

# 电位器测试技术

第三机械工业部三〇一研究所

75.8

## 前言

为了填补电位器测试设备的某些空白，遵照毛主席“独立自主、自力更生”的方针，我们于一九七四年五月在北京组织了一次电位器测试座谈会，并邀请天津大学、复旦大学、天津无线电元件十厂、国营华星无线电器材厂、华北光学仪器厂、四机部标准化所等单位参加了会议。会上交流的经验对提高电位器测试质量和效率有一定意义，现汇编成册，可供电位器生产、科研及教学人员参考。编校错误之处，请指正。

# 目 录

## 前言

- 一、精密电位器特性测试方法的研究  
改进 ----- (1)
- 二、电位器自动测试装置简介 ---- (62)
- 三、对电位器接触可靠性的初步探讨  
----- (67)
- 四、运算放大器在电位器笔录示波中  
的应用 ----- (71)
- 五、电位器动噪音~~测试~~分析报告  
----- (93)
- 六、电阻器动态 ----- (109)
- 七、国外仪器简介 ----- (113)

# 精密电位器特性测试方法的研究和改进

——·北京航空学院·——

## 前言

本文首先讨论和简评了精密电位器现用的几种特性测试方法,然后着重研究测试的百分比电桥法以及使用三联电位器的示波法和笔录法。本文所研究的电位器特性测试,主要是用于测量装置、自动装置和计算机机构等中的精密电位器的线性度和符合度的测试。采用本文提出的中点调零法和三联电位器法,将有助于提高测试工作效率,有助于准确而直观地研究和测试精密电位器的特性。本文最后还研究和讨论了电位器符合度和线性度的定义、用途、测试方法以及测试设备方案。

精密电位器作为一种既简单又方便的机电元件仍广泛使用在仪表、自动装置和计算机机构中。作为一种信号变换器,电位器可以实现机械量变电量或电量变机械量的功能;作为一种函数发生元件,电位器还可用于补偿和计算目的。在上述应用场合中,其他器件,如电感变换器、电容变换器,旋转变压器和同步器等并不能完全取代电位器。近年来,电位器本身也在不断发展和改进之中。

精密电位器特性测试的主要项目是线性度或符合度,亦即主要是其精度的测试。现用的测试方法较多,在不同情况下,各有用场。但是,由于电位器术语、定义及特性测试方法方面存在一定混乱,给电位器的科研、生产和使用带来许多不便。1972年12月18日三机部召开了电位器技术会议。会后,公布了一个电位器术语和定义的推荐试用稿[1]。为了便于电位器术语和定义的统一,使之真正有利于工业生产,也应当研究和规定相应的测试方法和推荐相应的测试设备。本文也正力求在这方面提出一些看法,



供同志们参考和讨论。

在电位器的现用测试方法中，有的还比较耗费人力物力，不利于提高生产效率和减轻工人的劳动强度；有的还不够精确和形象，测量数据的处理也比较麻烦。本文也力求在这方面研究和提出一些改进意见。由于我们接触生产实践很不够，对问题的了解也不深，我们的看法一定存在不少缺点、错误，恳切地希望同志们予以批评指正。

### § 1. 现用几种测试方法的讨论和简评

一、测电阻——即用惠斯登电桥或数字欧姆表测出电位器一个引出线端和电刷之间的电阻，即测出  $R=f(\theta)$  曲线。这是一种最原始的方法。

这种方法的优点是原理简单、直观，操作不复杂。由于要选足够的测量点，测出各点的电阻、再描曲线，并还要在图上读出误差或按一定的方法计算误差，所以整个来说本法功效不高。再者，这种测试方法是不连续的，要提高测试精度就得选更多的测量点。由于是测电阻，电刷和接触道之间的接触电阻不稳和变化将带来测量误差。因为基于测量电阻，当被测电位器具有分流电阻、增流电阻或和别的电路有电气连接时，使用本法便会带来测量的原理误差。

测电阻的方法可以用于非线性电位器，也可用于线性电位器。对于线性电位器，究竟测出的是何种线性度，要视理论特性如何选取而定。如果对一批电位器理论特性是事先规定好的，那么所测结果为绝对线性度；否则，将是其他线性度。

如果只要求测出电位器的线性度或符合度，在没有其他测试设备的情况下，当电位器总电阻也比较高时，作为单件测量也可以选用本法。但在批生产中，或要求多次重复测量的情况下，本法并非较好的方法，建议一般情况下不必采用。

二、测电压——本法和测电阻相似，即测出  $U=f(\theta)$  曲线。

本法较之测电阻稍为优越，但缺点是：测试精度受电位器端电压波动的影响；如用低阻电压表测量将产生负载误差。本法用于测试分流电阻式非线性电位器，不发生前法中的原理误差。采用高阻抗电压表或直流电位差计测量，接触电阻对测量的影响可以忽略不计。

测电压有一个独特的优点：当维持端压恒定（例如恒定在1伏或10伏），并使用高阻抗和高精度的电压测量方法（如用精密的直流电位差计、五位的数字电压表PZ-5和PZ-8等），便可以获得很高的测量精度。因而，在检查高精度的标准电位器时，一般可以采用测电压的方法。这种测量，属于测电位器特性，而不是单独测出误差。所以，从测量原理看，却并不显得优越。

和测电阻一样，测电压究竟测出的是哪种线性度，要视理论直线的选取方法而定。

如果只要求测示电位器的线性度或符合度，本法也并非最好的方法，建议一般情况下不必采用。

三、用标准电阻或标准电位器组成电桥的方法——这是一种在当前生产实践中较为普遍使用的方法。这种方法都要求使用检流计，它有两种工作状态。一种是用检流计检零，这时电桥将工作在测特性状态；另一种是让检流计作误差指示器（这种情况下可用数字电压表来代替检流计，对测量更有利），电桥将工作在测误差状态。从测量原理看，测误差比测特性优越。误差指示器的精度可以不必要求太高。电桥法大体可又分下列四种情况。

