

高等学校教学用书



电工材料实验指导

M. B. 庫 尔 林
P. E. 馬 娜 科 娃 合 著
B. B. 帕 申 科 夫

H. H. 鮑 高 罗 季 茨 基 校 訂
沈 以 清 李 彬 权 譯

高等教育出版社



本書系根据 В. И. 烏里揚諾夫 (列宁) 列宁格勒电工学院 (ЛЭТИ) 出版的庫尔林 (М. В. Курлин)、馬娜科娃 (Р. К. Манакова) 和帕申科夫 (В. В. Пасынков) 合著并經斯大林獎金获得者技术科学博士鮑高罗季茨基 (Н. П. Богородицкий) 教授校审的“电工材料实验指导”(Руководство к лабораторным занятиям по электротехническим материалам) 1954 年版譯出。原書为苏联高等教育部审定的电工材料教学大綱所列三本主要参考書之一, 适用于动力及电工院系有电工材料課程的各个專業。

本書共包括絕緣材料、导体、半导体和磁性材料方面的十个实验, 說明了材料試驗的原理、設備、試样, 程序以及計算公式等等。書后并附有参考書目, 以資进一步深入研究。

原書亦被全苏函授动力学院采用为教科書, 故本書內容亦适宜于自学者閱讀。

本書对于中等技术学校各电工專業, 可作教学参考書用。

本書对于各电工厂試驗室的工作人員, 亦可供参考。

本書系由沈以清和李彬权合譯, 并由沈以清負責校訂。

电工材料实验指导

М. В. 庫尔林等著

沈以清 李彬权譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四号)

京華印書局印刷 新華書店总經售

書号 15010·105 開本 805×1168 $1/32$ 印張 3 $18/16$ 插頁 1 字數 88,000

一九五六年九月北京第一版

一九五六年九月北京第一次印刷

印數 0001—8,000 定價 (10) ¥ 0.65

序

本指導書是供 B. И. 烏里揚諾夫(列寧)列寧格勒電工學院學生在介質物理和半導體教研組的電工材料實驗室中進行實驗時用的。同時亦供全蘇函授動力學院西北分院的学生在列寧格勒電工學院中進行實驗工作之用。

電工材料課程進行實驗的目的是使學生熟識在介質、半導體、導體和磁性材料中的基本電氣過程和物理過程，以及所有這些材料的性能及其試驗方法。

學生在做電工材料實驗以前，必須已經做過電工理論基礎實驗和電工量計實驗。因此在本實驗室的大部分實驗中，學生將應用事先已經接好了的量測綫路去研究材料。

書後附有參考書目，學生可按此鑽研有關被試材料和量測綫路的知識。

本書之再版由於增加了研究半導體、導體和磁性材料的實驗而使本書更為充實了，並且還增添了這樣一個實驗，使學生熟識新型介質——強性介質材料的性能，以及熟識在介質放大器綫路中應用它們的可能性。

本教研組畢業生 B. B. 查楞科夫(Царенков)參與了這本書的編寫工作。研究磁性材料的實驗是畢業生 Ю. Н. 巴諾夫(Панов)在技術科學博士 Н. Н. 拉茹莫夫斯基(Разумовский)指導下作成的。

著者謹向指導本書編輯並于初版及再版時二次校審本書的 Н. П. 鮑高羅季茨基(Богородицкий)教授，以及參加討論及修改本書的本教研組全體同仁和本專門化的學生致以深切的謝忱。

著 者

目 录

序

实验一	絕緣材料的导电	5
实验二	絕緣材料的介質損耗和介电系数	18
实验三	介質在高頻电場中的發热	31
实验四	介質的击穿	41
实验五	絕緣材料的物理性能	51
实验六	絕緣材料的机械性能	65
实验七	介質放大器中强性介質的研究	71
实验八	半导体的电气性能	89
实验九	用示波器研究磁性材料性能	101
实验十	导电材料的电气性能	111
参考書刊		120

