

韩勤 编著

精密电位器
输出函数特性和原理
测量方法

73
6

中国标准出版社

精密电位器输出函数特性和 原理测量方法

韩勤 编著

中国标准出版社

**精密电位器输出函数特性和
原理测量方法**

韩勤 编著

•
中国标准出版社出版
(北京复外三里河)

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

•
开本 850×1168 1/32 印张 $2\frac{3}{4}$ 字数 68,000

1983年9月第一版 1983年9月第一次印刷

印数 1—7,000

•
书号: 15169·3-232 定价 0.46 元

•
科技新书目

49—183

内 容 提 要

本书以直线性为核心,对精密电位器输出函数特性,从理论输出函数特性的基本概念和数学表达式、符合性的定义和通用表达式、各种直线性的定义和通用表达式,到符合性(直线性)的原理测量方法,做了较为全面、深入、细致的探讨和说明。可供从事精密电位器研制、生产、使用和标准化的工程技术人员参考。对大专院校有关专业师生,也有一定参考价值。

写 在 前 面

一、为什么要写这本书

随着我国电子工业的发展,电位器的研制、生产都有十分可喜的进展,系列品种不断得到补充和完善,电位器的技术性能和质量,也为满足日益扩大的使用要求,在持续不断地提高与改进。但是,尚有问题存在,一些基础工作仍需努力,某些基本概念和基本测试方法也要进一步探讨和明确。譬如,精密电位器的输出函数特性就是精密电位器(以下简称电位器)的最基本性能。正确地评价电位器的实际输出函数特性或实际输出直线特性,对合理制造和使用电位器都是至关重要的。编写这本书的目的,就是想就这一问题进行分析探讨,这也是个人的一点尝试。然而,由于资料掌握不多,特别是尚无前人在这方面的专著作依据和指导,只好凭现有材料和了解到的电位器研制、生产及使用方面的实际情况,加上个人粗浅的学习体会,写出这本书。但工作在电位器工业第一线的广大技术人员和工人都为我师,愿这本书能成为引玉的砖石,由此能够展开交流讨论,文章大家来做,相信,这个目的一定能达到。

二、主 要 内 容

本书从头到尾全是谈电位器的符合性和直线性的有关问题。所谓符合性,是指电位器的实际输出函数特性对于规定的(或理论的)输出函数特性的符合程度。而直线性则是符合性的一个特例。当电位器原是按直线性函数设计的输出函数特性时,那么制成后的电位器的实际输出直线特性未必真为一条直线,而是一条无规则偏离的输出特性曲线。这种实际输出的直线特性对于所规定的(原设计的)输出直线特性的符合性,就称为直线性。为便于分析和易于理解,本书将以直线性为例做典型分析和说明,在此基础上,再推广到非直线性输出函数特性的符合性。

本书共分四章。第一章，基本概念。它是分析问题的基础，以后各章经常用到；第二章，理论输出函数特性和理论输出直线特性。它是定义各种符合性和直线性的依据，也是实现符合性和直线性测量的理论基础；第三章，符合性和直线性。叙述了各种直线性和符合性的由来和基本定义，以及几种常见的偏差形式；第四章，符合性和直线性的原理测量方法。着重说明了基准直线如何确立等方法。

• • •

这本书的完成，得到了所在单位领导和国家标准局有关同志的热情关心和支持。书稿完成后，又经成都电讯工程学院胡忠谔副教授做了全面审校，提出了许多宝贵建议，并就具体细节做了仔细修改。在此，表示深切的谢意。

