

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)0059―2021

长线天线法暗室等效场强校准规范

Calibration Specification for Equivalent Field Strength of ALSE

Based on Modelled Long Wire Antenna

（报批稿）

2021-××-××发布 2021-××-××实施

**中华人民共和国工业和信息化部** 发 布

长线天线法暗室等效场强

校准规范

Calibration Specification for Equivalent Field Strength of ALSE Based on Modelled Long Wire Antenna

**JJF(电子)0059**―**2021**

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：广州赛宝计量中心检测服务有限公司

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：

陈 彦（工业和信息化部电子第五研究所）

王洪喜（工业和信息化部电子第五研究所）

谭艳清（工业和信息化部电子第五研究所）

参加起草人：

张 浩（广州赛宝计量中心检测服务有限公司）

付贵瑜（广州赛宝计量中心检测服务有限公司）

陈 兴（广州赛宝计量中心检测服务有限公司）

目 录

[引 言 II](#_Toc66434881)

[1 范围 1](#_Toc66434882)

[2 引用文件 1](#_Toc66434883)

[3 术语和计量单位 1](#_Toc66434884)

[3.1 等效场强 1](#_Toc66434885)

[3.2 装有吸波材料的屏蔽室 1](#_Toc66434886)

[3.3 确认用参考接地平面 1](#_Toc66434887)

[4 概述 2](#_Toc66434888)

[5 计量特性 2](#_Toc66434889)

[等效场强 2](#_Toc66434890)

[6 校准条件 2](#_Toc66434891)

[6.1 环境条件 2](#_Toc66434892)

[6.2 测量标准及其它设备 2](#_Toc66434893)

[7 校准项目和校准方法 3](#_Toc66434894)

[7.1 外观及工作正常性检查 3](#_Toc66434895)

[7.2 等效场强的校准 4](#_Toc66434896)

[8 校准结果表达 8](#_Toc66434897)

[9 复校时间间隔 9](#_Toc66434898)

[附录A 原始记录格式 10](#_Toc66434899)

[附录B 校准证书内页格式 11](#_Toc66434900)

[附录C 测量不确定度评定示例 12](#_Toc66434901)

[附录D 用于ALSE校准的参考数据 22](#_Toc66434902)

[附录E 长线天线的结构尺寸 28](#_Toc66434903)

# 引 言

本规范依据JJF 1071―2010《国家计量校准规范编写规则》和JJF 1059.1―2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范参考GB/T 18655―2018《车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车载接收机的限值和测量方法》及CISPR 25:2016《车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车载接收机的限值和测量方法》中相关条款进行编写。

本规范为首次发布。

长线天线法暗室等效场强校准规范

# 1 范围

本规范适用于频率范围0.15MHz～1000MHz、符合GB/T 18655―2018和CISPR 25:2016标准的汽车电子零部件辐射发射测试暗室(ALSE)的校准。

# 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 18655―2018、CISPR 25:2016 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车载接收机的限值和测量方法(Vehicles、boats and internal combustion engines — Radio disturbance characteristics —Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers)。

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 等效场强 equivalent field strength

等效场强是指1Vrms信号通过10dB衰减器加到发射天线输入端时接收天线接收到的场强，单位：[ dB ( μV )/m ]。

[GB/T 18655―2018，J.3.3.2注]

*E*eq=120 +*S*21+*k*AF  （1）

式中：

*E*eq——等效场强，单位为[ dB ( μV )/m ]；

*S*21——实际测量的散射参数，单位为dB；

*k*AF——接收天线的天线系数,单位为dB/m。

## 3.2 装有吸波材料的屏蔽室(ALSE**)** absorber lined shielded enclosure

在汽车电子零部件辐射发射测量时为减小反射信号的影响,在四面墙壁和天花板装上吸波材料的屏蔽室,其尺寸和吸波材料的吸波性能应满足辐射发射测量的要求。

[GB/T 18655―2018，4.3]。

## 3.3 确认用参考接地平面validation reference ground plane

一个抬高的参考接地平面，用于建模得到参考数据,标准尺寸为2.5m×1.0m。

[GB/T 18655―2018，3.14]。

注:与校准时实验室实际使用的参考接地平面在尺寸和接地上允许有差异。

# 4 概述

汽车电子零部件辐射发射测试一般在装有吸波材料的屏蔽室(ALSE)中进行, 以减小反射波对测试结果的影响。ALSE也叫汽车电子暗室，它与传统EMC半电波暗室在建造材料和结构上是一样的,外层是屏蔽体，内层铺吸波材料，内部布置需要满足汽车电子零部件辐射发射测试的特殊要求(包括物理布局、参考接地平面的尺寸、参考接地平面的接地、吸波材料等)，因此计量特性也区别于传统EMC暗室。汽车电子零部件辐射发射测试的距离为1m,长线天线法也基于1m测量距离，校准布置与测试时基本相同,不同之处是用长线天线代替了被测设备。近似相同的测量条件更能合理评估ALSE对实际测试时的影响。长线天线法的校准结果具有良好的可靠性和重复性,判据合理,便于实施和操作。

# 5 计量特性

## 5.1 等效场强

频率范围：0.15MHz～1000MHz；

校准距离（天线参考点之间）：1000mm±10mm；

等效场强：被校准场地中测量得到的等效电场强度数据与参考数据进行比较，在0.15MHz～1000MHz整个频段范围内误差值满足±6dB要求的频率点占总频率点数的百分比≥90%，则符合要求。附录D给出了校准频率点和采用建模技术得到的参考数据。

# 6 校准条件

## 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(23±5)℃。

6.1.2 环境相对湿度：≤80%。

6.1.3 供电电源：电压(220±11)V，频率(50±1)Hz。

6.1.4 其他：周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

## 6.2 测量标准及其它设备

6.2.1 网络分析仪

频率范围：150kHz~1000MHz；

输出电平：-20dBm～10dBm；

动态范围：≥85dB。

6.2.2 单极天线

频率范围：150kHz~30MHz；

天线系数校准的测量不确定度：≤1.6 dB（*k*=2）。

6.2.3 双锥天线

频率范围：30MHz ~200MHz；

天线系数校准（1m法）的测量不确定度：≤1.0 dB（*k*=2）。

6.2.4 对数周期天线

频率范围：200MHz ~1000MHz；

天线系数校准（1m法）的测量不确定度：≤1.0 dB（*k*=2）。

6.2.5 同轴衰减器

频率范围：150kHz~1000MHz；

衰减值：10dB；

最大允许误差：±0.5dB；

电压驻波比：≤1.2。

6.2.6 50Ω负载

频率范围：150kHz~1000MHz；

电阻值：50Ω，最大允许误差：±7.5Ω；

电压驻波比：≤1.2。

6.2.7 长线天线

频率范围：0.15MHz~1000MHz；

长线天线的具体尺寸参数及布置要求见附录E。

# 7 校准项目和校准方法

## 7.1 外观及工作正常性检查

被校准暗室的结构应完整无损坏,天花板和墙壁的吸波材料粘贴牢固,试验台和参考接地平面搭接符合7.2中各频段的校准布置要求,各部分供电及控制系统应能正常工作。检查结果记录于附录A表A.1中。

