

参数估计法检测与诊断铁路运输车减振装置故障

刘志军 陈福根 张永光
(航空航天部二院二〇六所, 北京 100854) (中科院系统科学所, 北京 100080)

摘 要

本文利用参数估计法检测与诊断铁路运输车减振装置故障, 并分别对 6 自由度和 4 自由度模型进行了仿真和模拟实验。

关键词: 参数估计, 故障检测, 检测量。

一、引 言

铁路运输车的故障时有发生, 其减振装置的好坏直接影响到车辆运行的平顺性和安全性。传统的故障检测方法其根本缺陷是不能在线检测^[1,2]。目前尚未见国内外有关在线故障检测的报道。本文试图对此做一些方法性的研究。

二、检测与诊断方法

图 1 为经简化的铁路运输车运动模型。

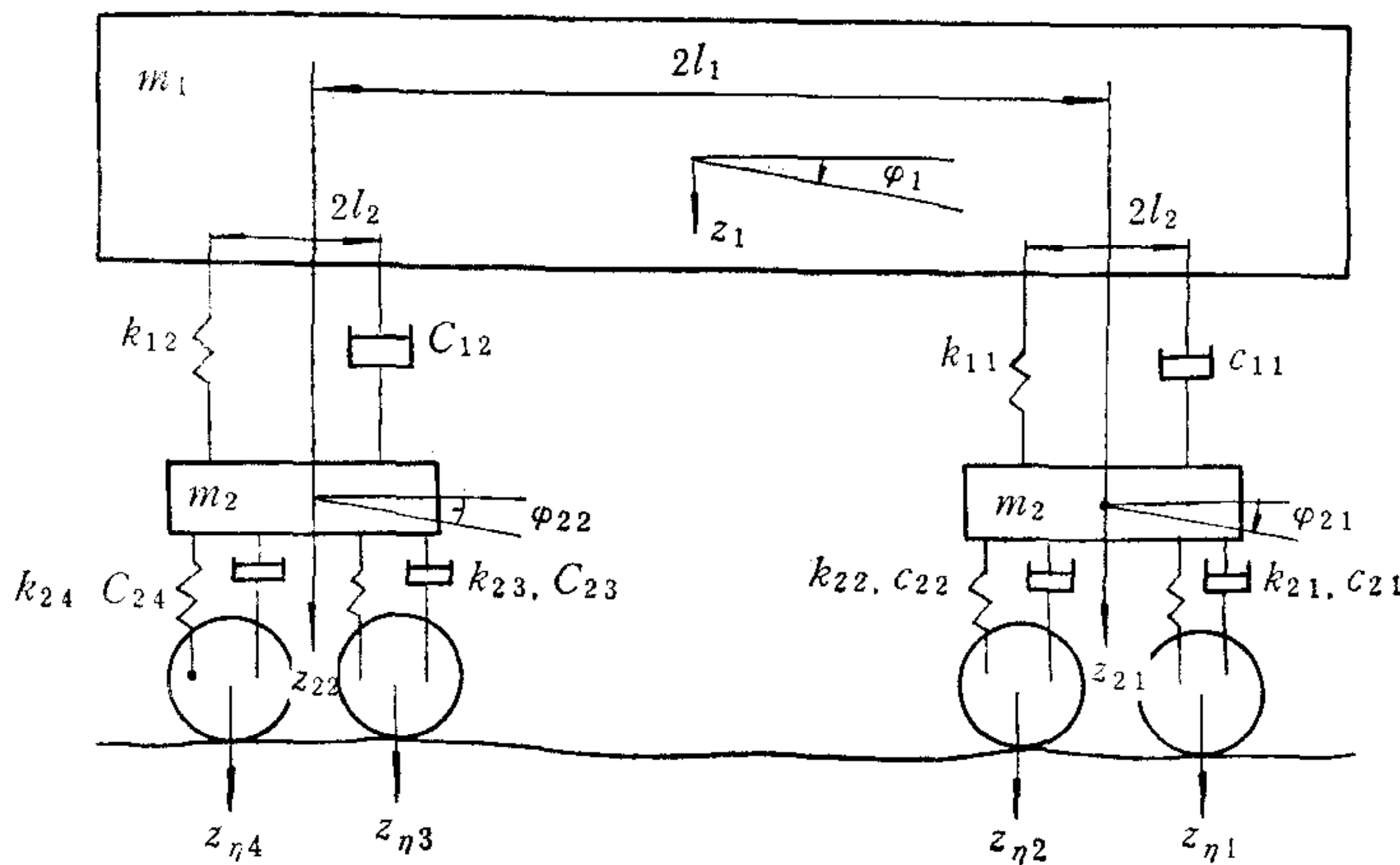


图 1

根据图 1 可得铁路运输车的运动微分方程^[3,4], 经过离散化可得到各个子系统的输入—输出差分方程模型

$$A_1(q^{-1})z_1(k) = B_1^1(q^{-1})z_{21}(k) + B_2^1(q^{-1})z_{22}(k) + B_3^1(q^{-1})\varphi_1(k) + e_1(k), \quad (1)$$

$$A_2(q^{-1})z_{21}(k) = B_1^2(q^{-1})[z_1(k) + l_1\varphi_1(k)] + B_4^2(q^{-1})l_2\varphi_{21}(k) + B_5^2(q^{-1})z_{\eta_1}(k) + B_6^2(q^{-1})z_{\eta_2}(k) + e_2(k), \quad (2)$$

$$A_3(q^{-1})z_{22}(k) = B_2^3(q^{-1})[z_1(k) + l_1\varphi_1(k)] + B_7^3(q^{-1})l_2\varphi_{22}(k) + B_8^3(q^{-1})z_{\eta_3}(k) + B_9^3(q^{-1})z_{\eta_4}(k) + e_3(k), \quad (3)$$

$$A_4(q^{-1})\varphi_1(k) = B_1^4(q^{-1})z_1(k) + B_2^4(q^{-1})z_{21}(k) + B_3^4(q^{-1})z_{22}(k) + e_4(k), \quad (4)$$

