

CNIC-00244

CN9000/63

IAE-0056

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

100 MeV 电子直线加速器激励系统

THE DRIVE SYSTEM OF 100 MeV ELECTRON

LINEAR ACCELERATOR

(In Chinese)



原子能出版社

中國核情報中心

China Nuclear Information Centre

CNIC-00244 .

(IAE-0056)

100MeV电子直线加速器激励系统

THE DRIVE SYSTEM OF 100 MeV ELECTRON LINEAR
ACCELERATOR

(*In Chinese*)

孙玉振 栗国萍 李修龙 杨天祿

(中国原子能科学研究院·北京)

中国核情报中心

原子能出版社

北京·1988·6

摘 要

本文描述了 100MeV 电子直线加速器微波激励系统的原理、结构、测试结果和主要技术性能。该系统由中功率速调管输出脉冲功率 15kW，经微波输出部分将功率分为六路去激励六个高功率速调管。结果表明，系统结构简单，性能良好，完全满足加速器的使用要求。

关键词 激励 刚管调制器 锁相

THE DRIVE SYSTEM OF 100MeV ELECTRON LINEAR ACCELERATOR

Sun Yuzhen Su Guoping Wang Xiulong Yang Tianlu

(Institute of Atomic Energy, Beijing)

ABSTRACT

The principle, structure, measurement results and technical performances of microwave drive system for 100MeV electron linear accelerator are presented. In this system the peak power of 15kW is produced by the S band middle power klystron. The output power of the klystron is divided into six subdrive lines that drive six high power klystrons respectively. The results show the system with simple structure and good characteristics completely meets the requirements of 100MeV Linac

一、 引 言

在100MeV电子直线加速器研制阶段提出研制微波激励系统的任务。100MeV电子直线加速器需要六个功率源提供微波能量，功率源由大功率速调管和激励系统组成。它要求激励系统提供六路千瓦量级的脉冲功率，且同步触发，功率，相位可调。根据目前微波器件的生产情况，激励系统可采用下面几种方案：

1 行波管放大器。行波管输出千瓦量级的脉冲功率，用六套行波管放大器分别激励六个大功率速调管。

2 大功率速调管放大器。其输出功率10MW，从中取出小部分功率分成六路分别激励六个大功率速调管。

3 中功率速调管放大器。此放大器输出15kW脉冲功率，分为六路后分别激励六个大功率速调管。三种方案比较后，认为方案3较为理想和实用。

对激励系统的主要技术要求：

工作频率：2856MHz。

频率稳定度：优于 $1 \times 10^{-6}/d$ 。

脉冲宽度：1.6 μs ，0.8 μs 。

重复频率：300次/秒，1000次/秒。

六路输出，每路脉冲功率不小于1kW，各路功率相位可调，相位调节范围0—360°。

二、 激励系统的组成及性能

激励系统由中功率速调管放大器、输入部分和输出功率配系统组成。见图1。

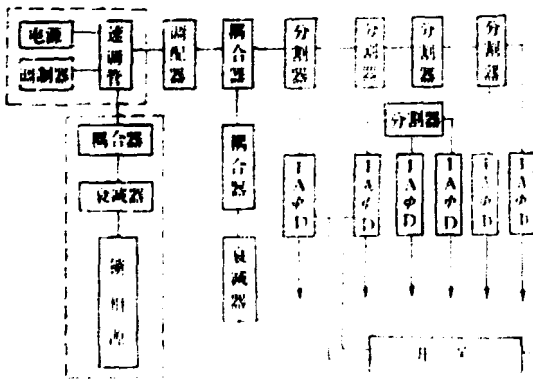


图1 激励系统方框图

该部分由1025中功率速调管、调制器和电磁聚焦系统组成。

1025中功率速调管是电磁聚焦金属陶瓷六腔速调管。

1. 输入部分

信号源采用WSY-11A型微波锁相晶振源，输出功率20mW，可通过微带放大器放大至1W，工作频率 2856 ± 0.045 MHz，频率稳定度好于 $1 \times 10^{-6}/d$ ，通过长期稳定性考验，性能稳定。功率输出端接同轴可变衰减器和同轴定向耦合器，用作激励功率的调整和监测。

2. 中功率速调管放大器

该部分由1025中功率速调管

工作频率为 $2856 \pm 5\text{MHz}$ 。

工作电压 $V \leq 25\text{kV}$ 。

输出功率 $\hat{P} \geq 15\text{kW}$ 。

饱和增益 $A > 55\text{db}$ 。

电压-相位调制灵敏度 $S \geq 21^\circ$ 。

电磁聚焦系统有六组线圈，采用风冷，由电流稳定度为 1% 的稳流源供电。速调管工作在最佳状态时，磁场电源数据如表 1。

表1 磁场电源数据

编 号	I反	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅
电流, A	0.3	3.0	1.0	2.8	4.3	3.9

