



第八届中国核学会“三核”论坛 论文集

主办单位：中国核学会

承办单位：甘肃省核学会

中核四〇四有限公司

2011.08 甘肃·嘉峪关



兰州大学出版社



第八届中国核学会“三核”论坛 论文集

主办单位：中国核学会

承办单位：甘肃省核学会

中核四〇四有限公司

2011.08 甘肃·嘉峪关



兰州大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

第八届中国核学会“三核”论坛论文集 / 中国核学会编著. —兰州: 兰州大学出版社, 2011. 8

ISBN 978 - 7 - 311 - 03712 - 3

I. ①第… II. ①中… III. ①核技术—中国—文集②核技术应用—中国—文集 IV. ①TL - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 144198 号

策划编辑 陈红升
责任编辑 陈红升 王曦莹 梁生辉
封面设计 刘 杰

书 名 第八届中国核学会“三核”论坛论文集
主办单位 中国核学会
承办单位 甘肃省核协学会
中核四〇四有限公司
出版发行 兰州大学出版社 (地址: 兰州市天水南路 222 号 730000)
电 话 0931 - 8912613 (总编办公室) 0931 - 8617156 (营销中心)
0931 - 8914298 (读者服务部)
网 址 <http://www.onbook.com.cn>
电子信箱 press@lzu.edu.cn
印 刷 兰州德辉印刷有限责任公司
开 本 880 × 1230 1/16
印 张 37.25
字 数 1220 千
版 次 2011 年 8 月第 1 版
印 次 2011 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978 - 7 - 311 - 03712 - 3
定 价 198.00 元

(图书若有破损、缺页、掉页可随时与本社联系)

目 录

战略—核研究—核电

12MeV无损检测加速器主要指标测试方法研究	郭彦斌(3)
俄罗斯Electron-9加速器国产化	张慧君(6)
EAST托卡马克分布式数据系统研究	王华忠(10)
三束系统用于核材料辐照损伤模拟的研究	赵子强(13)
能量色散X射线荧光光谱仪现状及其发展趋势	杨明太(14)
低能X射线能谱初步测量	段小娟(18)
六氟化铀气体凝华过程的探讨	虞 勇(21)
大型氢同位素分离用低温色谱柱的研制	谢 波(32)
反应堆达临界模拟与周期表摆动分析	丁剑阳(36)
在役核级承压容器水压试验的实践	郭轶波(44)
装卸料模拟机系统的开发及应用	周金保(50)
供料条件对气体离心机内部流场影响的数值研究	刘 冰(55)
PuO ₂ 中微量碳分析技术	曹 希(59)
PuO ₂ 中微量杂质元素的ICP-AES测定技术研究	牟 凌(66)
含铝、汞工艺料液中微量铀的测定	吉头杰(75)
含铝工艺料液中铀的分光光度法测定	陈小洁(82)
车载移动式放射性废液处理装置的研制及应用	陈旭敏(87)
被动法高浓铀年龄测量技术研究	张宏俊(90)
基于网络化的氢浓度监测系统研究	吴中义(95)
核试验应急监测中放射性氙的监测	王 茜(98)
当代先进压水堆与传统压水堆功率控制模式浅析与比较	肖 亮(103)

核技术应用

堆内构件柱类部件焊接变形的控制技术	王庆田(113)
M310堆型堆内构件吊篮筒体加工变形超差分析及控制措施研究	夏 欣(119)
辐照对新型钎合金焊接接头力学性能的影响	李国云(123)
电子束辐照热缩管材的工艺比较	莫 燕(128)
低能直线电子束加速器辐照半导体器件电输出结果分析	王关全(130)
化合物半导体及金刚石探测器的研制进展	王柱生(135)
秦山二核扩建机组3#发电机氢气系统气密试验调试	刘 强(139)

