用扫描偏转电压法重构离子束空间分布

翟利华 , 张子斌 , 韦冠一 , 王长海 , 李志明 , 邓 虎 , 李雪松 , 李 梅

(西北核技术研究所,陕西 西安 710024)

Reconstruction of the Spacial Distribution of the Ion Beam by Scanning the Deflection Voltage

ZHAI Li-hua, ZHANG Zi-bin, WEI Guan-yi, WANG Chang-hai, LI Zhi-ming, DENG Hu, LI Xue-song, LI Mei

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

Abstract: The heating status of the hot cavity ion source disturbs the focus of the ion beam at measuring the ionization efficiency. To inspect the ion focus and keep high throughput efficiency during experiment, the spacial distribution of the ion beam was reconstructed on horizontal line in front of the slit by using deconvolution, which based on cepstrum analyse. The relationship was obtained between the deflection voltage and the shift length of the ion beam in ion optic simulation. It's a reference in optimizing the ion optic randomly during the test. At the same time, the upper limit of ion throughput can be calculated, so it's timesaving in studying the new ion source because we could know that whether the ion source has high throughput efficiecy at the beginning of the test.

Key words: deflection voltage; ion beam; spacial distribution; deconvolution; complex cepstrum analyse

中图分类号: O657.63; O463.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-2997 (2007) 增刊-101-02

毛细管热腔离子源对提高离子源电离效率有显著的作用^[1]。在研制该类型的离子源过程中,发现对不同的元素和离子源形式,离子源加热电极电压对离子出口速率、离子聚焦等有明显的影响,因此在相同离子光学参数的条件下,系统的传输效率差异很大。要保证在实验过程离子的传输效率始终较高,有必要对离子束的空间分布进行监测并随时优化离子透镜参数。

在大型磁质谱系统中,常用栅格探测器测量离子束空间分布,随时优化离子透镜,保证较高的离子传输率。本实验的磁质谱系统中没有类似装置,然而在离子透镜参数调节时发现,手动扫描水平偏转电压在接收器上会得到一个峰,这是一个典型的卷积过程。如果能对该峰数据与狭缝宽度进行反卷积运算,就可能得到离子束的水平空间分布。本实验拟采用该方法重构离子束在狭缝处的空间分布,为离子透镜参数优化和离子源研制提供帮助。

1 反卷积原理与实验参数确定

1.1 质谱计结构参数的分析

本实验所用质谱计与 MAT261 有相似的结构,从离子源出口到离子探测器,有三个狭缝:离子透镜出口狭缝 S_1 、偏转磁场入口狭缝 S_b 、离子收集器狭缝 S_2 。在水平方向上, S_1 对离子束的阻挡明显,离子只要通过 S_1 ,再经磁场偏转选择的离子,多数能够到达探测器;在垂直方向上,三个狭缝都对离子束的截取有影响。本实验重点考虑离子束在 S_1 处水平方向的分布。

设在狭缝处与狭缝垂直的方向为 z , 离子束在该轴上的累积概率密度分布用 s(z)表示;狭缝 S_1 在 z 轴上投影用幅度为 1 ,宽度为 0.2 mm 的矩形函数 h(z)表示 ,离子探测器上探测到的信号记为 y(z)。 离子束空间分布的重构是在已知 h(z)和 y(z)的条件下 ,重现得到与 s(z)相近的离子束分布 $s_{re}(z)$ 。

偏转电压变化幅度与离子束在狭缝 S_1 处移动距离的关系难以实验测量。 文献[2]利用离子光学仿真软件 SIMION 3D 7.0 对本实验的离子透镜系统进行了仿真,利用该模型仿真可得到偏转电位器每转 0.1 圈,对应离子束移动 0.050.5 mm 这一对应关系。

1.2 离子束分布重构的反卷积计算

首先对输入的原始数据进行换算,将法拉第探测器上的电压转换成计数率,接着利用 Matlab 信号处理工具箱中的信号任意倍数,用重采样函数 resample 处理,得到以 $0.005\,$ mm 为间隔单位的 y 数据向量。狭缝的离散数据向量用函数 rectpuls 产生,与 y 数据向量的间隔、长度相同。

利用有关倒谱分析的函数 , 实现上述 s(z)峰形的重构。首先利用复倒谱计算函数 cceps 分别计算 h(z)和 y(z)的复倒谱 , 再用 y(z)的复倒谱减去 h(z)的复倒谱得到 s(z)的复倒谱 , 最后利用逆复倒谱计算函数 icceps 得到 $s_{re}(z)$ 。

对标准高斯函数卷积、反卷积演算,证明该方法可较好地复原原始信号,而该算法对 s(z)的峰形不作要求。需注意的是,由于运算过程涉及傅立叶变换,必须重采样使数据更密集。

2 结果与讨论

利用以上原理和参数,对几次实验扫描数据重构了离子束的空间分布,示于图 1,图 2。

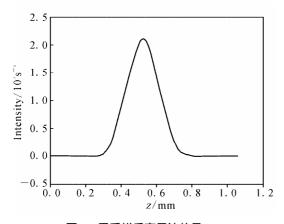


图 1 重采样后离子流信号

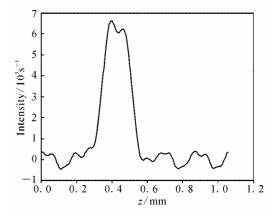


图 2 重构的离子束水平分布

Fig.1 Signal of ions after resample

Fig.2 Horizontal distribution of reconstructed signal

对重构后的离子分布数据进行分析,可得到离子束在狭缝 S_1 位置的通过率为 90.6% , 离子束分布的半高宽 $0.18~\mathrm{mm}$ 。

原则上垂直方向的离子束空间分布也可以通过扫描垂直偏转电压并反卷积得到。对条件相近的两次实验对比表明,垂直聚焦好的实验收集效率明显较高,其量化分析还需进一步实验。另外本实验是手动扫描并离线计算完成的,如果能实现自动扫描和计算则实用性更好。

离子束空间分布的重构对实验中离子透镜参数的优化具有指导作用。另外该方法可在离子源效率实验一开始就给出传输效率的上限,这在检验离子源与离子透镜耦合的实验中可节省大量时间。 在痕量样品分析中,也可预防因离子光学调整不佳而浪费样品。

参考文献:

- [1] DUAN Y, CHAMBERLIN E P, OLIVAERS J A. Development of a new high-efficiency thermal ionization source for mass spectrometry[J]. Int J Mass spectrum, 1997, 161 (1): 27-39.
- [2] 韦冠一, 翟利华, 张子斌, 等. MAT261 型离子源及离子透镜系统的仿真与实际应用[J]. 质谱学报, 2005, 26 (增刊): 99-100.