

# $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线在花岗岩中线性吸收系数的测定

许国茂

(应用物理系)

## 摘 要

本文测量了 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 射线在花岗岩中的线性吸收系数  $\mu_{\text{岩}} = 0.148\text{cm}^{-1}$ , 它将为辐照室屏蔽材料的选择和屏蔽厚度的计算提供可靠的依据。

## 一、引 言

辐射加工是核技术应用的重要方面, 它在工业、农业、医疗卫生及科学研究的许多领域得到了广泛的应用<sup>[1]</sup>。为了适应现代化的要求, 促进福建的经济发展, 福州、厦门、泉州和建瓯等地都在筹建辐射中心。

由于射线对人体有伤害作用, 因此在建造辐射中心时, 辐照室的安全防护是个重要问题。辐射屏蔽是辐射防护的重要手段, 选用什么材料作为屏蔽物质, 主要决定于材料的屏蔽性能、经济性和可行性。就 $\gamma$ 射线来说, 屏蔽性能的主要参数是 $\gamma$ 射线的线性吸收系数。以往辐照室屏蔽材料多数是采用混凝土, 但混凝土的价钱比较贵。为了寻找更适宜的材料, 测定了花岗岩对 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 射线的线性吸收系数, 其结果为 $\mu_{\text{岩}} = 0.148\text{cm}^{-1}$ , 它将为辐照室屏蔽材料的选择和屏蔽厚度的计算提供可靠的依据。

## 二、 $\gamma$ 射线在物质中的减弱规律

衰变放射出的 $\gamma$ 射线, 其能量大多数在0.1—3MeV之间, 在这个能量范围内,  $\gamma$ 射线与物质相互作用主要有三种效应, 即: 光电效应、康普顿-吴有训效应和电子对生成效应。由于这些效应使得 $\gamma$ 射线穿过屏蔽物质时, 其强度将被减弱(图1), 减弱的规律遵循指数关系, 即

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

本文1987年1月8日收到。

式中,  $I_0$  为未通过屏蔽物质前  $\gamma$  射线的强度;  $I$  为通过厚度  $R$  的屏蔽物质后  $\gamma$  射线的强度;  $\mu$  为  $\gamma$  射线在屏蔽物质中的线性吸收系数。

这里线性吸收系数  $\mu$  是指所发生的一切相互作用, 显然线性吸收系数等于各相互作用过程的吸收系数的总和, 即

$$\mu = \tau + \sigma + k \quad (2)$$

式中,  $\tau$  为光电吸收系数;  $\sigma$  为康普顿吸收系数;  $k$  为电子对吸收系数。

同一能量的  $\gamma$  射线, 对不同物质的线性吸收系数  $\mu$  的数值是不同的。  $\mu$  的大小表示物质对  $\gamma$  射线减弱的程度, 亦即反应物质对  $\gamma$  射线屏蔽效果的好坏。

将式(1)两边取对数得

$$\ln I = \ln I_0 - \mu R \quad (3)$$

从式(3)可见  $\ln I$  与  $R$  是线性关系。实验中逐渐增加屏蔽物质的厚度  $R$ , 测量相应的计数率  $I$ , 可得吸收曲线如图2所示, 线性吸收系数  $\mu$  可从这条直线的斜率求出, 即

$$\mu = \left| \frac{\ln I_2 - \ln I_1}{R_2 - R_1} \right| \quad (4)$$

### 三、测量装置

这里所测量的是线性吸收系数  $\mu$ , 因此要避免散射的  $\gamma$  射线进入探测器而被记录下来。要避免散射  $\gamma$  射线的影响, 必须用铅的准直孔来获得窄束的  $\gamma$  射线。为此设计了如图3所示的测量装置。图中, 1 为装源铅室, 2 为铅准直孔, 3 为探头屏蔽铅室。测量前要求三者的准直孔调节到同一轴线上, 放射源  $^{60}\text{Co}$  放在装源铅室的中心, 屏蔽物质放在装源铅室的正前方。

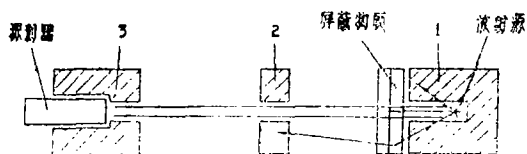


图3 获得窄束  $\gamma$  射线测量装置示意图

型自动定标器。

本实验  $\gamma$  射线的探测是采用北京核仪器厂生产的 FJ-367 型通用闪烁探头和 FH-408

### 四、实验结果和数据处理

#### 1. 测定 $\gamma$ 射线在花岗岩中的线性吸收系数 $\mu_{\text{岩}}$

放射源  $^{60}\text{Co}$ , 源强为 10mg Ra。闪烁探头工作电压选为 800V。

先测本底, 在装源铅室的准直孔处堵上一块铅砖, 测量本底计数率  $N_{\text{本}}$ , 重复测 5 次取平均值, 结果为  $N_{\text{本}} = 1160$  计数/min。

