

**CNIC-01706**  
**IAE-0207**

常用防护用品对  $^{32}\text{P}$ ,  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ ,  $^{147}\text{Pm}$   
放射源屏蔽效果的测定

**THE MEASUREMENT OF THE SHIELDING  
PERFORMANCE OF USUAL PROTECTING  
COMMODITY AGAINST  $^{32}\text{P}$ ,  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ ,  $^{147}\text{Pm}$   
RADIOACTIVE SOURCES**  
*(In Chinese)*

中国核情报中心  
China Nuclear Information Centre

CNIC-01706  
IAE-0207

# 常用防护用品对 $^{32}\text{P}$ , $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ , $^{147}\text{Pm}$ 放射源屏蔽效果的测定

梁石强 于涛

(中国原子能科学研究院同位素研究所, 北京, 102413)

## 摘 要

采用 FJ358A 型低量程  $\beta$  测量仪测量了  $^{32}\text{P}$  等 3 种  $\beta$  放射源的定向剂量当量率, 给出了 3 种源正面空气中的定向剂量当量率与距离的关系曲线; 给出了工作服、乳胶手套、防护眼镜等 12 种物品对 3 种源定向剂量当量率的屏蔽效果。提出了几点减少个人浅表剂量当量的建议。

关键词:  $\beta$  放射源 屏蔽 定向剂量当量 个人浅表剂量当量

# **The Measurement of the Shielding Performance of Usual Protecting Commodity Against $^{32}\text{P}$ , $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ , $^{147}\text{Pm}$ Radioactive Sources**

LIANG Shiqiang YU Tao

(Department of Isotope, China Institute of Atomic Energy, Beijing, 102413)

## **ABSTRACT**

Directional dose equivalent  $H'(d)$  of three kinds of  $\beta$  radioactive sources,  $^{32}\text{P}$  etc. is detected by using  $\beta$  dose ratemeter No. FJ358A. The curve between directional dose equivalent rate and distance from direction face of three kinds of  $\beta$  radioactive sources is given; and shielding performance of 12 kinds of object, work-suit, rubber gloves, protective glasses and so on, against three kinds of  $\beta$  radioactive source is given. Some pieces of advice about how to deduce individual dose equivalent superficial are given.

**Key words:**  $\beta$  radioactive source, Shielding, Directional dose equivalent, Individual dose equivalent superficial

## 引言

随着核科学技术的发展， $^{32}\text{P}$ 、 $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ 、 $^{147}\text{Pm}$  等  $\beta$  放射源已广泛应用于医疗、工业和科学研究等部门。由于放射源属纯  $\beta$  发射体（例如  $^{32}\text{P}$ 、 $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$  等）或伴随放出一些能量较低的  $\gamma$  射线（例如  $^{147}\text{Pm}$  等），所以应用时操作人员往往是直接用手拿源或用短柄夹具近距离操作。然而，当活度较大时，放射源发射的  $\beta$  射线以及它（当  $\beta$  射线能量较高时）被放射源物质本身以及源周围的其它物质阻止产生的韧致辐射导致在源周围产生近距离的定向剂量当量  $H(d)^{[1]}$  外部辐射场是不可忽略的。国家标准规定职业人员手部、皮肤的年剂量当量限值即浅表个人剂量当量， $H_s(d)$  为  $500\text{ mSv}^{[2]}$ 。

采用辐射防护仪表测量了  $^{32}\text{P}$  放射性溶液、 $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$  皮肤敷贴器、 $^{147}\text{Pm}$  测厚源三种  $\beta$  放射源源正面空气介质中不同距离的定向剂量当量率；测量了常用防护用品例如工作服、乳胶手套、有机玻璃防护眼镜和有机玻璃防护块（屏）等 12 种用品对这 3 种源的定向剂量当量率的屏蔽效果；同时还给出了距离 3 种源单位活度（MBq）源正面（在无屏蔽物体条件下）空气介质中的定向剂量当量率与距离的曲线；最后，对近距离操作这类源时如何减少浅表个人剂量当量提出了一些建议。

