

图象漂移室电场的模拟测量和计算

朱启明 周化十 倪蕙苓 郭红菲

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

对图象漂移室电场作了二维模拟测量和计算。测量和计算的结果为漂移室场丝电位的选取提供了依据。

一、引 言

为了得到图象漂移室^[1]的电位分布,并取得一组较好的场丝电位分配的数据,对漂移室电场作了二维模拟测量和计算。电场模拟测量具有周期短、化费少、场图直观、易于随时修正电极分布及形状等优点。常用的有电介槽模拟和导电纸模拟两种方法,本文采用的是导电纸模拟方法,它比电介槽模拟更为简便。电位分布的计算采用了有限差分法,并将计算结果与实验作了一些比较。

二、电场的模拟测量

在方块电阻大约为 $1k\Omega$ 的导电纸上,用导电胶模拟漂移室截面(图 1)上阴极和各种场丝的分布^[2],并赋予相应的电位,建立起二维电流场,这个电流场的电位分布等效于需要测定的静电场的电位分布^[2]。为提高测量精度,尽量放大模拟电场的尺寸,然后用绘图放大尺以 1:3 的比例绘制等位线图。放大尺的一端是直径约为 0.3mm 的黄铜探针,它和六位数字电压表相连,另一端是直径约为 0.3mm 的绘图针。对于选定的某个电位,在导电纸上移动探针,直到数字电压表显示出该电位的数值时,用绘图针

