



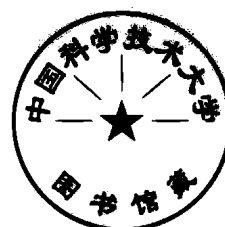
第二屆和平利用原子能國際會議文獻

同位素在工業上的應用

1

中國科學院原子核科學委員會編輯委員會編

科學出版社出版



同位素在工业上的应用(1)

中国科学院原子核科学委员会编辑委员会编

*

科学出版社出版 (北京朝阳门大街 117 号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总经售

*

1961 年 12 月第 一 版

书号: 2421 字数: 77,300

1961 年 12 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

(京) 0001—4,500

印张: 3 1/4

定价: 0.42 元

目 录

半工业型 γ 照射设备的构造.....	1
工业量度仪器在日本的新进展.....	6
在石油实验室及炼油厂中安全使用同位素十年.....	17
捷克斯洛伐克应用放射性同位素探伤的现状.....	26
放射性同位素在連續鑄造过程工艺检查中的应用.....	39
用 β - ν 内扩散测定合金鋼中的鎢含量	42
在冶炼过程中应用同位素稀释分析法快速决定鋼中的磷含量.....	47

3/10/85

半工业型 γ 照射设备的构造*

F. 巴勒司蒂克 (Balestic), P. 利维鸠 (Leveque),
C. 布莱伏司特 (Prevost), G. 欧姆普特 (Ompte)

(法国原子能委员会)

导 言

放射化学的研究以及为食品及药物的低温消毒而设计的各种尝试在过去几年的发展,使我们预见到在不久的将来,某些工业规模的过程将要求探索和发展用以照射大体积的强电区辐射源。

反应堆运转时,在铀棒内由积累的裂变产物所产生剩余辐射的利用,显示了有趣的前景。已经可能在新建的高通量的 Saclay 反应堆 (EL-3) 的去活性室内(其中储放着进行冷却的全套铀棒)安装特殊的装置,来建造一个试验性的照射设备。

去活性室的说明

这一设备包括一个大的混凝土室,总的布置及其主要线度如图1所示。它主要包括两部分:一个封闭的热室(A),可设计成用来照射在固定地点的样品,另一个是冷室(B),用一个硅藻土分壁(C)与(A)成热绝缘,并设有一个运送机,以便照射一系列的样品;冷室经过一曲折路径(D),而与一为装卸运送机而设计的室(E)接通。此外,还在两室之上装有一些有管的厚砖,以安放铀棒及其冷却筒以及照射孔道。

在A区,九排垂直的铀棒与照射孔道交错排列,间隔尽可能小以便安装紧凑,如图2所示。这个系统包括78根棒(内直径22,外直径29,高度1300)和86个由易于取掉的铝管作的照射孔道(其中80个直径为90毫米,6个直径为190毫米)。这是因为如果铝管由于腐蚀或其他意外事故而损坏时,以备替换的。装载被照物体时,取去装在铝管子内的铅盖。有效的装载高度为70

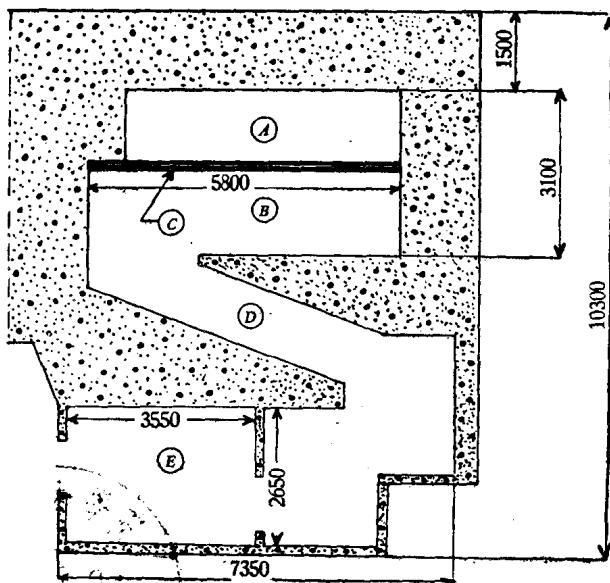


图1 去活性室的平面图

* 第二届和平利用原子能国际会议文献, A/CONF. 15/P/1212, 法国, 1958年3月12日, 原文: 法文。

厘米,限制为鈾棒高的一半,而使整个装置高度位于輻射場基本均匀的那一部分。这样装置的工作容量大約相当于 500 升。

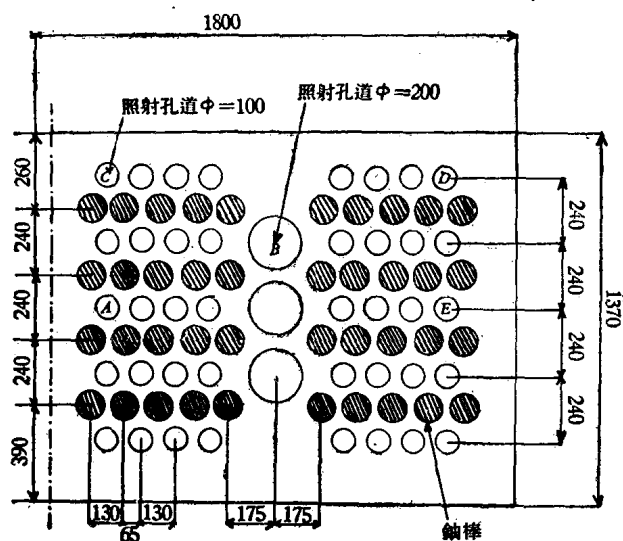


图 2 在热室一半的照射设备图

运送机主要包括一条鏈子,拉曳小輪在平行軌道上运行。載物架吊在小輪之下,其下部納入护軌中,如图 4,以避免在曲綫上的摆动。除此之外,还有一个特殊的轉环,利用它可使每个单元能够在冷室的 A 点旋轉半周,以便使被照物的两面得到均匀的照射。駕駛机构紧靠着操作室和儲藏室。

