

NT50 型中子管离子源磁场变化 对放电电流的影响

刘伟波¹ 谷德山² 李明娟³ 高 坤¹

1 (滨州学院物理与电子科学系 滨州 256603)

2 (东北师范大学辐射技术研究所 长春 130024)

3 (滨州学院飞行学院 滨州 256603)

摘要 通过 NT50 型中子管离子源放电特性实验,研究潘宁离子源磁场变化对放电电流产生的影响。得到磁场变化相对放电电流的关系曲线,进行数据分析,发现离子源放电规律,从而找出其最佳工作状态和工作参数,提高中子管产品质量。

关键词 NT50 中子管, 潘宁离子源, 磁场变化, 放电特性

中图分类号 TL53

中子发生器为可关断式的中子源,应用于工业、农业、医学、石油测井、地质勘测以及海关违禁品检查等领域。近几十年来全世界范围内都在进行中子发生器的研究开发工作,以期对中子管结构性能进行改进,产生密度高单色性好的离子束,得到较高的中子产额。尤以美国和澳大利亚做的工作最多,并取得一定的成绩,美国著名的实验室 LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory)通过新技术改进制作的管子,中子产额可以达到 10^{14} n/s^[1]。

中子发生器主要部件是密封中子管和各种电源,中子管的重要部件是离子源。潘宁离子源能在低气压下稳定工作,具有结构和供电系统相对简单、工作寿命长的特点,在电真空器件中获得广泛应用。本实验所使用的离子源均为潘宁离子源,我们通过改变离子源的磁场强度,研究了离子源电压、管内压强和束流大小对离子源放电特性的影响,从而确定每个参数在中子发生器正常工作时的调整范围,找到离子源工作的最佳状态。

1 NT50 型中子管和潘宁离子源的结构及工作原理

1.1 中子管和离子源的结构

中子管由靶、加速电极、离子源、存储器及瓷壳组成^[2](图 1)。

本实验所用中子管为东北师范大学辐射技术研究所研制的 NT50 型中子管,该管子可长时间连续

稳定工作,中子产额可达 2×10^9 n/s。

潘宁(Penning)离子源放电装置如图 2,阳极是一圆筒,阴极是位于圆筒两端面处的垂直轴线的两块平板。磁场 B 的方向沿圆筒轴线方向^[3]。

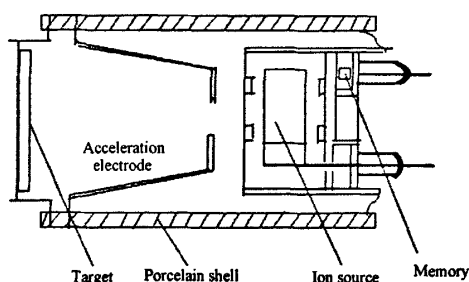


图 1 中子管结构图
Fig.1 Structure of neutron tube.

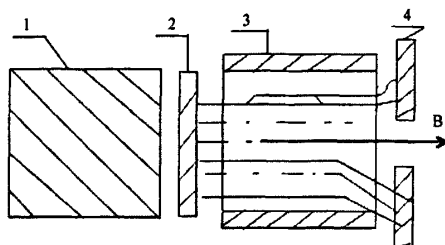


图 2 潘宁离子源的结构图
1. 磁钢, 2,4. 阴极, 3. 阳极
Fig.2 Structure of Penning ion source.
1. Magnetic steel, 2,4. Cathode, 3. Anode.

1.2 离子源工作原理

离子源的工作原理基于电子与中性气体分子的电离碰撞。潘宁离子源磁场位于轴向，磁场强度不足 1 T，阳极电压~kV。电子在电场和磁场作用下呈螺旋形运动，同时也防止电子向阳极壁扩散。图 3 是电子在放电空间中的受力运动示意图。离子源中等离子体的密度主要依靠磁场产生的挤压作用，增大磁场强度，能增大离子密度，也可增加电子在放电区域内的轨迹长度，增加气体分子和气体离子的电离机会，达到增加单原子离子的目的^[4]。

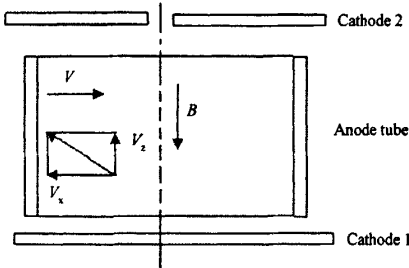


图 3 电子受力运动示意图
Fig.3 Schematic diagram of the electronic movement by force.

