

· 研究简报 ·

核事故辐射剂量估算的ESR方法

罗达玲 李冕丰 张纯祥

(物理学系)

摘 要

选取从核事故现场和受照人员身上得到的材料,采用电子自旋共振(ESR)谱仪测定 γ 辐射诱发的自由基浓度、辐射响应特性、ESR信号衰退曲线及零剂量读数。研究ESR方法用于核事故剂量估算的可行性。

关键词 核事故, 辐射剂量估算, 电子自旋共振, 自由基浓度

电离辐射几乎在所有的受照物质中都会产生自由基,利用电子自旋共振(ESR)技术测量自由基的产额,可推断电离辐射的剂量。已有的工作表明^[1,2],丙氨酸剂量计具有体积小、稳定性好、线性范围宽、测量精度高和生物等效性好等优点,已广泛用作次级剂量标准及传递剂量计。

核事故常常是在事故现场和受照人员缺乏剂量监督的情况下发生的,如果能就地取材,从事故现场或受照人员的身上选取某些合适的材料,用ESR技术测量其中产生的长寿命自由基浓度,从而估算核事故的剂量,则将是一种极为方便的方法。M.Ikeya等^[3,4]和T.Nakajima^[5,6]曾用人牙、衫扣和骨等材料估算日本原子弹爆炸时的吸收剂量。本工作选用从核事故现场和受照人员身上易取得的材料,如棉纱、聚酯纤维和人发等,研究用ESR技术估算核事故剂量的可行性,取得一些初步的结果。

1 材料和实验

选用棉纱、聚酯纤维和人发材料,将其剪碎添加50%(按重量比)的石蜡混合均匀,压制直径为3mm的圆柱形样品,样品重量为60~80mg。

进行辐照实验时,将样品封装入塑料管内,再放进用厚度为4.5mm的有机玻璃板做成的小盒内以实现电子平衡。采用广东省辐照中心的 $3.7 \times 10^{15} \text{Bq}^{60}\text{Co}$ γ 辐射源。在常温下进行辐照。

采用JES FE1NG电子自旋共振谱仪测定ESR谱,该谱仪工作的微波区在X波段,通常微波频率 $\sim 9.45 \text{GHz}$ 。磁场设置在3360Gs,测谱时磁场扫描范围选为100Gs。调制频率为100kHz。微波功率、放大倍数及时间常数按样品及其吸收的辐射剂量不同而改变,谱仪记录下ESR吸收谱的一阶微分谱,用其主要吸收峰的振幅或谱下的面积来相对

本文1990年2月12日收到

量度样品中辐射产生的自由基浓度,即用每克样品中ESR信号的变化($\Delta\text{ESR/g}$)来表征自由基浓度。

2 结果和讨论

2.1 电子自旋共振谱 图1为 γ 辐照后的丙氨酸(a), 聚酯纤维(b)和棉纱(c)3种样品的ESR一阶微分谱。对 γ 辐射的吸收剂量均为 $1.2 \times 10^4 \text{ Gy}$, 测谱时, 微波功率为1 mW, 响应为0.3s, 分辨为0.03。如图1所示, 棉纱及聚酯纤维的ESR谱都具有较好的分辨。我们对样品进行多次重复测量的结果表明, 其ESR谱的谱形基本不变, 可用主吸收峰的峰—峰值来量度样品中的自由基浓度。

从图1中所标出的放大倍数可知, 吸收剂量相同的情况下, 棉纱中辐射诱发的自由基浓度仅比丙氨酸剂量计低一个数量级, 而聚脂纤维则少几十倍。

2.2 辐射剂量响应 用在 ^{60}Co γ 辐射源上接受了不同吸收剂量的样品测定电子自旋共振谱。同种样品在不同吸收剂量下的ESR一阶微分谱的谱形相同。以每克物质的ESR信号振幅增量值($\Delta\text{ESR/g}$)量度样品中自由基浓度值, 图2给出棉纱和聚酯纤维样品 $\Delta\text{ESR/g}$ 值与吸收剂量(Gy)的关系, 这两种样品在所测剂量段内均显示出线性的辐射剂量响应关系。因此, 原则上都可由测得的 $\Delta\text{ESR/g}$ 值计算出吸收剂量的大小。

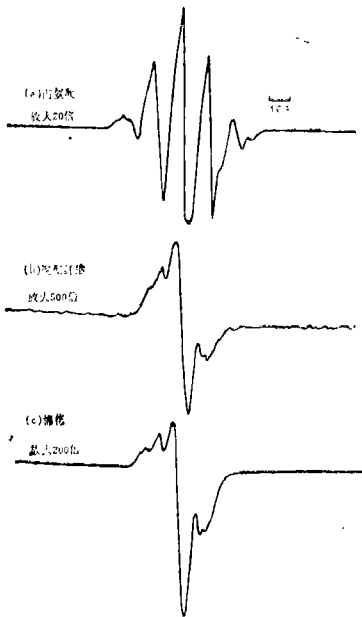


图1 γ -射线辐照后的丙氨酸(a), 聚酯纤维(b)和棉纱(c)的ESR谱

Fig.1 ESR spectra of alanine (a), polyester fibres (b), cotton (c) samples irradiated by gamma-rays

