

用同位素中子源在石蜡中产生热中子的实验研究

王述新 蒋奇 刘圣康

(南京大学中子实验室)

一、引言

为了在实验室中开展中子测水、热中子探测、热中子活化分析、热中子照相中等中子应用技术的研究以及进一步在工农业广泛推广使用,需要研究一个比较理想又容易得到的热中子源.国外有人进行过这方面的研究工作, Fink^[1]首先用“中子炮”这个词来描述在一定方向上产生较强的热中子束的慢化体,以后又陆续有人^[2-5]从事过这方面的工作.国内,我们在研究小样品水分测量时,曾设计了一个简单的热中子源,但是引出的中子束的“辐比”较小.为了获得较多的热中子,我们又进行了用同位素中子源在石蜡中产生热中子的实验研究.

二、中子慢化的基本原理

假定有一个快中子点源放在无限大慢化介质内,快中子与慢化介质的原子核碰撞、散射而被慢化.当中子慢化到热能后,热中子继续扩散. P. L. Flgaard 根据三组理论(快区分两组),推导了热中子分布^[6]:

$$\phi_{th}(r) = \frac{S}{4\pi D r} \cdot \frac{L^2}{L_1^2 - L_2^2} \times \left[\frac{L_1^2}{L_1^2 - L^2} (e^{-r/L_1} - e^{-r/L}) - \frac{L_2^2}{L_2^2 - L^2} (e^{-r/L_2} - e^{-r/L}) \right],$$

式中 r 为与源中心的距离, S 为源强, D 为慢化介质的扩散系数, L 为热中子扩散长度, L_1 为快中子减速长度, L_2 为慢中子的减速长度,

$\phi_{th}(r)$ 为 r 处的热中子通量.

估算热中子通量分布,需要知道该介质的许多核参数.对于有限介质的实验装置,还要有许多修正.因此,实用上还是直接测量慢化体中通量分布方便.

三、实验装置

1. 中子源

我们使用的同位素中子源是 100mCi 的 Am-Be 中子源.其外形有两种:点源(直径 1.74cm,长度 1.94cm)和环源(外径 3.33cm,内径 2.62cm,高度 1.90cm),中子产额为 2.2×10^5 n/s,其平均能量为 4.5MeV.这种中子源 r 辐射很低,半衰期 458 年,源的稳定性良好.

2. 慢化体

我们将 Am-Be 中子源放置在石蜡堆中进行慢化以获得热中子.我们采用了高度可变而直径为 46cm 的石蜡柱.在石蜡柱中子源放置处的上部有一个引出孔(简称为“井”),石蜡柱的上表面除引出孔外都用 1mm 厚的铝板盖住,其示意图见图 1.

3. 探测器及计数装置

使用的探测器是锂玻璃闪烁计数器,锂玻璃直径为 40mm,厚 5mm.探头直径为 67mm,除探头端面探测部分外,四周都用 1mm 厚的铝板包起来.探测器所使用的计数装置由前放、主放、单道、定标及高低压电源等电子学线路单元所组成.

4. 中子与 γ 射线的甄别

虽然 Am-Be 中子源伴发的 γ 射线较少,

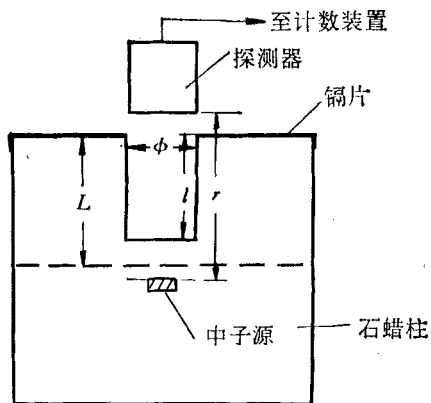


图1 实验装置图

ϕ ——引出孔直径； L ——石蜡柱上半部高度；
 l ——引出孔高度； r ——探头到源的距离

但是快中子在石蜡中慢化时还要产生较多的次级 γ 射线，因此测量时需要对 γ 射线进行甄别。锂玻璃接受 γ 射线后产生的讯号幅度较小，但接受中子后产生的讯号幅度较大。图2是用多道幅度分析器所测出的锂玻璃闪烁体对 γ 和热中子的微分谱。所以取适当的甄别阈可以将 γ 射线的计数甄别掉。

