

阴极有半圆柱形凹槽的非对称磁控管 型 H⁻离子源的试验研究

张华顺 景毓辉* 蒋家胜

(中国科学院高能物理研究所, 北京)

张世纲

(清华大学, 北京)

关键词 非对称磁控管型 H⁻离子源, 凹槽形阴极, 形状聚焦, 阴极表面利用系数。

一、前 言

国内唯一的一台标准磁控管型 H⁻离子源已在 1983 年完成了桌上试验研究, 达到了预期的指标^[1]。试验中发现, 该源按弧功率估算应能引出更多的 H⁻束流(>50mA), H⁻束流的引出除受该装置引出电压(<18kV)的限制外, 阴极表面利用系数低也限制了 H⁻束流的引出, 为提高源的效率, 引用了阴极-阳极引出狭缝形状聚焦技术, 试制了一个带半圆柱形凹槽且其高度缩小的阴极, 使它背面的放电间隙由 1 mm 增加到 3.6 mm, 将该标准 H⁻源改进成为非对称磁控管型 H⁻源。

二、形 状 聚 焦

Z. Sternberg 指出^[2], 可将 H⁻离子从一个曲面阴极会聚到一小的阳极引出缝上去, 从而使弧电流密度和所需气压减小。

K. Prelec 证明^[3], 在引出电流密度相等($J^- = J_s^-$)的前提下, 平面形阴极和凹槽形阴极的电流密度分别为

$$J_c = \frac{J^-}{a} \exp(l/\lambda) \quad (1)$$

$$J_{cs} = \frac{d_s}{D_s} \cdot \frac{J^-}{a} \exp(l_s/\lambda_s) \quad (2)$$

当产生一确定的 H⁻束流密度 J^- 时, 由(1), (2)得

$$J_{cs} = \frac{d_s}{D_s} \exp(l_s/\lambda_s - l/\lambda) \cdot J_c$$

可知 J_{cs} 比 J_c 大约减少因子 d_s/D_s , 从而阴极功率减小。这里, d 、 D ——为引出缝和凹槽的宽度; a ——阴极上 H⁻生成效率; l ——阴极表面到引出缝的距离; λ ——快 H⁻离子平均自由程。

标准磁控管型 H⁻源和带凹槽阴极磁控管型 H⁻源的功率效率分别为

* 为执笔人

** 凡带有 s 下标的参数是表征凹槽形阴极的。

$$\frac{V_c \cdot I_c}{I^-} = \frac{V_c}{a \cdot \beta} \cdot \exp(l/\lambda)$$

$$\frac{V_{cg} \cdot I_{cg}}{I_{\bar{g}}} = \frac{V_{cg}}{a \cdot \beta_g} \exp(l_g/\lambda_g)$$

表明因形状聚焦，功率效率大约改善因子 β'_g/β ，

式中： V_c ——弧压； I_c ——弧流； I^- —— H^- 引出束流； β = 阴极有效发射面积/阴极总面积，对标准磁控管型 H^- 源： $\beta = 0.01-0.02$ ；对非对称磁控管型 H^- 源： $\beta_g = 0.1-0.12$ 。

