

噪声对漂移室性能影响的模拟研究*

邓子艳¹⁾ 刘怀民 李卫国 毛泽普 陈元柏

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 利用蒙特卡罗方法模拟了漂移室的随机噪声和对其性能的影响,分别考虑了击中丝和非击中丝的时间道和电荷道的噪声,给出了径迹效率和动量分辨随噪声水平和噪声分布的变化情况.

关键词 漂移室 噪声水平 噪声分布 径迹效率 动量分辨

1 引言

漂移室是目前大型粒子物理实验中广泛使用的一种气体探测器.其工作原理如下:带电粒子穿过漂移室引起气体电离,产生的正负离子在电场的作用下被信号丝收集,通过测量正负离子的漂移时间(t)可以准确地定位粒子的轨迹,若将其置入磁场中则可精确测量带电粒子的动量.北京谱仪 BES^[1,2]是工作在北京正负电子对撞机 BEPC 上的大型探测器装置,其漂移室 MDC^[3]采用圆筒型多信号丝单元结构,沿径向共有 40 层信号丝,置入 0.4T 磁场中,丝的时间信息(t)用以测量带电粒子的径迹、动量 p ,信号幅度(q)用来测量能量损失 dE/dx ,供粒子鉴别使用.

漂移室的性能由径迹的寻迹效率(ϵ)、动量分辨率(σ_p)和 dE/dx 分辨率来衡量.一般说来,这些性能指标主要由丝的空间分辨和气体的多次散射所决定^[3].任何实际工作的探测器都会受到噪声的干扰,当噪声到达一定强度时,探测器的性能将会随之发生变化.对 BES 的 MDC 而言,噪声的来源^[4]很多也很复杂,它们主要来自探测器本身、电子学、束流本底和同步辐射等等.研究噪声对漂移室的影响有利于了解探测器的硬件软件性能和对噪声的容忍度.目前, BEPC 和 BES 即将实施重大改进,改进后的 BEPC II^[5]采用双环多束团对撞,亮度达 10^{33}

$\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,预计处于对撞区的 BES III 探测器的噪声将比现在 BES II 的水平大得多,因此对噪声的研究关系到探测器的设计和对物理结果的影响.

本文采用蒙特卡罗方法对噪声可能对 BES II 的主漂移室 MDC 产生的影响作了研究,其中探测器模拟和事例重建部分使用 BES 的 Simbes 和 Drunk 软件包. MDC 的径迹重建包括径迹寻找和径迹拟合两部分,在寻迹阶段根据信号丝的击中信息与预先设定的“径迹字典”进行模式匹配,由此筛选出可能的候选径迹^[6],拟合时先用圆拟合找到径迹在 $r-\varphi$ 平面投影的圆弧参数,然后再作精细的螺旋线拟合给出各种径迹参数^[7].首先我们详细介绍噪声的描述和相应的模拟方法,然后给出漂移室的径迹效率和动量分辨在不同的噪声水平和噪声分布下的变化关系.

2 噪声的模拟方法

2.1 噪声水平 N

噪声水平定义为信号丝产生噪声的几率,如 $N = 5\%$, 10% , 20% 等.带电径迹穿过 MDC 各层时部分信号丝被击中,产生击中信号,这部分信号丝称为击中丝.本文分别考虑了击中丝噪声和非击中丝噪声.

2003-01-11 收稿

* 国家自然科学基金(19991480),中国科学院知识创新基金(U-602)资助

1) E-mail: dengzy@mail.ihep.ac.cn

2.2 噪声分布

噪声水平随空间的变化称为噪声分布. 严格的噪声分布实验上难以测量, 这里假设它服从某一分布, 以此来分析其对探测器的影响.

