



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 6113.104—2008/CISPR 16-1-4:2005  
部分代替 GB/T 6113.1—1995

## 无线电骚扰和抗扰度测量设备和 测量方法规范 第 1-4 部分：无线电骚扰和 抗扰度测量设备 辅助设备 辐射骚扰

Specification for radio disturbance and  
immunity measuring apparatus and methods—  
Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus —  
Ancillary equipment—Radiated disturbances

(CISPR 16-1-4:2005, IDT)

2008-01-12 发布

2008-09-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 .....	I
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 定义 .....	1
4 无线电辐射骚扰测量用天线 .....	3
5 用于无线电骚扰场强测量的试验场地,30 MHz~1 000 MHz .....	8
6 用于总辐射功率测量的混响室 .....	26
7 用于辐射骚扰抗扰度测量的 TEM 小室 .....	28
8 用于无线电骚扰场强测量的试验场地,1 GHz~18 GHz .....	28
附录 A (规范性附录) 宽带天线参数 .....	29
附录 B (规范性附录) 单极天线(1 m 杆天线)的特性方程与相关天线匹配网络的特性 .....	31
附录 C (规范性附录) 用于在 9 kHz~30 MHz 频率范围内测量磁场感应电流的环形天线系统 .....	35
附录 D (资料性附录) 开阔试验场地的详细结构,频率范围 30 MHz~1 000 MHz(第 5 章) .....	42
附录 E (规范性附录) 开阔试验场地的确认程序,频率范围 30 MHz~1 000 MHz(第 5 章) .....	45
附录 F (资料性附录) 4 dB 场地可接受准则的基础(第 5 章) .....	51
附录 NA (资料性附录) GB/T 6113.104—2008 与 GB/T 6113.1—1995 有关章条的对照 .....	53

## 前 言

GB/T 6113.104 等同采用 CISPR 16-1-4(1.2 版):2005《无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-4 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 辅助设备 辐射骚扰》。

鉴于 IEC/CISPR 16 为电磁兼容系列基础标准,且篇幅大,内容多,为方便标准的制定、维护和使用,2002 年 IEC/CISPR A 分会决定对该标准进行重大调整,将原来的 4 个部分拆分为 14 个部分,2006 年增至 15 个部分,并从 2003 年 11 月起陆续发布。我国依据等同采用原则,将陆续完成相应国家标准的制定和修订工作。该系列标准中的新、旧国家标准及其与 IEC/CISPR 16 系列标准/出版物的对应关系如下:

旧标准编号和名称	新标准编号和名称
GB/T 6113.1—1995 (eqv CISPR 16-1:1993) 《无线电骚扰和抗扰度测量设备规范》	GB/T 6113.101—2008(CISPR 16-1-1:2006, IDT) 第 1-1 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 测量设备
	GB/T 6113.102—2008(CISPR 16-1-2:2006, IDT) 第 1-2 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 辅助设备 传导骚扰
	GB/T 6113.103—2008(CISPR 16-1-3:2004, IDT) 第 1-3 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 辅助设备 骚扰功率
	<b>GB/T 6113.104—2008(CISPR 16-1-4:2005, IDT)<sup>1)</sup></b> <b>无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范</b> <b>第 1-4 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备</b> <b>辅助设备 辐射骚扰</b>
	GB/T 6113.105—2008(CISPR 16-1-5:2003, IDT) 第 1-5 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 30 MHz~1 000 MHz 天线校准用试验场地
GB/T 6113.2—1998 (eqv CISPR 16-2:1996) 《无线电骚扰和抗扰度测量方法》	GB/T 6113.201—2008(CISPR 16-2-1:2003, IDT) 第 2-1 部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 传导骚扰测量
	GB/T 6113.202—2008(CISPR 16-2-2:2004, IDT) 第 2-2 部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 骚扰功率测量
	GB/T 6113.203—2008(CISPR 16-2-3:2003, IDT) 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 6113.2—1998 (eqv CISPR 16-2:1996) 《无线电骚扰和抗扰度测量方法》	GB/T 6113.204—2008(CISPR 16-2-4:2003, IDT) 第 2-4 部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 抗扰度测量

旧标准编号和名称	新标准编号和名称
CISPR 16-3:2000 Reports and recommendations of CISPR	GB/Z 6113.3—2006 (CISPR 16-3:2003, IDT) 第 3 部分:无线电骚扰和抗扰度测量技术报告
CISPR 16-4:2002 Uncertainty in EMC measurements	GB/Z 6113.401—2007 (CISPR 16-4-1:2003, IDT) 第 4-1 部分:不确定度、统计学和限值建模 标准化 EMC 试验的不确定度
	GB/T 6113.402—2006 (CISPR 16-4-2:2003, IDT) 第 4-2 部分:不确定度、统计学和限值建模 测量设备和设施的不确定度
	GB/Z 6113.403—2007 (CISPR 16-4-3:2004, IDT) 第 4-3 部分:不确定度、统计学和限值建模 批量产品的 EMC 符合性确定的统计考虑
	GB/Z 6113.404—2007 (CISPR 16-4-4:2003, IDT) 第 4-4 部分:不确定度、统计学和限值建模 抱怨的统计和限值的计算模型
	GB/Z 6113.405 (CISPR 16-4-5:2006, IDT) <sup>2)</sup> 第 4-5 部分:不确定度、统计学和限值建模 替换试验方法的使用条件
1) 黑体字为该标准的本部分; 2) 待制定。 注 1:表中除 GB/T 6113.104 以外的国家标准名称以制定或修订后、发布的标准名称为准。 注 2: CISPR 16 系列标准调整之前没有与 CISPR 16-3 和 CISPR 16-4 相对应的国家标准。	

与 CISPR 16-1-4 (1.2 版):2005 相比,GB/T 6113.104 主要进行了以下编辑性修改:

1. 增加国家标准的前言和引言;
2. 将驻波比统一用单一数字表达,如 VSWR 不大于 1.2;
3. 纠正了部分图的错误编号;
4. 增加附录 C 中的公式编号,便于文中叙述和引用;
5. 按 CISPR 16-1-4(第 2.1 版):2007 更正了 4.2.2 和 4.3.3 标题及相关内容及 4.4.2 的标题,见当页的编者注。

6. 为了读者方便,在等同标准的基础上增加了附录 NA “GB/T 6113.104—2008 与 GB/T 6113.1—1995 有关章节的对照”。

GB/T 6113 的本部分自发布之日起,与 GB/T 6113.101—2008、GB/T 6113.102—2008、GB/T 6113.103—2008 和 GB/T 6113.105—2008 组合在一起替代 GB/T 6113.1—1995。

与 GB/T 6113.1—1995 对应内容相比,本部分(GB/T 6113.104)主要发生如下的变化:

1. 增加 3.2~3.13 等 12 个术语;
2. 增加 4.4.2 条“天线的平衡”;
3. 增加 4.4.3 条“天线的交叉极化性能”;
4. 增加 4.6 条“1 GHz~18 GHz 频率范围”的天线要求;

5. 增加 4.7 条“特殊天线的配置”；
6. 增加 5.7 条“有接地平板的试验场地的适用性”；
7. 增加 5.8 条“无接地平板的试验场地的适用性”；
8. 增加规范性的附录 A“宽带天线参数”；
9. 增加规范性的附录 B“单极天线(1 m 杆天线)的特性方程与相关天线匹配网络的特性”；
10. 增加规范性的附录 C“用于在 9 kHz~30 MHz 频率范围内测量磁场感应电流的环形天线系统”；
11. 为了读者方便,在等同标准的基础上增加了附录 NA“GB/T 6113.104—2008 与 GB/T 6113.1—1995 有关章节的对照”。

本部分的附录 A、附录 B、附录 C 和附录 E 为规范性附录,附录 D、附录 F 和附录 NA 为资料性附录。

本部分由全国无线电干扰标准化技术委员会提出并归口。

本部分起草单位:信息产业部电子工业标准化研究所、东南大学、北京交通大学、中国计量科学研究院、信息产业部电子第五研究所、上海电器科学研究所(集团)有限公司、广州威凯检测技术研究所、上海市计量测试技术研究院、国家无线电监测中心。

本部分主要起草人:陈俐、胡景森、蒋全兴、闻映红、张林昌、崔强、杨春荣、寿建霞、黄攀、龚增、黄楚彬、张科、王铮、朱文立。

## 引 言

GB/T 6113.104 为基础标准 GB/T 6113 的组成部分。本部分包括 8 章和 7 个附录。内容主要涉及 9 kHz~18 GHz 频率范围辐射骚扰和辐射抗扰度测量用的辅助设备和设施的技术规范。辐射测量用辅助设备主要是天线,测量设施则包括 30 MHz~1 GHz 频率范围无线电骚扰场强测量用试验场地和 1 GHz~18 GHz 频率范围骚扰场强测量用试验场地、总辐射功率测量用混响室和辐射抗扰度用 TEM 小室。GB/T 6113 的本部分在第 3 章对试验天线、试验场地和描述天线或场地的性能参数给出了定义;在第 4 章按不同的频率范围对不同类型的天线的性能作出规定,这些天线包括磁场天线、电场天线、复合天线、以及一种特殊的天线——环天线系统(LAS);在第 5 章规定了开阔试验场地及其确认程序、可替换的试验场地的适用性及判定准则,以及试验桌和天线塔的评估;在第 6 章描述了混响室的结构和测量方法;在第 8 章对 1 GHz~18 GHz 频率范围试验场地的特性作了规定,包括参考试验场地、试验场地的确认以及可替换的试验场地。此外,还在作为规范性的附录 A、附录 B、附录 C 和附录 E 中分别对宽带天线参数、1 m 杆天线的特性、9 kHz~30 MHz 频率范围内测量磁场感应电流的环形天线系统和 30 MHz~1 GHz 试验场地的确认程序作了详细的描述,在作为资料性的附录 D 和附录 F 中提供与上述内容相关的一些背景资料。由于某些原因,第 7 章 TEM 小室只给出了标题,目前,该国际标准的制订者 CISPR A 分会仍在研究制定当中。

# 无线电骚扰和抗扰度测量设备和 测量方法规范

## 第 1-4 部分:无线电骚扰和 抗扰度测量设备 辅助设备 辐射骚扰

### 1 范围

GB/T 6113 的本部分为基础标准,规定了用于 9 kHz~18 GHz 频率范围内辐射骚扰测量的辅助设备的特性和性能。

本部分包括试验天线与骚扰场强测试用试验场地、TEM 小室和混响室等辐射骚扰辅助装置的规范。

GB/T 6113 本部分的要求在测量设备的 CISPR 指示范围内的所有频率和辐射骚扰的所有电平上都应得到满足。

GB/T 6113.203 涵盖了辐射骚扰的测量方法,有关无线电骚扰的更多信息在 GB/Z 6113.3 中给出。不确定度、统计学和限值建模在 GB/T 6113 的第 4 部分给出。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 6113 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB 4343.1—2003 电磁兼容 家用电器、电动工具和类似器具的要求 第 1 部分:发射(CISPR 14-1:2000,IDT)

GB/T 6113.101—2008 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-1 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 测量设备(CISPR 16-1-1:2006,IDT)

GB/T 6113.105—2008 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-5 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 30 MHz~1 000 MHz 天线校准试验场地(CISPR 16-1-5:2003,IDT)

GB/T 6113.201—2008 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 2-1 部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 传导骚扰测量(CISPR 16-2-1:2003,IDT)

GB/T 6113.203—2008 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 2-3 部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 辐射骚扰测量(CISPR 16-2-3:2003,IDT)

GB/Z 6113.3—2006 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 3 部分:无线电骚扰和抗扰度测量技术报告(CISPR 16-3:2003,IDT)

GB/Z 6113.401—2007 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 4-1 部分:不确定度、统计学和限值建模 标准化的 EMC 试验不确定度(CISPR 16-4-1/TR:2005,IDT)

GB/T 6113.402—2006 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 4-2 部分:不确定度、统计学和限值建模 测量设备和设施的不确定度(CISPR 16-4-2:2003,IDT)

GB/T 4365—2003 电工术语 电磁兼容(IEC 60050(161):1990,IDT)  
计量学基本术语和通用术语国际词汇,ISO,日内瓦,第 2 版,1993

### 3 定义

GB/T 4365—2003 中的定义和下列定义适用于本部分。

3.1

**带宽 bandwidth**

$B_n$

低于响应曲线中点某一规定电平处测量接收机总选择性曲线的宽度,用符号  $B_n$  表示。 $n$  表示所规定电平的分贝数。

3.2

**CISPR 指示范围 CISPR indicating range**

CISPR 指示范围是指由制造商规定的且满足 GB/T 6113 本部分要求的接收机最大指示和最小指示之间的指示范围。

3.3

**天线校准用试验场地 calibration test site; CALTS**

具有金属接地平面、严格规定了水平极化和垂直极化电场的场地衰减性能的开阔试验场地。

CALTS 用于确定天线在自由空间中的天线系数。

CALTS 的场地衰减测量用来与符合性试验场地的相应的场地衰减测量作比较,以评价符合性试验场地的性能。

3.4

**符合性试验用试验场地 compliance test site; COMTS**

为与符合性限值相比较,保证受试设备骚扰场强测量结果有效且可重复的环境。

3.5

**天线 antenna**

发射或接收系统中设计用来以特定方式发射或接收电磁波的部分。

注 1: 在本部分的上下文中,平衡-不平衡转换器是天线的一部分。

注 2: 也可见术语 3.10“线天线”。

3.6

**平衡-不平衡转换器 balun**

用于传输线或装置之间从平衡到不平衡或不平衡到平衡转换的无源电气网络。

3.7

**自由空间谐振偶极子 free-space-resonant dipole**

由两根相同长度的共线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。每根导体的长度近似为四分之一波长,从而使得当偶极子处于自由空间时,在特定的频率上,其间隙两端测得的线天线的输入阻抗为纯实数。

注 1: 在本部分的上下文中,与平衡-不平衡转换器相连的线天线也称为“试验天线”。

注 2: 该线天线也被称为“调谐偶极子”。

3.8

**场地衰减 site attenuation**

试验场地上两个规定位置之间的场地衰减指的是当信号发生器的输出与接收机的输入之间的直接电气连接被放在规定位置上的发射天线和接收天线所代替时,通过两端口网络测量得到的插入损耗。

3.9

**试验天线 test antenna**

自由空间谐振偶极子和特定的平衡-不平衡转换器的组合。

注: 仅用于 GB/T 6113 的本部分。

3.10

**线天线 wire antenna**

由一根或多根金属导线或金属杆构成的用于发射或接收电磁波的特定结构。

注: 线天线不包含平衡-不平衡转换器。



## 3.11

**全电波暗室 fully anechoic room; FAR**

内表面装有射频吸波材料(也就是 RF 吸收器)的屏蔽室,该吸波材料能够吸收所关注的频率范围内的电磁能量。

## 3.12

**准自由空间试验场地 quasi-free space test-site**

在任意频率上,用垂直极化调谐偶极子测量得到的场地衰减与计算得到的自由空间的场地衰减的偏差不大于±1 dB 的试验场地。

## 3.13

**试验空间 test volume**

在 FAR 中受试设备所占的空间。

注:在该试验空间,准自由空间的条件应该得到满足,并且,该空间距离 FAR 中吸波材料的典型距离为 0.5 m 或更远。

**4 无线电辐射骚扰测量用天线**

天线和插入天线与接收机之间的电路不应影响测量接收机的总的特性产生影响。当天线与测量接收机相连时,测试系统应符合 GB/T 6113.101 适用于所关注的频带的带宽要求。

天线应为线极化天线,并且极化方向是可以改变的,以便能够测量入射辐射场的所有极化分量。天线中心距地面的高度依据特定的试验程序应是可调节的。

有关宽带天线参数的额外信息见附录 A。

**4.1 场强测量的准确度**

当使用满足本条要求的天线和满足 GB/T 6113.101 的测量接收机测量正弦波的均匀场时,场强测量准确度应优于±3 dB。

注:该要求不包括试验场地的影响。

**4.2 频率范围 9 kHz~150 kHz**

实验表明,在此频率范围内观测到的干扰现象是磁场分量起主要作用。

**4.2.1 磁场天线**

为了测量辐射的磁场分量,既可以使用电屏蔽的环天线,也可以使用铁氧体杆天线。环天线可用边长为 60 cm 的正方形包容。

磁场强度单位为  $\mu\text{A}/\text{m}$ ,用对数单位表示, $20 \lg(\mu\text{A}/\text{m}) = \text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})$ 。相应的发射限值用相同的单位表示。

注:不论是近场还是远场,即在所有的条件下,辐射场的磁场分量的强度(单位: $\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})$ 或  $\mu\text{A}/\text{m}$ )都可以直接测量。然而,许多场强测量接收机是以等效平面波电场强度(单位: $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ )的形式来校准的,也就是假设电场分量与磁场分量的比为  $120 \pi$  或  $377 \Omega$ 。这个假设是在远场条件下成立,即与源之间的距离大于  $1/6$  波长( $\lambda/2\pi$ )。在这种情况下,磁场分量的值可以通过在接收机上读取的电场分量除以 377 来获得,或者从电场值(单位: $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ )中减去 51.5 dB 来获得磁场值(单位: $\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})$ )。

应该清楚地理解上述电场与磁场的固定比值只适用于远场条件。

电场强度除以  $377 \Omega$  得到磁场强度  $H(\mu\text{A}/\text{m})$ :

$$H(\mu\text{A}/\text{m}) = E(\mu\text{V}/\text{m})/377 \Omega \quad \dots\dots\dots(1)$$

以  $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$  为单位的电场强度减去 51.5 dB 得到以  $\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})$  为单位的磁场强度:

$$H_{\text{dB}}(\mu\text{A}/\text{m}) = E_{\text{dB}}(\mu\text{V}/\text{m}) - 51.5 \text{ dB}(\Omega) \quad \dots\dots\dots(2)$$

用于上述转换关系式中的阻抗  $Z=377 \Omega$ ,  $20 \lg Z=51.5 \text{ dB}$ ,为一常数。此常数源于场强测量设备以  $\mu\text{V}/\text{m}$ (或  $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$  为单位指示磁场时所用的修正系数。

#### 4.2.2 环天线的屏蔽<sup>1)</sup>

屏蔽得不够理想的环天线会对电场产生响应。对环天线的电场响应的鉴别应通过在均匀场旋转环平面使其平行于电场矢量的方法来评估。环平面平行于磁通量测得的响应比环平面垂直于磁通量测得的响应至少低 20 dB。

#### 4.3 频率范围 150 kHz~30 MHz

##### 4.3.1 电场天线

测量辐射的电场分量时,对称或不对称的天线都可以使用。当使用不对称天线时,测量仪表示电场在垂直杆天线的感应。测量结果中应注明所使用天线的类型。

附录 B 中给出了 1 m 长单极天线(杆天线)工作特性的计算和其匹配网络的特性的有关信息。

当辐射源和天线之间的距离不超过 10 m 时,天线的总长度应为 1 m。当距离大于 10 m 时,天线长度最好为 1 m,但不得超过距离的 10%。

电场强度的单位为  $\mu\text{V}/\text{m}$ ,或采用对数单位为  $20 \lg(\mu\text{V}/\text{m}) = \text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ ,有关的发射限值也应采用相同的单位。

##### 4.3.2 磁场天线

测量辐射的磁场分量,应使用 4.2.1 中所描述的电屏蔽环天线。

当测量较低的场强时,应使用调谐的电对称环天线而不使用非调谐的电屏蔽环天线。

##### 4.3.3 天线的交叉极化响应<sup>1)</sup>

如果使用对称的电场天线,天线的交叉极化响应应满足 4.4.3 的要求。如果使用对称的磁场天线,则应满足 4.2.2 的要求。

#### 4.4 频率范围 30 MHz~300 MHz

##### 4.4.1 电场天线

基准天线应为对称偶极子。

###### 4.4.1.1 对称偶极子

当频率大于或等于 80 MHz 时,天线应调整到谐振长度;当频率低于 80 MHz 时,天线长度应等于 80 MHz 时的谐振长度,并通过适当的变换装置进行调谐与馈源匹配。天线应通过平衡-不平衡转换装置与测量设备的输入端相连。

###### 4.4.1.2 短偶极子

下列条件可使用短于半波长的偶极子:

- a) 天线总长度大于测量频率的十分之一波长( $\lambda/10$ );
- b) 用匹配良好的电缆将天线与测量接收机连接起来,以确保电缆上的电压驻波比(VSWR)小于 2.0。校准时应考虑 VSWR;
- c) 这种天线应与调谐偶极子具有同等的极化鉴别能力(见 4.4.2),为了达到此目的,应借助于平衡-不平衡转换器;
- d) 为了确定被测场强,应在规定的距离(也就是,至少在 3 倍于偶极子长度的距离上)确定并使用同一条校准曲线(天线系数);

注:这样得到的天线系数应能满足均匀正弦波电场的技术要求,测量准确度不劣于  $\pm 3$  dB。图 1 给出了校准曲线的实例。它表示了对不同的  $l/d$ ,输入阻抗为 50  $\Omega$  的测量接收机的输入电压与场强的理论关系。在这些曲线中,平衡-不平衡转换器被认为是理想的 1:1 转换器。然而,应注意到这些曲线中并未将平衡-不平衡转换器、电缆以及电缆和接收机之间的失配所引起的损耗考虑进去。

- e) 尽管由于偶极子的缩短提高了天线系数,导致场强仪灵敏度的降低,但是场强仪的测量下限(如由接收机的噪声和偶极子的传输系数确定)仍应保证比被测信号电平至少低 10 dB。

1) 此标题和内容按照 CISPR 16-1-4:2007(2.1 版)进行了修改。

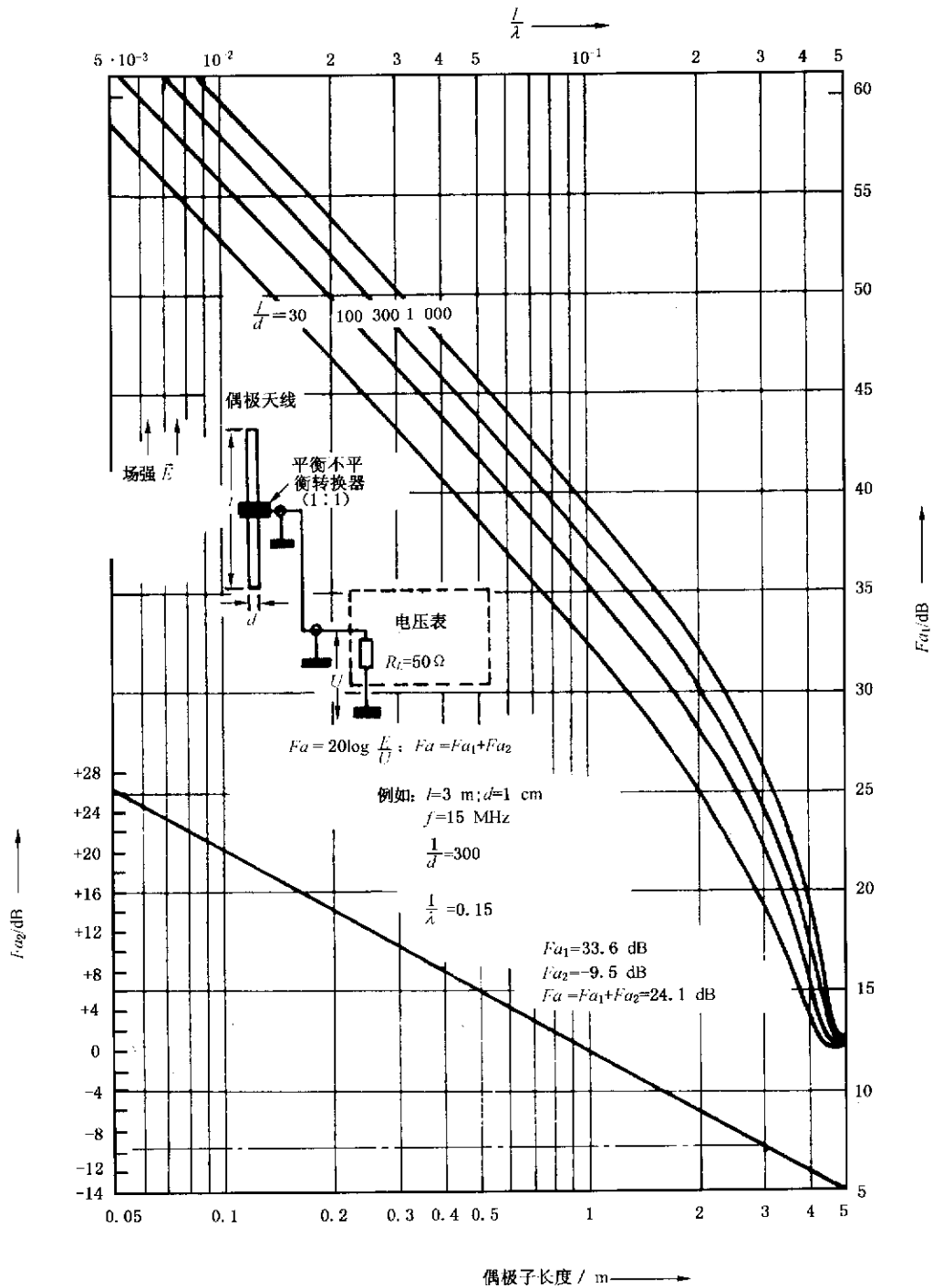


图 1  $R_L = 50 \Omega$  时短偶极子的天线系数

#### 4.4.1.3 宽带天线

满足 4.5.2 条复合天线要求的宽带天线均可使用。

#### 4.4.2 天线特性<sup>2)</sup>

##### 4.4.2.1 概述

在辐射发射测量中,与接收天线相连的电缆(天线电缆)存在着共模(CM)电流,其结果是这些共模

2) 此标题和内容按照 CISPR 16-1-4:2007(2.1 版)进行了修改。

电流产生可被接收天线接收的电磁场,因而影响辐射发射测量结果。

天线电缆上产生共模电流的主要因素为:

