



智能科学技术著作丛书

# 非线性协调控制理论 研究及应用

曹少中 著



科学出版社

www.sciencepress.com

智能科学技术著作丛书

# 非线性协调控制理论 研究及应用

曹少中 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书系统地论述了非线性协调控制系统的初步理论、方法和技术。主要内容包括:非线性多变量协调控制理论基础、非线性协调控制系统状态方程的近似迭代解法、非线性协调控制系统状态方程的近似级数解法、六维电子束非线性多变量协调控制系统的动态分析方法、非线性协调控制系统的广义知识模型、协调市场经济运动规律分析以及产品概念设计过程的协调控制理论和方法。

本书适合从事控制科学、智能科学、系统科学、计算机科学等领域研究的学者、研究生和工程技术人员阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

非线性协调控制理论研究及应用/曹少中著. —北京:科学出版社,2009  
(智能科学技术著作丛书)

ISBN 978-7-03-025387-3

I. 非… II. 曹… III. 非线性控制系统 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 150228 号

责任编辑:张海娜/责任校对:邹慧卿

责任印制:赵 博/封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2009 年 8 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009 年 8 月第一次印刷 印张:15

印数:1—2 500 字数:285 000

定价:55.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<新蕾>)

## 《智能科学技术著作丛书》编委会

名誉主编：吴文俊

主 编：涂序彦

副 主 编：钟义信 史忠植 何华灿 蔡自兴 孙增圻 谭 民

秘 书 长：韩力群

编 委：（按姓氏汉语拼音排序）

蔡庆生（中国科学技术大学）

杜军平（北京邮电大学）

何华灿（西北工业大学）

黄河燕（中国科学院计算语言研究所）

焦李成（西安电子科技大学）

刘 宏（北京大学）

秦世引（北京航空航天大学）

阮秋琦（北京交通大学）

孙增圻（清华大学）

涂序彦（北京科技大学）

王家钦（清华大学）

吴文俊（中国科学院系统科学研究所）

尹怡欣（北京科技大学）

张琴珠（华东师范大学）

庄越挺（浙江大学）

蔡自兴（中南大学）

韩力群（北京工商大学）

何 清（中国科学院计算技术研究所）

黄心汉（华中科技大学）

李祖枢（重庆大学）

刘 清（南昌大学）

邱玉辉（西南师范大学）

史忠植（中国科学院计算技术研究所）

谭 民（中国科学院自动化研究所）

王国胤（重庆邮电学院）

王万森（首都师范大学）

杨义先（北京邮电大学）

于洪珍（中国矿业大学）

钟义信（北京邮电大学）

## 《智能科学技术著作丛书》序

“智能”是“信息”的精彩结晶，“智能科学技术”是“信息科学技术”的辉煌篇章，“智能化”是“信息化”发展的新动向、新阶段。

“智能科学技术”（intelligence science&technology, IST）是关于“广义智能”的理论方法和应用技术的综合性科学技术领域，其研究对象包括：

- “自然智能”（natural intelligence, NI），包括：“人的智能”（human intelligence, HI）及其他“生物智能”（biological intelligence, BI）。

- “人工智能”（artificial intelligence, AI），包括：“机器智能”（machine intelligence, MI）与“智能机器”（intelligent machine, IM）。

- “集成智能”（integrated intelligence, II），即：“人的智能”与“机器智能”人机互补的集成智能。

- “协同智能”（cooperative intelligence, CI），指：“个体智能”相互协调共生的群体协同智能。

- “分布智能”（distributed intelligence, DI），如：广域信息网，分散大系统的分布式智能。

1956年，“人工智能”学科诞生，50年来，在起伏、曲折的科学征途上不断前进、发展，从狭义人工智能走向广义人工智能，从个体人工智能到群体人工智能，从集中式人工智能到分布式人工智能，在理论方法研究和应用技术开发方面都取得了重大进展。如果说，当年“人工智能”学科的诞生是生物科学技术与信息科学技术、系统科学技术的一次成功的结合，那么，可以认为，现在“智能科学技术”领域的兴起是在信息化、网络化时代又一次新的多学科交融。

