

# 中华人民共和国工业和信息化部 通信计量技术规范

JJF（通信）068-2023

## 雷达回波模拟器校准规范

Calibration Specification for Radar Echo Simulators

（报批稿）

2023-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布



# 雷达回波模拟器校准规范

Calibration Specification for  
Radar Echo Simulators

JJF (通信) 068-2023

归口单位：中国信息通信研究院

主要起草单位：中国信息通信研究院

参加起草单位：北京理工雷科电子信息科技有限公司

本规程技术条文委托起草单位负责解释

**本规范主要起草人：**

纪 锐（中国信息通信研究院）

成 锴（中国信息通信研究院）

张向阳（中国信息通信研究院）

**参加起草人：**

盛蒙蒙（北京理工雷科电子信息科技有限公司）

孙景禄（中国信息通信研究院）

# 目 录

引言.....	(II)
1 范围 .....	1
2 术语和定义 .....	1
2.1 速度模拟参数 .....	1
2.2 距离模拟参数 .....	1
3 概述 .....	1
4 计量特性 .....	2
4.1 工作频率 .....	2
4.2 工作带宽 .....	2
4.3 动态范围 .....	2
4.4 平坦度 .....	2
4.5 速度模拟参数 .....	2
4.6 距离模拟参数 .....	2
5 校准条件 .....	2
5.1 环境条件 .....	2
5.2 校准用设备 .....	2
6 校准项目和校准方法 .....	3
6.1 校准前检查 .....	3
6.2 校准前准备 .....	3
6.3 工作带宽 .....	3
6.4 动态范围 .....	4
6.5 平坦度 .....	4
6.6 速度模拟参数 .....	5
6.7 距离模拟参数 .....	5
7 校准结果表达 .....	6
8 复校时间间隔 .....	6
附录 A 原始记录推荐格式.....	7
附录 B 校准证书内页推荐格式.....	8
附录 C 雷达回波模拟器测量不确定度评定示例.....	9

# 引 言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范针对雷达回波模拟器的校准方法，分别从工作带宽、平坦度、速度模拟参数、距离模拟参数等参数测量进行了规定，并在附录中给出了校准项目的测量不确定度评定示例。

本规范为首次制定。

# 雷达回波模拟器校准规范

## 1 范围

本规范适用于频率范围(24~25)GHz, (76~81)GHz 的调频连续波(FMCW)雷达回波模拟器的校准, 其他频率范围和制式的雷达也可参照执行。

## 2 术语和定义

### 2.1 模拟速度

雷达目标模拟器通过对接收到的雷达波进行频移实现目标速度模拟, 模拟速度的计算公式为:

$$v = \frac{f_d c}{2f_0} \quad (1)$$

式中,

$v$ ——速度模拟参数(m/s);

$c$ ——光速(m/s);

$f_d$ ——频移(Hz);

$f_0$ ——速度为 0 时的中心频率(Hz)。

### 2.2 模拟距离

雷达目标模拟器通过对接收到的雷达波进行回波延时实现目标距离模拟, 模拟距离的计算公式为:

$$R_m = \frac{1}{2} \times c \times t_m \quad (2)$$

式中,

$R_m$ ——实测模拟距离(m);

$c$ ——光速(m/s);

$t_m$ ——实测时延(s)。

## 3 概述

雷达回波模拟器是一种目标信号模拟装置, 通过对接收到的雷达波进行回波延时、多普勒频移、信号增益与衰减, 实现雷达回波信号的距离、速度、RCS 的模拟, 主要由控制单元、收发单元、多普勒模拟模块、距离模拟模块、幅度模拟模块等模块组成, 适用于毫米波雷达的测试。

