

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）XXXX-XXXX

射频同轴电缆校准规范

Calibration Specification for RF Coaxial Cables

（报批稿）

202X-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

射频同轴电缆校准规范

Calibration Specification for RF Coaxial Cables

JJF（通信）XXXX-XXXX

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

中国合格评定国家认可中心

参加起草单位：国家无线电监测中心检测中心

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：

曲 岩（中国信息通信研究院）

刘宏风（中国信息通信研究院）

王 宁（中国合格评定国家认可中心）

参加起草人：

孙景禄（中国信息通信研究院）

刘恩琦（中国信息通信研究院）

尹 丰（中国信息通信研究院）

陈景宇（国家无线电监测中心检测中心）

目 录

引言..... (II)

1 范围..... 3

2 概述..... 3

3 计量特性..... 3

4 校准条件..... 3

5 校准项目和校准方法..... 3

6 校准结果表达..... 5

7 复校时间间隔..... 5

附录 A..... 6

附录 B..... 8

附录 C..... 9

附录 D..... 14

引 言

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

本规范是对 JJF(YD)008-2008 射频同轴电缆校准规范的修订。

与 JJF(YD)008-2008 相比，本规范主要技术变化为：

- 扩展适用频率上限，由 40 GHz 提升至 110 GHz；
- 传播速度、电容、屏蔽衰减三个校准项目删除。

本规范历次版本发布情况为：

- JJF(YD)008-2008。

射频同轴电缆校准规范

1 范围

本规范适用于频率不大于 110 GHz 的射频同轴电缆校准。

2 概述

射频同轴电缆由内导体、绝缘介质、外导体、护套构成。按结构分为柔性、半刚性及半柔性电缆。主要应用于通信系统、测试设备及毫米波系统中的射频信号传输。

3 计量特性

3.1 插入损耗: (0~70) dB

3.2 电压驻波比(VSWR): 1.0~3.0

3.3 阻抗模值: 50 Ω , 允许偏差: $\pm 5\%$

3.4 群时延: 100 ps~1 μ s

4 校准条件

4.1 环境条件

4.1.1 环境温度: 23 $^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

4.1.2 相对湿度: $\leq 80\%$ 。

4.1.3 电源要求: 220 V ± 11 V, 50 Hz ± 1 Hz。

4.1.4 电磁环境: 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

4.2 校准用设备

4.2.1 网络分析仪

a) 频率范围: 5 Hz~110 GHz;

b) 电压驻波比:

测量范围: 1.0~3.0,

最大允许误差: $\pm (1.6\% \sim 10\%)$;

c) 传输幅度:

测量范围: 0 dB~70 dB,

最大允许误差: $\pm (0.04 \text{ dB} \sim 1.0 \text{ dB})$;

d) 群时延:

测量范围: 100 ps~1 μ s,

最大允许误差: $\pm (5 \text{ ps} \sim 50 \text{ ps})$ 。

5 校准项目和校准方法

校准项目见表 1。

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	插入损耗
3	电压驻波比
4	阻抗
5	群时延

5.1 外观及工作正常性检查

- 5.1.1 被校射频同轴电缆应带有必要的附件和说明书。
- 5.1.2 射频同轴电缆各部件完好，能确保工作正常。电缆本体或标签上应有生产单位名称、产品名称、型号规格、唯一性编号、标称频段范围等清晰标识。
- 5.1.3 进行校准时，校准用设备应按规定时间（一般为 30 分钟以上）预热。
- 5.1.4 设置网络分析仪的频率范围等参数，进行双端口校准。在校准端面连接被测射频同轴电缆，如图 1 所示。
- 5.1.5 将检查结果记录于附录 A.1 中。

