

电位器基础及其应用

〔美〕卡尔·戴维·托德 P.E

刘 盛 武 等译

国防工业出版社

73.2736
189

电位器基础及其应用

〔美〕卡尔 戴维·托德 D. E. 著

刘盛武 等译



国防工业出版社

8510065

2105/12
内 容 简 介

本书是美国卡尔·戴维·托德 P. E. (CARL DAVID TODD P. E.) 所著《电位器手册》(THE POTENTIOMETER HANDBOOK) 1975年第一版的中译本。

全书分九章。前三章对电位器的发展情况作了一般介绍,着重论述电位器的性能参数。第四章至第六章阐述了电位器的各种应用基础。第七、八、九三章系统地介绍了电位器构造形式与特点、安装方法指南以及由于使用不当对电位器可能造成的各种损坏。附录列有美国可变电阻元件协会颁布的电位器工业标准、美国电位器军用标准的选录等。本书不仅内容丰富实用,而且采用了大量的图表曲线(全书共有插图230余幅),给人以清晰明确的概念,并为读者提供了有实用价值的技术资料与数据。

读者对象为从事控制系统设计与仪器仪表电子线路设计的科技人员、大专院校师生和具有中等以上文化水平的有关人员。

THE POTENTIOMETER HANDBOOK

Carl David Todd P. E.

Mcgraw-Hill book Company

*

电位器基础及其应用

〔美〕卡尔·戴维·托德 D. E. 著

刘盛武 等译

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张13⁷/₈ 346千字

1984年3月第一版 1984年3月第一次印刷 印数: 0,001—9,000册

统一书号: 15034·2645 定价: 1.70元

2105/12

前 言

电位器是在控制系统、仪器仪表、电子设备、电气测量装置、电子计算机等技术领域获得广泛应用的简单通用的机电元件。六十年代初期以来，电位器技术迅速发展，构造形式多种多样，大体上可分为线绕电位器、接触式非线绕电位器与无接触式电位器三大类。

线绕电位器的生产发展已有多年历史。它具有电阻温度系数较低、电阻值稳定性好、功率负荷性能较好以及在交、直流电路中使用情况均良好等优点，故迄今仍在普遍应用。但因分辨力低、动噪声较大和高频性能差，从七十年代起，国外出现在某些使用场合由精密非线绕电位器逐步取代精密线绕电位器的趋势。

五十年代末及六十年代初，开始对接触式非线绕电位器进行广泛深入的研究。七十年代随着厚膜技术与塑料制造工艺的发展，先后出现金属陶瓷电位器与导电塑料电位器。前者电阻值范围宽广，具有无限分辨力，稳定性好，静噪声与接触电阻变化均较小，频率响应性能也好，电阻温度系数较小，工作寿命长，是最有发展前途的一种新型的非线绕电位器。导电塑料电位器耐潮湿性能较差，稳定性不如金属陶瓷电位器，但耐磨性能优异，工作寿命很长，接触电阻变化小，高频性能好，可获得负温度系数，以及价廉等，故在国外也得到广泛的应用。近年来发展的金属体（箔）电阻元件，其主要优点是可获得很低的温度系数，频率响应性能很好，因此在一些环境温度变化是关键性因素的场所，采用这种类型的电位器比较适合。

六十年代末至七十年代初，国外对无接触式电位器进行了研制，其中光电式电位器取得了成果并在进一步研究。

七十年代国外微调电位器发展较快，新品种、新材料、新结构、新工艺不断出现。其应用更是日益广泛。例如在要求精确的

电阻值、电压值或一些需要作功能调节的电路中，都分别采用微调电位器。微调电位器在电子线路中的典型应用，包括晶体管偏压的调节、 RC 网络时间常数的调节、控制电路基准电压的调定、放大器增益的调节以及分压电路电流值的调节与限定等。

电位器在设计和制作上的缺陷，或安装使用方法的不当，都将导致电位器的损坏，从而造成整个系统出现故障。因此从经济实用观点看，提高元件工作的可靠性，是确保系统正常工作减少故障率的重要的先决条件。目前线绕电位器在结构上日益向小型和精密的方向发展。为了实现低噪声、长寿命，国外对导线材料、电刷材料及其匹配情况，对电刷的几何形状、数目及接触压力，电刷轨道的润滑以及密封装置设计等，均做过大量的试验与分析研究。对非线绕电位器，国外多采用下述工艺和结构改进措施来降低噪声和提高接触稳定性与可靠性：精制电阻浆料，使导电相材料的微粒均匀分布；提高基体（基片）表面光洁度并改进结构设计，使电刷接点与电阻轨接触良好并保持压力均匀一致，采用多指电刷结构等。对以上各点，本书均作了重点论述。

本书是美国包恩图书公司（BOURNS, INC.）1975 年出版的《电位器手册》（THE POTENTIAL METER HAND BOOK）的中译本。它概括了线绕与非线绕电位器的工作原理、名词术语、性能参数、构造形式与特点、常见的应用方式及应对它提出的技术要求与测试方法。附录中全文转载美国可变电阻元件协会（VARIABLE RESISTIVE COMPONENTS INSTITUTE）的电位器工业标准，并重点摘录了美国电位器军用标准中有关条款。由于无接触式电位器目前仍处在研究发展阶段，本书对它未加提及。本书对我国广大从事电位器生产与应用的工程技术人员及大专院校师生，是一本很有实用参考价值的科技书。