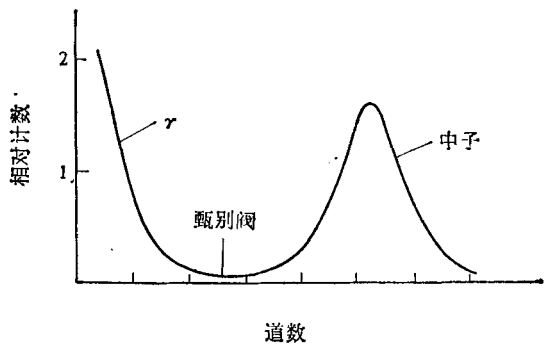


图2 锂玻璃闪烁体对 γ 和热中子的微分谱

四、实验研究

一个较好的热中子源装置，最好是用较弱的快中子源引出较多的热中子，且镉比较大。到底取怎样的慢化和引出装置，可以用实验来确定。

1. 慢化体最佳体积

在理论上认为慢化体的体积以无穷大为好，对中子源附近的热中子空间分布，即使是无

限远处的介质也有贡献。但是实际慢化体只能是有限体积的。Zuber^[7]等提议，实验室用慢化体大小的选择应使源附近热中子通量为无限大介质中在该处的中子通量的99%，这相当于慢化体半径为该介质的迁移长度的3倍。通过近似计算得到石蜡的迁移长度为3.7cm，因此要求慢化体半径大于11.1cm。我们的实验装置大于这个要求。在实验中，我们通过改变上半部的高度来研究慢化体体积（下半部高度为23cm）。

图3表示柱高 L 对井底中子通量及镉比的影响（ $d = 1\text{cm}$, $r = d + 1\text{cm}$ ）。图中 $I_{\text{总}}$ 代表镉上镉下中子的总计数率（即探头不包镉时测得的计数率）； $I_{\text{Cd上}}$ 代表镉上中子的计数率（即探头包镉时测得的计数率）； $I_{\text{Cd下}}$ 代表镉下中子计数率（即 $I_{\text{Cd下}} = I_{\text{总}} - I_{\text{Cd上}}$ ）； R_{Cd} 为镉比（ $R_{\text{Cd}} = I_{\text{总}}/I_{\text{Cd上}}$ ）。由图可见，当 $L > 10\text{cm}$ 时， L 变化对井底中子通量的影响已很小。

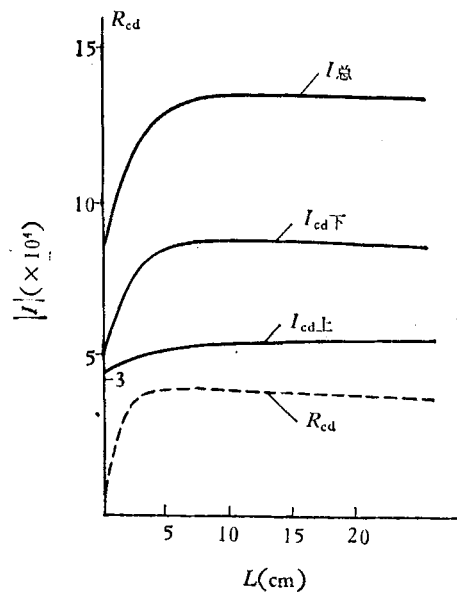


图3 井底中子通量和镉比随 L 的变化

图4表示同时改变 L 及

$$r = L + d (d = 1\text{cm})$$

时对井口中子通量及镉比的影响。由图可见，在 $L = 5\text{cm}$ 时， $I_{\text{总}}$ 和 $I_{\text{Cd下}}$ 最大，但是这时镉比并不是最佳值。随着 L 增大，镉比也逐渐增

大,直到 $L = 23\text{cm}$ 时镭比基本上为常数. 这说明中子在该石蜡体中已近于在无限大介质状态了. 由此可见,慢化体半径选为 23cm 是足够好的

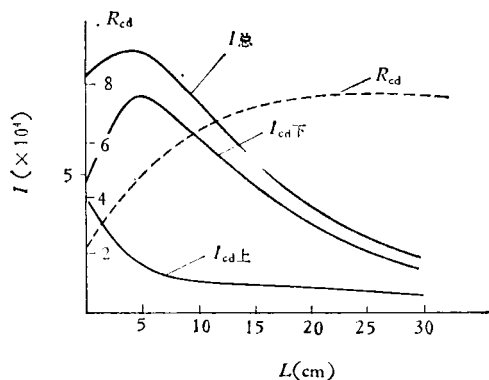


图4 井口中子通量和镭比随L的变化

2. 慢化体内中子空间分布

对于慢化体,一般认为热中子通量的最高峰是在源附近. 实用时,慢化体上部开着井(以供放置辐照样或探头之用),这与整体慢化剂情况不同. 测定井内中子空间分布,对于实际应用很有意义.

