

加速器治疗室外辐射剂量理论计算与实际测量结果的比较与探讨

朱建国, 卢峰, 邓大平, 袁明

中图分类号: R144 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2006)02-0192-02

【摘要】目的 通过对加速器治疗室外辐射剂量理论与实际测量结果的比较,探讨两者之间的关系及成因。方法 对加速器治疗室防护改造的方案进行预评价,给出理论计算值及防护建议;在改造完毕后,进行验收监测,得出实测值,将二者进行相互比较。结果 加速器治疗室主屏蔽墙外辐射剂量的实测值与理论值较为接近,而副屏蔽则低的多。结论 造成这一现象的原因在于漏射率的理论值与实测值相差较多,并提出了应对措施。

【关键词】 加速器;辐射剂量;防护

某医院为适应肿瘤放射治疗的需求,拟将原 6MV 医用电子加速器淘汰,加速器治疗室进行防护改造后,新安装 15MV 医用电子加速器。我们对此防护改造工程进行了放射防护预评价,在改造完毕后,我们又进行了放射防护验收检测。综合比较理论计算与实际测量的结果,得出了若干有意义的结论,对此进行了一些探讨,供同行参考。

1 理论计算

1.1 剂量率目标值 基本标准^[1]对放射工作人员及公众均给出了年剂量限值要求,一般选定年剂量限值的一个分数(如 1/4)作为辐射屏蔽评价的年剂量目标值,而实际工作中,对

辐射屏蔽效果进行评价时通常是根据 1 a 中人员受到射线照射的最大可能时间(对工作人员即为最大工作负荷时间)和年剂量限值导出剂量率目标控制值后按照剂量率目标进行的。考虑到目前职业人员的实际年人均受照剂量小于 2 mSv 的现实、一些专项标准中对控制值的规定以及人员对辐射影响的心理承受能力等因素,IAEA 主张剂量率目标控制值最好 2.5 μSv/h,最大不超过 7.5 μSv/h。为便于比较我们采用的剂量率目标控制值为 2.5 μSv/h,而有关剂量目标控制值的计算在此省略。

1.2 防护改造方案 院方提出了防护改造方案(表 1),为节省空间,在主屏蔽方向内嵌了钢板。

表 1 防护改造方案

墙体位置	东墙		西墙	南墙		北墙		室顶	
	迷路内墙	迷路外墙	副屏蔽	主屏蔽	副屏蔽	主屏蔽	副屏蔽	主屏蔽	副屏蔽
原有混凝土厚度	650~800	700~900	850	1 700	950	1 700	950	1 700	950
改建后混凝土厚度	650~1 150	700~1 160	1 350	1 780	1 200	1 780	1 200	1 720	1 250
改建后钢板厚度	0	0	0	170	0	170	0	280	0

1.3 计算方法 采用十分之一层厚度(TVT)法,可估算主副屏蔽墙外的 X 射线的辐射剂量率。计算公式如下:

$$H_1 = \frac{H_0}{r^2} \cdot 10^{-\frac{L_{Fe}}{TVT_{Fe}}} \cdot 10^{-\frac{L_{mix}}{TVT_{mix}}}$$

式中: H_1 —参考点的辐射剂量率, (μSv/h); H_0 —初始剂量

率(μSv/h); r —参考点到源的距离(m); L_{Fe} —钢板屏蔽厚度(mm); TVT_{Fe} —15MV X 射线的钢板 TVT 值(mm); L_{mix} —混凝土屏蔽厚度; TVT_{mix} —15MV X 射线的混凝土 TVT 值。

1.4 有关计算参数的确定

1.4.1 初始剂量率 H 指 15 MV X 射线距靶点 1 m 处的辐射剂量率。根据院方提供的数据,15 MV X 射线的最大输出剂量率为 3 Gy/min,可换算为 1.8×10⁸ μSv/h。对于主屏蔽计算采用此数值。对副屏蔽而言,需考虑漏射率。由于院方未能提供此

作者单位: 山东省医学科学院放射医学研究所, 山东 济南 250062
作者简介: 朱建国(1967~), 男, 江西新建人, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事辐射剂量与辐射防护监测与评价工作。