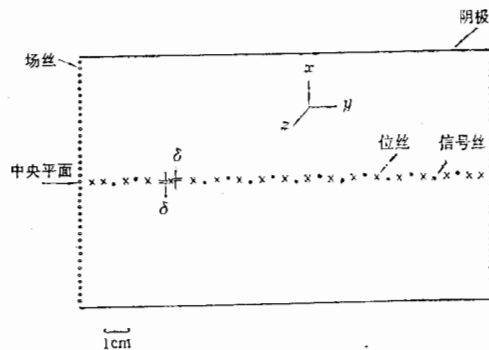


图 1 图象漂移室截面图

本文 1983 年 2 月 22 日收到。

1) 本实验采用的导电纸为上海青蒲县三五造纸厂产品。导电胶配方如下:
每 100 克导电胶含

BM-45 聚乙烯醇缩丁醛	3 克
无水乙醇	27 克
银粉(200 目)	70 克

模拟细丝的方法是把大头针钉在导电纸上(导电纸固定在三合板上),针头和导电纸之间填充少量导电胶实现电接触,针头的直径便是模拟细丝的直径。

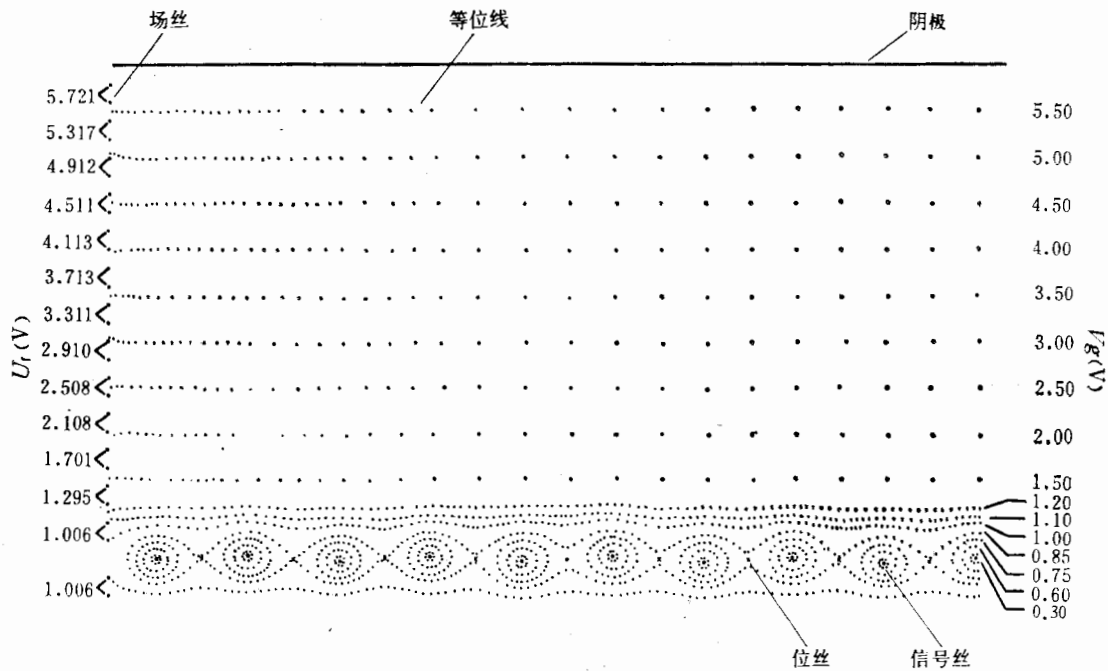


图2 漂移室电场的等电位线分布

$$V_c = 6.003\text{V}; V_a = 0.000\text{V}; V_p = 0.860\text{V}$$

在坐标纸上记下该点的几何位置,把相同电位的点连结起来,就得到等电位线图。实验中阴极和各种丝的电位由直流稳压电源供给,电位值为实际值的1/1000。

图2为测量到的漂移室截面电场的等位线分布。由于电位分布的对称性,仅对四分之一的区域进行了测量,与实际尺寸的比例为2:1。图中 V_a 、 V_c 、 V_p 、 V_f 分别表示阳极丝、阴极、位丝和场丝的电位, V_g 为等位线电位值。可以看到,电位在1.5伏—6伏之间的等位线是密度相等的平行直线,这个区域称为均匀区。电位<1.5伏的区域,等位线是

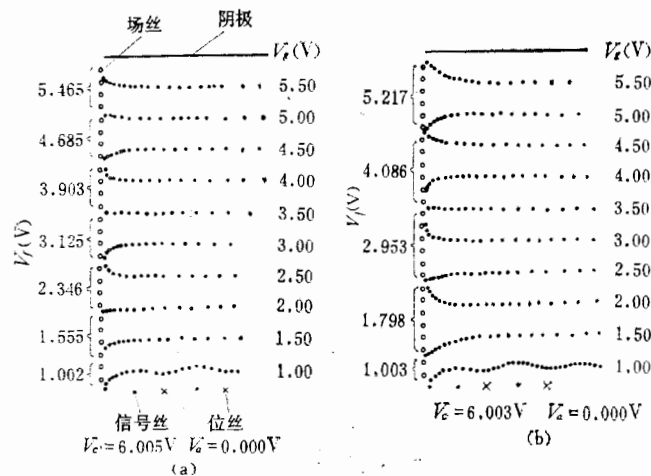


图3 漂移室电场的边缘效应

以阳极丝为中心的一系列封闭和不封闭的曲线,愈靠近阳极丝的位置密度愈大,称为非均匀区. 在靠近场丝的边缘区,等位线发生畸变. 为研究场丝电位分配方式对边缘区电场的影响,对三组不同的场丝电位分配作了等位线测量. 测量结果表明,图 2 所示的场丝电位分配可以使畸变区不超过靠近场丝的半个漂移空间. 在图 3(a)和图 3(b)的电位分配方式下,畸变不超过第一个漂移空间.

在图象漂移室中,为了使带电粒子穿过漂移区的左右可以分辨,信号丝相对于位丝所

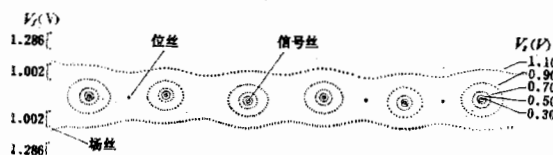


图 4 漂移室电场非均匀区的等电位线分布

$$V_a = 0.000\text{V}, \quad V_p = 0.996\text{V}$$

在中央平面交替向左、右两侧偏离 δ . 为了观察由此引起的阳极丝附近电场的左右不对称性,以较大的比例(5:1)绘制了非均匀区的等位线图(图 4). 测量结果表明,在上述测量条件下,没有观察到明显的左右不对称趋势.

