



电气测量

苏联 Н. Г. 沃斯特罗克努托夫著



电力工业出版社

电 气 测 量



塔

苏联 H. Г. 沃斯特罗克努托夫著

陈 道 舜译

电力工业出版社

內 容 提 要

本書中講述了电机技工和从事于电气测量仪表的运用与修理工作的人員所必需的各种知識。

本書供尚未結束中等技术教育，只具有一般电工基本知識的技工閱讀，但对有經驗的熟練工人和技术員，也有参考价值。

欢迎对本書提出批評和意見，并請將意見寄到：北京府右街26号电力工業出版社編輯部。

Н. Г. ВОСТРОКНУТОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МОСКВА

1955

电 气 测 量

根据苏联国立动力出版社1955年莫斯科版翻譯

陈 道 舜譯

*

639D162

电力工業出版社出版(北京府右街26号)

北京市書刊出版業營業許可證出字第082号

北京市印刷一厂排印

新华書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 6 $\frac{1}{4}$ 印張 * 127 千字 * 定价(第10类) 0.85 元

1957年8月北京第1版

1957年8月北京第1次印刷(0001—5100册)

目 录

第一章 关于电气测量的一般概念	3
1-1 电的测量器具	3
1-2 电气测量仪表	10
1-3 直讀式仪表的構造另件	17
1-4 直讀式仪表的一般特性	23
第二章 直讀式仪表	29
2-1 磁电式仪表	29
2-2 整流式、热电式与电子管式仪表	32
2-3 电磁式仪表	35
2-4 电动式仪表	39
2-5 感应式仪表	48
2-6 热綫式仪表	51
2-7 靜电式仪表	52
第三章 电流計	53
3-1 电流計的型式与特性	53
3-2 电流計的种类	55
3-3 电流計的选择	59
第四章 仪用互感器	60
4-1 电流互感器	60
4-2 电压互感器	67
第五章 頻率与相位差的測量	72
5-1 頻率計	72
5-2 相位計	74
5-3 相位指示器	77
5-4 同步指示器与示零伏特計	80
第六章 功率的測量	85
6-1 直流	85
6-2 單相电流	86
6-3 三相电流	89
6-4 無功功率的測量	93
6-5 三相瓦特計	98
第七章 电阻的測量	99

7-1 測量电阻的主要方法	99
7-2 電纜故障点的确定	107
7-3 欧姆計	103
第八章 仪表的修理	113
8-1 一般說明	113
8-2 工具、备用件、材料	114
8-3 軸尖的磨尖	117
8-4 宝石的更換	120
8-5 彈簧的銲接与修理	122
8-6 綫圈的繞制	124
8-7 可动部分的平衡	127
8-8 标尺片的粘貼与标度尺的繪制	129
第九章 电工測量实验室的設備	132
9-1 分支电路法	132
9-2 电源	133
9-3 調整裝置	135
9-4 直流裝置	138
9-5 交流裝置	140
第十章 补偿測量法	152
10-1 直流电位計	152
10-2 电位計的应用	155
第十一章 仪表的校准	160
11-1 仪表校准的組織	160
11-2 安培計与伏特計的校准	162
11-3 瓦特計的校准	170
11-4 电流互感器的校准	173
11-5 电压互感器的校准	177
11-6 欧姆計的校准	179
11-7 相位計的校准	182
11-8 电流計特性的确定	187
11-9 电阻箱与电桥的校准	190
附录 三角函数表	193

第一章 关于电气测量的一般概念

1-1 电的测量器具

在研究我們周圍的物体与現象的时候，物体量的测量起着很重要的作用。在进行物理量的测量时(例如長度)，是以这个量与在一定条件下取作單位的量(也为長度)相比較。例如在测量一段导体的長度时，就將它与一个已知量(卷尺上長度的厘米数)相比較。通过测量便可以得到被测的量的数值，也就是表示被测的量是测量單位的多少倍的数字。

具有某种物理量的物体，如果其所具的物理量为已知，并且这些物体是为测量用的，便称为测量器具(卷尺、比例尺、砝碼、盃、有刻度的玻璃瓶等)。

测量器具的構造大都比較簡單，然而只有很少数的物理量可以用將被测的量与标准度量直接比較的方法进行测量。而在大多数的情况下，就需要应用称为测量仪表的較复杂的設備来进行测量。

