

在多层介质中电子深度剂量分布的计算

王传珊 许梦杰 李志良 冯永祥

(上海科学技术大学, 上海)

李盘林

(中国科学院上海原子核研究所, 上海)

摘要 本文研究了多层介质中电子束的能量沉积及深度剂量分布。将 T. Tabata 和 R. Ito 的 EDMULT 半经验算法程序在 IBM-PC 微机上对多层复合介质进行了扩展, 提出了新的电子剂量分布的计算机程序——EDSC。

关键词 多层, 深度剂量分布, 半经验

引言

在电子束的应用领域中, 电子深度剂量分布的计算是十分重要的。由于电子在穿透物质时, 尤其是穿透多层复合介质时行为的复杂性, 给计算带来一定麻烦, 如何提供一个简便而又合理的计算方法, 是电子束工作者所感兴趣的。目前计算理想电子束在介质中的深度剂量分布有三种方法: 一种是解析法, 如 Spencer^[1] 的矩方法; 第二种是 Monte Carlo 模拟, 早期使用 ETRAN^[2] 程序, 近年来又发展了 TIGER^[3] 程序, 该方法能方便地处理复杂几何, 缺点是耗费机时太多, 以及需要大容量的计算机; 第三种方法是半经验算法, 如 T. Tabata 等的 EDEPOS^[4] 和 EDMULT^[5] 程序, 就是建立在大量实验与 MC 计算结果基础上, 拟合并修正了一系列有关电子穿透、背散射、射程等的半经验公式, 并建立起来的单层和三层介质的计算机程序。三层介质的 EDMULT 程序在日本电子束加工领域中得到了广泛的应用, 并被收入美国橡树岭国立实验室辐射防护信息中心程序库。我们在剖析和使用 EDMULT 程序的过程中, 感到其物理模型较为合理, 但在处理电子穿透时考虑的修正因数比较多, 故我们在处理多层介质问题时, 采用等效性原理, 将处理单层的方法向二层、三层推广。该算法简便, 在 IBM-PC 微机上就能实现其运算, 运行时间仅为追踪 1000 个电子的 MC 方法的 1/100, 这样就便于在电子束应用领域中推广。在使用 EDMULT 的过程中, 我们发现三层介质对大多数实际情况来说是不够的, 如在电子加速器辐照实验中, 从电子束出口处算起, 吸收介质一般有四层, 即钛窗、空气层、被辐照物以及衬底材料。因而有必要将介质层数加以扩展, 这就是我们建立四层介质的 EDSC 程序的原因。在最近学术交流中, 我们获悉 T. Tabata 将钛窗和空气层折合成一个单层, 从而用 EDMULT 来解决加速器辐照有衬底材料的样品问题, 来研究衬底材料的背散射对样品的吸收剂量的影响。可是这种处理结果带来约 2% 的误差。

EDSC 调试成功后, 曾在上海科技大学射线应用研究所的电子束发泡聚乙烯等项目中得到应用, 计算结果与用 CTA 薄膜剂量计实测结果比较一致。我们还进行了加速器辐照条件的计算机设计和背散射效应的研究等工作, 也得到了比较满意的效果。

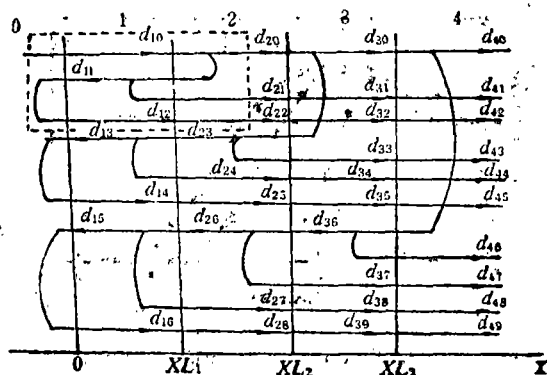


Fig 1. Schematic paths of electron in the four medium.

