

6MV 医用电子加速器机房屏蔽厚度计算的优化设计

栾耀君, 王雪航, 万路远

中图分类号: R148 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2007)02-0169-02

【摘要】 根据辐射防护基本原则及相关法规标准,对 6MV 医用电子直线加速器机房屏蔽厚度进行了计算,并与现场检测数据进行了对比,从而给出一种 6MV 医用电子直线加速器机房屏蔽厚度的计算方法。
【关键词】 医用电子加速器; 机房屏蔽厚度; 计算方法

1 机房屏蔽设计和设备参数

黑龙江省某单位新建的放射治疗室包括:医用电子直线加速器机房,使用面积为 61.45m²;机房平面布局见图 1。选用某放疗装备有限公司生产的 GK-06-100 医用电子直线加速器 1 台。射线种类 X 射线, X 射线为连续谱,谱中最高能量为 6MeV(即打靶电子能量为 6MeV)。X 射线的穿透性在正常治疗距离(100cm)处,用 10cm×10cm 照射野时,水下 10cm 处的吸收剂量为最大吸收剂量处吸收剂量(67±2)%。在正常治疗距离(100cm)处,最大剂量率为 3.5Gy/min 出厂的每台加速器输出的剂量都略高于此值。防护计算时可按 4Gy/min 计算。在正常的治疗距离处,最大照射野尺寸为 40cm×40cm(在防护计算时也可按初准直锥角度 2×14°计算)。机架可绕主轴做 60°旋转,辐射束方向是变化的。最大辐射束外面的泄漏辐射平均不超过主射线的 0.1%。由于该加速器能量较低,设计防护时不考虑中子的产生;不考虑感生放射性;也不需要考虑空气中氧氮被激活产生的放射性。加速器在对病人开机治疗时,会产生 X 射线,主射线束方向为东西方向,并作 360°旋转。治疗病人数量为每天最多 100 人设计。每人平均照射时间 1min 平均每次每人剂量 200cGy。

作者单位:黑龙江省卫生监督所,黑龙江 哈尔滨 150001
作者简介:栾耀君(1964~),男,黑龙江省人,从事放射防护监督工作。

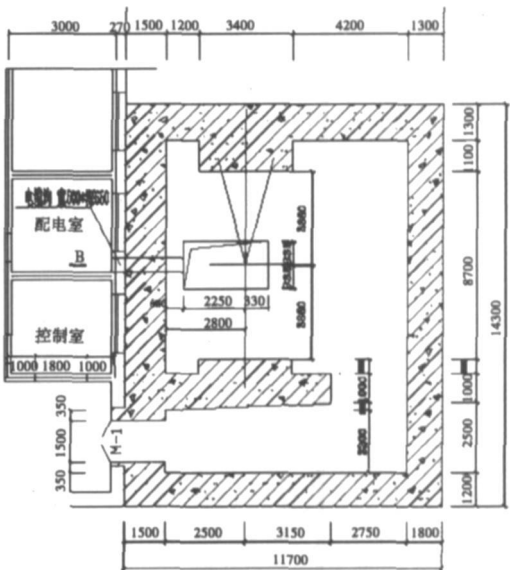


图 1 加速器机房平面示意图

2 机房屏蔽厚度的计算

2.1 主射线屏蔽厚度计算 主屏蔽是针对主射线的防护。本项目是天棚和东西墙的部分位置。主射线屏蔽范围计算:根据设计参数,主射线照射在地板、天棚、东、西墙四个方向上,主射线的出束角度为 28°。

防护效果不一致,所以 #8 点附近的剂量率计算值为 12.4~55μGy/h。鉴于有些监测点与加速器靶点之间的物体无法确定,所以没有进行剂量率计算。

2 实测结果

2.1 测试仪器和方法

2.1.1 仪器 经过标准源校正的 SG-102 型环境剂量监测仪。

2.1.2 方法 按照国家标准《工业 X 射线探伤放射卫生防护标准》的要求^[2],对实施射线检测的工作现场及周围环境进行辐射剂量率实测。

2.2 实测结果 在工业库房周围选择 11 个监测点进行辐射剂量率实测,实测结果详见表 1。通过对比计算值与实测值, #2、#3 和 #8 点基本符合, #4 点相差较大,这是因为部分射线泄漏以及泄漏的射线经过反射到达了 #4 点。实测结果表明,给出的辐射剂量率计算方法是切实可行的。

