

医用电子加速器机房天空反散射估算方法

谢 萍, 陈掌凡, 黄玉龙

中图分类号: TL72 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2007)02-01172-02

【摘要】 目的 通过对医用电子加速器机房天空反散射的估算, 评价高能 X 射线的天空反散射对机房周围公众造成的辐射危害。方法 依据 NCRP51 的估算原则。结果 机房顶层主防护带取 170cm 天空反散射不会对机房周围的公众造成影响。结论 该估算方法可行。  
【关键词】 加速器机房; 天空反散射; 立体角

单层建筑的医用电子加速器机房各面墙体屏蔽厚度确定后, 顶层方向虽然无人居住, 但高能强 X 射线透过顶层后与空气相互作用, 会被空气散射到地面, 造成地面某个地带的辐射水平超过相应的标准。因此, 需根据机房顶层厚度进行天空反散射的估算, 以评价天空反散射对机房周围人群造成的影响。天空反散射是依据 NCRP51 的估算原则, 估算天空反散射到观察位置 P 点的辐射剂量率  $\dot{D}_{sk}$  计算公式:

$$\dot{D}_{sk} = 2.5 \times 10^{-2} \frac{\dot{D}_0 \Omega^{1.3}}{d_j^2 d_s^2 K} (\mu Gy/h) \tag{1}$$

式中,  $d_j$  为靶至房顶外表面上方 2m 处距离,  $m$ ;  $d_s$  为靶至观察位置 P 点的距离,  $m$ ;  $K$  为房顶屏蔽层减弱因子;  $\dot{D}_0$  为距靶点 1m 处辐射剂量率,  $\mu Gy/h$ ;  $\Omega$  为靶点至房顶所张的立体角;  $2.5 \times 10^{-2} \Omega^{1.3}$  为散射因子。由于  $\dot{D}_0$  随 X 射线标称能量的确定而确定的量,  $d_j$ 、 $K$  是随机房净高度和顶层屏蔽层厚度的确定而确定的量,  $d_s$  是依据估算的需要而确定的量。可见天空反散射估算, 集中到一点是如何确定立体角的量。立体角计算方法可分为棱锥立体角计算法和圆锥立体角计算法, 前者可分为保守计算法和比较结合实际的计算法, 后者可分为近似保守计算法和近似结合实际计算法。

1 棱锥立体角估算法

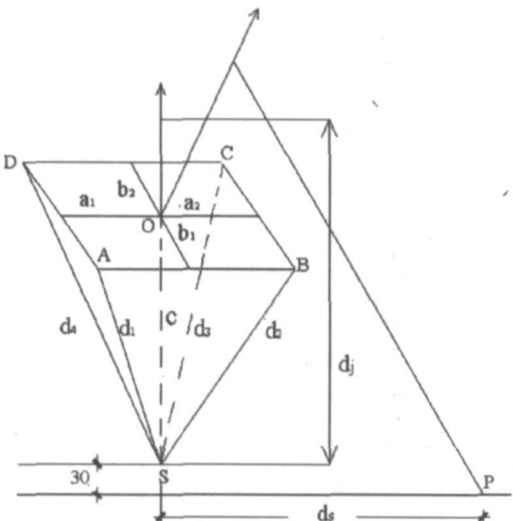


图 1 天空反散射示意图 (cm)

1.1 棱锥立体角保守估算法 所谓保守估算法是指将靶点 S 当作向  $2\pi$  方向出束的裸源。如图 1 所示, 靶点 S 为棱锥顶点, 而除迷路外机房顶层 ABCD 平面为棱锥底面, 该棱锥顶点向底

平面所张的立体角计算公式:

$$\Omega = \sum_{i=1}^4 \text{tg}^{-1} \left[ \frac{a_i b_i}{c_i d_i} \right] = \text{tg}^{-1} \left[ \frac{a_1 b_1}{c_1 d_1} \right] + \text{tg}^{-1} \left[ \frac{a_2 b_1}{c_2 d_1} \right] + \text{tg}^{-1} \left[ \frac{a_2 b_2}{c_2 d_2} \right] + \text{tg}^{-1} \left[ \frac{a_1 b_2}{c_1 d_2} \right] \tag{2}$$

