

展宽重离子束的 Bragg 峰*

李 强 卫增泉 李文建 周光明 党秉荣 蔡喜臣 何 静
颜红梅 韩光武 黄 涛 陈卫强 王菊芳 张树民

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 介绍了自行设计加工的用于对重离子束 Bragg 峰进行展宽的旋转式射程调制器。实验上运用双电离室法测定了 $75\text{MeV/u } ^{12}\text{C}$ 离子束的 Bragg 曲线以及经该射程调制器调制的 $75\text{MeV/u } ^{16}\text{O}$ 及 ^{12}C 离子束的 Bragg 曲线, 调制的离子束展示出明显展宽的 Bragg 峰, 并将测量结果同计算结果进行了比较。

关键词 重离子束 展宽的 Bragg 峰 射程调制器

1 引言

重离子放射治疗中, 有时为节省治疗时间, 需要根据肿瘤患者体内肿瘤的形状及大小对重离子束的 Bragg 峰进行展宽, 因而对 Bragg 峰展宽并使得展宽后峰区内的癌细胞均匀地死亡就显得非常重要^[1]。重离子束 Bragg 峰的展宽可通过射程调制器来实现, 它可叠加不同单能束流的剂量分布, 不同单能束流的剂量叠加比例可根据要展宽的 Bragg 峰的情况来决定^[2]。本文介绍了我们设计加工的旋转式射程调制器, 用该射程调制器对兰州重离子研究装置(HIRFL)提供的 $75\text{MeV/u } ^{16}\text{O}$ 及 ^{12}C 离子束的 Bragg 峰进行了展宽。为了比较, 同时测量了 $75\text{MeV/u } ^{12}\text{C}$ 离子束 Bragg 曲线。这些研究旨在使我们掌握对重离子束 Bragg 峰展宽的技术, 并为今后重离子束治癌在临床中得以应用进行必要的技术准备。

2 射程调制器

本文设计加工了一种旋转式的射程调制器, 该调制器的制作材料为有机玻璃(PMMA, $\rho = 1.19\text{g/cm}^3$), 由两块相反方向共轴的扇片组成, 其目的是为了保证旋转时的动力学平衡。每一扇片又是由不同厚度的 9 块小的扇形降能片组成, 这些相邻扇形降能片的厚度差别均为 0.5mm, 从边缘 0.5mm 厚到中心 4.5mm 厚。其形状如同一圆盘状的螺旋桨, 垂直于束流线不断地旋转。单能离子束经调制器的不同厚度降能片后形成能量从

1997-06-05收稿, 1997-12-02收到修改稿

* 国家科委攀登计划(B) (950603)资助

大到小的混合能量离子束, 每一能量离子束在组织中有其自己的剂量分布, 因而调制器起到了将经其后不同能量离子束的剂量分布叠加的作用, 扇形降能片中心角的比就是各能量束流在组织中剂量分布叠加的比例. 与未经调制器前的照射束流相比而言, 相当于将照射束流的 Bragg 峰展宽了.

3 实验装置

用双电离室法测离子束 Bragg 曲线的实验原理可参考文献^[3,4]. 实验装置如图 1 所示, HIRFL 提供的 $75\text{MeV/u}^{16}\text{O}$ 及 ^{12}C 离子束经真空管道隔离窗 ($24\mu\text{m}$ 镍) 后引入大气, 能

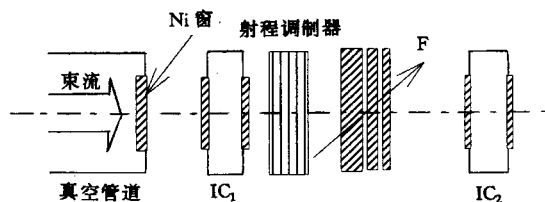
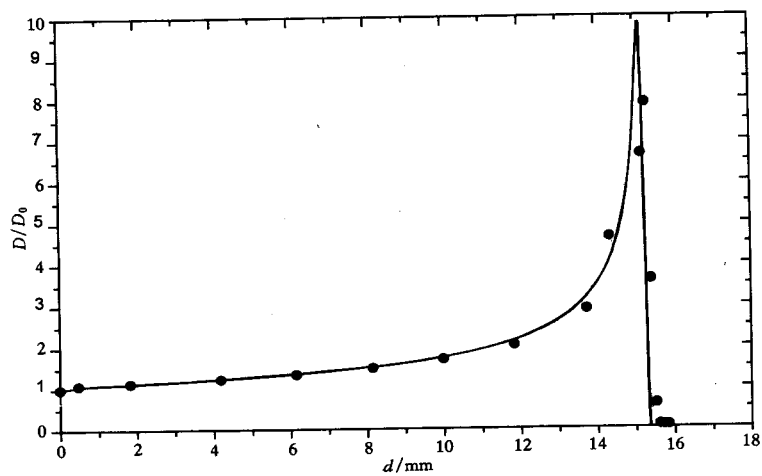


