稳定性引入的误差 u_3 ;
- d) 功率放大器快速增益变化引入的误差 u_4 ;
- e) 位置的不准确引入的误差 u_5 ;
- f) 场强探头线性引入的误差 u_6 。

C.3.3.1.1 测量重复性误差引入的标准不确定分量 u_1

考虑到探头位置移动的重复性, 进行 10 次独立校准测量, 得到 10 次 E_{\max} 和 E_{\min} 的测量结果, 从而计算得到 10 次的场均匀性结果。按照贝塞尔公式, 在所测的频段内取标准差最大的值为最终结果。

在 1GHz~18GHz 频段对场地进行 10 次测量, 使用下式得到单次测量的标准差 u_1 :

表 C.5 场均匀性测量重复性试验数据

| | | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/ dB | 3.38 | 2.42 | 2.91 | 2.78 | 2.56 | 2.44 | 2.85 | 3.14 | 2.78 | 2.69 |
| \bar{x} / dB | 2.80 | | | | | | | | | |

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.35 \text{ dB}$$

C.3.3.1.2 场强探头的稳定性引入的标准不确定分量 u_2

场强探头的稳定性包含探头和数据采集器的稳定性。经试验, 场强探头的稳定性约为 0.3dB, 按均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_2 = 0.3 / \sqrt{3} = 0.17 \text{ dB}$$

C.3.3.1.3 功率计稳定性引入的标准不确定分量 u_3

功率计稳定性引入的包括功率计和功率探头在内的稳定性, 经测试, 功率计稳定性误差约为 0.3dB, 按均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_3 = 0.3 / \sqrt{3} = 0.17 \text{ dB}$$

C.3.3.1.4 功率放大器快速增益变化引入的标准不确定分量 u_4

由功率放大器达到稳定后的增益快速变化引入的误差约为 0.2dB, 按均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_4 = 0.2 / \sqrt{3} = 0.12 \text{ dB}$$

C.3.3.1.5 位置的不准确引入的标准不确定分量 u_5

位置的不准确, 包括发射天线的高度和对正, 发射天线和均匀面的距离、电场探头的位置等, 经试验得到引入的误差约为 0.3dB, 按均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_5 = 0.3 / \sqrt{3} = 0.17 \text{ dB}$$

C.3.3.1.6 场强探头线性引入的标准不确定分量 u_6

由仪器指标说明书得电场探头线性为 0.5dB, 按均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_6=0.5/\sqrt{3}=0.29 \text{ dB}$$

C.3.3.1.7 SW 电平精度引入的标准不确定分量 u_7

SW 是由校准过程中，信号发生器和软件的试验水平设置窗口的步长偏离引起的，引入的不确定度约为 0.6dB，按均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_7=0.6/\sqrt{3}=0.346 \text{ dB}$$

则测量最大电场电平时引入的不确定度：

$$u_1(E_{\max}) = \sqrt{(u_1)^2 + (u_2)^2 + (u_3)^2 + (u_4)^2 + (u_5)^2 + (u_6)^2 + (u_7)^2} = 0.66 \text{ dB}$$

C.3.3.2 测量最小电场电平时引入的不确定度 $u_2(E_{\min})$

由于测量最小电场电平时的过程和测量最大电场电平时一样，所以得到

$$u_2(E_{\min}) \approx u_1(E_{\max}) = 0.66 \text{ dB}$$

C.3.4 合成标准不确定度

场均匀性的测量不确定度汇总于表C.6中。

表 C.6 场均匀性测量不确定度分量一览表

| 不确定度分量 | 不确定分量来源 | 标准不确定度(dB) |
|-----------------|----------|------------|
| $u_1(E_{\max})$ | 测量最大电场电平 | 0.66 |
| $u_2(E_{\min})$ | 测量最小电场电平 | 0.66 |

各测量不确定度分量按不相关考虑，则合成标准不确定度 u_c 为：

$$u_c = \sqrt{(u_1(E_{\max}))^2 + (u_2(E_{\min}))^2} = 0.93 \text{ dB}$$

C.3.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 1.9\text{dB}(k=2)。$$

C.4 归一化场地插入损耗测量结果不确定度的评定

C.4.1 测量模型

$$\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{\text{LPR}} \quad (\text{C.4})$$