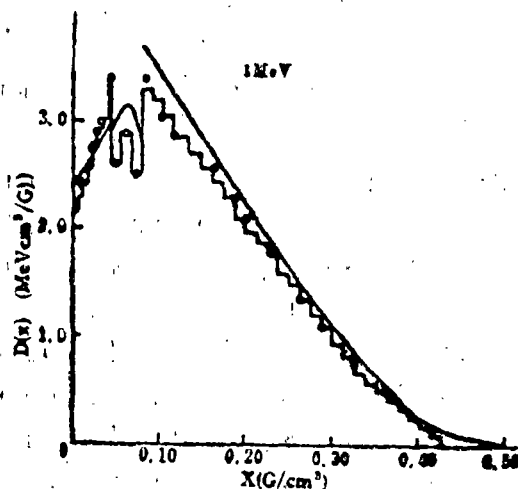


Fig 2. Depth-dose distribution of three medium of Al-Au-Al
Points: Lockwood experimental data
Histogram: Monte Carlo result
curves: Present work

由一个主项(d_{10} 、 d_{20} 等)加上从其它各层来的背散射项以及由各层填充不同材料所引起的校正项三者的迭加。在迭加时,每项前都要乘一个归一化因子,归一化因子主要是使电子穿透的有关部分可以与电子的剩余能相比配。以四层吸收介质中第二层为例,该层中 $d(x)$ 是由第1层来的主项的贡献 $d_{20}(x)$ 和从二层背散射回一层和零层再次背散射回二层的校正项的贡献再加上从三层、四层多次背散射回二层项的贡献的和,其中还包括了材料替代引起的校正。在第二层,对 $d(x)$ 有贡献的有19项,依次类推。在EDSC程序中,各层剂量深度分布 $d(x)$ 可以用一个13、19、17和10项的级数来表示。图1中虚线部分表示的是二层介质的电子路径图。可见,随层次增加,对 $d(x)$ 有贡献的项呈几何级数增加。

应用举例

在广阔的电子能区($100 \text{ keV} < T_0 < 20 \text{ MeV}$)和介质材料($5.3 < z < 82$)范围内,对于不大于4

模型简介

当一个平面平行电子束以均一能量 T_0 正入射于一个四层介质时,若介质是平板状的,1—3层的材料分别是 m_1 — m_3 和 xL_1 — xL_3 ,第四层材料为 m_4 ,厚度为半无限。在距第 i 层介质表面深度为 x_i 材料为 m 处单位电子形成剂量为 $D(x)$,也可以用 $d_{\text{SIM}}(x, T, m)$ 来表示。

如果认为入射电子损失的能量全部被介质所吸收,则以下关系成立:

$$D(x)dx = -\frac{d}{dx}[\eta_d(x)T_d(x)]dx \quad (1)$$

式中 $\eta_d(x)$ 为电子穿透系数, $T_d(x)$ 为电子剩余能。

$$\text{和: } \int_0^\infty D(x)dx = (1 - f_b - f_r)T_0 = f_d T_0$$

其中 f_b 为从入射表面背散射的入射能量的平均分数, f_r 为由于辐射过程产生的韧致辐射尾深度处的入射能量沉积的平均分数。 $\eta_d(x)$ 、 $T_d(x)$ 的计算公式见文献[4], $T_d(x)$ 在高低能时有不同的表达式,一般 $T_d(x)$ 由外推射程与能量关系的反函数求得。在最大深度处, $T_d(x)$ 带有一个指数尾。

由上述关系很容易建立起单层 $D(x)$ 即 $d_{\text{SIM}}(x, T, m)$ 的表达式。

四层介质计算的特点在于反复使用电子穿透界面的单层模型,电子在介质中所走的路径可见图1所示,在每一个层中的 $d(x)$ 都可以

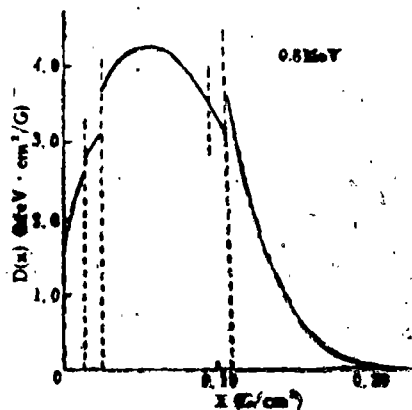


Fig 3. Depth-dose distribution of four medium of Ti-Air-PE-Al

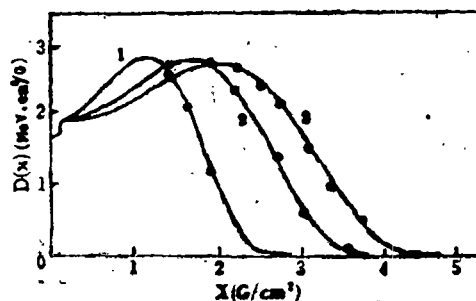


Fig 4. Depth-dose distribution curve of medical accelerator
Points: Experimental data
----: Present work

