文章编号：1007-4627(2005)01-0100-03

个人中子剂量气泡探测器研制

张贵英，倪邦发，李 丽，田伟之，王平生，黄东辉，张兰芝，刘存兄
（中国原子能科学研究院，北京 102413）

摘 要：中子固体气泡探测器被认为是唯一能够满足国际辐射防护委员会ICRP60要求的个人中子剂量计，它具有从低能中子到高能中子的平坦响应曲线和对γ射线不灵敏的优点. 本工作将过热液滴均匀地分布在一种软聚合物中，制成了个人中子气泡剂量计，其灵敏度达到每毫雷姆40个气泡. 还介绍了个人中子剂量气泡探测器的原理和制作过程.

关 键 词：气泡探测器；个人中子剂量
中图分类号：TL816 **文献标识码**：A

1 引言

固体气泡损伤探测器是20世纪80年代发展起来的一种新型核辐射探测器，和所有的中子探测器一样，气泡探测器可以用于任何存在中子的场合，如用于反应堆、同位素中子源和加速器等以对中子辐射进行测量. 气泡探测器还可用于个人中子剂量测量和不同能区的中子能谱测量；气泡探测器同样可以用于宇宙辐射环境的研究. 俄罗斯已经将BTI公司生产的气泡探测器用于MIR空间站. 加拿大也已将其用于宇宙空间研究并取得了一些结果.

固体气泡损伤探测器作为中子剂量计具有一定的优势. 目前比较常用的中子剂量计有胶片剂量计、反照中子个人剂量计、裂变径迹剂量计和固体径迹探测器(如CR39、气泡探测器)等. NTA胶片剂量计对于能量大于0.75 MeV的中子响应比较好，对低能效果不好，易受环境因素影响，暗室处理麻烦且对低能γ射线和X射线敏感. 反照中子个人剂量计的能量响应比较强的依赖于能量，它过低地估计了高能部分，而过高地估计了低能部分，而高能部分在剂量学上是非常重要的，在实际使用过程中刻度困难、监测结果不确定度大. 裂变径迹剂量计的能量响应曲线与ICRP推荐的理想中子剂量计的能量响应曲线符合得是相当好的，但是它要使用带有一定放射性的材料，不适合个人使用. CR39对中子灵敏的能量范围大致100 keV—5 MeV，测量结果不直观，事后处理较麻烦. 而气泡探测器具有低的中子探测阈能(~10 keV)、高探测灵敏度(实验最高可以达到40 bubbles/mrem)、可以进行直接可视的测量、对γ射线不灵敏和可以反复使用的优势，被认为是唯一能够满足国际辐射防护委员会ICRP60要求的个人中子剂量计.

按照探测液体微滴的介质不同，可以把气泡探测器分为两类：一类是介质为粘滞液体或软胶，由美国的R. E. Apfel于1979年首先报道研制成功，被称为过热液滴探测器(SDD)；另一类是介质为硬弹性固体，由加拿大的Ing等[1]和H. C. Birnboim于1983年研制成功的，被称为固体气泡损伤探测器，简称气泡探测器(BD). 固体气泡损伤探测器是过热液体探测器的进一步发展. 前者，当探测液体受粒子照射而成为气泡后，由于浮力增大，气泡可移动或者漂浮起来，而后者可把形成的气泡固定在原来过热液滴的位置而不会破坏原有的结构.

为了适应海军特殊需要，美国海军于1987年对现有的多种中子剂量计和中子能谱仪器进行了评估. 最后选择了气泡探测器作为今后装备海军的主要中子剂量计. 加拿大BTI公司现已研制出系列化商业产品，最典型的产品是BDPND，还有BDT和BDS等. 我国现在也已研制成功.

2 气泡探测器的探测原理

气泡探测器是由固化体、过热液体、添加剂和

收稿日期：2004-08-31；修改日期：2004-10-25
作者简介：张贵英(1979-)，女(汉族)，山西阳泉人，研究实习员，从事固体核径迹研究；E-mail：gyzhang@iris.ciae.ac.cn

施压装置组成. 旋下探测器施压装置上的旋帽，探测器内压力下降，使探测液滴进入过热状态，对辐射敏感，此过程也可称为敏化. 此时的探测器液滴就像无数个很小的气泡室一样，当中子和核相互作用，产生带电粒子，带电粒子的能量损耗引发液滴爆炸形成肉眼可见的气泡. 气泡的多少与入射中子的数量在一定范围成正比. 因而根据气泡的多少即可推算出中子剂量. 气泡像微滴一样被硬弹性固体限制在微滴原位置不动，当记录完毕后，旋上施压装置上的旋帽，施加压力，又可以使气泡在外压的作用下变成液滴，因此气泡探测器可以重复使用.

3　实验

中子气泡探测器在中国原子能科学研究院已经研究了 10 多年，但始终没有技术突破. 2001 年成立了以倪邦发研究员为主的新研究课题小组，通过一年多的工作经验总结和对原有配方方案的论证，得出了原有方案不可行的结论，决定从根本上废弃原有的配方和低温操作技术，重新建立了一套在常温下操作的配方和实验体系，在技术上取得了突破性进展.