果有影响。由于做到人员专职,所以即使是应用粉末元件检定热释光剂量测量系统,无论是仪器的线性还是测量误差都得到比较满意的结果(见表 3)。

表 3 2004 年热释光剂量测量系统检定结果

检测项目	检定 剂量 (mSv)	RGD-3 玻璃管		FJ-427 粉末		FJ-377 粉末	
		测量值	偏差	测量值	偏差	测量值	偏差
		(mSv)	(%) ¹⁾	(mSv)	(%) ¹⁾	(mSv)	(%) ¹⁾
剂量检验	4	3.97	-0.8	4.04	1.0	3.98	-0.5
线性 1	1	0.98	-2.0	1.00	0	0.92	-8.0
线性 2	2	1.95	-2.5	1.97	-1.5	1.98	-1.0
线性 3	5	4.98	-0.4	5.01	0.2	4.96	-0.8
线性 4	10	10.09	0.9	10.03	0.3	9.93	-0.7
线性 5	15	15.42	2.8	15.06	0.4	15.06	0.4
平均偏差 (绝对值)			1.6		0.6		0.6

注: 1) 偏差(%)=[(测量值-检定剂量)/检定剂量]×100%; 检定单位为中国计量科学研究院。

(3) 定期选片,对于玻璃管元件或片状元件,我们一般在应用 2~3 年后选片一次,保证应用元件的分散性在±5%以内。

3 小结

广东省职业卫生检测中心个人剂量监测实验室能顺利通过这两次盲样检测考核,说明制定的质量保证措施是可行的,今后还要始终如一地落实这些质量保证措施,使个人剂量监测的质量得到可靠的保证。

参考文献:

[1] GB 10264-88 个人和环境监测用热释光剂量测量系统[S].
[2] GBZ128-2002, 职业性外照射个人监测规范[S].
[3] 贾育新, 刘正山, 麦维基, 等. 广东省职业卫生检测中心个人剂量的检测与管理[J]. 中国辐射卫生, 2004 13(2): 107-108.

(收稿日期: 2005-12-29)

数据, 根据 GBZ126—2002^[3] 的规定, “距电子线轨道 1 m 处的漏射线不得超过正常治疗距离上有用线束中心轴吸收剂量的 0.5%”, 加速器出厂时, 必须满足这一规定的要求。据此, 为计算简便起见, 可假定漏射率为 0.5%, 因此副屏蔽计算时的初始剂量率为 $9.0 \times 10^5 \mu\text{Sv/h}$ 。

1.4.2 TVT 值 我们采用 Varian 公司给出的对应于 15 MV X 射线的钢板及混凝土 TVT 值(表 2)。值得注意的是, 副屏蔽的 TVT 均小于主屏蔽。

表 2 对应于 15 MV X 射线的钢板及混凝土 TVT 值(mm)		
材料类别	主屏蔽的 TVT	副屏蔽的 TVT
钢板	108	86.8
混凝土	432	330

1.5 计算结果 根据上述的公式及有关参数, 计算结果及相关参数见表 3。由表 3 可见, 加速器治疗室南北墙的主屏蔽及西墙参考点的剂量率未达到剂量率目标要求, 为使其达到要

表 3 各参考点辐射剂量率的相关参数及计算结果

参考点	屏蔽墙	屏蔽性质	初始剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	到靶点的距离 (m)	混凝土厚度 ¹⁾ (mm)	钢板厚度 (mm)	参考点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
a	北墙	主屏蔽	1.8E+08	7.35	1 780	170	6.73
b	北墙	副屏蔽	9.0E+05	7.93	1 200(1281)	0	1.87
c	东北墙角	副屏蔽	9.0E+05	8.80	1 100(1269)	0	1.66
d	东墙	副屏蔽	9.0E+05	7.55	1 500	0	0.45
e	南墙	副屏蔽	9.0E+05	7.95	1 200(1379)	0	0.95
f	南墙	主屏蔽	1.8E+08	6.85	1 780	170	7.75
g	西墙	副屏蔽	9.0E+05	4.70	1 350	0	3.30
h	室顶	主屏蔽	1.8E+08	6.39	1 720	170	1.18
i	室顶	副屏蔽	9.0E+05	7.20	1 250(1 394)	0	1.04

