

# 15. 静电式离子推力器(IT)

15.1. 前言 .....	2
15.2. 基本组成 .....	5
15.2.1. 推力器 .....	6
15.2.2. 供配电子系统 .....	10
15.2.3. 推进剂储供子系统 .....	12
15.2.4. 数字接口与控制子系统 .....	13
15.3. 工作原理 .....	14
15.3.1. 中性原子的约束 .....	17
15.3.2. 电子的约束 .....	19
15.3.3. 离子光学系统的原理与要求 .....	20
15.4. 性能参数 .....	24

# 15.1. 前言

## 静电式离子推力器(Ion Thruster IT)分类

- 工质气体放电电离推力器， $F=1\text{mN}-1\text{N}$

- ◆ 电子轰击式离子推力器 (Electron Bombardment Ion Thruster EBIT)  
(**Kaufman 离子推力器**)

- ◆ 射频离子推力器 (Radiofrequency Ion Thruster, RIT)

- ◆ 电子回旋谐振离子推力器  
(Electron Cyclotron Resonance Discharge Ion Thruster, ECR)

- 场致发射离子推力器， $F=0.01\text{mN}-1\text{mN}$

- ◆ 场致发射电推力器 (Field-Emission Electric Propulsion, FEEP)

- ◆ 胶体推力器 (Colloid Thruster)。



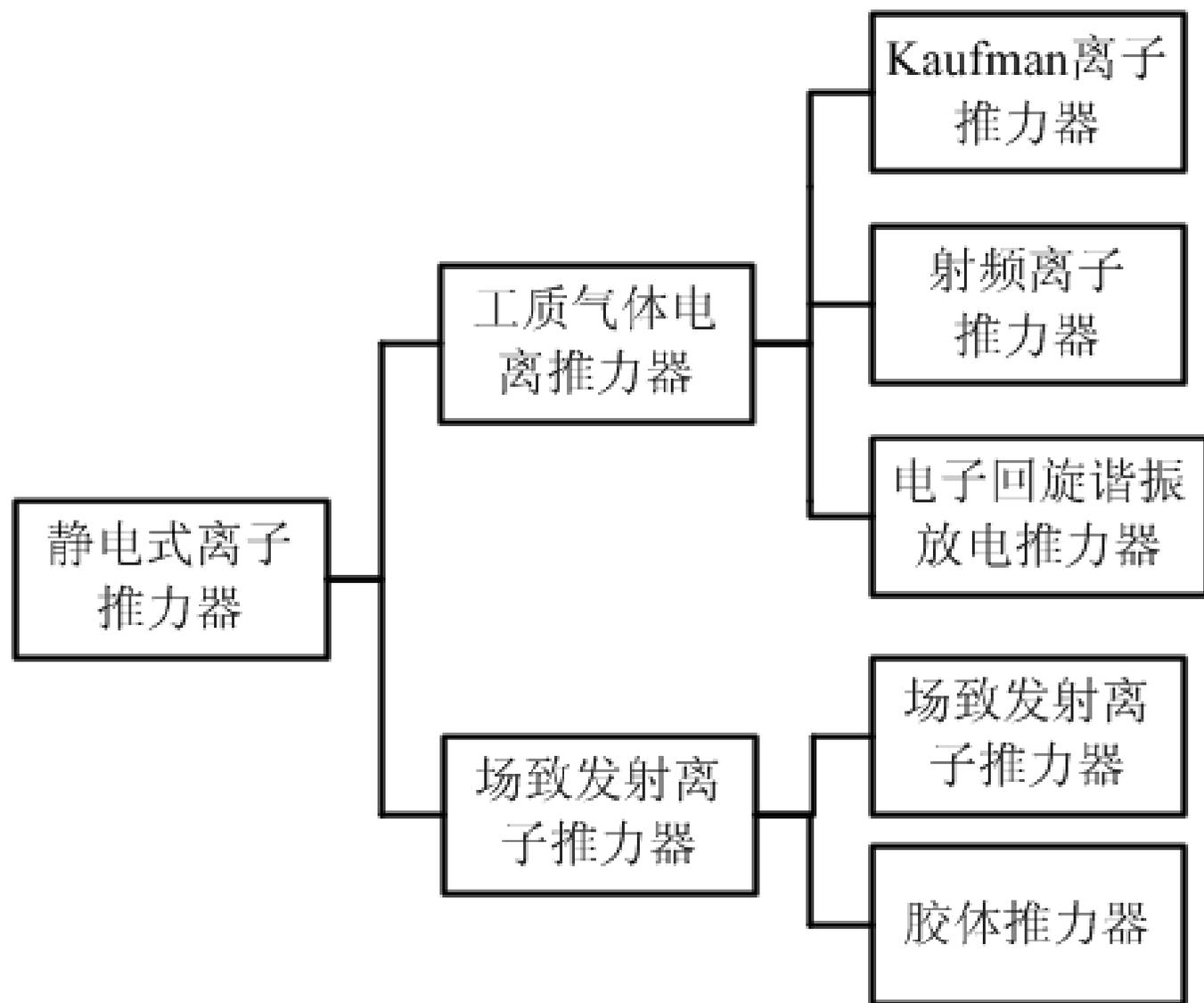


图 1 静电式离子推力器分类

IT 一般使用原子量大、一次电离电位低、二次电离电位高的元素作为推力器的推进剂工质。

表 1 离子推力器常用原子质量和电离电位

元素	原子量	q/m 荷质比[ $10^5\text{C/kg}$ ]	一次电离电位[eV]	二次电离电位[eV]
<b>Cs</b>	132.9	7.25	3.89	25.1
<b>Hg</b>	200.6	4.80	10.44	18.75
<b>Xe</b>	131.3	7.34	12.13	21.21
<b>Kr</b>	83.80	11.50	14.0	24.36
<b>Ar</b>	39.95	24.13	15.80	22.63

氙离子推力器 (Xenon Ion Thruster, XIT)

- 选用氙气作为推进剂的 Kaufman 离子推力器

## 15.2. 基本组成

静电式离子发动机组成:

- 离子推力器 ( Ion Thruster, IT)
- 供配电子系统 ( Power Processing Unit, PPU)
- 推进剂供给子系统 ( Propellant Feed System, PFS)
- 数字接口与控制子系统 ( Digital Interface and Control Unit, DICU)