高等学校教学用书



电工材料实验指导

M. B. 庫 尔 林
P. E. 馬 娜 科 娃 合 著
B. B. 帕 申 科 夫

H. H. 鮑 高 罗 季 茨 基 校 訂
沈 以 清 李 彬 权 譯

高等教育出版社



本書系根据 В. И. 烏里揚諾夫 (列宁) 列宁格勒电工学院 (ЛЭТИ) 出版的庫尔林 (М. В. Курлин)、馬娜科娃 (Р. К. Манакова) 和帕申科夫 (В. В. Пасынков) 合著并經斯大林獎金获得者技术科学博士鮑高罗季茨基 (Н. П. Богородицкий) 教授校审的“电工材料实验指导”(Руководство к лабораторным занятиям по электротехническим материалам) 1954 年版譯出。原書为苏联高等教育部审定的电工材料教学大綱所列三本主要参考書之一, 适用于动力及电工院系有电工材料課程的各个專業。

本書共包括絕緣材料、导体、半导体和磁性材料方面的十个实验, 說明了材料試驗的原理、設備、試样, 程序以及計算公式等等。書后并附有参考書目, 以資进一步深入研究。

原書亦被全苏函授动力学院采用为教科書, 故本書內容亦适宜于自学者閱讀。

本書对于中等技术学校各电工專業, 可作教学参考書用。

本書对于各电工厂試驗室的工作人員, 亦可供参考。

本書系由沈以清和李彬权合譯, 并由沈以清負責校訂。

电工材料实验指导

М. В. 庫尔林等著

沈以清 李彬权譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四号)

京華印書局印刷 新華書店总經售

書号 15010·105 開本 805×1168 $1/32$ 印張 3 $18/16$ 插頁 1 字數 88,000

一九五六年九月北京第一版

一九五六年九月北京第一次印刷

印數 0001—8,000 定價 (10) ¥ 0.65

目 录

序

实验一	絕緣材料的导电	5
实验二	絕緣材料的介質損耗和介电系数	18
实验三	介質在高頻电場中的發热	31
实验四	介質的击穿	41
实验五	絕緣材料的物理性能	51
实验六	絕緣材料的机械性能	65
实验七	介質放大器中强性介質的研究	71
实验八	半导体的电气性能	89
实验九	用示波器研究磁性材料性能	101
实验十	导电材料的电气性能	111
参考書刊		120

序

本指導書是供 B. И. 烏里揚諾夫(列寧)列寧格勒電工學院學生在介質物理和半導體教研組的電工材料實驗室中進行實驗時用的。同時亦供全蘇函授動力學院西北分院的学生在列寧格勒電工學院中進行實驗工作之用。

電工材料課程進行實驗的目的是使學生熟識在介質、半導體、導體和磁性材料中的基本電氣過程和物理過程，以及所有這些材料的性能及其試驗方法。

學生在做電工材料實驗以前，必須已經做過電工理論基礎實驗和電工量計實驗。因此在本實驗室的大部分實驗中，學生將應用事先已經接好了的量測綫路去研究材料。

書後附有參考書目，學生可按此鑽研有關被試材料和量測綫路的知識。

本書之再版由於增加了研究半導體、導體和磁性材料的實驗而使本書更為充實了，並且還增添了這樣一個實驗，使學生熟識新型介質——強性介質材料的性能，以及熟識在介質放大器綫路中應用它們的可能性。

本教研組畢業生 B. В. 查楞科夫(Царенков)參與了這本書的編寫工作。研究磁性材料的實驗是畢業生 Ю. Н. 巴諾夫(Панов)在技術科學博士 Н. Н. 拉茹莫夫斯基(Разумовский)指導下作成的。

著者謹向指導本書編輯並于初版及再版時二次校審本書的 Н. П. 鮑高羅季茨基(Богородицкий)教授，以及參加討論及修改本書的本教研組全體同仁和本專門化的學生致以深切的謝忱。

