

用模拟法测绘静电场实验示范报告

【实验目的】

1. 理解模拟实验法的适用条件。
2. 对于给定的电极，能用模拟法求出其电场分布。
3. 加深对电场强度和电势概念的理解

【实验仪器】

JDY 型双层静电场测试仪、JDY 型静电场描绘电源、模拟装置（同轴电缆和电子枪聚焦电极）。

【实验原理】

1、静电场的描述

电场强度 E 是一个矢量。因此，在电场的计算或测试中往往是先研究电位的分布情况，因为电位是标量。我们可以先测得等位面，再根据电力线与等位面处处正交的特点，作出电力线，整个电场的分布就可以用几何图形清楚地表示出来了。有了电位 U 值的分布，由

$$E = -\nabla U$$

便可求出 E 的大小和方向，整个电场就算确定了。

2、模拟法

实验上想利用磁电式电压表直接测定静电场的电位，是不可能的，因为任何磁电式电表都需要有电流通过才能偏转，而静电场是无电流的。再则任何磁电式电表的内阻都远小于空气或真空的电阻，若在静电场中引入电表，势必使电场发生严重畸变；同时，电表或其它探测器置于电场中，要引起静电感应，使原场源电荷的分布发生变化。人们在实践中发现，有些测量在实际情况下难于进行时，可以通过一定的方法，模拟实际情况而进行测量，这种方法称为“模拟法”。

由于静电场和稳恒电流场服从的规律的数学形式相同，如又满足相同的边界条件，则电场、电位分布完全相类似，所以可用电流场模拟静电场。这种模拟属于数学模拟。

静电场(无电荷区)

稳恒电流场(无电流区)

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{D} = \epsilon \vec{E} \\ \oint \vec{D} \cdot d\vec{S} = 0 \\ \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \\ U_{ab} = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \vec{j} = \sigma \vec{E} \\ \oint \vec{j} \cdot d\vec{S} = 0 \\ \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \\ U_{ab} = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} \end{array} \right.$$

3、讨论同轴圆柱面的电场、电势分布

(1) 静电场

根据理论计算，A、B 两电极间半径为 r 处的电场强度大小为

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

A、B 两电极间任一半径为 r 的柱面的电势为

$$V = V_A - \frac{\ln \frac{b}{r}}{\ln \frac{b}{a}}$$

(2) 稳恒电流场

在电极 A、B 间用均匀的不良导体（如导电纸、稀硫酸铜溶液或自来水等）连接或填充时，接上电源（设输出电压为 V_A ）后，不良导体中就产生了从电极 A 均匀辐射状地流向电

极 B 的电流。电流密度为

$$\vec{j} = \frac{\vec{E}'}{\rho}$$

式中 E' 为不良导体内的电场强度， ρ 为不良导体的电阻率。

半径为 r 的圆柱面的电势为

$$V = V_A \frac{\ln \frac{b}{r}}{\ln \frac{b}{a}}$$

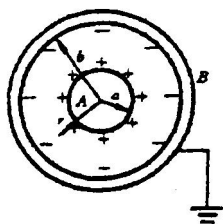


图 1、同轴圆柱面的电场分布

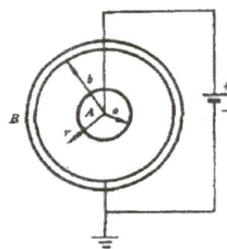


图 2、不良导体圆柱面电势分布

结论：

稳恒电流场与静电场的电势分布是相同的。由于稳恒电流场和静电场具有这种等效性，因此要测绘静电场的分布，只要测绘相应的稳恒电流场的分布就行了。

[实验内容与步骤]

1、测量无限长同轴圆柱间的电势分布。

(1) 在测试仪上层板上放定一张坐标记录纸，下层板上放置水槽式无限长同轴圆柱面电场模拟电极。加自来水填充在电极间。

(2) 接好电路。调节探针，使下探针浸入自来水中，触及水槽底部，上探针与坐标纸有 1-2mm 的距离。

(3) 接通电源，K2 扳向“电压输出”位置。调节交流输出电压，使 AB 两电极间的电压大约为 12.00V 左右，确定后保持不变。

(4) 移动探针，在 A 电极附近找出电势为 10.00V 的点，用上探针在坐标纸上扎孔为记。同理再在 A 周围找出电势为 10.00V 的等势点 8 个，扎孔为记。

