

# 北京大学加速器质谱计\*

郭之虞 鲁向阳 刘克新 汪建军 李坤 李斌 袁敬琳 刘洪涛 陈佳洱  
(北京大学重离子物理研究所, 北京大学技术物理系 北京 100871)

**摘要** 北京大学重离子物理研究所和技术物理系研制的加速器质谱计于 1992 年圆满完成并投入使用。在两年多的运行中, 性能不断得到改进, 并取得了大量的应用成果。简要介绍其性能特点、运行情况和应用概况。

**关键词** 加速器质谱(AMS) 特性 应用

## 1 前言

近年来, 加速器质谱技术(AMS)及其应用在国际上有较大发展, 目前世界上的 AMS 装置已超过 30 台, 每年测量的<sup>14</sup>C、<sup>10</sup>Be、<sup>26</sup>Al、<sup>36</sup>Cl 等样品达数万个, 应用领域遍及地球科学、环境科学、生命科学、考古学与古人类学、材料科学、核物理学与天体物理学等学科。为满足我国相应学科基础研究的需要, 北京大学加速器质谱计(PKUAMS)于 1988 年被列入国家自然科学基金重大项目, 1992 年建成并成功的进行了<sup>14</sup>C 测量<sup>[1,2]</sup>, 至 1993 年 4 月又先后完成了<sup>10</sup>Be 和<sup>26</sup>Al 测量方法的建立<sup>[3]</sup>。PKUAMS 从 1993 年 5 月正式投入运行并开始了应用课题的研究和对外测量服务。此后在日常测量的同时, 又针对提高测量精度、降低本底及提高测样工效等目标对设备和测量方法进行了一些改进<sup>[4]</sup>, 进一步提高了 PKUAMS 的性能。

## 2 PKUAMS 装置及特点

PKUAMS 束线由离子源、注入系统、EN 串联静电加速器、高能传输系统和粒子探测器组成。在设计中, 充分考虑了 AMS 进行高灵敏度和高精度测量的特殊要求。为提高样品的测量效率和精度, 离子源选用了专为 AMS 设计的强流溅射负离子源。该源具有球面电离器结构和 20 个靶位, 并配备了遥控换靶装置, 引出的 C<sup>-</sup> 离子流可达 100 μA,

BeO<sup>-</sup> 离子流可达 5 μA。为有效地抑制高丰度稳定同位素强峰拖尾的干扰, 装置的 90°注入磁铁的偏转半径设计为 400mm。为提高注入系统的束流传输效率, 采取下列技术措施: (1)注入磁铁的磁极间隙为 50mm; (2)出入口设计成曲线边界以补偿二级象差; (3)磁铁后的两个单透镜的孔径被加大到 100mm 以减小球差, (4)离子源后注入磁铁前则使用栅网透镜。待测核素及其稳定同位素的交替注入由高压脉冲调制实现。在注入磁铁物腰和象腰处设置间隙透镜并将两间隙透镜之间的束流管线(包括注入磁铁真空盒)对磁铁与支架加以绝缘, 其上电位由高压脉冲电源加以调制, 以使不同质量的各种同位素负离子顺序地交替注入到加速器中去。

PKUAMS 高能分析束线中的主分析器为一台偏转半径为 914mm 的 90°双聚焦磁铁和一台偏转半径为 3200mm 的 20°静电偏转器。这两台分析器都具有较高的分辨率, 可以有效地抑制由散射和电荷交换引起的高丰度同位素的连续动量谱及其它杂散离子引起的本底。束线中 45°磁铁除起偏转作用外, 对本底也能起到一定的抑制作用。主分析磁铁后的位置可调法拉第杯用于测量稳定同位素束流。束线中磁性聚焦或导向元件将导致同位素分馏效应, 影响测量精度。为减小分馏效应的影响, PKUAMS 主分析磁铁之前的所有元件均为静电元件。待测核素离子最后进入 ΔE-E 探测器, 所得信号与稳定同位素流强

\* 国家自然科学基金资助课题。

一起被送入一台 IBM 微机进行在线处理.

### 3 PKUAMS 测量方法的建立

在<sup>14</sup>C 的日常测量中, EN 串联静电加速器的端电压为 3MV, 剥离后选用电荷态为 3<sup>+</sup>的离子进行分析和计数. 系统注入段的传输效率为(60~70)%, 从主分析磁铁像缝到探测器的高能段传输效率可达(90~100)%. 每个样品测量一次大约需要 5 分钟, 其间分成 10 个周期, 在每个周期中交替测量<sup>14</sup>C、<sup>13</sup>C 或<sup>12</sup>C, 所得数据送入计算机计算相应比值. 偏离平均值较大的数据予以舍弃, 以消除打火与放电等短期波动的影响. 为积累足够多的<sup>14</sup>C 计数以达到要求的统计精度, 各个样品通常循环测量多次, 由于 AMS 采用相对测量的方法, 其间需插入标准样和空白样, 标准样用来进行分馏校正, 空白样则用于制样污染的本底校正. 多次循环测量还可以较好地消除系统各种慢漂移的影响.

为提高测量精度和降低本底, 在日常运行中对 PKUAMS 主要进行了如下改进; 改进了制样过程, 降低了样品的含氢量; 改善了系统真空间度; 提高了一些关键电源和加速器端电压的稳定性; 在不断实践的基础上进一步优化了运行参数, 完善了测量方法. PKUAMS 经过改进后, 对于年龄不老于一万年的样品, <sup>14</sup>C 日常测量精度可达 1%, 样品测量的重复性亦可达到 1%. 机器本底小于 0.004MC (1MC 相应的<sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C 的值为  $1.2 \times 10^{-12}$ ), 样品测量本底不大于 0.006MC, 相当于测年上限约 4.2 万年.

