

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

阵列天线增益校准规范（紧缩场法）

Calibration Specification of Array Antenna Gain (Compact Range Method)

（征求意见稿）

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局 发布

阵列天线增益校准规范（紧缩  
场法）

Calibration Specification of Array  
Antenna Gain (Compact Range Method)

JJF XXXX—XXXX

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

参加起草单位：华为技术有限公司  
广州计量检测技术研究院

本规范委托全国无线电计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

刘 潇（中国计量科学研究院）

班 浩（中国计量科学研究院）

赵 兴（中国计量科学研究院）

**参加起草人：**

张劲松（华为技术有限公司）

童剑钊（华为技术有限公司）

沈仁怡（广州计量检测技术研究院）

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 引言.....                  | II |
| 1 范围.....                | 1  |
| 2 引用文献.....              | 2  |
| 3 术语和计量单位.....           | 3  |
| 4 概述.....                | 3  |
| 5 计量特性.....              | 4  |
| 5.1 增益.....              | 4  |
| 6 校准条件.....              | 4  |
| 6.1 环境条件.....            | 4  |
| 6.1 测量标准及其他设备.....       | 4  |
| 7 校准项目和校准方法.....         | 5  |
| 7.1 校准项目.....            | 5  |
| 7.2 校准方法.....            | 5  |
| 8 校准结果表达.....            | 7  |
| 9 复校时间间隔.....            | 8  |
| 附录 A 原始记录内页格式.....       | 9  |
| 附录 B 校准证书内页格式.....       | 10 |
| 附录 C 主要项目校准不确定度评定示例..... | 11 |
| 附录 D 可选的射频系统方案.....      | 17 |

# 引 言

本规范按照 JJF1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

本规范参考了下列文件：IEEE 145<sup>TM</sup>-2013 IEEE 标准天线术语定义，IEEE Std 149<sup>TM</sup>-2021 IEEE 天线测量推荐规范和 3GPP TS 38.141-2 V17.1.0 (2021-03) 基站(BS)一致性测试第 2 部分：辐射一致性测试相关条款和内容编制。

本规范为首次发布。

# 阵列天线增益校准规范（紧缩场法）

## 1、范围

本规范适用于频率范围 1 GHz ~ 40 GHz 的阵列天线的紧缩场法增益校准。其他频段参考执行。

## 2、引用文件

本规范引用了下列文件：

IEEE Std 145<sup>TM</sup>-2013 IEEE 标准天线术语定义（IEEE Standard for Definitions of Terms for Antennas）

IEEE Std 149<sup>TM</sup>-2021 IEEE 天线测量推荐规范（IEEE Recommended Practice for Antenna Measurements）

3GPP TS 38.141-2 V18.6.0（2024-08）NR;基站(BS)一致性测试第 2 部分：辐射一致性测试（NR; Base Station (BS) conformance testing Part2: Radiated conformance testing）

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡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、术语和定义

### 3.1 阵列天线（array antenna）

由一些通常是相同的但并非必须相同，且具有相同极化的辐射单元构成的天线。通过对它们适当地排列和激励可得到一个既定的辐射方向图。注：大多数情况下，辐射单元是相同的，并且可以通过平移或绕轴旋转而重合。

### 3.2 增益（gain）

给定方向上辐射强度与接收功率被各向同性天线辐射所得到的辐射强度之比。不包含阻抗和极化失配导致的损耗。当不指明方向时，默认为天线最大辐射强度方向。

### 3.3 紧缩场（compact range）

采用反射面或介质透镜结合屏蔽与吸波材料等将馈源产生的电磁波在近距离内转换成平面波，模拟平面波辐照的自由空间远场条件的测量场地。

## 4、概述

阵列天线具有增益较高等特点，主要工作原理：通过天线馈电设计可实现波束可扫描，广泛用于移动通信系统、雷达系统中。增益是阵列天线的辐射关键指标。

针对阵列天线的增益测量，可采用紧缩场法、近场法、远场法等，其中紧缩场法的原理是通过反射面在有限距离产生接近平面波条件，不受远场条件限制，原理图如图 1 所示。将待测天线放置在紧缩场静区中，可以进行阵列天线常用参数的测量。

