

BES-III 主漂移室输出信号的模拟

王铮 陈元柏 盛华义 庄保安 江晓山

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 小单元漂移室具有漂移电子扩散小、空间分辨好等特点,因而在北京谱仪的升级改造中被采用. 利用漂移室模拟程序 GARFIELD7 等进行了 BES-III 主漂移室对带电粒子响应的 Monte Carlo 模拟. 据此得到主漂移室输出信号的特点,为其读出电子学系统的设计提供了较为准确的理论依据.

关键词 BES-III 小单元漂移室 Monte Carlo 模拟

1 引言

在当今的高能物理实验中,无论是在探测器和数据获取系统的设计过程中,还是对物理事例的分析当中, Monte Carlo 模拟都极其重要. 北京谱仪(BES)在经过十多年的成功运行并取得若干重要的物理成果之后,目前正着手升级改造,重新设计、建造一个高性能的谱仪系统(BES-III). 在设计过程当中,为了对新漂移室的性能有一个全面深入的了解,我们对带电粒子在穿过室本体时所发生的一系列物理过程进行了细致的计算机模拟,得到的结果对 BES-III 主漂移室和相关电子学系统的设计是很有帮助的.

2 小单元漂移室

漂移室的任务是测量带电粒子的径迹、动量以及能量损失 dE/dx . 设计新漂移室是为了提高对带电粒子的空间分辨和动量测量的精度. 小单元漂移室在国外先进的大型精密谱仪系统上已被广泛采用,比如日本的 Belle、意大利的 KLOE、美国 SLAC 的 Babar 和 Cornell 大学的 CLEO-III 等. 与我们现有的漂移室相比,小单元室具有漂移电子扩散小、空间分辨高、提供触发信息快、正负电荷径迹测量对称性好等优点,因此, BES-III 漂移室采用了小单元结构.

BES-III 漂移室采用圆桶形结构,由 36 层信号丝和 73 层场丝构成. 每根信号丝都被邻近的 8 或 9 根场丝所包围形成一个小单元(场丝与其相邻单元共享). 图 1 给出了信号丝和场丝排列的相对位置关系. 因为在 BES 能区漂移室的动量分辨主要受多次库仑散射的

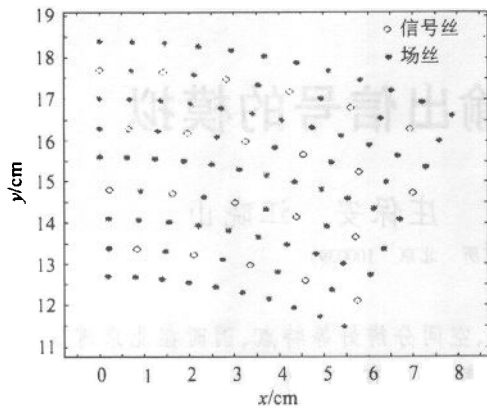


图 1 小单元漂移室单元排列示意图

影响,所以选用了原子序数较低的氦气为基础的混合气体作为工作气体,气压为一个标准大气压.

Monte Carlo 模拟在探测器的设计过程中是非常必要的,可以全面预期探测器的性能并能及时发现设计中存在的问题. GARFIELD 软件包是西欧核子中心(CERN)程序库中一个专用的漂移室模拟程序,可以根据给定的漂移室的结构、电压、工作气体以及外加磁场等参数计算出漂移室的电场分布、电离电子的漂移路线及漂移距离与漂移时间的关系等^[1]. 特别是,该软件包可以用来有效地模拟带电粒子穿过漂移室时在信号丝上所产生的感应电流,给出漂移室输出信号的特征. 模拟结果所给出的输出信号信息,可以直接作为对前端电子学进行计算机模拟的输入信息,对读出电子学的设计具有十分重要的意义. 另外, GARFIELD 程序还提供了同 MAGBOLTZ 和 HEED 程序的接口,这两个程序分别是用来计算在不同混合气体中电子漂移的各项参数以及精确计算带电粒子在气体中的能量损失的.