## 4 计量特性

4.1 工作频率: (24~25)GHz, (76~81)GHz

4.2 工作带宽: (1~5)GHz

4.3 动态范围:  $\geq 80\text{dB}$

4.4 平坦度:  $\pm(3\sim 8)\text{dB}$

4.5 模拟速度

模拟速度范围:  $(-700\sim 700)\text{km/h}$

最大允许误差:  $\pm(0.05\sim 0.5)\text{km/h}$

4.6 模拟距离

距离模拟范围:  $(3\sim 400)\text{m}$

最大允许误差:  $\pm(0.05\sim 0.5)\text{m}$

注: 以上所有指标不用于合格性判别, 仅提供参考。

## 5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度:  $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$

5.1.2 相对湿度:  $\leq 80\%$

5.1.3 电源电压:  $\text{AC}(220\pm 11)\text{V}$ ; 频率:  $(50\pm 1)\text{Hz}$

5.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

5.2 校准用设备

5.2.1 信号发生器

频率范围: (24~25)GHz, (76~81)GHz

输出功率电平范围:  $(-60\sim +10)\text{dBm}$

功率电平最大允许误差:  $\pm 2.0\text{dB}$

5.2.2 频谱分析仪

频率范围: (24~25)GHz, (76~81)GHz

电平测量范围:  $(-130\sim 0)\text{dBm}$

扫宽最大允许误差:  $\pm 0.1\%$

频率准确度:  $1\times 10^{-7}$

线性度:  $\pm 0.10\text{dB}$

5.2.3 网络分析仪

频率范围: (24~25)GHz, (76~81)GHz



动态范围:  $\geq 100\text{dB}$

#### 5.2.4 衰减器

频率范围: 24GHz~25GHz, 76GHz~81GHz

注: 若使用混频器实现网络分析仪的扩频, 衰减器的频率范围仅需满足中频要求。

### 6 校准项目和校准方法

表 1 校准项目一览表

序号	校准项目名称	条款
1	外观及工作正常性检查	6.1
2	工作带宽	6.3
3	动态范围	6.4
4	平坦度	6.5
5	模拟速度	6.6
6	模拟距离	6.7

#### 6.1 外观及工作正常性检查

被校雷达回波模拟器应有说明书及全部配套附件, 各部件应安装牢固, 能确保正常工作。

#### 6.2 校准前准备

所有校准用设备和被校雷达回波模拟器均置于工作台上, 并按照说明书的要求进行预热。校准用设备应在检定或校准周期内使用。

#### 6.3 工作带宽

##### 6.3.1 网络分析仪方法

6.3.1.1 根据被校雷达回波模拟器的输入功率和频率范围设置网分的输出功率和扫描频率范围, 并进行双端口校准。

6.3.1.2 接入被校雷达回波模拟器, 仪表连接如图 1 所示。

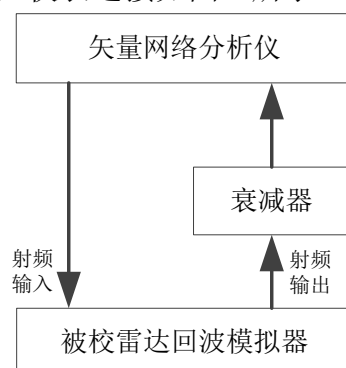


图 1 网络分析仪方法连接示意图

6.3.1.3 设置被校雷达回波模拟器为静止目标模式, 设置合适的模拟距离, RCS 选择可设置的最大值。

6.3.1.4 在网络分析仪中读取最大增益下降  $\text{ndB}$ ( $n$  按照厂家手册要求设置)的截止频点分别为

下限频率 $f_L$ 和上限频率 $f_H$ ，则工作带宽为 $f_H-f_L$ ，并将结果记录于附录 A。

6.3.1.5 将 RCS 值分别下降 10dB、40dB，重复步骤 6.3.1.3~6.3.1.4。

### 6.3.2 信号发生器和频谱分析仪方法

6.3.2.1 仪表连接如图 2 所示。

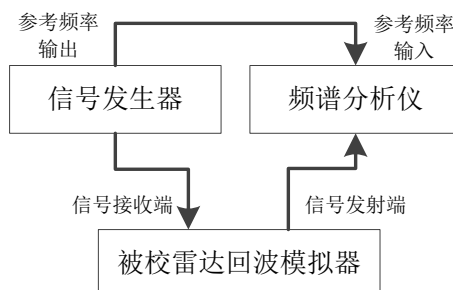


图 2 信号发生器和频谱分析仪方法连接示意图

6.3.2.2 设置信号发生器为连续波信号输出，根据被校雷达回波模拟器的工作范围设置输出频率为雷达回波模拟器的中心频率 $f$ ，设置合适的输出功率。

6.3.2.3 设置被校雷达回波模拟器为静止目标模式，设置合适的模拟距离，RCS 选择可设置的最大值。

6.3.2.4 设置频谱分析仪的中心频率为 $f$ ，设置合适的参考电平和分辨力带宽，打开峰值标记，读取接收功率。

6.3.2.5 改变信号发生器的输出频率和频谱分析仪的接收频率，并在频谱分析仪中读取最大增益下降  $n$ dB( $n$  按照厂家手册要求设置)的截止频点分别为下限频率 $f_L$ 和上限频率 $f_H$ ，则工作带宽为 $f_H-f_L$ ，并将结果记录于附录 A。

