

上海光源 150MeV 电子直线加速器的设计与调试

赵明华¹⁾ 林国强 钟少鹏 汪宝亮 张骏强 刘卫红 周伟民 陈永忠

(中国科学院上海应用物理研究所 上海 201800)

摘要 上海光源 150MeV 直线加速器由热阴极电子枪, 次谐波聚束器和聚束器, 四根 S 波段等梯度行波加速管及必要的磁铁等组成. 外围还有由从微波到直流的电源和功率源, 性能监测和联锁控制的硬件和软件等. 概述了 150MeV 直线加速器的设计, 安装, 调试和达到的结果.

关键词 电子直线加速器 次谐波聚束器 加速管

1 系统的组成

直线加速器主体主要由下列系统组成²⁾: 电子源(电子枪)系统, 纵向聚束系统, 加速结构段, 从直流到微波的功率源, 控制系统(实物见图 1).



图 1 2007年7月调试完毕的电子直线加速器

2 电子枪系统

电子枪采用 Pierce 型技术的热阴极栅控 100kV 高压电子枪, 这种纳秒栅控电子枪的电子束脉冲具有灵活时间结构、高流强和适中的发射度, 可以使电子储存环能方便地运行在单束团或多束团的不同模式下, 以满足光源用户对光脉冲时间宽度的选择要求(从几十皮秒到几百纳秒). 模式 1 是为单束团模式, 脉冲电子输出的时间宽度为 1ns, 输出脉冲重复频率与增强器要求同步. 模式 2 是多束团模式, 用于快速注满增强

器等. 具体的电子枪参数见表 1. 电子枪的结构见图 2.

表 1 电子枪参数

	模式 1	模式 2
电荷量/nC	2	10
脉宽/ns	1	200
重复频率/pps	1—10	1—10

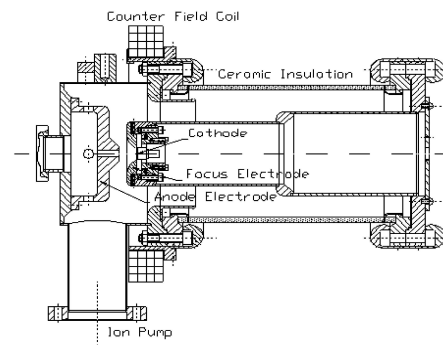


图 2 电子枪结构图

3 聚束器

聚束部分将把其 80% 的电子纵向压缩到 2997.924MHz 的 20° 内, 束长小于 20ps, 对 2 个模式都是如此. 聚束部分包括 499.654MHz 的次谐波聚束器和 3GHz 的基波聚束器. 图 3 是 150MeV 直线加速器的聚束部分, 包含有电子枪和相关磁铁.

次谐波聚束器是一个重入式驻波腔, 其主要参数如表 2. 次谐波预聚束器的工作频率与储存环的高频频率相同, 为 499.654MHz; 基波聚束器和加速段的工作频率为次谐波预聚束器的六倍频, 为 2997.924MHz.

2008 - 01 - 07 收稿

1) E-mail: zhaominghua@sinap.ac.cn

2) 赵明华, 林国强, 钟少鹏等. 上海光源工程设计报告, 上海, 中科院上海应用物理研究所, 2004年

这种方案的突出优点是可以把相对于基波六倍相宽的电子相聚到一个基波中去产生较高的流强, 而对电子枪压力相对减小, 保证了低发射度和能散. 图 4 是次谐波聚束器的结构图.

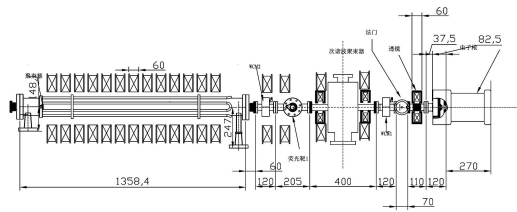


图 3 聚束器段结构

表 2 次谐波聚束器参数

腔体材料	无氧铜
漂移段长度/mm	580
间隙宽度/mm	40
束流孔径/mm	36
谐振频率/MHz	499.654
固有品质因数	18000
功率容量/kW	0.5
腔压/kV	25—35(可调)

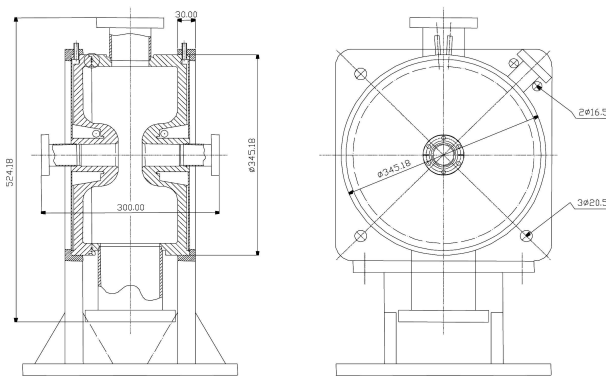


图 4 次谐波聚束器的结构图

聚束器是一段行波结构, 由 9 个变相速腔和 31 个光速腔组成, 最后选定的参数见表 3.

表 3 聚束器主要参数

工作频率/MHz	2997.924
工作模式	$2\pi/3$
腔数	40
总长/m	1.35
驻波比	1.1
带宽(VSWR1.2)/MHz	4
输入微波功率/MW	7
输出电子能量/MeV	> 13

4 加速结构段

主加速段共由 4 根等梯度加速管组成, 其中第一根加速管前半段有聚焦线圈以抵消加速管中的横向高

频散焦场, 在第 2 根加速管和第 3 根加速管之间和加速器出口共有两组三合一四极磁铁组对电子束聚焦. 加速管的主要参数见表 4.

