



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) ××××—××××

全电波暗室校准规范

Calibration Specification for Fully-anechoic Chamber

××××—××—××发布

××××—××—××

实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

全电波暗室校准规范

Calibration Specification for Fully-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：

张 成 （工业和信息化部电子第五研究所）
方 建 （工业和信息化部电子第五研究所）
刘福稼 （工业和信息化部电子第五研究所）

参加起草人：

陈 彦 （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）
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
5.1 屏蔽效能 (SE)	2
5.2 归一化场地衰减 (NSA)	2
5.3 场地电压驻波比 (S_{VSWR})	2
5.4 场均匀性 (FU)	2
5.5 接地电阻	3
5.6 绝缘电阻	3
5.7 背景噪声	3
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	5
7.1 校准项目	5
7.2 校准方法	6
8 校准结果表达	17
9 复校时间间隔	17
附录 A	18
附录 B	25
附录 C	34

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。

本规范为首次发布。

全电波暗室校准规范

1 范围

本校准规范适用于电磁兼容试验中全电波暗室场地性能校准。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 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

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

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 全电波暗室 fully-anechoic chamber

6 个内表面都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）的屏蔽室。

3.2 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。

3.3 电压驻波比 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。

3.4 试验空间 test volume

试验设施中放置样品的确认空间。

3.5 偶极子天线 dipole antenna

由两根相同长度的贡献直导体构成的线天线,两根导体端对端放置,由一小间隙分隔形成平衡馈电。每根导体的长度近似为 $1/4$ 波长,从而使得当偶极子处于自由空间时,在特定的频率上,其间隙两端测得的天线的输入阻抗的电抗为零。

4 概述

全电波暗室是电磁兼容试验中用到的主要的试验场地。全电波暗室是六个面均贴有吸波材料的暗室,在全电波暗室中可以模拟自由空间。半电波暗室为五个面均贴有吸波材料的暗室,主要用于替代无电磁波干扰的开阔试验场。二者由于所模拟场景不同,计量特性及计量方法也存在差别。

5 计量特性

5.1 屏蔽效能(SE)

频率: 9kHz~1MHz, 屏蔽效能: >60dB;

频率: ≥ 1 MHz~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: ± 4 dB。

5.3 场地电压驻波比(S_{VSWR})

频率 1GHz~18GHz;

驻波比: ≤ 6 dB。

5.4 场均匀性(FU)

频率 30MHz~18GHz, 在每个频点的均匀场域上所有栅格点中有 75% 的点的场强值或者前向功率值在 0 dB~+6 dB 范围内,对于 0.5 m×0.5 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 dB~+6 dB 范围内。

5.5 接地电阻

接地电阻： $<4\ \Omega$ 。

5.6 绝缘电阻

绝缘电阻：大于 $2\text{M}\Omega$ 。

5.7 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

推荐使用网络分析仪。

- a) 频率范围： $30\text{MHz}\sim 18\text{GHz}$ ；
- 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) 接收幅度动态准确度： $\pm 1\text{dB}$ ；

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： $30\text{MHz}\sim 18\text{GHz}$ ；
- b) 场强准确度最大允许误差： 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： $9\text{kHz}\sim 40\text{GHz}$ ；
- 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) 电平准确度：±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 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
$-60^\circ \sim 60^\circ$	±2dB	±3dB
$-60^\circ \sim -135^\circ$, $60^\circ \sim 135^\circ$	±3dB	±4dB
$-135^\circ \sim -180^\circ$, $135^\circ \sim 180^\circ$	<+3dB	<+4dB

6.2.7 功率放大器

a) 频率范围：30MHz~18GHz；

b) 谐波抑制比：<-15dBc；

c) 能在规定距离的均匀域产生 3V/m~10V/m 的场强。

6.2.8 前置放大器

a) 频率范围：9kHz~40GHz；

b) 增益：>20dB。

6.2.9 同轴衰减器

a) 频率范围：30MHz~1GHz；

b) 衰减量：10dB；

c) 驻波比：<1.1。

6.2.10 功率计/功率探头

a) 频率范围：30MHz~18GHz；

b) 功率测量范围：优于-50dBm~20dBm；

c) 最大允许误差：±1 dB。

6.2.11 双锥天线（用于归一化场地衰减发射）

a) 频率范围：30MHz~1000MHz；

b) 计量要求：按 Cispr16-1-6 或 ANSI C63.5 进行校准。

c) 具有近似的全向 H 面方向性图，对于 3m 测量距离，发射天线的最大尺寸不宜超过 40cm；对于较大的测试距离，当双锥天线为笼形设计时，两振子顶端之间的最大长度可为 44cm，当为折叠式或者旋转的锥形时，两振子顶端之间的最大长度为 50cm。

