

固体气泡损伤探测器中子探测效率的刻度

郭士伦,涂彩清,容超凡,翟光年,王志强,王玉兰

(中国原子能科学研究院核物理研究所,北京 102413)

摘要:在 2×1.7 MV 串列加速器上用 ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ 、 $\text{T}(p,n){}^3\text{He}$ 、 $\text{D}(d,n){}^3\text{He}$ 和 $\text{T}(d,n){}^4\text{He}$ 核反应产生的 20 keV ~ 19 MeV 单能快中子对中国原子能科学研究院研制的固体气泡损伤探测器进行了刻度。结果表明:该探测器对快中子的探测阈能约为 100 keV,阈能处中子探测效率急剧上升约 3 个数量级,阈能以上效率曲线基本平坦,中子探测效率约为 1.5×10^{-4} 。这种探测器可用于中子能谱和中子剂量测量。

关键词:固体气泡损伤探测器;中子探测效率;中子阈探测器;中子能谱测量;中子剂量计
中图分类号: TL815 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6931(2000)03-0212-04

固体气泡损伤探测器是在硬弹性固体中制入无数过热液体微滴而成的一种储能型核辐射径迹探测器。当辐射粒子穿过固体中的过热液体微滴时,过热液体气化,生成目视可见的气泡。一个或多个气泡组成入射粒子径迹。固体气泡损伤探测器已广泛用于各种核设备周围的中子能谱和中子剂量以及空间中子辐射测量等领域^[1]。近年来开展了固体气泡损伤探测器的研制工作,并采用 Am-Be 中子源对固体气泡损伤探测器进行了刻度^[2,3]。同位素中子源产生连续谱中子,只能用来对探测器进行简单刻度。要想获得固体气泡损伤探测器的阈特性和中子能量响应的确切信息,必须用加速器单能中子源进行刻度。

1 固体气泡损伤探测器的制备及物理参数

本工作采用的固体气泡损伤探测器采用聚丙烯酰胺作探测固体,氟里昂 (${}^{12}\text{F}$) 作过热液体,制备工艺参见文献^[2,3]。固体气泡损伤探测器中过热液体占体积的 2%,过热液体微滴直径约为 20 μm ,微滴体密度约为 10^7 cm^{-3} 。探测器置于容积为 8 mL 的螺口试管中,探测固体体积为 5 mL,在探测固体和瓶盖之间放入约 1 mL 氟里昂作施压剂。探测器制成后,瓶盖旋紧,瓶内保持高压,探测器处于对中子不灵敏状态,可长期保存待用。实验前,把瓶盖旋开,除去施压剂,探测器被敏化,可用于中子探测。固体气泡损伤探测器的实物照片示于图 1。图 1(a) 为中子照射前的照片,在探测器中无气泡;图 1(b) 为中子照射后的照片,在探测器中已

收稿日期:1998-11-06;修回日期:1999-04-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(1880158);核工业科学基金资助项目(J94F01022)

作者简介:郭士伦(1937—),男,河北河间人,研究员,核物理专业

产生目视可见的气泡。



图1 照射前(a)和照射后(b)固体气泡损伤探测器的照片

Fig. 1 Photographs of bubble detectors before(a) and after(b) irradiation

2 加速器单能中子源和中子注量的绝对测量

用单能中子刻度固体气泡损伤探测器的工作在中国原子能科学研究院 2×1.7 MV 串列加速器上进行。刻度中采用的核反应为 ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 、 $\text{T}(p, n){}^3\text{He}$ 、 $\text{D}(d, n){}^3\text{He}$ 和 $\text{T}(d, n){}^4\text{He}$, 由它们得到的单能中子能量范围分别为 $20 \sim 565$ keV、 $0.726 \sim 2.5$ MeV、 $3.3 \sim 5.0$ MeV 和 $12.3 \sim 19.0$ MeV。中子注量绝对刻度采用多球中子能谱仪, 根据选用的中子能区, 采用半径为 6.4 cm、内含球形 ${}^3\text{He}$ 正比计数管的聚乙烯球进行测量。多球中子能谱仪对不同能量中子的探测效率已用其他方法进行过刻度, 并用蒙特卡罗方法进行过计算, 二者符合较好, 可以作为中子注量测量的标准仪器。所采用的半径为 6.4 cm 的聚乙烯球探测器探测中子的响应曲线示于图 2。图 2 的纵坐标为聚乙烯球心距中子源(加速器靶) 1 m 和在球上投射 1 cm^{-2} 中子注量时 ${}^3\text{He}$ 正比计数管的计数。

