

### 研究简报

## 多丝漂移室的电场计算

许榕生<sup>1)</sup>  
(中国科学院高能物理所)

#### 摘 要

本文简述北京探测器主漂移室电场计算的矩阵电容法和丝电压的优选方案。

北京探测器的主漂移室由近二万根两米多长、极细的导体丝沿平行于束流管方向分不同层次和单元排列组成。在设计中需知电场丝以及电位丝和保护丝上分别赋予多少高压,才能保证各单元内电场分布均匀。为此,可运用电磁场计算理论,假定:(1)每根细丝均是“无限长”的;(2)每根丝上的静电荷分布是均匀的,于是只须考虑与丝垂直的二维平面问题。现设有  $n$  根相互平行的无限长的一组直导体丝,若每根丝附有各自的电压  $v_i$  以及线电荷密度  $q_i$ ,由电势迭加原理,处于第  $i$  根丝位置上的电势  $v_i$  应有

$$v_i = \sum_{j=1}^n \int_{R_{\max}}^{r_{ij}} \mathbf{E}_j(\mathbf{r}) \cdot d\mathbf{l} \quad (1)$$
$$i = 1, 2, \dots, n$$

其中

$$\mathbf{E}_j(\mathbf{r}) = \frac{q_j(\mathbf{r} - \mathbf{r}_j)}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_j|^2} \quad (2)$$

是第  $j$  根丝所产生的电场,矢量  $\mathbf{l}$  沿着  $\mathbf{r} - \mathbf{r}_j$  的方向;积分的上下限分别是

$$r_{ij} = \begin{cases} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} & i \neq j \\ \text{第 } i \text{ 根丝的半径} & i = j \end{cases}$$

( $x, y$  表示丝中心的位置坐标)及

$R_{\max}$  = 相对于这组丝无限远处的距离。

(1) 式积分后得

$$v_i = \sum_{j=1}^n q_j (\ln r_{ij} - \ln R_{\max}) = \sum_{j=1}^n q_j \ln r_{ij} - \left( \sum_{j=1}^n q_j \right) \ln R_{\max} \quad (3)$$
$$i = 1, 2, \dots, n$$

所有丝上的线电荷密度总和为零(即  $\sum_{j=1}^n q_j = 0$ ),而  $\ln R_{\max}$  趋向无穷大,我们期望它们的乘积是一个常量  $C$ ,且对每一个  $i$  式均相同,则(3)式可写成

1) 本人现在美国加利福尼亚大学圣克鲁斯粒子物理研究所。  
本文 1985 年 8 月 20 日收到。

$$\begin{bmatrix} -v_1 \\ -v_2 \\ \vdots \\ -v_n \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\ln r_{11} & -\ln r_{12} & \cdots & -\ln r_{1n} & 1 \\ -\ln r_{21} & -\ln r_{22} & \cdots & -\ln r_{2n} & 1 \\ & & \cdots & & \\ & & & & \\ -\ln r_{n1} & -\ln r_{n2} & \cdots & -\ln r_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \\ C \end{bmatrix} \quad (4)$$

或  $V = [P] Q$  (5)

并推出  $Q = [P]^{-1} V = [C] V$  (6)

矩阵  $[P]$  完全由丝的位置与半径所决定, 其逆阵  $[C]$  也称电容矩阵, 对角元素  $c_{ii}$  为电容系数,  $c_{ij} (i \neq j)$  为感应系数<sup>[1]</sup>.

这样, 只要确定一组丝的几何位置与尺寸且赋予各丝上的电压值  $V$ , 就可以由 (6) 式解出各丝上的电荷  $Q$  来; 同时注意到边界条件的处理, 可用一组紧密排列的“直导体丝”来替代漂移室内的板壳结构, 将全部问题化为对一组丝的分析. 具体取多少丝、多少单元一起算取决于计算机容量的大小.

漂移室的设计要求在各单元内的电场强度均匀, 也即使每单元的讯号丝带有尽可能相同的负电荷值(场丝上加负电压), 怎样来决定场丝、保护丝以及电位丝上的电压? 我们按照图 1 所示的每单元上的丝电压分配方式建立如下目标函数对电压值进行优选:

$$F = \sum_c \left[ \sum_k (q_{ck} - \tilde{q})^2 / \sigma_1^2 + \sum_i (E_{ci} - \tilde{E})^2 / \sigma_2^2 \right] \quad (7)$$

式中,  $\sum_c$  表示对不同的单元求和;  $\sum_k$  表示对不同讯号丝求和;  $\sum_i$  表示对不同位置的电场值求和;  $q_{ck}$  表示讯号丝上的电荷值;  $E_{ci}$  表示单元内若干不同位置上的电场值. 而  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$  表示权重系数,  $\tilde{q}$ 、 $\tilde{E}$  为给定的电荷及电场数值, 由经验所决定. 例如, 电压取千

