

快中子束流稳定性的提高及 旋转靶系统

杜泰斌 齐井荃 段修明

(清华大学,北京,100084)

利用 $T(d,n)^4\text{He}$ 反应作小角散射实验时,关联中子束的漂移成为影响实验稳定性的重要因素。文章给出了提高关联束稳定性和延长氘靶寿命的方法,详细介绍了旋转靶系统。

关键词 $T(d,n)^4\text{He}$ 反应,关联束,T-Ti靶,旋转靶系统。

一、引言

$T(d,n)^4\text{He}$ 反应是目前公认的最重要的聚变能源。在核聚变的研究和发展中,了解14MeV左右的中子与聚变装置的再生区、屏蔽材料等所含核素的相互作用的数据十分重要。随着测量数据的增多、测量精度的提高,特别是当测量微分截面或双微分截面时积累实验数据的时间很长,对测量系统,包括中子束流的长时间稳定性和靶的寿命提出了很高的要求。

在中子散射实验中,为了选出所需能量的中子,排除杂散中子和次级 γ 射线的干扰,必须使用飞行时间技术(TOF)。当加速器没有脉冲化条件时可用伴随 α 粒子飞行时间谱仪。同时用 α 探测器的计数作归一化标准。为了得到可靠的结果,由运动学决定的 α 粒子发射方向与中子发射方向之间的夹角(关联角)在整个实验过程中应当保持不变,否则置于这两个方向的探测器的计数之比将发生变化,即中子对 α 的归一化计数不稳。这个问题对小角区散射截面测量的影响特别严重^[1,2],我们的实验条件是将入射中子准直在一个半张角约 0.5° 的锥体内,关联角只要有很小的变化就对上述归一化计数有明显影响。在实验测量期间,由束流品质因素等条件的变化,引起关联中子束中心位置的移动^[3],简称关联束漂移。克服关联束漂移引起的测量数据的不稳是实验中的一个关键问题。

二、关联角变化的实验现象

在 $T(d,n)^4\text{He}$ 反应中,当氘核能量 E_d 不变,靶斑位置稳定,且实验条件不变时,中子探测器的计数 N_n 与 α 探测器相应的计数 N_α 比应为常数即

$$N_n/N_\alpha \equiv k$$

本加速器的电压稳定性好于2%,氘束漂移过程中有磁校正器一对,三单元磁四极透镜一台,对粒子的导向聚焦起了很好的作用。最后氘束被准直,使靶斑保持在3~4mm的线度

内。当加速器正常运行时,靶流稳定。我们使用的1号靶室 α 粒子的出射方向与氘束方向之间的夹角 $\varphi = 135^\circ$,当加速器高压 $V_k \approx 150\text{keV}$,并保持不变时,在一个多小时的工作期间 k 是稳定的,但以后随着加速器的运行时间的增长, k 逐渐下降。此时如果提高 V_k , k 亦升高,可以接近或达到原先的水平。过一段时间又会下降。这种现象经过几十次的重复,说明并非偶然因素所致。

关联束漂移的原因比较大的可能是 E_d 发生了变化。 V_k 固定而 E_d 系统地向低能方向漂移有两种可能:一是靶面上沉积了一层物质,氘核在其中损失部分能量后再进入靶。但本加速器使用涡轮分子泵,是无油系统,沉积物质的可能性不大。另一个较大的可能是由于靶斑很小($\phi 3\sim 4\text{mm}$)靶流较大($5\sim 50\mu\text{A}$),冷却不够好,从使用后的靶斑颜色看工作温度是相当高的。极短时间的高温(类似离子注入的情况)可使氘的吸附发生变化,使表层氘减少。相当于与氘发生反应时氘核的平均能量降低。

三、克服关联束漂移的方法

关联束的漂移不但与 E_d 的变化有关,也与 α 粒子和氘束间的夹角有关。从核反应运动学上看,如果 $\varphi = 180^\circ$ 时,不论 E_d 的大小如何,中子总是沿氘束方向发射,即中子的出射角 θ 总为零,因而关联束不会漂移。由于 $\varphi = 180^\circ$ 无法实现,我们采用了 $\varphi = 170^\circ$ 。表1给出了不同的 φ 角当 E_d 变化时对关联角的影响程度。当 $E_d = 107\text{keV}$ 时, $T(d,n)$ 反应截面为极大。对于这种能量的氘核,当 φ 为 $90^\circ, 135^\circ$ 和 170° 时,相应的关联中子方向 θ 分别为 $82.7^\circ, 40.1^\circ$ 和 8.8° 。如果中子准直器固定在这些方向, E_d 变化为 -67 和 $+68\text{keV}$ 时, φ 角的变化分别为 $+4.7^\circ, -4.1^\circ; +2.2^\circ, -1.3^\circ$ 和 $+0.52^\circ, -0.35^\circ$ 。显然如果 α 窗对靶点张相同的立体角, $\varphi = 170^\circ$ 时允许 E_d 的变化(ΔE)要大得多。为了克服关联束漂移引起的测量数据的不稳,我们研制了新的靶系统。它有两个特点:1. $\varphi \approx 170^\circ$,使关联束随时间的漂移明显变小;2. 使用旋转靶技术,有利于靶的冷却且增加了氘束与靶的作用面积。这就比较好地解决了影响关联中子束不稳定的主要因素。