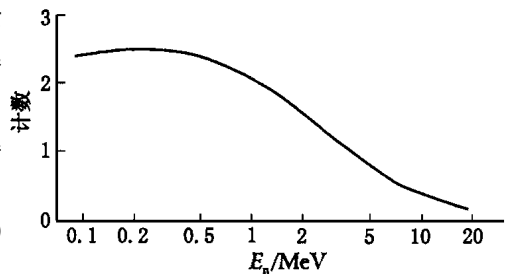


图2 聚乙烯球(${}^3\text{He}$ 正比计数管)的中子能量响应曲线

Fig. 2 Neutron energy response curve of polyethylene ball (${}^3\text{He}$ proportional counter)

刻度中, 首先测定聚乙烯球与长中子计数器以及与粒子束流计数的比值, 然后把聚乙烯球移走, 放置固体气泡损伤探测器, 进行中子照射, 并记录长中子计数器和粒子束流计数, 求得照射在每个固体气泡损伤探测器的中子注量。

3 固体气泡损伤探测器的中子探测效率

把固体气泡损伤探测器置于与加速器束流方向成一定角度和与靶(中子源)为一定距离处, 探测器的轴线与中子飞行方向垂直。每一位置放置 5 个固体气泡损伤探测器, 它们的位置处在以加速器束流为轴线的圆环上, 以使每个探测器的照射条件相同。每组探测器接受的中

子能量由入射粒子种类和能量、靶中核反应类型、靶厚和中子发射角决定。照射在每组探测器上的中子注量则与靶中核反应微分截面和探测器与靶的距离有关。各种能量下探测器与靶的距离要适当,以使探测器处中子能量的分散度较小和探测器中产生的气泡数目容易测量(每 cm^2 范围内产生 20~50 个气泡)。

中子照射表明:未经敏化的固体气泡损伤探测器对 neutron 不灵敏,敏化后的固体气泡损伤探测器对 neutron 灵敏。中子照射完后,立即读出固体气泡损伤探测器中 1 cm^2 范围内的气泡数,并计算中子注量 (cm^{-2}),由二者之比求出固体气泡损伤探测器探测中子的效率。用加速器单能中子对固体气泡损伤探测器进行刻度时,加速器实验厅内的温度为 28.0 。刻度结果示于图 3。

由图 3 可看出:固体气泡损伤探测器

探测快中子具有阈能,阈能约为 100 keV ,阈能处中子探测效率上升达 3 个数量级,阈能以上探测效率基本平坦,约为 1.5×10^{-4} 。图 3 中,中子探测效率误差包括产生中子的核反应微分截面的误差、探测器与靶之间距离的误差和气泡读数的误差等。在实验厅内远离中子源位置放置的固体气泡损伤探测器内记录的气泡数目表明:刻度时,散射中子的影响可以忽略。

4 固体气泡损伤探测器的中子能量响应与其他探测器的比较

图 4 将固体气泡损伤探测器(BD)与几种常用的中子剂量计:乳胶片剂量计(NTA)、热释光反照剂量计(TLD Albedo)、 ^{237}Np 裂变径迹剂量计、CR-39 径迹剂量计和国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的理想中子剂量计作一对比。

由图 4 可以看出:(1) 乳胶片剂量计对 0.75 MeV 以上中子有很好的响应,但基本不能测量 0.75 MeV 以下的中子剂量,而这一能区的中子剂量是不可忽视的,此外,乳胶片剂量计对低能和 X 射线灵敏,对测量中子与混合场中的中子剂量不利;(2) 热释光反照剂量计对 1 MeV 以上快中子较不灵敏,而这部分中子对剂量的贡献最大;(3) ^{237}Np 裂变径迹剂量计与 ICRP 推荐的理想剂量计的响应符合得相当好,但它含有放射性物质 ^{237}Np ,对

