

# L. C 振子超混沌系统的参数辨析

邓学明<sup>1</sup>, 马 军<sup>2</sup>, 蒲忠胜<sup>2</sup>

(1. 浙江科技学院 理学院, 浙江 杭州 310023; 2. 兰州理工大学 理学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘 要:** 对于 L. C 振子超混沌系统的未知参数提出一种简单的辨析方法, 首先通过对系统实行反馈控制使其到达任意不动点, 其次通过求解不动点的平衡方程, 解析得到系统未知参数的表达式, 当超混沌系统参数发生阶跃变化时也能实现准确辨析, 数值计算结果和理论分析一致。该方法对于研究其他超混沌系统结构具有一定的理论意义。

**关键词:** L. C 振子; 超混沌; 参数辨析; 反馈

**中图分类号:** O415.5; O545

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-8798(2005)02-0088-04

## Parameters identification of L. C oscillator hyperchaotic system

DENG Xue-ming<sup>1</sup>, MA Jun<sup>2</sup>, PU Zhong-sheng<sup>2</sup>

(1. School of Science, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China;

2. College of Science, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** It analytically gives the form of observer for unknown parameters of L. C oscillator by controlling the hyperchaotic system to reach desired orbit or stable point. It is easy to get the frondose form of observer for unknown parameters by solving the equilibrium equation when the system was led to the desired stable points. This method is more powerful and useful compared with the traditional linear observer method because it can find all the unknown parameters altogether. It realizes parameters identification successfully for the unknown parameters even when the parameters jump or vary. The numerical simulation results are consistent with the theory analysis, and the method proposed in this paper can be used to study other hyperchaotic system for parameters identification.

**Key words:** L. C oscillator; hyperchaos; parameter identification; feedback

近年来,对超混沌系统的研究引起了广泛的关注,超混沌具有比混沌系统更复杂的动力学特性,在众多领域已表现出很好的研究和应用价值<sup>[1~6]</sup>,如人体心脏——血液动力学系统<sup>[6]</sup>、大气动力学、电路和工程领域。动力系统都有一定的参数结构,混沌和超混沌系统不仅仅对系统的参数结构有一定严格的要求,而且还要求系统出现非线性项。在对系统进行

同步控制的过程中,必须知道系统的参数结构,如何实现对系统未知参数实现快速的辨析值得进一步研究。目前,对混沌系统参数辨析研究比较多,但对超混沌系统参数的辨析研究还比较少。本文以一类超混沌系统 L. C 振子系统为模型,进一步研究该系统的参数辨析问题<sup>[4,7]</sup>,通过简单的反馈控制(单个线性控制器),使得系统的输出到达预定的轨道或稳定

收稿日期: 2004-11-23

作者简介: 邓学明(1969— ),男,黑龙江虎林人,讲师,从事物理学和物理教学理论研究。

点,获得参数的表达式,结合系统的输出变量,快速实现对系统参数的准确辨析。该方法可以进一步推广到其他动力系统的参数辨析研究上(如 Lorenz 混沌系统和 rössler 超混沌系统<sup>[7]</sup>),具有一定的理论意义和价值。

## 1 L.C 振子超混沌系统<sup>[3~5,8]</sup>

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = ax_1 - x_2 - x_3 \\ \dot{x}_2 = x_1 - bx_2 \\ \mu \dot{x}_3 = x_1 - cx_3 - x_4 \\ \epsilon \dot{x}_4 = x_3 - d(x_4 - 1)H(x_4 - 1) \end{cases} \quad (1)$$

超混沌 L.C 振子模型是由 Tamasevicius 等提出的,包括一个串联的 L.C 振荡回路、负阻、充当非线性元件的二极管和一个运算放大器。其动力学系如(1)式表述。系统有 4 个输出变量,其中  $a, b, c, d$ ,  $\mu$  和  $\epsilon$  为系统参数,  $H(x)$  为阶跃函数。当  $x \geq 0$ ,

$H(x) = 1; x < 0, H(x) = 0$ 。系统参数取  $a = 0.6, b = 0.05, c = 0.015, d = 10, \epsilon = 0.33, \mu = 0.3$  时,系统(1)有 2 个正的 Lyapunov 指数,  $\lambda_1 = 0.11, \lambda_2 = 0.06$ ,表现出超混沌性质。

## 2 参数辨析原理

受控制的 L.C 超混沌系统为:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = ax_1 - x_2 - x_3 + G_1 \\ \dot{x}_2 = x_1 - bx_2 \\ \mu \dot{x}_3 = x_1 - cx_3 - x_4 \\ \epsilon \dot{x}_4 = x_3 - d(x_4 - 1)H(x_4 - 1) + G_4 \end{cases} \quad (2)$$

(2)式中,  $G$  为控制器,设系统参数  $\mu$  和  $\epsilon$  已知。下面首先对  $a, b, c, d$  进行辨析。

预期将系统的各个变量控制到某个固定点  $x_{01}, x_{02}, x_{03}, x_{04}$ , 将系统(2)在该固定点附近进行泰勒展开,忽略高次项,得到相应的雅克比矩阵:

$$J = \begin{bmatrix} a + \frac{\partial G_1}{\partial x_1} & -1 + \frac{\partial G_1}{\partial x_2} & \frac{\partial G_1}{\partial x_3} & \frac{\partial G_1}{\partial x_4} \\ 1 & -b & 0 & 0 \\ 1/\mu & 0 & c/\mu & -1/\mu \\ \frac{\partial G_4}{\partial x_1}/\epsilon & \frac{\partial G_4}{\partial x_2}/\epsilon & \left(1 + \frac{\partial G_4}{\partial x_3}\right)/\epsilon & \left(-dH(x_4 - 1) + \frac{\partial G_4}{\partial x_4}\right)/\epsilon \end{bmatrix} \begin{cases} x_1 = x_{10} \\ x_2 = x_{20} \\ x_3 = x_{30} \\ x_4 = x_{40} \end{cases}$$