模拟电场测量的精度主要取决于导电纸的均匀度. 对导电纸方块电阻抽样测量的结果表明,大约有 70% 的区域,阻值相对于平均值在 $\pm 10\%$ 的范围内无规则变化. 对同一方块电阻纸,在两个相互垂直的方向上,阻值亦有 $\sim 10\%$ 的差别. 但实际上,均匀区电位测量的偏差却比 10% 小得多,例如 1.5 伏等位线上各测量点的测量值相对于平均值的最大偏差 $\sim 1.4\%$. 这是由于导电纸阻值的不规则变化,产生的平均效果. 在均匀区,由其他因素引起的电位测量偏差为: 电源电压漂移 $< 0.1\%$; 读数偏差 $< 0.3\%$; 定位偏差 $< 1\%$. 在阳极丝附近,由于电位随测量位置迅速变化,测量偏差变得较大,阳极丝附近的等位线分布出现明显的差异(图 4). 又由于用大头针模拟 $20\mu\text{m}$ 的阳极丝时,与整个模拟电场的比例失真,例如在绘制图 4 时,模拟电场与实际尺寸的比例为 15:1,而阳极丝和实际尺寸的比例却是 150:1,所以对非均匀区来说,导电纸模拟只能定性给出等位线分布的图象.

三、电场分布的计算

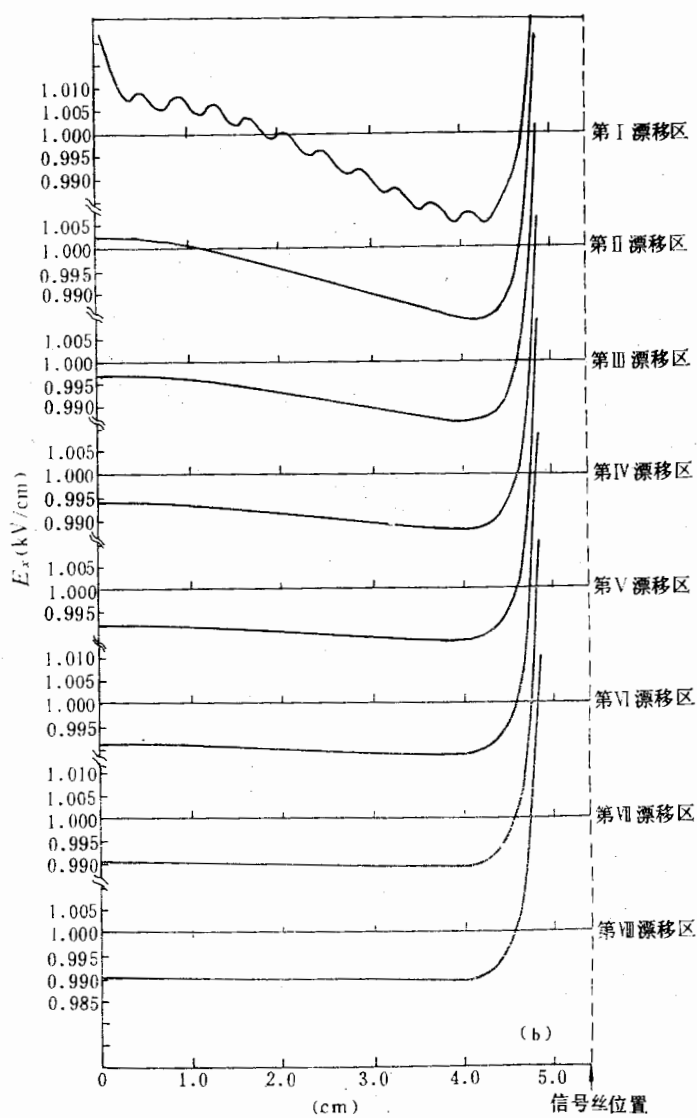
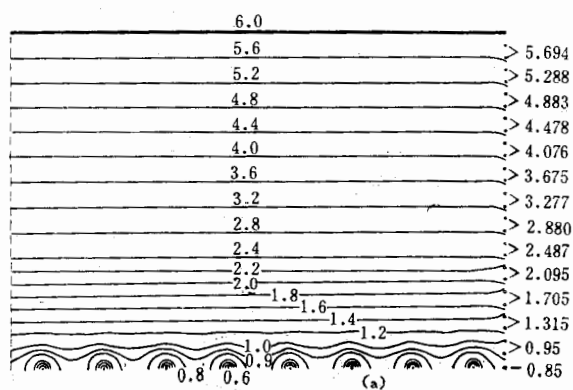
本文采用了有限差分方法对图象漂移室的电场进行了计算. 场点的分布选用了正方形网格上节点的分布. 在二维场的情况下,当网格长度 p 很小时,节点 (h, k) 位值 $A(h, k)$ 的差分方程为

