

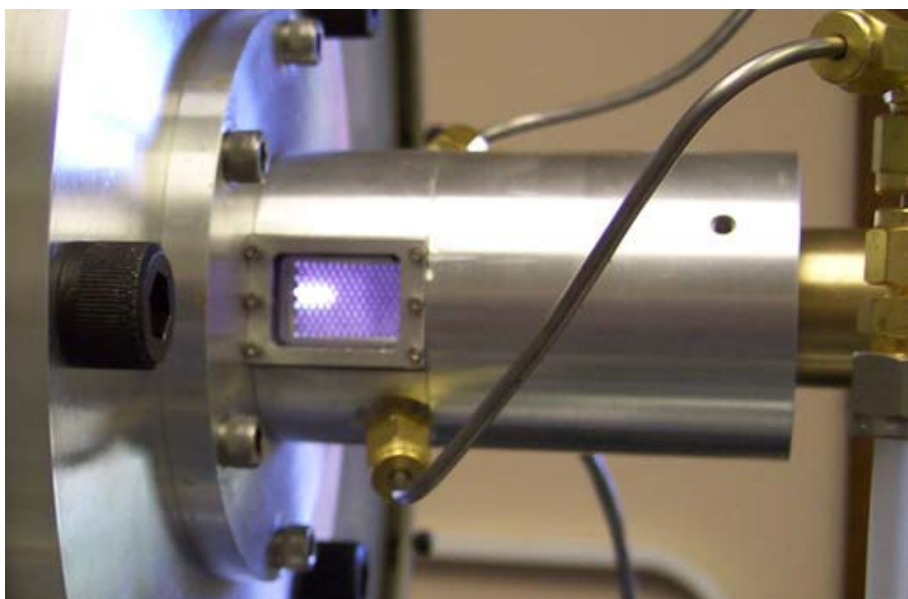
12. 微波等离子推力器（MPT）

- 12.1. 引言 2
- 12.2. 基本组成 3
- 12.3. 工作原理 4
- 12.4. 重要参数、技术指标和性能 7
- 12.5. 主要特点 10

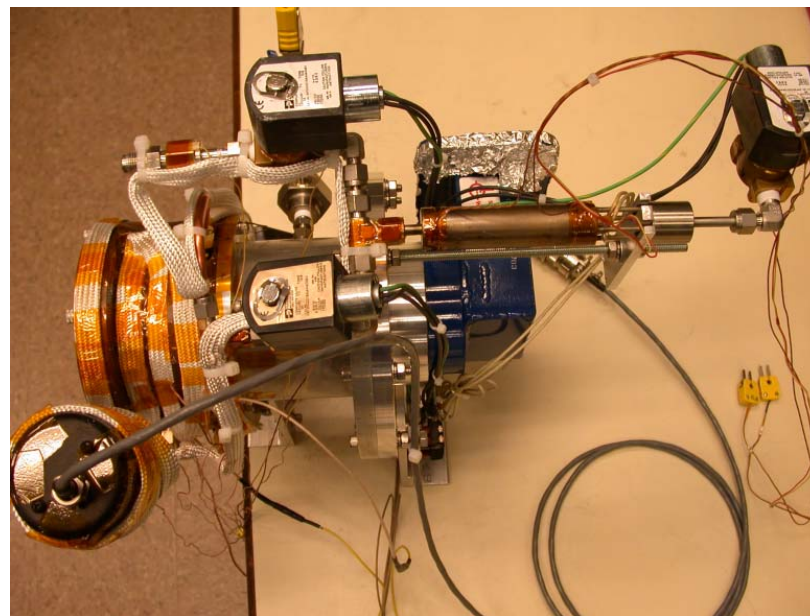
12.1. 引言

微波等离子推力器（Microwave Plasma Thruster, 简称 MPT）是将微波能转换成推进动能，属于电热型的一种电推力器。

微波：有较高频率、具有一定能量的电磁波，能在一定形状的空腔中谐振，表现为一定规则波形的电磁场，在波导中能以一定的波形传输。



RSI 和 Princeton 大学共同研制的
微波等离子推力器 MET-100



RSI（Research Support Instruments）研
制的水工质微波等离子推力器实验系统

图 1 推力器样机照片

12.2. 基本组成

微波等离子推力器组成:

- 微波源(产生指定频率和一定功率微波的能源, 包括微波发生器和满足微波发生器特定要求的电源)
- 三端口环形器 (只许微波从微波源正向输向谐振腔, 而将由谐振腔反射的反向微波功率引入干负载, 以免返回并烧坏微波发生器)
- 干负载
- 同轴电缆(输送微波的导线)
- 谐振腔(将输入的微波在腔内发生特定形式的谐振, 使微波形成某种规则电磁场)和喷管 (推力器)
- 推进剂贮箱和阀门

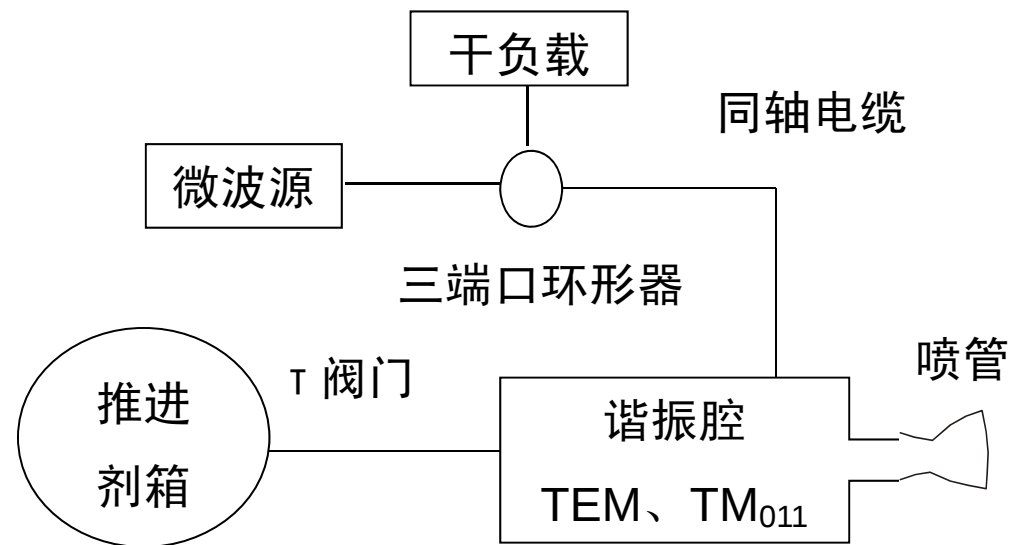
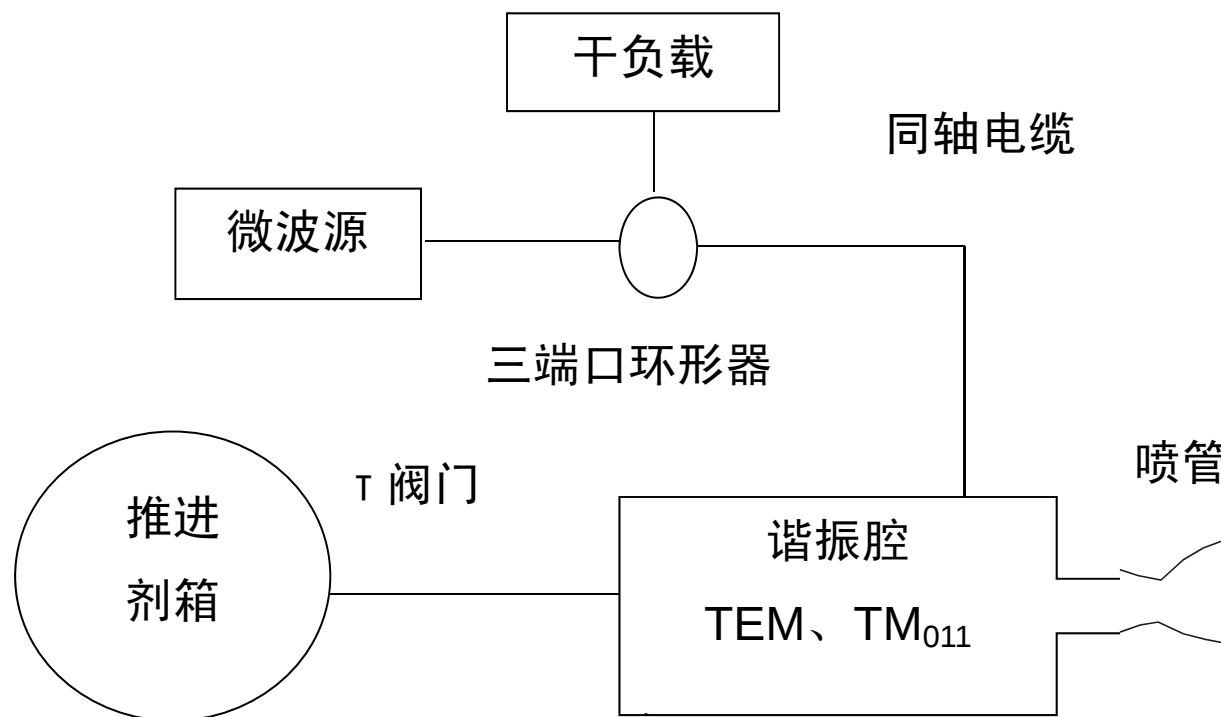