表1 不同 φ 角 E_d 变化对关联角的影响
Table 1 The influence of the change of E_d on associated angles at various angles φ

E_d/keV	$\theta/(\circ)$	$\varphi/(\circ)$	$\Delta E/\text{keV}$	$\Delta \varphi/(\circ)$
107	82.7	90.0	0	0
40	82.7	94.7	-67	+4.7
175	82.7	85.9	+68	-4.1
107	40.1	135.0	0	0
40	40.1	137.2	-67	+2.2
175	40.1	133.7	+68	-1.3
107	8.8	170.0	0	0
40	8.8	170.52	-67	+0.52
175	8.8	169.65	+68	-0.35

四、延长氟钛靶寿命的旋转靶技术

在旋转靶系统的设计中除了使 φ 尽量接近 180° 外还应考虑:1. 在关联中子出射方向除了靶片和冷却水外不应有其它材料,以尽量降低对出射中子的吸收和散射;2. 靶室应尽量小,以减少杂散中子和 γ 射线的产生;3. 靶的旋转不能破坏真空,而且旋转密封要有一定的寿命。旋转靶系统如图1所示。氟束的几何中心与 α 探测器的几何中心相距80mm,系统的入口与靶距离为400mm, $\varphi=169^\circ$ 。利用两个斜法兰盘来保证 α 探测器及其光阑的中心同靶点在一条直线上。为了减少系统用的材料,采用偏心结构。1号真空管道的内径为150mm,2号真空管道的内径为75mm。后法兰盘与氟束成 45° 角。在后法兰盘上装有伺服电机,这就可以严格保证主动轮和从动轮的相对位置。由于氟钛靶的中心活性区为 $\varphi 10$ mm,限流光阑的直径为3mm,在设计中考虑到氟束中心偏离氟钛靶心,使氟钛靶得到充分利用。旋转靶系统机械加工完成后,用激光对中。从氟束入口和 α 探测器的窗口分别加上激光器,在靶上偏离靶心2.5mm处相交,与设计相符。旋转靶利用SD02型伺服电机带动,利用尼龙齿轮变速,变比为1:4,旋转靶的实速为30r/h。

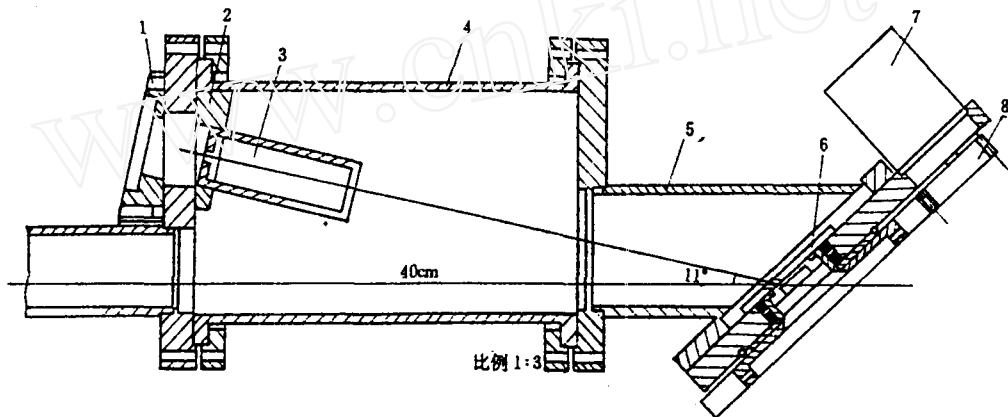


图1 旋转靶系统结构图

Fig. 1 The constructed diagram of rotative target system

- 1——前斜法兰,2——后斜法兰,3—— α 光阑系统,4——1号真空管道,
5——2号真空管道,6—— α 束光阑,7——伺服电机,8——尼龙齿轮。

本高压倍加器的真空系统的真空度约为 $(1.33 \times 10^{-4} \text{Pa})$,因此,旋转靶的动密封是个很重要的问题。动密封系统的结构如图2所示。氟钛靶与靶托用胶粘接好,然后利用密封圈与旋转部分密封。当靶的寿命结束时只需将粘有靶片的靶托拆下,整个动密封保持不变,既减少了换靶的工作量又有利于保持几何条件的固定。本系统采用双层“O”型密封结构进行动密封。两个“O”型橡胶圈中间有一个梯形环,剖面结构如图3所示。当压环压紧时,两个“O”型橡胶圈一起向中间挤。密封圈与旋转部分加有真空油脂,起密封与润滑作用。为了防止在真空状态下旋转部分与压环压紧增大摩擦力而影响转动,在旋转部分与后法兰盘中间加有滚珠,大大减少了磨擦力。此旋转靶系统的所有密封圈均采用丁腈橡胶,这种橡胶耐高

