

【监测技术】

医用⁶⁰Co 远距治疗机参考深度吸收剂量测量不确定度评定

李秀芹 赵进沛 吴 欣 杨新芳 孟 园 李华军

中图分类号:TL75⁺1 文献标识码:B 文章编号:1004-714X(2011)04-0481-02

【摘要】 目的 为保证⁶⁰Co 远距治疗机吸收剂量测量数据的准确性,评定其不确定度。方法 分析不确定度来源,通过计算给出不确定度。结果 相对扩展不确定度为 3.0%。结论 个人剂量测量不确定度主要受剂量计校准因子、各种修正系数、剂量计稳定性、源到位重复性、辐射野误差、剂量计读数、温度气压等分量的影响。

【关键词】 ⁶⁰Co 远距治疗机;参考深度;吸收剂量;测量不确定度

不确定度是一个与测量结果相关的参数。用来表征一个值的离散程度,它是测量的属性。测量不确定度评定是测量结果质量的标志,对测量结果的可信性、可比性和可接受性有重大影响^[1]。按照实验室认可的要求,为提高测量质量,确保不确定度尽可能小^[2]。按照相关标准^[3],由治疗计划系统(TPS)给出的参考深度及其他深度的吸收剂量,与实际测量结果的相对误差不超过 ±5%,本实验室测量一台 HCC-8000 型⁶⁰Co 远

距治疗机吸收剂量并进行不确定度评定。

1 仪器与方法

1.1 仪器 剂量仪(iba 公司),指形电离室(Dose1-FC65-G),固体水模,坐标板(100mm×100mm,1mm),温度计(0~50℃,最小分度值 0.5℃),气压计(80~110kPa,最小分度值 0.1 kPa),计时器(0~3 600s,0.1s)。

1.2 检测方法 检测时,如果被测机器装有不可拆卸的半影修正器,则不得取下半影修正器。源至模体表面距离 SSD 取正常治疗距离,模体表面的光野取 10cm×10cm。

作者单位:北京军区疾病预防控制中心 北京 100042
作者简介:李秀芹,女,副主任医师,主要从事放射防护监督监测工作。

3.2 热释光剂量测量(装置)系统校准因子的测量与推导 校准因子 N 是剂量计要定度的约定值 H 除以剂量计的读数 M 所得的商,即: $N = H/M$ 。首次 TLD 校准因子的确定是通过在标准条件下照射一条标准曲线(刻度曲线)完成的,其中校准点个人剂量当量 $H_p(10)$ 约定真值的公式是 $H_p(10) = F_p(10) \times k_a$,将空气比释动能 k_a 转换为个人剂量当量转换因子 F_p 所用系数见表 1。经测量可获得 7 组 TLD 读数的平均值 M_i ,采用公式 $N = F_p(10) \times k_a / M$ 计算 TLD 校准因子,然后判断所照剂量探测器的线性是否符合线性响应变化不大于 10% 的要求(见表 2),最后用多组值 N_i 平均值法计算校准因子(见表 3)。

3.3 热释光剂量测量(装置)系统校准因子的验证结果 根据读出仪计数和校准因子计算评定值 E 的平均值和标准偏差,量值检验应满足了响应变化不大于 15% 结果符合要求。

表 3 探测器的校准因子

剂量当量 约定值 H (Sv)	发光净计数 平均值 M	校准因子 ($\times 10^{-3}$ mSv/计数)
500	287.0	1.7421
1 000	577.9	1.7271
2 000	1 169.2	1.7106
3 000	1 707.6	1.7568
5 000	2 802.3	1.7842
10 000	5 449.9	1.8349
50 000	28 838	1.7338
校准因子平均值		1.76×10^{-3} mSv/计数

4 讨论

热释光剂量测量系统是一个包括退火、受照、检测等多步骤的复杂过程,其准确性和稳定性受探测器的分散性、能量响应、读出仪的稳定性以及退火、检测操作等多因素影响,其中探测器的分散性是影响检测结果的关键因素,也是比较难于达到要求的因素。本实验抓住剂量探测器分散性这一主要矛盾,将同批使用的剂量元件的相对标准偏差控制在 5% 以内,为热释光剂量测量系统检测结果的稳定可信提供了可靠的物质基础。

