

# 低能散射光子对固体探测器测量 水吸收剂量的影响

尹在哲<sup>1</sup>, P. R. Hugtenburg<sup>2</sup>, A. H. Beddoe<sup>2</sup>

(1. 清华大学核能与新能源技术研究院, 北京 100084;

2. Queen Elizabeth Hospital, Birmingham B15 2TH, U.K)

**摘要:**用 p 型半导体探测器 (diode) 和 RK 电离室测量了医用直线加速器入射能量为 6 和 15 MV 的水模体散射系数。同时用 Monte-Carlo 方法计算了加速器入射能量 6 和 15 MV 时光子在不同照射野的水中能谱。通过测量水模体散射系数和用 Monte-Carlo 模拟计算水中的能谱, 以定性和定量分析在高能光子照射下低能散射光子对固体探测器剂量响应的影响, 为放射治疗计划提供了质量保证 (QA) 与质量控制 (QC)。

**关键词:**医用直线加速器; p 型半导体探测器; RK 电离室; 照射野; Monte-Carlo 方法

**中图分类号:** TL814; TL811.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-6931(2004)S0-0236-03

## Effect of Low Energy Scatter Photon on Solid State Detectors in Measurement of Water Absorbed Dose

YIN Zai-zhe<sup>1</sup>, P. R. Hugtenburg<sup>2</sup>, A. H. Beddoe<sup>2</sup>

(1. Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Queen Elizabeth Hospital, Birmingham B15 2TH, U.K)

**Abstract:** The measurements of scatter factor are carried out using diode and RK ionization chamber for 6 and 15 MV medical linear accelerator energy photons in water phantom. The photon energy spectra for 6 and 15 MV in water phantom are also calculated using Monte-Carlo method. The aim of this paper is to correct the error resulting in the overdosing of diode detector due to low energy scatter photons. The paper also supports the quality assurance (QA) and quality control (QC) in radiotherapy physics.

**Key words:** linear accelerator; p-type diode; RK ionization chamber; field sizes; Monte-Carlo method

随着医用直线加速器在放射治疗中越来越有效地杀伤癌细胞的同时, 人们对射线的吸收剂量的控制要求也越来越高, 以期达到更好的

治疗效果, 同时最大限度地减小对周围健康细胞组织的损伤。固体探测器是一种较理想的测量和监控吸收剂量工具, 它有比传统电离室小

收稿日期: 2004-04-15; 修回日期: 2004-05-13

作者简介: 尹在哲 (1964—), 男, 北京人, 副教授, 博士, 放射医学物理与技术应用专业

得多的灵敏体积,稳定性好,使用方便。但非组织等效是大多数固体探测器的缺陷,例如半导体探测器(diode)和MOSFETs探测器<sup>[1]</sup>。半导体探测器灵敏体积材料硅(Si)原子序数相对水比较高,属高原子序数。高能光子在水中的物理反应主要为康普顿效应,其康普顿散射出的低能光子对这些固体探测器的剂量响应比等效人体组织的电离室测量值大,在使用半导体探测器测量时必须给予精确校正。

本工作分别用p型半导体探测器和RK电离室测量水模体散射系数,同时用Monte-Carlo模拟方法计算医用直线加速器入射光子能量为6和15 MV的水中光子能谱。

### 1 实验方法

水模体散射系数定义为在水中深度d处,某一照射野f的照射剂量与参考照射野f<sub>0</sub>照射剂量比:

$$P_d(f) = D(f) / D(f_0) \quad (1)$$

式中:D(f)和D(f<sub>0</sub>)分别为在水深度d处任意照射野f剂量和参考照射野f<sub>0</sub>剂量。

本实验用Scanditronix公司生产的p型半导体固体探测器和RK电离室测量水模体中不同照射野和水深的剂量D(f),测量用的探测器和电离室分别连接NE2570静电计用于读出数据。p型半导体结构和工作原理在参考文献[1]中已有描述。RK电离室使用时外加电压+300 V。本实验测量用的医用直线加速器入射光子能量为6 MV(加速器型号:Philips SL15)和15 MV(加速器型号:Elekta Precise)。使用的水模体为Scanditronix公司的RFA-300。射线源至水面距离(SSD)设定为100 cm,照射时间均为30 s,照射野范围为边长5 cm至40 cm的正方形。根据文献[2],设定参考照射野f<sub>0</sub>为10 cm×10 cm。对光子能量6 MV的测量点选为水深1.5和15 cm;对光子能量15 MV的测量点选为水深3和20 cm。

### 2 实验结果

图1和图2分别示出了医用直线加速器入射光子能量为6 MV和15 MV的水模体散射系数曲线,所有剂量测量值D(f)均分别归一到参考照射野剂量值D(10 cm×10 cm),水模

体散射系数计算参见式(1)。图1显示,6 MV能量入射光子在最大照射野(40 cm×40 cm)处,用半导体探测器测量的水模体散射系数比电离室高出2.9%和10%,分别在水深1.5和15 cm处。图2显示,15 MV能量入射光子在最大照射野(40 cm×40 cm)处,用半导体探测器测量的水模体散射系数高出电离室2.5%和5.6%,分别在水深3和20 cm处。

