

## 实验室规则

为了在实验中培养学生严谨的科学作风，确保人身和设备的安全，顺利完成实验任务，特制定以下规则：

- 1) 严禁带电接线或拆线。
- 2) 接好线路后要认真复查，确信无误，方可接通电源。如无把握，须请教师复查。
- 3) 发生事故，迅速切断电源，保持现场，并向教师报告。
- 4) 欲增加或改变实验内容，须事先征得教师同意。
- 5) 非本次实验所用的仪器设备，未经教师允许不得动用。
- 6) 损坏了仪器设备必须立即向教师报告，并作出书面说明。责任事故要酌情赔偿。
- 7) 保持实验室整洁、安静。
- 8) 实验结束后，要拉下电闸，并将有关实验用品整理好。

## 实验报告要求

要求认真书写实验报告，每位完成实验的学生必须交一份实验报告。实验报告所含具体内容与要求如下：

- 1) 实验目的
- 2) 课前完成的预习内容

包括指导书所要求的理论计算、设计记录表格等。

- 3) 实验数据处理及分析

根据实验原始记录整理成正式数据，并按指导书要求加以必要的处理和分析。

- 4) 实验总结

完成指导书所要求的总结、问题讨论并可写出自己的心得体会。

# 实验一 多导体系统部分电容的测量

## 1. 实验目的

- 1) 掌握测定导体系统的电位系数 $\alpha$ 、静电感应系数 $\beta$ 及部分电容 $C$ 的实验方法；通过实验了解这些系数的物理意义及影响它们的因素；
- 2) 验证 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $C$ 诸系数间的关系；
- 3) 了解这些系数在工程实际中的应用。

## 2. 实验原理概述

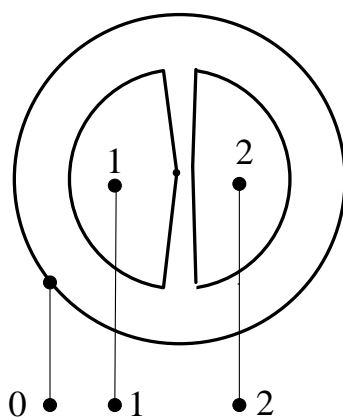


图 1.1 三导体静电独立系统示意

如图 1.1 所示，在一个由 3 个导体组成的线性静电独立系统中，将参考导体编为 0 号导体，其余两个导体分别编为 1 和 2 号导体，则导体上的电荷与电位的关系可以用以下方程组表示：

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= \alpha_{11}q_1 + \alpha_{12}q_2 \\ \varphi_2 &= \alpha_{21}q_1 + \alpha_{22}q_2\end{aligned}\tag{1}$$

$$\begin{aligned}q_1 &= \beta_{11}\varphi_1 + \beta_{12}\varphi_2 \\ q_2 &= \beta_{21}\varphi_1 + \beta_{22}\varphi_2\end{aligned}\tag{2}$$

$$\begin{aligned}q_1 &= C_{10}(\varphi_1 - 0) + C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) \\ q_2 &= C_{21}(\varphi_2 - \varphi_1) + C_{20}(\varphi_2 - 0)\end{aligned}\tag{3}$$

方程组（1）、（2）和（3）分别是电位系数方程式、感应系数方程式和部分

电容方程式。其中  $\alpha_{jk}$  称为电位系数，它表示导体  $k$  上的总电荷对导体  $j$  的电位影响； $\beta_{jk}$  称为静电感应系数； $C_{jk}$  称为部分电容。 $\varphi_j$  表示导体  $j$  的电位， $q_j$  是导体  $j$  上的电荷。

电位系数、静电感应系数和部分电容都具有互易特性，即满足：

$$\alpha_{jk} = \alpha_{kj} \quad \beta_{jk} = \beta_{kj} \quad C_{jk} = C_{kj} \quad (j \neq k)$$

实验时用可调直流稳压电源使导体充电至其电位为  $\varphi_k$ ，再用冲击电流计来测量导体上的电荷。

### 3. 实验连线举例

#### 3.1 测 $\beta_{11}$

从方程组（2）的第一个方程来看，可将含  $\beta_{12}$  的项设为 0，即当  $\varphi_2 = 0$  时， $\beta_{11} = q_1 / \varphi_1$ ，则测量电路如图 1.2 所示。

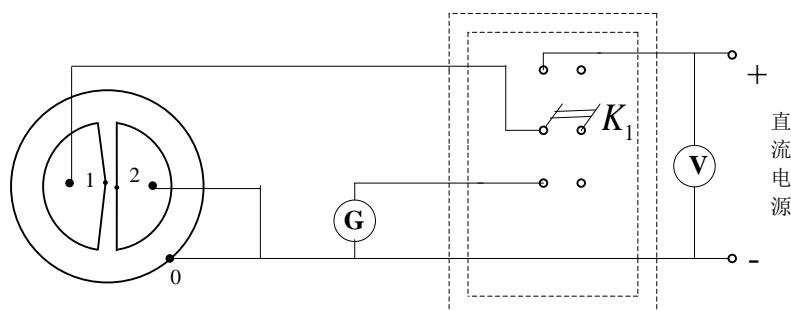


图 1.2 测  $\beta_{11}$  用的接线图

图 1.2 中  $K_1$  代表双刀双掷开关； $G$  代表冲击电流计。

为完成测量，电路共有两个状态。第一个状态是充电电路，将导体 2 接地（在实验中即接至电源的负极），将导体 1 接至直流电源的正极，使导体 1 充电至其电位为  $\varphi_1$ ；第二个状态是放电电路，即将开关  $K_1$  合向下方，这时导体 1 接冲击电流计正极，通过电流计放电，由此可测得导体 1 的电荷  $q_1$ 。由电压表读得  $\varphi_1$ ，即可算出  $\beta_{11}$ ， $\beta_{22}$  仿此也可得出。

