

电位器

[苏联] A. T. 别列夫采夫著



73.811
290

电 位 器

[苏联] A. T. 别列夫采夫 著

孙 德 辉 译

zk597/17



国防工业出版社

1965

內 容 簡 介

本书讲述电位器的理論基础、計算方法和設計方法，以及电位器的制造工艺等。书中列举了在自动控制和远距傳輸綫路中应用电位器来完成数学运算的例子。

在本书介紹电位器制造工艺的部分中，除了讲述一般皆知的工艺过程外，还介紹了多轉电位器及金屬膜电位器制造工艺。

本书可供使用和生产电位器的工程技术人员閱讀。

ПОТЕНЦИОМЕТРЫ

〔苏联〕А. Т. Белевцев

ОБОРОНГИЗ 1962

电 位 器

孙 德 辉 譯

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168¹/₃₂ 印張11¹/₄ 286千字

1965年10月第一版 1965年10月第一次印刷 印数：0,001—3,300册

統一书号：15034·942 定价：(科六) 1.70元

前 言

在各种自动装置及計算技术系統中，除了采用旋轉变压器、测速发电机、电量的各种自动响应元件及各种指示器等之外，还广泛地使用着电位器。在自动駕駛仪、自动領航仪、远距罗盘、电动油量表与电动耗油量表、远距溫度表及其它遙測装置中，以及在雷达站和平面位置指示器中都使用电位器。

电位器的設計，特别是它的制造，还存在很大的困难，这是由于对电位器提出的各种要求而引起的。这些要求是：电位器必須在恶劣的气候和溫度条件下，在轉速每分钟达数千轉的情况下能可靠地工作，同时还必須保持其电气性能稳定和高度准确。

最近8~10年，在苏联和其它国家都对电位器的理論、計算方法和制造工艺过程等大力地进行了研究。但在文献里仅在談及用在計算装置、远距装置及其它装置中的电位器元件时，以少量的参考資料的形式对某些問題作了讲述。其中，E. И. 德米特利耶夫（Дмитриев）、Б. И. 斯坦尼斯拉夫斯基（Станиславский）、Н. И. 契斯加可夫（Чистяков）、Д. А. 布拉斯拉夫斯基（Браславский）、А. Д. 岡察洛夫（Гончаров）、С. М. 普拉霍特尼克（Плахотник）、Ф. Е. 叶夫捷耶夫（Евтеев）、В. А. 儒可夫（Жуков）等人，在自己的著作中都會談到用在无綫电装置及电气测量仪表中的綫圈和电阻制造的一般原理。有关綫繞可变电阻及电位器的簡略介紹可在各种科技情报和期刊文献中找到，但所有这些資料都沒有对制造电位器的工艺过程的特点和提高其准确度及工作可靠性予以全面的論述。

作者在1958年出版的《电位器制造工艺学》^[1]一书，虽然闡述了电位器及其元件制造工艺的一系列問題，但书中所研究的

主要是单轉电位器。关于多轉电位器,书中也只作了簡要的叙述,而薄膜电位器的結構和制造方法則完全未曾談及。还必須指出,該书的一系列論述都已过时。

在本书中,除了讲述电位器的現代制造方法外,还将讲述各种主要类型电位器的基本原理、設計和計算方法。本书对电位器的准确度問題、对在电位器装置中所发生的現象的物理本质問題給予了极大的注意。期刊上有关这些問題的叙述是零星、片断的,有时同一个概念(例如电位器的綫性度)却有着不同的解釋。作者力图把这些資料系統化,并循序連貫地讲述它們。

书中首次提出了各种类型电位器的分类,也提出了电位器的精度等級及統一的術語;給出了制造电位器的材料的分类、对材料的要求和選擇方法;列举了各主要类型电位器的統一的、典型的計算方法。

