

# BEPC 1.1/1.4GeV 电子直线加速器的 250MeV 段

电子直线加速器室

(中国科学院高能物理研究所,北京)

## 摘 要

在北京正负电子对撞机 (BEPC) 1.1/1.4GeV 电子直线加速器的安装阶段, 对起始的 250MeV 段共安排了四次调束试验, 1987年5月达到电子束脉冲流强 760mA, 能量为 250MeV; 以 150MeV、785mA 电子束打转换靶, 获得能量 99 MeV、脉冲流强 2.5mA 的正电子。检验各项技术指标, 都符合设计要求, 达到国外同类加速器的水平。

北京正负电子对撞机的 1.1/1.4GeV 电子直线加速器<sup>[2]</sup>(见图 1) 是对撞机的注入器, 产生并加速电子及正电子注入储存环实现对撞。其起始的 250MeV 段(见图 2)用正电子注入时, 以 150MeV 电子束打转换靶产生正负电子对后, 将俘获的正电子加速到能量为 100MeV; 用电子注入时, 可获得能量为 250MeV, 能散度~1% 的电子束。在 250MeV 段

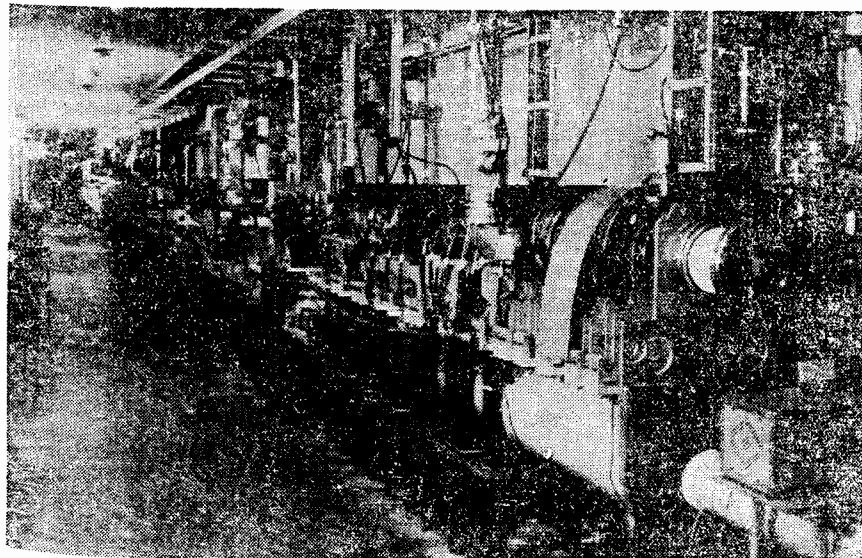


图 1 BEPC 1.1/1.4GeV 电子直线加速器的加速系统

本文 1987 年 11 月 13 日收到。

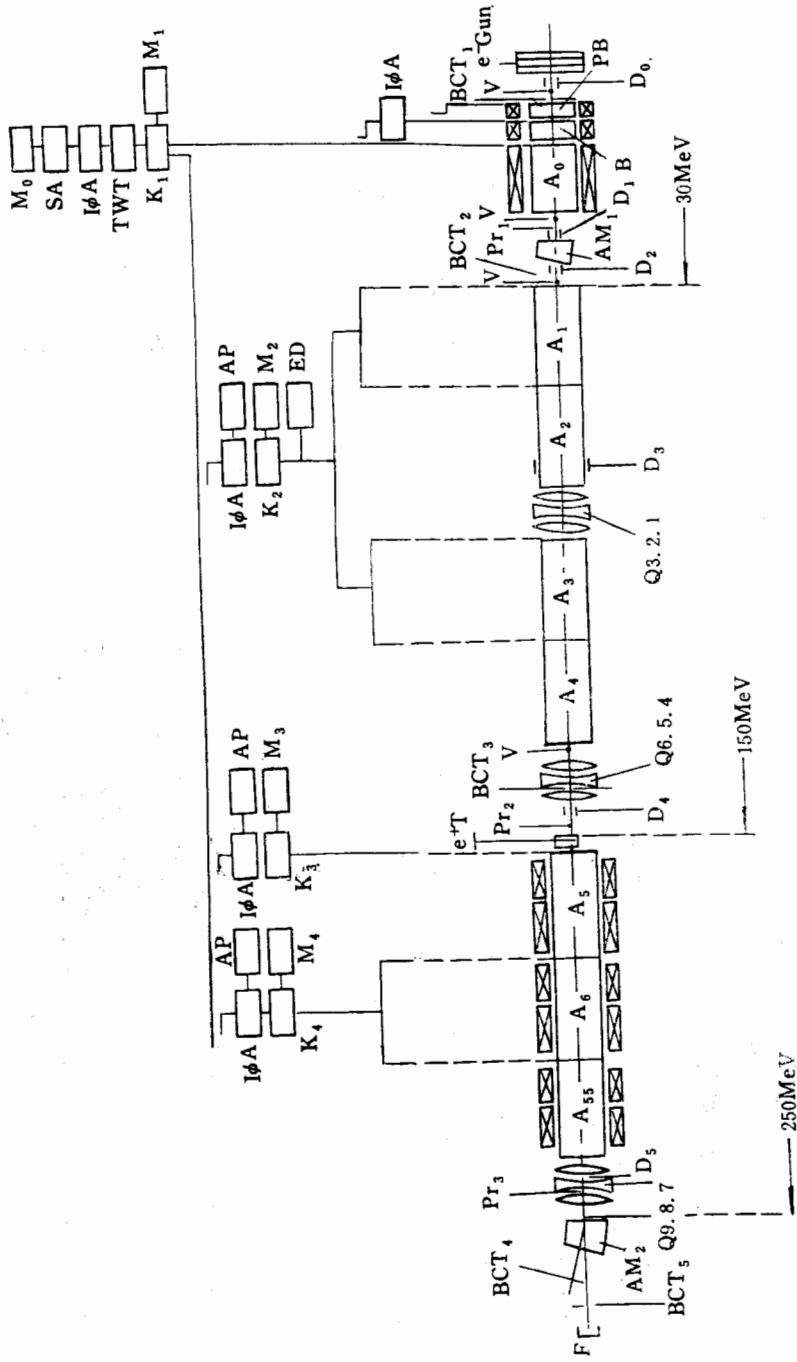


图 2 250MeV 加速段布局示意图