选择恰当的控制,使得该矩阵的特征值为负数或者负实部,依据稳定性理论,最后有:

$$\dot{x}_i = 0, i = 1, 2, 3, 4 \quad (3)$$

通过求解动力系统(2)的方程就可以得到未知参数的结果。对于不同的超混沌动力系统,要考虑预期控制的稳定点是否在系统本身的轨道上,对于超混沌 L.C 振子系统,当  $x_4 < 1$  时,系统不存在稳定点,所以在选取控制目标点时,选择的控制器必须确保将  $x_4$  控制到  $x_4 > 1$  的任意值。为简单起见,选择  $G_4 = 0, G_1 = k(k_0 - x_1)$ , 其中  $k, k_0$  为常数。

在控制器  $G_1$  的控制下,当  $t \rightarrow \infty, x_1 \rightarrow x_{01}$ , 考虑系统(2)的第二分量方程有:

$$x_2 \rightarrow x_{01}/b \rightarrow x_{02} \quad (4)$$

考虑系统(2)的第一分量方程,有:

$$\begin{aligned} x_3 \rightarrow ax_1 - x_2 + k(k_0 - x_1) = \\ ax_{01} - x_{01}/b + k(k_0 - x_{01}) \rightarrow x_{03} \end{aligned} \quad (5)$$

再考虑系统(2)第三分量方程,有:

$$x_{01} - cx_{03} - x_4 \rightarrow 0 \quad (6)$$

从(6)式可以得到的选择范围以保证  $x_4 \rightarrow x_{04} > 1$ , 如

此动力系统才能在控制下到达稳定点,此时,有第四分量方程(7):

$$x_4 \rightarrow x_3/d + 1 \rightarrow x_{04} \quad (7)$$

从方程(4)~(7)式则可以得到参数  $a, b, c, d$  的数值,其中:

$$\begin{aligned} b &= x_{01}/x_2 \rightarrow x_{01}/x_{02} \\ a &= [x_3 + x_2 - k(k_0 - x_1)]/x_1 \rightarrow [x_{03} + x_{02} - \\ &\quad k(k_0 - x_{01})]/x_{01} \\ d &= x_3/(x_4 - 1) \rightarrow x_{03}/(x_{04} - 1) \\ c &= (x_1 - x_4)/x_3 \rightarrow (x_{01} - x_{04})/x_{03} \end{aligned} \quad (8)$$

文中控制器的作用在于引导系统趋近某个不动点  $(x_{01}, x_{02}, x_{03}, x_{04})$ , 从理论上讲,在控制器的作用下,第一变量  $x_1$  会趋近  $k_0$ , 这时系统反馈消失,回到自然超混沌状态,但数值计算表明:在控制器  $G_1 = k(k_0 - x_1)$  的作用下,系统很快到达某个固定点,这时已经将系统的参数辨析出来。L.C 振子超混沌系统的特点要求控制器中  $k$  和  $k_0$  的选择必须确保第四变量大于零,否则会导致第三变量最终演化为零,而不能将参数  $c$  辨析出。即通过将系统控制到稳定



点 $(x_{01}, x_{02}, x_{03}, x_{04})$  [ $\dot{x}_i=0, i=1, 2, 3, 4, x_i$  的目标值见(4)式、(5)式和(7)式]同样实现对系统参数的辨析。数值计算结果见图 1~4。