1、使用标准电位器，但标准电位器和被测电位器不共轴，并用检流计检零。如图1所示，设R为标准电位器，其电刷转轴上有标准刻度或带有分度机构；Y为被测电位器，其电刷转轴上也有标准刻度或带有分度机构。工作时，按相同的角度间隔（例如每 $10^\circ$ 测一点）给定被测电位器Y的转角，然后旋动标准电位器电刷，使检流计G指零，并记下标准电位器电刷的转角。标准电



位器电刷应转的理论转角和其实实际转角之差就代表被测电位器的误差。

标准电位器可用精密的滑线电阻丝作成多圈（如50圈或100圈）的螺旋电位器，并将电阻丝浸在一种保护油中，因而又称油浸电位器。这种电位器可作到 $\pm 0.05\%$ 的精度，读数可达满刻度的 $0.01\%$ 。

由于被测电位器每转 $10^\circ$ 所对应的标准电位器的理论转角已事先按比例算好，即已绘出被测电位器确定的理论特性数据，因而按本法测出的线性度就是绝对线性度。在被测电位器的装卡中需要调起始点，即按指调点将电刷定位，然后从头到尾测量一遍。本法仍属于测电位器特性，而不是测偏差。

本法属于精密测量方法，由于工作时检流计要指零，所以测量不受电源波动影响，也没有测量的负载误差，接触电阻影响也可忽略，对分流电阻式电位器也适用。但本法有一个比较大的缺点，就是功效不高，十分耗费工人体力，操作需要二至三人。这是由于要读检流计和两个分度机构。精度要求越高，分度机构越难读。如果还要用测量结果描出误差曲线，工作量就更大了。

在图1所示电路中，也可以让检流计工作在测偏差状态。但这种情况要求端压恒定在1伏或10伏，检流计之前应接高输入阻抗放大器（一方面为提高检流计灵敏度，另一方面为减小接触电阻影响和负载误差）。当给定被测电位器一个转角时，同时给定标准电位器一个相应的标准转角，检流计遂指示误差。如用数字电压表代替检流计，则可显示以百分比表示的误差数值。显然，这

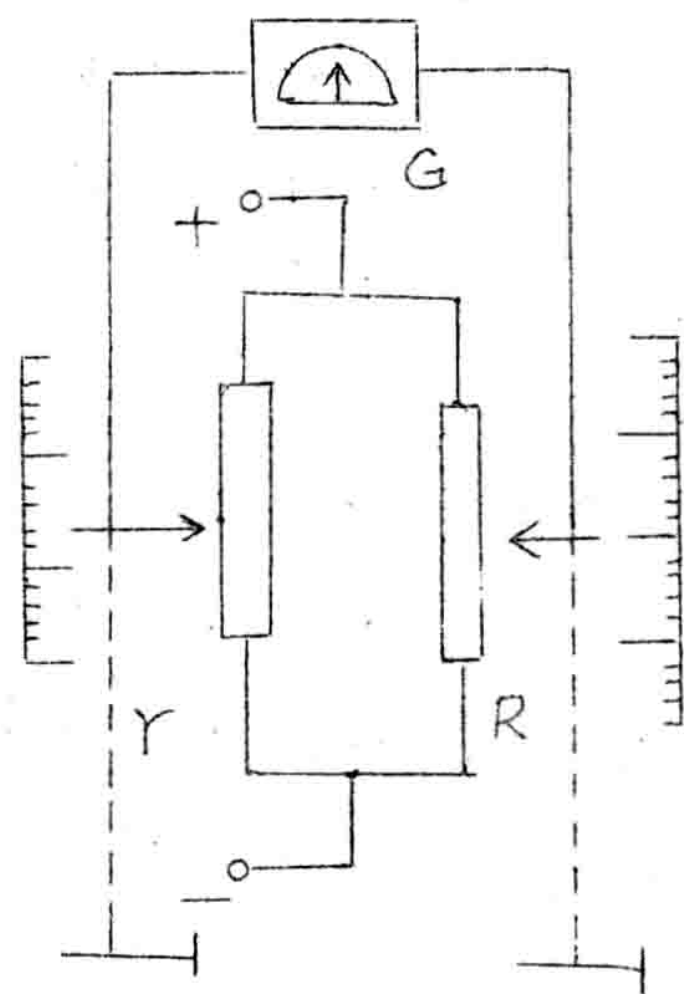


图1 标准电位器和被测电位器不共轴但要求检零的方案

比用检流计检零的方案优越。

上述测试方法的一个改进是被测电位器用齿盘（例如每 $10^\circ$ 开一个“V”形槽）的棘轮机构来给定转角。这种齿盘棘轮机构给定转角的精度估计可达 $\pm 0.1\%$ 以上，用于测量中等精密电位器已能满足需要。这一改进对于电位器特性的断续测量是很有用的。目前，有的工厂已经成功地这样作了，效果很好。

但是，如果被测电位器端压维持一定（1伏或10伏），使用高阻抗的高精度电压表（如五位数字电压表）来测电压，则其测量原理和效果与本法的基本一样，而功效却提高了许多。同时，也就不必使用标准电位器及其分度机构和检流计了。因而，原封不动地使用图1所示方法来测试精密电位器特性不是一种多快好省的方法，建议不必采用。

