

中 华 人 民 共 和 国

计 量 器 具 检 定 规 程

M 4-1 型标准热敏电阻电桥

JJG 280—81

**M4-1(MTO-1)型标准热敏
电阻电桥检定规程**

Verification Regulation of Stand-
ard Thermistor Bridge Type M4-1
(MTO-1)

JJG 280—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

主要起草人： 陈晓梅

本规程技术条文由起草单位负责解释。

目 录

一、主要技术指标	(1)
二、检定条件及检定用设备	(1)
三、检定项目及检定方法	(2)
四、检定结果及检定周期	(8)
附录1 M4-1(MTO-1)型标准热敏电阻电桥的用途及基本工作原理	(9)
附录2 电桥预热功率和测量范围的计算	(11)
附录3 检定记录格式	(12)

M4-1型标准热敏电阻电桥检定规程

本规程适用于新制的、使用中和修理调整后的 M4-1 以及 MFO-1 型标准热敏电阻电桥（以下简称电桥）的检定。

一、主要技术指标

1 测量范围

15、50、150、500、1500和5000 μ W。

2 热敏电阻的工作阻值

75、80、85、90、100、125、150、175、200、240、285、330和400 Ω 。

3 电桥的基本误差不大于：

$$\pm \left(\frac{P + 0.5A}{100} + 0.5 \right) \quad (\mu W)$$

$$\text{或} \quad \pm \left(1 + \frac{0.5A + 50}{P} \right) \%$$

式中：P——被测功率的示值（ μ W）。

A——测量挡的满度值（ μ W）。

4 经预热一小时后，在 30 秒钟内指示器的短时间不稳定性不超过 $\pm 1\mu$ W。

5 指示建立的时间不超过 12 秒。

6 当预热功率为 10~20mW，热敏电阻的工作阻值在 75~400 Ω 的范围内时，电桥能正常工作。

二、检定条件及检定用设备

7 环境条件

7.1 环境温度：20 \pm 5 $^{\circ}$ C，在仪器工作过程中不允许有温度的骤变。

7.2 相对湿度：(65 \pm 15)%。

7.3 电源电压： $220\text{V} \pm 10\%$ 、 $50 \pm 0.5\text{Hz}$ 。

7.4 电桥应放置在稳固的工作台上，周围环境应无影响其正常工作的机械振动和冲击，并且无较大的气流。电桥应可靠地接地。

8 检定用仪器设备

8.1 自耦变压器： $0 \sim 250\text{V}$ 、 500VA 。

8.2 交流电压表：0.5级、 300V 。

8.3 数字式电压表（或直流低阻电位差计Ⅱ级，上限 20mV ）。

8.4 直流电阻箱：0.1级、最小步进值 0.01Ω ，共需5只。

8.5 标准电阻： 1Ω 1只、 100Ω 2只。

8.6 电池组： 8.5V 3组、稳定度不低于 $0.005\% \cdot \text{min}^{-1}$ 。

8.7 计时器（或秒表）1块。

8.8 直流复射式检流计（如AC 9/4）。

8.9 标准电池：Ⅱ级 1只。

8.10 微安表：中心指零， $50\mu\text{A}$ 。

三、检定项目及检定方法

9 工作正常性检查

检定前对电桥的外观进行检查，同时按照使用说明书的第Ⅱ和第Ⅲ部分所规定的项目检查电桥的一般工作性能，电桥要能正常工作。

10 电源稳定性的检定

10.1 按图1接好线路，并接通电源，电桥接上相应的热敏电阻座

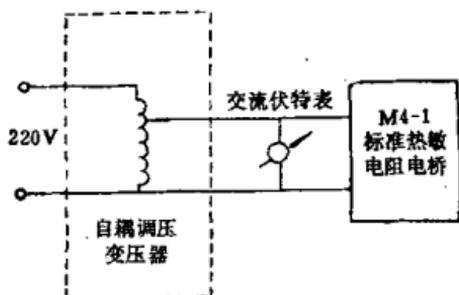


图 1

预热 1 小时。

10.2 将电桥的“热敏电阻工作阻值”选择旋钮放在与所接热敏电阻座工作阻值相同的位置，将量程选择旋钮放在 $15\mu\text{W}$ 挡上。

10.3 按使用说明书操作，使电桥平衡，并将检测器旋钮放在“测量”位置。

10.4 调节“零点细调”旋钮，使输出表头指示在 $2\sim 3\mu\text{W}$ 的刻度上，此时电源电压应保持为 220V ，记下此时输出表头的读数值 Δ_0 。

