

万能比例臂电桥检定规程

JJG 485—1987

万能比例臂电桥检定规程

Verification Regulation of the
Universal Ratio Bridge

JJG 485—1987

本检定规程经国家计量局于 1987 年 3 月 9 日批准，并自 1988 年 1 月 9 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。

本规程主要起草人：

崔广英（中国测试技术研究院）

目 录

一	概述	510
二	技术要求	510
三	检定条件	511
四	检定项目	512
五	检定方法	512
六	检定结果的处理和检定周期	516

万能比例臂电桥检定规程

本规程适用于新生产、使用中和修理后的直流电阻型万能比例臂电桥（以下简称万能比例臂电桥）的检定。

一 概 述

万能比例臂电桥是一个比例臂的比例值以测量盘最小步进值任意改变的电桥。

被测电阻与标准电阻的比值可由万能比例臂电桥准确地确定，用来进行非十进电阻、电阻箱和电位差计等直流电阻及电阻比的测量。

万能比例臂电桥的原理线路如图 1 所示：

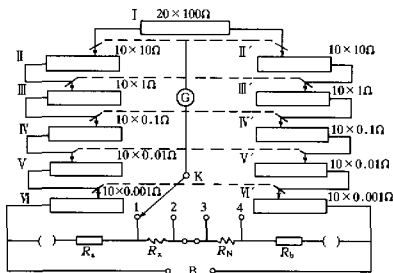


图 1 万能比例臂电桥原理线路图

I、II、III、IV、V、VI—测量盘；II'、III'、IV'、V'、VI'—补偿盘； R_x —被测电阻； R_N —标准电阻； R_0 、 R_1 —附加电阻；K—选择开关；B—电源端钮

万能比例臂电桥的比例臂相当于一个刻度很细、总阻恒定的滑线电阻，其滑动触点的两边电阻组成万能比例臂的两个比例电阻，左边称为测量盘，右边称为补偿盘。

被测电阻 R_x 按下式计算：

$$R_x = \frac{R_2 - R_1}{R_4 - R_3} R_N \quad (1)$$

式中： R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 ——选择开关分别在 1、2、3 和 4 位置时，万能比例臂电桥的平衡示值。*

二 技 术 要 求

1 外观及标志

1.1 万能比例臂电桥的铭牌或外壳上应标明：

- 1.1.1 产品名称，型号和出厂编号；
- 1.1.2 制造单位或商标；
- 1.1.3 有效量程和等级指数；

* 电桥平衡是指电桥电源在正反向电流时，检流计指在同一标尺位置，即虚零位法，下同。

1.1.4 标准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 万能比例臂电桥面板上的开关和接线端钮应标明功能和符号。

2 万能比例臂电桥的等级指数、标准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 万能比例臂电桥在标称使用温度和相对湿度范围内，由标准条件到标称使用条件引起的允许变差不应超过表1的规定。

4 万能比例臂电桥测量盘的基本误差和总阻变差的综合误差不应超过相应等级指数。

表 1

等级指数			标准条件		标称使用条件及允许变差*			
%	ppm	科学标记法	温度 (°C)	相对湿度 (%)	温度 (°C)	允许变差	相对湿度 (%)	允许变差
0.001	10	1×10^{-3}	20 ± 0.2	40~60	20 ± 1	100%	25~75	20%
0.002	20	2×10^{-3}	20 ± 0.5	40~60	20 ± 2	100%	25~75	20%
0.005	50	5×10^{-3}	20 ± 1	40~60	20 ± 3	100%	25~75	20%

* 允许变差以允许基本误差的百分数表示。

5 万能比例臂电桥在测量电阻时，应在组成电桥的另两臂中设有两组附加电阻，其阻值为： $10^4\Omega$ 、 $10^3\Omega$ 、 $10^2\Omega$ 、 10Ω 和 1Ω 。

6 在标称使用条件下，万能比例臂电桥的线路和与线路无电气连接的任意导电部件之间的绝缘电阻不应小于 $5M\Omega$ 。任何一个端钮和外壳或大地连接后所造成的变差都不应超过基本误差的 $1/10$ 。

7 万能比例臂电桥线路与外壳或与线路上无电气连接的任意导电部件之间应能承受频率为 $45\sim 65\text{Hz}$ 的实际正弦交流电压 $500\text{V} \pm 10\%$ ，历时 1min 的耐压试验。

