

某型号手套箱室壁优化

王东勇,尚爱国,刘 波,杨 杰

中图分类号: TL816+.3 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2009)04-0426-01

【摘要】 目的 为优化手套箱室壁材料,最大程度降低核材料操作人员受辐射所致的伤害。方法 计算确定对光子和中子屏蔽效果最好的两种材料,采用 MCNP 方法计算出不同厚度屏蔽材料对辐射的屏蔽效果,通过 MATLAB 得到拟合函数,然后优化得到两种屏蔽材料最佳的组合结果。结果 通过计算,在屏蔽材料为 10 cm 时,操作人员所受剂量相对减弱比可达到 93.5%。结论 通过建模计算,为设计手套箱室壁材料的优化提供了计算思路。

【关键词】 室壁材料;光子;中子;MCNP;MATLAB

在人员对核部件进行操作时,受到的辐射种类往往不只一种,在操作某种核部件时,最主要的危害来自中子和光子,为保护操作人员,一般用手套箱对其进行辐射防护,由于对中子屏蔽效果最佳的材料和屏蔽光子最佳的材料并不相同,为使操作人员受辐射伤害最小,需对室壁的两种屏蔽材料的厚度进行优化,以达到对两种辐射的最佳屏蔽效果。

1 优化原理

手套箱外壁的厚度为 h 屏蔽由 2 种材料组成,它们对光子的衰减系数为 $f_1(x_1)$ 、 $f_2(x_2)$,对中子的衰减系数为 $g_1(x_1)$ 、 $g_2(x_2)$ 其中 x_i 为该材料的厚度。设无屏蔽材料时人体组织材料对光子与中子的吸收剂量分别为 H_γ 与 H_n 有屏蔽材料时人体组织材料对光子与中子的吸收剂量分别为 G_γ 与 G_n ,则有如下关系式:

$$\begin{cases} G_\gamma = H_\gamma \cdot \prod_{i=1}^2 f_i(x_i) \\ G_n = H_n \cdot \prod_{i=1}^2 g_i(x_i) \end{cases} \tag{1}$$

其中 x_i 为该材料的厚度。
总剂量为 $G = G_\gamma + G_n$,欲使总剂量最小,则可以由如下约束方程式来计算 x_i 的值:

$$\begin{cases} \min [H_\gamma \cdot \prod_{i=1}^2 f_i(x_i) + H_n \cdot \prod_{i=1}^2 g_i(x_i)] \\ \text{s.t.} \sum_{i=1}^2 x_i \leq h_{\max}, 0 \leq x_i \leq h_{\max} \end{cases} \tag{2}$$

式中 h_{\max} 为屏蔽材料的最大总厚度。

2 最优化计算

2.1 屏蔽材料的选择 利用 MCNP 程序 [1] 通过如下几何模型来评价不同材料对中子的吸收效果,其中核材料为内径 15 cm 外径 16 cm 强度为 1 Bq 的 ^{60}Co 球壳,直径为 1 cm 的水球球心距球壳球心距离为 30 cm 通过比较相同厚度 (1 cm) 的不同材料屏蔽后水球的沉积能量来评价何种材料对中子有最佳的吸收效果,计算结果如表 1。

表 1 水球在常用中子屏蔽材料屏蔽后的吸收剂量	
屏蔽物质	MCNP 计算结果
Be	6.8340E-06
Li	6.7062E-06
Fe	6.4030E-06
C ₂ H ₂ n	6.0966E-06

作者单位:第二炮兵工程学院 102 室,陕西 西安 710025
作者简介:王东勇 (1986-),男,江西乐平人,硕士研究生在读。辐射防护专业。

表 2 是高能 X 射线在不同物质中衰减一半所需要的厚度,由于 X 射线的辐射特性与 γ 射线类似,可说明对光子具有最好的衰减作用是钨,其次是铅,综合考虑成本的问题,选用铅作为最佳屏蔽材料。通过分析,选用聚乙烯和铅作为构成手套箱室壁的两种材料。

表 2 高能 X 射线的半值层 (cm)

