

天津大学物理实验报告

自动化学院 2016 年级 自动化 专业 6 班 姓名 刘佳伟 成绩 90

实验日期: 学号 5016205151 同组实验者 王印鑫

实验题目: 用电流场模拟静电场

一: 实验目的

- ①加深对电场强度和电势概念的理解
- ②学会用模拟法测量和研究二维静电场
- ③了解几种电极间的电场分布

二: 实验仪器

静电场模拟仪, 检流计, 直流电源, 等值电阻及压器

三: 实验原理

①模拟法的特点与适用条件

模拟法是仿造一种模型或物理状态, 利用几何形状和物理规律在形式上相似的原理, 把不便于直接测量的物理量或分布形式转换成容易测量的模拟量, 从而实现对间接测量。使用模拟法的条件是: 模拟与被模拟这两种状态或过程要有一一对应的物理量, 并且这些物理量在两种状态或过程中都满足数学形式基本相同的方程和边界条件。

本实验利用电流场模拟静电场。用磁电式电表无法直接测定静电场的势分布情况, 因为在任何磁电式电表都需要有电流通过才能偏转, 而静电场中

- ① 了解静电场强度和电势概念及求解
② 学会用模拟法测量和研究静电场
③ 了解几种电极间的电场分布

二、实验仪器

静电场模拟仪、检流计、直流电源、等值电阻分压器

三、实验原理

① 模拟法的基本原理及适用条件

模拟法是仿造一种模型或物理状态，利用几何形状和物理规律在形式上相似的原理，把不便直接测量的物理量变为几何形式转换成容易测量的物理量，从而实现间接测量。使用模拟法的前提条件是：模拟与欲模拟这两种状态或过程要有一一对应的物理量，并且这些物理量在两种状态或过程中都满足数学形式基本相同方程和边界条件。

本实验利用静电场模拟静电场，用磁电式电表无法直接测定静电场的电势分布情况，因为在磁电式电表都需要有电流通过才能偏转，而静电场中无电流。另外在磁电式电表的内阻都远小于空气或真空的电阻，若将电表或探针伸入静电场时，会产生感应电荷，这些电荷所产生的电场与原静电场叠加，必使原电场产生畸变，因此静电场是无法直接测量的。

② 恒定电流场的电流密度与静电场的关系

电磁学理论指出，当空间不存在体分布电荷时，各向同性介质中的静电场满足下列微分方程及边界条件：

$$\begin{cases} \nabla \cdot D = 0, & D_n = D_{2n} \\ \nabla \times E = 0, & E_n = E_{2n} \end{cases}$$

其中 D 为电位移矢量， E 为电场强度， n 表示法向，下标 1 或 2 代表边界两侧的介质， D 和 E 之间有如下关系：

$$D = \epsilon E = \epsilon_r \epsilon_0 E$$

其中 ϵ_r 为相对介电常量，而 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{N} \cdot \text{m})$ 。在各向同性导电介质中，恒定电流场的电流密度 J 和电场强度 E 满足下列微分方程及边界条件：

$$\begin{cases} \nabla \cdot J = 0, & J_n = J_{2n} \\ \nabla \times E = 0, & E_n = E_{2n} \end{cases} \quad J = \sigma E \quad (20-1)$$

附 页

③ 同种电荷分布的静电场。

(1) 同轴电缆的静电场分布

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


(b) 同轴电缆横截面上静电场分布
7. 如图为两根无限长平行导线，导线内为电场线

实验	A	B	U
	6.35	-3.22	$U = 6.35 - 3.22 \ln r$
理论	6.70	-3.32	$U = 6.70 - 3.32 \ln r$

$$\frac{\Delta A}{A_{理}} = \frac{0.35}{6.70} = 5.2\%$$

$$\frac{\Delta B}{B_{理}} = \frac{0.1}{3.32} = 3.0\%$$

2. 平行电缆的静电势分布

图象见附纸

实验图象与理论图象大致相同

五. 实验的误差分析与感想

1. 误差分析

在实验过程中人为找等势点存在不确定因素, 轻微的扰动会导致点发生偏移, 纸面也可能随着打点在不停移动从而使得该点不再是等势点, 以及打点不均匀, 因此人为误差不可避免。此外该系统存在系统误差, 电源电压在移动探针过程上下波动, 在打点过程中打出的点也会造成影响。

实验日期: _____ 学号 _____ 同组实验者 _____

实验题目:

1. 同轴电缆的大致图象见下页附纸, 其等势线的特征如下, 呈现 A/r^2 特征, 因此中间线为等势线的特征点.

(b) $V(r) - \lg r$ 图处理分析.