### 3.2 测 $C_{10}$

由方程组（3）的第一个方程可知，当 $\varphi_1 = \varphi_2$ 时， $C_{10} = q_1 / \varphi_1$ ，所以可以用图 1.3 的线路来测它。 $K_1$ 合向上方时，将导体 1 和 2 接至同一电位。操作方法同前，当 $K_1$ 合向下方时导体 1 通过电流计放电，测得 $q_1$ ，即可算出 $C_{10}$ ， $C_{20}$ 仿此也可测出。

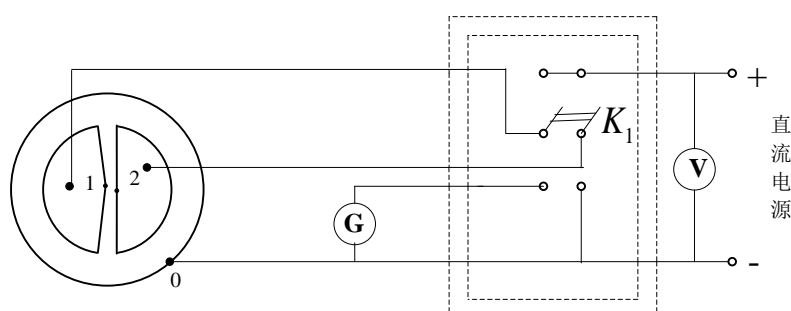


图 1.3 测 $C_{10}$ 用的接线图

### 3.3 测 $\alpha_{12}$

对互有电位系数 $\alpha_{12}$ 的测量可采用直接的测量思路，即从方程组（1）的第 1 个方程可知，当 $q_1 = 0$ 时， $\alpha_{12} = \varphi_1 / q_2$ 。其中 $\varphi_1$ 的测量需要利用到示波器的触发采集功能。

也可采用间接的测量思路，即从方程组（1）的第 1 个方程可知， $\alpha_{12} = (\varphi_1 - \alpha_{11}q_1) / q_2$ ，可先测出 $\alpha_{11}$ ，然后以 $\alpha_{11}$ 为已知条件，设计 $\alpha_{12}$ 的测量电路。测其它各系数时，可仿上面根据各系数的定义来安排实验线路。

## 4. 实验设备简介

#### 1) 电缆模型。

被测量的多导体系统是一段电缆，实物如图 1.5 所示，示意图如图 1.6 所示，其中 0、1、2、3、4 是五个互相绝缘的导体，图 1.1 中黑接线柱连接的导线是 0

号导体，直接和整个固定平台焊接在一起，代表参考导体。在此实验平台上，通过将任意两个导体相短接，可以方便地建立起 2、3、4、5 导体系统。在本次实验中请将图 1.5 中的导体 1 和导体 2 短接，将导体 3 和导体 4 短接，这样建立起了 3 导体系统，即 0、（1 和 2）以及（3 和 4）。



图 1.5 五芯电缆导体

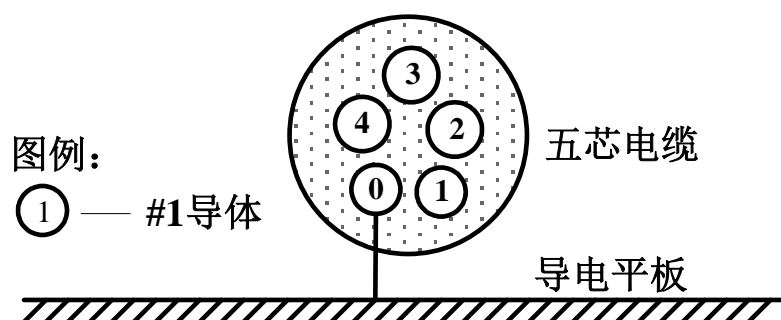


图 1.6 五芯电缆模型示意

- 2) 数字积分式冲击电流计一台。
- 3) 直流稳压电源 0—30V 1 台。
- 4) 电压表 30V 一台。
- 5) 开关一个。

## 5. 实验任务

- 1) 按照前述的实验原理拟出对于三导体静电独立系统测得  $C_{12}$ 、 $\alpha_{11}$  和  $\alpha_{12}$  的线路图。

- 2) 写出系数矩阵  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $C$  之间的关系式。(以上两步在预习时完成)。
- 3) 将图 1.5 中的导体 1、2 短接组成第一组，导体 3、4 短接组成第二组，这样 (1 和 2)、(3 和 4) 和 0 号导体组成了三导体静电独立系统。
- 4) 测出  $C_{10}$ 、 $C_{20}$ 、 $C_{12}$ 、 $\beta_{11}$ 、 $\beta_{22}$ 、 $\alpha_{11}$ 、 $\alpha_{22}$ 、 $\alpha_{12}$ 。每个参数测 3 次，最后计算时取平均值。测量数据记录如表 1.1 所示，需要记录每次测量时的电压、冲击电流计的示数。

