

实验四 静电场的描绘

一、实验目的：

1. 了解模拟法描绘静电场的依据及描绘方法。
2. 描绘几种静电场的等位线。
3. 加深对静电场，稳恒电流场的了解

二、实验仪器：

静电场测量仪

三、实验原理：

带电体的周围存在静电场，场的分布是由电荷的分布。带电体的几何形状及周围介质所决定的。由于带电体的形状复杂，大都不能求出其数学表达式，实际上，往往借助实验方法来测定；但是直接测量静电场也遇到很大的困难，因为静电场中没有电流，磁电式电表不会偏转；另外由于与仪器相接的探测头本身总是导体或电介质，若将其放入静电场中，探测头上会产生感应电荷或束缚电荷。由于这些电荷又产生电场，与被测静电场迭加起来，使被测电场产生显著的畸变。

为了解决上述问题，通常采用间接测定方法—模拟法。模拟法的特点是，仿造另一个电场（称模拟场），使它与原静电场完全一样。当用探针去测模拟场时，它不受干扰，因而可间接地测出被模拟的静电场。

模拟法可用于电子管、示波管、电子显微镜等多种电子束管内部电极形状的研制工作

1. 模拟法测定静电场的理论依据

模拟法测定静电场的理论依据是因为恒定电流场与静电场这两种场所服从的物理规律具有完全相同的数学形式。表 1 所示为静电场和稳恒电流场所遵循的物理规律。比较两组方程可知， D, E, \mathcal{E} 与 J, E, σ 成一一对应关系。当静电场中的导体与恒定电流场中的电极形状相同，并且边界条件相同时，静电场在介质中的电位分布与稳恒电流场在介质中的电位分布完全相同，所以可以用稳恒电流场来模拟静电场。

表 1 静电场与稳恒电流场数学方程

| 静电场 | 稳恒电流场 |
|--------------------------------|--------------------------------|
| $D = \epsilon E$ | $J = \sigma E$ |
| $\oiint D \cdot dS = 0$ | $\oiint J \cdot dS = 0$ |
| $\oint E \cdot dl = 0$ | $\oint E \cdot dl = 0$ |
| $U_{ab} = \int_a^b E \cdot dl$ | $U_{ab} = \int_a^b E \cdot dl$ |

2. 同轴带电圆柱形电场的模拟

设同轴圆柱面是“无限长”的，内、外半径分别为 R_1 和 R_2 ，电荷线密度为 $+\lambda$

和 $-\lambda$ ，柱面间介质的介电系数为 ϵ （见图 1）。若取外柱面的电位为零，则内柱面的电位 V_0 就是两柱面间的电位差

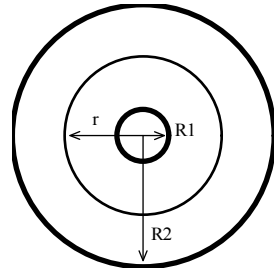
$$V_0 = \int_{R_1}^{R_2} E dr = \int_{R_1}^{R_2} \frac{\lambda}{2\pi\epsilon} \cdot \frac{dr}{r} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon} \ln \frac{R_2}{R_1} \quad (1)$$

在两圆柱面间任一点 $r (R_1 \leq r \leq R_2)$ 的电位 $V(r)$ 是

$$V(r) = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon} \ln \frac{R_2}{r} \quad (2)$$

比较上两式，可得

$$V(r) = V_0 \frac{\ln\left(\frac{R_2}{r}\right)}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \quad (3)$$



现在要设计一稳恒电流场来模拟同轴带电圆柱形电场，其要求为：（1）设计的电极与带电圆柱形带电导体相似，尺寸可以按比例并具有相同的边界条件，（2）导电介质的电阻率比电极要大得多，并且各向同性且均匀分布。当两个电极间施加电压时，其中间形成一稳恒电流场。设径向电流为 I ，则电流密度为 $j = I/2\pi r \delta$ ，这里导电介质厚度取 δ 。根据欧姆定律的微分形式 $J = \sigma E$ 可得 $E = I/2\pi\sigma r \delta$ ，显然场的形式与静电场相同，都是与 r 成反比。因此两极间电位差与式（1）相同，电位分布与式（3）相同。在本实验中， $R_1=1\text{cm}$ ， $R_2=10\text{cm}$ ， $V_0=10\text{V}$ ，由（3）式可得等位线分布公式

$$r = R_2 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{\frac{V(r)}{V_0}} \quad (4)$$

当采用稳恒电流场来模拟研究静电场时，必须注意以下使用条件。

（1）稳恒电流场中的导电质分布必须相应于静电场中的介质分布。具体地说，如果被模拟的是真空或空气中的静电场，则要求电流场中的导电质应是均匀分布的，即导电质中各处的电阻率 ρ 必须相等；如果被模拟的静电场中的介质不是均匀分布的，则电流场中的导电质应有相应的电阻分布。

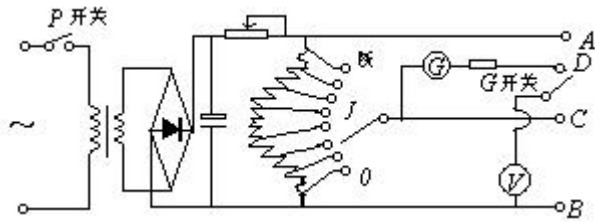
（2）如果产生静电场的带电体表面是等位面，则产生电流场的电极表面也应是等位面。为此，可采用良导体做成电流场的电极，而用电阻率远大于电极电阻率的不良导体（如石墨粉、自来水或稀硫酸铜溶液等）充当导电质。

（3）电流场中的电极形状及分布，要与静电场中的带电导体形状及分布相似。

3. 静电场描绘方法

在实际测量中，由于测定电位（标量）比测定场强（矢量）容易实现，所以我们先测定等电位线，由于等电位线与电场线是正交的，据此我们就可以绘出电场线分布图。

4. 测绘仪测量原理



A、B 两点接待测电极，给两极板加电压。C、D 接两探极，探测电极间任两点的电位。通常采用单探极探测法，即只用 D 探极测量电流场的电位。

当 J 电位器选在某一档位时，改变 D 探极的位置，当检流计指针为零时，D 探极的位置的电位与 J 电位器该档位的电位相等（桥路）。

即利用桥式电路寻找电位相等点。

四、实验内容与步骤

(1) 取同轴带电圆形电极，接入电源。

(2) 按上述步骤画出等电位线分布和电场线分布，用 (4) 式理论公式算出各条等电位线的半径 r ，与记录的坐标相比较。求相对误差。

(3) 取点对面的导电板测绘其电场分布

五、思考题

- 1.用稳恒电流场模拟静电场的依据是什么？
- 2.电场线与等位线有何关系？
- 3.电场线起于何处？止于何处？