

600 kV 高压倍加器大厅内 X-γ 照射量率和能谱的初步测定

孙树明 范深根 许昌恒 葛玉香 沈克钊

关键词 X-γ 照射量率, X-γ 射线能谱, 辐射防护, 照射量率比较。

一、引言

600 kV 高压倍加器, 通过 $T(d, n)^4He$ 、 $D(d, n)^3He$ 等核反应可产生 14 MeV 和 2.5 MeV 的快中子, 中子产额可达 $10^{11}n/s$ 。其屏蔽设计情况, 以及运行中可能产生的中子辐射场分布, 在文献[1]中已有报道。

在用该高压倍加器作引出质子束对光调束(质子束轰击铁靶)和离子注入等工作时, 所产生的 X、γ 射线的照射将是主要的。测量和掌握高压倍加器上产生的快中子和 X、γ 射线的剂量分布, 对减少工作人员的辐射危害是很重要的, 并可为同类加速器的辐射防护提供一些参考数据。

该高压倍加器大厅长 20m, 宽 10m, 高 7m。高压电源头部和加速管安装在靶室地平面下 1 m 的“高压区”内。真空系统、磁分析器和靶室安装在“实验区”(低压区)。束流管道和靶室中心标高 1.88m。

二、测量仪器和方法

测量 X、γ 射线剂量场分布时, 我们采用了能量响应好、范围宽、线性好的热释光剂量计(LiF)。布点情况见图 1。布点的高度不相同, 在“高压区”, 基本上是在加速管道的水平面上; 在“实验区”, 离地面高 1.5 m。

我们选用 Si(Li) 和 Ge(Li) 探测器分别接 400 道和 4096 道分析器测量了 X、γ 射线

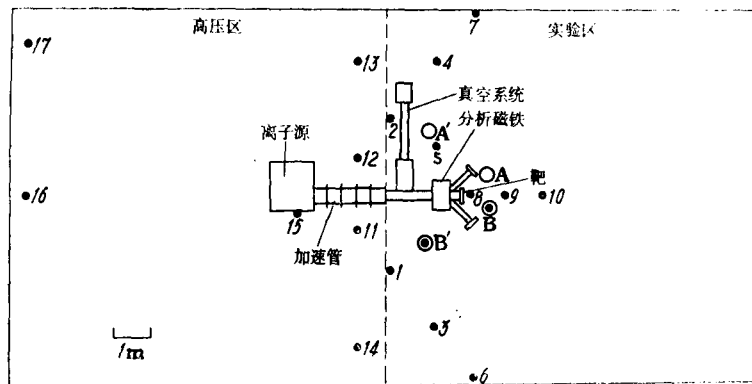


图 1 高压倍加器大厅剂量布点和探头位置分布
---铁丝网; · 测量点; ⊙ 锗锂探头; ○ 硅锂探头。

的能谱。探头与靶头的相对位置见图 1。探测器的高度为离地面 1.88 m，与靶头的高度相同。

三、照射量率测量结果和分析

各测量点的照射量率用下述符号加以表示：

$$\begin{matrix} \text{粒子束} & \xrightarrow{\text{轰击}} & \text{靶材料} \\ \text{高压(kV), 束流(\mu A)} \end{matrix}$$