## 7.2 等效场强的校准

7.2.1 0.15MHz~30MHz频段等效场强的校准

7.2.1.1校准原理框图（在0.15MHz~30MHz频段采用长线天线作为发射天线，单极天线作为接收天线，详见图1）：

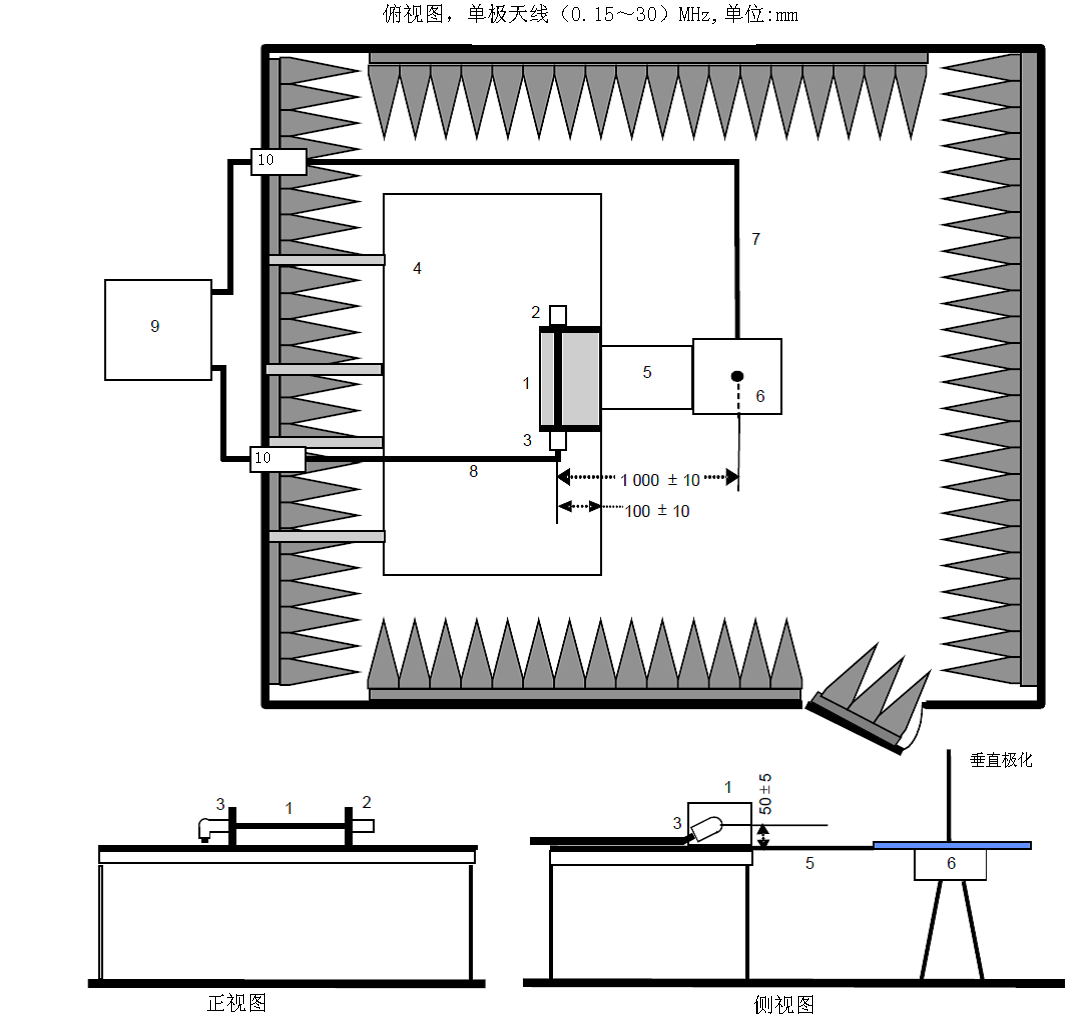


图1 校准原理框图（0.15MHz~30MHz）

说明：

1——长线天线（发射天线）； 6——单极天线；

2——50Ω终端； 7——接收天线与网络分析仪之间的电缆；

3——10dB衰减器； 8——发射天线与网络分析仪之间的电缆；

4——参考接地平面； 9——网络分析仪；

5——接地连接； 10——墙壁通过式连接器。

7.2.1.2校准布置要求

a)试验台上抬高的参考接地平面距离地面金属平板高度为900mm±100mm，尺寸不小于1000mm×2000mm,一般为1500mm×2500mm,采用至少0.5mm厚的铜板或镀锌钢板。抬高的参考接地平面与地面金属平板间的搭接直流电阻不超过2.5mΩ，搭接使用最大长宽比为7:1的多条接地铜带,铜带间距不大于300mm。长线天线固定在测试台前边缘的中心位置，具体要求见附录E。

b)具体的校准布置及距离要求详见图2：

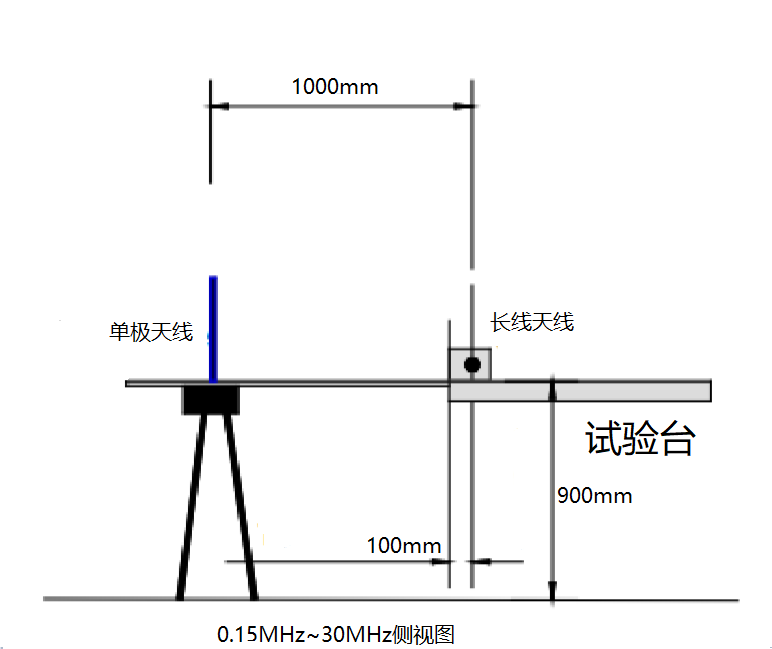
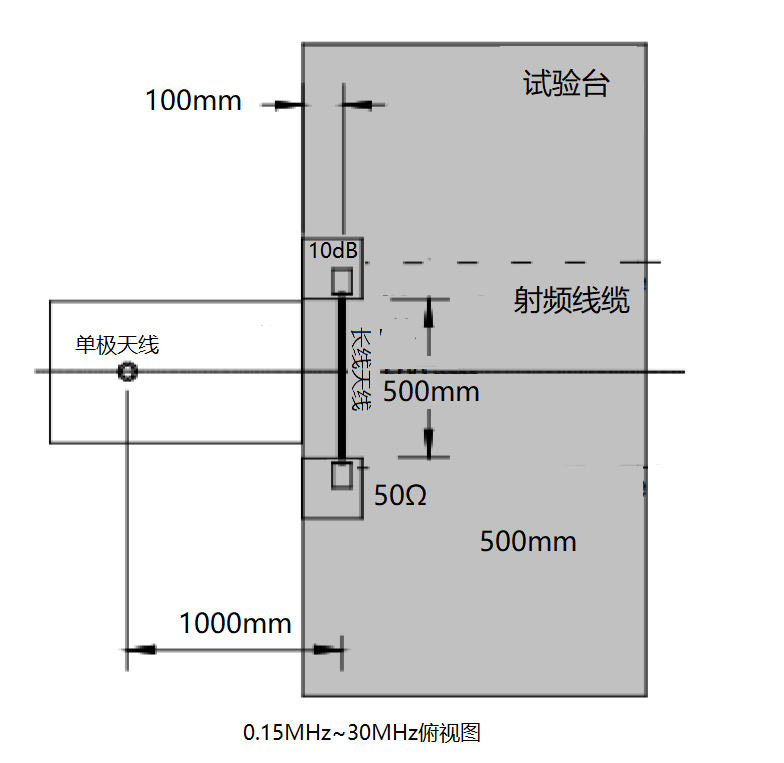
 

图2 校准布置图（0.15MHz~30MHz）

1m 校准距离天线参考点的定义如下：长线天线的黄铜杆至单极天线的垂直单极振子。单极天线的地网相对于抬高的参考接地平面的高度偏差小于(+10~-20)mm,地网全宽度与抬高的参考接地平面连接。在0.15MHz~30MHz频段只做垂直极化的校准。

