


# 现代控制工程

王万良 编著

 高等教育出版社

# 现代控制工程

Xiandai Kongzhi Gongcheng

王万良 编著



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

## 内容简介

本书以本科生为主要教学对象,从应用角度介绍在工程中已经广泛应用的一些现代控制方法,并尽可能结合应用实例,引导学生应用新理论解决工程问题。

全书共12章,1~7章为控制系统的状态空间方法以及最优控制理论,包括状态方程、李雅普诺夫稳定判据、动态性能分析、能控性和能观性、状态反馈控制与状态观测器设计以及线性二次型最优控制方法,这部分内容能够满足许多高校现有“现代控制理论”课程的教学需要。8~12章介绍了在工程中已经成功应用的现代控制方法的基本内容,分别是最小二乘系统辨识、不确定系统的自校正控制、预测控制、模糊控制和专家控制系统,这些内容彼此相对独立,可以任选其中部分内容讲授,仍可保持体系结构的完整性。

本书是作者编著的“2009年度普通高等教育精品教材”《自动控制原理》的姊妹教材,可作为自动化、电气工程及其自动化、计算机、机械工程等本科专业现代控制理论、智能控制等课程教材,也可作为非控制专业研究生学习现代控制工程课程的教材。本书配有电子教案、习题详细解答等教学资源。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代控制工程/王万良编著. —北京:高等教育出版社,  
2011. 2

ISBN 978-7-04-031488-5

I. ①现… II. ①王… III. ①现代控制理论-高等学校-教材 IV. ①O231

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第215832号

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a> <a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
		网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a> <a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
印 刷	保定市中国画美凯印刷有限公司		
开 本	787×960 1/16	版 次	2011年2月第1版
印 张	23.75	印 次	2011年2月第1次印刷
字 数	440 000	定 价	39.30元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 31488-00

# 前 言

现代工业控制要求达到越来越高的设计目标,并在越来越复杂和不确定的环境下进行控制,以 PID 为核心的传统控制手段已难以适应。为了克服 PID 等经典反馈控制理论的缺陷,学者们已经提出了许多现代控制方法。虽然有些方法仍然需要进行理论研究,但许多现代控制方法已经在工程中得到广泛应用。目前,现代控制理论的教科书大部分只介绍以状态方程等为数学模型的状态空间分析与设计方法。因此,本书在保留介绍状态空间分析与设计方法的基础上,增加介绍一些在工程中已经成功应用的新的现代控制方法。

## 1. 主要内容

全书前 7 章为“现代控制理论”课程介绍的控制系统的状态空间方法以及最优控制理论内容。这是现代控制方法的理论基础,在空间技术、机电设备等控制中具有广泛的应用。这部分内容能够满足目前现代控制理论课程的教学需要。其中,第 2 章介绍系统的状态方程及其实现。第 3 至 5 章介绍系统基于状态方程的李雅普诺夫稳定判据、动态性能、能控性和能观性等分析方法。在此基础上介绍状态反馈控制与状态观测器设计方法,简要介绍极小值原理最优控制方法,着重介绍线性二次型最优控制方法。

全书后 5 章介绍一些新的在工程中已经成功应用的现代控制方法。第 8 章介绍简单实用的最小二乘系统辨识方法,这是建立系统数学模型的重要方法。在此基础上介绍不确定系统的自校正控制。第 10 章介绍工程中已经广泛应用的预测控制。最后两章介绍在工程中应用非常广泛的模糊控制和专家控制两种智能控制方法。需要指出的是,后 5 章内容彼此相对独立,可以任选其中部分内容讲授,仍可保持体系结构的完整性。

## 2. 编写特色

本书是作者编著的“2009 年度普通高等教育精品教材”、国家“十一五”规划教材《自动控制原理》(高等教育出版社,2008)的姊妹教材,具有相同的编写特色,主要有:

(1) 语言深入浅出,适合本科教学。与已有专门介绍这些方法的书籍不同,

本书主要以本科生为教学对象,在保证科学性的基础上,尽量用通俗的语言深入浅出地讲解,语言流畅,避免像专著和研究生教材那样追求理论严谨,语言艰涩。本书着重从工程应用角度介绍这些方法,符合本科生教学要求。全书后5章也可以由学生自学。