6.2.12 双锥天线（用于归一化场地衰减接收）

a) 频率范围：30MHz~200MHz；

b) 计量要求：按 Cispr16-1-6 或 ANSI C63.5 进行校准。

6.2.13 对数天线（用于归一化场地衰减接收）

a) 频率范围：200MHz~1000MHz；

b) 计量要求：按 Cispr16-1-6 或 ANSI C63.5 进行校准。

6.2.14 发射天线（用于场均匀性）

a) 频率范围：30MHz~18GHz；

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：0.1Ω~100Ω；

b) 最大允许误差：±5%。

6.2.16 绝缘电阻表

a) 测量范围：0.01MΩ~10GΩ；

b) 最大允许误差：±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(S_{VSWR})
4	场均匀性（NFU）
5	接地电阻
6	绝缘电阻
7	屏蔽效能（SE）
8	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

被校全电波暗室结构要完好无损,吸波材料粘贴完好,屏蔽门、波导板、通风口和滤波器等硬件设施安装完成。

7.2.1.2 工作正常性检查

被校全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),NSA法与RSM法均按以下步骤校准。

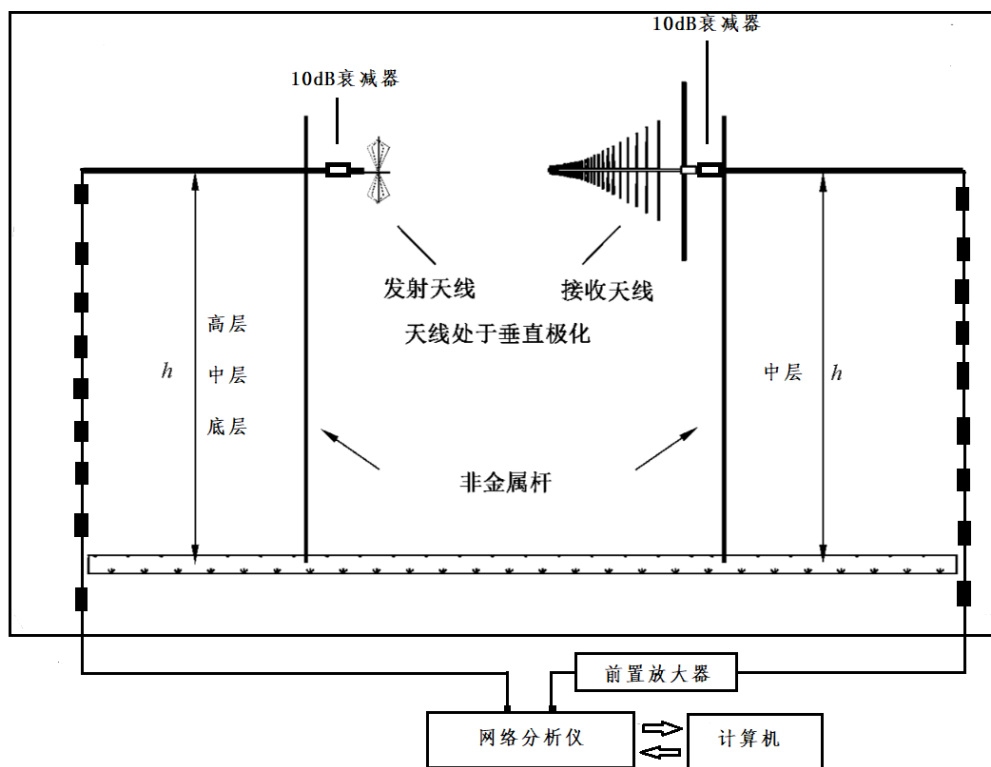


图1 归一化场地衰减校准的场地布置图

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（双锥天线 6.2.11）和接收天线（双锥天线 6.2.12 或对数天线 6.2.13）安装到天线架上，网络分析仪的输入/输出端使用套有铁氧体

磁环的同轴线缆连接到衰减器。

c) 标记天线摆放位置

如图 2 所示, 根据所需校准的距离 d 和测试静区的直径 R 以及试验空间高度 H , 在全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 。在校准过程中, 需要不断改变和调整测试轴线使测量结果满足指标的要求。