秦山二期扩建工程3#机组棒控系统调试	晁 博(145)
秦山二期扩建工程3#机组棒位测量系统调试	晁 博(152)
棒控系统故障对机组运行的影响与应对方法	高 照(155)
秦山核电二期扩建工程反应堆保护系统的改进	苏保川(168)
秦山二期扩建工程仪控系统改进	苏保川(179)
关于下泄温度偏离设计值的原因分析	李 静(193)
DEG冷冻系统的实际运行和运行中遇到的问题分析	张鸿剑(198)
用于乏燃料离线破损检测的气态裂变产物采样工艺设计	苏容波(205)
MPPC输出信号影响因素探究	夏文友(208)
基于SIMOTION运动控制技术的组件检查仪控制测量系统研制	王 斌(213)
VVER- UO_2 芯块热稳定性试验设备改造和工艺研究	尤亚飞(222)
溴氰菊酯辐照降解产物分析	伍 玲(230)
辐照食品的安全性综述	徐 涛(233)
辐照食品检测技术综述及我国和欧盟检测标准比较	张 玥(237)
辐照在腐乳生产中的应用的研究	靳健乔(241)
亚太各国使用辐照进行食品处理和植物检疫的发展情况	杨 斌(245)
LED辐照增亮的研究	于 经(249)
国家点火装置核武器效应试验能力	张得玺(254)
碳离子束多位点辐照对甜高粱种子萌发及幼苗叶片自由基的影响	何金玉(261)
低剂量辐射生物效应	贾立立(265)
^{18}F -氟代脱氧葡萄糖影响HepG2肝癌细胞增殖的初步研究	王明明(269)
酵母 β -葡聚糖对小鼠X射线辐射损伤的防护作用	王 颖(275)
锌对急性贫铀中毒大鼠的解毒效果及机制研究	李 蓉(278)
放烧复合伤的造血保护与免疫调节研究	冉新泽(278)
SMI对慢性PD小鼠模型多巴胺受体密度的调节	胡雅儿(279)
重组人Hexastatin融合蛋白在大肠杆菌中的可溶性表达及其纯化	贺 欣(282)
放射受体显像剂-肿瘤抑素的克隆表达及其鉴定	宋娜玲(282)
Ad-Rb94基因联合 γ 射线对食管癌细胞生长的影响	陈凤华(283)
复发性宫颈癌组织间并腔内近距离调强适形放疗疗效分析	李 莎(286)
重离子放射治疗骨与软组织恶性肿瘤的研究进展	李 莎(286)
血红蛋白水平对宫颈癌患者放射治疗疗效的影响	田种泽(287)
子宫动脉介入化疗栓塞术联合放疗治疗子宫颈癌的远期疗效	田种泽(287)
医学影像引导下重离子束照射头颈部恶性肿瘤的临床应用研究及评价	魏世华(289)
阴囊皮肤癌误诊4例分析	魏世华(290)
32例巨大肾母细胞瘤术前三维适形放射治疗疗效分析	岳养军(291)
厄洛替尼及化疗配合放疗治疗晚期非小细胞肺癌临床观察	岳养军(292)
心血管介入手术中操作者职业照射的临床调查研究	焦 玲(294)

核安全管理

浅析我国核电发展中要处理的几大关系	范 飞(301)
定期试验在核电站安全运行中的重要作用	丁敬应(304)
红沿河核电厂反应堆安全停堆功能分析	史红亮(307)
核电厂 ^{110m} Ag问题及其对策研究	王 东(312)
日本核电站泄漏核素对兰州地区的影响	邬家龙(317)
某厂7.5MeV回旋加速器探伤室建设项目放射防护预评价	李 红(321)
某公司放射源库建设项目放射防护控制效果评价	刘忠恕(323)
数字化X射线摄影机房的防护设计	王立龙(326)
可移动式放射性废水处理装置冷试验验证	肖湘竹(331)
可移动式放射性废水处理装置废水处理效果的热实验验证	赵 军(336)
高放废物处置及核设施退役中的关键科学问题	刘春立(342)
低、中水平放射性废物水泥固化线工艺设计与优化	邓 玥(343)
PDCA模式在某低、中放固体废物处置场安全质量管理中的应用探讨	贺 欢(343)
辐射安全与防护	赵 锋(348)
放射性废物的安全管理	张 晶(354)
基于分布式光纤传感的辐照室安全联锁系统	叶明旸(359)
医学放射工作人员的放射防护培训探讨	陈尔东(354)
放射卫生防护标准体系框架研究	姜晓燕(362)
《卫生部核事故和辐射事故卫生应急预案》研制	刘 英(365)

其 他

气缸阀在中试厂的应用及改进	王宏斌(369)
秦山二扩主蒸汽隔离阀调试	牟 杨(373)
秦山二期扩建工程主蒸汽安全阀改进	陈海桥(382)
爆破阀在AP1000核电项目中的应用探讨	杨 歆(393)
无阀门吹气箱计量输送溶液试验研究	李经海(397)
12kA大功率碳钢电解槽的设计研究	蒋俊贤(408)
溶解器夹套焊缝返修过程控制	苏广爱(420)
核通数字化模拟定位机制做电子线挡铅的改进	赵 瑞(435)
废树脂热态超压处理工艺的运用	陈 军(436)
电动扳手力矩断裂原因分析	栾兴峰(439)
汽轮机扣缸模板	时宏磊(443)
核电厂反应堆冷却剂泵动平衡试验	史庆峰(447)
大型国产核能汽轮发电机组检修中应重点关注的几个问题	张 剑(453)
核电厂鼓型旋转滤网阴极保护有效性的检测方法 with 状态评估	高 俊(458)

安装调试阶段堆芯的保护和防异物控制 周 围(463)

贝类捕集器导向环断裂失效分析 高 俊(467)