原始数据记录如表 1.1 所示 (以测  $C_{10}$  为例)：

表 1.1：测量数据记录

系数	次数	电压 (V)	电荷 (nC)
$C_{10}$	1		
	2		
	3		

## 6. 注意事项

- 1) 在利用数字积分式冲击电流计进行电荷量测量时，当开机通电后，先预热 5 分钟。
- 2) 每一系数的测定，要在不同的电压下测 3 次取其平均值。

## 7. 实验报告要求

- 1) 画出对于三导体静电独立系统测得  $C_{12}$ 、 $\alpha_{11}$  和  $\alpha_{12}$  的线路图。
- 2) 写出系数矩阵  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $C$  之间的关系式。
- 3) 由原始测量数据计算出  $C_{10}$ 、 $C_{20}$ 、 $C_{12}$ 、 $\alpha_{11}$ 、 $\alpha_{22}$ 、 $\alpha_{12}$ 、 $\beta_{11}$  和  $\beta_{22}$ 。
- 4) 由上步计算得出的各个系数，整理出  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $C$  矩阵。
- 5) 由实验测量数据验证矩阵  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $C$  之间的关系，并分析误差原因。

## 8. 思考题

1) 在设计电路时，电源的负极和电流计的负极必须接在一起吗？为什么？指导书中将电源的负极和电流计的负极接在一起，这样设计有什么好处？

# 实验二 L 型区域导电媒质中的电流场测量

## 1. 实验目的

- 1) 学习用实验方法测量出水槽中的等位线分布；
- 2) 练习徒手画出电流线；
- 3) 学习平行平面电场的造型方法。

## 2. 实验原理

### 2.1 测量模型建立

汇流条是发电厂或变电所内为了引入或引出多路电流而用铜做成的导线，截面是矩形，汇流条一般很长，其中的电流均匀分布，但若汇流条有转角，以及截面变化，那么，恒定电场的分布就改变了，可用一水槽做成汇流条的转角的模型，实物图如图 2.1 所示，它的形状和尺寸与要求的相似，在其中通入电流，可得一恒定电场的分布。

### 2.2 边界条件分析

汇流条转角处恒定电场模型示意如图 2.2 所示，对此模型的边界条件分析如下：

- 1) 认为电流分布只与  $x$ 、 $y$  轴有关，与厚度（ $z$  轴）无关，是二维场。
- 2)  $A-A'$ ， $B-B'$  是已知边界，即第一类边界条件， $\varphi|_{AA'} = \varphi_A$ ， $\varphi|_{BB'} = \varphi_B$ 。
- 3) 水是非理想电介质，水槽的边缘为有机玻璃，是理想介质，电流线总是与导体表面平行，在  $A-B$ 、 $A'-B'$  边界  $E_n = -\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0$ ，是第二类边界条件。

### 2.3 找等位线及画电流线的方法

在离拐角处较远的  $F$ 、 $F'$  点，可以认为场分布均匀，等位线  $F-F'$  是垂直



于水槽两边的直线，这条线上的电流密度是常数。

用电压表测量场中的两点间的电位差  $\Delta u$ ，若其值为零，则两点等位。从  $AB$  线到  $A'B'$  线可求出许多条等位线，取  $\Delta u$  为定值得出等位线组。由于水槽的边缘一定是电流线，所以等位线垂直于  $AB$  及  $A'B'$  边界。