本书第九章原文用拟人手法描写，且多幽默诙谐语，与全书行文风格迥异，与我国科技书籍读者的习惯亦相径庭。经商定，由译者根据信守原文内容、文字通俗简明的原则作了改写，谨此说明。

参加本书翻译工作的有孙希任、刘盛武、徐荣林、洪益群、李德政、林桂荣、张承章等同志。由刘盛武同志负责全书审校工作。三机部三〇一所沈祖显总工程师对原书技术内容进行过审阅，该所方太南同志负责组织本书的翻译与协调工作。其它一些部门和同志亦对本书的翻译工作给予大力支持，在此一并致谢。

序 言

数十年来随着晶体管的出现，电子技术获得了迅速发展，每年创造出数千种新的电子线路，用来调整或控制这些电路的可变电阻元件也同时得到发展。

可变电阻元件的使用数量已大大地增加了，这与六十年代的一些预言者的推测相反，那些预言者认为集成电路技术小型化的结果可能是对这些元件的一种威胁。电位器在可预见的未来一段时期内，仍将具有很强的生命力。这种乐观的展望对于用户和工业应用来讲，在那些需要用电位器进行微调并要考虑经济效果以及有必要进行人机交联控制的场合，就显得尤为正确。

过去已出版了许多有关电位器的论文、小册子和标准，但是对这些已得到广泛应用的电子器件还没有单行的或综合性的实用资料。选写本电位器手册的目的是要填补这一空白。

本书的目的之一，是要增进电位器制造商和用户之间的联系和交流。为此，本书包括了电位器各种技术性能规范的解释和测试方法。统一对术语的理解是相互联系交流的关键。由于这个原因，书中将读者不很熟悉的和推荐使用的两方面术语均搜集在内，重点是后者。希望这点将为方便而准确的对话提供基础。书中有二百三十多幅照片、曲线与插图解释，阐明了一些重要的概念。

选写本书是假定读者已具有一定的电子学和数学方面的基础知识，但非专业性的读者也能看懂基本的定义和概念。本书的主要部分，是为系统和电路设计人员及元件方面的工程技术人员在设计 and 选用元件工作中作为一种实用的辅助手段而写的。它是一种以实际应用概念和解决问题为目标的重要参考资料和工作手册。对学生来说，它介绍了基本的元件及其最常用的使用方法和基本术语。本书中有相当多的有关实际产品设计和制造工艺方面

的资料，可供用户了解现有电位器在材料、设计和工艺上的基本差别。这将进一步提高用户对成本-性能关系的评价能力。因此，可避免对产品提出过高的技术要求，并可收到可变电阻元件的经济实用效益。

书中包括了多年来所积累的经验 and 设计准则，象任何其它条款一样，这些准则往往是通过一些失败的教训或使用上的错误而发现或发展的。大多数章节都写了内容提要性的小结，便于复习与参考。

第九章论及使用不当对电位器的损坏，是防止由于不正确的使用方法而导致电位器损坏的带约束性的一个杂集。这对于防止由人为因素所致的一些偶然性的严重事故，是一种精心的解决办法。在这方面毋须多说，只要读一读这本书或者至少是阅读一下第九章，就可避免发生各种事故。

鼓励并欢迎读者对本书提出改进意见，我们将在以后的版本中把这些宝贵的意见和与电位器设计及应用方面的发展水平相应的先进内容一起加以采纳。

目 录

第一章 电位器简介	1
电位器的起源	1
电位器的发展概况	11
属名和商标	16
第二章 电气参数	18
引言	18
总电阻值 TR	19
绝对最小电阻 MR	20
终端电阻 ER	21
最小电压比和端电压比	22
接触电阻 CR	24
接触电阻变化 CRV	27
等效噪声电阻 ENR	30
等效噪声电阻和接触电阻变化	33
输出平滑性 OS	34
可调性 A	35
电阻温度系数 TC	37
分辨力	39
符合度	42
绝对符合度	47
线性度	47
额定功率	56
绝缘电阻 R_I	56
电位器电气参数汇总表	57
第三章 应用基础	59
引言	59
分压器式	59
可变电流变阻器式	76

数据输入	84
应用基础汇总表	89
第四章 电位器用作电路调整器件	90
引言	90
用电位器还是用固定电阻器	90
电源中的应用	91
运算放大器中的应用	96
数字电路中的应用	102
仪器中的应用	106
第五章 电位器用作控制器件	113
引言	113
控制基础	114
仪器控制	118
音频控制	124
其它控制	125
小结	130
第六章 电位器用作精密器件	132
引言	132
工作特性	132
额定功率	132
频率特性	135
线性函数	138
非线性函数	140
电压跟踪误差	147
闭环函数	148
机械参数	148
相位调整	152
非线绕精密电位器	153
线位移传感器	157
低转矩电位器	158
粗/精两用调节	159
位置指示与传输	160
X-22 A 垂直与短距起落飞机	162

X

树木生长测量仪	163
分选电桥	164
多通道磁带记录仪	165
第七章 结构零件和选用指南	168
引言	168
电阻元件	168
引出方式	191
触点	196
驱动机构	202
外壳	208
本章内容概括	210
选用指南简表	210
第八章 组装指南	216
引言	216
预先考虑好组装要求	217
确定可达性的要求	218
考虑其它使组装受限制的因素	219
选择合适的结构形式	220
安装方法	226
应力与应变	230
焊接注意事项	231
溶剂	232
封装	233
第九章 若干注意事项	235
第一类 机械操作方面的错误	235
第二类 焊接工艺方面的错误	240
第三类 电气方面的错误	243
使用电位器注意事项汇总表	251
附录 I 可变电阻元件协会标准	253
附录 II 军用规范	360
附录 III 参考书目录	391
附录 IV 米制英制换算表	395
附录 V 缩写词和数学符号	396
名词术语英汉对照	400