## 1 测量装置与测量条件

### 1.1 测量装置

测量装置如图 1 所示。

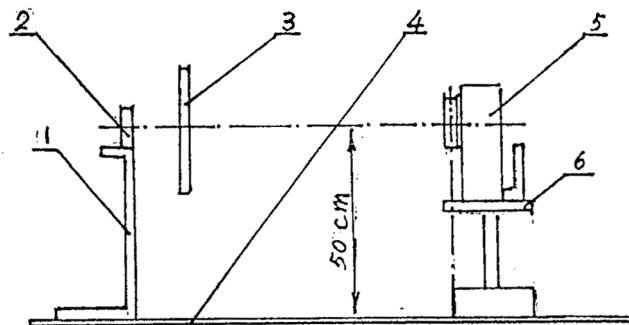


图 1 测量装置示意图

1——纸制放射源托架；2——放射源；3——常用防护用品屏蔽块；  
4——距离标尺；5——测量仪表；6——仪表托架

### 1.2 测量仪器

FJ358A 型（021 号）低量程  $\beta$  测量仪（西安二六二厂生产），探测下限为  $0.5 \times 10^{-2}\text{ mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。事先经国防科工委一级计量站校准标定，测量值为  $7\text{ mg/cm}^2$  皮下组织的吸收剂量率，其不确定度为  $\pm < 8\%$ 。

### 1.3 放射源

中国原子能科学研究院同位素研究所生产的  $^{32}\text{P}$  放射性溶液、 $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$  皮肤敷贴器和  $^{147}\text{Pm}$  测厚源等 3 种  $\beta$  放射源（参见表 1）。

表 1 三种放射源资料一览表

名称	活度、活性区面积、源程序表面吸收剂量率	备注
<sup>32</sup> P 放射性溶液	633 MBq, 1ml	置于 1 mm 厚玻璃瓶内
<sup>90</sup> Sr+ <sup>90</sup> Y 皮肤敷贴器	1160 MBq, 2×2 cm <sup>2</sup> , 3.1 cGy·s <sup>-1</sup> 1820 MBq, 2×2 cm <sup>2</sup> , 4.9 cGy·s <sup>-1</sup> 2450 MBq, 4×6 cm <sup>2</sup> , 6.6 cGy·s <sup>-1</sup>	粉末冶金制成源
<sup>147</sup> Pm 测厚源	7770 MBq, φ30 mm	粉末冶金制成源

## 1.4 测量

### (1) 定向剂量当量率的测量

按图 1 布置, 源的位置固定不变, 且其正面面向仪器, 源与仪器之间无屏蔽物, 移动仪器测量距离源的几何中心 5, 10, 20, 30, 40, 50, 80 和 100 cm 共 8 个测量点的定向剂量当量率, 距离误差为±1 mm;

每次测量 3 分钟, 以指针指示的平均值为该测量点的定向剂量当量率;

### (2) 常用防护用品屏蔽效果的测量

与定向剂量当量率的测量基本相同, 所不同之处是: (a) 源位置与仪器位置都固定不变; (b) 在源和仪器之间(靠近源的部位)放置常用防护用品屏蔽块; (c) 测量有无防护用品屏蔽块时空气中的定向剂量当量率的变化。其屏蔽效果  $K$  按下式计算:

$$K = \frac{N_{有}}{N_{无}} \quad (1)$$

式中:  $N_{有}$ ——有防护用品屏蔽块时的定向剂量当量率测量值,  $mGy \cdot h^{-1}$ ;