为便于调整和监测，磁场电源置于距 1025 速调管 30 米外的控制室内，用多芯电缆与磁场线圈连接。

调制器为刚管调制器，实测指标是：

脉冲电压 $V_0 = -27\text{kV}$

脉冲电流 $I_0 = 3\text{A}$

脉冲宽度 (顶宽) $\tau_1 = 1.6 \mu\text{s}$

$\tau_2 = 0.8 \mu\text{s}$

重复频率：300 次/秒，1000 次/秒

脉冲前沿： $\tau_r = 0.35 \mu\text{s}$

脉冲后沿： $\tau_f = 0.33 \mu\text{s}$

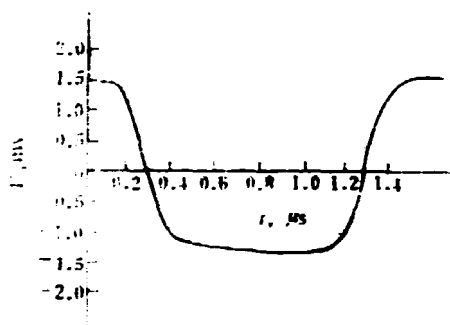


图2 脉冲电压波形

波形见图 2。调制器采用 380 V 的三相交流

稳压器供电。本机开低压后，灯丝电压自动上升，五分钟后加到额定值。高压开关分为本机和遥控，高压可自动升压和降压。本机备有门开关、速调管收集极冷却水，磁场聚焦和真空连锁保护装置。

3. 微波输出分配系统

该系统的微波元件用标准 S 波段矩形波导制成，系统的相位稳定性分析如下：

$$\frac{d\theta}{\theta} = \frac{\partial\theta}{\theta} - \frac{\partial\theta_c}{\theta_c} = \left(1 - \frac{C}{V_g}\right) \frac{\partial f}{f} + \alpha_c \delta T_c + \frac{C}{U_p} \left(\frac{1}{U_p} \frac{\partial U_p}{\partial T} - \alpha_d\right) \delta T_d$$

其中： $\theta_e = \frac{\omega z}{C} - \frac{2z\pi}{\lambda}$ (z 长度加速波导的相移)

$$\partial d = \frac{\omega z}{U_p} \quad (z \text{ 长度激励线的相移})$$

U_p , U_g 分别表示相速，群速； α_d , α_c 分别表示激励线、加速波导的线膨胀系数，对铜来说， $\alpha = 1.65 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 。 T_e , T_d 分别为加速器波导和激励线的温度， C 为光速， f 表示频率。

当采用标准 S 波段矩形波导，频率为 2856MHz，则

$$\frac{\delta\theta}{\theta} = 0.462 \frac{\delta f}{f} + \alpha_s \delta T_e - 1.46\alpha_s \delta T_s$$

结果: $\frac{\delta\theta}{\delta f} = 0.055^\circ/\text{m}\cdot 100\text{kHz}$

$$\frac{\delta\theta}{\delta T_d} = 0.082^\circ/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$$

$$\frac{\delta\theta}{\delta T_e} = 0.057^\circ/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$$

显然, 对本激励系统, 最长一路约 5 米, 其相位稳定性对整机相位稳定性并不产生严重影响。

速调管输出接有三螺调配器和三端隔离器, 以保证良好的匹配和高的隔离度。定向耦合器用于监测微波功率的大小和包络波形。

六路馈电采用 IAΦD 单元, 该单元包括隔离器, 可变衰减器, 移相器和定向耦合器。主要技术要求是: 电压驻波比: $\rho < 1.15$, 隔离度: $D > 30\text{db}$, 相位移范围: $0 \sim 360^\circ$, 电动遥控。人工衰减器: $0 \sim 30\text{db}$ 电动遥控。

人工衰减器用来调节各路输出功率的大小, 使大功率速调管工作在最佳状态。在实践中发现, 速调管输出窗受到大功率冲击易损坏, 因此在六路馈电的 IAΦD 单元中加入自动保护衰减。当高压加到设定值, 激励功率加上后给出一个回零信号, 使保护衰减器由衰减最大降至零, 此过程约需 1 分钟, 此时大功率速调管输出窗承受的功率在 1 分钟内由零到额定值。当正常关机或出现故障高压跳闸时, 给出复位信号, 使保护衰减器由零到最大。只有当它回到衰减最大时, 调制器高压才能加上, 这样就起到了保护输出窗的作用。