(5) 移动探针，在 A 电极周围找出电势分别为 8.00V, 6.00V, 4.00V, 2.00V 的各 8 个等势点（操作中也可以是 1.20V, 3.02V 等且圆越大，应多找几点），方法如步骤（4）。

(6) 以 10V 的 8 个等势点连成等势线（应是圆），并确定圆心的位置。然后根据坐标纸的数据坐标线，量出各条等势线的直径，并分别求出等势线的半径。（坐标记录纸精度是 1mm，不确定度是 0.5mm）。

(7) 用游标卡尺分别测出电极 A 和 B 的直径 $2a$ 和 $2b$ 。

(8) 计算各相应坐标 r 处的电势的理论值 $V_{理}$ ，并与实验值比较，计算百分差。

(9) 根据等势线与电力线相互正交的特点，在等势线图上添置电力线，成为一张完整的两无限长带等量异号电荷同轴圆柱面的静电场分布图。

(10) 以 $\ln r$ 为横坐标， $V_{实}$ 为纵坐标，做 $V_{实}-\ln r$ 曲线，并与 $V_{理}-\ln r$ 曲线比较

2、测量聚焦电极的电势分布（选做）

分别测 10.00V、9.00V、8.00V、7.00V、6.00V、5.00V、4.00V、3.00V、2.00V 等(可以

对称地选择其中 5 个), 一般先测 6.00V 的等位点, 因为这是电极的对称轴, 步骤同上 [数据记录]

模拟电场分布测试数据

$V_A = 12.00 \pm 0.01V$ $2a = (1.608 \pm 0.002) \times 10^{-2}m$ $2b = (8.640 \pm 0.002) \times 10^{-2}m$
 $a = (0.804 \pm 0.001) \times 10^{-2}m$ $b = (4.320 \pm 0.001) \times 10^{-2}m$

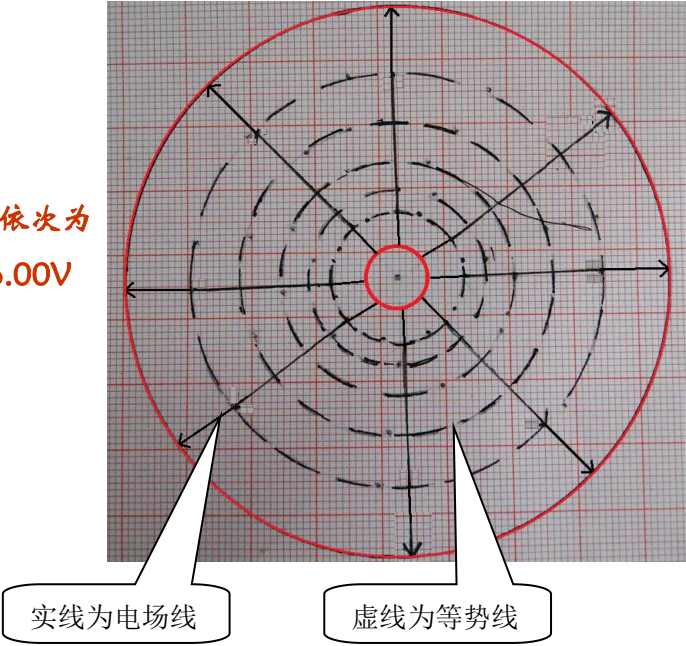
$V_{实}(V)$	10.00 ± 0.01	8.00 ± 0.01	6.00 ± 0.01	4.00 ± 0.01	2.00 ± 0.01
$r(\times 10^{-2}m)$	1.000 ± 0.025	1.380 ± 0.025	1.810 ± 0.025	2.410 ± 0.025	3.220 ± 0.025
Lnr	0.00	0.32	0.59	0.88	1.17
$V_{理}(V)$	10.44	8.13	6.19	4.15	2.10
$\frac{V_{实} - V_{理}}{V_{理}}(\%)$	-4.3%	-1.6%	-3.1%	-3.7%	-4.8%