三 检 定 条 件

8 检定万能比例臂电桥测量盘基本误差时，应在表1规定的标准温度和相对湿度下进行。

9 万能比例臂电桥线路绝缘电阻的测量和电压的试验，应在表1规定的标称使用温度和相对湿度下进行。

10 检定万能比例臂电桥基本误差的总不确定度应不超过被检万能比例臂电桥等级指数的 $1/3$ 。

10.1 检定装置中，测量仪器引起的误差应不超过被检万能比例臂电桥等级指数的 $1/10$ 。

10.2 检定装置中，检流计灵敏度不够而引起的误差应不超过被检万能比例臂电桥等级指数的 $1/10$ 。

10.3 检定装置中，其他原因（包括开关的热电势变差，接触电阻变差等）引起的误差不应超过被检万能比例臂电桥等级指数的 $1/10$ 。

10.4 在保证检定总不确定度条件下，允许采用其他误差分配方法进行检定。

11 测量绝缘电阻的仪器，测量误差应小于 30% 。

12 电压试验所用的高压试验台，应有足够的输出容量（大于 0.25kVA ）且电压能连续调

节。

四 检 定 项 目

13 万能比例臂电桥的检定项目，应按表 2 的规定进行。

表 2

检定项目 \ 检定类型	出 厂 时	修 理 后	周 期 检 定
外观及线路	+	+	+
绝缘电阻	+	+	—
电压试验	+	+	—
基本误差	+	+	+

注：表中“+”表示应检定，“—”表示可不检定。

五 检 定 方 法

14 外观检查

万能比例臂电桥铭牌或外壳上的标志应符合技术要求。

对新生产的万能比例臂电桥，要求完好无损。对使用中的和修理后的万能比例臂电桥，如发现有严重影响电桥计量性能的缺欠时，应在修复后再进行检定。

15 线路检查

用万用表的欧姆档检查万能比例臂电桥线路，如发现有不正常时，应查明原因，修复后再进行检定。

16 绝缘电阻的测量与试验

16.1 用高阻计或绝缘电阻测量仪进行测量，如发现绝缘电阻不能满足要求时，应查明原因，修复后再进行检定。

16.2 绝缘电阻的试验：将被检万能比例臂电桥外壳接地（如果电桥外壳是由绝缘材料制成，则将电桥放在金属板上，金属板再接地）。在电桥的被测端上接电桥有效量程的测量上限，标准端和被测端应具有同标称值的电阻，选择开关置于 2 或 3，调节万能比例臂电桥测量盘使其平衡（检流计的灵敏度应不低于 $1\text{mm}/\frac{a}{10}R_x$ ），然后将接地端的另一引出线分别接到各接线端端钮，观察检流计的偏转，若对所有端钮进行试验后，检流计的偏转格数代表的误差不应大于相应电桥等级指数的 1/10，则认为该电桥绝缘电阻试验合格。

17 电压的试验

把被检万能比例臂电桥线路的所有端钮用裸铜线连接起来，接到高压试验台的输出端，另一端接到测试用的参考接地端，试验电压以 100V/s 速率平稳地上升至所规定的电压，经历时 1min 的耐压试验，无击穿或无飞弧现象，则认为电压试验合格，否则为不合格，然后将电压平稳地降到零。

18 万能比例臂电桥基本误差的检定

万能比例臂电桥的基本误差包括两项：一是测量盘的线性度误差（包括相邻盘的“10:1”比值误差），二是补偿盘补偿的不完善引起的总阻变差。

18.1 测量盘线性度误差的检定

18.1.1 采用度盘单位进行万能比例臂电桥测量盘线性度误差的检定。

万能比例臂电桥是一种比例仪器，是一个无单位量纲的比例量，在测量盘线性度误差的检定中可任选择一个测量单位，本规程选择万能比例臂电桥最高测量盘平均步进值的 1/100 作为单位，即第一盘二十个步进值总和的 1/2000，这个值称为“度盘单位”，用这个度盘单位进行万能比例臂电桥测量盘线性度误差的检定是很合适的。

18.1.2 测量盘线性度误差的检定方法可分为两种：一种是十进盘替代法，一种是整体检定法。根据被检万能比例臂电桥的等级指数，按表 3 的规定选择检定方法。

表 3

等级指数 (%)	检定方法	等级指数 (%)	检定方法
0.001	整体检定法	0.005	整体检定法或十进盘替代法
0.002	整体检定法或十进盘替代法		

(1) 整体检定法

用电流比较仪电位差计整体检定万能比例臂电桥的基本误差既准确又迅速，是把测量盘线性度误差和补偿误差（总阻变差）合二为一的误差综合测量方法，可谓是一种理想的检定方法。图 2 是电流比较仪电位差计整体检定万能比例臂电桥的原理线路图。

i 标准化步骤

a. 按图 3 将被检万能比例臂电桥接入线路。预置 $R_S = 43\Omega$ ，使 $I_3 = 1\text{mA}$ 。调节电流比较仪电位差计为正常工作状态。