$N_{无}$ ——无防护用品屏蔽块时的定向剂量当量率测量值,  $mGy \cdot h^{-1}$ 。

## 2 测量结果

### 2.1 定向剂量当量率的测量结果

图 2 给出了 3 种源正面方向空气介质的定向剂量当量率与距离的测量曲线。

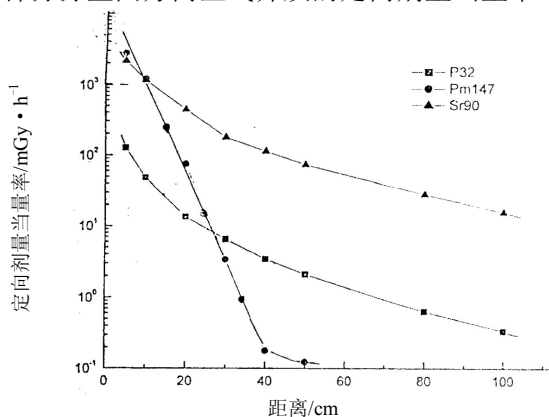


图 2 三种  $\beta$  放射源的定向剂量当量率与距离的关系曲线

## 2.2 常用防护用品屏蔽效果的测量结果

表 2 列出了 4 种常用防护用品 12 种物品对 3 种  $\beta$  放射源空气介质中定向剂量当量率屏蔽效果的测量结果。结果表明, 工作服, 乳胶手套等常用防护用品对  $\beta$  射线能量较低的  $\beta$  放射源 (例如  $^{147}\text{Pm}$ ) 屏蔽效果较好, 而对  $\beta$  射线能量较高的  $\beta$  放射源 (例如  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ ) 屏蔽效果较差。

表 2 12 种常用防护物品对 3 种  $\beta$  放射源定向剂量当量率的屏蔽效果

物品	用品	面密度 $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$	$^{32}\text{P}^{1)}$	$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$	$^{147}\text{Pm}$
工 作 服	白大褂	11.02	0.904	0.944	0.241
	蓝大褂	15.99	0.870	0.925	0.138
	白联合工作服	14.39	0.861	0.919	0.131
	劳动布工作服	29.78	0.730	0.850	$1.24 \times 10^{-2}$
乳 胶 手 套	医用乳胶手套	15.43	0.870	0.925	$6.83 \times 10^{-2}$
	丁基乳胶手套	74.05	0.444	0.719	$1.03 \times 10^{-3}$
	工业耐酸手套	89.83	0.426	0.700	$3.86 \times 10^{-4}$
	天然乳胶手套箱手套	122.06	0.261	0.619	$2.83 \times 10^{-4}$
眼 镜	有机玻璃, 厚度 3 mm	354	$9.65 \times 10^{-2}$	0.194	$2.69 \times 10^{-4}$
	有机玻璃, 厚度 3.9 mm	460	$\geq 1.98 \times 10^{-2}$	0.155	$2.28 \times 10^{-4}$
屏 蔽 块	有机玻璃, 厚度 5 mm	590	$> 1.7 \times 10^{-3}$	$5.13 \times 10^{-2}$	$\geq 1.8 \times 10^{-4}$
	有机玻璃, 厚度 7.4 mm	873	$> 1.7 \times 10^{-3}$	$1.81 \times 10^{-3}$	$> 1.4 \times 10^{-4}$

注: 1) 1 ml  $^{32}\text{P}$  放射性溶液是在 1 mm 厚的玻璃瓶内进行修正。

## 2.3 测量结果可靠性分析

### (1) 仪器问题

国家标准规定辐射防护场所监测仪器的变异系数  $< \pm 15\%$ , 固有误差  $< \pm 20\%$ <sup>[3]</sup>; 然而, FJ358A 型 021 号低量程  $\beta$  测量仪经一级计量站校准给出的不确定度仅为  $< \pm 8\%$ , 曾用这台仪器与中国辐射防护研究院保健物理与核安全研究所研制的 DDEJ 型 (001 号) 定向剂量当量率仪在相同条件下测量比较, 其相对误差一般在  $\pm 5\%$ , 个别点达  $\pm 10\%$ 。从而可见用 FJ358A 型低量程  $\beta$  测量仪测量定向剂量当量率是符合辐射防护要求的。

### (2) 测量结果的准确性问题

图 3 是  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$  放射源定向剂量当量率的测量结果与用  $\beta$  源半经验公式<sup>[4]</sup> 的计算结果比较, 曲线基本一致, 但是, 距离较近 ( $\leq 20 \text{ cm}$ ) 时测量值低于计算值, 距离较远 ( $> 20 \text{ cm}$ ) 时测量值高于计算值。这是由于计算值只计算了  $\beta$  射线的定向剂量当量率, 而测量值是  $\beta$  射线和韧致辐射两者的定向剂量当量率之和。近距离测量值偏低是由于仪器电离室的截面积 ( $\sim 90 \text{ cm}^2$ ) 较大, 测量的平均定向剂量当量率是在仪器电离室体积范围内, 尽管它包括了韧致辐射的贡献, 但由于  $\beta$  射线产生韧致辐射的几率较低 (一般小于  $3\%$ )<sup>[5]</sup>,

