

JJG

中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 546—88

N25

直 流 比 较 电 桥

1988年3月22日批准

1989年2月1日实施

国 家 计 量 局

中 华 人 民 共 和 国
国家计量检定规程
直 流 比 较 电 桥

JJG 546—88

国家计量局颁布

—*—

中国计量出版社出版

北京和平门内大街7号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—*—

开本 850×1168/32

印张 0.875 字数 24 千字

1989年1月第1版

1989年1月第1次印刷

印数 1—10030

统一书号 155026-131

定价 1.00 元

标准新书目： 103-050②

直流比较电桥检定规程

Verification Regulation of
DC Comparison Bridge

JJG 546—88

本检定规程经国家计量局于1988年3月22日批准，并自1989年2月1日起施行。

归口单位： 中国测试技术研究院

起草单位： 中国测试技术研究院

本规程技术条文由起草单位负责解释。

11/20/01

本规程主要起草人:

崔广英 (中国测试技术研究院)

参加起草人:

朴春玉 (中国测试技术研究院)

目 录

一 概述.....	(1)
二 技术要求.....	(4)
三 检定条件.....	(6)
四 检定项目.....	(7)
五 检定方法.....	(7)
六 检定结果的处理和检定周期.....	(18)
附录 1 比较电桥原理公式推导	(20)
附录 2 比较电桥比例臂比值	(24)
附录 3 $\sum_{i=1}^n r_i$ 的计算 (参照表进行)	(25)
附录 4 整体检定法.....	(26)

直流比较电桥检定规程

本规程适用于新制造、使用中和修理后直流比较电桥（以下简称比较电桥）的检定。

本规程不适用于普通单双电桥、直流比较仪电桥、直读电桥及其他用途电桥的检定。

一 概 述

比较电桥是专门为检定实验室用直流电桥和直流电阻箱等直流电阻仪器的特殊单电桥，其原理线路如图1所示。

图中： R_x ——被测电阻；

R_N ——内附参考电阻，其标称值为 $1\sim 10^5\Omega$ ；

R_1 ——比例臂电阻，由6个十进盘 $10\times (1\,000+100+10+1+0.1+0.01)\Omega$ 组成读数盘 M_1 和由3个十进盘 $10\times (1+0.1+0.01)\Omega$ 组成等值平衡盘 m_1 ；