电流线则根据与等位线垂直的原理徒手画出，这样两组线把场分成许多正交曲线小格。

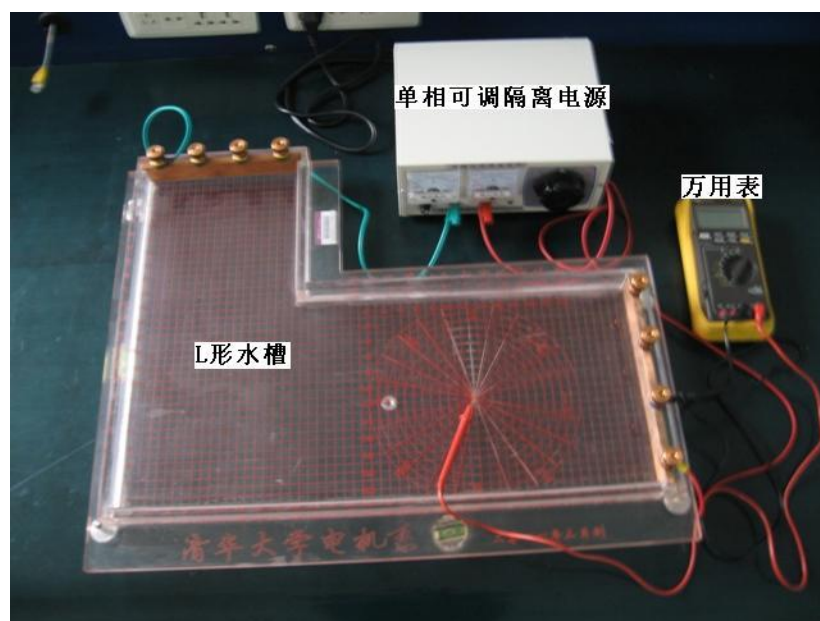


图 2.1 汇流条转角处恒定电场

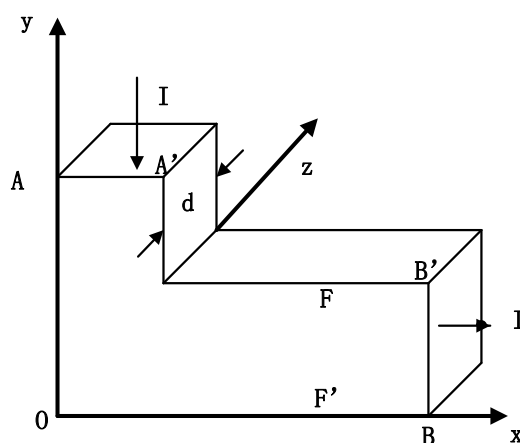


图 2.2 汇流条转角处恒定电场模型示意

### 3. 实验设备

#### 1) 水槽平台

本实验所用水槽如图 2.1 所示，在“L”形水槽的两端各放置了一根铜条，则每根铜条上各自分别电位相等，从而使得与铜条相接触的水电位相等。“L”形水槽材料选用透明合成塑料，同时在水槽上印有刻度（图 2.1 中红色网格线），用以确定各点的坐标。

#### 2) 单相可调隔离电源 0—250V

#### 3) 电压表

#### 4) 电流表

### 4. 实验任务及步骤

请按以下实验操作步骤完成实验任务：

- 1) 按照一定的比例缩放在纸上画出“L”形水槽的形状，画好相应的网格线，标好刻度；
- 2) 向水槽中倒水至水槽深度第一个刻度线处；
- 3) 放置铜条在“L”形水槽的两端，即  $A-A'$ ， $B-B'$  附近的凹槽内；
- 4) 按示意图 2.3 接好电路；
- 5) 调节单相可调隔离电源前面板上的旋钮，将电压的幅值调至 5V，实验过程中保持电流表读数不变；
- 6) 将电压表负极接至与电压源的负极相连的铜条上；
- 7) 将电压表正极表笔在水槽中滑动，找出电位等于 1V 的 5 个点，在“L”形水槽的模型图上将 5 个点用线连接起来，即完成第一条等位线的绘制；
- 8) 按照步骤 7 中的方法，依次找出电位为 2V、3V 和 4V 的三条等位线；
- 9) 利用电流线与电位线相互垂直的原理，在水槽的模型图上由已经绘制的电位线画出电流线。

### 5. 注意事项

- 1) 通电之前请确认单相可调隔离电源前面板上的旋钮在最小位置处，即 0 处。

通电后，慢慢转动旋钮，同时观察电压表，当读数为 5V 时，停止转动旋钮。

2) 通电之前请确认万用表档位选择是否正确，测电压需放在电压档，测电流需放在电流档，并且注意交直流的选择。

3) 在对测量值未知的情况下，应从最大档位开始，然后根据测量结果逐步选择较小档位。

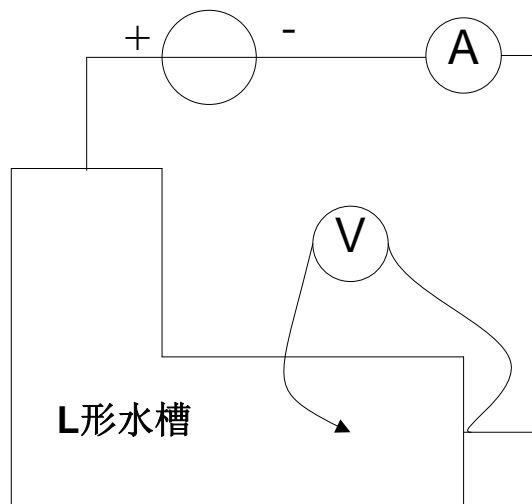


图 2.3 电路连线示意

## 6. 实验报告要求

根据场的图形。回答下列问题：

- 1) 在你画的汇流条电流场中何处电场最强？
- 2) 离转角多远的地方，场就可以看作均匀了？
- 3) 分析当电源电压增加一倍或减小一半，实验测得的等位线与电力线形状是否变化？

## 实验三 圆柱电极间导电媒质中的电流场测量

### 1. 实验目的

- 1) 学习用实验方法测量出水槽中的等位线分布;
- 2) 练习徒手画出电流线;
- 3) 学习静电场的模拟原理。

### 2. 实验原理

静电场是由静止电荷引起的。通常情况下，用实验方法直接研究静电场是很困难的。因此可以利用静电比拟，将静电场问题转换成恒定电场问题。下面以同轴电缆模型为例，分别给出其静电场和恒定电场分析的结果。

#### 2.1 同轴电缆的静电场分析

如图 3.1 所示，实心圆柱导体和圆柱壳导体同轴放置，内圆柱导体的半径设为  $r_1$ ，圆柱壳的内径设为  $r_2$ ，二者之间为真空，是绝缘介质，介电常数为  $\varepsilon$ ，已知内导体和圆柱壳导体之间的电压为  $U$ ，请分析内外导体之间的电场分布。