10.5 调节自耦变压器，使电源电压为 198V 或 242V ，记下输出表头的读数 Δ 。

10.6 重复第 10.4、10.5 款的步骤，以取得 n 组读数 ($n \geq 5$)，则电源电压变动所引起的误差为：

$$\Delta_i = \Delta_0 - \Delta$$

误差的平均值为：

$$\Delta_{\text{平均}} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta_i|}{n}$$

误差的极限值为：

$$\Delta_{\text{极限}} = \Delta_{\text{平均}} + 3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \Delta_{\text{平均}})^2}{n-1}}$$

$\Delta_{\text{极限}} < 1\mu\text{W}$ 为合格

注：电源电压由 220V 变化 $\pm 10\%$ 时，取得输出表读数时间间隔不应超过 30 秒。

11 读数短时间不稳定性的检定

11.1 电桥接上相应的热敏电阻座，并将“工作阻值”选择旋钮放在对应的数值上，将量程选择旋钮放在 $15\mu\text{W}$ 量程上，接通电源预热 1 小时。

11.2 调节电桥平衡，将检测器旋钮放在“测量”位置。

11.3 将“零点细调”旋钮旋至最右边，此时输出表头有一指示值，记下此读数值 Δ_0 。

11.4 将“零点细调”旋钮旋至任一位置。

11.5 经 20 秒钟后, 再将“零点细调”旋钮回至最右边, 记下此时输出表的读数 Δ_{i_0} 。

11.6 重复第 11.4、11.5 款的步骤, 以取得 n 组读数 ($n \geq 10$), 则单次读数短时间不稳定性为:

$$\Delta_i = \Delta_0 - \Delta_{i_0}$$

其算术平均值为:

$$\Delta_{\text{平均}} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta_i|}{n}$$

其极限值为:

$$\Delta_{\text{极限}} = \Delta_{\text{平均}} + 3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (|\Delta_i| - \Delta_{\text{平均}})^2}{n-1}}$$

$\Delta_{\text{极限}} \leq 1 \mu\text{W}$ 为合格

12 读数稳定时间的检定

12.1 将量程转换旋钮放在 $5000 \mu\text{W}$ 量程上, 接上相应的热敏电阻座, 并调节电桥平衡, 将检测器旋钮放在“测量”位置上。

12.2 调节“零点调节”范围旋钮, 改变工作电流, 使输出表指在刻度盘中间的位置。

12.3 测量从改变电流的瞬时到输出表指示稳定时的时间间隔 (此时输出表指示的摆动不应超过 1 小格)。

指示器读数稳定时间不超过 12 秒为合格。

13 工作电桥自动平衡系统放大系数的检定

13.1 电桥接上相应的热敏电阻座, 并将“工作阻值”选择旋钮放在对应的位置上, 接通电源预热 1 小时。

13.2 检测器旋钮放在“工作电桥平衡粗调”位置, 调节工作电桥使达平衡, 接通工作电桥自动平衡 (ФКР) 钮子开关 (此时参考电桥不必调平衡)。

13.3 检测器旋钮放到“工作电桥平衡细调”位置, 调节工作电流调节旋钮, 使毫安表指示为 0.5mA (包括向左、向右偏转)。

13.4 断开工作电桥自动平衡 (Φ KP) 钮子开关, 此时检测器的微安表朝同方向偏转, 读得一指示值 i_2 (μ A), 则工作电桥自动平衡系统的放大系数为:

$$K_Y = 2500 \times \frac{i_2}{500}$$

$K_Y > 200$ 为合格。

14 工作电阻阻值的检定

14.1 将直流电阻箱接入电桥的工作热敏电阻接线柱上, 接通电源预热 1 小时。

14.2 检测器旋钮放在“工作电桥平衡细调”位置, 调节工作电流调节旋钮, 将其旋至最右边。

14.3 逐挡改变电桥的“热敏电阻转换”旋钮, 并相应地改变直流电阻箱的数值, 使得检测器微安表指零 (工作电桥达到平衡), 此时电阻箱的示值即为工作热敏电阻的实际值 R_x , 记下此数值。

15 电桥基本误差的检定

15.1 在 150, 500, 1500, 5000 μ W 量程上:

15.1.1 从电桥两侧面取下工作电流和参考电流接线片, 按图 2 接好线路, 接通电源预热二小时。

15.1.2 将检测器旋钮放在“电子稳压器”位置。

15.1.3 分别调节电阻 R_1 , R_2 和 R_3 , 使达到一定的工作电流和参考电流。

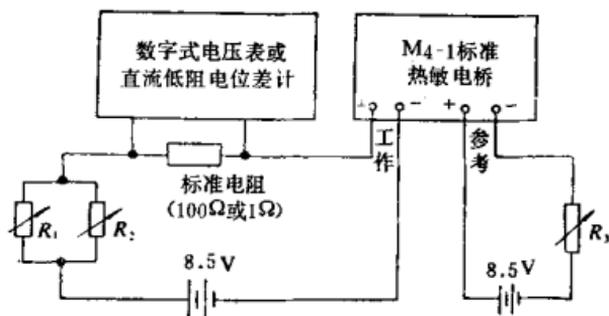


图 2

a 当工作电阻阻值为 330~400Ω 时, 此电流约为 10mA。

b 当工作电阻阻值为 280~125Ω 时, 此电流约为 15mA。

c 当工作电阻阻值为 100~75Ω 时, 此电流约为 20mA。

由数字电压表(或直流低阻电位差计)上可读得此电流 I_1 , 在此 $I_1 = \frac{\text{数字电压表示值}}{\text{标准电阻值}}$ 。

15.1.4 将检测器旋钮放到测量位置, 调节各零点调节旋钮, 使输出表指零。

15.1.5 调节 R_1 、 R_2 改变工作电流, 使输出表指示在检定刻度上, 并从数字电压表读得此时之工作电流 I_2 的值。

读数按下面的公式计算得替代功率的实际值为:

$$P_x = (I_1 + I_2)(I_1 - I_2) \frac{R_x}{4}$$

测量误差按下式计算:

$$\Delta = P \left(1 - \frac{1}{K_V} \right) - P_x \quad (\mu W)$$

$$\Delta \leq \pm \left(\frac{P + 0.5A}{100} + 0.5 \right) \quad (\mu W)$$

为合格。

式中: P ——M4-1 电桥的示值;

K_V ——工作电桥自动平衡系统的放大系数;

A ——所用电桥量程的满度值。

15.2 在 15、50μW 量程上:

15.2.1 按图 3 连接好线路, 接通电源, 预热 2 小时。

15.2.2 将线路中的开关放在“1”位置上, 调节电阻箱 R_3 、 R_4 , 使工作电流达到规定值(同 13.1 款的规定)。

15.2.3 将检测器旋钮放在“测量”位置, 将“零点调节范围”及“零点粗调”旋钮按顺时针方向扭至最右边, 调节电阻箱 R_5 , 使输出表指零。

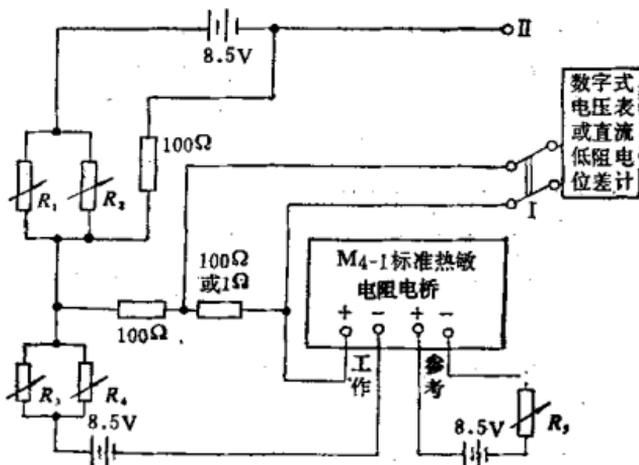


图 3

15.2.4 从数字电压表或直流低阻电位差计上读得此时之电流值 I_1 ($I_1 = \frac{U}{R}$)。

15.2.5 将开关扳向“Ⅱ”位置，调节电阻箱 R_1 和 R_2 ，使数字电压表指示为零。

15.2.6 调电阻箱 R_3 ， R_4 ，使输出表指在被检定刻度上，并从数字电压表或直流低阻电位差计上读得相应的电流变化量：

$$\Delta I = \frac{\Delta U}{100}$$

此时替代功率的实际值用下式计算：

$$P_x = \{2I_1 - \Delta I\} \Delta I \frac{R_x}{4}$$

式中： R_x ——第14条检定所得的数据。

检定点的选择：

- 工作阻值在 75~400Ω 范围内，检定 5000μW 刻度点；
- 工作阻值在 330Ω 时检定各量程的上限刻度点；
- 工作阻值在 330Ω 时在 500μW 量程上检定所有有数码的刻

度点（即 5000, 4500, 4000, 3500, 3000, 2500, 2000 μ W 各点）。

注：1. 每一检定点的测量次数按电池的稳定情况及测量结果的离散程度而定。

2. 在进行此项检定时，要求整个系统尽量稳定。为保证电池的稳定性，可在检定前进行预放电（放电电流在 20mA 以上，时间在半天以上）。

16 预热功率和测量范围的检定

16.1 用 0.1 级最小分度为 0.01 Ω 的电阻箱代替热敏电阻座与仪器连接，将阻值放在对应于 75 Ω 的 R_x 数值上，“热敏电阻”选择旋钮放在 75 Ω 位置。

16.2 将检测器旋钮放在“工作电流”位置，调节“工作电流”旋钮，使微安表指示的工作电流为 66 μ A。

16.3 接通工作电桥自动平衡系统的 Φ KP 钮子开关，工作电桥应当平衡。缓慢减小电阻箱的电阻值，可使微安表的指示不大于 54 μ A。

16.4 关掉 Φ KP 钮子开关，电阻箱电阻值调回原来的数值，调节“工作电流”旋钮，使微安表指示的工作电流为 47 μ A。

16.5 再接通 Φ KP 钮子开关，工作电桥应当平衡。缓慢减小电阻箱电阻值，可使微安表的指示达到 28 μ A。

以上实验还应在 400 Ω 阻值上进行，此时微安表指示为 12 μ A。

此项检定结果表明电桥可给出 10~20mW 的预热功率，且工作电桥自动平衡系统的工作范围能满足测量 5000 μ W 功率的要求。

四、检定结果及检定周期

17 凡符合以上各项检定指标的 M4-1 以及 MTO-1 型标准热敏电阻电桥是合格的，发给检定证书。若有某项指标超差，可对电桥相应部分进行修理、调整后，再重新进行检定。

18 检定周期为 1 年。

附 录

附录 1

M4-1(MTO-1)型标准热敏电阻电桥的用途及基本工作原理

1 用途

M4-1 (MTO-1) 型标准热敏电阻电桥，作为微波小功率计的重要组成部分，主要用来与热敏电阻座配合，测量微波小功率，同时还可作为其它微波参数测量中的功率差值指示器，可得到较高的分辨率与准确度；电桥本身还可以用来测量热敏电阻器的某些特性参数。