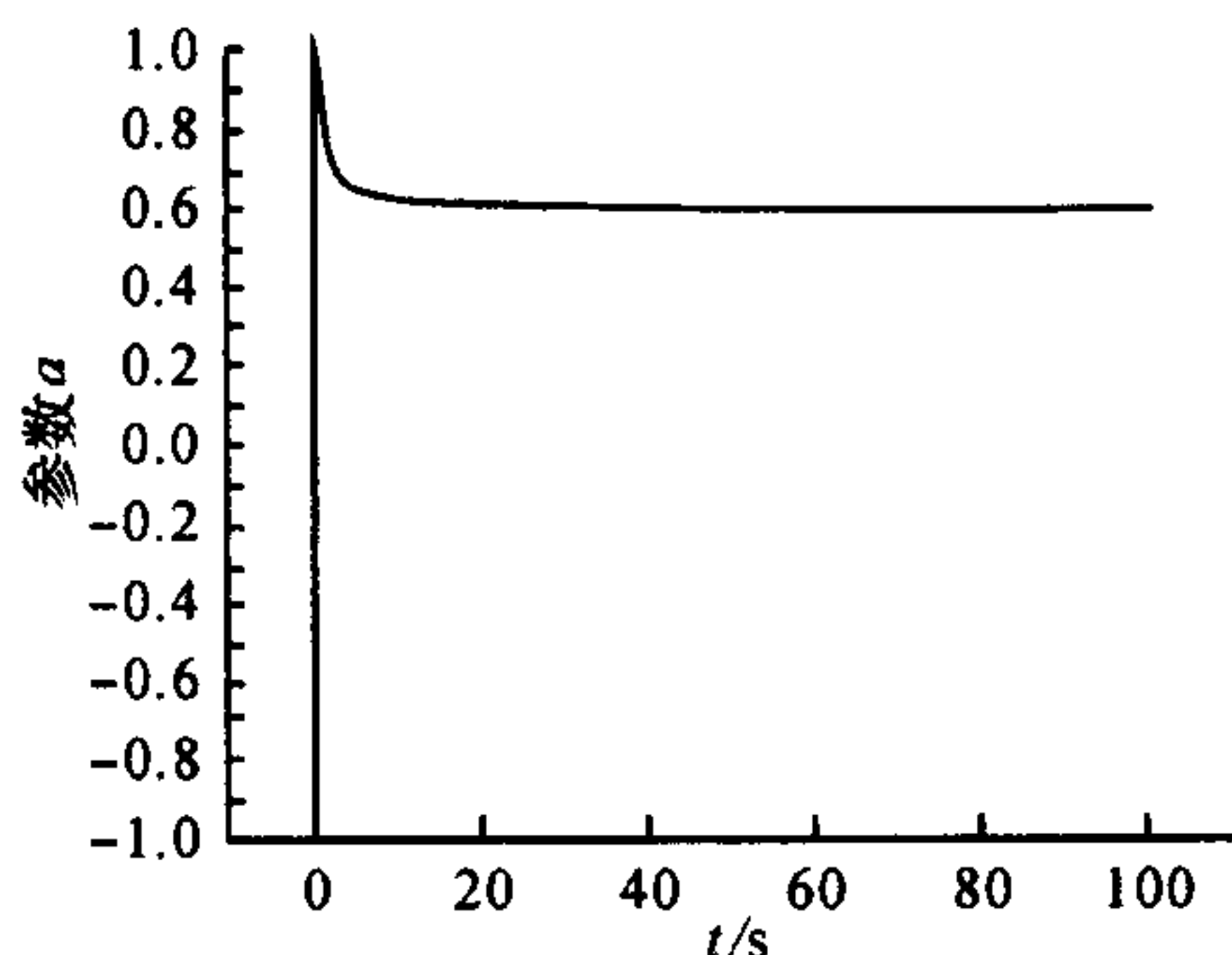


图 1 参数固定下对于参数  $a$  的辨析结果

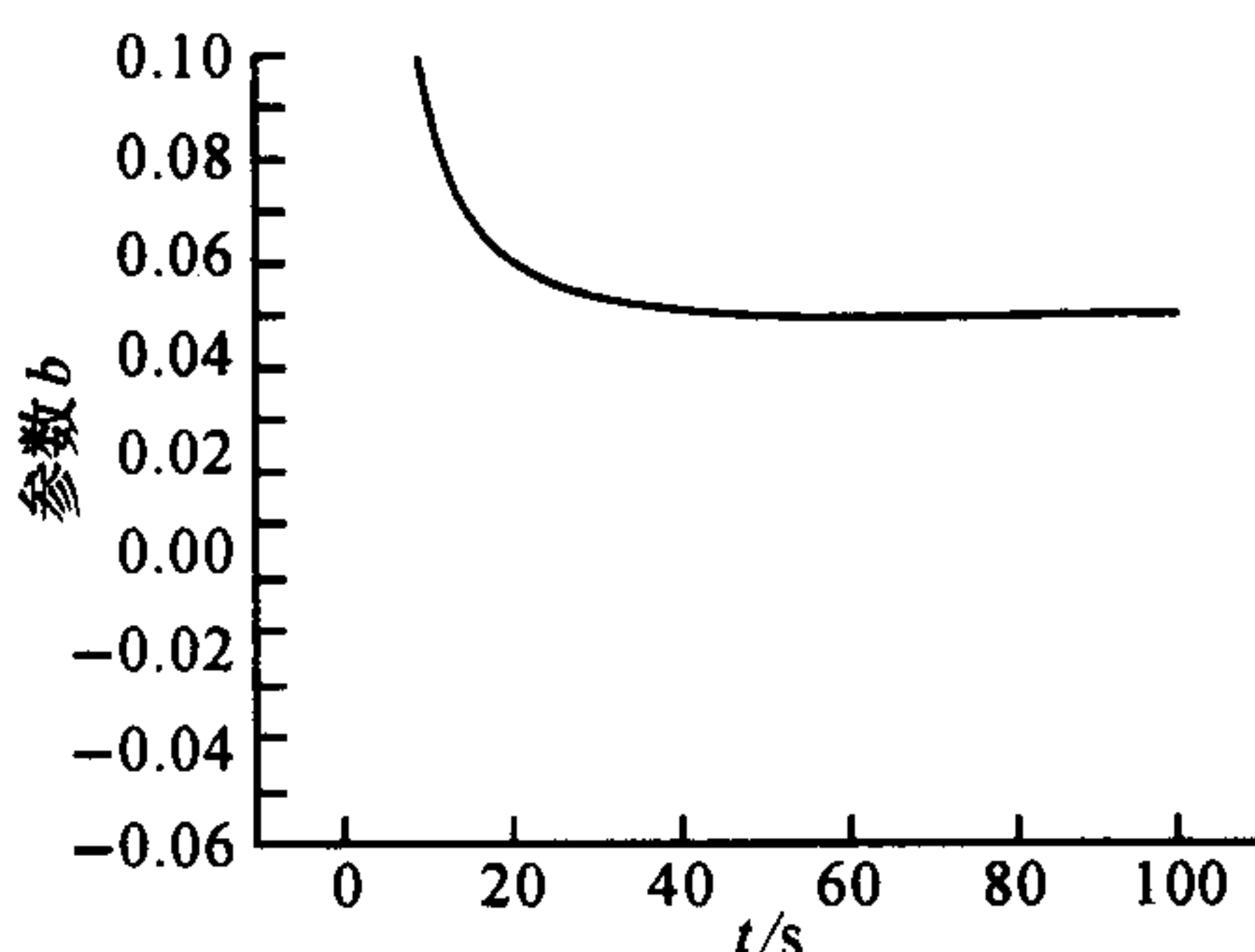


图 2 参数固定下对于参数  $b$  的辨析结果

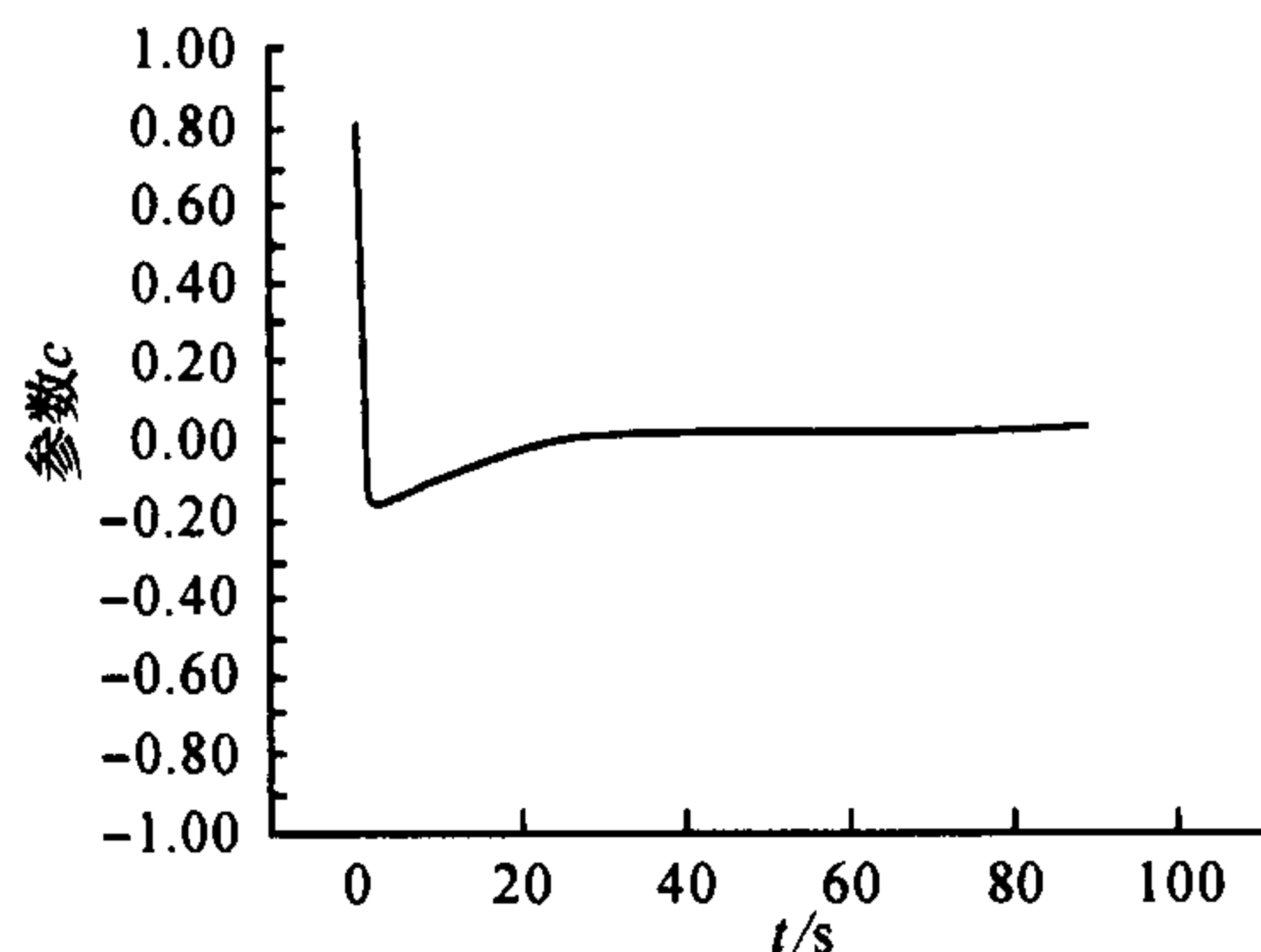


图 3 参数固定下对于参数  $c$  的辨析结果

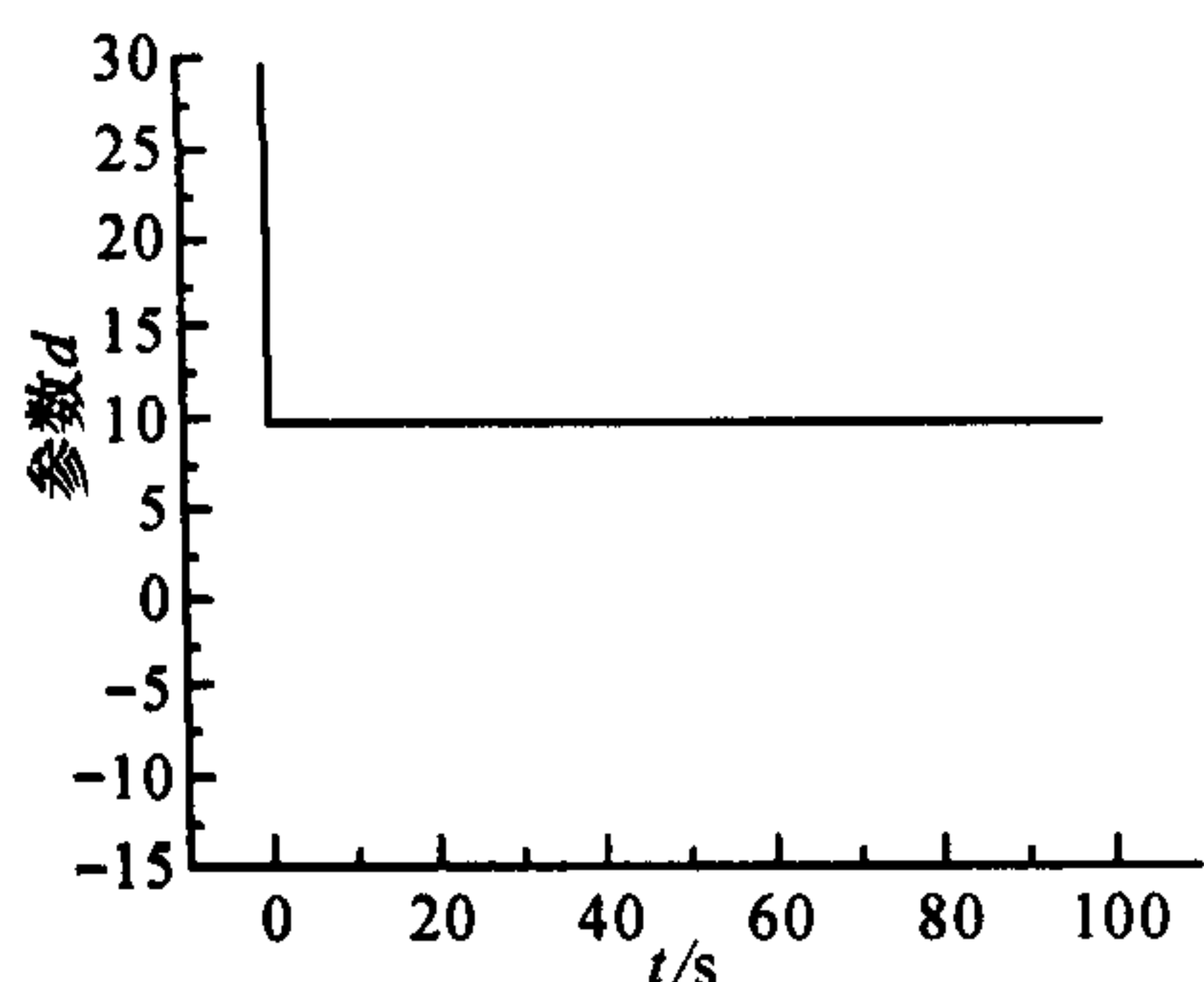


图 4 参数固定下对于参数  $d$  的辨析结果

以上讨论了当系统参数固定且不发生变化时的参数辨析,当系统的参数发生阶跃或缓慢变化时,采用上述方法也可以很快地辨析出系统未知参数。数值计算结果见图 5~8。

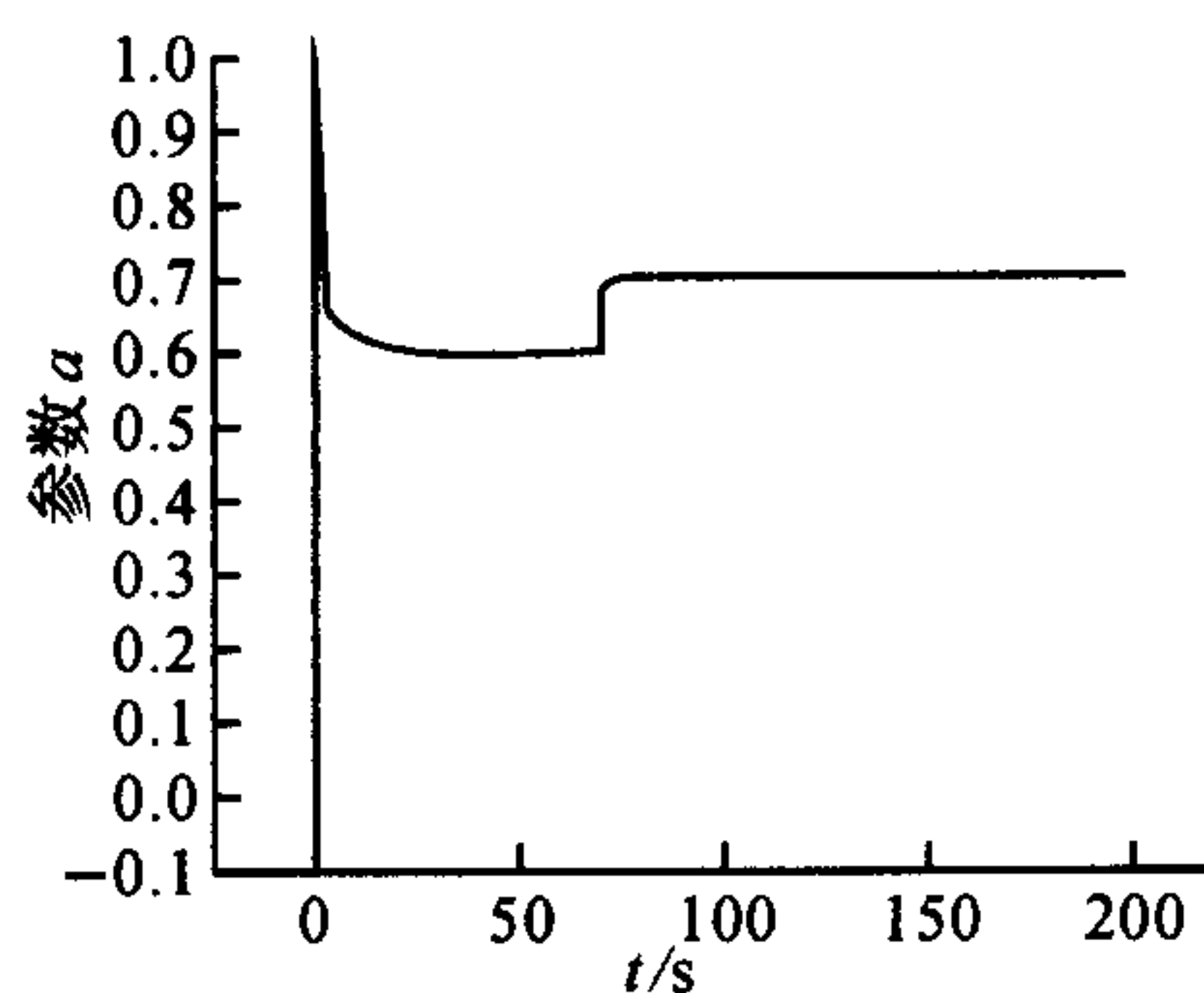


图 5 参数  $a$  跃变(0.6 到 0.7)的辨析结果