在内导体和圆柱壳导体之间的介质区域内任取一点 P，P 点距离轴心的距离为  $r$ ，P 点沿圆柱侧面方向距离纸面的长度设为  $l$ ，由高斯定理可知：

$$\oint D \cdot dS = q = \tau l$$

其中， $\tau$  为内导体垂直于纸面方向的单位长所带的自由电荷。因为  $S$  的两底面的法向与  $D$  垂直，所以其点积为 0，所以  $\oint D \cdot dS$  只剩下与  $S$  侧面的点积，所以有：

$$\oint D \cdot dS = q = D 2\pi r l = \tau l$$

所以：  $D = \frac{\tau}{2\pi r}$ ，则  $E = \frac{\tau}{2\pi \varepsilon r}$ 。

而  $U = \int_{r_1}^{r_2} E dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\tau}{2\pi \varepsilon r} dr = \frac{\tau}{2\pi \varepsilon} \ln \frac{r_2}{r_1}$

可推导出：  $\frac{\tau}{2\pi\varepsilon} = \frac{U}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$

$$\text{则 } E = \frac{U}{r \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (1)$$

若将外壳导体接地，即  $U_2 = 0$ ，则在导体之间的介质区域内任意一点 P 的电位为：

$$U = U_{r_2} = U_r - U_2 = \int_r^{r_2} E dr = \int_r^{r_2} \frac{U}{r \ln \frac{r_2}{r_1}} dr = \frac{U}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \ln \frac{r_2}{r} \quad (2)$$

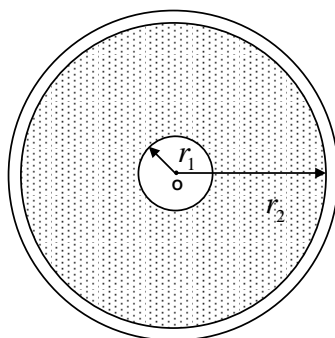


图 3.1 同轴电缆示意

## 2.2 同轴电缆的恒定电场分析

如图 3.1 所示，若电缆内外导体间不是真空，而是充满某种不良导体（其电阻率为  $\rho$ ，介电常数为  $\varepsilon$ ），同样，已知内外导体之间的电压为  $U$ ，请分析导体之间的电场分布。这时，由于两导体之间的媒质不是绝缘介质，则导体之间会有漏电流，即形成径向电流，这样就建立了一个恒定电场，为分析方便，将此漏电流设为  $I$ 。

良导体与绝缘体或良导体与不良导体相接触时，导体表面都可近似认为是等位面，所以电介质一侧电流线与其表面垂直，由对称性可知，电流线为均匀辐射状直线。

在导体之间的介质区域内任取一点 P，P 点距离轴心的距离为  $r$ ，P 点沿圆柱侧面方向距离纸面的长度设为  $l$ ，由高斯定理可知：

$$I_{\text{体}} = \oiint J \cdot dS = \oiint J \cdot 2\pi l = Il$$

其中， $J$  为体电流的面密度， $I$  为单位长度电缆中的漏电流，是电流密度  $J$  在曲面上的通量。

$$\text{所以有： } J = \frac{I}{2\pi r}$$

$$\text{则： } E = \frac{J}{\sigma} = \frac{I}{2\pi\sigma r}$$

$$\text{同样有 } U = \int_{r_1}^{r_2} E dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{I}{2\pi\sigma r} dr = \frac{I}{2\pi\sigma} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

$$\text{可推导出： } \frac{I}{2\pi\sigma} = \frac{U}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$\text{则 } E = \frac{U}{r \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (3)$$

若将外壳导体接地，即  $U_2 = 0$ ，则在导体之间的介质区域内任意一点 P 的电位为：

$$U = U_{r_2} = U_r - U_2 = \int_r^{r_2} E dr = \int_r^{r_2} \frac{U}{r \ln \frac{r_2}{r_1}} dr = \frac{U}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \ln \frac{r_2}{r} \quad (4)$$

从式（1）、（2）、（3）和（4）可以看出利用静电场分析同轴电缆模型和用恒定电场来分析同轴电缆模型最后得到的  $E$  和  $U$  的函数表达式是相同的。因此，想要测量静电场的分布，只要测量与之相等效的恒定电场的电场分布就可以了。

### 3. 实验设备

- 1) 水槽平台
- 2) 单相可调隔离电源 0—250V
- 3) 电压表

## 4. 实验任务及步骤

### 4.1 研究同轴电缆间的电场

请按以下实验操作步骤完成实验任务：

按照一定的比例缩放，在纸上画出同轴电缆模型的形状，画好相应的网格线标好刻度；

- 1) 向水槽中倒水至水槽深度第一个刻度线处；
- 2) 放置一个实心圆柱导体和圆环体在 L 形水槽内，如图 3.2 所示；
- 3) 按示意图 3.3 接好电路；
- 4) 电压源的幅值调至 5V，实验过程中保持电流表读数不变；
- 5) 将电压表负极接至圆环上；
- 6) 将电压表正极性表笔在圆环内侧水槽底板上滑动，找出电位等于 1V 的 8 个点，在同轴电缆模型图上将 8 个点用线连接起来，即完成第一条等位线的绘制；
- 7) 按照步骤 6 中的方法，依次找出电位为 2V 和 3V 的两条等位线；
- 8) 利用电流线与电位线相互垂直的原理，由已经绘制的电位线画出电流线。
- 9) 以同轴电缆的圆心为圆点，测出沿径向当半径  $r$  分别等于 3、5、7 和 9 时的电位值，用于和理论值的比较。