与測量器具不同，测量仪表具有可动部分和固定部分的复杂機構，这些機構是这样安裝的，就是使得仪表的可动部分随被测的量而改变其位置。所有的测量仪表都可以分成直讀式的与手調式的。

压力表是第一类仪表的例子，它能不断地表示出被测的量(压力)的量值来，并且在测量时也不需要观察者的任何帮助；桌上的天秤可以作为第二类仪表的例子，在这里进行每一个單独的测量时都需要有观察者的帮助。

測量器具、測量仪表，以及应用測量器具和測量仪表时所必需的測量附件(各种輔助的設備)，例如測徑規、內卡鉗、电流互感器、附加电阻等都称为測量工具。

电的現象可以用各种电学量來說明，其中主要的是电压、电阻、电流、功率、电能、頻率、电感、电容。

电学量的測量，正如測量机械量一样，也可以应用測量器具、測量仪表和測量附件来进行。标准电池、标准电阻綫圈、电阻箱、电感綫圈、标准电容器与电容箱都是电的測量器具。

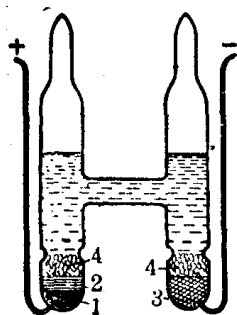


圖 1-1 标准电池

标准电池 用来作为电的測量器具的标准电池的構造已在圖 1-1 上表示出来。它是由一个H形的密封玻璃器皿構成的，在玻璃器皿的兩個分支部分的下面插入白金的导体，以水銀 1 作为正極，它上面放着鋅和汞混合成的軟膏層 2。以鋅汞合金 3 作为負極。电解液是飽和的硫酸鋅溶液。为了保証兩個支管内溶液的飽和，便在两个电極的上面放一些硫酸鋅的結晶体 4。整个容器是放在具有兩個端鈕的金屬的或膠木的盒子里面。在盒子內部有兩根导綫从电極接到這兩個端鈕上面。

上述裝置的原电池具有 1.0185 伏的电动势，并且在很多年中可以保持不变，这就使它們有了用来作为电压測量器具的可能性。

当使用标准电池时，必須注意到：不可以讓电池的电流超过百万分之一安，因此，在它的兩端不仅不能接上任何負載(电鈴、电灯)，甚至于連伏特計也不能連接。

應該防止这种電池受到冲击和震动，不能把它們翻轉过来，也不能讓它們受到低温($+10^{\circ}$ 以下)或高温($+45^{\circ}$ 以上)的作用。上述的标准電池只在實驗室中用于电位計裝置中的特別准确的測量上。

还有一种所謂未飽和的标准電池，这种電池与前述标准電池的区别仅仅只是其中沒有放鎘的晶体，并且其溶液在室温下并不达到飽和。未飽和的标准電池具有 1.019 伏的电势；它們可以在便攜式的和自动式的电位計上用作工程上的測量。

标准电阻綫圈 这是最精确的測量电阻的器具。标准綫圈的構造圖已在圖 1-2 上表示出来。在用漆布絕緣的金屬架 1 上，繞以双股的銅錳鎳合金的导綫 2。导綫的兩端分別焊接在桿 3 上，这两个桿嵌入固定在硬膠木盖 5 的大銅板 4 上，而綫圈放在金屬盒 6 內，底很深的管 7 固定在这个盒子的盖上。管 7 是用来放入溫度計的，因为当进行十分精确的測量时，就必须知道綫圈的温度。

在盒子 6 內裝滿了清潔而干燥的变压器油。

有时可以应用空气冷却式的标准电阻綫圈，在这种情况下，盒子內就不要裝油了，只要在上面鑽孔来改进空气的流通。

在每一个銅塊 4 上，都具有两个端鈕，兩边的端鈕 8 是用来連接通过电流的导綫的；而中間的端鈕 9 就称为电位端鈕——有了它們，就可以避免电流經過的触点 8 的电阻所引起的測量上的誤差。