2. 使用标准电阻，标准电阻用波段开关转接，不和被测电位器共轴，但要用检流计检零。本法在原理上和前一种情况一样，只是用一些阻值已知的标准电阻串联来代替前法中的标准电位器。一般，各标准电阻阻值选得一样。如果标准电阻选为10个，则本法实际上便成了可断续读数的一种百分比电桥法了。

如图2所示，用波段开关转接标准电阻，然后旋动被测电位器电刷，使检流计指零，再读出被测电位器电刷的转角。被测电位器电刷应转的理论转角和实际转角之差就代表被测电位器的误差。

这里被测电位器的理论转

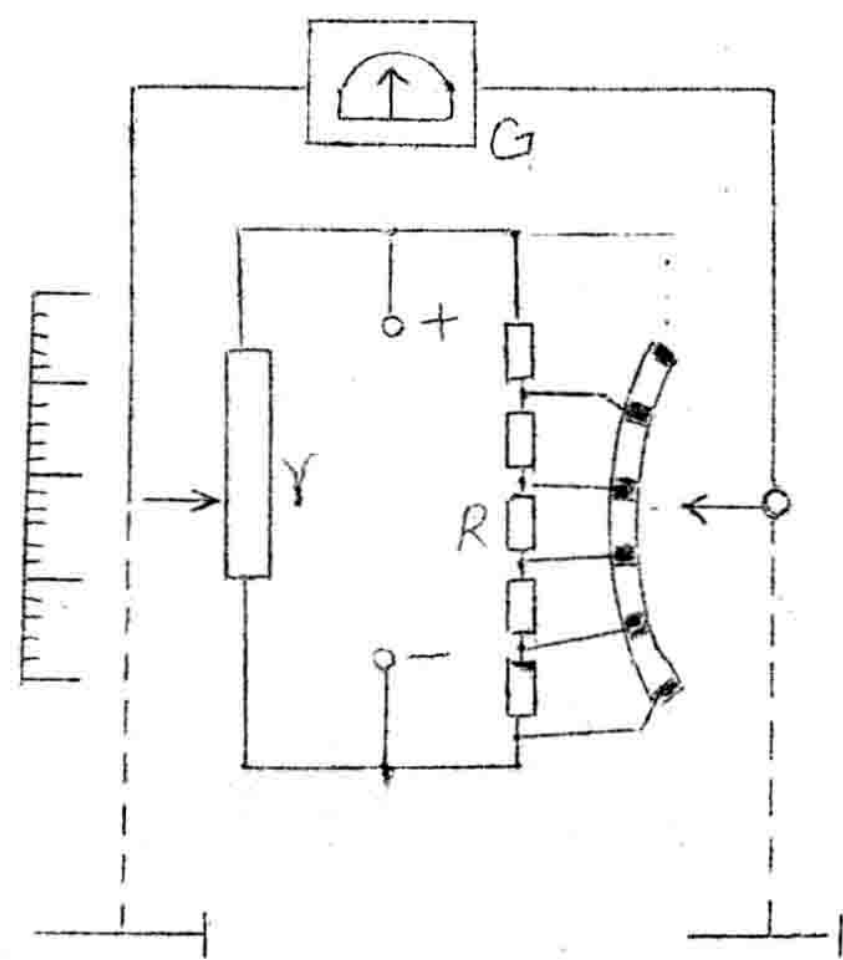


图2 使用标准电阻，用波段开关转接，但不和被测电位器共轴，要检零的方案



角有两种计算方法：

(1) 只要被测电位器的绕线角度或长度（我们在此以线绕电位器为例）在允许误差之内，对于该批电位器的理论转角数据只有一种，就是事先按比例算好的。例如总转角的理论值为  $100^\circ$ ，则测10个点时，就把  $100^\circ$  十等分，找出每个测量点的理论转角。这种测量方法，由于事先已给定了确定的理论特性数据，因而所测线性度应当是绝对线性度。

(2) 同上例，把被测电位器绕线角十等分，但不是用总绕线角的理论值，而是先找出每一被测电位器绕线角的实际值（例如为  $101^\circ$ ），再将此实际值十等分（故每一测量点的理论转角就用  $101^\circ$  按比例计算为  $101^\circ/10$ ），求出理论特性值。这种测量方法所测的线性度是端基线性度。如果取最大正偏差和最大负偏差绝对值之和被除以2，则所得就是我们后面将要提到的近似独立线性度。

本法较使用标准电位器的前一种方法稍为优越，在生产实践中得到一定应用。但本法也存在一些缺点。例如，测端基线性度比较麻烦，由于仍然要读被测电位器电刷的分度机构，而读数一般都不是整数，所以在操作中及误差计算中也有许多不便。这是必须加以改进的。

3. 使用标准电阻，标准电阻用波段开关转接，不和被测电位器共轴，但用检流计指示误差。图2所示电路就可以让检流计指示误差，这时，只需对被测电位器给定理论转角就行了。如测绝对线性度，则对于一批电位器来说，理论转角是事先固定的，一般都取为整数。但若测端基线性度（或由之求出近似独立线性度或求出独立线性度），则每一个被测电位器的理论转角都不一样，而是临时定下的）一般都不可能为整数，这就给被测电位器的转角给定带来麻烦。为了简化测试操作，最好对一批被测电位器给定的理论转角都是整数（例如每  $10^\circ$  一测，也便于用齿盘





其工作原理。

使用图4电路，一定要求被测电位器绕线角具有负偏差，即一定要作得等于或稍小于 $50^\circ$ 。工作时，先实测出被测电位器 $Y$ 的绕线角或有效电行程，例如测出为 $49^\circ$ 。设标准电阻每一个均为 $100\ \Omega$ 。但 $R_1$ 作成可以选择电位的十进分压电阻，就像我们在百分比电桥一节中所讲的标准十进分压电阻一样，借助于转换开关和刻度盘，可以任意选定电位。视测试精度要求来决定十进分压电阻的分档和精度。当然，也可用其他办法来任选电位。