目 录

第一章 基本概念	(1)
§ 1-1 电位器的调节零位	(1)
§ 1-2 电位器的调节行程	(2)
§ 1-3 电位器的零位特性	(4)
第二章 理论输出函数特性和理论输出直线特性	(8)
§ 2-1 电位器的输出函数特性	(8)
§ 2-2 理论输出函数特性及其数学表达式	(10)
§ 2-3 绝对理论直线特性	(11)
§ 2-4 端基理论直线特性	(15)
§ 2-5 零基理论直线特性	(18)
§ 2-6 独立理论直线特性	(22)
§ 2-7 非直线性的理论函数特性简介	(24)
第三章 符合性和直线性	(26)
§ 3-1 一般介绍	(26)
§ 3-2 绝对符合性	(27)
§ 3-3 绝对直线性	(30)
§ 3-4 端基直线性	(33)
§ 3-5 零基直线性	(35)
§ 3-6 独立直线性	(37)
§ 3-7 直线性的比较	(38)
§ 3-8 直线性允许偏差	(42)
第四章 符合性和直线性的原理测量方法	(45)
§ 4-1 测量原理	(45)
§ 4-2 基础测试方法	(47)
§ 4-3 理论输出直线特性的确立	(56)
§ 4-4 直线性测量原理线路	(61)
§ 4-5 绝对直线性的测量	(63)
§ 4-6 端基直线性的测量	(69)

§ 4-7 零基直线性的测量	(71)
§ 4-8 独立直线性的测量	(73)
§ 4-9 不做行程补偿的直线性测量方法	(74)
§ 4-10 非直线性输出函数特性的符合性测量.....	(77)
参考资料	(79)

第一章 基本概念

§1-1 电位器的调节零位

电位器的调节零位、调节行程及零位特性，是讨论分析电位器符合性和直线性所必需掌握的基础概念。为此，本章将分别对这些概念做出必要的定义和说明。在这里，首先对电位器的调节零位进行叙述。

所谓电位器的调节零位，是指在电位器调节机构（转轴或滑柄）的调节行程上，具有某些特定特性的位置。这些特定特性，有的是由调节机构本身确定的，如机械零位，就是由机械止档所决定；有的是电输出函数特性所确定，如电气零位就是这样。对于理想电位器而言，零位位置只有始末两个，这两个位置，既是机械零位，又是电气零位。而在实际电位器中，则不是这样，电气零位和机械零位往往不能重合，这也就是我们下面所要着重说明之点。

机械零位 电位器的机械零位，是指电位器调节机构所能实现的最大调节行程的始末位置，在有止档的电位器中，这个始末位置就由止档所确定，当电位器的滑动接点（也称电刷）紧抵止档时，转轴（或滑柄）的极限位置，就是调节机构的机械零位。对于没有机械止档的电位器，就没有确定的机械零位，它的转轴可做连续旋转⁽¹⁾。

为方便计，常常把机械零位分为前机械零位和后机械零位⁽²⁾。

电气零位⁽³⁾ 电位器的电气零位，是指电位器两输出端之间的电

-
- (1) 只有旋转式电位器才可以做成无止档的电位器。
 - (2) 前机械零位和后机械零位是根据规定的参考方向而确定的。例如，在旋转式电位器中，通常把向着轴的末端看去的方向定为参考方向，沿着这个方向观察电位器，转轴反时针旋转的极限位置，定为前机械零位，转轴顺时针方向旋转的极限位置，定为后机械零位。
 - (3) 在某些国外资料中，常常把电气零位称为终端或终端点（end 或 end point）。这种叫法，除了易与机械零位相混外，也不能直观地表达出这一位置是电气输出的零位位置这一重要概念。

另外，本节中定义电气零位的出发点，是根据电位器的输出函数特性而确定，但有的资料（见资料1）则是按电位器的种类确定的，后者局限性大，因而未采用。

阻（或输出电压）相对于调节机构的调节位置的变化符合规定的输出函数特性时的调节行程的始点和终点。通俗地说，当电位器的转轴（或滑柄）在这样的始点和终点位置之间调节时，电位器电阻（或电压）的变化规律符合所规定的输出函数特性。

如同机械零位一样，电气零位也可分为前电气零位和后电气零位。

§ 1-2 电位器的调节行程

从数学上讲，电位器调节机构的调节行程是电位器输出函数特性的自变量，输出电压是调节行程的因变量。这一点，不论是理论输出函数特性，还是实际输出函数特性，均与调节行程有不可分割的关系。