A: 加速管 e-Gun 电子枪 F 法拉第筒 AM: 束流磁铁 BCT: 束流变压器 AP 能量倍增器 ED 能量倍增器 AP 自动相位调节系统  
 IφA 隔离器、衰减器、衰减器 K: 速调管 PB 预聚束器 V 真空阀门 M<sub>0</sub> 主振器 B 聚束器 D: 导向线圈 M<sub>i</sub> 调制器  
 Pr<sub>i</sub> 束流截面探测器 SA 固态放大器 Q: 四极磁透镜 TWT 行波管放大器 e<sup>+</sup>T 正电子靶

子倍  
4, E  
微波  
靶)

一  
之加  
要12功同  
速共  
其一  
这:

之后有 12 个相同的加速单元,每单元用一个高功率速调管经能量倍增器,向四根等梯度加速管馈送微波功率,每单元对束流能量贡献为 120MeV.

250MeV 段共有三种不同的加速系统<sup>[1]</sup>:

第一段包括一个预聚束腔,  $\beta = 0.75$  聚束器及长 3.05m 等梯度加速管<sup>[1]</sup>. 预聚束腔要求工作场强 17.48kV/cm.  $\beta = 0.75$  聚束器场强 35kV/cm.  $\beta = 1$  等梯度加速管场强 120kV/cm. 这段加速系统对束流能量贡献为 30MeV, 电子束俘获效率 81%, 由一个高功率速调管分别向预聚束器、聚束器及加速管馈送微波功率,另外还经过 20dB 耦合器,由同轴线输出微波功率,以激励后面的 15 个高功率速调管.

