

中华人民共和国

计量器具检定规程

三厘米波导热敏电阻座

JIG 255—81

国家计量总局

北京

目 录

一、概述.....	(1)
二、主要技术指标.....	(1)
三、检定条件.....	(1)
四、检定项目.....	(2)
五、检定方法.....	(3)
六、检定结果及误差.....	(6)
七、检定周期.....	(7)
附录 1 简要误差分析.....	(8)
附录 2 量热式标准小功率计检定方法.....	(12)
附录 3 检定证书格式.....	(14)
附录 4 检定记录格式.....	(16)

三厘米波导热敏电阻座 检 定 规 程

Verification Regulation of Waveguide
Thermistor Mount for X-Band



本检定规程经国家计量总局于1981年2月11日批准，自1982年6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

主要起草人：陈晓梅

本规程技术条文由起草单位负责解释。

三厘米波导热敏电阻座检定规程

本规程所介绍的是根据“功率方程”概念，在单定向耦合器、调配反射射计系统上进行功率量值传递的方法。适用于使用中和修理后的三厘米波导热敏电阻座的检定；也适用于确定新生产的三厘米波导热敏电阻座的反射系数模值、有效效率和校准因子值。对于量热式功率座、热电薄膜式功率座也可参照本规程进行检定。

一、概 述

三厘米波导热敏电阻座与热敏电阻电桥一起，可用于测量三厘米波段连续振荡功率，或脉冲调制的平均功率，并可对微波元件的衰减或增益进行测量。

二、主要技术指标

- 1 频率范围：8.2~12.4 GHz.
- 2 波导截面尺寸：10.16×22.86 mm.
- 3 热敏电阻座输入端电压驻波系数在全频段不大于1.50.
- 4 额定功率：10 mW（或5 mW）。
- 5 热敏电阻座有效效率值（或校准因子值）在全频段不小于85%.
- 6 检定有效效率及校准因子的误差不大于 $\pm 1.5\% \sim \pm 3\%$ 。
- 7 检定反射系数模值的误差不大于 $\pm 1\%$ 。

三、检 定 条 件

8 环境条件

整个检定过程在恒温室进行，室内温度应保持为 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ；

湿度低于80%；

电源电压 $220\text{V} \pm 10\%$ ，50Hz.

9 检定时所用的标准及其它设备

9.1 标准：检定所用的标准可为三厘米波导量热式标准小功率计，也可为其标准小功率计（总精度优于±0.5~2%）。

9.2 直流设备：

直流低阻电位差计：0.02级；

数字电压表：优于0.02%；

精密直流稳压电源：稳定度 $5 \times 10^{-9}/4$ 小时；

标准电池：0.02级；

标准电阻：0.01级；

检流计：(0.2~0.03) $\times 10^{-9}$ A/mm。

9.3 微波设备：

三厘米速调管及速调管电源；

PIN调制器；

稳频器： 2×10^{-5} ；

稳幅器： 1×10^{-3} ；

定向耦合器（3、6、10、20 dB各一根，其中3 dB定向耦合器的方

向性要求高于35 dB）；

波长表：准确度优于 1×10^{-4} ；

隔离器；

检波座；

回转式衰减器（0.02 dB/10 dB）；

波导开关；

调配器；

标准波导段：(10.16 \times 22.86) ± 0.01 mm；

滑动短路器： $|T_{1s}| \geq 0.98$ ；

小反射滑动负载： $|T_1| < 0.02$ ；

标准短路器： $|T_s| \geq 0.995$ 。

四、检定项目

10 工作正常性的检查

热敏电阻座接上配用之电桥（用户应预先校准），按照使用说

明书操作要能正常工作，国产热敏电阻座的外观和机械性能要求符合《电子测量仪器电气和机械结构的一般要求(SJ 940—75)》。座的阻值与所配用电桥的工作阻值要一致。

11 热敏电阻座输入端电压反射系数测量值的检定

12 热敏电阻座有效效率的检定

13 热敏电阻座校准因子的检定

五、检定方法

14 检定方法

本方法要求将系统中3dB定向耦合器的方向性 $\left| \frac{1}{K} \right|$ 调到优于 1×10^{-3} ，将等效讯号源的反射系数 $|T_{in}|$ 调到0.001以下，并要求采用标准波导段输出，从而使该系统可以同时精确测量反射系数的模值和失配因子，检定热敏电阻座的有效效率和校准因子。