- a) 如果受试设备产生的电场具有平行于天线电缆的分量,并且;
- b) 接收天线平衡-不平衡转换器的非理想特性将差模(DM)天线信号(有用信号)转换成共模信号。

本条讨论平衡-不平衡转换器的影响,上述影响因素 a)尚在考虑之中(见 4.4.2.2 条注 1 的最后一句话)。

一般情况下,对数周期偶极子阵列天线不存在明显的 DM/CM 转换,4.4.2.2 条的内容适用于偶极子天线、双锥天线和双锥/对数复合天线。

#### 4.4.2.2 平衡-不平衡转换器的差模/共模转换的核查

以下描述了在所使用的接收天线的频率范围内对下述两个电压  $U_1$  和  $U_2$  的测量方法。用相同单位(如, dB $\mu$ V)表示的这些电压的比值,即 DM/CM 转换的量度。

- 1) 将接收天线设置为垂直极化,并使其中心距离接地平面 1.5 m,连接电缆在天线最后一个被激励单元后面水平走线 1.5 m $\pm$ 0.1 m,然后在距离接地平面至少 1.5 m 的高度垂直落下。
- 2) 将第二副天线(发射天线)放置于在水平方向上距第一副天线的中心 10 m 处,使其垂直极化,其低端距离接地平面的高度为 0.1 m。如果发射测量在 3 m 法的试验场地上进行,那么该测量应在 3 m 的距离上进行(如果 DM/CM 变换的核查已经在 10 m 的距离上进行了并且显示变化小于 $\pm$ 0.5 dB,那么就没有必要在 3 m 的距离上进行测量)。发射天线的特性应覆盖被核查天线的频率范围。
- 3) 将发射天线与信号源(如跟踪信号发生器)连接,信号发生器的发射电平设置在所关注的频率范围内使接收机的信噪比大于 10 dB 处。
- 4) 在所关注的频率范围内记录接收机的读数  $U_1$ ;
- 5) 在不改变任何配置,尤其是接收天线电缆、信号源的设置的条件下,将接收天线沿测量轴旋转 180°。
- 6) 在整个频率范围内记录接收机的读数  $U_2$ 。
- 7) 如果  $|20 \lg(U_1/U_2)| < 1$  dB,则 DM/CM 转换足够小。

注 1:如果 DM/CM 转换不满足要求,可以在天线电缆上加铁氧体环以减小 DM/CM 转换。在天线电缆上加铁氧体环还可用于检验因素 a)是否具有不可忽略的影响。在天线电缆上放置 4 个铁氧体环且间距大约为 20 cm 并重复测量。如果使用这些铁氧体环后满足了要求,那么在实际的辐射发射测量中也应放置。同样,电缆的影响也可以通过延长原有水平走线数米的办法来减小。

注 2:如果接收天线在全电波暗室内使用,那么 DM/CM 转换的核查也应在全电波暗室进行,接收天线应位于通常使用的位置,发射天线位于全电波暗室试验空间的中心,全电波暗室必须满足 $\pm$ 4 dB 的归一化场地衰减要求。

注 3:无论是半电波暗室还是全电波暗室试验场地,都应满足各自的归一化场地衰减要求。

注 4:在实际的垂直极化辐射发射测量中,在接收天线中心的后面电缆的水平放置距离应至少保持 1.5 m。

注 5:测试布置不需要严格规定,因为这种影响大部分是由于天线与平行天线振子的输入电缆相互影响造成的。开阔试验场地或全电波暗室内一般的 EMC 测试布置中依赖于入射到天线的场均匀性的影响微乎其微。

注 6:对于具有安装在侧面(与天线杆成 90°)的接收电缆连接头的平衡-不平衡转换器应使用直角连接器以降低电缆的变形。

#### 4.4.3 天线的交叉极化性能

当天线置于平面极化的电磁场中时,天线与场交叉极化时的端电压应至少比共极化时的端电压低 20 dB。这种试验适用于由每个偶极子的两个振子臂构成的梯形对数周期偶极子阵列(LPDA)天线。使用这些天线所进行的测量主要在 200 MHz 以上,但该要求适用于 200 MHz 以下。这种测试不适用于共线偶极子和双锥天线,因为它们对称设计本身所固有的交叉极化抑制均大于 20 dB。这些天线和喇叭天线必须具备大于 20 dB 的交叉极化抑制,制造商在进行型式试验时应保证这一点。

为了达到准自由空间条件,应使用高质量的暗室或在户外足够高于地面的天线塔。为了使地面反射最小,使天线垂直极化。被核查天线接收到的应为平面波,被核查天线与源天线之间的中心距离应大于1个波长。

注:在被核查天线处需要一个高质量的试验场地来建立平面波。交叉极化的鉴别可通过下述方法来验证:在一对喇叭天线或一对一端开口的波导天线之间传输一平面波,并测得由场地衰减和喇叭天线固有的交叉极化的性能所产生的对水平分量的抑制超过30 dB。如果场地衰减非常低且喇叭天线具有相同的性能,那么一个喇叭的交叉极化性能应比一对喇叭的组合交叉极化耦合低大约6 dB。

当干扰信号比有用信号低20 dB时,对有用信号产生的最大误差为 $\pm 0.9$  dB。当交叉极化信号与共极化信号同相时会产生最大的误差。当LPDA的交叉极化响应比共极化时不足20 dB时,操作者必须计算不确定度并在结果中声明。例如14 dB意味着最大不确定度为 $+1.6$  dB $\sim$  $-1.9$  dB,当计算标准不确定度时应使用较大的值并假设为U型分布。

为了将0 dB信号与 $-14$  dB信号相加,首先应将电压的相对值除以20,再取反对数值。然后将较小的信号与带单位的信号相加,取对数后再乘以20,计算结果将得到正的误差分贝;重复上述过程但将较小的信号从带单位的信号中减去,将得到负的误差分贝。

为了计算辐射发射结果的不确定度,如果在一个极化方向上测得的信号电平超过与之垂直的极化方向上的被测信号6 dB或更多,则只有14 dB交叉极化鉴别的LPDA被认为满足规定的20 dB,如果垂直极化(VP)和水平极化(HP)信号电平之差小于6 dB,该差值与交叉极化之和小于20 dB,那么必须计算附加的不确定度。

#### 4.5 频率范围 300 MHz $\sim$ 1 000 MHz

##### 4.5.1 电场天线

如果使用偶极子天线,那么它应该满足4.4.1.1和4.4.2的要求。

##### 4.5.2 复合天线

由于在300 MHz $\sim$ 1 000 MHz频率范围内的简单偶极子天线的灵敏度非常低,因此可使用较复杂的复合天线,这种天线应为:

- 天线应为线性极化,这可采用与检验简单偶极子天线的对称相同的方法来检验。
- 天线方向图的主瓣应满足在直射波方向上的响应与来自地面反射波方向上的响应的差值不大于1 dB。

为保证以上的条件,在与天线最大增益相差1 dB的范围内,测量天线垂直方向上的方向图波瓣宽度 $2\varphi$ 应满足以下条件:

- 如果测量天线保持水平方向:

$$\varphi > \arctan[(h_1 + h_2)/d]$$

- 如果测量天线以最佳的位置向地面倾斜(这样直射波射线和反射波射线都包含在波瓣宽度 $2\varphi$ 内):

$$2\varphi > \arctan[(h_1 + h_2)/d] - \arctan[(h_1 - h_2)/d]$$

式中:

$h_1$ ——测量天线高度;

$h_2$ ——受试设备高度;

$d$ ——测量天线和受试设备之间的水平距离。

天线的方向图应在天线垂直极化时在水平面检查,应假设垂直极化时测得的方向图,尤其是天线波瓣宽度 $2\varphi$ ,应与水平极化时测得的相同。

考虑天线与源之间有效距离和增益随频率的变化是必要的。

- 从与天线馈电端相连的接收机端测得的天线的电压驻波比不应超过2.0。
- 应给出校准系数使天线有可能满足4.1的要求。

#### 4.6 频率范围 1 GHz $\sim$ 18 GHz

1 GHz以上的辐射发射测量应使用经过校准的线极化天线,包括双脊波导喇叭天线、矩形波导喇叭

喇叭天线、锥型喇叭天线、最佳增益喇叭天线和标准增益喇叭天线。使用的任何天线的方向性图的“波束”或主瓣应足够大以覆盖在测试距离上的受试设备,或允许对受试设备进行扫描以确定辐射源或辐射源的方向。天线主瓣宽度定义为天线的 3 dB 波束宽度,在天线的文件中应给出确定这个参数的相关信息。这些喇叭天线的口径尺寸应足够小以满足测量距离(单位:m)等于或大于以下的最小距离:

$$R_m \geq D^2 / 2\lambda$$

式中:

$D$ ——天线的最大口径,m;

$\lambda$ ——测量频率上的自由空间波长,m。

在有争议的情况下,优先使用标准增益喇叭天线或类似的精确校准的喇叭天线。

注:任何校准的线极化天线,如对数周期天线,都可用于测量。如果使用频谱分析仪或较老的无线电噪声测量仪,那么在这个频率范围内,除了喇叭天线,许多天线的增益都不够。试验人员应保证在使用的测量距离上总的测量灵敏度至少低于适用的限值 6 dB。同时应保证用来改进灵敏度的任何手段,例如预选放大器,不应产生失真、杂散信号、或其他过载问题。由于对数周期偶极子阵列比喇叭天线具有更宽的波瓣宽度,在测量中来自地面的反射会产生显著的误差。

## 4.7 特殊的天线配置

### 4.7.1 环天线系统

在 9 kHz~30 MHz 频率范围内,单个受试设备辐射的磁场分量可用特殊的环天线系统(LAS)来确定。在 LAS 中,该干扰是以磁场在 LAS 系统的环天线中的感应电流形式来测量的。LAS 允许室内测量。

LAS 由三个相互垂直的、直径为 2 m 的大圆环天线(LLAS)构成,由非金属底座支撑,详细描述在附录 C 中给出。

受试设备位于 LAS 的中心,受试设备的最大尺寸应满足受试设备和 LLA 之间的距离至少为 0.2 m,有关信号电缆的布置在附录 C.3 中的注释 2 和图 C.6 中给出。电缆应布在一起,与环天线所在空间的夹角为相同的 45°,与 LAS 任何一个环的距离不小于 0.4 m。

三个相互垂直的 LLAS 能够以规定的准确度来测量所有极化方向上的辐射场的干扰,而不用旋转受试设备或改变 LLAS 的方向。

三个 LLAS 中的每一个均应符合 C.5 条给出的确认要求。

注:只要 LLAS 圆环的直径  $D \leq 4$  m 且受试设备与一个 LA 之间的距离不大于 0.1D(m),也可以使用不同于标准直径 2 m 的 LLAS 圆环。非标准直径环天线的修正因子在 C.6 章中给出。

## 5 用于无线电骚扰场强测量的试验场地,30 MHz~1 000 MHz

试验场地周围的环境应能够确保受试设备的骚扰场强测量结果的有效性和可重复性。对于那些只能工作在使用现场的受试设备,须另行规定。

### 5.1 开阔试验场地

正常情况下,骚扰场强的测量是在开阔试验场地上进行的。该开阔试验场地具有空旷的水平的地势特征。这种试验场地应避免建筑物、电力线、篱笆和树木等,并应远离地下电缆、管道等,除非它们是受试设备(受试设备)供电和运行所必需的。附录 D 推荐了适用于 30 MHz~1 000 MHz 频率范围的开阔试验场地的详细结构。5.6 条给出了开阔试验场地确认的判定程序,更详细的内容见附录 E。附录 F 给出了试验场地的  $\pm 4$  dB 可接受准则。

### 5.2 气候保护罩

如果试验场地全年使用,则需要一个气候保护罩。气候保护罩应能够保护包括受试设备和场强测量天线在内的整个试验场地,或者是只保护受试设备。所使用的材料应具有射频透明性,以避免造成不需要的反射和受试设备辐射场强的衰减。

气候保护罩的形状应易于排雪、冰或水。更详细的内容见附录 D。

### 5.3 无障碍区

为了得到一个开阔试验场地,在受试设备和场强测量天线之间需要一个无障碍区域。无障碍区域

应远离那些具有较大的电磁场的散射体,并且这个区域应足够大,使得无障碍区域以外的散射不会对天线测量的场强产生影响。为了确定无障碍区域是否足够大,应该进行场地确认的试验。

由于来自物体散射场强的幅度大小与许多因素(如,物体的尺寸、到受试设备的距离、受试设备所在的方位、物体的导电性和介电常数以及频率等)相关,所以,对所有设备规定一个必须且充分适宜的无障碍区域是不切实际的。无障碍区域的尺寸和形状取决于测试距离及受试设备是否可被旋转。如果试验场地配备了转台,那么推荐使用椭圆形的无障碍区域,接收天线和 EUT 分别放在其两个焦点上,长轴的长度为测量距离的 2 倍,短轴的长度为测量距离的 $\sqrt{3}$ 倍(见图 2)。

对于该椭圆形的无障碍区域来说,其周界上任何物体的反射波的路径均为两个焦点之间的距离的 2 倍。如果放置在转台上的受试设备较大,那么就有必要扩展无障碍区的周界,以保证从受试设备周界到障碍物之间的净尺寸。

如果试验场地没有配备转台,也就是说,EUT 是固定不动的,那么推荐使用圆形的无障碍区域。受试设备的周界到试验场地的周界的径向距离为测试距离的 1.5 倍(见图 3)。此时,测量天线可在距离 EUT 半径远的位置上围绕着 EUT 移动。

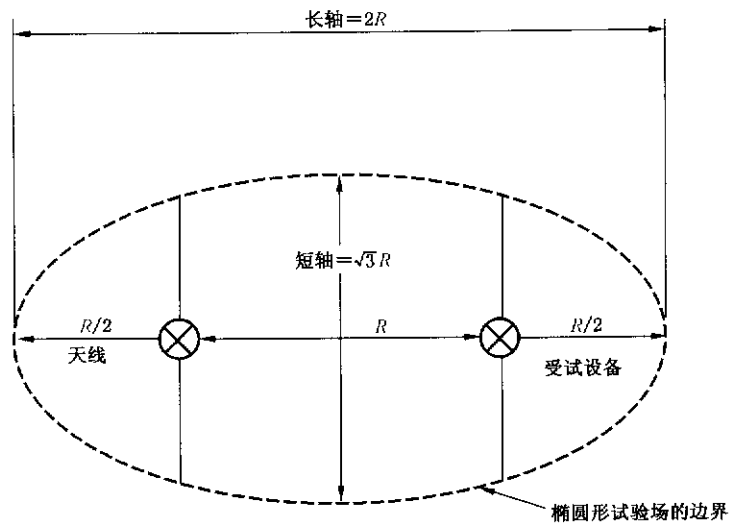


图 2 配备了转台的无障碍区示意图(见 5.3 条)

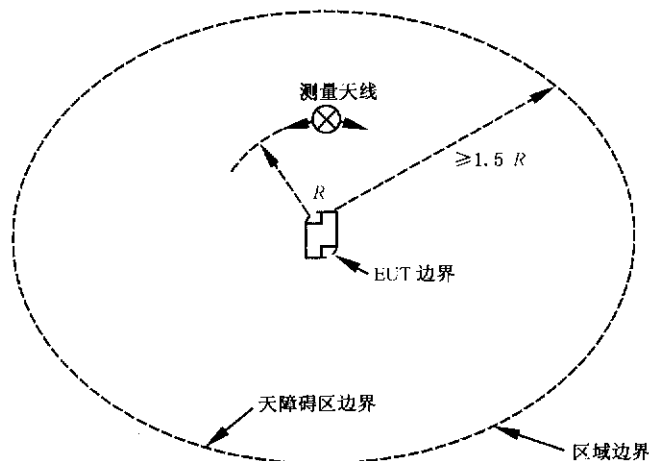


图 3 未配备转台、EUT 固定不动情况下的无障碍区示意图(见 5.3 条)

无障碍区的地势应平坦。为了排水的需要,允许地势稍稍倾斜。如果使用金属接地平板,可见附录 D.2 所述的对金属接地平板平滑度的要求。测量设施和测试人员都应在无障碍区之外。

#### 5.4 试验场地周围的射频环境

试验场地周围的射频电平与被测电平相比应足够的低,有关这方面的场地质量可以按以下4个等级来评价:

- a) 周围的射频电平比被测电平低 6 dB;
- b) 周围某些射频电平比被测电平低,但不足 6 dB;
- c) 周围某些射频电平比被测电平高,但只在有限的可识别的频率上;它们可能是非周期的(即相对于测量来说,发射之间的间隔足够的长),也可能是连续出现的;
- d) 周围的射频电平在大部分测量频率范围内都比被测电平高,并且是连续出现的。

所选择的试验场地应确保:能够维持在给定的环境中和可行的工程等级下的测量准确度。

注:为了得到更理想的测量结果,建议周围的射频电平比被测电平低 20 dB。

#### 5.5 接地平板

接地平板可以用对地具有高导电率的大面积的金属材料构成。接地平板可以放在地平面上,也可以放在一定高度的平台或屋顶上。最好使用金属接地平板,但对某些设备和应用场合,有些产品类标准并不一定推荐使用金属接地平板。金属接地平板的大小取决于试验是否要满足 5.6 条提出的场地确认的要求。如果接地平板没有使用金属材料,那么应特别注意选择那些其反射特性不随时间、气候或因地下存在金属材料(如,管道,导管,或不均匀的土地)而变化的试验场地。通常,这样的试验场地会给出不同于金属表面的试验场地的场地衰减特性。

#### 5.6 开阔试验场地的确认程序

这里给出了归一化场地衰减的确认程序和要求,用来评价使用金属接地平板的试验场地的质量。对于其他类型的试验场地,该确认程序仅供参考。通常,使用该方法也可以鉴别那些可能出现,应予以考虑的场地中的不规范之处。该确认程序对装有吸波材料的屏蔽室不适用。

开阔试验场地的确认应在天线垂直极化和水平极化两个方向上进行,分别见图 4 和图 5。用发射天线的源电压( $V_T$ )减去接收天线终端测得的接收电压( $V_R$ )即可获得该开阔试验场地的场地衰减。电压测量应在  $50\ \Omega$  的系统中进行。如果  $V_T$  和  $V_R$  不是从发射天线的输入端和接收天线的输出端分别得到的,那么还需要进行适当的电压损耗的修正,然后再用场地衰减(dB)减去这两个天线系数(dB),之后所得到结果即为归一化场地衰减(NSA)。如果所得到的水平和垂直极化的 NSA 与相应附录 E 表 E.1、E.2 和 E.3 中的值的差值不大于  $\pm 4$  dB,那么就认为该开阔试验场地符合要求。如果差值超过  $\pm 4$  dB,那么就必须对 E.4 条场地进行调查研究。

注: $\pm 4$  dB 准则的基础在附录 F。

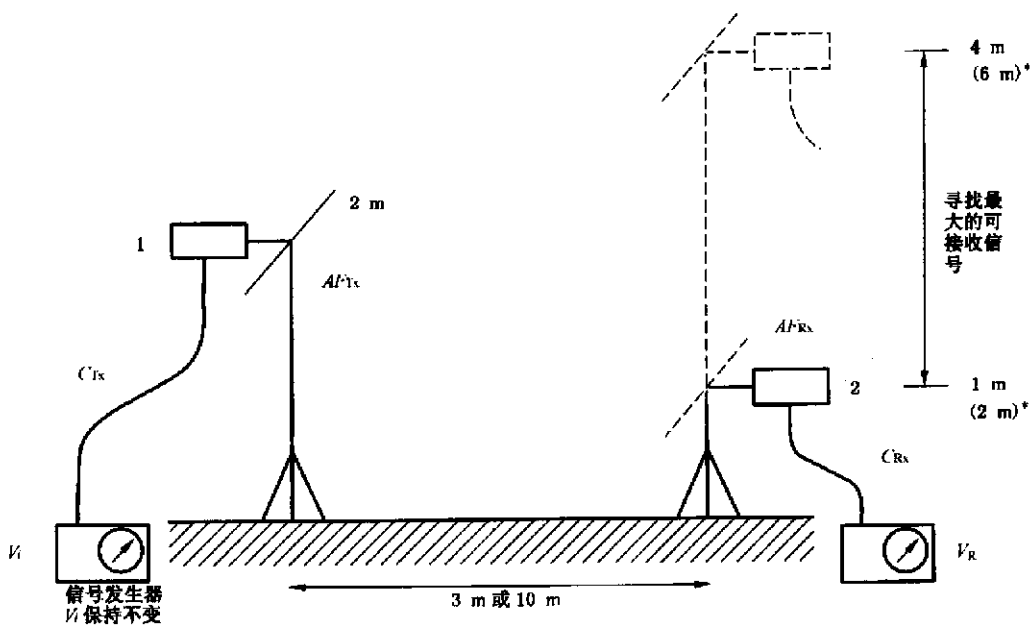
测量得到的 NSA 与理论值的差值不应作为测量受试设备场强的修正值。这种方法仅仅用来确认试验场地。

附录 E 中表 E.1 适用于宽带天线(如双锥天线和对数周期天线),包括水平和垂直两个极化方向。表 E.2 和表 E.3 都适用于调谐半波偶极子,但表 E.2 适用于水平极化方向,表 E.3 适用于垂直极化方向。表 E.2 中的扫描高度  $h_2$  是限定的,这是因为接收偶极子天线的低端至少应保持高于接地平板 25 cm。

注:表 E.1、表 E.2 和表 E.3 不同的原因是由于相对于宽带天线和半波偶极子所选择的几何尺寸的不同,而表 E.2 和表 E.3 则主要是受到实际条件的限制。