利用經過一組冷却单元(致冷机)的空氣的流通,使室温达到 -7°C 。每小时更換新空

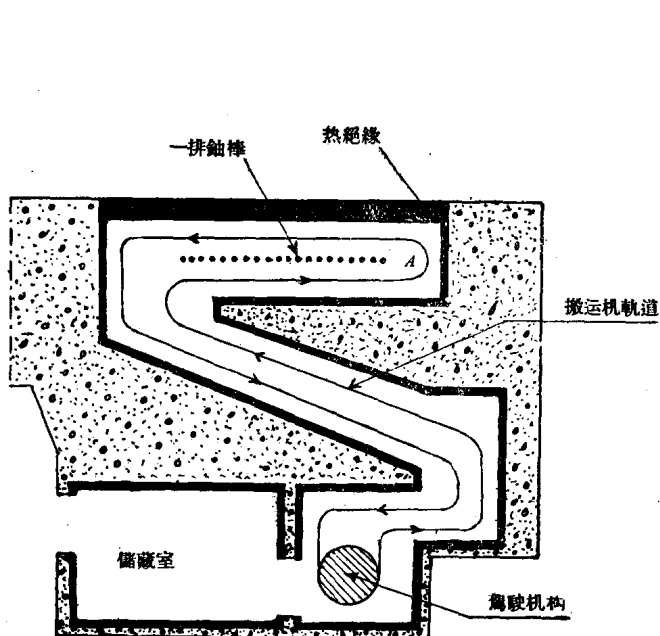


图 3 冷室中的照射设备

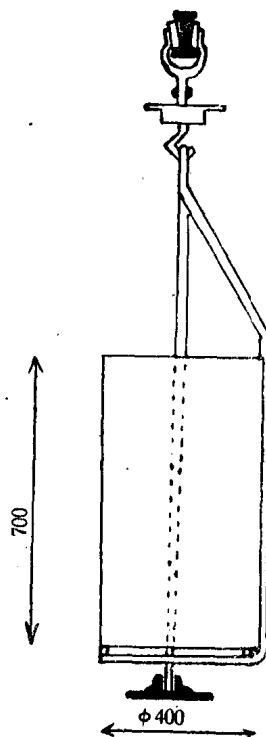


图 4 載物架的詳图

气二或三次。冷室所有厚度不足 500 毫米的墙壁和地板都镶上一种热绝缘物。冷室与热室用一个包含 350 毫米硅藻土的分壁隔开。储藏室利用冷室的空气保持 0°C。

窖的另一半大多是由于食品的连续加工的。研究的内容一方面是有关一切食品在冷的和电离的辐射同时作用之下的储藏问题,另一方面是有关需要更低的剂量的效应,象抑制结核生长的效应,或杀死谷类害虫的效应。

窖中的照射场

借助于已经用于 Saclay EL-2 反应堆铀棒的一个计算方法,在窖中某一特定点作了初步计算。这个方法假设每根铀棒是一个线状源,从一个裂变产物只放出 ν_i 个已知能量的光子:假设活性沿主轴“均匀”分布。在去活性的末尾周期 t ,在任何已知点 P (图 5) 的电离强度,由下列公式给出:

$$I_i(t, \nu_i) = k_{\nu_i} \frac{A_i(t, \nu_i)}{L} \frac{1}{D} \left\{ \int_0^{\phi_1} \exp[-\Sigma \mu d / \cos \phi] d\phi + \int_0^{\phi_2} \exp[-\Sigma \mu d / \cos \phi] d\phi \right\}$$

其中:

k_{ν_i} : 一个转换因子,用它能将活性换算为在离一个光子放射体 ν_i 的标准源已知距离处的电离强度;

$A_i(t, \nu_i)$: 所讨论的裂变产物的活性;

L : 铀棒长度;

D : 从 P 点到棒轴的距离;

μ : 穿过的介质的吸收系数;

d : 介质的厚度。

$\int_0^{\phi} \exp[-\Sigma \mu d / \cos \phi] d\phi$: 从 R. M. Sievert 的表^[1]计算出来的一个积分。

为了完成这个计算,我们必须用自吸收函数^[2] $F(\mu a)$ 修正 $I_i(t, \nu_i)$ 的数值。 $F(\mu a)$ 随源的形状吸收系数 μ 及其半径 a 改变。最后,可测量的电离强度 $I'_i(t, \nu_i)$ 可写作:

$$I'_i(t, \nu_i) = I_i(t, \nu_i) F(\mu a).$$

对于裂变产物放出的不同的 γ 射线,计算用相同的方式开始,取其在 P 点的贡献之和:

$$S_p (\text{伦琴/单位时间}) = \Sigma I'_i(t, \nu_i)$$

这将给出一个棒的辐射场,图 6,并且提供预计在每一照射孔道中的剂量的方法,如果位于靠近的铀棒的去活性时间是已知的。

因为这个方法需要比较繁重的数值计算,我们将它大加简化。首先我们忽略在 EL-3 铀棒中的自吸收,铀棒是由很薄的空心圆柱构成的。我们进行了对于赤道平面的全部计算,以空气当作在保持在环境温度的室中的介质。在我们选择裂变产物时,没有考虑长半衰期的元素 (Cs 137), 由于铀棒的照射时间短,软 γ 射线 (Cs 141 的 0.2 兆电子伏光子) 或具有小发射百分数的同位素 (Pr 144 的 2.6 及 2.5 兆电子伏光子)。最后,按照放出的光

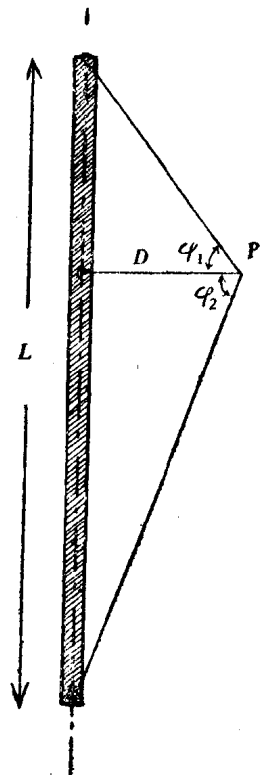
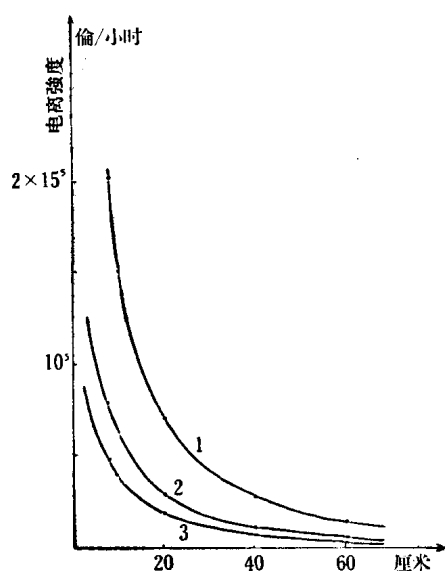


图 5 铀棒的横截面

子的能量,我們把它們分为 4 組:

- I 組: ν 能量接近 0.4 兆电子伏.
- II 組: ν 能量接近 0.75 兆电子伏.
- III 組: ν 能量接近 1.5 兆电子伏.
- IV 組: ν 能量接近 2.5 兆电子伏.