(2) 内容基本、实用,注重应用。本书选择在工程中得到成功应用的主要现代控制方法,而不是像专著和研究生教材那样追求前沿理论方法。书中尽可能介绍了一些符合这些内容、能够为本科生理解的应用实例,引导学生学习应用新理论解决工程问题的方法。学生学习这些基本内容后,能够很容易阅读其他专门的书籍,深入掌握更广更深的內容。正因为这个特点,本书称为《现代控制工程》,以强调其工程性。

(3) 编排醒目,有利于学习。每章开始设置了导读,使读者在学习该章之前就知道为什么要学习该章内容,以及该章主要介绍哪些内容。每章最后扼要地总结了该章的重要概念、定理与方法。本书采用双色印刷,将重要的公式和概念、定理、方法用明显的颜色标注出来,有利于学生掌握,避免学生感觉现代控制理论过于数学化,要记忆的公式太多。

(4) 引导学生使用控制系统 CAD 软件。在每章最后一节简要实用的介绍了 MATLAB 辅助分析与设计控制系统的方法,学生阅读后自己就会使用,当然,教师也可以简单地介绍。实际上, MATLAB 与一般软件一样,学生自己很容易掌握。

### 3. 教师如何使用本教材

#### (1) 教学对象

本书主要作为自动化、电气工程及其自动化、计算机、机械工程等本科专业的现代控制理论、智能控制课程教材,也适用于非控制专业研究生学习现代控制工程课程的教材。

#### (2) 教学内容与时间安排

方案 1:可以安排 56~64 学时,讲授本书全部内容。

方案 2:全书前 7 章内容能够满足目前许多现代控制理论课程的教学需要,课堂教学时数为 32~48 学时。

方案 3:可以不讲前 7 章中打 \* 部分内容,然后选讲后 5 章部分内容。这部分教学内容课堂教学时数为 32~48 学时。

方案 4:选择第 1 章、第 11 至第 13 章作为智能控制课程主要教学内容。

本书后 5 章内容浅显易懂,也可以让学生自学。

### (3) 如何获取该课程教学资源

使用本书作为教材的教师可向作者以及高等教育出版社相关编辑免费获取电子教案、习题详细解答等教学资源。

#### 4. 作者致谢

本书承蒙浙江大学电气学院韦巍教授主审,韦教授对本书结构和具体写作提供了许多宝贵意见,在此深表谢意!

感谢作者领导的国家精品课程“自动控制原理”教学团队的全体教师,他们多年来和作者一起开展的教学研究与实践工作,为本书的编写奠定了基础。

#### 5. 联系作者

由于作者水平有限,书中会存在许多缺点和错误,欢迎使用本书的教师、学生和科技人员提出宝贵意见。联系地址:wwl@zjut.edu.cn。

王万良

2010年7月于杭州

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 现代控制工程的发展 .....	1
1.2 本书的内容与安排 .....	4
<b>第 2 章 状态空间数学模型</b> .....	5
2.1 状态与状态空间的概念 .....	5
2.2 系统的状态空间模型 .....	6
2.2.1 建立状态空间模型的方法 .....	6
2.2.2 由状态空间模型求微分方程 .....	11
2.3 线性系统的状态空间模型与线性变换 .....	12
2.3.1 SISO (Single Input Single Output) 线性系统的状态空间模型 .....	12
2.3.2 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 线性系统的状态空间模型 .....	13
2.3.3 状态方程的线性变换 .....	14
2.4 控制系统的实现 .....	16
2.4.1 系统的实现问题 .....	16
2.4.2 不含有输入导数项的微分方程的实现 .....	17
2.4.3 含有输入导数项的微分方程的实现 .....	18
2.5 多变量系统的传递矩阵 .....	23
2.5.1 多变量系统传递矩阵的概念 .....	23
2.5.2 从状态空间模型求传递矩阵 .....	24
2.5.3 多变量控制系统的结构图简化 .....	27
2.6 控制系统的离散状态空间模型 .....	28
2.7 MATLAB 在状态空间模型建立中的应用 .....	30
2.7.1 传递函数转换到状态空间模型 .....	30
2.7.2 状态方程的线性变换 .....	32
2.7.3 状态空间模型转换到传递函数 .....	32
本章小结 .....	33
习题 .....	34
<b>第 3 章 控制系统稳定性分析</b> .....	36
3.1 控制系统稳定性定义 .....	36