除了表中所列的频率以外的 NSA,可以采用在列表数值间线性插值法得到。

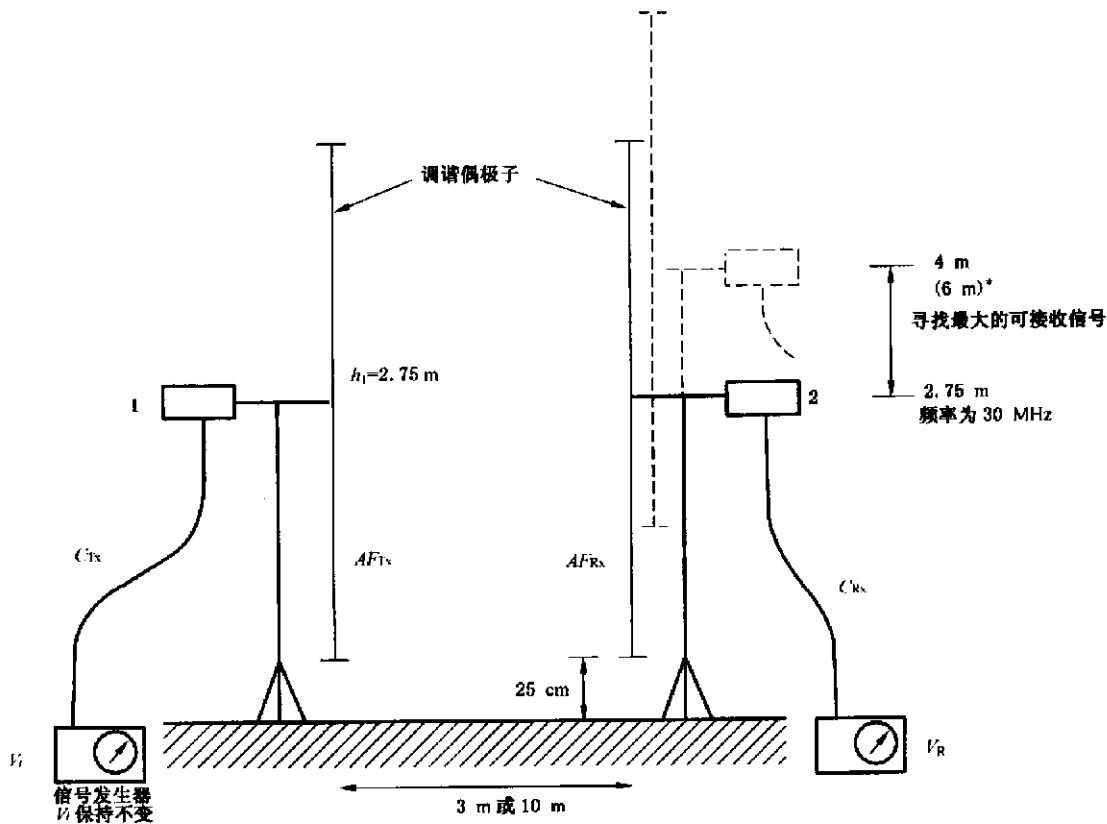




注 1: \* 天线相距 30 m 时适用。

注 2:  $V_R$  为信号发生器(1)和测量接收机(2)相连和不相连时的读数。

图 4 水平极化场地衰减的测量布置示意图(见 5.6 条和附录 E)



注 1: \* 天线相距 30 m 时适用。

注 2: 对于宽带天线,  $h_{1\min} = h_{2\min} = 1\text{ m}$ 。

注 3: 频率大于 30 MHz 时,  $h_2$  的调节范围见表 E.3。

图 5 垂直极化场地衰减的测量布置示意图(见 5.6 条和附录 E)

表中的文字说明如下：

$R$ ——发射天线和接收天线在地平面上投影之间的水平距离，m；

$h_1$ ——发射天线中心离地平面高度，m；

$h_2$ ——接收天线中心离地平面高度（在此高度扫描范围中的最大接收信号用于 NSA 测量），m；

$f_m$ ——频率，MHz；

$A_N$ ——NSA（见下面的式（1））。

注：对于对数周期振子天线，该距离  $R$  是指每个天线长轴中点在地面上投影之间的距离。

建议首先进行水平极化的 NSA 测量。因为用这种方法寻找场内的不规范点不像垂直极化那么敏感，因而测得的 NSA 很容易落入表 E. 1、表 E. 2 和表 E. 3 规定值的  $\pm 4$  dB。如果测量值超过了规定表中规定的值，则应重新检查测量技术、测量设备/系统和天线系数的校准等方面是否存在问题。如果检查之后测量结果仍然超出  $\pm 4$  dB 的限值，那么在进行垂直极化的 NSA 测量之前，先要标出明显的试验场地不规范之处，使其容易识别并予以修正。

### 5.6.1 一般的 NSA 测量方法

对于每一种极化方向的 NSA 测量，要想确定 NSA 就必须知道 2 次不同测量得到的接收天线的终端电压 ( $V_R$ )。  $V_R$  的第一次读数是将两个电缆各自与其相连的天线断开，然后用一个转换器将它们连接起来之后测得的；第二次读数是将两根电缆各自重新与天线相连、天线进行高度扫描后测量得到的最大值。（测量距离为 3 m 和 10 m 时，该高度扫描范围为 1 m~4 m；测量距离为 30 m 时，高度扫描范围为 1 m~4 m 或 2 m~6 m。）这两次测量中，信号源电压  $V_i$  应保持不变。  $V_R$  的第一次读数记为  $V_{\text{DIRECT}}$ ，  $V_R$  的第二次读数记为  $V_{\text{SITE}}$ 。将它们代入式（1），即可得到 NSA 的测量值。

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

式中：

$AF_T$ ——发射天线系数，dB；

$AF_R$ ——接收天线系数，dB；

$\Delta AF_{\text{TOT}}$ ——互阻抗修正系数，dB。

式（1）前面的两项分别代表场地衰减的测量值，也就是说，  $V_{\text{DIRECT}}$  减去  $V_{\text{SITE}}$  等于经典意义上的场地衰减，这是由包括天线特性在内的传输路径的插入损耗造成的。互阻抗修正系数  $\Delta AF_{\text{TOT}}$  的理论值由表 E. 4 给出。  $AF_T$  和  $AF_R$ ，只有经过测量才能得到。

注意到：

$$V_{\text{DIRECT}} = V_i - C_T - C_R \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$C_T, C_R$ ——电缆损耗，dB；

上式中，  $C_T$  和  $C_R$  不需分别测量。另外，表 E. 4 中的互阻抗修正系数只推荐用于测量距离为 3 m 的试验场地的水平极化、且使用半波调谐偶极子的场合。

为了完成 NSA 测量，可以采用两种测量方法。选用哪种测量方法取决于所用的测量仪器以及天线的类型是宽带的还是调谐偶极子。如果能正确地使用附录 E，那么这两种方法所得到的结果基本相同。每一种方法简述如下：

#### a) 离散频率法

这种方法要求按照表 E. 1、表 E. 2 或表 E. 3 规定的频率依次进行测量。接收天线在每一个频率上，在表中规定的可调范围内找出最大的接收信号。将测得的值代入式（1），进而得到 NSA。附录 E 推荐了一种方法，用于实现数据的记录和 NSA 测量值的计算，并以此为基础来与理论值进行比较。

#### b) 扫描频率法

这种测量方法是用宽带天线来实现的。测量时还要使用一台具有峰值保持（最大保持）和贮存能力

的自动测量设备和一台跟踪信号发生器。测量过程中,应在其规定的范围内对所有频率和测量高度进行扫描或扫频。频率扫描的速度应比天线扫描的速度快得多。其他方面与 a) 相同。更多的详细内容在附录 E 中给出。

### 5.6.2 天线系数的确定

NSA 测量中需要准确的天线系数。一般来说;天线所附带天线系数是不够准确的,除非他们使用特殊的方法测量得到的。测量要求使用线性极化天线。附录 E 给出了一种有用的天线校准方法。制造商提供的天线系数也许已经考虑了安装在部件之间的平衡-不平衡变换器所引入的损耗。如果使用了可分离的平衡-不平衡变换器或一体化的电缆,那么就on须考虑它们的影响。附录 E 也给出了用于调谐半波偶极子的计算公式。

### 5.6.3 场地衰减的偏差

如果 NSA 的测量结果的偏差超出 $\pm 4$  dB,那么应首先检查下列环节:

- a) 测量程序;
- b) 天线系数的准确度;
- c) 信号源的漂移、接收机或频谱分析仪输入衰减器和读数的准确度。

检查完毕后,如果在上述 3 个环节中未发现差错,那么说明场地本身确实存在问题,并对可能导致场地变化的原因进行细致的调查研究。附录 F 给出了 NSA 测量中可能出现的误差。

需要注意的是:由于垂直极化测量通常更为精密,所以与水平极化测量的结果相比,采用这种具有更高的灵敏度的测量更能发现试验场地的不规范之处。需要检查的主要方面包括:

- a) 接地平板的尺寸和结构不合适;
- b) 场地周界附近有可能造成有害辐射的物体;
- c) 气候保护罩;
- d) 当转台表面具有导电性、且与接地平板等高时,转台周边与接地平板的不连续性;
- e) 接地平板上厚的电解质覆盖物;
- f) 接地平板上用于安放梯子的开口。

## 5.7 带有接地平板的试验场地的适用性

到目前为止,已经构造了许多不同类型的试验场地来进行辐射发射的测量。其中大多数都能够免受气候和周围环境电平的影响。这些场地包括:全天候的开阔试验场地和装有吸波材料的屏蔽室。

无论试验场地用什么样的构建材料,按 5.6 条规定所得到的单次的归一化场地衰减的测量结果都有可能反映不出这样一个可替换的试验场地的适用性。

为了对可替换的试验场地进行评价,建议使用以下的程序。它是通过在受试设备所占有的整个空间内进行多次 NSA 测量的基础上来实现的。所有的 NSA 测量的结果都应落入 $\pm 4$  dB 的误差预算中,才可认为该替换试验场地的适用性与开阔试验场地是等效的。

下面讨论涉及带有接地平板的可替换的试验场地。

### 5.7.1 可替换的试验场地的归一化场地衰减

对可替换的试验场地,只进行单次的 NSA 测量是不够的,原因是有可能拾取来自结构(建筑物)和/或安装在顶部和侧壁上的射频吸波材料的反射。出于对这种场地描述的需要,特对术语“试验空间”作如下定义:最大的受试设备或系统围绕其中心位置 360°旋转所形成的空间(例如,利用转台旋转而成)。要对场地进行水平极化和垂直极化的评估,如图 6a)和图 6b)所示,可能要求进行多达 20 次的场地衰减测量。即:水平面的 5 个位置(中心,左、右、前、后),两个极化方向(水平和垂直),和两个高度(水平极化时 1 m 和 2 m;垂直极化时 1 m 和 1.5 m)。

使用宽带天线来实施上述的测量时,测量距离是指相对于两个天线的中心之间的距离。发射天线和接收天线的振子应相互平行,并且与测量轴垂直。

对于垂直极化,发射天线所在的非中心的位置应在试验空间的周界上。而且,天线的低端应高于地

面 25 cm;对于最低的测量高度,也可能要求天线的中心要比 1 m 稍高。

对于左、右位置上的水平极化,如果吸波材料和其他结构与 EUT 周界之间的距离至少为 1 m,那么将天线的中心向试验空间的中心位置移动,使得天线的末端或者处于试验空间周界上,或者处在离开周界不超过试验空间的直径 10% 的位置上。前、后位置都应在试验空间的周界上。

满足下述条件,可以减少所要求的测量次数:

a) 如果吸波材料和其他结构离试验空间的后周界的距离大于 1 m,那么,后边位置上要进行的垂直极化和水平极化的测量可以被省略;

注:业已表明,靠近电介质表面放置的辐射发射源的电流分布会发生变化,它会对该位置上的辐射源的辐射性能产生影响。当受试设备靠近这些电介质的表面放置时,那么就需要进行附加的场地衰减测量。

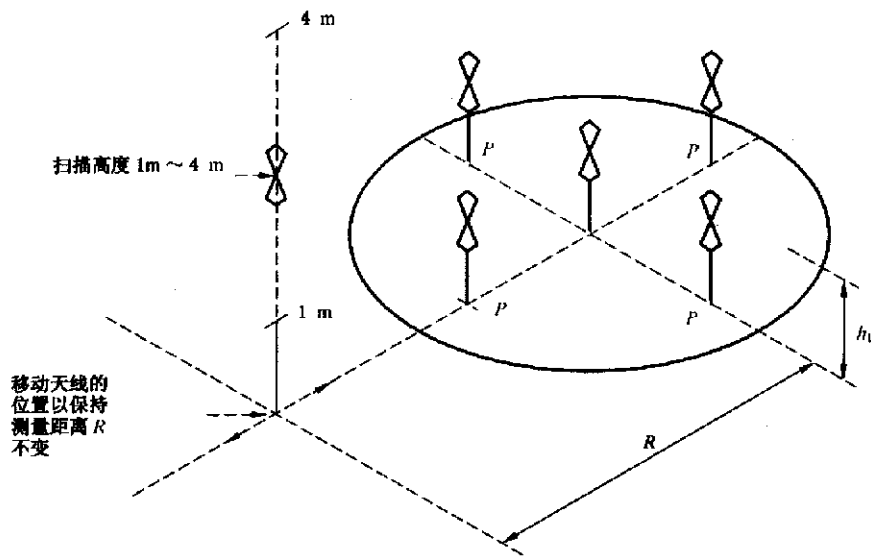
b) 如果天线的顶端至少能覆盖试验空间直径的 90%,那么试验空间左、右位置连接线上要进行的水平极化的数量就可减少到规定的最小数量;

c) 如果受试设备的顶部的高度(包括支撑桌子的高度)小于 1.5 m,那么,在 1.5 m 高度位置上要进行的垂直极化就可以被省略;

d) 如果试验空间的长宽高的尺寸(包括所用试验桌子的尺寸)不超过 1 m×1.5 m×1.5 m,那么只需在中心、前和后 3 个位置上进行水平极化测量,但同时要在 1 m 和 2 m 这 2 个高度上进行。如果也满足上述 a) 的条件,那么后面位置上的测量也可以省略。这样就只需要在最基本的 8 个位置上进行测量:一个高度 4 个位置上的垂直极化测量(前、左、中、右);再加上 2 个高度 2 个位置(前、中)共四点的水平极化测量。见图 6c 和图 6d。

进行 NSA 测量时,应按表 1 和表 2 维持发射天线和接收天线之间的距离不变。应注意:为了允许这样的 NSA 测量,表中的值已作了相应的修改和补充;增加了额外的天线高度;将测量距离 30 m 时的扫描高度限制在 1 m~4 m 的范围。移动接收天线时,天线必须沿着与转台中心的连线并保持其(与发射天线之间的)距离不变(见图 a、图 b、图 c 和图 d)。如果上述所有的 NSA 测量的结果都满足 5.7.2 的要求和下面 5.7.3 条对接地平板的要求,那么就可认为该替换试验场地对辐射发射的测量是适用的。

注:目前正在研究是否需要进一步的测量来确定替换场地的适用性。



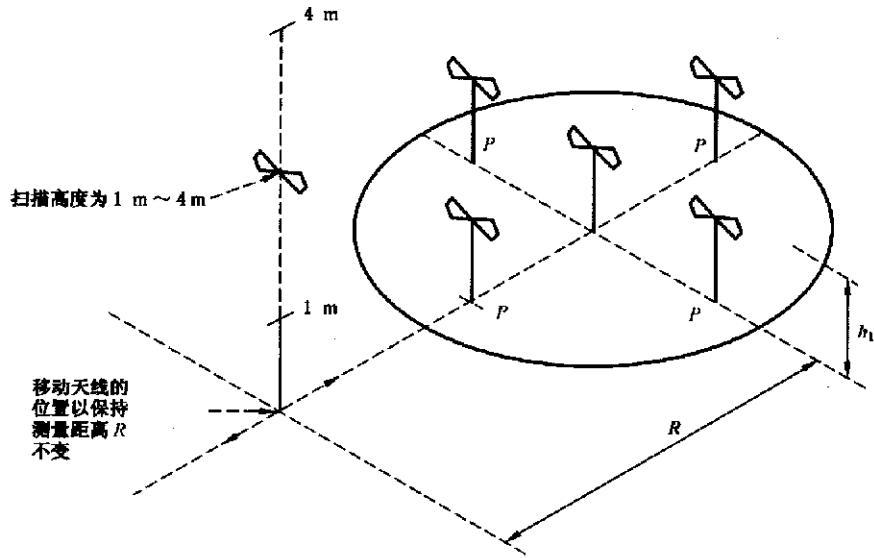
注:1) P 为受试设备旋转 360° 所得到的周界。

2)  $h_1$  为 1 m 和 1.5 m。

3) R 为发射天线和接收天线的中心垂直投影之间的距离。

a) 用于替换试验场地的垂直极化 NSA 测量时典型的天线位置的示意图

图 6 替换试验场地测量的典型天线位置

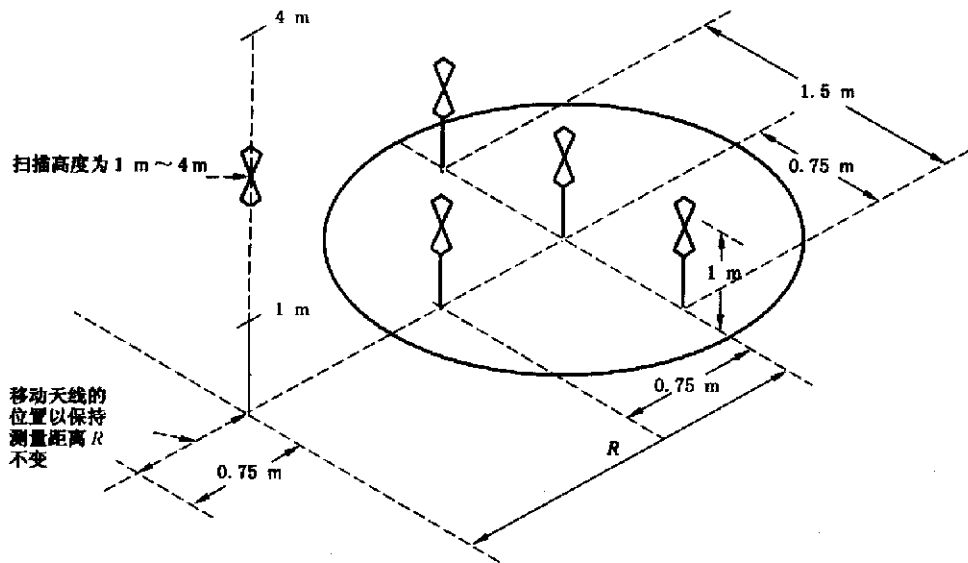


注:1)  $P$  为受试设备旋转  $360^\circ$  所得到的周界。

2)  $h_1$  为 1 m 和 2 m。

3)  $R$  为发射天线和接收天线的中心垂直投影之间的距离。

b) 用于替换试验场地的水平极化 NSA 测量时的典型天线位置的示意图

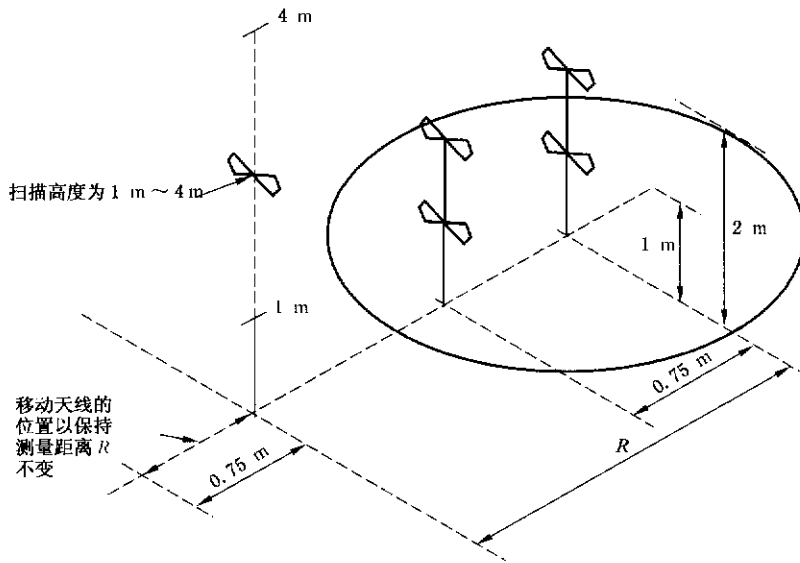


注:  $R$  为发射天线和接收天线的中心垂直投影之间的距离。

c) 用于替换试验场地的垂直极化 NSA 测量时典型的的天线位置的示意图

(受试设备的整体尺寸长宽高不超过  $1\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ , 受试设备后周界离可能引起反射的吸波材料和/或其他结构最近距离大于 1 m)

图 6 (续)



注:  $R$  为发射天线和接收天线的中心垂直投影之间的距离。

d) 用于替换试验场地的水平极化 NSA 测量时典型的天线位置的示意图

(受试设备的整体尺寸长宽高不超过  $1\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ , 受试设备后周界离可能引起反射的吸波材料和/或其他结构最近距离大于  $1\text{ m}$ )

图 6 (续)

### 5.7.2 场地衰减

如果其垂直极化和水平极化的 NSA 测量结果都落入理想场地的归一化场地衰减的理论值的  $\pm 4\text{ dB}$  以内, 那么就认为该场地对于辐射电磁场的测量是可接受的。

### 5.7.3 导电接地平板

在辐射发射试验场地上, 要求使用可导电的接地平板。该导电接地平板的尺寸应至少超过受试设备的周界以及最大尺寸的测量天线  $1\text{ m}$ , 并且应能覆盖受试设备和测量天线之间的全部区域。导电接地平板上应无长度尺寸超过最高测量频率对应波长十分之一的孔洞和缝隙。如果 NSA 测量的结果没有满足  $\pm 4\text{ dB}$  准则, 那么可能要求使用更大尺寸的导电接地平板。

注: 目前的研究表明有必要规定导电接地平板的最小尺寸。

表 1 归一化场地衰减

(所推荐的几何尺寸适用于半波偶极子天线, 水平极化)

极化	水平	水平	水平
$R$	3 m	10 m	30 m
$h_1$	2 m	2 m	2 m
$h_2$	1 m~4 m	1 m~4 m	1 m~4 m
$f_m/\text{MHz}$	$A_N/\text{dB}$		
30	11.0	24.1	41.7
35	8.8	21.6	39.1
40	7.0	19.4	36.8
45	5.5	17.5	34.7
50	4.2	15.9	32.9
60	2.2	13.1	29.8

表 1(续)

极化 R $h_1$ $h_2$	水平 3 m 2 m 1 m~4 m	水平 10 m 2 m 1 m~4 m	水平 30 m 2 m 1 m~4 m
$f_m$ /MHz	$A_N$ /dB		
70	0.6	10.9	27.2
80	-0.7	9.2	27.2
90	-1.8	7.8	23.0
100	-2.8	6.7	21.2
120	-4.4	5.0	18.2
140	-5.8	3.5	15.8
160	-6.7	2.3	13.8
180	-7.2	1.2	12.0
200	-8.4	0.3	10.6
250	-10.6	-1.7	7.8
300	-12.3	-3.3	6.1
400	-14.9	-5.8	3.5
500	-16.7	-7.6	1.6
600	-18.3	-9.3	0
700	-19.7	-10.6	-1.4
800	-20.8	-11.8	-2.5
900	-21.8	-12.9	-3.5
1 000	-22.7	-13.8	-4.5

表 2 归一化场地衰减<sup>1)</sup>

(所推荐的几何尺寸适用于宽带天线)

极化 R $h_1$ $h_2$	水平 3 m 1 m 1 m~4 m	水平 10 m 1 m 1 m~4 m	水平 30 m 1 m 1 m~4 m	垂直 3 m 1 m 1 m~4 m	垂直 3 m 1.5 m 1 m~4 m	垂直 10 m 1 m 1 m~4 m	垂直 30 m 1 m 1 m~4 m
$f_m$ /MHz	$A_N$ /dB						
30	15.8	29.8	47.8	8.2	9.3	16.7	26.0
35	13.4	27.1	45.1	6.9	8.0	15.4	24.7
40	11.3	24.9	42.8	5.8	7.0	14.2	23.5
45	9.4	22.9	40.8	4.9	6.1	13.2	22.5
50	7.8	21.1	38.9	4.0	5.4	12.3	21.6
60	5.0	18.0	35.8	2.6	4.1	10.7	20
70	2.8	15.5	33.1	1.5	3.2	9.4	18.7

表 2 (续)