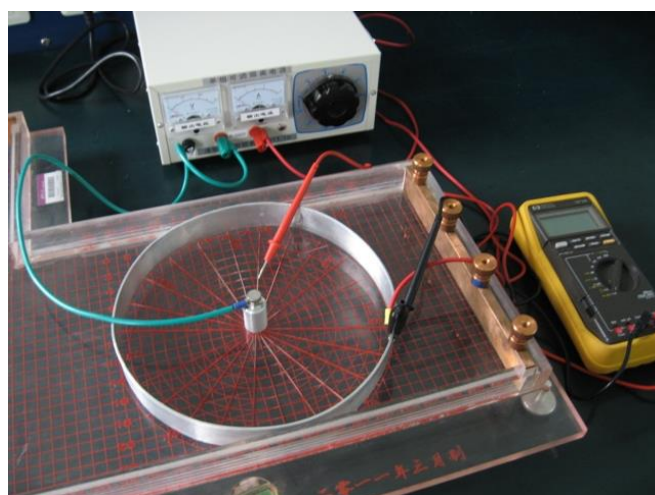


图 3.2 同轴电缆静电场模拟

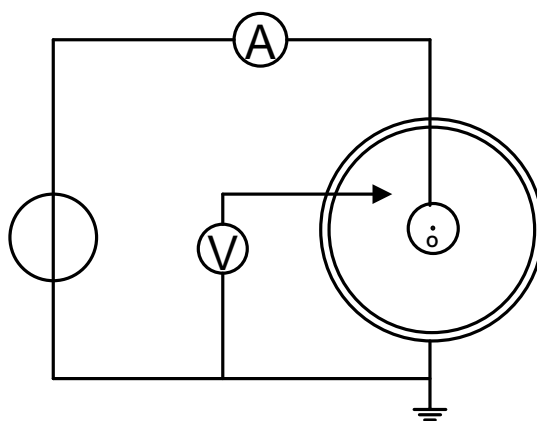


图 3.3 电路连线示意

## 4.2 研究偏心电缆的静电场

- 1) 推导出偏心电缆间的静电场的  $U$  和  $E$  的表达式。
- 2) 实验操作步骤同 4.1 中测量同轴电缆电场分布。放置电极和电路连线示意如图 3.4 所示，将小圆柱电极由中心移到偏离中心的 6cm 处，即建立的是偏心电缆的静电场模拟模型。极间电压仍用 5V，要求画出等位线（1V、2V 和 3V）和电力线，画电力线时注意使其与等位线处处垂直，且使电力线的密度能反映电场强度的大小。
- 3) 以偏心电缆内圆的圆心为圆点，测出沿径向当半径  $r$  分别等于 3、5、7、9、11、13 和 15 时的电位值，用于和理论值的比较。

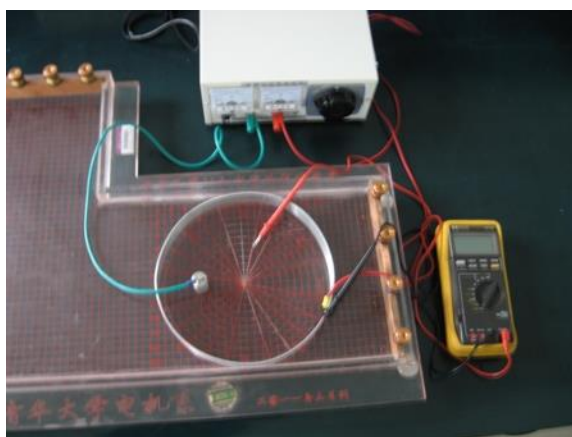


图 3.4 偏心电缆静电场模拟



## 5. 注意事项

- 1) 通电之前请确认单相可调隔离电源前面板上的旋钮在最小位置处，即 0 处。通电后，慢慢转动旋钮，同时观察电压表，当读数为 5V 时，停止转动旋钮。
- 2) 通电之前请确认万用表档位选择是否正确，测电压需放在电压档，测电流需放在电流档，并且注意交直流的选择。
- 3) 在对测量值未知的情况下，应从最大档位开始，然后根据测量结果逐步选择较小档位。

## 6. 实验报告要求

- 1) 将同轴电缆实验测量数据与按公式(2)计算出的数据相比较，分析误差原因。
- 2) 将偏心电缆实验测量数据与按公式计算出的数据相比较，分析误差原因。
- 3) 阐述静电比拟的含义是什么？
- 4) 分析当电源电压增加一倍或减小一半，实验测得的等位线与电力线形状是否变化？

