

中华人民共和国国家标准

GB/T 44073—2024



微波暗室场地确认方法

Site validation method for microwave anechoic chamber

2024-05-28 发布

2024-12-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 测量方法 1

 4.1 概述 1

 4.2 测量设备 2

 4.3 测量设置 5

 4.4 测量步骤 6

 4.5 数据处理 7

 4.6 测量不确定度 8

5 试验报告 8

6 暗室诊断 8

附录 A（资料性） 静区反射率电平计算公式的推导 9

附录 B（资料性） 静区反射率电平测量不确定度评定示例 10

附录 C（资料性） 暗室成像技术 12

参考文献 14

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国无线电干扰标准化技术委员会(SAC/TC 79)提出并归口。

本文件起草单位：中国计量科学研究院、中国电子技术标准化研究院、北京无线电计量测试研究所、河南省计量测试科学研究院、中国电力科学研究院有限公司、江苏省电子信息产品质量监督检验研究院、奥尔托射频科技(上海)有限公司、北汽福田汽车股份有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、深圳市雅诺讯科技有限公司。

本文件主要起草人：刘潇、崔强、韩玉峰、王维龙、白冰、班浩、赵兴、孟东林、刘文芳、吴艳丽、李志鹏、付君、杨志超、黄敏昌、朱明星、尚柱冈、陈政宇、王楠、高启轩、王泽堂、黄雪梅、黄杰武。



微波暗室场地确认方法

1 范围

本文件描述了 700 MHz~110 GHz 频率范围内微波暗室场地确认方法。
本文件适用于微波暗室场地静区性能确认。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 4365—2003 电工术语 电磁兼容

3 术语和定义

GB/T 4365—2003 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

微波暗室 microwave anechoic chamber

一种经过专门设计的用于模拟自由空间的封闭室。

注:该室内壁铺设吸波材料,能充分吸收微波频段的电磁波,使放置待测件的有限区域来自各个方向的电磁波反射信号电平下降到可接受程度。

3.2

静区 quiet zone

在微波暗室中放置待测件,来自各个方向的电磁波反射信号电平被控制到设计水平的有限区域。

3.3

静区反射率电平 quiet zone reflectivity level

微波暗室静区内等效反射波信号与直射波信号之比。

注:通常用分贝(dB)表示。

4 测量方法

4.1 概述

微波暗室模拟自由空间,用于天线测量、目标特性测量等领域,具有全天候工作的优势。实际应用中由于吸波材料无法完全吸收电磁波等原因,暗室中仍然会有反射波存在,这些反射波从各个方向进入静区并与直射波叠加,见图 1。在静区内一定行程线上形成空间驻波分布,该指标用静区反射率表征。将微波暗室用于天线辐射方向图等参数测量时,应评估暗室中不同角度的静区反射率电平。

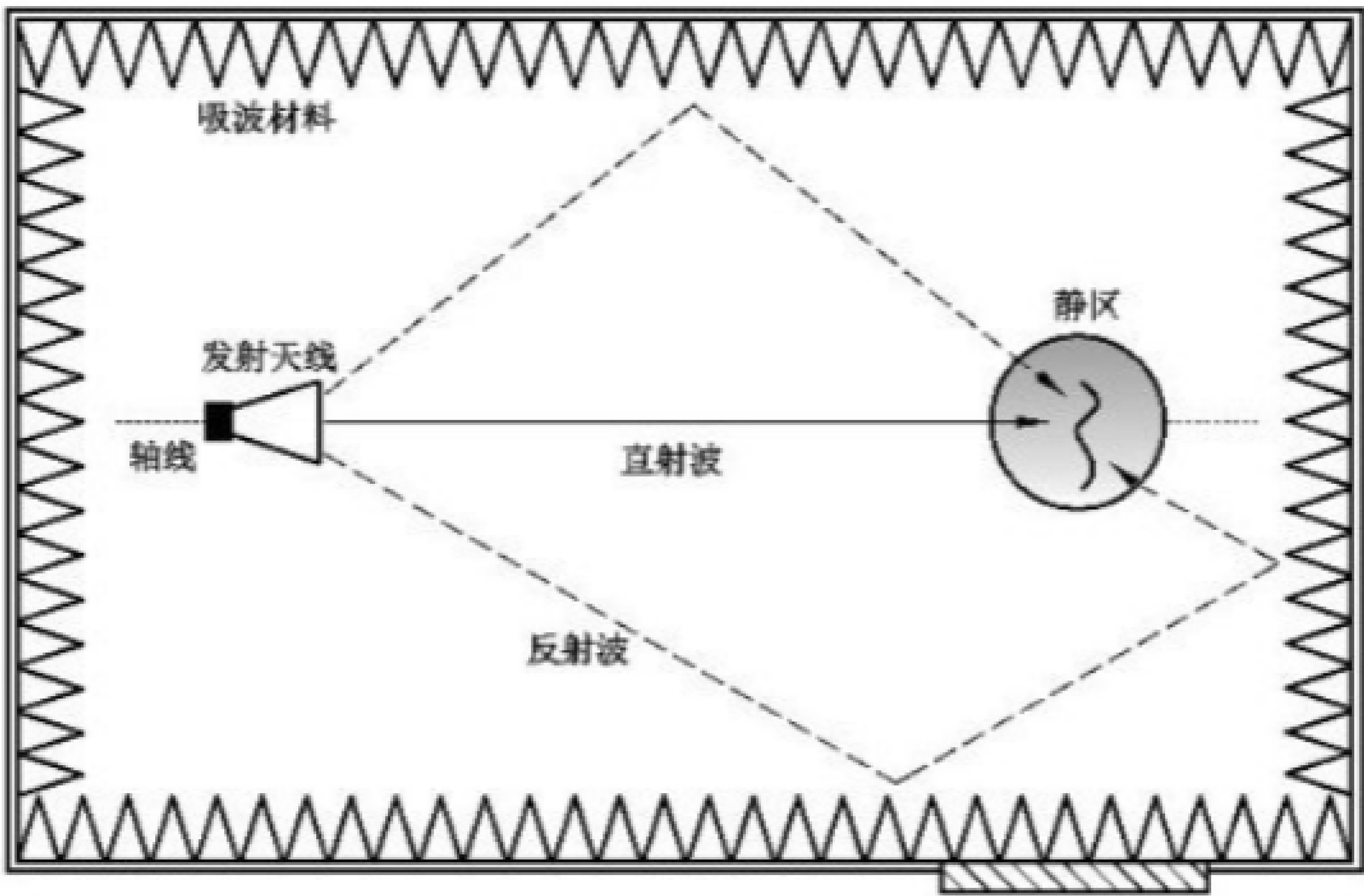


图 1 典型微波暗室及静区示意图

微波暗室静区反射率电平测量方法采用自由空间电压驻波比法，其测量原理是基于微波暗室中存在直射波信号和反射波信号，直射波信号和反射波信号电场强度分别用 E_d 和 E_r 表示，两者的矢量和在静区中一定行程线上形成空间驻波，驻波的数值大小即反映了微波暗室内反射波信号的大小，通过测量空间电压驻波确定暗室的静区反射率电平，见图 2。