当应用标准电阻綫圈时就应当注意到：通过它們的电流不应当超过表 1-1 所列的量值。

电阻箱 标准电阻綫圈只在實驗室中进行精确的測量

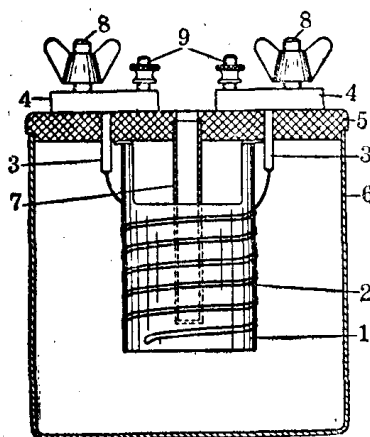


圖 1-2 标准电阻线圈的構造圖

表 1-1

线圈的标准电阻 (欧)	許可負載(安)
0.001	50.0
0.01	15.0
0.1	5.0
1.0	1.5
10	0.5
100	0.15
1 00	0.05
10 000	0.015
100 000	0.005

时才是必需的；而对于比較簡單的工作(如欧姆計与电桥的校准)，就采用电阻箱来作为测量的器具。在很多情况下，电阻箱并不是用来作为测量器具，而是用来作为变阻器，將它們接到某些电路中来調节电流或电压。

电阻箱在構造上和外形上都具有很多不同的形式。

在圖 1-3 中所表示出来的是具有开口接触的插入式电阻箱。用箭头將插入两个插头后的电流的路徑表示出来；在这种情况下，电阻 2 与 3 欧是被短路的，因而电阻箱的总电阻將是： $1+4=5$ 欧。

在开口接触的电阻箱中，組成电阻箱的每个线圈上都有电位端鈕。接触銅片側边的螺絲釘就是用来作为电位端鈕的。有时，在它的側边也有用插入电位插头的圓錐形小孔来代替螺絲釘作用的。由于有了电位端鈕，就使得我們能利用組成电阻箱的每一个线圈来作为标准电阻线圈，也使得我們有可能特別精細地来檢查电阻箱本身与确定电阻箱的誤差。

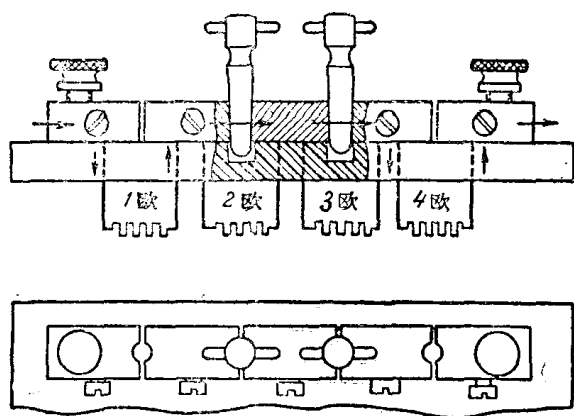


圖 1-3 插入式电阻箱的構造圖

具有隐蔽接触的插入式电阻箱是比较便宜和不太精确的电阻箱。例如 P-14 型的电阻箱就属于这一类，它的外形与线路图已在圖 1-4 与圖 1-5 中表示出来。

在圖 1-6 与圖 1-7 中表示出来的是 MCP-47 型五級十进位旋轉式电阻箱的外形与线路图。

旋轉式电阻箱大多是按照圖 1-7 所示的线路作成的。这个线路的特点，就是組成每个十进位的全部线圈都具有相同的电阻值；这样的十进位称为均匀的十进位。它們应用于誤差不超过 0.1% 的精确电阻箱内。较为不精确的电阻箱具有非均匀的或“簡略的”十进位。例如在圖 1-8 中所表示出来的 KMC-4 型电阻箱，就是这样構成的电阻箱的例子。

在圖 1-9 中所表示的是它的第一級十进位。由线路图上可以看出，这个十进位是由五个电阻所組成：其中一个是 1 欧，而其余的四个各为 2 欧。要减少电阻的数目就要依靠比較复杂的换接开关設備，换接开关必須作成双連

