

【剂量 · 防护】

关于医用电子加速器辐射屏蔽两种计算结果的探讨

谢 萍 陈掌凡 赵新春 张会敏 黄玉龙

中图分类号:R144.1 文献标识码:B 文章编号:1004-714X(2011)04-0427-02

【摘要】 目的 对医用电子加速器机房辐射屏蔽厚度的两种计算方法进行比较。方法 依据国家相关标准和规范,对医用电子加速器机房的辐射屏蔽厚度分别采用周工作负荷和焦点最大输出剂量率进行核算。结果 两种计算方法得出的结果虽有差异,但均满足放射防护要求,其中以焦点最大输出剂量率计算的结果导致防护过度。结论 以防护最优化原则,采用周工作负荷计算医用电子加速器机房的辐射屏蔽厚度是达到既安全又经济的目的。

【关键词】 医用加速器;屏蔽计算

南宁市某医院引进一台瑞典医科达公司生产的 Synergy 型医用电子加速器, X 射线能量为 6MeV、10MeV 两档,对常规治疗对应焦点最大剂量率分别为 6Gy/min、4.5Gy/min。将此加速器安装在一个旧机房内,核算旧机房的屏蔽厚度,是否能满足安装新机的要求。如图 1 所示,以控制室内 A 点为例,在核算中,假设 1Gy = 1Sv,计算 S_A 值有两种方法。

1 计算方法

1.1 方法 1 长期以来延用的由周工作负荷和周剂量管理控制值计算 S_A 值^[1-3],其计算公式

$$S_A = TVTlg \frac{WUTF}{P_A R_A^2} \quad (1)$$

式中: S_A —主屏蔽墙体厚度,cm; TVT—十分之一值层厚度,cm; W—周工作负荷, mSv · m² · week⁻¹; U—使用因子;

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,女,副主任医师,从事放射防护与管理工作。

的活度浓度的范围为 0.03 ~ 0.31 Bq/kg,活度浓度的最大值 0.31Bq/kg 出现在鲳鱼样品中;核素¹³¹I 的活度浓度以鲳鱼、马面鱼、舌鳎鱼、小红鱼和龙头鱼较高,蟹类、虾类、小黄鱼、安康鱼和青占鱼次之,章鱼、鱿鱼和带鱼最小。核素¹³⁷Cs 活度浓度范围为 0.02 ~ 0.48 Bq/kg,活度浓度的最大值 0.48 Bq/kg 出现在虾类样品中。核素¹³⁷Cs 的活度浓度以虾类、蟹类、带鱼和马面鱼较高,龙头鱼、安康鱼、舌鳎鱼、小黄鱼次之,青占鱼、章鱼、鱿鱼、鲳鱼和小红鱼最小。

表 1 东海水产品样品中¹³¹I、¹³⁷Cs 活度浓度(Bq/kg)

样品 种类	样品 数量	¹³¹ I		¹³⁷ Cs	
		范围	$\bar{x} \pm s$	范围	$\bar{x} \pm s$
龙头鱼	3	0.18 ~ 0.20	0.19 ± 0.01	0.09 ~ 0.10	0.10 ± 0.01
鲳鱼	3	0.12 ~ 0.19	0.16 ± 0.04	0.06 ~ 0.09	0.08 ± 0.02
安康鱼	6	0.10 ~ 0.21	0.17 ± 0.04	0.05 ~ 0.17	0.10 ± 0.04
章鱼	5	0.03 ~ 0.20	0.16 ± 0.07	0.05 ~ 0.09	0.08 ± 0.02
带鱼	3	0.09 ~ 0.19	0.15 ± 0.06	0.09 ~ 0.16	0.12 ± 0.04
虾类	2	0.13 ~ 0.21	0.17 ± 0.06	0.11 ~ 0.48	0.30 ± 0.26
蟹类	7	0.15 ~ 0.21	0.18 ± 0.03	0.09 ~ 0.38	0.14 ± 0.10
小黄鱼	3	0.12 ~ 0.21	0.17 ± 0.05	0.09 ~ 0.11	0.10 ± 0.01
青占鱼	7	0.15 ~ 0.18	0.17 ± 0.01	0.08 ~ 0.10	0.09 ± 0.01
马面鱼	2	0.20 ~ 0.21	0.21 ± 0.01	0.10 ~ 0.11	0.11 ± 0.01
鲳鱼	3	0.18 ~ 0.31	0.23 ± 0.07	0.02 ~ 0.11	0.07 ± 0.05
舌鳎鱼	1	0.20	0.20	0.10	0.10
小红鱼	1	0.19	0.19	0.06	0.06