R_2 ——比例臂电阻，由6个十进盘 $10\times (1\,000+100+10+1+0.1+0.01)\Omega$ 组成比例盘 M_2 ；

K_0 ——换臂开关，在电桥等值调整时使桥臂 R_1 和 R_2 互换位置；

K_1 ——桥顶换接开关， K_1 分别在位置1和2时测量两次可求出导线电阻 r_x 的阻值；

K_E ——电源换向开关；

C_1, P_1, P_2, C_2 ——被测电阻 R_x 电流和电位端钮；

C_3, P_3, P_4, C_4 ——外接标准电阻器 R_N 电流和电位端钮；

r_x ——被测桥臂和标准桥臂之间的引线电阻；

（注：图中未标出具体位置）

r_1', r_2' ——分别为开关 K_0 在1, 1'（或2, 2'）的接触电阻；

r_1, r_2 ——分别为比例臂 R_1, R_2 的连接导线电阻，阻值从 K_0 开关1, 1'分别到 R_N, R_x 电位端。

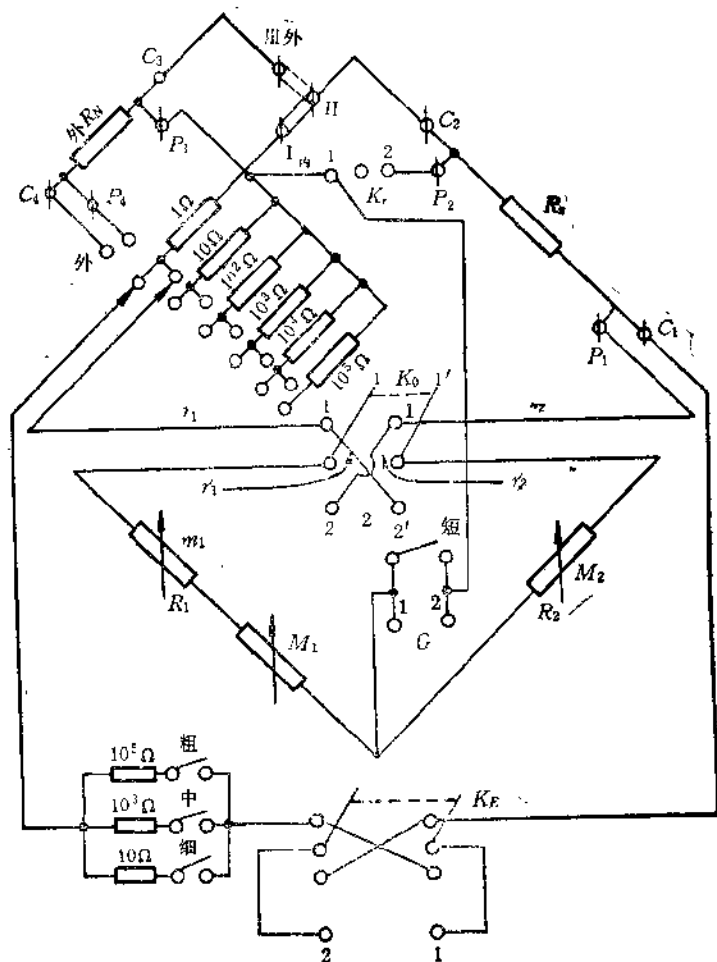


图1 比较电桥原理线路图

被测电阻采用四端钮法接入被测桥臂 R_x 中，与标准桥臂的内附参考电阻 R_N 或外接标准电阻进行比较。另外，两个桥臂 R_1 与 R_2 组成 0.1 到 1 的 10 个标准比例值。为消除桥臂电阻 R_2 和 R_1 的误差，线路

中设计了换臂开关 K_0 ，通过 R_2 和 R_1 的换位，调节等值平衡盘 m_1 ，实现 $R_1 = R_2$ ，使比值 (R_2/R_1) 为 1:1 时消除了误差。为了使比值 (R_2/R_1) 为 $n:10$ 时仍消除其误差，QJ 48 型比较电桥的 $R_2 \times 1000 \Omega$ 盘的 10 个电阻，通过微调线路可将其误差调到一致，这样 $R_2:R_1 = n:10$ 比值误差将减小到可以忽略的程度。XQJ 7 型比较电桥内附参考电阻与 M_2 的 $\times 1000 \Omega$ 盘不是微调结构，内附参考电阻误差与比例臂比值的误差，需在计算过程中加以更正。

在用比较电桥检定被测仪器的过程中，开关接触电阻与被测电阻同时接入，不用电位引线，实现了电阻按元件检定，保证了检定状态与实际使用状态的一致。

由单电桥的平衡方程式可得：

$$R_x = R_N \frac{R_2}{R_1(1+\delta_1)} = K_H R_{NH}(1-\delta_1+\delta_x+\delta_N)$$

$$R_{xH}(1+\delta_x) = K_H R_{NH}(1-\delta_1+\delta_x+\delta_H)$$

$$\delta_x = -\delta_1 + \delta_H + \delta_N \quad (1)$$

式中： R_{xH} ——被测电阻标称值；

R_{NH} ——参考电阻标称值；

K_H ——比例臂比值标称值；

δ_1 ——把电桥调平衡时调整值相对 10^4 的读数；

δ_x ——被测电阻相对标称值的更正值；

δ_N ——参考电阻相对标称值的更正值；

δ_H ——比例臂比值相对标称比值的更正值。

式 (1) 为 XQJ 7 型电桥测量电阻的相对更正值表达式。对其中 δ_x 与 δ_N 的值，每年周期检定时测得，使用该电桥时加以更正。QJ 48 型比较电桥中，内附参考电阻 R_N 组和比例臂 R_2 的 $\times 1000 \Omega$ 盘做成可微调，用等值平衡和自调技术可使 δ_N 和 δ_x 调整到可忽略的程度。则式 (1) 为：