2 基本工作原理

电桥的工作原理是基于加在热敏电阻座上的被测微波功率，自动替换有相同热效应的直流预热功率。电桥的简化方框图如图4，其中1000Hz振荡电压通过电流调节器加至电桥上，当电桥不平衡时，在另一对角线上出现的电压，通过光电补偿放大器加至电流调节器，使其输出电流向维持电桥平衡的方向变化。当未加被测微波功率和周围环境温度不变时，这一闭合系统（即电桥自动平衡系统）是稳定的，也就是直流预热功率 P_0 、相应的电桥电流 I_1 达到稳定，而当有被测微波功率 P_m 加至热敏电阻座上时，这一闭合系统使直流预热功率自动地减少为 $P_0 - P_m$ 而与电桥电流 I_2 相应，以维持电桥的平衡，此时热敏电阻座上消耗的总功率仍为 P_0 ，且考虑到直流功率与微波功率在热效应上是等效的，因而被测微波功率等于直流预热功率的变化量，即：

$$\begin{aligned} P_m &= \left(\frac{I_1}{2}\right)^2 R_T - \left(\frac{I_2}{2}\right)^2 R_T \\ &= (I_1 + I_2)(I_1 - I_2) \frac{R_T}{4} \end{aligned}$$

式中： R_T ——热敏电阻的工作阻值。

为了测量被替换的直流预热功率（即被测的微波功率），采用了—一个电动式瓦特表作为功率指示器。

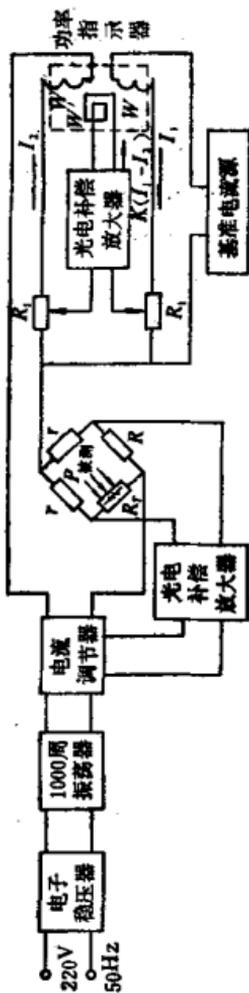


图 4

附录 2

电桥预热功率和测量范围的计算

1 当工作电阻阻值为 75Ω 时

检测器电表示数为 $66\mu\text{A}$ (或 $47\mu\text{A}$)，实际上相当于工作电流为 33mA (或 23.5mA)，此时之预热功率分别为：

$$\left(\frac{33}{2}\right)^2 \times 75 = 20.4188 \text{ (mW)}$$

$$\left(\frac{23.5}{2}\right)^2 \times 75 = 10.3547 \text{ (mW)}$$

减小阻值使检测器示数分别为 $54\mu\text{A}$ 和 $28(\mu\text{A})$ ，相当于工作电流为 27mA 和 14mA ，此时预热功率分别减少为：

$$\left(\frac{27}{2}\right)^2 \times 75 = 13.6688 \text{ (mW)}$$

$$\left(\frac{14}{2}\right)^2 \times 75 = 3.675 \text{ (mW)}$$

则测量范围可达：

$$20.4188 - 13.6688 = 6.75 \text{ (mW)}$$

$$10.3547 - 3.675 = 6.68 \text{ (mW)}$$

2 当工作电阻阻值为 400Ω 时

检测器电表示数为 $20\mu\text{A}$ ，相当于 10mA ，相当于给出预热功率为：

$$\left(\frac{10}{2}\right)^2 \times 400 = 10 \text{ (mW)}$$

当减小阻值，使检测器示数为 $11.5\mu\text{A}$ ，相当于 5.75mA ，此时预热功率减小为：

$$\left(\frac{5.75}{2}\right)^2 \times 400 = 3.3063 \text{ (mW)}$$

测量范围可达：

$$10 - 3.3063 = 6.69 \text{ (mW)}$$

计算结果表明，电桥可给出 $10\sim 20\text{mW}$ 的预热功率，工作电桥自动平衡系统的工作范围能满足测量 5mW 功率的要求。