处理:

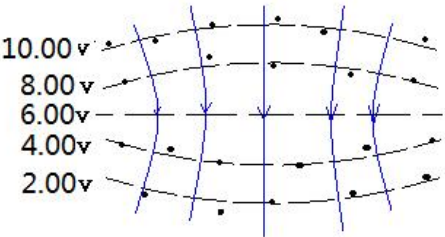
- 1、用圆规和曲线板绘出圆柱形同轴电缆电场等位线(注意电极的位置).
- 2、根据电力线垂直等位面,绘出电力线.

贴图 1: 同轴圆柱体

电势从外往里依次为
2.00V 4.00V 6.00V
8.00V 10.00V



贴图 2: 聚焦电极



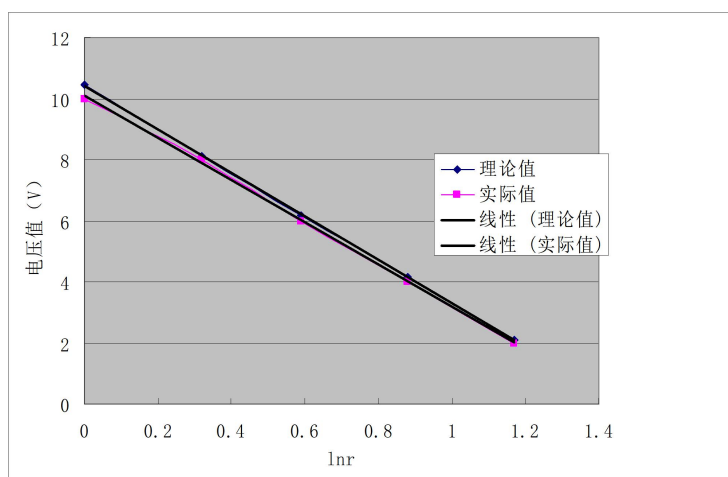
3、在圆柱形电缆电场分布图上量出各等位线的半径,计算 V 并与理论值比较,求出其相对误差.

$$(1) \quad r_1 = 1.00\text{cm}; \text{ 则 } V_1 = V_A \frac{\ln(\frac{r_1}{b})}{\ln(\frac{a}{b})} = 12.00 \times \frac{\ln\left(\frac{1.000}{4.320 \times 10^{-2}}\right)}{\ln\left(\frac{0.804 \times 10^{-2}}{4.320 \times 10^{-2}}\right)} = 10.44(V);$$

$$E_v = \frac{V_{\text{实}} - V_{\text{理}}}{V_{\text{理}}} \times 100\% = \frac{10.00 - 10.44}{10.44} \times 100\% = -4.3\%$$

同理可得 (2)、(3)、(4)、(5) 组结果表达式, 单位 (应写出对应的结果)。

注: 本实验百分差小于 10%。



[结果的定性和定量分析]

(1) 由图中可以看出实际测量值都在理论值的下方, 说明实验的误差主要来自系统误差。

随半径的增大, ΔV 减少, 这是因为 $\frac{\Delta r}{r}$ 减小, 对结果的影响减少了, 另一方面, 外面电流密度较小, 探针的移动已很难被感知, 测量值都很接近了。

(2) 等势面由人工拟合, 因此半径的计算较粗糙, 估计至少 $\Delta r = 0.2\text{cm}$, 分析对第一组数据的影响。由:

$$V_1 = V_A \frac{\ln(\frac{r_1}{b})}{\ln(\frac{a}{b})} \text{ 知, } \Delta V = \frac{\partial V}{\partial r} \Delta r = \frac{V_A}{\ln(\frac{a}{b})} \cdot \frac{\Delta r}{r} = \frac{8.0}{\ln \frac{0.409}{2.145}} \cdot \frac{0.2}{1.1} = 1.09V$$

$$E_v = \frac{1.09}{8} \times 100\% \approx 12\%$$

说明在确定数据点时, 一定要保证装置和操作的稳定性, 另外数据尽量多, 以减少实验值的波动性。