假设 1: 均匀分布 $N(r) = N_1$, (1)

假设 2: 正比于 $\frac{1}{r}$ $N(r) = N_1 \frac{r_1}{r}$, (2)

假设 3: 正比于 $\frac{1}{r^2}$ $N(r) = N_1 \frac{r_1^2}{r^2}$, (3)

此处, r 为信号丝所在丝层的半径, N_1 和 r_1 分别为第一层信号丝的噪声水平和半径. 对 BES II 的漂移室 MDC, 最内层和最外层的丝半径分别为 21.5cm 和 106.5cm. 这里忽略噪声水平随 θ 和 φ 的变化, 只考虑随 r 的变化, 且假定每一层内所有的信号丝具有相同的噪声水平. 假设 2 和假设 3 即假定噪声水平随半径的增大而逐渐减小, 因为一般而言, 离束流对撞点(IP)越近, 噪声越强.

2.3 对击中丝噪声的模拟

本文综合考虑了 t 道和 q 道的噪声, 每个击中信号丝都按一定的几率(N)产生噪声, 噪声的 t, q 信号大小假定为完全随机的且二者之间不相关. 图 1 为利用 Simbes 模拟的无噪声时漂移室某一信号丝层的 TDC, ADC 典型分布图. 噪声 t, q 的分布比

较复杂, 这里简化为均匀分布来进行随机抽样:

$$t = R \times TDC_{max}, \tag{4}$$

$$q = R \times ADC_{max}, \tag{5}$$

其中 R 为 0—1 之间均匀分布的随机数, 取 $TDC_{max} = ADC_{max} = 4096$, 即 t, q 信号的最大电子学道数.

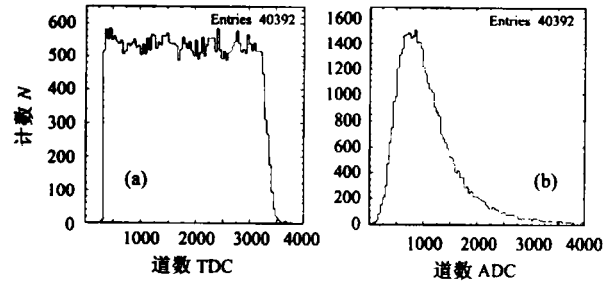


图 1 模拟给出的无噪声时漂移室某一信号丝层的 t, q 信号分布图 (a) t 信号; (b) q 信号.

2.4 对非击中丝噪声的模拟

对漂移室内所有被真实径迹击中的信号丝, 其 t, q 信号值仍取 Simbes 的模拟值, 即不产生噪声信号. 对所有没有被击中的信号丝, 即非击中丝, 在噪声水平 N 下, t, q 信号按可能的值随机抽样, 与上述击中丝的抽样方法相同. 噪声的分布同样满足上述 3 种假定. 图 2 为单个 μ 径迹事例叠加噪声水平为 10% 的 3 种不同噪声分布之后事例重建及显示结果.

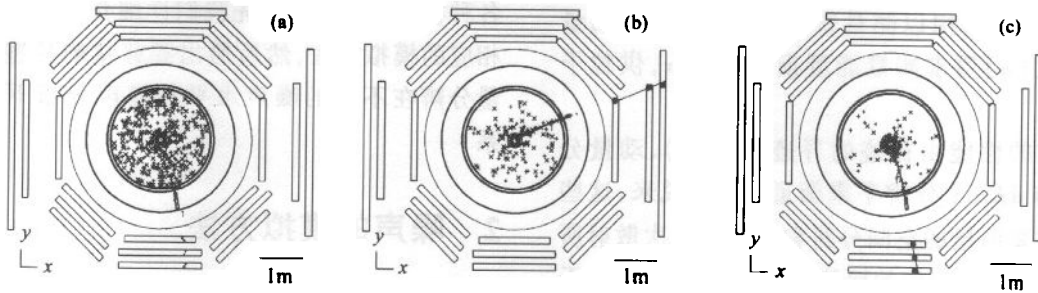


图 2 10% 噪声水平下事例重建及显示结果 (a) 均匀分布; (b) 正比于 $1/r$; (c) 正比于 $1/r^2$.

从图中可以看出, 尽管径迹附近有很多噪声击中, 由于噪声信号的完全无序性, 这些击中点很难被重建成多条径迹. 相反, 对最为严重的均匀分布的情况(a), 先前产生的一条径迹反而无法被重建出来(击中点之间的连线表示一条重建径迹).