天线的任何部分距离地面不小于250mm,距离墙壁、天花板和吸波材料表面不小于1m。

7.2.1.3 校准步骤

a)使用网络分析仪进行归一化测量，长线天线的馈入电缆末端（不包括10dB衰减器）和接收天线的电缆末端直接相连。网络分析仪的测量（Meas）功能设置为传输模式*S*21，中频带宽100Hz，起始频率0.15 MHz，终止频率30MHz，为了获得较好的动态范围应适当调高网络分析仪的输出电平，至少≥5dBm。按照表1规定的频率范围和步进记录网络分析仪的读数*V*dir。

b) 参照图1所示，将网络分析仪输出端电缆连接到图1中的3（10dB衰减器），长线天线的另一端接50Ω负载；网络分析仪的接收端电缆连接到接收天线图1中的6（单极天线）；按照表1规定的频率范围和步进记录网络分析仪的读数*V*site。

c) 求出散射参数 *S*21=*V*site-*V*dir ，再按式（1）*E*eq=120 +*S*21+*k*AF算出等效场强。

7.2.1.4 校准数据处理：校准得到的等效场强值与建模得到的参考场强值的差值在±6dB内的频率点数占总点数的百分比≥90%时，判定为合格。

7.2.1.5 校准点的选取：和附录D中建模得到的参考数据对应，校准频率点参照表1。校准的频率点数为481个，其中150kHz～29.95MHz（步长：200kHz）为150个频点；30MHz～199MHz（步长：1MHz）为170个频点；200 MHz～1000MHz（步长：5MHz）为161个频点。

表1 不同频段校准点的选择

|  |  |
| --- | --- |
| 频率 | 步进长度 |
| 0.15MHz~29.95MHz | 0.2MHz |
| 30MHz~199MHz | 1MHz |
| 200MHz~1000MHz | 5MHz |

7.2.2 30MHz~200MHz频段等效场强的校准

7.2.2.1校准原理框图参照图1，区别在于用双锥天线代替单极天线作为接收天线，且校准分别在垂直极化和水平极化状态下进行。

7.2.2.2 校准布置要求

基本的校准布置要求参照7.2.1.2中a)，具体的校准布置及距离要求详见图3：

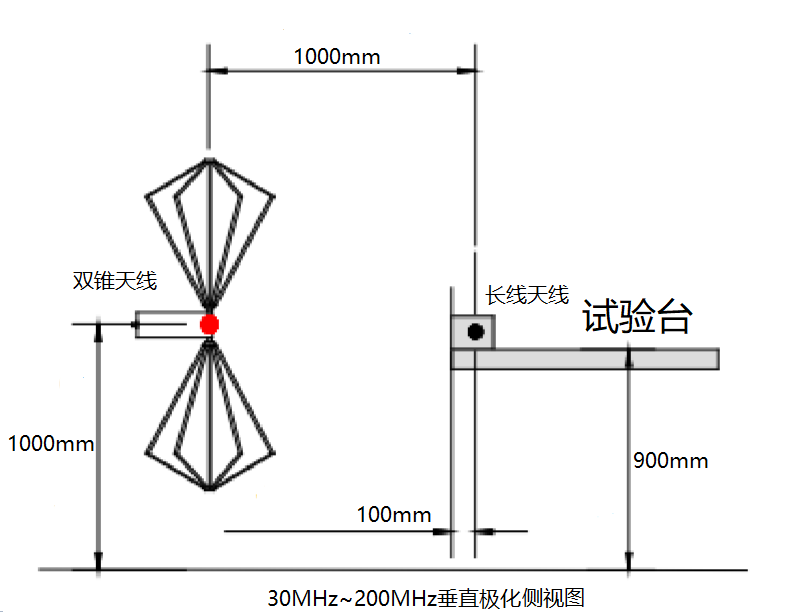
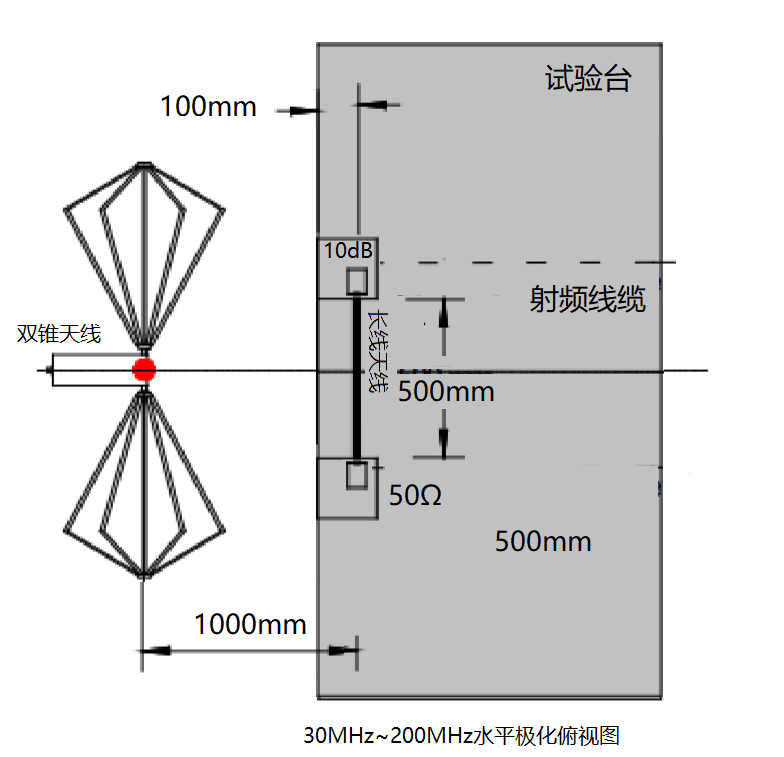


图3 校准布置图（30MHz~200MHz）

1m 校准距离天线参考点的定义如下：长线天线的黄铜杆至双锥天线的相位中心（巴伦的前端面）。双锥天线的相位中心位于参考接地平面以上100mm±10mm处（1m高度），轴线与试验台垂直并正对长线天线的几何中心。天线的任何部分距离地面不小于250mm,距离墙壁、天花板和吸波材料表面不小于1m。

7.2.2.3 校准步骤、数据处理和频率点的选取参照7.2.1.3~7.2.1.5。网络分析仪设定对应的频率范围。校准应在水平极化和垂直极化下进行，对应的结果分别为*E*eq,hor和*E*eq,ver。对于每一个频率点，最大等效场强*E*eq,max取*E*eq,hor和*E*eq,ver中的最大值。*E*eq,max作为校准结果的等效场强值与建模得到的参考场强值进行比较，差值在±6dB内的频率点数占总点数的百分比≥90%时，判定为合格。

7.2.3 200MHz~1000MHz频段等效场强的校准

7.2.3.1校准原理框图参照图1，区别在于用对数周期天线代替单极天线作为接收天线，校准分别在垂直极化和水平极化状态下进行。

7.2.3.2 校准布置要求

基本的校准布置要求参照7.2.1.2中a)，，具体的校准布置及距离要求详见图4：

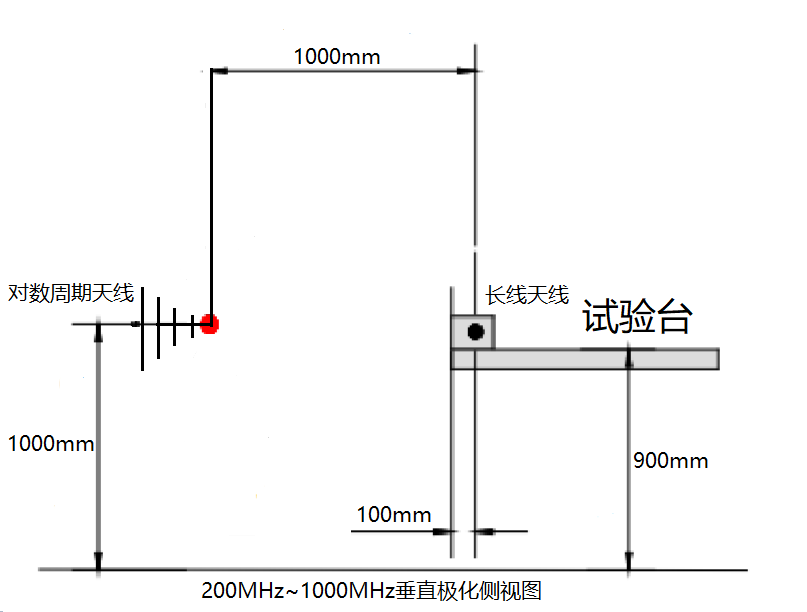
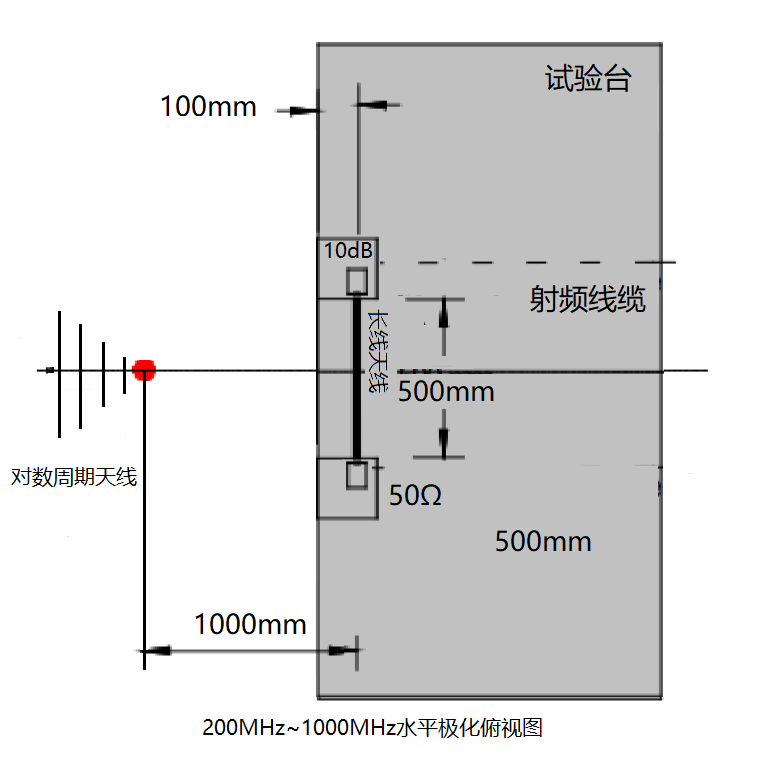