图 1-2-1 中示出了电位器调节机构的机械行程、机械超行程、实际电气行程、无效电气行程、理论电气行程、电气超行程及连续电气行程的图例⁽¹⁾。下面参照图例，来说明各种行程的定义。

机械行程 是指前后机械零位之间的调节机构的总的调节行程。在无止档电位器中，机械行程是无限的、连续的。

机械超行程 是指调节机构在机械零位与相邻电气零位（在绝对符合性和绝对直线性中，则为理论电气零位，下同）之间的调节行程。

实际电行程 也可称有效电行程，它是指调节机构在这个行程上调节时，电位器电阻（或电压）是按规定的规律进行变化，很明显，实际电行程的始末位置就是前后电气零位。

无效电行程 是指调节机构在电气零位与相邻固定引出端之间的调节行程。在这个行程范围内，电压或电阻的变化不符合规定的规律，则这个电压或电阻是无用的。

理论电行程 是指调节机构在前后理论电气零位之间的调行程。在这个行程范围内，理论输出函数特性在规定的最小电压输出比和最大电压输出比范围内展开，由于理论电气零位是由一规定的指点确定

(1) 图 1-2-1 示出的是具有行程短路段的电位器的行程图例，主要是为了叙述方便，容易说明各种行程的概念。对于无行程短路段的电位器，不再给出行程图例。

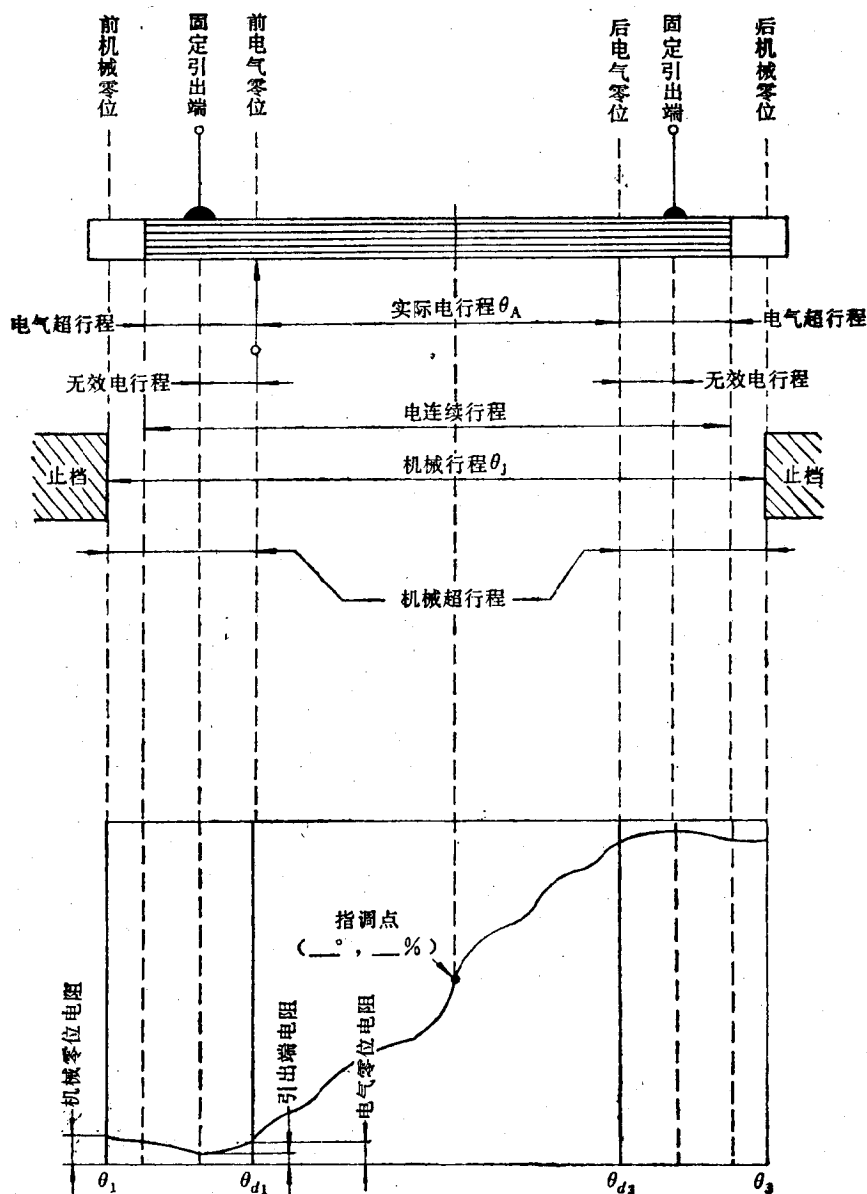


图 1-2-1

定的,因而理论电行程也必须由标在实际输出函数特性上的指调点⁽¹⁾来确定。

电气超行程⁽²⁾是指调节机构在电气零位与相邻的电阻体终端之间的调节行程。

电连续行程⁽³⁾是指调节机构在电阻体两终端之间的调节行程,从图 1-2-1 中可以看出,它包括了实际电行程和电气超行程。