极化	水平	水平	水平	垂直	垂直	垂直	垂直
R	3 m	10 m	30 m	3 m	3 m	10 m	30 m
$h_1$	1 m	1 m	1 m	1 m	1.5 m	1 m	1 m
$h_2$	1 m~4 m	1 m~4 m	1 m~4 m	1 m~4 m	1 m~4 m	1 m~4 m	1 m~4 m
$f_m$ /MHz	$A_N$ /dB						
80	0.9	13.3	30.8	0.6	2.6	8.3	17.5
90	-0.7	11.4	28.8	-0.1	2.1	7.3	16.5
100	-2.0	9.7	27	-0.7	1.9	6.4	15.6
120	-4.2	7.0	23.9	-1.5	1.3	4.9	14.0
140	-6.0	4.8	21.2	-1.8	-1.5	3.7	12.7
160	-7.4	3.1	19	-1.7	-3.7	2.6	11.5
180	-8.6	1.7	17	-1.3	-5.3	1.8	10.5
200	-9.6	0.6	15.3	-3.6	-6.7	1.0	9.6
250	-11.7	-1.6	11.6	-7.7	-9.1	-0.5	7.7
300	-12.8	-3.3	8.8	-10.5	-10.9	-1.5	6.2
400	-14.8	-5.9	4.6	-14.0	-12.6	-4.1	3.9
500	-17.3	-7.9	1.8	-16.4	-15.1	-6.7	2.1
600	-19.1	-9.5	0	-16.3	-16.9	-8.7	0.8
700	-20.6	-10.8	-1.3	-18.4	-18.4	-10.2	-0.3
800	-21.3	-12.0	-2.5	-20.0	-19.3	-11.5	-1.1
900	-22.5	-12.8	-3.5	-21.3	-20.4	-12.6	-1.7
1 000	-23.5	-13.8	-4.4	-22.4	-21.4	-13.6	-3.5

1) 表中给出的数据应用于天线垂直极化时,当天线中心距地面 1 m,天线低端至少距地面 25 cm。

### 5.8 无接地平板的试验场地的适用性

30 MHz~1 000 MHz 无接地平板的场地适用性的判定程序如下。

5.8.1 有关自由空间试验场地方面的测量考虑(在其内部全部安装了吸波材料的屏蔽室被认为是这样的场地)

内部全部加装了吸波材料的屏蔽室(也被称作“全电波暗室”(FAC),或“全电波室”(FAR))可用于辐射发射测量。当使用 FAR 时,应在相关的标准(通用标准、产品或产品类标准)中规定适用的辐射发射限值。应以与 OATS 上的试验相似的方法来制定符合 FAR 试验的无线电业务保护要求(限值)。

FAR 旨在模拟自由空间,使得只有来自发射天线或受试设备的直射波能够到达接收天线。通过在六面使用合适的吸波材料应能使所有的非直射波和反射波减到最小。

#### 5.8.2 场地性能

可以通过下面的两种方法来确认场地。一种叫作场地参考法,另一种叫作 NSA 法。



5.8.2.1 归一化衰减的理论值

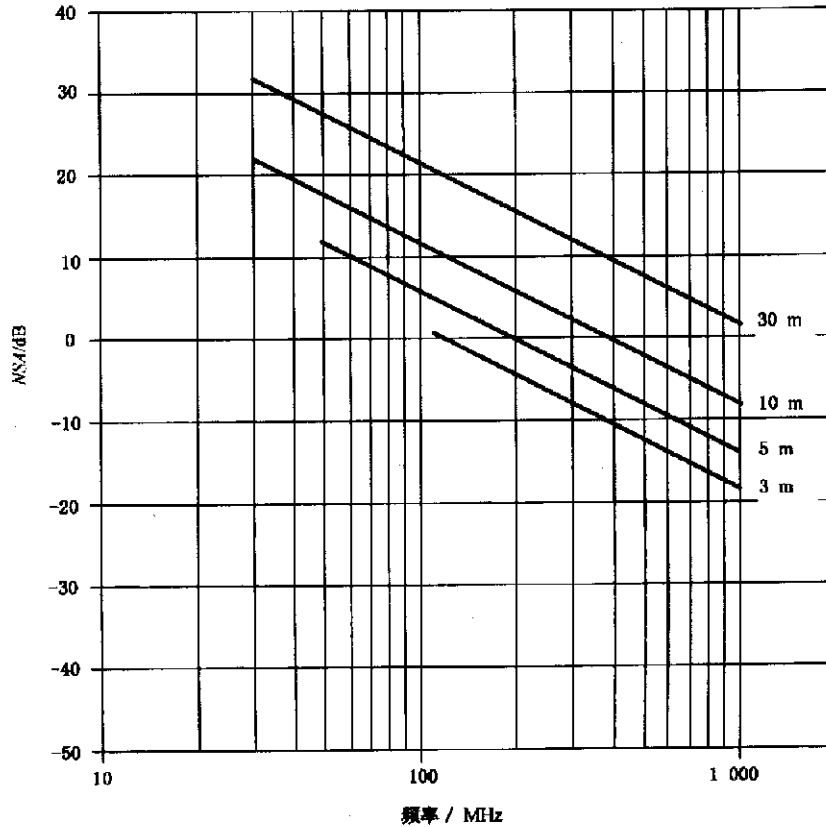


图 7 对于不同的测量距离,作为频率函数的理想自由空间中的 NSA 理论曲线图(见式(5))

注: 3 m 法 110 MHz 以下和 5 m 法 60 MHz 以下的频率特性包含了近场的效应。对于每一个单独的试验场地,近场效应都必须计算在内。

以下叙述的 NSA 的理论适用于无限小的天线。

对于一个特定的试验场地,所谓场地衰减(SA)就是在两个天线连接器之间测得的传输损耗。对于一个自由空间的环境来说,SA(dB)可以近似地用式(3)来表示:

$$SA = 20 \lg \left[ \left( \frac{5Z_0}{2\pi} \right) \left[ \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right] \right] - 20 \lg f_m + AF_R + AF_T \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

$AF_R$ 、 $AF_T$ ——分别为发射天线和接收天线的系数, dB /m;

$d$ ——两天线相位中心之间距离, m;

$Z_0$ ——参考阻抗(即 50  $\Omega$ ),  $\Omega$ ;

$\beta$ ——由  $2\pi/\lambda$  来确定;

$f_m$ ——频率, MHz。

由于 NSA 的理论值(dB)是由场地衰减减去相应的天线系数来确定的,因此:

$$NSA_{inc} = 20 \lg \left[ \left( \frac{5Z_0}{2\pi} \right) \left[ \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right] \right] - 20 \lg f_m \quad \dots\dots\dots(4)$$

对于 3 m 法 110 MHz 以下和 5 m 法 60 MHz 以下的频率,通过与图 7 和式(4)的理论 NSA 的比较,需要对表 3 中所要求的每一个测量位置应用近场修正系数。近场修正系数对所用的天线、测量距离

和试验空间都是特定的,因此必须通过诸如 NEC 这样的数字模型的计算来获得。5.8.2.2.1 条提供的场地参考法中,如果在同一个频率上使用相同的天线,那么,对于场地参考法和 FAR 的确认,式(3)的近场修正项就可去掉。

对于 10 m 法和 30 m 法,式(4)中的近场项可以被省略,进而式(4)可简化为:

$$NSA_{\text{calc}} = 20 \lg \left[ \frac{5Z_c d}{2\pi} \right] - 20 \lg f_m \quad \dots\dots\dots (5)$$

如果使用简化后的式(5),而不是式(3),那么在 3 m 法 110 MHz 以上和 5 m 法 60 MHz 以上的频率所引入的误差小于 0.1 dB。在上述频率以下,由于近场效应引入的误差将会大于 0.1 dB。具体到 3 m 法,在 30 MHz 产生最大的误差为 1 dB。为了减少这些误差,应使用式(3)。

5.8.2.2 场地确认程序

在一个圆柱体的试验空间(由转台上的受试设备旋转而成)内,NSA 应满足 5.8.3 条的要求。这里所指的“受试设备”包括了所有的多单元的受试设备的组件以及它们之间的连接电缆。表 3 给出了作为测量距离的函数的试验空间的最大高度和最大直径( $h_{\text{max}} = d_{\text{max}}$ )。测量距离和高度这样一个比值可以确保在受试设备发射测量中有一个可接受的不确定度。

表 3 相对于测试距离试验空间的最大尺寸

试验空间的最大高度 $h_{\text{max}}$ 和最大直径 $d_{\text{max}}$ m	测试距离 $D_{\text{nominal}}$ m
1.5	3.0
2.5	5.0
5.0	10.0

单一位置的 SA 测量可能不足以拾取来自 FAR 结构(建筑物)和/或安装在其侧壁、地板和顶部以及转台上的吸波材料的反射。

因此,全电波暗室的 SA 测量和确认应在试验空间中的 15 个测量位置上、发射天线分别处于垂直极化和水平极化的情况下来进行(见图 10)。

- a) 在试验空间的底部、中部和顶部 3 个高度上;
- b) 在所有的(3 个)水平面内的 5 个位置上;每个平面的中心、前、后、左、右。如果后面位置与吸波材料的距离大于 0.5 m,那么后面位置上的测量就可省略。在受试设备的试验过程中,如果转台上后面的位置也可以转到前面,那么后面反射的贡献也不会影响最大的信号。

为了测量 SA,应使用两副宽带天线。其中发射天线放在试验空间需要测量的位置上,其参考点的投影与该位置重合;接收天线放在试验空间以外,其方位和位置如前所述。发射天线应具有近似的全向 H-面方向图。(对于 3 m 法,天线的最大尺寸不得超过 40 cm,对于较大的测量距离,天线的尺寸可以按照比例相应的增大。)

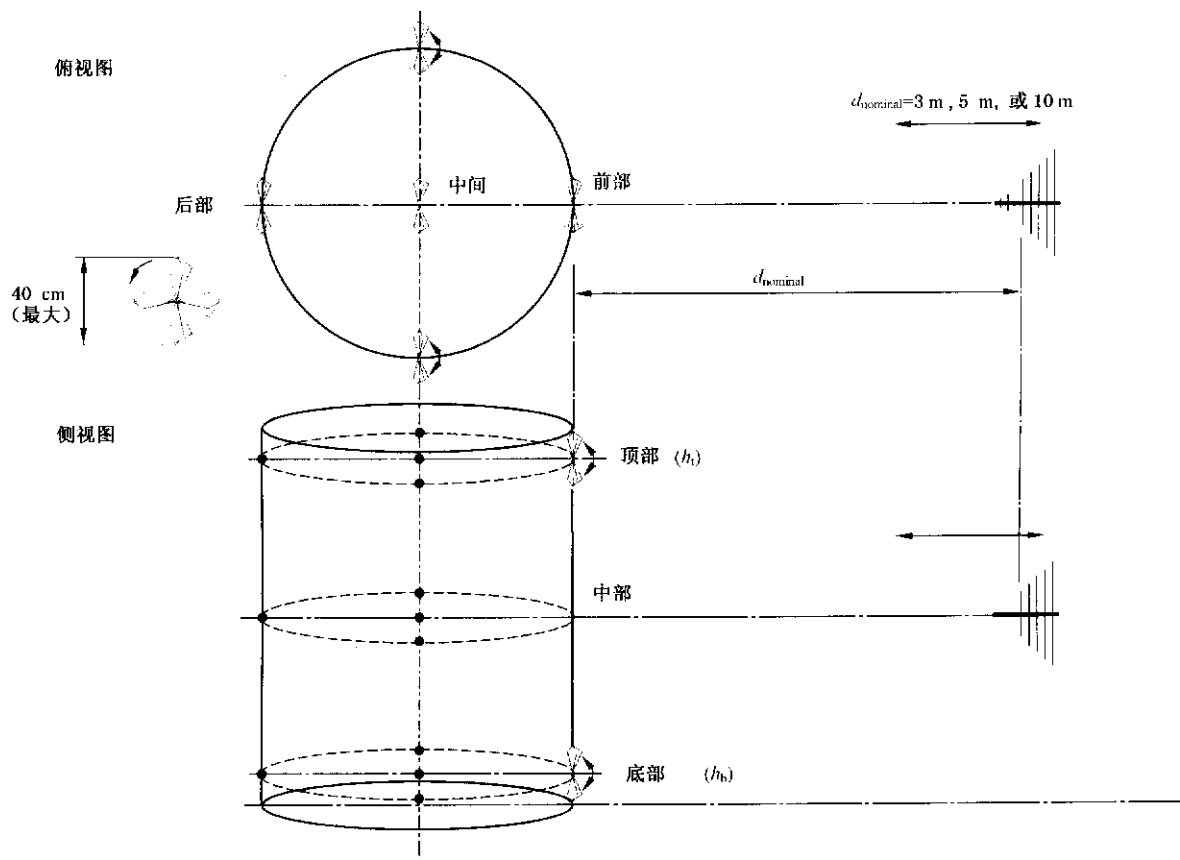
在 30 MHz~1 000 MHz 的频率范围,典型的宽带接收天线是复合天线(双锥天线和 LPD 的组合)。或者是在 30 MHz~200 MHz 使用双锥天线,在 200 MHz~1 000 MHz 使用 LPD。

注:由于双锥天线和 LPD 的组合成的物理尺寸较大,无论是测量距离为 3 m 的发射试验还是电波暗室的场地确认,都不推荐使用这些复合天线(双锥天线和 LPD 的组合)。

在 FAR 上测量 SA 应与在准自由空间上测量参考 SA 时(5.8.2.2.2)所使用的设备(天线、电缆、铁氧体、衰减器、放大器、信号发生器和测量接收机)全部相同。进行场地确认时所用的接收天线应与对受试设备进行辐射发射测量时所用的接收天线的类型完全一致。

对于试验空间在水平和垂直两个极化方向上、其内放置发射天线的所有位置上的场地确认,应设置 FAR 中接收天线所在的高度,并且应将其固定在试验空间高度的一半的位置上,见图 8 和图 9。应倾斜

天线来使得两天线的视轴与测量轴(即发射天线和接收天线之间连线)在一条线上。测量轴上接收天线参考点与试验空间前点之间的距离表示为  $d_{\text{nominal}}$ 。当发射天线移动到试验空间的其他位置时,应沿着测量轴移动接收天线以维持  $d_{\text{nominal}}$  不变。对于所有的测量位置和极化方向,相互平行的带有振子的接收天线和发射天线必须面对着面(呈倾斜状,见图 9)。在场地确认过程中,任意一个天线座和天线支撑物都应该各就各位。



注: 1)  $d_{\text{nominal}}$  - 天线参考点之间的固定距离。

2) 该布置中,采用水平极化和垂直极化两种方式进行测量。

图 8 场地确认程序所规定的测量位置示意图

对于所有的在试验空间内放置发射天线的位置上、以及垂直和水平极化 2 个方向上,都应将发射天线和测量天线放在测量轴上。

在某些位置上,为满足上述的要求,有必要将天线倾斜放置(见图 9)。

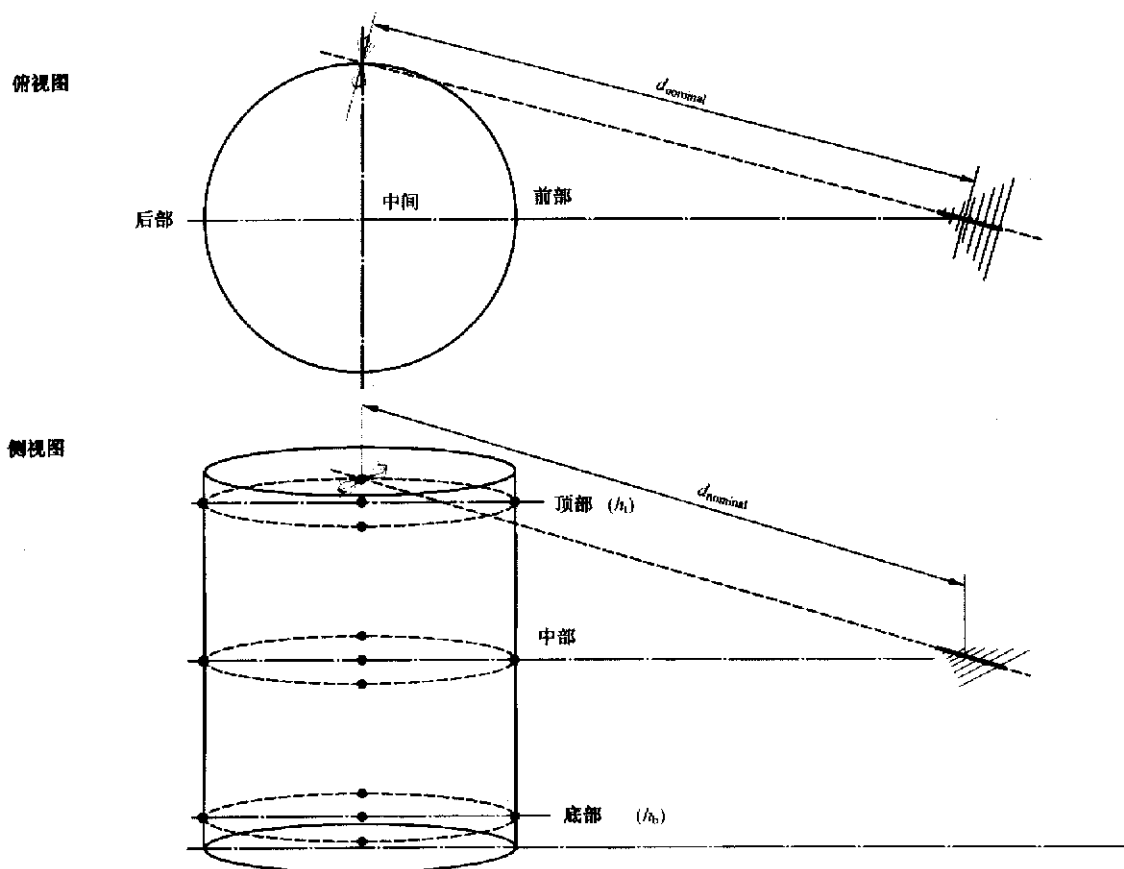
$d_{\text{nominal}}$  是与限值有关的测试距离;或者是确认程序所规定的天线之间的固定距离;或者是天线校准程序中规定的天线之间的间隔。

应按下述要求来确定发射天线在试验空间中的摆放位置:

——“中间”,其可能沿着 FAR 的半高和半宽位置的虚拟的轴线;

——“顶部”(  $h_t$  )和底部(  $h_b$  ),为  $h_{\text{max}}$  (见表 3)的一半减去发射天线大小的一半(例如,对于小的双锥天线为 20 cm)。

上述要调整的位置对于垂直极化和水平极化都适用。试验空间的顶部与 FAR 顶部的吸波材料的距离、试验空间的底部与地面放置的吸波材料之间的距离分别由试验空间的 NSA 试验所确定的吸波材料的性能给出,但至少为 0.5 m,以避免受试设备与吸波材料之间的耦合。



注：天线水平极化，位于右顶端。

图 9 场地确认程序所规定的测量位置和天线倾斜放置的一个示例

表 4 中列出了离散频率法测量中应采用的最大的频率步长。

表 4 相应于频率范围的步长

频率范围/MHz	最大步进频率/MHz
30~100	1
100~500	5
500~1 000	10

对于场地的确认，可以使用下面两种方法：

- a) 场地参考法，适用于小于 5 m 的测量距离；
- b) NSA 法，适用于不小于 5 m 的测量距离。

SA 测量方法旨在提供与理想场地所进行的测量时的 0 dB 偏差。只要这些与所规定的试验布置和程序或者隐含的场地缺陷不冲突，如平滑谐振，那么就允许使用任何测量方法以降低测量的不确定度。

采用下述方法可以降低场地确认方法的测量不确定度。

- 当天线垂直极化时，屏蔽电缆应在其离开天线垂落到地面之前至少应有 2 m 长的距离。如果可能，应将该电缆直接放入 FAR 侧壁的管状的连接器当中。另一种可行的方法是在电缆上加装铁氧体。还有一种减少电缆影响的办法是使用光缆连接。
- 在天线连接器端接衰减器(如 6 dB 或 10 dB)可以减少天线因大的阻抗失配带来的影响。
- 使用安装有性能良好的平衡-不平衡转换器的天线(当天线相对于其视轴旋转 180°时，接收机

读数的变化不超过 $\pm 0.5$  dB。4.4.2条描述了检验天线平衡的方法)。

——如果独立的双锥天线和LPD天线(在频率达到200 MHz时,变换天线的类型)用于受试设备的试验,那么对FAR进行评估时可以使用这些天线。如果相对于测量距离,复合天线(双锥天线/LPD天线的复合)的机械尺寸足够的小,那么也可以使用复合天线对FAR进行评估。

应按规定的间隔实施FAR的场地确认程序,以检测出FAR特性长期变化的状况。当场地的改变可能会影响FAR内电磁波传输特性时,也应对场地进行确认。

#### 5.8.2.2.1 场地参考法(SRM)

场地参考法要求以在准自由空间场地上用一对天线(发射天线和接收天线)进行的SA测量作为参考。5.8.2.2.2条给出了参考场地衰减( $SA_{ref}$ )的确定程序。该方法考虑了天线间的互耦合和近场效应,这些因素可以对3 m法的测量结果产生显著的影响。在(发射天线和接收天线之间的)标称距离 $d_{nominal}$ 上来进行参考场地衰减 $SA_{ref}(d)$ 的测量。

按下面3个步骤来进行场地的确认,该方法适用于试验空间的所有位置。

1)  $M_0$  为一系列的空间试验测量开始之前,将电缆连接在一起时用测量接收机测得的参考电平,正常情况下 $M_0$ 只测一次,  $\text{dB}\mu\text{V}$ ;

2)  $M_1$  为连接天线后用测量接收机测得的电平,  $\text{dB}\mu\text{V}$ ;

被确认场地的场地衰减 $SA_{val}$  (dB)可以由式(6)计算。

$$SA_{val} = M_0 - M_1 \quad \dots\dots\dots (6)$$

3) 测得的场地衰减与参考场地衰减 $SA_{ref}(d)$  (dB)的偏离( $\Delta SA$ )由式(7)计算,单位dB。

$$\Delta SA = SA_{ref}(d) - SA_{val}(d) \quad \dots\dots\dots (7)$$

#### 5.8.2.2.2 场地参考法的确定

为了得到小于5 m测量距离上的准确的场地确认,建议使用一对专用的天线(发射天线和接收天线)来确定场地参考。要求有一个准自由空间的试验场地。它由2个非金属天线架构成( $\epsilon_r \leq 2.5$ 的木质或塑料材料的,低损耗,保持机械强度下直径尽可能地小),允许在地平面之上的一定高度上放置天线(见图10)。一种可行的能够获得 $\pm 1$  dB的场地性能认可的方法是选择如下的天线高度:

$$h \geq d \times 8/3 \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$d$ ——两天线之间的间隔。

为了抑制地面的影响,推荐天线的高度为 $h = d \times 8/3$ ,或需要在地面上放置可工作到低至30 MHz的吸波材料。

注:测量距离为3 m、频率为30 MHz时,存在一个近场影响项( $1/d^2$ ),当天线高度为 $d \times 5/3$ 时,其产生的误差为0.8 dB。这种情况已经得到英国和奥地利国家实验室的验证。如果地面上不放任何的吸波材料,要想得到一个不确定度小于 $\pm 0.5$  dB的场地参考,那么推荐的天线高度为 $d \times 8/3$ 。

上述的测量距离 $d$ 应等于实际中的测量距离 $d_{nominal}$ (FAR中两个天线之间的距离)。天线应处于垂直极化方向(因为地面反射信号有较强的干扰,所以不应使用水平极化)。它可以提供一个良好的接近自由空间的场地。因为周围的建筑物,树木等可能对垂直极化的天线产生影响,所以天线距它们的空间距离应大于 $d \times 8/3$ 。

应注意,天线电缆不应影响测量结果。采用如图10所示的电缆布置或使用RF光电连接是避免天线电缆影响的最好办法。

参考测量的布置直接影响FAR评估结果。

按下述3个步骤来确定场地参考 $SA_{ref}$ 。

1)  $M_{ORS}$  为将电缆连接在一起时用测量接收机测得的参考电平,  $\text{dB}\mu\text{V}$ ;

