

重离子物理实验室的加速器设备

静电加速器实验室*

(北京大学重离子物理研究所 北京 100871)

摘要 1987年以来,三台静电加速器设备在北京大学重离子物理实验室陆续建成并投入使用,在科研教学中发挥了重要作用.特别在中子测量、加速器质谱计应用和核分析技术应用等方面取得了进展.在加速器的性能改进和功能开发方面也做了许多工作.

关键词 静电加速器 运行 改进

1 引言

为改善科研教学条件,北京大学重离子物理研究所和技术物理系先后建造和引进了三台不同用途的加速器设备,一台是自己建造的4.5MV单级静电加速器,另一台是从牛津大学引进的EN型6MV串列静电加速器.第三台是从美国NEC公司购进的1.7MV串列静电加速器.这三台加速器在维护人员的精心管理下,性能不断的得到改进提高,在各自的应用领域发挥了作用.

2 4.5MV单级静电加速器

4.5MV静电加速器是依靠国内技术力量,由北京大学和上海先锋电机厂联合设计建造的目前国内能量最高的单级静电加速器.其特点是:既可加速p、D等轻离子,也可加速C、Ar等重离子;既可提供连续束流,也可提供脉冲束流.这是一台目前国内唯一能在0.03~8MeV、14~20MeV两个能区提供单色中子和脉冲中子束的单级静电加速器.从1991年底投入使用以来,每年为国内外用户提供1000余小时的实验束流,并于1994年9月通过了国家教委主持的鉴定验收.

该器配置两条主束线.一条经两个45°磁铁偏转后,将p、D等轻离子束送到具有国内一流水准的中子实验大厅,主要开展中子物理方面的实验研究.另一条经一个90°分析磁

铁偏转后,将Ar以内的各种离子束送到荷电粒子实验大厅,再经一开关磁铁将束分送五条束线.主要开展核反应研究及离子束应用方面的实验研究工作.

它的端电压在束载情况下已达4.6MV,超过了设计值4.5MV,并还有进一步提高的潜力.该装置的电压稳定性约±1kV,高压纹波小于0.4kV,连续束靶上流强可达10~20μA,脉冲束脉宽约1.6ns(FWHM),平均流强1~2μA,可在0.5~4.5MV的高压下稳定地工作.一次性连续运行时间可达300小时以上,主要取决于离子源寿命.

这台器是自行设计建造的,许多性能还需在使用中不断改进.且已做了许多工作.首先为满足加速轻重离子的需要,先后研制成了PIG多电荷重离子源和RF离子源.高压方面,完成了加速管更换、分压电阻更换并增加保护装置和降低绝缘气体湿度等工作,使其高压突破了设计指标.在高压稳定方面,反复测试分析改进了稳压电路,使其高压稳定性达到了较高的水平.在控制方面,完善了总体控制、水电真空连锁保护及防护安全连锁保护等系统,保证了器安全可靠地运行.在真空方面,完成了主系统分子泵替代油扩散泵及其它改进工作,解决了返油问题,提高了系统的真空度.此外,对束流输运和靶室系统也做了许多有益的工作.

该器投入使用以来,中外学者联合开展

* 王建勇 任晓堂 沈定予执笔.

(n,p)、(n, α)核反应研究.先后完成了一批核的双微分截面测量与活化截面测量工作,都获得了满意的结果.此外,还提供了多能点中子辐射参考场,多次对中子剂量仪等仪器做了刻度标定.所有用户对其稳定性、可靠性及运行人员的合作都给予较高的评价.

目前,利用该器可稳定可靠地开展工作的,但为满足更高水准的中子物理实验要求以及进一步拓宽使用范围,还计划对其做进一步的改进.首先要改进离子源和初聚系统,使器的引出流能提高一倍以上,即连续束靶流达30~40 μ A,脉冲束平均流强达3~5 μ A.另外,对目前需解决脉冲束存在的拖尾问题,参考国外同类问题的解决办法,初步准备采用后切割整形来完成.通过这些改进,会使目前的中子实验水准上一个台阶.另外,在离子束应用方面也希望发挥这台器的作用.值得一提的是,已做了数轮生物样品辐照实验,且取得了一些有意义的结果.希望再投少量经费,续建一条离子束诱导放射治疗方面的专用束线,以推动这方面研究工作的深入开展.