注: 试验空间高度 H 是顶部平面和底部平面高度差, 其顶部平面和底部平面至少与全电波暗室吸波材料相距 0.5m 。

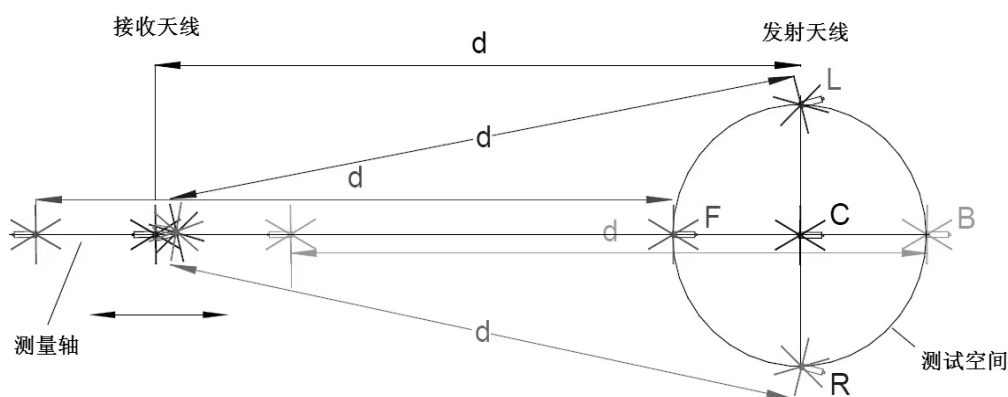


图 2 校准时天线位置图

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, 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 $30\text{MHz}\sim 100\text{MHz}$ 的步进为 1MHz , $100\text{MHz}\sim 500\text{MHz}$ 的步进为 5MHz , $500\text{MHz}\sim 1\text{GHz}$ 的步进为 10MHz , 完成直连值 (V_{DIRECT}) 的测量, 记录测量到的数值于附录 A 数据表 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的发射和接收天线上 (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测量

将发射天线放在中部平面中心测量位置上, 垂直极化, 接收天线置相同极化并沿测量轴与发射天线等高且正对。关闭暗室门, 启动自动测量设备, 完成扫描后将电压 V_{SITE} 的测量数据记录于表中 A.2.1。

改变天线极化为水平极化, 重复步骤 f, 记录电压 V_{SITE} 的测量数据。

g) 测量其他位置下的 V_{SITE}

移动发射天线到中部平面的其他位置, 同时沿着测量轴移动接收天线以保持测量距离 d 不变, 重复步骤 f, 完成前点、后点、右点和左点位置上测量。

h) 测量其他平面下的 V_{SITE}

调整发射天线的高度, 使发射天线位于底部平面或者顶部平面的中点上, 调整接收天线角度使得两天线的视轴与测量轴(即发射天线和接收天线之间的连线)在一条直线上, 如图 3 所示, 重复 f~g, 完成底部平面和顶部平面各位置上水平和垂直测量。

注 1: 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 0.5m, 后点位置可以省略;

2) 发射天线振子边沿不能超出试验空间的上下平面;

注 2: 也可以使用信号源和频谱仪进行校准。

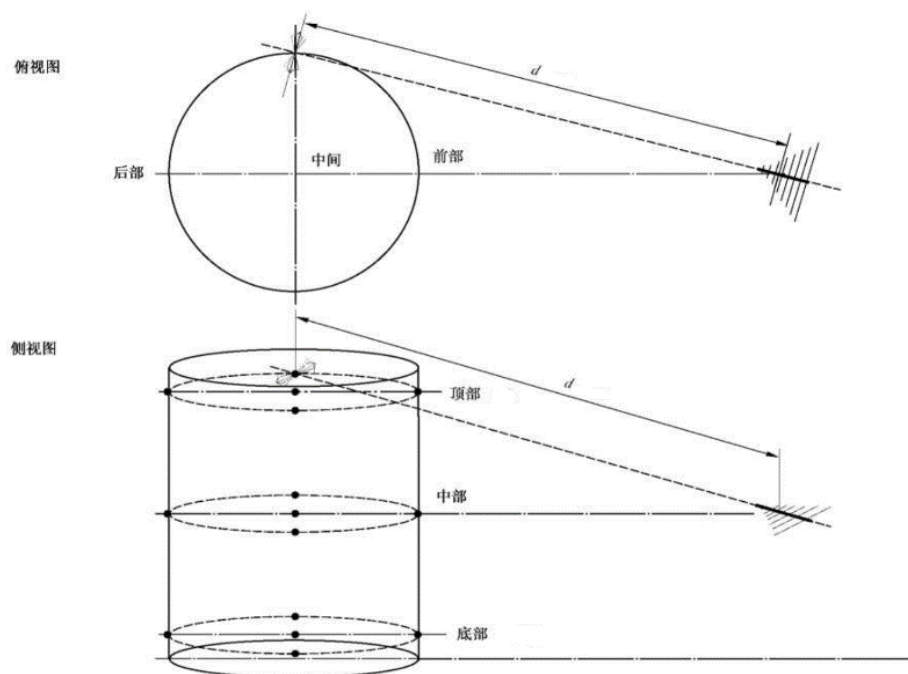


图 3 校准时实验空间天线位置图

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:

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

式中:

 ΔA_S ——归一化场地衰减偏差, 单位为 dB; AF_T ——发射天线天线系数, 单位为 dB(1/m); AF_R ——接收天线天线系数, 单位为 dB(1/m); A_N ——NSA 理论值, 见 CISPR 16-1-4-2023 公式 16 获取, 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; 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, 其值在 $\pm 4\text{dB}$ 以内。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(S_{VSWR})

场地电压驻波比校准的场地布置图 (如图 4)

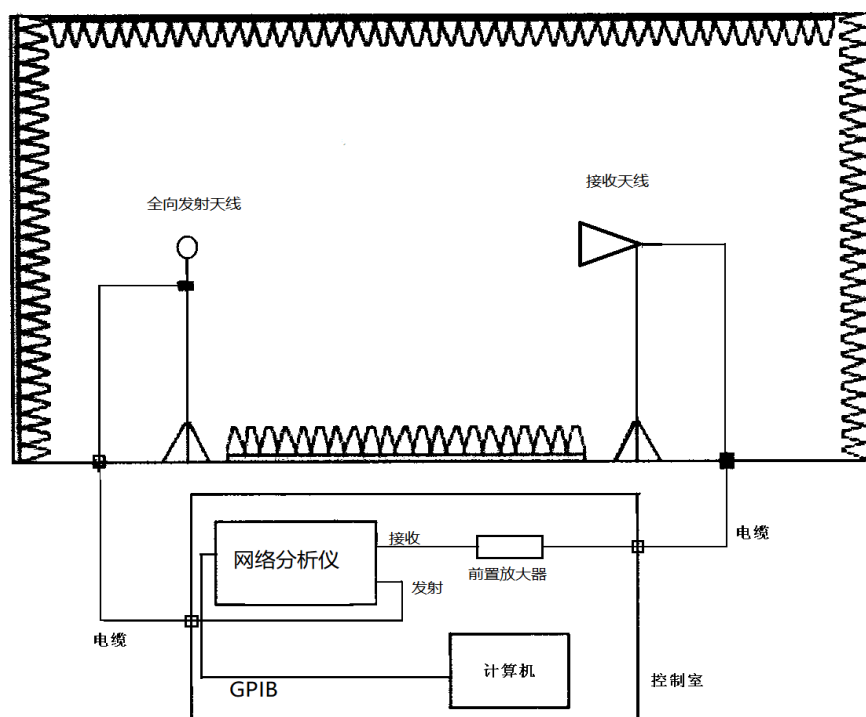


图 4: 场地电压驻波比校准的场地布置图

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 4 将全向天线 (6.2.6) 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), 接收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 5 所示在全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。

