

电測法在汽車 試驗中的应用

H. A. 布哈林等著

戴永亮 卞沛新等譯

人民交通出版社

本書闡述了利用电气測量仪器进行汽車試驗的方法，特別着重道路試驗方面。

本書可供汽車工业及汽車運輸事业工程技術人員閱讀参考。

电測法在汽車試驗中的应用

Н. А. Бухарин, В. К. Голяк

ИСПЫТАНИЕ АВТОМОБИЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ
М А Ш И Н

Москва • 1955



本書根据苏联机器制造工业書籍出版社1955年莫斯科俄文版本譯出

戴永亮 卞沛新等譯

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六号

新华書店發行

人民交通出版社印刷厂印刷

1959年5月北京第一版 1959年5月北京第一次印刷

开本：787×1092 1/32 印張：3 1/2 張

全書：110,000字 印数：1—3,100册

統一書号：15044·4232

定价(11)：0.69元

目 录

原 序	(3)
第一章 汽車試驗時所需測量的主要數值和对器械的要求	(4)
1、道路試驗中應測量的主要數值	(4)
2、对測量器械的要求	(5)
第二章 測量非電數值的電氣器械的總論	(8)
3、对變換器的要求	(8)
4、感應變換器	(9)
5、壓電變換器	(11)
6、接觸變換器	(12)
7、變阻變換器	(13)
8、碳精片變換器	(15)
9、延伸膜式變換器	(15)
10、導綫式變換器	(16)
11、電感變換器	(23)
12、電容變換器	(24)
13、測量電路	(25)
14、測量和記錄仪表(測量器)	(27)
15、計時器	(29)
16、電源	(31)
第三章 汽車牽引性能的測定	(32)
17、確定汽車牽引性能的參數	(32)
18、汽車行駛路程和操縱机构位移的測量	(33)
19、汽車軸轉速和汽車運動速度的測量	(37)
20、汽車加速度的測量	(44)
21、汽車拖鉤牽引力的測量	(48)
22、牽引力試驗用測力拖車	(55)

23、軸上扭矩和功率的測量.....	(61)
24、汽車道路試驗時的某些實驗結果.....	(75)
第四章 汽車制動性能、操縱性和行駛平順性的確定.....	(84)
25、汽車制動性能的確定.....	(84)
26、汽車操縱性和行駛平順性的確定.....	(91)
第五章、汽車零件中變形、力和應力的測量.....	(101)
27、用導線式變換器來確定零件變形的器械.....	(101)
28、測量零件變形舉例.....	(106)
第六章 試驗的準備及其進行.....	(114)
29、器械在汽車上的安裝.....	(114)
30、試驗的準備.....	(118)
31、試驗的進行.....	(120)
參考文獻.....	(123)

原 序

苏联汽車构造的发展要求研究方法的进一步改善。值得特別注意的是科学和技术各部門中广泛采用的机械数值电气測量法。

到現在为止，电气測量法在汽車技术中还没有得到按理說来应有的推广。但是，在汽車和汽車发动机科学研究院（НАМИ）、全苏汽車运输科学研究院（ВНИИАТ）等科学研究机构中，在莫斯科汽車和发动机学院（МАМИ）、莫斯科高等工业学院（МВТУ）、莫斯科汽車公路学院（МАДИ）等高等学校中和工厂中，这种方法已被成功地采用。