3 6MV 串列静电加速器

6MV 串列静电加速器是从英国牛津大学引进的一台由 HVEC 公司生产的 EN 型串列静电加速器.1991 年安装调试成功,经国家教委验收后正式投入使用.目前,该器的端电压可达 6MV,高压稳定度 ≤ 2 kV.

经几年努力,在该器已建立起来数条不同用途的束流输运线,其中包括加速器质谱计线,这是一条作为国家自然科学基金重大项目支持建造的专用束线.1993 年全面建成并通过了基金委的验收.它利用 ^{15}C 等同位素做断代测量,测量精度达 1.0%,测量灵敏度达 10^{-14} .在地球科学、考古学、环境科学、生命科学等领域有广泛的应用前景.另外,还建成了离子注入在线分析线以及用于核反应分析(NRA)、背散射分析(RBS)和弹性前冲分析(ERDA)的两条通用束线.

加速器投入运行后,开展了大量的物理实验工作,建立了一些有特色的分析方法.除 AMS 方面的物理工作外(另有报道),在国内首次利用 $\text{D}(^{12}\text{C},\text{p})^{13}\text{C}$ 核反应建立了一种高灵敏度氘的分析方法,其灵敏度达 1×10^{14} atoms/cm².对于 Si 中 D 的分析深度可达 1.2 μm .用 35MeV ^{35}Cl 离子束的弹性前冲分析了从 H 到 O 的多种元素.采用金硅面垒探测器前加 MYLAR 吸收膜法,同时分析 H、D、He、C 和 O 或 H、C、N、O 元素,也属国内首次,分析的深度分辨率一般好于 20nm.另外,还建立了 45MeV 的 ^{79}Br 和 ΔE -E 探测系统的弹性前冲分析法.通过用弹性前冲法测定样品及界面的氢,建立了测量能区在 0.2~1.0MeV 范围的重离子阻止本领的新测量方法,弥补了该能区数据不足的缺陷.

在开展物理实验工作的同时,为改善器的性能,提高其运行水平,在许多方面做了改进和完善工作.首先对离子源系统进行了较大的改进.目前该器共配有三台负离子源,分别为上海原子所研制的 860 型源, Middleton 源和双等离子体电荷交换源.其中,860 型源专供 AMS 用,一次可装 20 个靶,其流强比较大,对 ^{12}C 可达 200 多微安. Middleton 型源一次可装 12 个靶,可满足大部分物理工作的需要,该源运行稳定可靠,寿命较长.为了进一步开展物理工作,已设计加工了一台新的球面型电离器溅射负离子源,有 24 个靶位,该源目前正在调试中.对双等离子体电荷交换源,由于受双等离子体源寿命的限制,影响了该源作用的发挥,目前正着手对其进行改进.在控制上,自建了束流和真空监测系统.

气体处理系统是该器的重要组成部分,自行设计了气体循环干燥系统,与 4.5MV 静电加速器共用.解决了在牛津大学一直未能解决的高气压下加速管密封不好的问题.

真空系统采用国产机械泵和分子泵,加速管真空度达 4×10^{-5} Pa.加速管部分的真空系统与高压系统实行了连锁保护.增建真空排气系统,净化了实验大厅空气.设计建造

了冷却水循环系统,避免了因使用自来水冷却造成的巨大浪费,并简化了操作步骤。

4 1.7MV 串列静电加速器

1.7MV 串列静电加速器是美国 NEC 公司生产的,由本所安装调试,于 1988 年初投入运行. 加速器端电压 V_T 从 0.15~1.7MV, 加速粒子能量 $E=(1+q)V_T$, q 是剥离后粒子电荷态,可加速 Au 以下大部分能形成负离子的离子,离子源引出的负离子流强视不同离子从几百 nA 到 20、30 μ A. 加速器后已陆续建立了三条束流线,可进行各种常规和特殊的离子束分析及注入. 其中,45°靶室装有三维转动、一维平动的定角器,探测器方位角位置可调,可以进行卢瑟夫背散射(RBS)和弹性前冲分析(ERD);30°靶室适于进行 PIXE 和核反应分析;15°束流线配备有电扫描和电偏转系统,可进行室温液氮及至 700℃高温下的注入. 靶室内备有方位可变探测器,可开展在线实验时的离子束分析. 样品的激光对准系统,保证定点注入和定点分析.