温、耐磨、耐油性较好。

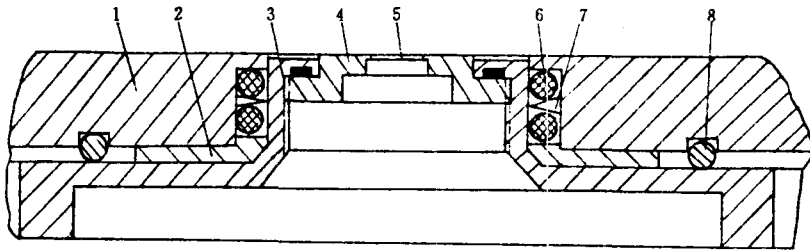


图2 旋转密封系统

Fig. 2 The hermetic seal system of rotation

1——后法兰盘； 2——压环； 3——旋转部分； 4——靶托；
5——钷靶； 6——“O”型橡胶圈； 7——梯形环； 8——滚珠。



图3 梯形环剖面图

Fig. 3 The sectional view of trapezoidal ring

五、旋转靶系统的性能

为了检验旋转靶系统的性能，我们与1号靶室在类似的使用条件下进行了对比。1号靶室中钷靶是固定的， $\varphi = 135^\circ$ ，靶斑 $\varphi \sim 4 \text{ mm}$ ，通过人工转靶，每个靶片可用四个靶点。一般一个靶点只能稳定工作一个多小时，然后提高几次高压再工作 $\sim 2 \text{ h}$ ，中子产额降到 $5 \times 10^7 \text{ n/s}$ 以下即认为靶的寿命结束。一片靶总的中子产额约为 5×10^{12} 中子。此外人工转靶很难保证几何条件不变。对新靶管，当靶片不旋转时，只是由于 $\varphi = 135^\circ$ 改为 169° ，使关联束稳定出束时间大约延长三倍。当靶旋转时，一片靶大约可以稳定工作 $15-18 \text{ h}$ ，一个靶平均可以给出 $\sim 3 \times 10^{13}$ 中子。可见使用旋转靶系统后实验条件的稳定性大为改善，并延长了靶的使用时间。

在旋转靶系统的研制过程中，陈泽民、陈迎棠、陈乾坤、李虎成等同志多次参加讨论，提出了有益的建议，特此致谢！

参 考 文 献

(1) Benenson, R. E. et al., *Nucl. Phys.*, A212, 147 (1973).

(2) Marshak, H. et al., *Phys. Rev.*, 150, 996 (1966).

(编辑部收到日期：1989年5月3日)

(下转第84页, Continued on p. 84)

参 考 文 献

- [1] Strelow, F. W. E., *Anal. Chem.*, 32 (9), 1185 (1960).
[2] 关景素等, 原子能科学技术, 8, 580 (1983).
[3] 覃善章, 理化检验通讯, (2), 60 (1966).

(编辑部收到日期: 1989年7月22日)

DETERMINATION OF TRACE Gd, Sm, Dy AND Eu IN MnSO₄ BY ICP-AES AFTER SEPARATION WITH CATION EXCHANGE METHOD

GUAN JINGSU JI JUNYING GAO BINGHUA LIU YINGMEI

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

ABSTRACT

A method for determination of trace Gd, Sm, Dy, Eu in MnSO₄ is described. The manganese is separated from rare earth elements by cation exchange resin with 2 mol/l HCl as eluent. The concentration of rare earths is determined by ICP-AES. With a sample of 50 mg, the determination limit of Gd, Sm is 0.4×10^{-6} , Dy, Eu is 0.08×10^{-6} , the recovery is in the range of 88%~105%, the relative standard deviation (RSD) is less than 11%.

Key words MnSO₄, Cation exchange, ICP-AES, Rare earths.

(上接第34页, Continued from p. 34)

THE IMPROVEMENT ON THE STABILITY OF NEUTRON BEAM AND THE ROTATIVE TARGET SYSTEM

DU TAIBIN QI HUIQUAN DUAN XIUMING

(Tsinghua University, Beijing, 100084)

ABSTRACT

In the small angle scattering experiment using T (d, n)⁴He reaction, the kinematic shift of neutron beam associated with target aging is one of the important factors on the experimental stability. The methods of improved stability of neutron beams and prolonged service life of T-Ti target are given. The rotative target system is described in detail.

Key words T (d, n)⁴He reacton, Associated heam, T-Ti target, Rotative target system.