250MeV 段的第二部分,由一个高功率速调管经能量倍增器<sup>[1]</sup>,分别向 4 根等梯度加速管馈送微波功率. 设计要求这一加速单元对束流能量贡献 120MeV. 在 250MeV 段后共有 12 个这样的加速单元,其加速能量可按式计算:

$$E = 1.51 \times 20.83 \sqrt{P(\text{MW})},$$

其中  $P$  为速调管的脉冲功率. 考虑到波导传输的损失,此功率已约有 10% 的消耗. 在这一单元已经获得 120MeV 加速能量,目前速调管的输出功率约为:

$$P = \left( \frac{E}{1.51 \times 20.83} \right)^2 \frac{1}{0.9} = 16.17 \text{MW}.$$

这还没有达到速调管的最高功率水平,所以整机 1.4GeV 的能量指标是可以达到的.

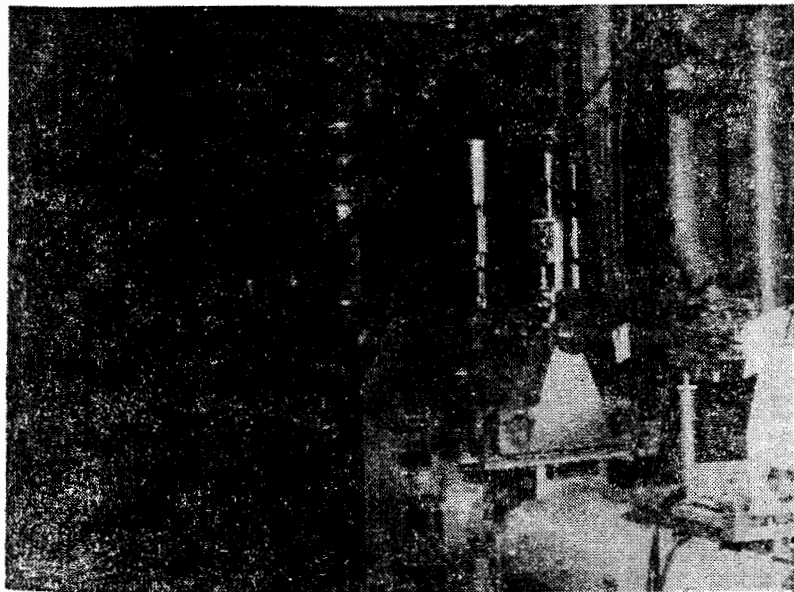


图 3 正电子源系统

250MeV 段的第三部分是正电子源系统(见图 3). 包括产生正电子的产生靶, 正电子俘获系统, 聚焦及加速系统. 正电子加速系统有三根等梯度加速管, 其中第一根加速管  $A_5$  由一个高功率速调管提供微波功率; 后两根加速管 ( $A_6$  与  $A_{55}$ ) 由另一个速调管提供微波功率. 正电子转换器包括一个正电子转换靶 (直径为  $\varnothing 10\text{mm}$ , 厚度为 6mm 的钨靶) 及一个 6kA 脉冲聚焦螺线管, 后者捕获从钨靶出来后散得很开的正电子.  $A_5$ ,  $A_6$  及

$A_{55}$  三根加速管外均有直流聚焦线圈,可产生 $\sim 3\text{kG}$ 的纵向磁场,使正电子在加速的同时受到聚焦。在三根加速管末端正电子能量达到 $100\text{MeV}$ 。

表1 250MeV 段束流性能测试结果

	设计值	调试结果
电子枪发射电流 $I_{\text{Gun}}(\text{mA})$	1000	920
打转换靶束流 $I_e^-(\text{mA})$	500	785
打靶电子束能量 $E_e^-(\text{MeV})$	150	148
打靶电子束截面 $\phi(\text{mm})$	2-3	$<2.5$
正电子能量 $E_e^+(\text{MeV})$	80-100	99
正电子流强 $I_e^+(\text{mA})$	1.5	2.5
正电子俘获率 $e^+/e^- \cdot \text{GeV}$	0.020	0.0215
电子束能量 $E_e^-(\text{MeV})$	250	250
电子束流强 $I_e^-(\text{mA})$	500	760