式中： ΔA_s ——场地插入损耗偏差；

V_{DIRECT} ——直连测量值；

V_{SITE} ——接上天线后的测量值；

A_{LPR} ——天线对参考场地衰减。

C.4.2 不确定度来源

- a) 测量重复性引入的不确定度分量 u_1 ;
- b) 直接连接电缆时网络分析仪读数 V_{Direct} 引入的不确定度分量 u_2 ;
- c) 将电缆连接到天线后网络分析仪读数 V_{site} 引入的不确定度分量 u_3 ;
- d) 端口失配引入的不确定度分量 u_4 ;
- e) 天线对的场地衰减引入的不确定度分量 u_5 ;
- f) 发射天线上的电缆二次辐射或者反射引入的不确定度分量 u_6 ;
- g) 接收天线上的电缆二次辐射或者反射引入的不确定度分量 u_7 ;
- h) 天线位置对不准引入的不确定度分量 u_8 ;

C.4.3 标准不确定度评定

C.4.3.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_1

考虑到连接和校准的重复性,用网络分析仪独立校准测量 10 次, V_{Direct} 和 V_{site} 得到 10 次测量结果,进而得到 10 次的 $\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{\text{LPR}}$ 。按照贝塞尔公式计算,在(0.009~30)MHz 频段内取标准差最大的值作为最终结果,则标准不确定度分量为:

表 C.7 归一化场地插入损耗测量重复性试验数据

| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 测量值/ dB | 2.08 | 1.92 | 1.81 | 1.67 | 1.41 | 1.56 | 1.78 | 1.86 | 1.79 | 2.02 |
| \bar{x} / dB | 1.79 | | | | | | | | | |

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.2 \text{ dB}$$

C.4.3.2 直接连接电缆时网络分析仪读数 V_{Direct} 引入的不确定度分量 u_2

网络分析仪通过同轴电缆在连接天线端用 N 型直通连接,测试值 S_{21} 在 0dBm~-10dBm 之间,由网络分析仪不确定度计算器计算得此区间幅度测量结果的不确定度为 0.08dB,按正态分布,取 $k=2$,则

$$u_2 = 0.08/2 = 0.04 \text{ dB}$$

C.4.3.3 将电缆连接到天线后网络分析仪读数 V_{site} 引入的不确定度分量 u_3

将电缆连接到天线后,测试值 S_{21} 在 -20dBm~-58dBm 之间,由网络分析仪

不确定度计算器计算得此区间幅度测量结果的不确定度为 1.0dB，按正态分布，取 $k=2$ ，则

$$u_3=1.0/2=0.50\text{dB}$$

C. 4. 3. 4 端口失配引入的标准不确定分量 u_4

a. 网络分析仪发射和接收端口失配引入的标准不确定分量 u_{4a}

网络分析仪发射端的回波损耗为 17dB，其反射系数为 0.141；接收端的回波损耗为 17dB，其反射系数为 0.141，由失配误差公式估算出失配误差的极限为 $8.68 \times 0.141 \times 0.141 = 0.173$ ，按反正弦分布， $k=\sqrt{2}$ ，则

$$u_{4a}=0.173/\sqrt{2}=0.122\text{dB}$$

b. 网络分析仪发射端与发射天线间的失配引入的标准不确定分量 u_{4b}

网络分析仪发射端的回波损耗为 17dB，其反射系数为 0.141，发射环天线的驻波比最大为 1.4，其反射系数为 0.167，则由失配误差公式估算出失配误差的极限为 $8.68 \times 0.141 \times 0.167 = 0.20$ ，按反正弦分布， $k=\sqrt{2}$ ，则

$$u_{4b}=0.20/\sqrt{2}=0.145\text{dB}$$

c. 网络分析仪接收端与接收天线间的失配引入的标准不确定分量 u_{4c}

网络分析仪接收端的回波损耗为 17dB，其反射系数为 0.141；接收环天线连接隔离器后的驻波比最大为 2，其反射系数为 0.333，则由失配误差公式估算出失配误差的极限为 $8.68 \times 0.141 \times 0.333 = 0.408$ ，按反正弦分布， $k=\sqrt{2}$ ，则

$$u_{4c}=0.408/\sqrt{2}=0.288\text{dB}$$

$$\text{所以有: } u_4 = \sqrt{(u_{4a})^2 + (u_{4b})^2 + (u_{4c})^2} = 0.345\text{dB}$$

