

电子静电加速器用的一种电子枪

中国科学院原子能研究所

提 要

研究了灯丝直接处在均匀场内的电子枪,在不同的栅极形状下测定了它的聚焦性能,最后确定一种在结构上比较简单、制造容易、安装和调整较为方便的电子枪。对这种枪的工作状态和特性进行了分析和测量。

经过运行证明:这种枪能满足一般电子静电加速器的要求。当加速器的电压为1.3兆伏时,可以供给大于100微安的电子流,在离开电子枪1.7米的靶上得到电子束直径约为4—5毫米。

一、引 言

电子静电加速器中所加速的电子是由一个电子枪来供给的,对电子枪一般有这样一些要求:

1. 能供给100微安—10毫安左右的电子流;
2. 电子束要会聚得相当平直和细小,束的直径至少小于10毫米;
3. 工作必须可靠,阴极寿命应大于300小时;
4. 要求制造、调整、控制简单方便。

要满足这些要求的某一方面是比较容易的,但在同一枪上要满足所有的要求,仍然有相当多的选择和考虑。

早期电子静电加速器所用电子枪,都是根据各自特点进行设计的^[1,2]。通常加速管中加速电极采用的是圆筒型或平板型的,从电子光学观点看来,这二种电极都构成透镜系统^[1,3],因此当靶的位置以及加速管的尺寸固定时,如果要求在靶上成象,那末电子枪的位置也就一定了,这就是匹配问题。当加速管和电子枪作为单独元件考虑时,必须注意到匹配问题,否则聚焦情况不会有预期的结果。

1947年比斯曼(Buechmen)^[4]等采用了灯丝直接处于均匀场内的电子枪,得到了比较满意的结果,这种枪因为灯丝直接处在均匀场内,因此不发生任何匹配问题。据作者叙述,它可以当作具有很小初速度的电子在均匀场内加速,因此是沿着抛物线运动;加速管出口处的散焦透镜对高能电子的作用很小,可以不予考虑。这样,靶上象点就是被等梯度场放大的灯丝发射面积。电子初速愈小,加速管中电场强度愈大,放大率愈小。

但我们的实验表明,阴极作为发射电子的“物”处在场内,尽管在结构上采取了种种措施,使原来均匀场畸变不致太大,但在灯丝附近的电场仍然不免有或大或小的改变。正是这些区域的电场影响电子运动轨迹最大。如果不考虑这些影响,就可能得不到聚焦良好的电子束。

本文主要目的是从桌上试验,观察处在均匀场中的“V型细钨丝阴极电子枪”,在不同栅孔形状、灯丝位置、栅极厚度、栅孔尺寸时,阴极附近的电场变化对电子束聚焦性能的影响。确定了满足加速器工作要求的电子枪结构尺寸,给出了公差范围。为了进一步明确电子枪的工作状态,进行了电解槽测电位和描绘电子运动轨迹的工作。为了配合加速器运行,进行了灯丝寿命和电子流控制性能的实验,最后列出了这种枪在加速器上运行情况的数据。

二、实验装置简述

装置分成四部分(图 1):

1. 真空系统: 真空度可达 1×10^{-6} 毫米水银柱。
2. 高压系统: 用一级倍压线路, 能产生 0—30 千伏的高压。
3. 测量、加速及观察系统: 测量系统包括加热电流、发射电流、阳极接受电流、栅偏压等表

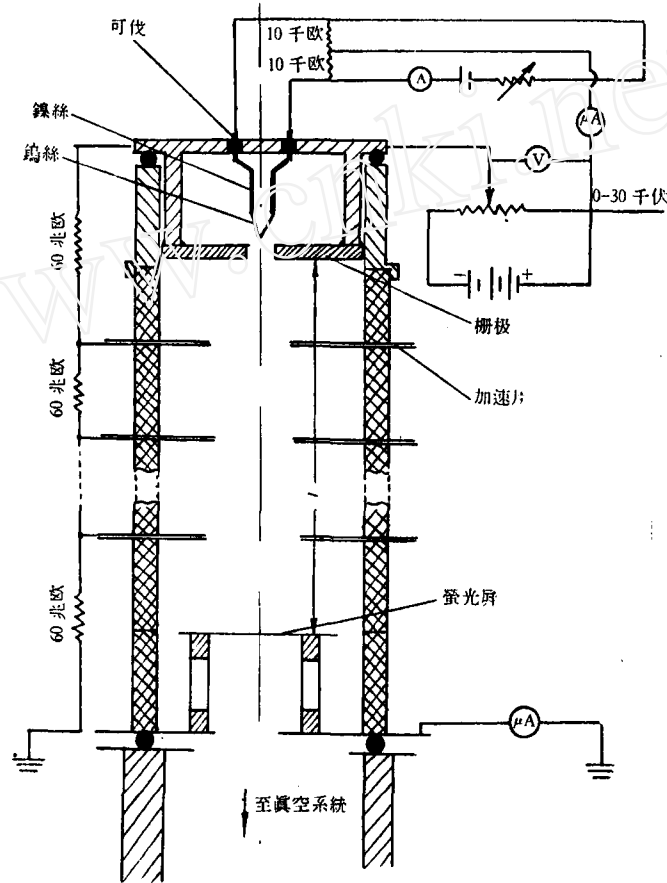


图 1 实验装置简图

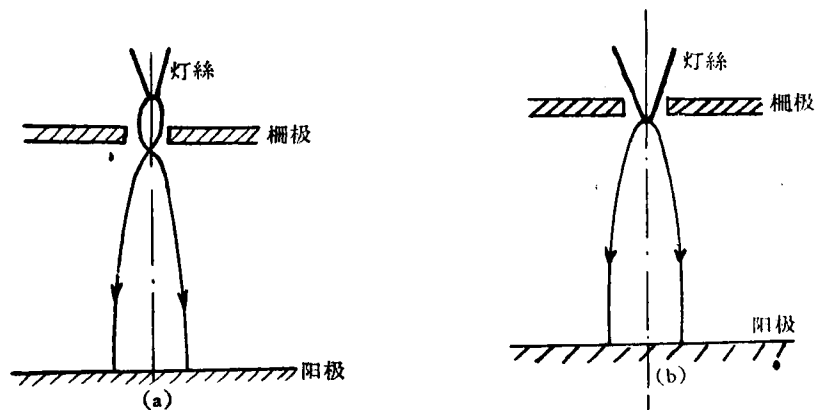


图 2 电子束聚焦简图

計。加速系統用平板电极組成，經過电阻均匀分压，观察系統包括荧光屏，屏幕上帶有刻度，可直接讀出电子束点的大小。因荧光屏用金属材料制成，且直接处在強电场中，所以打在屏幕上的电子全部可以經過阳极接受电流表讀出。