$$\delta_x = -\delta_1 \quad (2)$$

由式 (2) 可知 QJ 48 型比较电桥可直接测出被测电阻 R_x 的相对更正值。QJ 48 型比较电桥通过内附参考电阻和比例臂电阻的均调整

技术,使被测电阻按比例与内附参考电阻直接比较并读数。

注:QJ 48 型比较电桥与 XQJ 7 型比较电桥原理是一样的,但各端钮符号,各桥臂符号的表示不同,使用公式时要注意,本规程中用的符号均是 QJ 48 型比较电桥的。

二 技术要求

1 外观及标志

1.1 比较电桥的铭牌(外壳上)应标明:

1.1.1 产品名称、型号和出厂编号;

1.1.2 制造厂或商标;

1.1.3 有效量程和各量程等级指数;

1.1.4 参考温度和标称使用温度范围;

1.1.5 试验电压;

1.1.6 使用位置(无位置符号表示该电桥可在任意位置使用)。

1.2 比较电桥面板上的开关和接线柱端钮应标明功能和符号(需要时)。

2 比较电桥的等级指数、参考温度和相对湿度范围,标称使用温度和相对湿度范围应符合表 1 的规定。

3 比较电桥在标称使用温度和相对湿度范围内,由参考条件到标称使用条件变动引起的允许变差不应超过表 1 的规定。

表 1

型号	等级指数			参考条件		标称使用条件及允许变差*			
	%	ppm	科学记号	温度(°C)	相对湿度	温度(°C)	允许变差	相对湿度	允许变差
QJ 48	0.002	20	2×10^{-5}	20 ± 0.5	40~60%	20 ± 1	25%	25~75%	20%
XQJ 7	0.002	20	2×10^{-5}	20 ± 1	40~60%	20 ± 3	60%	25~75%	20%

* 允许变差以等级指数的百分数表示。

4 在 $500 \text{ V} \pm 10\%$ 的试验电压下,从电桥线路任何一个易于触及的端钮和其他不与电桥线路连接的任何可触及点之间测得的值,不

表 2

型 号	量 程 (Ω)	允许误差 (%)	参 考 条 件	
			温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿 度
QJ 48	$10^5 \sim 10$	0.002	20 ± 0.5	40~60%
	$10 \sim 1$	0.02	20 ± 2	
	$0.1 \sim 0.001$	0.2	20 ± 5	
XQJ 7	$10 \sim 10$	0.002	20 ± 1	
	$10 \sim 1$	0.02	20 ± 3	
	$0.1 \sim 0.001$	0.2	20 ± 5	

应低于 $5 \text{ M}\Omega$ 。绝缘电阻的测量应在施加测试电压 1 min 到 2 min 之间进行。任何一个端钮和外壳或大地连接后所造成的变差，均不应超过基本误差允许极限的 10%。进行此项测试时，如果外壳是导电的，应接地；如果外壳是绝缘材料制造的，应将电桥放在导电的平板上，平板则应接地。

5 比较电桥在标称使用条件下，线路与外壳或与线路无电气连接的任意导电部件之间的绝缘强度，应能承受频率为 45~65 Hz 的实际正弦波交流电压 $500 \text{ V} \pm 10\%$ ，历时 1 min 的耐压试验，应无击穿或无飞弧现象。

6 内附参考电阻 R_N 组由 1Ω 、 10Ω 、 100Ω 、 1000Ω 、 10000Ω 和 100000Ω 组成，应符合《直流标准电阻器检定规程》JJG 166—84 中二等标准器的要求。

XQJ 7 型比较电桥的内附参考电阻是不可调的固定电阻，该电桥没有外接标准电阻的端钮；QJ 48 型比较电桥的内附参考电阻是可微调的，调节范围 0.02%，调节细度 0.0001%，该电桥设有外接标准电阻的端钮。