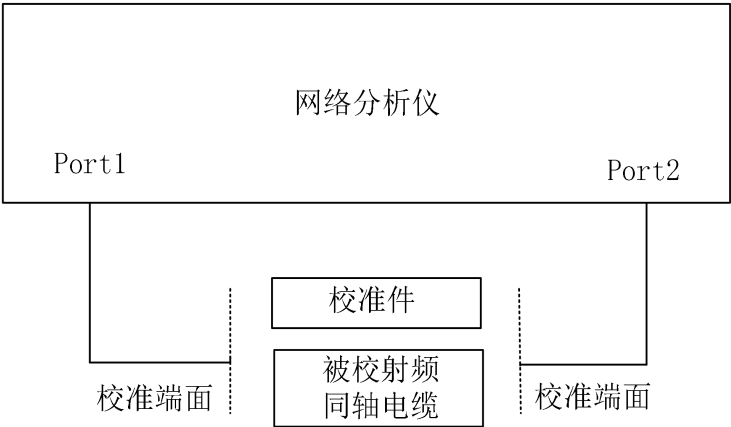


图 1 射频同轴电缆校准连接示意图

5.2 插入损耗

- 5.2.1 设置网络分析仪的格式为对数幅度，选择“S21”。
- 5.2.2 设置测试频点，打开网络分析仪的光标功能，读取插入损耗。将该值减去转接头在各个对应频率的插入损耗值，所得差值即电缆的插入损耗，记录于附录 A.2 中。

5.3 电压驻波比

- 5.3.1 设置网络分析仪的格式为电压驻波比，选择“S11”及“S22”，设置测试频点，打开网络分析仪的光标功能，读取电压驻波比(VSWR)值，记录于附录A.3 中。

5.4 阻抗

- 5.4.1 设置网络分析仪的格式为 Smith 圆图功能，选择 “S11”及“S22”，设置测试频点，打开网络分析仪的光标功能，读取输入阻抗值，记录于附录 A.4 中。

5.5 群时延

5.5.1 设置网络分析仪的格式为群时延，选择“S21”，合理设置网络分析仪的群时延测量孔径；

5.5.2 设置测试频点，打开网络分析仪的光标功能，读取群时延，记录于附录A.5 中。

6 校准结果表达

射频同轴电缆校准后，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) 证书或报告的唯一性标识（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

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，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。

附录 A

原始记录推荐格式

表 A.1 外观及工作性正常检查

检查项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	

A.2 插入损耗

频率(MHz)	实测值(dB)	扩展不确定度 (dB) ($k=2$)

A.3 电压驻波比

端口	频率 (MHz)	实测值	扩展不确定度 ($k=2$)

A.4 阻抗

端口	频率 (MHz)	实测值 (Ω)	扩展不确定度 (Ω) ($k=2$)

A. 5 群时延

频率(MHz)	实测值(ns)	扩展不确定度 (ns) (<i>k</i> =2)

附录 B

校准证书内页格式

B.1 插入损耗

频率(MHz)	实测值(dB)	扩展不确定度 (dB) ($k=2$)

B.2 电压驻波比

端口	频率 (MHz)	实测值	扩展不确定度 ($k=2$)

B.3 阻抗

端口	频率 (MHz)	实测值 (Ω)	扩展不确定度 (Ω) ($k=2$)

B.4 群时延

频率(MHz)	实测值(ns)	扩展不确定度 (ns) ($k=2$)

附录 C

不确定度评定示例

C.1 插入损耗不确定度评定

C.1.1 测量方法

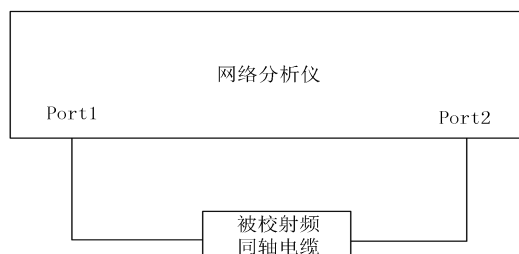


图 C.1 网络分析仪校准测试电缆

使用网络分析仪测量电缆插入损耗值的连接如图 C.1 所示。首先设置到测量对应的频段，对网络分析仪进行双端口校准，然后将被校电缆的两端分别连接到网络分析仪的 Port1、Port2 端口，网络分析仪的 S 参数设置为 S21，使用网络分析仪的光标功能读取并记录测量频点的 S21 幅度值即为测量得到的插入损耗值。

C.1.2 不确定度来源

- (1) 网络分析仪引入的不确定度分量 u_1
- (2) 测量重复性引入的不确定度分量 u_2

C.1.3 不确定度分析

C.1.3.1 网络分析仪引入的不确定度分量 u_1

根据仪器说明书，网络分析仪在 10 GHz 测量 1.169dB 插入损耗时，传输幅度最大允许误差是 ± 0.099 dB，服从均匀分布，则标准不确定度 $u_1 = 0.099 / \sqrt{3} \approx 0.0572$ dB $\approx 1.31\%$ 。

