

## 粒子加速器中高频产生 X 射线的防护

吴靖民

(中国科学院高能物理研究所, 北京)

**关键词** 加速器, 高频, X 射线, 防护。

对粒子加速器的高频设备(如速调管)和加速腔,除了要防护微波的洩漏外,还必须防护高频产生的 x 射线。

速调管是通过电子束与高频场的相互作用,将电子束的直流能量转换为高频能量的装置,速调管中电子束在高频场的作用下受到速度调制,从而激起更强的高频振荡,并通过波导管将高频能量馈送至加速腔,以加速带电粒子。而电子束的剩余能量则在它轰击收集极时,绝大部分转化为热能,极少部分因韧致辐射转化为辐射能。

粒子加速器中速调管工作在脉冲状态,一般管电压为 200—300 kV,所以,它只产生低能 X 射线,其能谱从零开始一直到电子的最大能量,作为防护计算,可取 X 射线的能量为电子最大能量的三分之一。X 射线的强度可以采用通常 X 光机的方法进行计算,强度  $A$  与收集极材料的原子序数  $Z$ 、管电压  $U$ (kV) 的平方及电流  $I$ (A) 成正比,即

$$A = K Z U^2 I \quad (1)$$

式中  $K$  与 X 光管的结构特性及电压有关。当发射强度以瓦表示时,  $K$  的平均值为  $(8 \pm 2) \times 10^{-4}$ ,若用照射量  $Ckg^{-1}$  表示,则  $K = 19 \pm 5$ 。图 1 表示速调管平均功率为 1 kW 时,在不同铅屏蔽厚度下,距收集极 1 m 处的 X 射线照射量率与速调管脉冲电压之间的关系<sup>[1]</sup>。

实践表明,峰值功率为 20—40 MW 的速调管,在无磁铁屏蔽的情况下,2—5 cm 的铅屏蔽可以满足防护要求。但是,由于速调管几何形状并不规则,特别是微波输出处及收集极冷却水管的接口处,辐射洩漏是很强的。实验测得在距收集极 1 m 处,照射量率高达  $2.58 \times 10^{-5} Ckg^{-1}h^{-1}$  ( $100 mRh^{-1}$ )。所以,要特别注意接口处的局部屏蔽。

此外,当速调管调试或维修时,要严格检查极性,一旦极性接反,电子束受反向加速,且又无屏蔽,工作人员可能会遭受过量的照射。在实际工作中,这种例子屡见不鲜。所以在调试或维修时,必须要对现场进行剂量监测,或者,工作人员携带个人剂量报警器。

速调管可以安置在屏蔽室内,配有安全联锁装置,这时,对速调管本身的防护要求大为降低,但是,对于医用加速器,则应注意对病人的防护。

与高频场相联的加速腔,即使在无粒子束流的情况下,由于腔内剩余气体可能被电离以及电子枪的冷电子发射等原因,都可能使腔内存在相当数量的电子或离子,它们在高频场的作用下可以得到不同程度的加速,如果它们轰击在加速腔壁面或者靶时,同样会产生较强的韧致辐射,其强度主要取决于高频的结构特性,通常随高频功率的增加而急剧增加。例如,当速调管输出脉冲功率为  $P$ (MW),脉冲宽度为  $3 \mu s$ ,重复频率为 50 Hz,电子通过单节加速腔后的能量增益为<sup>[2]</sup>,

$$E(\text{MeV}) = 20.83 \sqrt{P} \quad (2)$$

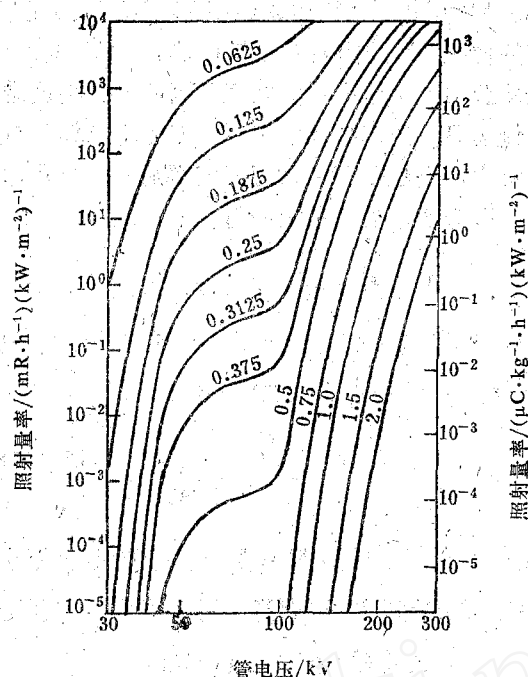


图 1 速调管 X 射线照射量率与管电压的关系(铅屏蔽厚度: 英寸)

