

氩气直流放电等离子体中三稳现象的半经典理论

王 海 达

中国科学技术大学近代物理系, 合肥, 230026

1990 年 2 月 16 日收到

本文从粒子间的电离、复合、激发和去激发等基本相互作用出发, 解释了实验中观察到的各类三稳现象, 并对更为复杂的现象如分岔、混沌等作了讨论.

PACC: 5290; 5220; 5200

一、引 言

近几年来许多有关双稳现象或滞后效应^[1-4]的报道中, 双稳结构是由非等离子体状态和等离子体状态两大分支构成, 称之为第一层次双稳结构. 气体被击穿后阴极等离子体鞘层的形成对这种双稳现象起着重要的作用^[5]. 文献[4]中的双稳结构的上支出现一个平台, 后来在我们的实验中被证实为另一支稳态, 也就是说, 我们得到了一个三稳结构^[6]. 三稳结构的上面两个分支都属于等离子体状态, 它们构成一个子磁滞环, 称之为第二层次双稳结构. 我们曾经对三稳现象给出过一个唯象理论^[7], 定性解释了实验现象.

企图从等离子体中的基本物理过程出发, 建立上述双稳, 三稳甚至多稳现象的经典或半经典理论, 这一问题一直困惑着从事气体放电等离子体的研究者们. 作为第一次尝试, 本文从等离子体中电子、离子、亚稳态粒子和中性气体分子间的相互作用出发, 得到了

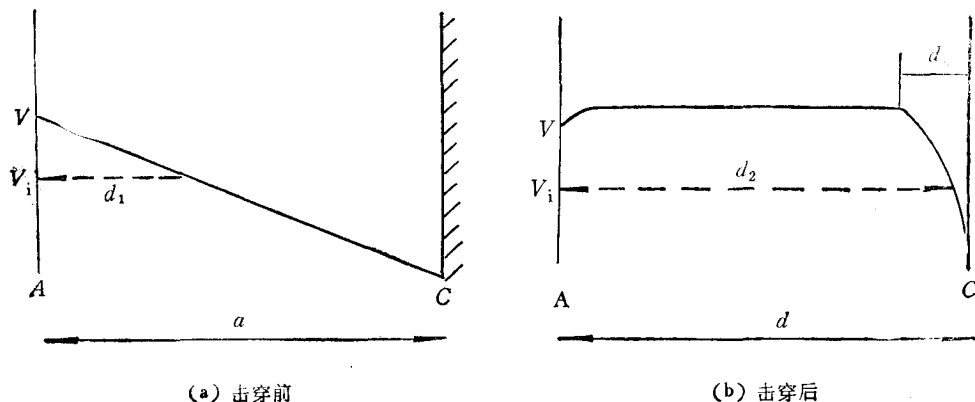


图 1 电极间的电势分布

第二层次上的双稳结构, 并与由空间电荷效应引起的第一层次双稳结构一起解释了实验中观察到的三稳结构。

二、第一层次双稳结构

文献[5]表明, 等离子体鞘层的形成对第一层次双稳结构的形成起着重要的作用。当气体被击穿后, 立即在阴极和阳极附近产生等离子体鞘层, 因而改变了击穿前的电势分布, 增加了电子的有效碰撞区域。图 1(a) 和图 1(b) 分别是击穿前后的电势分布, A 和 C 分别表示阳极和阴极的位置, 它们之间的距离为 d , V 为阳极电压, V_i 为气体的第一电离能。考虑电子密度的增加只来源于碰撞电离这一简单情形, 则有

$$dn_e(x) = n_e(x)n_0q(u)dx, \quad (1)$$

式中 $n_e(x)$ 和 n_0 分别为单位时间内由电离碰撞产生的电子密度和中性气体密度, x 为到阴极的距离, $q(u)$ 为氩的电离截面, 它是电子能量 u 的函数。当 $u \leq eV_i$ 时 $q(u) = 0$, 而当 $u \geq eV_i$ 时, 在实验范围内 $q(u)$ 随 u 单调增加。定义 N_e 为单位时间单位横截面内从阴极到阳极产生的电子总数。在气体被击穿前, 电场在极间均匀分布, 整个极间区域都是电子加速区, 此时有

$$\begin{aligned} N_e &= n_e(0) \exp \left[\int_0^d n_0 q(u) dx \right] \\ &= n_p \exp \left[\int_{dV_i/V}^d n_0 q(u) dx \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