第一章 电位器简介

电位器的起源

早在本世纪之前三十多年，已经有了电位器。图 1-1 所示是二十世纪初期电位器的雏型——滑线变阻器。

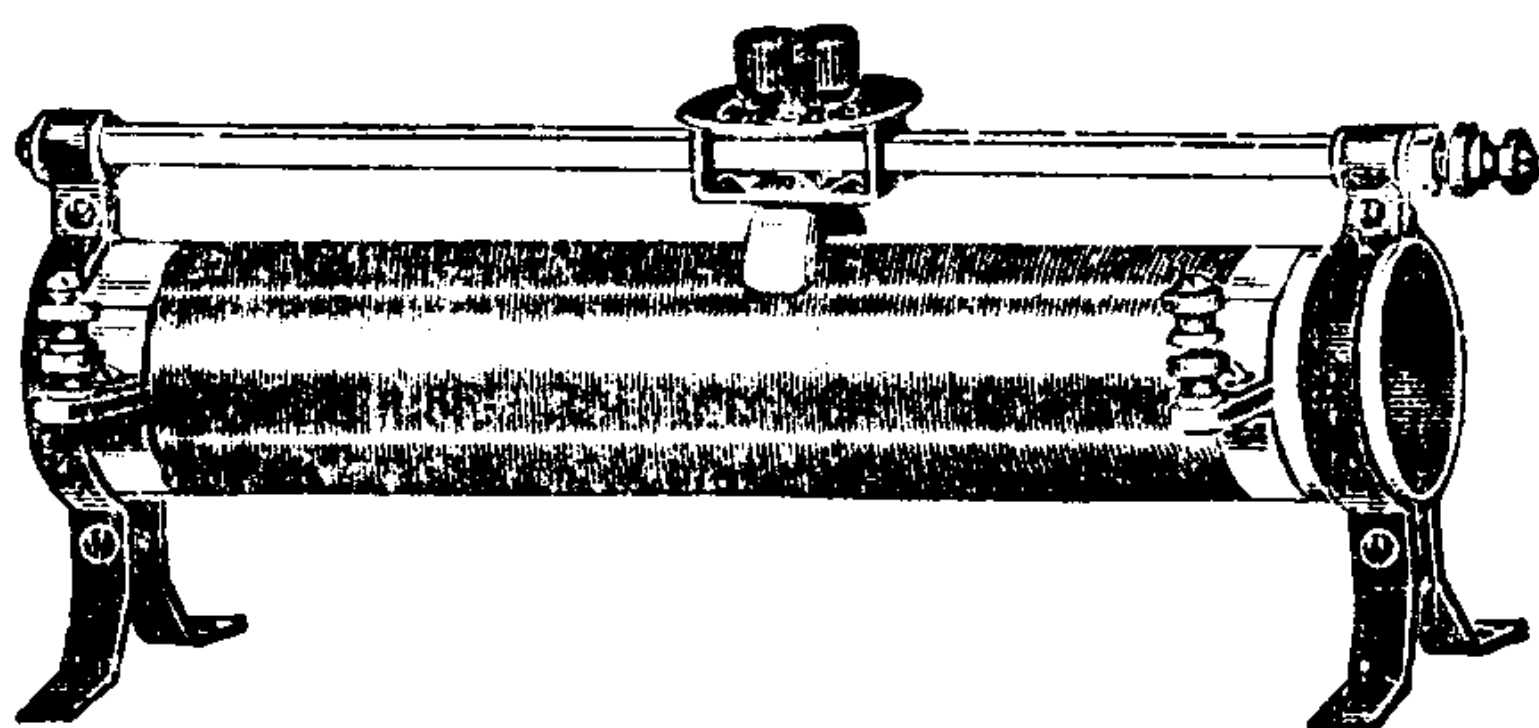


图1-1 二十世纪初期的滑线变阻器

当高尔瓦尼 (Galvani) 和伏特 (Volta) 发现可用化学方法产生电能时 (公元 1800 年)，他们也许很少想到电路内的参数是可调的，到 1827 年欧姆 (Ohm) 提出他的著名定律的时候，世界各地的物理学家制成了第一批简陋的可变电阻元件。尽管它的起源尚有争议，但可以肯定的是，早期的可变电阻元件同现有的并为近代工程人员所普遍采用的元件很少相似。十九世纪末，只是在实验室里使用这种十分笨重而庞大的仪器。

最早的一种可变电阻元件是如图 1-2 所示的碳堆变阻器。每个碳块约两英寸见方，四分之一英寸厚。将这些碳块安装在一个绝缘托架内，在碳堆中间任何位置放置的金属块可用作连接外部电路的接线柱。电阻值的微量调节是通过螺栓的松紧作用以改变加在碳堆上的机械压力来实现的。调节螺栓穿过绝缘托架的一端压到碳堆末端的金属块上，当压力增加时，碳堆被压紧，两相邻

8510065

碳块之间的接触电阻减少，因而使两终端间的总电阻值减少。电阻值较大的变化，则通过减少碳块并代之以导电的金属块的方法来实现。还可在碳堆两终端之间一些中间位置放置一些带接线柱的金属块，以实现抽头与分压作用。这种早期的可变电阻元件一直使用了许多年，只是在外形上稍有改变。