图4 校准布置图（20MHz~1000MHz）

1m 校准距离天线参考点的定义如下：长线天线的黄铜杆至对数周期天线的前末端。对数周期天线的相位中心位于参考接地平面以上100mm±10mm处（1m高度），轴线与试验台垂直并正对长线天线的几何中心。天线的任何部分距离地面不小于250mm,距离墙壁、天花板和吸波材料表面不小于1m。

7.2.3.3 校准步骤、数据处理和频率点的选取参照7.2.1.3~7.2.1.5。网络分析仪设定对应的频率范围。校准应在水平极化和垂直极化下进行，对应的结果分别为*E*eq,hor和*E*eq,ver。对于每一个频率点，最大等效场强*E*eq,max取*E*eq,hor和*E*eq,ver中的最大值。*E*eq,max作为校准结果的等效场强值与建模得到的参考场强值进行比较，差值在±6dB内的频率点数占总点数的百分比≥90%时，判定为合格。

7.2.4 校准时的注意事项

7.2.4.1由于校准的频率点多数据量大，建议采用数据采集软件自动校准。配套使用附件还应包括：笔记本、通讯线、天线架、地网搭接平板、射频同轴电缆等。

7.2.4.2发射天线和网络分析仪输出端之间的连接电缆可能会影响ALSE的校准结果，电缆上加装铁氧体可以减小耦合效应影响。推荐ALSE校准时，在发射天线和接收天线电缆的整个长度上每隔20cm加装一个铁氧体，其在25MHz和100 MHz时的阻抗值应分别不小于50Ω和110 Ω。同时电缆应远离接收天线朝着参考接地平面的后部走线，并直接放置在参考接地平面上。

7.2.4.3为保证校准结果的可靠性，整套校准系统的本底噪声应比实际测得的信号电平至少低10dB，可以通过断开输入信号进行确认。

7.2.4.4对ALSE进行校准的目的是把标准化的参考布置建模得到的参考数据与不同实验室中校准得到的数据进行比较，以确保由于ALSE布置的不同所引入的偏差在规定的范围内。下面的布置参数对ALSE的校准结果有显著的影响：

——参考接地平面的尺寸；

——参考接地平面的搭接（搭接带的数量、位置、尺寸、搭接电阻、水平搭接、垂直搭接）；

——吸波材料的性能。

如果ALSE的校准结果不符合要求，对上述一个或多个影响因数的修改有助于改进ALSE的性能。

7.2.4.5由于长线天线只有机械尺寸参数要求，建议校准前对长线天线的信号输入端（不连接衰减器）的驻波比进行验证，测量结果与上一次的测量数据比较应不发生明显变化，以避免由于长线天线机械变形或端口接触不良引入的系统误差。

# 8 校准结果表达

校准后，出具校准证书。校准证书应至少包含以下信息：

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）证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；

e）客户的名称和地址；

f）被校准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）校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；

o）校准结果仅对被校对象有效的声明；

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

建议复校时间间隔不超过1年。由于复校时间间隔的长短是由暗室的使用情况、使用者、本身质量等诸多因素决定的。因此，申请校准单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

# 附录A

原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

表A.1 外观及工作正常性检查

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 检查结果 |
| 外观检查 |  |
| 工作正常性检查 |  |

A.2 等效场强（0.15MHz ~29.95MHz）

表A.2 等效场强（0.15MHz ~29.95MHz）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 参考值 | 天线系数*k*AF | *V*dir | *V*site | 不确定度(*k*=2) |
| MHz | dB ( μ V )/m | dB/m | dB | dB | dB |
| 0.15 |  |  |  |  |  |
| … |  |  |  |  |  |
| 29.95 |  |  |  |  |  |

A.3 等效场强（30MHz ~1000MHz）

表A.3 等效场强（30MHz ~1000MHz）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 参考值 | 天线系数*k*AF | *V*dir | *E*eq,hor | *E*eq,ver | 不确定度(*k*=2) |
| MHz | dB ( μ V )/m | dB/m | dB | dB | dB | dB |
| 30 |  |  |  |  |  |  |
| … |  |  |  |  |  |  |
| 1000 |  |  |  |  |  |  |

# 附录B

校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

表B.1 外观及工作正常性检查

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 检查结果 |
| 外观检查 |  |
| 工作正常性检查 |  |

B.2 **等效场强**

表B.2 等效场强

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 参考值 | 实测值 | 误差 | 不确定度(*k*=2) |
| MHz | dB ( μV )/m | dB ( μV )/m | dB | dB |
| 0.15 |  |  |  |  |
| … |  |  |  |  |
| 1000 |  |  |  |  |

# 附录C

测量不确定度评定示例

C.1 等效场强测量结果不确定度评定

C.1.1 测量模型

等效场强校准的测量模型为：

*E*eq=120 +*S*21+*k*AF  （C.1）

式中：

*E*eq——等效场强，单位为[ dB ( μV )/m ]；

*S*21——实际测量的散射参数，单位为dB；

*k*AF——接收天线的天线系数,单位为dB/m。

C.1.2 150kHz~30MHz频段的不确定度评定

C.1.2.1 不确定度来源

不确定度来源主要有：1.天线系数校准不准引入的不确定度分量；2. 网络分析仪发射端与发射天线间的失配引入的不确定度分量；3. 网络分析仪接收端与接收天线间的失配引入的不确定度分量；4.网络分析仪线性误差引入的不确定度分量； 5. 连接发射天线电缆二次辐射或者反射引入的不确定度分量；6. 连接接收天线电缆二次辐射或者反射引入的不确定度分量；7. 由于电缆弯曲或温度变化导致电缆衰减变化引入的不确定度分量；8.天线位置对不准引入的不确定度分量；9. 抬高接地平面影响引入的不确定度分量；10. 测量重复性引入的不确定度分量。

C.1.2.2 各分量标准不确定度评定

C.1.2.2.1天线系数校准不准引入的不确定度分量*u*1

由单极天线的校准报告得出校准不确定度为1.4dB，按正态分布，取*k*=2，则不确定度分量为

*u*1=1.4dB/2=0.7dB

C.1.2.2.2网络分析仪发射端与发射天线间的失配引入的不确定度分量*u*2

网络分析仪发射端的回波损耗为17dB，10dB衰减器的最大驻波比为1.2，经计算得到失配误差为0.02dB，按反正弦分布，*k*=，则由此引入的不确定度分量最大为 *u*2=0.02dB/=0.014dB