这里 $n_p \equiv n_e(0)$ 为单位时间内由阴极表面单位面积内发射出来的初始电子数, 由此可得到电子的倍增率为

$$g_1(V) = N_e/n_p = \exp \left[\int_{dV_i/V}^d n_0 q(u) dx \right]. \quad (3)$$

气体击穿后, 产生电离碰撞的将主要是能量为 eV 的单能电子, 相应的电子倍增率为

$$g_2(V) = \exp \left[n_0 q(eV)(d - d_i) + \int_{d-d_i}^{d_i} n_0 q(u) dx \right]. \quad (4)$$

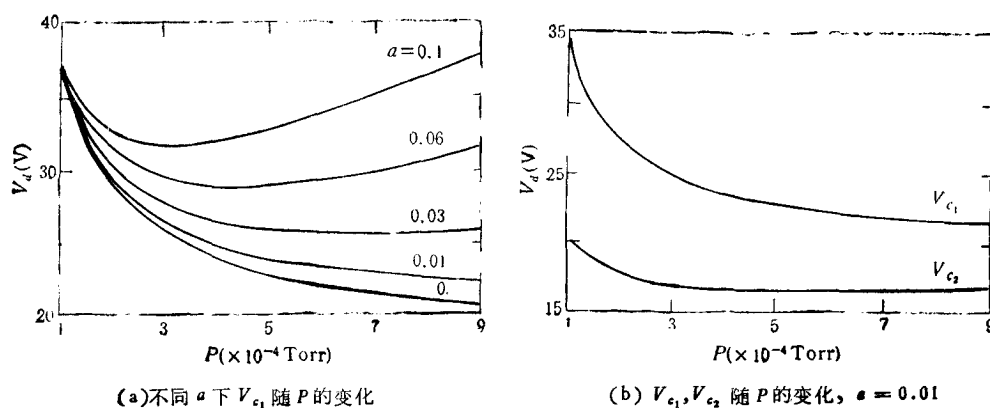


图 2

定义产生等离子体所需的最低电子倍增率为 g_0 , 则在电压从零升高的过程中, 可以由

$$g_1(V_{c_1}) = g_0 \quad (5)$$

得到击穿电压 V_{c_1} . 一旦放电产生后, 使得电子可以产生碰撞电离的区域大大增加 (几乎整个极间区域), 电子将按照 $g_2(V)$ 倍增. 当电压从比大于 V_{c_1} 的数值往下降时, 直到

$$g_2(V_{c_2}) = g_0 \quad (6)$$

时放电熄灭. 由(5)和(6)式得

$$\int_{V_{c_2}/V_{c_1}}^d q(eV_{c_1}x/d)dx = q(eV_{c_2})d, \quad (7)$$

要使(7)式成立, 必须有 $V_{c_2} < V_{c_1}$.

如果考虑了电子能量与中性气体分子的碰撞损失, 可以把电子动能改写成

$$u = eV/(1 + aP), \quad (8)$$

这里 V 为加速电压, P 为中性气体压强, a 为与电子和气体分子的碰撞截面及碰撞路程有关的一个参数, 由此可由下式来确定击穿电压 V_{c_1} ,

$$(P/V_{c_1}) \int_{V_{c_1}/(1+aP)}^{V_{c_1}} q[eV/(1+aP)]dV = C, \quad (9)$$

这里 C 为与 g_0 有关的常数. 图 2(a) 显示对于不同的 a 值, 击穿电压 V_{c_1} 随 P 的变化. 当 a 较小时 ($a < 0.03$), V_{c_1} 随 P 的增加而下降, 此时 P 的增大主要是引起电离概率的增加. 当 $a > 0.03$ 时, V_{c_1} 随 P 的变化有一个极小值, 它表示电离概率随 P 的增加和由于碰撞引起电子动能减小这两个过程的相互竞争. 考虑了 P 后, (7) 式将变为

$$(P/V_{c_1}) \int_{V_{c_1}/(1+aP)}^{V_{c_1}} q[eV/(1+aP)]dV = q(eV_{c_2}). \quad (10)$$

由此式可以由 V_{c_1} 得到 V_{c_2} 随 P 的变化关系. 图 2(b) 为 $a = 0.01$ 时的结果, 一般来说, V_{c_1} 的理论值与实验值符合得较好, V_{c_2} 的理论值偏小, 这是由于忽略了粒子扩散造成的影响.