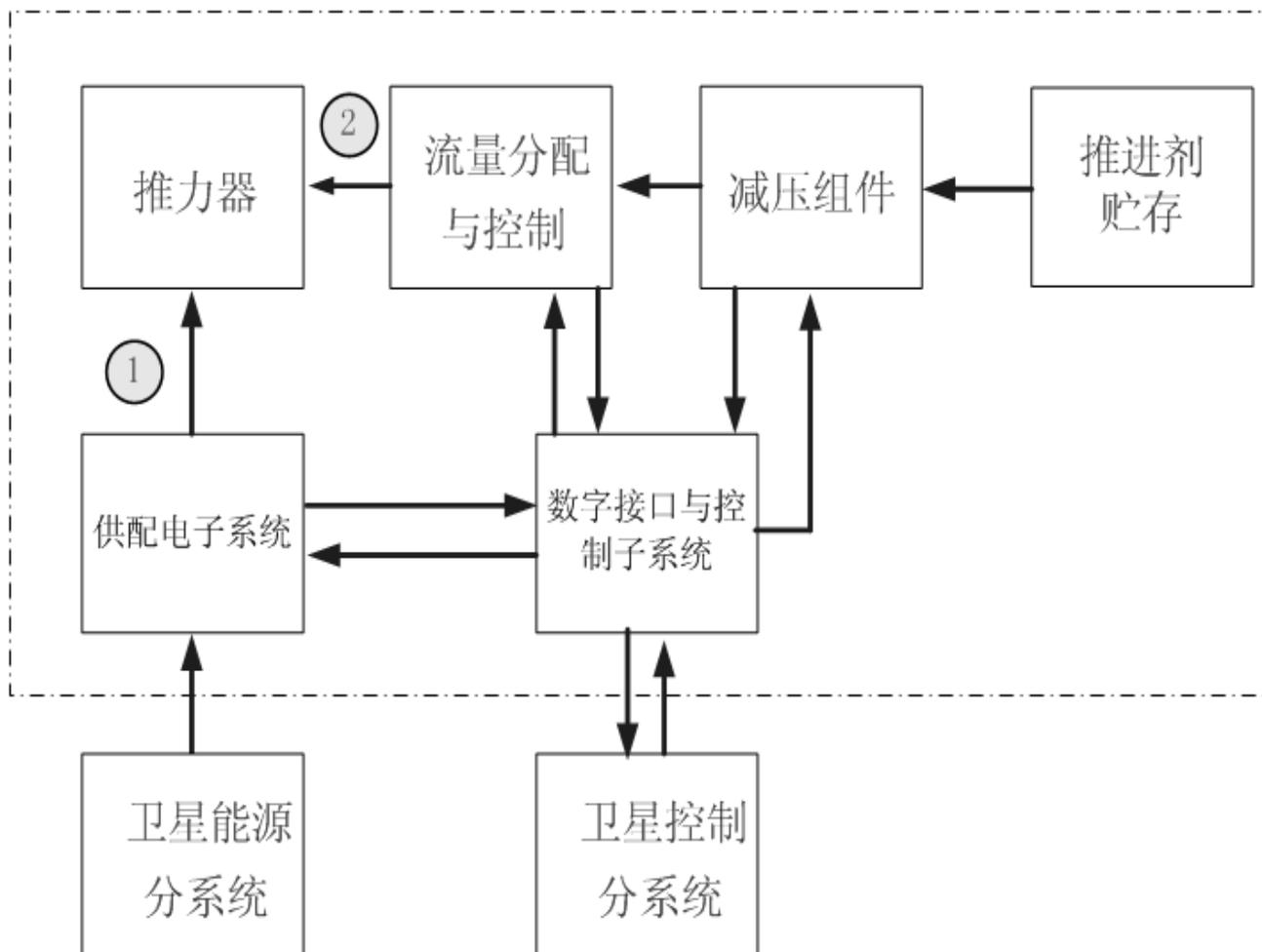


图 2 氙离子推力器系统组成