6.3.2.6 将 RCS 值分别下降 10dB、40dB，重复步骤 6.3.2.3~6.3.2.4。

## 6.4 动态范围

6.4.1 仪表连接如图 2 所示。

6.4.2 设置信号发生器为连续波信号输出，设置合适的频率 $f$ 和输出功率。

6.4.3 设置被校雷达回波模拟器为静止目标模式，设置合适的模拟距离，RCS 选择可设置的最大值。

6.4.4 设置频谱分析仪的中心频率为 $f$ ，设置合适的参考电平和分辨力带宽，打开峰值标记，读取接收功率 $P_{\max}$ ，并记录于附录 A。

6.4.5 设置被校雷达回波模拟器 RCS 为最小值，在频谱分析仪中读取对应的值 $P_{\min}$ ，并记录于附录 A。

6.4.6 动态范围为 $R=P_{\max}-P_{\min}$ ，并记录于附录 A。

6.4.7 改变中心频率 $f$ ，重复步骤 6.4.3~6.4.6。

## 6.5 平坦度

6.5.1 根据被校雷达回波模拟器的输入功率和频率范围设置网分的输出功率和扫描频率范围，并进行双端口校准。接入被校雷达回波模拟器，仪表连接如图 1 所示。

6.5.2 设置被校雷达回波模拟器为静止目标模式，设置合适的模拟距离，RCS 选择可设置的最大值。

6.5.3 在网络分析仪中读取被测带宽内的增益最大值  $G_H$  和增益最小值  $G_L$ ，则平坦度为  $F = \pm (G_H - G_L)/2$ ，将结果记录于附录 A。

6.5.4 改变被校雷达回波模拟器的 RCS，重复步骤 6.5.2~6.5.3，并记录于附录 A。

## 6.6 模拟速度

6.6.1 仪表连接如图 2 所示。

6.6.2 设置信号发生器为连续波信号输出，设置合适的频率  $f$  和输出功率。

6.6.3 设置被校雷达回波模拟器的频率为  $f$ ，设置合适的 RCS 和距离，速度为 0。

6.6.4 设置频谱分析仪的中心频率为  $f$ ，设置合适的参考电平和分辨力带宽，打开峰值标记，读取接收信号频率作为参考频率  $f_0$ 。

6.6.5 根据被校雷达回波模拟器的速度模拟范围设置速度值，按照公式 (1) 计算对应的多普勒频移  $f_d$ ，并将其作为标准值，记录于附录 A。

6.6.6 频谱分析仪读取接收信号的频率，根据式 (1) 计算所对应的速度模拟参数的实测值，记录于附录 A。

6.6.7 改变被校雷达回波模拟器的速度模拟参数，重复步骤 6.6.5~6.6.6，并记录于附录 A。

6.6.8 改变中心频率  $f$ ，重复步骤 6.6.3~6.6.7。

## 6.7 模拟距离

### 6.7.1 频域法

6.7.1.1 根据被校雷达回波模拟器的输入功率和频率范围设置网分的输出功率和扫描频率范围，根据模拟距离的范围设置合适的点数，并进行双端口校准。按照图 1 连接仪表。

6.7.1.2 设置雷达回波模拟器的模拟距离为最小值，速度模拟参数为 0，雷达载波频率  $f$ ，距离模拟参数为最低值。

6.7.1.3 测量结果选择  $S_{21}$  的群时延，基于公式 (2) 计算距离模拟参数作为实测值，记于附录 A。

6.7.1.4 改变被校雷达回波模拟器的距离模拟参数，重复步骤 6.7.1.2~6.7.1.3，并记录于附录 A。

6.7.1.5 改变中心频率  $f$ ，重复步骤 6.7.1.3~6.7.1.4。

### 6.7.2 时域法

6.7.2.1 选择带有时域选件的网络分析仪，根据被校雷达回波模拟器的输入功率和频率范围设置网分的输出功率和扫描频率范围，根据模拟距离的范围设置合适的点数，并进行双端口校准。按照图 1 连接仪表。

6.7.2.2 设置雷达回波模拟器的模拟距离为最小值，模拟速度为 0，雷达载波频率  $f$ ，距离模拟参数为最低值。

6.7.2.3 测量结果选择时域  $S_{21}$ ，读取时延和模拟距离的结果，记录于附录 A。

6.7.2.4 改变被校雷达回波模拟器的模拟距离，重复步骤 6.7.2.2~6.7.2.3，并记录于附录 A。

## 7 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映，推荐校准证书内页格式见附录 B。校准证书应准确、客观的报告校准结果。校准结果用校准数据的形式给出，并给出测量不确定度，不确定度评定实例见附录 C。校准证书应至少包括以下信息：

- 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和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书签发人的签名、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。

## 8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议不超过 1 年。更换重要部件、维修或对仪器性能有怀疑时，应及时校准。

## 附录 A

## 原始记录推荐格式

## 一、外观及工作正常性检查

外观	
工作正常性检查	

## 二、工作带宽

标称值(GHz)	实测值(GHz)	不确定度( $k=2$ )