C.1.3.2 测量重复性引入的不确定度分量 u_2

测量重复性引入的不确定度分量按 A 类方法评定，重复测量 10 次，数据如表 C.1 所示。

表 C.1 插入损耗重复性试验数据（10 GHz）

测量次数	插入损耗(dB)
1	1.16
2	1.18
3	1.21
4	1.17
5	1.16
6	1.11
7	1.16
8	1.22
9	1.16
10	1.16
平均值	1.169
标准差	0.0303

所以，由测量重复性引入的不确定度分量在 10 GHz 时：

$$u_2 \approx 0.0303 \text{ dB} \approx 0.70\%。$$

标准不确定度分量一览见表 C.2。

表 C.2 插入损耗测量标准不确定度分量一览表

序号	不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
1	u_1	网络分析仪	B	均匀	$\sqrt{3}$	1.31%
2	u_2	测量重复性	A	——	——	0.70%

C.1.4 合成标准不确定度

各不确定度分量互不相关，合成标准不确定度 u_c 按下式计算：

$$u_c = \sqrt{(u_1^2 + u_2^2)} = \sqrt{(1.31^2 + 0.70^2)} \approx \sqrt{(1.71 + 0.49)} \approx 1.48\%$$

C.1.5 扩展不确定度

假设测量结果接近正态分布，取包含因子 $k=2$ （对应约 95% 的置信概率），扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 1.48\% \approx 3.0\% \approx 0.13 \text{ dB}$$

C.2 电压驻波比不确定度评定

C.2.1 测量方法

使用校准后的网络分析仪测量电缆一个端口的电压驻波比，被测电缆远端连接精密宽带负载。

C.2.2 不确定度来源

- (1) 网络分析仪引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 测量重复性引入的不确定度分量 u_2 。

C.2.3 标准不确定度评定

C.2.3.1 网络分析仪引入的不确定度分量 u_1

由仪器说明书，电压驻波比测量的最大允许误差为 $\pm 2.8\%$ ，服从均匀分布，则标准不确定度

$$u_1 = 2.8\% / \sqrt{3} \approx 1.62\%$$

C.2.3.2 测量重复性引入的不确定度分量 u_2

测量重复性引入的不确定度分量按 A 类方法评定, 重复测量 10 次, 数据如表 C.3 所示。

表 C.3 电压驻波比重复性试验数据 (50GHz)

测量次数	电压驻波比
1	1.14
2	1.15
3	1.13
4	1.14
5	1.12
6	1.14
7	1.13
8	1.15
9	1.14
10	1.12
平均值	1.136
标准差	0.0107

所以, 由测量重复性引入的不确定度分量在 50 GHz 时:

$$u_2 \approx 0.0107 / 1.136 \times 100\% \approx 0.94\%$$

标准不确定度分量一览表见表 C.4。

表 C.4 电压驻波比测量标准不确定度分量一览表

序号	不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度 (相对)
1	u_1	网络分析仪	B	均匀	$\sqrt{3}$	1.62%
2	u_2	测量重复性	A	——	——	0.94%

C.2.4 合成标准不确定度

$$u_c (\text{VSWR}) = \sqrt{(u_1^2 + u_2^2)} = \sqrt{(1.62^2 + 0.94^2)} = \sqrt{(2.62 + 0.88)} \approx 1.87\%$$

C.2.5 扩展不确定度

取 $k=2$, 扩展不确定度 $U = k \times u_c (\text{VSWR})$

在 50GHz 频点, 实测电压驻波比是 1.136 时, $U = 2 \times 1.136 \times 1.87\% \approx 0.04$

C.3 阻抗测量不确定度评定

C.3.1 测量方法

使用校准后的网络分析仪测量, 通过 Smith 圆图功能, 读取电缆一个端口的输入阻抗。

C.3.2 不确定度来源

- (1) 网络分析仪引入的不确定度分量 u_1 ;
- (2) 测量重复性引入的不确定度分量 u_2 。

C.3.3 标准不确定度评定

C.3.3.1 网络分析仪引入的不确定度分量 u_1

由仪器说明书可知，在 50 GHz 频段，特性阻抗测量的最大允许误差为 $\pm 2.5\%$ ，服从均匀分布，则标准不确定度

$$u_1 = 2.5\% / \sqrt{3} \approx 1.44\%$$

C.3.3.2 测量重复性引入的不确定度分量 u_2

测量重复性引入的不确定度分量按 A 类方法评定，重复测量 10 次，数据如表 C.5 所示。

表 C.5 阻抗重复性试验数据

测量次数	特性阻抗 (Ω)
1	50.2
2	50.3
3	50.1
4	50.0
5	50.4
6	50.5
7	50.4
8	50.3
9	50.5
10	50.2
平均值	50.29
标准差	0.166

