

# 串列加速器升级工程重离子束流能量计算

柳卫平

(中国原子能科学研究院, 北京 102413)

**摘要:**采用电荷剥离分布公式和稳定核质量数经验公式,对串列加速器升级工程提供的重离子束流能量和电荷剥离效率进行计算。计算结果对根据物理实验需要在高能量与束流强度之间进行取舍有一定的指导意义。

**关键词:**电荷剥离;重离子;束流能量;剥离效率

中图分类号:TL52 文献标识码:A 文章编号:1000-6931(2007)01-0020-02

## Calculation of Heavy Ion Beam Energy for Tandem Upgrading Project

LIU Wei-ping

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-1, Beijing 102413, China)

**Abstract:** The heavy ion beam energy, as well as the charge stripping efficiency, was calculated by using the charge state stripping formula and empirical formula of stable isotope mass number. The result is helpful for compromising between beam energy and beam intensity when designing a tandem experiment.

**Key words:** charge stripping; heavy ion; beam energy; charge stripping efficiency

北京串列加速器升级工程是中国原子能科学研究院针对我国核物理研究长远发展的需求而提出的加速器升级计划,它提供的高品质的质子、重离子、中子和放射性核束将满足辐射物理、中子物理、核物理、原子物理实验研究和核技术应用等多方面的要求。

北京串列加速器升级工程是由紧凑型等时性质子回旋加速器(100 MeV/200  $\mu$ A)、15 MV串列静电加速器(由原有 13 MV 升级)及具有 2 MeV/q 加速能力的超导重离子直线加速器

组成。该装置能够提供国际水平的低能强流质子束以及 100 余种强度为  $10^6 \sim 10^{10} \text{ s}^{-1}$  的短寿命核束,束流能量可在 0.5~15 MeV/q 范围内平稳、连续调节。

为使物理工作者能够更好地确定物理实验方案,对升级工程完成后可得到的重离子束流能量进行准确计算是十分必要的。

### 1 束流能量计算方法

重离子在通过剥离膜时,通过与膜中原子

的外层电子相互作用, 电荷态发生变化, 形成一定的分布。目前, 对这一过程的理论描述还很不完善, 因此, 只能通过一些经验公式来计算。为了获得较高的束流能量, 升级工程除在串列加速器的中部设有第 1 剥离膜外, 在出口处设置了第 2 剥离膜, 从而能够以较高的电荷态注入其后的超导加速段, 获得更高的束流能量。

在串列加速器工作的能区, 对最可几电荷态  $q_0$  分布情况描述较好的是 Shima 的经验公式<sup>[1]</sup>:

$$q_0 = Z(1 + y^{-1/0.6})^{-0.6}$$

式中:  $Z$  是原子序数;  $y = \frac{3.86 \sqrt{E/A}}{Z^{0.45}}$ ,  $E$  为能量,  $A$  为质量数。

在本工作的计算中, 对于较重的重离子束流, 考虑到电荷分布存在较大的宽度, 在强度损失小于 10% 的前提下, 使用比最可几电荷态高一两个单位的电荷态, 可使束流能量尽可能提高。

## 2 结果与讨论

由于电荷态分布只与原子序数和能量相关, 因此, 计算中利用文献[2]中的经验公式, 得到对应于质量  $A$  的稳定线核素的原子序数为:

$$Z = \frac{A}{1.98 + 0.015 5A^{2/3}}$$

由此, 根据 Shima 公式计算得到各阶段不同工作条件下最可几电荷态随核素质量数的变化规律(图 1), 进而得到束流能量随核素质量变化的关系曲线(图 2)和对应的剥离效率(图 3)。

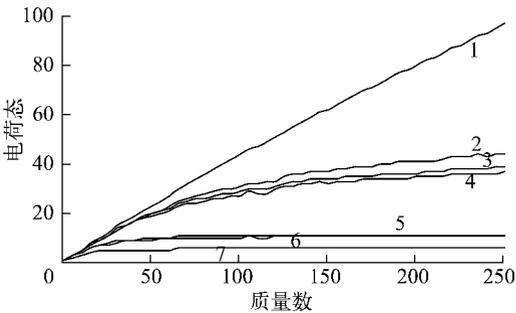


图 1 北京串列加速器升级工程束流电荷态

Fig. 1 Charge state distribution vs. mass number

- 1——原子序数; 2——15 MV 超导出口电荷态;  
 3——15 MV 超导入口电荷态; 4——13 MV 出口电荷态;  
 5——15 MV 电荷态; 6——13 MV 电荷态;  
 7——3.5 MV 电荷态

以上计算结果表明, 北京串列加速器升级工程完成后, 可使原子序数 10 以下的核素实现全剥离, 得以大幅度提高束流能量, 使得质量数 40 以下的核素能量超过库仑势垒。但应注意的是, 在原子序数大于 20 后, 单电荷剥离效率降到 20% 以下。所以, 应根据物理实验的需要, 在高能量和高束流强度之间进行取舍。

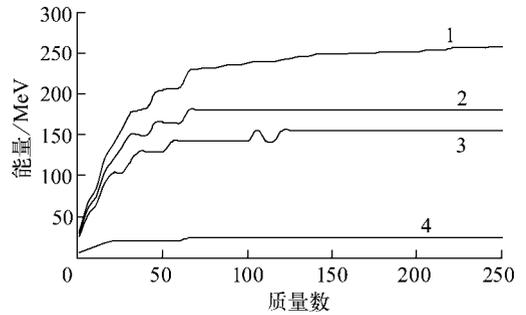


图 2 北京串列加速器升级工程束流能量

Fig. 2 Beam energy calculated

for tandem upgrading project

- 1——15 MV 超导出口能量; 2——15 MV 能量;  
 3——13 MV 能量; 4——3.5 MV 能量

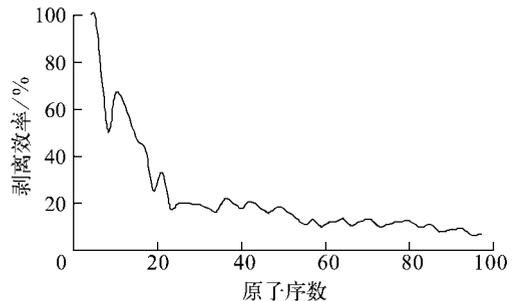


图 3 北京串列加速器升级工程束流电荷剥离效率

Fig. 3 Charge stripping efficiency vs. atomic number

## 参考文献:

- [1] SCHEIDENBERGER C, STOEHLEKER T, MEYERHOF W E, et al. Charge states of relativistic heavy ions in matter[J]. Nucl Instrum Methods, 1998, B142: 441-445.  
 [2] 卢希廷. 原子核物理[M]. 北京: 原子能出版社, 2001.