

大功率辐照加速器的研制

郑曙昕^{1,1)} 唐传祥¹ 林郁正¹ 陈怀璧¹ 童德春¹ 施嘉儒¹ 徐刚¹
刘耀红² 刘晋升² 何宇² 管伟强² 李国华²

1 (清华大学工程物理系 北京 100084)

2 (同方威视股份技术有限公司 北京 100084)

摘要 介绍了10MeV/20kW大功率辐照加速器的设计. 该加速器采用返波型行波加速结构加速管, 综合了常规行波加速结构微波反射小、频率稳定性好和驻波加速结构分流阻抗高的优点. 加速器工作于S波段, 中心频率为2856MHz. 利用自编的模拟程序AccDesign进行物理设计, 设计输出电子束能量为10MeV, 脉冲流强300mA, 加速管总长1.5m, 模拟计算结果显示微波至电子束的转换效率为66%. 同时利用计算机仿真程序对加速腔的温度和应力分布进行了计算, 得到了微波功率损耗对加速腔频率的影响.

关键词 大功率 辐照加速器 返波 行波

1 引言

高能X, γ 射线或电子束辐照消毒灭菌技术应用与食品安全和医疗用品消毒领域已有多年的历史, 在水果、肉类保鲜, 在大豆、小麦、谷类、香料杀菌, 在一次性医疗用品的消毒、医疗废弃物的处理等方面发挥了重要作用.

相对于放射性同位素源, 加速器由于其固有的安全特性, 得到了越来越多厂商的重视. 特别是对于大型的辐照装置, 加速器的运行成本有可能低于相同剂量的放射性同位素源, 更加具有不可替代的优势. 因而大功率的辐照加速器技术得到了越来越多的重视, 其应用范围在不断开拓.

为了国家进口原木检疫辐照处理的需要, 清华大学联合同方威视公司开始研制10MeV, 20kW的大功率辐照加速器. 本论文主要报告10MeV/20kW大功率辐照加速器的物理设计以及研制进展.

2 设计指标

根据木材检疫的需要, 以及现有微波功率源的技术, 我们设计加速器的输出电子束能量为10MeV, 平均功率20kW. 微波功率源采用Thales公司的TH2158, 其输出的微波功率平均值可达到45kW.

2.1 加速管参数

加速管采用我们研究成熟的返波型行波加速结

构, 该加速结构综合了传统行波加速结构微波功率反射小、工作稳定性好和驻波加速结构分流阻抗高的优点, 具有很大的优越性, 特别适合于应用到大功率辐照加速器^[1].

利用我们实验室自编的加速管物理设计程序AccDesign, 对加速管进行了优化设计, 最后得到加速管的具体设计指标参见表1.

表1 加速管主要设计参数

项目	指标及参数
工作频率	2856MHz
工作模式	3/4 π
电子束能量	10MeV
脉冲流强	300mA
平均功率	20kW
加速管长度	1.5m
功率效率	66%

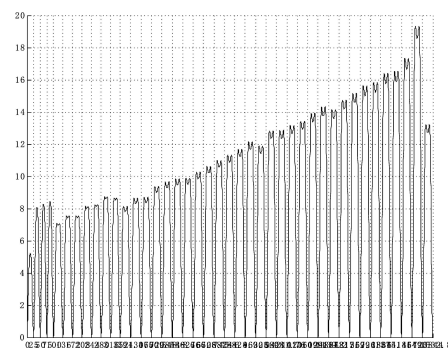


图1 加速管的场分布

2008 - 01 - 07 收稿

1) E-mail: zhengsx@tsinghua.edu.cn

图1是加速管的场分布, 由于返波的特点, 在聚束段场强是自然降低的, 因而聚束段的设计比较简单, 并且微波功率利用效率比较高. 图2是聚焦磁场的分布图, 只需要一段宽度为160mm的聚焦线圈, 最大磁场强度只有350Gs.

