



辨识及故障检测技术在铝电解 生产过程中的应用¹⁾

李界家

柴天佑

(沈阳建筑工程学院自控系 沈阳 110015) (东北大学自控系 沈阳 110006)

关键词 阳极效应, 故障诊断, 动态模型

1 问题的提出

阳极效应是铝电解生产过程一种常见现象, 它的发生能破坏整个电解系列的各项技术指标, 使电流效率下降, 浪费大量电能. 然而阳极效应发生前, 可测量槽电压和系列电流并没有明显变化, 所以阳极效应被称为铝电解生产中的一大难题. 80年代初, 国际铝业公司提出了一种根据阳极效应前槽电阻变化率发生改变的预报方法. 此方法在我国应用效果不理想, 其原因主要是由于有的阳极效应发生前, 槽电阻的变化率并没有特征性的升高. 本文根据极效应预报存在的问题, 基于辨识及故障检测技术, 提出了一种新的预报方法, 该方法根据铝电解生产过程特征, 建立动态模型, 根据模型参数的估计值和正常值的偏差来判断是否会产生阳极效应, 从而进行预报. 仿真结果表明, 该方法切实可行, 具有工程推广使用价值.

2 模型建立

2.1 模型结构辨识

在铝电解过程中, 槽电阻逐渐增大, 可以建立一个反映槽电阻变化率的动态模型. k 时刻的槽电阻可用 $f(k)$ 和一个白噪声 $\epsilon(k)$ 来描述. 式中 α 表示 $f(k)$ 从 $k-1$ 到 k 时刻的变化率, 即

$$R(k) = f(k) + \epsilon(k), \quad (1)$$

$$f(k) - f(k-1) = [k - (k-1)]\alpha = \alpha,$$

$$f(k) = f(k-1) + \alpha. \quad (2)$$

将(2)式代入(1)式得 $R(k) = f(k-1) + \alpha + \epsilon(k)$,

1) 沈阳建筑工程学院青年科研基金资助项目.

$$R(k) = f(k-1) + \varepsilon(k-1) - \varepsilon(k-1) + \varepsilon(k) + \alpha,$$

$$R(k) = R(k-1) + \alpha - \varepsilon(k-1) + \varepsilon(k).$$

动态模型的一般形式:

$$R(k) = a_1 R(k-1) + a_2 + a_3 \varepsilon(k-1) + \varepsilon(k). \quad (3)$$

2.2 模型参数辨识

将动态模型的一般形式写成最小二乘的形式

$$R(k) = [R(k-1), 1, \varepsilon(k-1)] \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} + \varepsilon(k). \quad (4)$$

取电解槽正常工作区间, 经过处理后的90分钟的槽电阻数据(采样间隔15秒), 共有360个槽电阻数据, 由增广最小二乘递推算法进行参数估计, 则铝电解正常工作情况下动态模型

$$R(k) = 0.95R(k-1) + 0.15 - 0.96\varepsilon(k-1) + \varepsilon(k).$$

2.3 模型检验

铝电解过程的动态模型是否能反映过程的基本特征, 须首先对模型进行检验, 常用的方法是通过模型与过程输出残差序列的噪声的白色性来判断模型的好坏. 取残差序列 $\varepsilon(1), \varepsilon(2), \varepsilon(3) \dots \varepsilon(L)$, L 为数据长度, 令 $\rho_\varepsilon(l)$ 为 $\varepsilon(L)$ 相关系数, 定义 $\rho_\varepsilon(l) = R_\varepsilon(l) / R_\varepsilon(0)$.

检验 $\{\varepsilon(k)\}$ 是白噪声序列, 由下面两式检验

$$E\{\varepsilon(k)\} = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L \varepsilon(k) \approx 0, \quad (15)$$

$$|\hat{\rho}_\varepsilon(l)| \leq \frac{1.98}{\sqrt{L}}. \quad (16)$$

若满足以上两式, 则 $\{\varepsilon(k)\}$ 是零均值的白噪声序列, 模型是可靠的.

对铝电解正常工作情况下的动态模型进行检验

$$E\{\varepsilon(k)\} = \frac{1}{400} \sum_{k=1}^{400} \varepsilon(k) = 0.0182,$$

$$R_\varepsilon(0) = \frac{1}{400} \sum_{k=1}^{400} \varepsilon(k)\varepsilon(k) = 0.308.$$

同理 $\hat{R}_\varepsilon(1) = 0.0262, \hat{R}_\varepsilon(2) = 0.0156, \hat{R}_\varepsilon(3) = 0.0062, \hat{\rho}_\varepsilon(1) = \frac{\hat{R}_\varepsilon(1)}{\hat{R}_\varepsilon(0)} = 0.069, \hat{\rho}_\varepsilon(2) =$

$$\frac{\hat{R}_\varepsilon(2)}{\hat{R}_\varepsilon(0)} = 0.0412, \hat{\rho}_\varepsilon(3) = \frac{\hat{R}_\varepsilon(3)}{\hat{R}_\varepsilon(0)} = 0.0215, \dots$$

计算结果表明, 残差 $\{\varepsilon(k)\}$ 均值近似为零, $\hat{\rho}_\varepsilon(l)$ 满足上述条件, 所以 $\{\varepsilon(k)\}$ 是零均值的白噪声序列, 模型是可靠的.

