

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

微波环行器校准规范

Calibration Specification of Microwave Circulators

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局发布

微波环行器校准规范  
Calibration Specification of Microwave  
Circulators

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：中国测试技术研究院  
中国计量科学研究院

参加起草单位：西南交通大学  
沈阳飞机设计研究所  
电子科技大学  
中国信息通信研究院

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：

孟令刚（中国测试技术研究院）  
聂梅宁（中国计量科学研究院）  
何山（中国测试技术研究院）

参加起草人：

杜星（西南交通大学）  
季强（沈阳飞机设计研究所）  
井实（电子科技大学）  
牟丹（中国信息通信研究院）

# 目录

引言.....	错
误 ! 未 定 义 书 签 。	。
1 范围.....	1
2 概述.....	1
3 计量特性.....	1
3.1 频率范围.....	2
3.2 插入损耗.....	2
3.3 电压驻波比.....	2
3.4 隔离度.....	2
3.5 延迟时间.....	2
4 校准条件.....	3
4.1 环境条件.....	3
4.2 校准用设备.....	3
5 校准项目和校准方法.....	3
5.1 校准项目.....	3
5.2 校准方法.....	3
6 校准结果表达.....	5
7 复校时间间隔.....	6
附录 A 原始记录内页格式.....	7
附录 B 校准证书内页格式.....	8
附录 C 主要项目测量不确定度示例.....	9

## 引 言

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。

本规范为首次发布。

## 微波环行器校准规范

### 1、范围

本规范适用于适用于频率在 10MHz~50GHz 微波环行器的校准。其他频率的环行器、隔离器可参考本规范进行校准。

### 2、概述

微波环行器是一种利用铁磁效应的无源多端口单向传输器件，其工作原理是由于铁氧体材料在恒定直流磁场作用下的旋磁效应，在外加高频电磁场何恒定直流磁场的共同作用下，铁氧体材料表现出旋磁特性，这种旋磁特性导致在铁氧体中传播的电磁波发生极化旋转何电磁波能力的强烈吸收。微波环行器通常是具有三个端口的设备，它们用于射频系统设计，将信号源从一个端口传输到另一个端口，同时将信号源与另一个端口隔离，而隔离器是第三个端口终止的环形器。微波环行器在许多射频应用中用作双工器，允许同时进行发射和接收功能，它们广泛用于射频设计应用，包括雷达系统和各种专业无线电通信系统中。图 1 显示了微波环形器和隔离器的示意图。

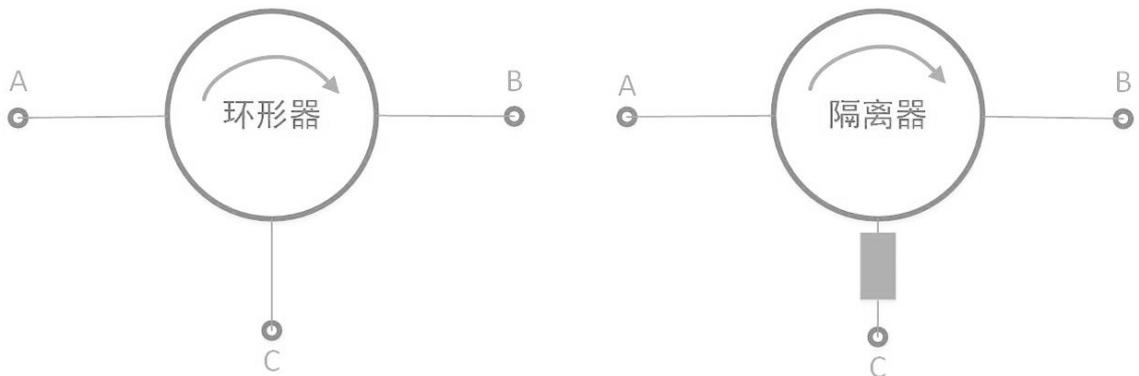


图 1 微波环行器和隔离墙示意图

### 3、计量特性

#### 3.1 频率范围

10 MHz~50 GHz

#### 3.2 插入损耗

0 dB~2 dB

#### 3.3 电压驻波比

1.0~3.0

#### 3.4 隔离度

10 dB~40 dB

#### 3.5 延迟时间

0.1 ns~1 s

## 4、校准条件

### 4.1 环境条件

- a) 环境温度：(23±5) °C
- b) 相对湿度：≤80%
- c) 供电电源：(220±11) V，(50±1) Hz
- d) 其它：无影响仪器正常工作的电磁干扰及机械振动。