图 2 MPT 系统示意图

12.3. 工作原理

MPT 的基本工作原理:

- 微波电源产生指定频率（如 2.45GHz，7.5GHz）和一定功率的微波
- 通过同轴电缆输入谐振腔谐振形成特定形式的电磁场
- 推进剂工质同时输入谐振腔
- 在电磁场最强处
激发形成高温和
具有一定压强的等
离子体流
- 从拉伐尔喷管高
速喷出产生推力。



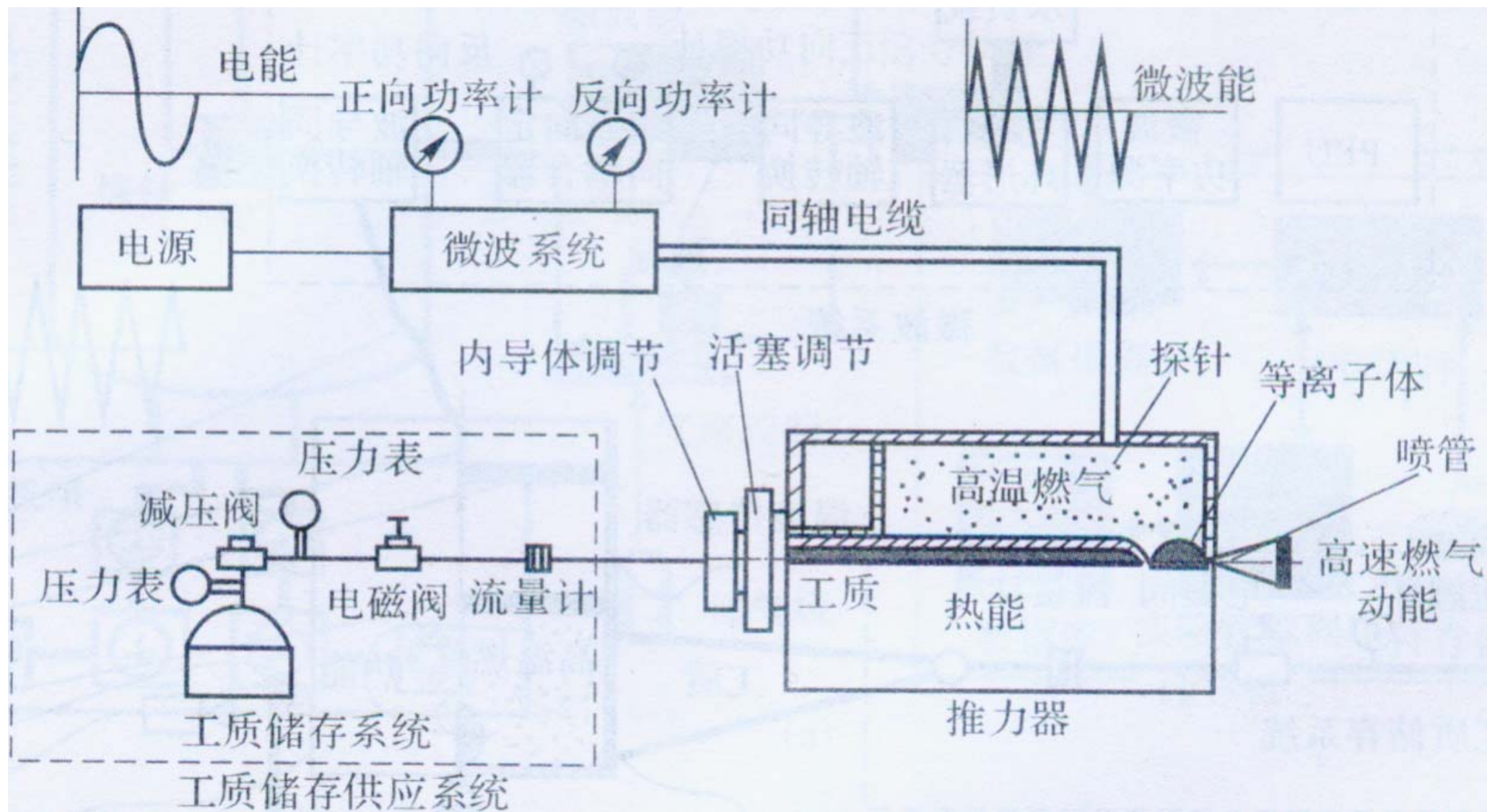


图 3 100W MPT

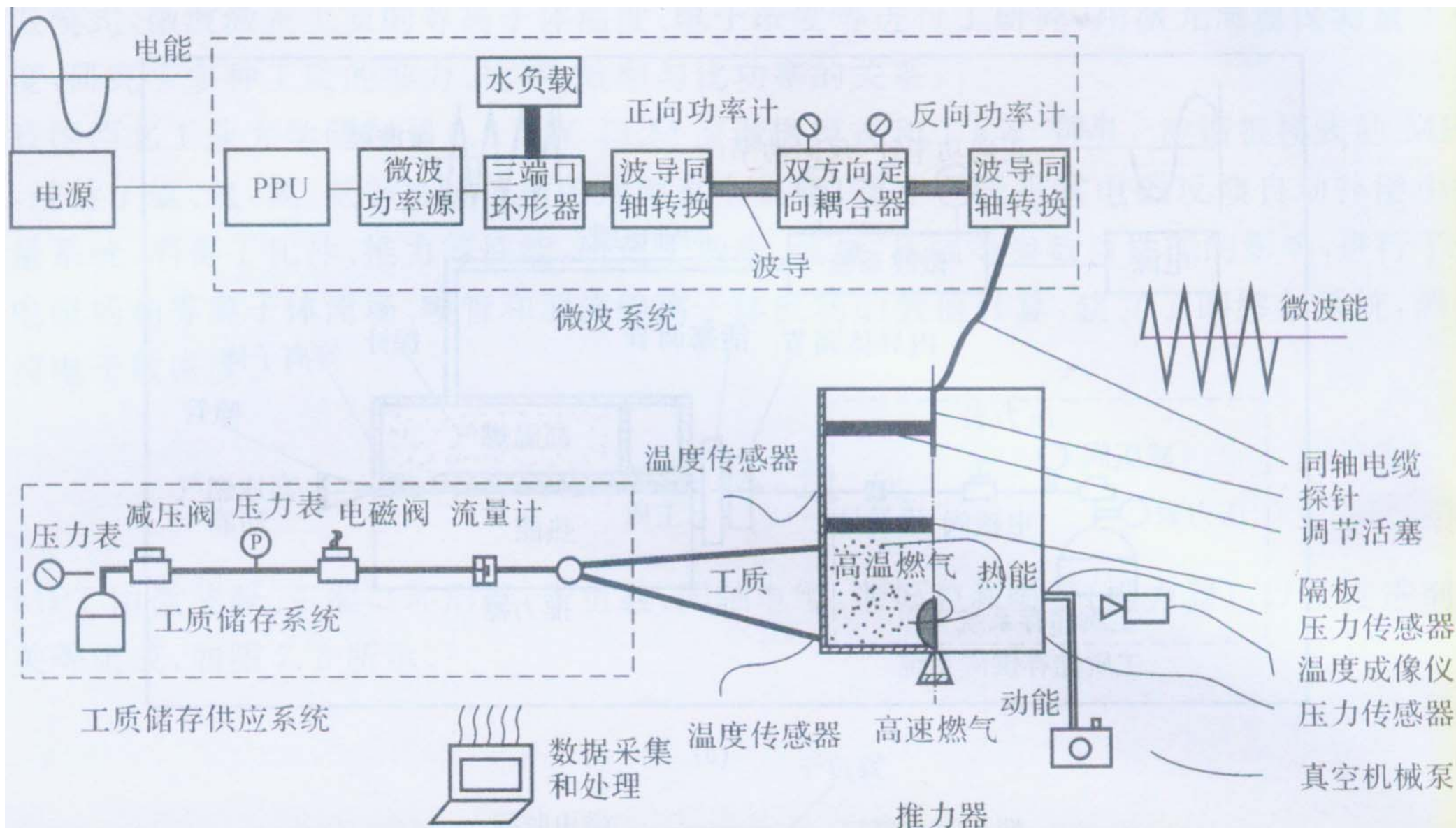


图 4 1000W MPT

12.4. 重要参数、技术指标和性能

重要参数

- 微波频率 ω :

- 影响 MPT 的尺寸，微波频率越高，MPT 尺寸越小