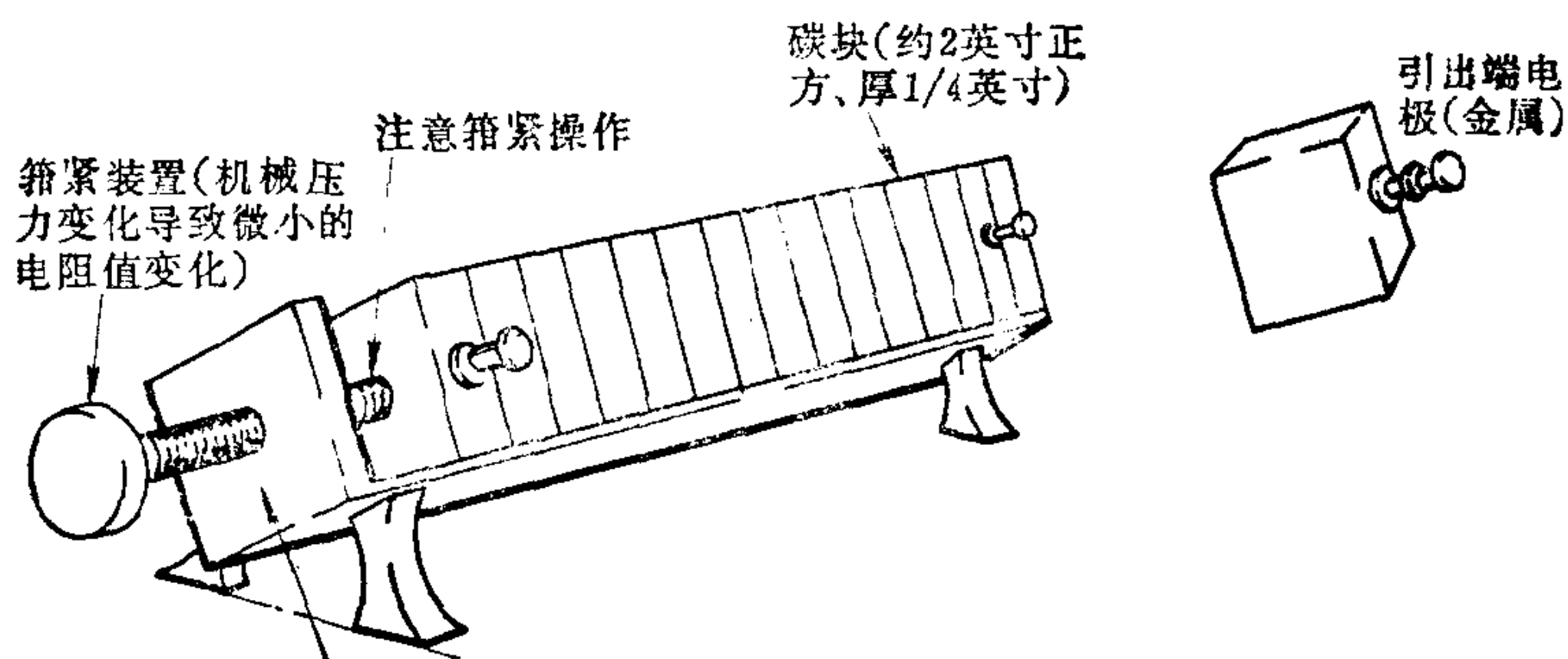


图1-2 十九世纪的碳堆变阻器

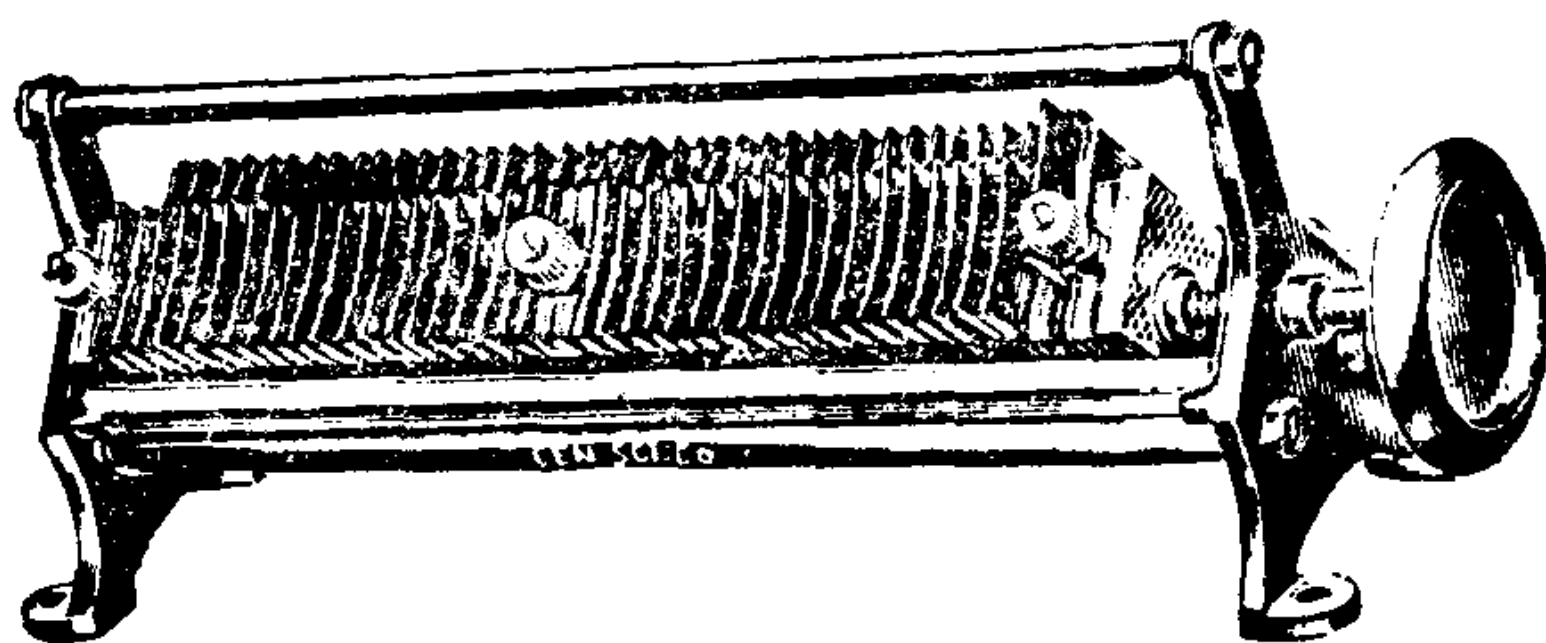


图1-3 二十世纪初期的碳堆变阻器

后来(1929年)又发展为如图1-3所示的型式。这种型式与以前的产品比较有了许多改进，如提高了耗散功率(具有冷却用的散热片)，有较宽的调整范围，而且高阻值下即当碳块较松时，电阻值的稳定性较好。

在四十年代，许多缝纫机电动机的转速是用半英寸圆盘形碳堆来控制的，碳块只有十六分之一英寸厚。从脚踏板到碳堆有一联动机构，供操作改变加在碳堆上的压力，从而改变电机的转速之用。这种碳堆迄今仍在一些电话电路和实验室里应用。