表 4 2997.924MHz 等梯度加速管主要参数

工作频率/MHz	2997.924
周期数	$89+2\times 0.5$
加速管长度/m	3.0
分路阻抗/(M/m)	54
总衰减(Neper)	0.554
群速, v_g/c	0.0224—0.0075
输入、输出耦合器的驻波比	< 1.1
带宽(VSWR<1.2)/MHz	4
每周期相移量/(°)	120
工作温度/°C	45

5 高频及微波功率源

直线加速器微波系统包括 499.654MHz 次谐波微波系统、2997.924MHz 基波微波系统(包括微波激励系统、高功率速调管、高功率微波传输系统)等. 次谐波微波系统中, 从主振源来的 499.654MHz 信号经过移相、放大等处理给次谐波聚束器提供最大 1kW 的峰值功率. 高功率微波系统以 2 台 2997.924MHz 速调管为核心, 2 套微波激励系统提供特定的频率、相位和功率电平的微波信号, 来驱动 2 台高功率速调管, 速调管输出的微波功率经高功率微波传输系统定向输送到聚束器和 4 根加速管. 聚束器和每根等梯度加速管入口的微波峰值功率要求为 7—8MW 和 11—13MW.

6 控制系统

控制系统的任务是在满足各子系统内部连锁保护以及系统间的安全连锁保护的条件下, 实现对直线加速器系统中的各个子系统设备监测和控制的功能. 控制系统主要包括: 磁铁电源控制子系统, 微波控制子系统, 电子枪控制子系统, 调制器控制子系统, 水冷控制子系统, 真空控制子系统, 定时控制子系统, 机器连锁保护控制子系统和束流诊断控制子系统. 控制系统采用基于分布式控制体系“标准模型”结构的 EPICS 控制系统, 该系统具有分布式、开放、易扩充、多平台等特点. 它由监控层、过程控制层和设备控制层 3 个层次组成.

7 直线加速器调试结果

调试直线加速器所用的束流测量系统需要提供一个包括束流位置测量、流强测量、电荷量测量、截面测量、发射度测量以及能散测量在内的功能, 束测探头总体布局如图 5 所示. 直线加速器的最终调试结果见表 5.

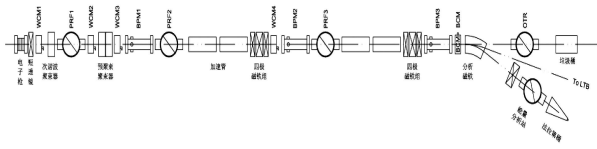


图 5 直线加速器束测探头布局

表 5 直线加速器指标及调试结果

能量/MeV	设计指标		目前调试结果	
	150	152.	162	
束流流强				
单束团模式	1ns, 1nC	0.3nS, 1.06nC	0.3nS, 1.1nC	
单束团弱流	1ns, 0.2nC	0.3nS, 0.2nC	0.3nS, 0.2nC	
中心能量稳定度	0.5%/rms	0.2%	0.2%	
能散度	0.5%/rms	0.2%	0.2%	
归一化发射度(x)	50mm·mrad	37mm·mrad	36mm·mrad	
归一化发射度(y)	50mm·mrad	32mm·mrad	34mm·mrad	
工作频率/MHz	2997.924	2997.924		
工作重复率/Hz	2	2		

直线加速器次谐波波腔的聚束效果见图6和图7。分别是次谐波波腔关闭和开启时的束流波形。

目前,上海光源电子直线加速器的全部指标达到和超过了设计指标,可以为增强器提供合格束流。

上海光源直线加速器的的工作过程中得到了中国科学院高能物理研究所,中国科技大学国家同步辐射

实验室和中科院兰州近代物理研究所等单位的大力支持 and 帮助,在此表示衷心感谢。

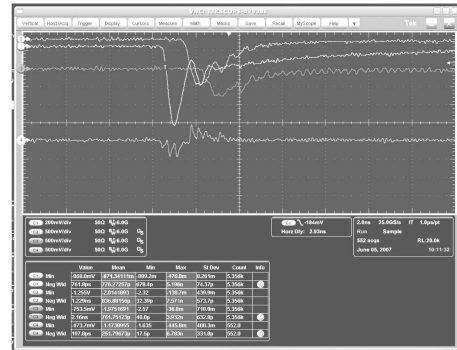


图 6 次谐波波腔关闭的束流波形

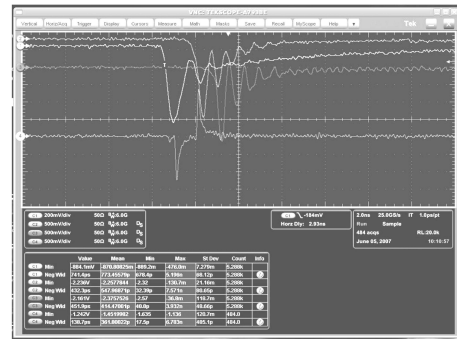


图 7 次谐波波腔开启时的束流波形

Design and Commissioning of a 150MeV Linac for SSRF

ZHAO Ming-Hua¹⁾ LIN Guo-Qiang ZHONG Shao-Peng WANG Bao-Liang ZHANG Jun-Qiang
LIU Wei-Hong ZHOU Wei-Min CHENG You-Zhong
(Shanghai Institute of Applied Physics, CAS, Shanghai 201800, China)

Abstract A 150MeV injector electron linac for the SSRF is under construction at SINAP. This linac has been installed, commissioned and handed over to the SSRF during the period of 2006—2007. This paper describes the special needs of an injector for a third generation synchrotron light source and the two specific modes of operation for this linac. The design results and the commissioning results for this linac are given in this paper.

Key words linac, subharmonic buncher, linear accelerating tube

Received 7 January 2008

1) E-mail: zhaominghua@sinap.ac.cn