电子在电极间隙的螺旋运动半径与磁场强度和电子速度有关。电场强，电子速度大，螺旋半径也大，则到一定程度电子会落到阳极上。电子向阳极中心线运动时加速，过阳极中心线后受斥力作用而减速；电子靠近阴极时，反转后受电场力作用而会加速向阳极运动，过中心线后又会减速，如此重复循环^[5]。产生的 H_2^+ 、 H^+ 和少量电子被电磁场初步加速，在离子源的阴极孔处形成等离子体。在气压和磁场恒定时，放电电流随阳极电压的增加而迅速增加。

2 实验装置和方法

2.1 实验装置

在 NT50 型中子管排气口接有热偶规管和电离规管各一个，和中子管一起排气后封真空，固定在实验支架上(图 4)。中子管内气压调节元件(存储器)排气时充入一定量的氦气，以便在实验过程中调节管内真空度变化。

离子源阴极为铁镍钴合金，外形 $\phi 14\text{ mm} \times 7\text{ mm}$ ，中孔 $\phi 5\text{ mm}$ 。阳极为无磁不锈钢， $\phi 20\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 。阳极和阴极间距离为 3 mm。

2.2 实验方法

我们测量了 0.1–0.8 T 磁场强度下离子源的放电规律，分析磁场变化对放电电流产生的影响。实

验所用磁钢为宁波科星钕钴磁钢厂生产的钕钴磁钢，测量磁场强度的仪器是湖南天宇电子有限公司生产的 TYU-2002H 型特斯拉计，测量范围为 0–1 T，准确率可达 0.5%。为得到大范围的磁场强度，我们将数块小的磁钢叠加。

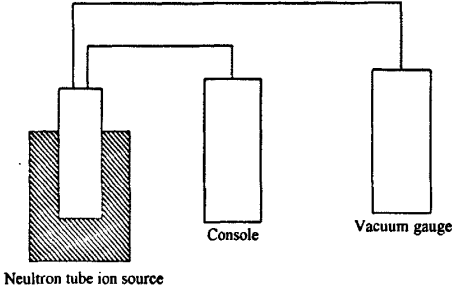


图 4 实验装置简图
Fig.4 Schematic diagram of experimental apparatus.

所测磁场强度值均为磁钢表面强度值。经多次实验，选定磁场强度值为 0.54 T 和 0.2 T。针对这两个磁场强度对离子源放电情况的分析，得出离子源磁场变化对放电电流的影响。

3 结果与讨论

3.1 磁场强度为 0.54 T 时的离子源放电特性

将三块小的磁钢叠加，测量到磁钢的表面磁场强度为 0.54 T。气体压强为 $5 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ 、 $1 \times 10^{-2}\text{ Pa}$ 、 $5 \times 10^{-2}\text{ Pa}$ 和 $1 \times 10^{-1}\text{ Pa}$ 下，离子源电压与放电电流的关系见图 5。取电压值为 1.5 kV、1.8 kV 和 2.0 kV，压强对放电特性的影响见图 6。

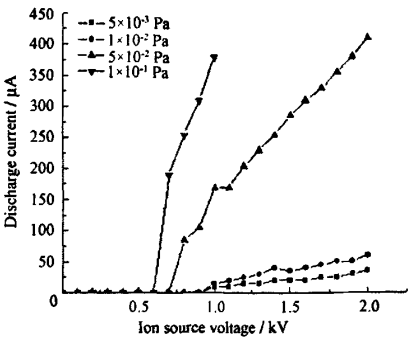


图 5 磁场强度为 0.54 T 时离子源电压和放电电流的关系
Fig.5 Relationship of ion source voltage and discharge current.

磁场强度为 0.54 T 时，离子源放电情况较为理想。分析该磁场强度下离子源放电特性曲线，可见放电电流随着离子源电压和管内压强增大，离子源能稳定工作。

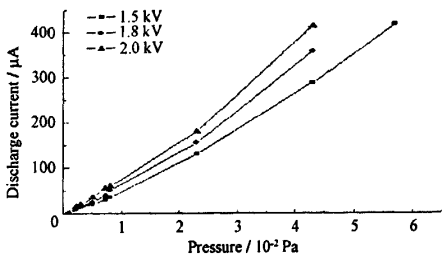


图 6 磁场强度为 0.54 T 时压强和放电电流的关系
Fig.6 Relationship of pressure and discharge current.