图5表示同时改变 d 和 $l = 23\text{cm} - d$ 时井底 ($r = d$) 中子通量及镭比变化的情况. 由

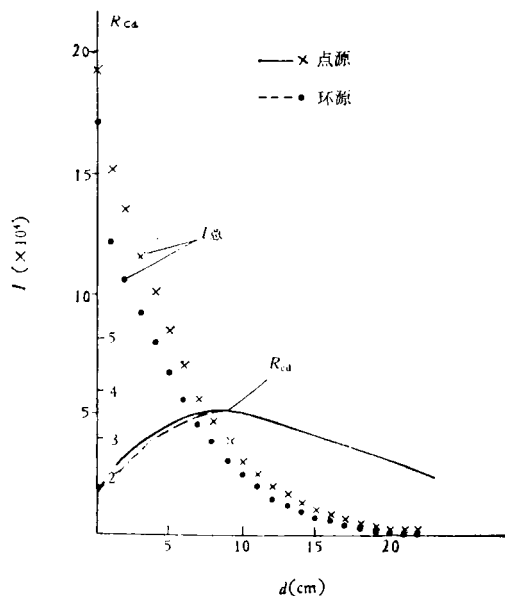


图5 井底石蜡层 d 对井底中子通量和镭比的影响

图可见当 $d = 0$ ($l = 23\text{cm}$) 时,井底的中子的总计数率及镭下中子计数率为最高. 当 $d=8\text{cm}$ 左右时,井底中子的镭比最大.

图6表示在 $l = 22\text{cm}$, $d = 1\text{cm}$ 时,井内中子通量的分布. 由图可见井内距中子源 $r = 2\text{cm}$ (点源) 或 $r = 1\text{cm}$ (环源) 处,中子计数率最高.

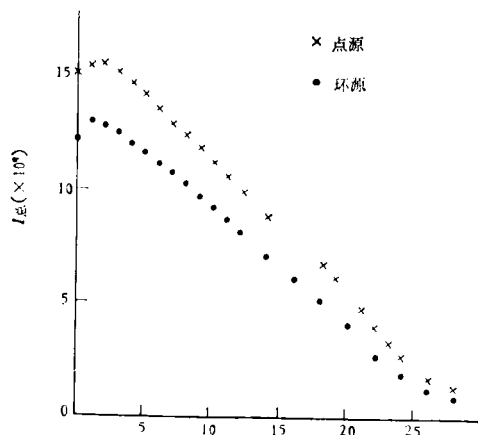


图6 井内中子通量的分布

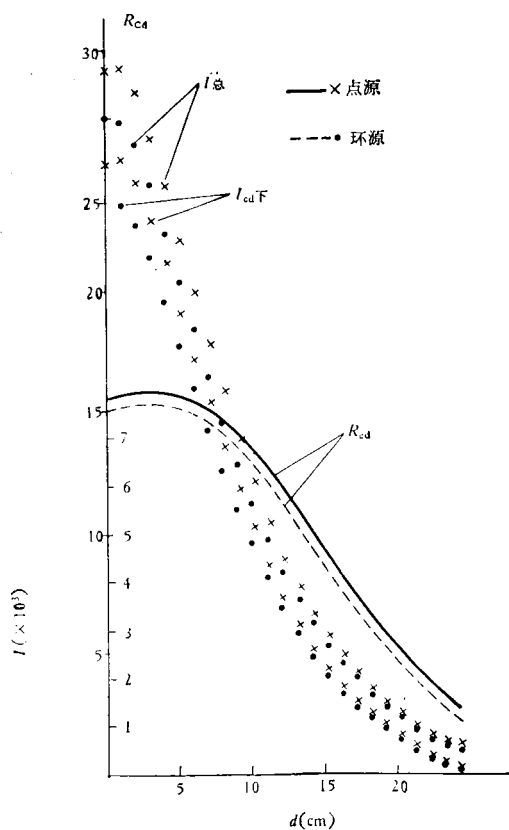


图7 井底石蜡层 d 对井口中子通量和镭比的影响

3. 热中子的最佳引出

为了在井口方向上获得较强的热中子束,我们研究了慢化体一些几何因素的影响。

(1) 井底石蜡层厚度 d 对井口中子的影响

图7表示 $r = 25\text{cm}$, $L = 23\text{cm}$ 时,改变 d (即改变 l) 对井口中子通量及镅比的影响。由图可见当 $d = 1\text{cm}$ 时,石蜡柱井口的中子通量最大,镅比也较高。且在 $d = 0-5\text{cm}$ 处,井口引出的中子都保持较大的镅比。

