

有色聚乙烯薄膜剂量计剂量学特性研究

吕恭序 包华影 贾海顺 陈文琇

(北京师范大学化学系, 北京)

摘要 用丙烯酸接枝后的聚乙烯薄膜, 可用不同的染料进行染色, 制成有色聚乙烯薄膜剂量计。这种剂量计对 ^{60}Co γ 射线的剂量响应在一定的范围内呈线性。用不同的染料染成的薄膜有不同的剂量范围。研究了辐照时温度、湿度和辐射角度对这些薄膜的响应的影响, 吸收剂量测量的精密度, 以及这些膜辐照前后的稳定性。结果表明, 有色聚乙烯薄膜可以用于 ^{60}Co γ 射线辐照工艺中的常规剂量测量。

关键词 有色聚乙烯, 剂量计, 剂量响应特性, 稳定性

前言

关于聚乙烯(PE)薄膜剂量计, 我们实验室曾作过一些工作^[1-4]。它适用的剂量范围在 $10-10^3\text{kGy}$ 之间。线性较好的范围在 $50-800\text{kGy}$ 之间。虽然剂量范围较宽, 但由于其测量下限较高, 不适于辐射加工的剂量测量。我们曾采用加大厚度的方法以降低测量下限^[3-4], 但仍不能低于 5kGy , 且在测量较低吸收剂量时, 误差较大。本工作采用将聚乙烯薄膜染色的办法, 在可见光部份显色后进行测量, 可以使测量下限降到 3kGy , 从而提高了测量灵敏度。该剂量计辐照前后均很稳定, 在不同温度($4-30^\circ\text{C}$)、不同角度($0-180^\circ$)下照射时, 对剂量计的响应均无明显影响。该体系重现性在 5% 以内, 总不确定度在 10% 以内, 在辐射加工中可作为常规剂量计使用。

实验

1. 材料及设备

(1) 已染色好的聚乙烯接枝膜: 聚乙烯-甲烯兰剂量膜(以下简称 PE-MB 膜), 聚乙烯-孔雀绿剂量膜(以下简称 PE-MG 膜), 聚乙烯-结晶紫剂量膜(以下简称 PE-CV 膜); (2) ^{60}Co γ 辐照源: 活度 $6.5 \times 10^{14}\text{Bq}$, 剂量率 25Gy/min 和 170Gy/min , Fricke 及硫酸铈剂量计标定; (3) 紫外可见分光光度计: Hitachi 200-20 型。

2. 实验方法

(1) 一般条件下的辐照是将剂量膜夹在 10mm 的 PE 片之间, 两边各 5mm 厚, 以保证电子平衡; (2) 在不同湿度下的辐照实验, 是将剂量膜放在图 1 的磨口瓶中, 加入不同的饱和盐水溶液, 以得到不同的相对湿度^[5], 实验所用的饱和盐溶液见下表:

饱和盐溶液 相对湿度(%)	LiCl	MgCl ₂	Mg(NO ₃) ₂	NaCl	K ₂ SO ₄
	12.4	33.6	54.9	75.5	96.4

辐照前, 先在不同饱和盐溶液的磨口瓶中放置 6 天, 测量本底光密度, 然后放置原瓶中 1 天

后, 连同容器置于辐照场中辐照; (3) 不同角度下的辐照是在聚苯乙烯模体中进行的。

结果和讨论

1. 有色聚乙烯膜的剂量学特性

(1) 剂量膜的光吸收曲线(见图2)。PE-MB、PE-MG及PE-CV膜的吸收峰分别为667, 630和587 nm, 这和文献上报道的各染料的吸收峰是一致的^[6-7]。吸收峰的OD值随吸收剂量的增加而减少(见图3、4), 因此可以按其受辐照后的退色程度来度量吸收剂量的大小。

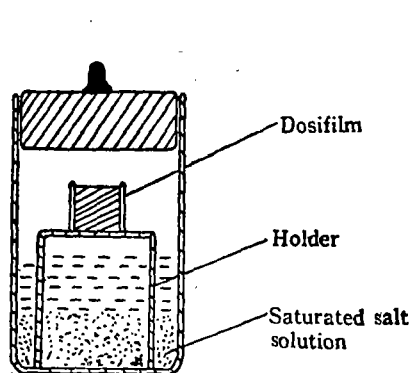


Fig 1. Glass vial used for different humidity studies.