$a_1$ 、 $b_1$ 、 $a_2$ 、 $b_2$  分别是束轴中心至房顶层边界 DA、AB、BC、CD 的距离, 由图 1 可知  $d_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c^2}$ ,  $d_2 = \sqrt{a_2^2 + b_1^2 + c^2}$ ,  $d_3 = \sqrt{a_2^2 + b_2^2 + c^2}$ ,  $d_4 = \sqrt{a_1^2 + b_2^2 + c^2}$ 。X 射线标称能量为 15 MV, 机房设定屏蔽墙体厚度后, 已知防护计算点至束轴中心距离为,  $a_1 = 5.75\text{m}$ ,  $b_1 = 5.92\text{m}$ ,  $a_2 = 5.17\text{m}$ ,  $b_2 = 6.40\text{m}$ , 机房空间高度为 4m, 等中心距地面为 1.3m, 房顶主防护层为 1.7m, 机头向上出束, 所以靶点至顶层外表面距离  $c = c_i = 5.4\text{m}$ , 则可算得

$d_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c^2} = \sqrt{(5.75)^2 + (5.92)^2 + (5.4)^2} = 9.86\text{m}$ , 同理可算得  $d_2 = 9.54\text{m}$ ,  $d_3 = 9.84\text{m}$ ,  $d_4 = 10.16\text{m}$ , 把上述各值代入 (2) 式,

$$\Omega = \text{tg}^{-1} \left[ \frac{5.75 \times 5.92}{5.4 \times 9.86} \right] + \text{tg}^{-1} \left[ \frac{5.17 \times 5.92}{5.4 \times 9.54} \right] + \text{tg}^{-1} \left[ \frac{5.17 \times 6.40}{5.4 \times 9.84} \right] + \text{tg}^{-1} \left[ \frac{5.75 \times 6.40}{5.4 \times 10.16} \right] = 2.253 \text{ 则 } \Omega^{1.3} = 2.875$$

房顶屏蔽减弱因子  $K$  计算 因为顶层主屏蔽层  $S_T = n \cdot HTV = 170\text{cm}$ , 对于 15MV X 射线混凝土的半值层  $HVT = 12.3\text{cm}$  则  $n = 170 / 12.3 = 13.82$  由于  $K = 2^n$ , 则  $\lg K = n \lg 2 = 13.82 \times 0.301 = 4.1598$  即  $K = \lg^{-1} [4.1598] = 1.4448 \times 10^4$ 。又  $\dot{D}_0 = \dot{D}_\Phi = 2.4 \times 10^8 \mu Gy/h$ ,  $d_j = 5.4 + 2 = 7.4\text{m}$  设  $d_s = 20\text{m}$  把  $\Omega^{1.3}$ 、 $\dot{D}_0$ 、 $d_j$ 、 $d_s$  和  $K$  值代入 (1) 式, 得  $\dot{D}_{sk} = 2.5 \times 10^{-2} \times \frac{2.4 \times 10^8 \times 2.875}{7.4^2 \times 20^2 \times 1.4448 \times 10^4} = 5.54 \times 10^{-2} \mu Gy/h$

1.2 棱锥立体角比较结合实际的计算法 天空反散射主要来自有用射线, 由于医用电子加速器的靶不是裸靶, 而是最大照射野为  $40\text{cm} \times 40\text{cm}$  延伸到房顶层野为  $2.2\text{m} \times 2.2\text{m}$  的正方形, 每边两端各加 40cm 余量, 即顶层条带宽为 3m。此时靶点 S 向房顶为  $3\text{m} \times 3\text{m}$  的正方形所张的立体角。因为正方形中心 (束轴中心) 至正方形各边距离相等, 即  $a = b = 1.5\text{m}$ ,  $c = SO = 5.4\text{m}$ ,  $d_1 = d_2 = d_3 = d_4 = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2} = 5.80\text{m}$ , 把上述各数值代入 (2) 式, 得  $\Omega = 4 \text{tg}^{-1} \left[ \frac{1.5 \times 1.5}{5.4 \times 5.80} \right] = 0.29$  则  $\Omega^{1.3} = [0.29]^{1.3} = 0.20$ 。  $\dot{D}_0$ 、 $d_j$ 、 $d_s$  和  $K$  值与前述相同, 将各值代入 (1) 式, 得  $\dot{D}_{sk} = 3.79 \times 10^{-3} \mu Gy/h$

2 圆锥立体角近似估算法

2.1 圆锥立体角保守估算法 把圆锥立体角替代棱锥立体角的估算方法, 称作近似估算法。如图 2 所示, 靶点 S 为圆锥顶点, 底面是以 R 为半径的圆, 该圆锥顶点向底面所张的立体角