4 模拟参数的选择及结果

BES-III 新漂移室的每个小单元是和矩形非常接近的扇形. 位于各个不同层的小单元的宽度均为 14mm,而长度由内向外从 12mm 逐渐增大到 18mm. 在以下的模拟中,我们选用了长度在 12mm 左右的两个相邻的单元,左边的单元包括 9 根场丝,右边的单元包含 8 根场丝(图 2 中 P 代表场丝, S 代表信号丝). 这两种单元结构比较具有代表性. 选用压强

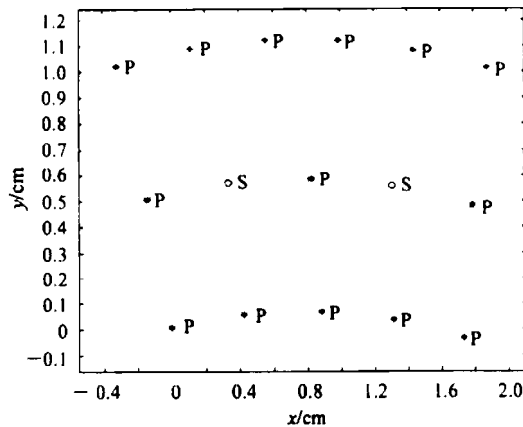


图 2 两个相邻小单元结构图

为 1 大气压的混合气体 He:C₃H₈ (60:40) 作为漂移室的工作气体, 工作温度为 300K. 信号丝 S 上加正高压 2000V, 电场丝接地, 外加沿 z 方向强度为 1T 的磁场.

根据给定的混合气体比例、压力和电场分布, 用 MAGBOLTZ 程序可以计算出漂移速度 v_D 、扩散效应 σ_x 和电场强度 E 的关系曲线. 图 3 给出了一个电场计算的模拟结果. 从图中可以看出, 当 E 较高时电子的漂移速度 v_D 增加到 $4\text{cm}/\mu\text{s}$ 达到饱和. 为了降低由于扩散效应造成的位置分辨的测量误差, 在氦气 (He) 中加入了丙烷 (C₃H₈), 混合气体造成的扩散约为 $120\mu\text{m}/\text{cm}$, 能够满足漂移室对空间分辨达到 $\sigma_x < 150\mu\text{m}$ 的测量要求.

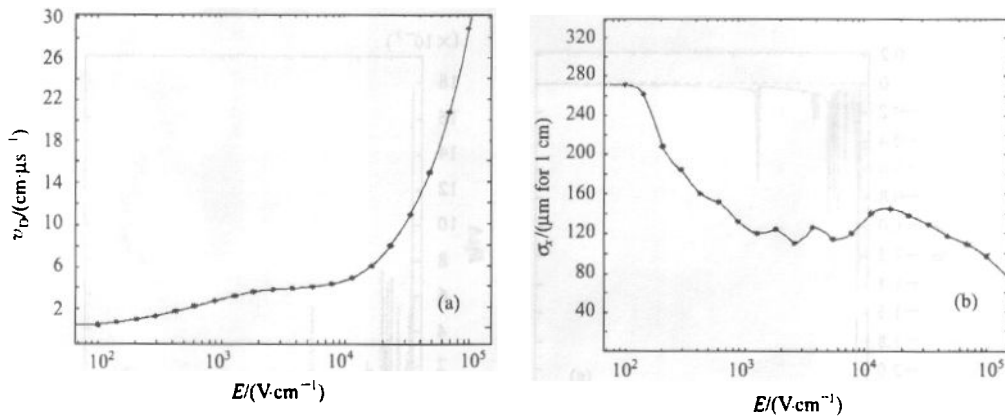


图 3 电子漂移速度 v_D (a)、扩散效应 σ_x (b) 和电场强度 E 的关系

当带电粒子穿过漂移室后, 在其径迹上由于电离作用而产生电子 - 离子对所构成的系列簇团. 我们用 HEED 程序计算了入射粒子在单位距离上的能量损失和每个簇团包含的电子 - 离子对数. 图 4 是对于典型的两个相邻漂移单元模拟所得到的电离电子的漂移轨迹. 500MeV 的 K^+ 粒子沿图中虚线所示的径迹穿过, 电离电子从其初始电离位置沿着图中曲线向信号丝漂移. 电子的漂移速度基本不变, 离信号丝较近的电子较早到达, 离信号丝较远的电子较晚到达. 由于电场分布的不均匀性及磁场的影响, 电子漂移的轨迹并不是直线而是弯曲的, 所以实际的漂移时间要略大于漂移的直线距离除以漂移速度, 最