C. 4. 3. 5 天线对的参考场地衰减 SA 引入的标准不确定分量 u_5

校准证书上给出的天线对的参考场地衰减的不确定度为 1.0dB，按正态分布，取 $k=2$ ，则

$$u_5=1.0/2=0.5\text{ dB}$$

C. 4. 3. 6 发射天线电缆二次辐射或者反射引入的标准不确定分量 u_6

通过对电缆位置进行多次测量得到由于发射天线电缆二次辐射或者反射导致的误差约为 0.1dB，按均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_6=0.1/\sqrt{3}=0.058 \text{ dB}$$

C.4.3.7 接收天线电缆二次辐射或者反射引入的标准不确定分量 u_7

通过对电缆位置进行多次测量得到由于接收天线电缆二次辐射或者反射导致的误差约为 0.1dB，按均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_7=0.1/\sqrt{3}=0.058 \text{ dB}$$

C.4.3.8 天线位置对不准引入标准不确定分量 u_8

天线位置对不准，包括天线的高度，天线间的距离、天线轴之间的横向偏移和两个天线没有保持彼此平行，其引入的误差约为 0.31dB，按均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_8=0.31/\sqrt{3}=0.179 \text{ dB}$$

C.4.4 合成标准不确定度

归一化场地插入损耗测量不确定度汇总于表C.8中。

表 C.8 归一化插入损耗测量不确定度分量一览表

| 不确定度分量 | 不确定分量来源 | 评定方法 | 分布 | k | 标准不确定度 |
|--------|--------------------------|------|-----|------------|--------|
| u_1 | 测量重复性 | A 类 | 正态 | / | 0.2 |
| u_2 | 直连读数 V_{Direct} | B 类 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.04 |
| u_3 | 测量读数 V_{site} | B 类 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.5 |
| u_4 | 端口失配 | B 类 | 反正弦 | $\sqrt{2}$ | 0.345 |
| u_5 | 天线对的衰减 SA | B 类 | 正态 | 2 | 0.5 |
| u_6 | 发射天线电缆二次辐射或者反射 | B 类 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.058 |
| u_7 | 接收天线电缆二次辐射或者反射 | B 类 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.058 |
| u_8 | 天线位置对不准 | B 类 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.179 |

各测量不确定度分量按不相关考虑，则合成标准不确定度 u_c 为：

$$u_c = \sqrt{(u_1)^2 + (u_2)^2 + (u_3)^2 + (u_4)^2 + (u_5)^2 + (u_6)^2 + (u_7)^2 + (u_8)^2} = 0.866 \text{ dB}$$

C.4.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 1.73 \text{ dB}$$

C.5 接地电阻测量结果不确定度的评定

C.5.1 测量模型

$$Z = z \quad (\text{C.5})$$

式中：Z—待测接地电阻，单位为 Ω ；

z—接地电阻表读数值，单位为 Ω 。

C.5.2 不确定度来源

- 由测量重复性引入的不确定度分量 u_1 。
- 接地电阻表测量准确度引入的不确定度分量 u_2 ；
- 接地电阻表示值分辨力引入的不确定度分量 u_3 ；
- 辅助接地棒位置不准引入的不确定度分量 u_4 ；

C.5.3 标准不确定度评定

C.5.3.1 由测量重复性引入的不确定度分量 u_1

对半电波暗室的接地电阻进行重复性测量 10 次，测量结果见表 C.9。用贝塞尔公式计算得到单次测量值的实验标准偏差为 0.008Ω ，即 $u_1 = 0.008\Omega$ 。

表 C.9 接地电阻测量重复性试验数据

| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 测量值/ Ω | 0.82 | 0.80 | 0.81 | 0.81 | 0.82 | 0.81 | 0.80 | 0.82 | 0.82 | 0.81 |
| \bar{x} / Ω | 0.812 | | | | | | | | | |

C.5.3.2 接地电阻表测量准确度引入的不确定度分量 u_2

由选用的接地电阻表技术指标可知，接地电阻表电阻测量的最大允许误差为 $\pm(1\% \text{rdg} + 3 \text{dgt})$ ，在 20Ω 档位时的最小分辨率为 0.01Ω 。取本次测量的平均值 0.81Ω 为读数值，按均匀分布，包含因子为 $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度分量为：

$$u_2 = \frac{(0.81 \times 1\%) + 0.03}{\sqrt{3}} = 0.022\Omega$$

C.5.3.3 由接地电阻表示值分辨力引入的不确定度分量 u_3

选用的接地电阻表示值分辨力为 0.01Ω ，半区间 $a = 0.005\Omega$ ，按均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度分量为：