表 1 环境辐射剂量率的计算值和实测值

监测点	计算剂量率 (μGy/h)	实测剂量率 (μGy/h)	备注
#1	—	3.0	1. 当地天然本底: 0.15μGy/h 2. 加速器剂量率: 30Gy/min 3. 准直器水平开度: 10° 4. 准直器垂直开度: 10° 5. 监测点位置见图 1
#2	16.4	14	
#3	1.4	1.1	
#4	—	5.8	
#5	—	0.7	
#6	—	2.0	
#7	—	1.5	
#8	12.4~55	12	
#9	256	882	
#10	—	18	
#11	7.600	4.722	

参考文献:

[1] 刘之峰, 栾耀君, 栾瑞香. 工业 X 射线探伤辐射防护剂量调查[J]. 中国辐射卫生, 2004, 10(3): 143
[2] GB 16389-1996 工业 X 射线探伤放射卫生防护标准[S]. (收稿日期: 2007-1-29)

西墙: 焦点位置距西墙为: $1\,000+3\,350+1\,100=5\,450\text{mm}$, 主屏蔽范围为 $(\lg 14^0 \times 5\,450+30) \times 2=2\,778\text{mm}$, 设计值为: $3\,400\text{mm}$ 评价结论: 符合。东墙 (由迷宫内墙和迷宫外墙双屏蔽): 焦点位置距东墙为: $1\,000+3\,350+1\,100=5\,450\text{mm}$, 主屏蔽范围为 $(\lg 14^0 \times 5\,450+30) \times 2=2\,778\text{mm}$, 设计值为: $3\,400\text{mm}$ 评价结论: 符合天棚: 焦点位置距天棚为: $4\,000-340+2\,000=5\,660\text{mm}$, 主屏蔽范围为 $(\lg 14^0 \times 5\,660+30) \times 2=2\,882\text{mm}$, 设计值为: $3\,400\text{mm}$ 评价结论: 符合。由于该机房建在一楼, 且没有地下室, 所以地面的防护不予考虑。

主射线屏蔽墙厚度计算:

$$S_p=TVT\lg\frac{WUTn}{Pd^2} \tag{1}$$

其中 S_p : 主屏蔽墙厚度 (cm), 普通混凝土密度取: $\rho=2.35\text{ g/cm}^3$; TVT : $TVT=34\text{cm}$ $\rho=2.35\text{ g/cm}^3$ 的普通混凝土 $\frac{1}{10}$ 值层厚度 (cm); W : 工作负荷, 距离加速器靶 1m 处 1 周的照射剂量, 按 100 人/d 计算, W 取 $2\,000\text{Sv}\cdot\text{wk}^{-1}$; U : 束定向因子 $U=1/4$; T : 居留因子; d : 加速器靶距防护点的最近距离 (m); P : 周剂量限值; n : 安全参数 $n=2$

西墙主屏蔽厚度计算: 根据现场勘测报告: 西墙外为空地, 为公众偶尔停留区。因此, 居留因子 $T=1/16$ d : 加速器靶距防护点的最近距离: $d=1+3.35+1.1+1.3=6.75\text{m}$; P : 周剂量限值 $\text{mSv}/50\text{wk}=0.02\text{mSv}/\text{wk}$ 代入 (1) 式, 计算得到 $S_{\text{西}}=164\text{cm}$ 。东墙主屏蔽厚度计算: 根据现场勘测报告东墙外为医院住院部大楼, 公众部分居留区。因此: 居留因子 $T=1/4$ $d=1+3.35+1.5+2.5+1.2=9.55\text{m}$; $P=0.02\text{mSv}/\text{wk}$ 代入 (1) 式, 得到 $S_{\text{东}}=174\text{cm}$ 。

天棚主屏蔽厚度计算: 根据现场勘测报告天棚外为房顶, 为无人停留区, 但机房东、北侧为医院病房, 为防止对其他公众的影响, 根据医院的要求, 采取过防护, 房顶屏蔽厚度按公众部分居留区计算。不按天空散射计算。因此: 居留因子 $T=1/4$ $d=4-0.34+2=5.66\text{m}$; $P=0.02\text{mSv}/\text{wk}$ 计算得出 $S_{\text{d}}=190\text{cm}$ 。