三、第二层次双稳结构

在这一节中将针对文献 [6] 的实验结果进行讨论. 当稳态装置中的氩气在外加电场下被击穿后, 等离子体的形成将同时伴随着鞘层的形成, 阳极和阴极间的电位降主要集中在鞘层区内, 因此理论上可认为全部电位降都集中在阴极鞘层, 而等离子体区内无电场.

在等离子体区内, 共存在电子、离子、处于氩稳态的分子和中性气体分子等四种粒子. 它们的密度分别用 n_e , n_i , n^* 和 n_0 来表示. 由于考虑的是低温、低密度、低电离度等离子体, 因此前三者与后者比较为小量, 由此可将中性气体分子密度 $n_0 = P/kT$ 作为外界控制参数进行讨论. 下面讨论各种基本过程对粒子密度的影响.

1. 弹性碰撞过程

对于真实的系统, 弹性碰撞改变着电子的温度, 因而改变着处在麦克斯韦分布的高能尾部的电子数目, 亦即改变着电离概率. 然而这种影响对目前讨论的系统并不十分重要 (尽管它是造成混沌的主要原因之一). 先不考虑温度的变化, 将电子温度取近似取为

2eV, 这样, 这种过程只影响到系统粒子的能量分布而对各种粒子数的变化所起的作用可忽略。

2. 非弹性碰撞过程

该系统主要有下列 6 种非弹性碰撞过程决定着电子密度、离子密度和亚稳态粒子密度的变化, 其中由阴极表面发射出来的初始电子的贡献将归入源项。

- 1) 电离 $e + \text{Ar} \xrightarrow{\sigma_1} \text{Ar}^+ + e + e,$
- 2) 复合 $e + \text{Ar}^+ \xrightarrow{\sigma_2} \text{Ar},$
- 3) 激发 $e + \text{Ar} \xrightarrow{\sigma_3} \text{Ar}^* + e,$
- 4) 去激发 $e + \text{Ar}^* \xrightarrow{\sigma_4} \text{Ar} + e,$
- 5) 复合到亚稳态 $e + \text{Ar}^+ \xrightarrow{\sigma_5} \text{Ar}^*,$
- 6) 从亚稳态电离 $e + \text{Ar}^* \xrightarrow{\sigma_6} \text{Ar}^+ + e + e,$

其中 $\sigma_i (i = 1, 2, \dots, 6)$ 分别为各过程进行的速率, 它们都是温度的函数, 在本文的恒温近似下, 它们仅是中性气体压强、初始电子密度和放电电压的函数。三体复合和第二类 Penning 过程等效应, 在目前讨论的系统中出现的可能性很小, 因而不考虑。各种速率的计算都比较复杂, 下面仅以 σ_1 为例。

在等离子体中, 电子的运动速率远大于其它粒子, 并且能很快地通过碰撞而达到热平衡。假定电子平衡态的分布为麦克斯韦分布, 那么只有在此分布的高能尾部其平均动能大于氩的电离能 15.76eV 的那些电子, 才有可能使氩产生电离。

电子的速度分布为

$$\frac{dn_e}{n_e} = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT_e} \right)^{3/2} c^2 \exp \frac{-m_e c^2}{2dT_e} dc.$$

由于动能 E 可由速度 c 写成

$$E = \frac{1}{2} m_e c^2,$$

由此

$$c = \left(\frac{2E}{m_e} \right)^{1/2}$$

及

$$dc = \frac{1}{2} \left(\frac{2E}{m_e} \right)^{-1/2} \frac{2dE}{m_e}.$$

故可得到能量分布为

$$dn_e(E) = \frac{2}{\pi^{1/2}} \left(\frac{E}{kT_e} \right)^{1/2} \exp \left(-\frac{E}{kT_e} \right) d \left(\frac{E}{kT_e} \right). \quad (11)$$

由(11)式可知, 电子在不同温度 T_e 下随能量的分布。可得单位时间单位体积内电子-离子对的产生率为

$$n_0 \sigma_1 = \int_0^\infty n_0 q(E) c dn_e(E), \quad (12)$$

式中 $q(E)$ 为电离截面

$$q(E) = \begin{cases} 0 & E < eV_i = 15.76\text{eV}; \\ a(E - eV_i)^b \pi a_0^2 & E \geq eV_i, \end{cases} \quad (13)$$

