

医用驻波电子直线加速器的微波系统

温勇武^{1;1)} 温旭² 刘建欣²

1(熊猫集团 南京 210014)

2(南京威达天宇医疗器械有限公司 南京 210017)

摘要 讨论医用驻波电子直线加速器的微波系统的信号传输、反射以及相位特性等,同时给出了加速器输出剂量率与微波相位关系的实验曲线.

关键词 直线加速器 微波系统 相位

1 引言

在研制医用驻波电子直线加速器的调试中,常常遇到3个问题:一是微波相位与加速管输出剂量率的关系问题;二是微波元件的高功率击穿问题的处理;三是调试波形对称吸收问题.这些问题在许多文章中未见深入报道,它们困扰着系统工程师,使他们在调试过程中难以有效地采取相应措施,影响调机进度和调机质量.本文就以上几个问题做出理论解析,提出有效的解决办法.

2 基本理论

医用驻波电子直线加速器的主要微波系统框图,如图1^[1].

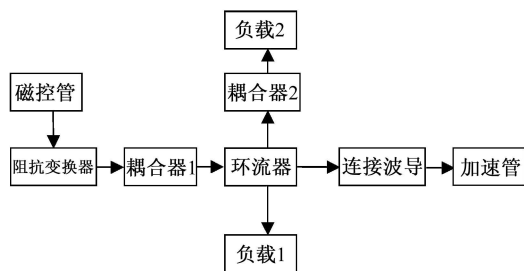


图 1 医用驻波电子直线加速器的主要微波系统框图

微波信号自磁控管振荡后经阻抗变换器,几乎无反射地传输至耦合器1,环流器,直至加速管.当磁控管的振荡频率偏离工作频率较大时,由于加速管的

频带很窄,反射信号自加速管输入端起依次经过连接波导,进入环流器的输出端、通过环流器的移相段进入耦合器2,最后为负载2所吸收.此时,在环流器和加速管间的微波信号几乎呈全驻波状态,因此要求此间的微波元件可以承受接近四倍的磁控管输出的脉冲功率;当微波信号部分地被加速管的电子束吸收时,此时在环流器和加速管间的微波信号呈现行驻波状态;当微波信号完全被加速管的电子束吸收时,此时的微波信号呈行波状态.

实际工作中发现,有的微波元件承受不了四倍磁控管的脉冲功率,特别是四端或三端波导环流器,经常出现大大小小的功率击穿现象.

为了获得较大的加速管输出剂量率,往往需要对微波系统的相位进行调节.一般的调节方法有:1)拉伸或压缩微波系统中的软性波导长度,但变化长度有限;2)采用一定厚度的法兰片加长波导长度,但减少相位困难;3)对四端波导差相移式环流器的N-S极对称地附加“ Π ”型软铁^[2],其实质是减小环流器输出相位,但它不能增加相位.另外,环流器出厂前其磁感应强度已进行了严格的调节,因此附加“ Π ”型软铁可使 α_{12} 隔离从30dB下降至20dB左右,但插入损耗无明显变化.当高功率输入时,由于温度升高,不同的铁氧体材料的电磁参数随温度变化的规律也不一样,有时可能导致环流器的性能变差,比如说 α_{14} 隔离严重下降,于是环流器四端口的负载发热;4)采用 $0-\pi$ 相位可调的移相器,这种移相器的设计难点是脉冲功率下的可靠性和稳定性,然而微波系统中用此法调相仍是

2006 - 10 - 18 收稿

1) E-mail: yongwuwen@yahoo.com.cn

目前的最佳方案.

3 实验研究

由于每台加速器使用的磁控管的输出阻抗, 加速管的输入阻抗以及环流器的输出相位都可能存在小的差异, 因此微波系统的调相势在必行, 根据环流器击穿功率大小, 微波系统的调相采用如下两种方法.

a) 在环流器与加速管之间接入高功率可调移相器进行相位调节, 此法不仅要满足环流器不出现高功率击穿, 还要满足通过调节相位可获得最大的输出剂量率, 要同时满足这两个要求往往是矛盾的. 因此只有在环流器能承受较大脉冲功率的情况下, 才可采用此法. 事实上, 在这种情况下要完整地测出系统剂量率与微波相位的关系曲线是十分困难的. 尽管如此, 我们还是在微波系统中分别接入大功率三端或四端环流器, 借助于 $(0-2\pi)$ 可调的大功率移相器作了上述实验, 并分述如下.

(1) 通过逐步调节大功率可调移相器的相位, 令此时的基准相位为零, 在一个相位范围内, 系统输出一定的剂量率, 此时无论是三端环流器还是四端环流器, 都不出现电击穿现象, 说明从环流器到加速管区间的电场分布呈行波状态或行驻波状态.

(2) 继续增大移相器的相位, 在一个相位区间范围内, 系统剂量率均为零值, 此时, 无论是三端环流器还是四端环流器, 均未出现击穿现象. 尽管此时从环流器到加速管区间的电场分布呈驻波状态, 但驻波波谷落在环流器的易击穿点区域.