图1 实验装置简图

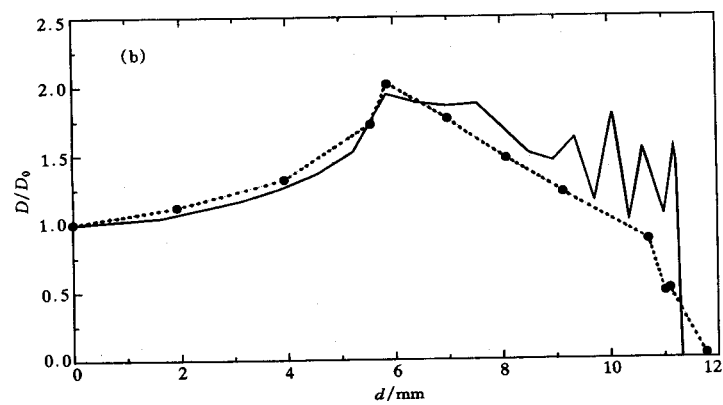
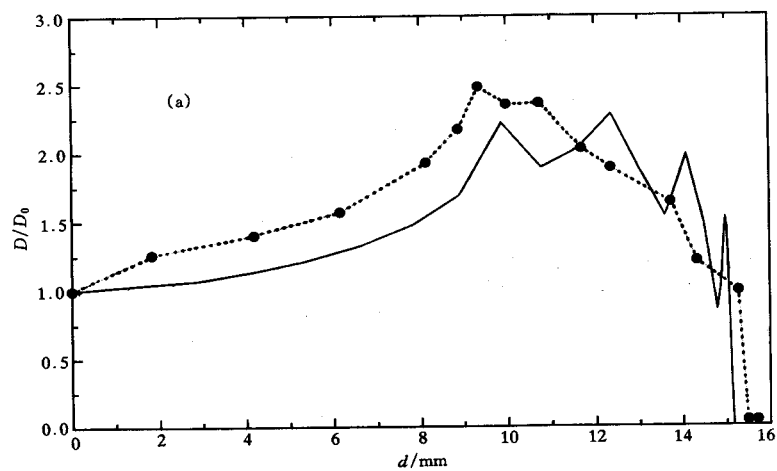
量分别降为 74.28MeV/u 和 74.55MeV/u 左右, 电离室 IC_1 及 IC_2 均为自由空气电离室, 每个电极面均为 $10\mu\text{m}$ 厚的 Mylar 膜, 其上蒸有约 $100\mu\text{g/cm}^2$ 的黄金, 极间距离为 3mm , 工作电压为 300V , 两电离室间的距离约为 50mm . 由束流积分器测量电离室输出的电荷量, 随后转换成脉冲信号由定标器计数. 图 1 中 F 为不同厚度有机玻璃 (PMMA, $\rho = 1.19\text{g/cm}^3$) 的降能片. 测定调制的离子束 Bragg 曲线时, 实验装置上安装由马达带动的旋转式射程调制器. 实验结果处理时将有机玻璃降能片的厚度等效为离子在组织等效材料——水中的贯穿深度.