b. 将万能比例臂电桥第一测量盘的示值置 20，其余盘置零。电流比较仪电位差计在 $\times 1$ 量程上把第一盘也置 20，其余盘置零，调节 R_S 使电流比较仪电位差计平衡。

c. 将电流比较仪电位差计和万能比例臂电桥的示值都退回到零，用电流比较仪电位差计测量万能比例臂电桥测量盘的零位电压。

d. 再将万能比例臂电桥第一盘示值置 20，其余盘为零。电流比较仪电位差计第一盘示值置 20，其余盘示值不变，调节电流比较仪电位差计次级校正盘使其平衡。

e. 重复 c、d 步骤，直至两个电压差为 2V 为止。

ii 检定

a. 用已经标准化的电流比较仪电位差计，逐盘逐档的测量万能比例臂电桥测量盘的全部示值。每一盘均由零起始直至最大示值，每盘测完之后返回到零，记录每次平衡时的示值为 U_j^0 。

b. 万能比例臂电桥每一测量盘的示值更正值（以度盘单位表示）等于用已经标准化的电流比较仪电位差计测得的每一测量盘平衡示值减去每一测量盘的零位示值和每一测量盘的标称示值，即：

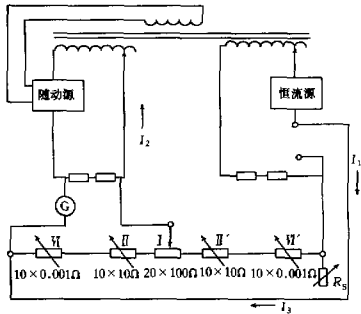


图 2 电流比较仪电位差计整体检定万能比例臂电桥的原理线路图

R_S —分流电阻； I_1 —初级电流； I_2 —一次级电流； I_3 —流过万能比例臂电桥的电流

$$C_i^j = U_i^j - U_0^j - U_{H_i}^j \quad (2)$$

式中： C_i^j ——第 j 个测量盘第 i 个示值的更正值；

U_i^j ——第 j 个测量盘第 i 个示值在电流比较仪电位差计上测得的平衡示值；

$U_{H_i}^j$ ——第 j 个测量盘第 i 个示值的标称值；

U_0^j ——第 j 个测量盘零位示值时在电流比较仪电位差计上测得的平衡示值。

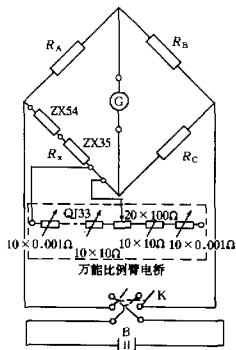


图3 十进盘替代法检定万能比例臂电桥原理线路图

R_A —比较臂电阻； R_B 、 R_C —比例臂电阻； R_X —被测臂电阻；ZX54—辅助电阻箱；ZX35或QJ25—微调电阻箱；QJ33—万能比例臂电桥；K—电流换向开关；B—直流电源；G—检流计

c. 在检定过程中，应随时检查电流比较仪电位差计的工作电流变化情况，如变化引起的误差不超过被检万能比例臂电桥等级指数的1/10为合格，否则重新标准化。

(2) 十进盘替代法

i 十进盘替代法原理

用后一盘的十个步进值电阻同前一盘的每一个步进值电阻在电桥装置上作替代比较，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，只要第二盘十个步进值电阻取第一盘总电阻值的1/20，则整个测量盘步进值的实际值以度盘单位表示就可以通过计算得到。

ii 十进盘替代法检定线路

十进盘替代法检定万能比例臂电桥原理线路如图3所示。

iii 检定步骤

a. 按图3接好线路，选择电桥各臂参数： $R_B = R_C = 10^3 \Omega$ ， $R_A = R_X = 2121.66 \Omega$ ，ZX54置2111.11 Ω ，ZX35置“555”，QJ33所有测量盘置零。

b. 接通电源，调节 R_A 使电桥平衡。

c. 将QJ33第一盘置于1，其余盘置零，ZX54 $\times 100 \Omega$ 盘示值退1，其余盘不动，调节ZX35使电桥平衡，记录

ZX35各盘的示值（对检定第一盘应内插一位）为 a_1^I 。

d. ZX54保持不变，QJ33第一盘示值退回到零，第二盘示值由零进到10，调节ZX35使电桥平衡，记录ZX35各盘的示值为 b_1^I 。

步骤c和d实现了QJ33第一盘第1个步进电阻值 R_1^I 与第二盘十个步进电阻值 $\sum_1^{10} k_1^II$ 的比较，其差值为：

$$\Delta_1^I = R_1^I - \sum_1^{10} R_1^{II} = b_1^I - a_1^I \text{ 或 } R_1^I = \sum_1^{10} R_1^{II} + \Delta_1^I$$