测量结果列于表 1。为进行比较，表 1 中给出了不同工作状态下照射量率同质子束轰击铁靶时照射量率的比值。

表 1 五种工作状态下各测量点照射量率(R/h)及其与 $\frac{p \rightarrow Fe}{500, 100}$ 的比较

粒子束→靶材料	p→Fe	p→Fe	d→Fe	d→d	d→t					
高压, kV	500	500	500	500	500					
束流, μA	100	500	100	100	500					
照射时间, h	10	7	1.5	2	1.5					
数据组符号	$\frac{p \rightarrow Fe}{500, 100}$	$\frac{p \rightarrow Fe}{500, 500}$	$\frac{d \rightarrow Fe}{500, 100}$	$\frac{d \rightarrow d}{500, 100}$	$\frac{d \rightarrow t}{500, 500}$	$\frac{d \rightarrow t}{500, 100}$	$\frac{d \rightarrow t}{500, 100}$	$\frac{d \rightarrow t}{500, 500}$	$\frac{d \rightarrow t}{500, 100}$	$\frac{d \rightarrow t}{500, 500}$
测量点编号										
1	0.025	0.091	3.64	0.075	3	0.425	17	0.544	21.76	5.9
2	0.022	0.103	4.7	0.077	3.5	0.209	9.5	0.648	31.1	6.6
3	0.016	0.041	2.6	0.031	1.9	0.101	6.3			
4	0.018	0.080	4.4	0.030	1.7	0.061	3.4	0.670	37.2	8.4
5	0.015	0.031	2.1	0.042	2.8	0.037	2.5	1.244	82.9	40.1
6	0.019	0.035	1.8	0.031	1.6	0.063	3.3	0.564	29.7	11.1
7	0.015	0.040	2.7	0.033	2.2	0.048	3.2			
8	0.010	0.019	1.9	0.031	3.6	0.040	4.0	2.208	220.8	116.2
9	0.014	0.022	1.6	0.047	3.4			0.926	66.1	42.1
10	0.019	0.027	1.4	0.025	1.3	0.033	1.7	0.665	35	24.6
11	0.065	0.128	2.0							
12	0.064	0.299	4.7							
13	0.033	0.099	3							
14	0.017	0.054	1.1	0.444	9.4	0.138	2.9	0.650	13.8	12.7
15	0.082	2.313	2.8					5.338	6.5	2.7
16	0.017			0.017	1	0.051	3	0.224	13.2	
17	0.015	0.019	1.1	0.029	2.9			0.200	13	10

1. 照射量率随束流种类和靶的材料的变化

(1) 质子束轰击铁靶。由表 1 第二、三栏可以看出，在实验区照射量率较高处是铁丝网附近的 1#、2#点，1#与 2#，3#与 4#，6#与 7#，11#与 12#，13#与 14# 等十个点的几何位置相对加速管作对称设置，其照射量率基本上也是对称的。但随着束流由 100 μA 增加到 500 μA 时，2#、4#、7#、12#点的照射量率比 1#、3#、6#、11#点增加得快，后者增加 2 倍左右，而前者增加 4 倍左右。测量表明，靶头上的照射量率并不高，这说明质子束轰击铁靶产生的辐射对大厅内的剂量贡献是较小的。

(2) 氘束轰击铁靶、氘靶和氚靶。从表 1 中可以看出，在束流强度相同的情况下，用

氘束轰击铁靶比用质子束轰击铁靶所形成的照射量率普遍高 2~3 倍。1#, 2#, 14# 点增加显著, 在 3 倍以上。离靶头较近的 8#, 9# 点增加也在 3 倍以上。同样状态下, 用氘束轰击氘靶时, 从总的情况来看, 实验区 γ 照射量率普遍是质子束轰击铁靶时的 4 倍左右, 而是氘束轰击铁靶时的 2 倍左右。对于用氘束轰击氘靶时所形成的辐射场, 与同样强度的质子束轰击铁靶相比较, 在靶头区, 前者是后者的 100 倍, 但是在离靶头的 2 m 处, 已降至只有 50 倍左右; 而在“高压区”离靶头较远处, 只有 10 倍左右了。氘束轰击氘靶时, 靶头上除有很强的中子产生外, γ 辐射与上述多种情况相比也有很大变化。这表明, 加速粒子和靶材料改变后, 各测量点的剂量变化范围是很大的。

2. 照射量率随束流强度的改变 表 2 给出了高压为 500 kV, 质子束轰击铁靶时, 2# 和 4# 点照射量率随质子束流强度的变化情况。测量表明, 各点的照射量率大体上是按束流比例增加的, 束流较大时, 2#, 4# 点的剂量率增加也较快。因此对于大厅中任意一点, 只要知道 100 μA 时的照射量率, 就可以用下式估算出任意束流强度的照射量率:

$$\dot{x}_{500, I} = \dot{x}_{500, 100} \cdot K_I.$$

式中 K_I 为高压 500 kV、束流 $I(\mu\text{A})$ 与 500 kV、100 μA 时的照射量率比值。

表 2 2#, 4# 点照射量率随束流强度的变化

束流强度, μA	剂量计照射时间, h	2#		4#	
		$\dot{x}_{500, I}^{p \rightarrow Fe}$ R/h	$K_I = \frac{\dot{x}_{500, I}^{p \rightarrow Fe}}{\dot{x}_{500, 100}^{p \rightarrow Fe}}$	$\dot{x}_{500, I}^{p \rightarrow Fe}$ R/h	$K_I = \frac{\dot{x}_{500, I}^{p \rightarrow Fe}}{\dot{x}_{500, 100}^{p \rightarrow Fe}}$
100	10	0.022	1	0.018	1
200	3	0.040	2.2	0.036	2
300	2	0.079	3.6	0.054	3
400	2	0.086	3.9	0.064	3.6
500	7	0.103	4.7	0.080	4.4
600	1	0.036	16.4	0.230	14.4
900	1	1.198	54.5	0.897	49.8
1000	1	1.438	65.4	1.099	61.1

3. 照射量率随高压的改变 我们是采用 400 道 γ 谱仪在 A 位置的 γ 光子总计数来估计照射量率随高压的改变的。高压倍加器束流不变时, 照射量率随加速粒子电压的升高有明显的增加。表 3 给出了四种高压下 γ 光子的总计数, 其计数率随高压升高得很快。因此可以认为照射量率随高压的增加也有明显的增加。

表 3 Si (Li) 探测器测量 γ 射线的相对强度

高 压 kV	束流 50 μA , 20 min 总计数	与 200 kV 时的比值
200	1.84×10^4	1
300	1.08×10^5	6
400	1.51×10^5	8.2
500	2.9×10^5	16

4. 头部的照射量率 我们测量了高压倍加器两种工作状态下头部的照射量率。第一种状态, 质子束轰击铁靶, 加速电压为 500 kV, 束流为 100 μA ; 第二种工作状态是只加离子源的引出电压 2.4 kV, 聚焦电压 15 kV, 不加加速电压(不引出束流)。测量时剂量计布

点情况见图 2，结果见表 4。测量表明加了离子源的引出电压和聚焦电压，即使不出束流，也同样有照射剂量，但比加了加速电压和引出束流时的情况小得多。

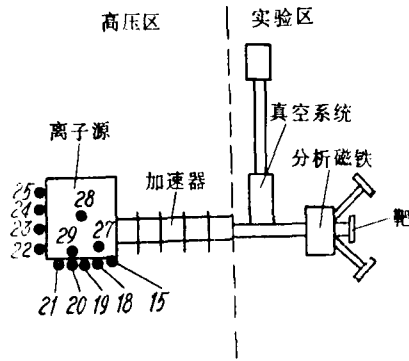


图 2 高压倍加速器大厅内头部测量布点图

15、18—25 点与离子束出口高度相同；27—29 点在头部屏蔽罩内与离子束同一高度。

表 4 高压倍加速器头部的照射量率

工作状态	照射时间 h	照射量率, R/h											
		15*	18*	19*	20*	21*	22*	23*	24*	25*	26*	27*	28*
出束流	0.5	0.882	0.674		0.174	0.242	0.436	0.149	0.266	0.098			
不出束流	0.5		0.029	0.026	0.049	0.044					0.072	0.016	0.025

四、辐射场能谱的初步测定

我们按照图 1 所示的布点位置，测量了几种工作状态下的 X、 γ 能谱，并选择二组描绘在图 3 和图 4 上。从所测的能谱中初步可以看出：

1. 辐射场中的 X、 γ 射线绝大部分是能量很低的。图 3 表明射线的低能部分是连续谱。在探测器位置 A 处，X 射线的能量大部分在 50~60 keV 之间。加速器高压由 500 kV

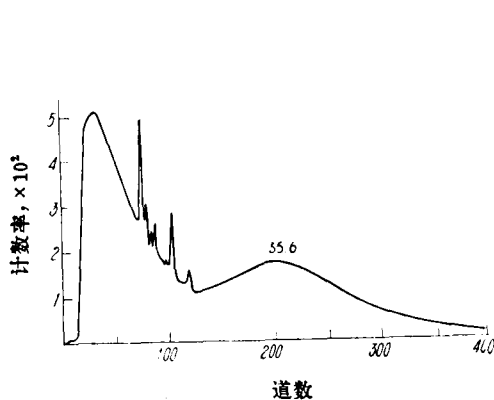


图 3 600 kV 高压倍加速器实验区 X、 γ 射线能谱(1)

$V=500$ kV; $I=500$ μ A; $p \rightarrow Fe$;
探头位置: A.