RCM方法在秦山二期技术改造决策中的探索应用 姚 昊(472)

江西省崇仁县沙洲西南矿床外围地质特征及成矿规律 周玉龙(477)

保水型氮肥的制备及结构表征 耿胜荣(482)

AP1000首台核电机调试进度控制工作面临的挑战及对策探讨 廖 鹏(486)

模块化施工过程中的管道安装清洁度控制 鹿 松(490)

AP1000主控室手动开关设计特点分析 齐文超(494)

秦山二期主给水系统运行 陈加荣(499)

AP1000启动给水系统在事故情况下向蒸汽发生器供水导出堆芯余热的优越性
..... 谭英志(510)

AP1000乏燃料水池冷却与净化系统异常工况运行分析 余 波(514)

AP1000消防系统特点分析 朱晓丽(517)

红沿河核电项目国产化设备制造阶段的质量保证实践 陈智高(523)

论防人因失误的三道“安全屏障” 刘建伟(526)

大修中的运行管理 屠庄炜(530)

秦山二核运行人才培养管理实践 宋家玉(534)

三门核电检修承包商HSE管理探讨 李 敏(539)

市售级检证的行业实践与导则及法规的发展 彭瑞华(542)

我国辐射加工电线电缆产业“十二五”发展的历史机遇 徐 涛(549)

辐射加工行业上市公司经济效益分析 张迎明(554)

辐射交联热收缩材料产业化发展前景展望 徐 涛(555)

中国使用辐照技术进行植物检疫概况 张 玥(556)

使用7.5MeV X射线进行食品辐照的放射性安全研究 杨 斌(557)

辐照技术在植物检疫方面的应用 唐卫东(558)

核科普

受控核聚变能源与《宇宙能源—聚变》 张一鸣(561)

核科普图书使公众不再谈“核”色变 卫广刚(565)

军队院校核通识教育的探索与实践 王丽婷(567)

漫谈铀和铀浓缩及几种方法 曾 铁(570)

印度的核聚变研究开发现状和发展计划 曾丽萍(577)

核电厂的公众管理 王艳霞(581)

福岛核电事故后我国核电装备制造业发展思考 侯 琴(584)

科普宣传促进核电建设 王 勇(587)

战略—核研究—核电



12MeV 无损检测加速器主要指标测试方法研究

郭彦斌 刘建辉

(北京机械工业自动化研究所, 北京 100120)

[摘 要] 研制 12MeV 无损检测用驻波电子直线加速器产品时, 需要同时研究制定相关技术指标的测试方法, 供测试参考。

[关键词] 能量; X 射线剂量率; 焦点尺寸; 均匀度; 不对称性; 检测灵敏度; 漏线量

Technical performance test method of 12MeV electron linear accelerator for non-destructive testing

Yan bin Guo Jian hui liu

(Beijing Research Institute of Automation for Machinery Industry, Beijing 100120, China)

Abstract: Because does not have the corresponding technical performance test method, when develops the 12MeV standing wave electron linear accelerator for non-destructive testing product, needs to discuss the test method for test when refers.

Key words: X-ray beam energy; dose rate; focal spot size; homogeneity; symmetry radiographic quality; Leakage radiation

我国还没有 12MeV 无损检测用驻波电子直线加速器的测试方法。我们在研制的 12MeV 无损检测用驻波电子直线加速器产品的同时, 也考虑到要建立相应的技术测试方法。本工作根据多年来研制加速器的生产实际, 结合 12MeV 电子直线加速器的特点, 探讨制定相关技术指标的测试方法, 供测试及用户验收时参考, 也为国家标准制订提供依据。

1. 能量

加速器的能量系指被加速电子束的最终能量或指具有连续能谱的 X 射线束的最大能量。由于 12MeV 无损检测用驻波电子直线加速器使用的是全密封直线加速管, 靶封在加速管内, 无法直接测量电子束能量, 通常用测量宽束 X 射线在钢铁中的半值层的办法来确定加速器的能量。测量时将剂量仪探头放置在 0° 方向 X 射线束中心轴上距靶 1m 处, 在探头与靶之间先后放置不同厚度的钢板, 测量在相同的曝光剂量下, X 射线穿过不同钢板厚度 d 的衰减情况, 即测出不同钢板厚度 d (单位为 mm)。

记录剂量仪的读数 I , 然后根据 $\lg I = f(d)$ 曲线即可求出半值层值 $d_{1/2}$,

X 射线穿过钢板时, 其衰减规律可用下式表示:

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

其中: d : 钢厚 mm

I_0 : d 为 0 时测得的剂量值 cGy

I : 各个 d 值下测得的对应的剂量值 cGy

μ : 为衰减系数 mm^{-1}

$$\lg I = \lg I_0 - \frac{0.301}{d_{1/2}}$$

若引入半值层厚度 $d_{1/2}$, 可导出:

在测得一系列 d 值及 I 值后,利用最小二乘法作线性拟合或利用坐标纸作图即可求出 $d_{1/2}$ 。

根据 $d_{1/2}$ 值判定加速器的能量。

$d_{1/2} \approx 32\text{mm}$ 时,认为能量为 $12\text{MeV}^{[1][2]}$ 。

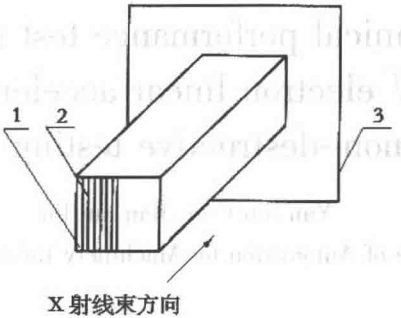
用密度为 1.7g/cm^3 材料代替钢板,使用本方法,其半值层厚度在 177.8mm 左右时可认为能量为 12MeV 。

2.剂量率^[3]

测量仪器: IONEX 2500/3 剂量仪,将剂量仪探头放置在 0° 方向 X 射线束中心轴上距靶 1m 处。测量 1 分钟的积分剂量三次,取三个数据的平均值,然后乘以剂量仪的校准因子,以及伦琴/拉德转换系数,即得出该能量下加速器输出 X 射线束的剂量率。

3.焦点尺寸

采用叠片块成像的方法测量。叠片块是由厚度为 $h_1(0.2\text{mm})$,长 250mm ,宽 50mm 的铜箔和厚度为 $h_2(0.2\text{mm})$,长 250mm ,宽 50mm 的塑胶片相间叠成。叠块示意和测量布置见图 1。



- 说明:
- 1—铜或铅片;
 - 2—塑胶片;
 - 3—胶片。

图 1 叠块示意和测量布置图

Fig.1 pack of block and general arrangement

测量时将叠片块置于加速器的 X 射线输出口,尽量靠近靶。X 射线穿过叠片块时,铜箔将射线阻挡,射线从塑胶片对应的窄缝通过,使放置在叠块另一端的胶片感光,曝光后的胶片,将出现数根黑条,靠中央的部分比较黑,两边的黑度较小,取黑度大于中央的黑度 50% 的黑条数 n ,按下式计算焦点尺寸 d :

$$d=(h_1+h_2) \times n \text{ (mm)}$$

4.X 射线束的均匀度

用距 X 射线中心轴线 $6.0^\circ(A^\circ)$ 处的剂量率与 0° 方向中心轴线上剂量率的百分比表示。测量仪器: IONEX 2500/3 剂量仪。将剂量仪探头放置在距靶 1 米处,在相同条件下测量中心轴线上的剂量率值 D_0 和偏离中心轴线 A° 的圆周上对称于 O 点各点的剂量率值 $D_{\min}$ (见图 2),取圆周上剂量率最小值 $D_{\min}$ 按公式进行计算得 η_h 值为均匀度测量结果。

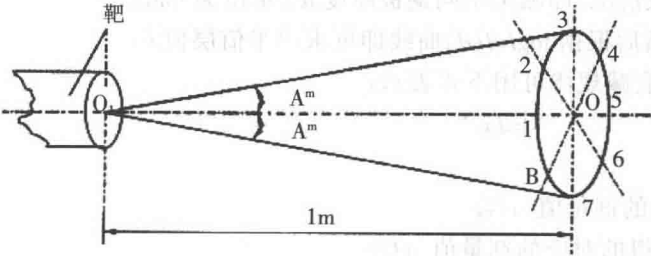


图 2 X 射线束均匀度测量示意图

Fig.2 X-ray homogeneity measurement

$$\eta_h=\frac{D_{\min}}{D_0} \times 100\%$$

加速器能量在 9MeV(含)以下测量均匀度时,一般取距 X 射线中心轴线 7.5°处的剂量率与 0°方向中心轴线上剂量率的百分比表示,而加速器能量在 12MeV(含)以上时,我们选取 6.0°,这是因为能量越高,其均匀度角度就越小的原因。并经过实际测量证实,同时也参考了国外同类产品的测试条件。

5.X 射线束的不对称性

利用均匀度测量方法,在距靶 1 米处且偏离中心轴线±6.0°圆周上剂量率 D_i 的测试结果,取其中最大值 D_{max} 和最小值 D_{min} 按照公式计算 X 射线不对称度。

$$\eta_h = \frac{\Delta D}{\bar{D}} = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\%$$

式中: ΔD —— D_{max} 与 D_{min} 的差值;