3.1.1	范数的概念 .....	36
3.1.2	平衡状态 .....	37
3.1.3	李雅普诺夫稳定性定义 .....	38
3.2	控制系统稳定的条件 .....	40
3.2.1	单变量线性定常连续系统的稳定条件 .....	40
3.2.2	多变量线性定常连续系统的稳定条件 .....	41
3.2.3	单变量线性定常离散系统的稳定条件 .....	42
3.2.4	多变量线性定常离散系统的稳定条件 .....	43
3.3	李雅普诺夫稳定判据 .....	44
3.3.1	函数的正定性 .....	45
3.3.2	非线性系统的李雅普诺夫稳定判据 .....	46
3.4	线性系统的李雅普诺夫稳定判据 .....	49
3.4.1	线性连续系统的李雅普诺夫稳定判据 .....	49
3.4.2	线性离散系统的李雅普诺夫稳定判据 .....	50
*3.5	非线性系统的克拉索夫斯基稳定判据 .....	52
*3.6	非线性系统的小偏差线性化方法 .....	54
3.6.1	小偏差线性化的基本思想 .....	54
3.6.2	小偏差线性化方法 .....	55
3.6.3	李雅普诺夫第一法 .....	58
3.7	MATLAB 在系统稳定性分析中的应用 .....	58
本章小结	.....	59
习题	.....	61
<b>第4章</b>	<b>线性系统动态性能分析 .....</b>	<b>63</b>
4.1	线性连续定常系统状态方程的求解 .....	63
4.1.1	齐次状态方程的求解 .....	63
4.1.2	非齐次状态方程的求解 .....	65
4.2	线性连续时变系统状态方程的求解 .....	68
4.2.1	齐次状态方程的解 .....	68
4.2.2	状态转移矩阵的性质 .....	69
4.2.3	状态转移矩阵的计算 .....	69
4.2.4	非齐次状态方程的解 .....	71
4.3	线性离散系统状态方程的求解 .....	72
4.3.1	齐次状态方程的解 .....	72
4.3.2	状态转移矩阵的性质 .....	73
4.3.3	状态转移矩阵的计算 .....	73



4.3.4	线性定常离散系统非齐次状态方程的求解	74
*4.3.5	线性时变离散系统状态方程的求解	76
4.4	MATLAB 在系统动态性能分析中的应用	78
	本章小结	79
	习题	80
<b>第 5 章</b>	<b>线性系统的能控性和能观性分析</b>	<b>82</b>
5.1	能控性和能观性问题	82
5.2	线性定常系统的能控性	84
5.2.1	能控性的定义	84
5.2.2	能控性判别准则	85
5.2.3	能控性第二判别准则	87
5.2.4	输出能控性及其判别准则	90
5.3	线性定常系统的能观性	90
5.3.1	能观性的定义	90
5.3.2	能观性判别准则	91
5.3.3	能观性第二判别准则	93
*5.4	状态空间模型的对角线标准型	94
5.4.1	系统的特征值和特征向量	95
5.4.2	化矩阵 $A$ 为对角阵	96
5.4.3	化矩阵 $A$ 为约当阵	99
5.4.4	特征值为复数的对角线标准型	106
5.5	状态空间模型的能控标准型与能观标准型	108
5.5.1	第一能控标准型	109
5.5.2	第二能控标准型	112
5.5.3	第一能观标准型	112
5.5.4	第二能观标准型	114
*5.6	传递函数的几种标准型实现	114
5.6.1	能控标准型实现	115
5.6.2	能观标准型实现	116
5.6.3	对角线标准型实现	118
5.6.4	约当标准型实现	120
5.7	对偶原理	122
*5.8	线性定常系统的规范分解	124
5.8.1	能控性结构分解	124
5.8.2	能观性结构分解	127

