

## 不同方法计算医用诊断 X射线机房屏蔽厚度的比较

易艳玲, 卓维海, 郑钧正, 刘海宽

中图分类号: R142 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2007)04-0441-02

【摘要】 目的 比较用不同方法计算医用诊断 X射线机房的屏蔽厚度。方法 用查图法、查表计算法与经验公式计算法分别对不同面积 X射线诊断机房的主、副防护墙的屏蔽厚度进行计算, 并分析比较。结果 不同方法所得屏蔽厚度计算结果对不同机房面积和不同防护墙均有一定差异; 主防护墙屏蔽厚度的相对偏差虽小, 但绝对偏差较大; 而副防护墙屏蔽厚度的偏差趋势同主防护墙相反。结论 为实践放射防护的最优化, 有必要进一步探讨更为恰当和简便的屏蔽防护设计方法。

【关键词】 医用诊断 X射线机; 机房; 屏蔽设计; 计算

随着医用诊断 X射线的日益广泛应用和普及, 其机房的放射防护屏蔽设计越来越受到放射卫生防护人员和医院相关人员的重视与关注。医用诊断 X射线机房屏蔽厚度计算, 必须确保机房四周的辐射水平能满足相应国家标准规定的放射防护要求<sup>[1-2]</sup>。通常把用来屏蔽有用 X射线束的墙体称为主防护墙, 而副防护墙则是指用来屏蔽包括散射线和漏射线的实体墙。笔者归纳了三种常用于计算医用诊断 X射线机房防护屏蔽厚度的方法, 并对不同方法的计算结果进行分析比较。

## 1 医用诊断 X射线机房屏蔽厚度的常用计算方法

按照屏蔽厚度计算所采用的方式不同, 常用的计算方法可归类分为查图法、查十分之一值层衰减厚度 (TVT)表计算法 (以下简称查表计算法)和经验公式计算法。查图法是指根据核算的透射比数值从相关衰减曲线图中直接查出所需的屏蔽厚度; 查表计算法是先从相关表格中查出相应管电压的 TVT值, 再根据透射比数值算出所需的屏蔽厚度; 经验公式计算法是依据前人总结归纳出的经验公式, 用一系列有关参数直接计算所需屏蔽厚度。

## 1.1 查图和查表计算法

1.1.1 主防护墙屏蔽厚度计算 射线穿过屏蔽墙体前后的辐射量值之比, 俗称透射比  $B$  其表达式为:

$$B = H_w d^2 / WUT \quad (1)$$

式中,  $H_w$  为依相关国家标准设定的周剂量限值,  $d$  为 X射

线机源点离考察点的距离,  $W$  为周工作负荷,  $U$  为利用因子,  $T$  为居留因子。

根据 1 式计算出透射比  $B$  用查图法可直接从相应透射比衰减曲线图查得所需的主防护墙屏蔽厚度。但不同文献中的透射比曲线图形状和精度不一<sup>[3-5]</sup>; 且对于透射比较大的数据, 难以查出准确的屏蔽厚度。因此, 一般又可先查相应的 TVT 表, 再根据下面公式来计算主防护墙的屏蔽厚度 ( $\Delta$ ):

$$\Delta = TVT \cdot E(B^{-1}) \quad (2)$$

1.1.2 副防护墙屏蔽厚度计算 先分别按相应公式计算漏射线和散射线所需的屏蔽厚度, 再比较二者大小; 如二者计算结果相差不到一个 TVT 则在较大数值上加上一个半值层减弱厚度 (HVT), 如差别大于一个 TVT 则取较大者。

1.1.2.1 漏射线屏蔽厚度 ( $\Delta_{漏}$ ) 计算

$$\Delta_{漏} = TVT \cdot E(WL / d_{sc}^2 H_w) \quad (3)$$

式中,  $W_L$  为离 X射线线焦点 1m 处每周漏射线的比释动能率;  $d_{sc}$  为 X射线机源点到考察点的距离;  $T$  为居留因子。

1.1.2.2 散射线屏蔽厚度计算 先用下式计算出散射线的透射系数 ( $B_s$ ), 再用一半的  $B_s$  从透射比衰减曲线图中查出所需的屏蔽厚度, 或用查 TVT 表及用公式 2 来计算所需的屏蔽厚度。

$$B_s = 400 \cdot H_w \cdot (d_{sc} - d_{sc0})^2 / (SWTF) \quad (4)$$

式中,  $d_{sc}$  为患者体表散射点到考察点的距离;  $d_{sc0}$  为 X射线机源点到患者体表散射点间的距离;  $S$  是散射面积为  $400\text{cm}^2$  时离散射体 1m 处散射线的照射量与入射照射量之比;  $F$  为患者体表散射面积 (一般取  $400\text{cm}^2$ )<sup>[3]</sup>;  $H_w$  和  $W$  的意义同公式 1。