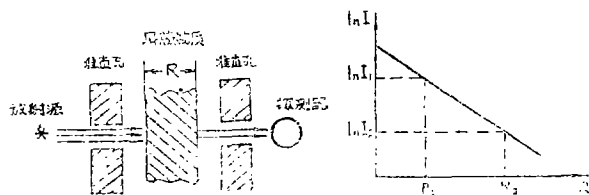


图1  $\gamma$  射线吸收实验

图2 窄束  $\gamma$  射线的吸收曲线

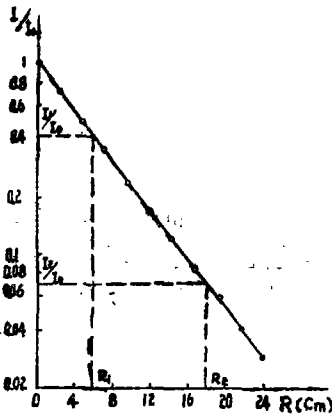
花岗岩样品的密度为 $2.6\text{g}/\text{cm}^3$ ，切成面积为 $10\text{cm} \times 15\text{cm}$ ，厚度约为 $2.4\text{cm}$ ，两面磨光的板材作为屏蔽物质。在装源铅室的准直孔处拿掉铅砖，换上花岗岩板，逐渐增加花岗岩板的厚度，测量相应的计数率 $N$ ，测得的计数率 $N$ 扣去本底 $N_{\text{本}}$  ( $I = N - N_{\text{本}}$ )，并归一化求出 $I/I_0$ 的比值，其结果见表1。

表 1

厚度 (cm)	N(计数/min)	$I = N - N_{\text{本}}$	$I/I_0$	厚度 (cm)	N(计数/min)	$I = N - N_{\text{本}}$	$I/I_0$
0	136888	135728	1	14.27	17730	16570	0.12
2.31	97390	96230	0.71	16.83	12404	11244	0.083
4.71	67883	66723	0.49	19.30	9161	8001	0.059
7.09	48210	47050	0.35	21.68	6692	5532	0.041
9.55	34042	32882	0.24	23.95	5031	3871	0.029
11.89	24815	23655	0.17				

由表1的实验数据，在半对数坐标纸上作图，可得吸收曲线如图4所示。

从图4可见吸收曲线是一条直线，在直线上取两点，求直线的斜率便可得线性吸收系数 $\mu_{\text{岩}}$



$$\mu_{\text{岩}} = \left| \frac{\ln 0.069 - \ln 0.41}{18 - 6} \right| = 0.148\text{cm}^{-1}$$

## 2. 测定 $\gamma$ 射线在铅中的线性吸收系数 $\mu_{\text{铅}}$

在测量花岗岩线性吸收系数的同时，测量了铅和水对 $\gamma$ 射线的线性吸收系数 $\mu_{\text{铅}}$ 和 $\mu_{\text{水}}$ 。

先测本底，然后在装源铅室的准直孔处换上铅片，逐渐增加铅片厚度，测量相应的计数率 $N$ ，测量结果见表2。

由表2的实验数据作出的吸收曲线见图5，从直线的斜率求得线性吸收系数 $\mu_{\text{铅}}$ 。

图 4 窄束 $\gamma$ 射线在花岗岩中的吸收曲线

$$\mu_{\text{铅}} = \left| \frac{\ln 0.13 - \ln 0.4}{(9 - 4) \times 0.345} \right| = 0.652\text{cm}^{-1}$$

表 2

厚度(片数)	N(计数/min)	$I = N - N_{\text{本}}$	$I/I_0$	厚度(片数)	N(计数/min)	$I = N - N_{\text{本}}$	$I/I_0$
0	137393	136246	1	7	28224	27077	0.20
1	107921	106774	0.78	8	22993	21846	0.16
2	81578	80431	0.59	9	18687	17540	0.13
3	68781	67634	0.50	10	14959	13812	0.10
4	54982	53835	0.40	11	12252	11105	0.082
5	43794	42647	0.31	12	10291	9144	0.067
6	34791	33644	0.25				