于是，将被测电位器电刷放到其有效电行程首端，将波段开关置于1位，将 $R_1$ 调到相当于被测电位器转 $1^\circ$ 的电位处（ $R_1$ 是以带转角的度为单位的刻度盘最好），即 $R_1$ 电刷对地电位为端电压的 $\frac{1}{50}$ 处，调动 $R_1$ ，使检流计指零。然后，可开始正式测量。将波段开关置于2位，被测电位器转 $9^\circ$ ，记下第一测点的误差。此后，波段开关每转一位，被测电位器则转 $10^\circ$ ，直到测量完毕。

本法的调整实质是：为被测电位器每次能转相同的整数角度（第一个测点仍然不可能为整数角度），而用 $R_1$ 的阻值来当被测电位器少绕的那一段绕组的标准阻值，达到“补齐”，再来测量。本法所测出的线性度为严格的端基线性度。

本法的缺点是：每个被测电位器都要事先实测其绕线角或有

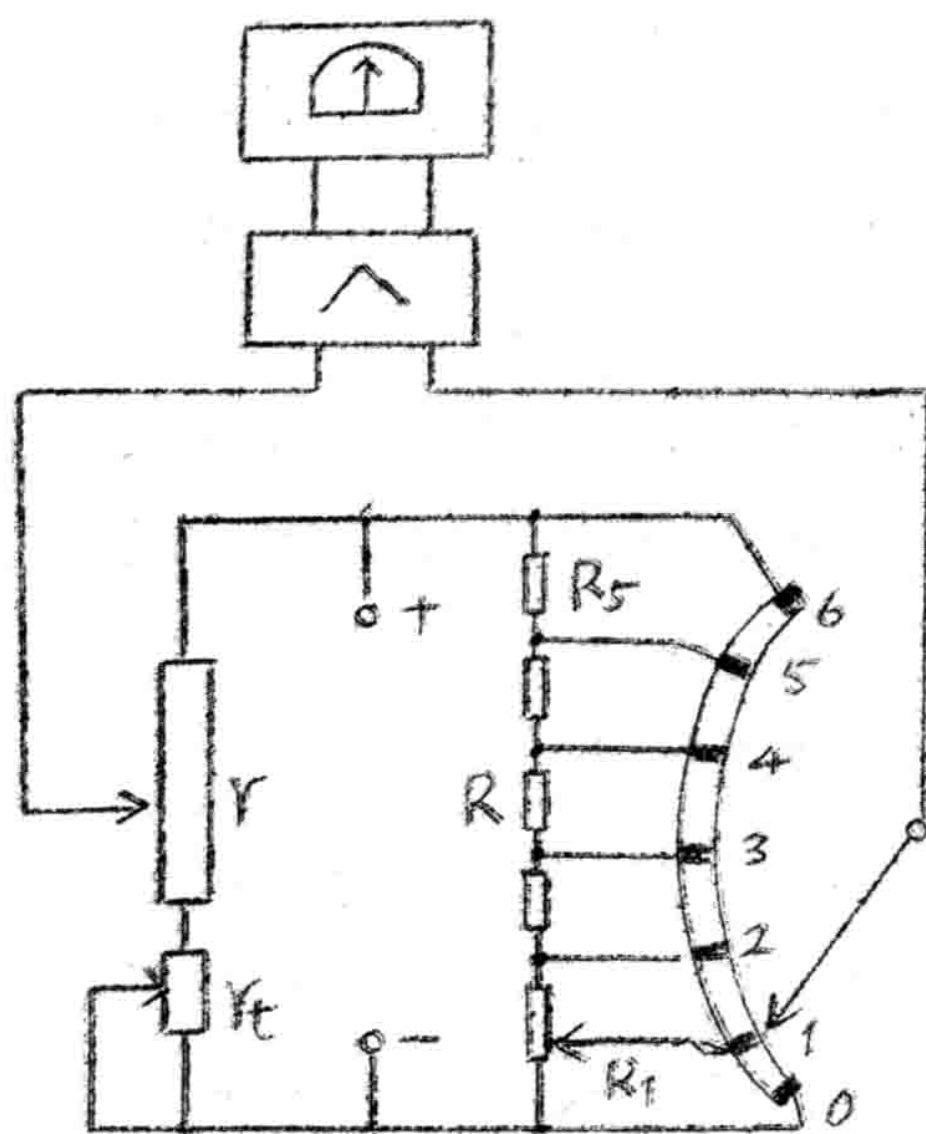


图4 使用标准电阻，用波段开关转接，但不和被测电位器共轴，检流计用作误差指示器的方案之二。



数电行程，然后调 $R_1$ 和 $V_E$ 。如果 $R_1$ 电刷所带刻度盘不是以度为单位刻度的，则还应有一换算过程。因而，本法在操作上似嫌不便。

4. 使用标准电位器和被测电位器共轴旋转，而把检流计用作误差指示器。为了提高误差指示器的输入阻抗和灵敏度，一般尚须加一级高阻抗放大器。图5所示即为本法的原理电路。在本法中，电源要求恒定。

