

文章编号: 1001-4322(2001)04-0513-04

ELV-8 型加速管电子光学性能研究

陈思富¹, 殷学军², 刘振灏², 张仲发², 郑 威², 徐宗宝²

(1. 中国工程物理研究院 流体物理研究所, 四川 绵阳 621900;

2. 中国科学院 近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: ELV-8 型加速器的加速管分为变梯度加速管段和等梯度加速管段两部分。阴极采用六硼化镧平面阴极。电子束的聚焦采用变梯度场聚焦, 使电子束成为层流束。电子枪的平面电极使得阴极发射面前的电场均匀, 从而使得加速管的电子光学系统对初始条件不过于敏感, 而便于电子枪的替换。

关键词: ELV-8 型加速管; 六硼化镧阴极; 变梯度加速管

中图分类号: O463.1

文献标识码: A

ELV 型加速器是由苏联科学院核物理研究所研究并投入批量生产的一种直流高压型大功率加速器^[1]。该类型加速器的高压系统是一个谐振式整流变压器, 加速电子所需的高压电场是经次级的感应耦合后, 再经倍压整流而产生的。到目前为止, 该研究所已研制了从 ELV mini 到 ELV-8 等几种不同的型号。由于该类型加速器具有效率高、造价低、结构紧凑等优点, 因此倍受我国用户青睐。在我国辐射加工行业中, 目前已进口 11 台 ELV-8 型加速器, 这也是目前我国从国外引进最多的一种加速器。

在 ELV-8 型加速器的电子光学系统中, 电子发射系统采用的是六硼化镧平面阴极, 而加速器没有专用的预聚焦系统, 电子束的聚焦是靠加速管前面部分的非均匀场来实现的, 这与其它辐照加速器不一样^[2]。本文研究了 ELV-8 型加速管在正常的工作状态下运行时 (2.2~1.0 MeV, 25mA 或 1.0~0.6 MeV, 15mA) 的电子光学性能。

1 加速管的结构

ELV-8 型加速器的加速管电极均为平面电极, 电子枪为平面阴极结构, 它们的结构如图 1 所示。有关尺寸为: 加速管第二电极内径 ϕ_0 , 其余电极内径 ϕ_{00} , 电极厚度 1mm, 电极间距 20mm。六硼化镧圆片 ϕ_0 , 紧靠阴极的平面电极 (阴极外套) 外径 ϕ_0 。

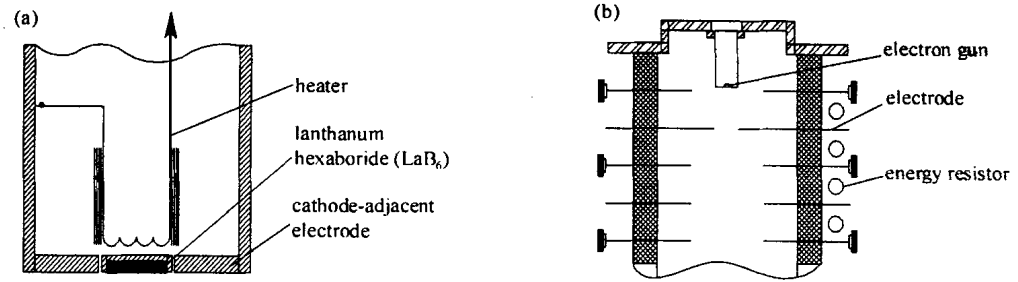


Fig. 1 Schematic structures of the electron gun (a) and the accelerating tube (b)

图 1 电子枪(a)和加速管(b)结构示意图

加速管的前 11 个分压电阻阻值是不一样的, 这段加速管构成了变梯度加速管段; 其余的分压电阻阻值都一样, 这段加速管构成了等梯度加速管段。另外, 电阻分压器上还串接了一个阻值为 0.1 MΩ 的

收稿日期: 2000-11-24; 修订日期: 2000-04-11

基金项目: 中国科学院近代物理研究所专项基金资助课题

作者简介: 陈思富(1971-), 男, 在站博士后, 从事加速器物理及束流诊断技术研究, 绵阳 919-106 信箱。

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.