7 QJ 48 型比较电桥设有外接标准电阻端钮，使用时应使连接 P₁ 端钮的接线电阻小于 0.005Ω 。

8 比较电桥比例臂 $R_1(m_1)$ 由 6 个十进盘 $10 \times (1000 + 100 + 10$

表 $1+0.1+0.01$) Ω 组成,对 M_2 的 $\times 1\,000\,\Omega$ 盘10个电阻要求年变化一致,不一致性小于 0.5×10^{-6} ,电阻温度系数相互间差值小于 $5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$,这10个电阻应具有能按元件检定的措施。XQJ型比较电桥比例臂电阻是固定电阻,不可调;而QJ48型比较电桥 M_2 的 $\times 1\,000\,\Omega$ 盘的10个电阻做成可调,调节范围0.02%,调节细度0.0001%。

9 比较电桥比例臂电阻 M_2 , M_1 和 m_1 允许误差应不超过表3的规定。

表 3

桥臂电阻	$\times 1\,000\,\Omega$	$\times 100\,\Omega$	$\times 10\,\Omega$	$\times 1\,\Omega$	$\times 0.1\,\Omega$	$\times 0.01\,\Omega$
$M_1(m_1)$	2×10^{-4}	2×10^{-4}	5×10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Δ	3.5×10^{-5}	2×10^{-4}	5×10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}

10 比较电桥的内部连接导线电阻 r_1 , r_2 和开关 K_0 的接触电阻 r'_1 , r'_2 都应尽量小,要求 $r_1+r'_1\approx r_2+r'_2<0.01\,\Omega$ 和 $r_1+r'_1+(M_2)_0\approx r_2+r'_2+(M_2)_0\leq 0.02\,\Omega$ 。

三 检定条件

11 检定比较电桥的基本误差时,应在表2所规定的参考温度和相对湿度下进行。

12 比较电桥绝缘电阻的测量和耐压的试验,应在下面现场条件中进行。环境温度为 $15\sim 35^\circ\text{C}$;相对湿度为 $(45\sim 75)\%$ 范围内;无露水、霜冻、渗水、雨水、阳光辐照等情况。

13 检定比较电桥基本误差时的总不确定度不应超过被检电桥等级指数的 $1/3$ 。

13.1 比较电桥内附参考电阻的检定及调整的不确定度,应满足《直流标准电阻器检定规程》关于二等标准器的要求。

13.2 检定及调整比较电桥比例臂比值 $K_{\frac{n}{10}}$ 的不确定度,不应超

过被检电桥等级指数的 $1/10$ 。对 $1\,000\,\Omega$ 同标称值电阻比较的装置，其比较不确定度不应超过被检电桥等级指数的 $1/20$ 。

14 检定比较电桥的基本误差时，参照直流电桥检定规程的要求施加电压。

15 比较电桥的比例臂电阻 M_1 ， m_1 和 M_2 可按 0.05 级电桥的平滑调节臂要求检定各十进盘电阻的不确定度和允许误差如表 4 所示。

表 4

被 测 电 阻 (Ω)		测量不确定度	化整位数	允许误差
M_1 (M_2)	$\times 1\,000$	5×10^{-5}	2×10^{-5}	2×10^{-4}
	$\times 100$	5×10^{-5}	2×10^{-5}	2×10^{-4}
	$\times 10$	1.7×10^{-4}	5×10^{-5}	6×10^{-4}
	$\times 1$	3×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-3}
	$\times 0.1$	3×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-2}
	$\times 0.01$	3×10^{-2}	1×10^{-2}	1×10^{-1}
m_1	$\times 1$	5×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-3}
	$\times 0.1$	3×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-2}
	$\times 0.01$	3×10^{-2}	1×10^{-2}	1×10^{-1}