对定向剂量当量率的贡献很小，故平均定向剂量当量率低于电离室几何中心点的计算值；当距离较远时，由于  $\beta$  射线在空气中随距离的衰减比韧致辐射快得多，因而韧致辐射对定向剂量当量率的贡献相对地提高，故测量值高于计算值。上述分析表明，其测量结果是可靠的。

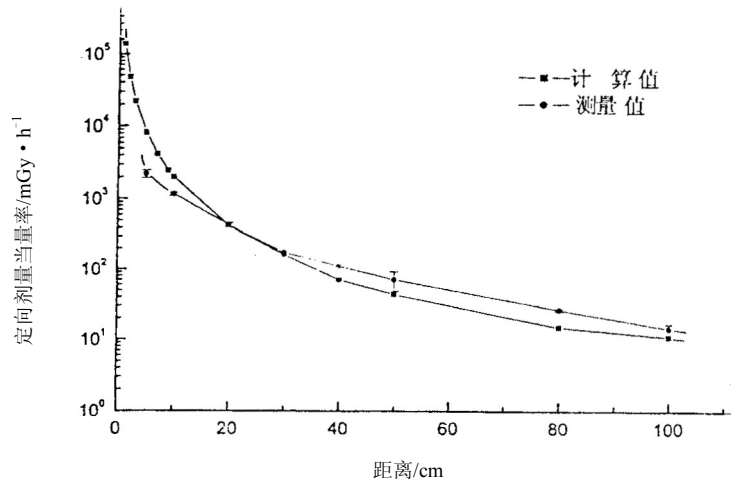


图 3  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$  放射性源定向剂量当量率的测量值与计算值比较

### (3) 测量结果的精确性问题

表 3 是 3 次测量同一源的结果，从表 3 可看出，相对标准偏差一般在  $\pm 5\%$  左右，个别点（5 cm 和 100 cm）达  $\pm 15\%$ ，可见测量值的精确性是能满足辐射防护要求的。

表 3 1820 MBq  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$  放射源 3 次测量结果

$\text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}$

	5 cm	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	80 cm	100 cm
平均值±标准偏差	1860±294	1113±57	430±26	177±6	113±6	737±2.3	28.3±1.2	15.7±2.5
相对标准误差	±15.8%	±5.1%	±6.0%	±3.4%	±5.3%	±3.1%	±4.2%	±15.9%

### (4) 单位活度的定向剂量当量率

为了便于使用  $^{32}\text{P}$ ， $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ ， $^{147}\text{Pm}$  放射源人员估算其定向剂量当量率照射的浅表个人剂量当量  $H_s(d)$ ，图 4 给出了 3 种放射源单位活度时定向剂量当量率与距离的关系曲线。使用者只要测量手部等受照射部位距源（正面）距离，从图 4 查出相应核素放射源单位活度（MBq）的定向剂量当量率，再乘以操作放射源的 MBq 倍数与操作时间，即可估算出手部等部位的浅表个人剂量当量， $H_s(d)$ 。