注: 1)括号内的数值为考虑斜射入射并经斜射修正后折合的厚度。

求, 经估算, 其防护组合及参考点剂量率计算结果见表 4。

院方采纳了我们提出的方案

2 实际测量结果

根据我们的建议方案, 院方对治疗室进行了防护改造, 在

表 4 可达剂量率目标的防护组合及计算结果

参考点	屏蔽墙	屏蔽性质	初始剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	到靶点的距离 (m)	混凝土厚度 ¹⁾ (mm)	钢板厚度 (mm)	参考点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
a	北墙	主屏蔽	1.8E+08	7.35	1 700	237	2.50
f	南墙	主屏蔽	1.8E+08	6.85	1 700	244	2.49
g	西墙	副屏蔽	9.0E+05	4.70	1 400	0	2.33

加速器安装完毕后, 我们对加速器治疗室外的各参考点进行了放射防护验收监测, 测量条件为 15MV X 射线, 剂量率 5Gy/min , 对主屏蔽测量时均用主射束直接朝向屏蔽墙, 结果见表 5。

表 5 各参考点辐射剂量实际测量结果

参考点	屏蔽墙	屏蔽性质	参考点剂量率实测值 ¹⁾ ($\mu\text{Sv/h}$)
a	北墙	主屏蔽	0.20
b	北墙	副屏蔽	本底水平
c	东北墙角	副屏蔽	本底水平
d	东墙	副屏蔽	本底水平
e	南墙	副屏蔽	本底水平
f	南墙	主屏蔽	1.85~2.0
g	西墙	副屏蔽	本底水平
h	室顶	主屏蔽	1.77~2.2
i	室顶	副屏蔽	本底水平

不然! 事实上, 计算方法并没有错, 只是在于漏射率的实测值与理论值差异太大, 因为漏射率的采用的理论值为 0.5%, 而实测值仅为 0.025~0.049%, 这就是副屏蔽实测值大大低于理论值的原因。对于主屏蔽而言, 由于不存在漏射率的问题, 因此实测值于理论值较为接近。

4.2 应对措施 由于在理论计算中不可能采用实测的漏射率值而只能采用 GBZ126 或加速器生产厂家提供的数据, 因此, 通常理论计算时, 副屏蔽常偏厚, 而主屏蔽则较为接近且余地不大。为解决这一问题, 我们采用了 Varian 公司给出的相应于 15 MV X 射线的混凝土 TVT 值, 其特点在于主屏蔽的 TVT 值略大于副屏蔽的值(见表 2), 而没采用主屏蔽与副屏蔽 TVT 值相同的对应数值(410 mm), 其好处在于可以增加余地不大的主屏蔽厚度, 同时减少偏厚的副屏蔽厚度。值得注意的是, 主屏蔽的余地不大, 由于施工不佳等原因, 有可能出现实测值超出理论计算值的情况, 从而给预评价带来麻烦, 为保险起见, 可以考虑增加安全系数。

综上所述, 笔者从剂量率目标着手, 讨论了理论计算与实测值的关系, 并进行了相关探讨, 同时采取了一些应对措施, 供同行商榷。在实际预评价工作中, 根据工作负荷、束定向因子、居留因子等参数进行年剂量目标的计算同样是非常重要的, 必须考虑。

参考文献:

[1] GB188871—2002, 电离辐射防护与辐射源安全基本标准 [S] .

[2] 王时进. 辐射源室屏蔽设计与评价[J] . 国家级继续教育项目资料.

[3] GBZ126—2002, 医用电子加速器卫生防护标准[S] .

(收稿日期: 2006—03—06)

3 比较与结论

从表 5 可知, 除南北墙及室顶主屏蔽外, 其余参考点均为本底水平。而根据理论计算, 各参考点的辐射剂量率理论值为 $0.45 \sim 2.50 \mu\text{Sv/h}$, 换言之, 只有主屏蔽的实测值与理论值较为接近, 而副屏蔽的实测值大大低于理论值, 尽管理论计算与实际测量的初始剂量率略有差异, 但对结论影响不大。通过我们近 3 年来对 20 多个新建加速器机房理论计算及实测结果的比较, 与上述结论也较为符合。

4 探讨

4.1 原因 造成这一现象的原因难道是计算方法有误? 实则