## 1.2 经验公式计算法 经验公式计算法实际上是把 X射线

作者单位: 复旦大学放射医学研究所, 上海 200032

作者简介: 易艳玲 (1979~), 女, 江西宜春人, 在读博士研究生 研究方向: 辐射防护与剂量学。

通讯作者: 卓维海

在空气中 1m 处的剂量当量率为  $6.327\mu\text{Sv/h}^{[4]}$ , 在操作中, 一般用于放射诊断学防护上的铅防护衣帽、围裙和铅眼镜等个人防护用品对这些基本无防护作用, 因而, 工作人员在操作中使用防护注射车和屏蔽注射器进行操作, 可屏蔽大部分剂量<sup>[5-6]</sup>, 研究表明, 使用屏蔽注射器可降低 25% 的受照剂量<sup>[6]</sup>。此类项目的工作人员在多为其他专业人员改行, 对设备的操作和诊断工作熟悉, 对 PET/CT 防护知识不足, 大多没经过放射防护知识培训, 应做好从业人员的放射防护知识培训工作。

## 参考文献:

- [1] IAEA Basic Medical Radiation Safety Training Package Part B Radiation Protection in Nuclear Medicine [J].
- [2] KUIKKA JT, BRITTON KE, CHENGGAZIV U, et al. Future development in nuclear medicine instrumentation: a review [J]. Nucl Med Commun, 1998, 19: 3-12.

- [3] UNSCEAR. Source and effects of ionizing radiation. Volume 1: sources [J]. New York: UN, 2000.
- [4] GROENEWALD W, WASSERMAN. Constant for calculating ambient and directional dose equivalents from radionuclide point sources [J]. Health Physics, 1990, 58: 655-658.
- [5] ROBERTS FQ, GUNAWARDANA DH, PATHMARAJ K, et al. Radiation dose to PET technologists and strategies to lower occupational exposure [J]. J Nucl Med Technol, 2005, 33(1): 44-47.
- [6] BRAN TAIMA, WENNGE J, LIE MALCHISHALOM, et al. measurement of occupational exposure for a technologist performing 18F FDG PET scans [J]. Health Physics, 2004, 87(5): 539-544.

(收稿日期: 2007-01-09 修回日期: 2007-09-10)

机的主要工作参数和设定的周剂量限值归纳为管电压 (V)和剂量减弱倍数 (K),用下列公式来综合计算主、副防护墙的屏蔽厚度 ( $\Delta$ )<sup>[4]</sup>:

$$\Delta = k_1 \cdot V^{k_2} \cdot (K)^{k_3}$$
 (5)

式中,  $k_1$   $k_2$ 和  $k_3$ 的取值见表 1; K的计算方法分主射线和散杂射线两种,详细计算方法见文献[ 6]。

表 1 经验公式中  $k_1$   $k_2$ 和  $k_3$ 的取值

管电压 (V)	$k_1$	$k_2$	$k_3$
50 kV≤ V≤ 100 kV	$5.2 \times 10^{-6}$	2.0	1.70
100 kV< V≤ 200 kV	$1.1 \times 10^{-3}$	0.93	1.48

2 结果与分析

设定参考点的周剂量限值 (Hw)为 0.04 mSv/周工作负荷 (W)为 1 000 mA·min X射线机工作管电流为 100 mA 采用不同方法分别计算了考察点离 X射线机源点距离分别为 4m、3m和 2m处主、副防护墙屏蔽 X射线所需的厚度,结果详见表 2和表 3。为了能更加直观地比较不同方法的计算结果,将用不同方法计算的考察点离 X射线机源点距离为 2m时主防护墙的屏蔽厚度进行画图比较,见图 1。

表 2 考察点离 X射线机源点不同距离处主防护墙屏蔽厚度 (mmPb)比较

管电压 (kV)	4 m			3m			2m		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
50	0.50	0.57	0.52	0.55	0.62	0.58	0.65	0.68	0.67
75	1.10	1.60	1.26	1.30	1.72	1.40	1.45	1.90	1.60
100	1.75	2.68	2.35	2.00	2.89	2.60	2.25	3.19	2.97
125	2.00	2.87	2.86	2.25	3.10	3.12	2.45	3.42	3.48
150	2.20	3.07	3.55	2.40	3.31	3.85	2.65	3.64	4.29

注: A为直接查图法<sup>[4]</sup>, B为查 TVT表算法<sup>[6]</sup>, C为经验公式计算法<sup>[4]</sup>。

表 3 考察点离 X射线机源点不同距离处副防护墙屏蔽厚度 (mmPb)比较

管电压 (kV)	4 m			3m			2m		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
50	—	0.08	0.03	—	0.13	0.06	—	0.19	0.09
75	—	0.25	0.14	—	0.37	0.23	—	0.55	0.29
100	—	0.55	0.35	0.35	0.63	0.52	0.60	0.92	0.65
125	—	0.63	0.66	0.50	0.72	0.90	0.80	0.99	1.06
150	—	0.70	0.94	0.65	0.81	1.23	0.90	1.23	1.44

