

# 快中子照相胶片成像法的初步实验

裴宇阳, 唐国有, 郭之虞, 张国辉  
(北京大学重离子物理教育部重点实验室, 北京 100871)

**摘要:** 利用 ${}^9\text{Be}(d, n)$ 反应在北京大学 4.5 MV 静电加速器上产生小于 7 MeV 能区的快中子, 采用胶片法进行了快中子照相的初步实验. 对快中子胶片成像法的基本性能进行了初步的测试和研究. 用国产的原材料研制了一种适用于快中子照相的关键部件——快中子转换屏. 实验结果表明研制的快中子转换屏能够满足快中子照相的需要.

**关键词:** 快中子照相; 快中子转换屏; 胶片直接成像  
**中图分类号:** O571.52<sup>+</sup>3      **文献标识码:** A

## 1 引言

快中子比热中子对高密度的金属材料具有更大的穿透本领, 因此快中子照相能弥补热中子照相不能观察大块金属壳内部结构分布的不足. 国际上日本<sup>[1]</sup>、俄罗斯<sup>[2]</sup>、南非和英国<sup>[3]</sup>等从 20 世纪末已开始研究有关快中子照相的技术. 用加速器快中子源比反应堆中子源开展快中子照相具有独特的优点: 不仅投资小, 更灵活, 而且快中子利用效率高, 中子能区可调节范围宽, 还有靶点小, 易获得更高的准直比, 从而易于获取高质量的影像.

## 2 中子照相的原理

当中子入射到待照的样品后, 由于中子与样品中的原子核发生相互作用(散射和核反应), 透射中子的强度和空间分布将发生变化, 其关系式为

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} B(E, Z, \mu_x), \quad (1)$$

式中,  $I_0$  为射线入射强度,  $I_x$  为射线出射强度,  $\mu = n\sigma$  是物质的射线线性吸收系数,  $n$  为物质的核密度,  $\sigma$  为物质核的中子全截面,  $B(E, Z, \mu_x)$  是物质的中子散射积累因子.

这种作用的强弱与发生作用局部区域中样品所包含材料的性质(组成元素, 密度, 空穴…)有关. 利用特定的技术和相关的影像技术, 将透射中子注量率  $I_x$  的空间分布显示出来, 就可获得待照样品内

部所含材料的空间分布, 密度变化, 各种缺陷的综合信息, 这就是中子照相的基本原理.

## 3 中子转换屏的研制

快中子转换屏主要基于  $\text{H}(n, n)\text{H}$ , 即中子与氢核的弹性散射. 发光材料将反应产物的能量转化为荧光. 因此, 快中子转换屏主要由含氢材料与荧光材料组成, 目前国际上采用的荧光材料多为  $\text{ZnS}(\text{Ag})$  荧光粉. 我们参考日本的制作方法并结合我们自己的经验, 将荧光粉与聚丙烯均匀混和后热压, 制作了两种转换屏. 材料的颗粒大小、混合比、以及混合的均匀性是影响图像分辨的重要因素.

## 4 结果和讨论

我们用国产的原材料研制了一种适用于快中子照相的关键部件——快中子转换屏, 并利用北京大学 4.5 MV 静电加速以及厚金属铍靶, 利用 ${}^9\text{Be}(d, n)$ 反应产生小于 7 MeV 能区的快中子, 进行了快中子照相的初步实验. 在中子总产额最大约为  $10^{10}$  neutrons/(s · 4π) 的条件下, 借助带不同孔径的 Fe 等不同材料制作的不同厚度的试验样品, 对目前我们所采用的胶片法的基本性能进行了测试, 也获得了实际的金属部件内部状况的照片.

孔径为 1 mm, 厚度为 1 cm 的 Fe 圆柱测试样品所得的照片的黑度分布曲线见图 1. 外径为 7 cm,

中心孔径分别为 1, 3, 5 cm 的 Fe 样品所得照片见 图 2. 烧坏的马达的照片见图 3.

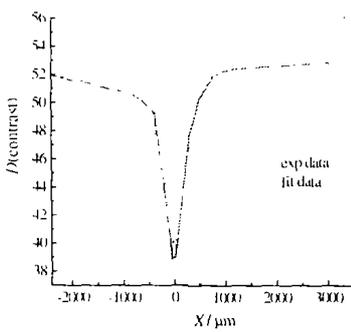


图 1 透孔直径为 1 mm 的灰度变化曲线

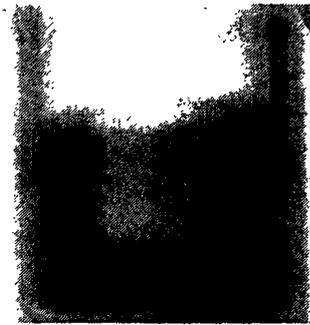


图 2 中空铁柱样品快中子照相图片

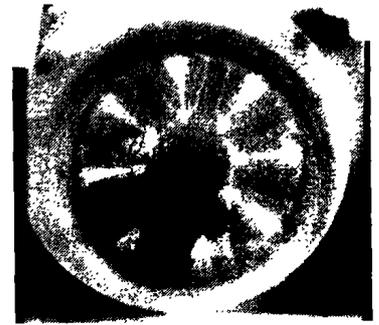


图 3 旧的马达快中子照相

对目前初步实验结果的分析表明：(1)应用国产材料自制的快中子转换屏，测得本胶片成像系统的空间分辨小于 0.5 mm，能满足观察材料内部不小于 1 mm 的缺陷的要求。(2)试验样品的快中子照相表明，中子能区为小于 7 MeV 的快中子照相至少能反映出直径为 7 cm 厚的 Fe 柱内的一定大小的空穴，当利用 RFQ 直线加速器强中子源，其中子总产额将比目前照相用的中子源总产额致少大两个数量级，将能满足国内一定用户进行快中子照相的要

求。(3)初步工作也表明要提高快中子照相的水平，改善照相的精度，还有很多值得继续研究的课题。这些研究工作可利用国内现有的静电加速器和倍加器中子发生器进行。

**致谢** 本工作一直得到谯大卫教授的帮助和指导，对此表示深切地感谢。对于北京大学 4.5 MV 静电加速器运行组的配合以及付出的辛勤劳动也深表谢意。

参 考 文 献：

[1] Mikerov V, et al. Nucl Instr and Meth, 1999, A424: 190. [3] John I W, Watterson, et al. Nucl Instr and Meth, 2003, A513: 367.  
 [2] Fujine S, et al. Nucl Instr and Meth, 1999, A424: 48.

## Preliminary Experiment of Fast Neutron Imaging with Direct-film Method

PEI Yu-yang, TANG Guo-you, GUO Zhi-yu, ZHANG Guo-hui  
 (Institute of Heavy Ion Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** A preliminary experiment is conducted with direct-film method under the condition that fast neutron is generated by the reaction of  ${}^9\text{Be}(d, n)$  on the Peking University 4.5 MV Van de Graff, whose energy is lower than 7 MeV. Basic characteristics of direct-film neutron radiography system is investigated with the help of samples in different materials, different thickness and holes of different diameter. The fast neutron converter, which is vital for fast neutron imaging, is produced with the materials made in china.

The result indicates that fast neutron converter can meet the requirment of fast neutron imaging; further research of fast neutron imaging can be conducted on the accelerator and neutron-generator in China.

**Key words:** fast neutron radiography; fast neutron convertor; direct-film method