16 测量绝缘电阻的仪器，测量电压为 $500\text{ V} \pm 10\%$ 测量不确定度应小于 $\pm 20\%$ 。

17 电压试验所用的高压试验台应有足够的输出容量(大于 0.25 kVA) 连续可调电压。

四 检 定 项 目

18 比较电桥的检定项目，应按表 5 的规定进行。

五 检 定 方 法

19 外观检查

用目测检查比较电桥铭牌或外壳上的标志，应符合技术要求。

表 5

检定项目	检定类型	出 厂 时	修 理 后	周 期 检 定
外 观 及 线 路		检	检	检
绝 缘 电 阻		检	检	检
耐 压 试 验		检	检	不检
内附参考电阻		检	检	检
比 值 $K = \frac{R}{R_0}$		检	检	检
比例臂 M_1, m, M_2		检	检	检
$r_1 + r_1' + (M_2)_0$		检	检	检
$r_2 + r_2' + (M_2)_0$		检	检	检

对新生产的比较电桥，要求完好无损。对使用中和维修后的比较电桥，如发现有严重影响电桥的计量性能的缺陷时，应在修复后再检定。

20 线路检查

用万用表的欧姆档检查比较电桥的线路，如发现有不正常时，应查明原因，修复后再检定。

21 绝缘电阻的测量

用高阻计或绝缘电阻测量仪进行测量和用试验的方法观察绝缘的情况，如发现绝缘电阻不能满足要求时，应查明原因，修复后再测量。

22 耐压的试验

在高电压试验台上试验，试验电压以 100 V/s 的速率平稳地上升至所规定的试验电压，历时 1 min 的耐压试验、无击穿或无飞弧现象为合格，否则为不合格。然后将电压平稳地降到零。

23 内附参考电阻的检定及调整

QJ 48 内附参考电阻的检定在调整前后进行，调整前的检定值作为观察年变化用，调整后的检定值作为此次检定结果。调整后的检定

必须待电阻稳定后进行。XQJ 7 型比较电桥，只进行一次检定。

从比较电桥中取出内附参考电阻 R_N ，根据标准电阻器检定规程 JJG 166—84 二等标准器规定的方法进行检定。

对 QJ 48 型比较电桥内附参考电阻的调整：用专用套筒扳手拧松六角螺帽，用螺丝刀旋动电位器轴，直至所需要的位置，最后再用套筒扳手拧紧六角螺帽。

24 比例臂 M_2 、 M_1 和 m_1 的检定

24.1 十进盘替代法

24.1.1 十进替代法原理

用后一盘的 10 个步进值电阻同前一盘的每一个步进值电阻在被检比较电桥比例臂 R_2 上作替代比较，后一盘的 10 个步进值电阻由二等标准电阻器来标定，通过计算求出前一盘每一个步进值电阻的实际值，最后一个十进盘的每一个步进值电阻由检流计的偏格来确定。

24.1.2 检定线路

a. 检定比例盘 M_2 的原理线路如图 2 所示， K_0 开关置位置 1。

b. 检定读数盘 M_1 和等值平衡盘 m_1 的原理线路如图 2 所示， K_0 开关置位置 2。

24.1.3 比例盘 M_2 的检定过程

24.1.3.1 M_2 的 $\times 1\,000\,\Omega$ 盘检定过程

(1) 电桥参数选择

比较臂 R_N ：选择 $10^4\,\Omega$ 内附参考电阻；

测量臂 R_x ：选 0.01 级或 0.02 级电阻箱的 $\times 1\,000\,\Omega$ 盘；

比例臂 R_1 ：选 M_1 示值置 $10^4\,\Omega$ ($\Rightarrow 999\text{⑩}$)， m_1 的 $\times 1\,\Omega$ 盘示值置 5，其余盘置零；

开关 K_0 、 K_1 均置 1；

在比较电桥比例臂 R_2 的 P_1 端接进 $10^3\,\Omega$ 二等标准电阻 R_s 。

(2) 检定步骤

a. 将 M_2 所有十进盘示值置零， $R_x \times 1\,000\,\Omega$ 盘示值置 1，其余盘示值置零，开关 K_0 置 1，接通电源 E ，调节 M_1 十进盘使电桥平

