

HIRFL-CSRm 内靶实验终端上 TPC 性能的 Monte-Carlo 研究*

贾 飞^{1,2}, 徐珊珊¹, 李文飞^{1,2}, 段利敏¹, 孙志宇¹,
徐华根^{1,2}, 陈若富^{1,2}, 马 越¹, 张雪荧¹

(1 中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000;

2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 基于 Monte-Carlo 方法对 HIRFL-CSRm 上的 TPC 的性能进行了模拟. 研究了磁场、读出电极几何尺寸、灵敏丝距以及读出电极平面与灵敏丝平面之间的距离等参数对 TPC 性能的影响, 给出了 TPC 的一些最佳设计参数.

关键词: Monte-Carlo 模拟; TPC; 位置分辨; 能量分辨

中图分类号: TL503.92 **文献标识码:** A

1 引言

正在建造的兰州重离子加速器冷却储存环装置 (HIRFL-CSR) 投入运行后, 不仅可以开展核物理方面的研究, 同时也具备了开展一些粒子物理范围内研究的可能. 因此, 在 CSR 上建造一个可以兼顾核物理研究和粒子物理研究的实验设备是必要的. 另外, 考虑到储存环加速器的特点, 建造一个基于内靶技术的装置, 将能大大提高加速器束流的利用效率. CSRm 上的内靶实验终端就是在基于这样的基本目的提出建造的.

CSRm 内靶实验终端是用超导螺线管和径迹探测器相结合的方法来测量粒子动量的, 其中我们采用的是一种充气式带电粒子径迹探测器: Time Projection Chamber (TPC). 其工作原理是: 带电粒子穿过 TPC 的灵敏区域时, 气体原子发生电离而释放出电子. 电子在漂移电场的作用下, 由 TPC 的灵敏区域向它的读出区域运动. 在读出区域经过放大后, 由电子学与数据获取系统将信号记录. 读出电极的感应信号提供了粒子径迹的 2 维横向信号, 电子的漂移时间提供了粒子径迹的第 3 维纵向信号, 分析这些信号就可以得到带电粒子穿过 TPC

时的径迹. 同时, 读出信号的幅度可以用来测量能量. 这样复杂的探测器系统, 其性能受到很多因素的影响. 为了保证设计参数选取的合理性, 有必要对 TPC 的工作过程用蒙特卡罗方法进行微观模拟.

2 TPC 性能模拟以及参数选择

根据文献[1—3]以及 TPC 的工作原理, 我们可以对 TPC 的工作过程及其性能进行微观模拟. 在模拟过程中, 只选择了 TPC 的一个扇区, 其内径为 82 mm, 外径为 406 mm, 长为 400 mm. 整个模拟过程由以下几步组成: 带电粒子在工作气体中的电离过程; 电离电子在电场中的漂移过程; 电子在阳极丝上的雪崩过程; 读出电极的电荷收集过程以及前放/成形放大器的信号产生过程和 ADC 数字化过程. 模拟中我们采用的工作气体为 90% Ne 和 10% CO₂ 的混合气体.

TPC 的位置、能量等分辨能力依赖于读出电极大小、灵敏丝距、读出电极平面与灵敏丝面的距离等因素. 因此研究不同参数下 TPC 的性能, 选择最佳性能参数对设计 TPC 是至关重要的.

图 1 显示了不同读出电极尺寸对 TPC 的位置

收稿日期: 2004 - 08 - 16

* 基金项目: 中国科学院百人计划基金资助项目; 科技部重大项目前期基金资助项目(2001ccb01200); 中国科学院知识创新工程重点方向资助项目(KJCX2-SW-No2)

作者简介: 贾 飞(1979-), 男(汉族), 山西大同人, 博士研究生, 从事原子核物理实验和理论研究; E-mail: jiafei@impcas.ac.cn