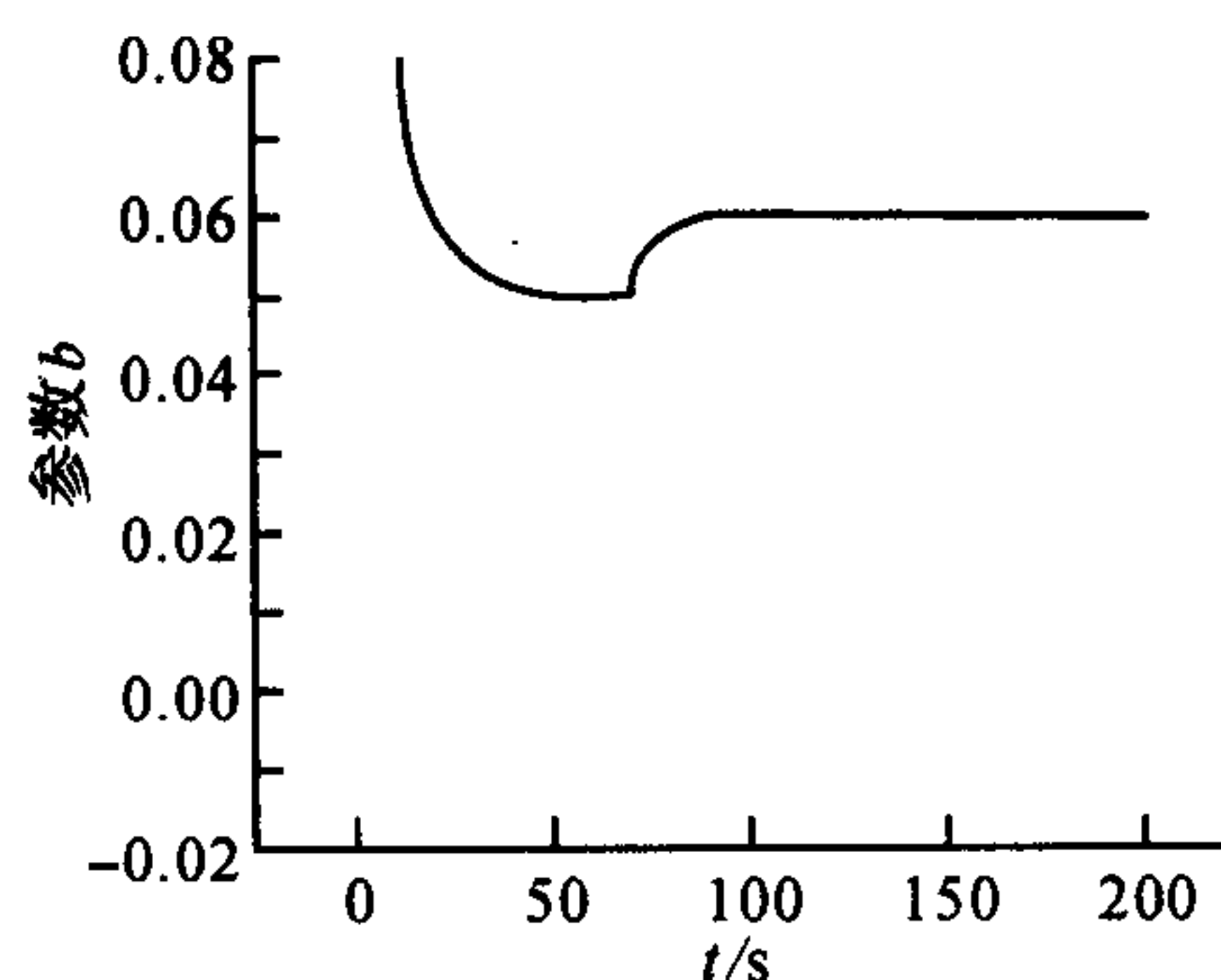


图 6 参数  $b$  跃变(0.05 到 0.06)的辨析结果

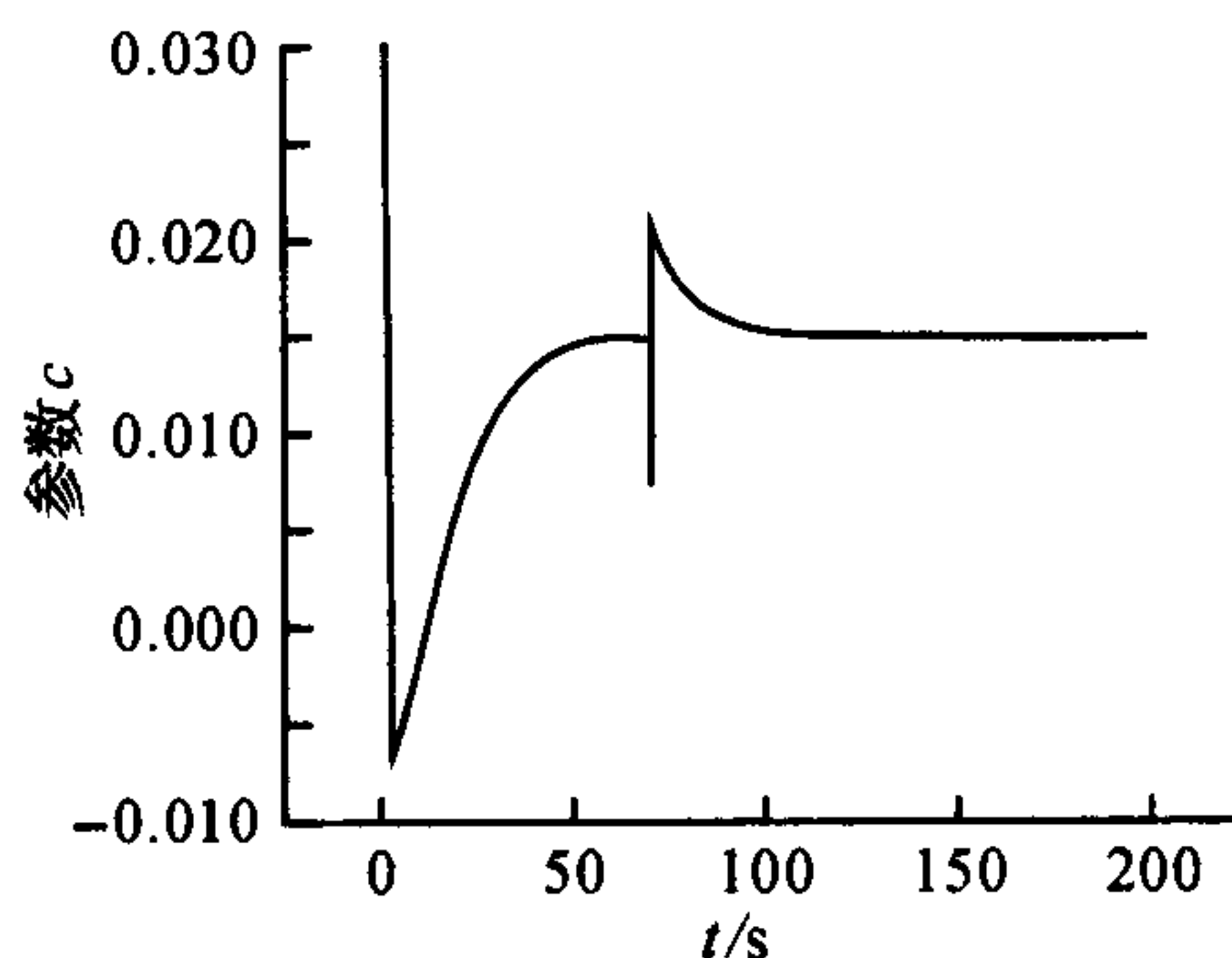


图 7 参数  $c$  跃变(0.015 到 0.016)的辨析结果

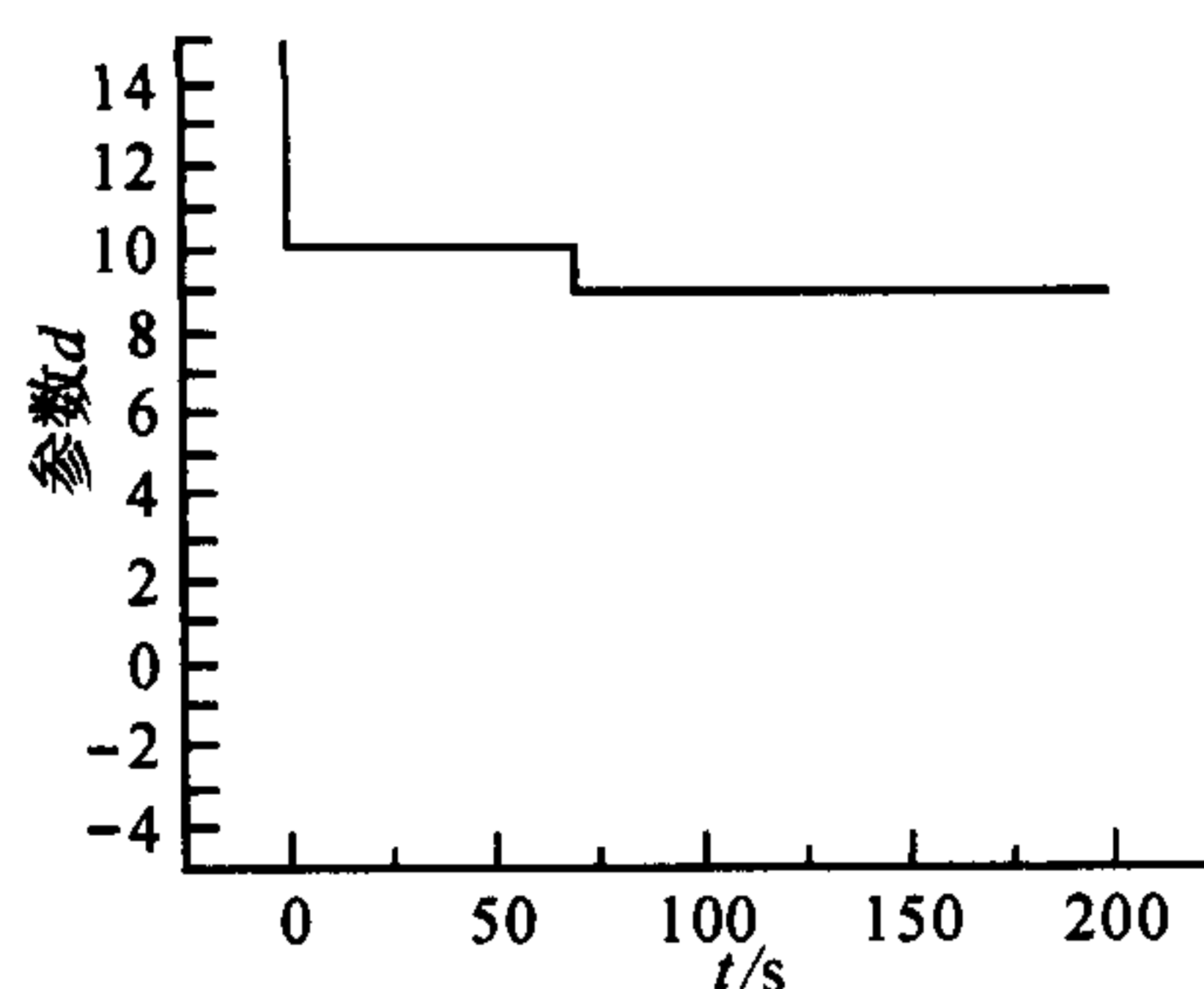


图 8 参数  $d$  跃变(10.0 到 9.0)的辨析结果

### 3 数值计算

(1) 当系统参数  $a, b, c, d$  确定但不知道时, 选择  $k=5, k_0=10$  各个变量的初始值为:  $x_{10}=1.6, x_{20}=0.11, x_{30}=1.3, x_{40}=1$ , 采用 R-K 方法积分, 对于各个参数的辨析结果随时间的演化见图 1~4。可以看出, 系统的参数被快速高精度辨析出。进一步可以通过调节参数  $k$  和  $k_0$ , 使辨析速度加快。

