

# 前切割与后聚束强流毫微秒束流脉冲化系统

吕建钦 谢大林

(北京大学重离子物理研究所 北京 100871)

**摘要** 对 600kV 束流脉冲化系统设计、粒子动力学计算、聚束腔的性能测量、有关高频电子学系统和聚束器载束实验的初步结果作了论述。

**关键词** 聚束器 切割器 粒子的纵向运动

## 1 前言

为在 300keV 能域利用飞行时间法开展中子物理研究,经中国核工业总公司批准和赞助,中国原子能科学研究院正在建造一台 600kV 的强流高压倍加器.北京大学重离子物理研究所承担了该项目的束流脉冲化系统的研制任务.此项任务是该加速器产生毫微秒短脉冲束的核心装置,目标是为中子物理飞行时间实验提供约 1.5ns 短脉冲束.脉冲化系统的主要设计指标见表 1.

表 1

参数名称	参数指标
离子种类	D <sup>+</sup>
直流束强度	3~5mA
脉冲重复频率	1.5MHz
聚束器最佳调制能量	300keV
聚束频率	6MHz
脉宽 (FWHM)	≤1.5ns

## 2 方案的比较与选择

根据这台加速器的总体设计指标和特点,曾对各种聚束系统,如单漂移聚束器、双漂移谐波聚束器、单狭缝谐波聚束器等作了许多计算和反复比较,最后决定采用单波后聚束方案.这个聚束方案的优点是:它比头部聚束更容易达到脉宽的要求( $<1.5\text{ns}$ ),而且对离子源能散的要求可适当放宽;特别是,当束流脉冲重复频率较低时,三电极双间隔射

频器件或其组合用作强流高压倍加器的聚束器件可工作在较低的频率(几 MHz),因而其束流的利用率比几十 MHz 的谐振腔要高得多.这对强流脉冲加速器是至关重要的.为去掉脉冲的前沿和后沿,并减小加速管和聚束器的束流负载,在加速器头部安放了谐波式束流切割器.

## 3 束流脉冲化系统概述

### 3.1 聚束器的设计<sup>[1]</sup>

聚束器由一个聚束腔和一个谐振匹配装置组成.腔内部有三个紫铜管电极,均与外筒同轴.端部的两个电极接地,中心电极用绝缘材料支撑.聚束腔外筒装有两个绝缘子.位于下面中部的大绝缘子把聚束电极与外部的谐振匹配装置连接;位于上面端部的小绝缘子为信号提取探针,用作腔内聚束信号的监测和提取.由于聚束器工作频率较低,为使聚束腔体积不致过大,必须外加电感以构成谐振回路.这个谐振电感不仅是形成谐振匹配回路所必须的,而且还起着阻抗匹配的作用,使高频功率最大限度地馈入聚束腔内.在谐振电感的下方放置一个调谐板,可以上下移动,便于把谐振频率准确地调到 6MHz.在其侧面还有微调谐板.

### 3.2 切割器的设计

为了提高切割器效率,采用谐波式切割器.这种切割器在机械结构上与普通正弦波切割器没有什么区别,只是在基波电压的基础上再迭加上适当的奇次谐波,从而对束流

的波形加以调制,使得束流通过切割孔时的波形呈阶梯形,这样可提高束流在切割孔处的导通能力.由于中子物理实验所需要的脉冲重复频率为 1.5 MHz,故基波切割频率取 0.75 MHz.一般正弦波聚束器只能把相位处在  $\pm 60^\circ$  之内的粒子群聚到一起,所以切割器产生的束流脉宽应该为 50~56 ns.谐波切割频率应该以  $f_k \cong 1/\tau_c$  为宜,  $\tau_c$  为基波切割的脉宽.这里取  $f_k \cong 6.75\text{MHz}$ ,也就是采用第 9 次谐波.

## 4 粒子动力学计算

### 4.1 粒子的纵向运动

粒子动力学计算是合理设计束流脉冲化系统的重要环节.通过计算,可估算所达到的脉冲宽度、聚束器的聚束电压和功率,从而为加速器和高频信号发射机的设计提供合理参数.为此,设计了一个聚束系统计算程序 LMOVE<sup>[2]</sup>用于模拟粒子的纵向运动在相空间中的演变.

1) 脉冲宽度 利用程序 LMOVE 对离子的纵向运动作了大量的计算.结果表明,如果加速器引/出束的能散在  $\pm 500\text{eV}$  以内,脉冲束的宽度小于 1.5ns(FWHM).

2) 能散对脉宽的影响 当聚束器的几何尺寸、工作频率和聚束距离确定后,影响脉宽的关键因素就是束流的能散度.在后聚束情况下,这种能散度来自三方面的贡献:(1)离子源引出束的能散,(2)由于切割器而引起的附加能散,(3)加速电压不稳定(高压的摆动与纹波等)而引起的能散.由于聚束脉宽与束流的初始能散成正比,要想获得满足要求的短脉冲,必须对束流能散度加以限制.因此,对能散的限制主要是对离子源的能散和对加速器电压稳定性的限制.表 1 给出了聚束距离为 2.5m 时,在不同氘核能量和不同能散下所能获得的脉宽.在以上计算中,假定加速器引出束流的总能散度为  $+500\text{eV}$ .

