

反照中子剂量计的现场标定

雷传衡 吴靖民 刘列夫

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

反照中子个人剂量计的体积小,使用方便,易于测量,越来越为人们所乐于采用。使用反照中子剂量计一般要用标定源进行标定。但是现场能谱的差异会影响现场测量值的精度,因此必须解决现场标定问题。本文介绍了现场标定的方法以及利用 Bonner 柱进行加速器现场的标定技术。

一、引 言

用作个人剂量监测的中子剂量计主要有胶片、固体径迹探测器和反照中子剂量计。这三种个人中子剂量计各有优缺点。然而,从目前的情况来看,反照中子剂量计有发展的趋势,特别是在测量低能中子为主的场合更是如此。

使用反照中子剂量计时,首先遇到的问题是剂量值的标定问题。反照中子率是入射中子能量的函数,反照中子剂量计测得的剂量值对能量有明显的依赖关系。由于应用现场的能谱各各不一,在现场应用反照中子剂量计进行测量,所得结果往往差别很大。因此,用同一种反照中子剂量计在不同的中子辐射场中使用,必须分别予以标定,这就使反照中子剂量计的现场标定成为必须解决的技术问题了。

二、现场标定的方法

在现场对反照中子剂量计进行标定,最直接的方法是将反照中子剂量计和雷姆计同时放在现场某些地点受照射。在不同的剂量的情况下,读出反照中子剂量计的读数和雷姆计的读数,从而求出标定因子。这种直接标定的方法往往要化费相当长的时间,有时进行一次现场标定要化费几天的时间。由于测量时间长,现场的条件很难保持恒定,而且测量时间也很难估算得准确,在测量脉冲辐射场时更是如此。所得结果的误差就较大。甚至失去标定的意义。

为了能够在较短的测量时间内获得较为准确的现场标定,我们采用了标定因子修正法^[1]。其原理如下。

首先,将反照中子剂量计作常规标定。即用中子雷姆计作标准,在某种中子源,如

Am-Be 源、 ^{252}Cf 源的辐照下, 读出反照中子剂量计的 *TLD* 读数和 中子雷姆计的读数。从而求得标定源的标定因子 K 。

$$K = \frac{D_0}{D_1},$$

式中 D_0 为中子雷姆计读得的每小时毫雷姆值, 而 D_1 是反照中子剂量计硼帽内的 ^6LiF 和 ^7LiF 在 *TLD* 读出仪上读得的每小时计数的差值。可见, 标定源的标定因子 K 的量纲为每个计数的毫雷姆值。

必须指出的是 K 值是入射中子能量的函数, 而表示这种函数的方法为:

$$K \left(\frac{D_2}{D_1} \right),$$

式中 D_2 是反照中子剂量计硼帽外 ^6LiF 和 ^7LiF 在 *TLD* 读出仪上读得的每小时计数的差值。而 $\frac{D_2}{D_1}$ 的值是入射中子能量的函数。实验表明, K 值可由下式表示:

$$\log K = \log K_0 - m \log \frac{D_2}{D_1}.$$

为了修正现场的能谱差异所造成的影响, 必须进一步对这个标定因子 K 作现场修正, 即必须根据不同的现场条件求出不同的现场修正因子 ρ 。

为了能在较短的时间内获得较为准确的现场修正因子 ρ , 可以采用 Bonner 球的方法。所谓 Bonner 球就是把 ^6LiF 和 ^7LiF 或 BF_3 计数管放在不同厚度的球形石蜡慢化体内。实验表明, 3 英寸 Bonner 球的能量响应和反照中子剂量计的响应大体相近^[2]。因此, 可以利用装有 BF_3 热中子探测器的 Bonner 球来代替反照中子剂量计作现场标定。由于 BF_3 计数管的计数率直接反映中子剂量率, 所以测量可以在很短的时间内完成, 例如 1~2 分钟, 从而消除了测量时间长的困难以及由此引起的可观的测量误差。