作者单位: 广西壮族自治区疾病预防控制中心 广西 南宁 530021  
作者简介: 谢萍 (1966~), 女, 广西浦北人, 副主任医师 从事放射卫生管理与监测工作。

计算公式:

$$\Omega = 2\pi (1 - \cos\theta) = 2\pi \left(1 - \frac{c}{d}\right) \quad (3)$$

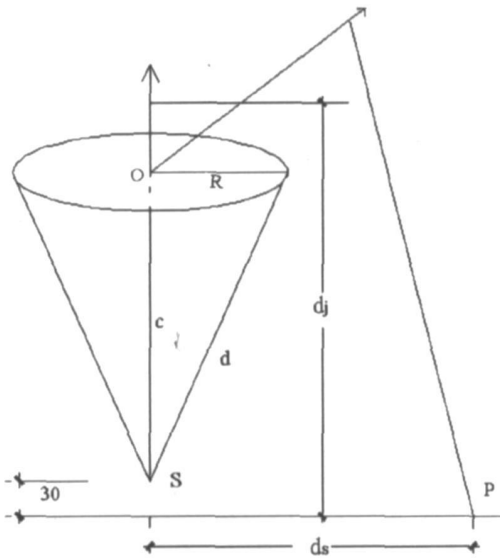


图 2 圆锥立体角天空反散射示意图 (cm)

保守的方法是靶点 S 向  $2\pi$  方向出束的裸源, 如图 2 所示, 圆锥的底面是以束轴中心为圆心, 以机房顶层矩形 ABCD 四个角顶中 D 点至中心轴距离最大为半径  $R = OD = \sqrt{a_1^2 + b_2^2} = 8.60\text{m}$  的圆, 圆锥斜边  $d = \sqrt{R^2 + c^2} = 10.15\text{m}$ , 把  $c, d$  代入

$$(3) \text{ 式, } \Omega = 2\pi \left(1 - \frac{5.4}{10.15}\right) = 2.940 \Omega^{1.3} = (2.940)^{1.3} = 4.063$$

$D_0, d_j, d_s$  和 K 值与前述相同, 将各值代入 (1) 式, 可得  $D_{sk} = 7.703 \times 10^{-2} \mu\text{Gy h}$

2.2 圆锥立体角近似结合实际算法 圆锥底圆半径 R 取房顶  $2.6 \times 2.6\text{m}^2$  正方形 (束轴中心) 对角线的  $1/2$  即  $R = \sqrt{1.5^2 + 1.5^2} = 2.12\text{m}$ ,  $c = 5.4\text{m}$ , 斜边  $d = \sqrt{R^2 + c^2} = 5.80\text{m}$ , 把  $c, d$  代入 (3) 式, 得  $\Omega = 0.44$  即  $\Omega^{1.3} = 0.34$ ,  $D_0, d_j, d_s$  和 K 值与前述相同, 将各值代入 (1) 式, 得  $D_{sk} = 6.44 \times 10^{-3} \mu\text{Gy h}$

### 3 结论

(1) 通过棱锥立体角和圆锥立体角对天空反散射的估算, 采用圆锥立体角估算法, 简便、快速。

(2) 棱锥或圆锥各有一种保守计算法和比较结合实际估算方法, 前者和后者的估算结果分别属同一数量级, 其中圆锥保守估算法估算的结果 ( $7.7 \times 10^{-2} \mu\text{Gy h}$ ) 为最大, 也低于公众区剂量限值  $P = 5 \times 10^{-1} \mu\text{Gy h}$  一个数量级。因此, 笔者认为两种估算方法均可取。从更安全角度考虑, 可采用保守估算法。从辐射最优化原则, 对单层建筑的医用加速器机房采用比较结合实际的圆锥近似估算法是可取的, 其估算值为  $6.44 \times 10^{-3} \mu\text{Gy h}$  它既留有余地, 又比较结合实际。笔者对该机房竣工装机投入运行后, 距机房周围  $10 \sim 20\text{m}$  范围作巡查监测, 均未发现有超过本底辐射水平记录。因此, 机房顶层取  $170\text{cm}$ , 天空反散射不会对机房周围公众造成任何影响。

(收稿日期: 2006-11-09)