4. 电子鎗部份：包括紫銅柵极和鎢絲阴极，鎢絲与鎢絲采用点焊联接，用可伐作引出綫。

因为一般电子束聚焦情况如图 2 a 或 2 b 所示，即电子束在柵孔附近形成交叉点后发散至荧光屏，或一开始就发散，所以从这装置中，在固定 l 的情况下，可以判断电子束聚焦情况。利用此装置(在 l 不同的情况下)进行了以下各部份实验。

三、柵极形状对聚焦的影响

我們对不同柵极厚度 b 、张角 θ 、柵孔 D 及台阶厚度 a (图 3) 等的影响(在固定 $l = 80$ 毫米时)作了試驗。在試驗結果中发现这类鎗(平板柵极形状)具有一些共同的特性。这些特性为：

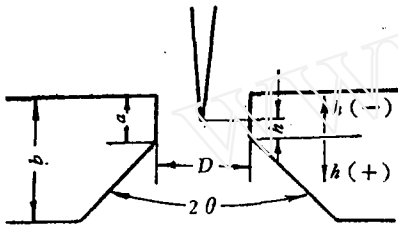


图 3 柵极附近形状和符号

1. 当柵偏压为零、加速管内电场强度 E 保持較大的数值时，改变灯絲与柵极距离，发现靶上束的直径 d 具有一最小值(图 4)。

2. 当柵偏压为零，而 h 不同时，束径 d 与加速电场强度 E 的关系如下(图 5)：

当 $h < h_{最佳}$ 时，則 d 随 E 的上升而变大，逐渐趋于恆定值。

当 $h > h_{最佳}$ 时，則 d 随 E 的上升而变小，逐渐趋于恆定值。

在这二者之間具有临界位置，此时直径 d 与 E 的关系不显著。

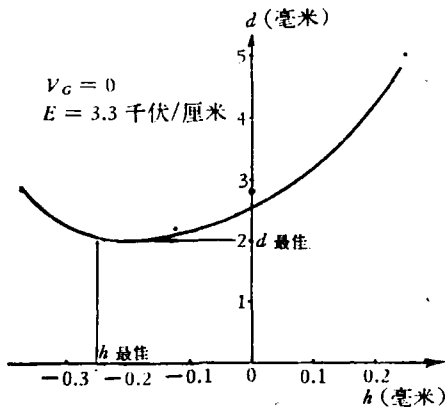


图 4 束径 d 与 h 关系曲线

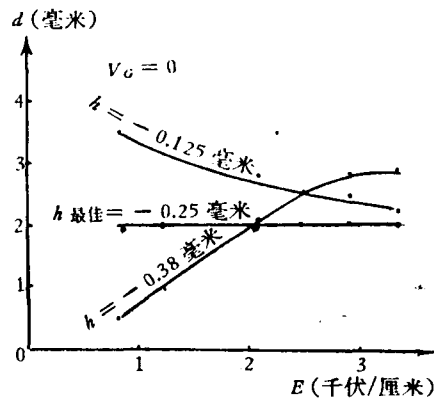


图 5 束径 d 与加速电场强度 E 的关系

3. E 为常数时，束径 d 随柵压 $|V_G|$ 的增大而变小(我們实验中都是用負柵压)，见图 6。

4. 发射电流 I_e 与加速场强度 E 和柵极电压 $|V_G|$ 的关系，与普通的三极管特性差不多(图 7, 图 8)。

5. 截止偏压 (V_G^*) 与第一片加速片的电压 V_{a1} 的比值和灯絲距柵极位置的关系，基本上是一直线(图 9)。

6. 发射电流 I_e 与加热电流 I_f 的关系，随加热电流的增加而增加，但在某一范围内基本上是綫性关系(图 10)。

7. 在任何 h 下，束径 d 随 l 的增加而增大，但增长速率随 l 的增加而变慢(图 11)。

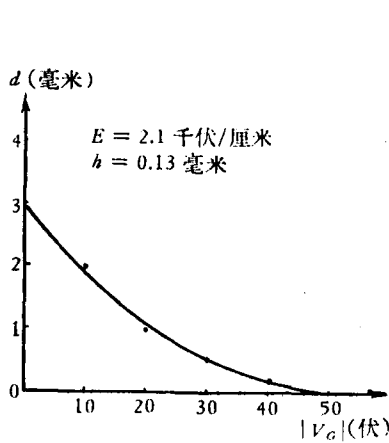


图 6 束径 d 与相压 V_G 的关系

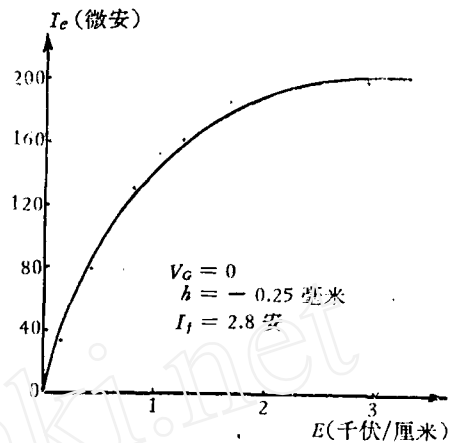


图 7 I_e 与 E 的关系曲线 (I_f 为加热电流)

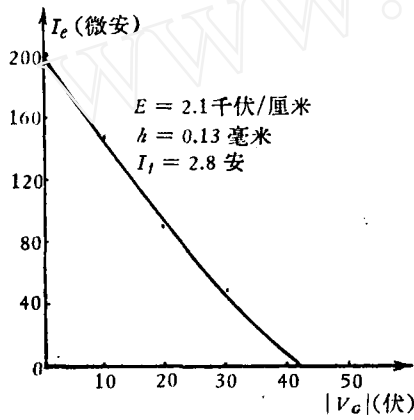


图 8 I_e 与 V_G 的关系曲线

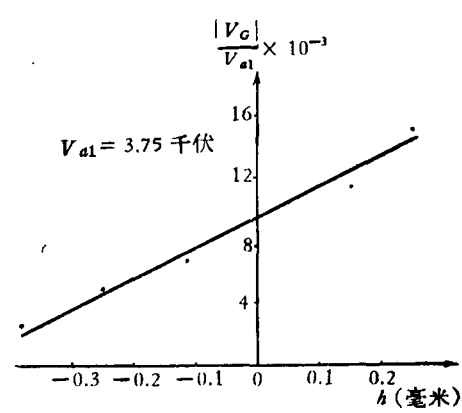


图 9 $\frac{|V_G|}{V_{a1}}$ 与 h 的关系曲线

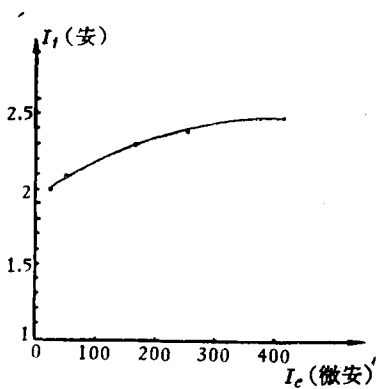


图 10 加热电流 I_f 与发射电流 I_e 的关系曲线

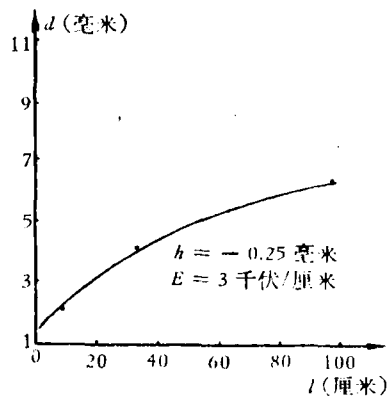


图 11 束径 d 与长度 l 的关系

不同栅极形状,除了这些共有的特性外,在对聚焦性能影响上是不相同的,今分述于后:

I. 厚度 b 对聚焦性能的影响

我们共做了五个不同厚度,从这些实验结果可以得到以下结论:

1. 在其他条件不变的情况下,厚度愈厚,在 $h_{最佳}$ 时,获得束的直径愈小. 当 $b > 2$ 毫米

时,厚度对最佳聚焦情况影响不显著; $b < 2$ 毫米时,则影响显著,此结论可从表1得到。

表1 厚度对聚焦影响

b (毫米)	2	3.12	0.8	3	5
D (毫米)	0.97	0.97	~1.2	1.22	1.17
$h_{最佳}$ (毫米)	-0.25	-0.25	+0.19	-0.125	-0.125
$d_{最佳}$ (毫米)	2.2	<2	5	2.8	2.5

2. 在其他条件不变的情况下,厚度愈厚, h 的位置愈不临界(表2)。

表2 厚度与临界位置关系

b (毫米)	2	3.12	0.8	3	5
D (毫米)	0.97	0.97	~1.2	1.22	1.17
Δd (毫米)	+1	+1	+1	+1	+1
Δh (毫米)*	-0.13 -0.1	+0.33 -0.18	+0.1 -0.05	+0.05 -0.08	+0.13 -0.1

* 此处 Δh 指束径 d 增大 1 毫米, h 允许变动的范围。

II. 张角 θ 对聚焦性能的影响

我们共进行了五种不同角度试验(从 -45° 到 $+67.5^\circ$),从这些实验结果可得到下面结论:

1. 在其他条件相同的情况下($b = 0.8$ 毫米, $D = 1.2$ 毫米), θ 从 -45° 到 $+30^\circ$ 之间聚焦性能不好,在 $h_{最佳}$ 时束的直径 $d > 6.5$ 毫米。在 45° 到 67.5° 之间,角度对聚焦性能影响不大(表3)。

表3 张角对聚焦的影响

θ°	-45°	0°	30°	45°	67.5°
$h_{最佳}$ (毫米)	-0.38	-0.38	-0.17	-0.2	-0.19
d (毫米)	6小 \rightarrow 大*	4小 \rightarrow 大	6.5	5	5
Δd (毫米)	+1	+1	+1	+1	+1
Δh (毫米)	-0.06	0.13	+0.03 -0.09	+0.08 -0.25	+0.08 -0.17
备注	d 无最小值	d 无最小值			

* 小 \rightarrow 大表示束径随加速电场强度的增加,有显著增加的趋势。

但是为了进一步肯定 45° 及 67.5° 的性能,曾对 $D = 1.3$ 毫米, $b = 3$ 毫米, $a = 0.7$ 毫米, θ 分别为 45° 和 67.5° 的二种铳进行了试验比较,实验证明 67.5° 的铳较 45° 的铳在性能上比较优越。

2. θ 为 45° 及 67.5° 的二种铳,在 $h_{最佳}$ 附近栅压在某一范围内变化时,对聚焦性能影响不大,即当 $\frac{|V_G|}{V_{a1}^*} < 0.4\%$ 时,束径 d 不随 V_G 的改变而改变。

* V_{a1} 指第一片加速片的电压。

III. 孔径大小对聚焦性能的影响

我們做了在 $\theta = 67.5^\circ$, $b = 1.36$ 毫米时, $D = 0.7$ 毫米、1.46 毫米、2 毫米三种不同孔径对聚焦的影响, 从这实验结果可以得到下述结论:

1. 在相同条件下, 孔径愈小, 在 $h_{最佳}$ 时得到的聚焦性能愈好.
2. 在相同条件下, 孔径愈小, 聚焦随 h 的变化愈不灵敏, 即可给出较大的公差范围(见表 4).

表 4 聚焦与孔径关系

D (毫米)	0.7	1.46	2.0
$h_{最佳}$ (毫米)	0	0	0
d (毫米)	2.5	3	6.2
Δd (毫米)	+1	+1.2	+1
Δh (毫米)	-0.5 +0.5	+0.28 -0.08	+0.15 -0.25

IV. 台阶对聚焦性能的影响

我們固定了孔径 $D = 0.9$ 毫米, 厚度 $b = 3$ 毫米, $\theta = 67.5^\circ$ 的尺寸, 改变台阶 a 的大小, 观察聚焦的变化. 实验结果见表 5.

表 5 台阶厚度对聚焦影响

a (毫米)	2.01	1.64	0.77	0
$h_{最佳}$ (毫米)	-0.075	-0.25	-0.125	-0.125
d (毫米)	3	2.5	2	2
Δd (毫米)	+1	+1	+1	+1
Δh (毫米)	+0.06 -0.18	+0.18 -0.17	+0.13 -0.25	+0.1 -0.25

从实验结果可以看到, 台阶过厚对于聚焦性能以及允许公差范围都是不利的. 一般说来, 台阶厚度在 0—0.8 毫米之间能给出较大的公差和比较良好的聚焦性能.

V. 薄板栅极不同孔径时对聚焦的影响

为了减少栅极结构形状的复杂性, 我们曾试验过用薄板栅极, 在不同孔径下观察它的聚焦性能. 所用薄板厚度 $b = 0.1$ 毫米, 对三种不同孔径 $D = 0.8$ 毫米、1.1 毫米及 1.5 毫米做了试验. 试验结果示于表 6 中.

从这实验中可以得到结论: 利用薄板作为栅极时, 在聚焦性能上是很难满足要求的.

VI. 特性曲线及栅极的公差

根据我们这些实验结果, 我们选定了一种栅极形状(图 12), 这种枪在桌上试验时得到比较满意的结果, 同时对这枪做了一系列的特性试验. 试验结果表示于图 5—12 中.