通过密封加压到成型测试到密封加压的循环，实现了探测器的反复使用(见图 1).

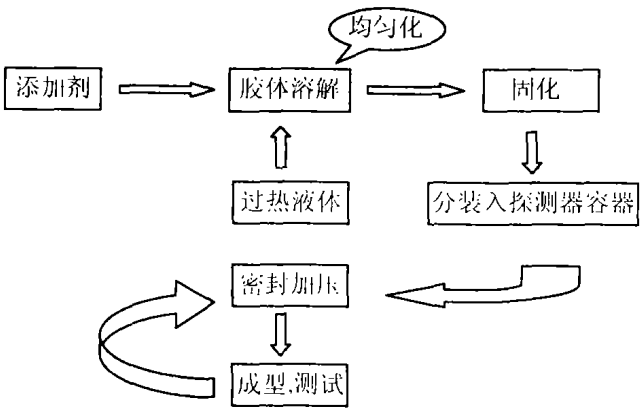

图 1　实验流程

3.1　探测器容器的设计制作

在实验中，我们发现探测器容器对探测器的性能有影响，根据过热液滴的蒸汽压计算和多次摸索与设计，选择了一种特殊材料制成的塑料试管. 图 2 给出了探测器容器的设计成型探测器，现已进行批量加工.

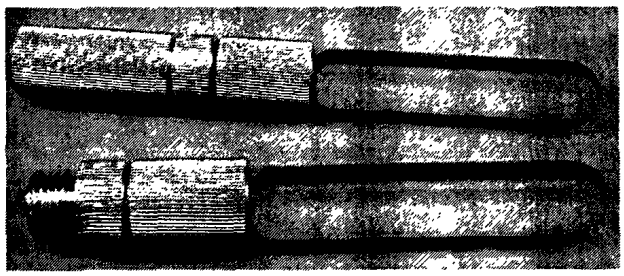

图 2　个人中子剂量计在中子照射前(上)和照射后(下)的照片

3.2　压力容器的设计制作

如果照射所产生的气泡不能及时压回，那么探测器上的施压装置就不能压回气泡，这样就需要一种重施压装置. 图 3 给出了我们自行设计研制的重施压装置，已经通过性能测试，基本可以满足我们实验的需求. 通过这个重施压装置，保证了中子气泡探测器的反复使用.

图 3　重施压装置

4　结果及讨论

4.1　照射

气泡探测器制成后，把探测器的旋盖打开(使探测器敏化)，并且在中子场中进行照射，便有气泡产生，而未经中子照射的探测器不产生气泡. 图 2 给出了我们研制的探测器在中子照射前后的照片. 从图中可以看出气泡均匀清晰可见.

4.2　温度对探测器灵敏度的影响

把固体气泡探测器放于不同的温度下(18，24，27 和 30 ℃)，用^{252}Cf 中子源在相同的位置照射

60 s. 初步结果表明，气泡数目随温度变化不大，在统计范围基本一致.

4.3 探测器灵敏度试验

国防科工委一级计量站用强度为 2.7×10^7 n/s 的 AM-Be 中子源对我们的探测器进行测试，灵敏度最高可达到 40 bubbles/mrem. 40 bubbles/mrem 是个什么样的概念呢？我们个人允许接受的年辐射剂量为 20 mSv，如果每天都接受剂量，那么平均每天接受的剂量就是 54.8 μSv，1 mrem = 10 μSv，那么 1 μSv 的剂量就可以产生 4 个气泡，足见其灵敏度是完全可以满足个人剂量测试的需求，而且是其他剂量计难以达到的水平.

5 结论

个人中子气泡剂量计是唯一能够满足国际辐射防护委员会 ICRP60 对个人中子测试要求的一种计量器具. 它具有宽能中子响应、高灵敏度、温度对灵敏度的影响小、对 X 射线和 γ 射线不灵敏等优点. 它的剂量直观性能可以避免未知大剂量场所给工作人员带来的不必要的危害. 目前我们正在进行气泡探测器对中子能量的响应研究，同时还需要对其整体性能作进一步研究.

参 考 文 献：

[1] Ing H, Noulty R A, Mclean T D. Radiation Measurements, 1997, 27(1): 1.

Study on Personal Neutron Dosimetry-bubble Detector

ZHANG Gui-ying, NI Bang-fa, LI li, TIAN Wei-zhi, WANG Ping-sheng,
HUANG Dong-hui, ZHANG Lan-zhi, LIU Cun-xiong
(*China Institute of Atomic Energy*, *Beijing* 102413, *China*)

Abstract: Neutron solid bubble detector was considered as a unique one for meeting the need of the personal neutron dosimeter recommended by International Committee of Radiation Protection, ICRP60. It has the flat response for neutron from low energy to high energy, and insensitive for gamma rays. In this work, superheated liquid drops were dispersed into a kind of soft polymer homogeneously. A personal neutron bubble dosimeter has been made, and the sensitivity reached to about 40 bubbles/mrem. The principle and the processing procedure of bubble detector were also introduced.

Key words: bubble detector; personal neutron dosimeter