

中 华 人 民 共 和 国

计 量 器 具 检 定 规 程

波 导 测 量 线

JJG 281—81

波导测量线检定规程

Verification Regulation of
Waveguide Slotted Line

JJG 281—81

本检定规程经国家计量总局于1981年12月21日批准，并自1982年11月1日起施行。

归口单位： 中国计量科学研究院

起草单位： 中国计量科学研究院
辽宁精密仪器厂

主要起草人： 李 湘 周凤鸣

本规程技术条文由起草单位负责解释。

目 录

一、概述.....	(1)
二、受检仪器主要技术要求.....	(1)
三、检定条件及检定用设备.....	(1)
四、检定项目及检定方法.....	(3)
五、检定结果及检定周期.....	(9)
附录 1 本规程所用术语及其含义.....	(10)
附录 2 检定证书格式.....	(11)
附录 3 检定数据处理举例.....	(12)
附录 4 测量线系统的总体检定.....	(15)

波导测量线检定规程

本规程适用于新制造的、使用中和修理后的厘米波频段波导测量线的检定。

一、概 述

1 波导测量线（又称开槽线）是探测波导中驻波分布情况的仪器。它的主要组成部分有：开槽线段、探头装置（包括探针、检波晶体和调谐器）、探头移动机构和位置测量装置等。

探针通过轴向槽缝拾取开槽线段中的电场，感应出与场强成正比的电动势加到检波晶体上，检波后的信号加到指示器上，即可示出沿线驻波的大小和相位。

测量线通常用来测量驻波比，此外还可测量复数阻抗、波导波长、相移等多种参数，是一种通用的微波测量仪器。

二、受检仪器主要技术要求

2 被检测量线在整个工作频段范围内应满足表1要求。

表 1

技 术 指 标 项 目	精 度 等 级		
	一 级	二 级	三 级
合成电压驻波比	小于1.01	小于1.03	小于1.06
探针反射系数	小于0.006	小于0.01	小于0.015

三、检定条件及检定用设备

3 环境条件

环境温度： 10~35℃；

相对湿度: 小于80%;

大气压强: 650~800 mmHg;

周围环境无强电磁干扰和影响仪器正常工作的机械振动。

4 检定用主要仪器设备

4.1 标准无反射负载: 在检定频率点上驻波比 ≤ 1.002 。

4.2 小反射滑动负载:

检定二、三级测量线时, 波导宽边内尺寸公差 Δa 和窄边内尺寸公差 Δb 应满足 $\Delta a = \Delta b \leq \pm 2b \times 10^{-3} \text{ mm}$, 其中 b 为波导口窄边尺寸,

安装在波导内的小反射吸收块的驻波比应 ≤ 1.02 ;

传动机构应保证负载移动平稳。

4.3 标准短路活塞:

波导内尺寸公差: 检定一级测量线时, $\Delta a = \Delta b \leq \pm b \times 10^{-3} \text{ mm}$;
检定二、三级测量线时, $\Delta a = \Delta b \leq \pm 2b \times 10^{-3} \text{ mm}$ 。

当检定一级测量线时, 驻波比应大于50; 当检定二、三级测量线时, 驻波比应大于30。

标准短路活塞在移动过程中, 反射系数相角变化的不平稳性 $\Delta\theta$ 应满足: 当检定一级测量线时 $\Delta\theta < 0.5^\circ$; 当检定二、三级测量线时 $\Delta\theta < 1.4^\circ$ 。

4.4 微波信号源:

幅度稳定度: 检定一级测量线时应优于 $\pm 0.01 \text{ dB}/15 \text{ min}$; 检定二、三级测量线时应优于 $\pm 0.05 \text{ dB}/15 \text{ min}$ 。

频率稳定度: 检定一级测量线时应优于 $5 \times 10^{-5}/15 \text{ min}$; 检定二、三级测量线时应优于 $2 \times 10^{-4}/15 \text{ min}$ 。

4.5 选频放大器或驻波计:

分辨率: 检定一级测量线时应优于0.25%; 检定二、三级测量线时应优于1%。

4.6 波导测量线: 工作频率范围应与被检测量线一致。

4.7 隔离器或衰减器: 隔离衰减量不小于10 dB。

4.8 频率计或波长计。

4.9 调配器。

4.10 电子交流稳压器。

四、检定项目及检定方法

5 检定项目

外观及工作正常性检查；

合成电压驻波比的检定；

探针反射系数的检定。

6 外观和工作正常性检查

6.1 被检测量线线体、法兰表面及探头不得有影响测量线正常工作的机械损伤。

6.2 探头的调谐机构应能在测量线工作频段范围内均匀、平滑、可靠地调谐。

6.3 传动机构在全行程内移动时应平稳、均匀，在任意点均能停留。

6.4 检波晶体工作正常，输出连线接触可靠。

6.5 如发现某一项已严重影响被检测量线的性能，则应在修复以后再检定。

6.6 测量线的配套设备应齐全，并应带有该测量线的说明书。

7 合成电压驻波比的检定

7.1 方法一：

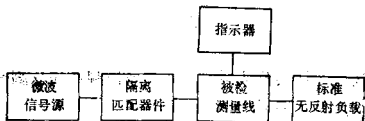


图 1

7.1.1 按图1连接测试系统。调整被检测量线及测试系统达到工作状态。探针调到说明书中规定的插入深度（若无规定，插入深度取

b/10)。当检定一级测量线时应使信号源端驻波比小于1.02；当检定二、三级测量线时应使信号源端驻波比小于1.1。

7.1.2 被检测量线测试端接工作频率与检定频率相一致的标准无反射负载，并用定位销钉定位。

7.1.3 沿全程移动被检测量线的探针，测出一组相邻的比值最大的最大值 $a_{\max}$ 和最小值 $a_{\min}$ 。

7.1.4 按下式计算该测量线的合成电压驻波比：

$$S_z = \left(\frac{a_{\max}}{a_{\min}} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

式中： n ——晶体检波律。

7.1.5 在被检测量线的中心频率和两个边频上进行检定，每个频率点至少测量三次，取平均值。

7.1.6 测量线出厂检定应检定测量线的两端，周期检定只需检定其测试端。

7.2 方法二：

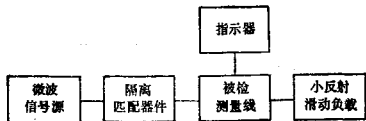


图 2

7.2.1 按图2连接测试系统。调整被检测量线及测试系统达到工作状态。探针调到说明书中规定的插入深度（若无规定，插入深度取b/10)。当检定一级测量线时应使信号源端驻波比小于1.02；当检定二、三级测量线时应使信号源端驻波比小于1.1。

7.2.2 被检测量线测试端接驻波比为 S_L 的小反射滑动负载，拉动小反射负载吸收块，使指示器获得最大指示。

7.2.3 负载不动, 沿全程移动测量线探针, 找出一组相邻的比值最大的检波指示最大值和最小值, 然后使探针位于最大值位置。

7.2.4 反复移动小反射负载和测量线探针, 使之无论固定探针移动负载, 或是固定负载移动探针, 均使指示器输出为最大, 记下此时指示器读数 $a_{\max}$ 。

7.2.5 然后, 固定小反射负载, 移动测量线探针至指示器上出现最小值, 记下此时指示器读数 $a_{\min}$ 。

7.2.6 计算最大驻波比:

$$S_{\max} = \left(\frac{a_{\max}}{a_{\min}} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

7.2.7 将负载吸收块移动 $1/4\lambda_e$ 距离, 用测量线再测出一组 $a'_{\max}$ 和 $a'_{\min}$, 按下式算出 $S_{\min}$:

$$S_{\min} = \left(\frac{a'_{\max}}{a'_{\min}} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

7.2.8 按下式计算合成电压驻波比 S_x ,

当 $S_x \geq S_L$,

$$\text{则} \quad S_x = \frac{1}{2} (S_{\max} + S_{\min}) \quad (4)$$

当 $S_x \leq S_L$,

$$\text{则} \quad S_x = 1 + \frac{1}{2} (S_{\max} - S_{\min}) \quad (5)$$

7.2.9 当 S_L 未知或 S_x 与 S_L 的大小无法区别时, 可用下法判别: 故意错位连接小反射负载, 使 S_x 增大, 用上法再次测量并求出 S_x 和 S_L , 其中两次连接下基本不变的值即为 S_L 。

7.2.10 在被检测测量线的中心频率和两个边频上进行检定, 每个频率点至少测量三次, 取平均值。

7.2.11 测量线出厂检定应检定测量线的两端, 周期检定只需检定其测试端。

7.3 方法三:

7.3.1 如不具备标准无反射负载和小反射滑动负载时,可以分别检定该测量线的线体剩余驻波比和不平稳度等效驻波比,然后进行误差合成,并求出合成电压驻波比。

7.3.2 线体剩余驻波比的检定:

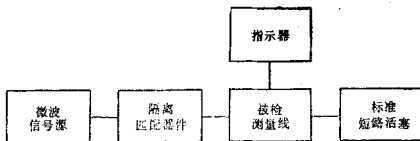


图 3

a 按图3连接测试系统,并在测量线上装上百分表。调整被检测量线及测试系统达到工作状态。当检定一级测量线时应使信号源端驻波比小于1.02;当检定二、三级测量线时应使信号源端驻波比小于1.1。

b 置标准短路活塞于一位置 x_1 ,在测量线上用交叉读数法精确测定驻波最小点位置 y_1 。

c 移动短路活塞一个小距离,例如 $1/20\lambda_g$ 至 x_2 ,仿前在测量线上测出驻波最小点位置 y_2 。依此类推,直至短路面移动距离超过 $1/2\lambda_g$ 为止。

d 以 x 为横坐标, $y \pm x$ 为纵坐标作曲线即 S 曲线,求其峰谷距离 Δ 。

e 按下式计算线体剩余驻波比 S_1 及线体剩余驻波比引入的测量误差 δ_1 :

$$S_1 = 1 + \frac{2\pi\Delta}{\lambda_g} \quad (6)$$

$$\delta_1 = S_1 - 1 \quad (7)$$

f 在被检测量线的中心频率和两个边频上进行检定，每个频率点至少测量三次，取平均值。

g 测量线出厂检定应检定测量线的两端，取误差最大的一端计算 S_1 。周期检定只需检定其测试端。

7.3.3 不平稳度等效驻波比的检定：



图 4

a 按图 4 连接测试系统。调整被检测量线及测试系统达到工作状态。探针调到说明书中规定的插入深度（若无规定，插入深度取 $b/10$ ）。

b 沿全程移动被检测量线探针，测出各最大点，得到一组 a 值，并找出相差最大的两个值。

c 将标准短路活塞移动 $(1/10 \sim 1/20) \lambda_s$ ，重复步骤 b。依此类推，直到短路活塞移动距离超过 $1/2 \lambda_s$ 为止。

d 在各组找出的两个值中，再选取相差最大的两个值 a_i 、 a_k 。在晶体为平方律检波时，不平稳度等效驻波比 S_2 为：

$$S_2 = 1 + \left(\frac{a_i - a_k}{a_i + a_k} \right) \quad (8)$$

由此引入的测量误差 δ_2 为：

$$\delta_2 = S_2 - 1 \quad (9)$$

e 如晶体偏离平方律检波, 则以 $\alpha^{\frac{2}{n}}$ 代替 (8) 式中的 α 。

f 在被检测量线工作频率范围的最高频率点上进行检定。

7.3.4 按下式计算测量线合成电压驻波比:

$$S_2 = 1 + \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} \quad (10)$$

8 探针反射系数的检定

8.1 方法一:

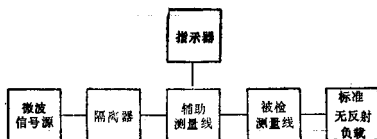


图 5

8.1.1 按图 5 连接测试系统。调整被检测量线、辅助测量线及测试系统达到工作状态。被检测量线探针调到说明书中规定的插入深度 (若无规定, 插入深度取 $b/10$)。分别调谐辅助测量线和被检测量线探针回路, 使指示器获得最大指示。

8.1.2 辅助测量线探针放在任意位置不动, 移动被检测量线探针, 记下指示最大值 $\alpha_{\max}$ 和最小值 $\alpha_{\min}$ 。

8.1.3 按下式计算探针反射系数 $|\Gamma_v|$:

$$|\Gamma_v| = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\alpha_{\max}}{\alpha_{\min}} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \quad (11)$$

8.1.4 在被检测量线的中心频率和两个边频上进行检定, 每个频率点至少测量三次, 取平均值。

8.1.5 如果没有标准无反射负载, 可以用小反射负载代替, 检定方法相同。

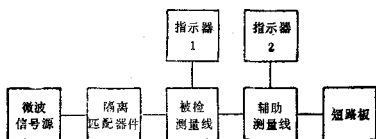


图 6

8.2 方法二:

8.2.1 按图 6 连接测试系统。调整被检测量线、辅助测量线及测试系统达到工作状态。被检测量线探针调到说明书中规定的插入深度（若无规定，插入深度取 $b/10$ ）。分别调谐辅助测量线和被检测量线探针回路，使指示器获得最大指示。

8.2.2 将辅助测量线探针移动到驻波最大点，移动被检测量线探针到驻波最小点，从指示器 2 上读得 $a_{\max}$ 。

8.2.3 辅助测量线探针不动，移动被检测量线探针到驻波最大点，从指示器 2 上读得 $a_{\min}$ 。

8.2.4 在晶体为平方律检波时，按下式计算探针反射系数 $|\Gamma_r|$ ：

$$|\Gamma_r| = \frac{1}{2} \left(\frac{a_{\max} - a_{\min}}{a_{\max} + a_{\min}} \right) \quad (12)$$