在上述的各种行程概念中,尤以实际电行程和理论电行程更为重要,在以后的符合性和直线性的分析中,经常涉及到,因此,需要仔细理解和掌握。

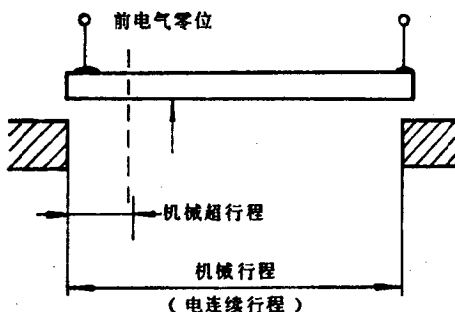
§ 1-3 电位器的零位特性

电位器的零位特性,就其本质而言是指电位器调节行程上某些特定位置上的电压或电阻的数值大小。它大致可分为三种,即机械零位电阻、引出端电阻和电气零位电阻,表现在实际输出特性上的是:机械零位电压、引出端电压和电气零位电压。

机械零位电阻(或电压)是指调节机构调节在机械零位位置上时,在滑动引出端与相邻固定引出端之间所保持的电阻值,这个电阻值反映在电压上,就是机械零位电压。

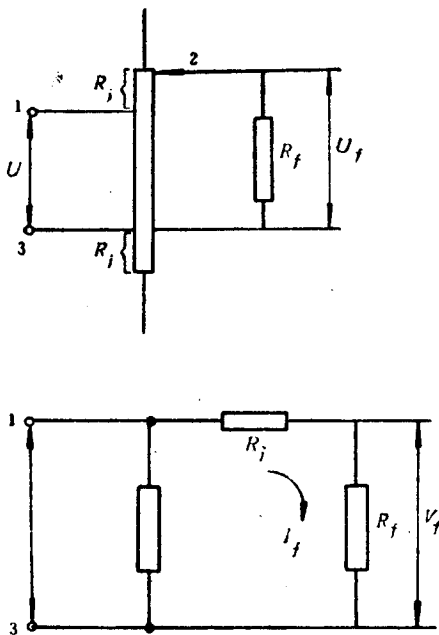
(1) 指调点的概念见第 § 5-5。

(2) 在下图所示的无行程短路段的电位器中,电气超行程往往与机械超行程合一,此时可不必引入电气超行程概念。



(3) 同上图所示情况时,电连续行程就是机械行程。

在图 1-2-1 中所示的情况下, 从机械零位开始到固定引出端为止的这段行程中, 电位器滑动引出端与相邻固定引出端之间的电阻的变化是负向的, 即越来越小。一般来说, 机械零位电阻的存在并不影响电位器的输出函数特性, 但是对于具有电气超行程、即需要有行程短路段的电位器, 就需要注意这个电阻的存在。参见图 1-3-1, 当电位器的负载电阻 R_f 比较小时, 滑动接点在电气超行程上滑动时, 流过 R_f 的电流 I_f 将直接受到机械零位电阻 R_i 的影响, 这将导致电位器最大可变输出电压 U_f 的不稳定。可以按图 1-3-1 的等效电路做如下推算。