材料 (密度 g/cm ³)	1MeV	2MeV	4MeV	6MeV	9MeV	11MeV	15MeV
钨 (18)	0.55	0.90	1.15	1.20	1.20	1.20	1.15
铅 (11.3)	0.75	1.25	1.60	1.57	1.52	1.47	1.37
钢 (7.85)	1.60	2.00	2.50	2.80	3.00	3.20	3.30
铝 (2.70)	3.90	5.40	7.50	8.90	9.60	10.00	11.00
混凝土 (2.35)	4.50	6.20	8.60	10.20	11.00	11.50	12.70
固体推进剂 (1.7)	6.10	8.40	11.60	13.80	14.90	16.50	20.40
有机玻璃 (1.2)	10.50	12.10	16.80	19.90	21.50	23.80	29.50
橡胶 (1.11)	11.18	12.70	19.30	21.00	24.40	25.40	29.80

2.2 最优组合厚度计算 计算两种屏蔽材料对两种辐射屏蔽效果的 MCNP 计算原理图如图 1 所示,手套箱的室壁厚度为 27 cm 用直径为 1 cm 的水球作为人体等效组织,源材料是一个中心在 (0,0,0) 的均匀分布的 ^{238}Pu 球壳,内径为 15 cm 外径为 16 cm 的,密度为 16.54 g/cm³。

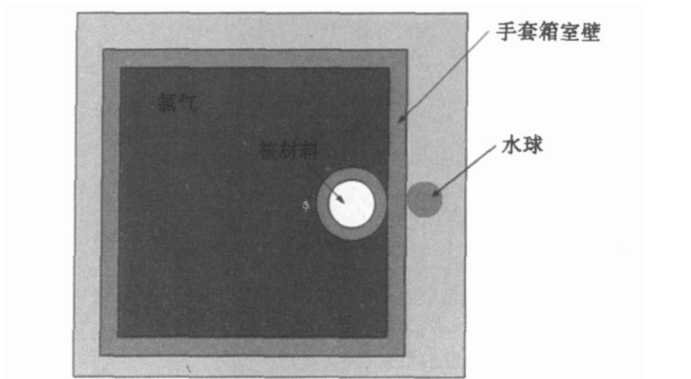


图 1 计算屏蔽材料屏蔽效果原理图

表 3 是计算屏蔽材料为不同厚度聚乙烯时,MCNP 计算所得人体等效组织的中子与光子吸收剂量率。

通过 MATLAB [2] 对数据进行拟合,得到中子吸收剂量率随聚乙烯厚度变化拟合函数:

$$G_{238\text{Pu}}(x) = 1.073 \times 10^{-8} \exp(-0.2591x) + 7.304 \times 10^{-11} \exp(-0.004531x) \tag{3}$$

光子吸收剂量率随聚乙烯厚度变化拟合函数为:

$$F_{C_2H_2n}(x) = 2.2623 \times 10^{-10} \exp(-0.7471x) + 7.78 \times 10^{-10} \exp(-0.1773x) \tag{4}$$

在落实辐射防护三原则中医院预防科的职责

徐 韬,于晓松,范晨阳

中图分类号: TL71 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2009)04-0427-02

【摘要】 目的 探讨预防科如何贯彻和落实辐射防护三原则。方法 就我们在实际工作中的做法与三原则联系起来。结果 贯彻和落实辐射防护三原则是预防科的责任。结论 限制照射剂量、预防事故和减轻事故后果,预防科责无旁贷。

【关键词】 辐射防护三原则; 预防; 职责

随着科技的发展和人民生活水平的提高,人们提高自身健康水平的要求越来越强烈。一系列先进的医疗设备不断更新、出现并被很快地投入医学临床使用之中,极大的提高了对疾病诊治的水平。其中最具有代表性的就是放射性医学诊断与治疗设备,如 CT DSA PET SPECT X刀、 γ 刀、医用加速器等。这

些设备的广泛使用,使人们接受放射诊疗的频率与人数明显增加。由于电离辐射与放射性核素的医学应用是人类所接受到的非天然电离辐射中的最主要部分,它在人群总的累积剂量约占 15%。因此医疗照射中的放射防护管理工作、在医疗照射中实施放射防护的基本原则,发挥预防科的作用及职责,是现代医院管理中的一个重要课题。

鉴于此,国际放射防护委员会 (ICRP) 提出辐射防护三原则。即是指实践的正当性、安全与防护水平的最优化和个人受照的剂量限值。目的是用于保护人类免受或少受电离辐射的