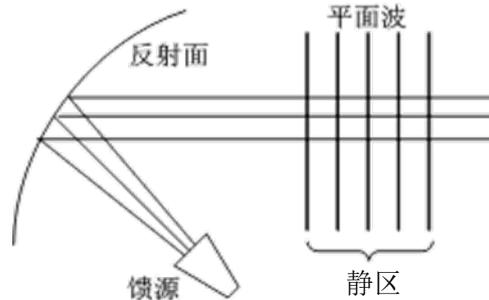


图 1 紧缩场法实现平面波条件的原理图

## 5、计量特性

### 5.1 增益

增益：0 dBi ~ 40 dBi。

## 6、校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(23±5) °C

6.1.2 相对湿度：≤80%

6.1.3 供电电源：(220±11) V，(50±1) Hz

6.1.4 其它：周围无影响仪器正常工作的电磁干扰及机械振动。

### 6.2 测量标准及其他设备

#### 6.2.1 紧缩场微波暗室

频率范围：覆盖 1 GHz ~ 40 GHz；

静区尺寸：大于等于待测天线尺寸；

幅度锥削：<10dB；

幅度波纹：±0.5 dB；相位锥削：<10°

相位波纹：±10°；

交叉极化：优于-30 dB。

#### 6.2.2 标准增益喇叭天线

频率范围：1 GHz ~ 40 GHz；

作为参考标准天线使用，需具备在有效期范围内的计量校准报告，其中增益不确定度：1 GHz~2 GHz 优于 0.3 dB ( $k=2$ )；2 GHz~40 GHz 优于 0.2 dB ( $k=2$ )。

### 6.2.3 矢量网络分析仪及校准套件

频率范围：1 GHz~40 GHz；

动态范围： $\geq 60$  dB；

校准套件：机械或电子均可，需要与矢量网络分析仪适配，并与待测天线端口适配；连接器类型：2.4mm（阳），可转换到 N 型、3.5mm、2.92mm 等，与待测天线适配。

注：以上技术指标仅提供参考，不作为符合性判定依据。

## 7、校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目见表 1 所示。

表 1 校准项目表

| 序号 | 校准项目 | 条款    |
|----|------|-------|
| 1  | 天线增益 | 7.2.2 |

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 外观及工作正常性检查

待测阵列天线的外观应完好，不应有影响电气性能的机械损伤，配套附件齐全。首先利用校准套件对与网络分析仪端口相连的电缆末端执行“开路-短路-匹配”单端口校准，网络分析仪置于测量反射系数的模式下进行扫频测量，通过测量被校准天线端口反射系数和电压驻波比 VSWR，确保天线的 VSWR 满足产品技术指标要求，该项测量最好位于暗室内，若在暗室外进行，需至少保证待测阵列天线辐射主波束内无明显反射物遮挡。将检查结果记录在附录 A.1 中。

#### 7.2.2 天线增益

a) 按照图 2 连接系统，将参考天线即标准增益喇叭天线，放置在紧缩场静区中心位置，控制参考天线与馈源极化方式一致（水平或垂直极化），设置网络分析仪为扫频测量模式，依据实际需要或生产企业提供的产品说明书设置起始频率、终止频率、扫频步进或频点；设置中频带宽、源输出电平，使得测量的电平幅值在网络分析仪的动态范围内，测量得到标准天线的接收功率  $P_s$ ；

