

学士学位论文答辩

环形正负电子对撞机上探测器准直的研究

赵明锐

指导老师：高原宁

联合指导老师：杨振伟，阮曼奇（高能所）

时间：06/07/17

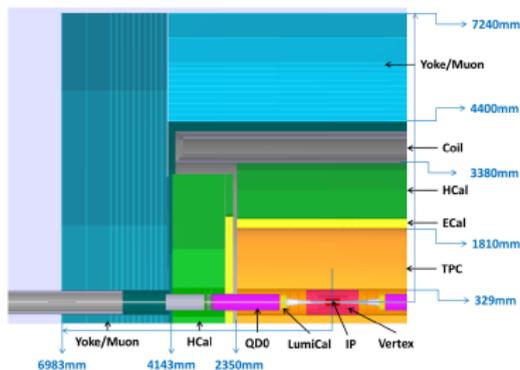
清华大学工程物理系



1. 研究背景及简介
2. 探测器错位对物理信号的影响
3. 准直算法设计
4. 空间电荷分布产生的击中点错位
5. 总结：完成情况与下一步计划



CEPC 及其概念探测器



CEPC 概念探测器 [CEPC pre-CDR]

主要物理目标：希格斯玻色子的精确测量

CEPC 上的关键物理过程及关键探测器

物理过程	测量量	关键探测器	性能
$ZH \rightarrow l^+ l^- X$	希格斯质量, 截面	径迹探测器	$\Delta p_T \sim 2 \times 10^{-5} \oplus 1 \times 10^{-3} / p_T \sin \theta$
$H \rightarrow \mu^+ \mu^-$	$\mathcal{B}(H \rightarrow \mu^+ \mu^-)$		
$H \rightarrow b\bar{b}, c\bar{c}, gg$	$\mathcal{B}(H \rightarrow b\bar{b}, c\bar{c}, gg)$	顶点探测器	$\sigma_{r\phi} \sim 5 \oplus 10 / (p \sin^3 / 2 \theta) \mu\text{m}$

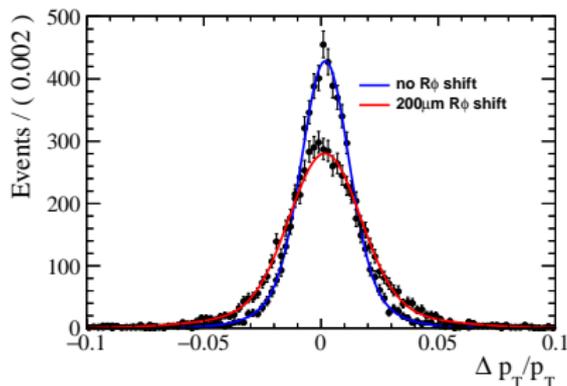
- 探测器安装过程中实际位置与预期值存在机械偏差
 - TPC 位置分辨率: $\sim 100 \mu\text{m}$, 顶点探测器 $\sim 3 \mu\text{m}$ [CEPC pre-CDR]
 - 机械误差: $\sim 100 \mu\text{m}$
- 空间电荷产生的磁场畸变导致的击中点位置错位
- 探测器中粒子漂移速度等与测量值存在偏差
- 温度, 压力等方面存在影响

探测器错位模拟与径迹重建

- 对GEANT4 中的 TPC 几何设置进行研究
- 得到完全模拟样本
- 在电子学化时根据 TPC 模块进行人为错位
- 径迹重建
- 对模拟粒子与重建径迹进行匹配，用以评估错位的影响