式中 $n_0 = \text{粒子数}/\text{cm}^3 = P (\times 3.54 \times 10^{16} \text{ Torr})$,

$$\left. \begin{aligned} a &= 0.125, \\ b &= 1.077, \end{aligned} \right\} \text{对氩气而言,}$$

$$E \text{ 单位为 eV, } \pi a_0^2 = 8.82 \times 10^{-17} \text{ cm}^2, \left(\frac{2E}{m_e}\right)^{1/2} = E^{1/2} \times 5.93 \times 10^7 \text{ cm/s},$$

n_e 为等离子体密度.

由此得到

$$\begin{aligned} n_e n_0 \sigma_1 &= \int_{eV_i}^{\infty} n_0 a (E - eV_i)^b \pi a_0^2 \left(\frac{2E}{m}\right)^{1/2} n_e \frac{2}{\pi^{1/2}} \left(\frac{E}{kT_e}\right)^{1/2} \exp\left(\frac{-E}{kT_e}\right) \frac{1}{kT_e} dE \\ &= 2.09 \times 10^8 P a n_e \int_{eV_i/kT_e}^{\infty} (E - eV_i)^b E^{1/2} \left(\frac{E}{kT_e}\right)^{1/2} \exp\left(\frac{-E}{kT_e}\right) d\left(\frac{E}{kT_e}\right). \end{aligned} \quad (14)$$

如取 $kT_e = 2\text{eV}$, 即得

$$\sigma_1 n_0 \approx 30 \bar{P} (\text{s}^{-1}), \quad (15)$$

式中 $\bar{P} = P \times 10^4 (\text{Torr})$.

对其它一些反应速率的知识知道得不够精确, 根据经验它们可取成 $\sigma_2 \approx 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$, $\sigma_3 n_0 \approx 10 \bar{P} (\text{s}^{-1})$, $\sigma_4 \approx \sigma_6 \approx 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 及 $\sigma_5 \approx 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$.

3. 粒子的损失与弛豫过程

除复合损失外, 电子和离子的损失主要是它们碰到器壁上的中和, 其数量级为 $10^2 - 10^3 \text{ s}^{-1}$. 除去激发和电离损失外, 亚稳态粒子的损失主要归功于弛豫过程, 弛豫常数为 $\gamma_* \approx 10^{-1} - 10 \text{ s}^{-1}$. 为方便起见, 在下面的讨论中, 取 $\gamma_e = 150 \text{ s}^{-1}$, $\gamma_i = 100 \text{ s}^{-1}$, $\gamma_* = 1 \text{ s}^{-1}$.

4. 源项——初始电子的贡献

当系统刚开始工作, 等离子体和阴极鞘层还未形成, 气体中电子的产生全部来自阴极表面发射出来的高能初始电子和中性气体的电离碰撞. 当极间电压不很高时, 电子的损失率大于产生率, 体系处在无等离子体状态. 当增大电压至一阈值后, 气体被击穿, 系统达到形成等离子体所需要的最低倍增率. 在等离子体形成的同时在阴极附近出现集中极间电位降的鞘层. 产生等离子体的源也就是在这种状态下, 从阴极表面发射出来的电子在经过鞘层电压的加速后进入等离子体而使中性气体分子电离. 电离截面为

$$q(V) = a(eV - eV_i)^b \cdot \pi a_0^2. \quad (16)$$

假定从阴极表面发射出来的初始电子的初速度为零, 则在通过鞘层的加速后进入到等离子体时的速度为

$$v_p = \sqrt{\frac{2eV}{m_e}} = 5.935 \times 10^7 \times (eV)^{1/2} (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}). \quad (17)$$

如果 n_p 为单位时间进入到等离子体区单位体积中的初始电子数, 则在单位时间内由电离

碰撞而引起电子密度的增加为

$$R = \alpha n_p n_0 = q(V) v_p n_p n_0, \quad (18)$$

而由(16)和(17)式得

$$\alpha n_0 = 2.316 \times 10^3 \sqrt{eV} (eV - eV_i) \cdot \bar{P}, \quad (19)$$

亦即有

$$R = 2.316 \times 10^3 \bar{P} n_p \sqrt{eV} (eV - eV_i) (\text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}). \quad (20)$$