电阻,用以测量束流的大小。2 加速管光学性能研究

2.1 计算时的一些假定

在进行电子光学性能的计算时所用的计算程序是在 SLAC-226 的基础上改动而成的^[3]。在计算时作了一些假定: (1) 加速管电极所加电压是稳定的直流; (2) 计算时仅仅考虑由电阻分压而产生的静电场, 不考虑其它外场的影响; (3) 忽略二次粒子的影响; (4) 取等梯度管段的第五个电极作为封闭边界(因为远离不等梯度加速管段的任一地方处的等位线几乎垂直于光轴, 因而可以作为计算区域的边界)。

2.2 六硼化镧阴极的工作状态

在实际运行时, 六硼化镧阴极的发射处于温度限制状态。计算程序可按 Child-Langmuir 定律^[4,5]来计算束流初始值, 或者由六硼化镧的发射状态来确定其初始值。从计算的电子轨迹(图 2 和图 3)和发射电流(930mA/25mA)也可看出这一点。

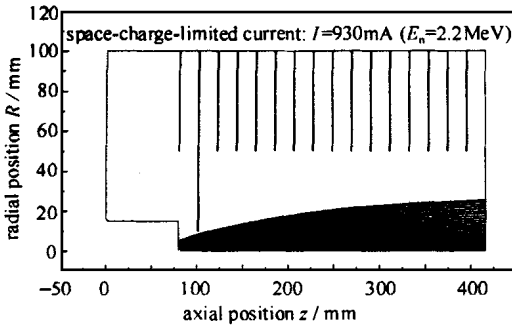


Fig 2 Electron trajectories when the gun is operated space-charge limited
图 2 空间电荷限制下的电子轨迹

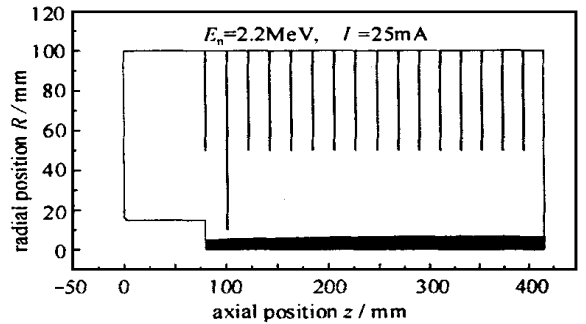


Fig 3 Electron trajectories when the gun is operated temperature limited
图 3 温度限制下的电子轨迹

2.3 不同工作条件下的电子轨迹

加速器工作在不同的条件下(如能量大小、束流强度不同), 其电子轨迹的变化趋势是不一样的, 图 4 示出了计算结果。

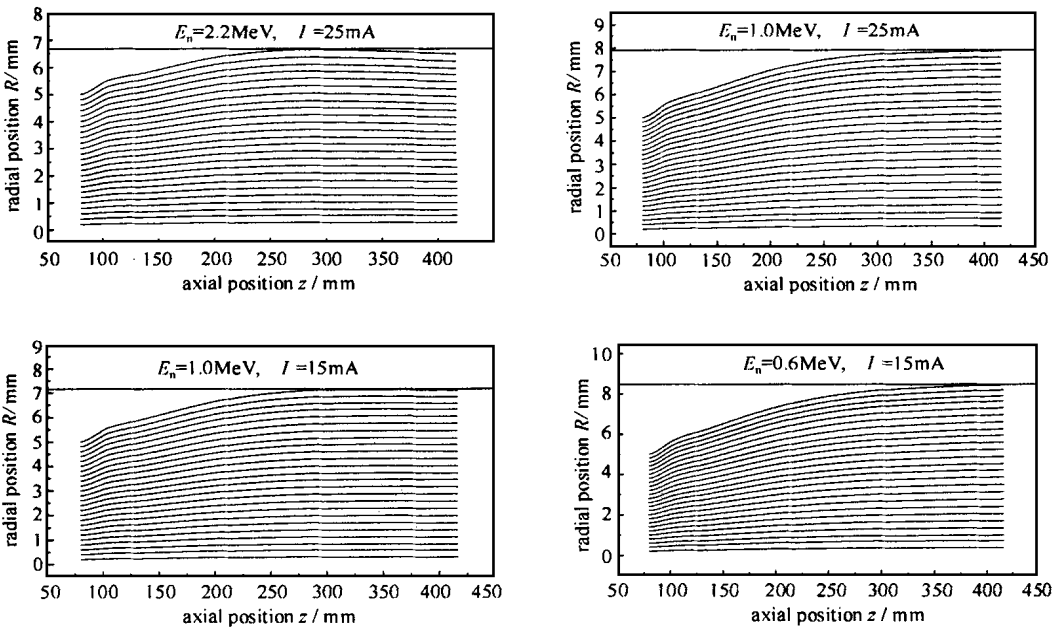


Fig 4 Electron trajectories when the gun is operated under different working conditions
图 4 不同工作条件下的电子轨迹