应用电气測量可以进行很多过程的同步記錄，这种情况在汽車試驗中具有重要的意义。它使复合性試驗的进行成为可能。

若采用电气測量器械，則甚至在各变换器之間具有相当大的距离时，亦能够集中記錄。它的变换器的特点是比較簡單、尺寸較小，在不同型式的汽車上安装时沒有过大困难。

必須特別指出电气測量器械在高速过程研究中的优越性，在那种情况下，可以用示波器来同时記錄很多随時間而变的汽車参数。

根据电气測量仪具运用的經驗，証明不論在實驗室試驗或道路試驗时，它在汽車所有主要机件和部件的試驗中都可以采用。

这就扩大了深入研究一系列現象和过程的可能性；这些現象和过程在采用非电气器械时是观察者所不可能接触到的。

另一方面，在利用电气測量器械时，只有在熟練而精細的照料之下，才能得到良好的結果。

在本書中，除了我們著者所作的研究以外，还採納了苏联和国外学者和工程师們采用电气測量器械試驗汽車的經驗。

本書的第四章和第六章由H.A. 布哈林执笔，第二章和第五章由B.K. 郭里雅克編写。其余的各章是共同編写的。总校閱人是H.A. 布哈林。

著者識

第一章 汽車試驗時所需測量的

主要數值和對器械的要求

1. 道路試驗中應測量的主要數值

大家都知道，進行汽車的道路試驗^①是為了測定汽車的牽引或制動性能，燃料經濟性、機動性與行駛平順性，在複雜道路條件下的通過性、穩定性、堅固性和可靠性，同時也為了研究在不同使用條件下汽車各總成的工作情況。在進行這些試驗的過程中，需要測量一系列的參數。

例如，在研究汽車的牽引動力學、制動動力學及通過性時，需要測量：行駛路程、時間、速度及加速度（汽車增速時是正值，制動時是負值）、發動機曲軸的轉數和旋轉速度、驅動輪的旋轉速度（研究打滑時）、傳力機構中的力矩（發動機軸的、變速器各軸的、萬向傳動軸的和半軸的）、掛鉤和某些拉桿上的牽引力、操縱機構（踏板、杠桿、拉桿）的位移、某些機構作用的次數和時間以及一些其他的指標。在研究燃料經濟性時，除其他參數外，尚需測量瞬時的及總的燃料消耗量。

在研究汽車的牽引動力學、制動動力學、燃料經濟性及某些其他性能時，對汽車各部位上溫度的測量具有很重要的意義。

在研究汽車的機動性和穩定性時，應測量汽車的實際運動軌跡、迴轉角和車輪偏出角等。

在研究行駛的平順性時，需要記錄汽車彈簧支持部份和非彈簧支持部份的振幅和振頻，振動零件相對於路面的位移、加速度值。

汽車行駛時其零件強度的研究，通常利用測量各零件的變形來進行，其中最複雜的問題是測定旋轉零件的變形，這可以利用導線式變換

^① 有關汽車道路試驗方法的資料參閱B.C.法里克維奇教授和H.B.齊瓦科夫合著的“汽車試驗學”蘇聯機械製造出版社1952年版，書中所選主要是有關電氣儀表的材料。

器。

試驗汽車時所需測量數值的变化几乎都具有不穩定的過程特性。汽車在不平坦的道路上行駛時汽車零件的沖擊負荷及某些部件的振動是變化速度極快的過程。這些過程可以用記錄系統本身的振動數要達到1000赫芝以上的儀器很好地記錄下來。

但是大多數測量數值的变化是比較慢的。在進行汽車動力性及經濟性的道路試驗時，大部分的參數完全可以用記錄系統自由振動數為25~50赫芝（有時更小些）的儀器來記錄。測量某些構件的潤滑油槽溫度時，常常要遇到變化極慢的過程。

根據以上所述可以看出，需要測量的項目和它們变化的性質是多種多樣的。

表1上列示試驗汽車時需要測量的主要參數。

2. 對測量器械的要求

道路試驗用的器械應能滿足下列要求：

1. 儀器的重量及其幾何尺寸應當很小，以便在試驗小型的輕便汽車時也能使用。

2. 構造簡單和運用可靠。儀器的構造最好是萬能式的，以便能裝在不同牌型的汽車上。變換器不需制做複雜的中介裝置，就能以最短的時間裝到汽車各零件和部件上。因變換器可能的安裝不準確而產生的記錄誤差應當很小。