表 2 不同能散下的束流脉宽  $\tau$ (FWHM)

$\Delta E$ ( $\pm\text{eV}$ )	$\tau(\text{ns})$				聚束电压 (kV)
	300	400	500	600	
$E_0(\text{keV})$					
250	0.87	1.08	1.30	1.54	12.08
300	0.69	0.87	1.07	1.29	16.00
350	0.54	0.77	0.80	1.01	20.00
400	0.46	0.64	0.67	0.86	24.60
450	0.31	0.46	0.50	0.70	30.00

### 4.2 粒子的横向运动

束流脉冲化系统的配置简述如下:从双等离子源引出的束经单透镜作用后在  $90^\circ$  分析磁铁的物点处成腰,此腰位就是扫描切割板所在的位置;切割孔放在这个磁铁的像腰处,为避免 Mobley 磁聚束效应,扫描方向必需位于磁铁的垂直平面内;切割后的脉冲束,经加速后能量达到 300keV,再经过  $45^\circ$  偏转磁铁,使束流偏转到中子实验线上,聚束器的中心就在  $45^\circ$  磁铁的像腰位附近;能量受到射频场调制后的束,经过四极透镜的聚焦,使其横向像腰投射到靶点上.此处,也形成纵向像腰;聚束器出口到靶点的距离为 2.5 m.用 LEADS 程序<sup>[3~5]</sup>对粒子的横向运动作了许多计算.

## 5 高频系统

因为聚束器为单波聚束器,切割方式采用谐波式切割,所以高频信号源需要三个.其频率分别是 6MHz、0.75MHz 和 6.75 MHz.它们基于同一个主振荡器,经过不同的倍频、移相和放大线路,再经过不同的调谐匹配回路馈送到各自的负载.由于切割系统处于 600 kV 高电位,激励源处于低电位,所以从激励源产生的频率为 0.75 MHz 和 6.75 MHz 的信号,需经过两条光缆传送到处在高压端的两个宽带放大器.为了实现良好的聚束,三个信号源之间的相位需能独立调节.谐波切割信号与基波切割信号间的相位差为  $180^\circ$ ,聚

束信号与切割信号间也有个相位差. 因此, 6MHz 和 6.75 MHz 两路信号源中各设置一个  $0\sim 360^\circ$  的移相器.

## 6 高功率馈送与聚束实验

束流脉冲化系统目前正在作载束实验调整, 在 300 keV 能量下,  $H^+$  束的脉宽度已达到 1.1 ns. 目前正在作仔细测量与调整, 并准备进行切割系统的实验. 整个系统工作正常后, 还要进行强流载束实验.

此项工作得到陈佳洱院士的指导, 李坤教授对自动调谐系统的制作提供了许多帮

助, 全胜文、张胜群等同志曾作过许多有益的工作, 在此表示衷心的感谢.

## 参 考 文 献

- 1 Lu Jianqin, Xie Dalin, Zhang Shengqun, et al. Proc. 3rd European Particle Accelerator Conference, 1992, 2: 1244
- 2 吕建钦. 原子能科学技术, 1992, 26(6): 36
- 3 吕建钦. 核技术, 1994, 17(9): 564
- 4 Lu Jianqin. Nucl. Instr. and Methods., 1995, A355: 253
- 5 Lu Jianqin, Quan Shengwen. Nucl. Instr. and Methods, 1994, A346: 31

# Pre-chopper and Tail Buncher Intense ns Beam Pulsing System

Lu Jianqin Xie Dalin

(Institute of Heavy Ion Physics, Peking University, Beijing 100871)

**Abstract** The paper briefly describes the design of the beam pulsing system for the 600 kV DC accelerator, the beam dynamics calculations, the property measurements for the buncher cavity, the relevant rf electronics system and the initial beam loading experiments for the buncher.

**Key Words** buncher chopper particle longitudinal motion

(上接第 46 页)

nitride clusters have been successfully generated. Cu cluster's micro structure has been studied. Micrography and electron diffraction of different size Cu clusters show: Cu clusters smaller than 8nm in diameter are amorphous, Cu clusters larger than 8nm in diameter are in crystal form. Lattice constant of Cu cluster is a function of size, the observed largest lattice shrinking is 4.7% while cluster diameter is 8nm. The importance of acceleration voltage in ICBD has been studied. SEM observation showed that, as the acceleration voltage increased, the surface of the deposited thin film became more smooth. For Cu film, when the acceleration voltage is greater than 18kV, it is very difficult for any crudeness by SEM.

**Key Words** cluster ICBD