4 结果与讨论

为做比较, 首先测定了 $74.55\text{MeV/u}^{12}\text{C}$ 离子束的 Bragg 曲线, 结果如图 2 所示, 图中的实线是根据我们理论计算得到的 Bragg 曲线. 可以看到单能离子束的 Bragg 峰是很尖锐的窄峰, 并且理论计算结果与实验测量结果符合很好. 经射程调制器调制的 $74.55\text{MeV/u}^{12}\text{C}$ 及 $74.28\text{MeV/u}^{16}\text{O}$ 离子束在不同贯穿深度上与介质表面上的相对剂量 (调制的 Bragg 曲线) 的测量结果分别如图 3 (a), (b) 所示. 可以清楚地看到, 经调制的离子束 Bragg 曲线上分别呈现出明显展宽的 Bragg 峰, 对于 $74.55\text{MeV/u}^{12}\text{C}$ 离子束, 展宽的 Bragg 峰大约位于在水中贯穿深度 9mm 到 15mm 之间, 而对于 $74.28\text{MeV/u}^{16}\text{O}$ 离子束, 展宽的 Bragg 峰大约位于在水中贯穿深度 5mm 到 9mm 之间. 由实验结果可以得到, 我们设计加工的旋转式射程调制器对重离子束 Bragg 峰做到了较好的展宽. 同时也计算了经调制的 $74.55\text{MeV/u}^{12}\text{C}$ 及 $74.28\text{MeV/u}^{16}\text{O}$ 离子束的 Bragg 曲线, 分别用实线表示在图 3 (a), (b) 中, 其实验测量与理论计算有较大的差别. 发生这一差别的主要原因可能是, 单

图2 74.55MeV/u¹²C离子束的Bragg曲线

●为实验测量值,实线为理论计算值.

图3 经调制的74.55MeV/u¹²C(a)和74.28MeV/u¹⁶O(b)离子束的Bragg曲线

●为实验测量值,实线为理论计算曲线.

能的离子束通过射程调制器的不同厚度的降能片后,各能量都会出现不同程度的歧离,而在我们的计算中假设的混合束只是由各单能的离子束组成的,未考虑离子束通过不同厚度降能片后的能量展宽. 尽管这样,但理论与实验的趋势是一样的,即射程调制器对 Bragg 峰做到了较好的展宽. 理论曲线中展宽的 Bragg 峰区域呈现锯齿状是由于射程调制器的机械加工中,降能片的最小厚度差别所致. 重离子治癌中,就是将高能量沉积的 Bragg 峰区域置于肿瘤的部位,高效地杀死癌细胞. 离子通过的正常组织由于能量沉积较小而受损较小,受到了保护. 但由于癌组织均有一定的大小,为了减小照射时间,就需要对人射离子束的 Bragg 峰展宽,使展宽的 Bragg 峰区可以达到物理剂量均匀或生物剂量均匀以满足治疗的要求.

5 结束语

通过实验测量证实了自行设计加工的射程调制器对重离子束 Bragg 峰的展宽是有效的,并为以后重离子束治癌的进一步研究打下了基础.

感谢 HIRFL 加速器运行人员为本实验提供了优质的离子束.

参 考 文 献

- [1] Kanai T. in: Proceedings of the Third Workshop on Physical and Biological Research with Heavy Ions, (Ando K. and Kanai T., editors), HIMAC report (NIRS Publication), HIMAC-006, 7-11, 1993
- [2] Koehler A M, Schneider R J, Sisterson J M. Nucl. Instru. Meth., 1975, 131:437-440
- [3] Brusasco C, Schardt D, Voss B. Contribution to Second Int. Symposium on Hadrontherapy, Switzerland, 9-13 Sept, 1996
- [4] Wei Zengquan, Xie Hongmei, Li Wenjian et al. Nuclear Techniques (in Chinese), 1996, 18(2):18-21
(卫增泉, 颜红梅, 李文建等. 核技术, 1996, 18(2):18-21)

Extending of the Bragg Peak of Heavy Ion Beam*

Li Qiang Wei Zengquan Li Wenjian Zhou Guangming Dang Bingrong
Cai Xichen He Jing Xie Hongmei Han Guangwu Huang Tao
Chen Weiqiang Wang Jufang Zhang Shumin

(Institute of Modern Physics, The Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract A rotating range modulator designed and manufactured in IMP is introduced, which is applied to extend Bragg peak of heavy ion beam. With double ionization chamber method, Bragg curve of $75\text{MeV/u}^{12}\text{C}$ ions and Modulated Bragg curves of $75\text{MeV/u}^{16}\text{O}$ and $75\text{MeV/u}^{12}\text{C}$ ions through this range modulator were measured respectively, and two evident spread-out Bragg peaks corresponding to the modulated beams above are shown. The calculated curves are also exhibited for comparison.

Key words heavy ions, spread-out Bragg peak, range modulator

Received 5 June 1997, Revised 2 December 1997

* Climbing Plan (B) (No.950603) Supported by the National Science and Technology Committee of China