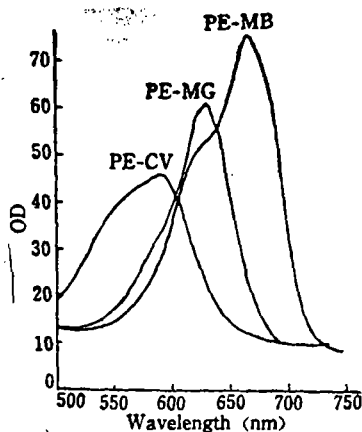


Fig 2. Three kinds of dosifilm spectrum.

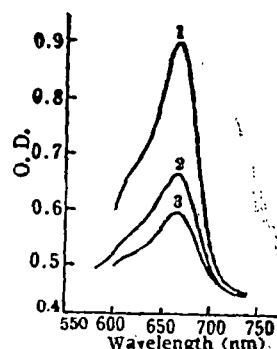


Fig 3. Optical density on PE-MB dosifilm vs absorbed dose.

- (1) 30 kGy;
(2) 150 kGy;
(3) 200 kGy.

(2) 剂量响应曲线。图5表明了三种剂量膜吸收剂量与相对光密度改变的关系呈较好的线性, 可用下列方程式归一。

$$\lg \Delta OD = a + \lg D$$

式中 $\Delta OD = \Delta OD / OD_0$; D 为吸收剂量。

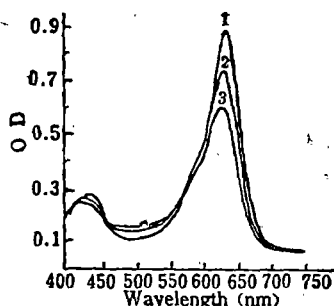


Fig 4. Optical density on PE-MG dosifilm vs absorbed dose.

- (1) 3 kGy; (2) 21.9 kGy;
(3) 50 kGy.

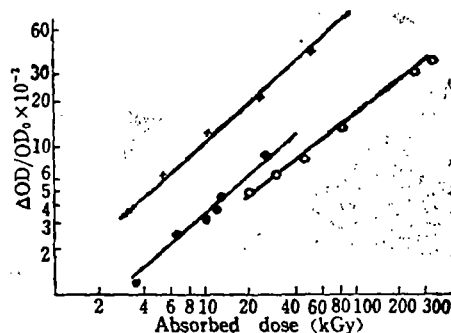


Fig 5. The relative change optical density ($\Delta OD / OD_0$) on dosifilms vs absorbed dose.
($\times$) PE-MG grafting 50%; ($\bullet$) PE-CV grafting 30%; ($\circ$) PE-MB grafting 45%.

各膜的线性剂量响应范围及灵敏度见表1。因此这三种剂量膜均可用于辐射加工中的常规剂量测量。尤其是PE-MG膜, 其测量范围适中, 灵敏度又较高, 测量误差较小。表2所列数据为

PE-MG 的剂量响应值, 其线相关系数约为 0.999, 相对偏差为 2.25%。用于常规剂量测量是完全可以满足要求的。

(3) 在不同湿度下的照射效果。以 PE-MG 为例, 图 6 为在不同湿度下的照射效果。由图中看出, 湿度对剂量膜的照射结果影响较大。虽然 PE 膜并不亲水, 但由于其表面接枝

了丙烯酸, 从而加大了膜的极性, 也就是说亲水性加大, 破坏了剂量膜辐照后光密度改变的规律性。凡是极性的基膜, 例如聚乙烯醇(PVA)、聚乙烯缩丁醛(PVB)等均受湿度的影响^[5]。为了降低湿度的影响, 可以将剂量膜封入 PE 袋中使用。

Tab 2. The response data on PE-MG dosifilm.