具体做法是先用标定反照中子剂量计的同一种中子源在相同的测量条件下测得 Bonner 球的计数率和雷姆计读数的关系曲线。从而求得 Bonner 球在标定源上的转换率, 即每毫雷姆/小时的计数率值 (CPS/mrem-h^{-1})。然后用 Bonner 球在现场测得其计数率与雷姆计读数的关系曲线。从而求得 Bonner 球在现场的转换率。这两者之比即为现场修正因子 ρ , 即

$$\rho = \frac{\text{Bonner 球在标定源上的转换率}}{\text{Bonner 球在现场上转换率}}$$

由此可见, 现场所受的中子剂量为

$$D_{nf} = \rho K D_{1f},$$

式中 D_{1f} 为现场个人佩带的反照中子剂量计硼帽内 ^6LiF 和 ^7LiF 读数的差值。可以认为

$$D_{nf} = K_f D_{1f},$$

$$K_f = \rho K,$$

式中 K_f 为现场标定因子, 它是标定源标定因子 K 和现场修正因子 ρ 的乘积。

三、实验装置和测量结果

(1) 反照中子剂量计的 ^{252}Cf 源标定

我们采用北京核仪器厂生产的反照中子剂量计。用 ^{252}Cf 中子源辐照距地面 1.5 米高的紧贴人体模型上的反照中子剂量计系统。人体模型为 $20 \times 35 \times 45\text{cm}$ 的有机玻璃箱, 中间充水。人体模型所在位置的中子剂量当量用雷姆计 (Studsvik 2202D 型) 测定。由此得到的 K 值曲线如图 1 所示。图中也画出了北京核仪器厂给出的曲线以及 Piesch 所作的 K 值曲线^[3]作为比较。

(2) Bonner 柱探头

我们用 Bonner 柱^[4]代替了 Bonner 球。当壁厚在 3cm 时, Bonner 柱的能响与反照中子剂量计的能响大体相近, 见图 2。由 Bonner 柱构成的探头如图 3 所示。石蜡圆柱长 18cm, 外径为 10cm, 内孔直径为 4cm, 壁厚 3cm (简称为 3cm Bonner 柱)。石蜡圆柱孔内中央放置 BF_3 计数管。 BF_3 计数管的型号为 J426Z, 系上海电子管厂产品。其长度为 12cm, 直径为 2.5cm。 ^{10}B 浓度为 96%, 充气气压为 1100mmHg。工作在 2400v, 坪长为 300v, 坪斜为 3%/100v。整个石蜡圆柱盛于套桶内。前置放大器和 BF_3 计数管紧密相连, 前置放大器外还套有屏蔽套。

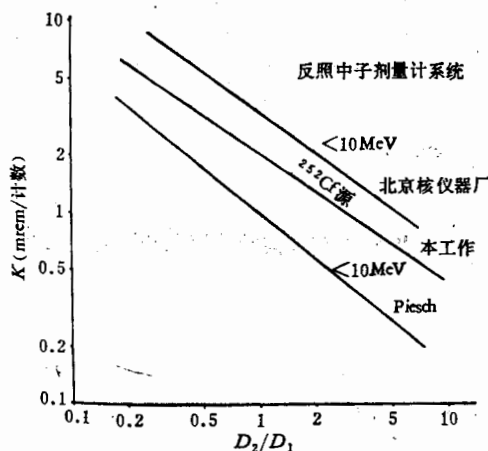


图 1 用 ^{252}Cf 源所得的标定曲线 (K 与 D_2/D_1 的关系曲线)。

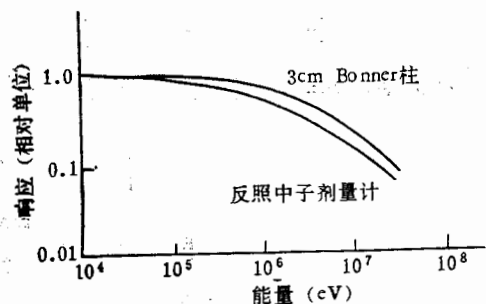


图 2 3cm Bonner 柱和反照中子剂量计的能响比较。

(3) Bonner 柱在 ^{252}Cf 源上的标定

用 ^{252}Cf 中子源, 在不同的距离上, 对 3cm Bonner 柱进行标定。所得数据在扣除本底, 并对散射影响作了修正后得到的曲线如图 4 所示。由此可以求出 Bonner 柱读数和雷姆计读数的转换关系 (雷姆计的灵敏度为 $3.6 \text{ CPS/mrem} \cdot \text{h}^{-1}$), 如图 5 所示。曲线的斜率即 3cm Bonner 柱在 ^{252}Cf 源上的转换率, 约 $8.7 \text{ CPS/mrem} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

(4) 在质子直线加速器上的现场标定

我们用以标定的现场是高能物理研究所建造的 10 MeV 质子直线加速器。因此，需要将上述 3cm Bonner 柱探头放在质子直线加速器大厅内进行标定。图 6 是在质子直线加速器现场标定时，Bonner 柱探头的位置分布图。Bonner 柱探头经 20 米长的同轴电缆连接到放在电源室的放大器，放大器的微分和积分时间常数均为 $0.8 \mu\text{s}$ 。然后由定标器计