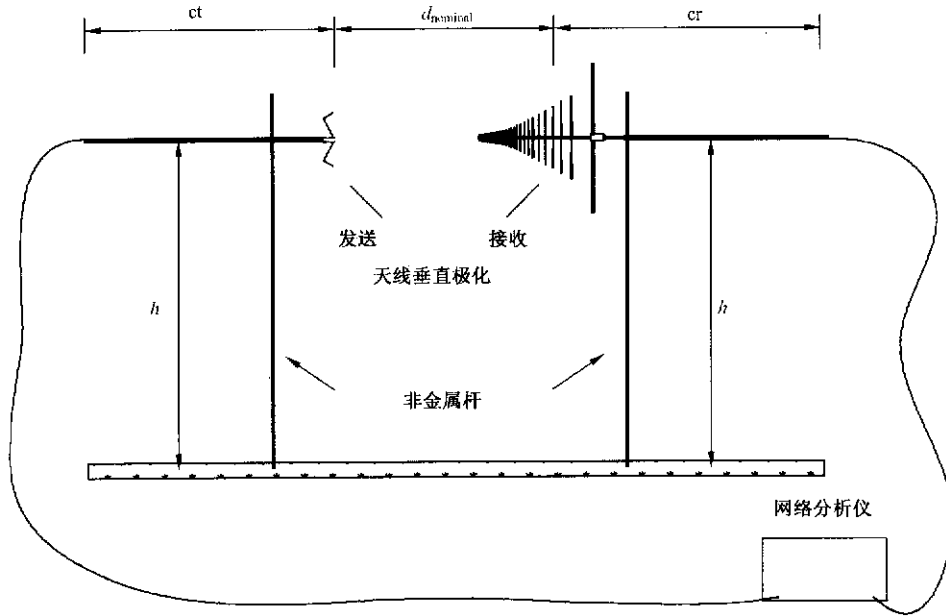
2)  $M_{IRS}(d)$  为在所要求的距离 $d_{nominal}$ ,连接天线后用测量接收机测得的电平,  $\text{dB}\mu\text{V}$ ;

3) 按式(9)来计算得到 $SA_{ref}(d)$  (dB),

$$SA_{ref}(d) = M_{ORS} - M_{IRS}(d) \quad \dots\dots\dots (9)$$

对于测量距离为3 m的场地确认,天线离地面的高度至少应为4 m,这个高度是进行发射测量中

所用到的对天线架进行遥控的典型高度。在这种情况下,电磁吸波材料应放在两个天线之间的地面上,其放置的最小面积应扩展到天线照射的所有方向之外,并且必须证明能够满足 5.8.1 条所规定的准自由空间条件。对于大于 3 m 的测量距离的场地确认,选用的天线高度将大于  $d \times 8/3$ ,或使用业已证明满足  $\pm 1$  dB 的参考场地衰减的可替换的试验布置。



- 注: 1)  $d_{\text{nominal}}$ : 确定距离。  
 2)  $h$ : 天线高于接地平面或地平面的高度。  
 3)  $ct, cr$ : 用于发送和接收天线的同轴馈电电缆, 取向垂直, 分别位于收、发天线之后, 如果实际情况允许应至少相距 2 m。在全电波暗室内, 电缆取向尽可能水平, 最好是直接穿过暗室的墙壁孔, 或使用光纤连接到与天线输出端相连的 RF 光电转换器。  
 4) 对图 8 的所有周界可分别得到场地参考。

图 10 自由空间场地参考测量的典型布置图

### 5.8.2.2.3 NSA 法

NSA 法要求使用发射天线和接收天线在自由空间中的天线系数(由 CISPR 系列标准中的有关天线校准的条款来定义)。按以下 4 个步骤在每一个测量位置上进行场地确认。

- 1)  $M_0$  为将电缆连接在一起时用测量接收机测得的参考电平,  $\text{dB}\mu\text{V}$ ;
- 2)  $M_1$  为连接天线后用测量接收机测得的电平,  $\text{dB}\mu\text{V}$ ;
- 3) 按式(10)来计算测得的 NSA( $\text{NSA}_m$ ),  $\text{dB}$ 。

$$\text{NSA}_m = M_0 - M_1 - AF_T - AF_R \dots\dots\dots(10)$$

式中:

$AF_T, AF_R$ ——自由空间中的天线系数,  $\text{dB}/\text{m}$ 。

- 4) 按式(11)来计算与  $\text{NSA}_{\text{calc}}$  的偏差  $\Delta\text{NSA}_m$ 。

$$\Delta\text{NSA} = \text{NSA}_m - \text{NSA}_{\text{calc}} \dots\dots\dots(11)$$

式中:  $\text{NSA}_{\text{calc}}$  由式(5)计算得到,  $\Delta\text{NSA}$  与 5.8.3 条规定的 NSA 准则, 如  $\pm 4$  dB 准则, 进行比较。

注: 发射天线和接收天线的参考点之间的距离必须为  $d_{\text{nominal}}$  (它是由天线校准所确定的)。由于天线相位中心的变化, 天线之间的有效距离随频率的变化而变化。通过有效距离和  $d_{\text{nominal}}$  之间的比可以补偿传输损耗。

### 5.8.3 场地确认准则

试验场地应满足下列要求：

- a) 在所有的测量频率和每一个测量位置以及水平和垂直两个极化方向上, SA 或 NSA 的偏差(分别由式(7)和式(11)得到)应小于 $\pm 4$  dB。
- b) 必须按 GB/T 6113.402 推荐的方法对场地评估过程中的不确定度预评估作出报告, 并且, 其评估分量(不确定度的输入量)应与带有接地平板的替换场地上进行的场强测量所要求的完全相同。

## 5.9 试验桌和天线塔影响的评估

### 5.9.1 概述

本部分 D.5 规定的试验桌用来放置场强测量中的 EUT。试验桌的形状、结构和材料的介电常数都会对场强的测量结果产生影响。5.9.2 给出了用来确定 30 MHz~1 000 MHz 频率范围内试验桌对场强测量的影响和评估其有关不确定度贡献的程序。

注：在评估中仅采用使试验桌上的发射天线处于水平极化的状态。因为这种方向的极化已考虑了试验桌最坏效应的情况。

由于天线塔的任何扰动的效应都会体现在 NSA 的测量中, 因此不需要再进行额外的评估。

### 5.9.2 试验桌影响的评估程序(台式设备)

试验桌的类型、形状和构成的材料都会影响场强的测量结果。应用评估程序来确定这种影响, 并由试验桌引入的标准不确定度进行评估。为了评估试验桌的影响, 应使用一特定的发射天线在有和没有试验桌的特定布置的情况下进行两次发射测量。这两次测量结果之差可给出试验桌影响的评估结果。该测量程序如下：

试验桌应放置在试验场地的典型位置上, 其最大尺寸(即矩形试验桌的对角线, 或圆形试验桌的半径)应面向接收天线方向(见图 11)。对于 1 000 MHz 以下的频率, 应在试验桌上放置总长度小于 0.40 m 的小的双锥天线, 并使其处于水平极化。试验桌的表面与平衡-不平衡转换器中心之间的距离为 0.1 m(见图 12)。放置小的双锥天线使其平衡-不平衡转换器的中点处于接收天线轴线上试验桌中心与桌子边缘之间的中点之上。将信号发生器输入信号馈给试验桌上的天线。频率的步进应小于或等于所使用的最高频率的 0.5%。天线的接收电压应至少高于测量设备的噪声电平 20 dB。接收天线的电缆应在其后部水平走线大约 2 m, 且电缆的高度应与天线的高度相同。铁氧体管应以合适的间隔放置在接收天线电缆上以免影响测量。

应在发射天线的位置保持不变的情况下先后进行(有和没有试验桌情况下的)两次发射测量, 通过接收天线来寻找最大电压  $V_r$ 。在 1 GHz 以下的频率范围, 应至少在 200 MHz<sup>3)</sup>~1 GHz 的频率范围内进行测量。对于 OATS 或 SAC, 接收天线要在 1 m~4 m 范围进行高度扫描; 但对于 FAR, 接收天线要放置在固定高度。

两次测量结果之差值  $\Delta(f)$  可由式(12)计算得到。

$$\Delta(f) = |V_{r/有} - V_{r/无}| \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中：

$V_{r/无}$ ——无试验桌时在特定频率测得的电压, dB( $\mu$ V);

$V_{r/有}$ ——有试验桌时在特定频率测得的电压, dB( $\mu$ V);

200 MHz~1 000 MHz 的最大差值可作为评估的最大偏差。

$$\Delta_{max} = \max |V_{r/有} - V_{r/无}|_{200 \text{ MHz} \sim 1 \text{ 000 MHz}} \quad (\text{dB}) \quad \dots\dots\dots(13)$$

由试验桌引入的标准不确定度  $u_{\text{试验桌}}$  可由测得的最大差值  $\Delta_{max}$  来进行评估, 并假设为矩形分布。因此  $u_{\text{试验桌}}$  (单位: dB) 可由式(14)计算得到。

3) 对于 200 MHz 以下的频率范围, 应用此验证程序, 试验桌的影响可忽略。

$$u_{\text{试验桌}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \Delta_{\text{max}} \dots\dots\dots(14)$$

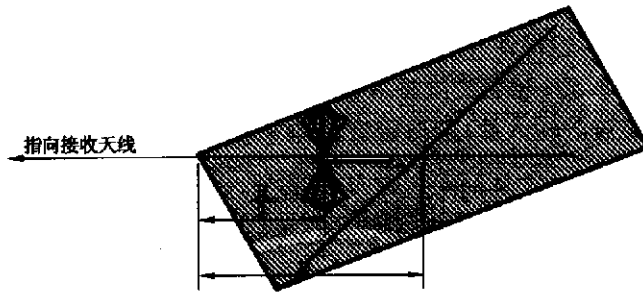


图 11 矩形试验桌上天线相对于试验桌边缘的位置(俯视)示意图

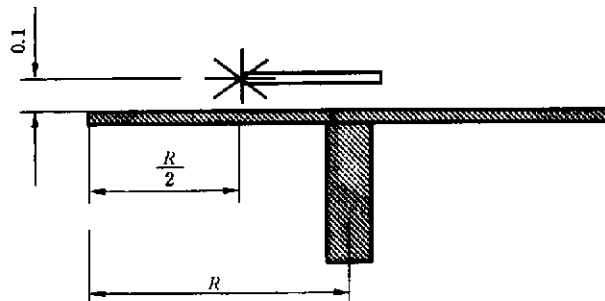


图 12 试验桌上天线的位置(侧视)示意图

注：试验室会使用不同类型的试验桌，因此其结构和材料的类型也会有所不同。应充分地来确定最坏情况下的  $\Delta$ (或  $V_{r,有}$ )，从而来确定  $u_{\text{试验桌}}$ 。

5.9.3 试验桌影响的评估程序(落地式设备)

对于落地式设备，试验桌应使用非导电性、低介电常数的材料来构造。如果试验桌的周界小于或等于受试设备投影在地面上的区域，则不要求对试验桌进行评估。

6 用于总辐射功率测量的混响室

对一些工作在微波频率范围的设备，由于存在易受设备工作条件及其周边环境复杂三维场分布的影响，因此辐射总功率的测量被认为是与骚扰控制有关的重要参数。可将设备放置于一个金属墙面的合适腔体中测量，为了避免驻波效应在腔体内产生的非均匀电磁能量密度分布，腔体内安装有搅拌器。在适当的(搅拌器)尺寸、形状和位置条件下，腔体中任意位置上的能量密度随相位、幅值和极化按固定的统计分布规律随机变化。

6.1 腔体

6.1.1 尺寸与形状

混响室的线尺寸应大于最低频率所对应的波长。它还应该足够大以容纳受试设备、搅拌器和测量天线。微波设备的尺寸小到体积约为 0.2 m<sup>3</sup> 的台式烤箱，大到高为 1.7 m、底座为 760 mm 的大型装置。混响室的形状除三维尺寸为相同数量级外没有特别要求，且三维尺寸最好是不同的。若最低测试频率为 1 GHz，那么要求混响室的体积至少为 8 m<sup>3</sup>。混响室的实际尺寸最终取决于其物理特性。混响室的适用性测试方法见 6.1.4。

混响室的墙壁和搅拌器均应为金属的。各金属部件之间机械连接应很好且沿整个长度方向具有很低的电阻。各连接部件的表面应无腐蚀。混响室内不放置如木材等吸波材料。



### 6.1.2 门、墙壁开孔和安装支架

混响室的门应该足够大以容纳操作者和设备的进出。门应朝外开,且应安装紧密以使能量的泄露最小。为方便混响室内发射与接收天线的安装,安装支架可安装在混响室的内壁上。

### 6.1.3 搅拌器

以下描述了两种搅拌器的例子。其他形状的搅拌器在搅拌效率满足 6.1.4 规定的条件下也是允许的。

#### 6.1.3.1 旋转翼

若使用旋转翼,那么两个翼片安装在混响室内相邻的两个墙面上,与墙面相距至少  $1/4$  个最大使用波长,翼片应具有足够的厚度以保证结构强度。旋转翼应选取壁面尺寸允许的最大长度,其宽度通常为长度的  $1/5$ 。

#### 6.1.3.2 旋转桨

若使用旋转桨,那么可在混响室墙壁上安装 2~3 个旋转桨叶。桨叶间互成直角,旋转桨的形状可参见图 13,围绕与其长度方向平行的轴旋转。旋转筒状空间的直径应至少等于最大使用波长,且长度应为墙面尺寸所允许的最大尺寸,结构上应保证一定的强度。

单位为毫米

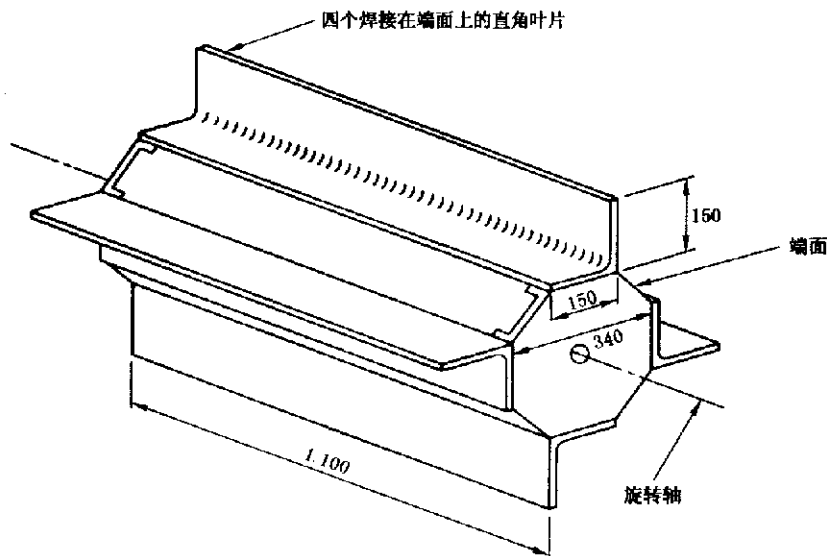


图 13 典型的桨叶搅拌器举例

#### 6.1.3.3 旋转速度

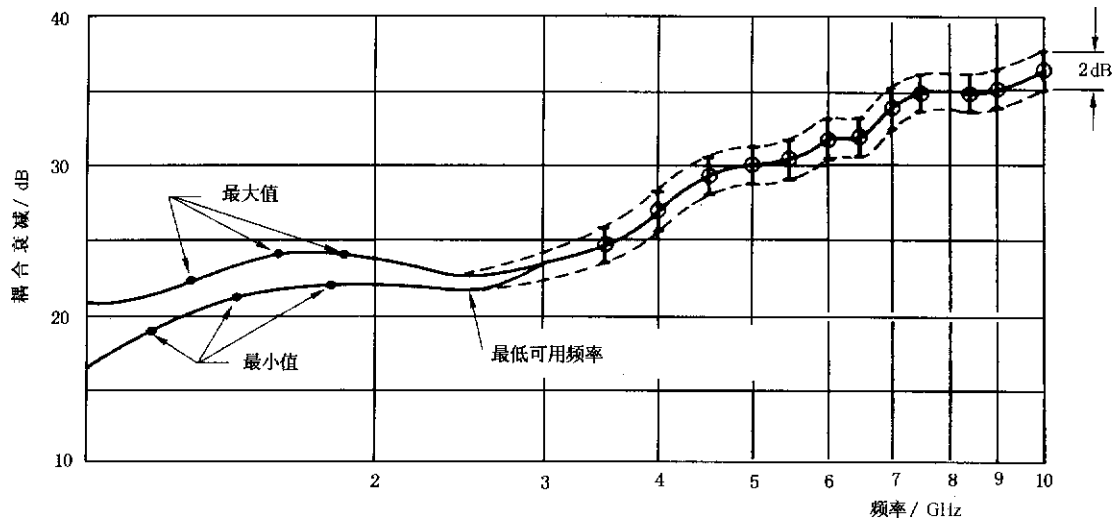
搅拌器的旋转速度应不同。旋转一周的最长时间应小于测量仪器测量时间之和的  $1/5$ 。对于 6.1.5 中所描述的测试设备,转速在 50 rev/min 和 200 rev/min 之间较为合适。用于驱动搅拌器的电动机,连同其减速装置,最好安装在混响室的墙外。

#### 6.1.4 搅拌器效率的测试

混响室中所期望的能量的均匀分布由耦合衰减(在 6.1.5 中描述)随频率变化的平滑性来表示。在低频段,由于波长较长,更难获得这种均匀性,耦合衰减存在明显的最大值和最小值。搅拌器的效率越高,随频率变化的最大值和最小值之差就越小,从而使可用频率更低。

在混响室的整个可用频段上测量耦合衰减,在可观察到最大值和最小值的低频段,应间隔 100 MHz 测量一个点。然后接收天线保持固定,发射天线以  $45^\circ$  的间隔进行旋转,在上述每一个位置、每一个频率点上重复进行测试。之后将接收天线旋转  $90^\circ$ ,重复整个测试过程。当搅拌器满足下列条件时可认为是满足要求的。(1) 发射天线在任何位置时,曲线的最大值和最小值包络不超过 2 dB。

(2) 四条曲线的平均值在 2 dB 的包络之内或更小。如图 14 所示为典型的测试结果。



注：所有测试点均应落在以虚线表示的 2 dB 包络内。

图 14 使用如图 11 所示搅拌器的混响室的耦合衰减随频率的变化范围

### 6.1.5 耦合衰减

混响室的耦合衰减是指在混响室内发射天线和接收天线的终端之间测得的插入损耗。用一个输出功率可被精确测量的校准信号源对一个低损耗的发射天线(例如,喇叭天线)进行馈电,发射天线位于混响室内或安装在墙壁上。接收天线可位于混响室内的任意位置,但距离墙面至少 1/4 波长,并不指向发射天线、不指向最近的壁面或不与混响室的任一轴线平行。

一低噪声射频放大器通过一个高通滤波器和接收天线相连,其输出端通过一个带通滤波器和二极管检波器相连。带通滤波器需应调谐至所关心的频率,且位于特定的带宽内。检波器的输出信号连接到一个具有特定的峰值保持时间(保持时间取决于受试设备)的峰值电压表上。也可选用频谱仪进行该项测试。发射天线所吸收的功率记为  $P$ 。然后信号发生器连接到低噪声放大器的输入端,调整信号发生器的输出功率  $p$  使峰值电压表指示相同的读数,记下低噪声放大器所吸收的功率,耦合衰减即为  $10\lg(P/p)$  dB。

## 7 用于辐射骚扰抗扰度测量的 TEM 小室

(在考虑中。)

## 8 用于无线电骚扰场强测量的试验场地, 1 GHz~18 GHz

1 GHz~18 GHz 测量时的试验场地特性取决于无反射的条件。为了达到无反射的自由空间的条件,可能有必要使用吸波材料和/或提高 EUT 的放置高度。

注：对于落地式受试设备,要求靠近地面时的无反射条件可能达不到。

### 8.1 参考试验场地

参考试验场地应是一个满足自由空间条件的开阔试验场地(FSOATS),能够确保其反射不会影响在这个场地上进行的测量。

### 8.2 试验场地的确认

试验场地的确认程序被用来对 1 GHz~18 GHz 的试验场地进行确认,与自由空间相比所允许的、可接受的试验场地的允差(比如,像目前标准规定的 1 GHz 以下的允差为  $\pm 4$  dB)尚在考虑当中。

### 8.3 可替换的试验场地

任何一个达到自由空间条件的试验场地都可被认为是一个可使用的替换试验场地。

**附录 A**  
(规范性附录)  
**宽带天线参数**

**A.1 概述**

当新的改进型天线用于利用扫频接收机或频谱仪来进行宽频带的辐射发射和抗扰度测量时,提供可用于比较这种宽带天线特征和有效性的特定参数是非常有帮助的。各种 CISPR 出版物规定了用于测量的特定天线。在 80 MHz 以上最好使用调谐偶极子天线。通常情况下,其他类型宽带天线能获得与使用特定天线相同的测试结果。这些宽带天线和特定天线或其他天线通过列出相关参数进行比较是有帮助的。这些参数作为 CISPR 出版物的一部分推荐给新的天线用户。天线制造商也应使用这些信息来规定作为骚扰测量的宽带天线的重要技术参数。然而 CISPR 的目的不是表明任何特定的宽带天线优先于调谐偶极子天线。

**A.2 宽带天线参数**

CISPR 测量使用的宽带天线是那些线极化且具有很宽的频率范围的天线。但它不排斥使用调整有限长度和增加天线单元的天线。这些天线的典型阻抗由实部和虚部构成。其他参数在下面规定。

**A.2.1 天线类型**

以下参数描述了应该提供的宽带天线的物理参数,注意有一些参数并不适用于每副天线。

**A.2.1.1 固定或可变长度/直径的天线类型**

如果天线长度可变,那么应规定其改变基本固定长度所增加或减小的部分。

注:可全调谐的天线不被认为是宽带天线,因此不在此规定范围内。环天线的直径一般不变。

**A.2.1.2 长/宽比或环的直径**

以米为单位,例如对于对数周期阵列,应提供沿测量轴线的天线长度和最大振子的宽度。

**A.2.1.3 有源或无源天线**

宽带天线如果包含放大器、预放和其他放大信号和/或影响频响的非线性有源装置,则被认为是有源天线。

**A.2.1.4 安装要求**

不是安装在天线塔或三脚架上的天线需提供安装要求。

**A.2.1.5 连接器类型**

规定了 BNC、N、SMA 等适用类型。

**A.2.1.6 平衡-不平衡转换器类型**

规定了转换器是分立的、分布式的、可调谐的等。

**A.2.2 天线规范****A.2.2.1 频率范围**

以 MHz 或 kHz 为单位规定的频率范围,天线在此频率范围内工作特性不变。如果在频率范围两端的任一端存在以 dB/倍频程表示的性能下降,则应予以规定。

**A.2.2.2 增益和天线系数****A.2.2.2.1 增益**

给出相对于全向辐射体(dBi)的典型或实际增益,以 dB 为单位。

**A.2.2.2.2 天线系数**

规定典型的或实际的天线系数,以 dB/m 为单位。

增益和天线系数应使用 A.2.3.1 中的校准程序来测量。

### A.2.2.3 线极化的方向性和方向性图

规定以 E 面和 H 面的极化图来表示的方向性图和用度表示的方向性。

对于方向性很弱的天线,规定以 dB 为单位的前后比,如果是全向天线,则应予以说明。

### A.2.2.4 VSWR 和阻抗

标明最大电压驻波比和标称的输入阻抗( $\Omega$ )。

### A.2.2.5 有源天线性能

对于具有有源放大增益的天线,应规定交调产物电平、对外界骚扰的电场和磁场抗扰度电平,及确定过载或不恰当操作的任何检查方法。

### A.2.2.6 可承受功率

对用于抗扰度试验的天线应规定一个最大可承受的发射功率(W)。

### A.2.2.7 其他条件

如果天线必须在全天候无防护的区域中使用,应规定天线必须工作的温度和湿度以及在全天候无防护的区域中使用时应采取的任何防护措施。

## A.2.3 天线校准

### A.2.3.1 用于发射测量的校准方法

应标明所使用的校准方法,即

- a) 计算法(使用公式);
- b) 测量法(规定使用的标准或方法或溯源到国家校准实验室,天线是否经过独立校准);