14.1 原理方框图：

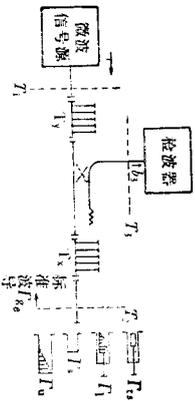


图 1 调配反射计原理方框图

T_1 、 T_2 — T_1 为系统上的参考端面， T_2 为测量端面；

T_3 、 T_4 —调配器；

T_{in} —从参考面 T_2 看入系统的反射系数；

T_s —标准短路器；

T_{1s} —滑动短路器；

T_1 —小反射滑动负载

14.2 基本公式：

$$\eta_{eff} = \eta_{is} \cdot \frac{P_{dir}}{P_{is}} \cdot \frac{M_{is}}{M_{su}} \quad (1)$$

$$\left| \frac{1}{K} \right| \leq 1 \times 10^{-3}$$

15.5 在测量端口 (T_0) 换接滑动短路器, 调节调配器 (T_1) 使 $|T_{sc}| \leq 1 \times 10^{-3}$ 。

15.6 用通用功率计接在测量端口 (T_2) 使输出功率略小于 10mW (或 5mW)。

15.7 将标准座接于测量端口 (T_2), 从标准功率计指示器上读出 P_{bs} 。

15.8 读出定向耦合器旁臂输出波幅值 $|b_s|$ 的示值。

15.9 取下标准座, 换接标准短路器, 记下此时定向耦合器旁臂输出波幅值 $|b_{sc}|$ 的示值。

15.10 取下标准短路器, 换接被校座, 从热敏电阻电桥上读出 P_{bu} , 并读出定向耦合器旁臂输出波幅 $|b_{su}|$ 的示值。

注: 检定在 8.2、8.6、9.37、10.50、12.4GHz 五个频率点进行, 每个频率点重复三次, 测试结果取三次的算术平均值 (每一热敏电阻座检定两边频及任一中间频率, 有特殊要求的用户可另行协商)。

六、检定结果及误差

16 检定结果

由检定所得数据按公式 (1)、(2)、(3)、(4)、进行计算, 可得被校座的反射系数模值、有效效率和校准因子。用户按证书上所给数据进行修正使用 (其中 η_0 由标准座给出)。

17 检定误差

17.1 检定热敏电阻座反射系数模值与失配因子的误差:

$$\Delta |T_u| \leq 0.0079$$

失配因子的测量误差通常为:

$$\frac{\Delta M_{\min}}{M_{\min}} \leq 0.12\%$$

17.2 检定热敏电阻座有效效率及校准因子的误差:

由公式 (1)、(2) 知

$$\eta_{sc} = \eta_{sc} \cdot \frac{P_{bu}}{P_{bs}} \cdot \frac{M_{gs}}{M_{gu}}$$

$$K_{bu} = \eta_{sc} (1 - |T_u|^2)$$

因此, 有效效率及校准因子的误差为:

$$\frac{\Delta \eta_{sc}}{\eta_{sc}} = \pm \left[\frac{\Delta \eta_{sc}}{\eta_{sc}} + \frac{\Delta P_{bs}}{P_{bs}} + \sqrt{\left(\frac{\Delta P_{bu}}{P} \right)^2 + \left(\frac{\Delta M_{gu}}{M_{gu}} \right)^2} + \left(\frac{\Delta M_{gs}}{M_{gs}} \right)^2 + \Delta^2 \right]$$

其中:

$$\frac{\Delta K_{bu}}{K_{bu}} = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta \eta_{sc}}{\eta_{sc}} \right)^2 + (2|T_u| |\Delta T_u|)^2}$$

$\frac{\Delta \eta_{sc}}{\eta_{sc}}$ 由标准座给出;

$\frac{\Delta P_{bs}}{P_{bs}}$ 由标准功率计给出;

$\frac{\Delta P_{bu}}{P_{bu}}$ 由被校座所配用之电桥给出;

Δ 为讯号源不稳所引起的误差。

注: 误差分析详见附表。

七、检定周期

18 对于使用中的三厘米波导热敏电阻座, 其检定周期为一年。必要时可提前送检。

附 录

附录 1

简 要 误 差 分 析

(一) 采用本系统检定热敏电阻电压反射系数模 $|T_u|$ 的误差
1 调配器 T_s 调配不完善引入的误差:

$$\Delta |T_u| = \Delta |T_u|_{\max} = \left| \frac{1}{K} \right| + \left| \frac{1}{K} \right| \cdot |T_u| \leq 0.0012$$