### 4.2 校准用设备

#### 4.2.1 矢量网络分析仪

- 频率范围：10 MHz～50 GHz
- 动态范围：0 dB～80 dB
- 传输最大允许误差：±(0.2 dB～0.5 dB)
- 电压驻波比最大允许误差：±0.04

#### 4.2.2 矢量网络分析仪校准件

- 频率范围：10 MHz～50 GHz

#### 4.2.3 匹配负载

- 频率范围：10 MHz～50 GHz
- 电压驻波比：≤1.3
- 阻抗：50 Ω

## 5、校准项目和校准方法

### 5.1 校准项目

校准项目见表 1 所示。

表 1 校准项目表

序号	项目名称
1	外观及工作正常性检查
2	电压驻波比
3	插入损耗
4	隔离度
5	延迟时间

### 5.2 校准方法

#### 5.2.1 外观及工作正常性检查

被校环形器外观应完好无损，无影响正常工作的机械损伤，检查结果记录在附表 A.1 中。

#### 5.2.2 电压驻波比

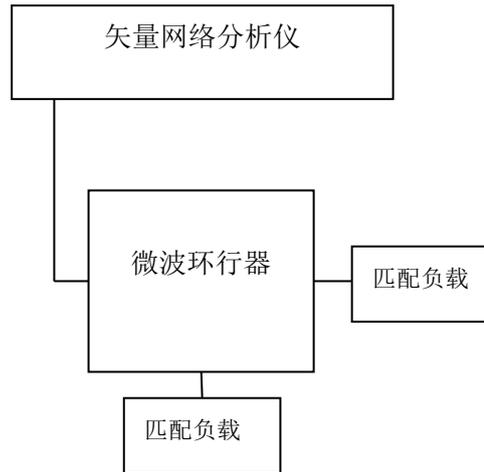


图 1 驻波比校准连接示意图

5.2.2.1 设置矢量网络分析仪合适的频率范围、中频带宽、点数、格式等参数，进行二端口校准。

5.2.2.2 按图 1 连接仪器，将环行器端口 1 连接到网络分析仪的端口 1 上，环行器端口 2 连接到网络分析仪的端口 2 上，其他端口连接匹配负载。

5.2.2.3 设置网络分析仪为 SWR 测试状态，调节网络分析仪的 Marker 标识的频率点，读取  $S_{11}$ ，记录到表 A.2 中。

5.2.2.4 改变网络分析仪的测试端口，重复 5.2.2.2、5.2.2.3，读取电压驻波比数值，记录到表 A.2 中。

### 5.2.3 插入损耗

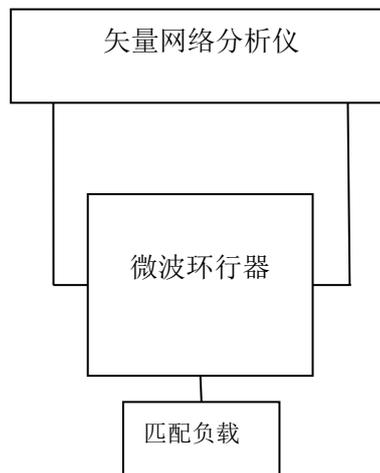


图 2 插入损耗校准连接示意图

5.2.3.1 设置矢量网络分析仪合适的频率范围、中频带宽、点数、格式等参数，进行二端口校准。

5.2.3.2 按图 2 连接仪器，将环行器端口 1 连接到网络分析仪的端口 1 上，环行器端口 2 连接到网络分析仪的端口 2 上，其他端口连接匹配负载。

5.2.3.3 连接网络分析仪与被测件的 1、2 端口，设置网络分析仪为对数测试状态，调节

网络分析仪的 Marker 标识的频率点，读取 S21，记录到表 A.3 中。

5.2.3.4 改变网络分析仪与被测件端口为 2、3，重复 5.2.3.2、5.2.3.3，读取 S21，记录到表 A.3 中。

#### 5.2.4 隔离度

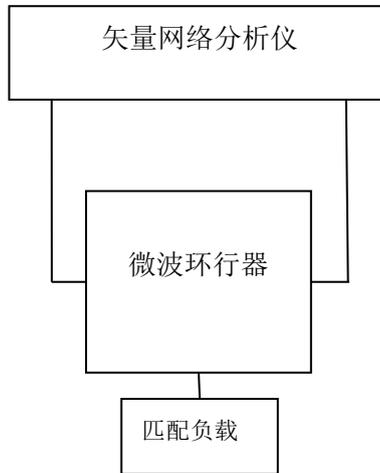


图 3 隔离度校准连接示意图

5.2.4.1 设置矢量网络分析仪合适的频率范围、中频带宽、点数、格式等参数，进行二端口校准。

5.2.4.2 按图 2 连接仪器，将环行器端口 1 连接到网络分析仪的端口 1 上，环行器端口 2 连接到网络分析仪的端口 2 上，其他端口连接匹配负载。

5.2.4.3 设置网络分析仪为对数测试状态，调节网络分析仪的 Marker 标识的频率点，读取 S12，记录到表 A.4 中。

5.2.4.4 更好不同端口的组合，重复 5.2.4.2、5.2.4.3，完成其他端口隔离度的校准。