注:对于抗扰度测量,场强校准通常使用放置在受到辐射的装置处的已校准的辅助天线来进行,因此,不需要对发射天线进行校准。

### A.2.3.2 频率间隔

在校准过程中指定的以 MHz 或 kHz 为单位的频点。如果使用扫频方式,则应说明。

### A.2.3.3 校准准确度

规定以  $\pm$  dB 表示的校准的标称的准确度。指明最差情况下的准确度和出现上述情况的频段部分。

### A.2.3.4 优选和特定天线的相关性

如果替代在 CISPR 出版物中引用的优选或指定天线,则必须给出以 dB 为单位的与优选或指定宽带天线的测量结果等效的所有相关系数。也要指明任何可从磁场强度转换而来的转换系数,反之亦然,或者除了场强以外任何其他测量单位的转换也要指明转换系数。

### A.2.3.5 单位

规定磁场场强和电场场强发射测量所必要的校准单位。

## A.2.4 天线用户的信息

### A.2.4.1 天线的使用

提供一份天线的使用说明书,使预防措施或限制条件得到保证以减少使用者误操作的机会。

### A.2.4.2 物理限制

在使用天线时如果存在任何物理上的限制,应标明:

- a) 离地面的最小高度;
- b) 相对于接地板的优选的极化方向;
- c) 特殊用途,即只能作为发射天线或接收天线来使用。一般情况下,这取决于无源天线平衡不平衡转换器的功率承受能力或有源天线的单向辐射特性。
- d) 简单的欧姆检查以确定天线的连续性;
- e) 最近的天线振子与受试设备之间的最小间隔。

## 附录 B (规范性附录)

### 单极天线(1 m 杆天线)的特性方程与相关天线匹配网络的特性<sup>4)</sup>

#### B.1 描述

##### B.1.1 单极天线(1 m 杆天线)系统的介绍

单极天线通常用于 30 MHz 以下,但有时也用于更高的频率。由于在低频段的波长较长,那些用于高频天线校准或描述特性的方法不再适用。本附录中规定的技术适用于 30 MHz 以下的频段。该方法已商用化,按照预期的使用,其误差很小(小于 1 dB)。

天线系数溯源到国家标准的首选方法是用平面波对整个天线进行照射。此外本附录中还包含了另外一种可选方法——单极天线的电容替代法。尽管有可能利用电容替代法来确定天线系数,但在实际校准过程中为获得准确的天线系数(误差小于±1 dB)需要更多的专业知识。尤其当为某些单极部件没有与同轴连接器相连的天线设计夹具时更是如此。总而言之,对于频率高于 10 MHz 以上以及天线为有源天线的情况,使用电容替代法需要特别注意。

##### B.1.2 单极(杆)天线的特性方程

以下方程用于确定非常见尺寸杆天线或单极天线的有效高度、自电容和高度修正因子。

这些方程仅适用于长度小于  $\lambda/8$  [8]<sup>5)</sup> 的圆柱形杆天线。

$$h_e = \frac{\lambda}{2\pi} \tan \frac{\pi h}{\lambda} \quad [1],[2],[3] \quad \dots\dots\dots(B.1)$$

$$C_a = \frac{55.6h}{\left(\ln \frac{h}{a}\right) - 1} \frac{\tan \frac{2\pi h}{\lambda}}{\frac{2\pi h}{\lambda}} \quad [3],[4],[5],[6],[7],[8] \quad \dots\dots\dots(B.2)$$

$$C_b = 20 \log h_e \quad \dots\dots\dots(B.3)$$

式中:

$h_e$ ——天线的有效高度, m;

$h$ ——天线的实际高度, m;

$\lambda$ ——波长, m;

$C_a$ ——杆天线的自电容, pF;

$a$ ——杆天线导体的半径, m;

$C_b$ ——高度修正因子, dBm。

#### B.2 匹配网络的特性描述方法

等效电容替代法使用集中参数天线来代替实际的杆天线振子。集中参数天线的主要元件是一个与杆天线或单极天线的自电容相等的电容。集中参数天线由信号源进行馈电,利用如图 B.1 所示的测试配置对匹配网络或天线基座的输出进行测量。以 dB(1/m) 为单位的天线系数(AF)由方程(B.4)给出。

$$AF = V_D - V_L - C_b \quad \dots\dots\dots(B.4)$$

式中:

$V_D$ ——信号发生器输出的测量值, dB $\mu$ V;

4) 本附录基于 IEEE 291—1991(参见 B.5)。

5) 方括号中的数字指的是引用 B.5 中的参考文献。

$V_L$ ——匹配网络输出的测量值,  $\text{dB}\mu\text{V}$ ;

$C_h$ ——有效高度修正因子,  $\text{dBm}$ 。

对于电磁兼容测试中使用的单极(1 m 杆)天线,有效高度( $h_e$ )为 0.5 m,高度修正因子( $C_h$ )为  $-6 \text{ dB(m)}$ ,自电容( $C_s$ )为 10 pF。

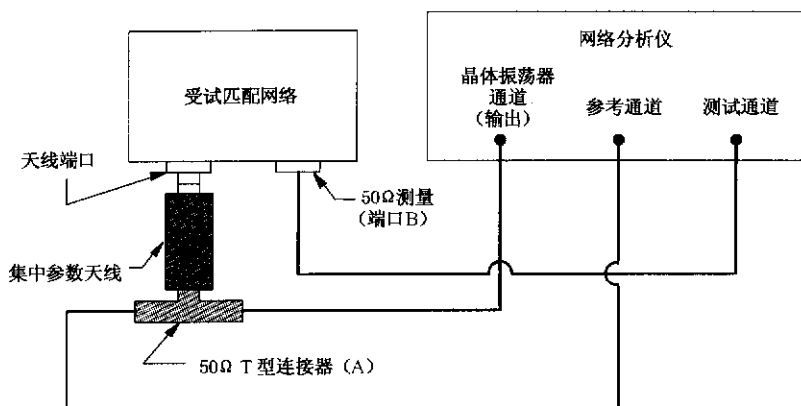
注:非常尺寸杆天线的有效高度、高度修正因子和自电容的计算参见 B.1.2。

以下两种程序均可采用: B.2.1 中描述的网络分析仪法; B.2.2 中描述的信号发生器和射频噪声仪法。两种方法都使用同一个集中参数天线。构造集中参数天线的指导参见 B.3。为了获得在天线的工作频率范围内或 9 kHz~30 MHz 频率范围(两者之间取较小者)内天线系数随频率变化的光滑曲线,都要取足够多的频率点进行测试。

### B.2.1 网络分析仪法的测试程序

- 用测试中使用的电缆对网络分析仪进行校准。
- 如图 B.1 所示对受试匹配网络和测试设备进行配置。
- 从参考通道的信号电平( $\text{dB}\mu\text{V}$ )上减去测试通道中的信号电平( $\text{dB}\mu\text{V}$ ),再减去天线的高度修正因子(对于 1 m 杆天线而言为  $-6 \text{ dB}$ ),即可获得受试天线的天线系数( $\text{dB(1/m)}$ )。

注:由于网络分析仪的通道阻抗非常接近  $50 \Omega$ ,任何误差都可通过仪器校准来进行修正,所以测试时不需要使用衰减器。若确有需要,可以使用衰减器,但使用衰减器后将增加网络分析仪校准的复杂程度。



注 1:集中参数天线尽可能靠近受试设备端口。T 型连接器尽可能靠近集中参数天线。T 型连接器和参考通道输入端口、T 型连接器和晶体振荡器通道以及测试通道的  $50 \Omega$  测量端口和测试通道之间应使用相同长度和相同类型的电缆。

注 2:网络分析仪不需要使用也不推荐使用衰减器。

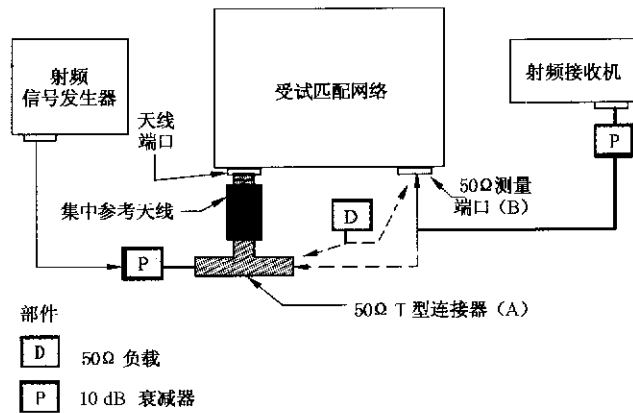
图 B.1 使用网络分析仪的测试方法

### B.2.2 使用射频噪声仪和信号发生器法的测试程序

- 如图 B.2 所示对受试匹配网络和测试设备进行配置。
- 如图所示连接设备并在 T 型连接器上连接  $50 \Omega$  终端负载,测量射频输出端口(B)的接收信号电压  $V_L$  ( $\text{dB}\mu\text{V}$ )。
- 保持信号发生器的射频输出不变,将  $50 \Omega$  终端负载换接到端口 B,并将接收机的输入电缆换接到 T 型连接器(A)上,测量驱动信号电压  $V_D$  ( $\text{dB}\mu\text{V}$ )。
- 从  $V_D$  减去  $V_L$ ,再减去天线的高度修正因子  $C_h$ (对于 1 m 杆天线而言为  $-6 \text{ dB}$ ),即可获得受试天线的天线系数( $\text{dB(1/m)}$ )。

$50 \Omega$  终端负载应有非常小的驻波比(SWR)(小于 1.05),射频噪声仪应经过校准,且具有较小的驻波比(SWR)(小于 2)。信号发生器输出的频率和幅度应稳定。

注:信号发生器由于作为转换标准使用,因而无需校准。



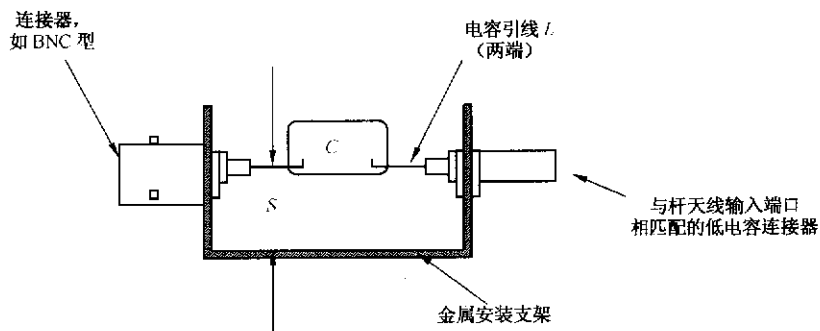
- 注 1: 集中参数天线尽可能靠近受试设备端口。T 型连接器尽可能靠近集中参数天线。  
 注 2: 如果接收机和信号发生器的电压驻波比很低, 可以不必使用衰减器或采用 6 dB 或 3 dB 的衰减器。  
 注 3: 集中参数天线可以集成其他匹配部件来控制输入端口的电压驻波比和测试端口的信号发生器电平。

图 B.2 使用射频噪声仪和信号发生器的测试方法

### B.3 对集中参数天线的考虑

用作集中参数天线的电容器应安装在一个小金属盒中或是一个金属支架上。引线应尽可能短, 不超过 8 mm, 且距金属盒或金属支架的表面为 5 mm~10 mm, 如图 B.3 所示。

天线系数测试中所使用的 T 型连接器可以放置在集中参数天线所在的金属盒中, 为信号发生器提供阻抗匹配的电阻器也可以放置在该金属盒中。



- C——由式(B.2)计算得到的天线电容( $C_a$ ), 5%的允差, (镀)银云母。  
 S——引线间距, 5 mm~10 mm(如果密封在金属盒中, 距金属盒所有表面为 10 mm)。  
 L——引线长度, 尽可能短, 不大于 8 mm(总的引线长度不能超过 40 mm, 包括电容引线和杆天线端口连接器的长度)

图 B.3 集中参数天线中电容安装举例

### B.4 单极(杆)天线的应用

单极杆天线在应用时通常有一个地网或安装在接地平面上。为获得正确的场强值, 使用时应遵照制造商给出的关于地网的使用注意事项。

如果天线使用的是拉杆式振子, 则应将杆拉伸到制造商说明书中规定的长度。

许多测试标准规定: 单极(杆)天线的地网应搭接在接地平板或测试台的接地平板上, 应满足测试标准的要求。

B.5 参考文献

- [1] IEEE 291—1991, *IEEE Standard Methods for Measuring Electromagnetic Field Strength of Sinusoidal Continuous Waves, 30 Hz to 30 GHz*. IEEE, Inc., 445 Hoes Lane, PO Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331 USA, p. 28-29.
- [2] GREENE, FM. NBS Field-Strength Standards and Measurements (30 Hz to 1000 MHz). *Proc. IEEE*, No. 6, June 1967, vol. 55, p. 974-981.
- [3] SCHELKUNOFF, SA. and FRIIS, HT. *Antennas: Theory and Practice*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1952, p. 302-331.
- [4] SCHELKUNOFF, SA. Theory of Antennas of Arbitrary Size and Shape. *Proc of the IRE*, Sept. 1941, vol. 29, p. 493-592.
- [5] WOLFF, EA. *Antenna Analysis*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1966, p. 61.
- [6] HALLÉN, E. Theoretical Investigation into the Transmitting and Receiving Qualities of Antennas. *Nova Acta Soc. Sci. Upsaliensis*, Ser. IV, 11, No. 4, 1938, p. 1-44.
- [7] KING, RWP., *Theory of Linear Antennas*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1956, p. 16-17, 71, 184 and 487.
- [8] *The Radio Frequency Interference Meter NAVSHIPS 94810*, by The Staff of the Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, 1962, p. 36-38.



## 附录 C

(规范性附录)

## 用于在 9 kHz~30 MHz 频率范围内测量磁场感应电流的环形天线系统

## C.1 介绍

本附录提出了环形天线系统(LAS)的相关信息和数据,该环形天线系统用于测量由单台受试设备发射的磁场所感应的电流,受试设备置于环形天线系统的中心,频率范围为 9 kHz~30 MHz。本部分的 4.7 以及 GB/T 6113.203 对环形天线系统也有涉及。

本部分对环形天线系统以及环形天线系统中的天线有效性验证方法进行了描述,给出了磁场感应电流和磁场强度之间的转换系数,磁场强度可用距受试设备一定距离处的单匝磁场环天线来测得。

## C.2 环形天线系统的构成

环形天线系统,如图 C.1 所示,包括三个相互垂直的大环天线(LLA),具体结构在 C.3 中描述。整个环形天线系统由一个非金属的底座支撑。

大环天线(LLA)的电流探头和同轴转换器之间,以及该转换器和测试设备之间的 50  $\Omega$  同轴电缆的表面转移阻抗在 100 kHz 时应小于 10 m $\Omega$ /m,在 10 MHz 时应小于 1 m $\Omega$ /m。当使用如 RG223/U 之类的双层编织屏蔽电缆时可满足上述要求。

所有连接器的表面转移阻抗应可以和同轴电缆的转移阻抗相比拟。当使用类似 BNC 卡锁型的高质量连接器时可满足上述要求(见 IEC 60169-8<sup>6)</sup>)。

所有电缆均应装配铁氧体吸收环,如图 C.1 所示,以提供一个 10 MHz 时  $R_s > 100 \Omega$  的共模串联阻抗。诸如 12 个 3E1 型铁氧体环(最小尺寸:外径 29 mm  $\times$  内径 19 mm  $\times$  长度 7.5 mm)构成的铁氧体管可满足上述要求。

## C.3 大环天线(LLA)的结构

构成环形天线系统中大环天线的同轴电缆的表面转移阻抗已在 C.2 中规定,此外,大环天线的内导体阻抗应足够低(见注 1)。当使用例如 RG223/U 之类的双层编织屏蔽电缆时可同时满足上述两项要求。

为使环天线保持圆形,同时也为了保护天线的缝隙结构,电缆被插入一个非金属的薄壁管中,管的内径约为 25 mm,如图 C.2 中的例子所示。也可采用功能相同的其他非金属结构。

环的直径  $D$  为标准的 2 m。如果有必要,例如对于大尺寸受试设备的情况,该直径可以增加。但在 30 MHz 以下的频率范围,最大允许的直径为 4 m。直径继续增加会在测试频率范围的高频端引起环形天线系统不可重复的谐振响应。

应注意的是:随着直径的增加,环天线系统对环境噪声的灵敏度成正比地增加,而对有用信号的灵敏度则与直径的平方成反比。

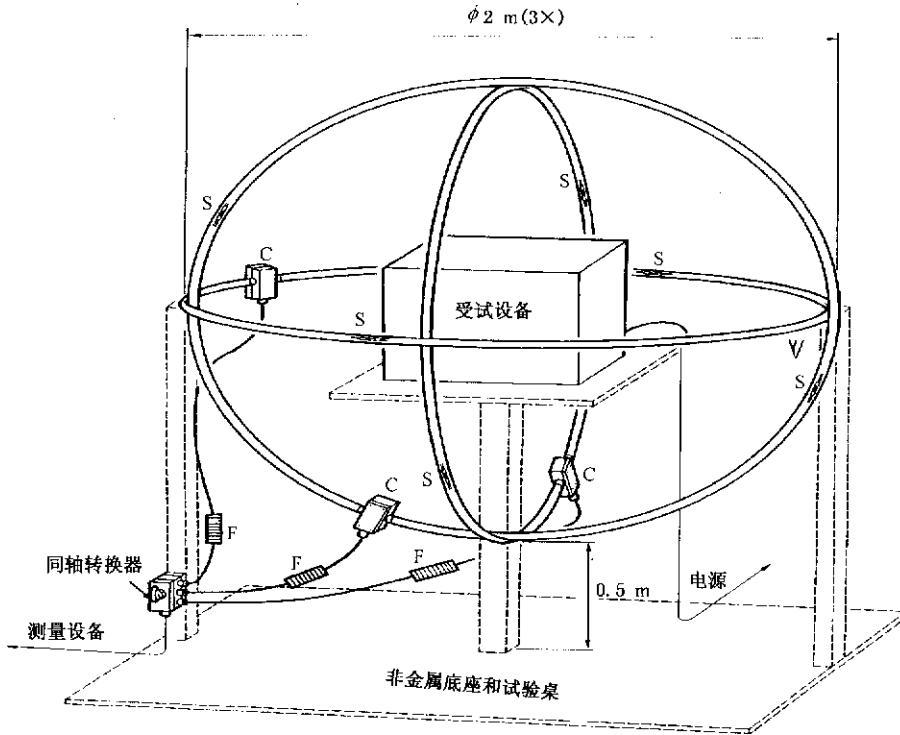
一个大环天线包含两个互相面对面的且相对电流探头对称分布的天线缝隙(如图 C.2 所示)。这种缝隙由同轴天线电缆的外导体制成,其宽度应小于 7 mm。缝隙跨接两组并列的 100  $\Omega$  的串联电阻,每个串联电路的中心与同轴天线电缆的内导体相连,如图 C.3 所示。

在缝隙的每一侧,同轴天线电缆的外导体可搭接在带有两块长方形铜片的印制电路板上,两块铜片相距至少为 5 mm,以保证天线的缝隙结构紧固(见图 C.4)。

6) IEC 60169-8:1978 射频连接器 第 8 部分:外导体内径为 6.5 mm(0.256 英寸)的卡口式射频同轴连接器 特性阻抗 50  $\Omega$ (BNC 型)。

围绕同轴天线电缆内导体的电流探头在 9 kHz~30 MHz 频率范围内应具有 1 V/A 的灵敏度。电流探头的插入损耗应足够低(见注 1)。

电缆的外导体应焊接在装有电流探头的金属盒上(见图 C.5)。该金属盒的最大尺寸为:宽 80 mm,长 120 mm,高 80 mm。



- S——天线缝隙
- C——电流探头
- F——铁氧体吸收环

图 C.1 由三个相互垂直的大环天线构成的环形天线系统

直径为 25 mm 的非金属套管薄壁

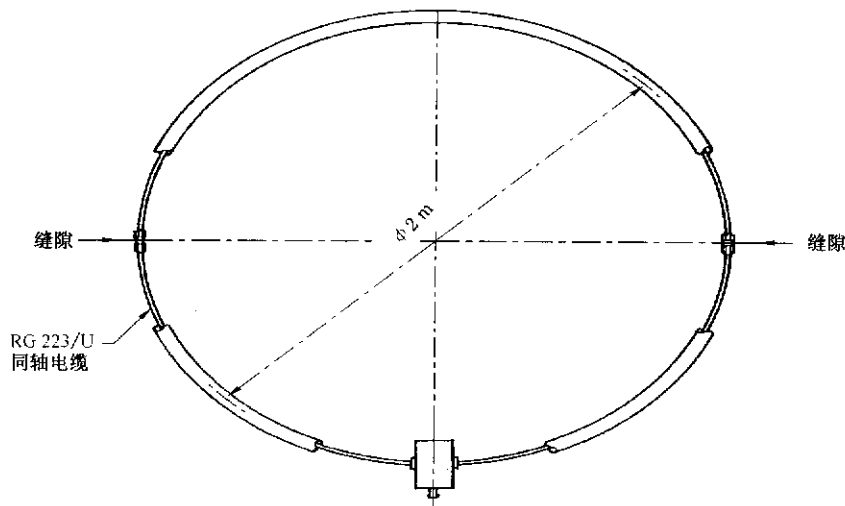


图 C.2 包含两个互相面对面的且相对电流探头对称分布的天线缝隙的大环天线

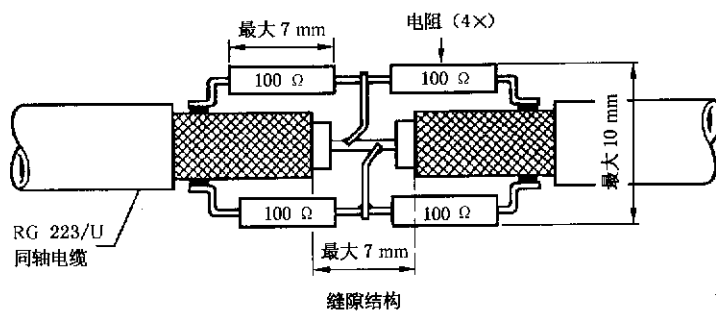


图 C.3 天线间隙的结构示意图

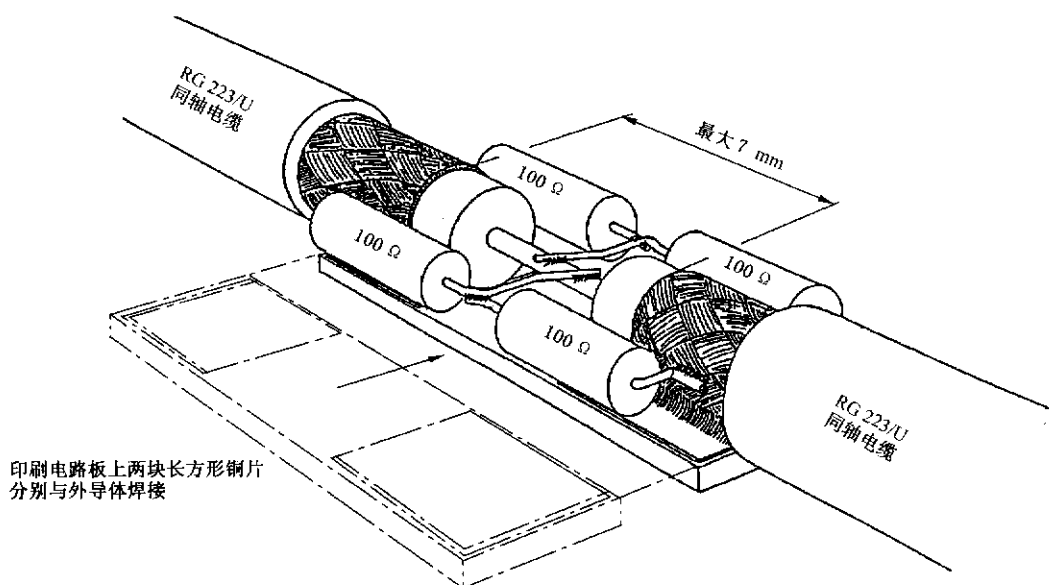


图 C.4 使用印刷电路板加固结构的天线间隙结构示例

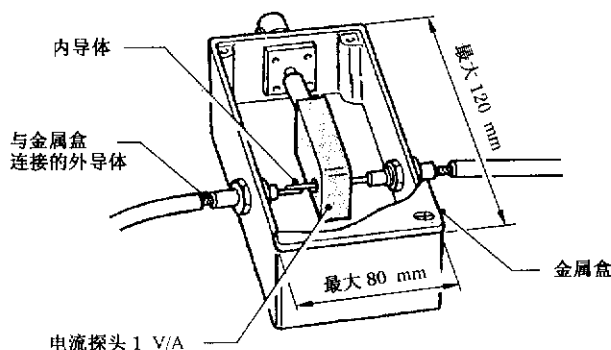


图 C.5 装有电流探头的金属盒结构示意图

注 1:为使大环天线在 9 kHz~30 MHz 频率范围的低端具有平坦的频率响应,电流探头的插入损耗  $R_i$  在  $f=9$  kHz 时应远小于  $2\pi fL_c$ ,其中  $L_c$  表示电流探头的电感。此外,9 kHz 时应满足  $(R_i + R_c) \ll X_i = 2\pi fL$ ,其中  $R_i$  为环的内导体的电阻, $L$  为环的电感,该电感值沿圆周约为  $1.5 \mu\text{H}/\text{m}$ ,因此对于一个标准的大环天线, $f=9$  kHz 时, $X_i=0.5 \Omega$ 。