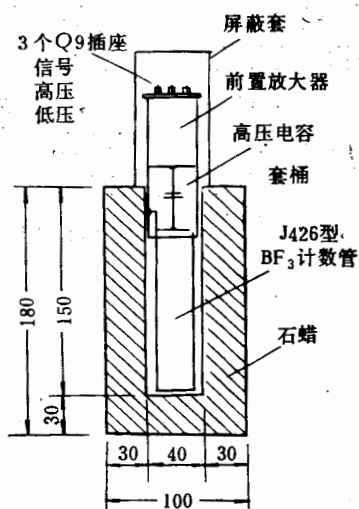


图 3 3cm Bonner 柱探头结构示意图。

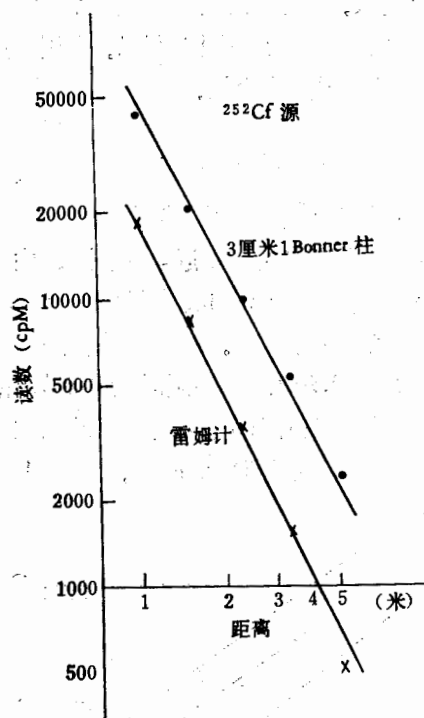


图 4 3cm Bonner 柱及雷姆计读数和距离的关系。

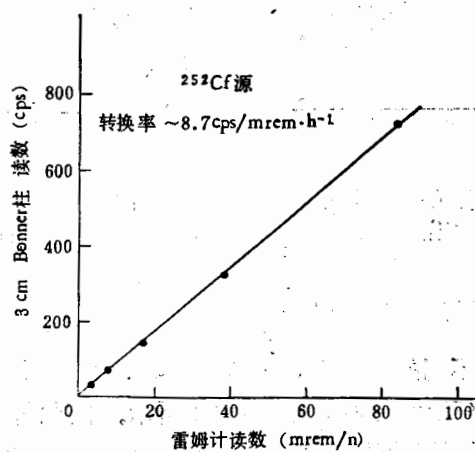


图 5 3cm Bonner 柱读数和雷姆计读数的转换关系。

数。为了排除干扰，信号电缆、高压电缆和前放电源电缆都用同轴电缆，并外套铜网屏蔽。

由于这台加速器是脉冲辐射场，一般雷姆计的响应速度不够，有严重的漏计数现象，这将影响标定的精度。为了克服这个缺点，我们采用了包银的计数器（即包银的雷姆计）^[2]作为标准。这台包银雷姆计是事先进行了刻度的。图 7 表示现场标定测量框图。在平行于束流方向（即 0° 方向）和垂直于束流方向（即 90° 方向）共 12 个位置上作了测量。