作为相对测量系统,热释光读出仪计数所推导出的剂量实用量是由标准剂量学辐射场赋予的。在放射防护研究领域,个人剂量限值是用有效剂量或组织或器官剂量作为剂量约束值的,这些防护量虽与人体损伤密切相关,但当量剂量和有效剂量实际上是不可直接测量的,通行的办法是利用可测的实用量作为防护量的一种合理近似的估计,这些实用量包括个人剂量当量 $HP(d)$ 、周围剂量当量 $H^*(d)$ 和定向剂量当量 $H'(d)$ 。上述实用量可通过表 2 所提供的换算系数由测得的空气比释动能值转换而来,而空气比释动能值则由标准辐射场给定的照射量而来。在 TLD 校准中,所涉及的物理量主要包括:空气比释动能 K_a 、空气吸收剂量 D_a 和照射量 X 。在校准 TLD 中,物理量的约定值是采用可溯源标准仪器测得的。在放射防护领域光子外照射中,可以认为空气比释动能 K_a 、吸收剂量 D_a 和照射量 X 在数值上的关系 $1\text{Gy}/K_a = 1\text{Gy}/D_a = 2.95 \times 10^{-2} \text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$ (114.2R)/ X 是足够精确的^[1]。在热释光剂量测量系统的校准中,明确其量值传递关系是非常重要的。

热释光剂量测量系统在资质计量站的校准周期一般为一年,而在期间多次使用中,退火过程造成的剂量元件能响的变化、分散性的变大、读出仪灵敏度的波动和各种原因造成的读出系统的偏移等,都有可能使测量结果的准确性和稳定性受到影响,而采用自备的辐照仪对热释光剂量测量系统进行质量控制就显得非常必要。FJ-417 ¹³⁷Cs 辐照器是一种可以给出固定照射量的小型标准辐照源,由于其没有应用标准剂量学实验室中的标准模体,其空气比释动能无法换算为个人剂量当量 $H_p(d)$ 值。但是,在两次校准期间如果剂量元件以及读出仪都能保持良好和稳定状态,则 FJ-417 ¹³⁷Cs 辐照器所给予的空气比释动能与读出仪计数的比值 N' 应是一个不变的常数。因此,通过自备辐照仪周期性地对热释光剂量测量系统进行验证,可以达到质量控制的目的。

参考文献:

[1] 赵士庵,欧向明.个人与环境监测用热释光剂量计的校准[J].中华放射医学与防护杂志,2005,25(5):482-484.

(收稿日期:2011-03-01)

在参考深度上取垂直于射线束轴线的平面为参考平面,参考深度为 5cm,剂量分布扫描系统电离室的有效测量点放在参考深度处。电离室的有效测量点与几何中心距射线入射的模体表面距离分别为 d_{eff} 、 d_p ,则 $d_p - d_{\text{eff}} = 0.5r$ 为电离室半径。

辐射装置的控制计时器预制时间 t_0 ,在此时间间隔内测出的吸收剂量为 D_0 (一般约为 1Gy),然后取 $t_j = jt_0$ (j 一般取 1~4),测出相应的吸收剂量为 D_{jc} 为:

$$D_{jc} = D_0 \times \frac{t_0 - dt}{t_0 - dt}$$

式中 dt :端效应时间。若 ^{60}Co 辐射源不能提供端效应修正,则认为 dt 可忽略。

2 测量不确定度评定

2.1 数学模型 参考深度水下 5cm 处,水的吸收剂量数学模型^[3]为:

$$D_w(p_{\text{eff}}) = M_Q \cdot N_M \cdot k_{NM} N_D \cdot S_{w,air} \cdot P_Q \cdot P_s \cdot K_{Tp} \quad (1)$$

式中: M_Q : 电离室剂量计的测量值,一般为多次读数的平均值; N_M : 电离室剂量计的校准因子,可以是 N_s 或 N_k ; k_{NM} : 电离室的剂量计的 k_{Ns} 或 k_{Nk} ; K_{Tp} : 空气密度修正因子。