F —安全系数,一般取 $F=2$; R_A —靶点到 A 点距离, m; T —居留因子; P_A —A 点周剂量管理控制值, mSv · week⁻¹。

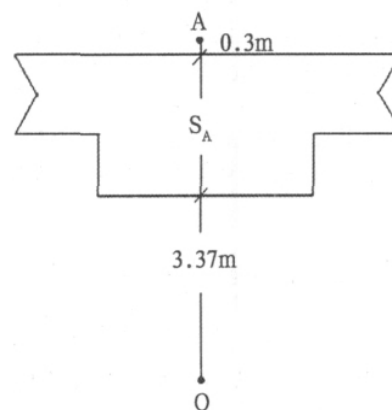


图 1 屏蔽计算点示意图

根据我国国家标准 GB14882-94《食品中放射性物质限制浓度标准》中肉类虾类的人工放射性核素¹³¹I 限制浓度为 4.7×10^2 Bq/kg,肉类虾类的人工放射性核素¹³⁷Cs 限制浓度为 8.0×10^2 Bq/kg^[5]。由此可见,本研究抽取的东海海产品中的污染远低于国标中的限制浓度。

朱梅等 2002 年曾对连云港地区出口水产品¹³¹I、¹³⁷Cs 活度浓度进行了测量^[6],其测量结果连云港地区水产品¹³¹I 活度浓度为 0.05 ~ 2.89 Bq/kg,¹³⁷Cs 活度浓度为 0.05 ~ 2.52 Bq/kg。对比以上测量结果可见,我国东海水产品¹³¹I、¹³⁷Cs 活度浓度水平未超出 2002 年连云港水产品的测量结果,因此可以认为,截止 2011 年 5 月 3 日日本福岛核泄露事故对我国东海海产品的¹³¹I、¹³⁷Cs 活度浓度水平未产生显著影响。

(志谢:本工作得到顾乃谷教授的指导,在此表示感谢!)

参考文献:

- [1] GB/T 16145-1995,生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法[S].
- [2] GB 14883.9-94,食品中放射性物质检验 碘-131 的测定[S].
- [3] GB 14883.1-94,食品中放射性物质检验[S].
- [4] GB 14883.10-94,食品中放射性物质检验 铯-137 的测定[S].
- [5] GB 14882-94,食品中放射性物质限制浓度标准[S].
- [6] 朱梅,张浦玲,刘庆林.江苏省部分地区出口水产品中¹³¹I、¹³⁷Cs 水平分析[J].江苏预防医学 2002,13(4):42-43.

(收稿日期:2011-06-23;修回日期:2011-06-30)

3 讨论

透过屏蔽墙体 S_A 后 A 点处的泄漏辐射计算公式:

$$\dot{H}_{A1} = \frac{\dot{H}_{A0}}{10^{S_A/TVT}} \quad (2)$$

式中: \dot{H}_{A0} —无屏蔽时 A 点处剂量率 $\mu\text{Sv/h}$; \dot{H}_{A1} —透过屏蔽层 S_A 后 A 点处剂量率 $\mu\text{Sv/h}$; S_A 、 TVT 的含义与 (1) 相同。

在预评价中, 设 $W = 2 \times 10^6 \text{ mSv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{week}^{-1}$, A 点的剂量限值 $P_A = 0.02 \text{ mSv} \cdot \text{week}^{-1}$, 10MeV 的 X 射线在 $\rho = 2.35 \text{ g/cm}^3$ 混凝土中 $TVT = 38.6 \text{ cm}$, $U = 1/4$, $F = 2$, $T = 1$, 预置 = 232cm^[4], 则 $R_A = 6.99 \text{ m}$, 把各参数代入 (1) 式计算 $S_A = 232 \text{ cm}$, 计算值与预置值一致, 符合屏蔽要求。原墙体为 230cm, 建议在原墙体表面抹上不小于 2cm 的水泥沙浆即可。