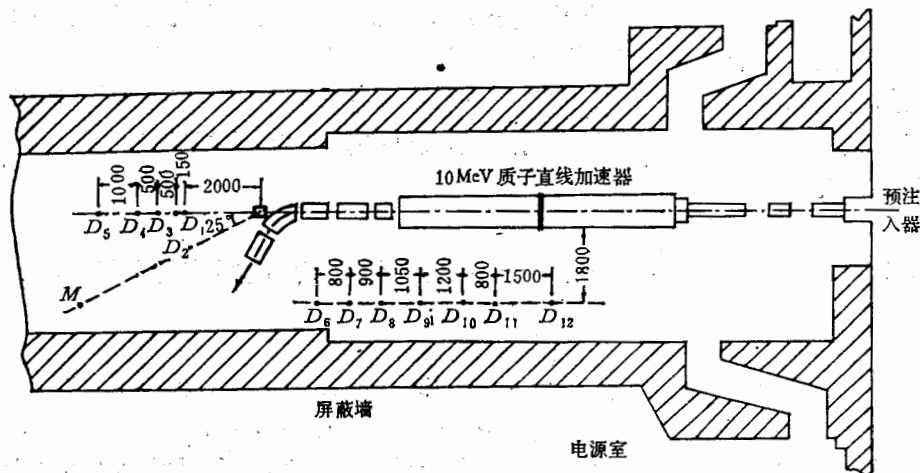


图 6 在质子直线加速器现场标定时 Bonner 柱探头的位置分布图

脉冲频率：2PPS，脉冲宽度：100 μ s，平均束流：50mA
M：包银雷姆计，D₁~D₁₂：Bonner 拉探头位置。

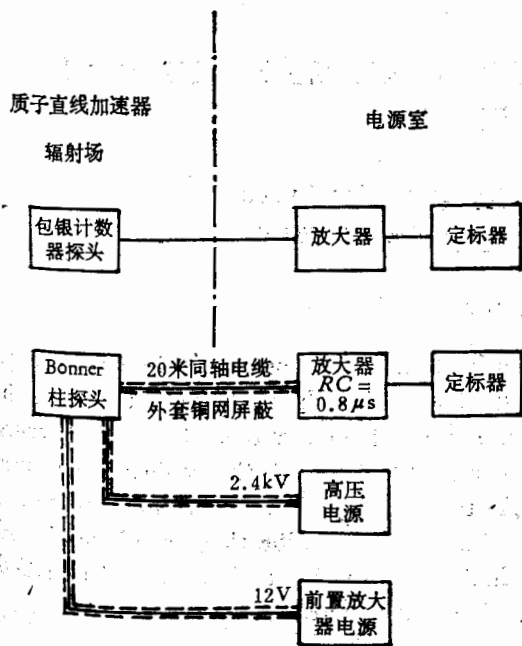


图 7 现场标定测量框图。

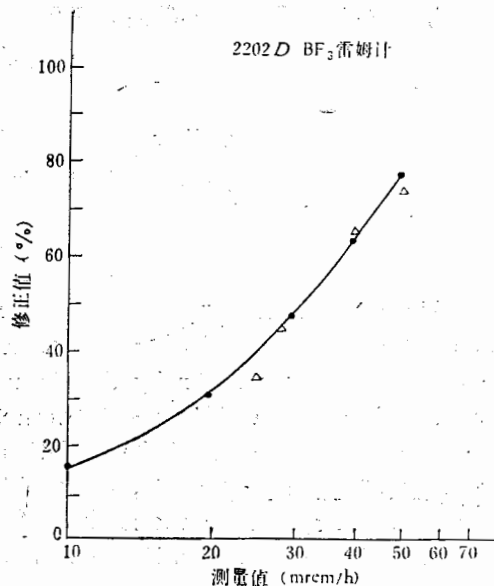


图 8 Bonner 柱漏计数修正曲线
●理论值 △实验值。

由此求得 Bonner 柱在现场的平均转换率为 4.4。因此质子直线加速器脉冲辐射场的现场修正因子为

$$\rho = \frac{8.7}{4.4} = 2.0,$$

故

$$D_{nf} = 2KD_{if},$$

在测量过程中照理 3cm Bonner 柱的计数也应按图 8 所示的曲线作计数率修正。这种修正的结果将导致 ρ 值小于 2。为了安全起见,我们仍取 ρ 值等于 2。这样所得的 D_{nf} 值偏于保守,而这正是个人剂量监测的一般准则。

显然,这种利用 Bonner 柱的现场修正因子法是一种快速有效地进行现场标定的方法,并且可以得到较为准确可用的结果。它不仅可用于加速器的辐射场,对其他辐射场也是可以应用的。

本工作得到刘桂林同志的指导。李建平和刘曙东两位同志的支持和帮助,作者表示感谢。

参 考 文 献

- [1] R. V. Griffith and D. E. Hankins, Proc. 5th Int. Cong. IRPA (1980).
- [2] D. E. Hankins, Proc. 9th. Midyear Topical Symposium, Health Physics Society, (1975) 861.
- [3] E. Piesch, *Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes*, Vol. 11, (1973), 31.
- [4] Takashi Nakamura et. al, *Nuclear Science and Engineering*, 77(1981), 182.
- [5] 李建平, 唐鄂生, 原子能科学技术, 2(1983), 206.

THE IN-FIELD CALIBRATION OF ALBEDO NEUTRON DOSIMETER

LEI ZHUAN-HENG WU JING-MIN LIU LIE-FU
(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

Albedo neutron personnel dosimeter has been more and more widely used due to its small volume and easy in measurement. Great attention should be paid to the calibration technique which finally determines the error of the measurement. In fact, there usually exists certain difference between the energy spectrum of the radioactive source for calibration and that of the radiation field to be measured. In order to improve the accuracy of the measurement, the problem of the in-field calibration technique should be solved. In this paper, the method of the in-field calibration and the use of so-called Bonner cylinder for the in-field calibration of accelerator are described.