由于是连续测量，读数也比较方便。一般，在指示器上标出公差带，被测电位器不超差即可。因而，在一般精密电位器的批生产中通常使用这种测量方法。

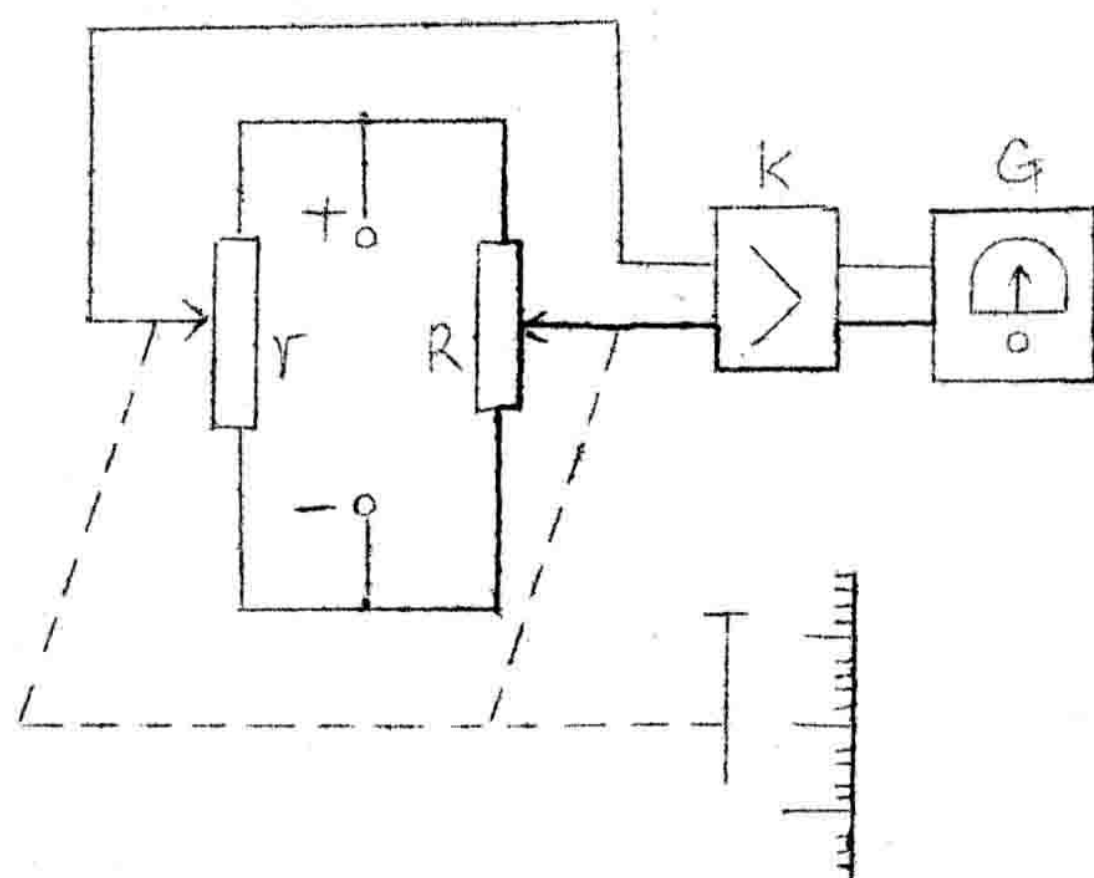


图5 使用标准电位器和被测电位器共轴旋转，检流计用作误差指示器的方案

在本法的实际操作中，为测端基线性度和独立线性度而要把被测电位器和标准电位器的前端点对地电压和后端点对地电压分别调成相等（测绝对线性度和符合度则要求调被测电位器 $r$ 的指调点），所以正式测量前的调整工序还是较费时间的。同时，本法也不便具体测得各点的误差数值，多只用于看超差不超差。

四、使用百分比电桥 百分比电桥法也属于零测法，可以获得很高的测量精度。在精密电位器和使用精密电位器的传感器的研制和使用中，百分比电桥法获得了广泛应用。

百分比电桥法在于测出在各测量点上被测电位器的相对输出，即测出电刷对一个引出线端的电阻或电压佔总电阻或端电压的百分数。实际测出的百分数和理论百分数（它有不同的规定方法）之差即代表被测电位器的误差。

百分比电桥的使用，一般是给定被测电位器电刷转角，然后测百分比。也可以先给定百分比，然后测被测电位器电刷转角。但后者不常使用。百分比电桥也有两种工作状态，即测特性和测偏差。

百分比电桥法在后面还要仔细研究，这里就不赘述了。

五、示波法和笔录法——本法是上述电桥法的改进。终端使用电子示波器或振子示波器，也可以使用各型笔录仪。使用本法可以提高功效，测量过程形象，测量结果准确，也可以实现连续测量。因而在科研和生产中正在得到进一步采用。

## §2 百分比电桥法的研究和改进

一、百分比电桥的原理和性能简述——百分比电桥实质上是一简单电桥。电桥一侧为被测电位器，另一侧为串联的可以构成十进等分的标准分压电阻。如果检流计G的灵敏度越高，标准分压电阻越精确和分压分得越细，则百分比电桥的精度将越高。

图6所示为一简单电桥。设R为标准的分压电阻，Y为被测电位器。如以两电刷接触点为界将两电位器各分为两部分，即 $Y_1 + Y_2 = Y$ ； $R_1 + R_2 = R$ 。这时，如果电桥处于平衡状态，即检流计G指零，将有

$$Y_1 \times R_2 = Y_2 \times R_1 \quad \text{或} \quad \frac{Y_1}{Y_2} = \frac{R_1}{R_2}。$$