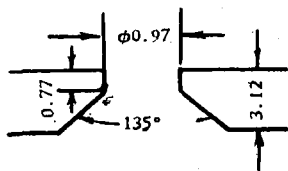


图 12

表 6 薄板栅极的聚焦性能

D (毫米)	0.8	1.1	1.5
d (毫米)	8	9.5	11

对这些曲线,我们有以下各点解释:

1. $I_e = f(E)$ 的关系:

当 V_c, I_f 为常数时,曲线由二部分组成,前一部份运行于 $3/2$ 次方区域,至某一阳极电压时,运行于发射面积改变及萧塔基效应区域。

2. 电子束聚焦性能与 h 的关系:

当 $h < -0.25$ 毫米时,它在栅极附近形成一聚焦透镜,使电子发射后在栅孔附近形成一交叉点。

当 $h > -0.25$ 毫米时,在栅孔附近形成一发散透镜在二者之间有过渡阶段,这时电子束基本上是平行的运动,关于这一点于描繪軌迹时得到了证实。

3. 在 E 较小时,电子束直径随加速电场强度 E 变动的原由:

按 $V_c = 0$ 略去电子初速度及相对论性效应下所得到的电子运动軌迹傍轴方程,可以知道电子束的直径不应该与 E 有关,但事实上,在我们实验中,却发现与 E 有关。这可能是由于电子的初速度不为零和可能存在微小的栅偏压,当加速电场强度 E 改变时,阴极发射面积改变,增加了发射点至栅极的距离,因此使电子束的直径在 E 较小时与加速电场强度 E 的大小有关。

通过栅极形状对聚焦性能影响的实验,我们得到了一些较为有益的结论,首先肯定了比较满意的鎗的结构形状(图 12),同时初步肯定这些尺寸的范围,厚度 b 应为 3 ± 0.1 毫米,角度 θ 应在 67.5° 左右,孔径 D 应为 1 ± 0.1 毫米,灯丝距栅孔距离 $h = -0.1 \sim -0.2$ 毫米(图 13)。

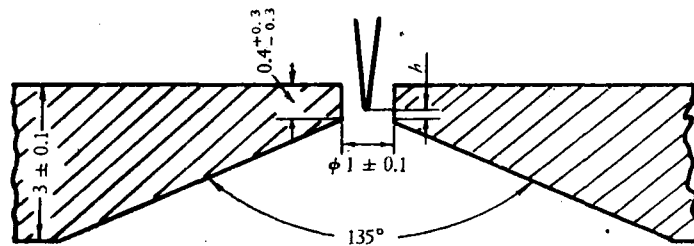


图 13 栅极的尺寸和公差范围

四、电子鎗安装时的公差要求

关于均匀场中平板栅极的孔径、厚度、角度、台阶和灯丝距栅孔位置的一些尺寸和公差在上一节中已提到了,本节中将谈到如图 14—16 所示,由于安装中轴不对称对束的軌迹影响^[5]。

为了模拟加速器上运行情况,在十二节加速管中($l = 240$ 毫米),对 $2\theta = 135^\circ$, $b = 3$ 毫米, $a = 0.7$ 毫米, $D = 0.9$ 毫米的电子鎗,在 $h = -0.13$ 毫米位置上(文献[5]指出束的偏移随 h 的变化很小),作了三种畸变对束軌道影响的实验。结果表明:

1. 束径 d 与束的偏移 x 无关(本节中所指的 x 为相对于 $t = 0, s = 0, \phi = 0$ 时束中心的偏移)。

2. 栅压对束偏移没有影响,加速场强对束的偏移的影响也不显著,故以下的实验数据中,束的中心由 $E = 1.5$ 千伏/厘米接近截止时的束点的位置来决定的。

3. 灯丝相对于栅孔的偏心对束軌道的影响由图 17 的曲线所决定,在加速器上运行时发现 $t = 0.3$ 毫米、 $E = 1.3$ 兆电子伏时,束点偏心 $x = 8$ 毫米,可见 x 大约随长度的增加而正比地增长,故于安装时 t 不应该大于 $0.1 \sim 0.2$ 毫米。特别应指出的是:灯丝加热前后灯丝位置要有一些改变,使灯丝逐渐加热和灯丝做成稍有些张开的“V”字形,这样可以减小这部分的变形。

4. 栅孔中心相对于加速管轴的偏移对束軌道的影响由图 18 的曲线所决定,由此可见 x

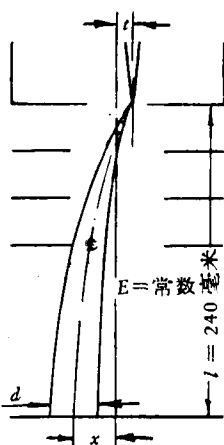


图 14 灯丝相对栅孔偏心对束轨道的影响

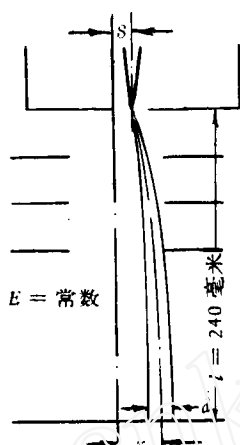


图 15 栅孔相对加速管轴偏移对束轨道的影响

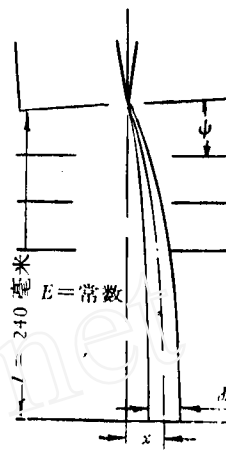


图 16 栅极平面和加速片不平时对束轨道的影响

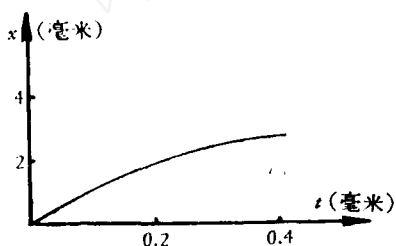


图 17 灯丝相对于栅孔的偏心 (ϵ) 对轨道的影响

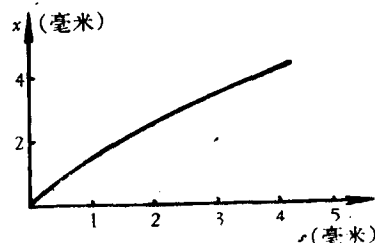


图 18 栅孔中心相对于加速管轴的偏移 (s) 对束轨道的影响

应小于 1—2 毫米。

5. 当栅极平面与加速电极平面间形成一 ψ 角, 而且 $\psi \approx 2^\circ$ 时(图16), 束偏移 x 约为 2.5 毫米, 故一般 ψ 应小于 1° 。

五、电解槽实验及轨迹描绘

为了进一步明确电子鎗的工作状态, 和比较不同栅孔及厚度对聚焦的影响, 对二种形状的栅极进行了电解槽测电位及描绘电子运动轨迹的工作。

1. 电解槽电极的尺寸及实验方法:

我们采用的是深底电解槽, 长为 1100 毫米, 宽为 500 毫米, 深为 460 毫米, 电极尺寸按实际尺寸(第一种栅极 $b = 0.9$ 毫米, $a = 0$, $D = 1.2$ 毫米, $\theta = 67.5^\circ$; 第二种栅极 $b = 3$ 毫米, $a = 0.7$ 毫米, $D = 1$ 毫米, $\theta = 67.5^\circ$) 放大五十倍; 对第一种栅极放大后, 各部分尺寸如图 19 所示。测定时所采用的电源频率是 500 周/秒, 灯丝与栅极处于同电位, 用示波器观察电桥的平衡。