(2) 当系统参数  $a, b, c, d$  确定但在某个时间发生阶跃变化时, 选择  $k=5, k_0=10$  各个变量的初始值为  $x_{10}=1.6, x_{20}=0.11, x_{30}=1.3, x_{40}=1$ , 在第 70 s 发生跃变, 参数  $a$  从 0.6 变化到 0.7、 $b$  从 0.05 变化到 0.06、 $c$  从 0.015 变化到 0.016、 $d$  从 10 变化到 9, 采用 R-K 方法积分, 对于各个参数的辨析结果随时间的演化见图 5~8。

数值计算表明, 即使当系统的参数发生阶跃变化时, 采用上述辨析方法也能对参数实现快速准确辨析。

### 4 结 论

文中采用反馈控制的方法, 通过将系统控制到某个不动点, 解析得到系统未知参数的辨析式, 实现对系统未知参数的快速准确辨析。即使当系统的参数发生阶跃变化时, 也可以实现对系统参数的准确辨析, 数值计算和理论分析一致, 该方法可以应用到

其他混沌和超混沌系统的参数辨析研究上。

#### 参考文献:

- [1] Sboccaletti, Cgrebogi, Lai Y-C, *et al.* The control of chaos: Theory and applications [J]. Physics Report, 2000, 329: 103-197.
- [2] Sboccaletti, Kurths J, Osipov G, *et al.* The synchronization of chaotic systems [J]. Physics Report, 2002, 366: 1-101.
- [3] 马 军, 唐国宁. 一类超混沌系统的同步研究 [J]. 电路与系统学报, 2003, (6): 125-128.