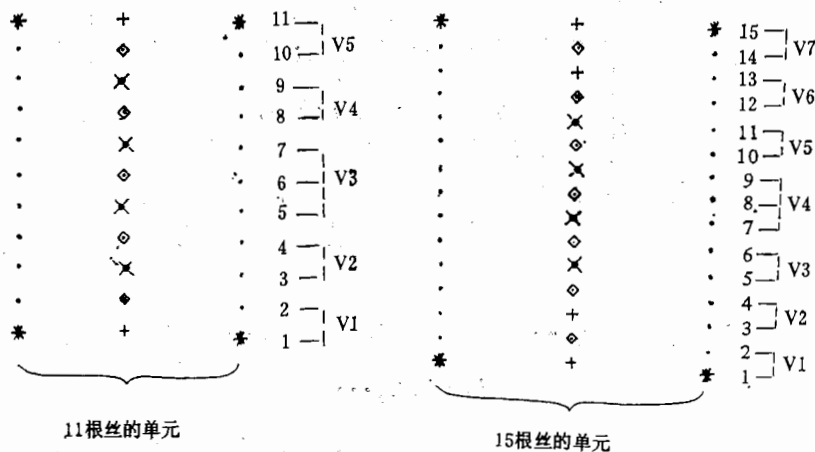


图 1 单元上的丝分布规则  
(场丝上的电压值  $V_1, V_2, \dots$  成等差)

+ 护丝  $\phi 100\mu$     • 场丝  $\phi 178\mu$     ◇ 电位丝  $\phi 100\mu$     米 场丝  $\phi 220\mu$   
 ● 讯号丝  $\phi 30\mu$     径向丝距  $0.5\text{cm}$

伏为单位时,  $\sigma_1 = 0.0005$ ,  $\sigma_2 = 0.001$ ,  $\tilde{q} = 0.28$ ,  $\tilde{E} = 0.85$ .

优选的原则是使  $F$  值尽可能小。实际计算表明, 当  $F < 10.0$  时, 电荷  $q$  值 (讯号丝上的) 已经相差小于 0.02, 漂移区的电场  $E$  值已经相差小于 0.04 (详细计算结果见文献 [3]); 图 2 给出一个单元内的电场分布图。带电粒子穿过漂移室, 使室内气体产生电离电子, 这些电子在电场和恒定磁场的影响下向讯号丝漂移, 图 3 给出模拟漂移轨迹图象。

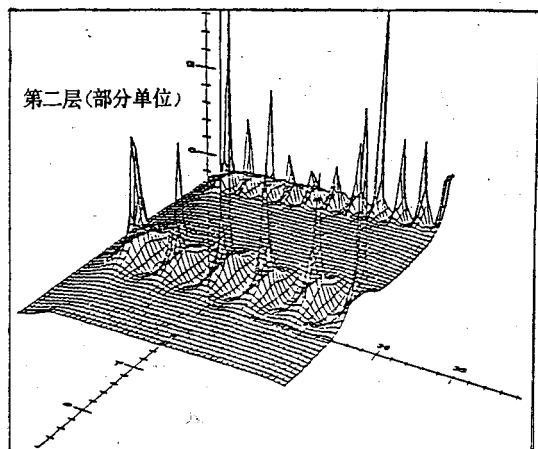


图 2 单元内的电场分布状态

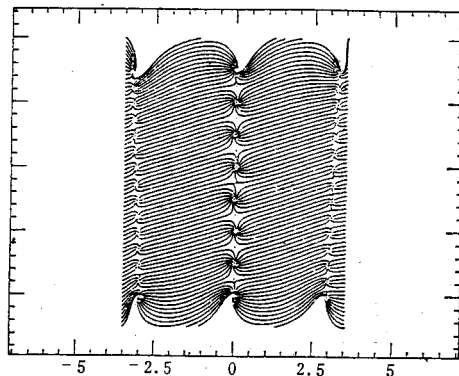


图 3 电子漂移图象(磁场 =  $4.5 \times 10^3$  高斯)

本项工作承美国加州大学 Santa Cruz 粒子物理研究所 Abe. Seiden 及 Hartmut F.-W. Sadrozinski 教授等指导和协助。

### 参 考 文 献

- [1] Jackson, J. D. Classical Electrodynamics, NY, 2nd, 1975, p.48 ch. 1.
- [2] Roy A. Melander, Drift Chamber Modeling, MS Thesis, SCIPP, University of California, Santa Cruz.
- [3] 许榕生, “多丝漂移室电场计算”, 中国科学院高能物理研究所内部资料, 1985.

## CALCULATION OF THE ELECTRIC FIELD OF A MULTIWIRE DRIFT CHAMBER

XU RONG-SHENG

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

### ABSTRACT

The matrix capacity method used for the calculation of the electric field and the choice of the optimum voltages of the wires of the drift chamber used on the Beijing spectrometer (BES) is described.