(3) 再继续增大移相器的相位, 在一个相位区间范围内, 对于三端环流器或者四端环流器, 都出现电击穿现象, 自动保护系统自动断开电源, 此时环流器的易击穿点落在驻波波峰上.

(4) 继续增大移相器的相位, 又重复出现(1)中所述的现象, 此时移相器的相对相位为 π .

需要指出的是, 一般而言, 波导四端差相移式环流器的击穿功率较之三端波导环流器的高, 但由于前者属于低场区器件, 因此有时器件的高功率插入损耗较大, 且体积质量较大, 在工程应用上出现有诸多不便. 对于后者, 它属于高场区器件, 且体积小, 质量轻, 在应用上有一定的方便之处. 特别要指出的是, 既然四端波导差相移式环流器具有相对高的击穿功率, 但在(3)的实验中, 四端波导差相移式环流器仍出现击穿现象, 原因很可能是四端波导差相移式环流器的移相段的波导上下壁上都紧贴着约为250mm长的铁氧

体片, 铁氧体片与波导壁间的胶合随机地产生一些胶合气隙, 将导致环流器的击穿. 这就是前面提到的“要完整地测出系统剂量率与微波相位的关系曲线”的难点所在.

b) 如果环流器的脉冲功率容量较低, 此时高功率可调移相器可接在磁控管和环流器之间进行调相. 调节步骤是: 首先调节环流器和加速管间的波导管长度, 使得在此区域的微波信号全反射时, 环流器不出现击穿现象(此时环流器的易击穿点落在驻波波谷附近), 并使加速管输出剂量率尽可能地大后, 再在磁控管和环流器间接入高功率可调移相器进行微调相位, 当相位合适时, 便可获得最大的输出剂量率. 此法在调节过程中, 环流器不会出现击穿现象. 但是要求调相器的驻波很小, 否则容易导致磁控管的频率牵引.

在文献[1]中指出, 对于轴耦合或者边耦合的加速管, 相位对电子束负载不敏感, 实际工作中发现相移对电子束的剂量率有一定的影响. 为此在四端波导环流器和磁控管(轴耦合式或边耦合式加速管)间接入高功率可调移相器, 当相位从 $0-2\pi$ 逐步调节时, 可以测得微波系统的相位与加速管的输出剂量率的关系曲线, 如图2所示, 由图得出如下结论.

- (1) 相对于最小剂量率, 最大剂量率可以提高8%左右.
- (2) 最大剂量率与最小剂量率的相位差为 $\pi/2$.
- (3) 出现最大剂量率的周期为 π .

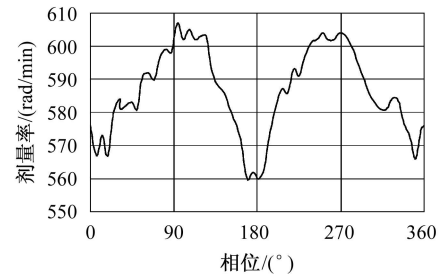


图2 加速管的输出剂量率与微波系统的相位关系曲线

还要特别指出的是: 调相时为获得最大剂量率与获得对称调制吸收波形往往是矛盾的, 因为磁控管的调制脉冲的前沿不合适时, 可能导致磁控管的输出信号中, 除了主频信号外, 还有谐波信号, 由于微波谐振腔的多谐性, 有些谐波信号也有可能进入加速管的谐振腔内, 调相器对主频信号和谐波信号的移相量是不同的, 因此当通过调相获得系统剂量率最大时, 调制脉冲吸收波形的对称性却不一定是最佳的. 解决办法是: (1) 改变调制脉冲波形前后沿的陡度; (2) 微调相位(增大或减小)使得调制脉冲波形最佳, 这时可能牺牲小的剂量率作为代价.

4 结论

文中对微波系统调试中普遍存在的相位问题作了适度的理论解析, 并提出一些有效解决办法. 文中重

点地介绍了实验手段和实验方法, 还给出了加速管的剂量率与微波相位的实验曲线, 也讨论了调制波形对称吸收的方案, 它们将为系统调试工作的技术决策提供一个合适的方案.

参考文献(References)

- 1 GU Ben-Guang. Medical Electron Linear Accelerator. Beijing: Science Press, 2003 (in Chinese)
(顾本广. 医用加速器. 北京: 科学出版社, 2003)
- 2 WU Ming-Ying, MAO Xiu-Hua. Microwave Technology. Xian: Northwest Telecommunication Engineering College Publishing Company, 1985. 326—327 (in Chinese)
(吴明英, 毛秀华. 微波技术. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985. 326—327)

Microwave System of Medical Standing Electron Linear Accelerator

WEN Yong-Wu^{1,1)} WEN Xu² LIU Jian-Xin²

1 (Panda Group Company, Nanjing 210014, China)

2 (Nanjing Weida Sky Medical Apparatus Corporation LTD, Nanjing 210017, China)

Abstract The paper discusses the characteristic of signal transfers, reflection and phase shift of microwave system of Medical Standing Electron Linear Accelerator. The curve of the dose rate versus phase shift of microwave system for medical standing wave electron linear accelerator is given in the paper.

Key words linear accelerator, microwave system, phase