3 故障分析

图1、图2分别表示了故障和阳极效应前后参数变化情况.

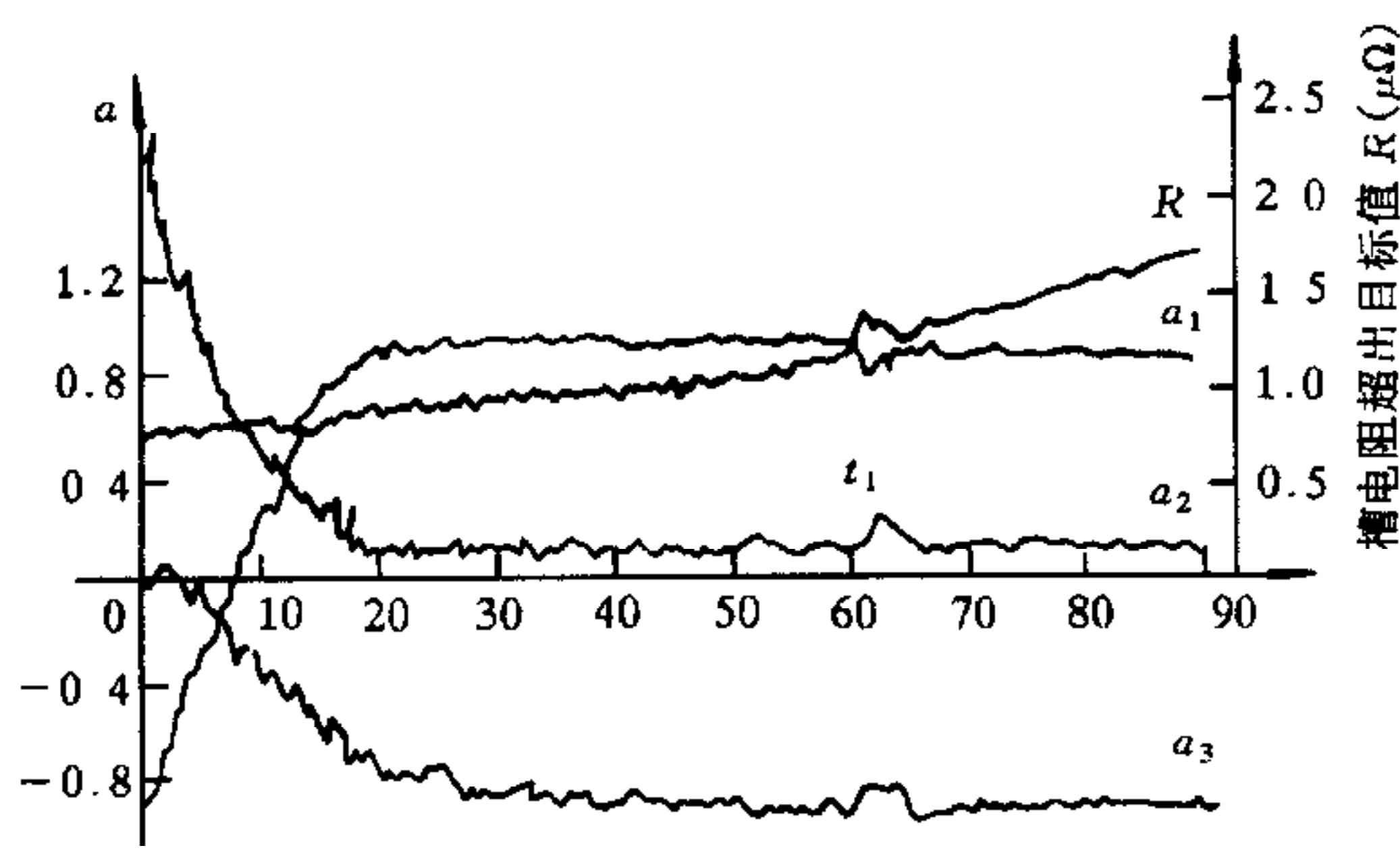


图1

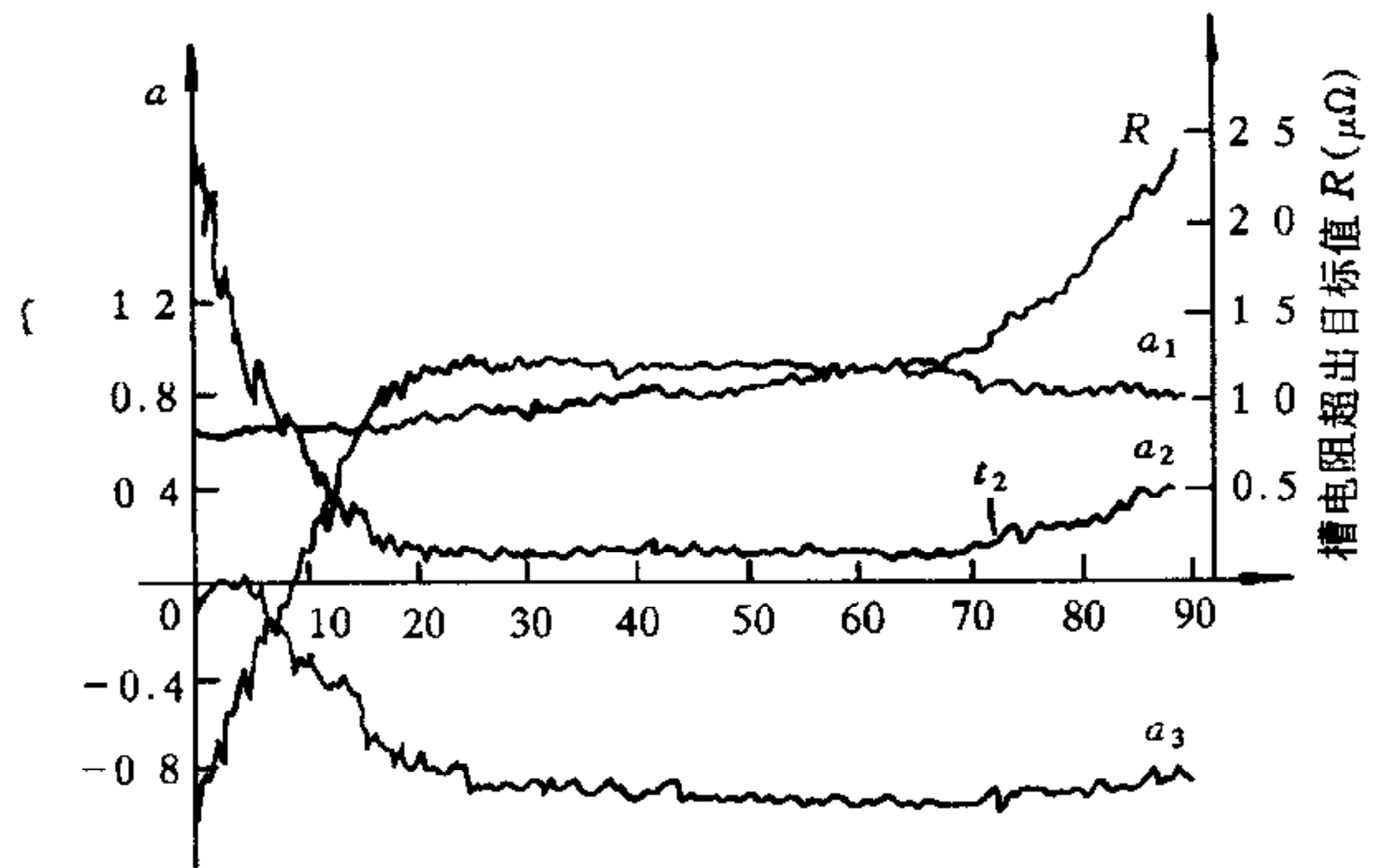


图2

由图1可知:在 t_1 时刻前,动态模型参数较为稳定,电解槽处于正常工作状态,在 t_1 时刻槽电阻产生大的波动,导致了动态模型参数发生改变, a_1, a_2, a_3 参数变化很大,这可以判断 t_1 时刻电解槽发生了故障,这种大的故障或突发性故障,一般通过可测量电压或系列电流直接测出.但是有的故障如图2所示: t_2 时刻后槽电阻没有发生大的波动,只有槽电阻变化率略有增加,用可测量电压和系列电流无法断定将要发生阳极效应,但是由于槽电阻动态特性发生了变化,改变了原来的运动规律,导致了 t_2 时刻后模型参数发生改变,尤其是 a_2 增大很明显,偏离了正常时 a_2 参数变化范围,所以可以断定将要发生阳极效应.但是,有的阳极效应发生前,槽电阻的变化率并没有明显改变,而是槽电阻的动态规律发生改变,同样可以造成动态模型参数的变化,根据模型参数的变化预报阳极效应.

本文提出的方法算法简捷,预报准确率高,易于在计算机控制系统中实现.

参 考 文 献

- 1 武绍美.论铝电解生产中的阳极效应.轻金属.1992,4(4):23-27
- 2 方崇智,萧德云.过程辨识,北京:清华大学出版社,1986
- 3 Meger H J.阳极效应预报.轻金属.1987,522-26

APPLICATIONS OF IDENTIFICATION AND FAULT DETECTION TECHNIQUES TO ALUMINIUM ELECTROLYSIS PROCESS

LI JIEJIA

(Automatic Control Department, Shenyang Architectural and Civil Engineering Institute, Shenyang 110015)

CHAI TIANYOU

(Automatic Control Department, Northeast University, Shenyang 110006)

Key words Anode effect, fault detection, dynamic model