5.8.3 系统结构的规范分解 .....	129
5.9 MATLAB 在系统能控性和能观性分析中的应用 .....	132
本章小结 .....	135
习题 .....	137
<b>第 6 章 状态反馈控制与状态观测器设计</b> .....	<b>142</b>
6.1 状态反馈与输出反馈 .....	142
6.1.1 状态反馈 .....	142
6.1.2 输出反馈 .....	144
6.1.3 状态反馈系统的能控性与能观性 .....	145
6.1.4 状态反馈对传递函数的影响 .....	146
6.2 状态反馈设计方法 .....	147
6.2.1 极点配置问题 .....	147
6.2.2 单输入系统的极点配置方法 .....	150
*6.2.3 多输入系统的极点配置方法 .....	153
6.3 状态观测器设计方法 .....	157
6.3.1 全维状态观测器设计 .....	157
*6.3.2 降维状态观测器设计 .....	162
6.4 带状态观测器的状态反馈系统的设计方法 .....	166
6.5 MATLAB 在状态反馈与状态观测器设计中的应用 .....	170
本章小结 .....	170
习题 .....	171
<b>第 7 章 最优控制</b> .....	<b>173</b>
7.1 最优控制的概念 .....	173
7.2 变分法与泛函的极值条件 .....	174
*7.3 变分法求解无约束最优控制问题 .....	175
*7.4 极小值原理 .....	183
7.4.1 连续系统的极小值原理 .....	183
7.4.2 离散系统的极小值原理 .....	190
7.5 线性二次型最优控制 .....	193
7.5.1 线性二次型最优控制问题 .....	194
7.5.2 连续系统有限时间状态调节器 .....	195
7.5.3 连续系统无限时间定常状态调节器 .....	199
7.5.4 线性离散系统状态调节器 .....	201
*7.5.5 线性连续系统输出调节器 .....	205
*7.5.6 线性连续系统输出跟随器 .....	208

本章小结 .....	211
习题 .....	212
<b>第 8 章 系统辨识</b> .....	214
8.1 系统辨识的概念 .....	214
8.1.1 系统辨识的定义 .....	214
8.1.2 系统辨识的基本内容 .....	215
8.2 线性静态模型的最小二乘参数估计 .....	217
8.2.1 参数估计问题 .....	217
8.2.2 最小二乘法的基本算法 .....	218
8.2.3 最小二乘法的性质 .....	220
8.2.4 应用举例 .....	222
8.3 线性动态模型的最小二乘参数估计 .....	225
8.4 最小二乘参数估计的递推算法 .....	227
8.4.1 基本递推算法 .....	227
8.4.2 带有遗忘因子的递推算法 .....	230
8.5 线性系统的结构辨识 .....	231
8.5.1 模型阶次的确定 .....	231
8.5.2 系统纯时滞的辨识 .....	232
8.6 闭环系统的可辨识性 .....	234
8.7 MATLAB 在系统辨识中的应用 .....	235
本章小结 .....	236
习题 .....	237
<b>第 9 章 自适应控制</b> .....	239
9.1 自适应控制的概念 .....	239
9.2 最小方差控制 .....	241
9.3 自校正调节器 .....	244
9.4 自校正调节器应用实例 .....	245
本章小结 .....	248
习题 .....	248
<b>第 10 章 预测控制</b> .....	249
10.1 预测控制的基本原理 .....	249
10.2 动态矩阵控制 .....	250
10.2.1 预测模型 .....	250
10.2.2 滚动优化 .....	251
10.2.3 反馈校正 .....	252