本书还对最近十年間在外国期刊上发表的有关电位器的設計和制造的許多資料,进行了概括和系統化。

目 录

前言	5
----------	---

第一部分 电位器的設計

第一章 电位器的一般知識	7
--------------------	---

§ 1 功用	7	§ 3 一般技术要求	9
--------------	---	------------------	---

§ 2 作用原理	8
----------------	---

第二章 电位器的理論基础	12
--------------------	----

§ 1 綫性度	12	§ 4 精度	21
---------------	----	--------------	----

§ 2 阶梯性	14	§ 5 《噪声》	25
---------------	----	----------------	----

§ 3 分辨力	17
---------------	----

第三章 电位器綫路的工作	29
--------------------	----

§ 1 电位器在空載和負載	§ 2 帶負載电位器的誤差	36
---------------	---------------------	----

状态下的工作	29	§ 3 减少誤差的方法	47
--------------	----	-------------------	----

第四章 电位器的結構	54
------------------	----

§ 1 电位器的类型及其結	§ 3 制造电位器的材料	80
---------------	--------------------	----

构分类	54	§ 4 高精度电位器的設計	
-----------	----	---------------	--

§ 2 術語及精度等級	76	方法	106
-------------------	----	----------	-----

第五章 电位器的計算	122
------------------	-----

§ 1 綫性电位器的計算	§ 4 特型骨架电位器的	
--------------	--------------	--

方法	123	計算	137
----------	-----	----------	-----

§ 2 函数电位器的計算	§ 5 单轉电位器旋轉力距	
--------------	---------------	--

方法	125	的計算	141
----------	-----	-----------	-----

§ 3 分流电位器的計算	134	§ 6 多轉电位器的計算	143
--------------------	-----	--------------------	-----

第六章 电位器的应用	152
------------------	-----

§ 1 电位器用作电气远距	§ 2 在計算裝置中完成数	
---------------	---------------	--

傳輸的傳感器和随动	学运算	153
-----------	-----------	-----

裝置的元件	152
-------------	-----

第二部分 电位器的生产

第七章 电位器用的导线	161
§ 1 原始误差分析	161
§ 2 拉丝	165
§ 3 使用电抛光法按欧姆 电阻校准导线	167
第八章 骨架制造	179
§ 1 由于骨架制造不准确 所产生的电位器误差	180
§ 2 非金属骨架	188
§ 3 金属骨架	201
第九章 电阻元件的制造	207
§ 1 绕线过程精度分析	208
§ 2 绕线用设备	221
§ 3 绕线作业机械化和自 动化的前景	241
§ 4 电位器电阻函数的修整	246
第十章 接触道的清理	260
§ 1 使用磨料清理	261
§ 2 化学清理法	262
§ 3 自动化清理法	263
§ 4 喷浆清理法	266
§ 5 超声波清理	268
第十一章 装配	271
§ 1 电阻元件的浸渍及其 安装	271
§ 2 抽头连接方法	274
第十二章 电位器主要参数的检查	282
§ 1 分辨力的检查	284
§ 2 线性特性的检查	286
§ 3 接触可靠性的检查	300
§ 4 总电阻的检查	302
第十三章 多转电位器的制造	302
§ 1 在程序控制机床上用 电仿型绕制电阻元件	303
§ 2 壳体的浇注	320
§ 3 装配	325
第十四章 单转和多转电位器触头和主要安装零件的制造	327
§ 1 触头的制造	327
§ 2 壳体的制造	331
§ 3 轴和小轴的制造	336
第十五章 金属膜电位器的制造	340
§ 1 电阻元件的制造	340
§ 2 工作道的修正	346
§ 3 装配和检验	350
参考文献	355