三、桌上试验装置及试验结果

桌上试验装置利用原有的标准磁控管型 H^- 离子源(图 1)，除阴极外，均不改变。新的

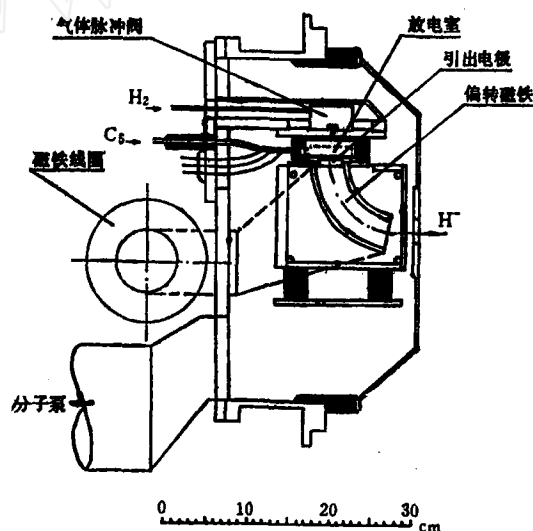


图 1 磁控管型 H^- 离子源桌上试验装置简图

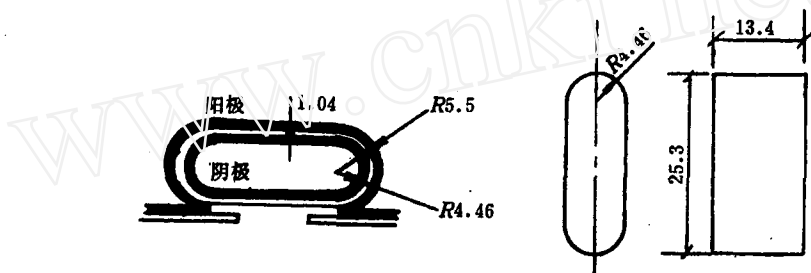
表 1 H^- 离子源典型最佳运行参数

运行参数	标准源	非对称源
引出电压 V_{out}/kV	17.5	17.5
磁场电流 I_M/A	6.3	6.3
弧压 V_{arc}/V	180	110
弧流 I_{arc}/A	110	40
弧脉冲宽度 $\Delta\tau_{arc}/\mu s$	60	60
重覆频率 f/Hz	5-15	12.5
供气脉冲宽度 $\Delta\tau_{gas}/\mu s$	140-180	190
阴极温度 $T_c/^\circ C$	350	320
阳极温度 $T_A/^\circ C$	150-160	140
铯锅温度 $T_{Cs}/^\circ C$	185	180
装置真空度 P/Pa	3×10^{-5}	1.1×10^{-5}
H^- 引出束流 I_{H^-}/mA	50	50
引出束流脉宽 $\Delta\tau_{H^-}/\mu s$	60	60

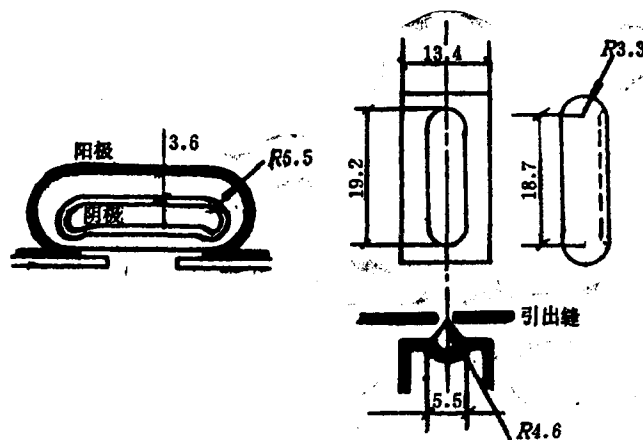
半圆柱形凹槽阴极和作为对照的平面阴极示于图 2(a)、(b)。加工后的凹槽形阴极尺寸偏差大, 经过修磨后仍有 0.2—0.3mm 的不对中(图 3)。

试验得到的最佳运行参数列于表 1。

实验中观察到非对称 H⁻源的 H⁻引出束流对弧压的增加变化不敏感, 但当进一步降低弧压时, H⁻引出束流也降低; 对阴极温度的变化也不敏感, 表明在低弧功率下有一个稳定的放电区, 但实验表明 H⁻引出束流对供气量参数 Δr_{gas} 是敏感的, 说明在凹槽形阴极要尽量降低放电室, 以得到小的 l_s/λ_g 值。



(a) 标准磁控管型 H⁻源的源体(左)及阴极(右)



(b) 非对称磁控管型 H⁻源源体(左)及阴极(右)