C.1.2.2.3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度分量*u*3

网络分析仪接收端的回波损耗为20dB，单极天线的最大驻波比为2.0，经计算得到失配误差为0.29dB，按反正弦分布，*k*=，由此引入的不确定度分量为

*u*3=0.29dB/=0.21dB

C.1.2.2.4网络分析仪线性误差引入的不确定度分量*u*4

网络分析仪线性误差为0.4dB，按均匀分布，*k*=，由线性误差引入的不确定度分量为

*u*4=0.4dB/=0.23dB

C.1.2.2.5连接发射天线电缆二次辐射或者反射引入的不确定度分量*u*5

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0.5dB，按均匀分布，*k*=



*u*5=0.29dB

C.1.2.2.6连接接收天线电缆二次辐射或者反射引入的不确定度分量*u*6

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0.5dB，按均匀分布，*k*=



*u*6=0.29 dB

C.1.2.2.7由于电缆弯曲或温度变化导致电缆衰减变化引入的不确定度分量*u*7

根据相关文件得到由于电缆弯曲或温度变化导致电缆衰减误差约为0.22dB，按均匀分布，*k*=



*u*7=0.13 dB

C.1.2.2.8天线位置对不准引入的不确定度分量*u*8

天线定位的不确定性，包括天线的高度，摆放位置，发射天线和接收之间的距离和对准，其引入的误差约为0.3dB，按均匀分布，*k*=



*u*8=0.17 dB

C.1.2.2.9抬高接地平面影响引入的不确定度分量

抬高接地平面包括参考接地平面、单极天线的地网（平衡板）及它们之间延伸的搭接平面。影响因数主要有尺寸、搭接效果、材料、接地铜带等。根据相关文件得到其引入误差为1.0dB，按均匀分布，*k*=



*u*9=0.58 dB

C.1.2.2.10 测量重复性引入的标准不确定度分量*u*10

在150kHz~30MHz频段下对场地进行十次测量，29.95MHz频率点结果如下表，

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量结果/  dB ( μV )/m | 58.9 | 58.3 | 59.6 | 59.9 | 60.3 |
| 测量序号 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量结果/  dB ( μV )/m | 59.3 | 60.2 | 58.9 | 58.6 | 59.6 |
| 平均值 | 59.36 dB( μV)/m | | 标准差s | 0.68dB | |

测量重复性引入的标准不确定度分量*u*10=s==0.68dB。

C.1.2.3 合成标准不确定度

C.1.2.3.1 主要不确定度汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源(*u*i) | *a*i(dB) | *k*i | *u*i(dB) |
| 天线系数校准不准，*u*1 | 1.4 | 2 | 0.7 |
| 网络分析仪发射端与发射天线间的失配，*u*2 | 0.02 |  | 0.014 |
| 网络分析仪接收端与接收天线间的失配，*u*3 | 0.29 |  | 0.21 |
| 网络分析仪线性误差，*u*4 | 0.4 |  | 0.23 |
| 连接发射天线电缆二次辐射或者反射，*u*5 | 0.5 |  | 0.29 |
| 连接接收天线电缆二次辐射或者反射，*u*6 | 0.5 |  | 0.29 |
| 电缆弯曲或温度变化导致电缆衰减变化，*u*7 | 0.22 |  | 0.13 |
| 天线位置对不准，*u*8 | 0.3 |  | 0.17 |
| 抬高接地平面影响，*u*9 | 1.0 |  | 0.58 |
| 测量重复性，*u*10 | 0.68 | 1 | 0.68 |

C.1.2.3.2 合成不确定度计算

以上各项不确定度分量相互独立不相关，合成标准不确定度为：

*u*c==1.348dB

C.1.2.4 扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则扩展不确定度为：

*U*=*k*=2.7dB，*k*=2。

C.1.3 30MHz ~200MHz频段的不确定度评定

C.1.3.1 不确定度来源

不确定度来源主要有：1. 天线系数校准不准引入的不确定度分量；2. 网络分析仪发射端与发射天线间的失配引入的不确定度分量；3. 网络分析仪接收端与接收天线间的失配引入的不确定度分量；4.网络分析仪线性误差引入的不确定度分量； 5. 连接发射天线电缆二次辐射或者反射引入的不确定度分量；6. 连接接收天线电缆二次辐射或者反射引入的不确定度分量；7. 由于电缆弯曲或温度变化导致电缆衰减变化引入的不确定度分量；8. 天线位置对不准引入的不确定度分量；9. 天线系数校准和实际使用高度不同引入的不确定度分量；10. 测量重复性引入的不确定度分量；11. 天线相位中心变化引入的不确定度分量；12. 天线方向性影响引入的不确定度分量。

C.1.3.2 各分量标准不确定度评定

C.1.3.2.1天线系数校准不准引入的不确定度分量*u*1

由双锥天线的校准报告得出校准不确定度为0.8dB，按正态分布，取*k*=2，则不确定度分量为

*u*1=0.8dB/2=0.4dB

C.1.3.2.2网络分析仪发射端与发射天线间的失配引入的不确定度分量*u*2

网络分析仪发射端的回波损耗为17dB，10dB衰减器的最大驻波比为1.2，经计算得到失配误差为0.02dB，按反正弦分布，*k*=，则由此引入的不确定度分量最大为

*u*2=0.02dB/=0.014dB

C.1.3.2.3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度分量*u*3

网络分析仪接收端的回波损耗为20dB，双锥天线的最大驻波比为8.0，经计算得到失配误差为0.68dB，按反正弦分布，*k*=，由此引入的不确定度分量为

*u*3=0.68dB /=0.48dB

C.1.3.2.4网络分析仪线性误差引入的不确定度分量*u*4

网络分析仪线性误差为0.4dB，按均匀分布，*k*=，由线性误差引入的不确定度分量为

*u*4=0.4dB/=0.23dB

C.1.3.2.5连接发射天线电缆二次辐射或者反射引入的不确定度分量*u*5

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0.5dB，按均匀分布，*k*=



*u*5=0.29dB

C.1.3.2.6连接接收天线电缆二次辐射或者反射引入的不确定度分量*u*6

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0.5dB，按均匀分布，*k*=



*u*6=0.29 dB

C.1.3.2.7由于电缆弯曲或温度变化导致电缆衰减变化引入的不确定度分量*u*7

根据相关文件得到由于电缆弯曲或温度变化导致电缆衰减误差约为0.18dB，按均匀分布，*k*=



*u*7=0.13 dB

C.1.3.2.8天线位置对不准引入的不确定度分量*u*8

天线定位的不确定性，包括天线的高度，摆放位置，发射天线和接收之间的距离和对准，其引入的误差约为0.3dB，按均匀分布，*k*=



*u*8=0.17 dB

C.1.3.2.9天线系数校准和实际使用高度不同引入的不确定度分量

天线系数校准和实际使用高度不同，其引入的误差约为0.1dB，按均匀分布，*k*=



*u*9=0.06 dB

C.1.3.2.10 测量重复性引入的标准不确定度分量*u*10

在30MHz ~200MHz频段下对场地进行十次测量，100MHz频率点结果如下表，

单位[ dB ( μ V )/m ]：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量结果/  dB ( μV )/m | 83.6 | 83.8 | 84.0 | 83.9 | 84.3 |
| 测量序号 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量结果/  dB ( μV )/m | 84.2 | 83.6 | 84.6 | 84.4 | 84.8 |
| 平均值 | 84.12 dB(μV)/m | | 标准差s | 0.41dB | |

测量重复性引入的标准不确定度分量*u*10=s==0.41dB。

C.1.3.2.11天线相位中心变化引入的不确定度分量

根据相关资料得到双锥天线相位中心变化引入的误差为0.5dB，按均匀分布，*k*=



*u*11=0.29 dB

C.1.3.2.12天线方向性影响引入的不确定度分量

根据相关资料得到双锥天线天线方向性影响引入的误差为0.1dB，按均匀分布，*k*=



*u* 12=0.06 dB

C.1.3.3 合成标准不确定度

C.1.3.3.1 主要不确定度汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源(*u*i) | *a*i(dB) | *k*i | *u*i(dB) |
| 天线系数校准不准，*u*1 | 0.8 | 2 | 0.4 |
| 网络分析仪发射端与发射天线间的失配，*u*2 | 0.02 |  | 0.014 |
| 网络分析仪接收端与接收天线间的失配，*u*3 | 0.68 |  | 0.48 |
| 网络分析仪线性误差，*u*4 | 0.4 |  | 0.23 |
| 连接发射天线电缆二次辐射或者反射，*u*5 | 0.5 |  | 0.29 |
| 连接接收天线电缆二次辐射或者反射，*u*6 | 0.5 |  | 0.29 |
| 电缆弯曲或温度变化导致电缆衰减变化，*u*7 | 0.18 |  | 0.13 |
| 天线位置对不准，*u*8 | 0.3 |  | 0.17 |
| 天线系数校准和实际使用高度不同，*u*9 | 0.1 |  | 0.06 |
| 测量重复性，*u*10 | 0.41 | 1 | 0.41 |
| 天线相位中心变化，*u*11 | 0.5 |  | 0.29 |
| 天线方向性影响，*u*12 | 0.1 |  | 0.06 |