$$A_{h,k+1} + A_{h,k-1} + A_{h+1,k} + A_{h-1,k} - 4A_{h,k} + p^2W = 0$$

近似地代替泊松方程. 式中 $W = \rho_c/\epsilon_0\epsilon$, 当 $W = 0$ 时, $A(h, k)$ 的差分方程为

$$A_{h,k+1} + A_{h,k-1} + A_{h-1,k} + A_{h+1,k} - 4A_{h,k} = 0$$

近似地代替拉普拉斯方程. 网格上每一个节点就有一个差分方程,若有 $q \times r$ 个节点,对 $q \times r$ 个联立方程组求介就可以求出每个节点上的位值 $A_{h,k}$. 本文采用了迭代法求



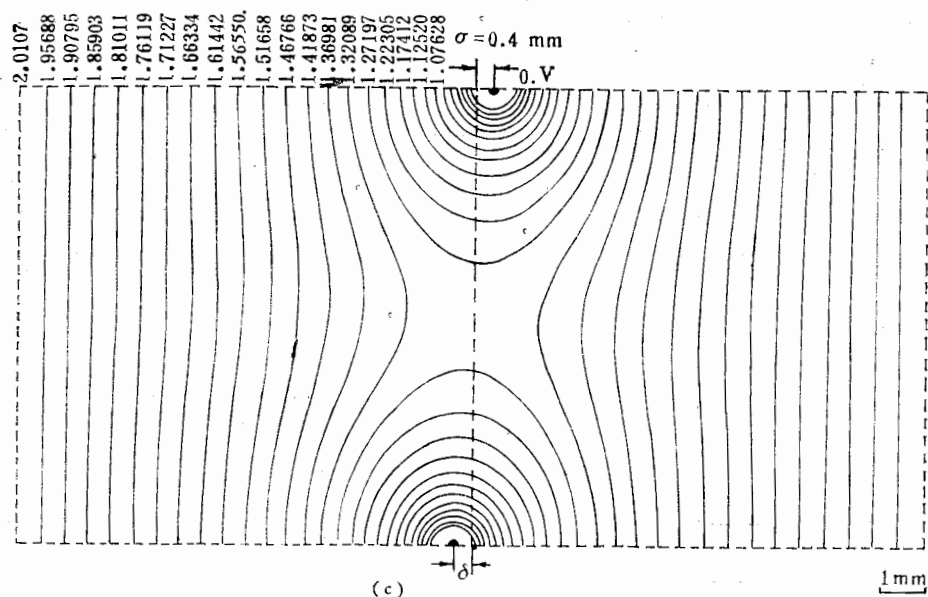


图 5 (a) 图象漂移室 8 个漂移区的等电位线分布 (b) 各个漂移区通过信号丝在 x 方向的场强分布 (c) 信号丝附近等电位分布图 等电位线间隔 $\Delta V: 0.04892V$

有限差分方程的解, 求解的方法就是不断修改每个节点的位值 $A_{h,k}$, 直到所有差分方程达到足够精确为止。

为了在迭代运算时获得较快的收敛速度, 选用了逐次超松弛法, 逐点进行有规则的超松弛, 每一步超松弛的程度相同。 A^n 表示第 n 次迭代循环后的位值。 位值的新值与旧值的关系如下:

$$A_{h,k}^{n+1} = A_{h,k}^n + \frac{\alpha}{4} (A_{h+1,k}^n + A_{h,k+1}^n + A_{h-1,k}^{n+1} + A_{h,k-1}^{n+1} - 4A_{h,k}^n)$$

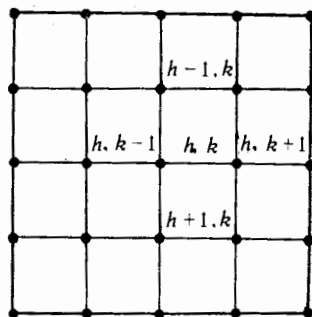
α 为决定超松弛程度的收敛因子。 可以证明 α 在 1 和 2 之间。 α 存在最佳值 α_b , 但确定 α_b 是很困难的。