#### 5.2.5 延迟时间

##### 5.2.5.1 方法一（频域法）

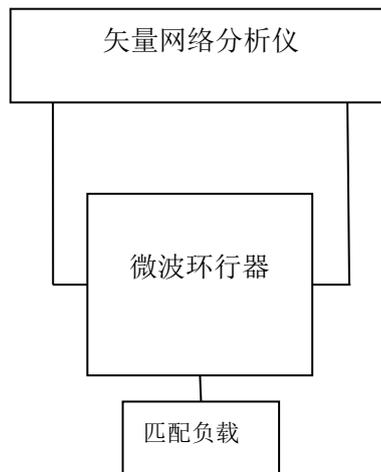


图 4 延迟时间校准连接示意图

5.2.5.1.1 设置矢量网络分析仪合适的频率范围、中频带宽、点数、格式等参数，进行二端口校准。

5.2.5.1.2 按图 4 连接仪器，将环行器端口 1 连接到网络分析仪的端口 1 上，环行器端口 2 连接到网络分析仪的端口 2 上，其他端口连接匹配负载。

5.2.5.1.3 设置网络分析仪为延迟时间(Group Delay)测试状态，调节网络分析仪的 Marker 标识的频率点，读取 S21 值即为延迟时间值，记录到表 A.5 中。

5.2.5.1.4 改变网络分析仪的测试端口，重复 5.2.5.1.2、5.2.5.1.3，读取延迟时间数值，记录到表 A.5 中。

#### 5.2.5.2 方法二（时域法）

5.2.5.2.1 设置矢量网络分析仪合适的频率范围、中频带宽、点数、格式等参数，进行二端口校准。

5.2.5.2.2 按图 4 连接仪器，将环行器端口 1 连接到网络分析仪的端口 1 上，环行器端口 2 连接到网络分析仪的端口 2 上，其他端口连接匹配负载。

5.2.5.2.3 切换至时域传输模式（Transform），设置相应的起始时间、终止时间。

5.2.5.2.4 将被校无线电高度表模拟器设置为初始衰减量状态，设置模拟高度，选取不少于高中低三个高度值进行校准。用游标搜索峰值，读取网络分析仪群时延测量值，记录到表 A.5 中。

5.2.5.2.5 改变网络分析仪的测试端口，重复 5.2.5.2.3、5.2.5.2.4，读取延迟时间数值，记录到表 A.5 中。

### 6、校准结果表达

甚高频信标导航测试仪校准后，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。

#### 7、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 原始记录内页格式

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观及工作正常性检查	

表 A.2 电压驻波比

频率/GHz	端口	实测值	$U(k=2)$
	1		
	2		
	3		
	...		

表 A.3 插入损耗

频率/GHz	端口组合	实测值/dB	$U/\text{dB}(k=2)$
	1-2		
	2-3		
	...		

表 A.4 隔离度

频率/GHz	端口组合	实测值/dB	$U/\text{dB}(k=2)$
	1-2		
	2-3		
	...		

表 A.5 延迟时间

频率/GHz	端口组合	实测值/ns	$U/\text{ns}(k=2)$
	1-2		
	2-3		
	...		

## 附录 B 校准证书内页格式

表 B.1 外观及工作正常性

项目	检查结果
外观及工作正常性检查	

表 B.2 电压驻波比

频率/GHz	端口	实测值	$U(k=2)$
	1		
	2		
	3		
	...		

表 B.3 插入损耗

频率/GHz	端口组合	实测值/dB	$U/\text{dB}(k=2)$
	1-2		
	2-3		
	...		