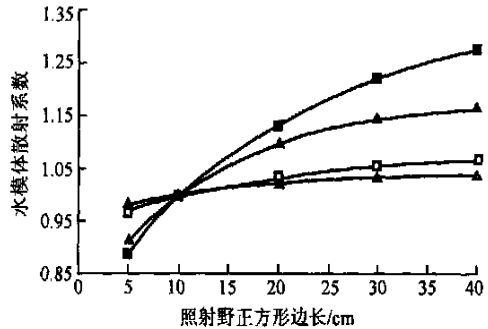


图1 6 MV能量入射光子的水模体散射系数  
Fig. 1 Phantom scatter factor with 6 MV photon beam in water

□, ■——p型半导体探测器; △, ▲——RK电离室  
□, △——水深1.5 cm处; ■, ▲——水深15 cm处

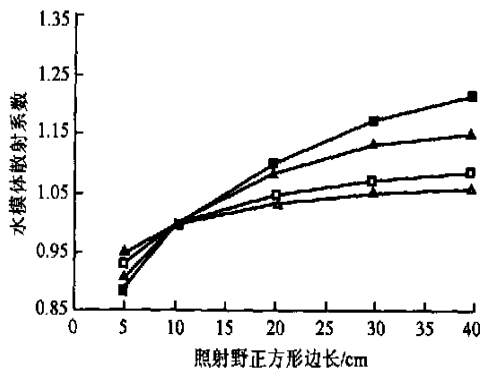


图2 15 MV能量入射光子的水模体散射系数  
Fig. 2 Phantom scatter factor with 15 MV photon beam in water

□, ■——p型半导体探测器; △, ▲——RK电离室  
□, △——水深3 cm处; ■, ▲——水深20 cm处

### 3 光子能谱

图3示出Monte-Carlo方法<sup>[4]</sup>计算的入射光子在不同水深和照射野的光子能谱柱状图。图3中粒子输运参数ECUT=0.700 MeV,

PCUT = 0. 01 MeV , ESTEPE = 0. 25。在 Monte-Carlo 计算中使用了几何对称互换技术,节省了计算机运算时间,同时提高了计算精度。具体计算方法参见文献[3],在能谱计算中使用的入射光子能谱参见文献[4]。

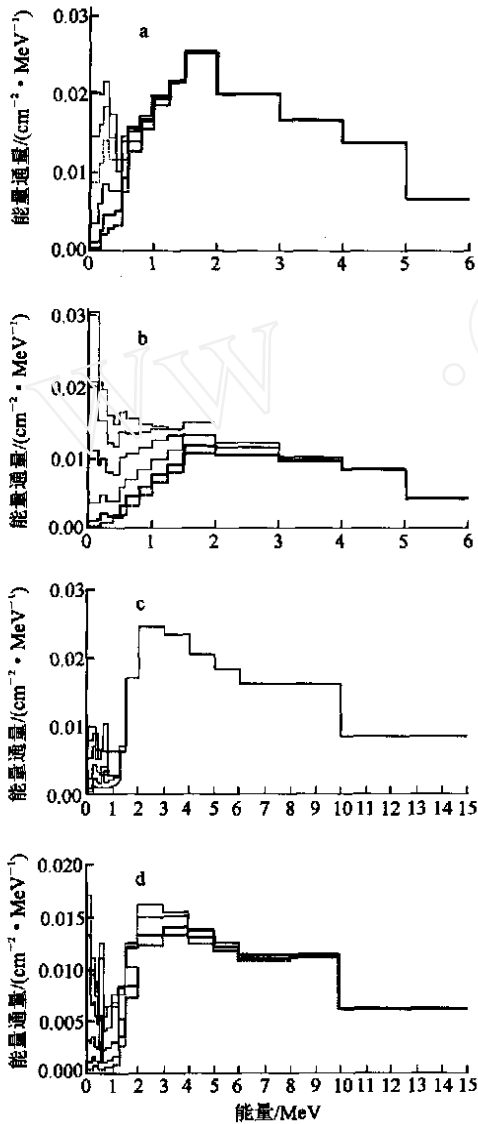


图3 入射光子在不同水深不同照射野的能谱  
 Fig. 3 Photon spectra calculated using Monte-Carlo EGSnrc code at different depths and field sizes in water  
 a —6 MV, 1.5 cm 处; b —6 MV, 15 cm 处;  
 c —15 MV, 3 cm 处; d —15 MV, 20 cm 处  
 照射野正方形边长, cm: 粗虚线 —2.5; 粗实线 —5;  
 细实线 —10; 双点划线 —20;  
 细虚线 —30; 点划线 —40