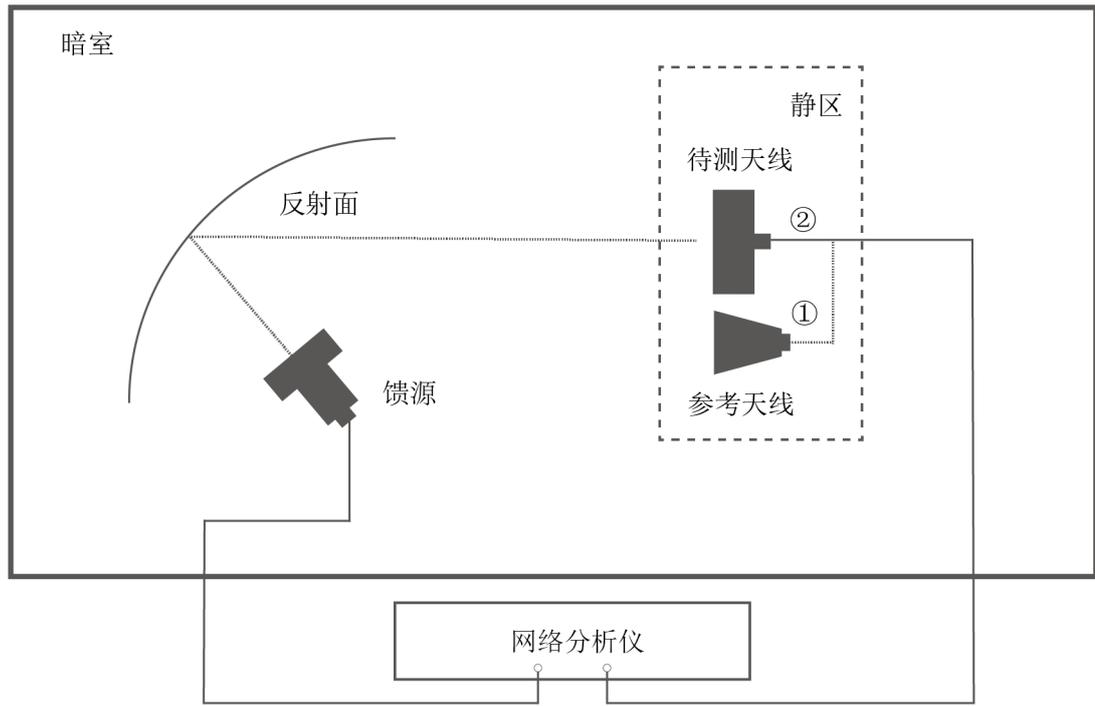


图 2 系统布置

- b) 将参考天线取下，将待测阵列天线放置在静区中心同一个位置，控制被校天线与馈源极化方式一致，测量得到待测天线的接收功率  $P_T$ ；
- c) 利用网络分析仪进行连接电缆端口反射系数测量，得到  $\Gamma_L$ ；
- d) 利用网络分析仪进行待测天线端口反射系数测量，得到  $\Gamma_T$ ，将数据记录在附录 A.2 中。
- e) 从计量校准证书中获取参考天线增益  $G_s$  和参考天线端口反射系数  $\Gamma_s$ ，或者利用网络分析仪进行参考天线端口反射系数测量；
- f) 根据公式 (7-3) 或者 (7-4) 计算端口阻抗修正值  $M_C$ ；

$$M_C = -10 \log_{10} \left( \frac{1 - |\Gamma_T|^2}{1 - |\Gamma_s|^2} \right) \quad (7-3)$$

$\Gamma_T$  和  $\Gamma_s$  分别为待测天线和参考天线的端口反射系数。此修正使用的前提是与待测天线连接处的电缆端口已经校准为理想传输线形式。若该电缆没有校准到端口，那么假定  $\Gamma_L$  为连接电缆的端口反射系数，那么 (7-3) 为

$$M_C = -10 \log_{10} \left( \frac{|1 - \Gamma_s \Gamma_L|^2 (1 - |\Gamma_T|)^2}{|1 - \Gamma_T \Gamma_L|^2 (1 - |\Gamma_s|^2)} \right) \quad (7-4)$$

g) 增益校准采用比较法，也称增益传递法（Gain-transfer method）。计算公式如下，下标 S 和 T 分别代表标准天线和待测天线。

$$G_T(\text{dB})=G_S(\text{dB})+P_T(\text{dB})-P_S(\text{dB}) \quad (7-1)$$

式中：

$G_T$ ——待测天线的增益，dBi；

$G_S$ ——标准天线的增益，dBi；

$P_T$ ——待测天线的接收功率，dBm；

$P_S$ ——标准天线的接收功率，dBm。

在系统的接收端，两次测试分别连接待测天线和参考天线，二者端口反射系数差异导致接收功率差异，需要进行端口阻抗修正，修正值为  $M_C$ ，与标准天线、待测天线以及连接电缆端口反射系数有关。

$$G_T(\text{dB})=G_S(\text{dB})+P_T(\text{dB})-P_S(\text{dB})+M_C(\text{dB}) \quad (7-2)$$