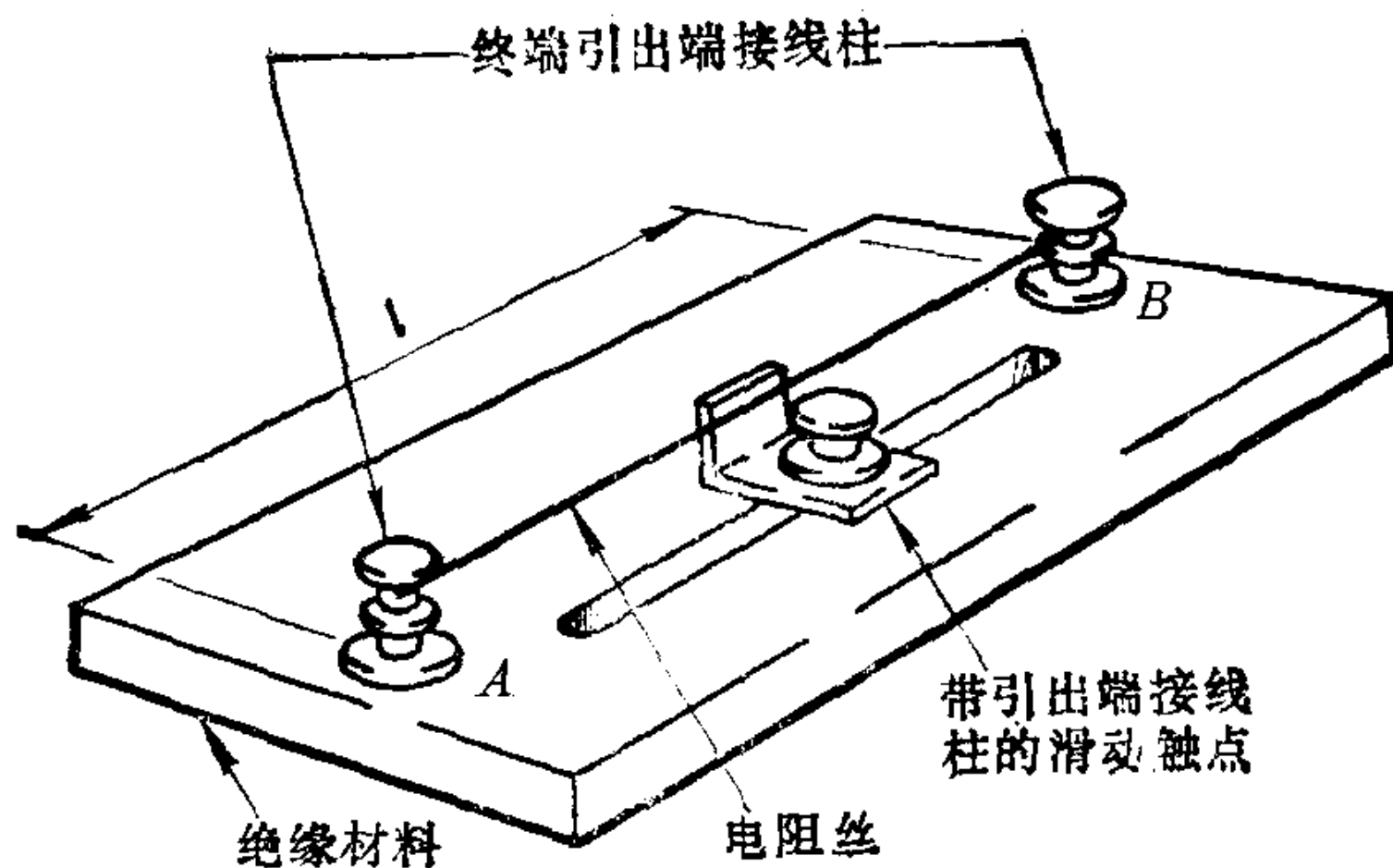


图1-4 简单的滑线可变电阻装置

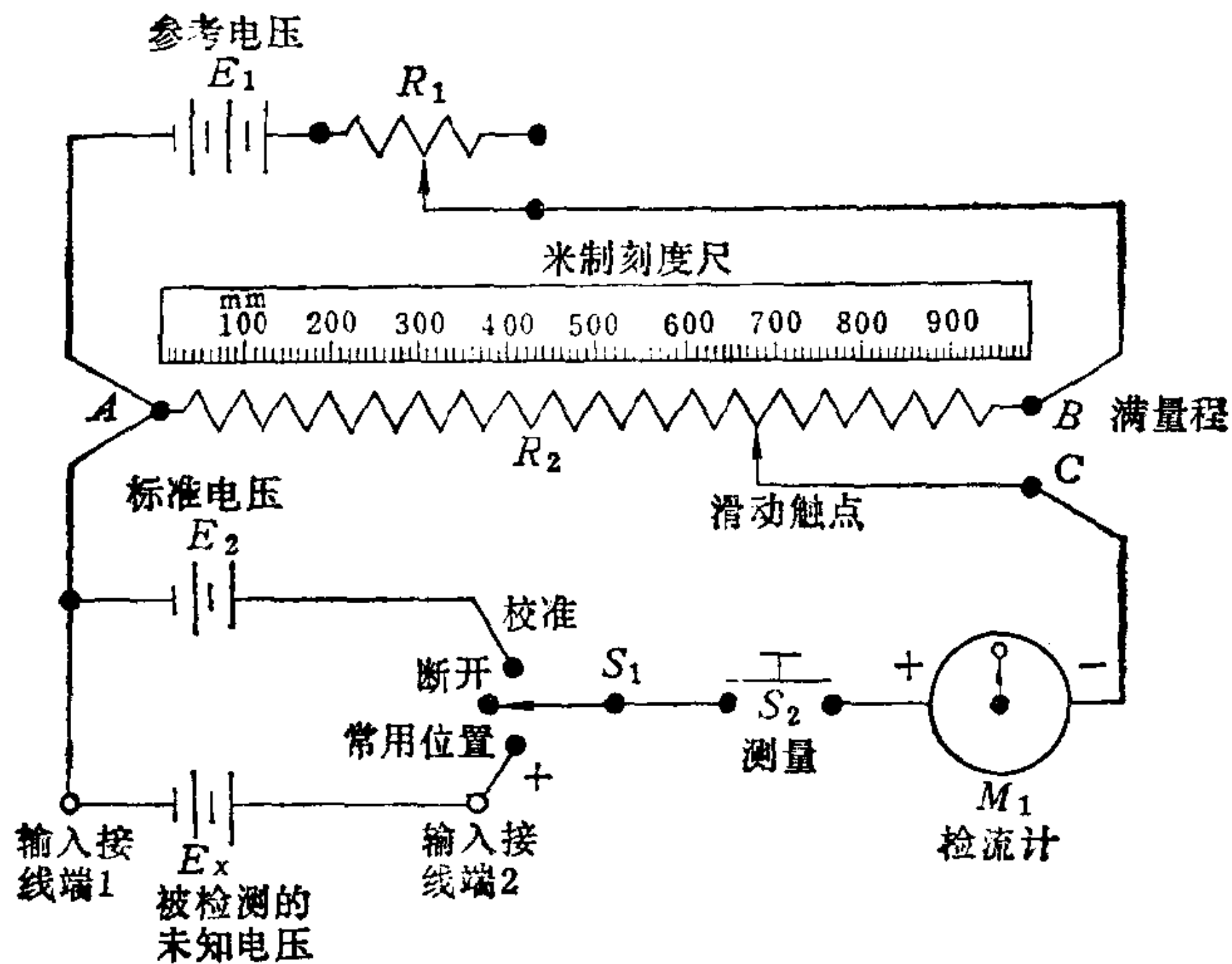


图1-5 测定未知电势的测量仪器

早期可变电阻元件的另一种形式，由一定长度的电阻丝和一滑动触点组成，如图 1-4 所示。图中 A 、 B 间总电阻值的变化，可由选择不同的电阻材料或改变电阻丝的几何形状来实现。这种结构简单的早期装置，在图 1-5 所示型式的测量仪器中最早获得了应用。

这种仪器的功用是测量未知电势 E_x (图 1-5)。在该电路

中采用了两个可变电阻元件 R_1 和 R_2 。注意，将一米尺放在 R_2 的一旁作为决定 R_2 上滑动触点的相对位置的标尺。为保持正常工作，必须使 E_1 大于 E_2 、 E_2 大于 E_x 。仪器最初校准时，把 R_2 上的滑动触点置于满量程（B）的位置，转换开关 S_1 置于校准位置。按下开关 S_2 时调节 R_1 上滑动触点，使检流计 M_1 指零。校准过程中使 E_1 和 E_2 在 R_2 两端所产生的压降相等。在这种情况下，可实现在包含 M_1 的电路部分无电流流过，因而其读数为零。经过校准以后，将 S_1 置于正常位置，电路就可用于测量数值小于 E_2 的未知电势。当未知电势加在输入端 1 和 2 时，检流计指针 M_1 将相对校准后的零位向正或负的方向偏转。假如指针偏向正方向，可将 R_2 的滑动触点由 B 端移向 A 端，直至 M_1 的指针指向零。此时 E_x 的值可由下式算出：