\*  $N_{\text{本}} = 1147$  计数/min

3. 测定 $\gamma$ 射线在水中的线性吸收系数  $\mu_{\text{水}}$

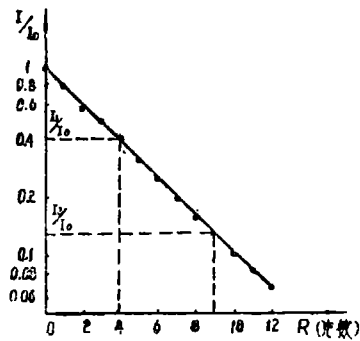


图 5 窄束 $\gamma$ 射线在铅中的吸收曲线  
(铅每片的厚度为: 0.345cm)

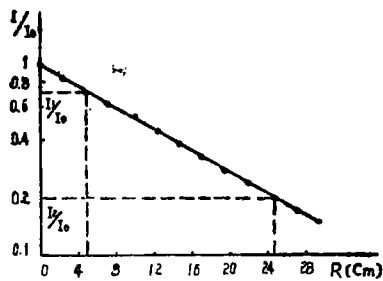


图 6 窄束 $\gamma$ 射线在水中的吸收曲线

用塑料袋装满水, 放在二块有机玻璃板之间, 调节有机玻璃板间的距离, 即可改变水层厚度, 并测量相应的计数率  $N$ , 测量结果见表 3。

表 3

厚度(cm)	N(计数/min)	$I = N - N_{\text{本}}^*$	$I/I_0$	厚度(cm)	N(计数/min)	$I = N - N_{\text{本}}^*$	$I/I_0$
0	125677	124526	1	17.0	42490	41339	0.33
2.4	106937	105786	0.85	19.7	36121	34970	0.28
4.9	90988	89837	0.72	22.1	31502	30351	0.24
7.3	78849	77698	0.62	24.9	26234	25083	0.20
10.0	66548	65397	0.53	27.3	22610	21459	0.17
12.3	57703	56552	0.45	29.5	20172	19021	0.15
14.7	49324	48173	0.39				

\*  $N_{\text{本}} = 1151$  计数/min

由表 3 的实验数据作出的吸收曲线见图 6, 从直线的斜率求得线性吸收系数  $\mu_{\text{水}}$

$$\mu_{\text{水}} = \left| \frac{\ln 0.2 - \ln 0.72}{25 - 5} \right| = 0.064 \text{cm}^{-1}$$

五、结果讨论

(1) 测量  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  射线在铅和水中的线性吸收系数分别为

$$\mu_{\text{铅}} = 0.652 \text{cm}^{-1}; \mu_{\text{水}} = 0.064 \text{cm}^{-1}$$

而从文[1]中查得的线性吸收系数分别为

$$\mu_{\text{铅}} = 0.645 \text{cm}^{-1}; \mu_{\text{水}} = 0.063 \text{cm}^{-1}$$

测量结果和文献中查得的十分接近,在测量误差范围内相吻合。由此可见,我们设计的测量装置是符合要求的,测量结果也是稳定可靠的。

(2) 测量  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  射线在花岗岩中的线性吸收系数的结果为  $\mu_{\text{岩}} = 0.148\text{cm}^{-1}$ , 而文[1]中  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  射线在混凝土中的线性吸收系数为  $\mu_{\text{土}} = 0.133\text{cm}^{-1}$ 。显然,  $\mu_{\text{岩}} > \mu_{\text{土}}$  (大11.3%), 说明花岗岩对  $\gamma$  射线的屏蔽效果比混凝土好, 便宜 (1 m<sup>3</sup>花岗岩比混凝土便宜25—30%), 同时花岗岩在闽南地区产量丰富, 是建筑的主要材料。综上所述, 我们建议辐照室采用花岗岩作为屏蔽材料。

致谢: 本实验用的花岗岩样品由机械系汤忠华老师提供; 骆品志、杨升阳同学参加了实验工作, 概此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 李星洪等编, 辐射防护基础, 原子能出版社, (1982).
- [2] 复旦大学、清华大学、北京大学合编, 原子核物理实验方法(上册), 原子能出版社, (1985).
- [3] 陈科文主编, 辐射保藏食品, 科学出版社, (1981).
- [4] 中国科学院工程力学研究所编,  $\gamma$ 射线屏蔽参数手册, 原子能出版社, (1977).
- [5] Singru, R.M., Introduction to Experimental Nuclear Physics, Wiley Eastern Private Limited, New Delhi, (1972).

## Determination of Linear Absorption Coefficient of $^{60}\text{Co}$ $\gamma$ -ray in Granite

Xu Guomao

### Abstract

The linear absorption coefficient of  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -ray in granite is measured and a value is obtained as follows:  $\mu = 0.148\text{cm}^{-1}$ . It provides a reliable basis for choice of shielding materials and for calculation of thickness of barrier shield in irradiation room.