2. 电位分布测定结果:

对于第一种栅极测得的结果表示于图 21 中。轴上电位分布可以用图 20 的曲线来表示。三条曲线表示三种不同的灯丝位置, 从这曲线可以看出在离开灯丝距离(e)大于 3.6 毫米处, 轴上电位分布基本上按直线分布。

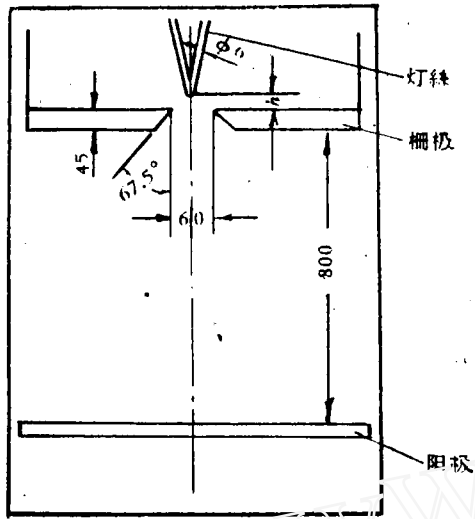


图19 放大后的电极尺寸

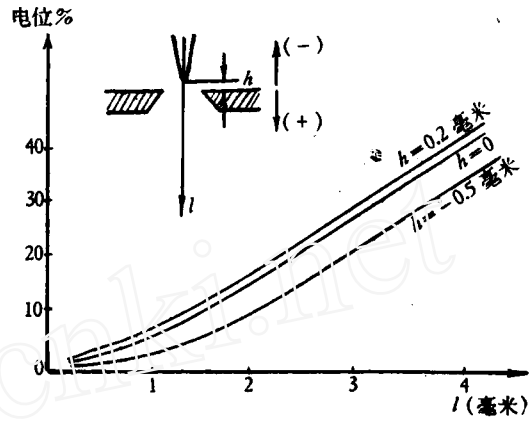


图20 轴上电位分布曲线(电位用阴极和第一片加速片之间的电位差百分值表示)

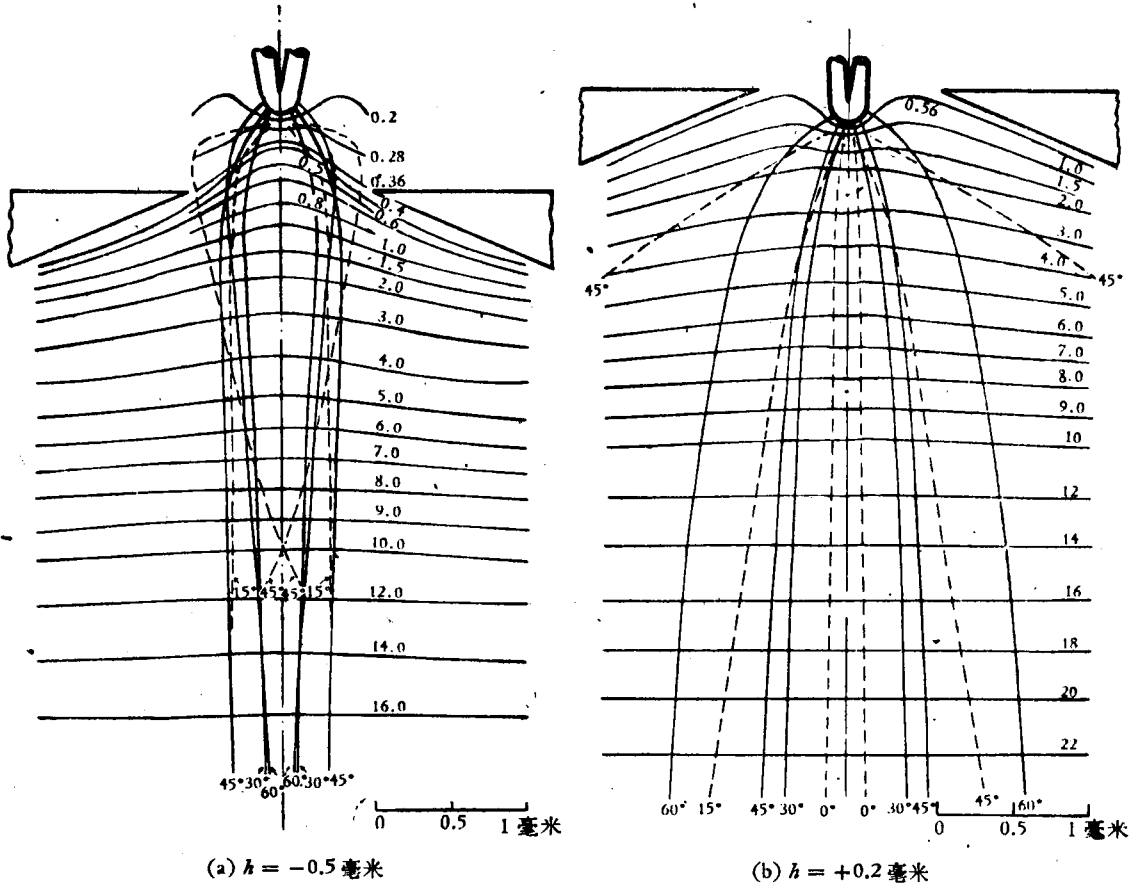


图21 电位分布及电子运动轨迹(虚线用 Gans 方法得到, 实线用图解法得到, 电子枪栅极尺寸为 $a = 0, b = 0.9$ 毫米, $D = 1.2$ 毫米)

