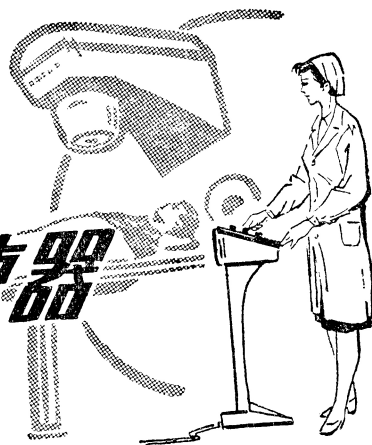


医用梭式 电子回旋加速器



赵 根 深

癌症已成为当代威胁人类健康的主要疾病之一。为了征服癌症,人们作出了巨大的努力。近五年来,主要由于放射治疗的进展,治愈率已有很大的提高。据国外及国内统计,条件较好的医院,约有70%的患者都作过放射治疗。一般放射治疗主要是靠电子直线加速器和电子感应加速器产生的高能X射线和高能电子束(近年来有人成功地试用加速器产生的中子束、正离子束以及负 π 介子束等)进行放射治疗。一般认为合适的能量是4至30兆电子伏。电子直线加速器产生能量为4至15兆电子伏的X射线和电子束;电子感应加速器产生能量为15至30兆电子伏的X射线和电子束。因此有条件的医院,大都同时装备电子直线加速器和电子感应加速器。

无论从投资上的经济,还是从使用上的便利考虑,都希望有一种能符合上述整个能量范围的医用加速器。从加速器原理讲,电子回旋加速器和跑道式电子回旋加速器都是可用的。但它们不容易做成结构紧凑的辐射治疗机。本文介绍的梭式电子回旋加速器是在跑道式电子回旋加速器的基础上提出的一种改进设计。它构思巧妙,结构紧凑,是一种很有吸引力的想法。

本文约略介绍这种加速器的原理、结构,以及能量调节方式。图1为这种加速器结构的示意图。

电子从放在驻波直线加速机构左端的环形电子枪(中央是空心的)中发射出来,直接注入第一个加速腔,然后向右方依次通过整个加速机构。电子从加速机构中获得能量增益。到右端以后,在磁铁反射器的作用下,电子沿着蝴蝶结形的轨道转过 540° ,又换一个方向进入直线加速机构(只要射频加速电压与电子进入加速机构的相位达到适当配合,反方向一样可以获得

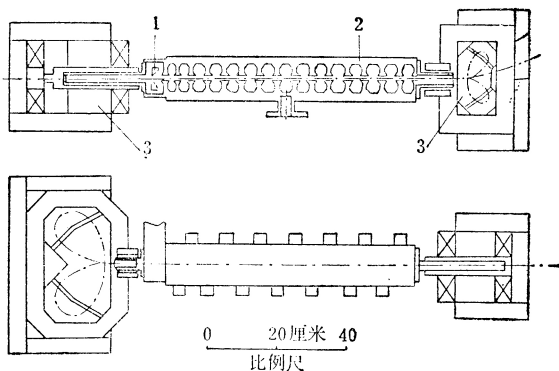


图1 通过加速机构三次,磁铁固定的梭式电子回旋加速器示意图

- (1) 环形电子枪 (2) 加速机构
(3) 反射器磁铁(左右两磁铁的位置互相垂直)

能量)。通过加速机构第二次加速后,电子从它的左端出来,在固定于直线加速机构左端的磁铁反射器作用下,电子同样转过 540° 后第三次进入加速机构。经第三次加速后,电子束又从右端出来,然后通过两组偏转磁铁,对准治疗目标(见图2)。电子在整个回旋加速过程中像梭子一样来回通过加速机构,因此叫做梭式电子回旋加速器。

梭式电子回旋加速器有下列几个优点,使得它特别适合于作为医用加速器:(1)电子来去都从直线加速机构中心通过,可以使加速机构的冷却设计与机械设计得到简化。必要时也可沿直线加速机构设置辅助聚焦线圈;(2)输出束流能量更便于调节。改变输入加速机构的射频功率和调节磁铁反射器中的磁场就能实现对电子束能量的连续调节;(3)在这种机器左右两侧的磁铁反射器中电子轨道平面并不需要共面,这使我