e. 将QJ33第一盘进到2，第二盘退回到零，ZX54 $\times 100 \Omega$ 盘示值再退1，其余盘不动，调节ZX35使电桥平衡，记录ZX35各盘示值为 a_2^I 。

f. ZX54保持不变，QJ33第一盘示值退回到1，第二盘示值由零进到10，调节ZX35使电桥平衡，记录ZX35各盘示值为 b_2^I 。

步骤e和f实现了QJ33第一盘第2个步进电阻 R_2^I 与第二盘十个步进电阻值 $\sum_1^{10} R_2^{II}$ 的比较，其差值 Δ_2^I 为：

$$\Delta_2^I = R_2^I - \sum_1^{10} R_i^I = b_2^I - a_2^I \text{ 或 } R_2^I = \sum_1^{10} R_i^I + \Delta_2^I$$

依此类推,可得到:

$$\Delta_1^I = R_1^I - \sum_1^{10} R_i^I = b_1^I - a_1^I \text{ 或 } R_1^I = \sum_1^{10} R_i^I + \Delta_1^I \quad (3)$$

式中: Δ_1^I ——第一盘第 i 个步进电阻值与第二盘十个步进电阻值的差值;

R_i^I ——第一盘第 i 个步进电阻值;

$\sum_1^{10} R_i^I$ ——第二盘十个步进电阻值。

同理,对于其他盘有:

$$\Delta_i^j = R_i^j - \sum_1^{10} R_i^{j+1} = b_i^j - a_i^j \text{ 或 } R_i^j = \sum_1^{10} R_i^{j+1} + \Delta_i^j \quad (4)$$

式中: Δ_i^j ——第 j 盘第 i 个步进电阻值与第 $j+1$ 盘十个步进电阻值的差值;

R_i^j ——第 j 盘第 i 个步进电阻值;

$\sum_1^{10} R_i^{j+1}$ ——第 $j+1$ 盘十个步进电阻值。

g. QJ33 最后一盘可采用检流计偏格法进行检定,即变化 QJ33 最后一盘的全部示值,使其检流计偏转 100 格,记录每一步进电阻值变化时检流计的偏转格数 a_i ,最后一盘每一步进电阻值 R_i^r 为:

$$R_i^r = \frac{a_i}{100} \sum_1^{30} R_i^r \quad (5)$$

式中: R_i^r ——最后一盘第 i 个步进电阻值;

$\sum_1^{30} R_i^r$ ——最后一盘十个步进电阻值。

iv 以度盘单位表示各测量盘的计算公式

假定 $\sum_1^{10} R_i^I$ 以度盘单位表示为已知,则各测量盘以度盘单位表示的步进累加值分别为:

$$\sum_1^i R_i^I = i \sum_1^{10} R_i^I + \sum_1^i \Delta_i^I \quad (6)$$

$$\sum_1^i R_i^I = \frac{i}{10} \left(\sum_1^{10} R_i^I - \sum_1^{10} \Delta_i^I \right) + \sum_1^i \Delta_i^I \quad (7)$$

$$\sum_1^i R_i^II = \frac{i}{100} \left(\sum_1^{10} R_i^II - \sum_1^{10} \Delta_i^II \right) - \frac{i}{10} \sum_1^{10} \Delta_i^III + \sum_1^i \Delta_i^III \quad (8)$$

$$\sum_1^i R_i^IV = \frac{i}{1000} \left(\sum_1^{10} R_i^IV - \sum_1^{10} \Delta_i^IV \right) - \frac{i}{100} \sum_1^{10} \Delta_i^III - \frac{i}{10} \sum_1^{10} \Delta_i^IV + \sum_1^i \Delta_i^IV \quad (9)$$

$$\sum_1^i R_i^V = \frac{i}{10000} \left(\sum_1^{10} R_i^V - \sum_1^{10} \Delta_i^V \right) - \frac{i}{1000} \sum_1^{10} \Delta_i^III - \frac{i}{100} \sum_1^{10} \Delta_i^IV - \frac{i}{10} \sum_1^{10} \Delta_i^V + \sum_1^i \Delta_i^V \quad (10)$$

如果第六盘为最后一盘,则有:

$$\sum_1^i R_i^VI = \frac{i}{100} \left[\frac{1}{10000} \left(\sum_1^{10} R_i^V - \sum_1^{10} \Delta_i^V \right) - \frac{1}{1000} \sum_1^{10} \Delta_i^III - \frac{1}{100} \sum_1^{10} \Delta_i^IV - \frac{1}{10} \sum_1^{10} \Delta_i^V \right] \quad (11)$$