几年来为满足不同实验工作的需要,本所对系统进行了重点改造,其中包括:(1)成功地安装了高压头内具有分子泵的循环剥离器系统. 改装后的加速器流强明显提高,离子流传输效率一般提高 50%以上,从而提高了设备的运行效率,大大减少高剂量离子注入样品的注入时间. 循环剥离器的使用,使高能加速管内的真空度提高半个数量级,这有利于改善传输效率及高压稳定,并可延长加速管的寿命.(2)改进了原有高频负离子源的结构,加装了煤油冷却法兰,有效地抑制了电荷

交换单元 Rb 蒸气对引出孔道的污染,使源的寿命大大延长.(3)开展了溅射负离子源出束实验研究,尤其对阴极材料的选择和配方做了细致的工作,现已获得 H、B、C、O、F、Si、P、S、Fe、Ni、Pa 及 Au 等负离子,满足了不同课题的需要,扩大了应用领域.(4)研制的加速管真空连锁保护装置,动作灵敏,可靠有效地保护了加速管. 提高了运行的安全可靠. (5)找到了长期困扰加速器输电系统电荷丢失原因,采用新型高压分压电阻及其它措施,解决了电荷丢失问题,提高了电压稳定性.

几年来核物理教研室在该加速器上开展了大量的教学科研工作,完成或在研课题 20 多项,已分别在国内外杂志及学术会议上发表论文 100 多篇. 完成博士硕士论文 10 篇,本科生毕业论文 50 篇. 同时为校内各系所及校外数 10 所高校、科研院所、工厂等单位提供了服务,为我国高技术发展做出了贡献. 例如,在固体薄膜材料表面氢分布研究的基础上,对非晶硅太阳能电池、微晶硅薄膜、化学传感膜、氮化硅、氮化硼绝缘层及纳米半导体薄膜等材料进行了氢分布测量;利用 RBS 及沟道分析方法对超导新型微电子器件材料、SOI 结构、金属及化合物材料特性进行了分析;用 PIXE 方法对大量生物和环境样品中微量元素进行了测量,研究了人发中微量元素与癌症的关系,并在刑侦领域对贵金属的同一认定进行了研究;用 MeV 离子注入技术对多种能量组合硼离子注入硅,研制高速微电子器件,金属材料在 400~600℃下高剂量 He 离子辐照损伤研究,以及 GaAs 中注入 O, 硫对激光器件的研制等.

Electrostatic Accelerator of Laboratory of Heavy Ion Physics

Laboratory of Electrostatic Accelerator

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

Abstract The 5SDH-2 1.7MV tandem, EN 6MV tandem and PKU4.5MV Van de Graff have been operated in succession at Institute of Heavy Ion Physics, (下转第 19 页)

体系平均角动量(L)随质心系能量 E_{cm} 的变化关系.

参 考 文 献

- 1 江栋兴等. 高能物理与核物理, 1992, 16(6):556
黄小临, 江栋兴等. 高能物理与核物理, 1994, 18(2):154
- 2 Galin J Jahnke U. J. Phys. G: Nucl. Phys., 1994, 20:1105
Guereau D, 江栋兴等. 高能物理与核物理, 1990, 14(6):537
- 3 Zott B, et al. Z. Phys, 1993, A346:201
- 4 Jiang Dongxing, et al. Nucl. Phys., 1989, A503: 560
- 5 Crema E, et al. Phys. Lett., 1991, B258: 266
- 6 Jiang Dongxing, Qian Xing, et al. Chinese J. Nucl. Phys., 1995, 17(3)
- 7 钱兴, 江栋兴等. 高能物理与核物理, 1995, 19(10)
- 8 江栋兴. CCAST-WL Workshop Series, 1995, 44:231.
- 9 Schwinn E, et al. Nucl. Phys. 1994, A568:169
- 10 钱兴, 江栋兴等. 高能物理与核物理, 1995, 19(7):603
Qian Xing, Jiang Dongxing, et al. Chinese J. Nucl. Phys., 1995, 17(2):118

Progress in Research on the Mechanisms of Reaction Induced by Heavy Ions

Jiang Dongxing Qian Xing

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

Abstract The recent progress is presented concerning some studies on the mechanisms of nuclear reactions induced by heavy ions at the department of technical physics of Peking University.

Key Words intermediate energy heavy ion collision linear momentum transfer hot nucleus formation and decay energy dissipation azimuthal correlation

(上接第 39 页)

Peking University since 1987. The function, application and improvement work of the machines are described separately in this paper.

Key Words electrostatic accelerator applicatoin improvement