们能有效地利用可旋转的治疗机架中现有的一部分空间(如图2)。

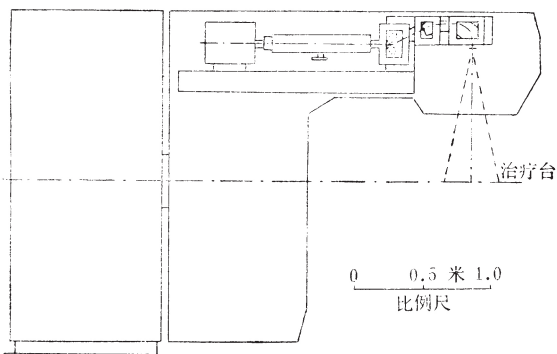


图2 梭式电子迴旋加速器在可旋转的辐射治疗机架中的一种布置方案

引出束能量可在4到24兆电子伏间连续调变,能量为4兆电子伏时,可用以代替 ^{60}Co 源,能量在十几个兆电子伏以下时,可用作 γ 射线治疗,能量为30兆电子伏时一般直接用于电子射线或高能 γ 射线治疗。

这种治疗机结构紧凑、性能好、安全、成本低。现先把它与 ^{60}Co 源简单对比一下。 ^{60}Co 源自发不断地辐射 γ 射线,医生使用 ^{60}Co 时,治疗前要先对光(将光源对准病人的患处),这过程中,即使有屏蔽,医生也不免受照射,故医生较紧张。这种新加速器治疗机却可对准后再开机,不用时就无射线,很安全。下面再把它和电子直线加速器比较一下。用电子直线加速器如要产生30兆电子伏的电子束,加速器必须做得较长,还要求大功率的速调管,规模很庞大,作为医用就很不方便。

以下简单地介绍一下这种加速器的几个主要部分:(1)加速机构;(2)磁场结构;(3)能量的调变和运行模式。

(1)加速机构 S₁波段的直线加速节长0.73米,由15个洛斯阿拉莫斯(Los Alamos)型边耦合腔组

成,当它处在最佳运行状态时,电子每通过一次可获得6到7兆电子伏的能量。射频功率由一个可调谐的2兆瓦磁控管,通过中间的加速腔耦合到直线加速节中(看图1上图)。

(2)磁场结构 反射器的每一块磁铁极靴分成高低两种场区。束流通过高低场区之间的附加边界获得聚焦。聚焦原理与跑道式电子迴旋加速器中的完全一样。这种利用过渡边界场来获得束流聚焦的办法,经过实践证明是很有效的。高低场区磁场强度的比例是4.5比1。高场区的最大磁场强度为1.2万高斯。

(3)能量的调变与运行模式 能量的调变有两种办法:一是调节射频功率分配器来调变输入功率。二是改变运行模式。运行模式分二种:一种是束流通过加速机构三次,另一种是只通过加速机构一次。只通过加速机构一次时,电子能量可达4兆电子伏到8兆电子伏之间。例如,当需用能量为6兆电子伏的最大束流作X-射线治疗时,就可以采用一次通过加速机构的模式。如果要求的能量更高,可采用三次通过加速机构的模式。在三次通过时第二次和第三次通过加速机构所增加的能量,可以分别由调节左边的(大的)和右边的(小的)磁铁反射器的磁场来调变。因为磁场的变动能够控制束流进入加速机构时的相位。如要用12兆电子伏的X射线进行放射治疗,头一、二次电子束通过直线加速节的能量增益都可控制为6兆电子伏,第三次则让束流漂移通过(即不获得能量),然后引出。把上述两种调变办法结合起来,可以使电子能量从4兆电子伏连续调变到24兆电子伏,从而只用一台机器就可广泛地满足各种辐射治疗的需要。

梭式电子迴旋加速器作为辐射治疗机,高不过3米,长不过4米,在一个不大的房间中即可放下,比目前同样能量范围的各种辐射治疗机都要紧凑灵活,造价和运行费用也较小,适应性很强。

(题头设计: 顾晨羲)