(上接第 171 页) 在下列情况下极易使作业人员因辐射损伤而患放射病。

(1) 当机器发生故障, 自动控制失灵, 作业人员必须用手制动安全轮, 使辐射源复位。

(2) 操作室防护屏蔽厚度不够或材料质量不符合要求或有裂缝。

(3) 作业人员违反安全操作规定未能有效利用防护设备。

#### 2.2 X 射线防护措施

(1) 在工作中应尽量减少辐射源的使用量, 降低辐射剂量。

(2) 要求准备充分, 操作熟练, 动作迅速, 减少辐射剂量。

(3) 在不影响工作的前提下, 应尽量远离放射源。使用机械手、遥控装置或自动化操作设备等, 均有益于 X 射线的防护。

(4) 人与辐射源之间设置屏蔽物, 以达到减弱射线的目的。X 射线穿透物体时, 其强度会因物体的相互作用而减弱。

(5) 主要防护措施: ① 探伤室应设在孤立的建筑物内或建筑物底层一角, 内设工作间、操纵间、射线探伤机间及显影间等。② 工作间的防护墙应有足够的厚度, 防护层应根据最大的辐射量进行计算。工作间一般不设窗, 如果需要设窗, 要离地面  $2 \sim 2.5\text{m}$ , 工作间的门应设自动联锁装置, 以防止无关人员误入其中而受到辐射, 并有机通风以排放臭氧。③ 操纵间与工作间的墙壁和观察窗应有足够的防护厚度, 以降低对作业人员的辐射剂量。④ 室外探伤作业, 要遵守卫生防护的原则, 划出警戒范围, 设立安全信号和标志牌, 严禁无关人员进入照射区域。⑤ 严格上岗前的体检制度, 凡有不适症者, 一律不允许进入探伤作业岗位。⑥ 严格岗位培训, 作业人员必须熟悉基本知识, 熟练掌握操作技能。⑦ 探伤作业前, 必须做好一切准备工作。透照期间作业者应远离辐射源, 在操纵间内操作。透照射时, 当辐射源未复位到主防护壳内时, 作业人员不得接近辐射源。当自动控制失灵需用手制动时, 应尽量采用移动防护屏障进行防护。⑧ 作业人员要配用剂量仪, 辐射场应定期进行监测, 射线探伤机应定期检查维修。定期对探伤作业人员进行身体检查, 如有不适症者立即调离, 对已有损伤者要进行必

要的治疗。

#### 3 X 射线辐射可能引发的临床症状及诊断

(1) 全身反应主要表现为乏力、头晕、头痛、耳鸣、失眠、记忆力减退、食欲减退、恶心、呕吐、多汗、心悸、性欲减退等; 血象改变主要是白细胞下降, 对红细胞影响很小。若严重可引起血小板减少; 部分人易感冒、腰痛、关节酸痛等。

(2) 从事放射性工作的人员手部最不宜暴露于直接辐射下, 长期低剂量辐射又不注意防护可引起皮肤损害。主要为皮肤、指甲的营养障碍, 放射性皮肤损害亦为放射性损伤的一种器官损伤。因此, 在对射线作业人员定期体检中, 也应注意皮肤检查, 发现可疑征象及时处理。

(3) 造血系统是对放射最敏感的器官, 外周血改变是接触放射线后最常见的改变, 且早期骨髓变化, 是早期发现最客观的重要指标。特别是通过动态观察的自身对照更是放射工作者健康的监护手段, 至于白细胞态改变因既非特异且目前国内尚缺乏大量正常值资料, 不能作为慢性放射性损伤的主要诊断依据。

(4) 外周血淋巴细胞的染色体畸变既是直接观察外界因素对人类细胞染色体影响的最适宜的方法, 又是作为辐射危害的一个重要而敏感的指标, 在对长期接触小剂量照射的放射工作者进行定期医学观察时, 染色体畸变往往比临床或者其它检查指标的改变较早出现。染色单体畸变的出现只能作为慢性小剂量辐射效应的参考, 不作评价指标, 但染色体畸变分析对个体慢性外照射放射病的诊断具有综合评价实际意义, 是较好的辅助诊断指标之一。

近年来, X 射线在医学、工业的应用也向高、新、尖领域发展, 新技术、新设备不断出现, 只要我们各级医院及企业领导重视, 工作人员掌握正确使用方法, 采取有效的防护措施, 就能够减少和避免 X 射线对人体的损害, 使其发挥更好的社会效益和经济效益。

(收稿日期: 2006-11-21)