$$A_5(q^{-1})\varphi_{21}(k) = B_4^5(q^{-1})l_2z_{21}(k) + B_5^5(q^{-1})l_2z_{\eta_1}(k) + B_6^5(q^{-1})l_2z_{\eta_2}(k) + e_5(k), \quad (5)$$

$$A_6(q^{-1})\varphi_{22}(k) = B_7^6(q^{-1})l_2z_{22}(k) + B_8^6(q^{-1})l_2z_{\eta_3}(k) + B_9^6(q^{-1})l_2z_{\eta_4}(k) + e_6(k), \quad (6)$$

其中, $e_i(k)$ ($i = 1 \sim 6$) 是独立白噪声序列. $A_i(q^{-1}) = 1 + a_1^i q^{-1} + a_2^i q^{-2}$, $B_j^i(q^{-1}) = b_{j1}^i + b_{j2}^i q^{-1}$ ($i = 1 \sim 6, j = 1 \sim 9$).

(1) 式的参数为 $\theta^1 = (a_1^1, a_2^1, b_{11}^1, b_{12}^1, b_{21}^1, b_{22}^1, b_{31}^1, b_{32}^1)^T$, (2)—(6) 式参数也可类似表示出来, 并通过实测数据利用修正平方根法(或其它方法)递推估计出来.

从实际物理系统中总结出主要的故障分为弹簧断裂(突变故障)及阻尼器卡死或漏油(渐变型故障)两种. 在原连续模型中, $B_3(s) = (c_{12} - c_{11})s + (k_{12} - k_{11})$, 当系统正常时, 因列车原设计参数 $c_{12} = c_{11}$, $k_{12} = k_{11}$, 故 $B_3(s) = 0$; 反之, 当上述两种故障中任一种出现时, $B_3(s) \neq 0$. 其对应的离散模型 $B_3^1(q^{-1}) = b_{31}^1 + b_{32}^1 q^{-1}$ 有相应的变化, 通过判定 b_{31}^1 及 b_{32}^1 是否为零, 可以决定故障是否出现. 对于两种故障分别定义检测量如下:

$$J_1(k) = \|\bar{\theta}_2(k) - \bar{\theta}_1(k)\| / \|\bar{\theta}_1(k)\|, \quad (\text{突变型})$$