## 三、动态范围

频率(GHz)	$P_{\max}$ (dBm)	$P_{\min}$ (dBm)	实测值(dB)	不确定度( $k=2$ )

## 四、平坦度

RCS(dBsm)	实测值(dB)	不确定度( $k=2$ )

## 五、模拟速度

标称值(km/h)	频偏(Hz)	实测值(km/h)	不确定度( $k=2$ )

## 六、模拟距离

标称值(m)	时延(s)	实测值(m)	不确定度( $k=2$ )

## 附录 B

## 校准证书内页推荐格式

## 一、外观及工作正常性检查

外观	
工作正常性检查	

## 二、工作带宽

标称值(GHz)	实测值(GHz)	不确定度( $k=2$ )

## 三、动态范围

频率(GHz)	实测值(dB)	不确定度( $k=2$ )

## 四、平坦度

RCS(dBsm)	实测值(dB)	不确定度( $k=2$ )

## 五、模拟速度

标称值(km/h)	实测值(km/h)	不确定度( $k=2$ )

## 六、模拟距离

标称值(m)	实测值(m)	不确定度( $k=2$ )

## 附录 C

## 雷达回波模拟器测量不确定度评定示例

依据雷达回波模拟器校准规范的各校准项目的计量特性、校准条件及校准方法的规定，对型号为 VRTE-P 的雷达回波模拟器进行了校准，并对测量结果的不确定度进行了评定。

## C.1 带宽测量不确定度评定

## C.1.1 测量模型

$$BW = f_H - f_L + \Delta f$$

式中：

$f_H$ ——上限频率；

$f_L$ ——下限频率；

$\Delta f$ ——网络分析仪显示分辨力对结果的影响。

## C.1.2 不确定度来源

- (1) 网络分析仪分辨力引入的不确定度  $u_1$ ，为 B 类不确定度；
- (2) 测量重复性引入的不确定度  $u_2$ ，为 A 类不确定度。

## C.1.3 不确定度评定

- (1) 网络分析仪分辨力引入的不确定度  $u_1$ ，为 B 类不确定度

网络分析仪带宽设置为 6GHz，扫描点数设置为 6000，显示分辨力为 1MHz，假设满足均匀分布  $k_1 = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度为：

$$u_1 = 1/\sqrt{3} = 0.58\text{MHz}$$

- (2) 测量重复性引入的不确定度  $u_2$ ，为 A 类不确定度

重复测量 5 次，测量结果如下表：

表 C.1 工作带宽测量结果

测量次数	实测值(GHz)
1	5.74
2	5.70
3	5.81
4	5.68
5	5.76

标准不确定度使用试验标准差表示，则  $u_2 = s = 0.05\text{GHz}$

## C.1.4 不确定度合成

(1) 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^2 u_i^2} = 0.05 \text{ GHz}$$

(2) 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 扩展不确定度  $U=ku_c=0.1 \text{ GHz}$

## C.2 距离模拟参数测量不确定度评定

### C.2.1 测量模型

$$R = \frac{1}{2} c \Delta t$$

式中:

$R$ ——模拟目标的无模糊距离, 单位 m;

$\Delta t$ ——群时延, 单位 s;

$c$ ——光速, 单位 m/s。

### C.2.2 不确定度来源

(1) 群时延测量误差引入的不确定度  $u_1$ , 为 B 类不确定度;

(2) 测量重复性引入的不确定度  $u_2$ , 为 A 类不确定度。

### C.1.3 不确定度评定

(1) 群时延测量误差引入的不确定度  $u_1$ , 为 B 类不确定度

群时延测量不确定度可用下式计算:

$$u_1 = \frac{dP}{360 \times df} \quad (1)$$

式中,

$P$ ——相位精度, 单位°;

$f$ ——孔径, 单位 Hz;

当孔径大小一定时, 群时延测量的不确定度由相位不确定度所确定。而相位不确定度与传输系数有关。相位误差为  $0.4^\circ$ , 包含因子是 3,  $u_1=0.010$ 。

(2) 测量重复性引入的不确定度  $u_2$ , 为 A 类不确定度。

重复测量 5 次, 测量结果如下表:

表 C.2 模拟距离测量结果

测量次数	实测值(m)
1	5.0311
2	5.0324
3	5.0302
4	5.0328
5	5.0332

标准不确定度使用试验标准差表示, 则  $u_2=s=0.001 \text{ m}$



## C.2.3 不确定度合成

(1) 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^2 u_i^2} = 0.01\text{m}$$

(2) 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度  $U=ku_c=0.02\text{m}$

---