2.4 不同工作条件下的电子出射斜率

图 5 示出了在不同的工作条件下, 电子在封闭边界处的出射斜率。

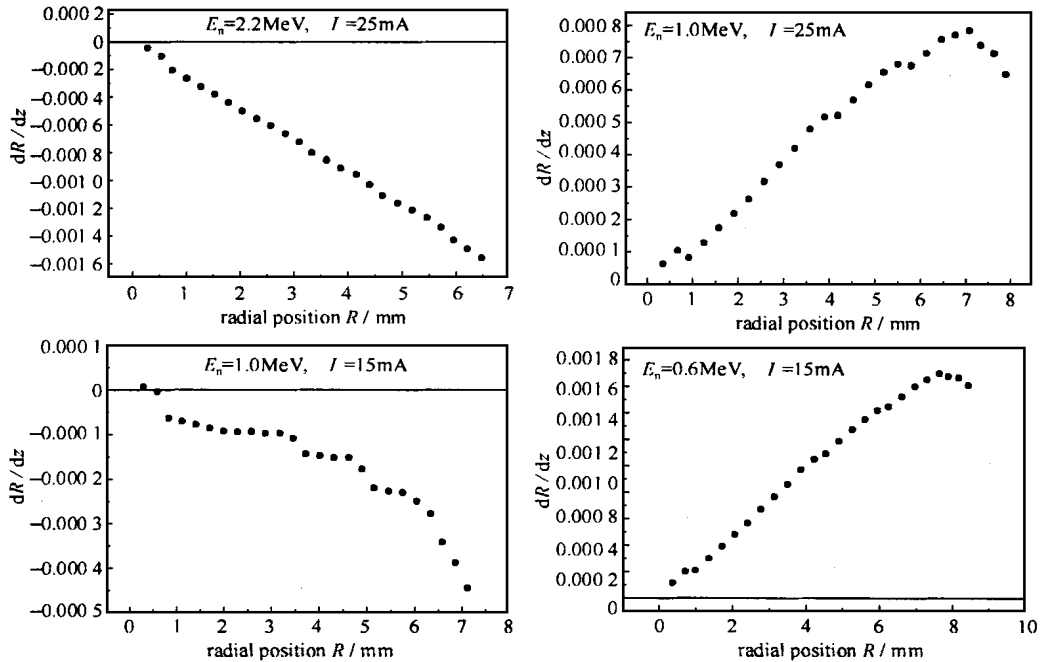


Fig. 5 dR/dz vs R under different working conditions

图 5 在不同的工作条件下电子的出射斜率

2.5 初始值的影响

电子的初始运动方向、初始能量对计算结果无明显的影响。阴极平面所处的位置(即阴极平面距加速管第一电极平面的距离)不同时, 在 $\pm 2\text{mm}$ 范围内, 无明显的影响, 而设计指标为 $\pm 1\text{mm}$ 。

2.6 阴极外套的影响

从阴极发射面前面的等位线来看(图 6), 阴极发射面前面的电场为一沿轴向近似均匀的场, 只是阴极外套处有畸变。图 7 示出了在给定电子束的初始发射电流和没有阴极外套的情况下的电子轨迹, 从图中可以看出, 电子束发散并且打在阳极上。