其中

$$\bar{\theta}_1(k) = \frac{1}{N_1} \sum_{m=k-N_1-N_2-N_1+1}^{k-N_1-N_2} \hat{\theta}(m), \quad \bar{\theta}_2(k) = \frac{1}{N_2} \sum_{m=k-N_2+1}^k \hat{\theta}(m),$$

它们是 k 时刻前的两个时间段上的滑动平均.

$$J_2(k) = \|\bar{\theta}_2^*(k) - \bar{\theta}_1^*\| / \|\bar{\theta}_1^*\|, \quad (\text{渐变型})$$

其中

$$\bar{\theta}_1^* = \frac{1}{N_1} \sum_{m=k_1}^{k_1+N_1-1} \hat{\theta}(m) \quad (k_1 < k), \quad \bar{\theta}_2^*(k) = \frac{1}{N_2} \sum_{m=k-N_2+1}^k \hat{\theta}(m).$$

三、仿真及模拟实验

从大量仿真结果中选出一组, 如图 2 所示.

其中 J_1 的值是当 $t = 500(\Delta T)$ 时, 出现突变故障 k_2 变为原值的 1/2; J_2 的值是当 $t = 400(\Delta T)$ 时, c_1 以线性形式缓减出现故障. 仿真表明上述检测量对两种故障是敏