注 2:为避免在受试设备和环形天线系统之间的寄生电容耦合,受试设备和大环天线组件之间的距离至少应为环直径的 0.10 倍。特别要注意受试设备的引线。电缆应布在一起,与环天线所在空间的夹角为相同的  $45^\circ$ ,与 LAS 任何一个环的距离不小于 0.4 m(如图 C.6 所示)。

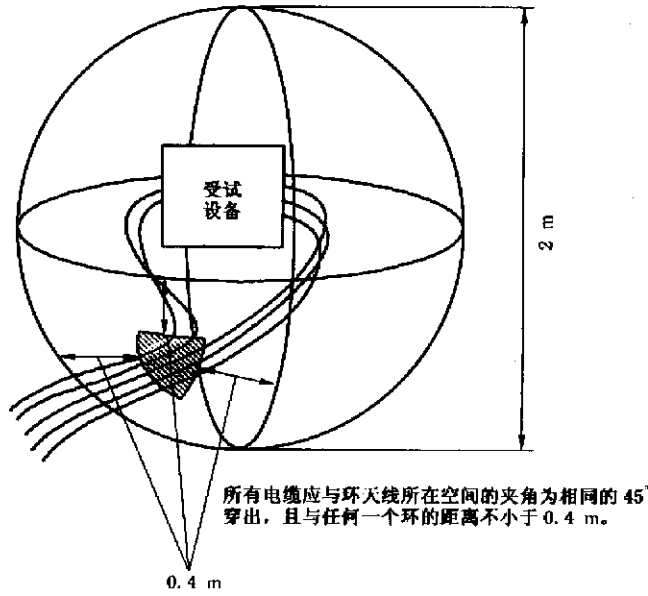


图 C.6 确保引线和天线环之间无电容耦合的受试设备电缆布线示例

C.4 大环天线的确认

环形天线系统中大环天线的确认和校准是利用一个与 50 Ω 的射频信号源相连的“平衡不平衡转换器-偶极子”来测量大环天线中的感应电流,如 C.5 中所描述的。由该偶极子所辐射的磁场可用于验证大环天线的磁场灵敏度。通过大环天线对平衡不平衡转换器-偶极子发射的电场的接收表明其对电场的灵敏度是足够低的。

如图 C.7 所示,作为频率函数的感应电流的测量应在 9 kHz~30 MHz 频率范围,选取平衡不平衡转换器-偶极子的 8 个不同位置来进行。测试中保持“平衡不平衡转换器-偶极子”在受试天线环的平面内。

在这 8 个位置上的每一个点进行测试时,射频信号源的开路电压( $V_{oc}$ )和被测电流( $I_1$ )的确认系数(表示为  $\text{dB}(\Omega) = 20\lg(V_{oc}/I_1)$ )与图 C.8 中给出的确认系数之间的偏差不应超过  $\pm 2 \text{ dB}$ 。

图 C.8 中给出的确认系数适用于标准直径  $D$  为 2 m 的圆形大环天线,如果环天线的直径不是 2 m,则此类非标准大环天线的确认系数可根据图 C.8 和图 C.11 中给出的数据推算得出(见 C.6)。

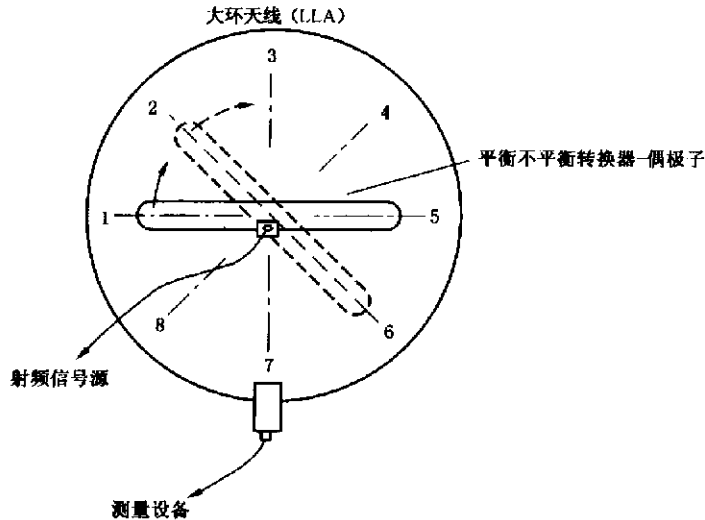


图 C.7 对大环天线进行确认时平衡不平衡转换器-偶极子的 8 个位置

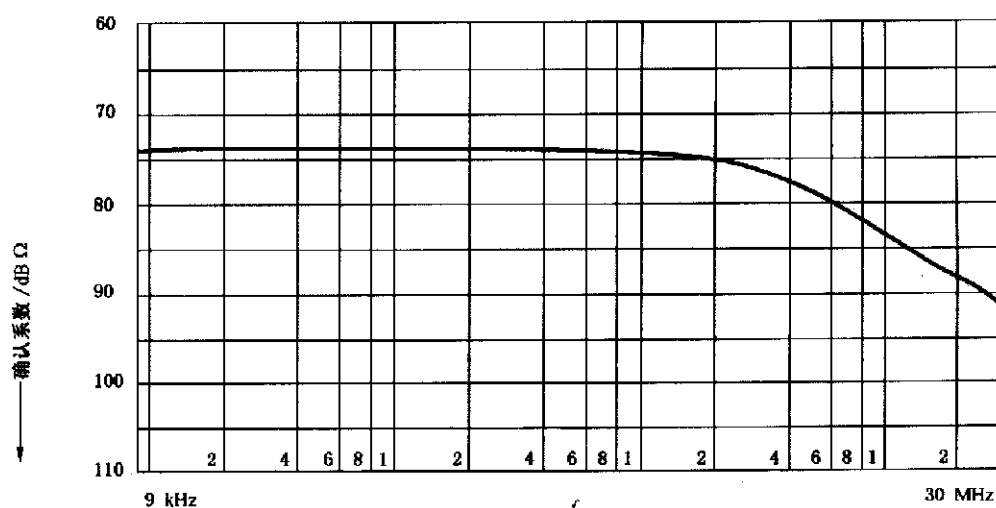


图 C.8 直径为 2 m 的大环天线的确认系数

### C.5 平衡不平衡转换器-偶极子的结构

如图 C.9 所示,平衡不平衡转换器-偶极子可以设计为能同时辐射由大环天线测量的磁场和不被大环天线接收的电场。

平衡不平衡转换器-偶极子由 RG 223/U 同轴电缆构成,其宽度  $W$  为 150 cm,高度  $H$  为 10 cm(电缆与电缆之间的中心距离),如图 C.9 所示。

同轴电缆外导体上的缝隙将偶极子分为两部分,其中一部分,即图 C.9 中所示的右半部分,在靠近缝隙的一侧以及靠近连接器的一侧均为短路,短路意味着同轴电缆的内、外导体电气连接在一起。该部分与 BNC 连接器的参考地相连。同轴电缆的内导体,构成了图 C.9 中偶极子的左半部分,与 BNC 连接器的中间管脚相连,同轴电缆的外导体与 BNC 连接器的参考地相连。

使用一小金属盒来屏蔽靠近偶极子的连接部分。左右半部分同轴偶极子电缆的外导体均搭接在该金属盒上,相当于 BNC 连接器的参考地。

为使结构紧固,偶极子由一个非金属底座支撑。

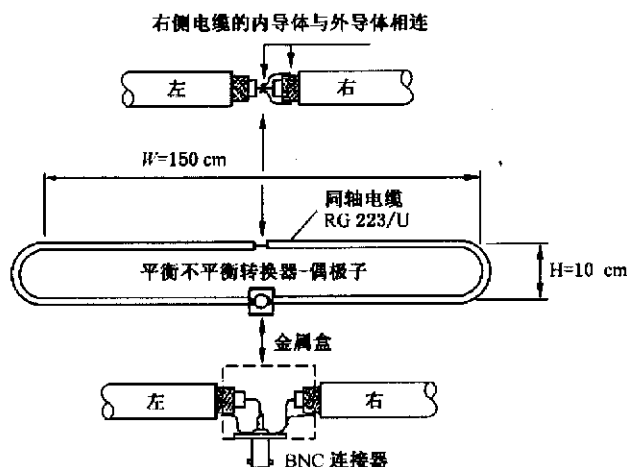


图 C.9 平衡不平衡转换器-偶极子的结构

C.6 转换系数

本条讨论大环天线中由受试设备感应的电流  $I$  和距受试设备一定距离处的磁场强度  $H$  之间的转换系数(见图 C.10),还将讨论非标准直径的大环天线中测得的电流和标准直径( $D=2\text{ m}$ )的大环天线中测得的电流之间的转换系数(见图 C.11)。

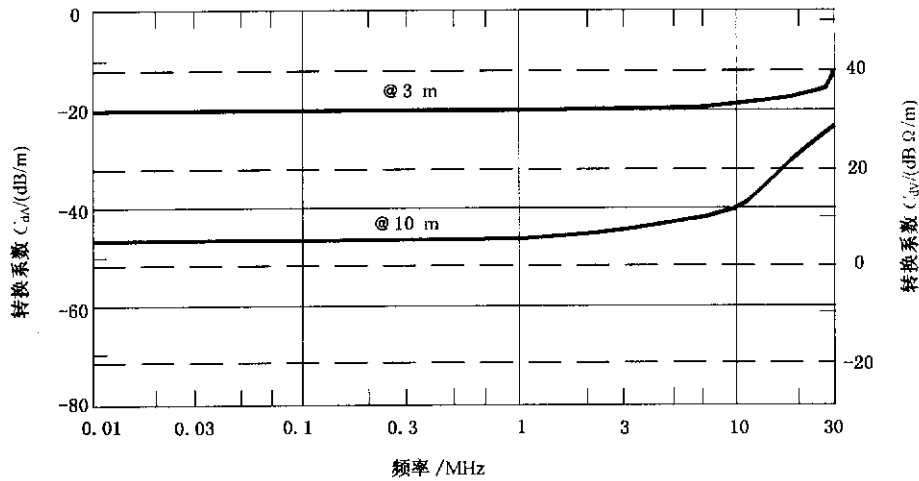


图 C.10 两种标准测量距离  $d$  所对应的转换系数  $C_{da}$ (转换单位为  $\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})$ ) 和  $C_{dv}$ (转换单位为  $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ )

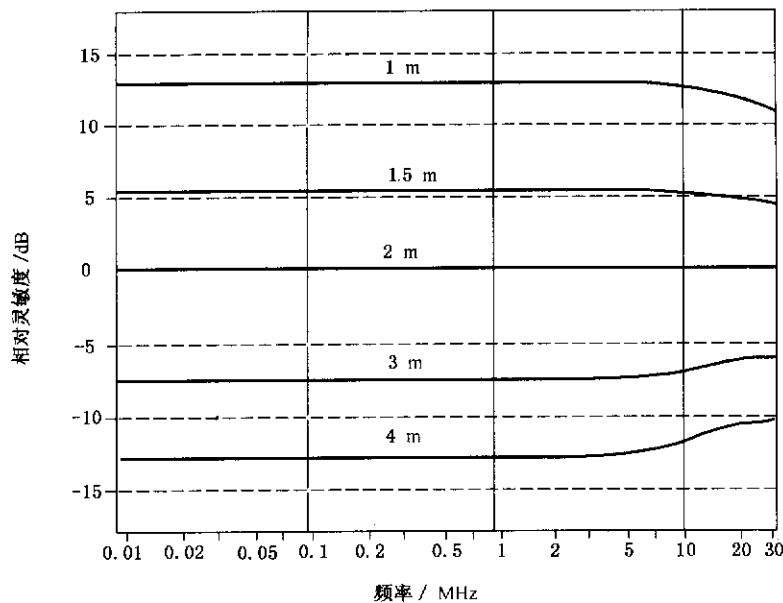


图 C.11 直径为  $D$  的大环天线相对标准直径( $D=2\text{ m}$ )的大环天线的灵敏度  $S_D$

图 C.10 中的转换系数适用于置于大环天线中心、偶极矩与该环天线所在平面相垂直的磁场源。应注意的是:使用 4.2 中所规定的环天线,天线始终处在垂直平面内,受试设备仅围绕其垂直轴旋转。因此,在这种情况下,只有水平偶极矩,即与地平面平行的偶极矩被测量。所以对于垂直偶极矩的情况,转换系数不能用于比较两种测量方法的结果。然而对于在磁场测量法中将环天线置于一个水平面内,或将受试设备倾斜  $90^\circ$  的情况,该系数则是可用的,此时原垂直偶极矩已变为水平偶极矩。

如果受试设备内部骚扰源的实际位置距离标准环天线系统的中心不足 0.5 m,那么测量结果与骚扰源位于天线系统中心时的结果的偏差小于 3 dB。

在距离  $d$  处测得的磁场强度  $H$  [dB( $\mu$ A/m)]与电流  $I$  [dB( $\mu$ A)]之间的关系为:

$$H[\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})] = I[\text{dB}(\mu\text{A})] + C_{dA}(\text{dBm}^{-1}) \quad \dots\dots\dots(\text{C.1})$$

其中  $C_{dA}$  是当磁场强度  $H$  以 dB( $\mu$ A/m)为单位时,对于特定距离  $d$  的电流-场强转换系数,参见下列公式后的注释。

总之,转换系数是随频率变化的,图 C.10 给出了标准距离 3 m 和 10 m 情况下的  $C_{dA}$ 。对于  $d=30$  m 的标准距离,转换系数仍在考虑中。

在直径为  $D$ (单位:m)的大环天线中测得的电流和标准直径( $D=2$  m)的大环天线中测得的电流之比为  $S_D$ ,以分贝为单位,图 C.11 中给出了几个不同直径  $D$  所对应的  $S_D$  曲线。利用该比值,式(C.1)可改写为:

$$H[\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})] = I[\text{dB}(\mu\text{A})] - S_D(\text{dB}) + C_{dA}(\text{dBm}^{-1}) \quad \dots\dots\dots(\text{C.2})$$

注:对于骚扰的计算,CISPR 使用 dB( $\mu$ A/m)代替 dB( $\mu$ V/m)作为磁场强度  $H$  的单位,在上下文中,以 dB( $\mu$ A/m)为单位的磁场强度和以 dB( $\mu$ V/m)为单位的磁场强度之间满足以下关系:

$$H[\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})] = H[\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})] + 51.5[\text{dB}(\Omega)] \quad \dots\dots\dots(\text{C.3})$$

为方便起见,图 C.10 中还给出了  $I$  [dB( $\mu$ A)]与  $H$  [dB( $\mu$ V/m)]之间的转换系数  $C_{dV}$ 。

以下例子解释了如何使用上述的式(C.1)、式(C.2)、式(C.3)以及图 C.10 和图 C.11。

a) 已知:测量频率  $f=100$  kHz,环直径  $D=2$  m,环中的电流  $I=X$  dB( $\mu$ A),利用式(C.1)和图 C.10,可以得到: $d=3$  m 时:

$$H[\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})] = X[\text{dB}(\mu\text{A})] + C_{3A}(\text{dBm}^{-1}) = (X - 19.5)\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m}) \quad \dots\dots(\text{C.4})$$

$$H[\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})] = X[\text{dB}(\mu\text{A})] + C_{3V}(\text{dB}\Omega/\text{m}) = [X + (51.5 - 19.5)]\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad \dots\dots\dots(\text{C.5})$$

b) 已知:测量频率  $f=100$  kHz,环直径  $D=4$  m,环中的电流  $I=X$  dB( $\mu$ A),则利用图 C.11,可以得到同一受试设备在标准直径( $D=2$  m)的大环天线中感应的电流为:

$$I[\text{dB}(\mu\text{A})] = X - S_3(\text{dB}) = (X + 13)\text{dB}(\mu\text{A}) \quad \dots\dots\dots(\text{C.6})$$

c) 已知:对直径  $D=3$  m 的大环天线进行确认。

在每一频率点,用图 C.8 中给出的确认系数减去图 C.11 中给出的相对灵敏度  $S_3$ ,即可得到所需的确认系数。因此,如果测量频率  $f=100$  kHz,则直径  $D=3$  m 的大环天线的确认系数为  $(73.5 - (-7.5)) = 81$  dB( $\Omega$ )。

### C.7 参考文献

*A Large-Loop Antenna for Magnetic Field Measurements*, J. R. Bergervoet and H. Van Veen, Proceedings of the 8th International Zürich Symposium on EMC, pp 29-34, March 1989, ETH Zentrum-IKT, 8092 Zürich, Switzerland.

## 附录 D

(资料性附录)

## 开阔试验场地的详细结构, 频率范围 30 MHz~1 000 MHz(第 5 章)

## D.1 概述

第 5.1~5.5 条给出了有关开阔场地结构方面的主要考虑。此外, 本附录还给出了一些更详细的资料, 以助于确保能构造一个好的试验场地和气候保护罩。保证实施过程中的适用性的可靠方法是按 5.6 条进行归一化场地衰减的测量。

## D.2 接地平板的构造

## D.2.1 材料

对于进行场强测量的试验场地, 建议使用金属材料。然而由于某些实际的原因, 并不能对所有设备的测量规定使用金属材料的接地平板(以下简称为金属接地平板)。金属接地平板的一些实例包括: 实心金属箔片、金属箔、穿孔金属板、拉制网板、编织网、编结金属帘和金属网格栅等。接地平板应无线性尺寸达到最高测试频率所对应波长的几分之一(的)缝隙和孔洞。对于编结帘、穿孔金属板、金属格栅和拉制金属网板等类型的接地平板, 推荐金属网孔口径的最大尺寸为波长的十分之一( $\lambda/10$ )(1 000 MHz 时, 大约为 3 cm)。如果接地平板采用金属板材, 管料或棒料拼接而成, 所有接缝处都要连续可靠地钎焊或熔焊, 决不能有大于十分之一波长的间隙。接地平板上的厚的电介质涂料, 如沙子、沥青或木屑, 都可能会破坏试验场地的衰减特性。

## D.2.2 平坦性(粗糙度)

瑞利粗糙度准则对评估接地平板的最低可接受的均方根(rms)粗糙度是非常有用的(见图 D.1)。对于大多数实际的试验场地来说, 特别是测量距离为 3 m 时, 从测量的角度来看, 优于 4.5 cm 的粗糙度是没有实际意义的。对于 10 m 和 30 m 的试验场地, 更差一些的粗糙度也是可以接受的。然而, 无论如何, 总是应该按照 5.6 条来进行场地衰减测量, 以确定其场地的粗糙度是否是可接收的。

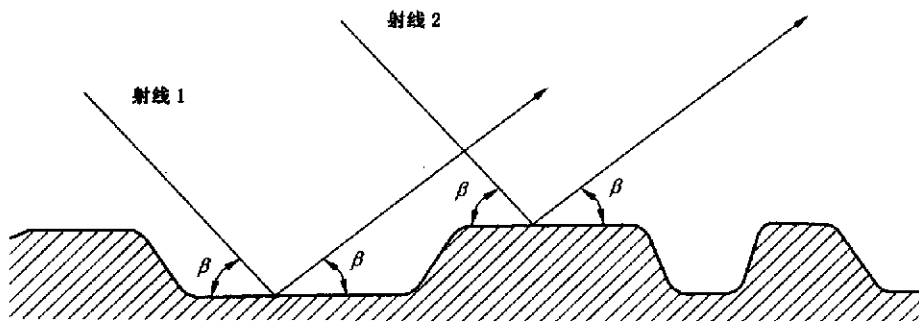


图 D.1 瑞利准则



表 D.1 试验场地的均方根粗糙度

测量距离 $R/m$	发射天线高度 $h_1/m$	接收天线最大高度 $h_2/m$	最大均方根粗糙度 $b$	
			波长 $\lambda$	1 GHz 时的 $b$ 值/cm
3	1	4	0.15	4.5
10	1	4	0.28	8.4
30	2	6	0.49	14.7

粗糙度  $b$  值由下式计算得到:

$$b = \frac{\lambda}{8 \cdot \sin\beta}$$

### D.3 为受试设备提供服务的设施

为受试设备提供电气服务的设施,即电源的走线,应在接地平板的下面,并应尽可能地在较大的范围内与测量轴成直角。所有的引线、电缆以及到转台(即放置受试设备的装置)的导管也应在接地平板的下面走线。如果不可能在下面走线,就应将这些服务于受试设备的设施贴在接地平板上,并且要与接地平板等高,还要与接地平板搭接。

### D.4 气候保护罩的构造

#### D.4.1 材料和紧固件

在频率 1 000 MHz 以下,薄的纤维玻璃、大多数的塑料、经过特殊处理的木头以及纤维材料都不会对受试设备的发射造成明显的衰减。然而,有些材料(例如,木头和尼龙),受潮后,就会造成发射的损耗,尤其是当测量受试设备的发射要穿过这些材料的时候,衰减就会变得更加严重。应该谨防在构架上即组成结构的材料之间聚集着导电颗粒的空气、水和冰。对外界物体也要进行周期性的检查,因为它们有可能堆积在结构上导致测量误差。

接地平板的上方金属的使用应维持在一个最低的限度。建议尽可能地采用塑料或纤维紧固件。所有的拉桩、基桩及其类似的基座都应远离试验区,以免影响测量。

#### D.4.2 内部的布置

所有结构的组件都应无反射。用于供暖和冷却换气的吹风机和通风道及其支撑设施都应在试验区以外,即都应在结构外安装,除非他们用非导电材料制成、或在金属接地平板的下面、或在远低于非金属接地平板的下方运行。为了使设备正常工作,也许需要对温度和湿度进行控制。所有的隔离层即窗户都应采用非金属的框架。安装在地面上的导轨和梯子都应该非导电的。

#### D.4.3 尺寸

气候保护罩的大小取决于受试设备的尺寸,而且还取决于是否要覆盖包括天线在内的试验场地,或者只是覆盖受试设备和测量设备以及接收天线(包括接收天线架和进行垂直极化测量时接收天线将要升至的最大高度)。

#### D.4.4 随时间和气候变化的均匀性

推荐对归一化场地衰减进行周期性测量,目的是为了检测出试验场地的不规范之处,它们是由气候状态(如潮湿吸收)或者保护罩材料遭受污染而引起的气候保护罩的性能降低而造成的。这种测量同时也可以对射频电缆和测量仪器的校准进行核查。通常,每隔 6 个月测量一次就足够了,除非物理特性表明其性能衰减太快,例如,由于空气污染改变了材料的颜色。

### D.5 转台

为了方便地测量受试设备所有方向上的辐射发射,推荐使用转台。对于落地式的受试设备,应使用

金属覆盖的且与接地平板齐平的转台,并将其与接地平板导电连接。测量台式受试设备时,可以使用置于接地平板之上的非金属转台,或者使用组合式的转台,这种转台是由金属转台上放置一个非金属桌子组成的。测量落地式的受试设备时,允许非金属转台比接地平板略高一些。

#### D.6 接收天线底座的安装

接收天线应安装在一个高度可调的非金属支架上,测量距离等于或小于 10 m 时,应在 1 m~4 m 范围内调节;测量距离大于 10 m 时,应在 1 m~4 m 或者 2 m~6 m 的范围内调节。天线水平极化时,电缆应连接到天线的平衡-不平衡转换器,并且为了与地面保持平衡,电缆应垂落到接地平板上。接地平板与接收天线的平衡-不平衡转换器的距离应大于 1 m。从电缆与接地平板相交的那点起,电缆就应以某种方式继续在接地平板的下方走线,以免影响测量。天线与骚扰分析仪之间的连接电缆应尽可能地短,以保证 1 000 MHz 时的可接收的信号电平。