# 15.2.1. 推力器

## 推力器组成:

- 主阴极（空心阴极）
- 阳极
- 磁铁
- 放电室
- 离子光学系统（即屏栅极和加速栅极组成的静电场离子加速系统）
- 中和器

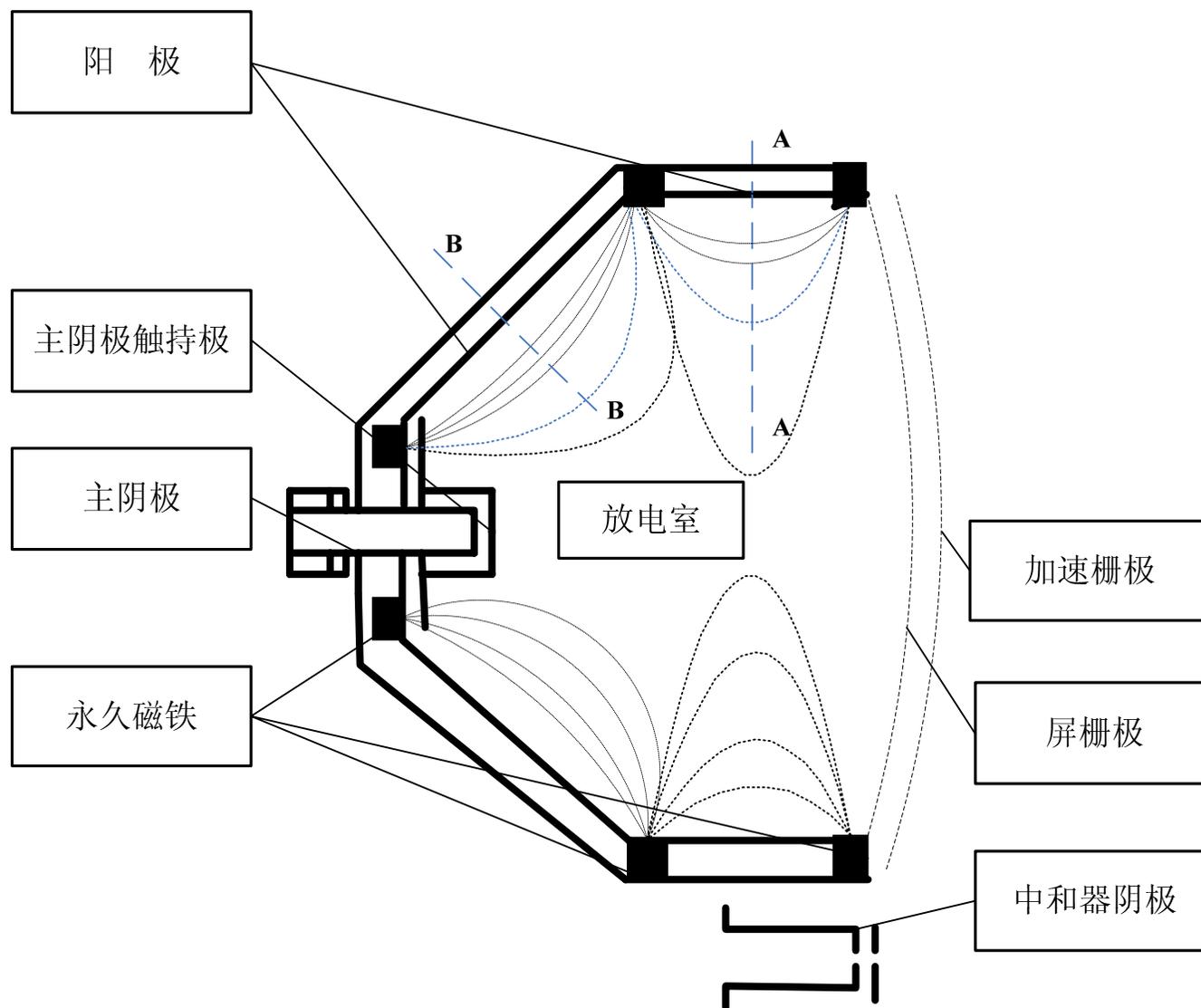