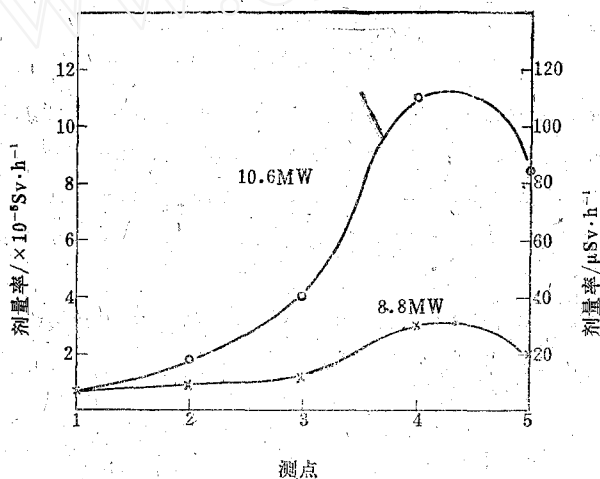


图 2 单节加速腔高频产生的 X 射线剂量率的分布

单节加速腔长 305 cm, 如果高频功率为 10 MW, 则电子在单位长度内的能量增益为 216 keV/cm。也即在一定的耦合条件下, 电子在高频场中行走 1 cm, 即可获得 216 keV 的能量。如果电子行进数 cm, 则可获得 MeV 级的能量, 这时产生的韧致辐射完全能够贯穿加速腔壁面 (几 mm 的铜), 形成较强的辐射场。图 2 是北京正负电子对撞机电子直线加速器中单节加速腔的实验结果。加速器长 305 cm, 5 个测点沿腔体轴向均匀分布, 高频功率分别为 8.8 MW 和 10.6 MW, 测量是用美国 CP-5 X 剂量仪进行的, 从图中可以看到, 腔体表面剂量从输入端到输出端逐渐增大, 并随着高频功率的增加而急剧增加。

作者还利用 TLD 对 90 MeV 电子直线加速器和 35 MeV 质子直线加速器进行了测量<sup>[3]</sup>, 在只馈送高频功率的情况下, 腔体表面剂量可达 3—4 mSv/h (300—400 mrem/h)。毫无疑问, 如此高的剂量场会损害工作人员的健康。因此, 在加速器运行时, 特别是在调试阶段, 即使没有粒子束流而只馈送高频的情况下, 不允许工作人员进入加速器大厅或隧道, 这就要求在加速器设计中, 将粒子源、高频系统都纳入安全联锁系统, 并对运行维修人员采取必要的安全措施, 以避免遭受过量的照射。

### 参 考 文 献

- [1] Swanson, W. P., Radiological Safety Aspects of the Operation of Electron Linear Accelerators, IAEA 188, VIENNA, 1979.  
[2] 中国科学院高能物理研究所, 北京正负电子对撞机初步设计提要, 1982。  
[3] 吴靖民、雷传衢, 辐射防护, 7(1), 66(1987)。

(编辑部收到日期: 1987年9月26日)

## PROTECTION OF X-RAY GENERATED BY RADIO-FREQUENCY IN PARTICLE ACCELERATORS

WU JINGMIN

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

### ABSTRACT

Generation and protection of X-rays by the RF system in the linear accelerator are discussed. Production mechanism and calculation method of X-rays by the klystron are described. Measurement of the exposure rate at the surface of the accelerating cavity is given. It is emphasized that the RF system should be interlocked with the safety protection system.

**Key words** Accelerator, Radio-frequency, X-ray, Protection.