

CNIC-01961

CAEP-0229

中子活化辐射剂量率的远程初步测量

周长庚 娄本超 伍春雷 胡永宏 李彦

(中国工程物理研究院核物理与化学研究所 绵阳,621900)

摘 要

介绍了一套远程控制个人剂量率仪的工作原理、结构和特性。在高中子产额的中子发生器实验大厅,用该仪器初步测量了中子活化产生的辐射剂量率。当直流中子产额为 $2 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$ 时,停机 1 h 后测得中子活化产生的辐射剂量率为 $99.9 \mu\text{Sv/h}$;停机 39 h 后辐射剂量率降为 $24.4 \mu\text{Sv/h}$ 。当直流中子产额为 $3.2 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ 时,停机 36 min 后测得中子活化产生的辐射剂量率为 $21.9 \mu\text{Sv/h}$ 。测量结果可供物理实验人员和中子发生器运行人员参考。

关键词:高中子产额 实验大厅 辐射剂量率 远程测量

Long Distance Elementary Measurement of the Radiation Dose Ratio Produced by Neutron Activation

(*In Chinese*)

ZHOU Changgeng LOU Benchao WU Chunlei HU Yonghong LI Yan
(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, CAEP, Mianyang, 621900)

ABSTRACT

The working principle and the structure and performances of a long distance controllable individual radiation dose ratio instrument are described. The radiation dose ratio produced by neutron activation is elementarily measured by using this instrument in the neutron generator hall with high neutron yield. When neutron yield arrives to $2 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$, the radiation dose ratio produced by neutron activation is $99.9 \mu\text{Sv/h}$ in 1 h after the generator being stopped. The radiation dose ratio is reduced to $24.4 \mu\text{Sv/h}$ in 39 h after the generator being stopped. When neutron yield is $3.2 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$, the radiation dose ratio produced by neutron activation is $21.9 \mu\text{Sv/h}$ in 36 min, after the generator being stopped. The measurement results may provide reference for physical experimenters and neutron generator operators.

Key words: High neutron yield, Experimental hall, Radiation dose ratio, Long distance measurement

引言

最近,我们建立了高产额的中子发生器。在不加旋转靶的情况下,直流中子产额达到了 $2 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$ 。由于运行维护人员必须在停机后的一段时间内进入大厅进行操作,因此必须测量高产额中子发生器停机后不同时间的 γ 剂量情况,以确定工作人员进入大厅的时间及是否需要采取防护措施^[1]。在大厅辐射剂量情况确定之前,使用随身携带的个人剂量率仪进入大厅存在受辐射的危险。所以,目前市场上现有的便携式个人剂量率仪不适合此类现场使用。根据我们的总体技术方案,由外协单位制作了一套可远程显示的个人剂量率仪。远程显示的个人剂量率仪的探测器部分设置在高产额中子发生器实验大厅,显示器部分则设置在控制室。操作人员不需要到现场就可了解大厅的辐射剂量情况。用该仪器初步测量了中子活化产生的辐射剂量率。当直流中子产额为 $2 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$ 时,停机 1 h 后测得中子活化产生的辐射剂量率为 $99.9 \mu\text{Sv/h}$,在停机 39 h 后辐射剂量率降为 $24.4 \mu\text{Sv/h}$,提示工作人员应在停机 39 h 后方可进入大厅工作。当直流中子产额在 $3.2 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ 时,高产额中子发生器停机后 16 min,个人剂量率仪显示值为 $21.9 \mu\text{Sv/h}$,提示低于此剂量人员进入大厅操作是基本安全的。当脉冲中子产额在 $4.8 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$ 时,高产额中子发生器停机后 1 min,个人剂量率仪显示值为 $0.48 \mu\text{Sv/h}$,进入大厅操作是安全的。

以上测量结果可供物理实验人员和中子发生器运行人员参考。

1 剂量率仪在中子发生器大厅的布局

剂量率仪在中子发生器大厅的基本布局如图 1 所示。大厅的面积约 $14 \text{ m} \times 26 \text{ m}$,中子发生器按纵向分布,剂量率仪距靶室约 1 m。