在<sup>10</sup>Be 测量中, EN 串联静电加速器端电压为 5MV, 也选用电荷态为 3<sup>+</sup>的离子进行分析和计数. 为抑制同量异位素的干扰, 通常在探测器前设置 B 吸收室. 为简化结构, PKUAMS 将 B 吸收室并入了<sup>10</sup>Be 探测器中<sup>[5]</sup>. 由于<sup>10</sup>B 在工作气体中的射程较小, 适当调节气压可使<sup>10</sup>B 离子完全阻止在吸收区, 而<sup>10</sup>Be 到达探测器灵敏区, 从而实现两种离

子的分离. 从<sup>10</sup>B 吸收室引出的电离电流可用于调谐束线中各元件的参数, 使<sup>10</sup>Be 粒子计数率达到最大, 在测量过程中, 电离电流还可用于监测束线中束流传输的稳定性. 除用位置可调法拉第杯测量<sup>9</sup>Be 和上述 B 吸收室外, 其他测量程序和<sup>14</sup>C 相近. <sup>10</sup>Be 测量主要用于示踪研究, 5% 的精度已足够达到要求, PKUAMS 日常测量的精度在(2~8)% 的范围中. 测量本底为  $1.6 \times 10^{-13}$ .

北京大学加速器质谱计自 1993 年 5 月至 1995 年 6 月共为用户测量<sup>14</sup>C 样品约 500 个, 其中地质和考古样品的年龄从 300 年到 3 万余年, 环境科学与生命科学样品的<sup>14</sup>C 含量在 0.05~1500MC 之间. 最小的样品含碳量仅为 0.1mg. 为检验测量的可靠性, 在每次测量未知样品的同时都测量已知样品(马王堆中的木炭). 1995 年春, 曾为用户测量了 49 个<sup>10</sup>Be 样品. 其中有些是中国南海沉积物, 其余为太平洋海底锰结核样品.

### 4 PKUAMS 应用研究概况<sup>[6]</sup>

在地球科学方面, 与中国科学院地质研究所合作, 对渭南黄土地层剖面一系列样品进行了年龄测定, 测量结果与地层系列相符, 建立了该剖面的高分辨率时间标尺, 为重现黄土中保存的地质历史情况提供了重要依据. 与中国地质科学院岩溶地质研究所合作, 对桂林盘龙洞采集的大型石笋做了微层理分层取样 AMS <sup>14</sup>C 测年, 并配合氧同位素、微量元素等方法对过去三万年来的气候变化做了精细研究.

利用 AMS <sup>14</sup>C 测年所需样品量少这一特点, 可以解决许多考古学中重要的疑难问题. 在 1993~1994 年间, 测得了广西柳州白莲洞遗址若干关键层位的年代, 证实了该遗址连续层位的完整性, 为研究旧石器文化向新石器文化的过渡提供了可靠依据. 此外, 还研究了各类农作物的起源、早期冶金史、制陶史等一些标志着我国文明起源的重要资料.

在环境科学方面,与北京大学环境中心合作,将<sup>14</sup>C作为气溶胶来源的示踪剂研究了北京城区与郊区、山东、湖南等地的大气气溶胶中的生物源与矿石源的相对贡献,加深了人们对大气气溶胶来源的认识,这对环境污染问题的研究有重要意义。

在生物医学方面的应用是用AMS研究了具有强烈致癌作用的尼古丁和农药抗芽威与DNA的加合作用。DNA加合物的测量灵敏度可达 $10^{-11}$ ,测量所需的最低剂量比普通放射免疫分析方法低四个数量级。这项工作也为药物基因毒性的检验与筛选建立了既经济又有效的方法。

## 5 展望

为了高效能发挥PKUAMS的作用,本所下对其做进一步的改进,这些改进主要针对提高精度和测样工效,包括提高离子源工

作的可靠性、在加速器头部建立气体循环剥离系统、更新数据获取及交替注入控制系统等,以使PKUAMS的性能达到更高的水平。此外,还需提高全系统的自动化程度;发展小样品测量技术和就地测量技术。

## 参 考 文 献

- 1 Chen Chiaerh, et al. Nucl. Instr. Meth., 1990, B52:306
- 2 Chen Chiaerh, et al. Nucl. Instr. Meth., 1993, B79:624
- 3 Chen Chiaerh, et al. Nucl. Instr. Meth., 1994, B92:47
- 4 Guo Zhiyu, et al. Proc. of the 15th International Radiocarbon Conference, 15~19 August, 1994, Glasgow, UK.
- 5 刘洪涛等. 原子能科学技术, 1994, 28(6):551
- 6 郭之虞等. 自然科学进展, 1995

# Accelerator Mass Spectrometry at Peking University

Guo Zhiyu Lu Xiangyang Liu Kexin Wang Jianjun Li Kun  
Li Bin Yuan Jinglin Liu Hongtao Chen Chiaerh

(Institute of heavy Ion Physics, Department of Technical Physice, Peking University, Beijing 100871)

**Abstract** The accelerator mass spectrometry studied by the Institute of Heavy Ion Physics and the Department of Technical Physics, Peking University, was successfully manufactured in 1992. In the two years routine operation, the machine performances have been improved and some application achievements have been obtained. In this paper features of the machine, operation and some applications are given.

**Key Words** AMS feature application