

延时注入对驻波加速管X线输出量的影响

顾本广 冯加年

(北京医疗器械研究所)

林郁正

(清华大学, 北京)

关键词 延时注入, X线输出量。

一、引言

驻波加速管工作于脉冲方式时, 在每个微波脉冲的开始和结束时, 加速管内场强有一个建成和衰减的过渡过程, 在过渡过程中, 加速场强随时间不断变化, 如果电子束和微波功率同时注入及馈入驻波加速管, 则将有较多的低能电子产生, 它们不仅增加加速管的负载, 使输出能谱变坏, 而且这部分低能电子对X线输出量的贡献也不大。由于过渡过程的快慢是和加速管的束流负载状态有关, 如果采用适当的延时注入方式, 使得开始时加速管处于空载状态, 加快建成速度, 到场强达到一定数值后再注入束流, 这样不仅可减少低能电子成份, 使能谱获得改善, 而且使X线输出量反而有可能提高, 这正是大多数低能驻波加速管所常常期望的目标。本文对这一分析进行了论证和实验研究。

二、延时注入的X线能量及输出量公式

设所讨论的驻波加速管长度为 L (m), 有效分路阻抗为 z_s (M Ω /m), 固有品质因素为 Q_0 , 谐振频率为 f (MHz), 加速管与输能波导间的耦合度为 β_c , 加速管馈入口处的微波脉冲功率为 P_0 (MW), 脉冲宽度为 τ , 脉冲重覆频率为 N , 由电子枪注入并获得加速的脉冲流强为 I (A), 注入时间为 t_b (μ s), 又设束流注入时间和微波功率馈入时间可以不同, 而二者结束的时间相同(电子枪高压脉冲的宽度随延时变化而变化), 则采用延时注入的X线能量 V (MV)可表示为^[1]:

$$V = a[1 - \exp(-t/t_r)] - b[1 - \exp(-(t-t_b)/t_r)] \quad (1a)$$

$$a = 2\sqrt{\beta_c z_s L P_0} \cos\phi_s / (1 + \beta_c) \quad (1b)$$

$$b = I z_s L \cos^2\phi_s$$

其中 $t_r = Q_0 / [\pi f (1 + \beta_c)]$ 代表建成时间常数; ϕ_s 代表平均加速相位。

再设X线输出量为 J (Gy/min·m)。对于低能驻波加速管, 可近似认为 J 与脉冲流强 I 成正比, 与能量 V 的三次方成正比, 对每个脉冲进行积分并对 N 个脉冲求和^[2], 可得X线输出量公式:

$$J = ki \{ (a-b)^3 [1 - \exp(-t_b/\tau)] \\ - 3a(a-b)^2 (t_r/\tau) [\exp(-t_b/t_r) - \exp(-\tau/t_r)] \\ + 3a^2(a-b)(t_r/2\tau) [\exp(-2t_b/t_r) - \exp(-2\tau/t_r)] \}$$

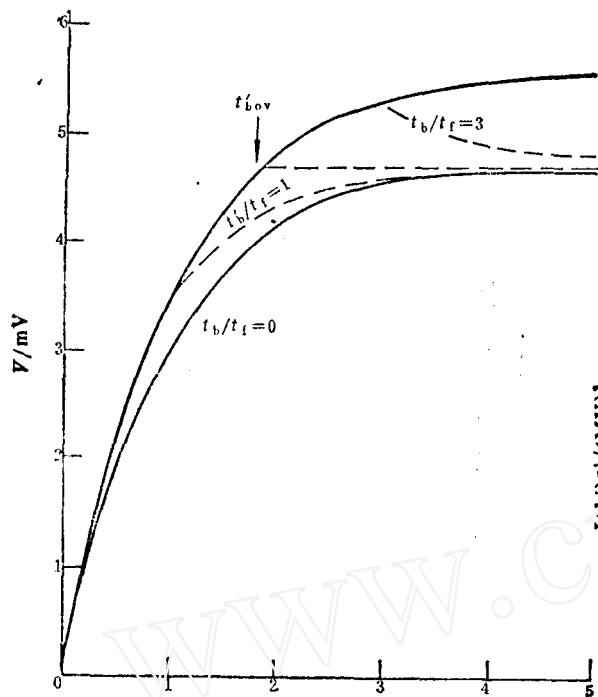


图 1 $V \sim t/t_f$ 曲线

Fig.1 $V \sim t/t_f$ curve

$P_0=1.5 \text{ MW}$, $I=0.1 \text{ A}$; $z_s L=21.89 \text{ M}\Omega$; $\beta_c=1.46$;
 $t_f=0.6 \mu\text{s}$.