分辨和能量分辨的影响, 其中读出电极的面积尽量保持不变, 即保证读出的电子学数目相同. 另外, 阳极丝距固定为 2.5 mm, 阳极丝与读出电极平面间距为 2 mm. 由图 1 可以看出, TPC 的位置分辨与能量分辨灵敏地依赖于读出电极的尺寸, 在读出电极为 4 mm×8 mm 时得到了最佳的位置分辨与能量分辨. 随着读出电极变窄或变宽, 位置分辨与能量分辨均变差. 这是由于读出电极变宽, 则长度太小, 每排电极上收集的电荷太少造成统计不够, 从而影响位置分辨与能量分辨. 当读出电极变窄, 由于长度太长, 则同一电极收集到不同电离点的信号的几率更大, 从而造成分辨能力下降. 从当前的模拟结果看, 读出电极的尺寸选为 4 mm×8 mm 时最为合适.

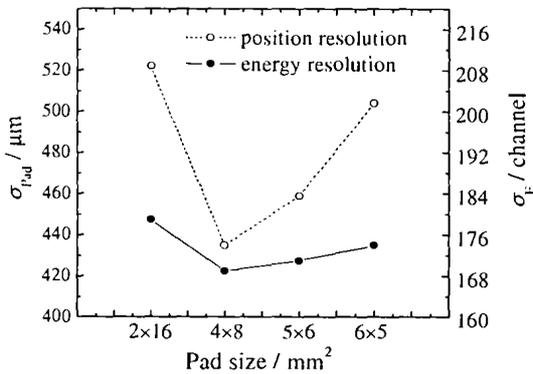


图 1 不同的读出电极尺寸给出的 TPC 的位置分辨和能量分辨

图 2 给出了选取不同阳极丝距时 TPC 的位置分辨和能量分辨. 其中, 读出电极固定为 4 mm×8 mm, 阳极丝与读出电极平面间距 2 mm. 由图知, 阳极丝距越小, TPC 的位置分辨越好. 这主要是由于小的阳极丝距情况下, 电子在向阳极丝漂移的路程短, 受磁场的影晌小. 但是能量分辨受丝距影响较弱. 实际中, 在选择阳极丝距时还要考虑加工工艺等因素, 而且小的阳极丝距会导致阳极丝之间强的静电斥力, 从而会导致阳极丝变形和振荡, 影响位置分辨. 权衡考虑这些因素, 选择 2.5 mm 的阳极丝距较为合适.

阳极丝平面与读出电极平面距离 D 不同, 雪崩电子将在读出电极板上产生不同的电荷分布, 从而会影响 TPC 的位置分辨和能量分辨. 读出电极固定为 4 mm×8 mm, 阳极丝距为 2.5 mm 时, 从表 1 可以看出, 减小 D 值, 位置分辨与能量分辨都有所

改善.

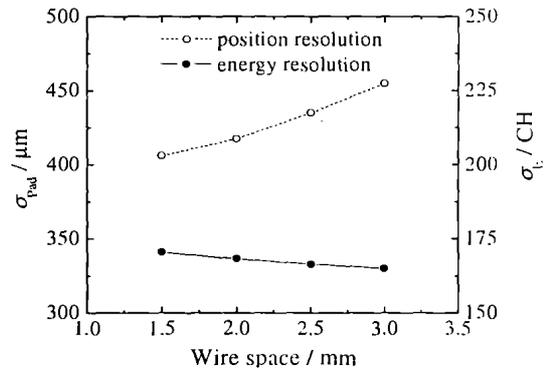


图 2 不同阳极丝距给出的 TPC 的位置分辨和能量分辨

表 1 读出电极平面与阳极丝平面的距离 D 为 2.5 mm 与 4.0 mm 时 TPC 的位置分辨与能量分辨的比较

D /mm	位置分辨 / μm	能损分布宽度 /ADC 道数
2.5	435	167
4.0	445	175

当漂移电子到达读出端时, 由于强磁场的存在, 电子在向阳极丝漂移的过程中, 在 Lorentz 力的作用下会向沿丝的方向运动, 这必然会影响到最终的位置分辨与能量分辨. 为了研究清楚磁场对 TPC 分辨的影响程度, 模拟了不同磁场下的位置分辨与能量分辨. 由表 2 可知, 在强磁场的情况下, 由于读出端 Lorentz 力的作用, 使得位置分辨明显地变差了, 但能量分辨变化不大. 值得注意的是在加有磁场时, 强磁场会约束漂移电子的扩散, 从而会有利于 TPC 的位置分辨与能量分辨, 因此实际情况要好于当前的模拟结果.