衡*, 记录 M_1 的示值为 a_s 。

b. 开关 K_s 置 2, 置 $M_2 \times 100 \Omega$ 盘示值为 10, 调节 M_1 使电桥平衡, 记录 M_1 的示值为 b_1^I 。

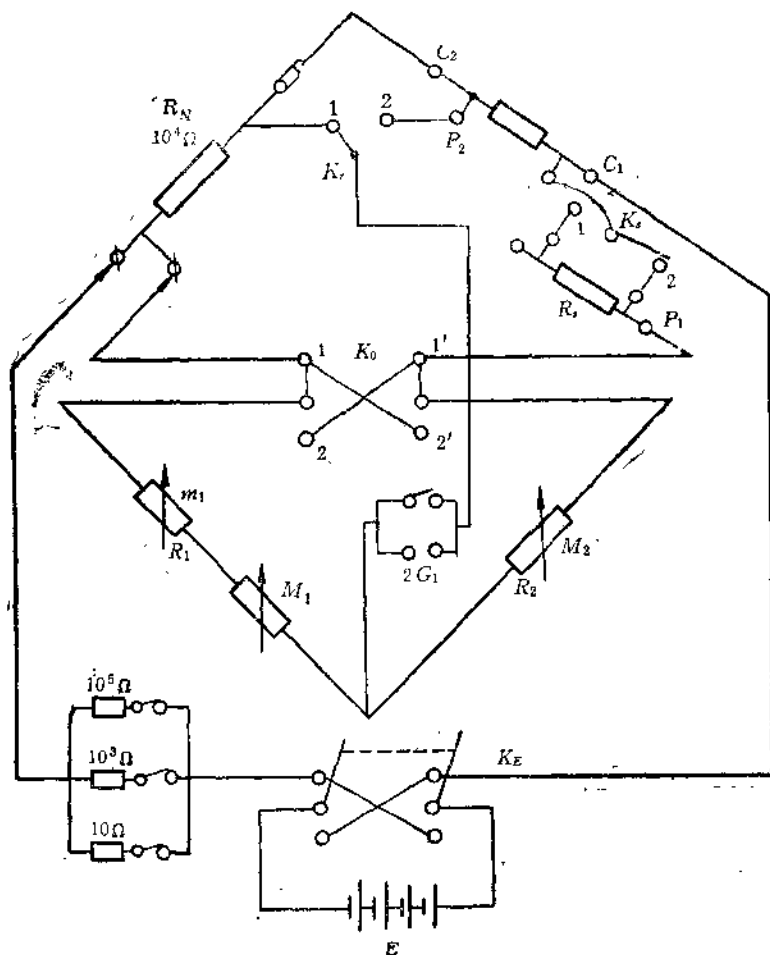


图2 比较电桥比例臂检定原理线路图

* 电桥平衡系指电源正反向时, 检流计指示在同一点上的电桥示值。

上述步骤 a 和 b, 进行了 $M_2 \times 100 \Omega$ 盘的十个步进电阻值 $\sum_1^{10} R_i^{\text{II}}$ 与标准电阻 R_s 的比较, 其差值 Δ_0 为:

$$\Delta_0 = \sum_1^{10} R_i^{\text{II}} - R_s = \frac{1}{10} (b_1^{\text{I}} - a_s)$$

$$\sum_1^{10} R_i^{\text{II}} = R_s + \Delta_0 = R_s + \frac{1}{10} (b_1^{\text{I}} - a_s) \quad (3)$$

c. 将 $M_2 \times 100 \Omega$ 盘示值由 10 退回到零, $M_2 \times 1000 \Omega$ 盘示值由零进 1, 调节 M_1 使电桥平衡, 记录 M_1 的示值为 a_1^{I} 。

