

# $^{60}\text{Co}$ $\gamma$ 辐照装置增源后剂量测定

彭涛 宋聚忠 谢怀江 寇庆河

(沈阳军区军事医学研究所, 沈阳 110031)

**摘要** 在增源 1.22 pBq  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  辐照装置启用前, 准确测量了源到辐照位置重复性和辐射场空间剂量率, 以及产品箱中吸收剂量的不均匀度。对岛津 UV-2201 紫外分光光度计进行了校准并测定了该仪器摩尔消光系数。在实验条件下使硫酸亚铁剂量计标准化, 剂量测试结果与国家计量院比对具有较好的一致性。

**关键词** 硫酸亚铁剂量计, 摩尔消光系数, 剂量率测量

为了更好地使  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  辐照装置为辐照加工和科研服务, 自行建立了一套剂量体系, 应用该体系对更换辐照装置和新增钴源后的剂量场进行了测量, 给出了辐射场空间的剂量率及产品箱中吸收剂量值。这种对剂量测量和测量过程相应的研究工作, 对于进行日常剂量监测、控制加工工艺和保证辐射加工及科研照射的质量是必不可少的<sup>[1,2]</sup>。

## 1 方法和仪器

### 1.1 剂量计组分及制备

用于配制剂量计溶液的水经三次蒸馏, 第一次加入酸性重铬酸钾蒸馏, 第二次加入碱性高锰酸钾, 第三次不加任何添加物, 最后一次蒸馏使用石英玻璃装置。

硫酸亚铁铵为分析纯试剂, 氯化钠和硫酸为优级纯试剂。

采用北京玻璃仪器厂生产的双联曲颈玻璃安瓿瓶做辐照容器(见图 1), 用时从中剖开, 注入蒸馏水后预辐照 7 kGy, 再用蒸馏水冲洗 3 次, 在 550°C 烘烤 3 h, 以便清除壁上可能存在的杂质。

硫酸亚铁剂量计溶液按 GB 139-89<sup>[3]</sup> 中规定的步骤进行, 注入 2.8 ml 剂量计溶液于辐照容器中, 用煤气加氧气火焰迅速封口, 装盒编号待用。

### 1.2 仪器

紫外分光光度计, 岛津 UV-2201 型分光光度计, 具有 1 cm 厚石英吸收池和一个准确控温 ( $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ) 的杯舱。

辐照模体, 体积为 100mm  $\times$  100 mm  $\times$  100 mm 有机玻璃模体, 配有定位支架和安瓿剂量计套

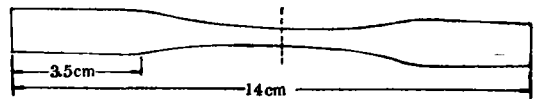


Fig 1. Construction for double and crooked neck ampoule  
height of dosimeter liquid is 3.5 cm

管。

计时器最小分度值为 0.015，标尺最小分度为 1 mm。

### 1.3 辐照装置(见图2)

11 支  $\phi 19.5 \times 46.5$  强弱不同的源，总活度为 2.07 PBq，排列成 58 cm  $\times$  80 cm 栅板状源，源外套有不锈钢的护源罩。

## 2 结果和讨论

### 2.1 剂量测量的标准化

2.1.1 UV 2201 紫外分光光度计校准 用 UKRD 969423 标准滤光片校准吸光度，结果见表 1。用硫酸亚铁标准溶液刻度  $\lambda = 303 \text{ nm}$  时的仪器摩尔吸光系数。按文献[3]配制一系列不同浓度的  $\text{Fe}^{3+}$  标准溶液，用摩尔浓度与对应的吸光度回归分析求得 95% 置信概率下的斜率，即为该仪器的摩尔吸光系数( $\epsilon_{\text{Fe}^{3+}}$ )，测得值为  $\epsilon_{\text{Fe}^{3+}} = 216.1 \text{ m}^2 \text{ mol}^{-1}$ ，标准偏差为 0.08%。