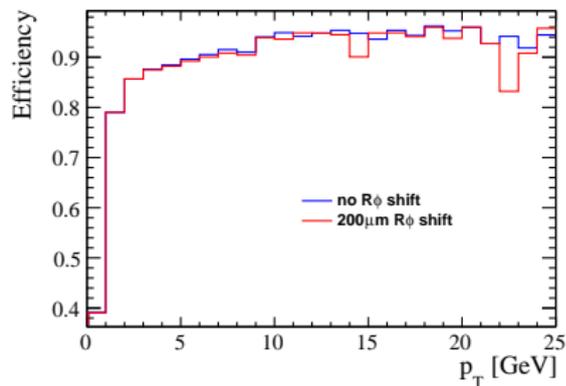
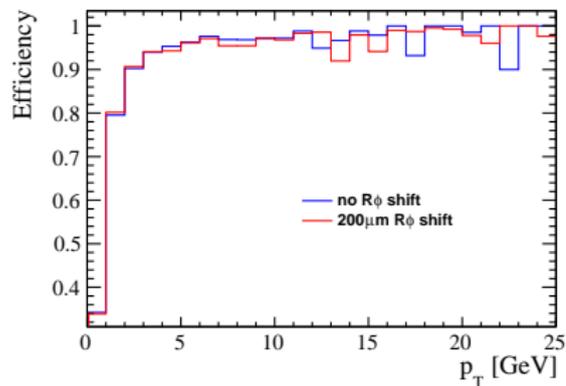
探测器错位对粒子动量分辨率的影响



错位后 μ 子 TPC 径迹横动量分辨率变化

- No misalignment: $\sigma = 0.008$
- 200 μm misalignment: $\sigma = 0.017$
- 探测器错位对径迹动量分辨率有明显的影响

探测器错位对粒子重建效率的影响



错位前后 μ 子和 π 介子重建效率随横动量的变化

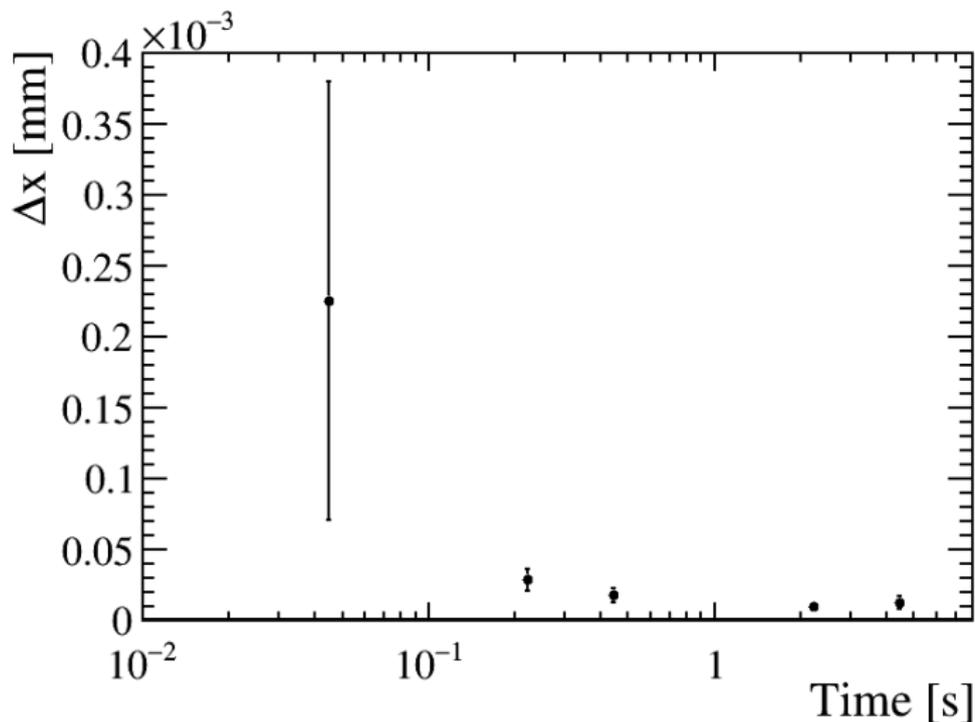
- 探测器错位对径迹重建效率影响很小

- NGA 算法：用拟合结果作为真值，通过比较拟合结果和重建结果进行准直。
- LGA 算法：将方程转化为线性形式，使残差卡方值最小。

选择合适的准直数据是关键！

- $|\cos \theta| < 1 \times 10^{-8}$.
- $|\Omega| < 1 \times 10^{-4} \text{ mm}^{-1}$