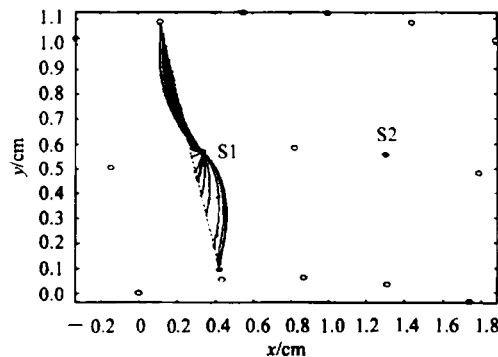


图 4 对应于给定入射粒子径迹的电离电子漂移轨迹
入射粒子是能量为 500MeV 的 K^+ 粒子.

大漂移时间应为扇形单元 4 个角落处电离电子的漂移时间,用 GARFIELD 模拟得到的最大漂移时间为 300ns.

当粒子沿图 4 中的径迹穿过漂移单元时,产生的电子被信号丝 S1 收集,其电流波形如图 5(a)所示;同时在相邻单元的信号丝 S2 上有方向相反的串扰电流产生,如图 5(b)所示.从图 5 中可以看到,在信号丝上的电流信号 I 是由多个与时间 t 相关的 $1/t$ 波形 $i(t) = I_m/(1+t/t_0)$ 叠加而成, t_0 为其特征时间,对于 BES-III 主漂移室约为 1ns. 每一个 $1/t$ 波形对应于带电粒子径迹上产生的一个电子-离子簇团,它的幅度正比于该簇团所包含的电子-离子对数.

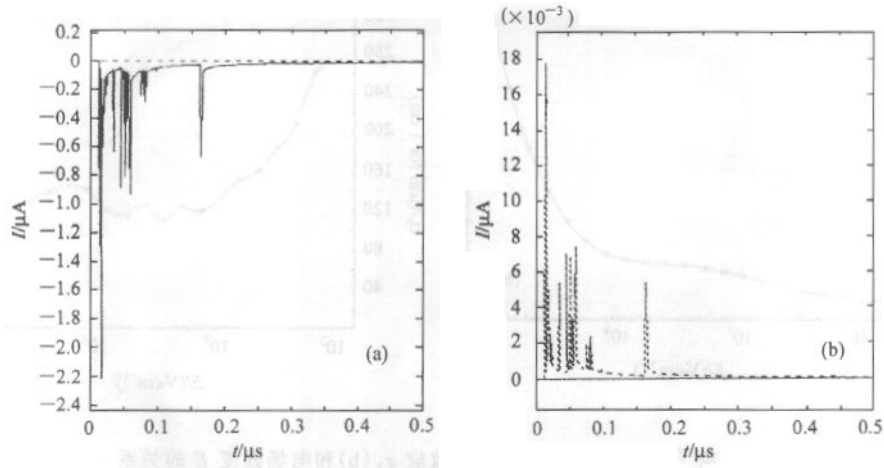


图 5 信号丝 S1 和 S2 上的输出波形

从图 5 可以看出,带电粒子穿过漂移单元 S1 所产生的电流信号的最大幅度为 $I_{S1} = -2.2\mu\text{A}$,而在相邻单元信号丝 S2 上产生的方向相反的串扰信号最大幅度为 $I_{S2} = 0.018\mu\text{A}$,小于 I_{S1} 的 1%. 对粒子沿其他不同方向穿过探测单元的模拟,也都表明在其相邻单元产生的串扰信号幅度都在原信号的 1% 左右. 所以可以得到结论:对于 BES-III 主漂移室,在进行 dE/dx 测量时,可以忽略带电粒子穿过一个单元时在相邻单元信号丝上的感生电流信号造成的测量误差. 这一结论对漂移室电子学的设计是很有意义的,这是因为信号丝之间的串扰由原来 BES-II 漂移室的 7% 减小为 1%,在满足测量精度要求的条件下,可以省去前置放大器输入端的串扰抵消网络,简化了前置放大器的设计,提高了系统的信噪比.