对于密封电离室 $K_{Tp} = 1$,对于非密封电离室测量,则:

$$K_{Tp} = \frac{273.2 + T}{293.2} \times \frac{101.3}{P}$$

式中 T 、 P 分别为检定时的水温(单位: $^{\circ}\text{C}$)和气压(单位: kPa)。

据规程和 TRS277(1998 年版)报告可知,数学模型(1)式可用于任何深度的吸收剂量计算,都有较好的准确度。取 $k_{sp} = k_{NM} \cdot S_{w,air} \cdot P_Q \cdot P_s$,则知各深度处的吸收剂量 D_w 为:

$$D_w = M_Q \cdot N_M \cdot k_{sp} \cdot K_{Tp} \quad (2)$$

2.2 不确定度来源 在参考深度处,等效测量点的吸收剂量测量不确定度主要由标准器(剂量计、温度计、气压计等)测量和 ^{60}Co 远距离治疗辐射源两部分引入的不确定度组成。

2.3 不确定度分量 不确定度分量由 A 类不确定度和 B 类不确定度组成。A 类不确定度是被测量列能用统计方法估算出来的不确定度分量,即剂量计读数、源到位重复性,它相应于测量的随机误差,评定标准来自于测量数据的统计分析; B 类不确定度是被测量列不能用统计方法估算出来的不确定度分量,即剂量计的校准因子、剂量计稳定性、温度气压、各种修正系数、辐射野误差等,它相应于测量的系统误差,评定信息来源主要来自检定证书、生产厂的说明书等。

由(2)式知,合成不确定度

$$u_c = [u^2(M_Q) + u^2(N_M) + u^2(k_{sp}) + u^2(K_{Tp})]^{1/2}$$

2.3.1 剂量计测量值 M 的相对不确定度分量 $u(M_Q)$ 电离室剂量计的测量值:

$$M_Q = M(1 - \eta_L)(1 - \eta_\delta)(1 - \eta_F)(1 - \eta_p)$$

式中: M : 电离室剂量计读数; η_L : 电离室漏电流引入的相对误差; η_δ : 电离室剂量计读数分辨力引入的相对误差; η_p : 放射源到位重复性引入的相对误差,电离室位置引入的误差忽略(因一般 $\text{SSD} \geq 75\text{cm}$); η_F : 辐射野大小不一致引入的相对误差。

即电离室剂量计测量值的标准不确定度为:

表 1 放射工作人员热释光个人剂量测量不确定度分量

不确定度分量来源	类型	概率分布	相对不确定度(%)	自由度	备注
标准剂量计	剂量计读数 M	A	$S/\sqrt{5} = 0.34\%$	4	S: 相对标准偏差
	校准因子 $N_{\text{标}}$	B	1.3%	50	
	剂量计稳定性 η_L	B	$1\%/\sqrt{3} = 0.58\%$	50	忽略漏电流现象
	温度 T 、气压 P 、 K_{Tp}	B	0.1%	50	
^{60}Co 辐射源	修正因子 k_{sp}	B	0.8%	50	依据资料的估计值
	源到位重复性 η_p	A	$1.0\%/\sqrt{10} = 0.32\%$	9	
	辐射野误差 η_F	B	0.30%	50	经验数据

$$u(M_Q) = [u^2(M) + u^2(\eta_L) + u^2(\eta_\delta) + u^2(\eta_F) + u^2(\eta_p)]^{1/2}$$

2.3.1.1 电离室剂量计读数引入的不确定度分量 $u(M)$ $u(M)$ 是电离室剂量计测量重复性引入的不确定度分量, A 类分量,呈 t 分布。该分量由剂量计引入。在 5cm 处 5 次测量重复性为 $S = 0.76\%$,故: $u(M) = S/\sqrt{5} = 0.34\%$ (自由度 $v(M) = 4$)。

2.3.1.2 电离室漏电流引入的不确定度分量 $u(\eta_L)$ 依据相关标准^[4],电离室剂量计漏电流必须小于 1% 倍的最小可测剂量率。治疗水平剂量率为 1cGy/min , ^{60}Co 远距治疗机输出剂量率一般高于 15cGy/min 。故电离室剂量计漏电流引入的不确定度分量可以忽略不计。

2.3.1.3 电离室剂量计读数分辨力引入的不确定度分量 $u(\eta_\delta)$ 剂量计的分辨力为 0.01,在测量时,其显示的平均值为 62.44,故: $u(\eta_\delta) = 0.01 \times 0.29/62.44 = 0.005\%$,数值过小,可以忽略。

2.3.1.4 放射源到位重复性引入的不确定度分量 $u(\eta_p)$ 做 10 次实验测量,放射源到位重复性(含机器主计时重复性)为 1.0%, A 类分量,呈 t 分布。故: $u(\eta_p) = 1.0\%/\sqrt{10} = 0.32\%$ (自由度 $v(p) = 9$)。