表 B.4 隔离度

频率/GHz	端口组合	实测值/dB	$U/\text{dB}(k=2)$
	1-2		
	2-3		
	...		

表 B.5 延迟时间

频率/GHz	端口组合	实测值/ns	$U/\text{ns}(k=2)$
	1-2		
	2-3		
	...		

## 附录 C

## 主要项目测量不确定度评定示例

## C.1 插入损耗测量不确定度

## C.1.1 不确定度来源

测量方法为直接测量。

引入的不确定度分量来源包括：

- 1) 网络分析仪插入损耗测量误差引入的标准不确定度分量， $u_1$
  - 2) 测量重复性引入的标准不确定度分量， $u_2$
  - 3) 网络分析仪插入损耗测量分辨力引入的标准不确定度分量， $u_3$
- 经分析，上述各分量之间彼此不相关。

## C.1.2 合成标准不确定度计算

下面以 3GHz 频率点为例计算。

C.1.2.1 网络分析仪插入损耗测量误差引入的不确定度分量  $u_1$ 

查阅网络分析仪 N5224A 技术手册，在频率 3GHz 的测量插入损耗-10dB~0dB 的最大允许误差为±0.1dB，即  $a_1=0.1\text{dB}$ ，测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布，因此  $k_1 = \sqrt{3}$ ，标准不确定度  $u_1 = 0.1/k_1 \approx 0.06\text{dB}$ 。

C.1.2.2 网络分析仪测量重复性引入的不确定度分量  $u_2$ 

在测量频率 3GHz 时，用网络分析仪对被测件端口的插入损耗重复测量 10 次，测量结果如表 C.1。

表 C.1 重复性测量结果

次数	1	2	3	4	5
测量结果/dB	-0.48	-0.48	-0.48	-0.49	-0.49
次数	6	7	8	9	10
测量结果/dB	-0.48	-0.49	-0.47	-0.47	-0.48

根据贝赛尔公式进行计算可得实验标准偏差为： $s(x)=0.0074\text{dB}$ ，取单次测量结果，则由重复性引入的标准不确定度为： $u_2=0.0074\text{dB}$ 。

C.1.2.3 网络分析仪插入损耗测量分辨力引入的标准不确定度分量  $u_3$ 

在测量频率 3GHz 时，用网络分析仪对被测件端口的插入损耗测量分辨力为 0.01dB，服从均匀分布，取  $k_3 = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度  $u_3 = 0.01/2k_3 \approx 0.0029\text{dB}$ 。

## C.1.3 合成标准不确定度

不确定度分量汇总表如表 C.2 所示。

表 C.2 插入损耗标准不确定度分量一览表

不确定度来源	标准不确定度		输出量标准不确定度分量(dB)
	符号	数值(dB)	

网络分析仪插入损耗测量误差	$u_1$	0.06	0.06
插入损耗的测量重复性	$u_2$	0.0074	0.0074
网络分析仪插入损耗测量分辨力	$u_3$	0.0029	0.0029

以上各项标准不确定度分量互不相关的，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.06dB$$

#### C.1.4 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 0.12dB \quad (k=2)$$

### C.2 电压驻波比测量不确定度评定

#### C.2.1 不确定度来源

测量方法为直接测量。

引入的不确定度分量来源包括：

- 1) 网络分析仪电压驻波比测量误差引入的标准不确定度分量， $u_1$
- 2) 网络分析仪电压驻波比测量分辨力引入的标准不确定度分量， $u_2$
- 3) 网络分析仪测量重复性引入的不确定度分量， $u_3$

经分析，上述各分量之间彼此不相关。

#### C.2.2 合成标准不确定度计算

下面以 3GHz 频率点为例计算。

##### C.2.2.1 网络分析仪电压驻波比测量误差引入的不确定度分量 $u_1$

网络分析仪测量连接环行器时的电压驻波比，测量准确度主要与网络分析仪有关，网络分析仪(电压驻波比 1.5)在该频率 3GHz 的测量不确定度由上一级计量机构的校准证书得到， $U_1=0.02(k_1=2)$ ，则标准不确定度为  $u_1 = U_1 / k_1 = 0.01$ 。

##### C.2.2.2 网络分析仪电压驻波比测量分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2$

在测量频率 3GHz 时，用网络分析仪对被测件端口的电压驻波比测量分辨力为 0.01，服从均匀分布，取  $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度  $u_2 = 0.01 / \sqrt{3} \approx 0.0058$ 。

