

使用说明

静电场描绘实验仪

北京同德创业科技有限公司

电话：010-51663485 51663486 56955598

JDC-4 静电场描绘实验仪

一、产品简介

本设备在技术上采用了超细工艺，大幅度提高使用寿命，淘汰了原来导电橡胶探头易耗、更换频繁的弱点，改为紫铜探头。结构由原来的双层改为单层，使仪器使用更方便，测试更直观，记录更精确。并真正做到仪器的一体化，使用运输保管更方便。在价格上做到提质不提价。

二、技术参数

- 1、导电层的均匀性，相对误差小于 3%。
- 2、电极与镀膜层的接触电阻小于 $0.1\ \Omega$ 。
- 3、镀层与电极的阻值比大于 10^4
- 4、测量点与描绘点之间的误差小于 1mm。
- 5、实验值与理论值的相对误差小于 5%。
- 6、镀层的强度，经强度试验仪壹万次摩擦试验，镀膜完好无损。
- 7、电源输出 2V-10V 连续可调。
- 8、电源的内阻小于 $0.1\ \Omega$ 。
- 9、电源调整率优于 0.5%。

三、基本原理

在一些科学研究和生产实践中，往往需要了解带电体周围静电场的分布情况，一般来说带电体的形状比较复杂，很难用理论方法进行计算。用实验手段直接研究或测绘静电场通常也很困难。因为仪表（或其探测头）放入静电场，总要使被测场原有分布状态发生畸变，而且除静电式仪表之外的一般磁电式仪表不能用于静电场的直接测量，因为静电场中不会有电流流过，对这些仪表不起作用。所以，人们常用“模拟法”间接测绘静电场的分布。

四、模拟的理论依据

模拟法在科学实验中有着极其广泛的应用，其本质是用一种易于实现、便于测量的物理状态或过程的研究区代替另一种不易实现、不便测量的状态或过程的研究。

为了克服直接测量静电场的困难，我们可以仿造一个与待测静电场分布完全一样的电流场，用容易直接测量的电流场去模拟静电场。

静电场与稳恒电流场本是两种不同的场，但是它们两者之间在一定条件下具体相似的空间分布，即两种场遵守的规律在形式上相似。它们都可以引入电位 U ，而且电场强度 $E = -\Delta U$ ；他们都遵守高斯定理。对静电场，电场强度在无源区域内满足以下积分关系

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = 0 \quad \oint_l \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$$

而对于稳恒电流场，电流密度矢量 \mathbf{J} 在无源区域内也满足类似的积分关系

$$\oint_{\xi} \mathbf{J} \cdot d\mathbf{s} = 0 \quad \oint_l \mathbf{J} \cdot d\mathbf{l} = 0$$

由此可见， \mathbf{E} 和 \mathbf{J} 在各自区域中满足同样的数学规律。若稳恒电流场空间内均匀地充满了导电率为 σ 的不良导体，不良导体内的电场强度 \mathbf{E}' 与电流密度矢量 \mathbf{J} 之间遵循欧姆定律

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}'$$

因此， \mathbf{E} 和 \mathbf{E}' 在各自的区域中也满足同样的数学规律。在相同边界条件下，由电动力学的理论可以严格证明：想这样具有相同边界条件的相同方程，其解也相同。因此，我们可以用稳恒电流场来模拟静电场。也就是说静电场的电力线和等势线与稳恒电流场的电流密度矢量和等位线具体相似线的分布，所以测定出稳恒电流场的电位分布也就求得了与它相似的静电场的电场分布。

五、模拟长同轴圆柱形电缆的静电场

利用稳恒电流场与相应的静电场在空间形式上的一致性，则只要保证电极形状一定，电极电位不便，空间介质均匀，在任何一个考察点，均应有 “ $U_{\text{稳恒}} = U_{\text{静电}}$ ” 或 “ $\mathbf{E}_{\text{稳恒}} = \mathbf{E}_{\text{静电}}$ ” 下面以同轴圆柱形电缆的静电场和相应的模拟场——稳恒电流来讨论这种等效性