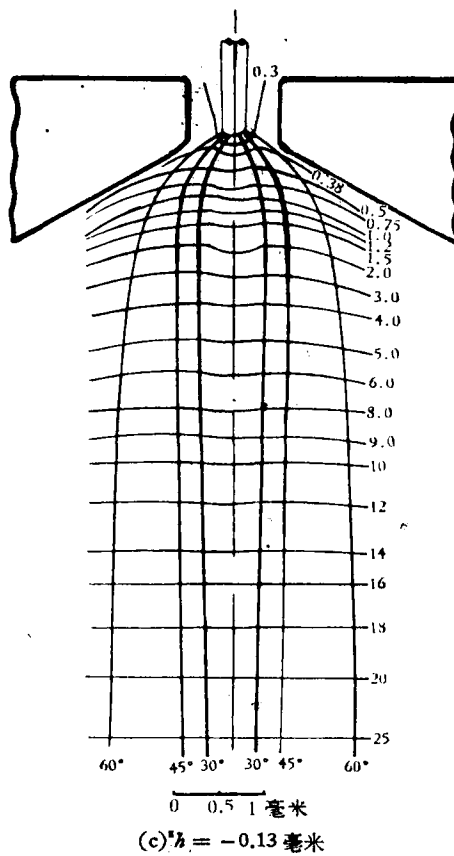
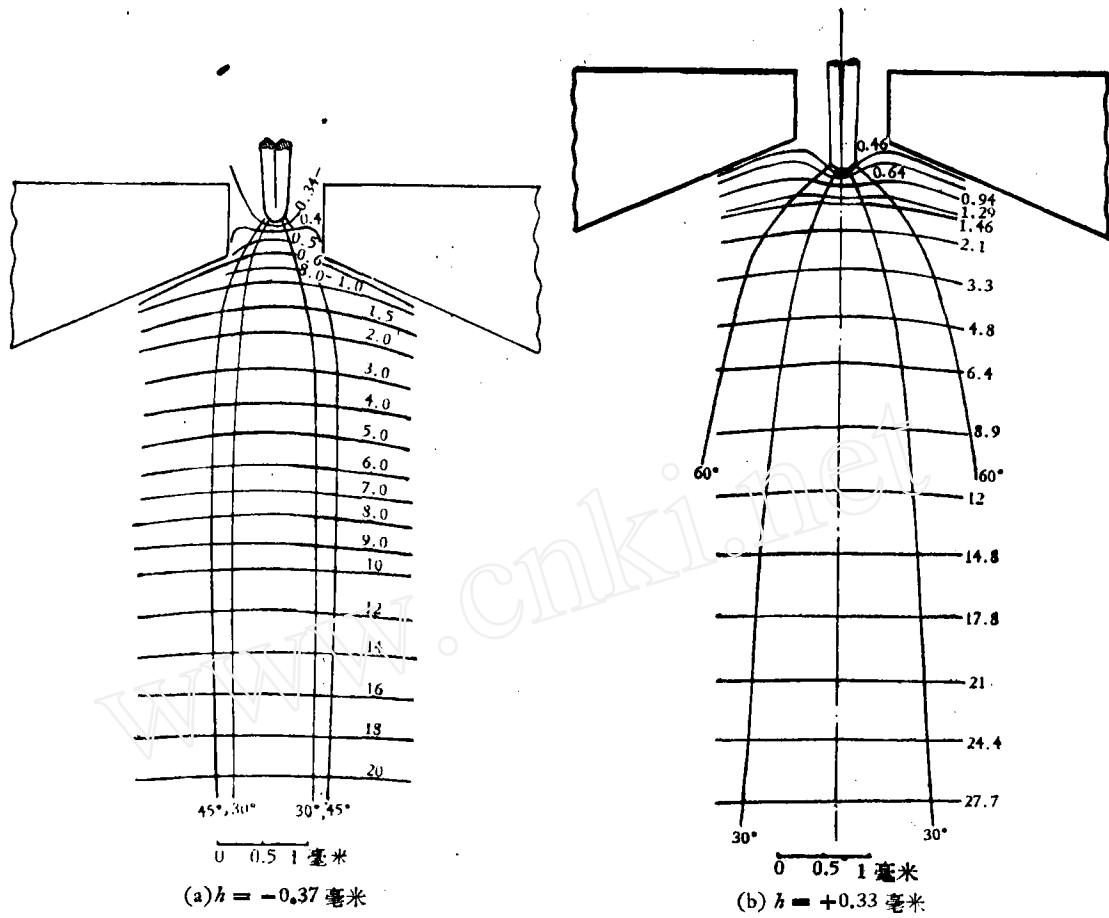


图 22 电位分布及电子运动轨迹
 ($b=3$ 毫米, $a=0.7$ 毫米, $D=1$ 毫米, $\theta=67.5^\circ$)

当 $h \geq 0$ 时, 离开阴极附近轴上电位分布基本上可以用 $V_0(x) = A_1 + B_1 x^n$ 表示, 其中 A_1, B_1, n 是常数, 仅与几何尺寸有关, A 值随 h 的增加而加大, n 为大于 1 的数, 但随 h 的增加而减小。

当 $h < 0$ 时, 阴极附近轴上电位分布可用 $V_0(x) = A_2(e^{K_1 x} - e^{-K_2 x})$ 表示, 其中 A_2, K_1, K_2 是常数, 与几何尺寸有关。后一表达式与 L. Jacob^[6] 的结果略有差异, 但基本上是一致的。

3. 轨迹的描繪:

利用测得电位分布曲线, 可以求出电子运动的轨迹。我们采用二种方法求电子运动轨迹, 一种是 Gans^[7] 的方法, 另一种是用图解法^[8]。用这二种方法求得的电子运动轨迹表示于图 21 中。从图中可以看出, 当灯丝位于栅孔内时, 电子束形成一交叉点。当灯丝位于栅孔外时, 电子束是发散的, 无交叉点存在。因此, 在这种情况下, 电子基本上是依阴极附近的发散透镜作用及依抛物线的关系而运动着。

从图 21 看出, 用 Gans 方法与用图解法得到的轨迹是有差异的, 这可能是由于 Gans 方法基于傍轴方程之上, 因此不适用于电子轨迹的切线与对称轴有较大的倾斜角的情况。

对于第二种栅极(即图 13)的形状, 在不同 h 时, 测得电位分布和描绘的电子运动轨迹表示于图 22 中。从图 22 c 可以看出, 当接近于 $h_{最佳}$ ($h = -0.13$ 毫米) 时, 电子束确实基本上是作平行运动的。从描绘轨迹结果可以计算出它在第十六节加速片处 ($l = 320$ 毫米) 束径约为 4.4 毫米, 我们直接测量得到束径约为 4 毫米, 结果基本上是一致的。

比较图 21 及 22 可以看出, 当孔径较小时, 在栅孔及灯丝附近等位线弯曲程度比较小, 因此它的散焦力小, 可以使束径较小。当厚度比较大时, 聚焦力比较强, 因此可以得到比较小的束径。

六、灯丝寿命试验

为配合加速器运行要求, 进行了灯丝寿命试验, 确定了保证寿命下加热电流的范围。

I. 影响灯丝寿命的因素

用钨丝作为阴极的情况下, 影响寿命的因素主要有二: 即蒸发和离子轰击造成溅射。

根据卡古诺夫 (Г. А. Тягунов)^[9], 蒸发速率用

$$\frac{dM_1}{dt} = BT^n e^{-\frac{\epsilon_n}{KT}}$$

表示, 其中 B, n, ϵ_n ——常数; K ——波尔兹曼常数; T ——绝对温度。溅射率用

$$\frac{dM_2}{dt} = a p i_e (\bar{V} - V_0)$$

表示, 其中 i_e ——电子流; a ——常数; p ——气压; V_0 ——起始溅射电压; \bar{V} ——离子达到阴极表面前的有效电压。

II. 灯丝寿命试验结果

针对上述二种影响因素进行了二项试验, 试验结果如下:

1. 蒸发试验: 采用直径为 0.13 毫米的钨丝, 保持加热电流恒定及真空度一定, 加速电压 = 0, 试验结果表示于图 23。从实验曲线看来, 此结果与按普通电子管寿命计算^[10, 11]所得的曲线在趋势上是一致的, 但在数值上有所不同。我们认为这是由于两者散热情况不同, 而导致温度的差异所引起的结果。

2. 蒸发与溅射同时作用的结果: 采用钨丝直径为 0.13 毫米, 保持加热电流恒定, 在不同

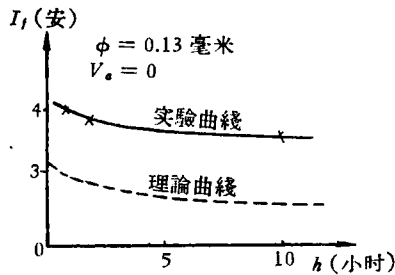


图 23 蒸发寿命曲线

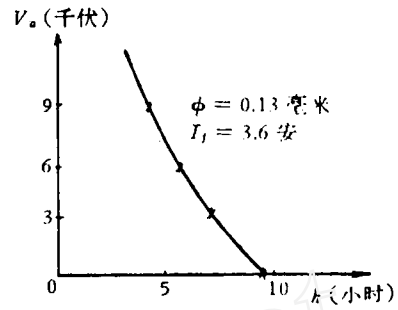


图 24 蒸发、溅射作用曲线

加速电压下观察烧毁时间，所得结果表示于图 24 中。此结论与理论推导的曲线趋势是一致的。

从上述实验结果可以看出，当鎗丝直径为 0.13 毫米时，只要我们保持加热电流较 3.6 安小很多时，就可以保证足够长的寿命（由于曲线后面部分变平的关系）。事实上，在加速器上运行时，加热电流控制在 2.2—3.0 安之间，因此要达到所要求的寿命是并不困难的。若欲进一步延长寿命，可采用较粗的鎗丝，但此时需要较大的加热电流。

七、发射电流控制问题

发射电流通常用二种方法控制，即控制栅偏压和控制加热电流。我们采用的是后一种方法。在我们的运行条件下（电子流在 30—250 微安间），灯丝电流的可控性约为 40—50 微安/0.1 安（图 11），基本上是线性关系。从加速器运行情况看来，控制情况良好。这里必须指出：如果采用栅偏压控制方法，在我们的实验中证明它会对聚焦发生影响，而利用控制加热电流方法不存在这样的问题。

八、加速器的运行情况和一些问题

我们在高电压型静电加速器上进行了试验。由电子鎗出来的电子经过加速管（长约 900 毫米）加速和直管（长约 700 毫米）漂移打在靶上。加速管由 44 片加速电极组成，用电量针尖分压。为了观察束的聚焦情况，在直管出口处封以 8.6 毫克/厘米²的铝箔，距铝箔下 1 厘米处置一铜片，上面放一方格纸，电子穿过铝箔后打在纸上形成焦点¹⁾，可方便地量得聚焦情况。

对这种鎗（ $2\theta = 135^\circ$ ， $b = 1.2$ 毫米， $D = 1.2$ 毫米， $a = 0$ ）进行了加速器运转试验，结果表示于表 7 中。

电子束打在方格纸上所形成的焦点如图 25 所示。

表 7 在加速器上试验的结果

E (能量)兆电子伏	0.2	0.9	1.1	1.2	1.25	1.3
$I^{(1)}$ (穿过纸的电流)微安	—	20	15	50	30	20
t (运行时间) 秒	—	30	30	75	30	30
d (纸上焦点)毫米	6—7	5—6	4—5	5	3.5—4	4

1) 由于电子在铝箔和空气中的散射，以及方格纸烧焦后范围扩大，故方格纸上焦点比实际束截面偏大。
2) 此电流为实验时打在铜片上电流，靶上电流可大于 100 微安。

在加速器上运转时应注意到下列问题:

1. 栅孔加工光洁度要求较高,否则栅孔附近电场畸变会大大影响电子束的聚焦性能。
2. 栅孔孔径不应过小,因加速器运行时会振动,易造成灯丝和栅极相碰,使灯丝和栅孔短路和碰断。
3. 栅极电位最好能如图 1 的接法,这样可使栅极电位和灯丝电位基本上一致。
4. 加速器运行时真空度应高于 8×10^{-5} 毫米水银柱,否则聚焦情况不会良好。
5. 灯丝长度不宜过长,过长则在加热后易造成变形,我们采用的钨丝总长度不超过 10 毫米。

九、聚焦性能的进一步改进

由前可知,把处于均匀场中的平板栅极电子枪作为一个单独元件考虑时,通过栅孔形状的选择可改善它的聚焦性能,以满足一般辐射应用的要求。但当加速器作为探伤或照相等用途时,

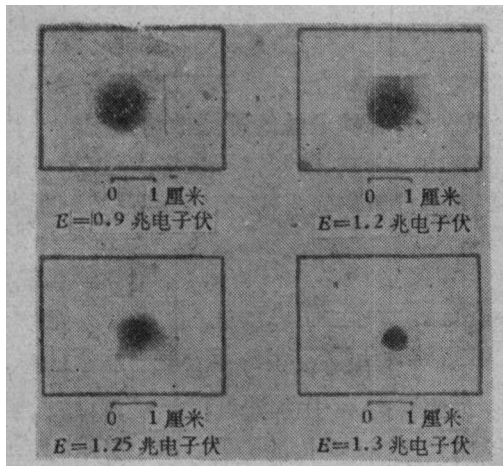


图 25 不同能量下的电子束直径

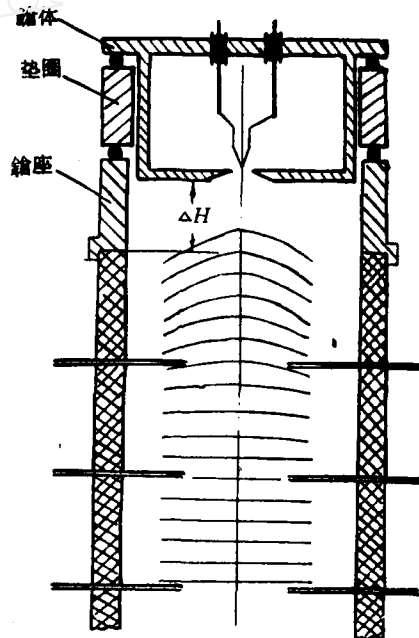


图 26 改善聚焦方法示意图

要求靶上束径为 1 毫米左右,此时必须进一步改善它的聚焦性能。最普通方法为在加速管的出口处放一磁透镜,使束会聚。下面我们提出另一种方法,即在加速管不变的条件下制造一不均匀场,使电子枪与加速管匹配而使束聚焦。