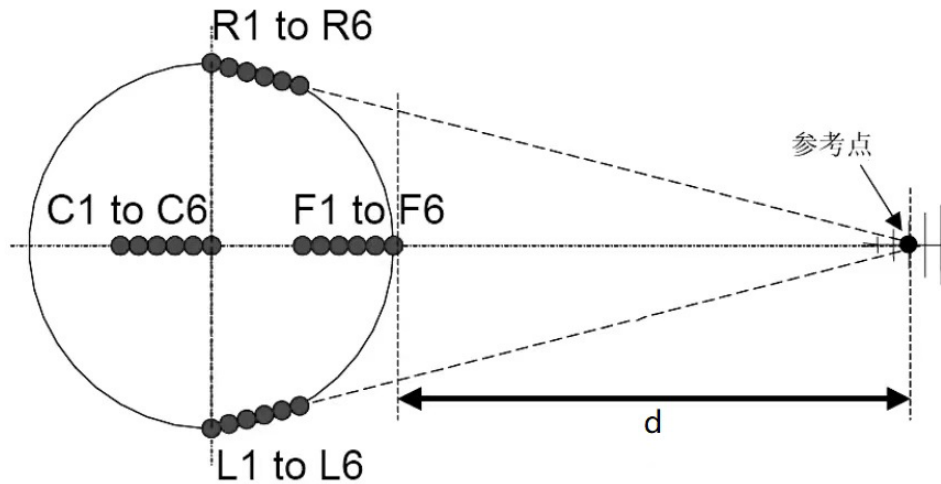


图 5: 校准时天线位置图

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) 确定天线高度

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6。

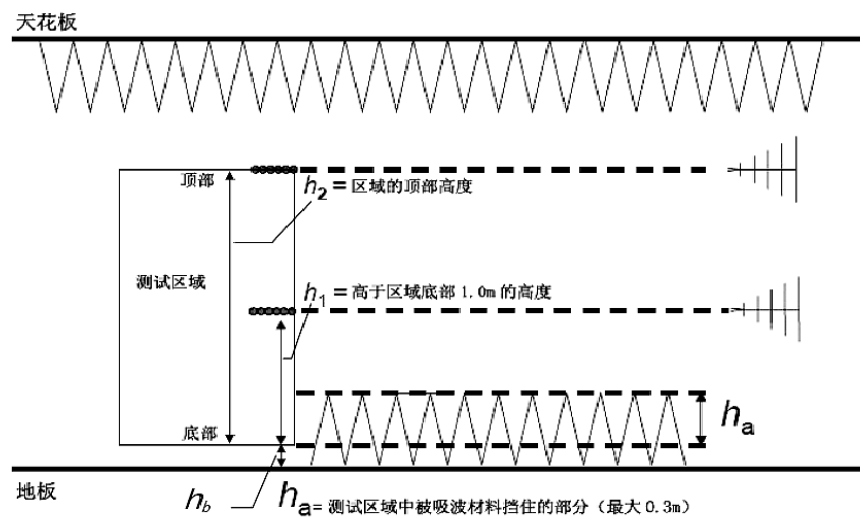


图6: SVSWR测量高度示意图

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, 记录实测信号电平 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。

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

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 7，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。

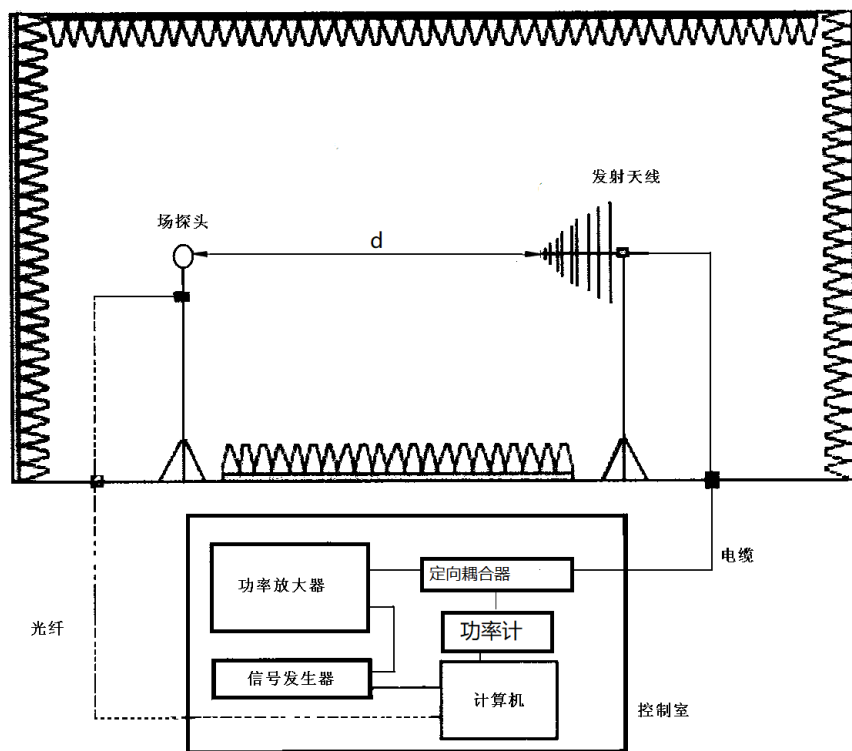


图7：场均匀性场地布置图

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 8 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。