(上图的等效电路)

图 1-3-1

从等效电路可知, 流经 R_f 的电流为:

$$I_f = \frac{U}{R_i + R_f}$$

电位器的最大可变输出电压为:

$$U_f = \frac{R_f}{R_i + R_f} \cdot U$$

由于 R_i 的存在, 使得最大可变输出电压 $U_f < U$, 其差值为:

$$\Delta U_f = \frac{U_f - U}{U} = \frac{R_f}{R_i + R_f} - 1$$

上式告诉我们, R_i 的存在导致电位器最大输出电压比小于 1。更值得注意的是, 在电气超行程的不同位置上, 滑动引出端与相邻固

定引出端之间的电阻的数值是不一样的，因而输出电压 U ，与输入电压 U 的差值 ΔU ，也将随着滑动接点在电气超行程上的位置不同而发生变化，这就是造成电位器最大可变输出电压不稳定的原因。因此，在设计具有行程短路段的电位器时，应当考虑要尽量减小行程短路段的电阻。另一方面，在使用电位器，特别是使用精密电位器时，应当保证使 $R_f \gg R_i$ 。

电气零位电阻(或电压)也称最小有效电阻(或电压)，它是指调节机构调节在电气零位位置上时，滑动引出端与相邻近的固定引出端之间所保持的电阻值，这个电阻值反映在输出电压上，就是电气零位电压。包括这个电阻(或电压)在内，从它开始的电阻(或电压)相对于实际电行程的变化，符合规定的输出函数特性的变化规律，这也就是将其称为最小有效电阻的原由，即有效电阻(或电压)的变化是从这个最小值开始的。

电气零位电阻(或电压)，也有前电气零位电阻(或电压)和后电气零位电阻(或电压)之分。

电气零位电阻(或电压)是个相当重要的电气性能指标，它的大小，与电位器符合性和直线性有着密切关系，这个问题，在以后的叙述中将做必要的说明。

引出端电阻(或电压)是指滑动引出端与固定引出端之间所保持的最小电阻值，反映在输出电压上，就是个最小电压值。引出端电阻由滑动接点与电阻体之间的接触电阻、滑动引出端和固定引出端本身的固有电阻所组成。

在通常情况下，引出端电阻并不单独予以规定，但在线绕电位器中，由于电气零位非常接近于固定引出端的位置，则引出端电阻将作为电气零位电阻的主要部分存在，特别对于低阻电位器，更要重视它的存在。

在普通电位器中，上述的三种零位电阻，并未全部做出规定和测量，往往只是规定电气零位电阻，并相应地规定一个无效电行程的最大值(见参考资料5)。在电位器设计时，应当考虑要尽量减少这个无效电行程和电气零位电阻，然而，为了更经济和合理地制造和使用电位

器，应当根据不同需要，恰当地确定需要规定哪种零位电阻，它的阻值大小规定在什么程度上合理。

第二章 理论输出函数特性

和理论输出直线特性

§ 2-1 电位器的输出函数特性

电位器是个电压传输元件，它借助于调节机构，可以将一固定输入电压转换成可变输出电压，如图 2-1-1a 所示。图中 U 是一固定输入电压， U_x 是可变输出电压。1，3 是电位器两个固定引出端，固定输入电压 U 就加在这两端之间。2 是滑动引出端，它接受调节机构的驱动，可以在电阻体上做往复滑动，将电阻体上的电压引出，从而实现电压的可变输出。调节机构为驱动滑动接点在电阻体上滑动而越过的行程是可变的，以符号 θ_x 表示。这样，就可把输出电压 U 和行程 θ_x 间的函数关系的数学表达式写出来，为