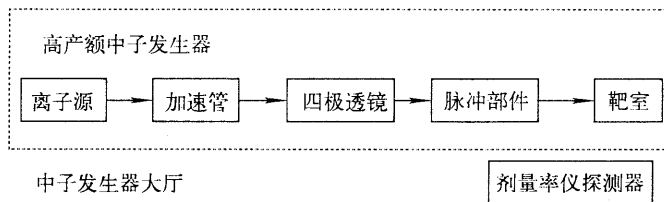


图 1 剂量率仪在中子发生器大厅的布局示意图

高产额中子发生器与辐射剂量有关的几个技术指标列于表 1。

表 1 高产额中子发生器与辐射剂量有关的技术指标

名称	技术指标
加速电压/kV	300
直流中子产额/ s^{-1}	2×10^{11}
脉冲中子产额(在 2 ns, 4 MHz 时)/ s^{-1}	1.68×10^8

2 GM 计数器的工作特性

用于 γ 射线辐射剂量率测量的 GM 计数器外形为圆柱形的抽真空玻璃管,中央有一根细金属丝作为阳极,玻璃管内壁涂以导电材料薄膜或另装一个金属圆筒作为阴极构成真空二极管。同时充有一定量的惰性气体和少量猝灭气体(如卤素),一般二者充气分压比例是 9:1。当计数管的阳极和阴极之间加有适当的工作电压时,管内形成柱形对称电场。 γ 射线穿入计数管壁或金属阴极时,产生次级带电粒子。由于粒子与管内惰性气体原子的电子之间的库仑作用,可使气体电离(或激发),形成正、负离子对(负离子即为电子),这种电离称为初级电离。在电场作用下,正、负离子分别向各自相反的电极运动,但正离子向阴极运动的速度比电子向阳极运动的速度慢得多。在电子向阳极运动过程中不断被电场加速,又会和原子碰撞而再次引起气体电离,称为次级电离。由于不断的电离过程使电子数目急剧增加,形成自激雪崩放电现象。同时,原子激发后的退激发及正负离子对的复合,都会产生大量紫外光子,这些光子可在阴极上打出光电子,这些光电子在电场中被加速,一般在 10^{-7} s 之内会使雪崩放电遍及计数管整个灵敏体积内。在这段时间内正离子移动很少,仍然包围在阳极附近,构成正离子鞘,使阳极周围电场大为减弱。在正离子缓慢地向阴极运动过程中,也会与猝灭气体分子相碰撞。对充有卤素气体的 GM 计数器而言,由于猝灭气体的电离电位低于惰性气体,因而会使大量的猝灭气体电离,使到达阴极表面的大部分是猝灭气体的正离子。它们与阴极上的电子中和后大部分不再发射光子,从而抑制正离子在阴极上引起的电子发射,终止雪崩放电,形成一个脉冲电信号。因此一次放电过程可在输出电阻上产生一个电压脉冲信号,其数目与进入计数管的粒子数相对应。GM 计数器的特点是结构简单、静态功耗低,输出信号幅度大、对电子线路要求低。实际测量得到 GM 计数器的工作特性列于表 2。

表 2 GM 计数器的工作特性

参数名称	技术指标
起始电压/V	300
工作电压/V	380
坪长/V	80
坪斜/%	0.12
死时间/ μ s	120

3 个人剂量率仪的工作原理和结构

个人剂量率仪的测量环境:高产额中子发生器大厅。

个人剂量率仪的测量对象:0.05~5 MeV 范围内的 γ 射线辐射剂量。

个人剂量率仪的工作原理和结构如图 2 所示。探头部分由电源电路、探测器、计数成形电路组成。电源电路把控制器送来的 3 V 电压转换成探测器所需要的 300 V 电压。探测器采用国产 GM 计数器。在 γ 射线的作用下探测器产生计数脉冲,经计数成形电路整形成一定幅度和宽度的波形,通过长线送到远端的控制器。