3. 在道路試驗時，整個器械最好能由直流電源（6~24伏）供給，在台上試驗時則最好能用交流電（127~220伏）。

4. 變換器接到測量對象上不應使被量度過程受到巨大的影響。例如接上熱電偶以後不應使受熱物體的質量發生很大的改變，裝上振動計的變換器不應使被試驗對象的自然振動頻率發生顯著的變化。

5. 在試驗汽車時器械應能在十分大的外界溫度變化範圍（ $\pm 40^{\circ}\text{C}$ ）內順利地工作。必要時應備有附帶加熱設備的可動式特殊車箱；這種設備在車箱內保持示波器工作所必要溫度（約 20°C ）。

也可以使用有保溫罩的示波器，但這將使管理人員工作不便。

— 汽車道路試驗時需要測量的參數

表 I

參數的名稱及其變化的大致範圍	測量對象
綫位移及角位移	
(一)大的	
綫位移：從幾公尺	起動、加速行駛及穩定行駛時的行程。
到若干公里	
角位移：從一轉到若干轉	車輪和傳力機構軸的轉數；轉向盤轉動角度等。
(二)中等的	
綫位移：1~300公厘	杠杆、踏板、拉杆的位移；汽車主體的振幅等。
角位移：10~360°	杠杆、踏板及汽車轉向車輪的轉角。
(三)小的	
綫位移：1公厘以下	張力測定中的零件的變形、各零件間的相互位移。
角位移：15°以下綫速度及角速度	軸的扭轉振動。
(一)大位移時的	
綫速度：0~50公尺/秒	起動、加速行駛及穩定行駛時的汽車運動速度。
角速度：0~6000轉/分	汽車車輪及傳力機構軸的轉速。
(二)小位移時	
綫速度：0~3公尺/秒	操縱機構位移綫速度、汽車質量的振幅等。
角速度：0~100 1/秒	轉向車輪及掛車牽引杆的轉動角速度等。
綫加速度及角加速度	汽車各零件的振動速度等等。
綫加速度：	
0~10公尺/秒 ²	加速（正值）和制動（負值）時的汽車的加速度。
0~200公尺/秒 ²	汽車振動部份的綫加速度。
角加速度：	汽車主體和諸軸的角加速度。
0~200 1/秒 ²	汽車迴轉時的角加速度。
各種力	汽車的掛鉤牽引力、拉杆和踏板上的。

表 I

0~10000公斤	力等。
发动机扭矩0~80公斤公尺、万向轴上的扭矩0~500公斤公尺、驱动半轴上的扭矩0~5000公斤公尺。	发动机轴、傅力机轴、半轴上的力矩，后桥梁上的反作用力矩。
功率	发动机轴和傅力机轴上的功率。
0~600馬力	
压力	制动系统和伺服机构的液压或气压传动机构中的压力。
0~200公斤/公分 ² 。	
0~20公斤/公分 ² 。	
温度	曲轴箱油盘内润滑油温度、冷却系统内的水温、某些零件的温度。
-40—+200°C	
0—+110°C	
-40—+500°C	
燃料消耗量	进入汽化器或喷油泵的燃料消耗量。
0.5~25公分 ³ /秒	
时间	
记录的频率	一般的汽车动力性试验和经济性试验。
1~10赫芝	
10~500赫芝	研究高速过程时采用。

6. 器械必须是耐震的，否则必须有良好的避震装置，以便汽车在不平坦道路上或田野中进行试验时不致发生记录上的误差。

7. 仪器的特性曲线必须是线性的或者接近线性的，当采用具有非线性特性的变换器和测量电路时，便使波形图的处理非常困难。最好不用接触式变换器把信号记录在纸带上，因为整理这种记录结果将带来繁重的计算工作。