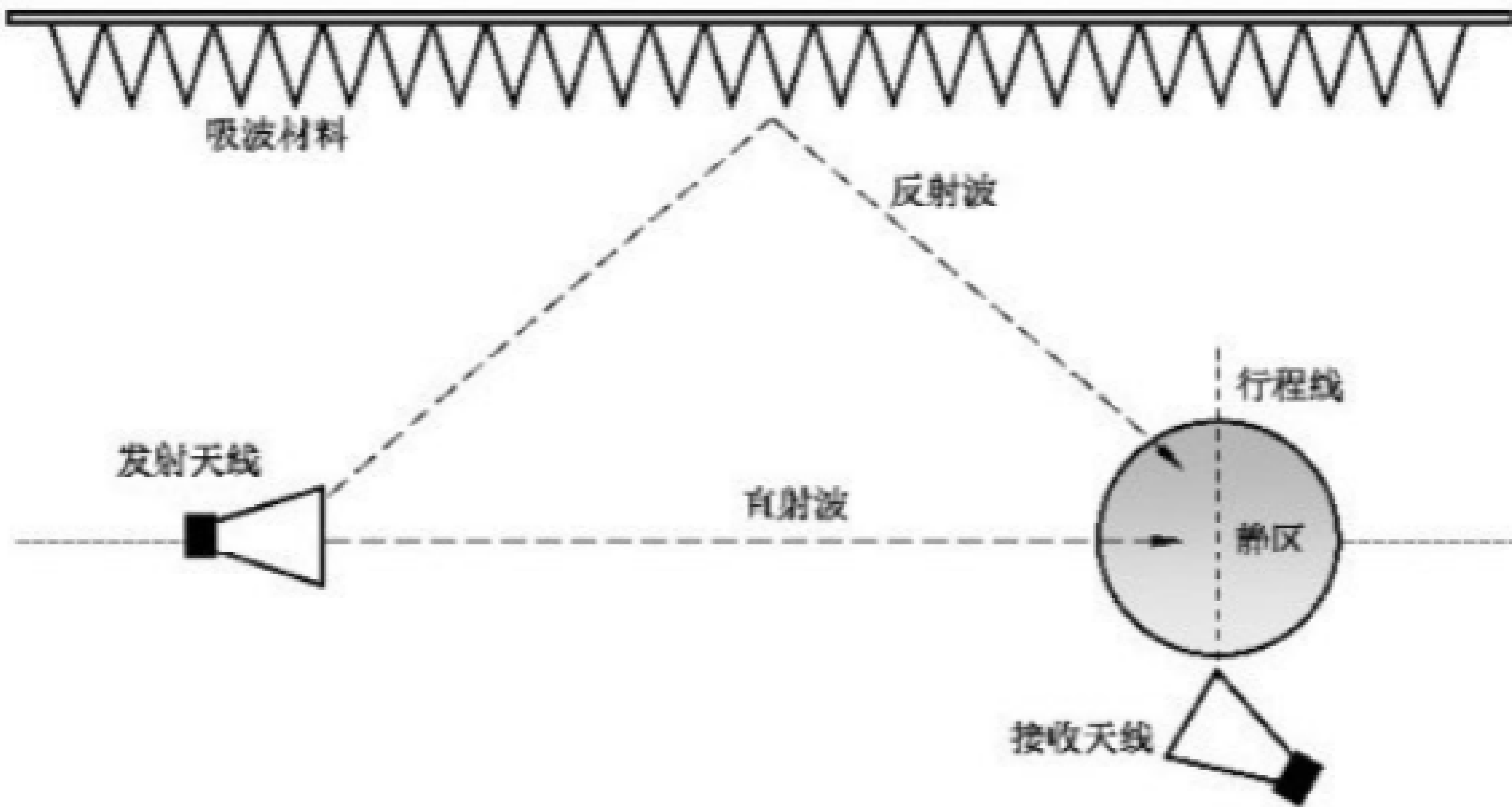


图 2 静区中直射波信号和反射波信号示意图

4.2 测量设备

4.2.1 一般要求

测量系统一般由网络分析仪、发射天线、接收天线和扫描架等设备组成，见图 3 a) 方式 1，网络分析仪可用信号发生器和接收机、频谱仪或功率计等接收设备代替，见图 3 b) 方式 2。测量系统动态范围至少优于待测反射率电平 10 dB。可根据实际情况在发射端使用放大器和/或在接收端使用前置放大器，此时应注意放大器的漂移影响，并保证接收信号在线性范围内。