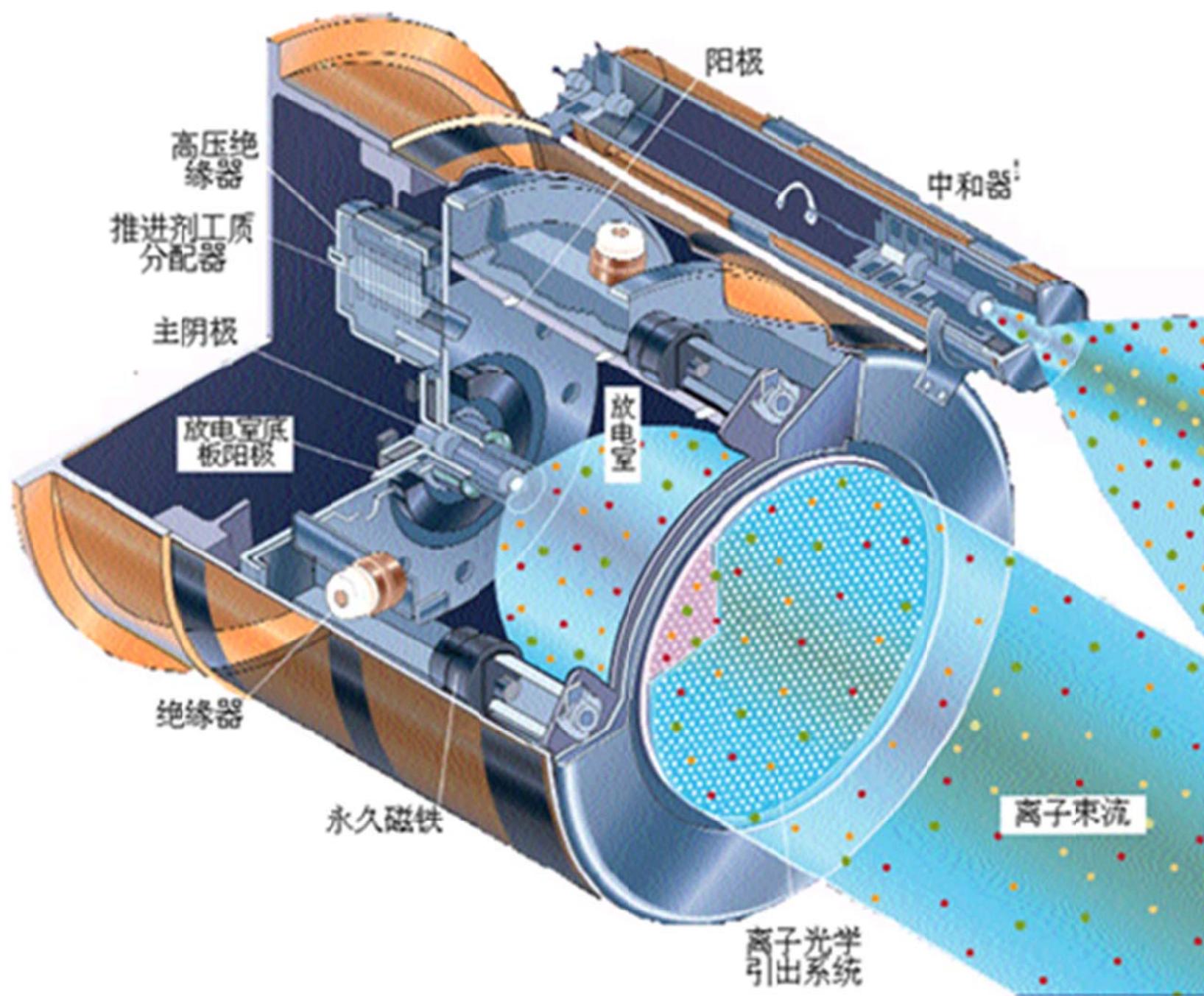
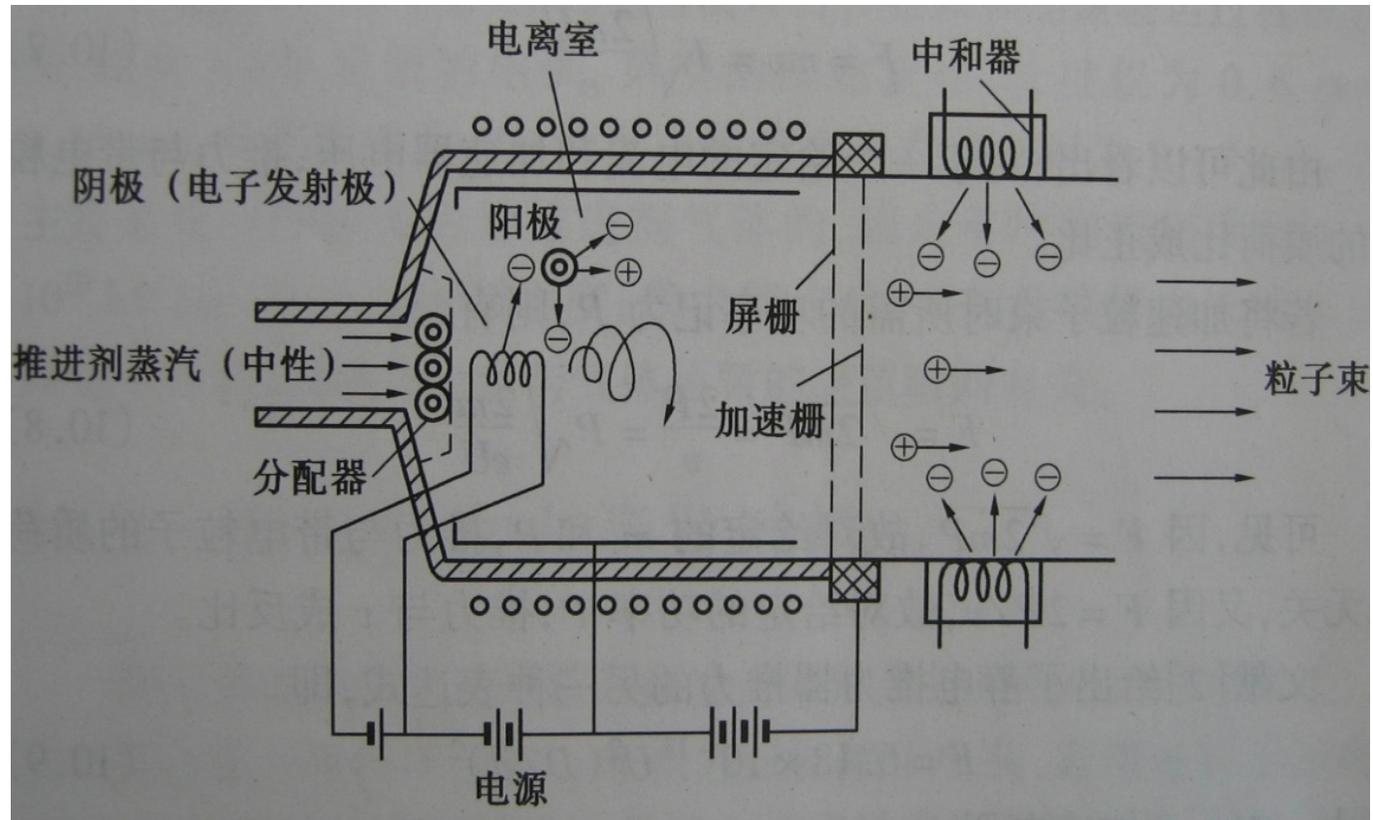