	理论	实际测量
A	6.70	6.35
B	-3.32	-2.23 -3.22

$$V_A = 6.70 - 3.32 \lg r \quad V = 6.35 - \frac{3.22}{\lg r}$$

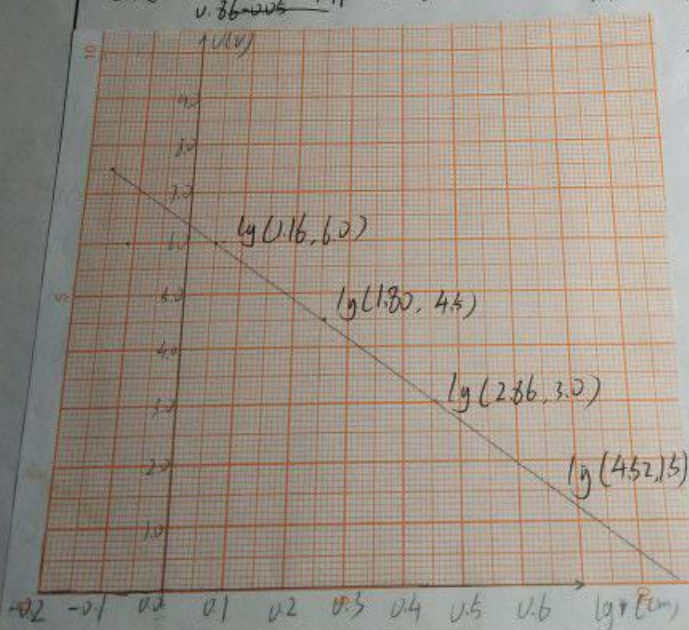
$$B_{\text{实}} = \frac{0 - 6.0}{0.86 - 0.05} = -7.41 \quad A_{\text{实}} = 6.35$$

$$\lg r = 0.86$$

$$\Rightarrow r = 7.2$$

$$\Rightarrow \ln 7.2 = 3.22$$

$$B_{\text{实}} = \frac{6.35 - 0}{\ln 7.2 - \ln 1} = \frac{-3.22}{-2.23}$$



$$r_{K,5} = (0.05, 6.0)$$

$$(0.86, 0.86)$$

无限长同轴电缆，内导体半径为 \$R_1\$，外导体半径为 \$R_2\$，其间填充介电常数为 \$\epsilon\$ 的均匀电介质。可知电场方向由圆柱体指向圆筒，呈辐射状分布，两导体间的等势面为一系列同心圆筒面。在垂直于轴线的平面上，电场分布完全相同，等势面为一系列同心圆筒面。两导体沿轴向单位长度所带电荷量分别为 \$+\lambda\$ 和 \$-\lambda\$，利用高斯定理求得与轴相距为 \$r\$ (\$R_1 < r < R_2\$) 处的电场强度大小为



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

(1) 同轴电缆

(2) 同轴电缆横截面静电场分布
其中 \$R_1\$ 和 \$R_2\$ 分别为内外导体的半径

由于电场强度和电势间满足关系

$$E = -\frac{dV}{dr}$$

所以，两导体间电势差为

$$V_0 = \int_{R_2}^{R_1} E dr = - \int_{R_2}^{R_1} \frac{\lambda}{2\pi\epsilon r} dr = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

设导体圆筒的电势为零，则两导体间距轴为 \$r\$ 处的电势为

$$V(r) = \int_r^{R_1} E dr = - \int_r^{R_1} \frac{\lambda}{2\pi\epsilon r} dr = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon} \ln \frac{R_1}{r} = V_0 \frac{\ln R_1 - \ln r}{\ln R_2 - \ln R_1}$$

或 $V(r) = A + B \ln r$ 其中 $A = \frac{V_0 \ln R_2}{\ln R_2 - \ln R_1}$, $B = -\frac{V_0}{\ln R_2 - \ln R_1}$

(2) 同轴电缆的电阻分布

假设同轴电缆两导体间充满某种各向同性均匀导电介质，在两导体间接通电动势为 \$V_0\$ 的电源，则导电介质中将有电流流过，电流流向为沿径向由圆柱指向圆筒。在导电介质中距轴为 \$r\$ 处取一与电缆同轴的薄圆筒，其厚度为 \$dr\$，长度为 \$L\$，相对于径向电流，该圆筒区段导电介质的电阻为

$$dR = \rho \frac{dr}{2\pi r L}$$

14

6c
12.4

$$A_{\text{理}} = \frac{0.55}{6.70} = 8.2\%$$

$$\frac{\Delta B}{B_{\text{理}}} = \frac{0.1}{3.52} = 3.0\%$$

2. 平行电缆的静电分布

图象见附纸

实验图象与理论图象大致相同

五. 实验的误差分析与感想

1. 误差分析

在实验过程中人为找等势点存在不确定因素, 轻微的扰动会导致点发生偏移, 纸面也可能随着打点在不停移动, 从而使得该点不再是等势点, 以及打点不均匀, 因此人为误差不可避免