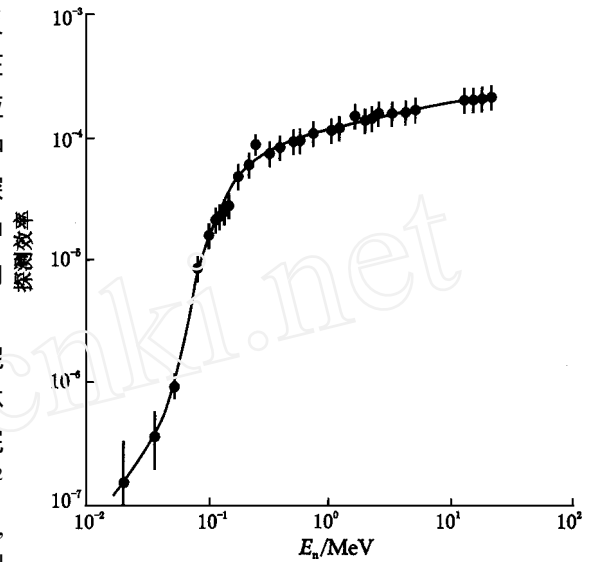


图 3 固体气泡损伤探测器的中子探测效率

Fig. 3 Neutron detection efficiency of bubble detectors

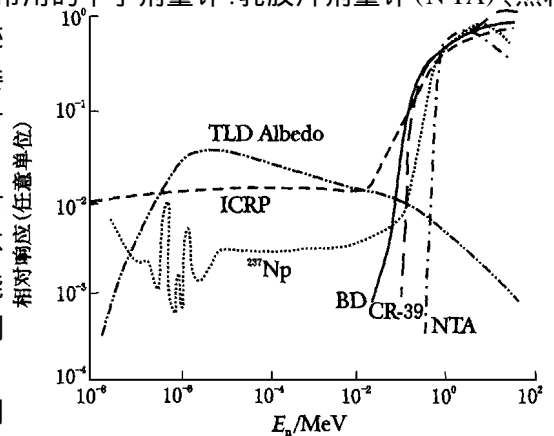


图 4 几种剂量计中子能量响应曲线的对比

Fig. 4 Comparison of neutron energy response curves of six types of neutron dosimeters

人体有害;(4) CR-39 剂量计与 ICRP 推荐的理想剂量计的响应符合也相当好,但不能即时提供剂量数据;(5) 固体气泡损伤探测器的响应最接近于 ICRP 推荐的理想剂量计的响应,而且可即时读数,具有最高灵敏度(可达到 10^{-3} 以上),是一种较为理想的中子剂量计。

5 结论

用加速器单能中子进行的刻度表明:固体气泡损伤探测器是一种快中子阈探测器,本工作刻度的探测器的阈能约为 100 keV,阈附近中子探测效率上升较陡,达 3 个数量级,阈以上响应平坦,约为 1.5×10^{-4} ;增加探测器中的过热液体含量,可进一步提高中子灵敏度(达 10^{-3} 以上),是一种灵敏度很高的中子探测器。另外,改变氟里昂的成分,可以获得阈能不同的固体气泡损伤探测器,组成不同阈能的探测器组,用于求解中子能谱、核物理研究或作中子计量标准仪器。固体气泡损伤探测器的中子能量响应曲线接近 ICRP 推荐的理想中子剂量计的响应曲线,中子灵敏度最高,是满足 ICRP60(ICRP,1991)^[4]对中子灵敏度要求的唯一探测器。它能即时读数,实现实时自动记录中子剂量,是已知多种探测器中最为理想的中子剂量计。

参考文献:

- [1] Ing H, Noulty RA, Mclean TD. Bubble Detectors——A Maturing Technology[J]. Radiation Measurements, 1997, 27(1):1~11.
- [2] 郝秀红,赵玉华,郭士伦等. 固体气泡损伤探测器的研究[J]. 核技术, 1991, 14(7):394~396.
- [3] Tu CQ, Guo SL, Wang YL, et al. Study of Bubble Damage Detectors for Neutron Detection[J]. Radiation Measurements, 1997, 28(1~6):159~162.
- [4] International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP-Publication 60[Z]. Oxford: Pergamon Press, 1990.

Calibration of Neutron Detection Efficiency of Bubble Detectors

GUO Shi-lun, TU Cai-qing, RONG Chao-fan,
ZHAI Guang-nian, WANG Zhi-qiang, WANG Yu-lan

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-96, Beijing 102413, China)

Abstract: A calibration has been carried out on neutron detection efficiency of bubble detectors prepared by China Institute of Atomic Energy at the tandem accelerator 2 \times 1.7 MV by monoenergetic neutrons of 20 keV ~ 19 MeV from ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$, $\text{T}(p, n){}^3\text{He}$, $\text{D}(d, n){}^3\text{He}$ and $\text{T}(d, n){}^4\text{He}$ reactions. It shows that the bubble detectors have a threshold energy ~ 100 keV. The detection efficiency increases steeply to three order of magnitude at the threshold. The detection efficiency above the threshold is nearly flat with value ~ 1.5×10^{-4} . The bubble detectors can be used to measure neutron energy spectrum and as neutron dosimeter.

Key words: bubble detector; neutron detection efficiency; neutron threshold detector; neutron spectrum measurement; neutron dosimeter