### 4 讨论

图 1 和图 2 示出了用半导体探测器和 RK 电离室对不同光子能量和水深处测量的水模体散射系数。这些曲线显示出半导体探测器对 RK 电离室的水模体散射系数随照射野和水深增加而增加,随入射能量增加而减小。例如, 6 MV 能量入射光子在最大照射野 (40 cm × 40 cm) 处,用半导体探测器测得的水模体散射系数高出电离室的 2.9 % 和 10 %, 分别位于水深 1.5 和 15 cm 处; 15 MV 能量入射光子在最大照射野 (40 cm × 40 cm) 处,半导体探测器测得的水模体散射系数高出电离室的 2.5 % 和 5.6 %, 分别位于水深 3 和 20 cm 处。因此,在放射治疗剂量控制测量中,半导体探测器对等效人体组织 RK 电离室剂量测量值的过量响应必须给予修正。

半导体探测器材料硅 (Si) 的原子序数相对于等效的水原子序数高,而低能光子对高原子序数物质的光电效应占有优势,即对于低能光子,硅 (Si) 比水具有更高的质能吸收系数。所以,低能光子对半导体探测器较 RK 电离室有更高的剂量响应。

从理论上可知,中高能光子在水中的主要物理反应是康普顿效应,而大角度康普顿散射光子能量却远低于初始光子能量。另外,随着水中照射野的增加,低能散射光子相应增加,这可以从图 3 所示计算出的光子能谱直观看到。从图 3 中也可以看到,水中较深处低能光子的增加比在水中较浅处的多,能量低的入射光子 (6 MV) 比能量高的入射光子 (15 MV) 在水中产生出的低能散射光子多。

为了克服低能光子在测量中对半导体探测器的影响,许多半导体探测器制造商生产出了一种能屏蔽低能光子的半导体探测器,但这种屏蔽型探测器也导致了探头的方向性效应的变化,在使用时仍需给予修正。

建议将半导体探测器用于小照射野测量。由于半导体探测器的灵敏体积小、空间分辨率大,相对于电离室,它更优于剂量分布梯度大的位置处的剂量测量。

(下转第 251 页, Continued on p. 251)

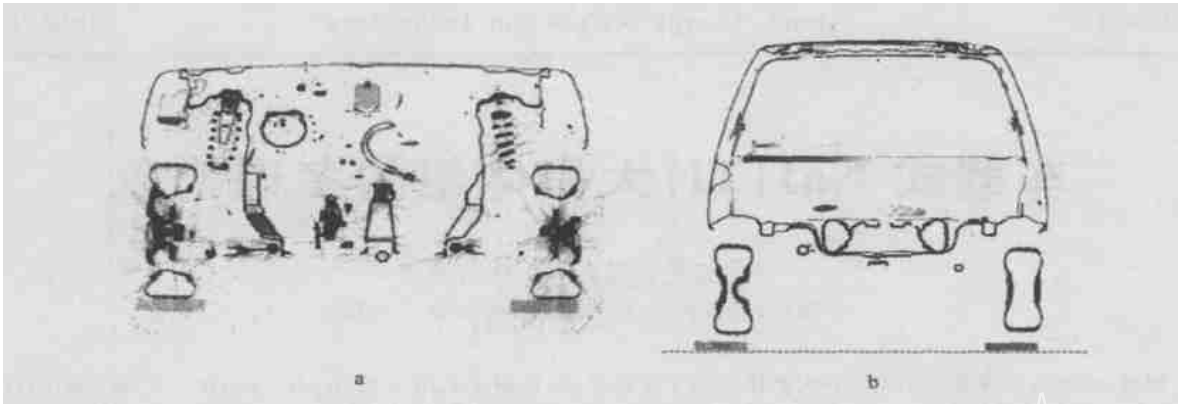


图3 CT 截面扫描图

Fig.3 CT section

a——前轮部位;b——后轮部位

## 参考文献:

- [1] An J, Yang X, Zhou L. Progress on Developing<sup>60</sup>Co Container Inspection Systems[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2003, 58:315~320.
- [2] 安继刚,周立业,刘以思.<sup>60</sup>Co 集装箱检测装备系

列研究与应用[J]. 无损检测, 2003, 25(5):243~246.

- [3] 安继刚,周立业,刘以思. 钴-60 数字辐射照相集装箱检测系统的研究与开发[J]. 核科学与工程, 2000, 20(3):220~231.

(上接第 238 页, From p. 238)

## 参考文献:

- [1] Yin Z. Solid State Detectors in Radiotherapy Dosimetry[D]. Birmingham University, 2002.
- [2] ICRU Report No 23. Measurement of Absorbed Dose in a Phantom Irradiated by a Single Beam of X or Gamma Rays[R]. Washington, DC: ICRU Publications, 1973.

- [3] Yin Z, Hugtenburg PR, Beddoe AH. Response of Silicon Diode Dosimeters to Scattered Radiation From Megavoltage Photon Beams [J]. Radiat Prot Dosim 2002, 101: 415~418.
- [4] Mohan R, Chui C, Lidofsky L. Energy and Angular Distribution of Photons From Medical Linear Accelerators [J]. Med Phys, 1985, 12: 592~597.