计算时节点位值的初值估计是很重要的, 即使粗略估计也会大大节约计算时间。

用节点位值 $A_{h,k}$ 的变化来检验收敛的状况, 如位值的改变足够小时, 迭代就停止。 应该注意, 有时虽然位值达到很小的变化, 但它是由于收敛缓慢所致, 而不是位值达到了很高精度的数值。

计算时应合理选取计算区域, 使计算结果能表示整个区域, 同时又使计算区域达到最小, 可以节约时间。

有限差分法得到的解, 误差来源于两方面。 一是用差分方程近似代替微分方程引起的, 它是网格大小的函数, 通常称为网格误差。 二是差分方程并无精确的解。 采用精细网格和应用更精确的差分方程可以减小网格误差。 差分方程迭代 n 次所得的解, 必须用精确解应具备的特点来检验。



本文计算了几种图象漂移室的电场分布。图1所示的漂移室的电场分布的计算结果在图5给出。图5(a)给出8个漂移区的等电位线分布,其形状与图2的实验结果相符,均匀区宽度均为45mm左右。图5(b)给出每个漂移区在 x 方向通过信号丝的电场强度分布。可以看出漂移室边界场丝的电位对第一个漂移区的场强有影响,而在第二、第三以内的漂移区影响逐渐减小,与图2、图3实验结果相符。图5(c)给出信号丝距中央平面有一个 δ 偏离后,其附近的等电位线分布。实验和计算结果表明,图1中的漂移室其电场分布有较大的均匀区,约为灵敏体积的5/6,若按图2和图3的方式选取场丝电位,边界效应引起的电场畸变区域将不超过灵敏体积的1/10。

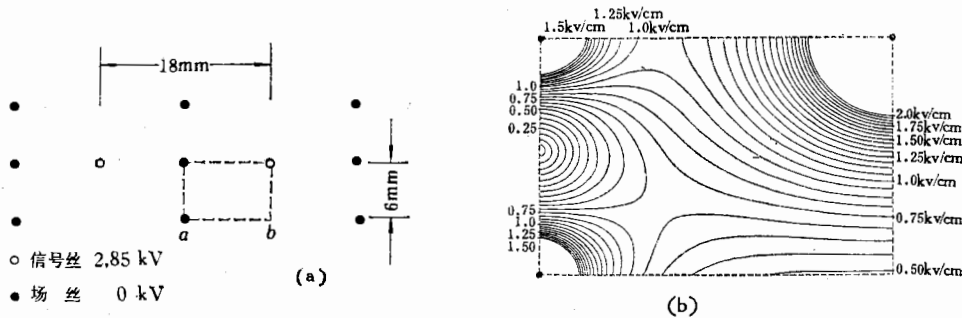


图6 (a) 一个图象漂移室的单元结构示意图 (b) 漂移室(a)的等电场线分布
 E : kV/cm 等电场线间隔 ΔE : 0.0625kV/cm

此外还计算了其他类型漂移室的电场分布。图6(b)给出图6(a)漂移室的等电场强度分布曲线。计算时三个方向选取了对称的边界条件,而在第四个方向(ab 边)向外扩充两倍,然后再在扩充区域的边界上采用对称条件,同样方法也作了扩充为三倍的计算。计算结果表明,在 ab 边上两次计算值 $A_{h,k}$ 相差2%。图中为选用扩充为三倍区域的计算结果,与W. Davies-White^[4]的计算结果相符。

作者感谢保定变压器厂在实验器材方面所给予的帮助。

参 考 文 献

- [1] J. Heintze, *Nucl. Instr. and Meth.* 156(1977), 227.
- [2] 西安交大电磁场理论科研小组、西安变压器电炉厂研究室。西安交通大学科研处科技情报室 科技报告 报78-105.
- [3] 电场及磁场问题的分析与计算[英] K. J. 宾斯 P. J. 劳伦松著。
- [4] W. Davies-White et al. SLAC Preprint SLACPUB 2181 August (1978).

SIMULATION MEASUREMENT AND CALCULATION OF THE ELECTRIC FIELD IN THE PICTORIAL DRIFT CHAMBER

ZHU QI-MING ZHOU HUA-SHI

NI HUI-LING GUO HONG-FEI

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

Calculation and simulation measurement have been done in two dimension fashion for the electric field of the pictorial drift chamber. The results obtained from calculation and measurement provide the basis for choosing the electric potential of the field wires in the chamber.