(2) 井孔对井口引出中子的影响

我们改变图1所示的石蜡柱引出井的直径(4.5cm, 7.0cm, 12cm),但上面覆盖的铝板孔径保持不变(4.5cm),将探头放在铝板孔处进行测量。图8,9分别是中子总计数率和镅比与中子源上方石蜡厚度 d 的关系。由图可见,总计数率随着孔径 ϕ 增大而增大。但镅比情况不同,当 d 较小时,它随着 ϕ 增大而减小;当 d 较大时,它随着 ϕ 增大而增大。因此,从计数率和镅比统筹考虑,选 $\phi = 7\text{cm}$ 为好。

4. 无井慢化体热中子的引出

为了简化装置,可以设计无井石蜡慢化体。

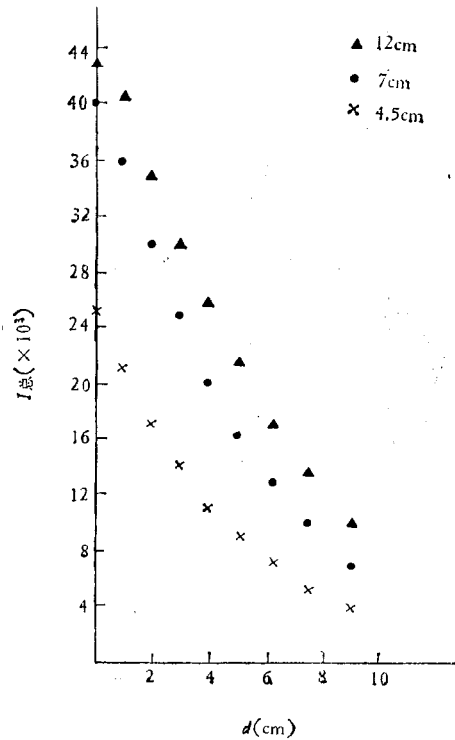


图8 井孔对总中子计数率的影响

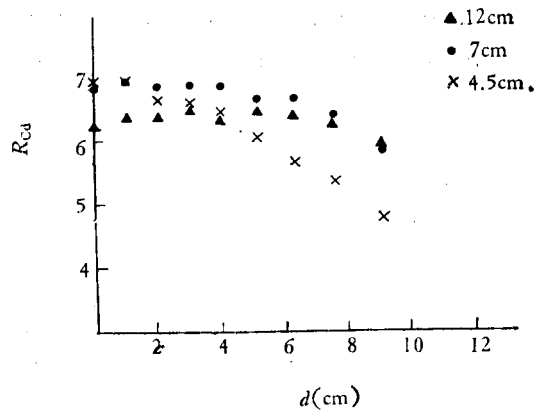


图9 井孔对镅比的影响

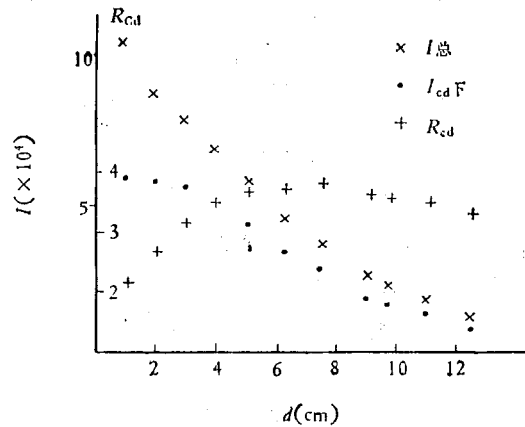


图10 石蜡层厚度对总中子计数率和镅比的影响

为此我们研究了石蜡柱上半部高度对表面引出中子的影响。

图10表示改变中子源上部覆盖的石蜡层厚度 d ,并且使探头与中子源的距离 $r \approx d$ 时,探测器中子总计数率和镅比的变化。由图可见, d 越小,中子总计数率越高,而镅比以 $d = 5-7\text{cm}$ 为好。