$\bar{D}$ —— D_{max} 与 D_{min} 的均值。

6.照相检测灵敏度

在机头正前方距靶点 2.0 米处,分别放置 100mm、200mm 和 420mm 厚度的钢铁试样,采用线型像质计(或孔型像质计(美国 ASTM 标准)),通过射线胶片照相来确定检测灵敏度。

在最大能量和剂量条件下,所用胶片类型、焦距、胶片黑度、增感屏、散射消除等均满足射线照相工艺条件时,其灵敏度应符合 1%的要求。

7.漏线量

用铅块遮挡住 X 射线机头前向准直器口。

由于加速器的 X 射线输出是轴对称的,而加速器的 X 射线屏蔽和准直系统也是轴对称的,因此,漏线量在任一个平面上都是对称的。为了测量方便,一般选取水平面。在加速器控制台剂量仪积分剂量相同的情况下,采用 IONEX 2500/3 剂量仪,测取在距靶点 1 米的水平圆周上各点的积分剂量值,通过和 0°方向的积分剂量值相比来计算漏线量。经过特殊屏蔽处理,12MeV 加速器漏线量一般不超过 0.1%的要求。

8.中子剂量^[4]

在 X 射线束前向准直器±1/2 准直器锥角到±90°的范围内(见图 3),距靶 1 m 处中子辐射剂量每 Gy(X 射线束剂量率)不大于 0.01mSv;其他任何方向每 Gy(X 射线束剂量率)不大于 0.001mSv。

参考 NCRP 144 号报告——粒子加速器装置的辐射防护(Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities)和 NCRP 79 号报告——医用电子加速器的中子污染(Neutron Contamination from Medical Electron Accelerators),加速器的中子剂量测量,主要是为辐射防护设计时提供依据。

Contamination from Medical Electron Accelerators ; and NCRP Report No. 144, Radiation

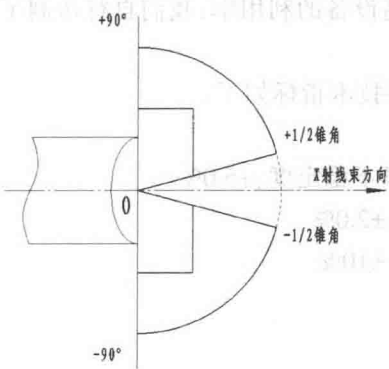


图 3 中子剂量测量示意图
Fig.3 Neutron measurement

参考文献

[1]VARIAN,LINATRON High-Energy X-Ray Applications for Nondestructive Testing.
[2]ASTM E94-2004,Standard Guide for Radiographic Examination.
[3]GB/T 20129-2006,无损检测用电子直线加速器。

俄罗斯Electron-9加速器国产化

张慧君 刘湾 刘百力 张钦龙 罗四海 唐君

(中国工程物理研究院,四川 绵阳 621900)

[摘要] 为实现从俄罗斯电物理研究院引进的Electron-9加速器的消化吸收,并使之能够良好运行,对加速器进行部件的改造升级,并以图片展示了部分部件的改造结果,实践证明,改造效果良好,该加速器已经能够稳定运行。

[关键词] 加速器;电子;国产化

The Upgrading of Electron-9 Accelerator

ZhangHuiJun LiuWan LiuBaiLi ZhangQinLong LuoSiHai TangJun

(China Academy of Engineering Physics Mianyang 621900)

Abstract: This paper presents the upgrading improvements on some components for Electron-9 accelerator, which was imported from Institute of Electro-Physical Apparatus in Russia; meanwhile, the results of the improvements on some parts are illustrated. The practice proved that good assimilation was achieved and the improvement had such a good effect that the accelerator was in stable operation now.

Key words: accelerator; electron; localization

1. 概述

笔者曾负责运行调试俄罗斯引进的Electron-9型电子加速器,围绕该装置中物院建立了电子束氨法烟气脱硫脱硝中试装置。该装置已经成为国家烟气脱硫工程技术研究中心一个标志性设施。Electron-9型电子加速器是其中的关键设备。

在正常的实验研究之外,为了提高设备的利用率,我们自行研制了一套简易连续片材辐照装置,对外开展辐照加工。

该加速器属于高压型加速器,主要技术指标如下:

- (1) 电子束功率: 32kW
- (2) 电子束能量: 500-800keV; 能量不稳定性: $\pm 5.0\%$
- (3) 束流: 0-40mA; 束流不稳定性: $\pm 2.0\%$
- (4) 扫描长度: 1200mm; 不均匀性: $\pm 10\%$
- (5) 工作频率: 800Hz
- (6) 能量转换效率: 75%

2. 存在的问题

这台Electron-9型电子加速器是电物理研究院生产的第一台该类型工业加速器,与国内其他单位引进的新西伯利亚核物理研究院生产的ELV型加速器相比,设计还不够成熟,存在许多问题,故障率比较高,可靠性较差,严重影响了电子束脱硫工艺试验的开展,同时,辐照加工质量不高,及时性不能保证,不能为客户提供优质的服务。