综合上述各种过程, 得到各类粒子分量的速率方程为

$$\begin{aligned} \frac{dn_e}{dt} &= R - \gamma_e n_e + \sigma_1 n_0 n_e - (\sigma_2 + \sigma_5) n_e n_i + \sigma_6 n_e n^*; \\ \frac{dn_i}{dt} &= R - \gamma_i n_i + \sigma_1 n_0 n_e - (\sigma_2 + \sigma_5) n_e n_i + \sigma_6 n_e n^*; \\ \frac{dn^*}{dt} &= -\gamma_* n^* + \sigma_3 n_0 n_e - (\sigma_4 + \sigma_6) n_e n^* + \sigma_5 n_e n_i. \end{aligned} \quad (21)$$

这是一组封闭的一阶非线性常微分方程。为讨论方便对其作下述无量纲变换:

$$n_e = 10^8 x, \quad n_i = 10^8 y, \quad n^* = 10^8 z, \quad \tau = \gamma_* t, \quad (22)$$

方程组(21)可写成

$$\begin{aligned} \frac{dx}{d\tau} &= \bar{R} - \gamma_1 x + ax - bxy + cxz; \\ \frac{dy}{d\tau} &= \bar{R} - \gamma_2 y + ax - bxy + cxz; \\ \frac{dz}{d\tau} &= -z + dx - exz + fxy, \end{aligned} \quad (23)$$

$$\text{式中 } \gamma_1 = \frac{\gamma_e}{\gamma_*} = 150, \quad \gamma_2 = \frac{\gamma_i}{\gamma_*} = 100, \quad \bar{R} = \frac{10^{-8}}{\gamma_*} R,$$

$$a = \frac{\sigma_1 n_0}{\gamma_*} = 30 \bar{P}, \quad b = \frac{\sigma_2 + \sigma_5}{\gamma_*} \times 10^8 = 1, \quad c = \frac{\sigma_6 \times 10^8}{\gamma_*} = 0.1,$$

$$d = \frac{\sigma_3 n_0}{\gamma_*} = 10 \bar{P}, \quad e = \frac{\sigma_4 + \sigma_6}{\gamma_*} \times 10^8 = 0.2, \quad f = \frac{\sigma_5 \times 10^8}{\gamma_*} = 0.5.$$

下面讨论体系处于定态的行为。对于定态解, $\frac{d}{dt} = 0$, 设 x_s, y_s, z_s 为定态解, 有

$$\begin{aligned} \bar{R} - \gamma_1 x_s + ax_s - bx_s y_s + cx_s z_s &= 0; \\ \bar{R} - \gamma_2 y_s + ax_s - bx_s y_s + cx_s z_s &= 0; \\ -z_s + dx_s - ex_s z_s + f x_s y_s &= 0. \end{aligned} \quad (24)$$

解此方程组, 可得到

$$y_s = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} x_s = 1.5 x_s;$$

$$z_s = \frac{dx_s + f \frac{\gamma_1}{\gamma_2} x_s^2}{1 + ex_s} = \frac{(10 \bar{P} + 0.75 x_s) x_s}{1 + 0.2 x_s} \quad (25)$$

及

$$\bar{R} = \frac{(\gamma_1 - a)x_s + \left[(\gamma_1 - a)e + b \frac{\gamma_1}{\gamma_2} - cd \right] x_s^2 - (be - cf) \frac{\gamma_1}{\gamma_2} x_s^3}{1 + ex_s} \\ = \{(150 - 30\bar{P})x_s + (31.5 - 7\bar{P})x_s^2 + 0.225x_s^3\} / (1 + 0.2x_s). \quad (26)$$

考虑到

$$\bar{R} = 2.316 \times 10^{-5} \bar{P} n_p \sqrt{V} (V - 15.76), \quad (27)$$

可以由 $\bar{P}$, n_p 及 V 求得定态 x_s , y_s 和 z_s , 图 3 为算得的恢复到原量纲变量的 n_e - R 关系图, 其中曲线 a 对应 $P = 4.76 \times 10^{-4}$ Torr, 曲线 b 对应 $P = 4.7785 \times 10^{-4}$ Torr, 曲线