- 影响等离子体对微波能量的吸收。只有当等离子体区中等离子体的数密度低于临界数密度时，工质才能吸收微波能量激发产生等离子体，而临界数密度 $m_{cr} = \omega^2 m_e \varepsilon_0 / e^2$ ，微波频率 ω 越高，临界数密度 m_{cr} 越大，工质吸收的微波能量越大，产生的等离子数越多。

- 影响电磁场强度、工质解离度、等离子体温度、流动参数和 MPT 性能参数。

- 微波功率 P:

- 影响 MPT 的启动，功率越大，工质越易激发等离子化，MPT 越易启动；

- 影响电磁场强度、等离子体温度、流动参数和 MPT 的性能，功率越大，MPT 的推力越大。

- 工质流量、喷管喉经:

- 流量越大、喉经越小，则谐振腔内压强越高，MPT 的比冲和推力等性能可以提高；
- 压强过高和过低都不利于工质解离、MPT 启动。
- 等离子体温度 T
 - 由微波频率和电磁场、工质种类等决定，对于微波激励方式和常用工质，一般为 $5000 \sim 10000\text{k}$ 。
- 喷管的膨胀比、环境压强、MPT 系统各环节的效率。

MPT 技术指标:

- 功率 P 为 $100\text{W} \sim 30\text{kW}$
- 推力 F 为 $20\text{mN} \sim 10\text{N}$
- 比冲 I_s 为 $6000 \sim 14000\text{m/s}$
- 总效率 η 为 $0.5 \sim 0.7$

MPT 为电热类电推进系统，与其它类型电推力器相比:

- 比冲相对较低
- 推力/电功率较大

MPT 性能

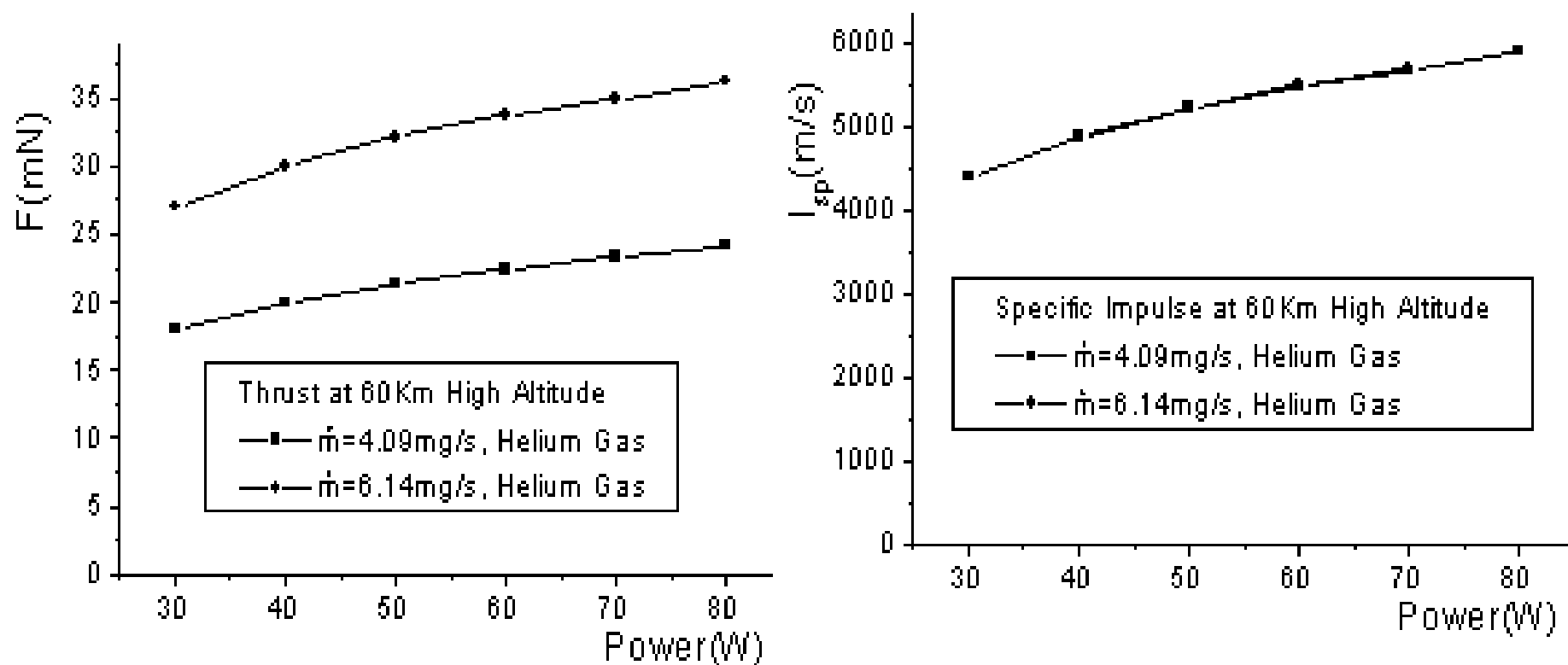


图 5 小功率 TEM 波 MPT 的性能曲线

12.5. 主要特点

- 系统结构简单轻巧
 - ◆ MPT 系统的电源少、部件少，结构相对简单小巧、质量轻
 - ◆ 如果提高微波频率，更可使 MPT 小型化
 - ◆ 可将微波源与谐振腔设计成紧密型一体化结构，将更为小巧轻质
 - ◆ 可取消微波电缆，减小微波损耗
- 结构材料处于较低温度，无烧蚀
 - ◆ 谐振腔中的等离子体区，中心温度达到 $5000\sim 10000\text{k}$
 - ◆ 在等离子体区边缘很薄的鞘层中温度锐减
 - ◆ 位于等离子体中心区以外的谐振腔结构的材料，铜、铝即可承受
 - ◆ 喷管处温度稍高，不锈钢便可承受
- 与飞行器的相容性好
 - ◆ 整个系统屏蔽，无微波、电磁波泄漏
 - ◆ 散热不大；羽流回流小，总体呈低压、低温、电中性，污染小
 - ◆ 对飞行器的供电和在飞行器上的安装并无特殊要求
 - ◆ 静音无噪声；可用水作工质，可达到洁净、无腐蚀、无低温要求等
- 可用多种工质，工作稳定，参数无波动且易控制
- 在电推力器中，比冲相对较低，相同功率下推力较大