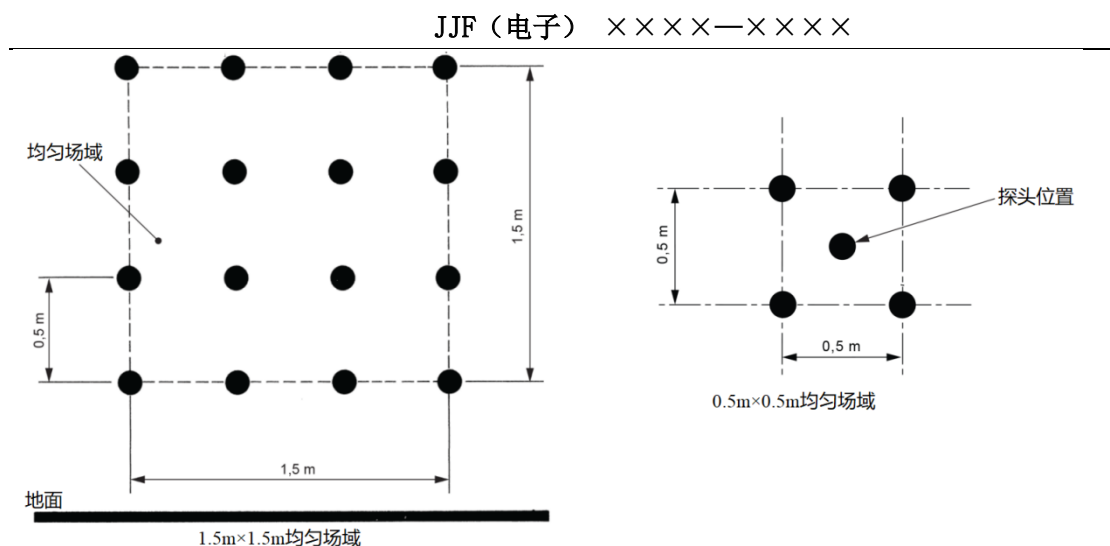


图8: 均匀场域及电场探头的位置

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。然后把反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 接地电阻

校准接地电阻布置图 (图 9)

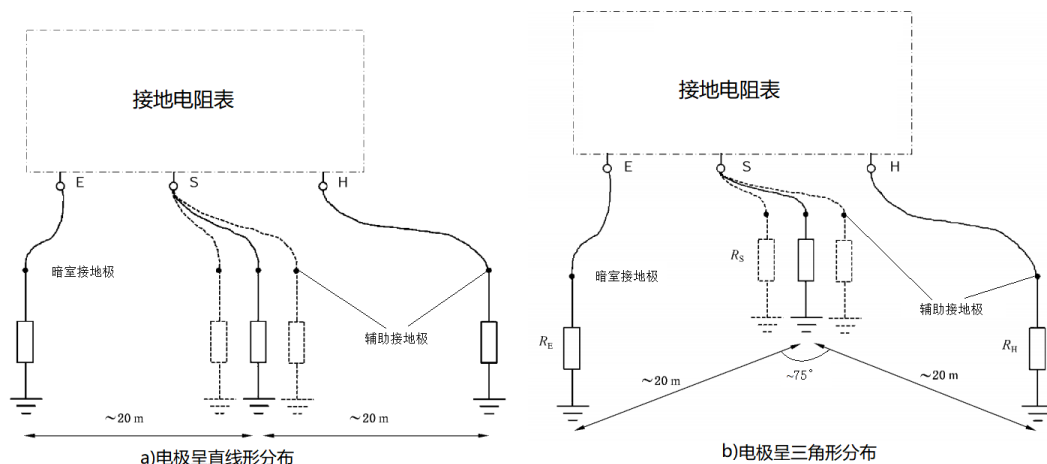


图9 接地电阻测试布置图

根据现场条件, 按图 9 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 A5。

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。

7.2.6 绝缘电阻

校准绝缘电阻布置图 (图 10)

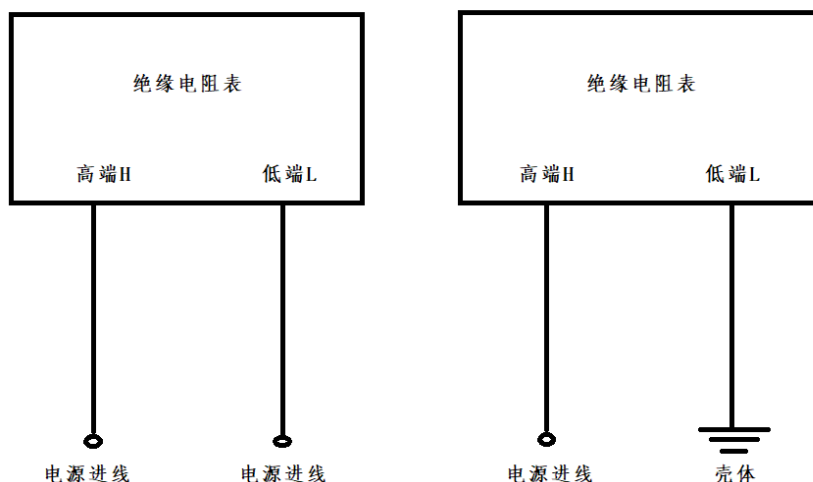


图10 绝缘电阻测试布置图

根据现场条件，断开所有的电源进电，按图 10 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，或者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 A6。