8. 仪器的特性在整个期间内应当是稳定的；这就对变换器和测量电路各元件的特性的稳定性提出了严格的要求。

9. 变换器最好能在汽车试验过程中进行刻度和核校，而不必一定要在实验室中拆开检查。

10. 为了记录长时期的过程，最好使用具有电脉冲式计数器的变换器。根据计数器的读数，可以画出所研究的现象的频率曲线。

11. 应能保证該試驗条件所要求的測量精確度。

12. 儀器的靈敏度應能適合於所測量的過程，不應有過分或不足的靈敏度。

13. 記錄儀器——示波器——在普通動力試驗時須能同時記錄 8 ~ 9 種過程。在按擴大計劃進行試驗時，同時記錄的物理量數目將增加 2 ~ 3 倍。在個別情況下，可以用一個振動器記錄兩個參數。必須記住，當同時記錄的參數的數目增大時，將使儀器的管理複雜化，而使成功的試驗的次數減少。示波器光學系統在試驗前必須進行仔細的調整。

14. 自動記錄儀器紙帶的移動速度應能按所研究過程特性而在巨大的範圍內變化。紙帶的大致速度為：

所研究的過程	紙帶速度
汽車零件上的沖擊荷重及其各元件的振動（頻率在 1000 赫芝以下者）	100 ~ 1000 公厘/秒
動力性、經濟性、操縱性和行駛平順性的試驗	2 ~ 30 公厘/秒
變化緩慢的參數（油槽內的溫度情況等）	0.05 ~ 2 公厘/秒

感光紙底片的後各長度最好不小於 5 公尺。

15. 為了提高試驗結果的可靠程度，應能在野外試驗進行地點將儀器定值試驗或道路試驗過程中所得到記錄就地立即顯影。因此在整套的測量器械中最好備有特殊的簡便暗室。

16. 全部的測量器械應當不太複雜，而且應該只要具有中等技術水平的試驗員即可操縱。

第二章 測量非電數值的電氣器械的總論

大家都知道，測量非電數值的電氣器械由下列主要元件組成：變換器（傳送器）、測量電路、電源和測量（記錄）儀器。

3. 對變換器的要求

變換器（傳送器）系指把需要測量的非電數值變成和它成函數關係的電數值的設備。

变换器可以按照所研究的現象和輸入端上所測量的數值來分類（機械量、熱量、光量等的变换器），或者按照把非電數值變成電數值的原理來分類【文獻28、30、34】。

在為了某一特定的測量目的而選擇变换器的型式時，必須注意以下各點：

（1）变换器輸入端上的被測量的非電數值 x 變成輸出端上電數值 Y 的变换函数的特性：

$$y = f(x)。$$

在測量和記錄動力學數值時，函数 $Y = f(x)$ 為線性函数是非常重要的。

（2）被測量數值的振幅和頻率的可能範圍。

（3）变换器的絕對靈敏度 S_0 和相對靈敏度 S ：

$$S_0 = \frac{\Delta y}{\Delta x}; \quad S = \frac{\frac{\Delta y}{y}}{\frac{\Delta x}{x}};$$

（4）基本誤差的大小。

（5）對造成額外誤差的外界條件（如溫度、濕度、振動等）影響的靈敏性。

（6）對電源、放大器和記錄器的要求。

（7）变换器的尺寸、重量及其在試驗對象上的固定方法。

（8）要求变换器構造簡單、管理方便和造價低廉。

在后文中，將按非電數值轉變成電數值的原理的分類法來討論（并考慮上述要求）試驗汽車時所用的变换器。從這種觀點出發，最好將变换器分成兩類，一類是發電機式的，它把非電數值轉變成電動勢；另一類是參數式的，它把非電數值變成電路參數（ $R; L; C$ ）。第一類变换器不需要電源，第二類則必須利用電源。