感的。

为了验证结论,进行了物理模拟装置实验,装置如图 3 所示。(参数略)。

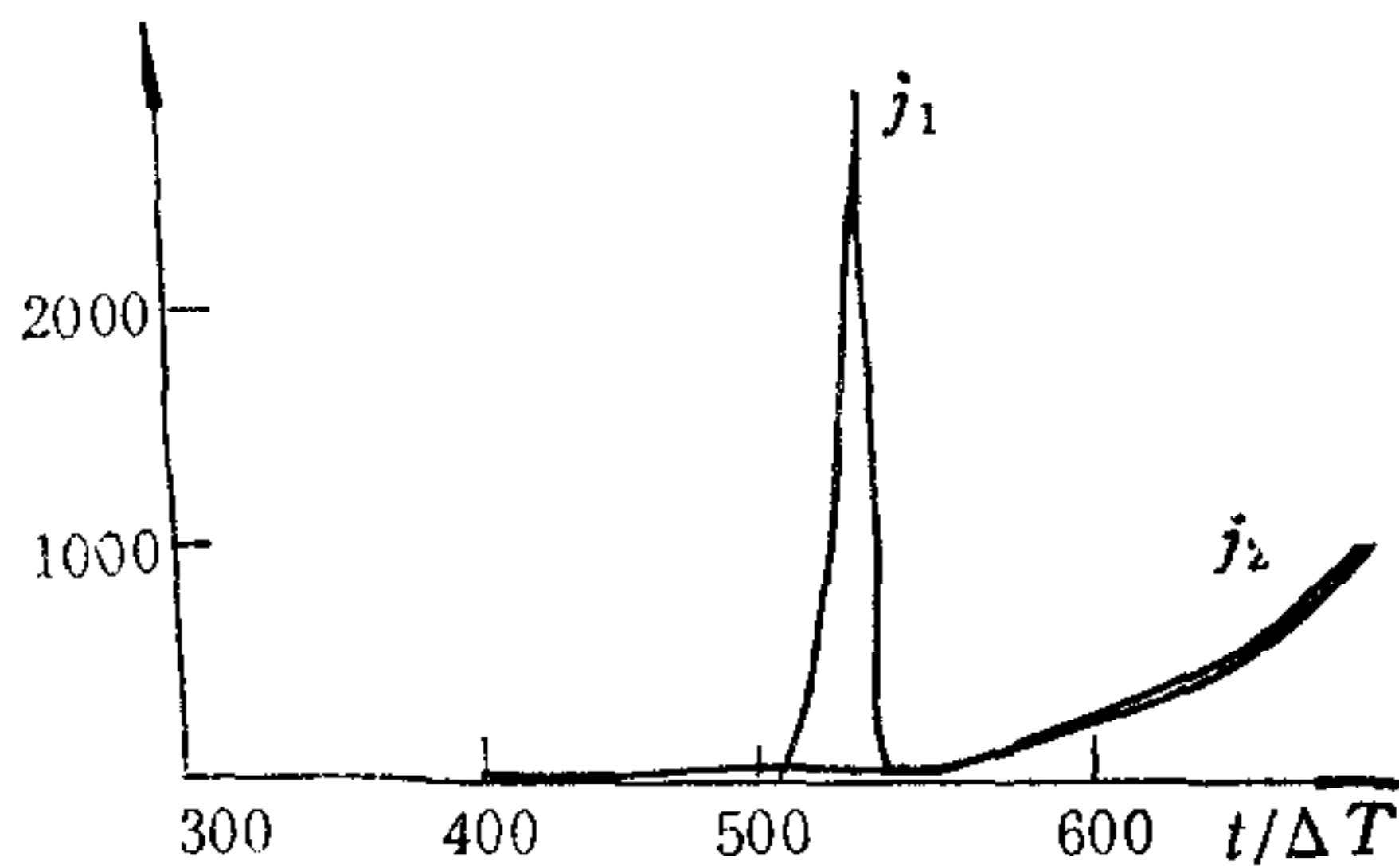


图 2

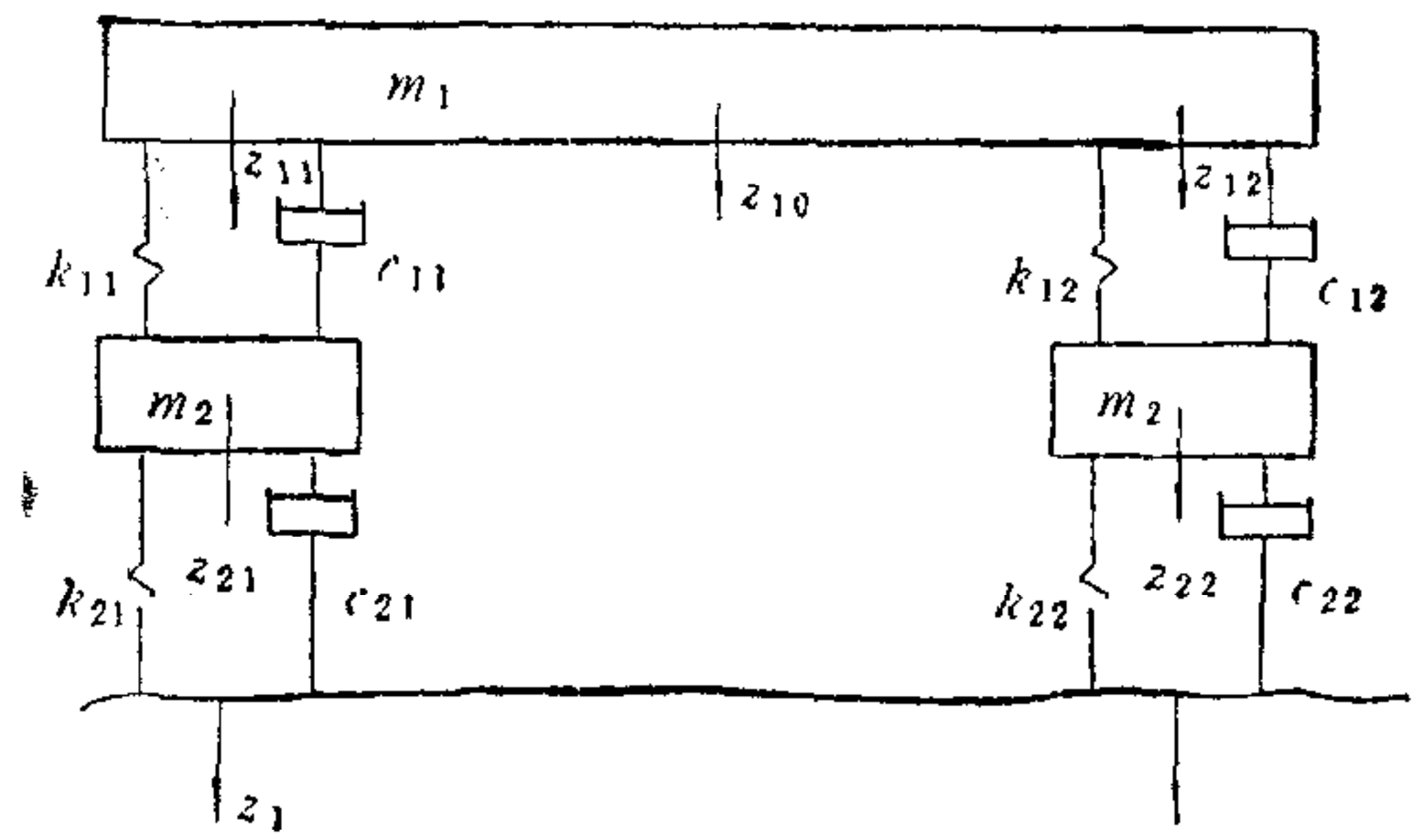


图 3

实验中考虑两种状态

1) 正常状态. $k_{11} = k_{12}$, $k_{21} = k_{22}$, $c_{11} = c_{12}$, $c_{21} = c_{22}$.

2) 故障状态. $k_{11} \neq k_{12}$, $k_{21} = k_{22}$, $c_{11} \neq c_{12}$, $c_{21} = c_{22}$.

利用上述模型及故障检测方法辨识系统的离散参数。图 4 表明参数 b_{11}^i 的估计值 $\hat{\theta}_1^i$ 在两种状态下的变化。在正常状态时, $\hat{\theta}_1^i$ 的平均值为 $\bar{\theta}_1 = -3.456 \times 10^{-3}$, 方差为 $\sigma_1 = 0.05074$; 在故障状态下, $\hat{\theta}_1^i$ 的平均值为 $\bar{\theta}_2 = 0.2104$, 方差为 $\sigma_2 = 0.01748$ 。 $|\bar{\theta}_2|/|\bar{\theta}_1| = 61$ (倍)。物理装置实验也表明本文提出的铁路运输车的模型及故障检测方法可行,故障检测量对于故障是敏感的。