3 结果

噪声对漂移室性能的影响, 主要考虑径迹的

效率和动量分辨. 按照上述对噪声的处理方法, 用单径迹产生子产生单径迹的 μ 事例, μ 粒子的出射方向是随机的, $\cos\theta$ 在 -0.8 到 $+0.8$, φ 在 0 到 2π 之间均匀分布. 对比加上不同噪声水平的击中丝噪声或非击中丝噪声之后径迹效率和动量分辨的影响. 其中径迹效率定义为找到一根径迹的几率, 即重建出单根径迹的事例数除以产生的总事例数.

3.1 击中丝噪声对径迹效率和动量分辨的影响

考虑了动量为 0.3GeV 和 1.0GeV 两种情况. 不加噪声时,重建后的动量近似满足高斯分布,采用高斯分布拟合给出的 σ_p 值分别为 5.6MeV 和 23MeV, 这和目前 BES II 的动量分辨 $\sigma_p/p = 1.7\% \sqrt{1+p^2}$ 是一致的. 通过分析发现,加上噪声之后,尤其是随着噪声水平越来越高,动量分布在尾部很大范围内存在较多径迹. 图 3 为 0.3GeV 的单径迹 μ 事例在无噪声和 20% 均匀分布击中丝噪声两种情况下的动量分布. 考虑到因噪声的加入而引起的分布变化,利用分布的均方根偏差(RMS)的值来反映噪声对 MDC 动量分辨的影响. 在不同的噪声水平下取相同的区间确定 RMS,根据加入噪声之后动量的分布情况取合适的动量区间,本文中对 0.3GeV 和 1.0GeV 动量区间分别取 0.2GeV—0.4GeV, 0.8GeV—1.0GeV,由此得到的 RMS 值近似反映了动量分辨及其分布的情况.

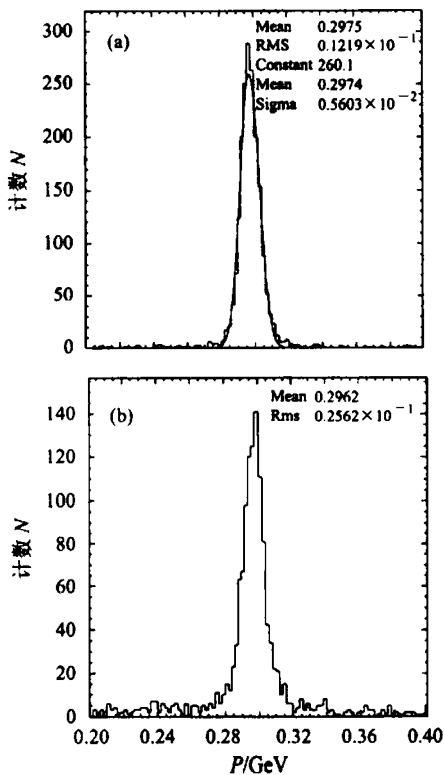


图 3 无噪声和 20% 均匀分布击中丝噪声两种情况下动量分布的比较 ($p = 0.3\text{GeV}$)
(a) 无噪声; (b) 20% 击中丝噪声.

