

上海市高校重点学科建设资助项目,项目编号:P1301

主要内容

本书共分10章,主要介绍过程辨识的基本概念、模型、辨识方法、模型检验、模型应用等。本书可作为高等院校自动化专业及相关专业的教材,也可供从事过程控制工作的工程技术人员参考。

# 过程辨识技术

PROCESS IDENTIFICATION TECHNOLOGY

中国标准书号(CIP)数据

叶建华 编著

2007.1

ISBN 978-7-81118-100-1

叶建华 编著

W. TP578

叶建华 编著

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第007888号



上海大学出版社

·上海·

ISBN 978-7-81118-100-1 定价: 24.00元

## 内 容 提 要

本书主要介绍在过程控制工程领域中比较成熟和有效的辨识技术,主要包含两大部分内容,除第一章引论、第二章过程的数学描述外,第一大部分为经典辨识技术:第三章介绍了瞬态响应法,第四章介绍了频率响应法;第二大部分为现代辨识技术:在第五章介绍统计学方法预备知识的基础上,第六章介绍了脉冲响应函数的辨识,第七章介绍了线性方程模型的辨识.本书的主要特色在于试图将作为现代控制理论重要分支的系统辨识理论进行工程化处理,使之成为一门实用技术.

本书可作为高等院校工业自动化类专业的教学用书,也可作为生产过程自动化工程技术领域的科技人员、工程师在实际工程应用中的参考资料.

### 图书在版编目(CIP)数据

过程辨识技术 / 叶建华著. —上海: 上海大学出版社,  
2007. 5  
ISBN 978 - 7 - 81118 - 105 - 0

I. 过… II. 叶… III. 过程控制-系统辨识  
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 068078 号

责任编辑 王悦生 封面设计 孙 敏 技术编辑 金 鑫

### 过程辨识技术

叶建华 著

上海大学出版社出版发行

(上海市上大路 99 号 邮政编码 200444)

(<http://www.shangdapress.com> 发行热线 66135110)

出版人: 姚铁军

\*

句容市排印厂印刷 各地新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 8.75 字数 191 千

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1~2 100

ISBN 978 - 7 - 81118 - 105 - 0 / TP · 040 定价: 24.00 元

# 前 言

对系统行为特性的研究已经形成一门现代科学。在生产过程领域,人们已越来越重视对过程行为的研究。特别是自动控制工程方面,对过程行为特性的了解是控制系统分析、设计、整定和综合所不可缺少的前提条件。而且,过程控制系统性能的优劣也在很大程度上取决于对过程行为特性的掌握程度。除此之外,从生产部门本身出发,为了更好地了解生产过程以及生产设备的设计是否合理、运行是否正常等方面都提出了对过程行为特性进行详细研究的必要性。从而促进了过程建模与辨识这门学科的发展。

建立描述过程动态特性的数学模型的方法有理论分析法、试验方法,以及两者结合的方法。

理论分析法也就是推理的方法。它是根据对系统或生产过程设备构造的了解,以及对系统或生产过程的内部机理进行理论上的分析,运用一些基本的定律,例如,能量守恒定律、质量守恒定律、牛顿定律等等,并根据一定的工作条件,建立起过程的数学模型。由理论分析法推导出的模型称为机理性模型。

在生产设备处于设计阶段,还未有实物时,或者生产设备不可能或不允许进行试验时,用推理法建立数学模型是唯一可行的途径。

用推理法建立数学模型要求对生产过程相应的学科有相当的了解,并具备足够的有关过程的先验知识。对于比较简单的系统(例如电路、机械机构等),推理法是较有效的。而大多数生产过程,因其复杂性而很难进行理论分析。甚至有不少过程的内部机理至今仍未完全搞清楚,从而也就无法通过理论分析来建立数学模型。

试验方法就是直接对生产过程进行试验,以获取足够的试验数据,对试验数据进行分析、处理来建立过程的数学模型。通过试验建立系统的数学模型,已形成了一个专门的学科,即“系统辨识”。系统辨识技术与方法已在许多领域中获得了广泛应用。不同的试验及数据处理方法构成了不同的辨识方法。通过试验方法建立的模型称为经验性模型。

原则上,试验方法(或辨识方法)建立模型可以不考虑过程的内部工作机理,而只根据过程的外部变量实测数据来拟合模型。因此,所得的模型一般只描述了过程的特性,而并不反映过程内部的具体情况。也就是说,把过程当作“黑箱”或“灰箱”问题处理。这

种方法具有较为普遍的意义.理论上,采用辨识方法建立数学模型,允许对被辨识过程相应的学科了解很少,甚至完全不了解.因为辨识方法同生产过程的具体性质无关,不同性质的过程都当作一个抽象的系统对待.

显然,试验方法只适用于已经建成并运行的生产过程或设备.

推理和试验是两种基本的研究方法.在过程控制工程实际应用中,通常是两种方法的适当结合,取长补短,来建立过程的数学模型.在绝大多数工程实际中所遇到的辨识问题是“灰箱”问题,即对过程了解一些,但不全面,通过试验来确定不了解的内容.例如,在许多情况下,根据对过程的分析可预先知道模型的结构,但模型的某些参数不能确定.通过试验来辨识未知的参数,所得出的模型在结构上有一定的理论根据,物理概念较明确,而且还经过试验数据的拟合,保证了一定的精确度.这就是一个推理与试验适当结合的例子.相应的辨识方法称为参数估计方法.