表 I 給出这样求出的强度,在热室的不同照射孔道(图 2),对于不同的去活性时间.



从赤道平面的一点到棒軸的距离

图 6 经过三个月的 30MW/t 照射的鈾棒的 γ 辐射,对于不同的去活性时间:

- 曲线 1: 1 个月
- 曲线 2: 3 个月
- 曲线 3: 5 个月

表 I. 空气调节室中的电离强度的分布

照射时间: 3 个月,照射功率 30MW/t

照 射 孔 道	去 活 性 时 間	电 离 强 度 (伦/小时)
A	1 个月	770000
A	3 个月	320000
A	5 个月	209000
B	1 个月	490000
B	3 个月	192000
B	5 个月	133000
C	1 个月	375000
C	3 个月	147000
C	5 个月	102000
D	1 个月	350000
D	3 个月	137000
D	5 个月	95000
E	1 个月	720000
E	3 个月	283000
E	5 个月	19500

在冷室情形下,我們計算了在运送机的載物架中心每单位时间的剂量,这剂量由于 7 条鈾棒位于最近,鈾棒从反应堆中取出后分别经过了一

星期、一个月及三个月(表 II). 从样品(假定密度为 1)中心到棒的平面的距离为 3.5 厘米,所经过的厚度为 20 厘米.

表 II. 載物架中的电离强度随时间的变化

地 点	去 活 性 时 間	电 离 强 度 (伦/小时)
样 品 中 心	1 个星期	72000
	1 个月	31400
	3 个月	9400

为了繪出在窖內的 ν 通量全图,用剂量計也許比較簡單. 为此,我們考虑了采用硫酸亚鉄作为参考剂量計,用草酸来累积大的剂量,一个預先校准过的系統用于空气调节室的許多孔道中的电离强度的快速探测,这系統由一碘化鉀晶体,一个光電池連接一个电流計构成.

选择一个剂量計,能够以簡單而精确的方式記錄当載物架在輻射經常变化的場中运行时,其中各点的剂量,我們在这个問題遇到了更大的困难. 我們最后选择了含鈷的玻璃,我們对它进行了全部的利用性能的研究^[3].

結 論

由于 EL-3 去活性窖有对于各种实验和过程适用的能力,它在法国是半工业 γ 照射设备的第一个例子,它是在原子能委员会的放射元素应用部的反应堆设计组, Chantiers de l'Atlantique Loire-Penhoët 及 Conservatome 的帮助下完成的。

在关于当铀棒在去活性过程中在放射化学工厂或消毒中心所提供的全部照射能力的实验研究方面,在显示铀棒中积累的裂变产物的直接利用所提供的一切经济利益方面,这个设备将会起先驱的作用。

参 考 文 献

- [1] Sievert, R. M., *Acta Radiologica*, 1, 89, (1921).
- [2] Moteff, J., *Miscellaneous Data for Shielding Calculation*, APEX 176, p. 74.
- [3] Balestic, F., Bonnaud, M., Le Clerc P. "Utilisation des verres comme dosimètres industriels" "Conférence Internationale sur les Radioisotopes dans la Recherche Scientifique" (Paris, 9—20 septembre 1957).

工业量度仪器在日本的新进展*

K. 大脇 (Kenichi Owaki), T. 押田 (Tadashi Oshida),

H. 三輪 (Hirohide Miwa)**

大量的放射性同位素最近在日本已經用于工业量度仪器中。

50 余台的厚度計已經用于金属片、橡胶片、塑料片和造纸等工业中, 其中还包括信管和香烟密度的量度。

大約有同样数目的水平面計已經用于化学、肥料工业、人造絲工业等的各个生产过程中。此外, 在鉄工业中发展适用于粉末材料的新水平面計。

大約有 10 个适用于量度悬浮于液体或气体中的粉末的密度計已被用于化学和采矿設備。

这些仪器的一般設計程序已經建立, 并且各种实际的仪器已得到发展。应用的范围目前正在迅速扩大。

利用放射性同位素測量仪器的一般設計程序^[1]。

利用放射性同位素測量各种未知量 (x), 必需把量 (x) 与輻射强度 (F) 相联系。这个函数 $F(x)$ 在下面的討論中是重要的, 叫做“特性函数”。

这个函数通常表示为方程(1), 其中 Q 是輻射源的量, n 是被探测到的輻射的数目, i 是入射率为每秒一个粒子时的平均探测器輸出。

$$F = F(x) \doteq Q \cdot f(x) = i \cdot n(x) \quad (1)$$

$f(x)$ 叫做“归一化特性函数”。

“分辨本领” (R.P.) 定义为輸出变化与所量度的量的变化之比, 它由方程(2)所給出,

$$\text{R.P.} = \frac{\partial F}{\partial x} = Q \frac{\partial f}{\partial x} = i \frac{\partial n}{\partial x} \quad (2)$$

誤差的計算如下。

由于輻射衰变的統計涨落所引起的誤差可以估計为可几誤差的三倍。因此“統計誤差”是

$$\left(\frac{\Delta n}{n} \right)_{\text{統計}} \doteq \frac{3 \times 0.67}{\sqrt{2n\tau}} \doteq \frac{2}{\sqrt{2n\tau}} \quad (3)$$

这里 τ 是仪器的時間常数。

因此, x 的統計誤差可以表示为

$$\left(\frac{\Delta x}{x} \right)_{\text{統計}} = \Delta F / \frac{\partial F}{\partial x} \cdot \frac{1}{x}$$

