

# 串列加速器头部电极改进方案

闫芳<sup>1;1)</sup> 关退令<sup>1</sup> 贺新福<sup>1,2</sup> 樊胜<sup>1,2</sup>

1 (中国原子能科学研究院 北京 102413)

2 (上海大学射线研究所 上海 201800)

**摘要** 通过改变头部电极的局部形状来改善头部电场,运用 Poisson 程序计算几种可能形状下表面电场的分布,并以此给出最佳的改进方案.

**关键词** 头部电极 静电场 均压环

## 1 引言

中国原子能科学研究院的 HI-13 串列加速器于 1987 年 10 月正式运行至今<sup>[1]</sup>, 头部打火一直是制约头部电压提升的重要原因. 加速管改进后进一步提高头部电压的办法可以考虑用两种途径, 一种是加中间电极(即所谓的 Portico), 另一种是改变加速器头部电极的形状以降低头部的最大表面电场.

由于安装中间电极缺乏成功的经验(只有耶鲁大学一家, 且他们还是将头部两侧的加速管由 4 段改为 5 段, 加大了钢筒的直径和长度), 而且在安装和运行中存在诸多弊端和结果的不确定性, 具有较大的风险, 而通过改变头部电极的局部形状来提高头部电压相对风险则要小得多, 最终还是决定采用改变头部电极形状的途径来提高头部电压. 本文就是在这种前提下, 对 HI-13 串列加速器头部电极的结构和尺寸作了进一步设计, 对其与头部最高表面电场的关系作了详细地计算和分析, 给出了最佳改进方案.

### 1.1 加速器的基本情况

HI-13 串列加速器具有轴对称结构, 钢筒外壳接地, 为开放式鼠笼电极结构, 紧挨着电极棒的是 6 个等压环, 头部两边各有 4 个加速管, 低能段为 4 个 243.83+223.52+223.52+223.52cm 的组合, 高能段为 4 个 223.52+223.52+223.52+223.52cm 的组合. 加速器头部最高电压可以达到 15MV<sup>[2]</sup>.

加速管以及死区上每隔 7.62cm 有一个均压环, 头

部两边分别有 120 个均压环. 串列加速器主体结构简图见图 1.

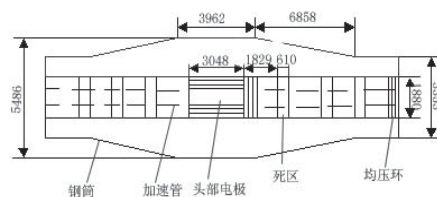


图 1 串列加速器主体结构简图<sup>[3]</sup>

加速器主体半长为 10668mm (420"), 钢筒最大半径 2743mm (108"), 均压环外径 940mm (37"), 头部电极棒截面半径 15mm (0.6"), 均压环截面半径 19mm (0.75")<sup>[3]</sup>.

### 1.2 头部区域电场计算

本工作采用 Superfish 软件包中的 Poisson 软件对头部的表面电场进行计算, 由于加速器具有对称性, 选取头部电极的一半以及高能加速区为计算区域, 经过初算表明, 头部电极表面电场基本均匀, 头部等位环(图 3, T5—0#)以及均压环的表面电场由于局部曲率突变而发生畸变, 最后一个等压环由于附近均压环局部曲率以及电位两个突变, 电场畸变非常大, 其他均压环上的表面电场由于同样原因发生畸变, 数值渐次减小, 因此取头部电极的一半以及第 5 个加速管作为细算区, 以加速器中心为原点, 图 2 是通过计算得出头部电极以及附近 30 根均压环表面电场分布的曲线.

计算的结果是表面电场在最后一个等压环 (0#) 上有最大值, 为  $E_m = 2.4156 \times 10^5$  (V/cm).