根据本规程 18.1.1 的规定,取第一盘 20 个步进值总和的 1/2000 作为度盘单位,由式(6)有:

$$\sum_1^{20} R_i^I = 20 \sum_1^{10} R_i^{II} + \sum_1^{20} \Delta_i^I$$

$$\sum_1^{10} R_i^{II} = \frac{1}{20} \sum_1^{20} R_i^I - \frac{1}{20} \sum_1^{20} \Delta_i^I$$

假定 $\frac{1}{2000} \sum_1^{20} R_i^I = 1$ (度盘单位)

则上式有:

$$\sum_1^{10} R_i^{II} = 100 - \frac{1}{20} \sum_1^{20} \Delta_i^I \text{ (度盘单位)} \quad (12)$$

将式(12)代入式(6)~(11)就可分别得到以度盘单位表示的各测量盘步进累加值的计算公式。

18.2 总阻变差的测量

18.2.1 用电流比较仪电位差计进行整体检定万能比例臂电桥,不需要测量总阻变差。

18.2.2 用十进盘替代法检定万能比例臂电桥,需要测量总阻变差。

(1) 测量总阻变差的线路

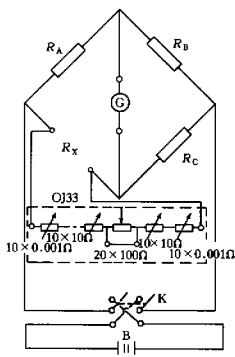


图 4 测量总阻变差的线路图

万能比例臂电桥的总阻变差主要是由补偿盘电阻补偿的不完善所引起,测量盘的第一盘不影响总阻的变化,为提高检定总阻变差线路的灵敏度,应将其短路。图 4 为测量总阻变差的线路图。

(2) 测量步骤

a. 按图 4 接好线路,选择 $R_A = 11111\Omega$, $R_B = 1 \times 10^4\Omega$, $R_C = 1 \times 10^2\Omega$, QJ33 全部示值置零。

b. 接通电桥电源,调节 R_A 使电桥平衡,(检流计灵敏度不低于 $10^{-6}/\text{mm}$),记录 R_A 的示值,逐盘逐档测量每一步进值的电阻,找出每一盘出现的最大和最小电阻的示值,在示值上打个标记。

c. 把每个测量盘放在出现最大电阻时的示值,调节 R_A 使电桥平衡,记录 R_A 的平衡示值,这是最大出现的电阻。

d. 把每个测量盘放在出现最小电阻时的示值,调节 R_A 使电桥平衡。记录 R_A 的平衡示值,这是最小出现的电阻。

e. 最大出现的电阻与最小出现的电阻之差,就是总阻出现的最大变差。

f. 总阻变差会使万能比例臂电桥测量时引起误差,最大可能出现的误差用总阻变差与总阻的比值来表示。

19 在保证检定总不确定度的条件下,允许用本规程以外的其他方法进行检定,如出现有争议时,应以本规程方法为准。

六 检定结果的处理和检定周期

20 万能比例臂电桥测量盘线性度的极限误差 C_{lim} 按下式计算:

$$C_{\text{lim}} = \sum_1^6 C_i^* - \sum_1^6 C_i^{\Delta}$$

式中： $\sum_1^6 C_i^*$ ——每一盘步进电阻值最大算术值误差之和；

$\sum_1^6 C_i^{\Delta}$ ——每一盘步进电阻值最小算术值误差之和。

21 测量盘线性度的检定数据按相应等级指数的 1/10 进行化整，在计算时采用四舍五入及偶数法则。

22 万能比例臂电桥检定合格与不合格，一律以化整后的测量盘线性度极限误差与补偿盘总阻变差之和来判断，凡满足基本误差要求的为检定合格，否则为检定不合格。

23 检定合格的万能比例臂电桥发给检定证书，检定不合格的发给检定结果通知书，并注明不合格的原因。

24 检定不合格的万能比例臂电桥，允许降级使用，在降到下一级时，各项技术指标也需符合该等级的要求，给出该等级的检定证书，并注明降为何级使用。

25 初次送检的（包括缺少上一次检定证书或修理后的）万能比例臂电桥，经检定合格的发给检定证书，但不予定级，在证书上应注明年稳定性未经考查，暂不定级。

26 检定证书或检定结果通知书上应注明检定时的温度，相对湿度和检定的不确定度。

27 检定周期一般不得超过一年。