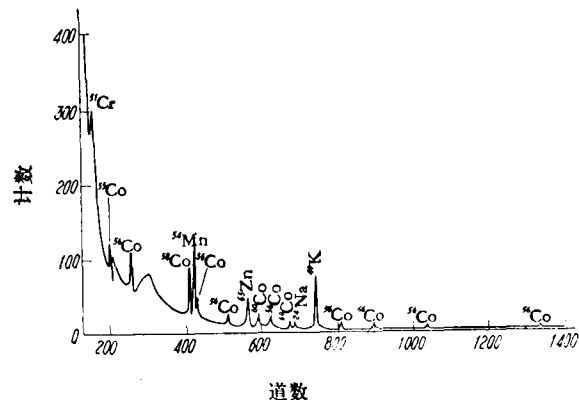


图 4 600 kV 高压倍加速器实验区 X、 γ 射线能谱(2)

$V=500$ kV; $I=500$ μ A; $p \rightarrow Fe$;
探头位置: B; 测量时间: 10 min.

下降为 200 kV 时, 主峰道能量由 55.6 keV 降为 52.3 keV。它表明加速器高压增加时, X 射线能量也有增加, 但增量很小。

2. 图 4 给出加速器工作时在 B 点测得的 γ 射线能谱。它同不开机时的本底谱是相同的。说明加速器在用于加速质子时, 大厅内没有能量大于 200 keV 的 γ 射线产生。能谱上所标的放射性核素, 是由于在加速器上作中子实验时产生的^[2,3]。

五、结果与讨论

1. 通过测量可知, 出束时除靶是辐射源外, 这台高压倍加速器头部、离子源出口处也是一个很强的 X, γ 射线辐射场。

2. 辐射场照射量率随加速器能量及束流增加而增加。其中随束流的增加更为明显。

3. 由能谱测量可知, 加速器大厅内的 X 射线是个连续谱。在离靶头较远处, 其能量多数在 50~60 keV 之间。除连续谱外, 不论加速器是否工作, 辐射场中总有若干个能量稍高的 γ 射线特征峰, 它们是加速器中子实验时产生的感生放射性所致。为减少它们的影响, 对束流管道和靶室的材料应进行研究, 要选择活化较小的材料来制造。

4. 高压倍加速器大厅内的 X、 γ 射线的能量大部分是比较低的, 在加速器厂房的屏蔽设计和选用各种辐射剂量监测仪器, 特别是个人剂量计时应注意这一点。

在能谱测定工作中, 伍永顺和徐永昌给了很大的支持和帮助, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 宋书绶等, 原子能科学技术, 3, 298(1979).
 [2] H.Hirayama, Proceedings of the 2nd Symposium on Accelerator Science and Technology, Tokyo, Japan, 1978, p. 207.
 [3] H.H.Rayama et al., *ibid.*, p. 209.

(编辑部收到日期: 1982 年 2 月 8 日)

${}^7\text{Li}(\alpha, t){}^8\text{Be}$ 反应中 α 集团转移机制的研究

韩文述 徐邦清

关键词 α 集团转移机制, 形状因子, 严格有限程 DWBA, 双阱生成坐标方法。

一、引 言

实验表明 ${}^7\text{Li}(\alpha, t){}^8\text{Be}$ 反应角分布 ($E_\alpha=28.2\text{ MeV}^{[1]}$, $E_\alpha=30\text{ MeV}^{[2]}$), 在后角区有尖锐上升现象。用一般单核子转移 DWBA 计算, 只能解释前角区, 而不能拟合后角区。F.Merchez 等^[2]用 PWBAE 理论拟合了后角区上升; 在计算中他们考虑了四种反应机制, 但略去了扭曲效应和取了切断近似。用包括重离子削裂(或拾取)的 DWBA 计算可能解释此种现象, 但计算是复杂的^[3]。一种简单地解释此种现象的图象是: 认为前角区主要是单核子转移机制, 而后角区主要是 α 集团转移机制。F.Merchez 等计算了 ${}^7\text{Li}(\alpha, {}^8\text{Be}){}^8\text{H}$ 机制的贡献, 但不能解释后角区实验。在计算中他们用的形状因子是不够严格的, 因此有