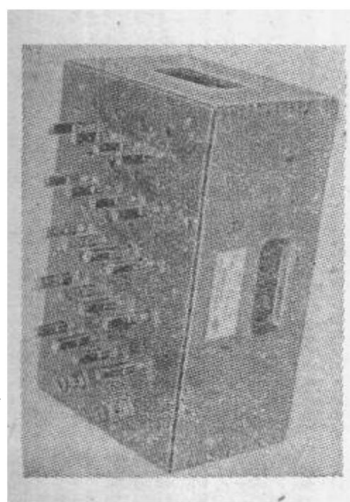


圖 1-4 P-14 型插入式电阻箱

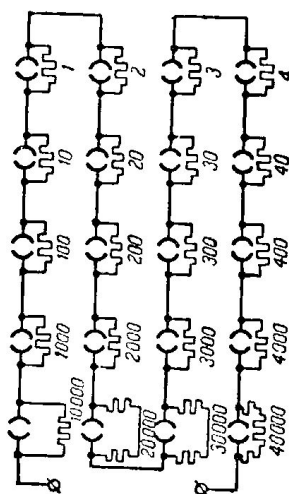


圖 1-5 P-14 型插入式电阻箱的线路圖

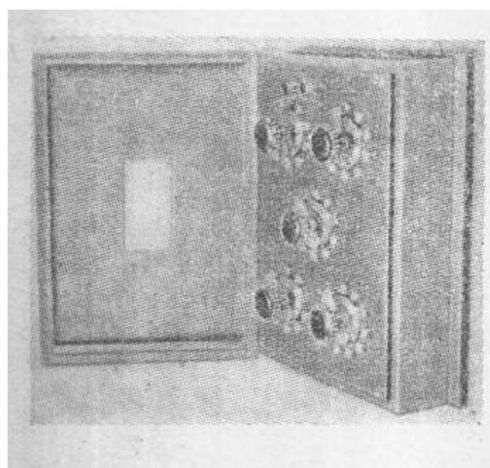


圖 1-6 MCP-47 型旋轉式电阻箱

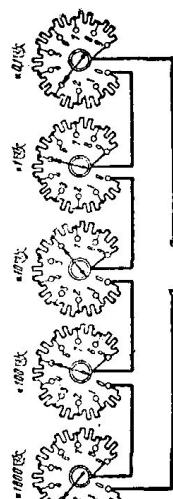


圖 1-7 MCP-47 型旋轉式电阻箱的线路圖

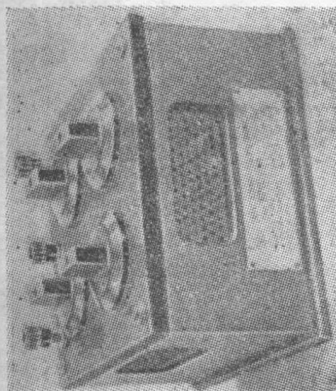


圖 1-8 KMC-4 型旋轉式电阻箱

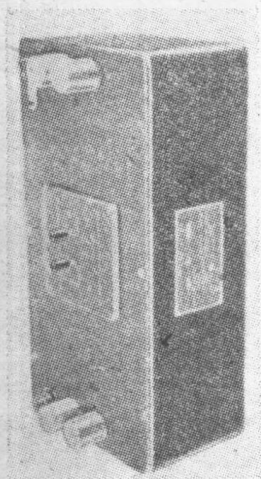


圖 1-10 ME-4 型电 容箱

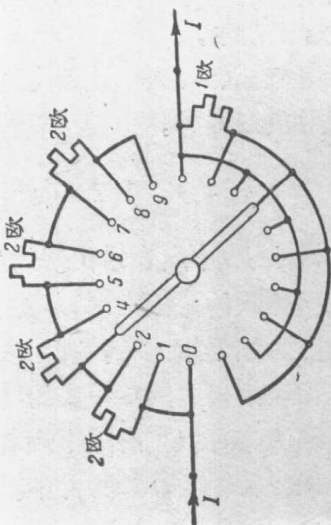


圖 1-9 旋轉式电阻箱中非均匀十进位的线路圖

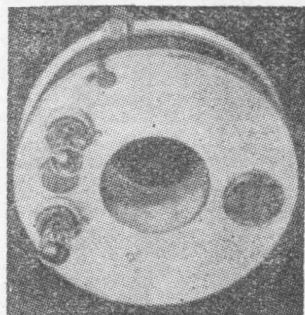


圖 1-11 标准电感线圈

的，使得可能輪流地向綫圈綫路接入或自綫圈綫路中取出 1 欧的电阻。电阻箱其余的十进位电阻的構成都与此相类似。

标准电容与电感 标准电池、标准电阻綫圈与电阻箱都是最常用的电学量的测量器具。除此以外，在無綫电工学实验中以及在发电站与工业企业的实验室中(较少)，就应用到标准电容与电感。空气电容器或云母电容器可以作为电容的测量器具。

云母电容器可以作成一個單獨的電容器，其量值从 0.0001 到 1 微法；或者裝配成為一個電容箱。圖 1-10 所表示的就是 ME-4 型電容箱的外形。

在圖 1-11 上所表示的是标准电感綫圈。它是由瓷的支架与繞在它上面的銅的絕緣導綫所組成。在制作这种电感綫圈时，使其額定值分別为 0.0001，0.001，0.01，0.1 与 1.0 亨。