在测量开始前，所用设备应按使用说明书要求充分预热，并将周围无关设备和设施移开，以减小对测量的影响。

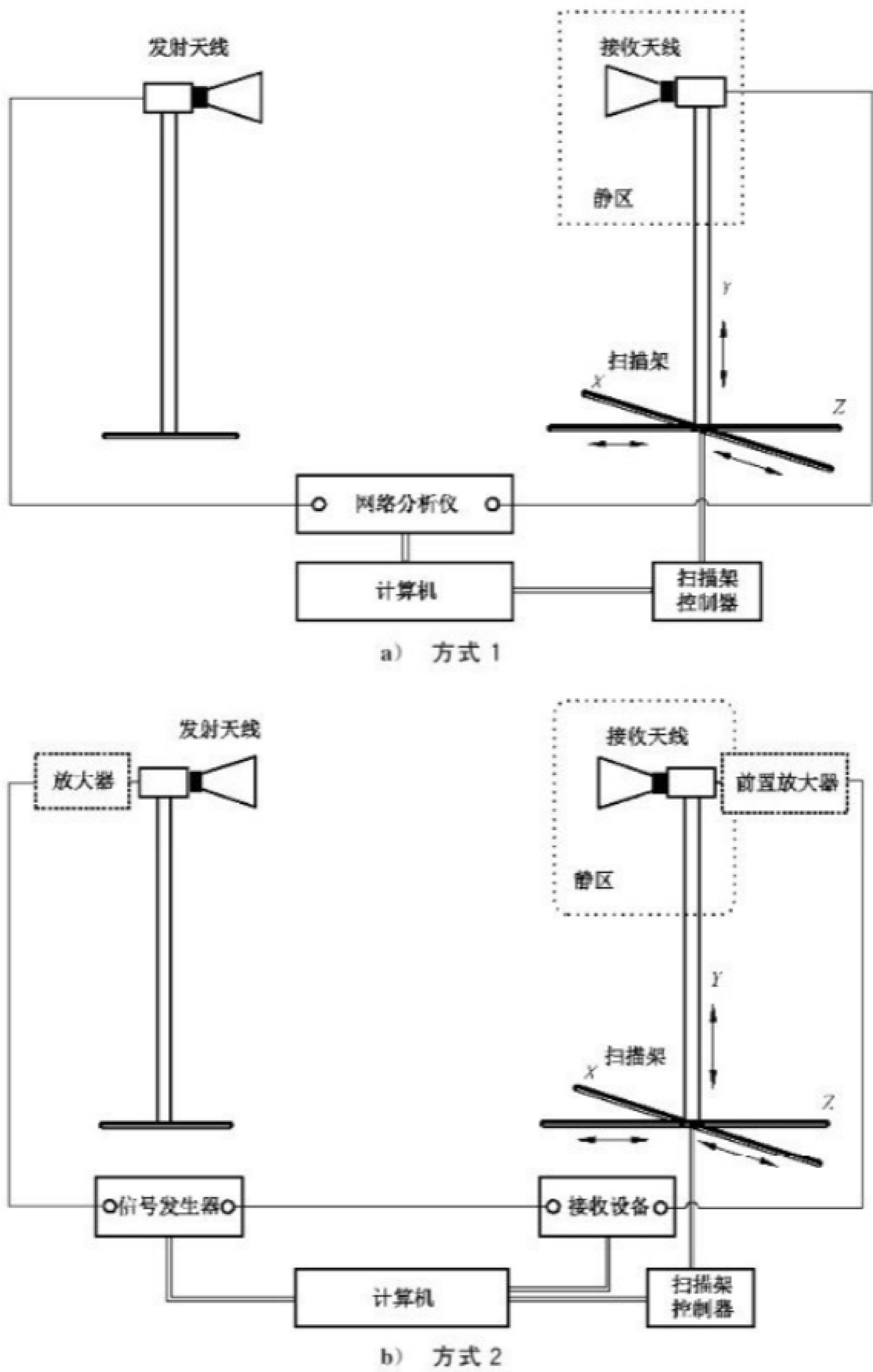


图 3 测量系统示意图

4.2.2 网络分析仪

频率覆盖测试频段,可通过扩频模块实现频率扩展,频率准确度应优于 10^{-6} 。

4.2.3 信号发生器

频率覆盖测试频段,可通过扩频模块实现频率扩展,频率准确度应优于 10^{-6} 。

4.2.4 接收设备

频率覆盖测试频段,可采用频谱仪、测量接收机或者功率计作为接收设备,可通过扩频模块实现频率扩展。

4.2.5 发射天线

在测量中,发射天线宜采用微波暗室实际使用的天线,也可使用小于实际使用天线增益的中低增益线极化天线,以保证有足够的电磁能量照射到暗室各个内壁,发射天线安装位置与实际使用时相同。发射天线在测量频率点的驻波比应小于 1.5,实际使用天线未知的情况下,可按表 1,在试验报告中标注发射天线增益。

表 1 发射天线要求

频率 GHz	增益(典型值) dB
0.7~18.0	10
>18.0~110.0	15
注:在任意两个频段的交叉频率点选用高低增益值均可。	

4.2.6 接收天线

接收天线应选择高方向性的线极化天线,在测量频率点的端口驻波比应小于 1.5。一般选择高增益的标准增益喇叭天线作为接收天线,增益要求见表 2,在试验报告中标注接收天线增益。

表 2 接收天线增益要求

频率 GHz	增益(典型值) dB
0.7~1.1	10
>1.1~1.7	10
>1.7~2.6	15
>2.6~3.95	15
>3.95~5.85	15
>5.85~8.2	20
>8.2~12.4	20
>12.4~18.0	20
>18.0~26.5	20
>26.5~40.0	20
>40.0~50.0	24
>50.0~75.0	24
>75.0~110.0	24
注:在任意两个频段的交叉频率点选用高低增益值均可。	

4.2.7 扫描架

扫描架用于实现接收天线在静区内的行走,应满足以下基本要求:

- a) 有效行程应大于或等于静区范围,并至少可覆盖一个空间驻波周期;
- b) 具备足够的机械强度,提供稳定支撑,接收天线行走无明显晃动;
- c) 保证接收天线定位精度优于最高测量频率对应波长的 1/10;
- d) 具有低散射特性,对原有空间场的扰动足够小,使得扫描架引入的对于暗室静区反射率电平测量的影响可忽略。