73.811
290

电 位 器

[苏联] A. T. 别列夫采夫 著

孙 德 辉 译

zk597/17



国防工业出版社

1965

內 容 簡 介

本书讲述电位器的理論基础、計算方法和設計方法，以及电位器的制造工艺等。书中列举了在自动控制和远距傳輸綫路中应用电位器来完成数学运算的例子。

在本书介紹电位器制造工艺的部分中，除了讲述一般皆知的工艺过程外，还介紹了多轉电位器及金屬膜电位器制造工艺。

本书可供使用和生产电位器的工程技术人员閱讀。

ПОТЕНЦИОМЕТРЫ

〔苏联〕А. Т. Белевцев

ОБОРОНГИЗ 1962

电 位 器

孙 德 輝 譯

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168¹/₃₂ 印張11¹/₄ 286千字

1965年10月第一版 1965年10月第一次印刷 印数：0,001—3,300册

統一书号：15034·942 定价：(科六) 1.70元

目 录

前言	5
----------	---

第一部分 电位器的設計

第一章 电位器的一般知識	7
§ 1 功用	7
§ 2 作用原理	8
§ 3 一般技术要求	9
第二章 电位器的理論基础	12
§ 1 綫性度	12
§ 2 阶梯性	14
§ 3 分辨力	17
§ 4 精度	21
§ 5 《噪声》	25
第三章 电位器綫路的工作	29
§ 1 电位器在空載和負載 状态下的工作	29
§ 2 帶負載电位器的誤差	36
§ 3 减少誤差的方法	47
第四章 电位器的結構	54
§ 1 电位器的类型及其結 构分类	54
§ 2 術語及精度等級	76
§ 3 制造电位器的材料	80
§ 4 高精度电位器的設計 方法	106
第五章 电位器的計算	122
§ 1 綫性电位器的計算 方法	123
§ 2 函数电位器的計算 方法	125
§ 3 分流电位器的計算	134
§ 4 特型骨架电位器的 計算	137
§ 5 单轉电位器旋轉力距 的計算	141
§ 6 多轉电位器的計算	143
第六章 电位器的应用	152
§ 1 电位器用作电气远距 傳輸的傳感器和随动 裝置的元件	152
§ 2 在計算裝置中完成数 学运算	153

第二部分 电位器的生产

第七章 电位器用的导线	161
§ 1 原始误差分析	161
§ 2 拉丝	165
§ 3 使用电抛光法按欧姆电阻校准导线	167
第八章 骨架制造	179
§ 1 由于骨架制造不准确所产生的电位器误差	180
§ 2 非金属骨架	188
§ 3 金属骨架	201
第九章 电阻元件的制造	207
§ 1 绕线过程精度分析	208
§ 2 绕线用设备	221
§ 3 绕线作业机械化和自动化的前景	241
§ 4 电位器电阻函数的修整	246
第十章 接触道的清理	260
§ 1 使用磨料清理	261
§ 2 化学清理法	262
§ 3 自动化清理法	263
§ 4 喷浆清理法	266
§ 5 超声波清理	268
第十一章 装配	271
§ 1 电阻元件的浸渍及其安装	271
§ 2 抽头连接方法	274
第十二章 电位器主要参数的检查	282
§ 1 分辨力的检查	284
§ 2 线性特性的检查	286
§ 3 接触可靠性的检查	300
§ 4 总电阻的检查	302
第十三章 多转电位器的制造	302
§ 1 在程序控制机床上用电仿型绕制电阻元件	303
§ 2 壳体的浇注	320
§ 3 装配	325
第十四章 单转和多转电位器触头和主要安装零件的制造	327
§ 1 触头的制造	327
§ 2 壳体的制造	331
§ 3 轴和小轴的制造	336
第十五章 金属膜电位器的制造	340
§ 1 电阻元件的制造	340
§ 2 工作道的修正	346
§ 3 装配和检验	350
参考文献	355

11880

前 言

在各种自动装置及計算技术系統中，除了采用旋轉变压器、测速发电机、电量的各种自动响应元件及各种指示器等之外，还广泛地使用着电位器。在自动駕駛仪、自动领航仪、远距罗盘、电动油量表与电动耗油量表、远距溫度表及其它遙测装置中，以及在雷达站和平面位置指示器中都使用电位器。

电位器的設計，特别是它的制造，还存在很大的困难，这是由于对电位器提出的各种要求而引起的。这些要求是：电位器必須在恶劣的气候和溫度条件下，在轉速每分钟达数千轉的情况下能可靠地工作，同时还必須保持其电气性能稳定和高度准确。

最近8~10年，在苏联和其它国家都对电位器的理論、計算方法和制造工艺过程等大力地进行了研究。但在文献里仅在談及用在計算装置、远距装置及其它装置中的电位器元件时，以少量的参考資料的形式对某些問題作了讲述。其中，E. И. 德米特利耶夫（Дмитриев）、Б. И. 斯坦尼斯拉夫斯基（Станиславский）、Н. И. 契斯加可夫（Чистяков）、Д. А. 布拉斯拉夫斯基（Браславский）、А. Д. 岡察洛夫（Гончаров）、С. М. 普拉霍特尼克（Плахотник）、Ф. Е. 叶夫捷耶夫（Евтеев）、В. А. 儒可夫（Жуков）等人，在自己的著作中都會談到用在无綫电装置及电气测量仪表中的綫圈和电阻制造的一般原理。有关綫繞可变电阻及电位器的簡略介紹可在各种科技情报和期刊文献中找到，但所有这些資料都沒有对制造电位器的工艺过程的特点和提高其准确度及工作可靠性予以全面的論述。