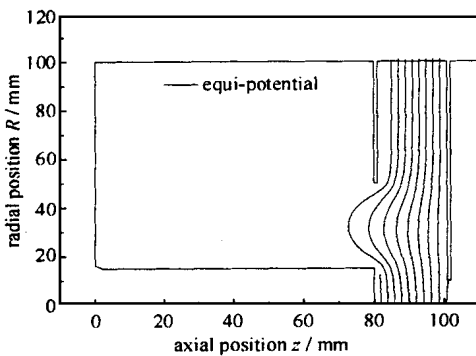


Fig. 6 Equipotential before the gun

图 6 电子枪前的等位线示意图

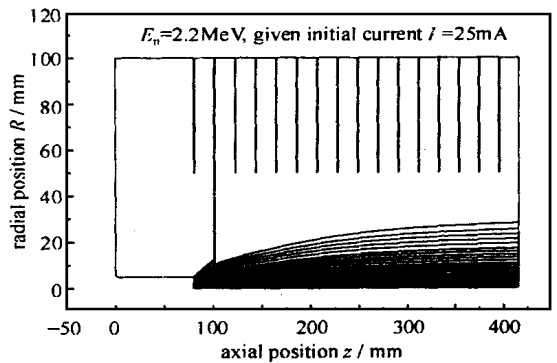


Fig. 7 Electron trajectories without the adjacent-cathode electrode

图 7 无阴极平面电极时的电子轨迹

3 分析和结论

电子枪直接处于加速管内, 相当于物(阴极)浸没在加速管变梯度部分所形成的透镜场内, 从而可以把它们看作一个浸没物镜。与一般浸没物镜要出现交叉束并形成最小截面圆不同^[6], 在 ELV-8 型加速管中, 由于只有变梯度场的聚焦作用, 电子束要能良好地通过加速管进行传输, 就必须要求它为层流

束,这与计算结果一致。

因为等梯度加速管段没有聚焦功能,因此层流电子束要能良好地传输,电子束的斜率不能太大,否则电子束可能会在加速管段内部某处会聚后再发散而打到管壁(斜率小于零)或是直接打到管壁(斜率大于零)上,这对加速管的安全运行是不利的。从计算结果来看,在加速器安全运行时,电子束的斜率都近似为零。

初始能量、初始运动方向和阴极平面的位置等因素对聚焦性能的影响不大,这是因为阴极发射面前面的电场为沿轴向的均匀场,只是阴极外套处有畸变。阴极外套的存在,相当于把电场的畸变部分“转移到”外套边缘。如果没有阴极外套,则阴极发射面前面的电场的畸变就会产生径向分量,从而严重影响电子束的发射和传输。事实上,阴极外套起着聚束极的作用。

综上所述,在 ELV-8 型加速器中,电子束为近似的层流束。电子枪的平面电极(外套)起着聚束极的作用。正是有了阴极外套,才使得阴极发射面前面的电场为沿轴向的均匀场,加速器的电子光学系统才对初始条件不敏感,这便于电子枪的替换。加速器由于采用了变梯度场的聚焦方法,因而省去了一般加速器预聚焦系统所需的一套高压源及其调整机构。

参考文献:

- [1] Abramyan E A. Industrial electron accelerators and applications[M]. Washington: Hemisphere, 1988
- [2] Hemmingsfeldt W B. Electron trajectory program [CP]. Stanford Linear Accelerator Center, 1979
- [3] 粒子加速器及其应用[M]. 重庆:科学技术文献出版社重庆分社, 1980 (Particle accelerators and applications Chongqing: Literature of Science and Technology Press, Chongqing Branch, 1980)
- [4] Miller R B. An introduction to the physics of intense charged particle beams[M]. New York: Plenum Press, 1982
- [5] Langmuir Irving. Electrical discharge in gases[J]. *Review of Modern Physics*, 1931, 3(2): 450
- [6] 应根裕. 电子光学[M]. 北京:清华大学出版社, 1984 (Ying G Y. Electron optics Beijing: Tsinghua University Press, 1984)

Research on the electron optical characteristic of ELV-8 accelerating tube

CHEN Si-fu¹, YN Xue-jun², LIU Zhen-hao², ZHANG Zhong-fa², ZHEN Wei², XU Zong-bao²

(1. Institute of Fluid Physics, CAEP, P. O. Box 919-106, Mianyang, 621900, P. R. China;

2. Institute of Modern Physics, the Chinese Academy of Sciences, P. O. Box 31-18, Lanzhou 730000, China)

Abstract ELV-8 accelerator uses flat lanthanum hexaboride as the cathode. The accelerating tube consists of alternating gradient section and equigradient section. Focusing of electron is completed by electrical fields of alternating gradient, which makes electron beam a laminar beam. The flat electrode of the electron gun makes the electrical fields before the gun uniform, so the electron optical characteristic of the accelerating tube is not sensitive to the initial condition and the replacement of electron gun is convenient.

Key words: ELV-8 accelerating tube; lanthanum hexaboride cathode; alternating gradient accelerating tube