全局准直算法效果（无错位）



准直结果随取数时间的变化

全局准直算法效果（有错位）

$$d_a = \left| \frac{a_{\text{mis}} - a_{\text{cor}}}{a_{\text{mis}}} \right| < 1 \quad (1)$$

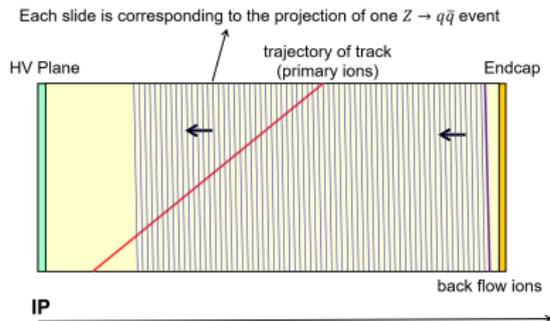
- 在沿 x 轴 $10 \mu\text{m}$ 的预设探测器错位的条件下，求得 $d_a = 0.05$ 。
- 在沿 x 轴 $100 \mu\text{m}$ 的预设探测器错位的条件下，求得 $d_a = 0.42$ 。
- 在转动欧拉角为 $\delta = 1.0 \times 10^{-4}$ 的情况下，求得 $d_a = 0.42$ 。

局部模块准直算法

- 设计了 NMA 和 LMA 算法，LMA 与通用准直方法兼容。
- 内层模块准直效果较好 $d_a = 0.4$ ，外层模块准直尚需优化。



○ 放大器离子回流形成空间电荷和空间电场

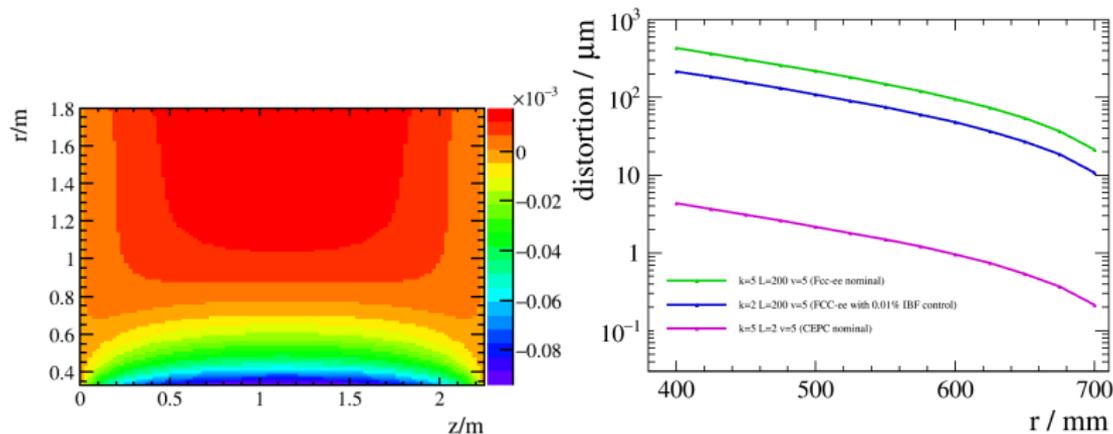


放大器离子回流形成空间电荷

○ $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ 效应

○ $\Delta(R\phi) = \frac{\omega\tau}{1+(\omega\tau)^2} \times \frac{E_T}{E_z} \Delta z$ ($\omega \equiv eB/m$, τ : 电子平均自由时间)

击中点错位计算



左图为计算得到的空间电场分布，右图为计算得到的不同条件下击中点错位随径向位置的变化

- 格林函数积分求得径向电场
- 计算得到不同径向位置错位量
- 在 CEPC 配置的条件下错位很小

○ 完成情况

- 构建了探测器错位的模拟框架。
- 设计了模拟粒子与径迹匹配的算法，拓展了事例显示程序的功能。
- 研究了探测器错位对径迹横动量分辨率、重建效率等的影响。
- 设计了准直算法对探测器错位进行了修正。
- 研究了空间电荷分布产生的击中点偏移及其准直。
- 完成了毕业论文的撰写。

○ 计划

- 研究基于 Kalman 滤波的径迹重建和准直算法。



Thanks