8.2.5 在被检测量线的中心频率和两个边频上进行检定，每个频率点至少测量三次，取平均值。

五、检定结果及检定周期

9 如被检测量线检定项目全部合格，则发给检定合格证书，如果在规定的项目中有任何一项不符合技术指标要求，则在证书中注明不合格的项目。

10 正常使用中的测量线检定周期为一年，修理后的测量线可随时送检。

附录 1

本规程所用术语及其含义

1 线体剩余驻波比

线体剩余驻波比是测量线主波导由于开槽、截面尺寸和形状的制作不完善引起的阻抗不连续的量度。

2 不平稳度等效驻波比

不平稳度等效驻波比是测量线探针移动时，由于测量线主波导及探针传动机构的缺陷，引起探针耦合输出变化所等效的驻波比。

3 合成电压驻波比

合成电压驻波比是测量线线体剩余驻波比与不平稳度等效驻波比的实际合成。

4 探针反射系数

探针反射系数是测量线在工作状态下探针产生的反射系数的模。

附录 2

第 页

检 定 证 书 格 式

第 页

检 定 结 果

项 目 频率 GHz	合成电压驻波比	探针反射系数

说 明

检定日期 19 年 月 日

附录 3

检定数据处理举例

合成电压驻波比的检定

(一) 用 S 曲线法测线体剩余驻波比

1 系统方块图如正文图3。

2 实测数据列于表1。

表 1

x	y_1	y_2	y	$y-x$
0	0	0.37	0.19	0.19
2	1.88	2.42	2.15	0.15
4	3.85	4.50	4.18	0.18
6	5.80	6.58	6.19	0.19
8	7.75	8.66	8.21	0.21
10	9.75	10.67	10.21	0.21
12	11.80	12.69	12.25	0.25
14	13.83	14.60	14.22	0.22
16	15.89	16.53	16.21	0.21
18	17.92	18.46	18.19	0.19
20	19.94	20.40	20.17	0.17
22	21.94	22.43	22.19	0.19
24	23.90	24.40	24.15	0.15
26	25.87	26.46	26.17	0.17
28	27.83	28.57	28.20	0.20
30	29.76	30.70	30.23	0.23
32	31.75	32.65	32.20	0.20
34	33.80	34.64	34.22	0.22
36	35.85	36.54	36.20	0.20

3 以 x 为横坐标, 以 $(y-x)$ 为纵坐标作曲线如下图。从曲线上求其峰谷间距离 $\Delta = 0.1\text{mm}$ 。

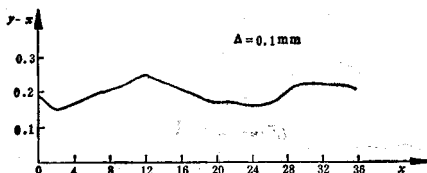


图 7

4 计算线体剩余驻波比及其引入的测量误差:

$$S_1 = 1 + \frac{2\pi\Delta}{\lambda_g} = 1 + \frac{6.28 \times 0.1}{45} = 1.014 \quad (1)$$

$$\delta_1 = S_1 - 1 = 1.014 - 1 = 0.014 = 1.4\% \quad (2)$$

(二) 不平穩度等效驻波比的检定

5 系统方块图如正文图 4。

6 实测数据列于表 2。

表 2

最大点 a 活塞位置 x	a_1	a_2	a_3	a_4	读数 最大差值
0	96	96	96		0
5	100	100	100		0
10	100	100	100		0
15	96	96.5	96		0.5
20	96	96	96.5		0.5
25	96	96	96		0
30	98	98.5	98		0.5

7 在各组中找出相差最大的两个值 $a_1 = 98.5$, $a_3 = 98$ 。在晶体

为平方律检波时，不平稳度等效驻波比 S_2 按下式计算：

$$S_2 = 1 + \frac{a_i - a_k}{a_i + a_k} = 1 + \frac{98.5 - 98}{98.5 + 98} \quad (3)$$

$$= 1.0025$$

S_2 引入的测量误差为：

$$\delta_2 = S_2 - 1 = 0.0025 = 0.25\% \quad (4)$$

8 按下式计算测量线的合成电压驻波比：

$$S_z = 1 + \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2}$$

$$= 1 + \sqrt{0.014^2 + 0.0025^2} = 1.015 \quad (5)$$

附录 4

测量线系统的总体检定

1 本方法适用于检定测量线系统的总误差，包括测量线、信号源、指示器、晶体检波器及所采用的测量驻波比的方法等引入的测量误差。

2 选取驻波比标称值与待测件驻波比相接近的标准失配负载，接到被检系统测量线的测试端。标准失配负载的精确度应比待测驻波比所要求的精确度高一等级。

3 用测量待测件驻波比所拟采用的同样方法，测量标准失配负载的驻波比 S 。

4 按下式计算被检系统测量上述驻波比的总误差：

$$\frac{\Delta S}{S_0} = \frac{S - S_0}{S_0} \times 100\%$$

式中： S_0 ——标准失配负载驻波比的定标值。

5 检定频率点根据使用要求选定。