根据公式（7-2）计算待测阵列天线增益  $G_T$ ，将数据记录在附录 A.3 中。

h) 若需要测量该阵列天线的其他波束，可以重复步骤 a) ~ 步骤 g)，其中端口反射系数仅需要进行一次测量即可。

## 8、校准结果表达

阵列天线校准后，出具校准证书，校准证书至少应包含以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点(如果与实验室的地址不同)；
- d) 证书的唯一性标识(如编号)，每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；

- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书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

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定，推荐为 1 年。

## 附录 A

## 原始记录格式

## A.1 外观及工作正常性检查：\_\_\_\_\_

|      |                |
|------|----------------|
| 频率   | 电压驻波比 VSWR 实测值 |
| GHz  |                |
| 起始频率 |                |
| ...  |                |
| ...  |                |
| ...  |                |
| 终止频率 |                |

## A.2 反射系数和修正值

| 频率   | 参考天线反射系数   |    | 待测天线反射系数   |    | 连接电缆反射系数   |    | 修正值   |
|------|------------|----|------------|----|------------|----|-------|
|      | $\Gamma_S$ |    | $\Gamma_T$ |    | $\Gamma_L$ |    | $M_C$ |
| GHz  | 实部         | 虚部 | 实部         | 虚部 | 实部         | 虚部 | dB    |
| 起始频率 |            |    |            |    |            |    |       |
| ...  |            |    |            |    |            |    |       |
| ...  |            |    |            |    |            |    |       |
| ...  |            |    |            |    |            |    |       |
| 终止频率 |            |    |            |    |            |    |       |

## A.3 天线增益

| 频率   | $P_S$ | $P_T$ | $G_S$ | $G_T$ |
|------|-------|-------|-------|-------|
| GHz  | dB    | dB    | dB    | dB    |
| 起始频率 |       |       |       |       |
| ...  |       |       |       |       |
| ...  |       |       |       |       |
| ...  |       |       |       |       |
| 终止频率 |       |       |       |       |

## 注

- 1 如果是扫频测量，在频点较多的情况下，原始记录也可以电子文档形式保存，文件名应规范且给出相应的数据格式说明。

## 附录 B

## 校准证书内页格式

## B.1 天线增益

| 频率 [GHz] | 增益 G [dB] | 不确定度 $U(k=2)$ |
|----------|-----------|---------------|
| 起始频率     |           |               |
| ...      |           |               |
| ...      |           |               |
| ...      |           |               |
| 终止频率     |           |               |

## 附录 C

## 校准不确定度评定示例

## C.1 增益

## C.1.1 测量模型

根据测量原理，待测天线的增益值通过下式计算

$$G_T = G_S + P_T - P_S + M_C \quad (C-1)$$

该公式为 dB 形式的计算式。

其中，接收功率  $P_T$  和  $P_S$  可以基于测量获得，以 dB 形式表示。

## C.1.2 不确定度来源及合成标准不确定度计算公式

## C.1.2.1 不确定度来源

采用网络分析仪进行测量，则  $P_T$  和  $P_S$  可以表示为：

$$P_T = |S_{21}|_T + \delta K_D + \delta S_L + \delta C_F + \delta A_U + \delta P_R + \delta R_L + \delta F_L + \delta A_T + \delta A_R + \delta C_R \quad (C-2)$$

$$P_S = |S_{21}|_S + \delta K_D + \delta S_L + \delta C_F + \delta A_U + \delta P_R + \delta R_L + \delta F_L + \delta A_T + \delta A_R + \delta C_R \quad (C-3)$$

式中： $|S_{21}|_T$ ， $|S_{21}|_S$ ——测量待测天线和参考天线时系统的插入损耗测量 dB 值，标准不确定度分量为  $u(S_{IL})$ ；