2.2 副屏蔽墙厚度计算 副屏蔽是针对漏射线和散射线的防护。按照文献[2]确定副屏蔽的厚度的方法, 本报告副屏蔽墙的理论计算以漏射线为准。本项目是天棚、东西墙的部分位置和南北墙。由于本报告采用漏射线为依据确定的屏蔽厚度。其中厂家保证漏射线不超过主射线的千分之一, 因此

$$S_s=TVT\lg\frac{0.00WUTn}{Pd^2} \tag{2}$$

其中 S_s : 副屏蔽厚度 (cm) 其余符号同 (1) 式。

西墙副屏蔽厚度计算: 居留因子 $T=1/16$ $d=3.35+1.1+1.3-1=4.75\text{m}$; $P=0.02\text{mSv}/\text{wk}$ 代入 (2) 式, 得到 $S_{\text{西}}=93\text{cm}$ 。东墙副屏蔽厚度计算: 居留因子 $T=1/4$ $d=3.35+1.5+2.5+1.2-1=7.55\text{m}$; $P=0.02\text{mSv}/\text{wk}$ 计算得 $S_{\text{东}}=100\text{cm}$ 。天棚副屏蔽厚度计算: 居留因子 $T=1/4$ $d=4-2.34+2=3.66\text{m}$; $P=0.02\text{mSv}/\text{wk}$ 计算得 $S_{\text{d}}=121\text{cm}$ 。北墙屏蔽厚度计算: 居留因子 $T=1/4$ $d=5.5\text{m}$; $P=0.02\text{mSv}/\text{wk}$ 得 $S_{\text{北}}=109\text{cm}$ 。南墙屏蔽厚度计算: 南墙外为控制区, 即职业人员工作区。取居留因子 $T=1$ $d=4.4\text{m}$; $P=0.1\text{mSv}/\text{wk}$ 得 $S_{\text{南}}=112\text{cm}$ 。迷宫墙厚度的计算: 本报告评价的是治疗室机房的迷路属长 L 型。双墙厚度和不低于东墙主屏蔽厚度 174cm。

2.3 防护门屏蔽厚度的计算 防护门的屏蔽是针对来自迷宫的散射线的屏蔽。防护门厚度计算公式:

$$\triangle_{pb}=n\cdot HVT \tag{3}$$

长 L 型迷路 $D_{\square}=5\times 10^{-7}D_{\text{中}}=5\times 10^{-7}D\times 4\text{Gy}\cdot\text{h}\cdot\text{in}=2.0$

$\mu\text{Gy}\cdot\text{h}\cdot\text{in}=120\mu\text{Gy}/\text{h}$ 门外剂量取 $D_{\text{L}}=0.25\mu\text{Gy}/\text{h}$, 衰减系数 $k=\frac{D_{\square}}{D_{\text{L}}}=480$ 由 $k=2^n$ 计算出半值层个数 $n=8.92$ 门口射线能量 $\overline{E_x}=0.287(\frac{E_e}{10})^{0.265}\text{MeV}=0.25\text{MeV}$, 据此确定铅的 HVT 为 0.86mm 再由 (3) 得防护门铅厚度为 $8.92\times 0.86=7.7\text{mm}$, 所有计算结果见表 1。

表 1 防护屏蔽措施效能的核实结果

墙体	射线类型	剂量约束值 (mSv/a)	机房防护屏蔽厚度的核实结果 (屏蔽材料混凝土 $\rho=2.35\text{ g/cm}^3$)			
			计算值 (mm)	设计值 (mm)	墙、门外剂量计 算值 (mSv/a)	结论
西墙	主射线	1	1640	2400	0.2	符合
东墙	主射线	1	1740	迷内 1500+ 迷外 1200	0.001	符合
天棚	主射线	1	1900	2000	0.5	符合
西墙	散射线	1	930	1300	0.5	符合
东墙	散射线	1	1000	迷内 1000+ 迷外 1200	0.001	符合
北墙	散射线	1	1210	1300	0.1	符合
南墙	散射线	5	1120	1500	2	符合
天棚	散射线	1	1210	1300	1	符合
门散	射线	1	7.7mm 厚铅	8mm 厚铅	0.7	符合