对于垂直极化的偶极子类型的天线,连接到测量接收机的电缆应在其离开接收天线(离开受试设备)到垂落至接地平板之前能够与接地平板保持大约 1 m 或更长的平行距离。天线电缆的横向托架应有约 1 m 长。到骚扰分析仪之间的电缆的其余部分的布置与水平极化的情况相同。

上述两种情况下,天线系数的校准都不应受天线架或同轴电缆到天线的布局的影响。

## 附录 E (规范性附录)

### 开阔试验场地的确认程序, 频率范围 30 MHz ~ 1 000 MHz (第 5 章)

#### E.1 概述

5.6 给出了用归一化场地衰减确定场地确认的一般要求和程序。本附录提供了实现归一化场地衰减的具体步骤。

#### E.2 离散频率法

##### E.2.1 测量布置

图 4 和图 5 示出了特定的测量布置示意图。首先,用一根适当长度的传输线将信号发生器和发射天线连接起来,然后将发射天线放在规定的位置上,该天线的高度设置在  $h_1$  (见表 E.1、E.2 和 E.3),并选择所需的极化方向。如果使用可调谐的偶极子天线,那么就需要按所需的频率来调整天线的长短。

将接收天线安装在一个可在  $h_{2min} \sim h_{2max}$  高度范围内升降的支架上,它距发射天线的距离为  $R$ ,用一根长度适宜的电缆将其与测量接收机或频谱分析仪连接起来,其极化方向与发射天线的极化方向相同。如果使用调谐偶极子天线,则应按所需的频率调节天线的长度。垂直极化时,偶极子天线离地面的高度不得小于 25 cm (见表 E.3)。

当使用调谐偶极子进行完整的 NSA 测量时,在包括 30 MHz ~ 80 MHz 在内的频率范围内,天线都要被调谐在各自的频率上。

##### E.2.2 测量程序

应按下述步骤对表 E.1、表 E.2 和表 E.3 中所规定的每一个频率进行测量。测量时,接收天线应与发射天线的极化方向保持一致。测量应首先在水平方向上进行,然后再在垂直方向上进行,此时,发射天线的高度设置在  $h_1$  上。

- a) 调整信号发生器的输出电平,使其高于周围和测量接收机(或频谱分析仪)的噪声电平,并得到一个适宜的接收的电压指示;
- b) 按表 E.1、表 E.2 和表 E.3 中相应规定的  $h_2$  来升高天线塔上的接收天线进行扫描;
- c) 记录最大的信号电平,该值即为第 5.6.1 条式(1)中的  $V_{SITE}$ ;
- d) 断开各自与发射和接收天线相连的电缆,用转接器直接将两根电缆连接起来;
- e) 记录发射电缆与接收电缆连接后的信号电平,该值即为第 5.6.1 条式(1)中的  $V_{DIRECT}$ ;
- f) 对每一个频率的每一种极化,都要重复步骤 c) ~ e),然后将每次测得的值依次代入 5.6.1 条式(1);
- g) 将各个频率相应的发射天线和接收天线的系数依次代入 5.6.1 条式(1);
- h) 将表 E.4 给出的互阻抗修正系数  $\Delta AF_{TOT}$  依次代入 5.6.1 条式(1) (表 E.4 中的值只适用于特定的条件:测量天线为调谐偶极子、极化方向为水平、测量距离为 3 m,而且  $\Delta AF_{TOT} = 0$ );
- i) 5.6.1 条式(1)得到的  $A_N$  即为该测量极化方向上、该测量频率上的 NSA;
- j) 用表 E.1、表 E.2 和表 E.3 中给出的  $A_N$  减去第  $i$  步中得到的 NSA 的值;
- k) 如果第  $j$  步得到的差值不超过  $\pm 4$  dB,那么就被认为该开阔试验场地在该频率处、该极化方向上是有效的;
- l) 每测量一个新的频率点,都要在两种极化方向上重复步骤 a) ~ k)。

### E.3 扫描频率法

#### E.3.1 测量布置

扫描频率法的测量布置与 E.2.1 条所述的测量布置基本相同,不同的只是使用了宽带天线。由于宽带天线的物理尺寸小,所以没有必要对垂直极化方向上的天线移动做严格的要求。

#### E.3.2 测量步骤

使用具有峰值保持(最大保持)贮存能力的自动测量设备和跟踪信号发生器,按下述步骤进行测量。这种方法能在所要求的频率范围内对接收天线的高度  $h_2$  和测量频率进行扫描。该频率范围通常取决于所用宽带天线的类型。频率扫描的速度一定要比天线高度的扫描速率快得多。首先,将发射天线的高度设置在  $h_1$ ,然后

- a) 调整信号发生器的输出电平,使其高于测量接收机(或频谱分析仪)的背景噪声,并得到一个适宜的接收到的电压指示;
- b) 按表 E.1、表 E.2 和表 E.3 中相应规定的扫描范围,将支架上的接收天线升至最大的高度;
- c) 按要求设置频谱分析仪的扫描范围。应该确保调整后的频谱分析仪能够在相同幅度的刻度上将超过 60 dB 的相似信号显示出来,以便可以与第 e) 步所记录的电平相对应;
- d) 慢慢降低接收天线的高度直至上述表中相应于该试验场地的尺寸所列出的高度扫描范围的最低点。贮存或记录所接收到的最大电压显示/指示  $V_R(\text{dB}\mu\text{V})$ (降低天线所用的时间应比频谱分析仪的扫描时间长得多);
- e) 断开各自与发射天线和接收天线相连的电缆,用转接器直接将两根电缆连接起来,贮存或记录此时的电压显示;
- f) 对每一个频率用第 e) 步得到的电压减去第 d) 步得到的电压值,然后再分别减去发射天线和接收天线的系数  $AF_T(\text{dB}/\text{m})$  和  $AF_R(\text{dB}/\text{m})$ (作为频率连续函数的天线系数可以从用离散天线系数连接成的简单线性曲线中得到)。该结果即为所用频率范围的 NSA 的测量值。应将测量值绘成曲线。表 E.1 给出了理想场地的归一化场地衰减的理论值;
- g) NSA 的理论值与其测量值之差应落入  $\pm 4$  dB 的范围内。

注:对于上述两种 NSA 测量方法,无论是信号源的输出阻抗还是测量接收机(或频谱分析仪)的输入阻抗的失配都能引起反射,从而导致测量误差。这可以通过使用 10 dB 的衰减器来避免。将衰减器分别连接在发射天线和接收天线电缆的信号输出端。在整个 NSA 的测量过程中,每根电缆的输出端都要保留这样的衰减器。

### E.4 超出场地可接受限值的一些可能的原因

如果偏差超出  $\pm 4$  dB 的范围,那么需要就如下方面的进行调查:

首先应核查测量系统的校准。如果在测量过程中信号发生器和测量仪器无漂移,那么应着重检查天线系数,因为天线也可以形成反射。如果上述疑点都已排除,那么再重新开始测量。如果偏差仍然超出  $\pm 4$  dB,那么就需要检查试验场地及其周围的区域。一般来说,垂直极化的场地衰减对场地的异常极为敏感。倘若如此,便可基于测量场地的垂直衰减来找出问题产生的原因。以下几个方面都有可能出现问题:接地平板的结构不合理和试验场地不够大、由于相邻的物体(如篱笆、建筑物和灯塔等等)离得太近而产生的反射、全天候保护罩的性能降低等。后者是由于结构不完善、维修技术不完善、以及空气中携带的导电性污染的剩余物长期浸透所致。

### E.5 天线校准

用于场地衰减测量的宽带天线校准系数应该溯源到天线校准国家标准\*,由制造商提供的天线系数也许并不十分精确,因而很难获得 NSA 的测量值与理论值很好的一致性。通常,天线系数已把平衡不平衡转换器的损耗包括在内。如果使用单独的平衡-不平衡转换器,就必须单独考虑它的影响。经验

\* 正在考虑中。

表明:只要发射天线离接地平板的高度大于 1 m,当频率低于 1 GHz 时,各种电磁兼容测量用的通用的宽带天线(如,双锥天线、短偶极子天线和对数周期天线)的天线系数随几何尺寸和极化方向的变化可忽略不计。如果怀疑由于在测量中使用了不常用的天线或不常用的场地尺寸、或者由于天线之间的互耦合或垂直极化天线的传输线的散射效应引起的天线系数的变化,则应首先校准在这些几何位置上的天线系数,尤其当测量距离为 3 m 时更应注意。

通常,场地衰减都是在 50 Ω 的系统当中得到的。也就是说,信号发生器和测量接收机都具有 50 Ω 源阻抗,且发射天线和接收天线的辐射阻抗也已通过平衡-不平衡转换器实现了匹配。

制造商提供的天线系数通常也是相对于 50 Ω 阻抗给出的。也就是说,为了实现无损耗的匹配,50 Ω 阻抗与天线辐射阻抗的转换系数(如果适用的话)以及所用的平衡-不平衡转换器的损耗也应包含在天线系数当中。

如果使用半波偶极子,那么天线系数可由下式计算:

$$AF = 20\lg(2\pi/\lambda) + 10\lg(73/50) \quad (\text{dB}) \quad \dots\dots\dots(\text{E.1})$$

$$= 20\lg f - 31.9 \quad (\text{dB}) \quad \dots\dots\dots(\text{E.2})$$

式中:

$f$ ——频率, MHz。

注:实际上,由于偶极子天线与其镜像天线之间存在互阻抗,所以,天线系数会受天线架设高度的影响。

对于设计良好的调谐半波偶极子,其平衡-不平衡转换器的平均损耗大约为 0.5 dB,因此式(E.2)变为:

$$AF = 20\lg f - 31.4 \quad (\text{dB}) \quad \dots\dots\dots(\text{E.3})$$

在平衡-不平衡转换器被安装进壳体之前,应将发射天线和接收天线的平衡-不平衡转换器相连,测量其损耗,其中每个平衡-不平衡转换器的损耗为测得的总的损耗的一半。

在用规定的调谐偶极子进行 NSA 测量时,重要的是检查这些计算值是否能够代表它们的校准系数。最简单的检测方法就是对装配好的且调谐好的半波振子进行 VSWR 测量。天线在地面上的放置高度至少应为 4 m(如果可能,还应再高些),以尽可能地减少地面的耦合,同时半波振子也要按照表 E.3 的要求进行调谐。只需在天线工作的频率范围的低端、中点和高端检查天线的 VSWR 就足够了。

在频率低于 100 MHz 时,也可以按下述方法检查平衡-不平衡转换器:移去平衡-不平衡转换器,将 70 Ω 电阻跨接在安装振子的两个端子之间,然后测量端接平衡-不平衡转换器之后的 VSWR。该值应小于 1.5。

表 E.1 归一化场地衰减(相对于宽带天线推荐的几何尺寸)<sup>1)</sup>

极化	水平	水平	水平	水平	垂直	垂直	垂直	垂直
$R/m$	3	10	30	30	3	10	30	30
$h_1/m$	1	1	1	1	1	1	1	1
$h_2/m$	1~4	1~4	2~6	1~4	1~4	1~4	2~6	1~4
$f_m/\text{MHz}$	$A_N(\text{dB})$							
30	15.8	29.8	44.4	47.8	8.2	16.7	26.1	26.0
35	13.4	27.1	41.7	45.1	6.9	15.4	24.7	24.7
40	11.3	24.9	39.4	42.8	5.8	14.2	23.6	23.5
45	9.4	22.9	37.3	40.8	4.9	13.2	22.5	22.5
50	7.8	21.1	35.5	38.9	4.0	12.3	21.6	21.6
60	5.0	18.0	32.4	35.8	2.6	10.7	20.1	20
70	2.8	15.5	29.7	33.1	1.5	9.4	18.7	18.7
80	0.9	13.3	27.5	30.8	0.6	8.3	17.6	17.5
90	-0.7	11.4	25.5	28.8	-0.1	7.3	16.6	16.5
100	-2.0	9.7	23.7	27	-0.7	6.4	15.7	15.6

表 E.1 (续)

极化	水平	水平	水平	水平	垂直	垂直	垂直	垂直
R/m	3	10	30	30	3	10	30	30
h <sub>1</sub> /m	1	1	1	1	1	1	1	1
h <sub>2</sub> /m	1~4	1~4	2~6	1~4	1~4	1~4	2~6	1~4
f <sub>m</sub> /MHz	A <sub>N</sub> (dB)							
120	-4.2	7.0	20.6	23.9	-1.5	4.9	14.1	14.0
140	-6.0	4.8	18.1	21.2	-1.8	3.7	12.8	12.7
160	-7.4	3.1	15.9	19	-1.7	2.6	11.7	11.5
180	-8.6	1.7	14.0	17	-1.3	1.8	10.8	10.5
200	-9.6	0.6	12.4	15.3	-3.6	1.0	9.9	9.6
250	-11.9	-1.6	9.1	11.6	-7.7	-0.5	8.2	7.7
300	-12.8	-3.3	6.7	8.8	-10.5	-1.5	6.8	6.2
400	-14.8	-5.9	3.6	4.6	-14.0	-4.1	5.0	3.9
500	-17.3	-7.9	1.7	1.8	-16.4	-6.7	3.9	2.1
600	-19.1	-9.5	0	0	-16.3	-8.7	2.7	0.8
700	-20.6	-10.8	-1.3	-1.3	-18.4	-10.2	-0.5	-0.3
800	-21.3	-12.0	-2.5	-2.5	-20.0	-11.5	-2.1	-1.1
900	-22.5	-12.8	-3.5	-3.5	-21.3	-12.6	-3.2	-1.7
1 000	-23.5	-13.8	-4.5	-4.4	-22.4	-13.6	-4.2	-3.5

1) 表中给出的数据应用于天线垂直极化时,当天线中心距地面 1 m,天线低端至少距地面 25 cm。

表 E.2 归一化场地衰减(相对于调谐半波偶极子水平极化推荐的几何尺寸)

极化	水平	水平	水平
R/m	3 <sup>1)</sup>	10	30
h <sub>1</sub> /m	2	2	2
h <sub>2</sub> /m	1~4	1~4	2~6
f <sub>m</sub> /MHz	A <sub>N</sub> /dB		
30	11.0	24.1	38.4
35	8.8	21.6	35.8
40	7.0	19.4	33.5
45	5.5	17.5	31.5
50	4.2	15.9	29.7
60	2.2	13.1	26.7
70	0.6	10.9	24.1
80	-0.7	9.2	21.9
90	-1.8	7.8	20.1
100	-2.8	6.7	18.4
120	-4.4	5.0	15.7
140	-5.8	3.5	13.6
160	-6.7	2.3	11.9
180	-7.2	1.2	10.6
200	-8.4	0.3	9.7
250	-10.6	-1.7	7.7
300	-12.3	-3.3	6.1

表 E.2 (续)

极化	水平	水平	水平
$R/m$	3 <sup>1)</sup>	10	30
$h_1/m$	2	2	2
$h_2/m$	1~4	1~4	2~6
$f_m/\text{MHz}$	$A_N/\text{dB}$		
400	-14.9	-5.8	3.5
500	-16.7	-7.6	1.6
600	-18.3	-9.3	0
700	-19.7	-10.6	-1.3
800	-20.8	-11.8	-2.4
900	-21.8	-12.9	-3.5
1 000	-22.7	-13.8	-4.4

1) 对于相距 3 m, 水平极化的调谐半波偶极子天线, 应用测得的 NSA 值减去互阻抗系数(见表 E.4), 再与本表给出的理想场地的 NSA 的理论值进行比较。

表 E.3 归一化场地衰减(相对于调谐半波偶极子垂直极化推荐的几何尺寸)

$f_m/\text{MHz}$	$R=3\text{ m}$		$R=10\text{ m}$		$R=30\text{ m}$	
	$h_1=2.75\text{ m}$		$h_1=2.75\text{ m}$		$h_1=2.75\text{ m}$	
	$h_2/m$	$A_N/\text{dB}$	$h_2/m$	$A_N/\text{dB}$	$h_2/m$	$A_N/\text{dB}$
30	2.75 to 4	12.4	2.75 to 4	18.8	2.75 to 6	26.3
35	2.39 to 4	11.3	2.39 to 4	17.4	2.39 to 6	24.9
40	2.13 to 4	10.4	2.13 to 4	16.2	2.13 to 6	23.8
45	1.92 to 4	9.5	1.92 to 4	15.1	2 to 6	22.8
50	1.75 to 4	8.4	1.75 to 4	14.2	2 to 6	21.9
60	1.50 to 4	6.3	1.50 to 4	12.6	2 to 6	20.4
70	1.32 to 4	4.4	1.32 to 4	11.3	2 to 6	19.1
80	1.19 to 4	2.8	1.19 to 4	10.2	2 to 6	18.0
90	1.08 to 4	1.5	1.08 to 4	9.2	2 to 6	17.1
100	1 to 4	0.6	1 to 4	8.4	2 to 6	16.3
120	1 to 4	-0.7	1 to 4	7.5	2 to 6	15.0
140	1 to 4	-1.5	1 to 4	5.5	2 to 6	14.1
160	1 to 4	-3.1	1 to 4	3.9	2 to 6	13.3
180	1 to 4	-4.5	1 to 4	2.7	2 to 6	12.8
200	1 to 4	-5.4	1 to 4	1.6	2 to 6	12.5
250	1 to 4	-7.0	1 to 4	-0.6	2 to 6	8.6
300	1 to 4	-8.9	1 to 4	-2.3	2 to 6	6.5
400	1 to 4	-11.4	1 to 4	-4.9	2 to 6	3.8
500	1 to 4	-13.4	1 to 4	-6.9	2 to 6	1.8
600	1 to 4	-14.9	1 to 4	-8.4	2 to 6	0.2
700	1 to 4	-16.3	1 to 4	-9.7	2 to 6	-1.0
800	1 to 4	-17.4	1 to 4	-10.9	2 to 6	-2.4
900	1 to 4	-18.5	1 to 4	-12.0	2 to 6	-3.3
1 000	1 to 4	-19.4	1 to 4	-13.0	2 to 6	-4.2

表 E.4 互阻抗修正系数  $\Delta AF_{TOT}$  (dB) (适用于调谐半波偶极子天线, 相距 3 m)

$f_m$ /MHz	水平极化 $R=3$ m $h_1=2$ m $h_2=1$ m~4 m	垂直极化 $R=3$ m $h_1=2.75$ m $h_2$ (见表 E.3)
30	3.1	2.9
35	4.0	2.6
40	4.1	2.1
45	3.3	1.6
50	2.8	1.5
60	1.0	2.0
70	-0.4	1.5
80	-1.0	0.9
90	-1.0	0.7
100	-1.2	0.1
120	-0.4	-0.2
125	-0.2	-0.2
140	-0.1	0.2
150	-0.9	0.4
160	-1.5	0.5
175	-1.8	-0.2
180	-1.0	-0.4

注 1: 调谐偶极子天线的值通过矩量法和数值计算程序(NEC)或 MININEC 计算机系统得到。

G. J. Burke 和 A. J. Poggio, 数值电磁编码——矩量法, Lawrence, Livermore Laboratory, California, January, 1981.

J. W. Rockway, J. C. Logan, D. W. S. Tam, S. T. Li, *The MININEC System; Microcomputer Analysis of Wire Antennas*, Artech House, Boston, 1988.

Berry, J.; Pate, B.; Knight; "Variations in Mutual Coupling Correction Factors for Resonant Dipoles Used In Site Attenuation Measurements", Proc IEEE Sym on EMC, Washington, DC, 1990.

注 2: 理论上, 在自由空间, 调谐偶极子的天线系数应把 0.5dB 的平衡-不平衡转换器损耗(对每根天线)包括在内。

注 3: 这些相关系数不能全面的描述在地平面以上所测得的天线系数, 例如: 当测试距离为 3 或 4 m 时。尽管这些天线系数在低频时不同于自由空间的情况, 但是这些值足以表明场地的异常。

注 4: 用户应注意一些具有特殊平衡-不平衡转换器的半波偶极子或天线可能会出现与表 E.4 中天线不同的特性。

注 5: 测量距离为 10 m 和 30 m 的时, 应考虑互耦修正系数。作为一中间的过程, 场地适用性可通过令这些修正系数等于零来估算。



附录 F  
(资料性附录)

4 dB 场地可接受准则的基础(第 5 章)

### F.1 概述

本附录给出了第 5.6 条所要求的归一化场地衰减测量的  $\pm 4$  dB 可接受准则的基础。

### F.2 误差分析

表 F.1 中的误差分析适用于第 5.6 条归一化场地的测量方法。总的误差估算是以  $\pm 4$  dB 可接受准则为基础的。其中,包含大约 3dB 的测量不确定度和由于场地不完善引入的附加允许的 1 dB。

表 F.1 中的误差估算没有包括信号发生器、跟踪信号发生器和可能用到的放大器由于幅度稳定性引入的不确定度,也没有包括测量技术引入的潜在误差。大多数的信号发生器和跟踪发生器的输出电平会随时间和温度而漂移,放大器的增益也会随温度而变化。重要的是要把误差源限制在一定的范围,或使其能够在测量中得到修正,否则,就可能会仅仅因为测量设备/设施的问题导致场地不能满足  $\pm 4$  dB 可接受准则。

表 F.1 误差的估算

单位为 dB

误差项	测量方法	
	离散法	扫描频率法
发射天线系数 <sup>1)</sup>	$\pm 1$	$\pm 1$
接收天线系数 <sup>1)</sup>	$\pm 1$	$\pm 1$
电压表	0	$\pm 1.6^{2)}$
衰减器	$\pm 1$	0
场地不完善	$\pm 1$	$\pm 1$
总计	$\pm 4$	$\pm 4.6$

1) 频率高于 800 MHz, 天线系数的误差可能达到  $\pm 1.5$  dB。  
2) 由所用设备的操作说明书给出。

例如,如果能够从自动频谱分析仪的操作说明书中尽可能地去掉或补偿各项潜在的误差源,那么就只剩下幅度误差需要考虑:

- a) 校准器的不确定度:  $\pm 0.2$  dB;
- b) 频率响应平滑度:  $\pm 1.0$  dB;
- c) 输入衰减切换:  $\pm 1.0$  dB;
- d) 射频(RF)和中频(IF)增益的不确定度:  $\pm 0.4$  dB。

上述潜在的误差的总和为  $\pm 2.6$  dB,但并没有将  $\pm 0.05$  dB/K 的温度漂移包括进去。实际上,当使用替代法测量时,与频响平滑度和输入衰减相关的误差通常要小于 1 dB,所以,作为两端子电压表来使用的频谱分析仪,其总误差不会大于  $\pm 1.6$  dB,该值已被应用在表 F.1 当中。

衰减器的绝对准确度大都很差,但还是有些较好的。因此,在离散测量中的误差估算有可能偏大或偏小。如果采用扫描频率法测量,将在外部连接使用的衰减器与自动分析仪一起使用,那么误差估算的值可能还要大些。

这些误差估算中不包括测试设备的增益、输出电平和幅度响应随时间和温度变化产生的漂移所引入的误差。

实际上,上述考虑计算在内的误差总体上是很小的。对于一个结构良好的固定的试验场地来说,满足 $\pm 4$  dB 准则意味着实际上允许异常试验场地与理想的试验场地的偏差大于 $\pm 1$  dB。

附 录 NA  
(资料性附录)

GB/T 6113.104—2008 与 GB/T 6113.1—1995 有关章条的对照

本部分与 GB/T 6113.1—1995 有关章条的对照表：

GB/T 6113.104—2008		GB/T 6113.1—1995		备注
章	条	章	条	
1		1		
2		2		
3	3.1	3	3.2	
	3.2~3.13			
4	4.1~4.4.1.3	14	14.1~14.4.1.3	
	4.4.2~4.4.3			
	4.5		14.5	
	4.6~4.7			
5	5.1~5.6.3	15	15.1~15.6.3	
	5.7~5.9			
6		16		
7		18		
8				
附录 A				
附录 B				
附录 C				
附录 D		附录 J		
附录 E		附录 K		
附录 F		附录 L		