图 3 环形会切场离子推力器



## 工作过程:

- 氙气通过绝缘器进入空心阴极
- 氙气受到阴极内部发射的电子的轰击而电离
- 在阴极和触持极之间点火放电
- 接通阳极电源，放电扩展到整个放电室
- 电子作螺旋式振荡运动
- 形成放电等离子体
- 使屏栅极孔中的电位低于屏栅极电位
- 屏栅极电位低于等离子体电位（约3~5V），电子不能逃出，由阳极收集
- 离子在离子光学系统的作用下，聚焦、加速并引出，产生推力，离子引出速度一般可达30000m/s
- 与中和器发射的电子中和，形成准中性粒子束流



电子在电场作用下，通过磁场时，回旋半径为：

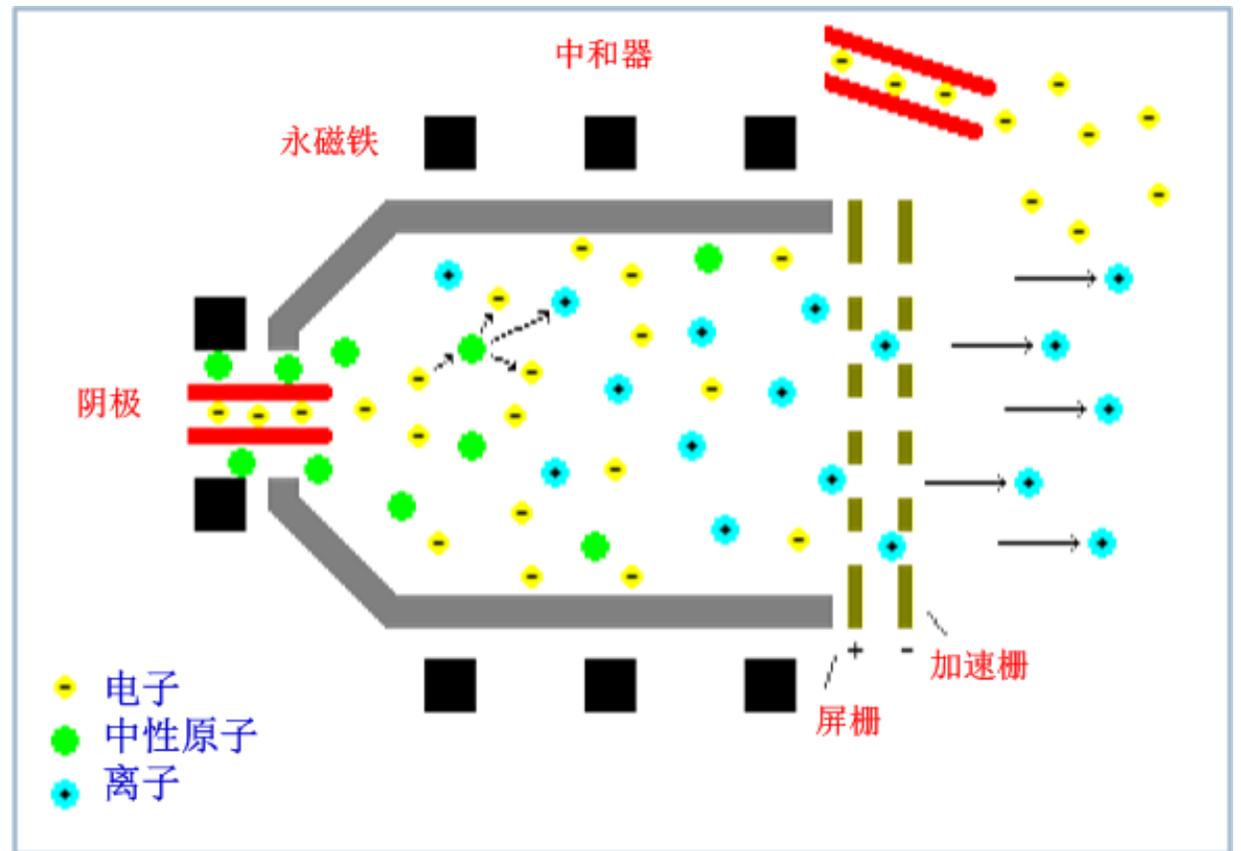
$$R_e = \frac{m_e v_e}{eB}$$

电子运动速度为： $v_e = \sqrt{2eV_e/m_e}$

式中， $m_e$  为电子质量， $v_e$  为电子运动速度， $e$  为元电荷， $B$  为电子所处位置的磁场强度， $V_e$  为电子所处位置的电位