如图 26 所示,在阳极座和阴极之间增加一垫圈,使整个电子枪向上移动 ΔH , 从而在第一片加速电极处产生一聚焦场。 ΔH 不同时,聚焦能力不同,因此调节 ΔH 可以使栅孔出来的发散束聚焦到需要的情况。从理论上说,只要入射束有良好的同心度,选择合适的 ΔH 使电子束经过第一片加速片会聚于合适的位置,就可使束在靶上聚焦^[3]。

对 $\theta = 67.5^\circ$, $b = 3$ 毫米, $a = 0.7$ 毫米, $D = 0.97$ 毫米,在四节加速片的加速管上($l = 80$ 毫米)作了三个不同 h 和四个不同 ΔH 位置的实验,结果如图 27, 28 所示。

为了进一步证实移动 ΔH 后对散角和灯丝相对栅孔位置公差改善,对上述枪作了四节加速电极($l = 80$ 毫米)和十六节加速电极($l = 320$ 毫米)的试验,结果如图 29 所示。曲线表明, $\Delta H = 22$ 毫米时,电子束差不多是平行的。

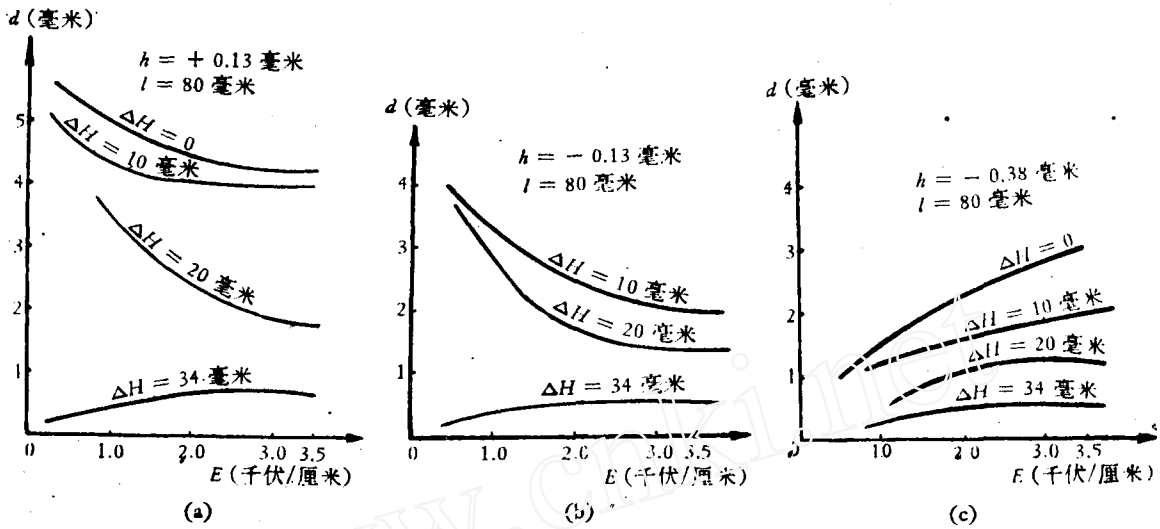


图 27 不同 ΔH 时束径随电场强度变化的曲线

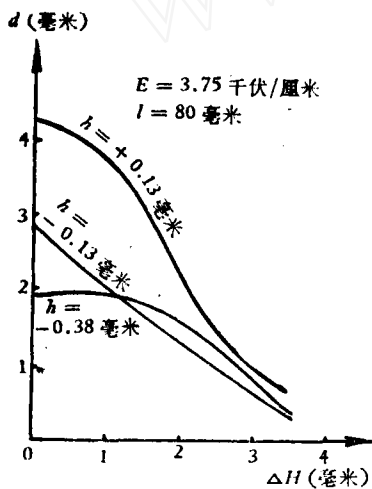


图 28 束径随 ΔH 的变化

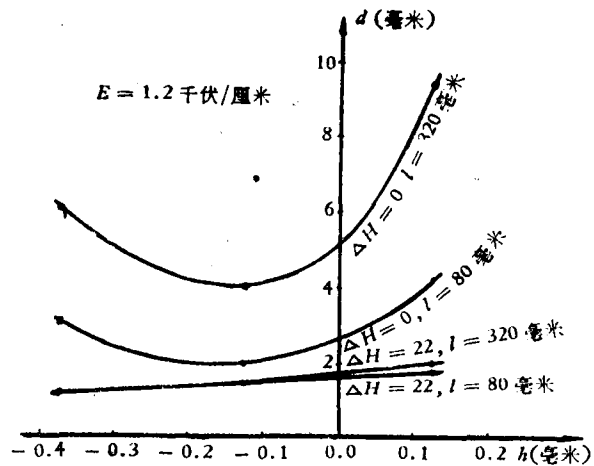


图 29 $\Delta H = 0, \Delta H = 22$ 毫米时聚焦性能比较

由实验可知,若将电子枪栅极上移 20—30 毫米,在我们情况下(加速电极间距离为 20 毫米)即使栅极与第一片加速电极距离为 40—50 毫米时,可以预期大大改善聚焦性能,使束平直细小。若枪体与枪座之间用软管连接,则可由加速器上的实验来决定使束在靶上聚焦所要求的 ΔH 值。

十、后 记

经过一系列的桌上试验和实验结果分析,可以知道这种枪在性能上是能满足一般电子静电加速器所提出的要求的,从加速器上运行结果看来也是如此。但是要对聚焦提出更高的要求时,需要作更多的工作。此外有的结论例如寿命试验是桌上试验结果,是否确实,还有待于长期运转中得到证实。

此项工作是在党的直接领导下进行的,工作中全体同志表现了冲天的干劲,尤其是在党的八届八中全会提出反右倾鼓干劲的号召后,更鼓舞了全体人员的斗志,使困难一个一个地被克

服了,在四个月内完成了全部工作。

参 考 文 献

- [1] Trump, J. G., Van de Graaff, R. J., *J. Appl. Phys.*, **8** (1937), 602—6.
- [2] Trump, J. G., Van de Graaff, R. J., *Phys. Rev.*, **55** (1939), 1160—65.
- [3] Elkind, M. M., *R.S.I.*, **24** (1953), 129—37.
- [4] Buechmen, W. W., et al., *R.S.I.*, **18** (1947), 754—66.
- [5] Moss, H., et al., *Proc. I.E.E.*, **97—3** (1950), 277.
- [6] Jacob, L., *J. Appl. Phys.*, **21** (1950), 966.
- [7] Gans R., *Zei. Techn. Phys.*, **18** (1937), H. 41, S. 41—48.
- [8] Klempereger, O., *Electron Optics*.
- [9] Тягунов, Г. А. 等,物理译报,4(1957),317頁.
- [10] Б. М. 查廖夫:电子管的计算与设计.
- [11] Ю. А. 卡茨曼:电子管的计算基础.

www.cnki.net