Absorbed dose (kGy)	Relative change of optical density $\Delta OD/OD_0$	Relative standard deviation (%)	Remarks
2.9994	0.037 ± 0.0016	4.3	$r = 0.99898$
4.9991	0.0606 ± 0.0026	4.3	$a = -1.80662$
10.006	0.111 ± 0.0047	4.2	$b = 0.827$
21.881	0.199 ± 0.004	2.0	$Sb/b = 2.25\%$
49.981	0.371 ± 0.013	3.5	
81.847	0.618 ± 0.011	1.8	接枝率~50%

(4) 在不同温度 and 不同角度下的辐照效果。图 7、8、分别为 PE-MG 膜在不同温度*和不同角度下的照射结果。由图中可知, 此种剂量膜在 4—30℃之间辐照以及在 0—180°角度间辐照时, 温度及角度对结果均无明显影响。

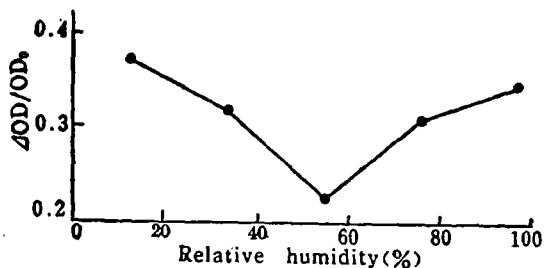


Fig 6. The relative change of optical density on PE-MG dosifilm at various relative humidities.

(5) 有色 PE 剂量膜的测量误差及总不确定度。挑选接枝率相同, 而浸染成不同深浅颜色即本底光密度 OD_0 值在 0.7—1.2 之间的 PE-MG 膜数张, 照射相同剂量后, 测 ΔOD , 并计算出 $\overline{\Delta OD}$, 结果见表 3。从表中可看出, 剂量膜辐照后的光密度改变与膜本底光密度值密切相关。为了减少由于本底光密度分散对测量

结果造成的误差, 采用相对光密度改变 $\overline{\Delta OD}$ 作为剂量膜的吸收剂量响应值。

以 PE-MG 膜为例, 剂量膜测定吸收剂量的总不确定度估算如下:

批量重复性(包括染色均匀度、接枝率差异及 G 值差异等)为 4%; 辐照环境影响为 4.5%; 膜测量的分散性为 4.5%; 剂量响应曲线为 3%; 吸收剂量刻度为 3%; 总不确定度为 8.6%。

我们曾经用该剂量膜在南京辐照中心、中科院原子能研究所及生物物理所等几个钴源装置上实际作了剂量测量。通过同其它剂量计及标准剂量计的比对, 误差均在 10% 以内。

2. 剂量膜的稳定性

(1) 辐照前的稳定性。辐照前的剂量膜置于暗处保存 4 个月以上, 本底波动在 3% 左右, 如

* 该试验系中国计量院张彦立同志所作, 在此表示感谢。

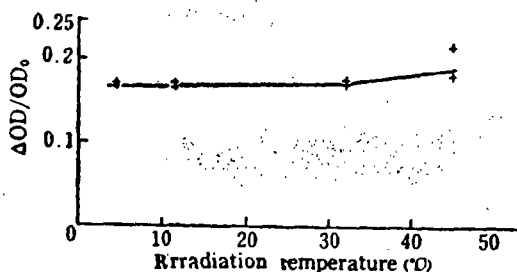


Fig 7. The effect of irradiation temperature on γ -ray response of PE-MG

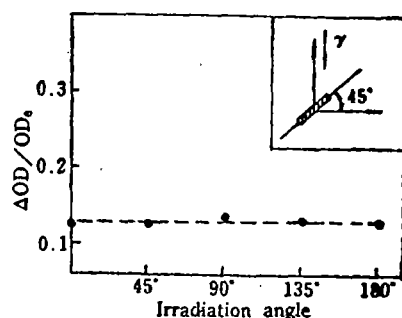


Fig 8. The influence of irradiation angle on PE-MG dosifilm.