作者在1958年出版的《电位器制造工艺学》^[1]一书，虽然闡述了电位器及其元件制造工艺的一系列問題，但书中所研究的

主要是单轉电位器。关于多轉电位器，书中也只作了簡要的敘述，而薄膜电位器的結構和制造方法則完全未曾談及。还必須指出，該书的一系列論述都已过时。

在本书中，除了讲述电位器的現代制造方法外，还将讲述各种主要类型电位器的基本原理、設計和計算方法。本书对电位器的准确度問題、对在电位器装置中所發生的現象的物理本质問題給予了极大的注意。期刊上有关这些問題的敘述是零星、片断的，有时同一个概念（例如电位器的綫性度）却有着不同的解釋。作者力图把这些資料系統化，并循序連貫地讲述它們。

书中首次提出了各种类型电位器的分类，也提出了电位器的精度等級及統一的術語；給出了制造电位器的材料的分类、对材料的要求和選擇方法；列举了各主要类型电位器的統一的、典型的計算方法。

本书还对最近十年間在外国期刊上发表的有关电位器的設計和制造的許多資料，进行了概括和系統化。

第一部分 电位器的設計

第 一 章

电位器的一般知識

§1 功 用

在計算裝置电路、自动随动系統及測量电桥綫路中应用着各种电位器。

在大多数情况下，电位器是作为角位移及綫位移傳感器并把这些位移变换成在数量上与它們相应的电压，也作为分压器接在电路中。

电位器在計算裝置中用来完成数学运算，而在随动系統中，則主要用来实现运动鏈中相互沒有机械連系的各元件間的《剛性》連接。

如果应予变换的位移是单值的，即位移永远指向一方，則使用普通（不可逆的）电位器；如果位移是双值的，則使用可逆电位器。

在測量桥路及某些其他电路中，电位器是串接在电路中的，在这种情况下，电位器作为变阻器，并将綫位移或角位移变换成与它們相应的电流变化。电位器繞組的总电阻数值及其特性由电位器所工作的电路来决定。

电位器用于直流电路或低頻交流电路中。

§2 作用原理

最简单的电位器（滑线变阻器）乃是具有很大欧姆电阻和滑动触头的一条导线，利用滑动触头可将给定电压●的任一部分送入电路中。

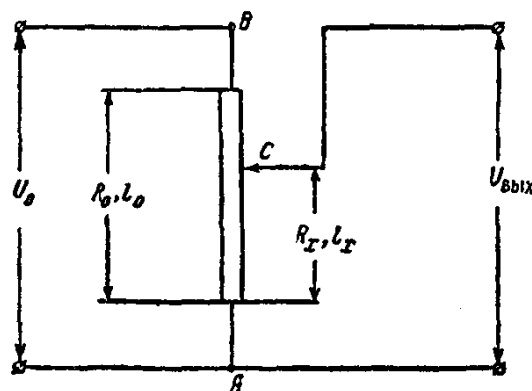


图1.1 电位器接线图。

这种电位器的接线图示于图 1.1。电压 U_0 接到电位器的 A 和 B 点；而输出电压 $U_{\text{вых}}$ 则取自 A 、 B 两点之一（例如 A 点）和滑动触头（滑臂的 C 点）。

对于无负载电位器

$$U_{\text{вых}} = U_0 \frac{R_x}{R_0}, \quad (1.1)$$

式中 R_x ——电位器上 A 和 C 两点间的电阻（现用电阻）；

R_0 ——电位器 A 和 B 两点间的总电阻。

因为 R_x 的数值取决于滑臂 C 相对于 A 和 B 点的位置，所以 $U_{\text{вых}}$ 是滑臂位置的函数。

如果在滑臂移动时电位器的电阻按线性规律变化，那末，电阻 R_x 和该位移的数值 l_x 间便存在着正比关系

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{l_x}{l_0}, \quad (1.2)$$

式中 l_x ——电位器 A 和 C 两点间的长度；

l_0 ——电位器 A 和 B 两点间的总工作长度。

这时，输出电压将正比于滑臂的位移：

$$U_{\text{вых}} = U_0 \frac{l_x}{l_0}. \quad (1.3)$$

● 通常也将用来按补偿法测量电量（电动势、电压、功率等）以及用来测量非电量（借助于各种不同的传感器）的仪器称为电位器。这样的仪器通常是一电阻箱，该电阻箱具有调节插簧和在电压变化时用以保持工作电流数值不变的装置（双十进制电路、分流十进制电路等）。对这种电位器本书不予研究。