* 第二屆和平利用原子能国际會議文献, A/CONF. 15/P/1349, 日本, 1958 年 6 月 13 日, 原文: 英文。

** Kobe Kogyo Corporation, Ohkubo, Akashi, Japan.

$$\Delta F = \frac{\partial F}{\partial n} \Delta n = F \cdot \frac{\Delta n}{n}$$

$$\left(\frac{\Delta x}{x}\right)_{\text{計}} = \sqrt{\frac{2iF}{\tau} \cdot \frac{1}{\partial F/\partial x} \cdot \frac{1}{x}}$$

$$= \sqrt{\frac{2iF}{Q\tau} \cdot \frac{1}{\partial f/\partial x} \cdot \frac{1}{x}} \quad (4)$$

仪器誤差是由下列三个部分組成:

第一是“不变誤差”,它与探测器輸出无关,如由于电压起伏,电路常数的偏差,噪声等所引起的誤差。表示为

$$\Delta F = \Delta \beta = \text{常数} \quad (5)$$

$$\left(\frac{\Delta x}{x}\right)_{\text{不变}} = \frac{\Delta \beta}{x \cdot \partial F/\partial x} = \frac{\Delta \beta}{x \cdot Q \partial f/\partial x} \quad (6)$$

第二是“比例誤差”,它与探测器的輸出成正比。放大的变化,探测器灵敏度等属于这一类。表示为

$$\Delta F_{\text{比例}} = \alpha \cdot F, \alpha \text{ 是常数} \quad (7)$$

$$\left(\frac{\Delta x}{x}\right)_{\text{比例}} = \frac{\alpha \cdot F}{x \cdot \partial F/\partial x} = \frac{\alpha \cdot f}{x \cdot \partial f/\partial x} \quad (8)$$

第三是“函数誤差”,它是由于几何排列等偏差所引入的。

$$\Delta F_{\text{函数}} = r(x) Q \quad (9)$$

$$\left(\frac{\Delta x}{x}\right)_{\text{函数}} = \frac{Q \cdot r}{x \cdot \partial F/\partial x} = \frac{r}{x \cdot \partial f/\partial x} \quad (10)$$

从上述三式,得到总的仪器誤差如方程(11),

$$\left(\frac{\Delta x}{x}\right)_{\text{儀器}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)_{\text{不变}}^2 + \left(\frac{\Delta x}{x}\right)_{\text{比例}}^2 + \left(\frac{\Delta x}{x}\right)_{\text{函数}}^2} \quad (11)$$

除以上这些誤差外,还应考虑到指示迟延,例如通常輻射探测器有較长的時間常数(τ , 近似)。若輸入 $I(t)$ 近似地是時間的綫函数,即 $I = bt$ (b 是常数),則当瞬变消失后輸出的誤差成为 $b\tau$ 。 x 随時間的变化通常起源于样品的移动(v 是速率, l 是移动长度),則 b 可以重写如下:

$$b = \frac{\partial F}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{\partial F}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial l} \cdot v \quad (12)$$

因此,这种誤差(“动态誤差”)可以表示如方程(13):

$$\left(\frac{\Delta x}{x}\right)_{\text{动态}} = \frac{\partial x/\partial t \cdot \tau}{x} = \frac{\partial x/\partial l \cdot v \cdot \tau}{x} \quad (13)$$

总的誤差最后被表示如下。

$$\begin{aligned} \left(\frac{\Delta x}{x}\right)_{\text{总}} = & \left\{ \sqrt{\frac{2iF}{\tau} \cdot \frac{1}{\partial F/\partial x} \cdot \frac{1}{x}} \right\}^2 + \left(\frac{\Delta \beta}{\partial F/\partial x \cdot x} \right)^2 + \left(\frac{\alpha F}{\partial F/\partial x \cdot x} \right)^2 + \\ & + \left(\frac{Qr}{\partial F/\partial x \cdot x} \right)^2 + \left(\frac{\partial x/\partial t \cdot \tau}{x} \right)^2 = \left\{ \sqrt{\frac{2if}{Q\tau} \cdot \frac{1}{\partial f/\partial x} \cdot \frac{1}{x}} \right\}^2 + \\ & + \left(\frac{\Delta \beta}{Q \cdot \partial f/\partial x \cdot x} \right)^2 + \left(\frac{\alpha f}{\partial f/\partial x \cdot x} \right)^2 + \left(\frac{r}{\partial f/\partial x \cdot x} \right)^2 + \left(\frac{\partial x/\partial t \cdot \tau}{x} \right)^2 \end{aligned} \quad (14)$$

最佳設計可以获得如下:首先是制定的特性函数要能给出最小误差。在以实际的特性函数代入方程(14)的 $F(x)$ 并加以计算之后,要选择 Q 和 τ 使能得到要求的准确度。至于 Q , 进一步考虑价格、半衰期、放射性伤害等是必要的。 τ 亦可选择如方程(15)以使得方程(14)取极小值。

$$\tau^3 = \frac{if}{Q(\partial f/\partial x)^2(\partial x/\partial \tau)^2} \quad (15)$$

輻射厚度計

輻射厚度計的原理是很简单的,但作为工业上的应用,它应具有下列性质,即对于长时间連續运用的良好稳定性,抵抗工厂不良条件的坚固性,容易操作和维护等。

符合这些要求的各种輻射厚度計已經制成。这些厚度計可以分为两类,一类用 β 放射源,另一类用 γ 放射源。但两类都有电离室,并且都取輻射所产生的离子电流为輻射强度的量度。