电感箱、可变电感器与互感綫圈也都可以用来作为电感量的测量器具。

1-2 电气测量仪表

圖 1-12 中所表示出来的是所謂磁电式仪表的構造圖。在永久磁鐵的磁極之間，放置着一個与磁極保持 1.5—2 毫米間隙的圓形鋼芯 1。在鋼芯与磁極的間隙中，放着一個具有由細銅綫或鋁綫繞成的繞組的綫圈架 2。

綫圈架可以在間隙中繞着半軸 3 自由地旋轉，這兩個半軸嵌在特種的補軸另件中。半軸支撐在二軸承中(軸承与補軸在圖 1-12 上未画出来)。在軸上固定着一個指針与兩個彈簧 4，彈簧的外端焊接到彈簧座 5 上。而綫圈架上

繞組的兩端焊在轉軸上，因此，繞組的兩端便與彈簧的內端在電的關係上連接起來。

將彈簧座和儀器的端鈕連接起來的導線，可以將儀表接入電路中，例如接到由電池與電燈所組成的電路中去。在這種情況下，電流經過其中的一個端鈕流進儀表內，然後通過彈簧座與彈簧進入到繞圈架的繞組內。流經繞組的所有繞匝以後，電流便流出繞組經過第二個彈簧而流出來。

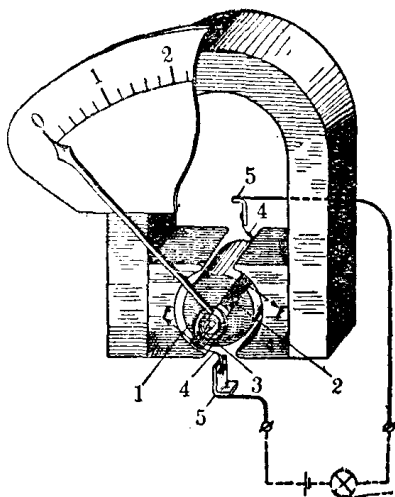


圖 1-12 磁電式儀表的構造圖

當電流流過磁極與鋼芯間空隙的繞組部分時，由於電流與磁通的相互作用，根據左手定則，產生出迫使繞圈向某一個方向扭轉的力，其扭轉的方向決定於磁通的方向和繞圈架導體的電流方向。對於圖 1-12 所示的情況而言，繞圈中電流的方向應當這樣來選擇，以便使得繞圈架在電流的作用下沿順時針方向扭轉；作用在繞圈上的力方向在圖 1-12 上已用註有字母 F 的虛綫箭頭表示出來。在這種力的作用下，繞圈開始扭轉，同時還扭轉彈簧。當扭轉彈簧時，彈簧對於繞圈的扭轉給予一個逐漸增加的反作用，於是，它將停留在這樣一個位置，這時，扭轉力，或者說由於電流和磁場所產生的轉矩與被扭轉的彈簧的反抗轉矩應相等。如果電流增加的話，那麼轉矩也會增加，而繞圈便作進一步地扭轉，同時又增加對彈簧的扭轉；從而