4.3 测量设置

测量应分别在天线水平极化和垂直极化下进行,至少应测量穿过静区中心的 X1-X2、Y1-Y2 和 Z1-Z2 行程线,见图 4,可选择其他行程线。

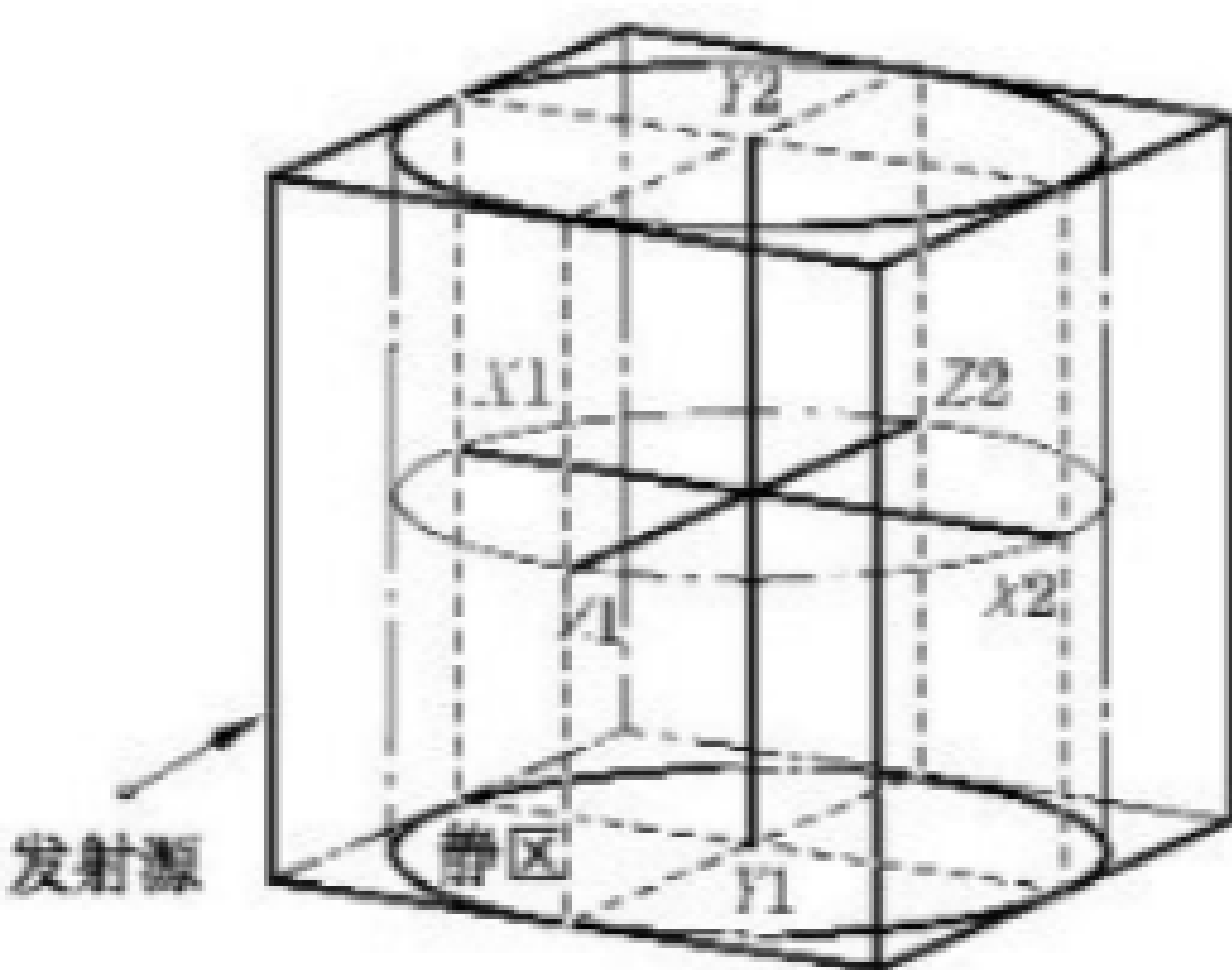
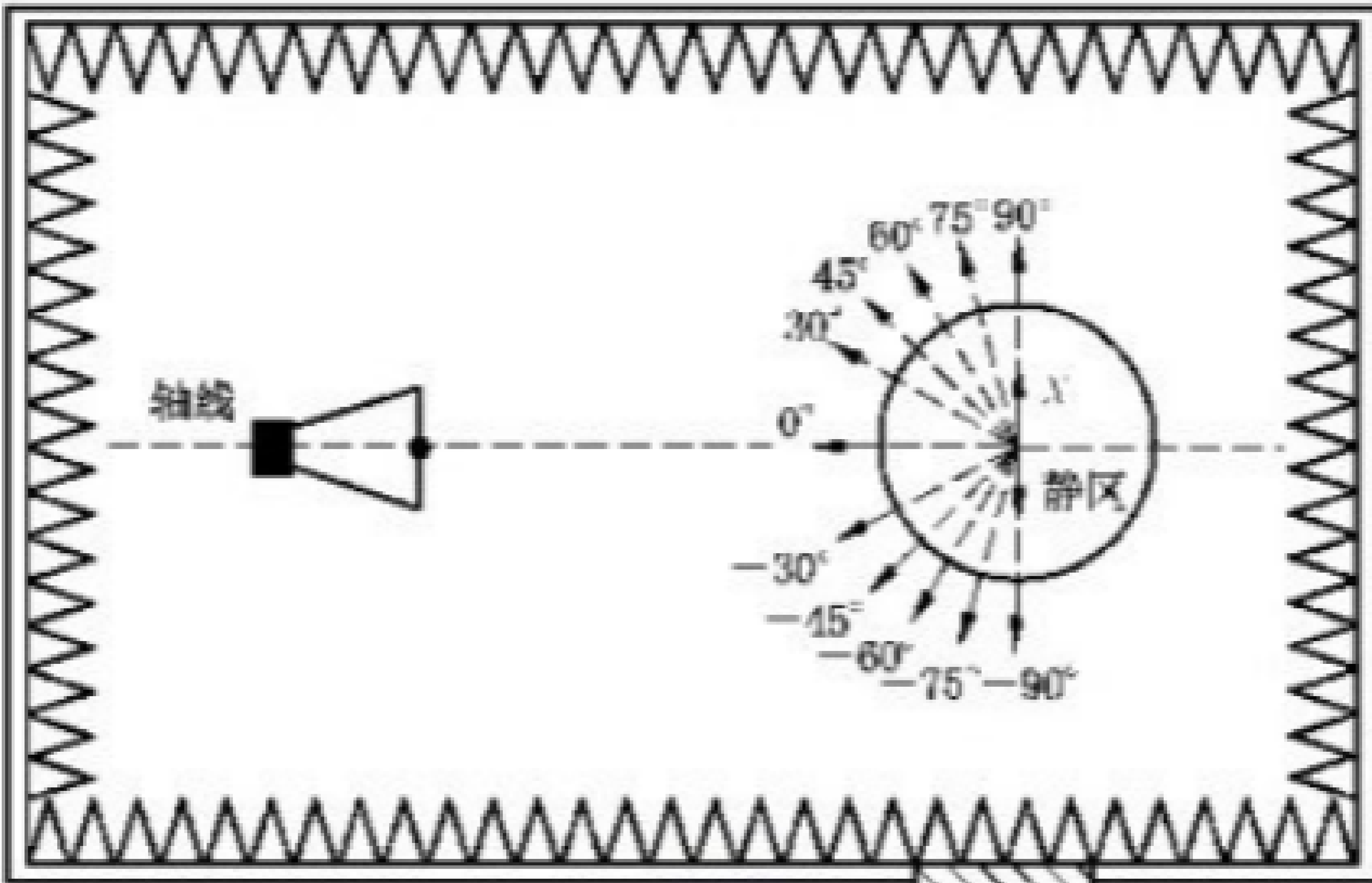


图 4 扫描架走行范围和行程线示意图

以收发天线连线为 0°方向,接收天线在 X、Z 方向上进行测量时,仅改变方位角 α ,俯仰角保持 0°;接收天线在 Y 方向上进行测量时,仅改变俯仰角,方位角 α 保持 0°。在 X 方向上进行测量时,接收天线一般以 15°间隔选择方位角,通常可在 $\pm 30^\circ$ 、 $\pm 45^\circ$ 、 $\pm 60^\circ$ 、 $\pm 75^\circ$ 、 $\pm 90^\circ$ 上测量,见图 5 a);在 Z 方向进行测量时,通常可在 $\pm 150^\circ$ 上测量,见图 5 b);在 Y 方向进行测量时,俯仰角可选择 45°以避免扫描架影响,见图 5 c)。也可根据接收天线辐射方向图 3 dB 波束宽度选择指向角度间隔。

若暗室两侧墙、顶面和地面四面完全一致,同时静区位于宽度和高度中心,可不在 Y 方向选择行程线。若暗室两面侧墙完全一致,同时静区位于宽度中心,方位角可只选择正角度或负角度。



a) 沿 X 行程线指向角度(俯视图)