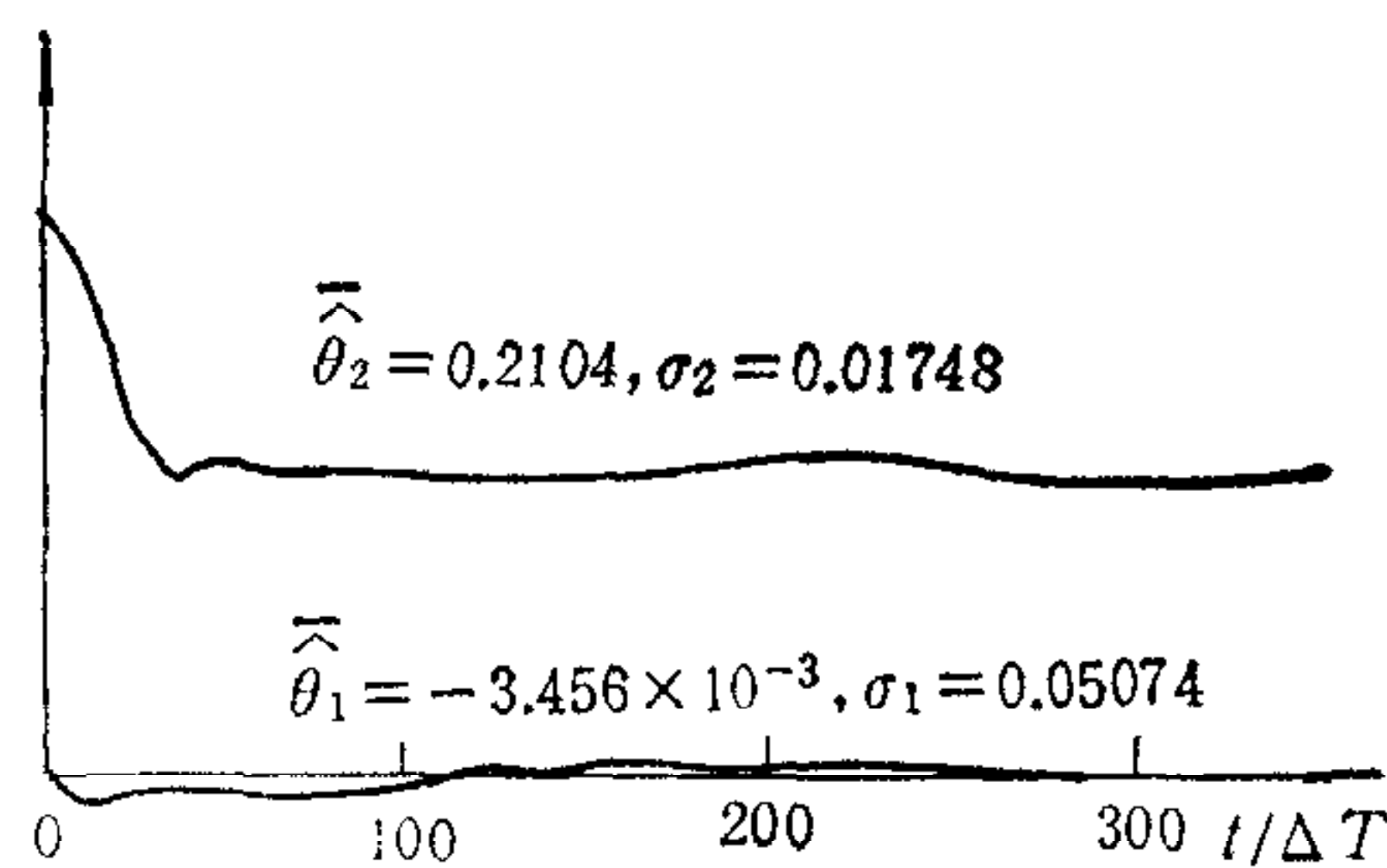


图 4

参 考 文 献

- [1] Willsky, A. S., A Survey of Design Methods for Failure Detection in Dynamic Systems, *Automatica*, 12(1976), 601—611.
- [2] Iserman, R., Process Fault Detection Based on Modeling and Estimation Methods—A Survey, *Automatica*, 20(1984), (4), 387—404.
- [3] 张永光,陈福根,丘杰,多自由度振动系统传递函数的辨识,自动化学报, 15(1989),4,451—458.
- [4] 胡津亚,铁道机车车辆的线性和非线性振动,铁道学报, 3(1981), (4),406—415.

FAULT DETECTION AND DIAGNOSIS OF THE VIBROSHOCKS IN ROLLING STOCK USING PARAMETER ESTIMATION ALGORITHM

LIU ZHIJUN CHEN FUGEN

(206 Institute, the Ministry of Aero-Space Industry, Beijing 100854)

ZHANG YONGGUANG

(Institute of Systems Science, Academia Sinica, Beijing 100080)

ABSTRACT

This paper is concerned with the problem of fault detection and diagnosis of the vibroshocks in rolling stock using parameter estimation algorithm. The simulation research on the six-degree freedom model and experimental research on the four-degree freedom model are carried out. The research results show that this algorithm is available, and that the fault detectors have considerably high sensitivity and certain ability to determine the site of fault.

Key words : Parameter estimation; detection; diagnosis.