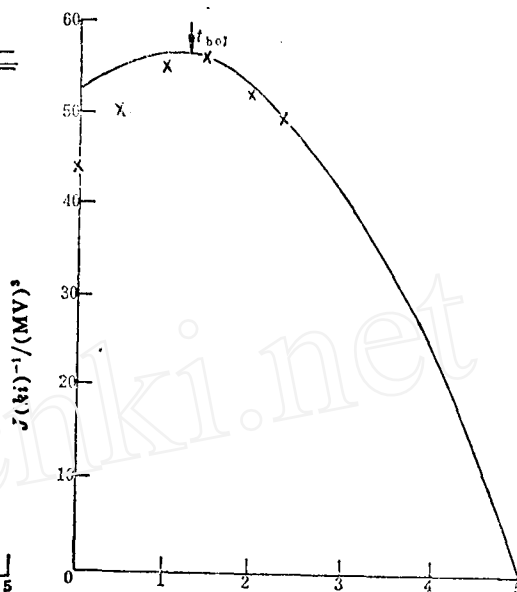


图 2 $J/ki \sim t_b/t_f$ 曲线

Fig.2 $J/ki \sim t_b/t_f$ curve

$P_0=1.6 \text{ MW}$; $z_s L=23.1 \text{ M}\Omega$; $\beta_c=1.65$; $\tau/t_f=5$;
 $\cos\phi_s=0.84$; $t_f=0.6 \mu\text{s}$; \times ——实验值。

$$\begin{aligned} & -a^3(t_f/3\tau)[\exp(-3t_b/t_f) - \exp(-3\tau/t_f)] \\ & + 3b(a-b)^2(t_f/\tau)[1 - \exp(-(\tau-t_b)/t_f)] \\ & + 3b^2(a-b)(t_f/2\tau)[1 - \exp(-2(\tau-t_b)/t_f)] \\ & + b^3(t_f/3\tau)[1 - \exp(-3(\tau-t_b)/t_f)] \\ & - 3ab(a-b)(t_f/2\tau)[\exp(-t_b/t_f) - \exp(-(2\tau-t_b)/t_f)] \\ & + a^2b(t_f/\tau)[\exp(-2t_b/t_f) - \exp(-(3\tau-t_b)/t_f)] \\ & - ab^2(t_f/\tau)[\exp(-t_b/t_f) - \exp(-(3\tau-2t_b)/t_f)] \end{aligned} \quad (2)$$

式中 $i = N\tau I$ 代表平均加速流强(μA)

$k = 0.67 \times 10^{-3}$ 为经验常数

由公式(1)得出的 $V \sim t$ 曲线示于图 1。由公式(2)得出的 $J \sim t_b$ 曲线示于图 2。

由图 1 可以看出, 延时注入可以使能谱获得改善。对应于获得最佳能谱的延迟时间在图 1 中以 t_{bov} 表示, 它可用下式表示^[1]:

$$t_{bov} = t_f \ln[2\beta_c/(\beta_c - 1)] \quad (3)$$

由图 2 可以看出, 延时注入在开始时可以使 X 线输出量上升, 随着延时的进一步增加, 因束流脉冲宽度的减少, X 线输出量随之急剧下降, 最后当 $t_b = \tau$ 时, X 线输出量下降为 0。对应于获得最大 X 线输出量的延迟时间在图 2 中以 t_{boj} 表示, 由图可见 t_{boj} 比用公式(3)在相同输入参数下计算出的 t_{bov} 略小。

三、实验结果

为了研究延时注入的影响，所用实验装置的方块图如图 3 所示。

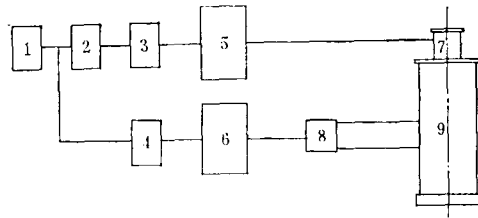


图 3 延时注入实验装置方块图

Fig.3 Experimental delay injection device

1——同步讯号发生器；2——延时电路；3、4——触发脉冲发生器；5、6——电子枪及磁控管脉冲调制器；7——电子枪；8——磁控管；9——加速管。

在此实验装置中，驻波加速管的微波功率源磁控管及电子枪分别采用两套独立的高压脉冲调制器，它们由一套公共的脉冲触发系统触发，其中电子枪高压脉冲调制器的触发脉冲相对于磁控管高压脉冲调制器的触发脉冲的延迟时间可以调节，从而可以研究不同的延时注入的影响。由于在此实验装置中，两台高压脉冲调制器的输出脉冲宽度都是固定的，且均等于 τ ，因此它不完全符合公式(2)假设条件的要求，加速管内场强衰减过程中产生的低能电子的影响仍然存在。

实验测量了在其它各参量保持不变时，对应于不同延时的 X 线输出量，其结果亦示于图 2 (为了比较，将实验结果的最大值和理论曲线的最大值取为一致)。

从实验结果看，X 线输出量和延时的关系在趋势上和理论曲线基本上是一致的，证明了适当的延时注入对提高 X 线输出量是有好处的。当然由于实验条件不完全符合公式 (2) 假设条件的要求，二者不完全符合一致。