# 演示实验一 静电除尘

## 1. 实验目的

- 1) 观察静电除尘的物理现象；
- 2) 了解静电除尘的作用机理及其理论分析的基础知识；
- 3) 了解工程上提高静电除尘效率的方法。

## 2. 实验原理

### 2.1 静电除尘的物理现象及其作用机理

由线状内电极与圆柱形外电极同轴组合构成的静电除尘实验装置，如图 3-1 所示。当该系统内外电极间电位差升高时，因为内电极导线很细，是系统最大电场强度所在处，故提高该导线电压将导致其周围空气电离，即发生电晕放电。空气在电晕放电状态下的电场作用下，将产生带负电荷的电子和正、负离子，其中电子和负离子进入电极，正离子顺着电场到达外电极；自围绕线电极很薄的电离层外表面到圆柱面负电极的空间内形成正离子区。此时，若引入烟尘源，则当烟尘微粒进入离子区时，离子撞击到微粒表面，即令微粒带正电荷。这样，微粒在电场力作用下，趋向外电极，使原烟尘微粒的密度急剧下降，达到预期的除尘效果。

本实验用泡沫塑料粒子替代烟尘，观察微粒运动，则静电除尘物理现象的表征更为明显。此时，泡沫塑料微粒在电场力作用下，将趋向外电极并被吸附在外电极上，而一旦电场不复存在，则微粒很快下落。但应注意，该微粒是良好的绝缘体，其所带电荷泄漏的时间较长，这样，当外电场不存在时，仍能保留部分电荷，因而它们将能在一段时间内继续吸附在圆柱壁这样的导体表面上。

值得指出，关于电晕放电现象的判断，除上述静电除尘物理现象可以印证外，还可有另外两个方面的论据。一是由放电所产生的臭氧气味；另一是可鉴赏到的空气中的火花。后一现象可以在暗室条件下，你会看到放电产生的略带蓝色的光，

那就是典型正离子放电所发出的光。

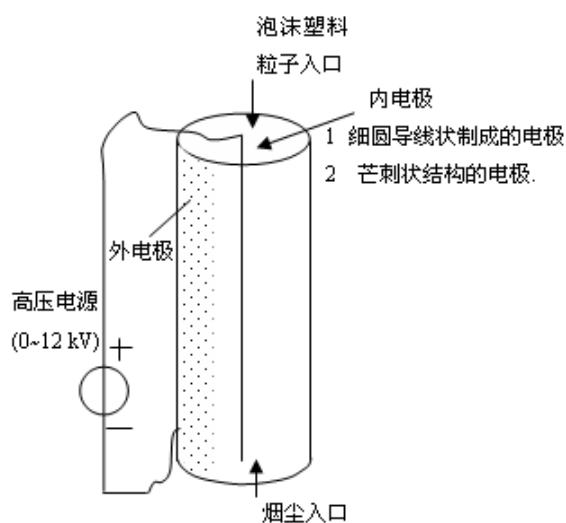


图 6.1 静电除尘装置示意



图 6.2 静电除尘装置

## 2.2 高效的静电除尘

当内电极由圆导线状替换为芒刺状结构的电极时,即可明显地观察到因芒刺状结构的内电极的设计,其空间电场分布极不均匀。也就是说,与圆导线状结构的内电极设计相比,在内外电极间电位差升高的过程中,现最大电场强度所在处的芒刺状电极的周围空气更易发生电晕放电,故静电除尘效率显著提高,成为工程装置采用的首选方案。

## 3. 实验仪器

### 1) 静电除尘实验装置

导线状内电极、芒刺状内电极

### 2) 高压电源 (10 kV ~ 15 kV)

## 4. 思考题

- 1) 为什么大部分塑料泡沫被吸附在网状外电极上,而不是线状内电极上?
- 2) 为什么线状电极附近场强最大?
- 3) 通常情况下,线状电极接正极,网状电极接负极,为什么?能否颠倒过来?

# 演示实验二 磁悬浮

## 1. 实验目的

- 1) 观察自稳定的磁悬浮物理现象；
- 2) 了解磁悬浮的作用机理及其理论分析的基础知识；
- 3) 在理论分析与实验研究相结合的基础上，力求深化对磁场能量、电感参数和电磁力等知识点的理解。

## 2. 实验原理

由盘状载流线圈和铝板相组合构成磁悬浮系统的实验装置，如图 7.1 和 7.2 所示。该系统中可调节的扁平盘状线圈的激磁电流由自耦变压器提供，从而在 50 Hz 正弦交变磁场作用下，铝质导板中将产生感应涡流，涡流所产生的去磁效应，即表征为盘状载流线圈自稳定的磁悬浮现象。

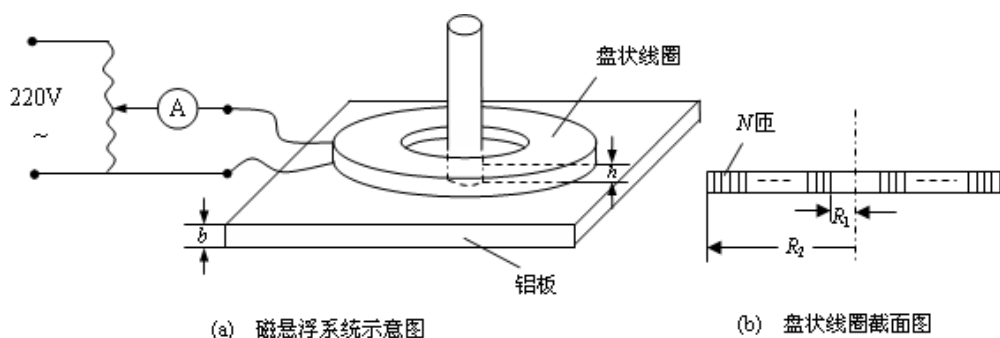


图 7.1 磁悬浮装置示意

## 3. 实验内容

在给定厚度为 14 mm 的铝板情况下，通过调节自耦变压器以改变输入盘状线圈的激磁电流，从而观察在不同给定悬浮高度  $h$  的条件下，起因于铝板表面层中涡流所产生的去磁效应，而导致的自稳定的磁悬浮物理现象。