2.3.1.5 辐射野大小不一致引入的不确定度分量 $u(\eta_F)$ 由于辐射野边缘不清晰,造成辐射野大小发生变化。由于辐射野的调整是随机事件,呈正态分布,因此因辐射野变化引入的不确定度分量 $u(\eta_F)$ 也呈正态分布, B 类分量,该分量由被测辐射源引入。对于 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 辐射野,估计每边最大变化为 $\pm 0.5\text{mm}$,据多次实验,其偏差 0.5mm 时,造成剂量测量的偏差不足 0.45%,放大 2 倍考虑,其引入的最大偏差为 0.9%,故: $u(\eta_F) = 0.9\%/3 = 0.3\%$ (自由度为 $v(\eta_F) = 50$)。

2.3.2 电离室剂量计校正因子的相对不确定度分量

$$N_M = N_{\text{标}} \cdot (1 - \eta_i)$$

式中: $N_{\text{标}}$: 剂量计检定证书给出值; η_i : 剂量计的稳定性引入的相对偏差。故: $u(N_M) = [u^2(N_{\text{标}}) + u^2(\eta_i)]^{1/2}$

2.3.2.1 剂量计校准因子引入的不确定度分量 $u(N_{\text{标}})$ 剂量计检定证书可知,在空气中,其 ^{60}Co 的校准因子的不确定度为 2.6%,包含因子 $k = 2$,正态分布,未标明自由度。取自由度为 $v(N_M) = 50$,故: $u(N_{\text{标}}) = 2.6\%/2 = 1.3\%$, B 类分量。

2.3.2.2 剂量计稳定性引入的不确定度分量 $u(\eta_i)$ 据 JJG912-1996《治疗水平电离室剂量计》检定规程,治疗水平电离室剂量计的年稳定性为 1%。均匀分布,取自由度为 $v(N_M) = 50$,故 $u(\eta_i) = 1\%/\sqrt{3} = 0.58\%$, B 类分量。

2.3.3 修正因子 k_{sp} 引入的不确定度分量 参照 JJG1027-2007,对于标准剂量计,各种修正系数 k_{sp} 引入的不确定度为 0.8%,均匀分布,自由度 $v(k_{sp}) = 50$ 。

2.3.4 空气密度修正因子 k_{Tp} 引入的不确定度分量 参照 JJG1027-2007,对于标准剂量计,各种修正系数 k_{Tp} 引入的不确定度为 0.1%,正态分布,自由度 $v(k_{Tp}) = 50$ 。

3 结果

根据 JJF1059-1999 要求^[4],列出各不确定度分量,见表 1。

【监测技术】

孔隙度对建材氡析出率的影响

冀 东¹, 刘福东², 周剑良³中图分类号: TL75⁺1 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2011)04-0483-02

【摘要】 目的 探讨孔隙度对建材氡析出率的影响。方法 根据气体渗透法设计一套测量建材孔隙度的设备, 然后根据实验结果分析孔隙度与建材氡析出率的关系。结果 对于同种建材, 随着孔隙度的增加, 氡析出率也随之增加; 对于不同建材, 氡析出率与建材孔隙度相关性较小。结论 孔隙度是影响氡析出率的重要因素, 但并非决定因素。

【关键词】 建材; 孔隙度; 氡析出率

氡及其子体对人体的辐射剂量日益受到人们的广泛关注, 而室内氡浓度来自于建材的贡献占 60% ~ 70%^[1, 2]。在介质氡析出率的各个影响因素中, 孔隙度是影响氡析出率的一个重要因素, 然而现有的测量技术大都比较复杂, 而且设备及测量的费用也相对较高, 基于这一实际情况, 笔者介绍一种简单、易操作、准确度高的测量装置来测量整体建材气体填充的孔隙度, 并根据测量的结果来分析其对氡析出率的影响。