三、 主要技术指标测试及结果

系统所用元器件按装前全部进行了校验测试, 均达到设计指标。系统所用 19 种, 共计 70 余件主要技术指标如表 2。

表2 主要微波元件一览表

元件名称	驻波系数	起始插入损耗, db	相移量	衰 减 量	耦合度, db	方向性, db	数量
场移式隔离器	1.06	0.2					6
电动遥控移相器	1.15	0.5	$360^\circ + 3^\circ$				6
电动遥控衰减器	1.09	0.35		35			12
定向耦合器	1.11				20	>20	6
功率分配器	1.10				8.2 ± 0.1	>20	2
功率分配器	1.05				3 ± 0.1	>20	3
波导-同轴转换	1.04						7
十路机械开关	1.11	0.1					1

1. 输出功率与微波包络波形的测试

用大功率计 GX-2B 测量功率, 双线索波器 COS6100 显示波形, 示波器电源用隔离变压器供电, 以减弱公共地线耦合和辐射场及电源干扰的影响, 连线尽可能的短, 信

号经屏蔽磁环输入示波器。波形如图3。

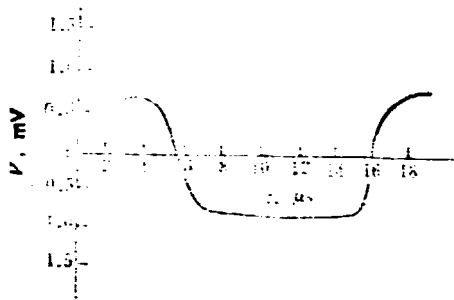


图3 微波包络波形

在E臂中相消，然后使速调管的高压变化1%再调两信号的幅值和相位，使其在E臂中相消，比对移相器的变化量就是速调管电压变化所引起的相位变化，即

$$S_r = \frac{\delta\theta_r}{\Delta V} \times 1\%$$

测试结果：相位-电压调制灵敏度为 21° 。

系统的其它测试数据为：

工作频率：2856MHz，相移量：0~360°可调。

人工衰减器衰减量：0~35db 电动遥控。

脉冲宽度（顶宽）：1.6 μs, 0.8 μs。

重复频率：300次/秒，1000次/秒。

脉冲前沿：(0.36 ± 0.03) μs

脉冲后沿：(0.33 ± 0.04) μs

1A φD 单元损耗 ≤ 1.8db

输出各路功率分配值见表3。

表3 不同电压下各路功率值（重复频率1000次/秒，半宽度1.11μs）

高压V, kV	编 号													
	P _Σ		P ₁		P ₂		P ₃		P ₄		P ₅		P ₆	
	功 率													
	\overline{P} , W	\hat{P} , kW	\overline{P} , W	\hat{P} , kW	\overline{P} , W	\hat{P} , kW	\overline{P} , W	\hat{P} , kW	\overline{P} , W	\hat{P} , kW	\overline{P} , W	\hat{P} , kW	\overline{P} , W	\hat{P} , kW
19.2	9.7	8.82	0.83	0.75	0.73	0.66	1.13	1.02	1.17	1.05	1.18	1.06	1.21	1.09
20.5	12.4	11.17	1.25	1.13	1.02	0.92	1.33	1.20	1.48	1.33	1.49	1.34	1.52	1.37
21.7	13.7	12.3	1.48	1.33	1.14	1.03	1.63	1.47	1.68	1.51	1.70	1.53	1.73	1.56
22.9	18.1	16.3	1.89	1.70	1.45	1.31	2.10	1.89	2.16	1.95	2.19	1.97	2.25	2.03
24	18.6	16.8	1.92	1.73	1.47	1.32	2.11	1.90	2.19	1.97	2.19	1.97	2.25	2.03
25.3	21.4	19.3	2.28	2.05	1.71	1.54	2.48	2.23	2.54	2.29	2.56	2.31	3.14	2.38

四、结 束 语

一九八三年六月研制成功 S 波段 1025 中功率源。一九八六年三月研制成功 100MeV 电子直线加速器微波激励系统，经测试，各项技术指标均满足设计要求，本系统在研制过程中得到电子工业部 12 所、13 所、38 所和航天工业部二院 23 所的大力支持，在此表示感谢！

参 考 文 献

- (1) 葛天霖：“100MeV 电子直线加速器微波设计方案”内部资料
- (2) 刘文华等：“S 波段 D4000 大功率相位稳定性测试”：“原子能科学技术”1965(6)

书号: 15175-00244

P.O.Box 2103

Beijing, China

China Nuclear Information Centre