4. 感應变换器

這種变换器的根據，就是在與導線相干的磁通改變時或當導線切割磁力線時，導線中電動勢的感應現象。

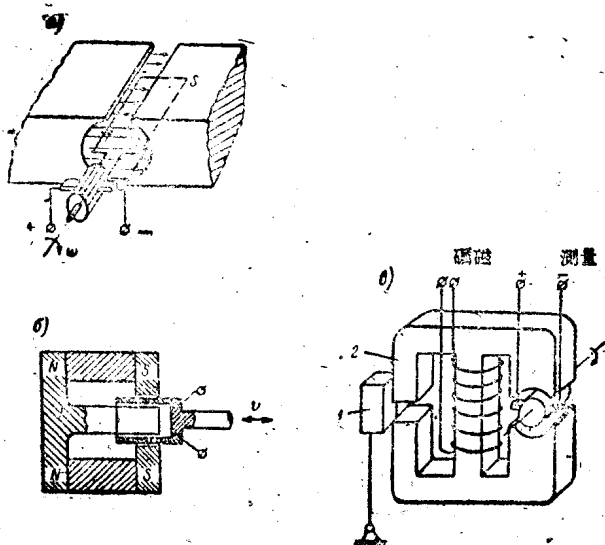


图1 感应变换器原理图

图1是这种变换器的原理简图。在图1 a和 b所示具有永久磁铁的变换器中，感应电动势的值和导线在磁场中的移动速度成正比。举例来说，电转速计就是根据这个原理制成的；它是一个小尺寸的直流或交流发电机。

这种转速计用来测量轴的转速和汽车的行驶速度。在测量汽车行驶速度时，转速计系由特殊的“第五轮”来带动。

感应电动势用电压表测量，或者用示波器记录。当转速计采用感应变换器时，亦可以不测量电动势而测量其频率；该频率亦是转速的单值函数。

振动速度变换器也可以用来测量振动振幅和加速度。在这种情况下，仅具的测量电路加装积分回路和微分回路，以便在这些回路的输出端上得到与位移或与加速度成函数关系的电压。

在图1 c所示的变换器中，当电极1相对于铁心2移动时，输出端电动势的变化是电极移动速度的函数，并且亦随磁通的改变而变化。

测量汽车轴上功率的变换器【文献44】就是根据这个原理而工作

的，其构造将在第三章23节中说明。

5. 压电变换器

压电变换器的根据是石英结晶、酒石酸钾钠、钛酸钡等晶体所具有的压电效应。当晶体在相应的分割稜面上受力 P 作用而产生弹性变形时（图 2，a），即产生下列电荷：

$$Q = k \cdot p, \quad (1)$$

式中 k 为确定压电变换器灵敏度的压电常数。

酒石酸钾钠对被测量的应力的灵敏度最大（见表 2）。

表 2

晶体名称	压电常数, 庫倫/公斤	居里点温度, °C	容許机械应 力, 公斤/公分 ² .	电容率	比电阻 欧姆/公分 ² 公分
石英	2.1×10^{-11}	573	≈ 800	4.5	20×10^{14}
钛酸钡	120×10^{-11}	124	≈ 500	≈ 1000	—
酒石酸钾钠	327×10^{-11}	20	≈ 100	—	—

但是因为酒石酸钾钠的吸水性很大，机械强度很小而比电阻值亦较低，因此一般很少采用酒石酸钾钠做的变换器。

石英变换器具有较高的机械强度和较高的比电阻，其压电常数在 500°C 温度以下又很稳定【文献10】，所以采用较广（例如：用来繪制內燃机的示功图）。

压电元件受压时所生电荷在压力消失时也立刻消失。因此测量电路必須有很大的进路电阻，以便使电荷不致在两次受力期間流掉。所测量的动力过程的频率愈高，测量电路的进路电阻可以愈小。测量静力时則无法采用压电变换器。

在压电变换器静力分度时，进路电阻应在 $10^{13} \sim 10^{15}$ 欧姆左右。在动力分度时，則进路电阻可减少到 $10^9 \sim 10^{10}$ 欧姆左右。