3.2 磁场强度为 0.2 T 时的离子源放电特性

磁场强度为 0.2 T, 上述压强值下离子源电压与放电电流的关系见图 7。

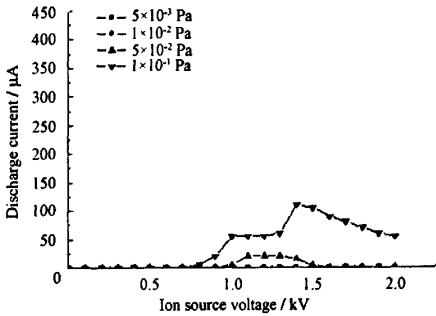


图 7 磁场强度为 0.2 T 时离子源电压和放电电流的关系
Fig.7 Relationship of ion source voltage and discharge current.

磁场强度为 0.2 T, 离子源电压为 1.5 kV、1.8 kV 和 2.0 kV, 压强与放电电流的关系如图 8。

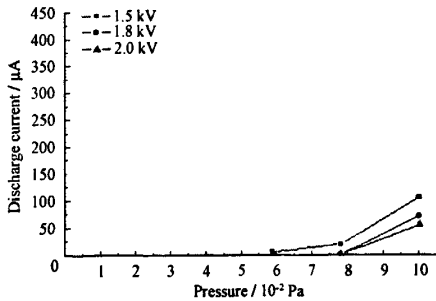


图 8 磁场强度为 0.2 T 时压强和放电电流的关系
Fig.8 Relationship of pressure and discharge current.

离子源放电需较高的离子源电压和气体压强, 受离子源结构限制, 电压不能加得过高^[6]。当磁场强度取较合适的值时, 离子源的放电特性较好。此时满足离子源放电特性规律, 即: 离子源电压增加,

管内压强增加, 放电电流也会相应增加。磁场强度过小或过大都不能使离子源正常工作。如果磁场强度过小(0.2 T), 离子放电很难发生, 电离效果不理想。通过实验, 在磁场强度为 0.3 T 的情况下, 给离子源施加较高电压 2.0 kV、较高压强 3.0×10^{-1} Pa 时, 能产生 400 μ A 的放电电流, 离子源放电情况较为理想。若降低电压和压强, 放电电流会很受影响, 电流强度减少较快。磁场强度小于 0.3 T, 不利于中子管正常工作。如果磁场过大, 根据潘宁离子源的工作原理, 电子的实际运动路径将变小, 这将减小与气体分子碰撞的几率, 从而影响气体电离, 也不利于中子管的工作。

4 结论

通过实验, 确定 NT50 型中子管离子源放电时磁场强度 0.3–0.54 T, 压强 3.0×10^{-1} – 3.5×10^{-3} Pa, 离子源电压为 1.5–2.0 kV, 离子源放电电流为 350–450 μ A。在此范围内, 离子源的放电特性较好, 能够安全稳定的工作。

参考文献

- 1 Jani Reijonen, Tak Pui Lou, Bryan Tolmachoff. Appl Radiat Isot, 2005, 63(5–6), 757–763
- 2 魏宝杰, 岳成波. 东北师大学报(自然科学版), 1994, (1): 83–86
WEI Baojie, YUE Chengbo. J Northeast Normal University(Natural Science Edition), 1994, (1): 83–86
- 3 刘林茂, 刘雨人, 景士伟. 中子发生器及其应用. 北京: 原子能出版社, 2005. 116–118
LIU Linmao, LIU Yuren, JING Shiwei. Neutron generator and its application. Beijing: Atomic Energy Press, 2005. 116–118
- 4 肖坤祥, 周明贵, 谈效华. 真空电子技术, 2003, (6): 26–38
XIAO Kunxiang, ZHOU Minggui, TAN Xiaohua. Vac Electron, 2003, (6): 26–38
- 5 金斗英, 苏荫权. 吉林大学自然科学学报, 1998, (3): 72–74
JIN Douying, SU Yinquan. J Jilin University (Science Edition), 1998, (3): 72–74
- 6 Verveke J M, Leung K N, Vujic J. Appl Radiat Isot, 2000, (53): 801–809

Effect of magnetic field variation in ion source on discharge current in NT50 neutron generator

LIU Weibo¹ GU Deshan² LI Mingjuan³ GAO Kun¹

1 (Department of Physics and Electronics Science, Binzhou University, Binzhou 256603, China)

2 (Radiation Technology Institute of Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

3 (Flying college, Binzhou University, Binzhou 256603, China)

Abstract Based on the ion source discharging experiment in NT50 neutron generator, effect of magnetic field variation in Penning ion source on discharge current is studied. The relation curves of discharge current and changing magnetic fields are obtained. The data are analyzed to discover the role of ion source discharge. The prime working state and parameters of the ion source were determined to improve performance of the neutron generator.

Key words NT50 Neutron Generator, Penning ion source, Changing magnetic fields, Discharge characteristic

CLC TL53