1 方案设计

根据气体渗透法的测量原理及气态方程的计算过程, 该方

案设计了一套测量建材有效孔隙度的装置, 测量装置的平面图如图 1, 装置的结构及各部分性能指标介绍如下: ①阀门: 1、2、3 为阀门, 控制气体的流通。②容器: V_1 、 V_2 为测量容器: V_1 为上端开口容器, 用密封盖及 6 个螺母进行密封, 中间用橡胶环连接; V_2 为真空密闭容器。为保证充气过程中, 容器不发生变形, V_1 的密封盖为 10mm 钢板, 其余部分使用 3mm 厚的钢板。③压力表: P_1 、 P_2 为两块精度为 0.1% FS 的压力表, 压力表的读数可精确到 0.1hPa, 所承受的压力范围为 0 ~ 0.6MPa。④气体: 所选用的气体为纯氮气(99.99%)。

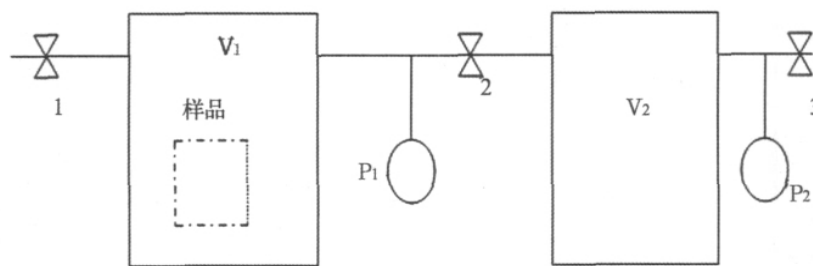


图 1 测量装置的平面设计图

2 质量保证

2.1 环境参数 为保证建筑材料所处的环境参数一致, 将所有样品放在实验室内两个星期, 室内温度 20℃ ~ 25℃, 湿度范围在 25% RH ~ 40% RH, 室内通风效果良好。

作者单位: 1 中核第四研究设计工程有限公司, 河北 石家庄 050021; 2 中国原子能科学研究院, 北京 102413; 3 南华大学核科学与核技术学院, 湖南 衡阳 421001
作者简介: 冀东(1983 ~), 男, 河北邢台人, 研究方向为辐射防护及环境保护。

2.2 测量装置的质量保证 压力表在中国计量院进行校准, 所选用的氮气的纯度达到 99.99%。

2.3 体积测量

2.3.1 建材砖的测量 由于部分建材砖体积较大, 且表面不平整, 先用云石机在保证不影响建材砖整体性的情况下, 将样品切割成相应大小的长方体, 然后用砂纸和钢锉将样品各表面打磨平整, 用盒尺和游标卡尺测量各样品的长宽高, 并计算样品的体积及体积的误差。

各分量相互独立, 互不关联, 则合成标准不确定度 u_{cr} 为

$$u_{cr} = [u^2(M) + u^2(N_{标}) + u^2(\eta_i) + u^2(K_{TP}) + u^2(k_{sp}) + u^2(\eta_F) + u^2(\eta_p)]^{1/2} = 1.52\%$$

有效自由度为

$$v_{eff} = \frac{u_{cr}^4}{\sum \frac{u_i^4}{v_i}} = 419, \text{取 } v_{eff} = 100$$

取置信概率 $P=95\%$, 包含因子 $k=2$, 得到扩展不确定度为 $u_{95rel} = k \cdot u_{cr} = 2u_{cr} = 3.0\%$, 取正态分布。

4 讨论

通过对⁶⁰Co 远距治疗机输出吸收剂量 $D_w(p_{eff})$ 的测量不确定度分析评定, 在校准参考深度水下 5cm 有效测量点处, 在 95% 置信区间 $k=2$ 时, 其合成不确定度 u_{rel} 为 3.0%, 满足临

床治疗计划的吸收剂量要求。运用此方法, 该结果同样适用于水中任何深度吸收剂量测量不确定评估^[3, 5]。

参考文献:

- [1] 全国认证认可标准化技术委员会. GB/T27025-2008《检测和校准实验室能力的通用要求》理解与实施[M]. 中国标准出版社, 2010: 94.
- [2] CNAL/AC01: 2005. 检测可校准实验室能力认可准则[S].
- [3] JJG1027-2007. 医用⁶⁰Co 远距离治疗辐射源检定规程[S].
- [4] JJF1059-1999. 测量不确定度评定与表示[S].
- [5] 周迎春, 李名兆. 医用⁶⁰Co 治疗机吸收剂量测量不确定度分析[J]. 中国测试技术, 2008, 34(4): 39-43.

(收稿日期: 2011-04-15)