著 者

实验一 絕緣材料的电導

I. 总論

电工上所应用的一切絕緣材料,都不是理想的介質,而多少总具有一些电导。介質的电导,主要是由于外来杂质(水分、酸及其他)的离子或介質本身的离子移动所引起的。

当介質处于直流电場中时,不論在材料的内部,或是在材料的表面上,都将产生电流。

絕緣材料的电导分为:

a) 容积电导,

b) 表面电导。

介質的电导,通常用其倒数——电阻来计算。

絕緣材料的容积电阻是与温度、湿度、电压及电压持續作用的时间有关的。

固体和液体介質的容积电阻按下式表示的規律随着温度的升高而减小:

$$R_{vt} = Ae^{\frac{b}{T}}, \quad (1-1)$$

其中:

A 和 b ——常数;

e ——自然对数的底;

T ——绝对温度。

实际上,多半是应用近似公式:

$$R_{vt} = R_{v0}e^{-\alpha t}, \quad (1-2)$$

其中:

R_{vt} ——温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时的容积电阻;

R_{v0} ——温度为 $t=0^{\circ}\text{C}$ 时的容积电阻;

α ——温度系数;

t ——材料的温度,以 $^{\circ}\text{C}$ 计。

吸水性材料在湿气的作用下,其容积电阻会变小,且其中某些物质的容积电阻还会随着电压的升高而减小。

在许多介质中,容积电流或快或慢地随着时间而衰减,直至达到漏导电流的某一稳定值为止。随时间而变化的电流分量——吸收电流,可用容积电荷的形成和偶极分子的逐渐定向来说明。

固体介质的表面电阻是与材料表面所吸附的水分有关的。能溶于水(即使其溶解程度极小)的材料,在潮湿的大气中具有极为显著的电导。在不能溶解的材料表面上,一旦有了污秽时,同样亦会导致表面电导率的增加。只有那些完全不溶于水,而且表面洁净的材料,才能具有很大的表面电阻。

为了比较各种不同材料的容积电阻和表面电阻,采用所谓容积电阻率 ρ_v 和表面电阻率 ρ_s 。

容积电阻率,在数值上等于边长为 1 厘米的立方体材料的电阻。表面电阻率,在数值上等于同样尺寸的材料表面正方形的电阻。

各种不同介质的容积电阻率数值,是在 10^8 到 10^{20} 欧 $\times$ 厘米的很宽的区间内变化的,而表面电阻率数值——则从 10^7 到 10^{17} 欧。测量介质的容积电阻和表面电阻时,须视其电阻值的大小而采用各种不同的方法。

在电工材料实验室中,测量是遵守苏联国家标准 ГОСТ 的规定来进行的:

a) 直接偏转法,

6) 电容器充电法。

直接偏轉法基本上是測量电流值，这是在电極間加上已知电位差时通过試样的电流。电容器充电法基本上是測量电荷值，这是由通过試样的电流在电容器上所充的电荷。

在工厂中广泛应用着电桥和兆欧表，能測量电阻到 10^{11} — 10^{12} 欧。

当介質的电阻值很小时，例如当溫度很高时，为了避免成形現象^①，須用交流电桥来測量电阻。

II. 設備說明

在直流下測量介質的电阻时，所用設備的綫路圖如圖 1-1 所示。在綫路圖中：

G ——动力常数約为 10^{-9} 安/毫米及冲击常数約为 10^{-6} 庫/毫米的鏡式电流計；

n ——电流計的万用分流器，分流数 N 的可变範圍是从 $1/10000$ 到 $1/1$ ，分为五級調节（在分流器的触头旁，写有 $1/N=n$ ）；

C ——容量为 100000 微微法的固定电容器；

X 和 $З$ ——接入試样用的端鈕（ $З$ ——接地）；

R_0 ——标准的保护电阻（1 兆欧）；

B 和 C_B ——最大电压为 800 伏的整流器；

Φ ——由电容器 C_ϕ 和扼流圈 L 組成的濾波器；

V ——1500 伏的直流电压表；

① 譯者注：成形現象的原文是 явление формовки。当介質的电阻很小，亦即其漏电导率很大时，介質能在直流电場的作用下發生类似于蓄电池的充电过程，这种作用就称为成形現象。