图 5 指向角度

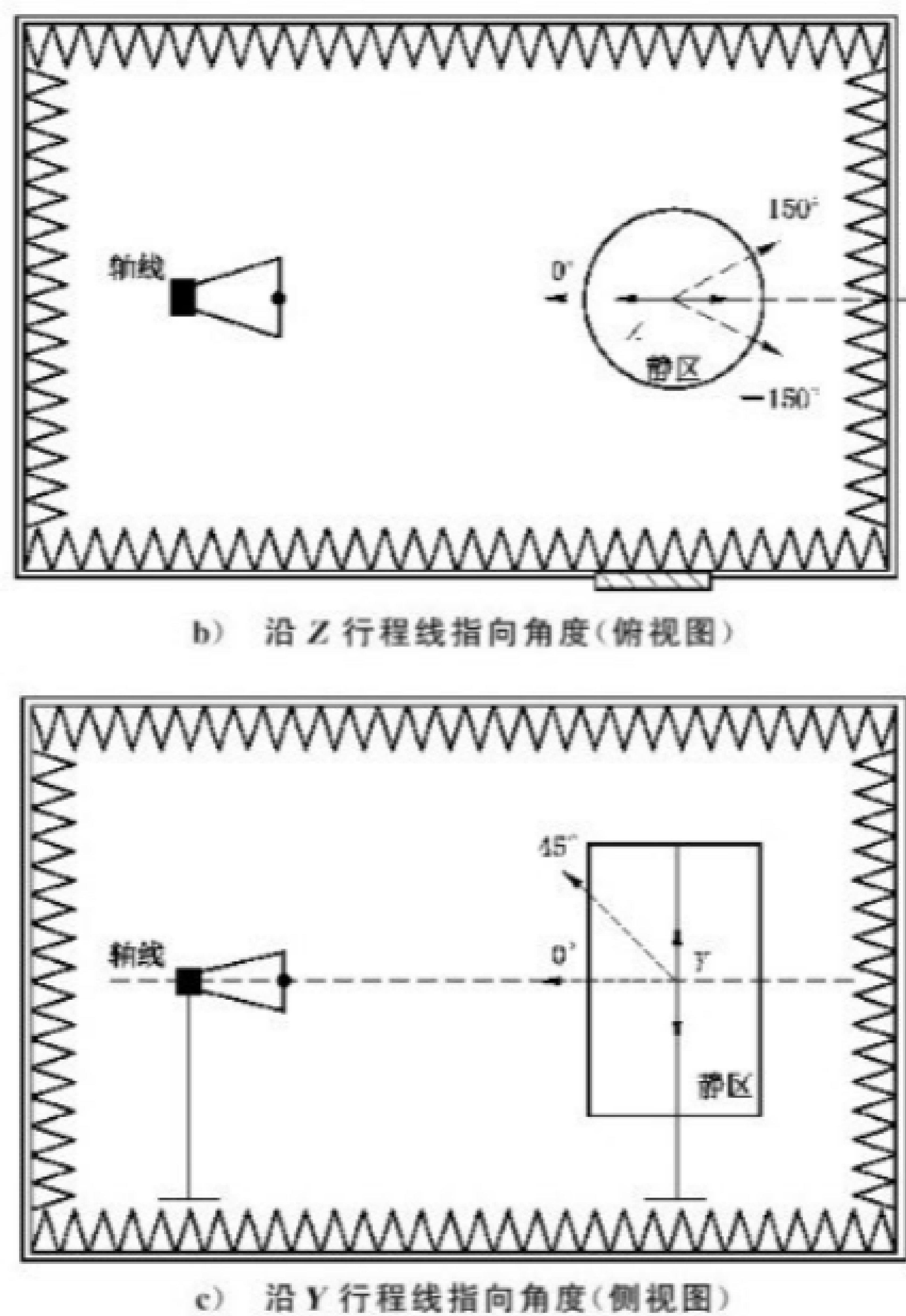
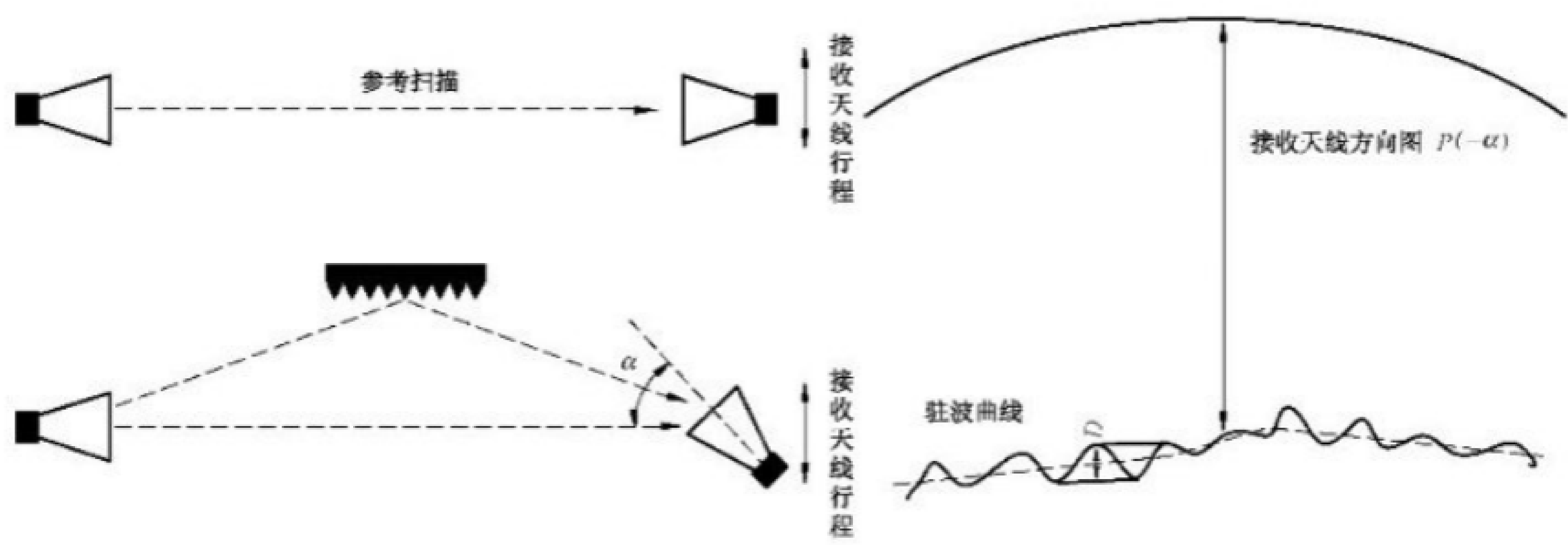


图 5 指向角度 (续)

4.4 测量步骤

测量按以下步骤进行：

- a) 按图 3 所示连接测量设备,架设收发天线；
- b) 将接收天线沿视轴对准发射天线,收发天线极化匹配,沿待测行程线移动,见图 6,以不大于最小驻波周期的八分之一间隔进行参考扫描,记录接收到的场地插入损耗数据,记为参考电平；
- c) 将接收天线的指向调至待测指向角度,沿相同行程线移动,以不大于最小驻波周期的八分之一间隔记录测量的场地插入损耗数据,得到驻波曲线；
- d) 对每种天线极化方式,重复步骤 b)~c)；
- e) 在其他测量行程线,重复步骤 b)~d)；
- f) 重复步骤 b)~e),直至完成所有频段的测量。



标引符号说明：

α ——接收天线方位向指向角，单位为度(°)；

D ——测量驻波曲线中峰峰值，单位为分贝(dB)；

$P(-\alpha)$ ——接收天线在角度 $-\alpha$ 的方向图电平，单位为分贝(dB)。

图 6 测量步骤和驻波曲线

4.5 数据处理

对每个测量频率、每条扫描行程线、每个天线指向角度，按公式(1)计算静区反射率电平。公式(1)详细的推导见附录 A。

$$R = P(-\alpha) + 20 \lg \left(\frac{10^{D/20} - 1}{10^{D/20} + 1} \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

R ——静区反射率电平，单位为分贝(dB)；

$P(-\alpha)$ ——接收天线在角度 $-\alpha$ 的方向图电平，单位为分贝(dB)；

D ——测量驻波曲线中峰峰值，单位为分贝(dB)。

通常在微波暗室中，反射波信号小于接收天线 $-\alpha$ 角度收到的直射波信号，采用公式(1)计算反射率电平。如果反射波信号大于直射波信号，那么按公式(A.3)计算。 $P(-\alpha)$ 通过在天线正对位置比较参考电平和测量驻波曲线得到，如图 6 所示。峰峰值 D 的选择采用下述方式：用直线连接相邻两个波峰值或者两个波谷值，如图 7 所示，一个波峰到相邻两个波谷连线长度或者一个波谷到相邻两个波峰连线的长度即为 1 个峰峰值，将扫描曲线中每个峰峰值计算出来并取最大值得到 D 。选取 D 时需要考虑接收天线在扫描行程线上移动时，由方向图引起的接收电平补偿。