加速器机房验收时, 当 10MeV 加速器主射线向 A 点方向, 以焦点最大输出剂量率 4.5Gy/min 出束, 实测 A 点泄漏辐射剂量为 5.6 $\mu\text{Sv/h}$ 。

实测估算 A 点的周剂量和年剂量: 10MeV 加速器焦点最大输出剂量率为 4.5Gy/min, 设每天治疗 200 野, 每野处方剂量为 2Gy, 一周按 5d 计, 一年按 50 周计算, 则每周向 A 点出束时间为 1.852 h, A 点的周剂量和年剂量分别为 10.4 μSv 、0.52mSv。

理论推算 A 点的周剂量和年照射剂量: 10.0 μSv 、0.5mSv。实测估算值和理论推算值大约一致。

1.2 方法 2 用加速器常规治疗焦点最大剂量率和计算点 A 处周围剂量当量率控制值, 计算机房墙体屏蔽厚度^[4], 其计算公式为:

$$S_A = TVT \left[\lg \frac{\dot{H}_0}{R_A^2 \dot{H}_A} \right] \times \cos\theta \quad (3)$$

式中: S_A —符合 A 点处剂量目标要求的主屏蔽厚度, cm; R_A 、 TVT 的含义与 (1) 式相同; \dot{H} —距靶 1m 处有用束辐射最大剂量率 $\mu\text{Sv/h}$; \dot{H}_A —计算点 A 处要求的瞬时剂量率控制水平 $\mu\text{Sv/h}$; $\cos\theta$ —入射角的余弦。

采用此法核算该 10MV 加速器屏蔽厚度 S_A : 预置 $S_A = 245 \text{ cm}$, $\dot{H}_0 = 4.5 \text{ Sv/min} = 2.7 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$, $\dot{H}_A = 2.5 \mu\text{Sv/h}$, T 、 TVT 值与 (1) 式相同, 把上述参数代入 (3) 式, 计算 $S_A = 245 \text{ cm}$ 。计算值与预置值一致, 符合屏蔽要求。

理论推算 A 点处的泄漏辐射的瞬时剂量率、周剂量和年剂量: 在同样治疗量条件下, 则 A 点处的泄漏辐射的瞬时剂量率、周剂量和年剂量分别为 2.4 $\mu\text{Sv/h}$ 、4.6 μSv 、0.23mSv。

当 $S_A = 245 \text{ cm}$, A 点处理论推算泄漏辐射剂量率为 2.4 $\mu\text{Sv/h}$ 。在实践中, 泄漏辐射剂量率实测值要大于理论推算值, 要确保 A 点处泄漏辐射剂量率 $\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$, 必须在屏蔽计算中加入 2 倍安全系数, 由此可计算出 $S_A = 257 \text{ cm}$, 这样才有把握 A 点实测泄漏辐射剂量 $\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

2 讨论

(1) 放射屏蔽计算是要达到既安全又经济的目的, 在方法一是以较大的周工作负荷和较小的周剂量控制水平, 并考虑了 2 倍的安全系数, 核算 $S_A = 232 \text{ cm}$, 理论推算 A 点周剂量和年剂量分别为 10.0 μSv 和 0.5 mSv, 而实测 A 点处计算周剂量和年剂量分别为 10.4 μSv 和 0.52mSv, 职业人员周剂量只有其周剂量控制值 100 μSv 的 10.4%, 符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T201.1-2007) 的要求, 职业人员年剂量也只有其年剂量管理控制值 5mSv 的 10.4%, 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求。况且, 还没有考虑加速器 6MeV 的 X 射线治疗使用率在 90% 以上, 10MeV 的 X 射线治疗使用率不足 10%。而实际职业人员年受照年剂量要远低于 0.52mSv。因此, 辐射安全是有保障的。