如果电位器的电阻按比較复杂的規律

$$R_x = R_0 f\left(\frac{l_x}{l_0}\right) \quad (1.4)$$

变化 (式中 f —— 某一函数), 那末輸出电压将是

$$U_{\text{BHX}} = U_0 f\left(\frac{l_x}{l_0}\right). \quad (1.5)$$

因之, 借助于电阻按某种規律分布的电位器, 不仅可以將机械量变换成电量, 而且还可以实现这些量間所要求的函数关系。

从結構上來說, 电位器●乃是在絕緣骨架上繞上一排具有高欧姆电阻的細絕緣导綫所构成的一种装置。滑臂沿着除去了絕緣层的导綫表面滑动 (图 1.2), 滑臂通常是由彈性材料制成的一端弯曲的小金属条或金属絲。当滑臂沿电位器繞組移动时, 它的弯曲端应在脱离前一匝导綫前就和下一匝导綫接触。因此, 在滑臂由一匝导綫滑至另一匝导綫的过渡瞬間, 接触并未中断。

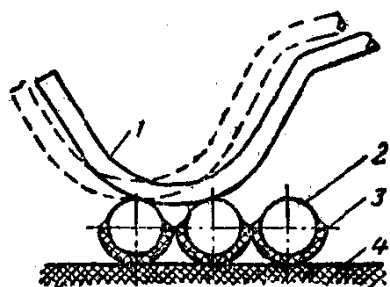


图1.2 滑臂沿电位器繞組移动情况图:

1—滑臂; 2—导綫; 3—絕緣层 (瓷漆); 4—骨架。

§3 一般技术要求

綫繞电位器的特点可以用下面的参数来表征: 欧姆电阻值, 几何尺寸, 电阻的变化規律, 綫性度, 总电阻公差, 电阻和工作状态的稳定性, 繞組对于壳体的絕緣电阻, 最大耗散功率, 工作轉矩数值, 在給定条件下的寿命, 以及电位器軸所必需的轉速和在各种不同使用条件下的工作制度。

1) 总欧姆电阻

广泛应用的和高精度的电位器, 通常其总电阻約在 50000 欧姆以下, 在个别情况下也在 1000000 欧姆以下; 多轉綫繞电位器

● 变阻器和电位器的区别不在結構方面, 而仅在綫路的接法上, 因此, 今后只使用电位器这一术语。

的总电阻可达 500000 欧姆，而在某些情况下则可达 25000000 欧姆；单轉綫繞电位器的最小总电阻为 1 欧姆。

2) 尺寸

綫繞电位器的尺寸取决于总电阻数值、給定的綫性度数值（參閱下述）及額定耗散功率。环形电位器骨架的外徑通常等于 10~80 毫米，在个别情况下則可达 450 毫米。这种电位器骨架的高度为 5~16 毫米。条形电位器的长度为 60~175 毫米，在个别情况下达 250 毫米。这些电位器骨架的寬度为 10~30 毫米，很少达到 100 毫米；骨架厚度为 0.5~1 毫米，有时达 2.5 毫米。

3) 电阻变化規律

当滑臂沿繞組移动时，随电位器的結構不同，其电阻可按任一給定規律变化，这些規律可能是綫性、对数、二重对数、正余弦、正割等等，这也就是人們常說的电位器《作出》了給定函数。在自动装置和計算装置电路中，經常使用具有綫性关系的电位器或綫性电位器。工业部門生产这些电位器的数量占电位器总产量的 60%。

4) 綫性度

在理想情况下，在同样的滑臂角（或綫）位移下，綫性电位器應該具有恒定的輸出电压变化值。实际上，这永远也达不到，因为大小相同的滑臂位移会引起輸出电压（电阻）的不相同的增量。因之有时就将綫性度或綫性准确度理解为在繞組的任意点上，輸出电压或电阻偏离于《电阻-滑臂角（或綫）位移》直綫的数值。綫性度的概念和与其有关的分辨力的概念将在后面第二章中更詳細地研究。

5) 总电阻公差

各种不同用途的电位器都是按总欧姆电阻值以一定的精度制造的。对于广泛应用的电位器，該精度占額定电阻的 5~10%；对于高精度电位器則占 0.5~1%。在計算綫路中使用的高精度电位器，其总电阻的允許偏差不应超过額定值的 0.1%。