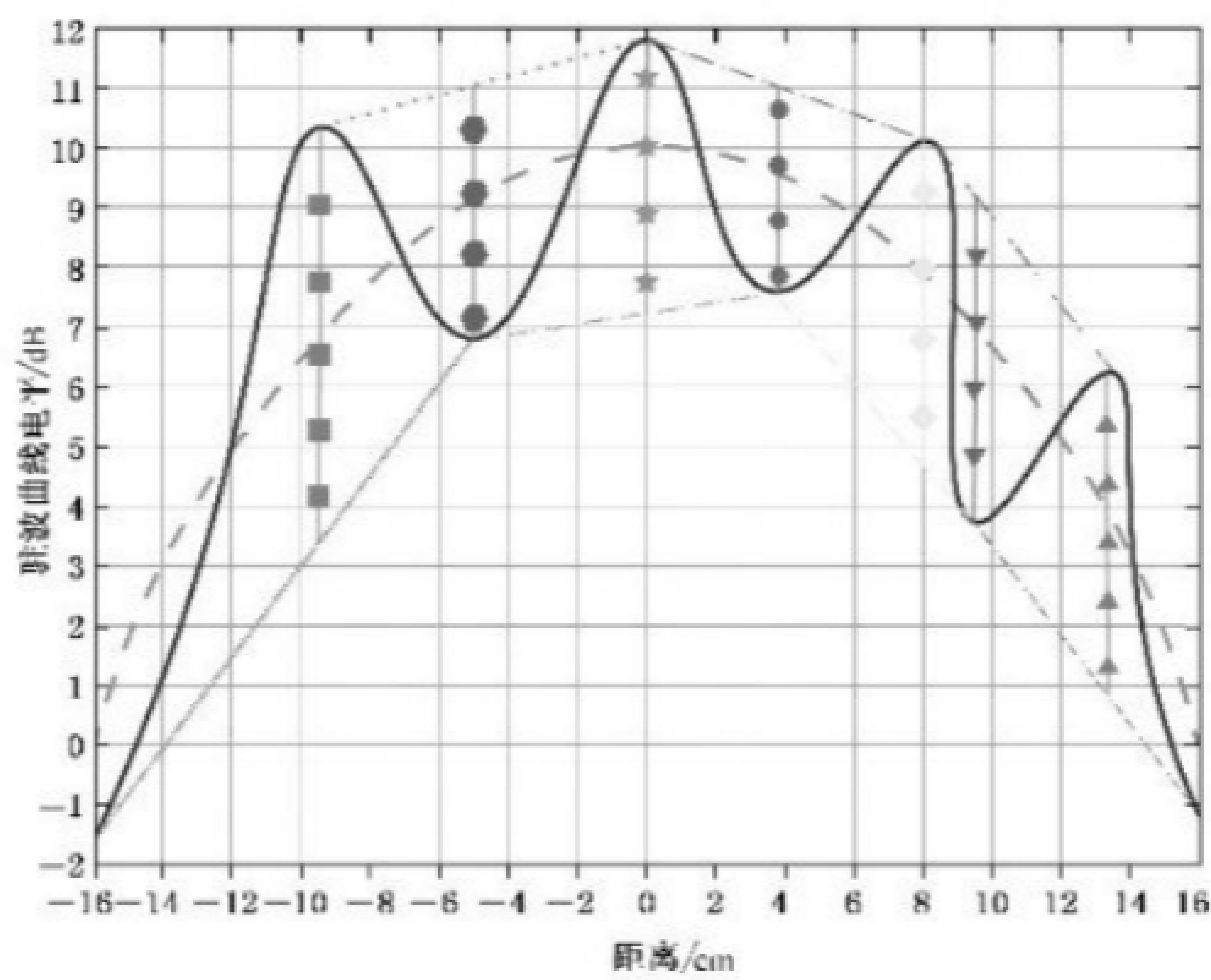


图 7 驻波曲线及峰峰值 D 确定

4.6 测量不确定度

附录 B 给出了静区反射率电平测量不确定度的评定示例。

5 试验报告

试验报告应至少包含以下内容：

- a) 客户名称；
- b) 检测机构名称；
- c) 微波暗室尺寸；
- d) 试验地点；
- e) 试验人员；
- f) 试验日期；
- g) 测量方法和试验布置；
- h) 测量频率点；
- i) 测量行程线；
- j) 测量角度；
- k) 使用的测量仪器名称、型号和校准日期；
- l) 收发天线型号、频率范围和增益；
- m) 静区反射率测量结果。

6 暗室诊断

微波暗室成像技术可用于暗室诊断，见附录 C。

附 录 A

(资料性)

静区反射率电平计算公式的推导

考虑一般情况,接收天线的朝向与发射天线存在夹角 α ,接收天线在该方向上的天线方向图电平为 $P(-\alpha)$,接收天线接收到的直射波电场幅度为 $E'_d=E_d10^{P(-\alpha)/20}$ 。

此时静区反射率电平可用公式(A.1)表示为:

$$R=20\lg\left(\frac{E_r}{E_d}\right)=P(-\alpha)+20\lg\left(\frac{E_r}{E'_d}\right)\dots\dots\dots(A.1)$$

式中:

- R ——静区反射率电平,单位为分贝(dB);
- E_r ——反射波信号电场强度,单位为伏每米(V/m);
- E_d ——直射波信号电场强度,单位为伏每米(V/m)。

接收天线处接收场强最大值为入射波信号和反射波信号的同相叠加,最小值为反相叠加,测量驻波曲线的峰峰值为 D ,单位为分贝(dB)。

如果 E_r 和 E'_d 的关系为 $E_r\leq E'_d$,公式(A.1)可写成公式(A.2):

$$\begin{aligned} R &= P(-\alpha)+20\lg\left(\frac{E_r}{E'_d}\right) \\ &= P(-\alpha)+20\lg\left[\frac{(E'_d+E_r)-(E'_d-E_r)}{(E'_d+E_r)+(E'_d-E_r)}\right] \\ &= P(-\alpha)+20\lg\left[\frac{\frac{(E'_d+E_r)}{(E'_d-E_r)}-1}{\frac{(E'_d+E_r)}{(E'_d-E_r)}+1}\right] \\ &= P(-\alpha)+20\lg\left(\frac{10^{\frac{D}{20}}-1}{10^{\frac{D}{20}}+1}\right)\dots\dots\dots(A.2) \end{aligned}$$

如果 E_r 和 E'_d 的关系为 $E_r>E'_d$,公式(A.1)可写成公式(A.3):

$$R=P(-\alpha)+20\lg\left(\frac{10^{\frac{D}{20}}+1}{10^{\frac{D}{20}}-1}\right)\dots\dots\dots(A.3)$$



附 录 B
(资料性)

静区反射率电平测量不确定度评定示例

静区反射率电平的测试基础是不同行程线上的场地插入损耗的测量结果,其不确定度由场地插入损耗、接收天线方向图等不确定度分量组成。频率低时,测量结果受环境影响大;频率高时,测量结果受扫描架定位精度影响大。因此,在扫描架定位精度完全满足测量要求的前提下,以 1.1 GHz 天线水平极化 4 m 行程上的静区反射率电平测试为例进行测量结果不确定度的评定。