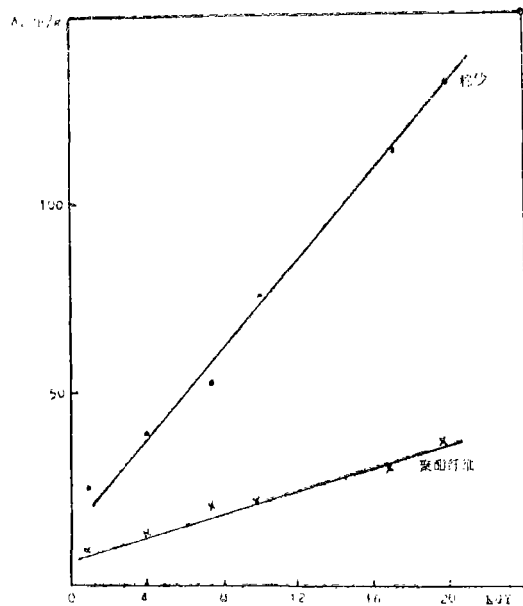


图2 棉纱和聚酯纤维对 ^{60}Co γ -射线的剂量响应曲线

Fig.2 Dose-response curves of cotton and polyester fibres with gamma-rays

头发样品的ESR谱只有一个吸收峰, g 值等于自由电子的 g 值。在上述剂量段内, 头发样品的ESR信号幅度并未随吸收剂量变化而明显改变。

2.3 衰退曲线 将接受同一 γ 吸收剂量(12kGy)辐照后的丙氨酸剂量计、棉纱和聚酯纤维样品封装于塑料管内, 常温存放在干燥瓶中。经不同的存放时间, 对三种样品重复测量ESR吸收谱, 以观测其ESR信号的衰退情况。将第一次测得的ESR信号幅值表示为 $ESR(t=0)$, 再经过 $t=21, 46, 93$ 和 186 h几个不同时间测得的ESR信号幅值为 $ESR(t)$ 。图3中表示出 $R(=ESR(t)/ESR(t=0))$ 值随时间 t 的变化关系。丙氨酸剂量计中生成的长寿命自由基非常稳定, 其ESR幅值几乎不随时间增长而改变, 但棉纱和聚酯纤维的ESR信号幅值则明显减少, 这表明在其中产生的长寿命自由基有明显的衰退现象。因此, 若用以作为事故剂量计时, 必须进行衰退修正。

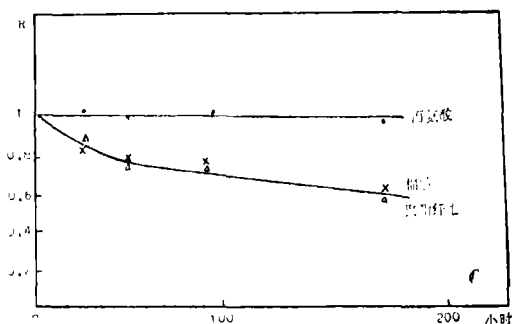


图3 受 γ -射线辐照后的丙氨酸、棉纱和聚酯纤维样品中长寿命自由基的衰退曲线
Fig.3 Decay curves of long life time free radicals in alanine, cotton and polyester fibres samples irradiated by gamma-rays

2.4 零剂量读数 每克未照射样品所测得的ESR信号振幅值, $ESR(0)/g$, 称为零剂量读数, 我们自制的丙氨酸剂量计的零剂量读数为 $0.14 \sim 0.16$, 棉纱样品为 1.61 , 聚酯纤维为 0.90 。丙氨酸剂量计的读数相当于 1 至几个Gy的吸收剂量, 而棉纱和聚酯纤维样品相应的剂量为几个至几十个Gy。零剂量读数大小取决于材料本身及ESR谱仪的噪声信号。零剂量读数及其涨落限制了ESR方法的灵敏度。人发样品这个问题更为突出, 不仅其读数更大, 并且因人不同而有较大的差异, 我们对老、中、少不同年龄段的头发样品进行实验, 零剂量读数明显不同。

3 小结

上述实验结果表明, γ 辐射在所选取的材料中能诱发长寿命的自由基, 辐射剂量响应特性为线性并且存在衰退现象。在把ESR技术用于核事故辐射剂量估算时, 对衰退现象可进行修正。目前存在的关键问题是方法的灵敏度还不能满足实际的需要。但从理论估计, ESR方法的探测下限可达到实际要求。大多数商品化的ESR谱仪对 0.1 mT信号宽度, 探测下限为 $10^9 \sim 10^{10}$ 个自由基, 而对 $G=1.0$ 的材料吸收 1 mGy的剂量产生的自由基数约为 $6.3 \times 10^{10}/g$, 而大多数物质的 G 值在 0.1 左右。若样品质量用 $60 \sim 100$ mg, 信号宽度一般大于 1 mT, 探测下限对应的吸收剂量可接近 10 mGy。因此, 若能选取合适的

材料,提高ESR谱仪的灵敏度,如采用在线计算机处理ESR谱数据,加上液氮或液氮温度下测量,ESR方法灵敏度可大大提高。将它用于核事故的辐射剂量估算是一种方便的方法。

参 考 文 献

- [1] 罗达玲等,中山大学学报(自然科学版),1988,4,50
- [2] Regulla D F et al., *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 33(1982), 1101
- [3] Ikeya M et al., *Science*, 207(1980), 977
- [4] Ikeya M et al., *Jap. J. Appl. Phys.*, 23(1984), 698
- [5] Nakajima T et al., *J. Nucl. Science and Technology*, 11(1974), 575
- [6] Nakajima T, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 33(1982), 1077

Evaluation of Nuclear Accident Radiation Dose with Electron Spin Resonance Technique

Luo Daling* Li Mianfeng Zhang Chunxing

Abstract

Electron spin resonance (ESR) spectra of several organic materials, including cotton, polyester fibres and hair irradiated by gamma-rays, have been measured. The stability of free radicals resulting from gamma rays irradiation in these materials, dose responses and zero dose readings have been studied. Besides, the feasibility of applying ESR technique to evaluation of nuclear accident radiation dose has been discussed.

Keywords nuclear accident, evaluation of radiation dose, electron spin resonance, free radical concentration

* Department of Physics