(2) 方法二的屏蔽计算结果 $S_A = 245 \text{ cm}$, 此时 A 点处瞬时剂量率、周剂量和年剂量理论推算值分别为 2.4 $\mu\text{Sv/h}$ 、4.6 μSv 、0.23mSv。虽然瞬时剂量率、周剂量和年剂量较方法一计算的结果降低约 50%, 但机房的造价增加了 5.6%。笔者实践经验证明, A 点处理论推算值为 2.4 $\mu\text{Sv/h}$, 要达到 A 点处实测值 $\dot{H}_A \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$, 必须在 (3) 式中加 2 倍安全系数, 由 (3) 式计算 $S_A = 257 \text{ cm}$, 此时机房造价要增加 10.8%。用方法一计算的结果, 根据防护最优化原则, 职业人员受照剂量的大小保持合理达到尽量低的水平, 应以该源所致职业人员剂量低于剂量约束值为前提。加速器评价报告对职业人员年剂量管理控制(约束)值为 5mSv, 实测估算职业人员年剂量为 0.52mSv, 只有剂量约束值的 10.4%, 大约只有公众年剂量限值 1mSv 的 50%, 况且还忽略了 10MeV X 射线治疗使用率不足 10% 的医疗实践, 如此低的剂量不足以对职业人员的健康造成危害。因此, 再降低剂量使 A 点处瞬时剂量率 $\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$, 要付出 10.8% 的机房造价, 而不会对职业人员带来对健康的净利益, 因此, 笔者认为是属于防护过度。

(3) S_A 要同时满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T201.1-2007) 中规定: 射线透过 S_A 后, 在 A 点处要同时满足周剂量 $\leq 100 \mu\text{Sv}$ 和瞬时剂量率 $\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。其中周剂量 $\leq 100 \mu\text{Sv}$ 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中规定的职业人员年剂量约束值为 5mSv 是一致的。要使 A 点瞬时剂量率 $\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$, 按方法一计算的 S_A 值, 在实测中 A 点瞬时剂量率达不到 $\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$, 要同时达到上述要求, 可用以下方法: 一是增加 S_A 的厚度。依据新安装加速器的焦点最大剂量率 \dot{H}_0 , 再加 2 倍安全系数, 由 (3) 式计算 S_A 。但该方法导致防护过度。当有的 10MeV 加速器 $\dot{H}_0 > 6 \text{ Gy/min}$, 此时 $S_A > 262 \text{ cm}$, 由此导致加速器焦点剂量率越高, 防护过度越严重。瞬时剂量率是在特定条件的短暂现象, 在《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 标准中明确指出“对职业照射的评价主要应以个人剂量监测为基础”。过分强调瞬时剂量率把它作为判断机房墙体厚度硬性指标, 其科学性不强, 值得商榷。二是控制加速器的焦点最大剂量率。当焦点最大剂量率为 2Gy/min 时, 用上述两种方法计算的结果相同, $S_A = 232 \text{ cm}$ 。在相同治疗量下, 核算 A 点处的周剂量为 10.0 μSv , 瞬时剂量率为 2.4 $\mu\text{Sv/h}$, 符合上述指标要求。

(4) 由于屏蔽计算方法不同, 判断标准不一致, 导致设备用户、卫生监督机构和卫生技术服务机构之间的矛盾。机房验收时, 根据卫生技术服务机构测量的数据, 设备用户说设备机房符合国家标准(GB18871-2002) 技术指标的要求, 卫生监督执法部门说该机房不符(GBZ/T201.1-2007) 技术指标的要求, 墙体需加厚才能启用设备, 卫生技术服务机构很难下结论的局面。

参考文献:

- [1] 胡逸民主编. 肿瘤放射物理学[M]. 北京: 原子能出版社, 1999: 638-658.
- [2] 谷铎之, 刘泰福, 潘国英主编. 肿瘤放射治疗学[M]. 北京: 人民出版社, 1983: 103-112.
- [3] 张丹枫, 赵兰才. 辐射防护技术与管理[M]. 南宁: 广西民族出版社, 2003: 370-414.
- [4] 谢萍, 陈掌凡, 张会敏, 等. 顺序替代算法在辐射防护屏蔽设计计算中的应用[J]. 中国辐射卫生, 2009, 18(2): 152-153.
- [5] GBZ/T220.2-2009 建设项目职业病危害放射防护评价规范第二部分: 放射治疗装置[S].

(收稿日期: 2011-06-06)