从防止电荷流失的观点看来，变换器（图 2，6 是带石英板 1 的变

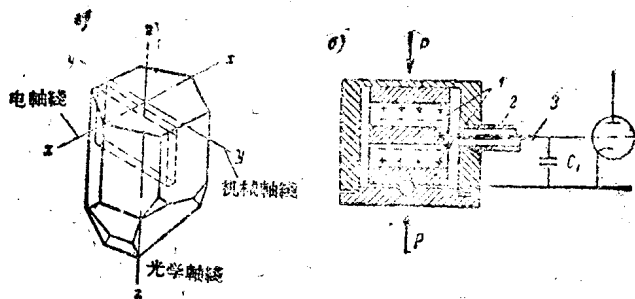


图2 压电变换器原理图

换器)的绝缘极为重要,而它的侧表面,输出导线2和导线3的绝缘性尤为重要。

输出端通常与电子测量管的栅极相連。因为由所生电荷 Q 和变换器电容 C 决定的输出端和地面间的电压等于:

$$U = \frac{Q}{C} \quad (2)$$

并且该电压经常比电子管栅力特性工作部份的相应电压范围来得大,因此将具有足够电容量的电容器 C_1 和变换器 并联。

6. 接 触 变 换 器

这种变换器是用来在被测量位移或其他可变成位移的数值的作用下控制电路的。例如,图3, a 表示测量角位移 α 的接触变换器的原理简图,图3, b 是测量力 P 的变换器,图3, B 是测量垂直轴线加速度的变换器。

当轴转过角 α 时(见图3, a),电路闭合,电流计(或继电器)得到脉冲,其延续时间相当于图中接触盘空白扇形的角度。

在力 P 的作用下(见图3 b),弹簧1被拉伸,使轮2转动,并使滑杆3移到相应的接触点上。

当与测量对象相联的外壳发生振动时(见图3 B,),固定在悬臂弹簧1端部的重块2亦被迫移动。假如适当地选择重块自然振动频率对于外壳强迫振动频率的比率(详见第三章20节),则重块端的位移将与外

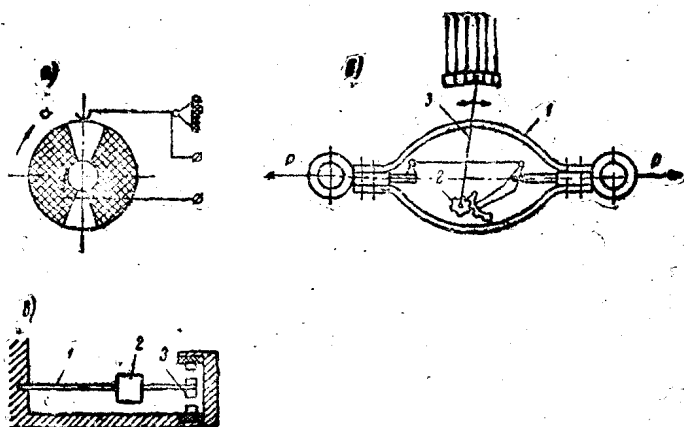


图3 接触变换器原理图

壳的加速度成正比。当外壳加速度达到一定值时，接触点3即将闭合。这种加速计叫做极限加速计。

试验汽车时广泛地应用接触变换器测量汽车行驶路程和加速度的值，并在对汽车各机构工作情况作量的研究时，用来标志某一操纵机构的连接次数【文献21】等等。

7. 变阻变换器

变阻变换器是一种线绕式或炭精式变阻器，其滑块在所测量的机械量的作用下移动。

滑块的移动使变阻器的电阻 ΔR 改变，因此也使测量器电路中的电流 I_2 改变。

图4表示变阻变换器两种等臂电桥线路【文献32】的测量器电路中电流 I_2 对于变阻器电源电流 I_n 之比率随变阻器电阻的相对变化而变的关系曲线图。

$$\text{在 } \frac{R_2}{2R} = a = \text{常数时, } \frac{I_2}{I_n} = f\left(\frac{\Delta R}{R}\right),$$