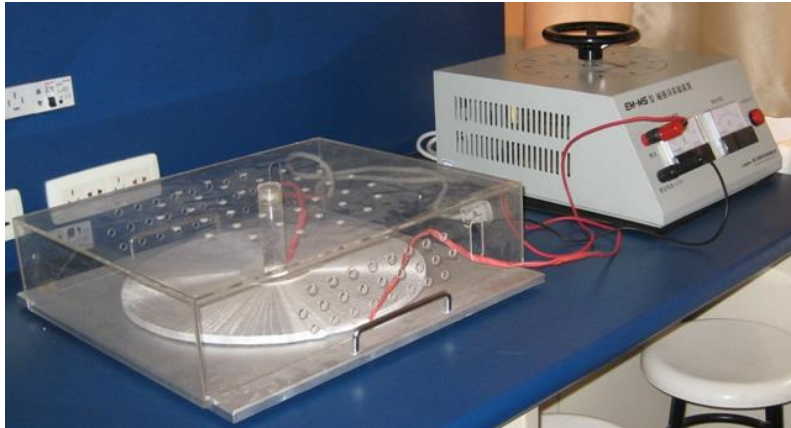


图 7.2 磁悬浮装置

## 4. 实验仪器

### 1) 盘状线圈

$N=250$  匝、内径  $R_1 = 31 \text{ mm}$ 、外径  $R_2 = 195 \text{ mm}$ 、厚度  $h = 12.5 \text{ mm}$ 、质量  $M = 3.1 \text{ kg}$ 。

### 2) 铝质导板

厚度  $14 \text{ mm}$ ，电导率  $\gamma = 3.82 \times 10^7 \text{ S/m}$

### 3) 自耦变压器 ( $0 \sim 100 \text{ V}$ , $0 \sim 30 \text{ A}$ , $50 \text{ Hz}$ )

## 5. 思考题

- 1) 当逐渐增大线圈里通入的电流，为什么为发出嗡嗡声？
- 2) 磁悬浮与电磁炉的原理有什么相同的地方，区别在哪里？

# 附录 电磁场实验仪器使用说明

## §1 DQ-3 型数字积分式冲击电流计

- 1) 仪器如图 8.1 所示，仪器输入端用测试线和被测电路连接起来，使仪器处于测试状态，启动被测电路，即可以直接测得电荷量。
- 2) 输入为 3 根鳄鱼夹线：红色线为正向输入线，两根黑线为负向输入线。
- 3) 连接好电源线（位于仪器后端，如图 8.2 所示）和测试线（位于仪器前端）。
- 4) 打开仪器的电源（位于仪器后端，如图 8.2 所示），通电后，先预热 5 分钟后再开始测量。
- 5) 仪器共有 3 个档位，如图 8.1 所示。
- 6) 在测量过程中，如果出现图 8.3 所示的画面，此时要进行下一次冲击要按一下复位键，等待 5 秒后再冲击。



图 8.1 DQ-3 型数字积分式冲击电流计(正面)



图 8.2 DQ-3 型数字积分式冲击电流计(背面)



图 8.3 OverRange 画面

## §2 HEWLETT E3611A 型直流电压源

- 1) 按下前面板上左下方按钮“LINE”，接通电源。
- 2) 实验中使用“+”和“-”两个输出端口，不用接地端子。
- 3) 通过前面板上的“VOLTAGE”旋钮可调节输出电压的幅值。若调节“VOLTAGE”旋钮，输出电压不变，则可以调节“CURRENT”旋钮。“VOLTAGE”和“CURRENT”旋钮配合使用达到调节电压的目的。



图 8.4 直流稳压电源

### §3 单相可调隔离电源

- 1) 在接通电源之前，请确认前面板上的黑色旋钮在最小刻度处（即 0 处）。
- 2) 仪器开关在后面板上，按下后面板上红色指示灯亮，表明已经接通电源。
- 3) 可输出电压 0—250V，频率为 50Hz。
- 4) 使用完后请将黑色旋钮旋到 0 刻度处，并将后面板上的开关关掉，关掉后面板上的红色指示灯灭。



图 8.5 单相可调隔离电源

### §4 TDS1002 示波器

下面只介绍在部分电容实验中需要用到的示波器的触发采集功能，默认从 CH1 通道采集电压波形。

- 1) 开机以后，先按下“Autoset”按钮。
- 2) 按“TRIG MENU”按钮，参数设置如下。

将类型设为边沿；信源选择 CH1；斜率设为上升；触发方式选择正常；耦合选择直流。

- 3) 将 CH1 的伏/格和水平的秒/刻度旋钮旋到适当范围，以便查看波形。

另外，为了更好的观察瞬态波形，可增大时间常数。可将示波器探头选择\*10.，同时在示波器界面上也要进行如下设置。按下 CH1 MENU，探头选项为 10X。