##### C.2.2.3 网络分析仪测量重复性引入的不确定度分量 $u_3$

在测量频率 3GHz 时，用网络分析仪对被测件电压驻波比重复测量 10 次，测量结

果如表 C.3。

表 C.3 重复性测量结果

次数	1	2	3	4	5
测量结果	1.25	1.25	1.24	1.24	1.25
次数	6	7	8	9	10
测量结果	1.26	1.24	1.25	1.24	1.25

根据贝赛尔公式进行计算可得实验标准偏差为： $s(x)=0.0067$ ，取单次测量结果，则由重复性引入的标准不确定度为： $u_3=0.0067$ 。

### C.2.3 合成标准不确定度

不确定度分量汇总表如表 C.4 所示。

表 C.4 电压驻波比标准不确定度分量一览表

不确定度来源	标准不确定度		输出量标准不确定度分量
	符号	数值	
网络分析仪电压驻波比测量误差	$u_1$	0.01	0.01
网络分析仪测量分辨力	$u_2$	0.0029	0.0029
测量重复性	$u_3$	0.0067	0.0067

以上各项标准不确定度分量互不相关的，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.01$$

### C.2.4 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 0.02 \quad (k=2)$$

## C.3 延迟时间测量不确定度

### C.3.1 不确定度来源

测量方法为直接测量。

引入的不确定度分量来源包括：

- 1) 网络分析仪测量群延时准确度引入的标准不确定度分量， $u_1$
  - 2) 测量重复性引入的标准不确定度分量， $u_2$
  - 3) 校准剩余误差引入的标准不确定度分量， $u_3$
  - 4) 网络分析仪延迟时间测量分辨力引入的标准不确定度分量， $u_4$
- 经分析，上述各分量之间彼此不相关。

### C.3.2 合成标准不确定度计算

下面以 3GHz 频率点为例计算。

### C.3.2.1 网络分析仪测量群延时准确度引入的标准不确定度分量 $u_1$

在测量频率 3GHz 时，用网络分析仪对被测件的延迟时间测量误差  $\pm 0.8\text{ns}$ ，服从均匀分布，取  $k=1$ ，则标准不确定度  $\approx 0.46\text{ns}$ 。

### C.3.2.2 网络分析仪测量重复性引入的不确定度分量 $u_2$

在测量频率 3GHz 时，用网络分析仪对被测件端口的插入损耗重复测量 10 次，测量结果如表 C.5。

表 C.5 重复性测量结果

次数	1	2	3	4	5
测量结果/ns	327.0	327.2	327.3	327.1	327.0
次数	6	7	8	9	10
测量结果/ns	327.2	327.2	327.2	327.3	327.1

根据贝塞尔公式进行计算可得实验标准偏差为： $s(x)=0.107\text{ns}$ ，取单次测量结果，则由重复性引入的标准不确定度为： $u_2=0.107\text{ns}$ 。

### C.3.2.3 校准剩余误差引入的标准不确定度分量 $u_3$

校准剩余误差主要来源于系统扫迹噪声，在测量频率 3GHz 时，查阅网络分析仪说明书相位扫迹噪声  $\pm 0.8\text{ns}$ ，对应 3GHz 变化为  $0.06/(360 \times 1 \times 10^6)=0.08\text{ns}$ ，服从均匀分布，取  $k=\sqrt{3}$ ，由此引入标准不确定度  $u_3 = 0.08\text{ns} / 2k \approx 0.023\text{ns}$ 。

### C.3.2.4 网络分析仪延迟时间测量分辨力引入的标准不确定度分量 $u_4$

在测量频率 3GHz 时，用网络分析仪对被测件的延迟时间测量分辨力为  $0.1\text{ns}$ ，服从均匀分布，取  $k_3 = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度  $u_4 = 0.1/2k_3 \approx 0.029\text{ns}$ 。

## C.3.3 合成标准不确定度

不确定度分量汇总表如表 C.6 所示。

表 C.6 插入损耗标准不确定度分量一览表

不确定度来源	标准不确定度		输出量标准不确定度分量(ns)
	符号	数值(ns)	
网络分析仪延迟时间测量误差	$u_1$	0.46	0.46
延迟时间的测量重复性	$u_2$	0.107	0.107
网络分析仪校准剩余误差引入	$u_3$	0.023	0.023
网络分析仪延迟时间测量分辨力	$u_4$	0.029	0.029

以上各项标准不确定度分量互不相关的，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.48ns$$

#### C.3.4 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 0.96ns \quad (k=2)$$

---