最简单的厚度計有一个电离室作为探测器,室内产生的离子电流用一个直流放大器来放大。这类輻射厚度計适用于下列厚度的材料。

β 射线(Pm-147, Tl-204, Sr-90, Ru-106) $\cdots 0.5$ 毫克/厘米²—1250 毫克/厘米²

γ 射线(Al-Sr-90, Cs-137^[2], Co-60) $\cdots 4$ 克/厘米²—40 克/厘米²

这类厚度計已經最广泛地被应用。但在某些极端情形中,会遇到一些困难,象放射性衰变,环境条件变化所引起的误差,直流放大器的零点漂移等。

曾用温度控制室或热变电阻器避免这些困难,双道系統也曾被采用来减小不仅由于温度而且由于其他条件所引起的误差。用二个电离室,一个用于待测材料,另一个用于标准校准样品。两个室在同样条件下运用。变化标准样品的厚度,使得两室輸出电流的差为零。零差表示标准样品的厚度准确地与待测材料的厚度相同。这系統的特性函数 F , 可以写成

$$F = kf(x) \quad (16)$$

其中, k 是关于輻射的衰变及环境条件所引起影响的一个因数。 x 是待测材料的厚度。而标准系統的特性函数 F_0 , 可以表示为:

$$F_0 = kf(x_0) \quad (17)$$

其中, k 与前一方程同。 x_0 是标准样品的厚度。因为 k 在这些方程中是完全一样的,并且两方程的形式可以由仪器的安排使之相等,所以我們能够得到下列方程。

$$\begin{aligned} F - F_0 &= k\{f(x) - f(x_0)\} = 0 \\ f(x) - f(x_0) &= 0 \end{aligned} \quad (18)$$

即 x 对 x_0 的相应性不受环境条件 k , 例如温度、压力等的影响。

作为这个系統的改进,我們亦可利用相应于材料厚度与預定标准厚度之差电的輸出,以代替利用供比較的可变厚度标准。

除測量薄片外,同样的原理亦已被利用于探测信管中火药的不均匀性或不連續性以及香烟的烟草密度^[3] (图1)。由于它們形状是圓柱形,所以要装置合适的导轨以使香烟或安全信管可以經過相对于輻射路径的相同軌迹。但材料体积的变化,即外直径的不規則,使得測量的准确度降低至輸出訊号的 1.5%。

一个具有振动电容器的直流放大器曾被用来减小“不变误差”，而后者是值得叙述的。作为电离室负载的高兆欧电阻随着温度变化如图 2a 所示。具有在 20°C 时 -3%/度的特性的热变电阻器被用在退去电位线路以作为温度补偿。总的特性表示在图 2b 中，其准确度是：

范围 20—400 毫克/厘米²

准确度 (Sr-90) ± 1.0 毫克/厘米² 对 20—200 毫克/厘米²

± 1.5 毫克/厘米² 对 200—300 毫克/厘米²

± 2 毫克/厘米² 对 300—400 毫克/厘米²

条件	温度	0—40°C
	湿度	0—100%

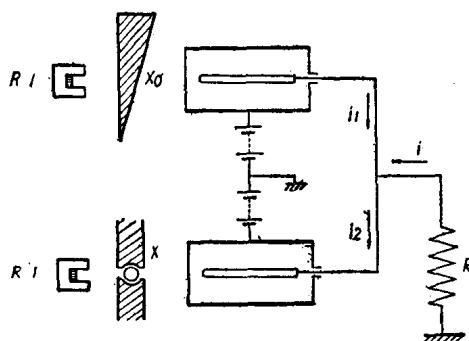


图 1 用于信管或香烟的 β -计

X: 待测材料 X₀: 标准材料 i: 电离电流 R: 高兆欧

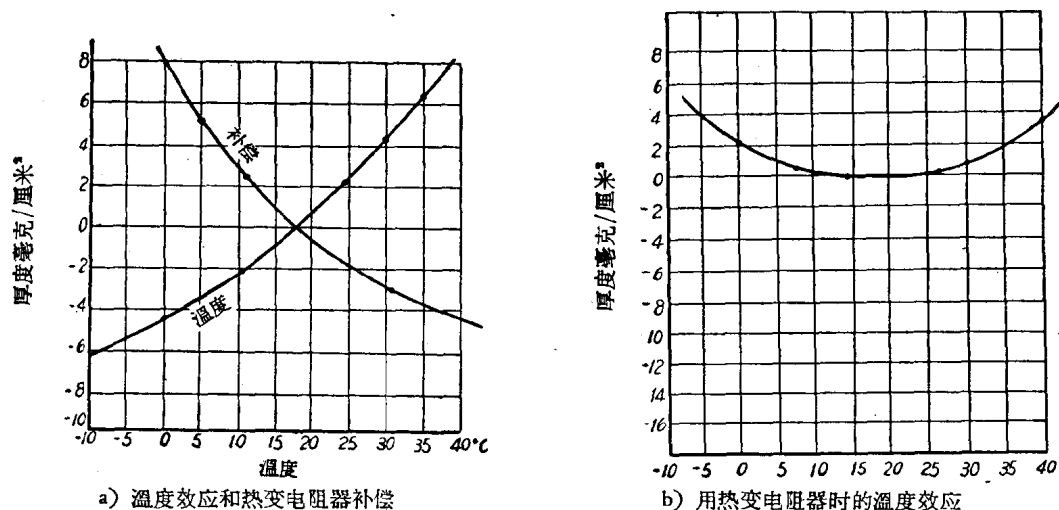


图 2 温度

新的相减厚度计曾得到发展，以用来量测由两层纸中间夹一层地氩青的防水纸^[9]。这种厚度计能够只指示防水纸的地氩青层的厚度。这厚度计有三个室如图 3 所示，每一室分别产生相应于每一外层纸及总厚度的电离电流。因此只需要从总厚度的输出电流中消去两外层纸的反向输出电流后即得相当于地氩青层的电流。在此系统中，相减的厚度受外层纸的厚度所影响，因此输出不是厚度的线性函数。但是如果吸收系数 μ 和厚度 x 的乘积 μx 小于 1，此影响即可忽略。

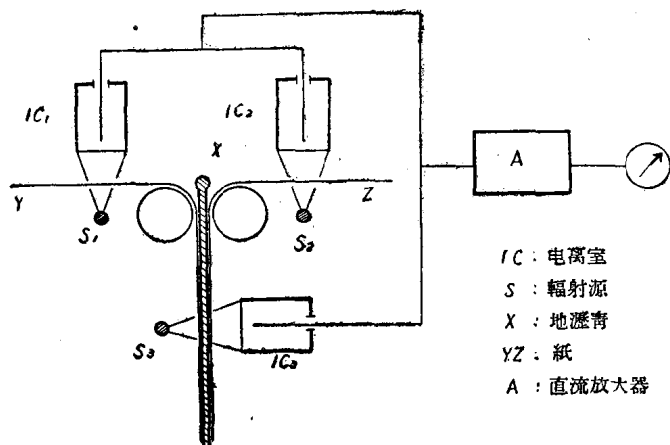


图3 测量防水紙

例如, 当用 Sr-90 放射源吸收系数 μ 为 8 厘米²/克, 以及外层紙的厚度为 5 毫克/厘米² 时, 对 2—20 毫克/厘米² 厚的地瀝青, 相对于 10% 外层紙变化的影响小于 1%。

