

# 四川大学原子核科学技术研究所工作进展

龙先灌

(四川大学原子核科学技术研究所)

我所于1980年正式建立。在这之前，用了七年时间，进行五台加速器工程的土建、安装、调试工作和物理实验的部分准备工作。正式建所后，初步确定以核数据的实验测量、与核物理有关的边缘学科研究和核技术应用等三个方面为研究方向，进一步集中力量，积极开展物理实验室的建设。几年来，在教育部和核工业部的领导、支持和资助下，我们在2.5MeV质子静电加速器上进行了束流的毫微秒脉冲调制装置的研制，建立了脉冲束飞行时间谱仪，直径为1米的大球形液体闪烁探测器装置，快分子离子束与固体碰撞实验研究装置和各种离子束分析设备。在400KV高压倍加器上研制了新的高压稳定装置，建立了伴随粒子飞行时间谱仪和快中子位置灵敏谱仪。在1.2米回旋加速器上，建立了带电粒子活化反应专用靶室和高分辨 $\gamma$ 能谱自动获取和分析系统，以及生产同位素用自动上卸靶装置。在2MeV电子静电加速器上建立了电子束辐照专用设备。把200KV倍加器经过初步改造作为离子注入研究用，此外，还新研制了50KV金属工艺用离子注入机。在上述工作的基础上，近两年来，我们在核数据的实验测量、粒子束与固体相互作用研究和核技术应用研究等三个方面初步开展了工作，现将研究进展情况向大家作一个汇报。

## 一、核数据实验测量

几年来，在核工业部核数据中心的领导和组织下，我们参加了前后两期对十个核素成套中子数据的编评工作，与此同时，根据编评工作中提出需要进一步实验测量的研究课题，结合我所的实验条件和技术力量，选择了快中子弹性散射，快中子辐射俘获和带电粒子活化反应的实验研究为目标，积极进行上述核数据实验准备工作，近两年来，取得了以下的进展：

### 1. 快中子弹性散射

在中子与物质相互作用中，中子与原子核的弹性散射是一个很基本的物理过程，因此中子弹性散射截面数据是核工程设计中重要的数据之一。我们在2.5MeV质子静电加速器和400KV高压倍加器上开展了这方面的实验测量工作。

1) 在2.5MeV质子静电加速器上，我们进行了束流的毫微秒脉冲调制的研究工作。研究方案中采用了头部切割、尾部Möbius磁铁压缩技术，设计指标为脉冲宽度1—2ns，重复频率为2MC，平均流强为2—4 $\mu$ A。经过几年的艰苦努力，已于1983年11月开始提供脉冲氘束和质子束，脉冲宽度为1.8ns，重复频率为2MC，平均流强为3 $\mu$ A左右。现在已用脉冲氘束轰击T(Ti)靶提供脉冲中子源，利用脉冲束快中子飞行时间谱仪测量了碳的弹性散射微分截面，用以检验加速器运行的稳定性和整个谱仪系统的性能。在此基础上，用T(p,n)反应产生的1MeV中子轰击天然镍样品，使用脉冲束飞行时间谱仪进行了镍的弹性散射微分截面的测量，测量中以已经精确测定的碳的截面作为标准截面，用比较法进行了相对测量。实验测量是在20°—150°角度范围内十个角度上进行的，实验结果在用蒙特卡洛方法作了中子通量衰减、多次散射和有限角分辨的修正后，得到的微分截面值的总误差为7—8%，比前人的结果有所改善。目前，这台加速器的脉冲束运行正在作进一步的调试，以期达到较长时间的稳定运行。