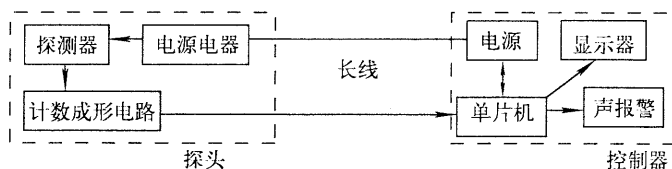


图2 个人剂量率仪的原理结构图

控制器主要由低功耗单片机、LCD显示器、电源等组成。低功耗单片机采用 Microchip 公司的 PIC16C71, PIC16C71 单片机自带 Flash 程序存储器, 自带八位 A/D 转换器可直接把脉冲幅度转变成数字信号。单片机工作电流仅数百微安, 可用电池供电。工作过程为: 单片机对探测器送来的计数脉冲进行处理, 并转换成剂量率后送 LCD 显示, 如果超过设定的剂量限值, 声报警电路发出报警。个人剂量率仪的基本技术指标列于表 3。中国工程物理研究院检定结果为:

检定用源: ^{226}Ra ; 检定点与源距离: 3 m; 基本误差: 5%; 校准因子: $k=1.1$ 。

表3 个人剂量率仪的技术指标

参数名称	技术指标	参数名称	技术指标
剂量率量程/ $(\mu\text{Sv/h})$	0.01~99.99	工作电流/mA	2
测量时间/s	5	传输距离/m	100
相对误差/%	5	温度特性/ $^{\circ}\text{C}$	-10~+40
报警阈值/ $(\mu\text{Sv/h})$	20	湿度特性(在+40 $^{\circ}\text{C}$ 时)/%RH	95

4 初步测量结果

当高产额中子发生器在直流方式运行时, 调节其加速电压为 300 kV, 测得氚离子束流为 1.75 mA, 测得直流(大)中子产额为 $2 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$ 。高产额中子发生器停机后测得中子活化产生的辐射剂量率列于表 4。

表4 直流束中子活化剂量率

$\mu\text{Sv/h}$

参数名称	技术指标
停机后 1 min	99.9
停机后 1 h	99.9
停机后 17 h	76.0
停机后 39 h	24.4
停机后 62 h	10.3

调节加速电压为 250 kV, 测得离子源引出束流为 $500 \mu\text{A}$, 靶上束流为 $300 \mu\text{A}$, 定标器计数为 2 000, 换算因子为 1.6×10^7 , 计算得直流中子产额为 $3.2 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ 。连续运行约 1 h, 停机后测得中子活化产生的辐射剂量率列于表 5。

表 5 直流束中子活化剂量率

 $\mu\text{Sv/h}$

参数名称	技术指标	参数名称	技术指标
停机后 1 min	69.0	停机后 2 h	8.6
停机后 16 min	21.9	停机后 3 h	6.4
停机后 36 min	15.8	停机后 4 h	5.1
停机后 1 h	10.4	停机后 16 h	0.3

在高产额中子发生器脉冲方式运行时,调节加速电压为 250 kV,测得靶上束流为 300 μA ,把直流束转换成纳秒脉冲束,脉冲半高宽为 10 ns,脉冲重复频率为 1 MHz,定标器计数为 30,换算因子为 1.6×10^7 ,得脉冲中子产额为 $4.8 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$ 。连续运行约 12 h,高产额中子发生器停机后测得中子活化产生的辐射剂量率为 0.48 $\mu\text{Sv/h}$ 。

5 结 论

初步测量结果表明,当中子发生器的直流中子产额在 $3.2 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ 以下时,高产额中子发生器停机后 16 min,个人剂量率仪显示值为 21.9 $\mu\text{Sv/h}$,进入大厅操作是基本安全的。当中子发生器的脉冲中子产额在 $4.8 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$ 以下时,中子发生器停机后 1 min,个人剂量率仪显示值低于 1 $\mu\text{Sv/h}$,进入大厅操作是安全的。如果高产额中子发生器需要中子产额在 $2 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$ 以上运行时,操作人员在停机后不能立即进入实验大厅工作,如有紧急情况需要进入时,必须采取一定的剂量防护措施。

以上为初步测量结果还不够全面,有些数据还需要与其他探测器测量数据进行比较。因此测量结果仅供参考。

致 谢

伍春雷、胡永宏、刘湾、黄瑾、张钦龙等同志参加了部分工作,物理实验人员也给予了许多帮助,在此表示感谢!

参 考 文 献

- 1 樊程芳,吴茂良. 核辐射装置及其应用[M]. 成都:四川大学出版社,1988:224-256