三个室的量度范围是相同的, 都是 0—10 毫克/厘米²。校准曲綫表示在图 4 中。

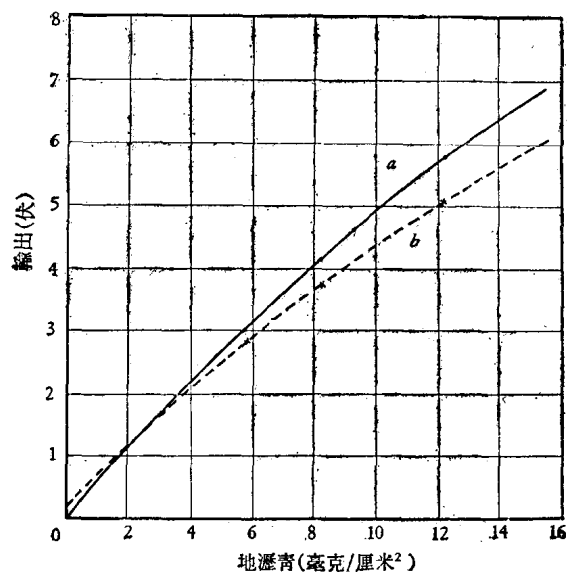


图4 校准曲綫

图中: *a* 代表沒有任何外层紙时的校准曲綫。

b 代表有外层紙, 并且两层外层紙的厚度都是 5 毫克/厘米² 时的校准曲綫。

外层紙厚度所引起的在零点上的影响如图 5 中的实綫所示, 而虛綫相应于材料的吸收系数假设为 8.0 厘米²/克的一个室, 实綫与虛綫間的差别可以归諸于每室所量度的吸收系数稍有差别这一事实。

β 射綫背散射 (backscatter) 厚度計适用于較薄的材料, 这一类专门例子已有报告^[6]。这类厚度計是制造用来量度鋼片上薄塑料涂层的厚度, 所用的 β 射綫源是 C-14。另一种应用是量度涂錫鋼上的錫层的厚度^[7]。图 6 表示出从 19 片 0—60 毫克/厘米² 涂层所获

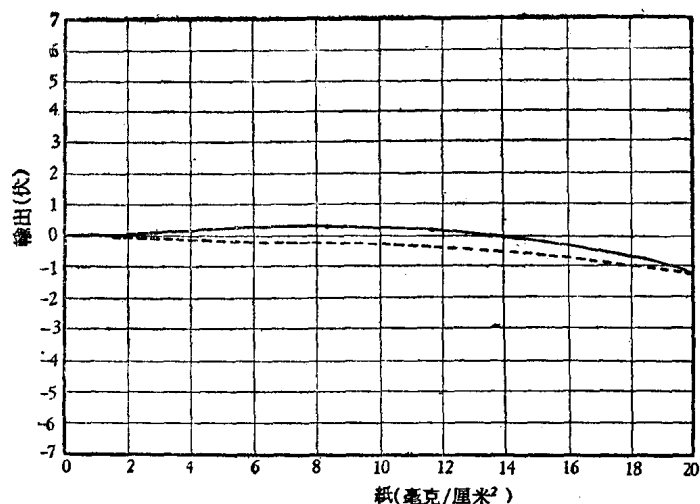


图5 紙对零点的影响

得的結果。校准是用称量方法作的,所以涂层的厚度显然能够量度到誤差小于0.8毫克/厘米²。然而用普通的称量法需要20分钟以上的时间,此新方法使时间縮短到少于20秒,此外更有不接触操作的好处。

輻射水平面計

关于放射源及探测器的几何排列的許多設計,曾經成功地取得液面的綫性特性函数,从而有助于自动控制系统。

另一方面,馬达带动的自动追随水平面計被发展成为在任何液面具有恆定准确度的水平面計。它的探测器通常是具有盖格-謬勒計数器或閃爍計数器的計数率計。可以利用不連續的或連續的伺服系統。

最簡單的开-关式水平面計現已投入广泛的应用,这种水平面計仅能指示液面处在任意設定的水平面之上或下。

此种开-关式水平面計的設計可以作为一般設計程序的极限而获得,但下列簡單計算亦是有用的。

設 N_R 是得到好的运行所需的最小計数,在开与关状态間計数率的差至少應該等于統計标准偏差的三倍。如下式:

$$N_R(1 - k) = 3\sqrt{N_R^2/2 n_R T + N_0} + \sqrt{N_R^2 \cdot k/2 n_R T + N_0} \quad (19)$$

其中 k 是当輻射路径充滿液体时的剩余穿透率, N_0 是本底計数, T 是仪器的時間常数。若定义 a 为本底計数与探测計数之比 ($a = N_0/N_R$),則此方程可化为:

$$n_R = \frac{9}{2T} (\sqrt{1+a} + \sqrt{k+a})^2 \cdot \frac{1}{(1-k)^2} \quad (20)$$