式中: R_2 — 测量器电阻

R — 电桥臂电阻

图4上的虚线相当于用一工作变阻器的线路，实线相当于用两个

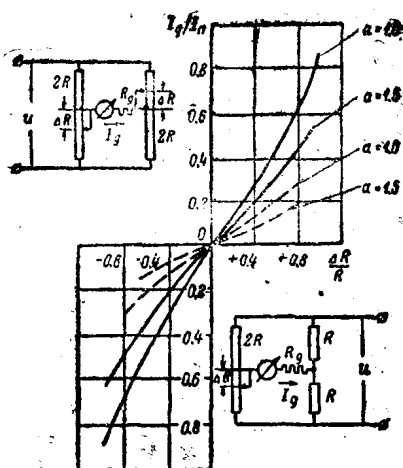


图4 测量器电流与电源电流的比值(I_g/I_n)和变阻变换器的电阻相对变化($\Delta R/R$)关系曲线图

变阻器的线路。

在设计变阻变换器时，有了这种曲线图，就可以根据所要求的灵敏度和变换器的线性特性正确地选定测量电路变阻器、测量器和电源三者的参数之间的关系。很明显的，在这种情况下，电源电流的值应符合不致使变换器过热的条件。

因为构造简单，并且在输出端可以得到很大的功率，故电桥式变阻变换器线路在汽车试验中被广泛地使用来测量各种参数。例如踏板、杠杆、转向盘的平均线位移和角位移，测定牵引车和挂车拖钩上的力、轴上的扭矩等的微小位移等等【文献20】。如果用零件的相对移动带动若干变阻器的滑块，并且把这些变阻器的线路结合成一个电桥线路，就可以测量较复杂的数量，例如测量汽车两只驱动车轮所经路程的差额以研究差速机构的工作【文献27】，测量行驶车辆中车体相对于横轴、纵轴和垂直轴的复合振动的分量【文献2】等等。

变阻变换器的缺点是其中有滑动接触点，其接触电阻的变化可以引起误差。

此外当滑动速度很大时，变阻器摩擦部份的磨损可能很快。

8. 碳精片变换器

这种变换器(图5, a)常做成圆柱形,由碳精片1、接触片2及两端上的顶片3所组成。圆柱上预先加以 $P_1 = 2 \sim 5$ 公斤的压力。当圆柱受压时,碳精片间的接触电阻发生变化。

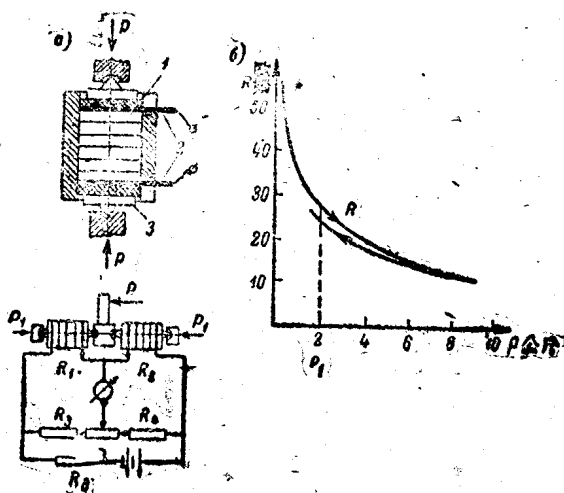


图5 碳精片变换器原理图

这种变换器的缺点是:

$R=f(P)$ (图5, b) 的关系不是线性的; 在静负荷下有3~7%的机械滞后现象; 变换器的读数随周围介质温度和湿度的变化而变。如果采用微分变换器而将碳精柱接到复合式电桥臂上(图5, c), 则可以部份地消除上述缺点。

碳精变换器的主要优点是它可以指示很小的位移, 毋须放大装置而可直接用指针式磁电仪表或示波器的振荡器作为测量器。

9. 延伸膜式变换器

延伸膜式变换器是一种炭粉或煤烟与酚醛塑膠(电木)或其他粘合物质的混合物。如果把这种混合物涂到变形零件上, 则当变形时这种混