10.3	动态矩阵控制的工程设计	253
10.4	炼油厂加氢裂化装置的动态矩阵控制	255
10.5	模型算法控制	259
10.6	催化裂化分馏塔模型算法控制	261
*10.7	广义预测控制	262
	本章小结	266
	习题	268
<b>第11章</b>	<b>模糊控制</b>	<b>269</b>
11.1	模糊控制的发展	269
11.2	模糊集合	270
11.2.1	模糊集合的定义	270
11.2.2	模糊集合的表示方法	271
11.2.3	模糊集合的运算	272
11.3	模糊控制系统的组成	273
11.3.1	模糊控制系统的结构	273
11.3.2	模糊控制器的输入输出变量	273
11.3.3	模糊控制器的输入输出变量的模糊化	274
11.4	模糊控制规则	276
11.5	模糊关系与合成	278
11.5.1	模糊关系	279
11.5.2	模糊关系的合成	280
11.6	模糊推理与模糊决策	282
11.6.1	模糊推理	282
11.6.2	模糊决策	285
11.7	模糊控制算法的工程实现	287
11.8	模糊PID复合控制	289
11.9	酚醛树脂聚合反应温度模糊控制	289
11.9.1	酚醛树脂聚合反应过程特性分析	289
11.9.2	模糊控制器设计	290
11.10	全自动洗衣机的模糊控制	294
11.10.1	模糊控制洗衣机的检测	294
11.10.2	洗衣机的模糊控制	296
	本章小结	298
	习题	299
<b>第12章</b>	<b>专家系统与专家控制系统</b>	<b>301</b>

12.1	专家系统	301
12.1.1	专家系统的概念	301
12.1.2	专家系统的一般结构	303
12.1.3	实时专家系统	306
12.2	专家控制系统	307
12.2.1	专家控制系统的概念	307
12.2.2	间接专家控制	307
12.2.3	直接专家控制	308
12.2.4	专家控制器	308
12.3	专家控制系统的知识表示	309
12.3.1	知识表示	309
12.3.2	产生式知识表示	312
12.3.3	产生式系统	313
12.3.4	动物识别专家系统	315
12.4	专家控制系统的推理机	317
12.5	专家控制系统的搜索技术	319
12.5.1	状态空间表示法	319
12.5.2	状态空间的图描述	320
12.5.3	宽度优先搜索算法	322
12.6	电脑充绒机专家控制系统	325
12.6.1	电脑充绒机的工作原理	325
12.6.2	电脑充绒机的程序控制	326
12.6.3	电脑充绒机羽绒重量专家控制	327
	本章小结	328
	习题	328
<b>第13章</b>	<b>神经网络控制</b>	<b>330</b>
13.1	神经网络控制概述	330
13.2	神经元与神经网络	331
13.2.1	生物神经元结构	331
13.2.2	神经元数学模型	332
13.2.3	神经网络的结构与工作方式	333
13.2.4	神经网络的学习	334
13.3	BP神经网络及其学习算法	334
13.3.1	BP神经网络的结构	334
13.3.2	BP学习算法	336

13.3.3	BP学习算法的实现 .....	337
13.4	基于神经网络的系统辨识方法 .....	338
13.4.1	前向模型辨识 .....	339
13.4.2	反向模型辨识 .....	340
13.5	基于神经网络的软测量方法 .....	341
13.5.1	软测量技术 .....	341
13.5.2	污水处理过程神经网络软测量模型 .....	342
13.6	基于神经网络的控制方法 .....	344
13.6.1	神经网络控制器 .....	344
13.6.2	神经网络预测控制 .....	345
13.6.3	神经网络模型参考控制 .....	345
13.6.4	神经网络内模控制 .....	346
13.7	单神经元控制器 .....	347
	本章小结 .....	350
	习题 .....	352
	<b>习题参考答案</b> .....	<b>354</b>
	<b>参考文献</b> .....	<b>362</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 现代控制工程的发展

1868 年英国的麦克斯韦尔(J. C. Maxwell)发表“论调速器”论文,被公认为自动控制理论的开端。控制理论发展至今已经有近 150 年的历史了。20 世纪 50 年代以前的控制理论一般称为经典控制理论,主要包括以微分方程、拉普拉斯变换为主要数学工具的时域法、频率法、根轨迹法等。经典控制理论虽然已经在许多工程技术领域中获得成功应用,但也有明显的局限性,特别是难于有效地处理多变量系统,并且难以揭示系统内部的特性。