所以，由测量重复性引入的不确定度分量： $u_2 = 0.166 \Omega$ ，转换为相对值，即 $u_2 = 0.33\%$ 标准不确定度分量一览见表 C.6。

表 C.6 阻抗测量标准不确定度分量一览表

序号	不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度 (相对)
1	u_1	网络分析仪	B	均匀	$\sqrt{3}$	1.44%
2	u_2	测量重复性	A	——	——	0.33%

C.3.4 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{(u_1^2 + u_2^2)} = \sqrt{(1.44^2 + 0.33^2)} \approx \sqrt{(2.0736 + 0.1089)} \approx \sqrt{2.1825} \approx 1.48\%$$

C3.5 扩展不确定度

取 $k=2$ ，扩展不确定度 $U = 2 \times u_c = 2 \times 1.48\% = 3.0\% \approx 0.13 \Omega$

C.4 群时延不确定度评定

C.4.1 测量方法

首先设置网络分析仪的测量格式为群时延，选择 S21 参数，合理设置群时延测量孔径，对网络分析仪进行直通校准。然后将被测电缆的两端分别连接到网络分析仪的 Port1 和 Port2，打开光标功能，读取并记录测量频点的群时延值。

C.4.2 不确定度来源

- (1) 网络分析仪引入的不确定度分量 u_1 ;
- (2) 测量重复性引入的不确定度分量 u_2 。

C.4.3 标准不确定度评定

C.4.3.1 网络分析仪引入的不确定度分量 u_1

由仪器说明书可知, 在 10 GHz 频段, 传输相位测量精度为 $\pm 0.234^\circ$ (规格值)。设置测量孔径为 0.5 MHz, 则群时延的最大允许误差为:

$$E_{\tau} = \pm 0.234 / (360 \times 0.5 \times 10^6) \approx \pm 1.30 \text{ ns}$$

该误差服从均匀分布, 则标准不确定度为:

$$u_1 = 1.30 / \sqrt{3} \approx 0.751 \text{ ns}$$

C.4.3.2 测量重复性引入的不确定度分量 u_2

测量重复性引入的不确定度分量按 A 类方法评定, 重复测量 10 次, 数据如表 C.7 所示。

表 C.7 群时延重复性试验数据(10 GHz)

测量次数	群时延 (ns)
1	10.2
2	10.5
3	10.3
4	10.1
5	10.4
6	10.6
7	10.3
8	10.2
9	10.5
10	10.4
平均值	10.35
标准差	0.158

所以, 由测量重复性引入的不确定度分量: $u_2 = 0.158 \text{ ns}$

标准不确定度分量一览见表 C.8。

表 C.8 群时延标准不确定度分量一览表

序号	不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度(ns)
1	u_1	网络分析仪	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.751
2	u_2	测量重复性	A	——	——	0.158

C.4.4 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{(u_1^2 + u_2^2)} = \sqrt{(0.751^2 + 0.158^2)} \approx \sqrt{(0.564 + 0.025)} \approx \sqrt{0.589} \approx 0.767 \text{ ns}$$