本书的主要特色在于试图将作为现代控制理论重要分支的系统辨识理论进行工程化处理,使之成为一门实用技术.书中主要介绍在过程控制工程领域中比较成熟和有效的辨识技术,重点突出作为一门实用技术的工程可操作性.本书可作为高校工业自动化类专业的教学参考书,也可作为理工科大学高年级工业自动化类专业的选修课教材(30学时左右),还可作为生产过程自动化工程技术领域的科技人员、工程师在实际工程应用中的参考资料.

本书内容包含两大部分.除第一章引论、第二章过程的数学模型描述以外,第一大部分为经典辨识技术:第三章介绍瞬态响应法,第四章介绍频率响应法.第二大部分为现代辨识技术:在第五章介绍统计学方法预备知识的基础上,第六章介绍脉冲响应函数的辨识,第七章介绍线性差分方程模型的辨识.

作者衷心地感谢对本书出版给予支持与帮助的领导、老师和同学们.

本书如有不当之处,欢迎指正.

叶建华

2007年4月27日

## 目 录

<b>第1章 引论</b> .....	1
1.1 基本概念和方法 .....	1
1.1.1 动态系统和静态系统 .....	1
1.1.2 动态特性和稳态特性 .....	1
1.1.3 模型化 .....	2
1.1.4 建立数学模型的方法 .....	3
1.1.5 数学模型的应用 .....	4
1.2 过程辨识概论 .....	4
1.2.1 系统辨识的定义 .....	4
1.2.2 辨识方法 .....	5
<b>第2章 过程的数学模型描述</b> .....	7
2.1 数学模型的分类 .....	7
2.2 确定性连续时间系统的数学模型 .....	8
2.2.1 时间域描述 .....	8
2.2.2 频率域描述 .....	11
2.2.3 多输入、多输出系统的数学模型 .....	13
2.3 确定性离散时间系统的数学模型 .....	14
2.3.1 时间域描述 .....	15
2.3.2 频率域描述 .....	17
2.4 动态系统的随机性模型 .....	18
<b>第3章 瞬态响应法</b> .....	20
3.1 概述 .....	20

3.2	非周期试验信号的特性 .....	21
3.2.1	基本非周期试验信号 .....	21
3.2.2	常用非周期试验信号的处理 .....	24
3.2.3	任意非周期连续信号的分解 .....	28
3.3	由瞬态响应曲线确定参数模型 .....	28
3.3.1	由阶跃响应曲线求传递函数 .....	28
3.3.2	由其他非周期信号的响应求传递函数 .....	54
<b>第4章</b>	<b>频率响应法</b> .....	60
4.1	频率响应特性 .....	60
4.1.1	直接法 .....	60
4.1.2	相关滤波法 .....	61
4.2	由频率响应曲线求传递函数 .....	63
4.2.1	插值法 .....	63
4.2.2	最小二乘法 .....	65
4.3	由瞬态响应求频率特性 .....	67
4.3.1	离散 Fourier 变换(DFT)简介 .....	68
4.3.2	DFT 的应用 .....	70
<b>第5章</b>	<b>统计学方法预备知识</b> .....	72
5.1	概率统计基本知识 .....	72
5.1.1	随机变量及其分布律 .....	72
5.1.2	二维随机变量 .....	73
5.1.3	均值与方差 .....	76
5.1.4	随机过程 .....	77
5.1.5	相关函数 .....	80
5.2	最小二乘法的一般原理 .....	84
5.2.1	基本关系式 .....	84
5.2.2	统计特性 .....	86
5.2.3	常参数的递推估计 .....	87
5.3	慢时变参数的递推估计 .....	93
<b>第6章</b>	<b>脉冲响应函数的辨识</b> .....	96
6.1	辨识问题的提法 .....	96
6.2	用相关分析法辨识脉冲响应函数 .....	97

6.3	用最小二乘法辨识脉冲响应函数 .....	99
6.4	最小二乘法辨识与相关分析法辨识的关系 .....	101
6.5	激励信号的选择 .....	102
6.5.1	随机白噪声作激励信号 .....	102
6.5.2	伪随机信号作为激励信号 .....	103
6.5.3	伪随机二位式序列(PRBS)作激励信号 .....	105
6.6	用伪随机二位式序列(PRBS)辨识脉冲响应函数 .....	108
<b>第7章</b>	<b>线性差分方程模型的辨识 .....</b>	<b>111</b>
7.1	线性差分方程模型的最小二乘估计 .....	111
7.1.1	辨识问题的提法 .....	111
7.1.2	最小二乘法求解 .....	112
7.1.3	参数估计的统计特性 .....	114
7.1.4	系统阶的确定 .....	115
7.1.5	递推估计和实时估计 .....	116
7.2	线性差分方程模型的广义最小二乘估计和多级最小二乘估计 .....	118
7.2.1	相关残差造成有偏估计 .....	118
7.2.2	广义最小二乘估计 .....	122
7.2.3	多级最小二乘估计 .....	125
	参考文献 .....	130