果扣除仪器测量的误差,本底波动只有1%左右。另外还将PE-MG膜置于不同温度及不同湿度下保存3个月以上。其中除湿度为96%的膜波动约5%左右外,其余均未发现有可感知的变化。放在45℃、5℃及-5℃不同温度下保存,膜也较稳定。在室内自然光下保存时,本底波动在2%以内。这说明此种剂量膜可以不避光操作,给使用带来极大的方便。

(2) 辐照后的稳定性,将剂量膜辐照20 kGy后,置于暗处保存4个月以上,光密度波动小于1%,由此可见此种剂量膜照射后的值可以作为档案保存。同时还作了PE-MG膜辐照后存于不同湿度和不同温度下的实验。结果发现,在相对湿度为12.4—55%时PE-MG膜存放2个月未见光密度的改变,在相对湿度75%时,存放2周后,光密度值即下降5%左右,当相对湿度再增大时,其光密度的波动还要增加。在-5—40℃之间,不同温度下保存时存放2个月未见异常。

结 论

有色聚乙烯剂量膜在 ^{60}Co 射线照射下,在可见光区不同波长处引起光密度的下降。其相对光密度的改变与吸收剂量的关系在一定范围内呈较好的线性;PE-MG膜的剂量范围是3—80 kGy,PE-MB膜是3—300 kGy,PE-CV膜是3—25 kGy。尤以PE-MG适合辐射加工剂量范围。该剂量体系辐照前后均稳定,还可以不避光操作,便于使用。因此认为,该体系可以作为辐射加工过程中的常规剂量计使用。

Tab 3. The effect of measurement results on dosifilm with various background optical density

测量项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean value X	Standard deviation S_x	Relative standard deviation $S_x/X(\%)$
OD_0	0.726	0.805	0.806	0.813	1.147	1.148	1.153	1.197	1.217	1.001	0.206	20.5
OD_1	0.601	0.661	0.670	0.668	0.952	0.946	0.949	0.982	0.995	0.824	0.167	20.3
OD	0.125	0.144	0.136	0.145	0.205	0.202	0.204	0.215	0.222	0.178	0.039	21.9
$\Delta OD/OD_0$	0.172	0.179	0.169	0.178	0.179	0.176	0.177	0.180	0.182	1.177	0.004	2.3

OD_0 —Optical density of unirradiated dyeing film,

OD_1 —Optical density of irradiated dyeing film,

ΔOD —Change of optical density $\Delta OD = OD_0 - OD_1$,

$\Delta OD/OD_0$ —Relative change of optical density.

参 考 文 献

- [1] W. Chen, H. Jia, X. Lu, D. Liu and H. Bao, *Radiat. Phys. Chem.*, 16, 195 (1980).
[2] W. Chen, G. Lu and H. Jia, *Chinese Journal of Nuclear Science and Engineering*, 3(4), 355 (1983).
[3] W. Chen, H. Jia, G. Lu and H. Bao, *Proceedings of Conference on Radiation Curing Asia*, Tokyo, Japan, Oct. 20—22, 181 (1986).
[4] W. Chen, H. Jia and G. Lu, *Radiat. Phys. Chem.*, 33(5), 417 (1989).
[5] A. miller, *IAEA-TECDOC-321*, 187(1984).
[6] R. M. Uribe, *IAEA-TECDOC-321*, 159(1984).
[7] K. Bobrowski, G. Dzierzkowska, J. Groolkowski, Z. Stnglik, Z. P. Zagorski and W. L. Mclauglin, *J. Phys. Chem.*, 89, 4358, (1985).

(稿件收到日期: 1989 年 2 月10 日)

INVESTIGATION OF THE DOSIMETRY CHARACTERISTICS OF DYEING POLYETHYLENE FILM DOSIMETER

Lü Gongxu, Bau Huaying, Jia Heisheng and Chen Wenxiu

(*Department of Chemistry, Beijing Normal University, Beijing*)

ABSTRACT The polyethylene film grafted with acrylic acid then dyed with some dyestuffs and produced dyeing polyethylene dosifilm. The response of ^{60}Co γ ray absorbed dose on these films is a linear. The different dose range dependents on different dyestuffs. The effect of temperature, relative humidities and irradiation angle during irradiation on the response and the deviation of measurement for these films are studied. The stability of these films before and after irradiation is studied too. The research results show that dyeing polyethylene dosifilm are suitable used as a routine dosimeter in radiation processing with ^{60}Co gamma radiation.

KEY WORDS Dyeing polyethylene, Dosimeter, Response characteristics, Stability