层的平板状多层介质来说, EDSC 可以方便地给出能量沉积的微分和积分分布, 并能给出各种中间结果, 即给出有关电子穿透、多次散射、背散射的各种系数和电子剩余能等。应用例如下:

(1) 对 EDSC 的输入参数稍加选择就可对介质层次不同的情况进行计算, 图 2 和 3 是对 T_0 分别为 1 和 0.5 MeV 情况和介质为三层和四层情况的计算结果, 图 2 还与 Monte Carlo 结果和实验值进行了比较。图 2 其实是 T. Tabata 给出的一个检验 EDMULT 程序的例子, 他曾给出所有计算结果。我们使用 EDSC 程序选 $N=3$ 时所得的全部计算结果均与 T. Tabata 提供的一致。

(2) 对于更高能量, 曾做到 20 MeV, 但由于没有相应的实验数据与其比较, 这里仅举 T_0 为 6、8、和 10 MeV 的一组情况(见图 4)。图中三根曲线是 EDSC 的计算结果, 网点值是 10 MeV 电子医用加速器出厂时的测试数据, 是用电离室在水介质中实测的。可见实验结果与计算值符合得很好。图 4 为计算机打印结果, 曲线起始部分两个不明显的阶跃是钛窗和空气层的能量沉积。

(3) 该算法能用于计算平行电子束在不大于四层介质中的能量沉积(图 3), 作简单处理, 考虑电子束的流量和辐照时间, 被辐射物的面积等; 即可换算成深度剂量分布, 因而可以用于电子束辐照加工剂量估算, 还可用于量热器中能量沉积、二次粒子能量沉积谱歧离分析及频率分布等。

衷心感谢 T. Tabata 博士提供 1981—1987 版本的 EDMULT 程序及有关资料和提出的有益建议。上海射线所秦争同志协助计算, 特此致谢。

参 考 文 献

- [1] L. V. Spencer, NBS Monograph, 1 NBS (1959).
- [2] M. J. Berger and S. M. Seltzer, NBS report, 9836, 9837.
- [3] A. Halbleib, RSIC Comput. Code Collect. CCC-467, Radiat. Shielding Inf. Cent., Oak Ridge Natl. Lab. (1985).
- [4] T. Tabata and R. Ito, Nucl. Sci. Eng. 53, 226(1974).
- [5] T. Tabata and R. Ito, Jap. J. Appl. Phys., 20, 249(1981).
- [6] T. Tabata, Radiat. Cent. Osaka Prefecture Technical Report 8, ISSN O285-8797, (1987).

(稿件收到日期: 1987 年 5 月 14 日)

(下转第 41 页)

LYOLUMINESCENCE DOSIMETRY USING SOME SACCHARIDES IN ^{60}Co γ -RAYS FIELD

Zhang Zhonglun and Zheng Yanzhen
(Institute of Biophysics Academia Sinica, Beijing)

ABSTRACT Low limits of measuring dose are limited by self-glow of luminol solution and luminescence of unirradiated samples of saccharides. The suitable concentration of luminol solution should be 7×10^{-8} mol/ml and a high ratio of signal to noise can be obtained when solution temperature is in the range of 15–25°C. The ranges suitable for dose measurement have been evaluated based on dose response characteristic of these saccharides. Sensitivities are in this order of priorities: Trehalose, sucrose, galactose, glucose, levulose, mannose, and dose measurement dispersion change to poor according to this priorities also. Stability of lyoluminescence of the saccharides is not depended on heat treatment of the samples.

KEY WORDS Lyoluminescence dosimetry, Saccharide, γ -ray dosimetry

(Continued from page 52)

THE CALCULATION OF ELECTRON DEPTH-DOSE DISTRIBUTIONS IN MULTILAYER MEDIUM

Wang Chuanshan, Xu Mengjie, Li Zenlian and Feng Yongxiang
(Shanghai University of Science and Technology)

Li Panlin
(Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Science)

ABSTRACT Energy deposition in multilayer medium and the depth dose distribution in the layers are studied. Based on semi-empirical calculation of electron energy absorption in matter with EDMULT program of Tabata and Ito, further work has been carried out to extend the computation to multilayer composite material. New program developed in this paper makes IBM-PC compatible with complicated electron dose calculations.

KEY WORDS Electron, Multilayer, Depth-dose distribution, Semiempirical