$\delta K_D$ ——测量系统同中仪器设备、电缆等随时间的漂移影响量；

$\delta S_L$ ——低噪声放大器（LNA）等测量射频仪器非线性的影响量；

$\delta C_F$ ——电缆弯折的影响量；

$\delta A_U$ ——安装对准的影响量，包含平移偏差  $\delta T_D$  和角度偏差  $\delta R_D$ ；

$\delta P_R$ ——交叉极化的影响量；

$\delta R_L$ ——射频场串扰和泄露的影响量；

$\delta F_L$ ——馈源泄露的影响量；

$\delta Q_P$ ——静区平面波质量（纹波和锥削）的影响量；

$\delta A_R$ ——馈源、天线支架、暗室散射的影响量；

$\delta C_R$  ——系统连接重复性的影响量。

在评估待测天线的增益  $G_T$  测量不确定度时，需要考虑公式(C-2)和(C-3)中不确定分量在  $P_T$  和  $P_S$  两组测量之间存在相关性，因此需要逐个评估各项不确定度影响量的灵敏系数  $c_i$ 。

### C.1.2.2 相对合成标准不确定度计算公式

增益测量合成标准不确定度计算公式如下：

$$\begin{aligned} u^2(G_T) = & u^2(G_S) + u^2(S_{IL}) + u^2(M_C) \\ & + c_1^2 u^2(\delta K_D) + c_2^2 u^2(\delta S_L) + c_3^2 u^2(\delta C_F) + c_4^2 u^2(\delta A_U) + c_5^2 u^2(\delta P_R) \\ & + c_6^2 u^2(\delta R_L) + c_7^2 u^2(\delta F_L) + c_8^2 u^2(\delta Q_P) + c_9^2 u^2(\delta A_R) + c_{10}^2 u^2(\delta C_R) \end{aligned} \quad (C-4)$$

经分析，灵敏系数  $C$  为：

$$c_1 = 1, c_2 = 2, c_3 = \sqrt{2}, c_4 = \sqrt{2}, c_5 = \sqrt{2}, c_6 = \sqrt{2}, c_7 = \sqrt{2}, c_8 = \sqrt{2}, c_9 = \sqrt{2}, c_{10} = 1$$

### C.1.3 不确定度计算

**增益标准：**天线增益测量通常通过增益传递方法完成，通过该方法测量增益标准和待测天线。增益标准有其自身的不确定度，其不确定度可以从校准证书中获得。本例中，校准证书中给出的扩展不确定度为 0.2dB ( $k=2$ )，正态分布，则标准不确定度为  $0.2\text{dB}/2=0.1\text{dB}$ 。

**射频系统漂移：**此项分量是对测量系统中射频仪器设备等的漂移影响量的评估。本例中，最大偏差为 0.05dB，矩形分布，则标准不确定度为 0.029dB。

**射频仪器非线性：**由于系统非线性引入的不确定度贡献量根据使用的测量仪器不同，该影响量误差界的典型值不同。本例中，最大偏差为 0.059dB，矩形分布，则标准不确定度为 0.068dB。

**电缆弯折：**射频电缆的幅度相位稳定度在高准确度测量中至关重要。本例中，最大偏差为 0.05dB，矩形分布，则标准不确定度为 0.041dB。

**安装对准：**定位不准引入的不确定度取决于增益大小，高增益天线对准需要特别重视。其也和测量类型相关，相比于同极化测量，交叉极化测量对位置定位误差更敏感。测量处理中需要合成信号的情况也对定位更敏感，例如测量圆极化天线。本例中，最大

偏差为 0.01dB，矩形分布，则标准不确定度为 0.082dB。

**极化失配：**静区内入射测试信号的极化失配是由于馈源和反射面的极化效应引起的。增益标准的极化失配会影响增益测量的不确定性，因为增益标准通常会设置极化参考方向，用于被测天线的测量。当结合两个线性极化测量以合成圆极化时，误差可能会很大。本例中，最大偏差为 0.016dB，矩形分布，则标准不确定度为 0.013dB。