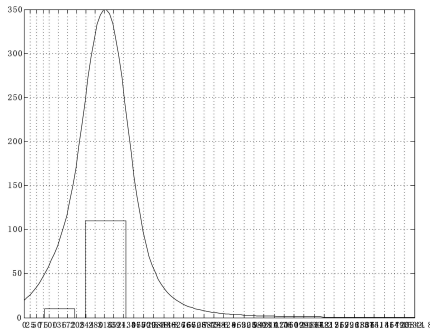


图2 聚焦磁场强度分布

2.2 加速管冷却

由于束流功率大, 相应的微波损耗也大, 加速管

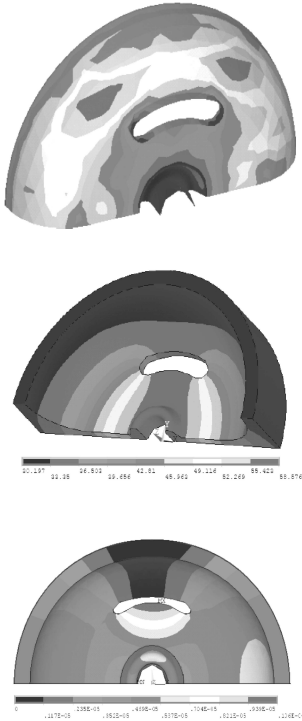


图3 加速管冷却仿真结果

(1) 加速腔内表面微波功率损耗分布; (2) 加速腔体温度分布; (3) 加速腔体热形变分布.

的冷却是设计的重点. 我们利用计算机仿真软件对加速管的微波热损耗、冷却水传热、加速管温度变化、加速管热形变以及相应的频率变化的进行了计算. 图3是某一个加速腔的模拟计算结果.

计算结果表明, 对我们设计的腔形, 微波功率损耗应起的最大温升为 $50^{\circ}\text{C}/\text{kW}$, 相应的频率变化为 $-1.4\text{MHz}/\text{kW}$. 物理设计计算结果表明单腔的最大功率损耗为600W, 则表面微波损耗引起的频率变化为 -0.8MHz , 在加速管允许的调谐误差范围之内.

3 整机设计和进展

图4是加速器的整体布局图, 主要有加速管、调制器、水冷机组、扫描盒、束下装置等几部分构成. 加速器整机使用Thales公司的TH2158速调管作为微波功率源, 调制器和脉冲变压器由上海兆伏电子有限公司制造, 扫描盒由无锡爱邦公司制造, 水冷系统采用美国OPTI TEMP公司的OTC 25A风冷式大型水冷机组. 整体设计功率余量大, 空间宽松, 有利于加速器稳定可靠的运行.

目前, 加速器的主要部件已经基本到位, 正在紧张安装调试中.

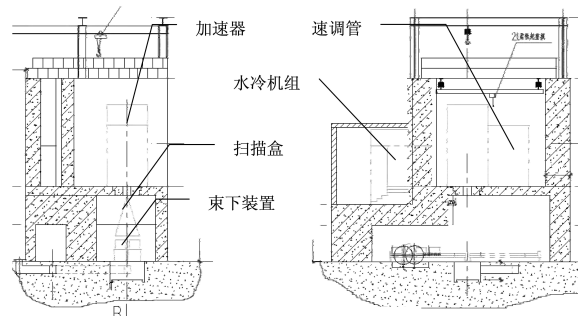


图4 加速器整体布局图

4 结论

为了进口原木检疫辐照处理的需要, 我们开展了10MeV, 20kW大功率辐照加速器的研制, 目前正在安装调试中.

参考文献(References)

(in Chinese)

1 CHEN Huai-Bi et al. HEP & NP, 1999, **23**(5): 496—503(陈怀璧等. 高能物理与核物理, 1999, **23**(5): 496—503)

Development of High Power Irradiating Accelerator

ZHENG Shu-Xin^{1;1)} TANG Chuan-Xiang¹ LIN Yu-Zheng¹ CHEN Huai-Bi¹
TONG De-Chun¹ SHI Jia-Ru¹ XU Gang¹ LIU Yao-Hong² LIU Jin-Sheng²
HE Yu² GUAN Wei-Qiang² LI Guo-Hua²

1 (Tsinghua University, Beijing 100084, China)

2 (Nuctech Company Limited, Beijing 100084, China)

Abstract The design of 10MeV/20kW high power irradiating accelerator is presented. The Backward-Travelling-Wave (BTW) accelerating structure is adopted. This structure combines the advantage of traveling-wave accelerator structure with low power reflection and high stability and standing-wave accelerator structure with high shunt impedance. The work frequency of this accelerator is 2856MHz. Designed by Code AccDesign which is coded by ourselves, the output electron beam with final energy 10MeV and peak current 300mA was reached. The length of the accelerating tube is 1.5m, and the power efficiency from microwave to electron beam is 66%. The temperature and stress distribution were simulated. And the frequency shift by microwave loss was calculated.

Key words high power, irradiating accelerator, backward-travelling-wave, traveling wave