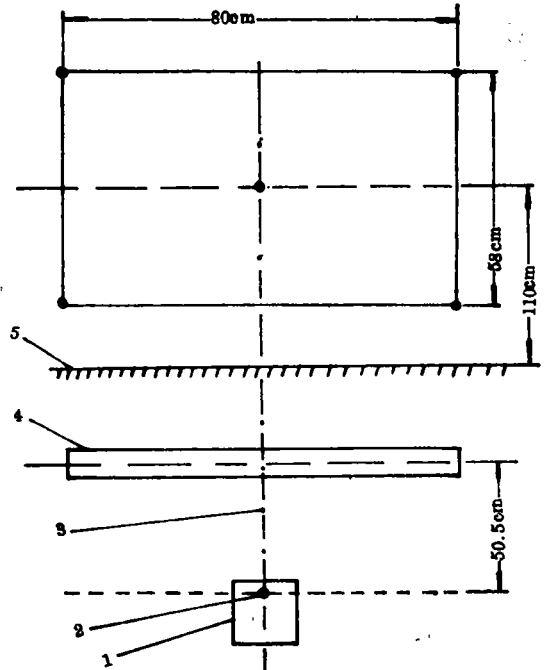


Fig 2. Irradiation source plant of railings-plate at working time  
(1) pattern of organic glass (2) comparative point (3) central axis (4) irradiation source (5) ground

Tab 1. Checking absorbance for UKRD 969423 standard filter  
 $\lambda = 546 \text{ nm}$ ,  $\text{SBW} = 1 \text{ nm}$ ,  $T 25^\circ\text{C}$

No.	D 19/1	D 19/2	D 19/3	D 19/4	D 19/5	D 19/6	D 19/7	D 19/8
MAbs <sup>1</sup>	0.100	0.180	0.458	0.911	1.408	1.923	2.427	2.985
SAbs <sup>2</sup>	0.098	0.179	0.456	0.906	1.399	1.898	2.382	2.884

<sup>1</sup> MAbs = Measurement absorbance    <sup>2</sup> SAbs = Standard absorbance

2.1.2 剂量计的标准化 表 2 为国家剂量保证服务结果。国家计量科学院用丙氨酸剂量计作为标准剂量计和传递剂量计，邮寄给本单位辐照并确定剂量，再邮回计量院评定剂量。几年来监测结果相对偏差在 5% 以内，说明用硫酸亚铁剂量计测得的剂量有较好的溯源性。表 3 为硫酸亚铁剂量计(Fricke 剂量计)测得的重复性。三年来测得值的标准偏差在 1% 以内，说明该剂量计具有较好的稳定性。

Tab 2. Results for National Dose Assured Service (NDAS)

Comparative date	$D_m/\text{kGy}^{(1)}$	$D_s/\text{kGy}^{(2)}$	$S/\%^{(3)}$
1992.3.11	2.94	2.99	-1.7
1992.12.17	2.72	2.85	-4.6
1993.4.8	2.58	2.69	-4.1
1994.11.16	4.17	4.15	-0.48

<sup>1</sup>  $D_m$  Measurement dose    <sup>2</sup>  $D_s$  Assess dose for Institute of National Dose Research    <sup>3</sup> S Standard deviation

Tab 3. Repeatability for measurements Fricke Dosimeter

Measuring date	D/Gy <sup>(1)</sup>	S <sub>d</sub> /‰ <sup>(2)</sup>	Number
1992.11	76.5	0.39	15
1993.5.7	137.25	0.59	15
9193.12.6	113.21	0.49	15

<sup>1</sup>D Average dose    <sup>2</sup>S<sub>d</sub> Standard deviation

## 2.2 剂量场空间剂量率分布

2.2.1 源到辐照位置的重复性 ( $s_x/\bar{D}$ ) 重复升源 5 次, 把 5 支 Fricke 剂量计放在同一照射点, 辐照相同时间, 由每次测得的吸收剂量  $D_i$  求出算术平均值  $\bar{D}$  和单次测量相对标准偏差  $s_x$ 。

$$s_x/\bar{D} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}}{\bar{D}} = 0.3\%$$

源到辐照位置的重复性小于 1%, 保证了辐射场空间剂量率的精确性。

2.2.2 校准点处吸收剂量率 对置于模体中(图 2)校准点处的剂量计, 进行 5 次不同时间照射, 结果见图 3, 其斜率  $k$  为该点的吸收剂量率, 回归分析  $r = 0.99997$ , 剂量率  $\dot{D} = 38.6 \text{ Gy/min}$ , 相对标准偏差为 0.2%。校准点处剂量率既用于与国家剂量院进行剂量比对, 又用于日常剂量的监测。