径迹效率随噪声水平的提高而逐渐降低,其中以均匀分布的效果最为明显. 噪声分布正比于 $1/r^2$ 的情况下,径迹效率整体上缓慢降低. 图 4 和图 5

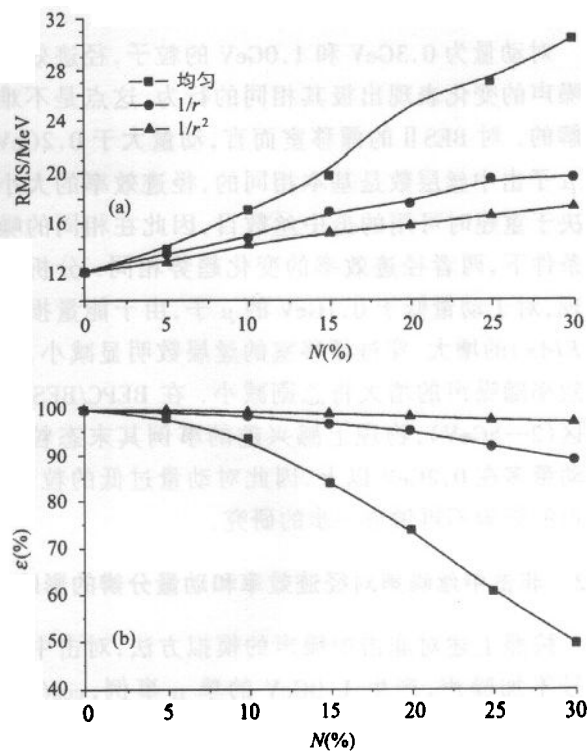


图 4 0.3GeV 时 RMS 和效率随噪声水平的变化曲线
(a) RMS; (b) 效率.

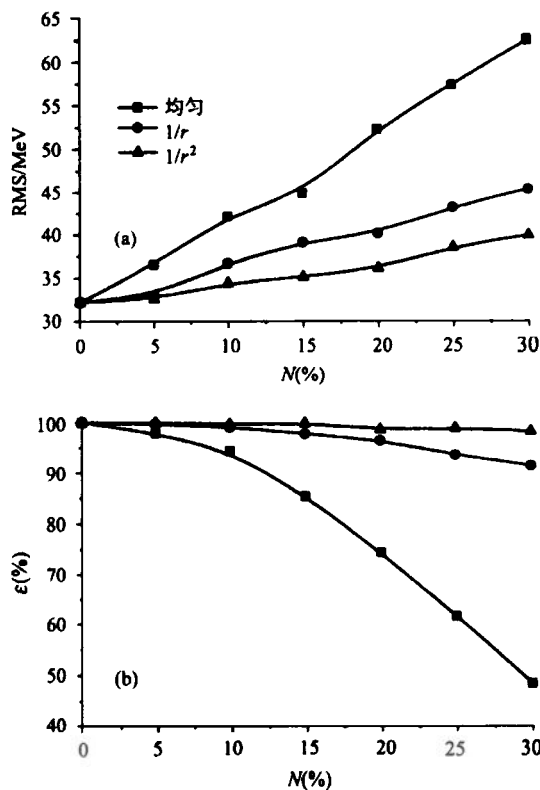


图 5 1.0GeV 时 RMS 和效率随噪声水平的变化曲线
(a) RMS; (b) 效率.

分别为 0.3GeV 和 1.0GeV 的单 μ 径迹,其 RMS 和效

率随噪声水平的变化曲线。

对动量为 0.3GeV 和 1.0GeV 的粒子,径迹效率随噪声的变化表现出极其相同的行为,这点是不难理解的.对 BES II 的漂移室而言,动量大于 0.2GeV 的 μ 子击中丝层数是基本相同的,径迹效率的大小取决于重建时可用的击中丝数目,因此在相同的噪声条件下,两者径迹效率的变化趋势相同.分析中发现,对于动量低于 0.1GeV 的 μ 子,由于能量损失 (dE/dx) 的增大,穿过漂移室的丝层数明显减小,径迹效率随噪声的增大将急剧减小.在 BEPC/BES 的能区(2—5GeV),物理上感兴趣的事例其末态粒子的动量多在 0.2GeV 以上,因此对动量过低的粒子,噪声的影响不再做进一步的研究。

3.2 非击中丝噪声对径迹效率和动量分辨的影响

按照上述对非击中噪声的模拟方法,对击中丝信号不加噪声,产生 1.0GeV 的单 μ 事例, $\cos\theta$ 在 -0.8 到 $+0.8$, φ 在 0 到 2π 之间均匀分布.图 6 为径迹效率随噪声水平的变化曲线。