步骤 b 和 c, 进行了 $M_2 \times 1000 \Omega$ 盘第 1 个电阻元件值 R_1^{I} 与 $M_2 \times 100 \Omega$ 盘 10 个步进电阻值 $\sum_1^{10} R_i^{\text{II}}$ 的比较, 其差值 Δ_1^{I} 为:

$$\Delta_1^{\text{I}} = R_1^{\text{I}} - \sum_1^{10} R_i^{\text{II}} = \frac{1}{10} (a_1^{\text{I}} - b_1^{\text{I}})$$

$$R_1^{\text{I}} = \sum_1^{10} R_i^{\text{II}} + \Delta_1^{\text{I}} = R_s + \frac{1}{10} (a_1^{\text{I}} - a_s) \quad (4)$$

d. 将 $R_s \times 1000 \Omega$ 盘示值由 1 进到 2, $M_2 \times 100 \Omega$ 盘示值由零进到 10, $M_2 \times 1000 \Omega$ 盘示值仍为 1, 调节 M_1 使电桥平衡, 记录 M_1 的平衡示值为 b_2^{I} 。

e. 将 $M_2 \times 100 \Omega$ 盘示值由 10 退到零, $M_2 \times 1000 \Omega$ 盘示值由 1 进到 2, 调节 M_1 使电桥平衡, 记录 M_1 的平衡示值 a_2^{I} 。

步骤 d 和 e, 进行了 $M_2 \times 1000 \Omega$ 盘第 2 个电阻元件值 R_2^{I} 与 $M_2 \times 100 \Omega$ 盘十个步进电阻值 $\sum_1^{10} R_i^{\text{II}}$ 的比较, 其差值 Δ_2^{I} 为:

$$\Delta_2^{\text{I}} = R_2^{\text{I}} - \sum_1^{10} R_i^{\text{II}} = \frac{2}{10} (a_2^{\text{I}} - b_2^{\text{I}})$$

$$R_2^{\text{I}} = \sum_1^{10} R_i^{\text{II}} + \Delta_2^{\text{I}} = R_s + \frac{2}{10} (a_2^{\text{I}} - b_2^{\text{I}}) + \frac{1}{10} (b_1^{\text{I}} - a_s) \quad (5)$$

类同 a~c, 可得:

$$\Delta_i^I = R_i^I - \sum_1^{10} R_i^{\text{II}} = \frac{i}{10} (a_i^I - b_i^I) \quad (6)$$

$$R_i^I = \sum_1^{10} R_i^{\text{II}} + \Delta_i^I = \sum_1^{10} R_i^{\text{II}} + \frac{i}{10} (a_i^I - b_i^I) \quad (7)$$

累积可得:

$$\sum_1^n R_i^I = n \sum_1^{10} R_i^{\text{II}} + \sum_1^n \Delta_i^I \quad (8)$$

其中: $\sum_1^{10} R_i^{\text{II}} = R_s + \frac{1}{10} (b_1^I - a_s)$, $\Delta_i^I = \frac{i}{10} (a_i^I - b_i^I)$.

24.1.3.2 M_s 后几盘的检定

(1) 电桥桥臂参数选择: 参照表 6.

表 6

被 检 盘	各 桥 臂 参 数	
$i \times 100$	$R_N: 10^4$	$R_x: i \times 10^3$
	$M_1: 10^4, m_1: 5$	$M_2: i \times 10^3$
$i \times 10$	$R_N: 10^4$	$R_x: i \times 10$
	$M_1: 10^4, m_1: 5$	$M_2: i \times 10$
$i \times 1$	$R_N: 10^4$	$R_x: i \times 10$
	$M_1: 10^3, m_1: 0$	$M_2: i \times 1$
$i \times 0.1$	$R_N: 10^4$	$R_x: i \times 10$
	$M_1: 10^2, m_1: 0$	$M_2: i \times 0.1$
$i \times 0.01$	$R_N: 10^4$	$R_x: 10^3$
	$M_1: 10^4, m_1: 5$	$M_2: 10^3 + i \times 0.01$

(2) 对于 M_2 的第二、第三、第四、第五盘的检定, 类同第一盘, 例如: 表 7 中列入了检定第二盘的数据, $\sum_1^{10} R_i^{\text{II}}$ 接入或被 R_i^{II} 替