2) 在400KV高压倍加器上,我们利用 $T(d,n)^4He$ 反应产生的中子,采用伴随粒子飞行时间方法进行了快中子弹性散射微分截面的测量,用塑料闪烁体探测伴随的 $\alpha$ 粒子,用液体闪烁探测器探测散射中子,采用了脉冲形状甄别技术,对 $\gamma$ 射线进行了抑制,整个谱仪的时间分辨为1ns。在完成了14.2MeV中子在W和Mo的弹性散射微分截面测量的基础上,我们又进行了14.2MeV中子在Nb上的弹性散射微分截面的测量,得到了 $6^\circ-150^\circ$ 角度范围内,28个角度上的数据,经过用蒙特卡洛方法作了各项修正后,实验结果与光学模型计算进行了比较。

3) 在快中子弹性散射的研究中,近年来人们对小角散射特别感兴趣,这是因为小于 $10^\circ$ 的小角散射截面实验数据不多,在实验上澄清是否存在所谓“小角散射的异常现象”很有意义。同时,在核工程设计上小角散射截面数据也有重要价值。为了开展这方面的实验研究,我们建立了一台快中子位置灵敏谱仪,它由探测散射中子用的80厘米长液体闪烁探测器、两个光电倍增管和飞行时间谱仪构成。利用散射中子打在闪烁体内某一点上引起发光,两只光电倍增管在记录这一发光时,从阳极输出信号之间的时间差,代表散射中子打在闪烁体上的位置,从而确定散射中子的角度。利用位置灵敏谱仪线性较好的中间8个单元,结合二维多道分析器,可以同时测量8个角度( $3.9^\circ-14.6^\circ$ )上的弹性散射中子。谱仪用 $\gamma$ 射线源和中子源调试后,有较好的线性和n- $\gamma$ 分辨性能,谱仪的时间分辨,对于5MeV中子为1.1ns,对于14.7MeV中子为0.7ns。目前已在400KV倍加器上用于14.7MeV中子在Pb上的小角弹性散射的研究中。

## 2. 快中子辐射俘获反应

快中子辐射俘获反应截面是重要的核数据之一,为了开展这方面的实验研究,我们建立了一台直径为1米的大球形液体闪烁探测器,它由两个半球体构成,使用了12只光阴极直径为110毫米的光电倍增管,目前已装配好标准闪烁液体,即由溶剂(甲苯)、闪烁剂(对联三苯)和波长转换剂(POPOP)组成的闪烁液体。

目前探测器已经调试完毕,在选定的工作参数下,测量了 $^{137}Cs$ 、 $^{65}Zn$ 、 $^{60}Co$ 、 $^{24}Na$ 和Po-Be中子源的 $\gamma$ 射线能谱和探测器的能量响应,测量结果表明探测器的能量响应较好,由于采用符合线路扣除了相当部分的氢的俘获 $\gamma$ 射线。现在这个探测器正在用于0.5—3MeV中子对 $^{197}Au$ 和 $^{189}Tm$ 的辐射俘获截面的测量,与此同时,还在继续作配制载钷闪烁液体长期稳定性试验,待条件成熟后,拟进一步开展(n, xn)反应截面的测量。

## 3. 带电粒子活化反应

带电粒子活化反应截面和激发函数是同位素制备、活化分析等应用工作的基本核数据,同时又是检验核反应机制的重要依据。为了系统地开展这一方面的实验研究,我们在1.2米回旋加速器上的偏转磁铁后 $15^\circ$ 管道上建立了活化反应专用靶室,可以安放送靶并可用液氮冷却,建立了由Ge(Li)探测器、S-85多道分析器和PDP11/34计算机构成的、高分辨 $\gamma$ 能谱自动获取和分析系统。在两次使用单片金靶进行活化反应截面试测、检验靶室系统和测量系统的基础上,进行了13.4MeV氘束轰击 $^{197}Au$ 靶各活化反应道激发函数的测量,测量中使用了选靶技术,一次实验得出了 $^{197}Au(d, p)^{198}Au$ ,  $^{197}Au(d, 2n)^{197m}Hg$ ,  $^{197}Au(d, 2n)^{197}Hg$ 和 $^{197}Au(d, p2n)^{198}Au$ 反应的激发函数,由于采用了高分辨的Ge(Li) $\gamma$ 谱仪,测量精度比以前的结果有了显著的改善。