**射频场泄漏和串扰：**泄漏发生在当相干辐射无意间泄漏到暗室内时，通常发生在电缆接口处，由于连接不当、损坏的电缆或其他微波设备导致。此外，测量设备电路内部的干扰是由于发射、参考和接收信号之间的内部隔离不良，导致设备内部产生串扰泄漏。这两个误差可以分开测试。内部串扰的特点是在终止信号源输出并连接接收机输入后，收集与频率有关的数据。泄漏可以通过终止在紧缩场馈电天线输入端的传输线，并收集与方位角和频率有关的数据来进行测试。完整的泄漏特性测试还应包括紧缩场馈电天线连接的情况，但被测天线电缆已断开，并终止以收集泄漏模式。串扰测试中检测到的信号高于最低水平的都被视为泄漏。这种测试通常与增益标准一起进行，作为接收天线。泄漏项可能会引入测试场中其他杂散信号的干扰。识别并减少泄漏源至相对于峰值信号小于-70 dB 的水平，可以减少由此误差源引起的增益不确定度。内部设备泄漏会影响测量的幅度和相位，且在不重新设计电路的情况下不易修正。本例中，最大偏差为 0 dB，矩形分布，则标准不确定度为 0dB。

**馈源泄露：**馈源与静区之间的直接耦合可能会导致增益和旁瓣不确定性。通过使用吸波板来阻挡馈源辐射朝向静区的方向，可以减少这种泄露。该误差的估计可以通过评估馈源辐射模式与紧缩场几何结构及静区位置的关系来进行。吸收板的设计应避免扭曲馈源辐射模式和结构散射，同时有效防止直接耦合。本例中，最大偏差为 0.006 dB，U 型分布，则标准不确定度为 0.006dB。

**静区平面波质量：**馈源主波束幅度方向图投射到静区中，是形成静区锥削的主要来源。锥削会随着频率发生变化，对于宽带天线来说，高频时候的锥削较大。因此馈源的选择需要考虑整个系统的性能和具体应用。波纹则反映了静区内干扰信号的大小。考虑待测天线尺寸范围内的静区锥削和波纹影响。本例中，最大偏差为 0.3 dB，矩形分布，则标准不确定度为 0.173dB。

**馈源、天线支架、暗室散射的影响量：**馈源、安装待测天线的支架散射等都会导致干扰信号进入静区，引入不确定度分量，可以通过仿真技术进行模拟。大部分的紧缩场

位于微波暗室中，选取的吸波材料可以衰减通过地面、墙面、顶面反射到静区中的电磁波能量，会引入误差，增加增益不确定度。对于任意一个紧缩场，暗室中合适的微波吸波材料选取和布置都是设计的关键。优于来波信号角度不一定是吸波材料最佳吸收角度，必然有些信号能量没有被吸收，而是被反射出去。紧缩场设计方可以充分利用不同尺寸的吸波材料的优点，调整材料方向以控制来自吸波材料尖端和平面的散射。通过分析吸波材料的反射率，可以估计静区内散射信号电平。本例中，最大偏差为 0.1dB，矩形分布，则标准不确定度为 0.114dB。

**失配：**待测天线和接收机存在端口反射系数，二者相连处存在传输线反射，引入测量不确定度。对于待测天线和增益标准来说，此项都存在。实际中可以采用衰减器减低反射，但是代价是牺牲了动态范围。这项影响也可以通过失配修正公式计算，根据该量值大小可以考虑进行增益修正，并考虑修正不确定度，也可以直接将该量值作为不确定度分量。本例中，最大偏差为 0.348 dB，U 型分布，则标准不确定度为 0.247dB。