反抗轉矩也开始增加，于是綫圈便会停留在某一个新的位置。所以，这样看来，在上述結構的仪表中，每个电流值都与綫圈的一个十分确定的位置相当。这就使得我們有可能給仪表分刻度，即是在其刻面上划分出刻度与标出以安培来量計的电流值的数字。这样，便得了一种测量用的仪表——安培計。这种仪表只适用于直流的测量，因为其可动部分的偏轉方向須随綫圈导体中的电流方向而变。如果以頻率为 50 赫的交流通入綫圈，則其轉矩的方向便会在一秒鐘之內改变 100 次，于是可动部分便保持不动，仅仅有略略的振动而已。

仪表的类型 在上述仪表中，对于指針从零标开始偏轉所需要的机械力，是綫圈导体中的电流与永久磁鉄的磁通相互作用的结果。在这种仪表中，电学量(电流)轉換而为机械量(轉矩)。这种轉換也可以利用某些物理現象的各种不同的方法来实现。按照構成电工测量仪表所利用的物理現象的不同，它們可以分为

各种类型。各种仪表的名称和圖例，都在表 1-2 中表示出来。

在圖 1-13 中示出，可以怎样使用上述仪表来测量網絡导綫間或电源兩端(發电机、电池)的电压，而不用来测量通过任何电路的电流。为了达到这个目的，仪表应当通过一个很大的电阻(几千欧) R_0 而接到需要测量电压的兩点之間。这样一来，通过仪表繞組

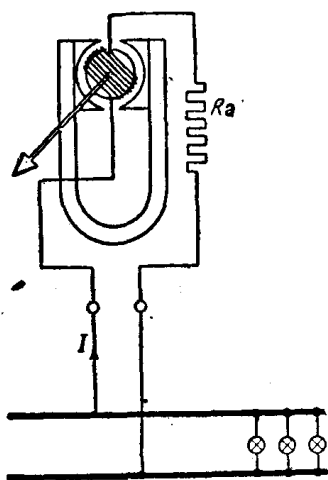


圖 1-13 伏特計的接綫圖

的將是很小的电流 I ，根据欧姆定律它的量值將是：

$$I = \frac{U}{R_0 + R_{np}},$$

式中 U —— 網絡电压；

R_{np} —— 仪表圈的电阻。

由这个公式可以看出，因为电阻 R_0 与 R_{np} 是常数而且是不变的，所以电流 I 与仪表指針在标度尺上从零标开始的偏度將只随網絡的电压而变。电压 U 愈高，則电流 I 愈大，仪表的指針离零标而偏轉的偏度也愈大。这就使得我們可以用伏特数来給标度尺分刻度，于是得到一种仪表——伏特計。

附加电阻 在每个伏特計的电路中所具有的电阻 R_0 称为附加电阻。附加电阻的量值須由伏特計的測量上限而定，也就是由伏特計的指針达到标度尺的滿标电压而定。

当伏特計的測量上限达300伏时，附加电阻在大多数的情况下是放在仪表外壳的內部的。在电压高于300伏的伏特計的結構中，附加电阻已經很难于放在仪表外壳的內部，一来是由于地方不够，并且还因为附加电阻所消耗的功率相当大（7—15瓦），因而使整个仪表的發热达到不能允許的程度。因此，測量上限超过300伏的伏特計的附加电阻，照例是特殊地單独放在仪表外面由鑽孔洋鉄所作成的箱子內。这种附加电阻是一种測量的附件，称为單独的附加电阻。

單独的附加电阻仅仅只能适用于一定的伏特計，并且也仅能与这种仪表一起应用，在这种情况下，在它上面标出了“用于伏特計 №.....”的字样。

各种电工测量仪表的圖例

表 1-2

仪 表 的 类 型		符 号
磁电式	具有机械的反抗轉矩	
	未具机械的反抗轉矩	
电磁式	具有机械的反抗轉矩	
	未具机械的反抗轉矩	
电动式	具有机械的反抗轉矩	
	同上, 然而还具有磁屏	
	未具机械的反抗轉矩	