其中: $\left| \frac{1}{K} \right| = \frac{\Delta A'}{17.4} |T_u| \leq 1 \times 10^{-3}$

$$|T_{sc}| = 0$$

$$|T_u| = 0.2$$

$\Delta A'$ 为衰减器相应调配不完善所引起的 b_s 波动的读数。

2 调配器 T_s 调配不完善引入的误差

$$\Delta |T_s| = \Delta |T_u| = |T_{sc}| \cdot (1 + |T_u|) \cdot |T_u| \leq 0.00024$$

其中: $\left| \frac{1}{K} \right| = 0$

$$|T_{sc}| = \frac{\Delta A''}{17.4} \leq 0.001$$

$$|T_u| = 0.2$$

$\Delta A''$ 衰减器相应调配不完善所引起的 b_s 波动的读数。

3 标准短路器 $|T_s| \neq 1$ 时引入的误差

$$\Delta |T_s| = \left| \frac{\Delta T_s}{T_s} \right| \cdot |T_u| \leq 0.001$$

其中: $|T_s| \geq 0.995$

$$|T_u| = 0.2$$

4 标准波导截面尺寸不准引入的误差

$$\Delta |T_u| = |T_u| \cdot (1 - |T_u|^2) \leq 0.0013$$

其中: $|T_u| = \frac{1}{2} \left| \frac{\Delta b}{b} - \frac{\Delta a}{a} \right| = 0.0014$

Δa ——两波导宽边尺寸变化量;

Δb ——两波导窄边尺寸变化量;

$|T_u|$ ——两波导由于截面尺寸不一致在连接处产生的反射系数的模值。

5 小反射滑动负载截面与标准波导截面不一致引入的误差:

$$\Delta |T_u| = |T_{01}| + |T_{01}| |T_u| \leq 0.0017$$

其中: $|T_{01}| = \frac{1}{2} \left| \frac{\Delta b}{b} - \frac{\Delta a}{a} \right| = 0.0014$, 为两波导由于截面尺寸不一致, 在连接处产生的反射系数的模值。

$$|T_u| = 0.2$$

6 回转式衰减器所引入的误差

因为: $|T_u| = \left| \frac{b_{3n}}{b_{3i}} \right|$

$$A = 20 \log \left| \frac{b_{3i}}{b_{3n}} \right| = -20 \log |T_u|$$

上式微分整理后为:

$$\Delta |T_u| = -\frac{\ln 10}{20} \Delta A |T_u| = 0.115 \Delta A |T_u|$$

其中: $\Delta A = \Delta A_1 + \Delta A_2$

ΔA_1 ——回转式衰减器的固有误差;

$\Delta A_2 = (0.02 \text{ dB}/10 \text{ dB}) \cdot (A_1 + A_2) = 0.08 \text{ dB}$

ΔA_2 ——回转式衰减器的失配误差;

$\Delta A_2 = 0.056 \text{ dB}$ (当 $|T_u| = 0.2$)

$\Delta |T_u| = 0.115 (\Delta A_1 + \Delta A_2) |T_u| \leq 0.0031$

7 讯号源的频率幅度不稳所引入的测量误差, 用多次测量的离

散值来估计:

$$\Delta |T_n| \leq 0.002$$

误差合成: 对于不确定的系统误差和偶然误差按均方相加, 再与各项系统误差算术相加。

$$\Delta |T_n| = \pm [\Delta |T_s| + \Delta |T_4| + \Delta |T_5| + \sqrt{(\Delta |T_1|)^2 + (\Delta |T_2|)^2 + \dots} + (\Delta |T_6|)^2 + (\Delta |T_7|)^2]$$

$$\Delta |T_n| \leq \pm 0.0079$$

$$|T_n| \leq 0.2$$

(二) 采用本系统检定热敏电阻座失配因子的误差

1 调配器T₁调配不完善引入的误差

$$\Delta M_1 = \left| \frac{R_c}{R} \right|^2 + 2 \left| \frac{W}{R} \right| \left| \frac{R_c}{R} \right| \leq 0.04\%$$

其中:

$$\left| \frac{R_c}{R} \right| = \frac{\Delta A'}{17.4} = 0.001$$

$$|T_u| = 0.2$$

R_c, R_e——调配反射计终接短路器时的响应;