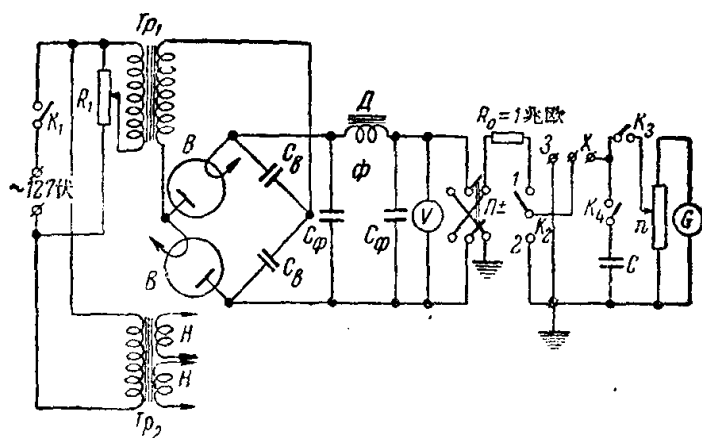


圖 1-1. 測量介質电阻的设备綫路圖。

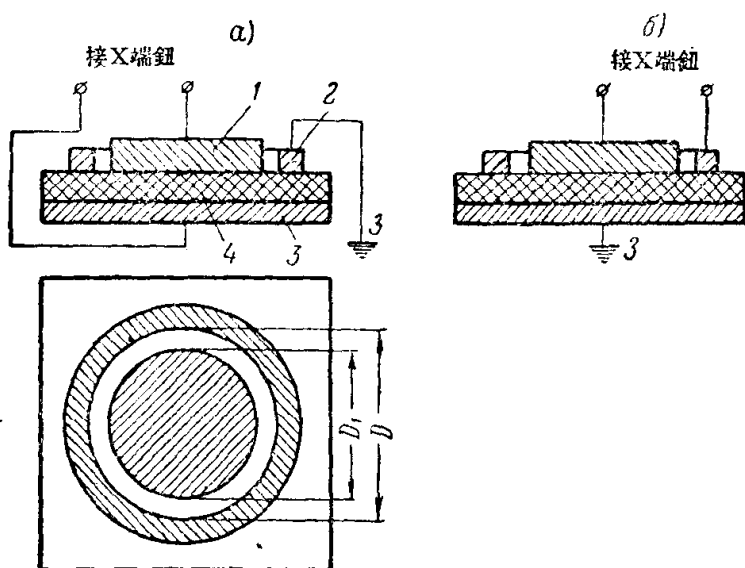


圖 1-2. 電極的接法：a) 測量容積电阻；b) 測量表面电阻。

Tp_1 ——变比为 4:1 的升压变压器；

Tp_2 ——灯絲变压器；

$U_{\pm}$ ——改变加在試样上的电压極性用的換向开关；

K_1 ——从电網接入电压的开关；

K_2 ——將試样接上电压(位置 1)和將試样接地(位置 2)用的換向开关；

K_3 ——將电流計接入綫路的开关；

K_4 ——將电容器 C 接入綫路的开关；

R_1 ——变阻器。

用来試驗薄片狀固体絕緣材料的电極是用敷在試样表面上的金屬箔做成的。电極的接触器是：金屬板、黄銅压塊和黄銅环。

試样接入試驗設備的接法如圖

1-2 所示,其中:

1——上电極,保护电極；

2——保护环；

3——下电極；

4——試样。

在測量容积电阻时,保护环的作用是使介質表面上的全部电流都不通过电流計;在測量表面电阻时,保护环用作第二个电極。

軟电綫的絕緣电阻是在蕊与蕊間測量的。

層压电工絕緣材料的电导是沿層間測量的。因此要用插入試样的插梢狀黄銅电極,如圖 1-3 所示。

变压器油是注入圖 1-4 所示的电極中試驗的,电極的数据也示明于圖中,其中:

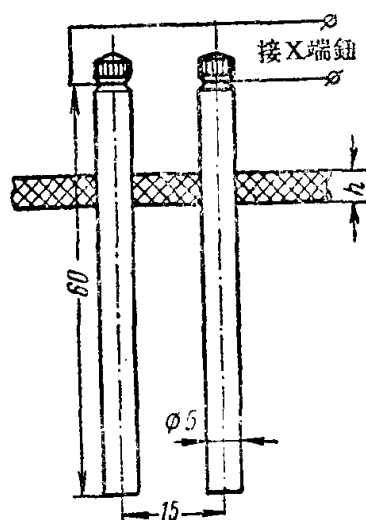


圖 1-3. 介質沿層試驗用的电極。

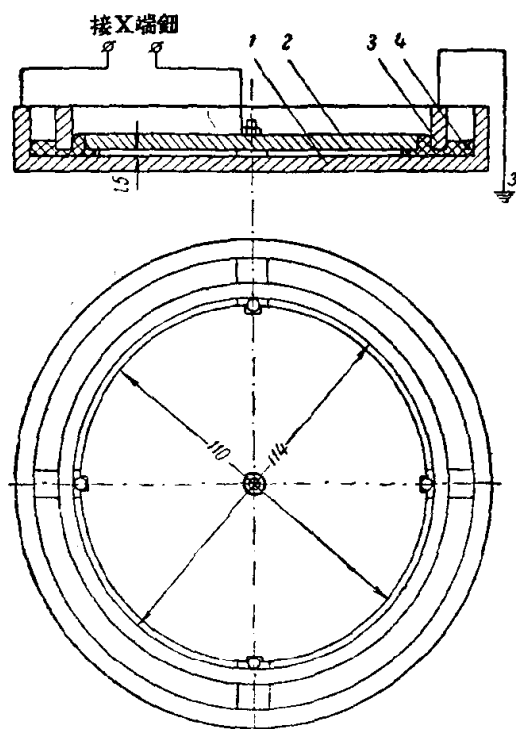


圖 1-4. 試驗液体介質用的電極。

- 1——電極皿；
- 2——內電極；
- 3——保護環；
- 4——絕緣墊圈。

III. 試驗

在進行試驗以前，要先檢查設備，并須保證它沒有泄漏電流。為此先不接入試樣，合上開關 K_1 ，用變阻器調整電壓使等於 100 伏，并用換向開關 $H_{\pm}$ 將綫路接上極性不同的直流電壓。把換向開關 K_2 放於位置 1，合上開關 K_3 ，萬用分流器須調整到這樣的位置，使電流計中通過最大電流。如果電流計的小鏡不偏轉，就用換向開關 $H_{\pm}$ 來改變電壓極性，若此時小鏡仍不偏轉，則說明綫路

是正常的,就可开始測量。在測量之前,須打开所有的开关。

a) 直接偏轉法

1. 电流計动力常数的測定 电流計的动力常数 C_d , 是当鏡子与标尺相距为 1 米时,使其标尺上有 1 毫米偏轉所需的电流值。測定 C_d 值时,須將試驗设备的 X 端鈕短接,合上开关 K_1 ,并調整电压到 100 伏。

換向开关 K_2 須放在位置 1 上,万用分流器則放在使电流計中通过最小电流的位置上, $n=10^4$ 。然后合上开关 K_3 ,調整分流器触头的位置为 10^2 ,記下标尺上的数值。

改变电流方向,重新記下标尺上的数值。在測量結束时,將万用分流器調整到使电流計中通过最小电流的位置,打开开关 K_3 ,并將換向开关 K_2 放于位置 2 上。

2. 湿膠紙板容积电阻率的測定 从高湿度的恒湿器中取出敷有电极的湿膠紙板試样,按照本实验第 II 节中圖 1-2 的指示接入綫路中,并和上述測量电流計的动力常数一样地进行量測,所不同者,仅为用分流器須調节到电流計小鏡有足够的偏轉,使能正确地讀数为止。

在合上开关 K_3 一分鐘以后,記下其讀数。再改变極性并重行測量之。

試驗时的电压为 100 伏。

3. 点繪湿膠紙板容积电阻率与电压之間的关系 不換試样,用变阻器 R_1 逐級升高电压至: 200; 300; 400; 500; 600 和 700 伏。在每一个电压值之下,測量一下湿膠紙板的容积电阻。