具体有以下几个方面的问题:

- (1) 电子枪发射束流困难:

原因有二:一是束流控制信号采用光纤进行传输,工作一段时间后透光率下降,电子枪阴极加热功率失

控;二是电子枪阴极的接触电阻增大,在原有供电电压下电子枪阴极达不到发射温度。

(2)高压波动较大,主要是受外电网波动影响较大。

(3)扫描均匀性差,故障率高:

没有对扫描锯齿波采取尖端锐化措施,钛膜两端束流密度偏大,均匀性不高。扫描线圈没有外壳保护,长期处在臭氧、潮湿的环境中,线圈多次出现故障。

(4)电容器损坏率高,造成次级线圈整体烧毁。

(5)控制系统故障率高

控制系统为实验机电路,在电路上有许多为调试而进行的连线,做工不细,所以故障率较高。由于元气件为俄罗斯标准,国内无法找到同类型的产品,只能采用相近器件代替,造成了越维修品质越下降的问题。

(6)备件购买周期长。

3.改造目的

为了改善加速器稳定性可靠性,减少运行维护成本,提高辐照质量和辐照加工的及时性,解决备件匮乏的问题,我们决定改造这台加速器。

另外一个促使我们下决心改造加速器的原因是:掌握此类谐振变压器型加速器的设计制造技术,为国内辐照加工单位提供一种稳定可靠,低能耗,运行成本低的辐照加速器。

4.加速器结构和工作原理

与大多数工业高压型电子辐照装置一样,这台加速器主要由三个基本单元组成:高压发生器、加速装置和束流引出系统。电子枪加速管和扫描引出单元的工作原理和结构基本大同小异,各类型辐照加速器的区别就在于采用不同种类的高压发生器,比如:静电发生器(以机械方式输送电荷),中频电容耦合式高压发生器(即考克饶夫——瓦耳顿串级高压发生器,或简称倍加器),高频电容耦合式高压发生器(即地那米型高压发生器)等,这台加速器采用的是单相谐振变压器型高压发生器。

这种高压产生装置具有许多优点,既可作直流高压,又可作脉冲高压,美国通用电器公司最早用于探伤加速器。作为直流高压电源常用于工业电子辐照装置,俄罗斯新西伯利亚科学院核物理研究所已经生产了几十台,多数卖给了中国。

单相谐振变压器型高压发生器的主要技术特点是:

(1)变压器工作频率范围:中频400-1000Hz

(2)变压器的耦合系数k:0.5-0.8

(3)变压器次级绕组与电容器(包含分布电容)并联,构成LC回路,设计回路的本征频率与供电频率相同,使次级绕组回路产生共振吸收。

(4)直流高压的能量转换效率最高为80%。

(5)高压范围:0.5~3.0MV。俄罗斯电物理设备所曾设计这种高压发生器电压达4MV,功率500kW(即电流125mA)。

单相谐振变压器型高压发生器的工作原理如下图所示:

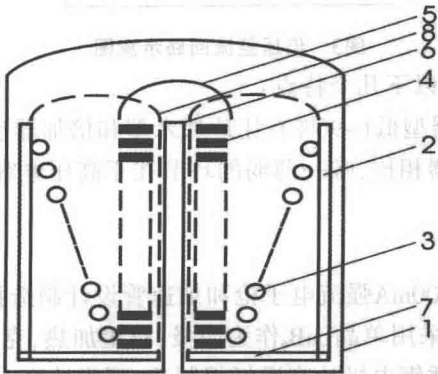


图1 单项谐振变压器型高压发生器原理图

1-钢筒 2-圆筒形磁路 3-初级绕组 4-次级绕组
5-高压电极 6-加速管 7-底部圆环形磁路 8-磁力线空间路径

上图可见,这是一个铁磁材料没有闭合的空心单相变压器,其铁磁材料在磁路中只占一半左右,耦合系数 k 大约为0.6。

为了实现高变比和高能量传输效率,需要次级回路的本征频率与初级绕组的供电频率相同。通过回路的共振吸收,使次级绕组感应出高效的交变电压和电流。次级回路总共分成40个次级绕组,每个次级绕组接至倍压整流电路,相互串联后形成直流高压。

发生器由并联谐振式变频器供电,其工作原理如下图所示:

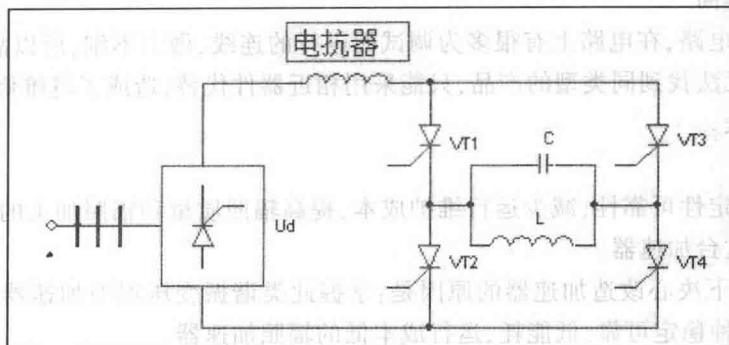


图2 变频器供电原理图

其中, L 为初级绕组的电感。 $(\sim 200\mu\text{H})$

C 为谐振电容器 $(8\times 25\mu\text{F})$

$\text{VT}_1\sim\text{VT}_4$ 为晶闸管

U_d 为三相可控硅整流电路

LC回路的本征频率大约800Hz,变频器的工作频率可控制变化,范围为720~800Hz,变频器的输出功率随频率变化。

次级倍压整流回路,见示意图,电感量为2.8H,电容器为14nF,并联回路的本征频率约为800Hz。每个次级绕组倍压整流的额定直流电压为20kV,额定电流为40mA。为了满足高压绝缘和变压器耦合系数要求,初级绕组设计成锥形。

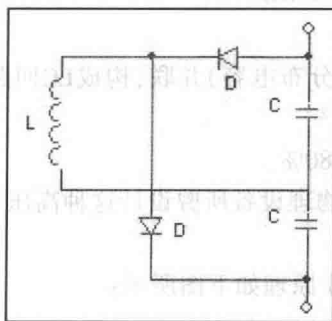


图3 倍压整流回路示意图

与其他类型高压发生器相比,有以下几个特点:

- (1)效率: $\sim 80\%$,比绝缘芯变压器型低($\sim 90\%$);比地那米型和倍加器型高($< 50\%$)。
- (2)可靠性高,与其他类型加速器相比,唯一薄弱的环节在于高压电容器数量较多。

5.改造方案和结果

(1)电子枪加速管

我们曾在以往的工作中掌握了500mA强流电子枪和加速管设计制造技术,我们将该技术移植到这台加速器上,取得了极好的效果。电子枪采用单晶 LaB_6 作为阴极,石墨加热,克服了多晶 LaB_6 阴极品质不易保证的不利因素。加速管采用陶瓷环和不锈钢电极片高温钎焊制造,可靠性高^[1,2]。

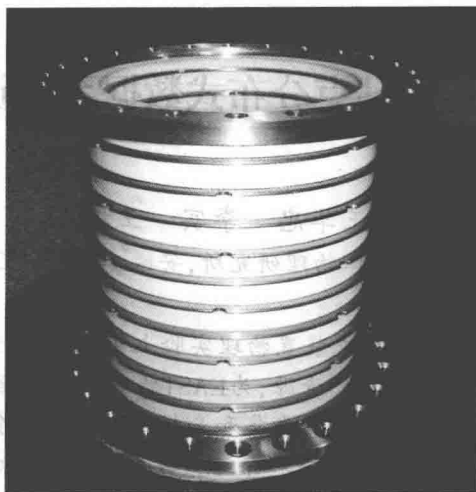


图4 加速管实物图

(2) 高压电源

我们在1.2MW加速器上,使用了120个环氧树脂浇注的次级线圈,使用相同的工艺,重新制作了这台加速器的次级线圈。整流硅堆和高压电容还是原来的。

另外,增加一台感应调压器,确保输入电压稳定,降低外电网电压波动对高压的影响。

(3) 扫描引出系统

为了减少不锈钢对扫描磁场的影响,俄罗斯采用陶瓷材料代替不锈钢,橡胶密封。由于陶瓷较脆,使用不当容易破裂,橡胶密封圈也容易老化,是系统中一个不安全的环节。我们选用薄壁无磁不锈钢代替陶瓷,同时在扫描线路上增加了一套锐化电路,克服不锈钢材料的磁滞效应的影响,将扫描均匀性由+10%提高到+5.0%。同时,增加一个臭氧隔离保护盒,内部保持正压,降低外界恶劣环境的影响,使扫描线圈可以长期稳定地工作。