1981年，“中国人工智能学会”（Chinese Association for Artificial Intelligence, CAAI）正式成立，25年来，从艰苦创业到成长壮大，从学习跟踪到自主研发，团结我国广大学者，在“人工智能”的研究开发及应用方面取得了显著的进展，促进了“智能科学技术”的发展。在华夏文化与东方哲学影响下，我国智能科学技术的研究、开发及应用，在学术思想与科学方法上，具有综合性、整体性、协调性的特色，在理论方法研究与应用技术开发方面，取得了具有创新性、开拓性的成果。“智能化”已成为当前新技术、新产品的发展方向和显著标志。

为了适时总结、交流、宣传我国学者在“智能科学技术”领域的研究开发及应用成果，中国人工智能学会与科学出版社合作编辑出版《智能科学技术著作丛

书》。需要强调的是，这套丛书将优先出版那些有助于将科学技术转化为生产力以及对社会和国民经济建设有重大作用和应用前景的著作。

我们相信，有广大智能科学技术工作者的积极参与和大力支持，以及编委们的共同努力，《智能科学技术著作丛书》将为繁荣我国智能科学技术事业、增强自主创新能力、建设创新型国家做出应有的贡献。

祝《智能科学技术著作丛书》出版，特赋贺诗一首：

**智能科技领域广  
人机集成智能强  
群体智能协同好  
智能创新更辉煌**

涂序彦

中国人工智能学会荣誉理事长

2005年12月18日

## 前 言

复杂大系统的综合自动化、智能自动化，国民经济管理大系统宏观调控的需求，以及建设和谐社会、和谐世界等重大问题的提出，都涉及“协调控制”问题。“协调”是工程技术、社会经济、生物生态等领域持续发展的普遍需求与共性问题。各变量之间的关系有时是线性的，但在实际系统中往往是非线性的。世界的本质是非线性的，非线性无处不在，非线性是一切复杂性之源。这就相应地要求“协调控制理论”向“非线性协调控制理论”方向发展，非线性协调控制理论研究具有重要的理论意义和实际意义。

本书基于涂序彦教授的多变量协调控制理论、大系统控制论等学术思想和研究工作，以北京市自然科学基金项目“非线性系统协调控制模型及应用研究”（4092013）、北京市教育委员会科技面上项目“基于无速度传感器的印刷机电机非线性调速技术研究”（KM200810015003）、北京印刷学院人才引进项目“基于现场总线的协调控制系统研究及应用”、北京印刷学院院选重点项目“交流伺服系统非线性协调控制关键技术研究”为任务背景，就非线性协调控制系统状态方程求解、协调市场经济运动规律分析等方面展开了初步研究。

本书主要内容包括：非线性多变量协调控制理论基础、非线性协调控制系统状态方程的近似迭代解法、非线性协调控制系统状态方程的近似级数解法、六维电子束非线性多变量协调控制系统的动态分析方法、非线性协调控制系统的广义知识模型、协调市场经济运动规律分析以及产品概念设计过程的协调控制理论和方法。

本书是在涂序彦教授的指导和帮助下完成的，韩力群教授对本书的写作也提出了宝贵意见，在此表示感谢。此外，还要感谢北京市自然科学基金委员会、北京市教育委员会对本书中涉及的研究内容给予的资助。同时，感谢“北京市属高等学校人才强教计划资助项目”资助出版本书。