4. 測定湿膠紙板的表面电阻率 按照圖 1-2(第 II 节)換接电极的端点,并在电压为 100 伏时与上述情况同样地进行量測。

5. 測定空气干燥状态下膠紙板表面电阻率 从干燥器中取

出膠紙板試样，并測定其表面电阻率。如果电流計小鏡的偏轉太小，則可將电压升高至 500 伏。

6. 測定空气干燥状态下的膠紙板容积电阻率 換接电极，并在同样电压下測量膠紙板的容积电阻率。

7. 測定的膠紙板沿層容积电阻率 將帶有插梢狀电极的膠紙板試样(圖 1-3)接入 X 端鈕，并在电压为 100 伏时測量膠紙板的沿層电阻。

8. 点繪变压器油容积电阻率与溫度之間的关系 在开始实验以前，先接通干燥箱的电源，干燥箱中放着盛有变压器油的电极皿。將油加热直到溫度計指示为 90°C 。切断干燥箱的电源，將位于干燥箱中的，盛有变压器油的电极皿引出端接入試驗设备的 X 端鈕，并在 100 伏的电压下，每当变压器油的溫度下降 10°C 时，就測量一次油的电阻。干燥箱的門是敞开的。油冷却时，为了节省時間，可以利用二次測量中間的間歇時間，即利用等待油冷却的時間，来試驗軟电綫，但每次都須將电极皿的引出端从試驗设备的 X 端鈕上拆下。

9. 測定各种絕緣軟电綫受湿空气作用后的蕊間絕緣电阻 从高温度的恒湿器中取出各种絕緣軟电綫試样，將其蕊綫接入 X 端鈕并測量其絕緣电阻值。

10. 測定空气干燥状态下的各种絕緣軟电綫的蕊間絕緣电阻 取出軟电綫試样，并測量其蕊間絕緣电阻。在測量完畢后，打开一切开关(K_1 除外)，分流器触头則置于 10^1 处。

6) 电容器充电法

11. 电流計冲击常数的測定 电流計的冲击常数，是当电荷瞬时通过电流計綫圈框时，在与电流計小鏡相距为 1 米的标尺上引起偏轉为 1 毫米的那个电量值。

將X端鈕短接,調整电压到500伏。

將換向开关 K_2 放在位置 1, 并調整分流器触头于 10^2 处。合上开关 K_4 , 使电容器充电 1 分鐘。待电容器充电后, 將換向开关 K_2 放在中間位置, 迅速合上开关 K_3 , 并記下电流計小鏡之冲击偏轉。打开开关 K_3 , 改变电流方向, 再使电容器充电并重行測量之。在測量結束时, 將万用分流器調整到使电流計中通过最小电流的位置上; 打开开关 K_3 和 K_4 , 并將換向开关 K_2 放在位置 2。

12. 硬橡膠容积电阻率的測定 按照圖 1-2 將試样接入綫路。調整电压使等于 500 伏。將換向开关 K_2 放在位置 1, 而調整万用分流器触头于 10 处, 并合上开关 K_3 。然后合上开关 K_4 并打开开关 K_3 , 使电容器通过試样而被充电 5 分鐘。待电容器充电后, 將換向开关 K_2 放在中間位置, 迅速合上开关 K_3 , 并記下电流計小鏡之冲击偏轉。在电流計小鏡偏轉太小时, 可調整分流器触头于 1 处, 重行量測并記下电流計的冲击偏轉。然后打开开关 K_3 , 將換向开关 K_2 放在位置 2, 短接試样和电容器。待試样和电容器放电 5 分鐘后, 再在反向电流下重行量測之。在測量結束时, 將万用分流器調整到使电流計中通过最小电流的位置上; 打开开关 K_3 ; 將換向开关 K_2 放在位置 2, 打开 K_1 并取下試样。

IV. 計算

a) 直接偏轉法

1. 电流計动力常数的計算 电流計的动力常数是:

$$C_d = \frac{U}{n \alpha R_0} [\text{安/毫米}], \quad (1-2)$$

其中:

U ——伏特計讀数, 以伏計;

R_0 ——綫路电阻(10^5 欧);