如图 1 (a) 所示，在真空中有一半径为 r_a 的长圆柱形导体 A 和一个内径为 r_b 的长圆筒形导体 B，它们同轴放置，分别带等量异号电荷。由高斯定理可知，在垂直于轴线的任一个截面 S 内，都有均匀分布的辐射状电力线，这是一个与坐标 Z 无关的维场。在二维场中电场强度 \mathbf{E} 平行于 xy 平面，其等位面为一簇同轴圆柱面。因此只需研究任一垂直截面上的电场分布即可。

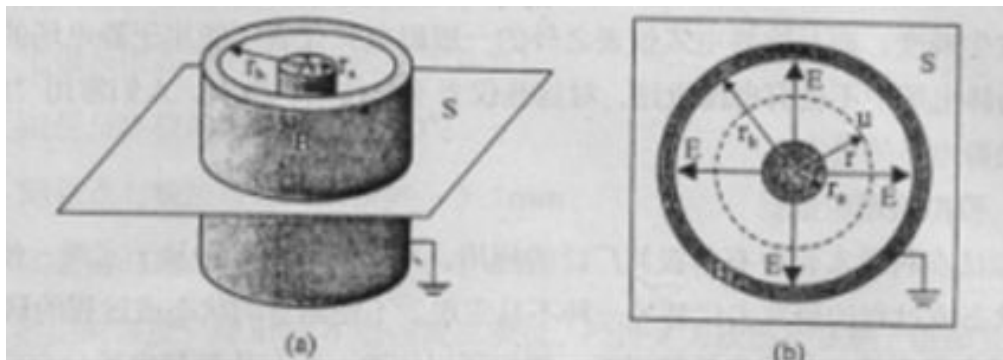


图1同轴电缆及其静电场分布

距轴心O半径为 r 处（见图 1 (b)）的各点电场强度为

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

式中 λ 为 A（或 B）的电荷线密度。其电位为

$$U_r = U_a - \int_{r_a}^r E \cdot dr = U_a - \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r}{r_a} \quad (1)$$

若 $r=r_b$ 时 $U_b=0$, 则有

$$\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} = \frac{U_a}{\ln \frac{r_b}{r_a}}$$

代入式 (1) 得

$$U_r = U_a \frac{\ln \frac{r_b}{r}}{\ln \frac{r_b}{r_a}} \quad (2)$$

距中心 r 处场强为

$$E_r = -\frac{dU_r}{dr} = \frac{U_a}{\ln \frac{r_b}{r_a}} \cdot \frac{1}{r} \quad (3)$$

若上述圆柱形导体 A 和圆筒形导体 B 之间不是真空，而是均匀地充满了一种电导率为 σ 的不良导体，且 A 和 B 分别与直流电源的正负极相连，见图2，则在 A 和 B 间形成径向电流建立起一个稳恒电流场 E' 。可以证明不良导体中的电场强度 E' 与原真空中的静电场 E 是相同的。

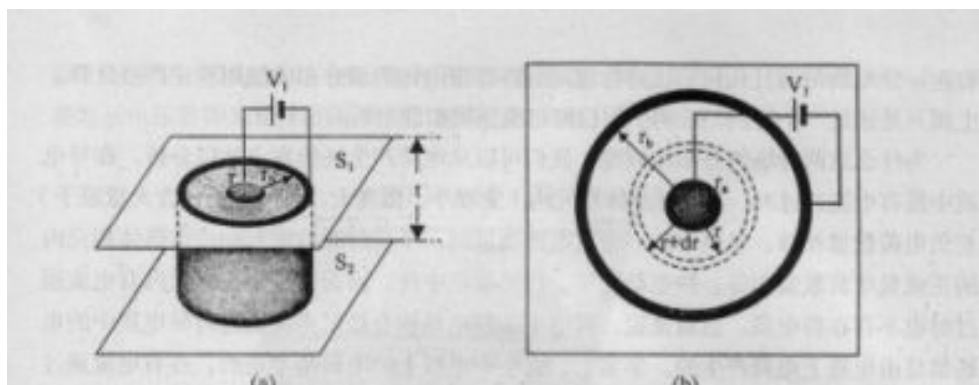


图2同轴电缆的模拟模型

取厚度为 t 的圆柱形同轴不良导体片来研究。设材料的电阻率为 ρ ($\rho = 1/\sigma$)，则从半径为 r 的圆周到半径为 $r+dr$ 的圆周之间的不良导体薄块的电阻为