上式等式两边同加1，即

$$1 + \frac{Y_1}{Y_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2}，$$

$$\frac{Y_2 + Y_1}{Y_2} = \frac{R_2 + R_1}{R_2}。$$

因而

$$\frac{Y_2}{Y} = \frac{R_2}{R}。$$

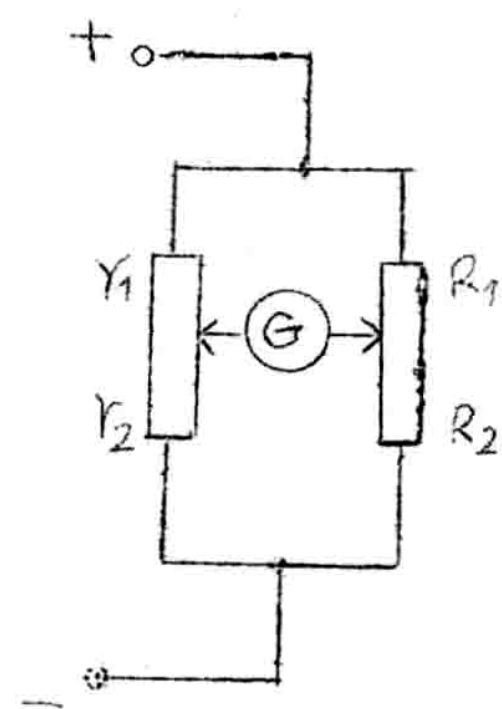


图6 百分比电桥原理用图

百分比电桥的功用就在于根据标准分压电阻读出  $R_2$  佔其总电阻  $R$  的百分数，也可以认为是读出  $R_2$  上电压降佔其总电阻  $R$  上电压降的百分数，从而便可了解被测电位器电刷处电阻  $r_2$  佔其总电阻  $r$  的百分数，或  $r_2$  上电压降佔其总电阻  $r$  上电压降的百分数。

由于每次读数时检流计均要指零，故检流计不消耗功率。这时，电桥的平衡不仅是电阻平衡，实际上也是电压平衡。因而百分比电桥用于测试分流电阻式非线性电位器不发生原理误差。接触电阻影响也可忽略。

使用百分比电桥测试精密电位器或电位器式传感器的优点是：精度较高；测量时不受电源波动影响；可直接读出输出的百分数，便于比较和计算误差。由于磁电式检流计具有惯性，被测量的高频杂波不会影响读数。但百分比电桥法仍属非连续测量，操作也不是十分方便，是一个缺点。

上面所讲的百分比电桥法，由于让检流计每次都要指零，因而仍属于测电位器特性。百分比电桥既可用于测试线性电位器，也可用于测试非线性电位器。如测线性度，则要看理论特性数据如何选取，从而决定所测为何种线性度。

二、端电压调整问题及其改进——在图6电路中，电路本身保证了被测电位器和标准电位器首端对地电位和末端对地电位分别相等，但两电刷（不论它们共轴与否）在它们各自的两个机械位置端点处对地输出电压是否相等却不一定。但测试电位器时，重要的却是要使被测电位器电刷和标准电位器电刷的实际首末端机械位置端点处的电位分别相等。这样，便可方便地测出被测电位器的端基线性度。如图7所示，端基线性度是以被测电位器实际输出的首、末端电压的连线作为理论输出特性而算出的线性度。有了端基线性度就不难求出其零基线性度和独立线性度。因而，不论用百分比电桥还是用共轴旋转的标准电位器，在一些情况下，端压调整都是一个必不可少的操作程序。端压调整用过的方法有