3 机房外空气比释动能率监测

- 3.1 监测内容 测量机房墙外的空气比释动能率
- 3.2 监测用仪器 FJ-347AX γ 剂量仪, 量程: $0\sim 1\,000\mu\text{Gy}/\text{h}$ 响应时间: $\leq 8\text{s}$ 能量响应: $40\text{keV}\sim 10\text{MeV}$, 校准因子: 1.02 仪器检定日期: 2005 年 8 月 10 日, 有效期 1a
- 3.3 监测条件 加速器最大照射野 $40\text{cm}\times 40\text{cm}$, 最大照射剂量率 [在正常治疗距离 (100cm) 处, 最大剂量率为 $3.5\text{Gy}\cdot\text{h}\cdot\text{in}$] 工作条件下, 测量东墙、西墙、屋顶外空气比释动能率时机头出束方向为所监测墙和屋顶方向。测量南墙、北墙外空气比释动能率时, 机头出束方向为地面。测量铅门外空气比释动能率时, 机头出束方向为东墙 (迷宫墙)。开机时间每次 2min 。
- 3.4 监测方法 当加速器关闭时, 在每面墙、门、屋顶中心点, 距表面 5cm 处, 测量天然本底, 测量 5 次取平均值。当加速器出束时, 首先对所监测墙、屋顶或门进行巡测, 记录最大空气比释动能率。然后对墙、铅门和屋顶给出距外表面 5cm 上、下、左、中、右五点空气比释动能率。

3.5 监测结果 (表 2)

表 2 机房外空气比释动能率监测结果 ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)

位置	最大	左	中	右	上	下	本底
西墙	0.36	0.35	0.34	0.32	0.35	0.33	0.21
东墙	0.21	0.23	0.24	0.25	0.23	0.24	0.20
北墙	0.23	0.24	0.23	0.26	0.23	0.25	0.19
控制室	0.27	0.26	0.27	0.26	0.27	0.26	0.23
配电室	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.26	0.25
屋顶	0.73	0.70	0.73	0.66	0.67	0.67	0.25
铅门	0.25	0.24	0.26	0.26	0.23	0.27	0.25
电缆出口	0.26						0.25

注: 表中数据均没扣除本底剂量。

4 结论

表 2 数据可以得出, 东墙外、北墙外、控制室、配电室、铅门外空气比释动能率为天然本底。

基层医院及小企业应重视对 X 射线的防护

林黎娟

中图分类号: T147 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2007)02-0171-02

【摘要】 就医用 X 射线正确使用及防护和工业 X 射线探伤的卫生防护以及 X 射线辐射可能引发的临床症状及诊断进行了分述。目的是引起基层医院及小企业对 X 射线防护的重视, 减少和避免 X 射线对人体的损害, 使其发挥更好效能。

【关键词】 X 射线; 防护; 损伤

X 射线是德国著名物理学家维· 康· 伦琴 1895 年 11 月 8 日发现的, 它具有波长短、穿透作用、荧光作用、感光作用及生物效应等特性。自 X 射线发现以来, 根据 X 射线的这些特性应用各个领域如: 医学、工业、农业、交通、边检等。在医学上利用 X 射线的穿透作用、荧光作用和感光作用的特性, 临床上用于透视或摄影检查我们肉眼所看不到的人体内部的器官, 如肺、心、肝、肾、胃等; 利用 X 射线的生物效应, 医学上还可以对各种肿瘤进行放射治疗等。在工业上利用 X 射线进行探伤检测金属焊接质量及金属结构情况。但是, X 射线一旦射入人体后被吸收产生的生物效应对人体产生辐射损伤, 损伤的程度随吸收剂量多少而定。一般来说, 过小剂量对人的身体无损害, 而大剂量或累计过多剂量可导致组织细胞破坏及血液循环系统方面的病变。目前, 大型医院和大型企业由于经济条件好, 领导重视, 绝大多数对 X 射线的防护都达到了国家的防护标准, 而基层医院或个体医院及一些小企业, 由于条件差、领导不重视, 所以, 对 X 射线的防护没有高度认识, 甚至漠不关心, 导致从事放射工作人员受到辐射损伤的威胁。为此, 基层医院及小企业应重视对 X 射线的防护。

1 医用 X 射线的正确使用方法及防护要求

1.1 常规透视和摄影 医用 X 射线检查的常规形式是透视及摄影, 被检者的胸透或腹透一般应在 3~5 min 内完成。其射线剂量约为 $0.0258 \times 10^{-4} \text{C/kg}$ 允许剂量的 1/10。特殊造影检查, 射线剂量约为 $0.0156 \times 10^{-4} \text{C/kg}$ 。如能正确地操作使用, 检查者及被检查者的安全还是相当有保证的。

1.2 工作人员防护 从事专职 X 射线工作的人员, 虽然有的防护条件非常完善, 但因长期接触 X 射线, 仍需按照人体可接受的容许剂量范围内进行工作, 避免发生职业性的辐射损伤。因此, 必须特别注意各种防护设备的设置使用和防护制度的制订、实施及检查。国际及国内对 X 射线量早已有具体规定。我国电离辐射的最大容许剂量每天不得超过 $0.129 \times 10^{-4} \text{C/kg}$ 在特殊情况下每周剂量不得超过 $0.774 \times 10^{-4} \text{C/kg}$ 。如果仅局部受到照射者, 如手、足等处, 每周的容许剂量可