C4.5 扩展不确定度

取 $k=2$, 扩展不确定度 $U = 2 \times u_c = 2 \times 0.767 \approx 1.5 \text{ ns}$ 。

附录 D

相对传播速度、电容、屏蔽衰减测试方法

D.1 相对传播速度测试方法

D.1.1 校准用设备

D.1.1.1 长度测量工具

测量范围：0 m~10 m；

最大允许误差：±0.1%。

D.1.1.2 网络分析仪

应符合 4.2.1 的要求，具备群时延测量功能。

D.1.2 校准方法

D.1.2.1 根据长度测量规范用尺子测量出射频同轴电缆的长度 L 。

注：对毫米波频段的精密校准，建议使用精密尺或激光测距仪，测量误差应优于±0.1%。

D.1.2.2 根据 5.5 测量的群时延，得到该射频同轴电缆在 200 MHz 附近的电气长度 L_1 。

$$L_1 = C \times \tau。C \text{ 为光速，}\tau \text{ 为群时延} \quad (1)$$

D.1.2.3 相对传播速度 V_r 由公式（2）计算得到。

$$V_r = 100 \times L / L_1 (\%) \quad (2)$$

D.1.2.4 结果记录在表 D.1.3。

D.1.3 原始记录推荐格式

表 D.1.3 相对传播速度

电缆长度(米)	频率 (MHz)	电气长度 (米)	相对传播速度(%)	扩展不确定度 (%) ($k=2$)

D.2 电容测试方法

D.2.1 校准用设备

D.2.1.1 LCR 表

频率范围：800 Hz~1000 Hz；

最大允许误差：±0.1%

D.2.1.2 长度测量工具

应符合 D.1.1 的要求

D.2.2 校准方法

D.2.2.1 电容应在内、外导体之间测量，外导体应接地。用小电容测试仪在 1000 Hz 测量得到电容值 C ，测量读数除以电缆长度 L 就得到每米的电容值 c 。

$$c = C/L \quad (3)$$

D.2.2.2 结果记录在表 D.2.3。

D.2.3 原始记录推荐格式

表 D.2.3 电容

频率(Hz)	总电容(pF)	实测值(pF/m)	扩展不确定度 (pF/m) ($k=2$)

D.3 屏蔽衰减测试方法

D.3.1 校准用设备

D.3.1.1 矢量网络分析仪

频率范围覆盖被测频段，具备 S 参数测量功能，端口阻抗 50Ω 。

D.3.1.2 同轴测量管

由测量管、测试头、短路接触片、匹配负载腔体组成，内径 40 mm ，有效耦合长度 $\geq 2 \text{ m}$ 。

D.3.1.3 匹配负载

阻抗值等于被测电缆的特性阻抗。

D.3.2 校准方法

D.3.2.1 样品制备

被测电缆长度应比测量管长 0.5 m 以上，以便于连接。

D.3.2.1.1 远端处理

- 剥除电缆远端的外护套，露出屏蔽层；
- 将匹配负载焊接于内导体与外导体之间；
- 将远端屏蔽层与匹配负载腔体紧密接触，确保 360° 全周连接。

D.3.2.1.2 近端处理

- 剥除电缆近端的外护套，露出屏蔽层；
- 使用短路接触片将被测电缆屏蔽层与测量管短路连接，确保 360° 全周接触；
- 电缆应居中放置在测量管内，避免松弛。

D.3.2.2 系统连接

- 将被测电缆按 D.3.2 要求安装于测量管内；
- 测量管的测试头连接至网络分析仪的端口 2（接收端）；
- 被测电缆近端通过连接电缆连接至网络分析仪的端口 1（信号源端）。

D.3.2.3 直通校准

- 将测量管替换为直通连接，测量连接电缆及适配器的复合损耗 a_{cal} ；
- 记录各频率点的 a_{cal} 值。

D.3.2.4 测量

- a) 设置网络分析仪测量参数为 S21, 频率范围根据被测电缆要求设置;
- b) 将安装好被测电缆的测量管接入系统;
- c) 执行频率扫描, 记录各频点的传输衰减 a_{meas} ;
- d) 读取电压比值的最小包络值 (即周期性峰谷的谷值), 作为该频点的屏蔽衰减基础值。

D.3.2.5 屏蔽衰减计算

$$a_s = a_{\text{meas}, \min} - a_{\text{cal}} + 10 \log_{10}(2Z_s/Z_1) \quad (4)$$

式中:

a_s : 屏蔽衰减 (dB);

$a_{\text{meas}, \min}$: 测量得到的最小包络衰减 (dB);

a_{cal} : 直通校准的复合损耗 (dB);

Z_s : 标准化的周围环境阻抗, 取 150Ω ;

Z_1 : 被测电缆的特性阻抗 (Ω)。

D.3.2.6 测量结果记录在表 D.3.3 中。

D.3.3 原始记录推荐格式

表 D.3.3 屏蔽衰减

频率 (MHz)	实测值 (dB)	扩展不确定度 (dB) ($k=2$)