## 二、粒子束与固体相互作用研究

粒子束与固体相互作用的研究,是原子核物理与原子物理、分子物理和固体物理相互交

叉的边缘学科。十多年来,由于使用了核物理研究的基本设备——低能粒子加速器和比较成熟的核物理的各种实验技术,使这一领域的研究工作得到迅速的发展,在基础研究和应用研究上都取得了可喜的成果。我们研究所在快分子离子与固体相互作用研究和半导体的辐射效应研究两方面开展了工作。

### 1. 快分子离子束与固体相互作用研究

分子离子束作为探针来研究固体比原子离子束作为探针有更多的优点,因为原子离子束只能扰动固体,而利用分子离子在固体的库仑爆炸产生的原子离子集团,不仅可以扰动固体,而且还可以探测这种扰动对原子离子集团的影响。快分子离子在超薄固体膜中的库仑爆炸,近年来还被用来测量分子离子的立体化学结构,而这种结构是其他方法不能测量的。为了系统地开展这一领域的研究,我们在2.5MeV质子静电加速器上建立了研究快分子离子束在固体中碰撞的实验装置,其中包括束流中性化系统、准直系统、束流净化系统、靶室系统、产额、能谱和角分布测量系统、以及微机在线控制和数据获取与处理系统。在此基础上,进行了快 $H_2^+$ 和 $D_2^+$ 通过碳膜的透射机制的研究;快 $H_2^+$ 和 $D_2^+$ 在碳膜中崩裂后的双电子俘获过程和负离子产额的研究; $H_2^+$ 在碳膜中的库仑爆炸和尾流效应的研究; $D_2^+$ , $H_3^+$ 和 $D_3^+$ 的立体化学结构测量,其中在立体化学结构和负离子产额测量方面除 $H_3^+$ 立体化学结构和 $H^-$ 产额测量有报导外,其余均为新的实验结果。

### 2. 半导体的辐射效应研究

1) 硅材料的电子辐照 研究了不同能量、不同通量的电子对n型直拉硅、n型区熔硅的电子辐照效应,实验结果表明:硅材料的电阻率随辐照电子的通量的增加而增加,同时用电子辐照可以精确地控制硅材料的少子寿命。产生这些变化过程的机理是由于电子束与硅材料中的硅原子相互作用时产生的缺陷和缺陷复合体在禁带中引起的能级所致。

2) 二极管的电子辐射效应 大量实验结果表明,在MeV电子束辐照下,二极管有正向压降增加,反向恢复时间缩短的效应。因而利用这种效应可以通过适当控制辐照剂量,在不明显地增加二极管的功耗的情况下,大大提高二极管的开关速度。目前正在把这一研究成果用于2CSD二极管的处理中。

此外,我们还正在进行硅中过滤金属杂质的电子辐照效应的深能级瞬态谱研究和单晶硅质子辐照效应研究。

## 三、核技术应用研究

随着核物理学的发展,核物理学的研究成果正在不断地广泛应用于其他科学研究、工业、农业、医学等领域,从而形成一种新兴的技术——核技术,这一新技术的广泛应用,已经对国民经济和科学技术产生了深刻的影响,并取得了巨大的社会、经济效益。我所的加速器和其他实验研究设备提供了开展核技术应用研究的有利条件。近两年来,我们在离子束金属材料改性、离子束分析和辐射加工方面取得了一些进展。

### 1. 离子束金属材料改性的研究

离子束金属材料表面改性的研究目前处在实验室研究向工业应用的过渡阶段。由于我所处在四川省机械工业比较集中的地区,不少工厂和研究所提出离子束金属材料改性的要求。为此,我们在四川省科委的支持和资助下,完成了SC-50型50KV金属工艺用离子注入机的研制,通过了技术鉴定。同时把200KV倍加器经过初步改造,作为离子注入研究用。现在,可以提供 $N^+$ , $Ar^+$ , $Ni^+$ , $Cr^+$ 和 $Ag^+$ 等离子束。近年来进行了氮离子对各种高速钢刀具的注入