图 2 二种源体的比较

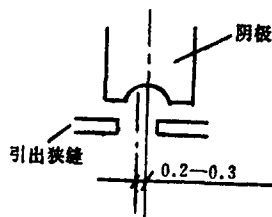


图 3 阴极凹槽和引出狭缝的装配偏差

四、讨 论

1. 实验表明, 即使在最佳工作状态下并采用了形状聚焦, 非对称 H⁻源的 H⁻引出流强并没有比标准 H⁻源增加, 这是因为在凹槽形阴极中在高的弧流下阴极发射的 H⁻离子, 损

失几率增加所致。

2. 在相同的H⁻引出束流下, 标准源的弧功率为60—80 kW, 非对称源的弧功率为20—30kW, 即弧功率后者比前者减小因子3—4。

3. 为了比较两种源的气体利用率, 直接测定放电室的气压是困难的, 但实验表明, 在相同H⁻引出束流下, 非对称H⁻源的出口气体压强稍大于标准H源的, 气体效率略有提高, 这需要进一步探讨。

4. 实验过程表明, 非对称H⁻源比标准H⁻源工作稳定, H⁻引出束流对弧功率变化不敏感, 同时起弧容易, 这可能是因阴极背面放电间隙加大使电离电子损失减少所致。

5. 此凹槽形阴极加工粗糙, 半圆柱形槽没有精度要求, 和引出缝有0.2—0.3 mm的对中偏差, 仍能达到和标准H⁻源的引出H⁻束流, 证明沟槽尺寸有一个很宽的适应值。

五、小 结

由于利用形状聚焦及增大阴极背面放电间隙而使磁控管型H⁻源有了改进, 与标准磁控管型H⁻源相比, 非对称磁控管型H⁻源的弧功率下降因子4, 可在一较低阴极弧流密度下工作, 工作稳定, 气体效率有所改进。这些改进是由阴极有效发射面积系数决定的, 起弧也变得容易, 离子源寿命也将延长。

如果提高引出电压, 加宽脉冲宽度, 将可能实现低功率强流H⁻引出, 为研制大功率强流H⁻源提供有益的启示。

参 考 文 献

- [1] Zhang H. S. et al., A surface-plasma H⁻ Ion Source, The second China-Japan Joint Symposium on Accelerators for Nuclear Science and Their Applications, Lao Zhou, 11—13, Oct., 1983.
- [2] Sternberg, Z. W., BNL Int. Report AGS 77-4, 1977.
- [3] Prelec, K., BNL, AGS Division H⁻ Technical Note, No.52, 1980.
- [4] Alessi, J. and Sluyters, T., BNL, AGS Division H⁻ Technical Note, No. 55, 1980.

(编辑部收稿日期: 1987年6月3日)

AN EXPERIMENTAL STUDY ON ASYMMETRIC MAGNETRON H⁻ SOURCE WITH GROOVED CATHODE

ZHANG HUASHUN JING YUHUI JIANG JIASENG

(Institute of High-Energy Physics, Academia Sinica, Beijing, China)

ZHANG SHIGANG

(Qing Hua University, Beijing)

ABSTRACT

An asymmetric magnetron H⁻ source with grooved cathode is built to replace a standard-magnetron H⁻ source.

This new cathode has a semi-cylindrical groove and its height is reduced

so that the cathode-anode spacing in the back of the source increased from 1 mm to 3.6 mm. This leads to an improvement by a factor of three to four in reducing arc power, which depend on the utilization factor of the cathode area. In addition, arc starting was easier than the standard magnetron H^- source.

Less influence of the arc current fluctuation and the deviation from the grooved cathode-anode extracting slit are observed. Also, it is showed gas efficiency is improved in our source.

A new discharge arc chamber and the experimental results on the desk test of this device are reported in detail.

Key words Asymmetric magnetron H^- source, Grooved cathode, Geometry focus, Utilization factor of cathode area.