表 2 $B=0$ 和 1.3 T 时的位置分辨与能量分辨的比较

D /mm	位置分辨 / μm	能损分布宽度 /ADC 道数
0	395	165
1.3	435	167

3 TPC 的位置重建

得到 TPC 各读出电极上信号的值, 即可根据重心法计算出带电粒子的位置. 图 3 是最小电离粒

子在 TPC 中产生的轨迹与重建出的轨迹的比较。可见, TPC 很好地再现了原始径迹。图 4 给出了重建出的 x 位置与原始 x 位置之差的分布, 以及高斯拟合的结果, 位置分辨可以达到 $435 \mu\text{m}$ 。

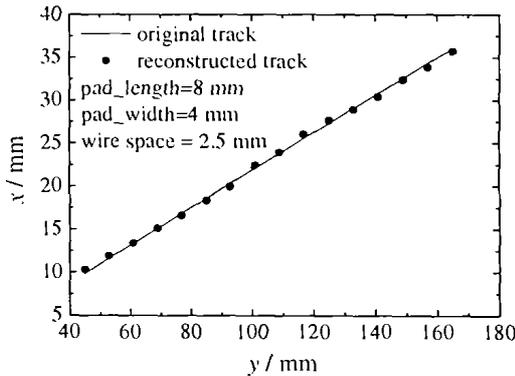


图 3 重建出的粒子径迹与原始径迹的比较

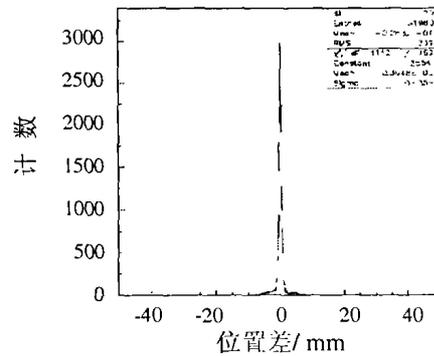


图 4 重建出的 x 位置与原始 x 位置之差

4 总结

基于 MC 模拟对 HIRFL-CSRm 内靶实验终端上的 TPC 的性能进行了计算, 研究了选取不同的设计参数时 TPC 的性能, 这为 TPC 的设计提供了重要依据。

参 考 文 献:

- [1] Blim W, Rolandi L. Particle Detection with Drift Chambers. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1993, ISBN 3-540-56425-X.
- [2] TPC ALICE Collaboration. Technical Design Report of the Time Projection Chamber. 2000, CERN/LHCC/2000-001.
- [3] Mathieson E. Nucl Instr and Meth, 1988, 270: 602.

Study of TPC's Performance Based on Monte-Carlo in Internal Experiment Facility at HIRFL-CSRm*

JIA Fei^{1, 2}, XU Hu-shan¹, LI Wen-fei^{1, 2}, DUAN Li-min¹, SUN Zhi-yu¹,

XU Hua-gen^{1, 2}, CHEN Ruo-fu^{1, 2}, MA Yue¹, ZHANG Xue-ying^{1, 2}

(1 Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Based on Monte Carlo method the time projection chamber's (TPC's) performance at HIRFL-CSRm has been simulated. We have already studied the effect of magnetic field, wire space, the size of readout pad and the distance between the pad plane and the wire plane on the performance of TPC. At the same time some important results are given for designing TPC.

Key words: Monte-Carlo simulation; time projection chamber; position resolution; energy resolution

* **Foundation item:** One Hundred Project of Chinese Academy of Sciences; National Key Basic Research and Development Program (2001ccb61200); Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (KJ CX2-SW-No2)