$$U_x = f(\theta_x) \quad (2-1-1)$$

式 (2-1-1) 表示的函数关系，称为电位器的输出函数特性，简称为输出函数特性，它可能是非直线性的，也可以是直线性的，如

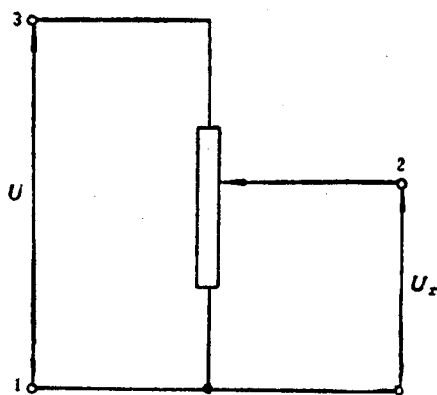


图 2-1-1 a

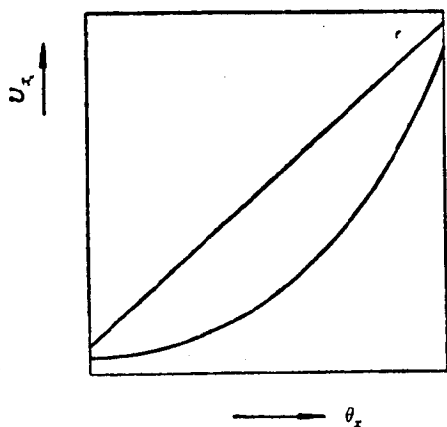


图 2-1-1 b

图 2-1-1 b 所示。

上述输出函数特性，只是在理论上才存在，就称之为理论输出函数特性（详见第 § 2-2）。实际上，电位器的输出函数特性却与它存在着差异，在图 2-1-2 中给出了实际电位器的输出函数特性示例，我们称它为电位器的实际输出函数特性。

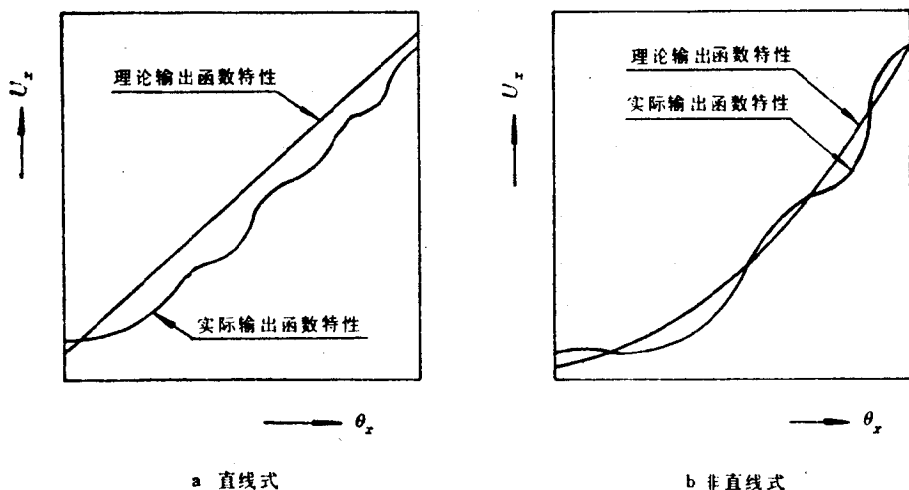


图 2-1-2

从图 2-1-2 可以看出，实际输出函数特性相对于理论输出函数特性，具有随机摆动的偏离，这是我们所不需要的，但是，不能绝对避免。然而，我们可以根据使用要求，将这个偏离限定在一定的范围之内，如果实际输出函数特性落在这个范围中，就说它符合输出函数特性的规定，这就是以后要讨论的符合性问题。

符合性这一概念是广义的，它既包括了非直线性输出函数特性的保真度，又包括了直线性输出函数特性的保真度。为了明确起见，我们把直线性输出函数特性的保真度称为直线性，而非直线性输出函数特性的保真度仍使用符合性这个名称。为便于说明和理解，在以后的叙述中均以直线性为例进行说明，而其结果原则上也是适用于符合性的。