四、实用延时注入电路方案

为了使驻波加速管延时注入技术实用化，对于不同的电子枪结构，可以采用不同的延时注入电路。

1. 二极电子枪 具有二极电子枪的驻波加速管、电子枪和磁控管的脉冲高压通常是由同一个高压脉冲调制器的同一个脉冲变压器供给的，实现延时注入可以在电子枪脉冲高压输出端与电子枪之间附加延时网络来解决，具体电路如图 4 所示。

2. 三极电子枪 具有三极电子枪的驻波加速管的电子枪通常采用负直流高压供电，在栅极与阴极之间加负偏压，电子枪的发射由栅极脉冲控制，因此栅控脉冲相对于磁控管脉冲高压的延时调节易于实现，且栅控脉冲的宽度可以根据延时多少来改变，使其与磁控管电流脉冲同时结束，这样可以使在加速管的场强的衰减过程中不致有低能电子产生，其具体电路如图 5 所示。

五、小 结

低能驻波加速管常被用于医用及工业探伤用电子直线加速器中，对于这类装置，改善

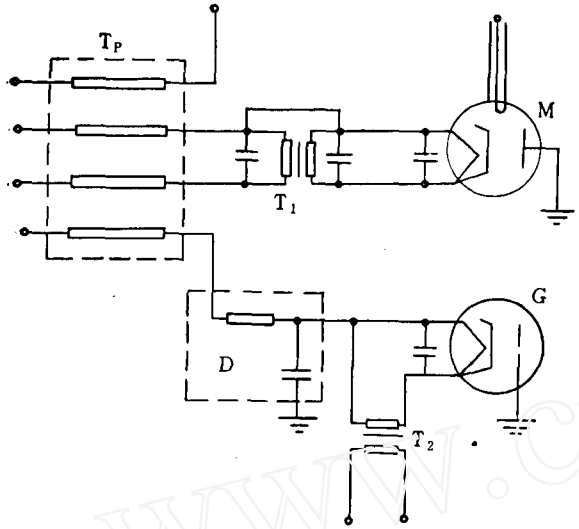


图 4 二极管电子枪延时电路

Fig.4 Delay circuit of diode-gun

M——磁控管; G——电子枪; D——延时网络;
T₁, T₂——灯丝变压器; T_p——脉冲变压器。

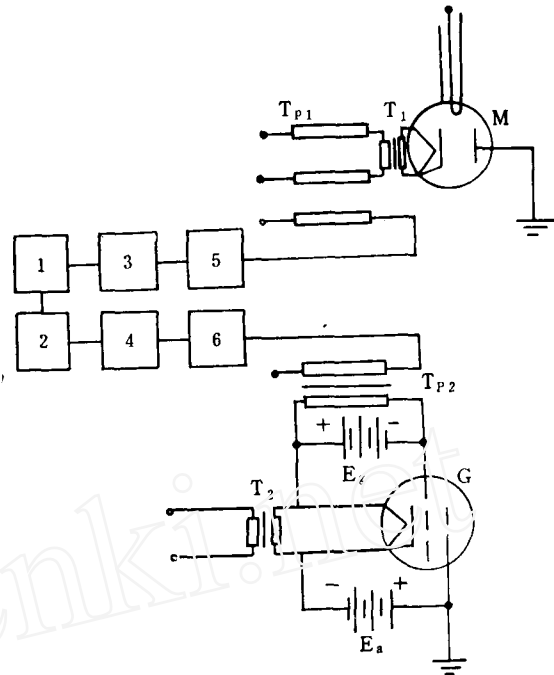


图 5 三极管电子枪延时电路

Fig.5 Delay circuit of triode-gun

M——磁控管; G——电子枪; T₁, T₂——灯丝变压器;
T_{p1}, T_{p2}——脉冲变压器; E_g——栅偏压电源; E_a——阳极电源; 1——同步讯号发生器; 2——延时网络; 3, 4——触发脉冲发生器; 5, 6——高压脉冲调制器。

束流能谱及提高 X 线输出量是一个重要的目标, 因此本文总结的延时注入技术在这方面将是一项有用的措施。

参加实验工作的还有汪忻崑、王惠章、赵鸿滨、黄英、薛朝环、杨立中、周平等。

参 考 文 献

- [1] 冯加年, 清华大学学位论文, (1980).
- [2] 顾本广, 原子能科学技术, 21(6), 726(1987).

(编辑部收到日期: 1988年4月14日)

THE INFLUENCES OF THE DELAY INJECTION ON THE X-RAY OUTPUT OF THE STANDING WAVE ACCELERATING TUBES

GU BENGUANG FENG JIANIAN

(Beijing Medical Equipment Institute)

LIN YUZHENG

(Tsinghua University, Beijing)

ABSTRACT

In the paper, the influences of the delay injection of the electron gun beams on the X-ray output of the standing Wave accelerating tubes are analyzed theoretically. The experimental results are compared with the theoretical analysis.

Key words Delay injection, X-ray output.