- [4] 马 军, 唐国宁. 四维 L.C 振子超混沌系统的参数辨识和同步 [J]. 河南大学学报(自然科学版), 2003, 33(1): 30-34.
- [5] 马 军, 蒲忠胜, 唐国宁. 控制 L.C 振子超混沌系统到达任意目标 [J]. 系统仿真学报, 2004, 16(6): 1336-1339.
- [6] 裴留庆, 戴心来, 李宝东. 心脏血液耦合动力系统混沌同步模型 [J]. 中国科学: E 辑, 1998, 028(001): 83-86.
- [7] 马 军, 唐国宁, 蒲忠胜, 等. 一类复杂动力系统的参数辨析 [J]. 郑州大学学报(理学版), 2004, 36(4): 28-31.
- [8] Tamasevicius A, Namajunas A, Cenys. A simple 4D chaotic oscillator [J]. Electronics Letters, 1996, 32: 957-958.

## “驻极体空气过滤材料的研制”通过成果鉴定

2005 年 4 月 8 日, 杭州市科技局组织召开了由我校功能材料研究所所长陈钢进教授主持的杭州市科技发展计划项目“驻极体空气过滤材料的研制”的鉴定会。

该项目采用自行设计的可控温电晕注极方法, 对用热黏合工艺制得的多孔 PTFE 复合膜进行驻极体改造, 制备得到了新型驻极体空气过滤材料; 将该材料用作口罩内层主体过滤层, 设计制备了新型驻极体抗菌防护口罩; 并在项目实施过程中, 成功开发了可用于工业化生产的电晕注极方法和设备, 已产生显著的经济效益。

与会专家听取了项目工作报告、试制技术报告等, 认真审阅了分析测试报告、查新报告、用户意见等鉴定资料, 并察看了样品。经过认真讨论, 专家们一致认为: 提供的鉴定资料齐全、规范, 材料制备工艺路线先进合理, 在产品的设计及充电技术上有创新, 其技术处于国内领先水平。开发的新型空气过滤材料, 既提高了过滤效果, 又增加了抗菌、灭菌功能, 具有良好的经济效益和社会效益。

生物与化学工程学院