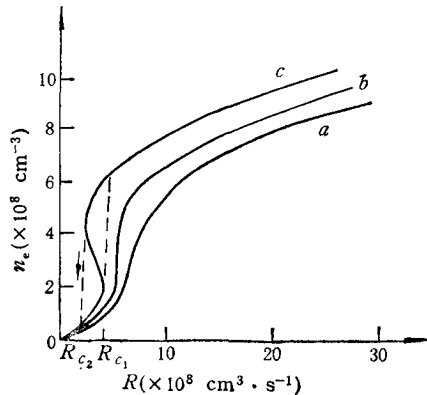


图 3 由方程组(21)描述的定态 n_e - R 关系
曲线 a 为 $P = 4.75 \times 10^{-4}$ Torr;
曲线 b 为 $P = 4.7785 \times 10^{-4}$ Torr;
曲线 c 为 $P = 4.8 \times 10^{-4}$ Torr

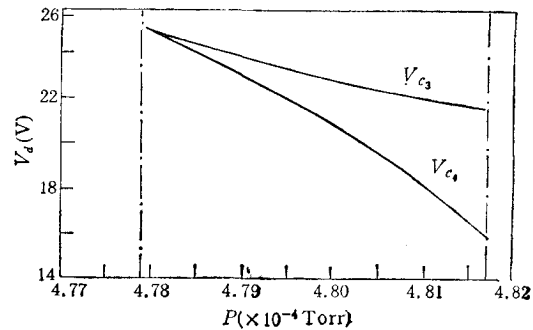


图 4 第二层次双稳结构中 V_{e3} , V_{e1} 随压强 P 的变化

c 对应 $P = 4.8 \times 10^{-4}$ Torr. 图 3 示出随 P 的变化 n_e - R 关系由单稳结构到双稳结构的过渡, 此即第二层次上的双稳结构. 曲线 c 表明, 当 $R_{c2} < R < R_{c1}$ 时, 对应同一 R 值, 可得到三个不同的 x_s 值. 线性稳定性分析表明, 曲线 c 中的上下二分支是稳定的, 中间的那个分支是不稳定的.

已知 $\bar{P}$ 和 n_p 的数值, 根据(27)式, 可从 R 求得 V . 对于图 3 中曲线 c 的参数, V_{e3} , V_{e1} 及 $V_{e3} - V_{e1}$ 随 n_p 的增加(减小)而减小(增加). 如果固定 $n_p = 10^3/\text{cm}^3\text{s}$, 得到 $V_{e3} = 23.07\text{V}$, $V_{e1} = 20.89\text{V}$, 这些结果与实验符合得很好. 如果固定 n_p , 则 V_{e3} , V_{e1} 和 $V_{e3} - V_{e1}$ 随 P 变化. 图 4 示出这种变化的行为. 当 $V_{e3} - V_{e1} = 0$ 时, 第二层次双稳结构消失.

四、三 稳 结 构

至此, 我们已知, 空间电荷效应是产生由无等离子体状态和等离子体状态构成的第一层次双稳结构的原因, 而各种基本的相互作用等物理过程将使第一层次双稳结构中的等离子体状态这一个支形成一个第二层次双稳结构. 由此可以想象, 在上述两种不同层次物理机制的共同作用下, 调节外界参数, 可得到单稳、双稳、双双稳及各种不同形式的三稳

结构. 图 5 给出 $4.77 \times 10^{-4} \text{ Torr} \leq P \leq 4.82 \times 10^{-4} \text{ Torr}$ 时, V_{c1} , V_{c2} , V_{c3} 及 V_{c4} 随 P 的变化, 其中固定 $a = 0.01$, $n_p = 10^3$. 图 5 有 6 个区域, 当 P 在 I 区中时, 体系呈现出一般的双稳结构; 当 P 落在 II 区时, $V_{c2} < V_{c1} < V_{c4} < V_{c3}$, 为双双稳结构; 当 P 在 III 区时, $V_{c2} < V_{c4} < V_{c1} < V_{c3}$, 为第三类三稳结构; 当 P 在 IV 区时, $V_{c2} < V_{c1} < V_{c3} < V_{c4}$, 为第二类三稳结构; 当 P 在 V 区时, $V_{c4} < V_{c2} < V_{c3} < V_{c1}$, 为第一类三稳结构; 当 P 落在 VI 区中时, 体系呈通常的双稳结构. 由图 5 中结构可见, 固定其它外界参数, 只让 P 作变化, 不可能观察到全部第 1 到第 5 类三稳结构. 当改变阳极的接收功能后, 可出现 $V_{c4} < V_{c2} < V_{c1} < V_{c3}$ 的情形, 即第 4 类三稳结构.