C.1.3.3.2 合成不确定度计算

以上各项不确定度分量相互独立不相关，合成标准不确定度为：

*u*c==0.957dB

C.1.3.4 扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则扩展不确定度为：

*U*=*k*=2.0dB，*k*=2。

C.1.4 200MHz ~1000MHz频段的不确定度评定

C.1.4.1 不确定度来源

不确定度来源主要有：1. 天线系数校准不准引入的不确定度分量；2. 网络分析仪发射端与发射天线间的失配引入的不确定度分量；3. 网络分析仪接收端与接收天线间的失配引入的不确定度分量；4.网络分析仪线性误差引入的不确定度分量； 5. 连接发射天线电缆二次辐射或者反射引入的不确定度分量；6. 连接接收天线电缆二次辐射或者反射引入的不确定度分量；7. 由于电缆弯曲或温度变化导致电缆衰减变化引入的不确定度分量；8. 天线位置对不准引入的不确定度分量；9. 天线系数校准和实际使用高度不同引入的不确定度分量；10. 测量重复性引入的不确定度分量；11. 天线相位中心变化引入的不确定度分量；12. 天线方向性影响引入的不确定度分量。

C.1.4.2 各分量标准不确定度评定

C.1.4.2.1天线系数校准不准引入的不确定度分量*u*1

由对数周期天线的校准报告得出校准不确定度为0.8dB，按正态分布，取*k*=2，则不确定度分量 *u*1=0.8dB/2=0.4dB

C.1.4.2.2网络分析仪发射端与发射天线间的失配引入的不确定度分量*u*2

网络分析仪发射端的回波损耗为17dB，10dB衰减器的最大驻波比为1.2，经计算得到失配误差为0.02dB，按反正弦分布，*k*=，则由此引入的不确定度分量最大为*u*2=0.02dB/=0.014dB

C.1.4.2.3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度分量*u*3

网络分析仪接收端的回波损耗为20dB，对数周期天线的最大驻波比为2.0，经计算得到失配误差为0.29dB，按反正弦分布，*k*=，由此引入的不确定度分量为*u*3=0.29dB /=0.21dB

C.1.4.2.4网络分析仪线性误差引入的不确定度分量*u*4

网络分析仪线性误差为0.4dB，按均匀分布，*k*=，由线性误差引入的不确定度分量 *u*4=0.4dB /=0.23dB

C.1.4.2.5连接发射天线电缆二次辐射或者反射引入的不确定度分量*u*5

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0.5dB，按均匀分布，*k*=



*u*5=0.29dB

C.1.4.2.6连接接收天线电缆二次辐射或者反射引入的不确定度分量*u*6

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0.5dB，按均匀分布，*k*=



*u*6=0.29 dB

C.1.4.2.7由于电缆弯曲或温度变化导致电缆衰减变化引入的不确定度分量*u*7

根据相关文件得到由于电缆弯曲或温度变化导致电缆衰减误差约为0.18dB，按均匀分布，*k*=



*u*7=0.13 dB

C.1.4.2.8天线位置对不准引入的不确定度分量*u*8

天线定位的不确定性，包括天线的高度，摆放位置，发射天线和接收之间的距离和对准，其引入的误差约为0.3dB，按均匀分布，*k*=



*u*8=0.17 dB

C.1.4.2.9天线系数校准和实际使用高度不同引入的不确定度分量

天线系数校准和实际使用高度不同，其引入的误差约为0.5dB，按均匀分布，*k*=



*u*9=0.29 dB

C.1.4.2.10 测量重复性引入的标准不确定度分量*u*10

在200MHz ~1000MHz频段下对场地进行十次测量，800MHz频率点结果如下表，

单位[ dB ( μ V )/m ]：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量结果/  dB ( μV )/m | 97.2 | 97.6 | 97.9 | 98.2 | 98.3 |
| 测量序号 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量结果/  dB ( μV )/m | 98.2 | 98.5 | 97.8 | 98.1 | 97.6 |
| 平均值 | 97.94 dB(μV)/m | | 标准差s | 0.40dB | |

测量重复性引入的标准不确定度分量*u*10=s==0.40dB。

C.1.4.2.11天线相位中心变化引入的不确定度分量

根据相关资料得到双锥天线相位中心变化引入的误差为0.5dB，按均匀分布，*k*=



*u*11=0.29 dB

C.1.4.2.12天线方向性影响引入的不确定度分量

根据相关资料得到双锥天线天线方向性影响引入的误差为0.3dB，按均匀分布，*k*=



*u* 12=0.18 dB

C.1.4.3 合成标准不确定度

C.1.4.3.1 主要不确定度汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源(*u*i) | *a*i(dB) | *k*i | *u*i(dB) |
| 天线系数校准不准，*u*1 | 0.80 | 2 | 0.40 |
| 网络分析仪发射端与发射天线间的失配，*u*2 | 0.02 |  | 0.014 |
| 网络分析仪接收端与接收天线间的失配，*u*3 | 0.29 |  | 0.21 |
| 网络分析仪线性误差，*u*4 | 0.40 |  | 0.23 |
| 连接发射天线电缆二次辐射或者反射，*u*5 | 0.50 |  | 0.29 |
| 连接接收天线电缆二次辐射或者反射，*u*6 | 0.50 |  | 0.29 |
| 电缆弯曲或温度变化导致电缆衰减变化，*u*7 | 0.18 |  | 0.13 |
| 天线位置对不准，*u*8 | 0.30 |  | 0.17 |
| 天线系数校准和实际使用高度不同，*u*9 | 0.50 |  | 0.29 |
| 测量重复性，*u*10 | 0.40 | 1 | 0.40 |
| 天线相位中心变化，*u*11 | 0.50 |  | 0.29 |
| 天线方向性影响，*u*12 | 0.30 |  | 0.18 |

C.1.4.3.2 合成不确定度计算

以上各项不确定度分量相互独立不相关，合成标准不确定度为：

*u*c==0.912dB

C.1.4.4 扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则扩展不确定度为：

*U*=*k*=1.9dB，*k*=2。

C.2 等效场强测量结果扩展不确定度汇总

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 频率范围 | 扩展不确定度 | 包含因子 |
| 150kHz~30MHz | *U*=2.7dB | *k*=2 |
| 30MHz ~200MHz | *U*=2.0dB | *k*=2 |
| 200MHz ~1000MHz | *U*=1.9dB | *k*=2 |

# 附录D

用于ALSE校准的参考数据

D.1 产生参考数据使用的技术

在30MHz以下的模型中，与图1所示的布置类似，但接地平面改为非抬高的接地平面（例如，ALSE、OATS或替换试验场地的地面）。在30MHz及其以上的模型中，标准尺寸为2.5m×1m的参考接地平面被抬高，位于理想的自由场中，且具有理想的接地性能。抬高的参考接地平面和地面之间的接地连接使用单条宽度为100mm的金属带，金属带的中心位于参考接地平面后边沿长度的中点。对于30MHz以下的频段，由于单极子天线和接地平面之间的连接影响天线系数，因此单极子天线作为模型的一部分。对于30MHz及其以上频段，计算接收天线参考点处的电场强度，选取垂直极化和水平极化中的最大值。使用矩量法（MoM）计算得出参考数据，同时使用FDTD进行了仿真验证，结果和使用矩量法（MoM）的相同。

D.2 **参考数据**

表D.1给出了通过建模计算得到的标准参考数据。被校准的ALSE中测量得到的等效强度数据应与表D.1中的数据进行比较，按照5.1中的判定规则来进行结果判定。标准参考数据可用来评估其他布置与建模所使用的配置（用来计算标准参考数据）有所不同的ALSE，实验室不必再进行建模和仿真。即使实验室能够对自己的ALSE进行建模，但只允许使用表D.1中的数据来确定ALSE的符合性。建模得到的参考数据已包括了10dB衰减器。