$$dR = \frac{\rho}{2\pi t} \cdot \frac{dr}{r} \quad (4)$$

半径 r 到 r_b 之间的圆柱片电阻为

$$R_{r r_b} = \frac{\rho}{2\pi t} \cdot \int_r^{r_b} \frac{dr}{r} = \frac{\rho}{2\pi t} \ln \frac{r_b}{r} \quad (5)$$

由此可见，半径 r 到 r_b 之间圆柱片的电阻为

$$R_{r a r_b} = \frac{\rho}{2\pi t} \ln \frac{r_b}{r_a} \quad (6)$$

若设 $U_b=0$ ，则径向电流为

$$I = \frac{U_a}{R_{r a r_b}} = \frac{2\pi t U_a}{\rho \ln \frac{r_b}{r_a}} \quad (7)$$

距中心 r 处的电位为

$$U_r = IR_{r r_b} = U_a \frac{\ln \frac{r_b}{r}}{\ln \frac{r_b}{r_a}} \quad (8)$$

则稳恒电流场 E_r' 为

$$E_r' = -\frac{dU_r'}{dr} = \frac{U_a}{\ln \frac{r_b}{r_a}} \cdot \frac{1}{r} \quad (9)$$

可见式 (8) 与式 (2) 具有相同形式，说明稳恒电流场与静电场的电位分布函数完全相同，即柱面之间的电位 U_r 与 $\ln r$ 均为直线关系，并且 U_r/U_a 即相对电位仅是坐标的函数，与电场电位的绝对值无关，显而易见，稳恒电源的电场 E' 与静电场 E 的分布也是相同的，因为

$$E' = -\frac{dU_r'}{dr} = -\frac{dU_r}{dr} = E$$

实际上，并不是每种带电体的静电场及模拟场的电位分布函数都能计算出来，只有在 σ 分布均匀而且几何形状对称规则的特殊带电体的场分布才能用理论严格计算，上面只是通过一个特例，证明了用稳恒电流场模拟静电场的可行性。

为什么这两种场的分布相同呢？我们可以从电荷产生场的观点加以分析。在

导电质中没有电流通过时，其中任一体积元内（宏观小，围观大，即其内仍包含大量原子）正负电荷数量相等，静电荷为零，仍然呈电中性。因而，整个导电质内有电流通过时也不存在静电荷。这就是说，真空中的静电场和有稳恒电流通过时导电质中的电场都是由电极上电荷产生的。事实上，真空中电极上的电荷是不动的，在有电流通过的导电质中，电极上的电荷一边流失，一般由电源补充，在动态平衡下保持电荷的数量不变。所以这两种情况下电场分布是相同的。

六、模拟条件

模拟方法的使用有一定的条件和范围，不能随意推广，否则将会得到荒谬的结论，用稳恒电流场模拟静电场的条件可以归纳为以下三点：

稳恒电流场中的电极形状应与被模拟的静电场中的带电体几何形状相同。

稳恒电流场中的导电介质是不良导体且导电率分布均匀，并满足 $\sigma_{\text{电极}} \gg \sigma_{\text{导电质}}$ 才能保证电流场中的电极（良导体）的表面也近似是一个等位面。

模拟所用电极系统与被模拟电极系统的边界条件相同。

七、静电场的测绘方法

由（3）式可知，场强 E 的树枝上等于电位梯度，方向指向电位降落的方向，考虑到 E 是矢量，而电位 U 是标量，从实验测量来讲，测定电位比测定电场强度容易实现，所以可先测绘等位线，然后根据电力线与等位线正交的原理，画出电力线，这样就可由等位线的间距确定电力线的疏密和指向，讲抽象的电场形象地反映出来