20 世纪 50 年代末、60 年代初,一方面空间技术与军事技术对自动控制的要求越来越高,经典控制理论难以满足控制要求;另一方面,由于计算机的高速、小型、大容量、低成本所提供的良好物质条件,解决了复杂计算问题,一系列新型控制策略应运而生,并迅速在工程实际中得到应用、改进和发展。

1956 年,苏联庞特里亚金(L. S. Pontryagin)发表“最优过程数学理论”论文,提出了极大值原理,解决了发射人造卫星的火箭控制问题,揭开了最优控制理论的序幕。同年,美国贝尔曼(R. Bellman)发表“动态规划理论在控制过程中的应用”论文,提出了动态规划方法,便于用数字计算机实现最优控制。

传统的控制策略隐含着两个前提,一是要求对象的模型是精确的、不变化的,且是线性的;二是操作条件和运行环境是确定的、不变的。一般的工业系统只是粗略的、近似的满足这些条件,在要求不高的情况下是可行的,或者确切地说是能够应付的。随着工业应用领域的扩大、控制精度和性能要求的提高,必须考虑控制对象参数乃至结构的变化、非线性的影响、运行环境的改变以及环境干扰等时变的和不确定因素,才能得到满意的控制效果。

1958 年,美国惠特克等人研制出第一个模型参考自适应控制系统。美籍匈牙利人卡尔曼(R. E. Kalman)提出递推估计的自动优化控制原理,解决了随机噪声干扰下的系统状态的估计问题,奠定了自校正控制的基础。1959

年,罗马尼亚波波夫(V. M. Popov)提出超稳定性理论。这种理论的发展已获得许多应用,例如在模型参考自适应系统的稳定性设计中,超稳定性设计已成为一种重要的设计原则。1960年,卡尔曼发表“控制系统的一般理论”等论文,引入状态空间法分析系统,提出能控性、能观测性、最佳调节器和卡尔曼滤波等概念,奠定了现代控制理论的基础。1963年,中外学者提出极点配置基本定理。1964年,D. G. 吕思伯格发表“多变量系统观测器”,提出一种最优观测器。状态空间法能够描述系统内部特性,能够在时域里分析与设计系统,同时适用于单输入单输出和多输入多输出系统、线性定常系统和线性时变系统,大大扩展了能够处理问题的范围。1970年,英国罗森布罗克(H. H. Rosenbrock)提出多变量频域法,将经典控制理论中的频域方法推广到多变量系统。

控制理论是基于数学模型来分析与设计系统,所以,如何得到系统的数学模型成为控制理论应用的瓶颈问题。1967年,瑞典阿斯特勒姆(K. J. Astrom)提出最小二乘系统辨识方法,解决了线性定常系统的参数估计和定阶问题。

20世纪80年代以来,计算机的快速更新换代极大地推动了控制理论的发展。目前,控制理论已经进入了一个新的发展阶段。世界各国工业向着大型、综合化发展,控制系统也变得越来越复杂。实际控制系统的复杂性可归纳为:

(1) 对象复杂。不只是一种单一的运动,往往是几种物质的运动,甚至同时进行着物理、化学、生物的反应,内部机理不甚清楚。系统往往是非线性、多变量、强耦合、高维数的。对象的特性(包括结构、参数等)在变化,存在着许多不确定性因素。难于用常规的数学工具建模并研究这些对象。输入信息多样化、数据量庞大。信息方式不是单一的,往往是多媒体的(例如图形、文字、声音、数字等)。

(2) 环境复杂。系统处于动态变化的、难于预先知道的环境中,存在大量的不确定因素,如环境的动态变化、输入输出信息中的噪声、人为的和自然的干扰与误差,信息的模糊性、偶然性、未知性、不完全性等。