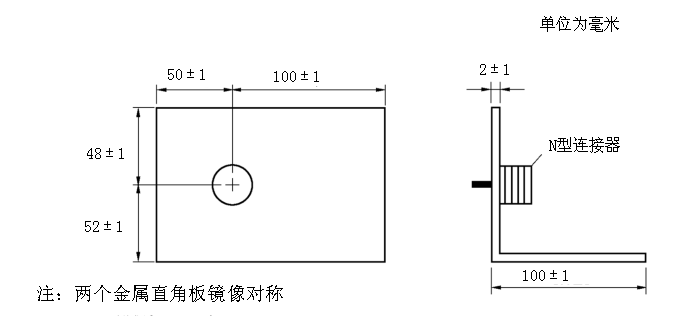
表D.1用于ALSE校准的参考数据

| 频率范围 150kHz～30MHz | | 频率范围 30MHz～200MHz | | 频率范围 200MHz～1000MHz | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 MHz | *E*eq.max.ref dB(μV/m) | 频率 MHz | *E*eq.max.ref  dB(μV/m) | 频率 MHz | *E*eq.max.ref dB(μV/m) |
| 0.15 | 61.14 | 30 | 71.24 | 200 | 87.90 |
| 0.35 | 61.14 | 31 | 71.39 | 205 | 88.58 |
| 0.55 | 61.14 | 32 | 71.51 | 210 | 89.59 |
| 0.75 | 61.14 | 33 | 71.62 | 215 | 90.61 |
| 0.95 | 61.14 | 34 | 71.71 | 220 | 91.47 |
| 1.15 | 61.14 | 35 | 71.81 | 225 | 92.24 |
| 1.35 | 61.14 | 36 | 71.92 | 230 | 93.05 |
| 1.55 | 61.14 | 37 | 72.09 | 235 | 93.96 |
| 1.75 | 61.13 | 38 | 72.36 | 240 | 94.94 |
| 1.95 | 61.13 | 39 | 72.84 | 245 | 95.90 |
| 2.15 | 61.13 | 40 | 73.61 | 250 | 96.81 |
| 2.35 | 61.13 | 41 | 74.76 | 255 | 97.66 |
| 2.55 | 61.12 | 42 | 76.28 | 260 | 98.46 |
| 2.75 | 61.12 | 43 | 78.03 | 265 | 99.22 |
| 2.95 | 61.12 | 44 | 79.76 | 270 | 99.92 |
| 3.15 | 61.11 | 45 | 81.16 | 275 | 100.53 |
| 3.35 | 61.11 | 46 | 82.04 | 280 | 101.03 |
| 3.55 | 61.11 | 47 | 82.43 | 285 | 101.40 |
| 3.75 | 61.10 | 48 | 82.48 | 290 | 101.65 |
| 3.95 | 61.10 | 49 | 82.37 | 295 | 101.76 |
| 4.15 | 61.09 | 50 | 82.20 | 300 | 101.74 |
| 4.35 | 61.09 | 51 | 82.03 | 305 | 101.59 |
| 4.55 | 61.08 | 52 | 81.87 | 310 | 101.34 |
| 4.75 | 61.08 | 53 | 81.75 | 315 | 100.99 |
| 4.95 | 61.07 | 54 | 81.65 | 320 | 100.55 |
| 5.15 | 61.07 | 55 | 81.57 | 325 | 99.62 |
| 5.35 | 61.06 | 56 | 81.52 | 330 | 99.38 |
| 5.55 | 61.05 | 57 | 81.48 | 335 | 99.17 |
| 5.75 | 61.05 | 58 | 81.47 | 340 | 98.93 |
| 5.95 | 61.04 | 59 | 81.46 | 345 | 98.61 |
| 6.15 | 61.03 | 60 | 81.47 | 350 | 98.61 |
| 6.35 | 61.02 | 61 | 81.49 | 355 | 98.14 |
| 6.55 | 61.02 | 62 | 81.52 | 360 | 97.67 |
| 6.75 | 61.01 | 63 | 81.55 | 365 | 97.48 |
| 6.95 | 61.00 | 64 | 81.59 | 370 | 97.49 |
| 7.15 | 60.99 | 65 | 81.63 | 375 | 97.58 |
| 7.35 | 60.98 | 66 | 81.68 | 380 | 97.68 |
| 7.55 | 60.98 | 67 | 81.73 | 385 | 97.73 |
| 7.75 | 60.97 | 68 | 81.79 | 390 | 97.74 |
| 7.95 | 60.96 | 69 | 81.85 | 395 | 97.74 |
| 8.15 | 60.95 | 70 | 81.91 | 400 | 97.78 |
| 8.35 | 60.94 | 71 | 81.97 | 405 | 97.86 |
| 8.55 | 60.93 | 72 | 82.03 | 410 | 97.96 |
| 8.75 | 60.92 | 73 | 82.10 | 415 | 98.07 |
| 8.95 | 60.91 | 74 | 82.17 | 420 | 98.19 |
| 9.15 | 60.90 | 75 | 82.24 | 425 | 98.33 |
| 9.35 | 60.89 | 76 | 82.31 | 430 | 98.48 |
| 9.55 | 60.88 | 77 | 82.38 | 435 | 98.64 |
| 9.75 | 60.86 | 78 | 82.45 | 440 | 98.80 |
| 9.95 | 60.85 | 79 | 82.53 | 445 | 98.95 |
| 10.15 | 60.84 | 80 | 82.61 | 450 | 99.06 |
| 10.35 | 60.83 | 81 | 82.69 | 455 | 99.11 |
| 10.55 | 60.82 | 82 | 82.77 | 460 | 99.09 |
| 10.75 | 60.81 | 83 | 82.85 | 465 | 98.99 |
| 10.95 | 60.79 | 84 | 82.94 | 470 | 98.86 |
| 11.15 | 60.78 | 85 | 83.03 | 475 | 98.72 |
| 11.35 | 60.77 | 86 | 83.12 | 480 | 98.59 |
| 11.55 | 60.76 | 87 | 82.22 | 485 | 98.49 |
| 11.75 | 60.74 | 88 | 82.32 | 490 | 98.38 |
| 11.95 | 60.73 | 89 | 83.42 | 495 | 98.25 |
| 12.15 | 60.72 | 90 | 83.53 | 500 | 98.12 |
| 12.35 | 60.70 | 91 | 83.64 | 505 | 97.97 |
| 12.55 | 60.69 | 92 | 83.75 | 510 | 97.74 |
| 12.75 | 60.67 | 93 | 83.87 | 515 | 97.54 |
| 12.95 | 60.66 | 94 | 83.99 | 520 | 97.55 |
| 13.15 | 60.65 | 95 | 84.11 | 525 | 97.43 |
| 13.35 | 60.63 | 96 | 84.23 | 530 | 97.24 |
| 13.55 | 60.62 | 97 | 84.35 | 535 | 97.15 |
| 13.75 | 60.60 | 98 | 84.47 | 540 | 97.22 |
| 13.95 | 60.59 | 99 | 84.59 | 545 | 97.36 |
| 14.15 | 60.57 | 100 | 84.71 | 550 | 97.33 |
| 14.35 | 60.56 | 101 | 84.83 | 555 | 96.96 |
| 14.55 | 60.54 | 102 | 84.94 | 560 | 96.30 |
| 14.75 | 60.52 | 103 | 85.05 | 565 | 95.59 |
| 14.95 | 60.51 | 104 | 85.15 | 570 | 94.92 |
| 15.15 | 60.49 | 105 | 85.25 | 575 | 94.26 |
| 15.35 | 60.48 | 106 | 85.35 | 580 | 93.60 |
| 15.55 | 60.46 | 107 | 85.43 | 585 | 92.94 |
| 15.75 | 60.44 | 108 | 85.52 | 590 | 92.33 |
| 15.95 | 60.43 | 109 | 85.59 | 595 | 91.80 |
| 16.15 | 60.41 | 110 | 85.67 | 600 | 91.34 |
| 16.35 | 60.39 | 111 | 85.73 | 605 | 90.95 |
| 16.55 | 60.38 | 112 | 85.79 | 610 | 91.06 |
| 16.75 | 60.36 | 113 | 85.85 | 615 | 91.81 |
| 16.95 | 60.34 | 114 | 85.90 | 620 | 92.51 |
| 17.15 | 60.33 | 115 | 85.95 | 625 | 93.15 |
| 17.35 | 60.31 | 116 | 85.99 | 630 | 93.70 |
| 17.55 | 60.29 | 117 | 86.03 | 635 | 94.15 |
| 17.75 | 60.28 | 118 | 86.06 | 640 | 94.50 |
| 17.95 | 60.26 | 119 | 86.09 | 645 | 94.74 |
| 18.15 | 60.24 | 120 | 86.12 | 650 | 94.88 |
| 18.35 | 60.22 | 121 | 86.15 | 655 | 94.92 |
| 18.55 | 60.21 | 122 | 86.17 | 660 | 94.88 |
| 18.75 | 60.19 | 123 | 86.18 | 665 | 94.76 |
| 18.95 | 60.17 | 124 | 86.20 | 670 | 94.51 |
| 19.15 | 60.15 | 125 | 86.21 | 675 | 94.08 |
| 19.35 | 60.14 | 126 | 86.22 | 680 | 94.55 |
| 19.55 | 60.12 | 127 | 86.22 | 685 | 95.18 |
| 19.75 | 60.10 | 128 | 86.22 | 690 | 95.80 |
| 19.95 | 60.08 | 129 | 86.22 | 695 | 96.14 |
| 20.15 | 60.07 | 130 | 86.22 | 700 | 95.98 |
| 20.35 | 60.05 | 131 | 86.21 | 705 | 95.85 |
| 20.55 | 60.03 | 132 | 86.20 | 710 | 95.83 |
| 20.75 | 60.02 | 133 | 86.18 | 715 | 95.69 |
| 20.95 | 60.00 | 134 | 86.16 | 720 | 95.28 |
| 21.15 | 59.98 | 135 | 86.14 | 725 | 94.80 |
| 21.35 | 59.96 | 136 | 86.12 | 730 | 94.65 |
| 21.55 | 59.95 | 137 | 86.09 | 735 | 94.71 |
| 21.75 | 59.93 | 138 | 86.06 | 740 | 94.86 |
| 21.95 | 59.91 | 139 | 86.03 | 745 | 95.23 |
| 22.15 | 59.90 | 140 | 85.99 | 750 | 95.80 |
| 22.35 | 59.88 | 141 | 85.95 | 755 | 96.40 |
| 22.55 | 59.87 | 142 | 85.90 | 760 | 96.89 |
| 22.75 | 59.85 | 143 | 85.85 | 765 | 97.24 |
| 22.95 | 59.83 | 144 | 85.80 | 770 | 97.47 |
| 23.15 | 59.82 | 145 | 85.75 | 775 | 97.61 |
| 23.35 | 59.80 | 146 | 85.69 | 780 | 97.70 |
| 23.55 | 59.79 | 147 | 85.63 | 785 | 97.73 |
| 23.75 | 59.77 | 148 | 85.56 | 790 | 97.71 |
| 23.95 | 59.76 | 149 | 85.49 | 795 | 97.63 |
| 24.15 | 59.74 | 150 | 85.41 | 800 | 97.49 |
| 24.35 | 59.73 | 151 | 85.33 | 805 | 97.30 |
| 24.55 | 59.72 | 152 | 85.24 | 810 | 97.08 |
| 24.75 | 59.70 | 153 | 85.14 | 815 | 96.84 |
| 24.95 | 59.69 | 154 | 85.04 | 820 | 96.61 |
| 25.15 | 59.68 | 155 | 84.93 | 825 | 96.39 |
| 25.35 | 59.67 | 156 | 84.82 | 830 | 96.19 |
| 25.55 | 59.66 | 157 | 84.69 | 835 | 96.00 |
| 25.75 | 59.65 | 158 | 84.55 | 840 | 95.86 |
| 25.95 | 59.63 | 159 | 84.41 | 845 | 95.56 |
| 26.15 | 59.62 | 160 | 84.25 | 850 | 96.51 |
| 26.35 | 59.62 | 161 | 84.07 | 855 | 97.50 |
| 26.55 | 59.61 | 162 | 83.88 | 860 | 98.42 |
| 26.75 | 59.60 | 163 | 83.68 | 865 | 99.23 |
| 26.95 | 59.59 | 164 | 83.45 | 870 | 99.90 |
| 27.15 | 59.58 | 165 | 83.21 | 875 | 100.51 |
| 27.35 | 59.58 | 166 | 83.02 | 880 | 101.09 |
| 27.55 | 59.57 | 167 | 83.28 | 885 | 101.61 |
| 27.75 | 59.56 | 168 | 83.54 | 890 | 102.09 |
| 27.95 | 59.56 | 169 | 83.80 | 895 | 102.54 |
| 28.15 | 59.56 | 170 | 84.05 | 900 | 102.95 |
| 28.35 | 59.55 | 171 | 84.29 | 905 | 103.31 |
| 28.55 | 59.55 | 172 | 84.53 | 910 | 103.60 |
| 28.75 | 59.55 | 173 | 84.77 | 915 | 103.84 |
| 28.95 | 59.55 | 174 | 85.00 | 920 | 104.03 |
| 29.15 | 59.55 | 175 | 85.22 | 925 | 104.18 |
| 29.35 | 59.55 | 176 | 85.44 | 930 | 104.26 |
| 29.55 | 59.55 | 177 | 85.65 | 935 | 104.28 |
| 29.75 | 59.55 | 178 | 85.86 | 940 | 104.24 |
| 29.95 | 59.55 | 179 | 86.06 | 945 | 104.14 |
|  |  | 180 | 86.26 | 950 | 104.00 |
|  |  | 181 | 86.44 | 955 | 103.84 |
|  |  | 182 | 86.62 | 960 | 103.68 |
|  |  | 183 | 86.78 | 965 | 103.53 |
|  |  | 184 | 86.94 | 970 | 103.39 |
|  |  | 185 | 87.07 | 975 | 103.27 |
|  |  | 186 | 87.20 | 980 | 103.17 |
|  |  | 187 | 87.31 | 985 | 103.08 |
|  |  | 188 | 87.40 | 990 | 102.98 |
|  |  | 189 | 87.48 | 995 | 102.86 |
|  |  | 190 | 87.54 | 1000 | 102.69 |
|  |  | 191 | 87.60 |  |  |
|  |  | 192 | 87.64 |  |  |
|  |  | 193 | 87.67 |  |  |
|  |  | 194 | 87.69 |  |  |
|  |  | 195 | 87.72 |  |  |
|  |  | 196 | 87.74 |  |  |
|  |  | 197 | 87.77 |  |  |
|  |  | 198 | 87.81 |  |  |
|  |  | 199 | 87.87 |  |  |