**其他来源：**

**反射面表面粗糙度：**在高频下，反射面表面粗糙度成为一个贡献因子，因为它限制了反射面适当聚焦测试信号的能力。随着频率的增加，表面特征会变得与波长相比显著。本例中，最大偏差为 0.138 dB，矩形分布，则标准不确定度为 0.16dB。

**反射面边缘衍射：**信号在反射面上由于反射面表面不连续性而产生的散射。低频情况下，主要误差来源发生在反射面终端处，受反射面与自由空间之间的不连续性影响。部分散射能量会传播到静区，并与主要测试信号相互干扰，增加增益不确定性，可以通过锯齿状或滚动边缘的终端处理来减少此误差。该误差可以通过估计到达静区的散射能量对主要信号沿紧缩场轴传播的干扰水平来进行评估，也可以通过已知静区场分布的已知天线进行现场探测来评估。本例中，最大偏差为 0 dB，矩形分布，则标准不确定度为 0dB。

**馈源对准误差：**为了优化静区的相位和幅度性能，必须将馈源正确对准反射面。对准误差会引入相位和幅度误差，从而导致静区场的不确定性并影响增益不确定度。相位误差是由于馈源的相位中心未与反射面的焦点对齐，导致馈源发出的球面相位波前未能被反射面正确聚焦。馈源的相位中心随频率变化可能会发生偏移，因此在频段内应预期一些自然失焦。对于给定大小的静区和反射面焦距，静区幅度锥削主要受馈源幅度锥削的影响。然而，反射面的几何结构会引入小量的幅度锥削，该误差是由反射面中心到其

外部的路径长度差异导致的。为了补偿这种误差，馈源波束通常会稍微对准反射面中心的上方，这种调整会补偿反射面边缘的功率损耗。

**多重反射:**待测天线的散射截面会产生向反射面反向散射的信号，散射回待测天线导致干扰项。该误差随着天线雷达散射截面的增加而增加，可以通过待测天线在沿场轴的不同位置进行测量来评估。本例中，最大偏差为 0 dB，U 型分布，则标准不确定度为 0dB。

**动态范围:**测量低幅度信号时，对系统中的非相干干扰和噪声引起的误差非常敏感。保持高信噪比（SNR）可以减小干扰的影响。45dB 的动态范围足够保证将该项对增益影响的不确定度控制 0.05dB。

**方向图差异:**待测天线方向图与增益标准方向图差异越大，则该项不确定度越大。十次连接重复性为 0.066dB。

#### C.1.4 合成标准不确定度

经过评定，增益合成标准不确定度为 0.40 dB，如表 C.1 所示。

表 C.1 增益不确定度汇总表

| 不确定度来源    | 增益不确定度 (dB) |        |      |            |             |
|-----------|-------------|--------|------|------------|-------------|
|           | 分布          | 值 (dB) | 除数   | 灵敏系数       | 标准不确定度 (dB) |
| 增益标准      | 正态分布        | 0.200  | 2    | 1          | 0.100       |
| 射频系统漂移    | 矩形分布        | 0.050  | 1.73 | 1          | 0.029       |
| 射频系统非线性   | 矩形分布        | 0.059  | 1.73 | 2          | 0.068       |
| 被测天线定位系统  | 矩形分布        | 0.100  | 1.73 | $\sqrt{2}$ | 0.082       |
| 电缆弯折      | 矩形分布        | 0.050  | 1.73 | $\sqrt{2}$ | 0.041       |
| 静区幅度锥削和波纹 | 矩形分布        | 0.300  | 1.73 | $\sqrt{2}$ | 0.173       |
| 馈源对准误差    | 矩形分布        | 0.000  | 1.73 | 2          | 0.000       |
| 极化失配      | 矩形分布        | 0.016  | 1.73 | $\sqrt{2}$ | 0.013       |
| 射频场泄漏和串扰  | 矩形分布        | 0.000  | 1.73 | $\sqrt{2}$ | 0.000       |
| 馈源泄露      | U 形分布       | 0.006  | 1.41 | $\sqrt{2}$ | 0.006       |
| 反射面边缘衍射   | 矩形分布        | 0.138  | 1.73 | 2          | 0.160       |
| 反射面表面粗糙度  | 矩形分布        | 0.000  | 1.73 | 2          | 0.000       |
| 馈源、天线支架散射 | 矩形分布        | 0.1    | 1.73 | $\sqrt{2}$ | 0.114       |
| 暗室散射      | 矩形分布        | 0.030  | 1.73 | $\sqrt{2}$ | 0.025       |
| 失配        | U 形分布       | 0.348  | 1.41 | 1          | 0.247       |
| 射频重复性     | 正态分布        | 0.066  | 1    | 1          | 0.066       |
| 多重反射      | U 形分布       | 0.000  | 1.41 | 1          | 0.000       |
| 合成标准不确定度  |             |        |      |            | 0.40        |
| 包含因子 $k$  |             |        |      |            | 2           |