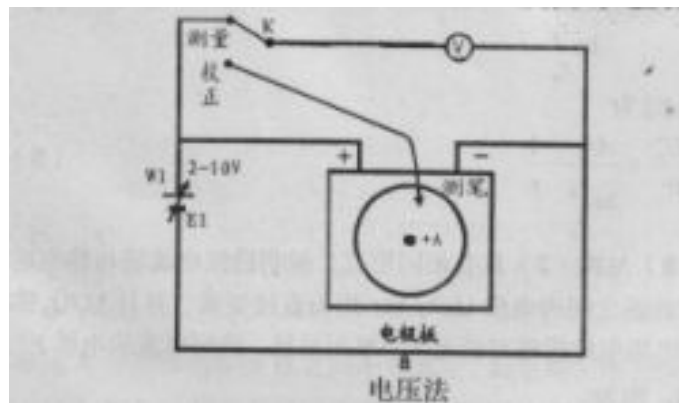


图3模拟静电场描绘的原理

具体方法：电压法，原理如图3，即 K 拨在校正位置。调节 $W1$ 使 $E1$ 调到我们所需工作电压一般为10V，然后将 K 拨到测量位置，测量笔（探针），放在 A 点，电压表显示电压数即为 A 点的电势值，这种方法简单、方便、直观。

JDC-4 静电场描绘仪使用方法

首先，开启电源开关。左右开关，测左按左，测右按右，测量校正开关按到校正，调电压调节旋钮使电表显示10V，然后将测量校正开关，按到测量位置。纵横移动测量笔，则电压表显示寻找所测电压值。

实验报告都需要记录，以备学生计算或验证，对模拟法作深刻研究。则需在对记录电极架上放好橡胶板铺平白纸、用磁条吸住，当液晶显示度数认为需要记录时，轻轻按下记录笔并在白纸上能清晰记下小点，一般所需记录电压请参阅讲义、或由任课教师确定，为实验清晰快捷，每等位线8-10点，然后连接即可。

普教实验方法：

1、仪器及准备

(1) 打开仪器盖后，确定实验项目，如点电荷。对应记录电极架上放好橡胶板铺平白纸，用磁条压住，注意一定要平整。

(2) 插上电源，将电源开关放在开的位置。

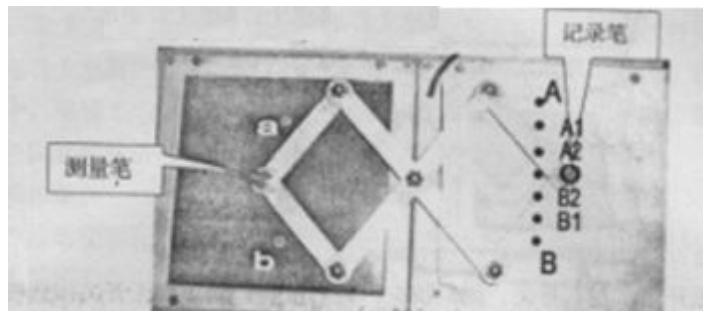
(3) 将测量校正开关按在校正位置。

(4) 调节电压调节旋钮，看电压表调到你需要的电压如 6V。

(5) 将左右开关测左按左，测右按右。

(6) 校正测量开关，按到测量位置。

3、等势线的描绘（电压以 6V 为例）



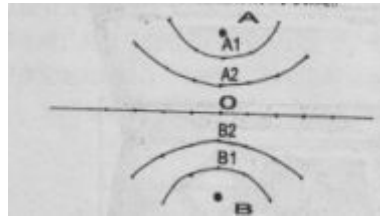
(1) 将测量笔放至 a 位置，按一下记录笔，再放到 b 点按一下记录笔，在白纸上记下 AB 二点将其六等分，分别为 A1、A2、0、B2、B1

(2) 测量笔对应 A1，测量出电压值，并在玻璃上纵横活动，寻找与 A1 相同的电压

值点，一般在 A1 左右二边各找四到五个点为宜，每找到一个点记录笔记下一个点。

(3) 以此类推，寻找 A2、0、B2、B1。

(4) 取下记录纸用笔将点相同电压值的点圆滑的联线。



4、注意点

- (1) 测量笔在玻璃上滑动不要过猛
- (2) 描绘笔在按时用力以能看到点子清晰为准

5、注：高校职教的实验以定量为主，普教以定性为主。