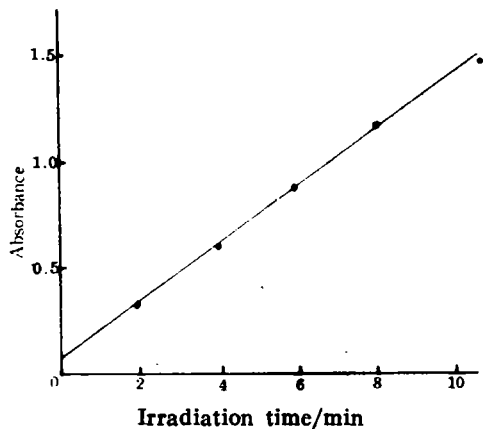


Fig 3. Dose rate at comparative point

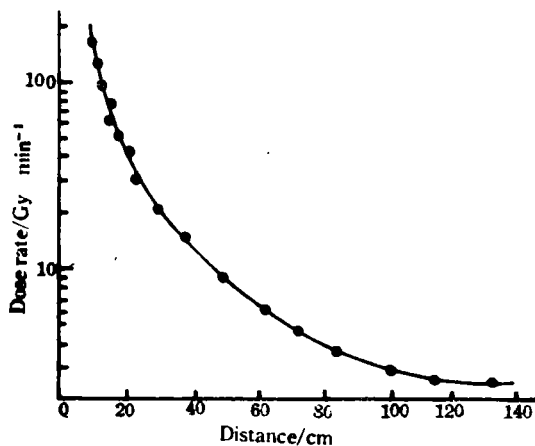


Fig 4. Dose rate distribution curve along central axis

2.2.3 参考面吸收剂量率的不均匀度(U) 参考面为距源的几何中心平面 1 m, 面积与源的几何面积相等且平行于源几何中心平面。测量点间距离 9~11 cm, 共布放 45 支剂量计, 其吸收剂量率不均匀度  $u = \text{Max}/\text{Min} = 1.22$ 。参考面吸收剂量率的不均匀度符合规定的要求(不大于 1.5), 说明强弱不同的源排布较合理, 从而保证辐射场空间剂量率分布的均匀性。

2.2.4 中心线上剂量率测量 即源处于工作状态时, 与源平面垂直且经过中心点的直线上的空间剂量率分布, 其结果见图 4。中心线上剂量率均匀度较好, 适合于科研用照射及其它剂量精度要求较高的辐照产品。

2.2.5 距源平面 60 cm 的平行平面上的剂量率分布 结果见图 5。此平面通常是辐照产品堆放的

中心位置。图中的剂量率曲线是在平行平面上分别距地面 20、50、70、110、140、170 cm 高度的剂量率分布。源处于工作状态时(其位置见图 2), 源中心距地面 110 cm 高。由图 5 可以看出, 在距地面 110 cm 高时, 剂量率最高, 在源平面范围内的剂量率与此相接近(由参考面剂量率不均匀度可知)。在源上下边界以外的剂量率, 基本上与源中心呈对称分布, 随着上下距离的增大, 剂量率逐渐降低, 而且源面左侧的剂量率略高于右侧。