图7表示 n_R 和 k 的关系,其中 T 是1秒,而 N_0 是30次/秒。

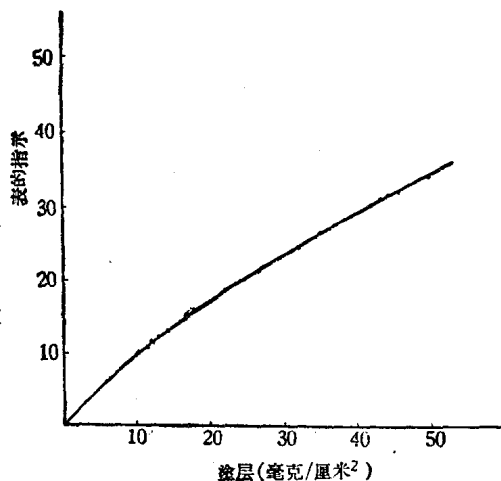


图6 在鋼片上塑料塗层的校准曲綫

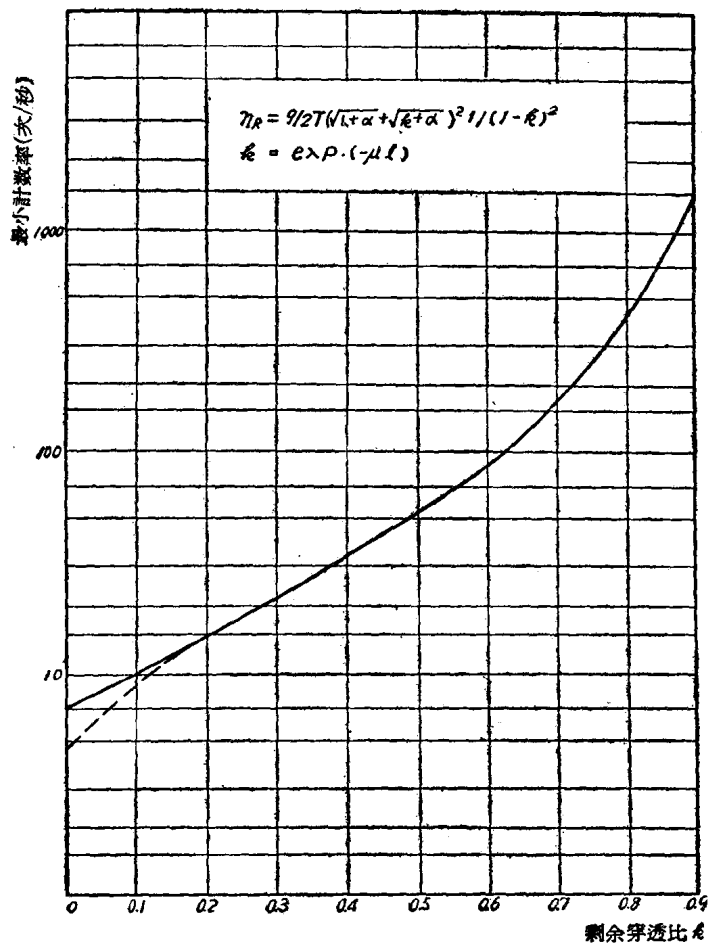


图7 方程 20

如图 8 所示,当較灵敏的探测器(本底 400 次/秒)可資利用时,最小計數率 n_R 能够减小到上述的 1/7, 这里假設探测器的灵敏度与本底成比例。

放射源的最小量能够从上述討論中确定。关于水槽問題的放射源强度如图 9 所示。

粉末材料的新水平面計曾得到发展^[10]。通常这些水平面不是平坦的也不是水平的。图 10 表示槽的机械构造。放射性-同位素放在 A 处, 两个探测器放在 B 和 C 处。如果积聚的粉末的面超过 $A-B$ 或 $A-C$ 綫, 就有輸出訊号发生, 而此訊号动作传送带的速率控制器或进料槽的控制器, 这样在传送带上粉末的密度自动控制成为恆定。

这种水平面計的平面图表示在图 11 中。5 到 6 个放射源沿着槽的表面水平地装置, 以使在槽的需要部分可以获得均匀的輻射場, 16 个盖格-謬勒計數管則放置在放射源的对面, 这样系統約有 2 米寬。能够調整在任何的灵敏寬度, 例如整个寬度的 1/4 到 1/10 的不規則部分能够被探测出。实际制成的系統对上水平面有 1/4 部分的灵敏寬度和对下水平面有 1/16 部分的灵敏寬度。如图 12 所示的一个盖格-謬勒計數管的直流輸出被用作所探测的輻射的度量。由于直流輸出是所加电压的綫性函数, 这仪器的灵敏度能够由加于盖格-謬勒計數管上的电压来調整。

輸出电流的数量級約为 1 次/秒 10^{-7} 到 10^{-9} 安培, 从而几个兆欧电阻就足以动作后面的仅有簡單阻抗轉換的控制机构。这对系統的簡化是极有用的。