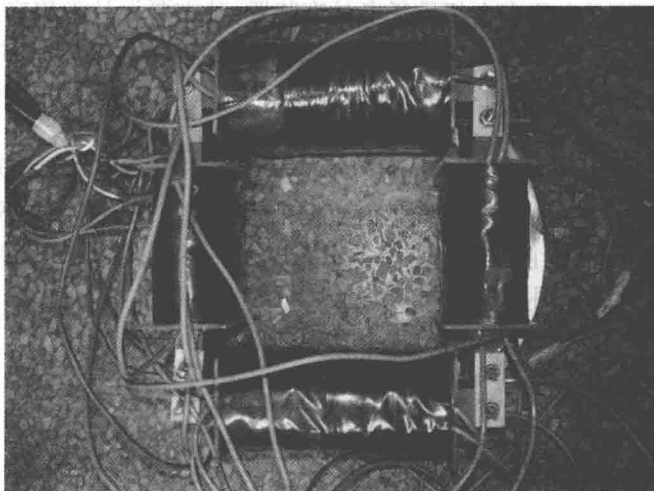


图5 扫描磁铁实物图

(4) 控制系统

拟将现有控制分离控制方式改为PLC控制方式,提高可靠性。

6. 展望

通过对Electron-9加速器改造,基本解决了加速器的稳定性可靠性问题,而且不再需要到俄罗斯购买备件。更为重要的是,彻底掌握了谐振变压器型加速器的设计制造工艺,随时可以为国内外用户提供这种新的节能加速器。

参考文献

- [1] 何小海,林理彬,肖德鑫,李琦,刘平.电子束引出窗冷却研究.原子能科学技术,2009.10.
- [2] 孙官清,刘仲阳,郑思孝等.高梯度加速管的设计.核科学与工程.1995.3.

EAST托卡马克分布式数据系统研究

王华忠 李实 王枫

(中科院等离子体物理研究所,安徽 合肥 230031)

[摘 要] 分布式数据系统在EAST托卡马克装置物理实验上获得了良好的应用。EAST装置数据系统采用的分布式工作方式,有效地利用了各子系统的资源,为EAST物理实验数据处理提供了强大的数据支持,从而为EAST装置在稳态放电实验条件下的实时数据采集和分析进行前期的准备和预演。文章对EAST全超导Tokamak装置数据系统的基本结构和功能进行预研和介绍,数据发布部分由C/S、B/S和X-Window模式组成,整个系统以分布式与集中式管理相结合,数据存储采用分布式管理,而数据服务部分采用集中式管理。

[关键词] EAS;TMDSPlus;EastScope;数据管理系统

1.引言

托卡马克(Tokamak)装置是作为目前研究受控热核聚变的主要手段,受到世界各国的广泛关注。由于受控热核聚变实验的特殊性,基于计算机系统的控制系统和数据系统在Tokamak装置上获得了广泛的应用。在Tokamak装置上数据系统主要具有如下特点:

- 数据系统主要包括数据采集、数据处理和发布;
 - 数据系统长时间连续运行特性;
 - 数据采集的同步性、稳定性、准确性和实时性。
- 以上特点决定了Tokamak装置数据系统工作的特殊性。

EAST装置是我国在建的第一个稳态全超导托卡马克装置,其重要设计参数之一就是放电持续时间为千秒量级;同时,围绕着EAST装置进行的物理实验诊断和测量将更加丰富。因此,对于EAST装置来说,数据系统的实时性和稳定性将尤为重要。

2.EAST实时数据系统

EAST托卡马克的设计参数是放电持续时间1000秒的稳态运行。因此,实时性和稳定性成为EAST数据系统的重要设计目标。目前的EAST数据采集系统是由数据采集机和数据服务器这两大部分构成的,其中采集机部分由采集控制台进行统一管理,它们之间采用了千兆以太网连接,进行控制参数和实验数据的传递和交互。当前的数据采集系统结构图如图1所示:

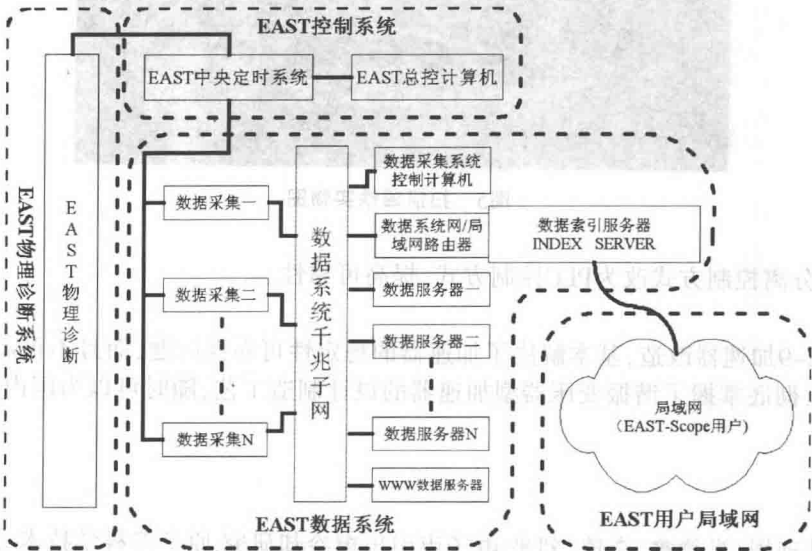


图1 数据采集系统结构