$$u_3 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003\Omega$$

C.5.3.4 辅助接地棒位置不准引入的不确定度分量 u_4

使用 0.618 布极的直线测量法或者三角形测量法测量时，由于现场土壤的电阻率不一定均匀和地形的限值，辅助接地棒难以打到大地零电位的准确位置，此时的测量误差约为 10%。按均匀分布，包含因子为 $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度分量为：

$$u_4 = \frac{0.81 \times 10\%}{\sqrt{3}} = 0.047\Omega$$

C.5.4 合成标准不确定度

接地电阻测量不确定度汇总于表C.10中。

表 C.10 接地电阻测量不确定度分量一览表

| 不确定度分量 | 不确定分量来源 | 分布类型 | k | 标准不确定度(Ω) |
|--------|-----------|------|------------|--------------------|
| u_1 | 测量重复性 | 正态 | / | 0.008 |
| u_2 | 电阻测量准确度 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.022 |
| u_3 | 电阻表示值分辨力 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.003 |
| u_4 | 辅助接地棒位置不准 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.047 |

各测量不确定度分量按不相关考虑，则合成标准不确定度 u_c 为：

$$u_c = \sqrt{(u_1)^2 + (u_2)^2 + (u_3)^2 + (u_4)^2} = 0.053\Omega$$

C.5.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 0.11\Omega(k=2)。$$

C.6 绝缘电阻测量结果不确定度的评定

C.6.1 测量模型

$$Z = z \quad (C.6)$$

式中：Z—待测绝缘电阻，单位为 $M\Omega$ ；

z—绝缘电阻表读数值，单位为 $M\Omega$ 。

C.6.2 不确定度来源

- 由测量重复性引入的不确定度分量 u_1 。
- 绝缘电阻表测量准确度引入的不确定度分量 u_2 ；
- 绝缘电阻表示值分辨力引入的不确定度分量 u_3 ；

C.6.3 标准不确定度评定

C.6.3.1 由测量重复性引入的不确定度分量 u_1

对全电波暗室的绝缘电阻进行重复性测量 10 次, 测量结果见表 C. 11。
用贝塞尔公式计算得到单次测量值的实验标准偏差为 $0.58\text{M}\Omega$, 即 $u_1 = 0.58\text{M}\Omega$ 。

表 C. 11 绝缘电阻测量重复性试验数据

| | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/ $\text{M}\Omega$ | 72.1 | 72.4 | 71.3 | 72.3 | 71.5 | 72.5 | 72.6 | 71.9 | 73.1 | 71.4 |
| $\bar{x}/\text{M}\Omega$ | 72.1 | | | | | | | | | |

C. 6. 3. 2 绝缘电阻表测量准确度引入的不确定度分量 u_2

由选用的绝缘电阻表技术指标可知, 绝缘电阻表电阻测量的最大允许误差为 $\pm(1\%\text{rdg}+3\text{dgt})$, 在 500V 档位时的最小分辨率为 $0.1\text{M}\Omega$ 。取本次测量的平均值 $72.1\text{M}\Omega$ 为读数值, 按均匀分布, 包含因子为 $k = \sqrt{3}$, 则标准不确定度分量为:

$$u_2 = \frac{(72.1 \times 1\%) + 0.3}{\sqrt{3}} = 0.59\text{M}\Omega$$

C. 6. 3. 3 由绝缘电阻表示值分辨力引入的不确定度分量 u_3

选用的绝缘电阻表示值分辨力为 $0.1\text{M}\Omega$, 半区间 $a = 0.05\text{M}\Omega$, 为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则标准不确定度分量为:

$$u_3 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03\text{M}\Omega$$

C. 6. 4 合成标准不确定度

绝缘电阻的测量不确定度汇总于表C.12中。

表 C. 12 绝缘电阻测量不确定度分量一览表

| 不确定度分量 | 不确定分量来源 | 分布类型 | k | 标准不确定度($\text{M}\Omega$) |
|--------|----------|------|------------|----------------------------|
| u_1 | 测量重复性 | 正态 | / | 0.58 |
| u_2 | 电阻测量准确度 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.59 |
| u_3 | 电阻表示值分辨力 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.03 |

各测量不确定度分量按不相关考虑, 则合成标准不确定度 u_c 为:

$$u_c = \sqrt{(u_1)^2 + (u_2)^2 + (u_3)^2} = 0.83\text{M}\Omega$$

C. 6. 5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 1.7\text{M}\Omega(k=2)。$$