W——调配反射计终接任意负载时的响应。

2 回转式衰减器引入的误差

$$\Delta M_2 = 0.23 \Delta A |T_n|^2 \leq 0.054\%$$

其中: |T_n| = 0.2

3 标准短路器 |T₁| ≠ 1 引入的误差

$$\Delta M_3 = 2(1 - |T_1|) |T_n|^2 \leq 0.04\%$$

其中: |T₁| ≥ 0.995

$$|T_n| \leq 0.2$$

4 滑动短路器 |T_{1s}| ≠ 1 引入的误差

$$\Delta M_4 = 4 |T_n| \cdot |T_{1s}| (1 - |T_{1s}|) \leq 0.002\%$$

其中: |T_{1s}| > 0.98

$$|T_n| \leq 0.2$$

$$|T_{1s}| \leq 0.001$$

5 讯号源不稳定和其它因素引入的离散误差

$$\Delta M_5 \leq 0.04\%$$

其中: |T_n| ≤ 0.2

按同样原则合成误差为:

$$\Delta M_{\text{总}} = \pm [\Delta M_3 + \Delta M_4 + \sqrt{\Delta M_1^2 + \Delta M_2^2 + \Delta M_5^2}]$$

$$\Delta M_{\text{总}} \leq \pm 0.12\%$$

(三) 误差计算举例

假定: 被检热敏电阻座的反射系数 |T_n| = 0.2

热敏电阻电桥的精度为 ±1%

则: $\Delta |T_n| = \pm 0.0079$

$$\frac{\Delta M_{\text{总}}}{M_{\text{总}}} = \pm 0.12\%$$

$$\frac{\Delta \eta_{\text{总}}}{\eta_{\text{总}}} = \pm (0.14 + 0.4 + \sqrt{(1)^2 + (0.04)^2 + (0.12)^2 + (0.1)^2})$$

$$= \pm 1.55\%$$

$$\frac{\Delta K_{\text{总}}}{K_{\text{总}}} = \pm \sqrt{(1.55)^2 + (2 \times 0.2 \times 0.79)^2}$$

$$= \pm 1.58\%$$

$$\frac{\Delta \eta_{\text{总}}}{\eta_{\text{总}}} \leq \pm 0.14\%$$

$$\frac{\Delta P_{\text{总}}}{P_{\text{总}}} \leq \pm 0.4\%$$

$$\frac{\Delta M_{\text{总}}}{M_{\text{总}}} \leq \pm 0.04\%$$

$$\Delta \leq \pm 0.1\%$$

附录 2

量热式标准小功率计检定方法
(以BGLX型量热式标准小功率计为例)

(一) 检定系统方框图

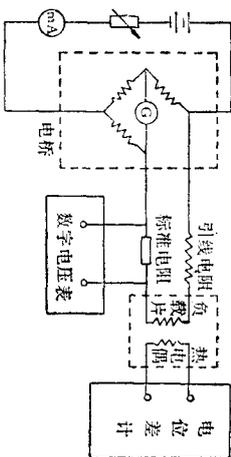


图 3 直流系统方框图

说明：图示系统用以测量标准小功率计，或量热计的直流替代功率，其精度取决于所选用的仪器的精度。

(二) 检定所用的设备

- 直流低阻电位差计：0.02级；
- 直流电桥：0.05级；
- 数字式电压表：优于0.02%；
- 精密直流稳压电源：稳定度 5×10^{-6} /4h
- 标准电池：0.02级；
- 标准电阻：0.01级；
- 十进位电阻箱：0.02级；
- 检流计： $(0.2 \sim 0.03) \times 10^{-9} \text{ A/mm}$

(三) 检定步骤

- 1 当图二、图三所示系统调整好，将标准座接于测量端口 (T_2)，经十分钟后由电位差计读得一输出电势 e_0 。
- 2 去掉微波功率，经十分钟后记下一剩余电势 e_1 ，同时加入一直流功率 P_{ds} (其大小应等于所替代的微波功率)。
- 3 经十分钟后，记下一输出电势 e_2 ，同时去掉 P_{ds} 。
- 4 经十分钟后记下一剩余电势 e_3 ，同时加上微波功率 P_{rf} (功

率在整個测量过程中应保持不变)。

- 5 经十分钟后记下一输出电势 e_4 ，则

$$P_{ds} = \frac{e_4 - e_3}{e_2 - e_1} P_{dcs}$$

P_{ds} 即为所测得的量热式标准小功率计的直流替代功率。

- 6 测出量热式标准小功率计的失配因子 M_{ds} 及反射系数模值 $|r_s|$ 。