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

7.2.7 屏蔽效能

屏蔽效能的校准方法按照国标 GB/T 12190-2021。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。

7.2.8 背景噪声

背景噪声的校准方法按照国标 GB/T 6113.203 7.4，7.6 移除 EUT 后进行校准。校准结果通过公式(5)计算后生成曲线。

$$E = V_{\text{SITE}} + V_{\text{CABLE}} + \text{AF} - V_{\text{P}} \cdots \cdots (5)$$

式中：

V_{SITE} ——测量值

V_{CABLE} ——回路线缆损耗

AF——天线系数

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；
- 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

全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: °C 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 (底层平面, 水平极化)

频率 MHz	位置	理论值 dB	双天线系数 dB(1/m2)	直连值 dB	测量值 VSITE 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 (底层平面, 垂直极化)

频率 MHz	位置	理论值 dB	双天线系数 dB(1/m2)	直连值 dB	测量值 VSITE 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 (中层平面, 水平极化)

频率 MHz	位置	理论值 dB	双天线系数 dB(1/m2)	直连值 dB	测量值 VSITE 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(中层平面, 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 VSITE 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-NSA 法(顶层平面, 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 VSITE dB					偏差 ΔA_s dB				
					中	前	后	右	左	中	前	后	右	左
30														
.....														
1000														

表 A.2.6 归一化场地衰减-NSA 法(顶层平面, 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 VSITE dB					偏差 ΔA_s 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(底层平面, 水平极化)

频率 MHz	位置	天线对参考场 地衰减 dB	直连值 VDIR dB	测量值 VSITE 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(底层平面, 垂直极化)

频率 MHz	位置	天线对参考场 地衰减 dB	直连值 VDIR dB	测量值 VSITE 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. 9 归一化场地衰减-RSM 法(中层平面, 水平极化)

频率 MHz	位置	天线对参考场 地衰减 dB	直连值 VDIR dB	测量值 VSITE 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. 10 归一化场地衰减-RSM 法(中层平面, 垂直极化)

频率 MHz	位置	天线对参考场 地衰减 dB	直连值 VDIR dB	测量值 VSITE 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. 11 归一化场地衰减-RSM 法(顶层平面, 水平极化)

频率 MHz	位置	天线对参考场 地衰减 dB	直连值 VDIR dB	测量值 VSITE 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. 12 归一化场地衰减-RSM 法(顶层平面, 垂直极化)

频率 MHz	位置	天线对参考场 地衰减 dB	直连值 VDIR dB	测量值 VSITE 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 接地电阻

表 A.5 接地电阻

接地电阻 Ω		
第 1 组	第 2 组	第 3 组

A.6 绝缘电阻

表 A.6 绝缘电阻

绝缘电阻 $M\Omega$	
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.7 屏蔽效能

表 A.7 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(底层平面, 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(底层平面, 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(中层平面, 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.2.4 归一化场地衰减-NSA 法(中层平面, 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}					偏差 ΔA_S				
					dB					dB				
					中	前	后	右	左	中	前	后	右	左
30														
.....														
1000														

表 B.2.5 归一化场地衰减-NSA 法(顶层平面, 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}					偏差 ΔA_S				
					dB					dB				
					中	前	后	右	左	中	前	后	右	左
30														
.....														
1000														

表 B.2.6 归一化场地衰减-NSA 法(顶层平面, 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}					偏差 ΔA_S				
					dB					dB				
					中	前	后	右	左	中	前	后	右	左
30														
.....														
1000														

表 B.2.7 归一化场地衰减-RSM 法(底层平面, 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}					归一化场地衰减偏差				
				dB					dB				
				中	前	后	右	左	中	前	后	右	左
30													
.....													
1000													

表 B. 2. 8 归一化场地衰减-RSM 法(底层平面, 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}					归一化场地衰减偏差				
				dB					dB				
				中	前	后	右	左	中	前	后	右	左
30													
.....													
1000													

表 B. 2. 9 归一化场地衰减-RSM 法(中层平面, 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}					归一化场地衰减偏差				
				dB					dB				
				中	前	后	右	左	中	前	后	右	左
30													
.....													
1000													