# 附录E

长线天线的结构尺寸

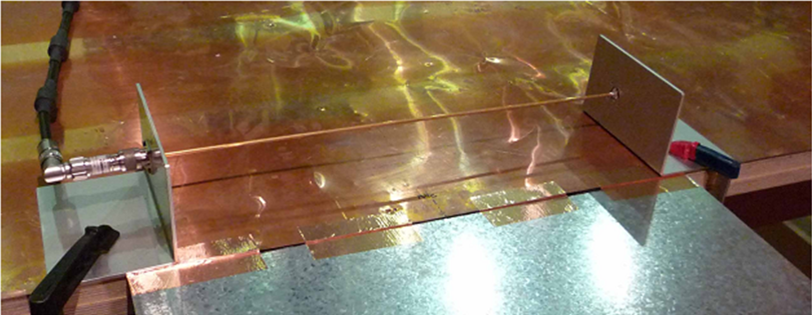
长线天线是一个直径为(4±0.2) mm的黄铜杆，位于参考接地平面上方(50±2) mm处（即参考接地平面和黄铜杆的最近点之间的距离），且平行于参考接地平面的前边沿。参考接地平面边沿和黄铜杆之间的水平距离为(100±2) mm。黄铜杆由两个间隔距离为(500±5) mm的金属直角板支撑，N型连接器集成在支撑黄铜杆的直角板上。金属直角板安装在参考接地平面上，其和参考接地平面之间建立一种低电感、低电阻的电连接，最大直流电阻为2.5 mΩ。推荐使用塑料安装夹或螺丝钉把金属直角板直接压在参考接地平面上。长线天线的结构和尺寸应严格符合上述要求，以通过可靠的建模计算得到参考数据。



图E.1用于支撑黄铜杆的金属直角板



图E.2 长线天线安装在参考接地平面上的侧视图



图E.3安装在参考接地平面上的长线天线实物照片