五、结论与讨论

1. 对图1所示的石蜡慢化体,本实验研究的结果基本上与早期工作的结论是一致的。我们确定慢化体半径为 23cm ,实验说明是合适的,可以近似认为是一个充分大的慢化体。

2. 为了进行热中子活化分析,可以将中子源放在引出孔 ($L = 22\text{cm}$) 底下 1cm 处。这

时可以引出最多的热中子,其镭比也较大。样品辐照位置最好在离井底 1cm 处。

3. 为了用热中子计测量小样品水分^[1,2]、检测样品内特殊元素含量及探伤等工作,井高 L 应该小一些(例如选 $L = 5\text{cm}$),井孔也不宜过大,使井口中子计数率和镭比都大一些。

4. 作为热中子透射计的热中子源,可以采

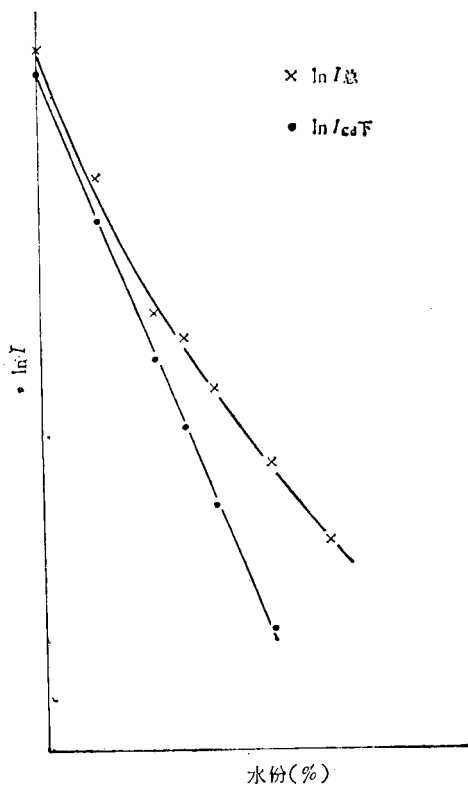


图 11 热中子透射法测小样品水分
中子计数率与样品水分的关系

用无井 ($L = 0$) 慢化体。这种装置比较简单。中子源上面的石蜡板不宜太厚, $d = 5\text{cm}$ 附近镭比较好。但是这种装置的缺点是镭比较小。对此,建议采用镭差法进行测量(即先用不包镭的探头测量计数率,后用包镭探头测镭上中子,两者之差就是镭下中子计数率)。这种测量还可消除本底的影响。图 11 表示用热中子透射法测某样品水分时,中子总计数率、镭下中子计数率与水分的关系。由图可见镭下中子计数率与水分的关系与理论预期更接近。

5. Cox 等曾提出在石蜡柱中的中子源下面放置钢板,可以增加引出的热中子通量。后来 M. Pracy 等反复对这个问题进行了实验研究,否定了 Cox 的结论。我们也进行了类似的实验测量,结论和 M. Pracy 的一样。所以,为了轻便起见,慢化体内不必再加反射体铁。

参 考 文 献

- [1] G. A. Fink, *Phys. Rev.*, **50**(1936), 738.
- [2] C. C. Jonker and J. Block, *Physica*, **15**(1949), 1032.
- [3] A. G. Cox, P. E. Francois and R. P. Gatrell, *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, **19**(1968), 541.
- [4] A. J. Cox and P. E. Francois, *Nucl. Instr. and Meth.*, **92**(1971), 589.
- [5] M. Pracy et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **135**(1976), 217.
- [6] P. L. Flgaard and V. Haahr, *Nucl. Eng. Design.*, **5**(1967), 311.
- [7] M. J. Zuber, *Radiostope Instruments in Industry and Geophysics (Proc. Symp. Warsaw, 1965)*, **2**, IAEA Vienna (1966), 383.

介 电 特 性 的 应 用

——静电封接

谢伯兴 何为成 应国民 尹文

(中国科学院昆明物理研究所)

一、前 言

静电封接是在外加电场下进行的封接,故

物理

又叫场助封接。它有快速、简便、牢固、清洁等优点。根据静电封接的基本原理,它可以对半导体(或金属)-玻璃(或其它绝缘体)实行封接。除了平面封接外,只要设计不同的电极形状,也