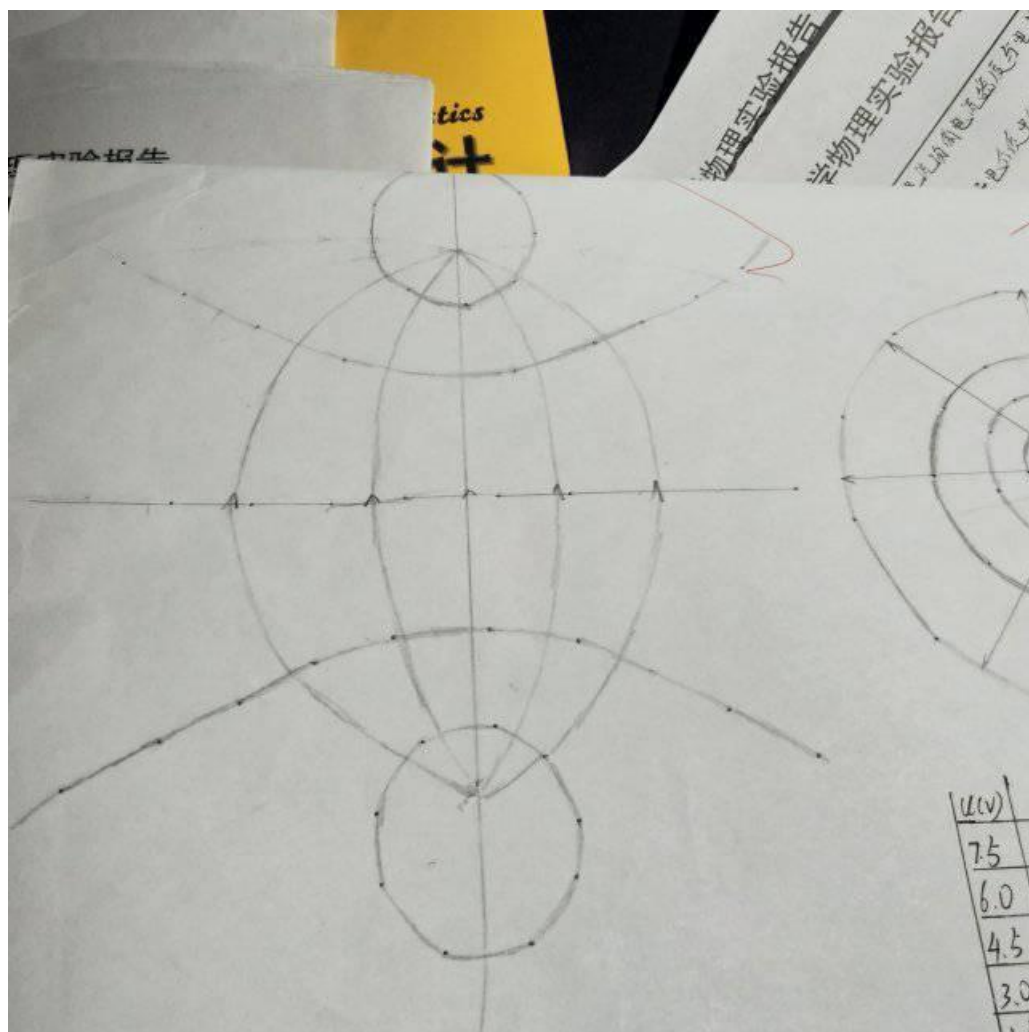
此外该系统存在系统误差, 电源电压在移动探针过程上下波动, 在打点过程中打点次数也会造成影响。

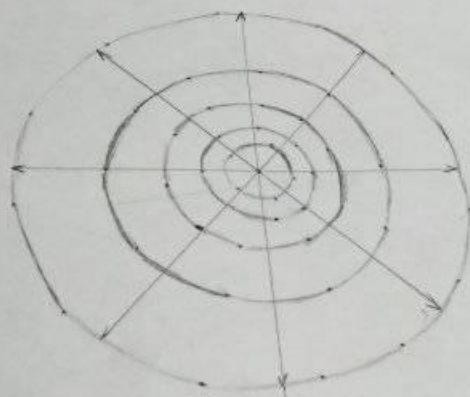
2. 感想

在大物课中, 根据高斯定理可以分析等势线为同心圆且呈现出中心密, 外边疏的特点。

在分析数据时由于书上的实验公式选取为 \ln , 而实验室公牌公式选取为 \lg , 造成分析时的一些错乱, 在描绘图象时选取 \lg , 而在计算时选取为 \ln , 所以在 \lg 与 \ln 间需要一些转化, 将 \lg 所对应的数值转化为 \ln 对应的数值得到以上结果

在判断同组电缆新旧时出现一些问题, 开始用新仪器计算时发现误差过大, 在之后发现应选取旧仪器计算得到结果基本相同但需每算一个值





$U(V)$		$r_i (cm)$				$\bar{r}_i (cm)$	$r_i (理论)$	百分差
7.5	r_1	0.68	0.70	0.70	0.72	0.70	1.37	48.9%
6.0	r_2	1.15	1.23	1.15	1.10	1.16	1.87	38.0%
4.5	r_3	1.90	1.85	1.72	1.73	1.80	2.55	29.4%
3.0	r_4	3.11	2.97	2.72	2.65	2.86	3.48	17.8%
1.5	r_5	4.90	4.76	4.32	4.10	4.52	4.76	5.0%
		$A(V)$				$B(V)$		$U = A + B \lg r$

拟合公式 $A = U_0 \cdot \frac{\lg R_0}{\lg R_1 - \lg R_0} = 9.00$ $B = U_0 \cdot \frac{1}{\lg R_1 - \lg R_0} = -11.07$ $U = 9.00 - 11.07 \lg r$