以增至 5 倍。即 $3.87 \times 10^{-4} \text{C/kg}$ 。但对眼、生殖器、造血系统等敏感器官, 决不允许超过每周 $0.774 \times 10^{-4} \text{C/kg}$ 剂量。

1.3 被检者的防护 被检者的防护问题, 是防护工作的重中之重。以前由于人们对 X 射线防护认识的淡漠, 忽视了对被检者以及陪护人员的防护, 而导致被检者以及陪护人员不必要的 X 射线辐射, 甚致医疗纠纷。对于 X 射线的防护一般来说有距离的防护、时间的防护和屏蔽的防护。由于 X 射线剂量与距离平方成反比, 所以, 越近 X 射线管窗口其剂量率越高。因此, 透视或摄影时应使被检者与 X 射线管之间保持一定距离(透视一般至少 3.5 cm, 摄影依摄影位置而定)。X 射线照射时间越长, 被检者接受的 X 射线剂量越多, 所以, 在保证影像质量的前提下, 尽量缩短曝光时间。此外, 管球窗须加滤片或充分利用遮线器下面的滤过板(大多数医院不习惯使用)以减少穿透力不强、波长长、易被人吸收的软 X 射线, 同时对产生 X 射线的管球四壁用铅套严密封闭, 避免漏线。对于敏感部位检查, 要缩小视野; 对被检器官周围敏感部位要充分利用铅皮或铅胶皮等防护用具来屏蔽。最后还要严格掌握检查的指征及次数, 控制不必要的检查和检查次数, 确保被检者的防护。要向陪护人员说明 X 射线防护的重要性, 尽量不让陪护人员滞留在检查室内。

1.4 对周围环境和工作中的要求

- (1) 在机房显要位置按要求放置“当心电离辐射”等标示牌。
- (2) 医务人员开机工作前, 一定要示牌告知, 避免一切非工作人员在机房周围停留。
- (3) 患者接受 X 射线各项检查, 一周内最好不要超过 1 次。
- (4) 放射工作人员要本着对患者负责的态度, 力争检查时间短, 准确率高。
- (5) 放射科应准备必要的防护用具。
- (6) 工作室四周墙要设铅皮夹层墙或其他防护材料, 一般高度从地面起 2.5 m 高。X 射线管球必须用铅皮包裹封闭。

2 工业 X 射线探伤的卫生防护

2.1 从事工业 X 射线探伤的职业危害 主要职业危害是, 由于工业 X 射线探伤的 X 射线剂量大, 因此, 作业人员受到大剂量 X 线的外照射后, 可能引起外照辐射损伤。(下转第 173 页)

作者单位: 辽东学院医学院影像系, 辽宁 丹东 118002
作者简介: 林黎娟, 女, 讲师, 从事医学影像学研究。

西墙外最大空气比释动能率为 $0.36 \mu\text{Gy/h}$ 。如加速器向该方向每天有 100 个照射野, 平均每个照射野用 1 min 计算, 墙外人员居留因子取最大值 1, 那么人员所受剂量为 $0.36 \mu\text{Gy/h} \times 100 \div 60 \times 365 \text{d} = 219 \mu\text{Gy} = 0.219 \text{mGy} \approx 0.219 \text{nSv}$ 。小于本报告对公众所取年剂量目标限值 (1mSv)。

屋顶最大空气比释动能率为 $0.73 \mu\text{Gy/h}$ 。如加速器向该方向每天有 100 个照射野, 平均每个照射野用 1 min 计算, 墙外人员居留因子取最大值 1, 那么人员所受剂量为 $0.73 \mu\text{Gy/h} \times 100 \div 60 \times 365 \text{d} = 444 \mu\text{Gy} = 0.444 \text{mGy} \approx 0.444 \text{nSv}$ 。也小于本报告对公众所取年剂量目标限值 (1mSv)。况且屋顶无人员居留。

机房外各点的年累计剂量均小于本报告对公众所取年剂量目标限值 (1mSv)。辐射防护屏蔽效果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中的规定要求。

参考文献:

- [1] GB18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准 [S].
- [2] 张丹枫、赵兰才编著. 辐射防护技术与防护 [M]. 南宁: 广西民族出版社, 2003.
- [3] GBZ 126-2002 医用电子加速器卫生防护标准 [S].

(收稿日期: 2007-01-26)