$$E_x = \frac{E_2 R_{AC}}{R'_{T_2}}$$

式中 E_2 为标准电势（伏特）， R'_{T_2} 为 R_2 的总电阻值（欧姆）， R_{AC} 为 R_2 在 A、C 两引出端之间的电阻值（欧姆）。

未知电势 E_x 可由米尺上读数决定。假如加上未知电势后，当滑动触点位于米尺的 700 毫米处，电路中的电流为零，则 R_{AC} 与 R'_{T_2} 的比为：

$$\frac{R_{AC}}{R'_{T_2}} = \frac{7}{10} = 0.7$$

而

$$E_x = 0.7 E_2$$

一种更为简便的方法是把米尺的读数标定成伏特数，这样就可直接读出未知电势值。

如果检流计指针向负的方向偏转，则表示 E_x 大于 E_2 ，因而超出了仪器的测量范围。上述电路虽已大大地简化，但是毫无疑问的是由于在电位测量计中的这种应用方式，故将可变电阻元件通称为电位器。

在现代电子工业中，电位器这一术语是指依靠某种机械运动使电阻元件能提供可变抽头的一种部件，而不是指一个完整的测

量系统。然而象图 1-5 所示的基本的电位器结构，现在还在使用，但利用了线性电阻丝绕成螺旋电位器来增加它的实际工作长度，因而增加了测量范围和精度。图 1-6 是用这一方法制成的现代工业用仪器的照片。

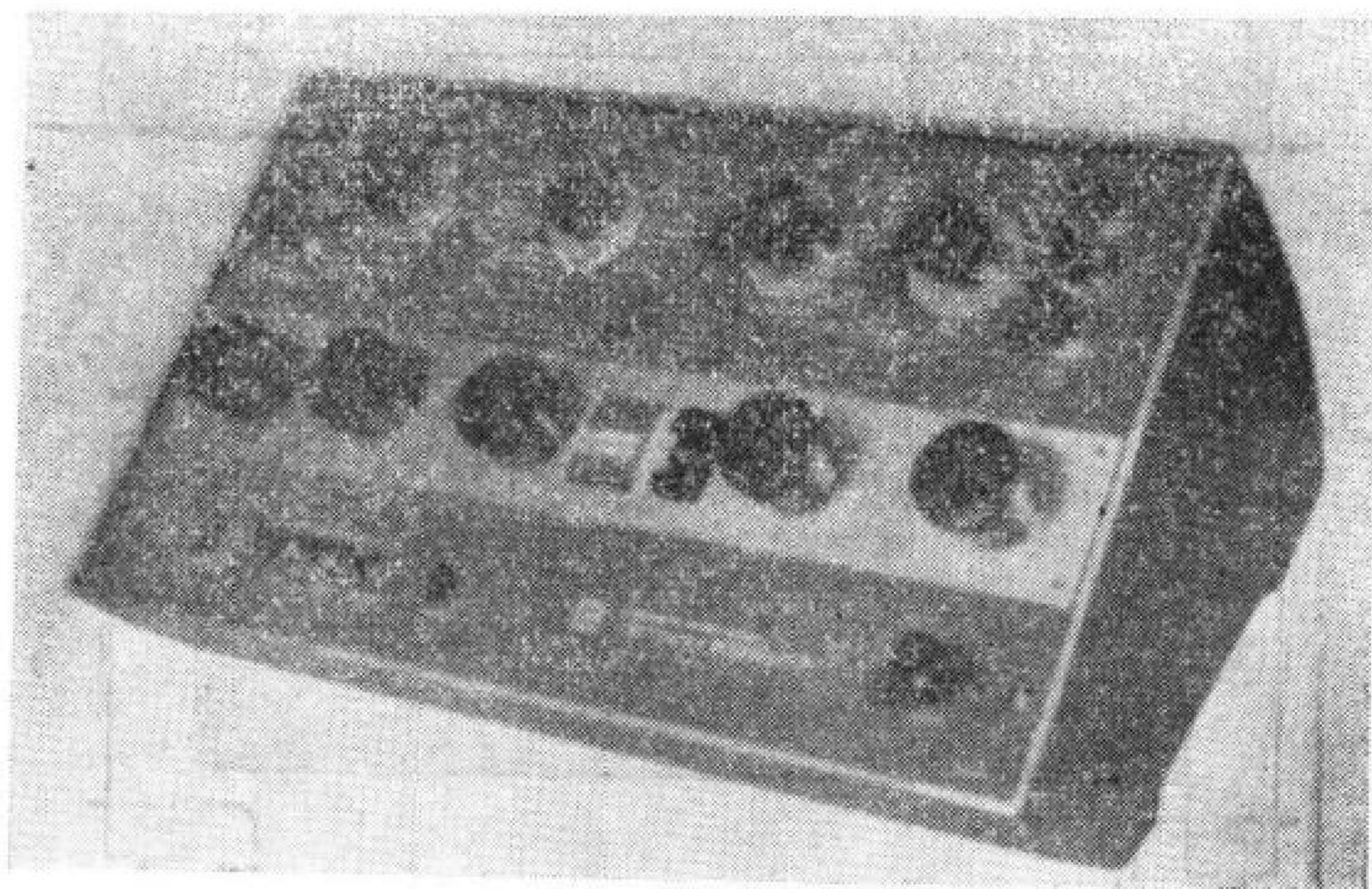


图1-6 精确测量比率的新式仪器

在一定尺寸间隔的限制下要得到足够的电阻值的问题，发明家小乔治（George Little）在 1871 年研制了所谓“改进的变阻器或电阻线圈”，并得到了专利。其结构是把绝缘电阻丝按紧密的螺旋缠绕在绝缘管或骨架上。图 1-7 是其专利草图的复制件。移动着的滑块沿着绝缘层已被抛光的一条工作道与电阻丝接触。也许就是这一专利最终发展为前面图 1-1 所示的可变电阻元件的类型。