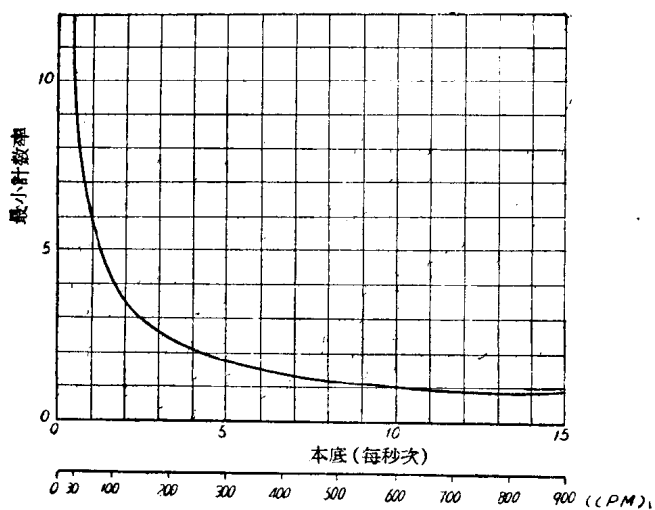


图8 最小计数率与本底计数的关系

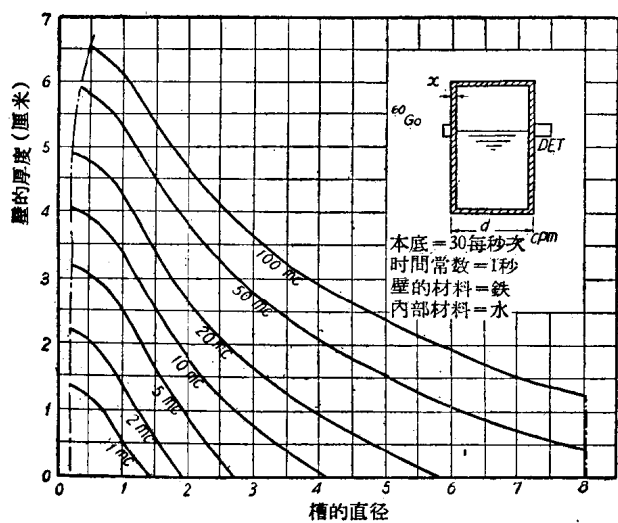


图9 用于水槽的最小辐射源量

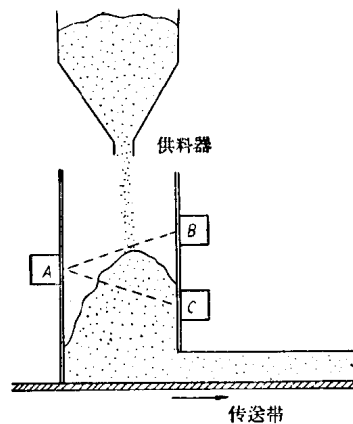


图10 粉末水平面计

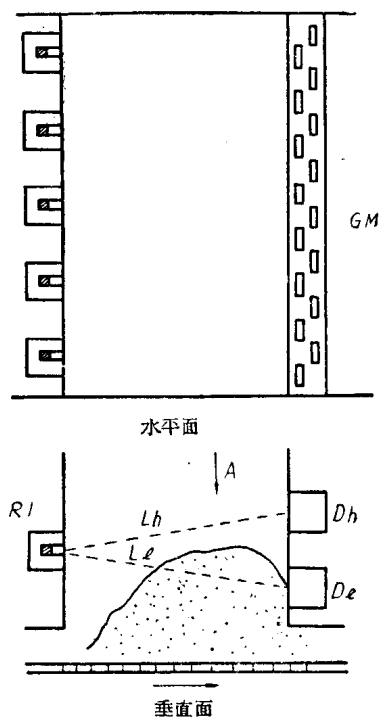


图11 粉末水平面计

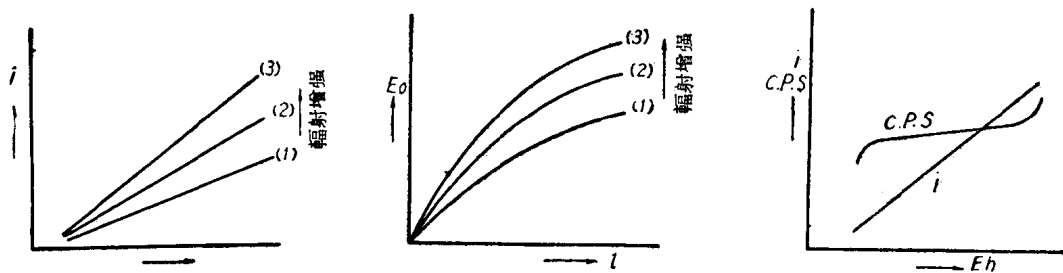


图12 盖格-缪勒计数管的直流特性

E_h : 所加电压; i : 直流输出电流; E_o : 输出电压

輻射密度計

在重介質分離的選礦作業中，必須準確地量度重介質的濃度或比密度。為了代替通用的測量方法，曾在實驗上辛苦地試制 γ 射線密度計，並且獲得滿意的結果^[11]。

這是用材料的一定厚度的 γ 射線穿透比來得到重介質的濃度或比密度。因為任何懸浮體對 γ 射線的線吸收系數是懸膠體的濃度或比密度的單值函數。分別用 Co-60 和 Cs-137 為 γ 射線源，以及分別用蓋格-謬勒計數管和閃爍計數管作為探測器的實驗都曾作過。結果在這些探測器間並沒有觀察到差別，但在放射源間則觀察到差別。使用 Cs-137 放射源，材料的最佳厚度較小而且分辨本領亦較好。

圖 13. 表示石英沙、黃銅礦和硅鉄的濃度或比密度與 γ 射線穿透本領間的關係。其中 Co-60 或 Cs-137 用作放射源，閃爍計數器或蓋格-謬勒計數器用作探測器。每一曲線表示這種組合。

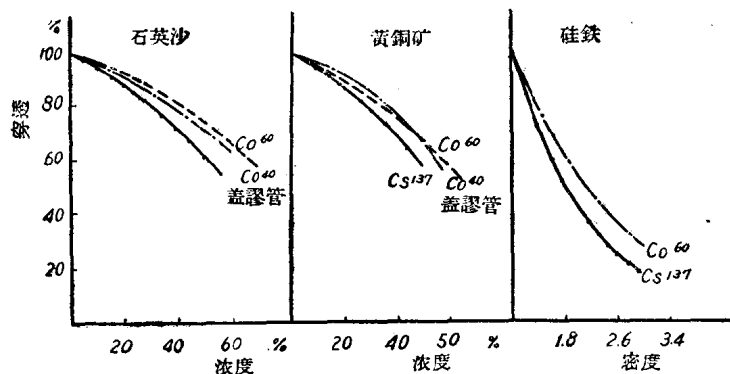


圖 13 穿透與濃度或密度的關係

實驗上曾用計數率計來進行實際的連續測量。

另一方面一種新的密度計曾被應用，這種密度計能測量在導管中的氣體所支持的煤粉量。其結構如圖 14 所示，其中應用 Sr-90 放射源及一個電離室，下降煤粉的密度與指示間的關係表示在圖 15 中。

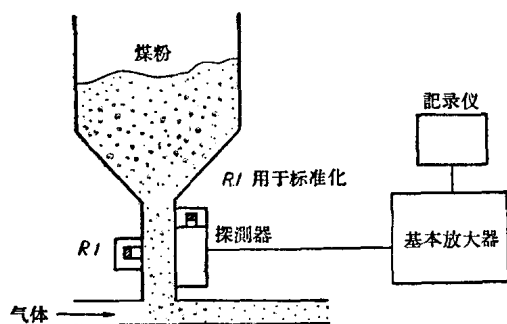


圖 14 粉末密度計

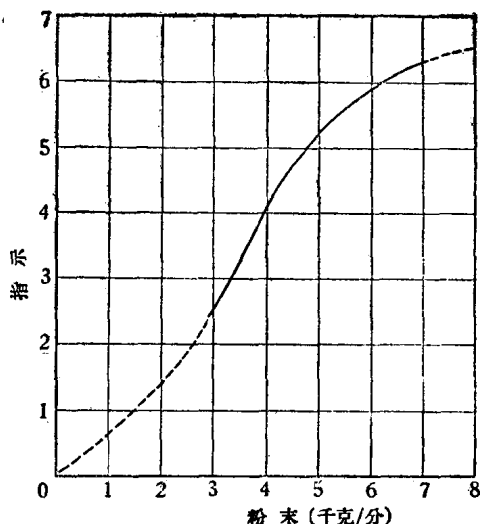


圖 15 粉末密度計的校準曲線