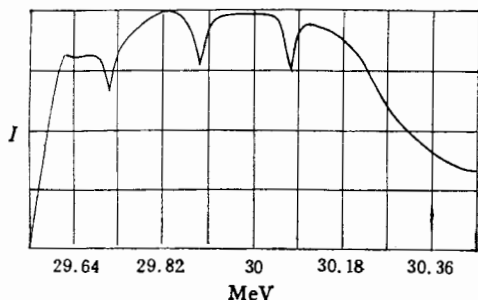


图4 30MeV 处束流能散

$x$  方向的半宽度  $\text{FWHM}(x)$ :  $19.7\text{mm}$  从 AM1 测到的能散度为 $\pm 1.2\%$

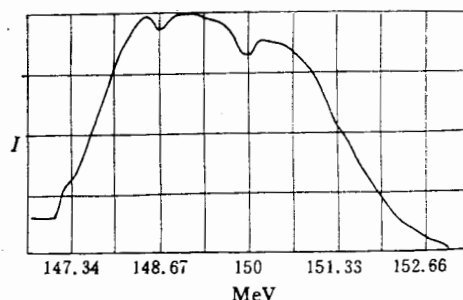


图5 150MeV 处束流能散

$x$  方向的半宽度  $\text{FWHM}(x)$ :  $13.9\text{mm}$  从 AM2 测到的能散度为 $\pm 1.2\%$

250MeV 段调试主要结果列于表1。在30MeV段及150MeV段测得的束流能散度分别见图4及图5。为测量束流能量及能散度,在偏转磁铁后的焦平面上放置一块AF995R 三氧化二铝荧光靶片,由摄像机系统将光讯号转为电讯号,再由计算机进行处理<sup>1)</sup>。能散度测量精度为0.1%。30MeV段束流能散度对束流最终性能起关键作用。影响能散度的因素之一是速调管脉冲电压及行波管脉冲电压的波动所带来的微波相位调制。对该段加速管用 $3\mu\text{s}$ 脉宽馈送微波功率,而加速管填充时间 $0.84\mu\text{s}$ ,电子束脉宽 $2.5\text{ns}$ ,对束流能散度起作用的是在 $(0.84 + 0.0025)\mu\text{s}$ 内电压波动带来的相位变化。测得的 $K_1$ 速调管脉冲电压波形见图6,测量得到 $K_1$ 速调管输出微波相位调制约 $5^\circ$ ,由于电子束脉冲宽度很窄,相位调制对束流能散度的影响很大程度上减轻。

打转换靶的电子束截面对正电子产额有重要影响。测得打靶前电子束截面如图7。

250MeV段的各部分加速段对束流能量的贡献测量值列于表2。

用束流变压器作束流强度测量<sup>1)</sup>,量程范围为 $0.2\text{mA} \sim 2\text{A}$ ,上升时间 $<1\text{ns}$ ,测量相