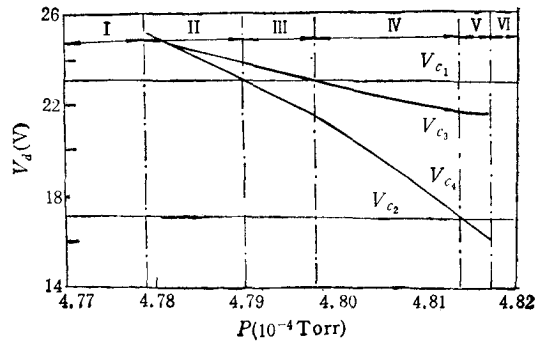


图 5 三稳结构中各阈值随压强 P 的变化
从图中可看出各种形式的三稳结构

五、讨 论

至此,从基本的物理机制出发,成功地解释了气体直流放电等离子体中的三稳现象. 但要用上述模型来解释极限环、分岔及混沌现象^[8] 还有相当的距离. 稳定性分析表明,由方程组(24)所描述的双稳结构的上下支在实验的参数范围内总是稳定的. 因此,其某一组参数下的稳定定态随参数在实验范围内的变化不可能失稳,因而也不可能有分岔及混沌现象. 而要解释气体(氩气)直流放电等离子体中的分岔及混沌现象还需考虑其它物理机制.

首先,考虑了交流电源的影响,也就是说,在电源由交流转换成直流的过程中,有可能保留一些交流微扰,即气体真正感受到的电压为一直流电压加上一相对很小的交流电压(或更为复杂), $V = V_0(1 + m \sin \omega t)$. 用龙格-库塔法对此进行了数值计算,并在相平面 $n_e - dn_e/dt$ 上观察其时间行为. 计算结果表明,随着 m 和 ω 的变化,观察到的极限环的形状和大小也发生相应的变化,但没有观察到极限环的分岔及混沌现象. 这种分析同样表明,如果人为地调制电压 V ,也将观察到极限环运动.

本文中作了恒温近似,即将电子温度固定为常数. 实际上,电子温度是随时间而变化的. 如果考虑了温度效应,还需建立一个关于电子温度的方程(即能量方程),同时计及各种参数对温度的依赖关系,这样,问题的讨论将变得相当复杂. 但可以预言,分岔及混沌现象与温度的变化有着密切的联系.

本文中還忽略了三体碰撞和第二类 Penning 效应. 这些效应在一定程度上对体系的非线性现象产生贡献.

感谢胡希伟教授、俞昌旋教授、蒋勇博士、杨维纹博士的帮助和讨论.

- [1] A. V. Gurevich, *Soviet Phys. JEPT*, **35**(1959), 271.
[2] S. Imaze *et al.*, *J. Phys. Soc. Japan*, **19** (1964), 418.
[3] S. L. Cartier and R. L. Merlino, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, **PS-12** (1984), 14.
[4] R. L. Merlino and S. L. Cartier, *Appl. Phys. Lett.*, **44**(1984), 33.
[5] 蒋勇, 胡希伟, 俞昌旋, 第二届全国等离子体物理理论年会, 四川乐山, (1987).
[6] JIANG Yong (蒋勇), WANG Haida (王海达), YU Changxuan (俞昌旋), *Chinese Phys. Lett.*, **5**(1988), 201.
[7] 王海达, 蒋勇, 俞昌旋, 核聚变与等离子体物理, **9**(1989), 73.
[8] JIANG Yong (蒋勇), WANG Haida (王海达), Yu Changxuan (俞昌旋), *Chinese Phys. Lett.*, **5**(1988), 489.

SEMICLASSICAL THEORY OF THE TRISTABLE PHENOMENA IN ARGON DISCHARGE PLASMA

WANG HAI-DA

Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei, 230026

(Received 16 February 1990)

ABSTRACT

In accordance with the experiment results of the tristable phenomena in argon discharge plasma in a double plasma device, the related semiclassical theory based on the fundamental physical processes, such as ionization, recombination, excitation and deexcitation, are established.

PACC: 5290; 5220; 5200