场地插入损耗的测试主要受以下因素影响。

- a) 天线间对准的影响量 δA_U
由于微波暗室中收发天线间对准不理想引入,考虑实际情况,接收天线在对准状态下沿 X、Y 方向各平移 5 cm,取静区反射率电平的最大变化量 0.5 dB 作为该影响量的估计值。假定该影响量服从均匀分布,包含因子 $k = \sqrt{3}$,由天线间对准引入的标准不确定度分量为 $0.5 \text{ dB}/\sqrt{3} \approx 0.29 \text{ dB}$ 。
- b) 扫描架自身反射引入的影响量 δS_R
扫描架主体可以采用吸波材料覆盖,以降低反射。将地面导轨采用吸波材料覆盖和未采用吸波材料覆盖的两组数据结果之差 0.3 dB 作为影响量的误差限。该影响量服从均匀分布,包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。因此扫描架反射引入的标准不确定度分量为 $0.3 \text{ dB}/\sqrt{3} \approx 0.17 \text{ dB}$ 。
- c) 扫描架移动范围内的反射影响量 δR_R
扫描架在移动范围内尤其是 Z1-Z2 行程上,有时无法及时铺设吸波材料,导致测量结果受地面反射影响。考虑地面为金属的极端情况,即在地面引入最大的反射,4 m 行程上取地面覆盖和无覆盖吸波材料的两组数据之差 0.98 dB 作为影响量的误差界。该影响量服从均匀分布,包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。因此由地面反射引入的标准不确定度分量为 $0.98 \text{ dB}/\sqrt{3} \approx 0.57 \text{ dB}$ 。实际情况下地面反射影响小于该极端情况。
- d) 两天线间互耦引入的影响量 δM_R
两天线间的互耦会造成空间驻波,对测量造成干扰,在 1.1 GHz 频段,互耦形成的空间驻波的典型值为 0.3 dB~0.5 dB。以 Z1-Z2 行程上扫描范围内空间驻波最大值 0.43 dB 作为该影响量的误差界。该影响量服从均匀分布,包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。两天线间互耦引起的空间驻波引入的标准不确定度分量为 $0.43 \text{ dB}/\sqrt{3} \approx 0.25 \text{ dB}$ 。
- e) 系统漂移影响量 δS_D
由于测量过程中需要测量不同角度的多个行程,场地插入损耗测量过程时间较长,测量系统漂移引入的不确定度分量由测试开始时的参考位置数值和测试结束时的参考位置数值之差 0.1 dB 作为误差限。该影响量服从均匀分布,包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。因此系统漂移引入的标准不确定度分量为 $0.1 \text{ dB}/\sqrt{3} \approx 0.06 \text{ dB}$ 。
- f) 步长设置引入的影响量 δM_S
测量的步进要求是步长不小于空间驻波波长的八分之一进行扫描,以最大程度还原反射信号引起的波纹,从而准确计算反射率电平。但测试步长和测试时间相关,在 1.1 GHz,选取满足条件下的不同步长测量结果做比较,最大差值 0.2 dB 为误差界。该影响量服从均匀分布,包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。因此由测试步长设置引入的标准不确定度分量为 $0.2 \text{ dB}/\sqrt{3} \approx 0.12 \text{ dB}$ 。
- g) 天线方向图的影响量 δR_P

静区反射率电平计算时,需要使用接收天线在该角度上的方向图数值。校准天线方向图的不确定度(不含吸波材料遮挡),在-10 dB 电平不确定度为 0.84 dB($k=2$),在-20 dB 电平为 0.9 dB($k=2$),-30 dB 电平为 1 dB($k=2$)。该影响量服从正态分布,包含因子 $k=2$ 。因此 1.1 GHz,60°角度水平极化天线方向图测量引入的标准测量不确定度分量为 0.9 dB/2=0.45 dB。

h) 测量重复性 δC_R

将系统断开后重新连接,测量 10 次,计算得到实验标准差 $s = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.18 \text{ dB}$ 。

静区反射率电平测量结果的合成标准不确定度评定示例见表 B.1。由于不确定度分量大部分为均匀分布,其他为正态分布,这些均匀分布分量合成后近似为正态分布,与其他正态分布分量合成后,可以认为是正态分布。其中,移动行程内的地面反射是较大影响量,但是可以通过在地面吸波材料降低该项不确定度;待测天线方向图测量结果不确定度也是较大贡献量,该部分不确定度分量可以从天线校准证书上获取。天线对准对于低频段的场地评估影响较小,频率升高后,扫描架定位精度、位置对准都会成为较明显的影响量。

在 1.1 GHz 时,取 $k=2$,扩展不确定度为: $U=ku_c=1.74 \text{ dB}$ 。

表 B.1 静区反射率电平不确定度评定示例

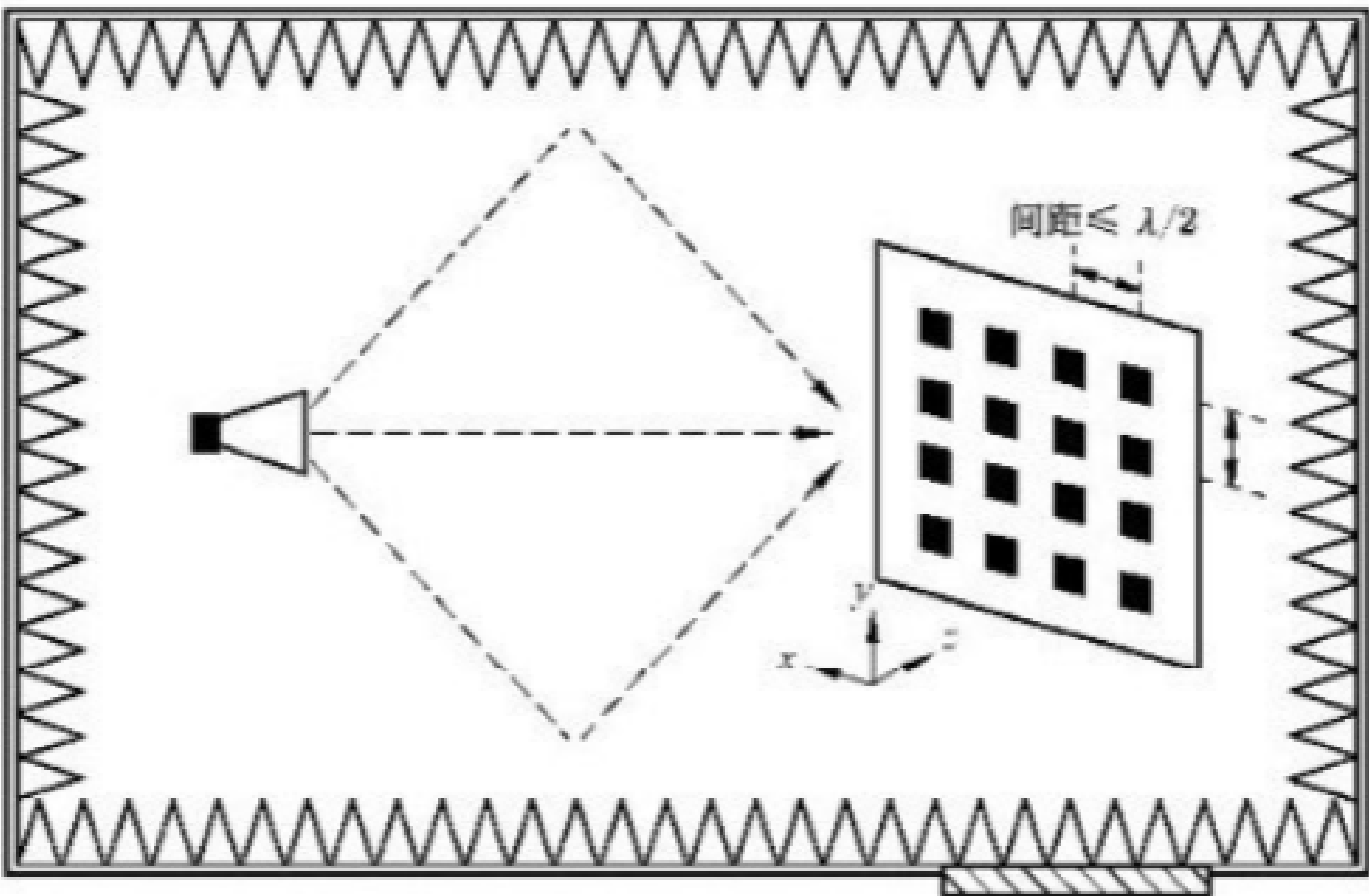
不确定度来源或输入量 x_i	最大允许误差 MPE 或不确定度 U dB	概率分布	包含因子 k	比例因子 p_i	标准不确定度 $u(x_i)$ dB
天线对准 δA_U	0.5	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.29
扫描架自身反射 δS_R	0.3	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.17
移动行程内的地面反射 δR_R	0.98	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.57
收发天线间互耦 δM_R	0.43	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.25
系统漂移 δS_D	0.1	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.06
步长设置 δM_S	0.2	均匀	$\sqrt{3}$	1	0.12
接收天线方向图 δR_P	0.9	正态	2	1	0.45
测量重复性 δC_R	0.18	正态	—	1	0.18
合成标准不确定度 u_c					0.87
扩展不确定度 U					1.74