1) 束流测量系统由本所自控室电子直线束测组完成。

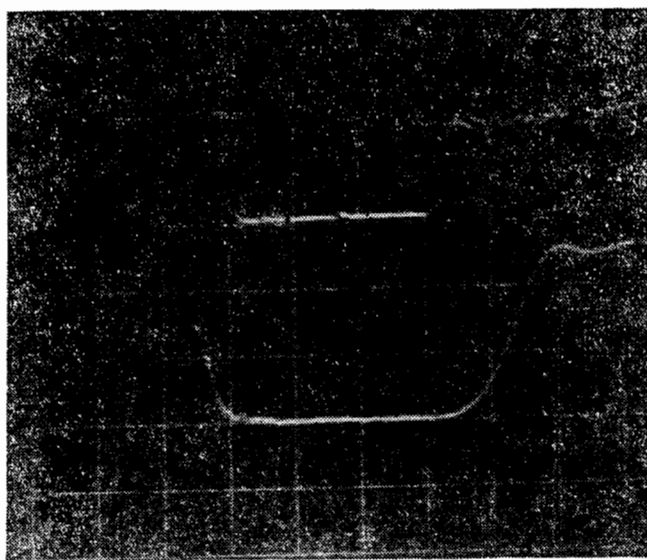


图 6  $K_1$  速调管脉冲电压波  
上: 行波管包络 下: 速调管脉冲电压

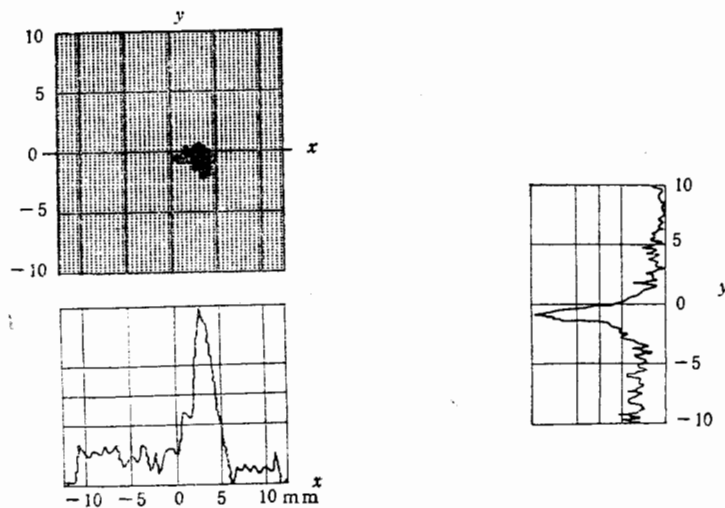


图 7 打转换靶电子束截面  
 $x$  方向的半宽度  $\text{FWHM}(x): 2.5\text{mm}$   $y$  方向的半宽度  $\text{FWHM}(y): 1.5\text{mm}$

表 2 各加速段对束流能量的贡献

速调管	加速管	束流能量 (MeV)
$K_1$	$A_0$	30
$K_2$	$A_1 - A_4$	120
$K_3, K_4$	$A_5, A_6, A_{ss}$	99

对误差 5%。测得束流俘获系数 (150MeV 处束流与电子枪注入束流之比):

测  
度  
块  
处  
影  
调  
1.5  
的  
束  
  
相

$$785\text{mA}/920\text{mA} = 0.85$$

束流传输效率 (250MeV 出口处束流与 150MeV 处束流之比):

$$760\text{mA}/785\text{mA} = 0.96$$

说明加速器的准直是良好的,各种补偿线圈及导向线圈是有效的。

## 讨 论

1. 从 250MeV 段的调试结果可知,其主要技术指标均能满足设计要求。通过调试检验了各项元件性能,其总体设计是可行的,元件性能是良好的,这为 1.1/1.4GeV 电子直线加速器的总体调试打好了基础。

2. 250MeV 段的第二部分,  $K_2$  速调管经能量倍增器向四根加速管馈送功率,这段加速单元贡献能量 120MeV,如相位调制系数取 0.95,在 250MeV 段后的 12 个与此相同的加速单元对束流能量贡献为

$$120 \times 0.95 \times 12 = 1368(\text{MeV}),$$

则在上述条件下加速电子时可获得能量为

$$1.368 + 250 = 1.618(\text{GeV}).$$

但要求 16 个速调管同时稳定工作,达到所要求的输出功率,还需要做相当的工作,逐步提高速调管输出功率使提高加速器能量还有一些潜力。近期要求速调管稳定输出 20MW,但此时提高加速器能量的余地并不太大。

3. 检查加速管内部,发现 30MeV 段尾部及其他几处场强较高的区域有打火痕迹(见



图 8 加速管内打火痕迹

图 8), 正电子转换器内也有打火痕迹,需要改善这些部位的真空条件,提高真空度,并在加速管输送功率的锻炼过程中严格控制、加强打火检测手段,防止打火出现。

[1  
[2

fou:  
Me  
elec  
of  
in c

### 参 考 文 献

- [1] R. B. Neal, ed The Stanford Two Mile Accelerator (1968).
- [2] Summary of the Preliminary Design of Beijing 2.2/2.8 GeV Electron Positron Collider. IHEP (1982, 9).

## THE 250MeV SECTION OF BEPC 1.1/1.4GeV $e^{\pm}$ LINAC

THE ELECTRON LINAC DEPARTMENT

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

### ABSTRACT

The beam test of the 250 MeV section of BEPC 1.1/1.4 GeV  $e^{\pm}$  LINAC was performed four times during its installation phase. In May of 1987, electron beam of 760 mA and 250 MeV was obtained and positron beam current of 2.5 mA and 99 MeV was observed when an electron beam of 785 mA and 150 MeV bombarding a tungsten target. The main parameters of LINAC met the design values and achieved the same technical level of similar accelerators in other countries.