1907 年，H. P. 麦克莱庚（H. P. MacLagan）被授予旋转式变阻器的专利。图 1-8 是他的专利草图的复制件。他把电阻丝绕在一片薄的纤维板卡片上，然后组装成一个圆环，在中心柱上装有一滑臂，使其在卡片的边缘与电阻丝接触。

在无线电技术开始兴起的时代（1920～1940 年），产生了需

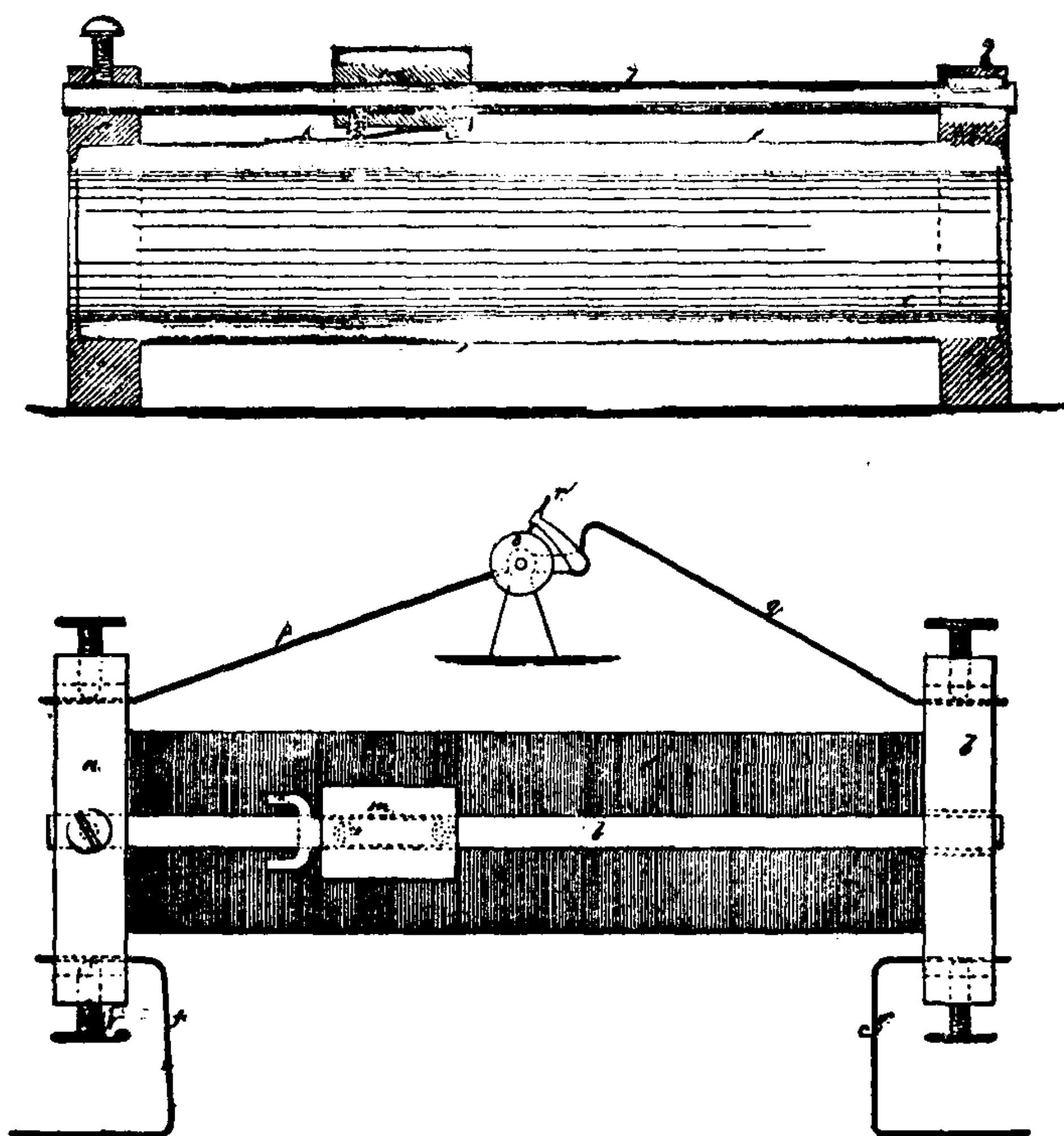


图1-7 一百年前发明的一种可变电阻元件的专利草图

要较小器件的问题。当然对电位器也不例外。对于小型电位器（如音量控制电位器）的需要量日益增长。用金属丝和碳质作为电阻材料的碳质电阻元件更容易进行大量生产。在这一时期，对收音机的要求不很严格，所以碳膜音量控制电位器用得很普遍。

在第二次世界大战中，电子技术的应用得到飞跃的发展。因此需要更多更好的可变电阻元件用于控制、调节和校准装置。元件制造商致力于改进他们的产品并降低成本。值得注意的是A. O. 贝克曼（Arnold O. Beckman）研制成功第一个十圈精密电位器。他在1945年10月提出改进早期成果的专利申请，其专利草图如图1-9所示。