三种，即：

1、机械调零——即当百分比电桥指零或共轴的标准电位器电刷输出为零时调整（转动）被测电位器电刷，使其输出也为零。

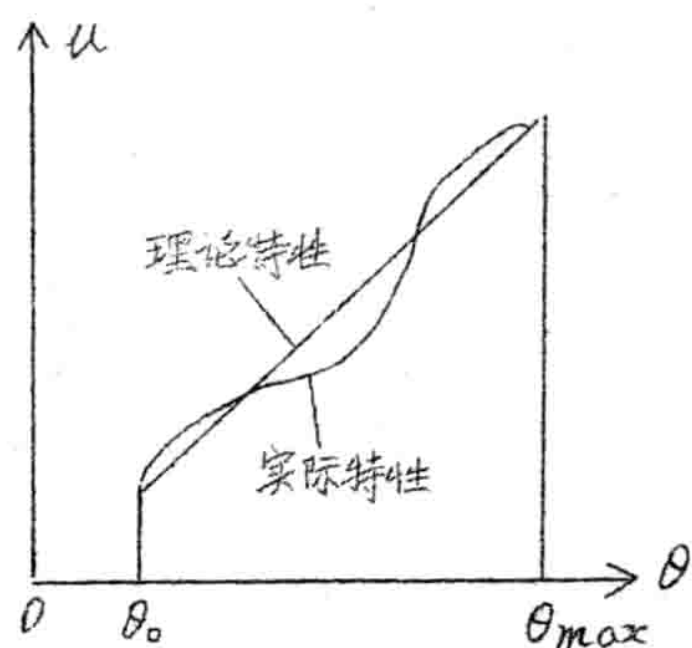


图7 端基线性度  
定义用图

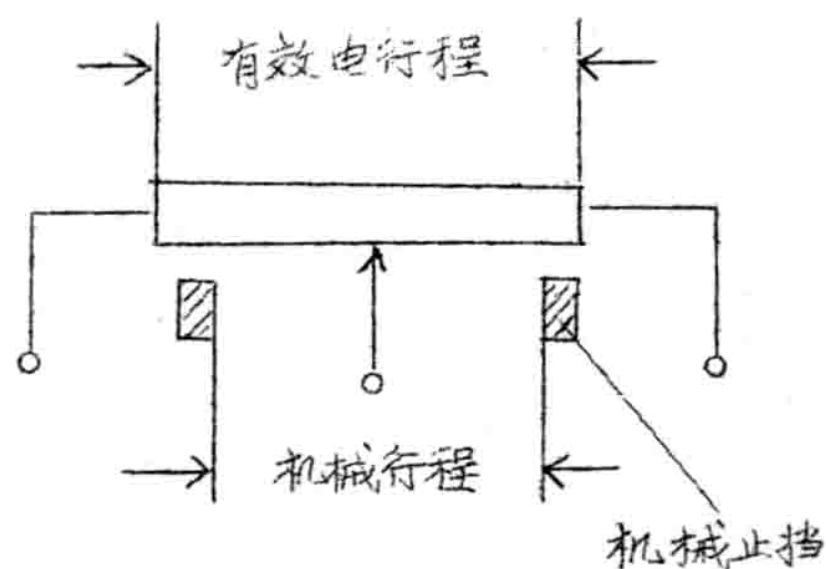


图8 有效电行程和  
机械行程

同理，调整最大输出（100%的输出）。如图8所示，如果被测电位器的机械行程小于其有效电行程，则上述两项调整均不可能实现。参看图8，有效电行程为电阻元件首、末两引出线端所决定的电刷的最大工作行程。对于线绕电位器，就是工作绕组所决定的行程（或转角）。在文献[1]的电位器术语和定义中，这一行程称理论电行程，不妥，故改称有效电行程。即使被测电位器的机械行程大于其有效电行程，要用机械方法把被测电位器电刷刚好调到零输出点和100%输出点上也很不容易。如果电位器具有超程短路段，则很易于调过头。因为这时，从电位来说可能调好，但电刷的机械位置却可变化许多，因而造成误差。如果使用共轴旋转的标准电位器，上述调整将更加困难，甚至于不可能。因而这种机械调零方法看来没有什么实际使用意义。

2、单边电气调零——这是一种半机械半电气的调零法，即首端采用机械调零，末端采用电气调零。图3所示电路中调 $R_t$ 便属于单边电气调零。这里，仍有一个前提：被测电位器的机械行程应大于其有效电行程。如图9所示，当置共轴的标准电位器或

百分比电桥的标准十进分压电阻 $R$ 的电刷于零电位时，单独调动被测电位器 $Y$ 的电刷到零电位（这种机械调零方法已如前述，是比较费事的），然后将被测电位器电刷旋至其末端。如果 $R$ 是百分比电桥的标准十进分压电阻，则用 $R_t$ 把 $R$ 末端 $B$ 点的电位调到和 $Y$ 末端 $b$ 点的电位相同。如 $R$ 系共轴的标准电位器，则把被测电位器 $Y$ 电刷停在 $b$ 点时所对应的标准电位器 $R$ 的电刷处的电位，用 $R_t$ 调到和 $b$ 点电位一样。由于被测电位器 $Y$ 和标准电位器 $R$ 的首端 $a$ 点和 $A$ 点本身就是零电位，所以调整 $R$ 的末端电位时， $a$ 点和 $A$ 点电位不受影响。

本法虽较机械调零法稍好一点，但仍有使用条件限制，操作

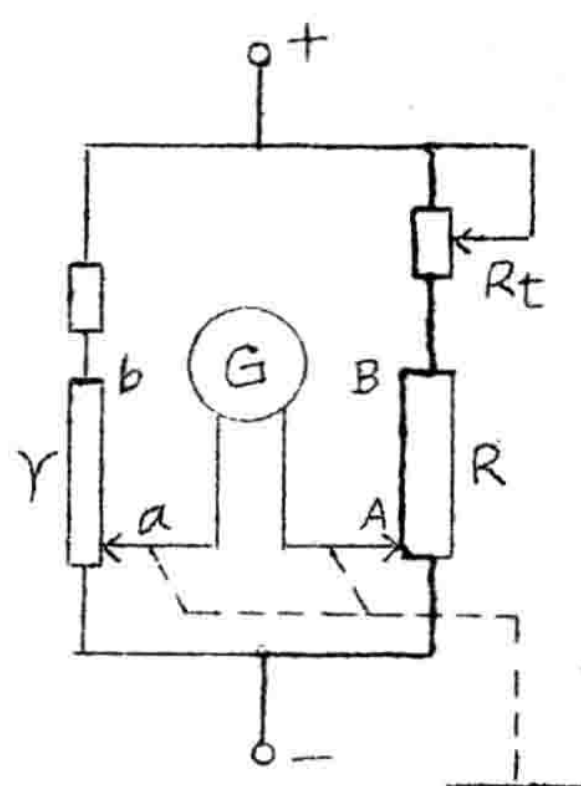


图9 单边电气调零  
原理

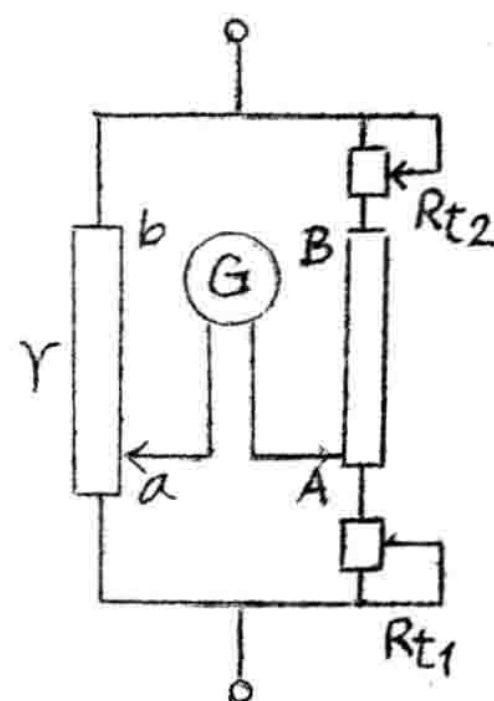


图10 双边电气调零  
原理

仍然不便，所以实际上也很少采用。

3. 双边电气调零——这种调零方法可以部分或全部免除机械调零，因而在电位器的特性测试中现仍然获得普通应用。例如文献[2]所载美国可变电阻元件研究所（VRCI），即原精密电位器制造商协会（PPMA），规定的工业标准中电位器的检查与测试规程便采用双边电气调零。