|        |      |
|--------|------|
| 扩展不确定度 | 0.80 |
|--------|------|

### C.1.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 0.8 \text{ dB} \quad (k=2)$$

## 附录 D

## 可选的射频系统方案

该校准的射频系统部分除了采用 6.2.3 的网络分析仪外，也可以根据具体情况采用频谱分析仪或者功率计作为接收，信号源发射电磁波。如图 D.1 所示。

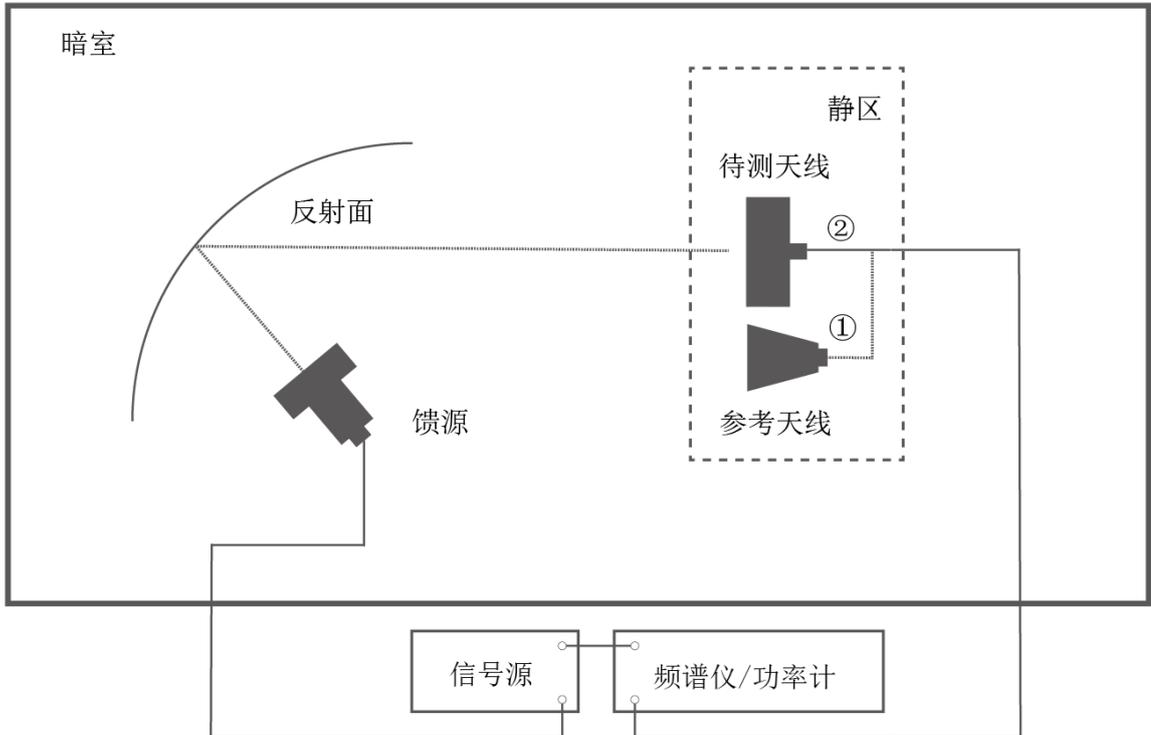


图 D.1 可选的射频系统框图

其中：

频谱分析仪需满足：频率范围：1 GHz ~ 40 GHz；动态范围： $\geq 60$  dB。

功率计需满足：频率范围：1 GHz ~ 40 GHz；动态范围： $\geq 30$  dB。

信号源需满足：频率范围：1 GHz ~ 40 GHz；最大输出功率： $\geq 0$  dBm。