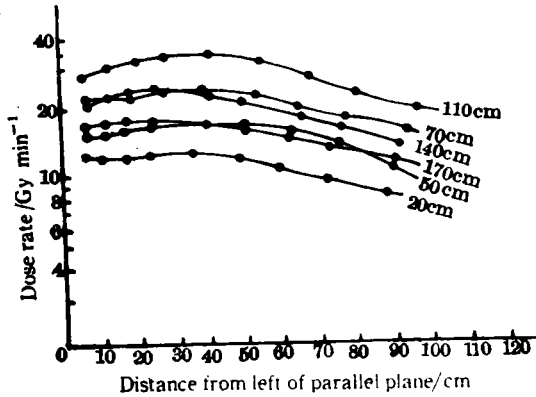


Fig 5. Dose rate distribution for parallel plane of source plane 60 cm away

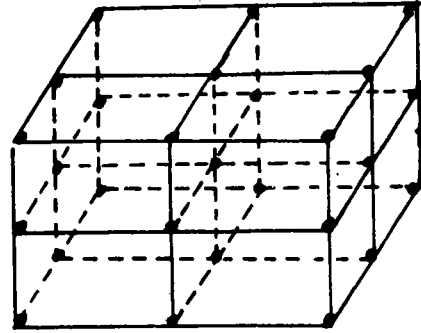


Fig 6. Product box showing position of dosimeters for motionless irradiation

2.2.6 产品箱中吸收剂量的测量 图 6 为产品箱中剂量计的布置。测试了 A、B、C 3 种不同堆积密度产品箱中的吸收剂量。辐照方式采用静态堆码辐照, 根据空间剂量率堆放不同密度的产品, A 产品放在中间, B 产品箱放在上面, C 产品箱放在下面, 共辐照 4 h, 辐照 2 h 后翻转, 即同种产品前后, 左右翻转, 上下移动。表 4 为三种产品吸收剂量的不均匀度, 由表中可以看出, 吸收剂量不均匀度小于 2.0, 随着产品密度的增大, 产品中吸收剂量的不均匀度增大。

Tab 4. Values of uniformity ratio

Media in product box	Size/cm	Product bulk density/kg·m <sup>-3</sup>	D <sub>max</sub> /D <sub>min</sub>
A	60 × 50 × 30	530	1.97 ± 0.06
B	60 × 40 × 35	357	1.56 ± 0.04
C	65 × 45 × 35	210	1.38 ± 0.03

### 3 小 结

为了更好地服务于科研和辐照加工, 通过对测量仪器的校正和剂量计的标准化, 可使剂量测试工作走向正规化和标准化。

空间辐照场剂量率测试是为了保证辐照工艺和提高产品辐照质量。对于栅板状辐照源而言, 源面积越大, 辐射场空间剂量率均匀度越好, 辐照产品吸收剂量较均匀, 同时辐射能量损失较多。因此在提高产品辐照质量的同时, 要有效地利用装置的辐射能量。在源排布与源活度不变的情况下, 应科学地布放辐照产品, 以提高辐照效率和保证辐照产品的质量。

产品的辐照质量是用产品实际吸收剂量与剂量不均匀度来控制的。产品的吸收剂量取决于: (1) 辐射源强度与几何排布, (2) 源到产品之间的距离与几何布置, (3) 辐照时间, (4) 产品堆积密度, (5) 源与产品间的介质。由于产品具有一定的体积, 其各部分离源的距离不同, 辐射强

度与减弱的程度不同，因此产品的吸收剂量具有剂量分布。一般用剂量不均匀度来表示，即产品最大吸收剂量与最小吸收剂量的比值；它与辐射穿透能力、源与产品的几何排布、产品组成、大小、密度有关，但产品位置固定后，最终取决于产品的密度与厚度。

根据以上原则和规律，首先，根据辐照产品的种类、密度和厚度以及剂量要求，确定产品在辐射场中的位置，确定辐照时间，产品翻转与移位的时间和方式；其次，注意极端剂量出现的位置，选定日常剂量监测的位置；最后，考虑到辐照剂量的统计性，产品堆积密度的波动，设定运行参数的涨落及运行参数的测量和剂量本身的不确定性等偏差，应定期进行剂量监测和评价。

### 参 考 文 献

- 1 Mclaughlin W L. J. phys. chem., 1983, (21): 359
- 2 顾俊仁, 叶爱信译. 辐射加工中高剂量测量, 第一版. 北京: 原子能出版社, 1986, 82
- 3 庞瑞草. 使用硫酸亚铁剂量计测量水中吸收剂量的标准方法, 第一版, 北京: 中国标准出版社, 1990, 3

## DOSE RATE MEASUREMENT BEFORE COMMISSIONING OF $^{60}\text{Co}$ $\gamma$ -IRRADIATION EQUIPMENT

Peng Tao Shong Juzhong Xie Huaijiang Kou Qinhe  
(Shengyang Military District Institute of Military Medicine, Shengyang 110031)

**ABSTRACT** Accurate measurement cobalt source irradiation position repeatability, dose rate at irradiation field and the dose uniformity ratio of product in the boxes before commissioning of supplement 1.22 pBq  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -irradiation plant. Under the experiment conditions we made the ferrous sulphate dosimeter standardization, a good dose reappear compare with measurement of National Dose Research Institute.

**KEYWORDS** Ferrous sulphate dosimeter, Molar linear absorption coefficient, Dose rate measurement