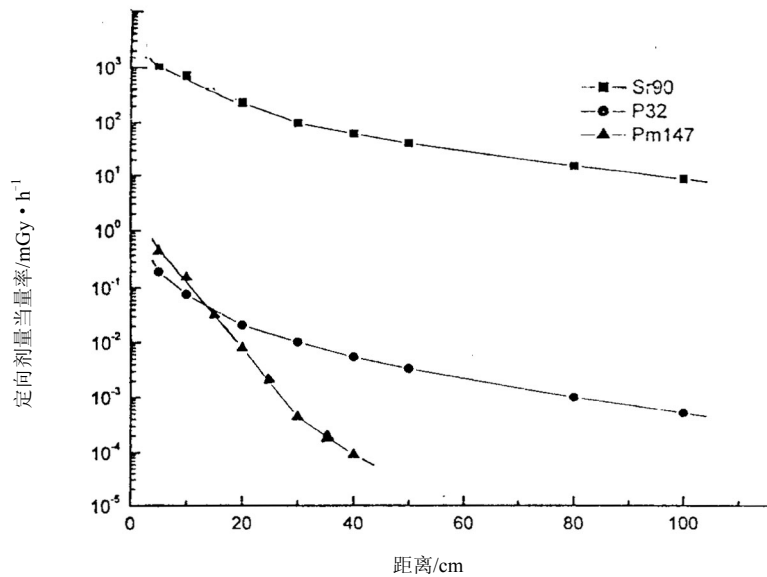


图4 三种β放射源单位活度定向剂量当量率与距离的关系曲线

#### 2.4 近距离操作β放射源，减少 $H_s(d)$ 的几点建议

(1) 仔细阅读放射源（或器）的说明书，严格按照说明书的要求（或规定）认真操作。

(2) 当β放射源β射线最大能量小于70 MeV或β射线最大能量大于70 MeV，但其活度小于 $10^4$  Bq ( $\mu$ Ci级， $1 \text{ Ci}=3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ )时，可不需考虑β放射源外照射的防护。

(3) 操作β放射源应尽可能避免手直接接触β源的活性区部分。因为手或皮肤直接接触β源的活性区时手指或皮肤的浅表个人剂量是相当可观的（参见表1和表4）。计算结果表明，37 MBq ( $\sim 1 \text{ mCi}$ )的 $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ 源距源活性区1 cm处照射1 min则浅表个人剂量可达约47 mGy。

表4 1 Bq/cm<sup>2</sup>时β放射源表面的吸收剂量率  $10^{-6} \text{ Gy} \cdot \text{cm}^2, \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1[6]}$

	<sup>14</sup> C	<sup>147</sup> Pm	<sup>45</sup> Ca	<sup>90</sup> Sr	<sup>204</sup> Tl	<sup>32</sup> P	<sup>90</sup> Y	混合衰变产物
7 mg/cm <sup>2</sup> 处的吸收剂量率	0.316	0.692	0.851	1.96	2.07	2.25	2.25	1.49
4 mg/cm <sup>2</sup> 处的吸收剂量率	0.803	1.36	1.61	2.60	2.61	2.59	2.55	1.66

(4) 充分利用β源本身的操作柄，或尽可能利用工具（例如镊子）夹源，以 $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ β源为例，距源正面5 cm其定向剂量当量率比正面表面低21倍，距离10 cm则低87倍。

(5) 因为中国原子能科学研究院同位素研究所生产的β放射源，其源背面已考虑了对β射线的屏蔽（<sup>32</sup>P放射性溶液除外），所以操作β放射源应尽量避免源的正面向着操作人员，尽可能不要用眼睛近距离观看源的正面。

(6) 充分利用防护用品以减少定向剂量当量率的照射，在不影响操作的前提下尽可能利用有机玻璃块（器或屏）屏蔽定向剂量当量率以减少浅表个人剂量。



### 3 结束语

$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$  等  $\beta$  放射源定向剂量当量率的测量结果表明, 距源距离较近时其定向剂量当量是较大的, 应用  $^{32}\text{P}$ ,  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$  和  $^{147}\text{Pm}$  等  $\beta$  放射源时应重视浅表个人剂量当量。充分利用防护用品屏蔽定向剂量当量率以减少浅表个人剂量当量。

### 参 考 文 献

- 1 IAEA, et al. International Basic Safety Standard for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. IAEA Safety Series, No. 115 Vienna, 1996
- 2 中华人民共和国国家标准. 辐射防护规定, GB8703-88  
(National Standard of the People's Republic of China. Radiation Protection Regulations GB 8703-88)
- 3 中华人民共和国国家标准. 辐射防护仪器校准与定度  $\beta$  剂量率仪, GB 10254-88  
(National Standard of the People's Republic of China. Radiation protection calibration for instruments beta dose rate dosimeters GB 10254-88)
- 4 Loevinger I R. Radiology. 1956, 66, 55
- 5 李德平, 潘自强. 辐射源与屏蔽. 辐射防护手册, 第一分册, 北京: 原子能出版社, 1987, 125  
(LI Deping, PAN Ziqiang. Radiation protection Manual. Radiation Source and Shielding, Beijing: Atomic Energy Press, 1987, 125)
- 6 李士骏编者. 电离辐射剂量学. 北京: 原子能出版社, 1981, 209  
(LI Shijun. Ionizing radiation dosimetry. Beijing: Atomic Energy Press, 1981, 209)