如图10所示，借助于串联在标准电位器或标准十进分压电阻首末二端的调整电阻 $R_{t1}$ 及 $R_{t2}$ 便可实现双边电气调零。设被测

电位器  $Y$  的机械行程小于其有效电行程，则只要在电位器  $Y$  的机械止挡所决定的首、末二端  $a$  点与  $b$  点上，将标准电位器或十进分压电阻  $R$  上的与其对应的首、末二端  $A$  点与  $B$  点的电位分别调整相等即可。这种调压过程要反复进行多次才行，因为调末端  $B$  点的电位时，已调的首端  $A$  点的电位将受影响而发生变化。这是本法的一个大缺点。当然，如果被测电位器  $Y$  的机械行程大于其有效电行程时，则为了找到其有效电行程的首、末二端，也还有一个借助于检流计  $G$  的机械地寻首、末端点的操作程序，这也是比较麻烦的事。

针对双边电气调零法的缺点，我们在这里提出一种新的调零方法。这就是电桥中点调零法，简称中点调零法。使用本法，标准电位器或标准十进分压电阻  $R$  上串接的电阻  $R_{t1}$  和  $R_{t2}$  只要各调一次便可以了。

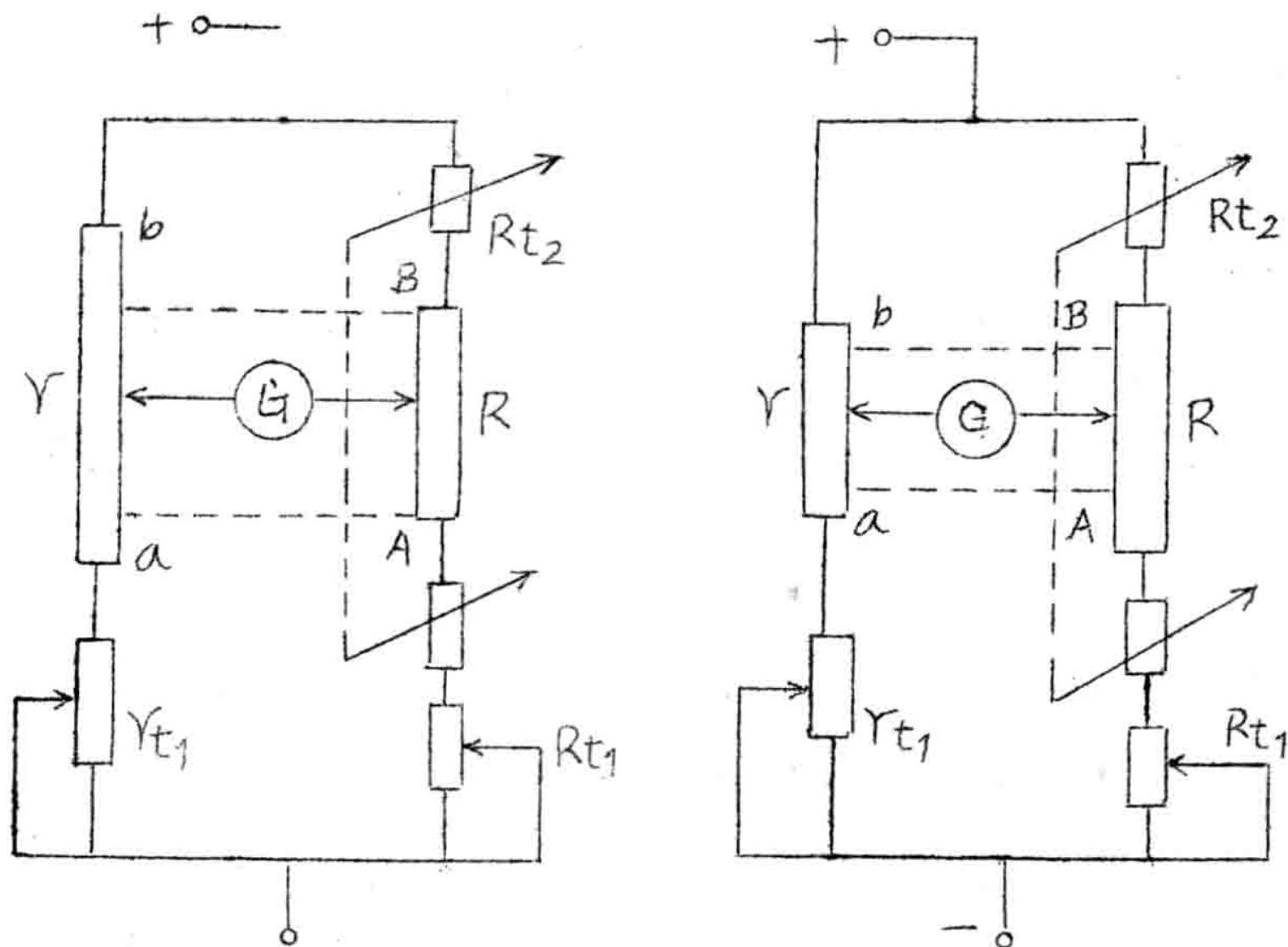


图 11 电桥中点调零法原理电路

(a) 使用百分比电桥时，两电刷不共轴，被测电位器机械行程小于其有效电行程。

(b) 使用标准电位器时，两电刷共轴被测电位器的机械行程小于标准电位器的机械行程。