(3) 任务复杂。控制任务不只限于反馈系统的调节(定值)、伺服(跟踪)问题,而要求监控、优化、诊断、预报、调度、规划、决策等。控制形式也扩大到视觉、触觉、声觉、协调控制、自主控制、避撞控制、适应复杂环境等。系统往往具有多层次、多目标的控制要求。控制中的计算复杂性增加,且不限于数值计算。

应当强调说明的是,系统的不确定性(包括对象的不确定性和环境的不确定性这两大方面)是控制中最困难的问题,也是对传统控制的巨大挑战。为此,人们必须建立新的理论和方法,这就从控制工程实践方面促使智能控制策略的



产生。

另一方面,20世纪70年代后期以来,人工智能的研究得到了极大进展,并迅速以其新颖丰富的思想和强有力的问题求解能力渗透到各种领域中。自动控制与人工智能的结合产生了智能控制。Åström提出的“模糊逻辑控制、神经网络和专家控制是三种典型的智能控制方法”为大多数人接受,也较确切地反映了智能控制的研究和应用情况。除此之外,分级递阶智能控制、仿人智能控制、学习控制以及遗传算法也有研究和应用。

每种控制策略都有其特长,但都在某方面存在某些问题。因此,一种必然的发展趋势是各种控制策略互相渗透、取长补短、互济优势,结合成复合的控制策略。这些复合控制策略克服了单独策略的不足,具有更优良的性能,能更好地满足不同应用的不同要求,因而获得了更广泛的应用。可以说,复合(混合)控制模式是控制策略的发展方向。

复合控制策略的类型很多,而且随着研究工作的进展还在不断的增加和变化。图1.1从应用的角度作了归纳。

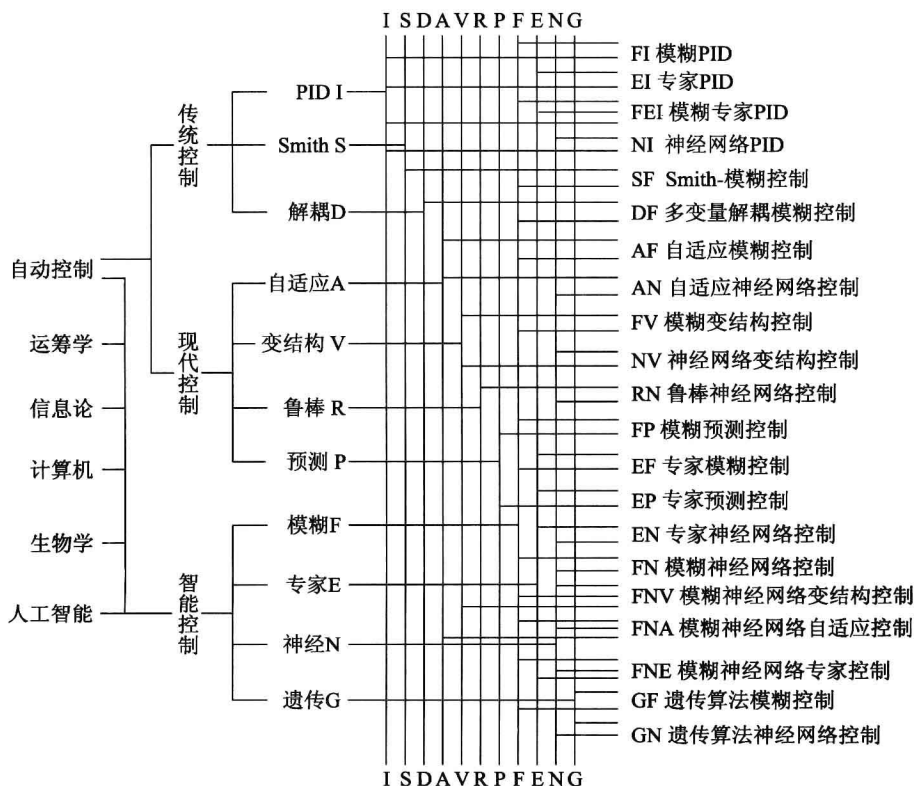


图 1.1 控制策略的渗透和结合