作者单位: 中国医科大学附属第一医院, 辽宁 沈阳 110001
作者简介: 徐韬 (1969~), 女, 副研究员, 从事放射性同位素与射线装置管理工作。
通讯作者: 于晓松教授, 博士生导师。

表 3 等效组织的光子和中子吸收剂量率 (Gy/s) 随聚乙烯材料厚度 (cm) 变化关系		
聚乙烯材料 厚度 (cm)	光子吸收 剂量率 (Gy/s)	中子吸收 剂量率 (Gy/s)
20	1.4126E-11	1.7060E-10
18	2.4565E-11	1.9304E-10
16	5.3444E-11	2.6574E-10
14	5.6701E-11	4.6083E-10
12	7.9230E-11	5.2997E-10
10	1.1034E-10	8.4543E-10
8	1.5085E-10	1.5593E-09
6	2.4532E-10	2.3146E-09
4	4.1825E-10	3.7322E-09
2	6.3071E-10	6.2522E-09
1	7.8032E-10	8.0698E-09
0	1.0316E-09	1.1191E-08

表 4 是计算屏蔽材料为不同厚度铅时, MCNP 计算所得人体等效组织的中子与光子吸收剂量率。

表 4 等效组织的光子和中子吸收剂量率 (Gy/s) 随铅材料厚度 (cm) 变化关系		
铅材料 厚度 (cm)	光子吸收 剂量率 (Gy/s)	中子吸收 剂量率 (Gy/s)
20	0	1.2566E-10
18	0	1.5616E-10
16	0	3.4428E-10
14	0	4.5579E-10
12	0	7.3337E-10
10	0	9.1323E-10
8	0	1.4886E-09
6	0	2.1655E-09
4	0	3.8438E-09
2	0	6.3319E-09
1	5.6226E-12	8.5364E-09
0	1.0316E-09	1.1191E-08

度变化拟合函数为:

$$G_{\text{th}}(x) = 4.146 \times 10^{-9} \exp(-0.4279x) + 7.076 \times 10^{-9} \exp(-0.2104x) \tag{5}$$

光子吸收剂量率随铅厚度变化函数为:

$$F_{\text{th}}(x) = \begin{cases} -1.026 \times 10^{-9}x + 1.032 \times 10^{-9} & 0 \leq x \leq 1.0058 \\ 0 & x > 1.0058 \end{cases} \tag{6}$$

根据 (2) 式, 得到优化方程:

$$\begin{cases} \min [F_{\text{th}}(x_2) F_{\text{C}_{20}\text{H}_{20}}(x_1) / F(0) + G_{\text{th}}(x_2) G_{\text{C}_{20}\text{H}_{20}}(x_1) / G(0)] \\ s.t. 0 \leq x_1 \leq h_{\text{max}}, x_1 + x_2 = h_{\text{max}} \end{cases} \tag{7}$$

式中, $F(0)$ 、 $G(0)$ 分别为无屏蔽时光子与中子吸收剂量率; x_1 为聚乙烯的厚度, x_2 为铅的厚度。

通过优化方程得到最优厚度见表 5 表中 h_{max} 表示室壁总厚度, x_1 表示聚乙烯的最优厚度, x_2 表示铅的最优厚度, E 表示优化后的总吸收剂量率。

hmax (cm)	x1 (cm)	x2 (cm)	E (Gy/s)	减弱倍数	相对减弱比
0	0	0	1.222E-08	—	—
5	1.42	3.58	2.833E-09	4.31	76.8%
10	5.82	4.18	7.935E-10	15.4	93.5%
15	9.32	5.68	2.305E-10	68.4	98.1%
20	11.70	8.30	7.096E-11	172.2	99.41%

3 结论

通过 MCNP 模拟和 MATLAB 拟合数据, 对手套箱屏蔽材料进行了优化, 根据计算结果, 可确定手套箱室壁在四种不同厚度下最优的屏蔽方案。

参考文献:

[1] 金文绵, 李素梅. MCNP 使用手册 [M]. 北京: 中国原子能科学研究院计算机应用研究所, 1994 4
[2] 苏金明, 阮沈勇. MATLAB 实用教程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005