图 6 是 BES-III 主漂移室输出信号的模拟结果和 Babar 漂移室的对照²⁾. 从中可以看出,模拟得到的 BES-III 主漂移室的波形和 Babar 漂移室的各级波形(包括丝信号波形、前置放大器输出波形和 FADC 输入波形)基本相似,这在一定程度上证明了以上对 BES-III 主漂移室输出波形模拟结果的正确性. 两者的区别仅在于后者的波形较前者略宽,这是因为所选取的工作气体、漂移单元的形状和大小有所不同,造成单元的最大漂移时间不等. 另外,由于前置放大器和主放大器的响应速度有所不同,导致输出信号下降沿的时间常数不同.

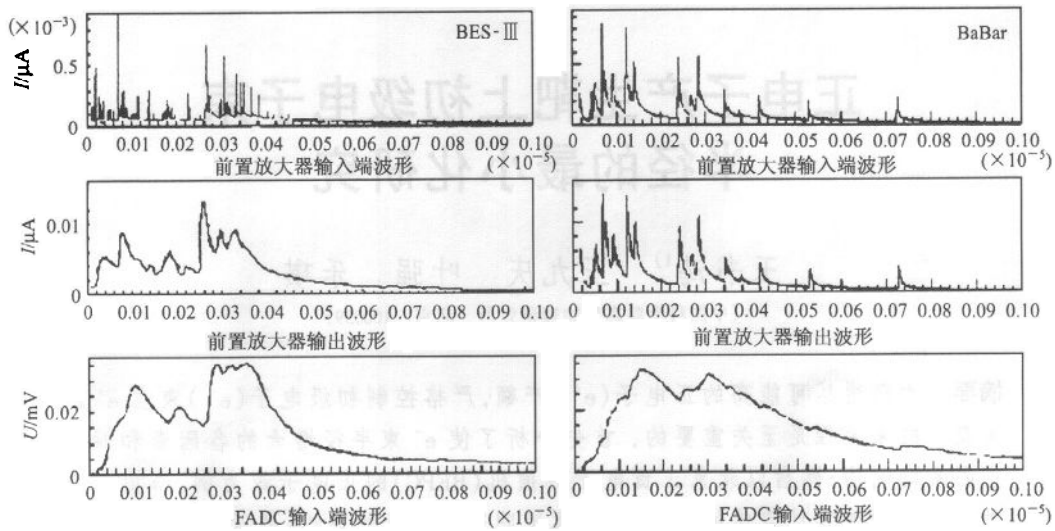


图 6 BES-III 漂移室波形模拟结果与 BaBar 漂移室波形的比较

5 结论

通过对 BES-III 主漂移室的模拟, 使我们对小单元漂移室的特性有了一定的了解, 对其阳极丝输出波形的特点进行了细致的讨论, 为其读出电子学系统的设计提供了较为准确的理论依据。

参考文献 (References)

- 1 Rob Veenhof. GARFIELD 7 USER GUIDE. Switzerland: CERN, 2000
- 2 BaBar Collaboration. BaBar Technical Design Report. USA SLAC, 1999

Simulation for Output Signal of BES-III MDC

WANG Zheng CHEN Yuan-Bo SHENG Hua-Yi ZHUANG Bao-An JIANG Xiao-Shan

(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China)

Abstract Small cell drift chamber is adopted in the design of BES-III-the upgrade version of the BES detector, for its lower electron diffusion and better spatial resolution. We did Monte Carlo study for BES-III drift chamber using GARFIELD7, and got the characteristics of the output signals of the sense wires. This become the theoretical basis for the design of drift chamber readout electronics.

Key words BES-III, small cell drift chamber, Monte Carlo study

Received 15 January 2002