回旋半径不能大于阳极半径，对于 9cm 离子推力器， $R_e < 1\text{cm}$

为了增加中性原子被电离的概率，放电室的长度需详细设计



## 15.2.2. 供配电子系统

供配电子系统作用是把一次电源提供的电源形式变换成推力器所要求的几种电源，并采用相应的过载、电弧、故障和误动作保护。

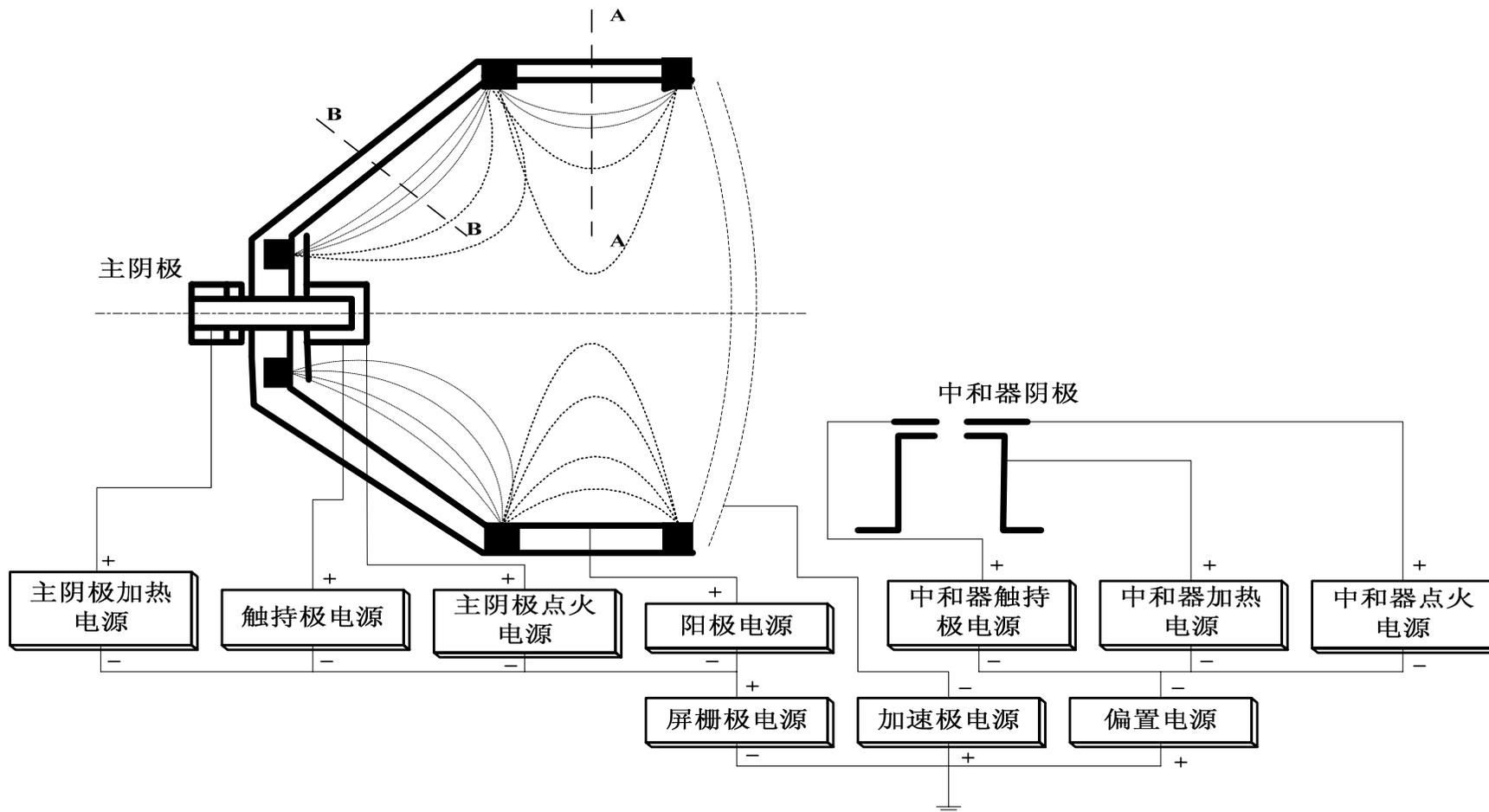


图 4 Kaufman 离子推力器配电组成图

- 点火和放电过程发生在异常辉光放电到弧光放电阶段
- 主要特征是**负阻特性**，当放电达到自持的弧光放电时，电流急剧上升，电压急剧下降
- 当空心阴极加热到足够高的温度(1100℃)时，逐渐升高点火电源电压，触持极电流逐渐增高(从几微安到几十微安)，当电压上升到某一点时，触持极电流突然升到几百毫安
- 触持极电压降到很低，降到氙的电离电位以下，也能维持较大的放电电流