1) E-mail: yf991@iris.ciae.ac.cn

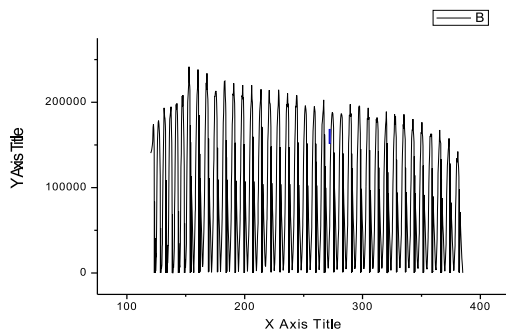


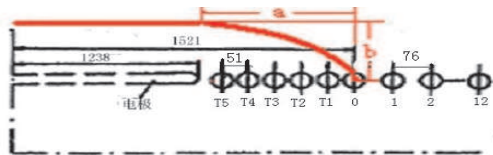
图2 目前头部电极表面电场的分布

## 2 改进方案

### 2.1 第一步, 改变头部尺寸

根据基本的原理, 圆柱形高压电极的直径(也即头部电极的外径), 与钢筒内径的最佳比值是 $1/e$ . 经过讨论决定将头部的开放式鼠笼结构改造成一个闭合的整体, 并延长至0#等压环, 即将头部电极边缘的部分依椭圆的形状延长并取代原来的等压环, 轴向椭圆的曲率先参考改造后的布鲁海文国家实验室的MP-7串列加速器, 取为 $a:b$ 等于 $35.56:12.7\text{cm}$ .

布鲁海文国家实验室的MP-7串列加速器, 其钢筒和高压电极的形状和我们的接近, 而钢筒内径与头部电极尺寸与我们的一样. 图3显示改造前后头部结构简图, 其中细线是HI-13串列头部现有装置的结构, 粗线是改造后的形状.

图3 改造前后头部结构简图<sup>[3]</sup>

在这一条件下, 将头部电极的外径分别取为 $104.14\text{cm}$ (由于头部边缘椭圆短轴为 $12.7\text{cm}$ 的限制, 头部电极的外径最大只能取 $104.14\text{cm}$ ),  $102.87\text{cm}$ ,  $101.6\text{cm}$ ,  $100.8\text{cm}$ (与钢筒内径的比最接近 $1/e$ ),  $100.3\text{cm}$ ,  $99.06\text{cm}$ .

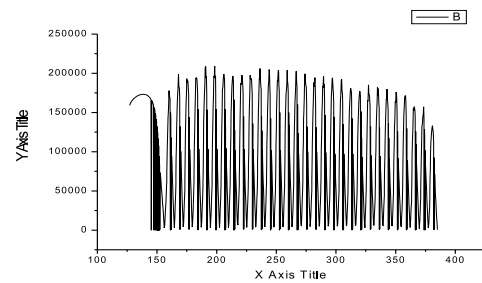
从结果分析: 均压环尺寸不动, 去掉6个等压环, 可使头部附近的场强有一个整体的下降. 而且头部电极的外径越小, 头部电极局部的场强会随之减小, 但峰值场强却有所增加, 所以在不改变均压环尺寸的情况下, 取能使峰值场强达到最小值时

的尺寸, 即头部半径取 $104.14\text{cm}$ , 场强取得最小值:  $E_m = 2.1128 \times 10^5 (\text{V/cm})$ .

### 2.2 均压环不变, 改变头部边缘的曲率

由上可知, 均压环不变时最好的方案为头部半径为 $104.14\text{cm}$ , 以上计算中头部边缘为椭圆的一段, 其曲率 $a:b$ 分别为 $35.56:12.7\text{cm}$ , 将长轴长由 $35.56\text{cm}$ 分别改为 $33.02\text{cm}$ ,  $30.48\text{cm}$ ,  $27.94\text{cm}$ ,  $25.4\text{cm}$ ,  $22.86\text{cm}$ , 这样做的目的是为了寻求使得边缘的曲率与圆的曲率更相近的方案.

由结果分析, 长轴的尺寸越小头部局部的场强越大, 这是因为头部边缘的椭圆曲率变大所致, 峰值场强到椭圆长轴为 $25.4\text{cm}$ 的时候达到最小, 为 $2.0931 \times 10^5 (\text{V/cm})$ , 这是改变头部形状而不改变均压环的尺寸取得的最小场强峰值, 表面电场的分布见图4.

图4 头部边缘的椭圆长轴改为 $25.4\text{cm}$ 时表面电场的分布

### 2.3 改变头部形状, 同时改变均压环的形状

在其他条件都没有改变的情况下, 改变1#—5#均压环的曲率 $2a:2b$ 分别为 $5.08:3.05\text{cm}$ ,  $4.57:3.05\text{cm}$ ,  $3.81:3.05\text{cm}$ , 由结果分析, 椭圆曲率改造成 $5.08:3.05\text{cm}$ 时局部的场强最小. 因此在同时改变均压环尺寸以及头部形状的前提下, 要取能使头部电极局部场强达到最小值时的尺寸, 而峰值场强通过改变均压环的形状来加以改善, 即头部半径的尺寸取 $101.6\text{cm}$ 的时候, 将均压环的曲率从直径为 $3.81\text{cm}$ 的圆改变为 $2a:2b$ 等于 $5.08:3.05\text{cm}$ 的椭圆, 先从改变第1个均压环开始, 依次改变前2个, 前3个, 前4个...