附录 C
(资料性)
暗室成像技术

根据测量的静区电场幅度计算静区反射率电平,同时如果使用平面扫描架,并采用宽波束探头在二维网格上进行扫描,见图 C.1,可以得到电场强度的幅度和相位,对该电场强度进行二维离散傅里叶变换(DFT)或者等效快速傅里叶变换(FFT),如公式(C.1),得到静区二维空间角谱域分布,即实现暗室成像,可用于暗室诊断。

$$S[i_{kx}, i_{ky}] = \sum_{m=0}^{M-1} \left\{ \sum_{n=0}^{N-1} v[m, n] e^{-j2\pi \left(\frac{mi_{kx}}{M} + \frac{ni_{ky}}{N} \right)} \right\} \dots\dots\dots (C.1)$$

- 式中:
- S —— 二维 FFT 输出,表示静区场和探头之间耦合结果的平面波谱,以整数 i_{kx} [范围 0~(M-1)]和 i_{ky} [范围 0~(N-1)]索引;
 - M —— 沿静区 x 轴的探测点数,包括超出探测位置的补零,也是 FFT 输出 kx 维度的点数;
 - N —— 沿静区 y 轴的探测点数,包括超出探测位置的补零,也是 FFT 输出 ky 维度的点数;
 - $v[m, n]$ —— 在每个静区位置测量的复数的探头电压,以沿 x 轴的整数 m (范围 0~M-1)和沿 y 轴的整数 n (范围 0~N-1)为索引,可加窗和/或补零,这是 FFT 的输入。



标引符号说明:
 λ —— 波长,单位为米(m)。

图 C.1 微波暗室中的二维扫描

图 C.2 给出了微波暗室静区在 15 GHz 成像的示例。

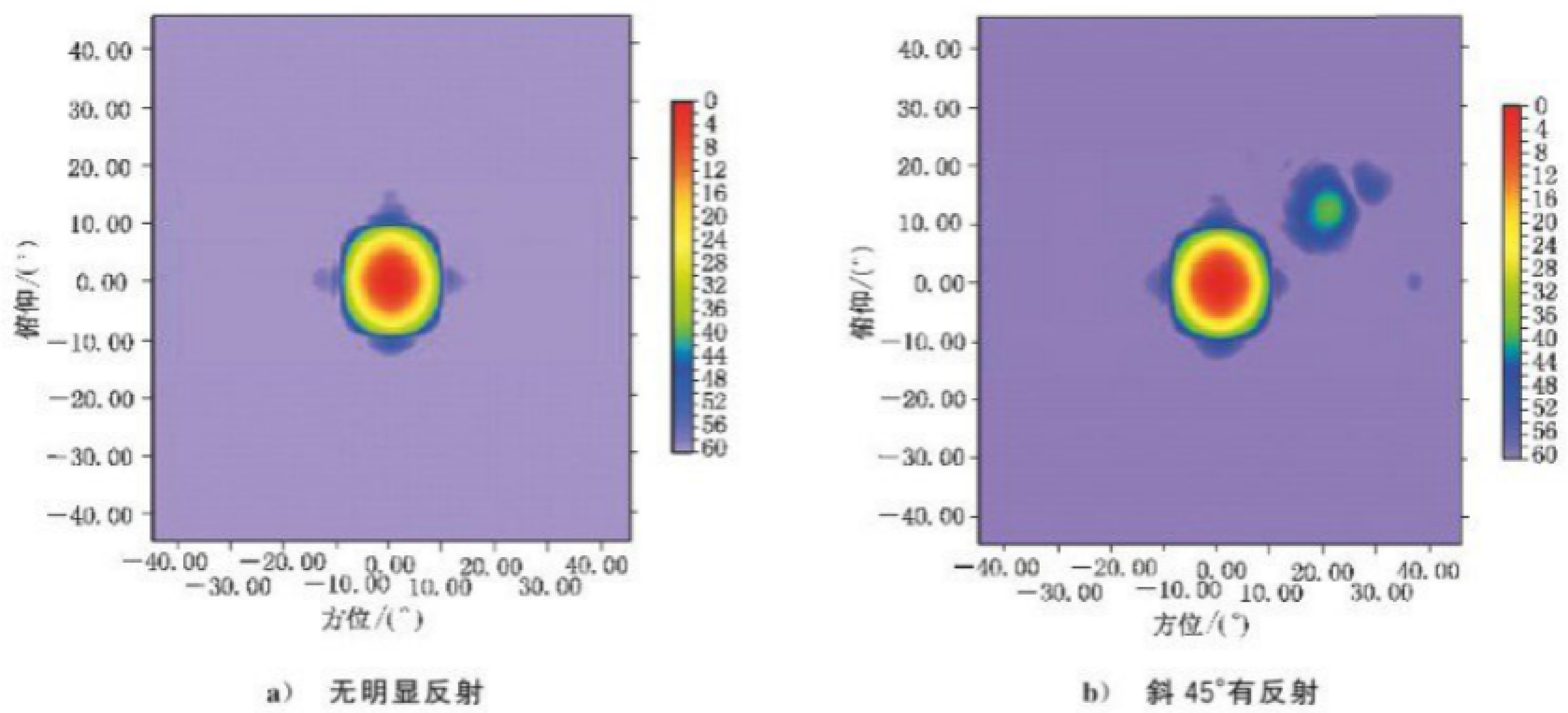


图 C.2 暗室成像诊断示例

参 考 文 献

[1] YD/T 3182—2021 移动通信天线测量场地检测方法
[2] IEEE Standard 149;2021 IEEE Recommended Practice for Antenna Measurements



www.bzxz.net

免费标准下载网