表 B. 2. 10 归一化场地衰减-RSM 法(中层平面, 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}					归一化场地衰减偏差				
				dB					dB				
				中	前	后	右	左	中	前	后	右	左
30													
.....													
1000													

表 B. 2. 11 归一化场地衰减-RSM 法(顶层平面, 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}					归一化场地衰减偏差				
				dB					dB				
				中	前	后	右	左	中	前	后	右	左
30													
.....													
1000													

表 B. 2. 12 归一化场地衰减-RSM 法(顶层平面, 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 接地电阻

表 B. 5 接地电阻

接地电阻
Ω

B. 6 绝缘电阻

表 B. 6 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. 7 屏蔽效能

表 B. 7 屏蔽效能

频率 MHz	参考值 dBm	各位置点校准值					各位置点屏蔽效能值				
		dBm					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 ；
- i) 前置放大器增益不稳引入的不确定度分量 u_9 ；

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	2.48	2.1	1.71	2.18	1.78	2.33	2.04	2.62	1.86	2.28
\bar{x} / dB	2.14									

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

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，其反射系数分别为 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

天线定位的不确定性, 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. 3. 9 前置放大器增益不稳引入的不确定度分量 u_9

前置放大器增益不稳引入的不确定度分量 $u_9=0.12 \text{ dB}$

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)
u1	测量重复性	A 类	正态	/	0.2
u2	直连读数 VDirect	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.125
u3	测量读数 Vsite	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.2
u4	端口失配	B 类	反正弦	$\sqrt{2}$	0.233
u5	天线对的衰减 SA	B 类	正态	2	0.5
u6	发射天线电缆二次辐射或者反射	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.173
u7	接收天线电缆二次辐射或者反射	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.173
u8	天线位置对不准	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.173
u9	前置放大器增益不稳	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.12

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:

$$u_c = \sqrt{(u_1)^2 + (u_2)^2 + (u_3)^2 + (u_4)^2 + (u_5)^2 + (u_6)^2 + (u_7)^2 + (u_8)^2 + (u_9)^2} = 0.74 \text{ dB}$$

B

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

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

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 $u_{1(M_{\max})}$;

2.测量最小信号电平时引入的不确定度 $u_{2(M_{\min})}$;

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 $u_{1(M_{\max})}$

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)预放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	4.22	4.11	3.97	3.76	4.34	3.79	4.62	3.92	4.36	4.51
\bar{x} / dB	4.16									

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

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, 其反射系数分别为 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). 接收天线与预放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; 预放输入端的驻波比为 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). 预放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; 预放输出端的驻波比为 1.5, 其反射系数分别为 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

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

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 预放增益不稳引入的标准不确定分量 u_5

由相关文件得到预放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:

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

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	4.41	4.22	3.91	3.78	3.56	3.44	3.25	3.56	3.78	3.69
\bar{x} / dB	3.76									

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

C.3.3.1.2 场强探头的稳定性引入的误差标准不确定分量 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误差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 接地电阻测量结果不确定度的评定

C.4.1 测量模型

$$Z = z \quad (\text{C.4})$$

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.4.2 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.4.3 标准不确定度评定

C.4.3.1 由测量重复性引入的不确定度分量 u_1

对全电波暗室的接地电阻进行重复性测量 10 次, 测量结果见表 C.7。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.7 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.4.3.2 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 $\pm(1\%rdg+3dgt)$,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,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.4.3.3 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 $a=0.005\Omega$,为均匀分布,包含因子 $k = \sqrt{3}$,则标准不确定度分量为:

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

C.4.3.4 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.4.4 合成标准不确定度

接地电阻的测量不确定度汇总于表C.8中。

表 C.8 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.4.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

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

C.5 绝缘电阻测量结果不确定度的评定

C.5.1 测量模型

$$Z = z \quad (C.5)$$

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.5.2 不确定度来源

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

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.9。用贝塞尔公式计算得到单次测量值的实验标准偏差为 $0.58M\Omega$ ，即 $u_1=0.58M\Omega$ 。

表 C.9 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/ $M\Omega$	72.1	72.4	71.3	72.3	71.5	72.5	72.6	71.9	73.1	71.4
$\bar{x}/M\Omega$	72.1									

C.5.3.2 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 $\pm(1\%rdg+3dgt)$ ，在 500V 档位时的最小分辨率为 $0.1M\Omega$ 。取本次测量的平均值 $72.1M\Omega$ 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：

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

C.5.3.3 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.5.4 合成标准不确定度

绝缘电阻的测量不确定度汇总于表C.10中。

表 C.10 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.5.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

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