研究,首先,对高速钢试样经过注入剂量和束流密度等注入条件的仔细选择和研究,在最佳注入条件下,氮离子注入高速钢能显著地改善其耐磨性和大幅度地提高表面硬度。在此基础上,用氮离子注入方法直接处理了生产用的各种滚齿刀、铣刀和钻头等工作件,生产试用的结果表明:注入后均不同程度地提高了耐磨性能和使用寿命。近两年来,我们还进行了氮离子和铬离子注入对几种钢的耐蚀性和硬度影响的研究。结果表明,用上述离子注入,在提高材料表面的机械性能的同时,还可以全面地提高材料在腐蚀性溶液中的耐蚀性,其中包括提高钢在酸性、中性溶液中的钝化能力及在氯离子溶液中的耐腐蚀性,降低钢的均匀腐蚀速度。对离子注入提高钢耐蚀性的机理,目前正在研究中。

## 2. 离子束分析

离子束分析是一种重要的核分析方法,它具有灵敏度高、精确度好、能对样品同时进行多元素的无损分析和易于实现自动化等优点,同时还可以提供微观结构的信息,现在已经逐渐发展成为一种常规分析手段。我们在已经建立的质子激发X射线发射分析、背散射和沟道效应分析和核反应分析的实验设备上开展了工作,取得了以下的进展。

1) 人发和榆树叶中微量元素分析全国性对比 这是由中国核物理学会活化分析与离子束分析专业组发起的,我们用质子激发X射线发射和同位素激发X射线发射分析方法对标准样品进行了测量。人发分析结果中,三批样品主要比对Fe、Cu、Zn三个元素共九个数据,中靶(95%置信度)六个,另外三个在离95%置信度不远的地方,但还存在数据重复性差、均方误差大的缺点。榆树叶的结果已经实验测得,尚未比对。

2) 环境样品——电镀工业废水分析 用质子激发X射线发射方法分析了不同净化方法对电镀废水处理残留Cr等有害元素的情况。测量结果表明:用离子交换树脂方法处理最彻底,化学还原法对Cr处理较好,但对其他杂质无净化效果。上述结果,有利于工厂选择适当的净化工艺。

3) ZnO中的微量元素分析 ZnO是一种新型半导体材料,用来做各种表面波器件。应有关单位的要求,我们用背散射方法测量了ZnO薄膜的厚度,用核反应方法分析了其中的微量轻元素,得到了其中Li含量的结果和其他元素的影响,供研究单位进一步改善工艺用。

此外,我们还进行了工具钢中离子注入氮含量的核反应分析、红外材料 $\text{HgCdTe}$ 中杂质成分及其浓度分析,磁控溅射Stellite合金薄膜分析以及 $\text{LiNbO}_3$ 单晶和快中子辐照损伤单晶硅的沟道效应分析工作。

## 3. 辐射加工

辐射加工是核技术应用的重要方面之一,利用2MeV电子静电加速器提供的电子束,我们开展了辐射交联电线、电缆接续用热缩套管等的辐射加工工作。1983年内为成都电缆厂共加工了6吨聚乙烯热缩套管,在全国二十三个省市自治区试用,由于辐射加工后的热缩套管与以前使用的铅包相比,具有高的机械强度、耐老化性能,耐磨、耐化学腐蚀和使用寿命长等优点,很受用户欢迎,今年扩大辐照加工量后,仍远不能满足生产的需要,为了改善目前这种供不应求的局面,除了发展强流电子加速器以提高处理能力外,我们正在开展聚乙烯辐射交联敏化剂的研究,以便得到更大的经济效益。