在改变以前峰值场强为 $2.1451 \times 10^5 (\text{V/cm})$ 的情况下; 由计算结果分析, 前3个均压环改为椭圆以后, 由于和头部边缘曲率的差异, 电场反而有所增加, 当改变到第4个均压环场强才有所减少, 最大场强均出现在下一个均压环上, 也就是说改变了均压环的形状只能改变该均压环上的表面场强, 对整体场强的影响

不大, 由上面的结果可以看出最佳的方案是将尽可能多的均压环改成椭圆形状, 到底要改变多少个还要视改造的难度以及需要花费经费的多少而定. 以上给出的场强结果只是在相同条件下的一个相对值, 在 Poisson 计算的过程中只有将所有的均压环画出才可以给出确切的答案.

#### 2.4 改变头部边缘椭圆的曲率

以上改变是在头部曲率为  $35.56\text{cm} \times 12.7\text{cm}$  的基础上对均压环的改造. 在改变 16 个均压环曲率的基础上, 分别将头部边缘椭圆的长轴改变为  $33.02\text{cm}$ ,  $30.48\text{cm}$ ,  $27.94\text{cm}$ ,  $25.4\text{cm}$ , 分析结果显示, 椭圆长轴取  $35.56\text{cm}$  的时候会取得最小场强值, 为  $1.9578 \times 10^5 (\text{V/cm})$ .

### 3 总结

综上所述, 目前头部电极的形状为开放式鼠笼结构, 均压环外径  $94\text{cm}$ , 高能端有 6 个 (T5—0#) 等压环, 以后每隔  $7.62\text{cm}$  一个均压环, 在最后一个等压环 (0#) 上场强有最大值, 为  $E_m = 2.4156 \times 10^5 (\text{V/cm})$ .

如果均压环的尺寸不变, 将头部半径取为  $104.14\text{cm}$ , 头部边缘椭圆长轴为  $25.4\text{cm}$ , 短轴为  $12.7\text{cm}$  的时候, 均压环上的场强达到最小, 为  $2.0931 \times 10^5 (\text{V/cm})$ ; 如果同时改变均压环的尺寸, 则将头部半径改为  $101.6\text{cm}$ , 头部边缘椭圆长轴取  $35.56\text{cm}$ , 短轴为  $12.7\text{cm}$  同时将尽可能多的均压环改为  $5.08:3.05\text{cm}$  的椭圆的时候会取得最小场强值.

#### 参考文献(References)

- 1 ZHANG Gui-Lian, QING Jiu-Chang, HOU De-Yi et al. Atomic Energy Science and Technology, 1996, **30**(30): 207—213(in Chinese)  
(张桂莲, 秦久昌, 侯德义. 原子能科学技术, 1996, **30**(30): 207—213)
- 2 YANG Bin-Fan, QING Jiu-Chang, ZHANG Gui-Lian et al.

- Atomic Energy Science and Technology, 2003, **37**(6): 513—518 (in Chinese)  
(杨丙凡, 秦久昌, 张桂莲等. 原子能科学技术, 2003, **37**(6): 513—518)
- 3 LI Tao, GUAN Xia-ling. Atomic Energy Science and Technology, 1995, **27**(5): 396—400(in Chinese)  
(李涛, 关遐令. 原子能科学技术, 1995, **27**(5): 396—400)

## Modification Project of the Terminal Electrode of the HI-13 Tandem Accelerator

YAN Fang<sup>1,1)</sup> GUAN Xia-Ling<sup>1</sup> HE Xin-Fu<sup>1,2</sup> FAN Sheng<sup>1,2</sup>

1 (China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

2 (Shanghai Applied Radiation Institute, Shanghai University, Shanghai 201800, China)

**Abstract** To improve the configuration of the terminal electrostatic field by modifying the shape of the terminal electrode, a calculation of the surface electrostatic field distributing for several possible shapes was done using Poisson code, and provide the optimum modification constructions.

**Key words** terminal electrode, electrostatic field, equi-potential ring

1) E-mail: yf991@iris.ciae.ac.cn