- 点火和触持极电源要选用有限流电阻的直流高压电源和直流稳流电源
- 当阴极点火后，点火电源自动关闭，由低压触持极电源维持放电
- 放电阳极电源、中和器触持极电源、中和器点火电源和触持极电源特性一致
- 主阴极和中和器阴极加热器电源是输出端串有 2 欧姆电阻的稳压电源

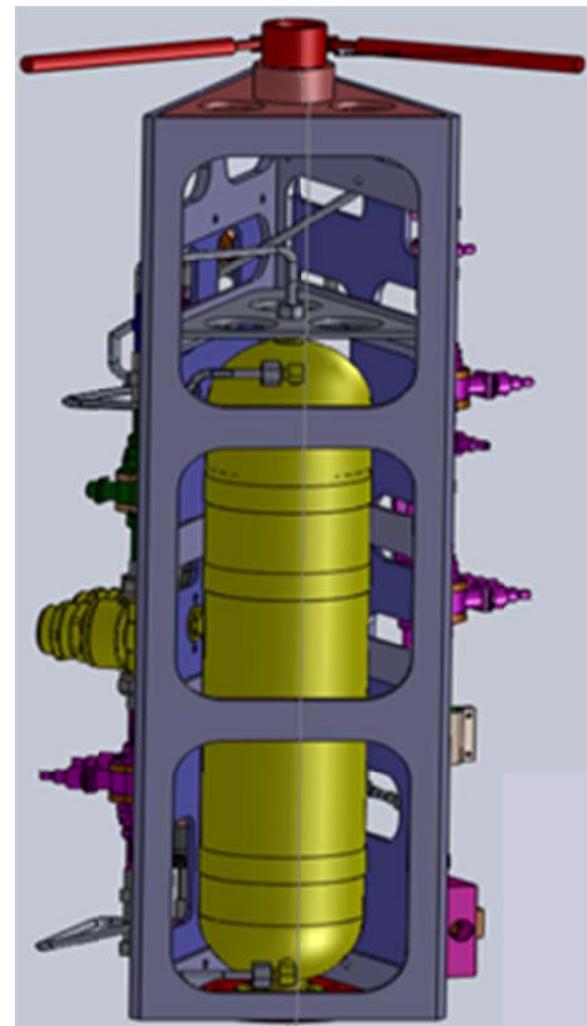
## 15.2.3. 推进剂储供子系统

储供系统：用来储存工质并定量向推力器输送工质。

组成：工质储存、节流、调节与分配模块。

功能：

- 在指定条件下，从填充时刻到推力器使用结束期间工质的储存；
- 调节推力器工质压强；
- 按要求维持工质的流量；
- 输送工质到推力器。



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/037151050105006123>