注: A、B、C的意义和文献同表 2。“—”为因图的精度不足以直接查出结果,未查。

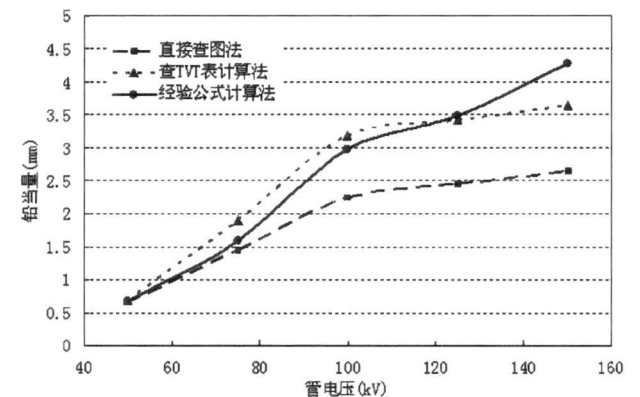


图 1 距 X射线源 2m处主防护墙屏蔽厚度的不同算法结果比较

2.1 主防护墙屏蔽厚度计算结果比较 从表 2和图 1可以看

出,在通常医用 X射线诊断机的使用管电压条件下,用直接查图法所得到的主防护墙屏蔽厚度最小;在 50 kV~120 kV范围内,查 TVT表计算法所得的主防护墙屏蔽厚度最大;经验公式计算法所得的主防护墙屏蔽厚度居中。以经验公式计算法的结果为参考标准,在 50 kV~120 kV范围内,其他两种算法的结果偏差范围在 -5.7%至 38%之间。就 TVT表计算法而言,由于受 X射线机高压发生器类型和总滤过等因素的影响,即使 kV值相同,不同资料所给出透射曲线的形状也不尽相同,从透射曲线所得到的 TVT或 HVT值不够准确;因此,通常不建议用该方法来计算主防护墙的屏蔽防护<sup>[7]</sup>。另外,当管电压大于约 120 kV时,查 TVT表计算法所得的主防护墙屏蔽厚度还小于经验公式的计算结果,因此,从偏安全角度出发,可能有必要在查 TVT表计算法的结果上再加一个 HVT。

2.2 副防护墙屏蔽厚度计算结果比较 从表 3也可以看出,在通常医用 X射线诊断机的使用管电压条件下,用直接查图法所得到的副防护墙屏蔽厚度也最小;在 50 kV~100 kV范围内,查 TVT表计算法所得的副防护墙屏蔽厚度大于经验公式计算法所得的结果,而当管电压大于 100 kV时,这两种算法的结果却相反。以经验公式计算法的结果为参考标准,查 TVT表计算法的结果偏差范围在 -34%至 167%之间,而且有距离越大偏差也越大的趋势。

3 讨论

综上所述,对于医用 X射线诊断机的主防护墙屏蔽计算,不同计算方法的计算结果有一定差别。从辐射防护的偏安全角度出发,查 TVT表计算法的结果可能较好满足要求,但对于管电压大于 120 kV的 X射线机可能还需要增加一个 HVT。对于医用 X射线诊断机的副防护墙屏蔽计算,不同计算方法的结果的相对差异虽然较大,但绝对屏蔽厚度差别均小于 0.6 mmPb。由于不同方法都有各自的局限性,例如查图表法中可能由于曲线精度不足而带来观察误差;而经验公式计算法涉及多项参数的确定,在实际应用中,须考虑到所应用的条件而选择各自适宜的方法。另一方面,这些经典的屏蔽计算公式和有关图表均已沿用相当长时间了,有必要对广泛应用的医用诊断 X射线机房屏蔽厚度计算方法作进一步研究,使其更加简便和实用,更好适应放射防护最优化的需要。

参考文献:

[ 1] GB 18871—2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准 [ S].  
[ 2] 郑钧正.《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》关于职业照射的控制 [ J]. 中国职业医学, 2006 33(4): 299—303.  
[ 3] 章仲侯.放射卫生学 [ M]. 北京:原子能出版社, 1985 181—188.  
[ 4] 李德平.辐射防护手册 (第一分册 辐射源与屏蔽) [ M]. 北京:原子能出版社, 1987 436—448.  
[ 5] 李星洪.辐射防护基础 [ M]. 北京:原子能出版社, 1982 140—148.  
[ 6] 陈敬忠.医用诊断 X射线机房屏蔽审核计算方法 [ J]. 中国辐射卫生, 1993 2(增刊): 115—117.  
[ 7] ICRP(郑钧正等译).医用外照射源的辐射防护, ICRP第 33号出版物 [ M]. 北京:人民卫生出版社, 1984.

(收稿日期: 2007—08—09)