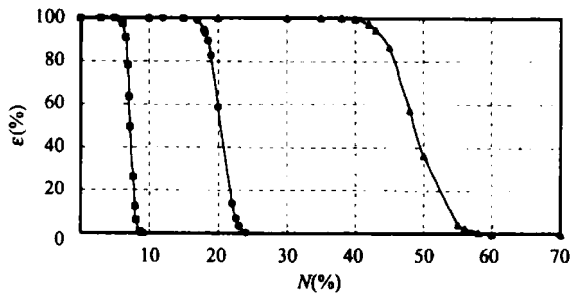


图 6 径迹效率随噪声水平的变化曲线(非击中丝噪声)

—■—均匀分布;—●—正比于 $1/r$;—▲—正比于 $1/r^2$ 。

由图 6 可以看出,完全随机的非击中丝噪声在噪声水平不太高时,对径迹效率影响不大.当噪声水平高于某一阈值时,寻迹时过多的误组合使得径迹的效率急剧下降.另外,随着噪声水平的增大(低于阈值),动量分布并无明显变化。

分析中发现,对产生的单径迹事例,重建后并无明显增多的多径迹事例,这说明目前的重建软件对这类噪声有较强的抑制作用.漂移室的寻迹方法有多种,BES 目前采用的依据“径迹字典”的模式匹配法是常用的方法之一.应当指出,不同噪声不同动量下的径迹效率依赖于寻迹软件的选择,这一问题有待进一步研究。

4 结论

本文针对北京谱议(BES II)的漂移室(MDC II),分析了随机噪声在不同分布和不同噪声水平下对径迹效率和动量分布的影响.均匀分布的情况下,击中丝噪声对径迹效率和动量分布有很大影响(噪声水平大于 5%,漂移室将不能使用),分布正比于 $1/r$ 或 $1/r^2$ 的噪声则只在很高的噪声水平下才有较大影响.对于非击中丝噪声,当噪声水平超过一定阈值后径迹效率急剧下降,而动量分布无明显变化。

上述结论是基于噪声信号(t, q 道)满足完全随机分布条件下给出的,实际情况可能会有所不同.进一步的工作是从真实实验数据获取噪声信号的分布,然后按这些分布进行抽样和计算,由此得到的模拟结果将会对实验有更好的指导意义。

参考文献 (References)

- 1 BAI Jing-Zhi et al. (BES Collaboration). Nucl. Instr. and Meth., 1994, **A344**:319
- 2 BAI Jing-Zhi et al. (BES Collaboration). Nucl. Instr. and Meth., 2001, **A458**:627
- 3 MA Ji-Mao et al. HEP & NP, 1990, **14(9)**:777(in Chinese)
(马基茂等. 高能物理与核物理,1990,14(9):777)
- 4 WANG Yun-Yong et al. Nucl. Electr. & Detect. Tech., 1999, **19(3)**:201(in Chinese)
(王运永等. 核电子学与探测技术,1999,19(3):201)
- 5 CHEN He-Sheng. "BEPC II/BES III project", talk at ICHEP 2002, Amsterdam, Netherlands, July 24—31, 2002
- 6 LIU Jing et al. HEP & NP, 1998, **22(11)**:587(in Chinese)
(刘靖等. 高能物理与核物理,1998,22(11):587)
- 7 MAO Ze-Pu et al. HEP & NP, 1993, **17(3)**:193(in Chinese)
(毛泽普等. 高能物理与核物理,1993,17(3):193)

Simulation of Noise Effect on the Performance of Drift Chamber*

DENG Zi-Yan¹⁾ LIU Huai-Min LI Wei-Guo MAO Ze-Pu CHEN Yuan-Bo
(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China)

Abstract Monte Carlo method is used to simulate the random noise in the BES II drift chamber and its effect on the performance. Noises from both t and q channels are considered on hit and non-hit sense wires respectively. Track efficiency and momentum resolution under different noise levels and different noise distributions are presented.

Key words drift chamber, noise level, noise distribution, track efficiency, momentum resolution

Received 11 January 2003

* Supported by National Science Foundation of China(19991480) and the Knowledge Innovation Project of CAS(U-602)

1) E-mail: dengzy@mail.ihep.ac.cn