由于作者水平有限，本书中难免会有不妥之处，衷心希望读者批评指正。

# 目 录

《智能科学技术著作丛书》序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 写作背景	1
1.2 内容概要	3
1.3 致谢	3
参考文献	4
第 2 章 非线性控制理论概述	5
2.1 引言	5
2.2 非线性控制古典理论	6
2.3 非线性控制现代理论	7
2.3.1 微分几何控制理论	7
2.3.2 代数控制理论	9
2.3.3 神经网络控制理论	9
2.4 协调控制理论	11
2.5 小结	12
参考文献	12
第 3 章 协调控制理论的产生、研究和应用	14
3.1 协调控制理论的产生	14
3.1.1 协调控制理论的提出	14
3.1.2 协调控制理论的形成	15
3.2 协调控制理论的发展	16
3.2.1 协调控制理论的研究现状	16
3.2.2 协调控制理论的应用	18
3.3 小结	18
参考文献	18
第 4 章 非线性多变量协调控制理论基础	21
4.1 引言	21
4.2 协调控制原理	21
4.2.1 多变量协调控制原理	21



4.2.2	协调控制系统结构	24
4.3	系统的可控性、可观性、可协调性	25
4.3.1	系统结构可控性、可观性概念	25
4.3.2	系统结构可控性、可观性判据	27
4.3.3	可协调性的概念	29
4.3.4	可协调性的判据	31
4.4	协调稳定性与稳定化	34
4.4.1	“内稳定性”与“外稳定性”	34
4.4.2	“稳定化”的概念与方法	35
4.4.3	“大-小”系统稳定性关系	36
4.4.4	组合稳定化概念与方法	37
4.5	非线性协调控制原理	38
4.5.1	引言	38
4.5.2	非线性协调控制原理	39
4.6	非线性协调控制系统动态方程	41
4.7	小结	42
	参考文献	42
<b>第5章</b>	<b>非线性协调控制系统状态方程的近似迭代解法</b>	<b>43</b>
5.1	引言	43
5.2	非线性系统自由运动状态方程的任意阶近似迭代解	43
5.2.1	非线性系统的线性化	43
5.2.2	广义朗之万梯度方程	45
5.2.3	非线性系统自由运动状态方程的任意阶近似解	46
5.2.4	方均包络矩阵转移方程	51
5.2.5	小结	52
5.3	非线性系统状态方程的任意阶近似迭代解	53
5.3.1	非线性系统受控运动状态方程的任意阶近似解	53
5.3.2	非线性系统状态方程的任意阶近似解	58
5.3.3	仿射非线性系统状态方程的任意阶近似解	63
5.3.4	小结	68
5.4	非线性协调控制系统状态方程的任意阶近似迭代解	69
5.4.1	非线性协调控制系统积分状态方程的任意阶近似迭代解	69
5.4.2	非线性协调控制系统状态方程的任意阶近似迭代解的收敛性	71
5.5	小结	72
	参考文献	72

<b>第 6 章 非线性协调控制系统状态方程的近似级数解法</b> .....	74
6.1 仿射非线性系统状态方程的近似级数解 .....	74
6.1.1 引言 .....	74
6.1.2 仿射非线性系统状态方程 .....	74
6.1.3 齐次状态方程的严格解析解 .....	75
6.1.4 非线性状态方程的直接试探解法 .....	76
6.1.5 非线性积分方程及其任意阶近似解 .....	79
6.1.6 小结 .....	81
6.2 广义仿射非线性系统状态方程的近似级数解 .....	81
6.2.1 引言 .....	81
6.2.2 非线性状态方程及严格线性解 .....	81
6.2.3 非线性状态方程的直接试探解法 .....	84
6.2.4 控制系统非线性积分状态方程及任意阶近似解 .....	87
6.2.5 小结 .....	89
6.3 完全补偿非线性协调控制系统状态方程的近似级数解 .....	89
6.3.1 引言 .....	89
6.3.2 完全补偿多变量非线性协调控制系统状态方程 .....	89
6.3.3 齐次方程的严格解析解 .....	90
6.3.4 非线性积分状态方程及其任意阶近似解 .....	91
6.3.5 非线性状态方程的任意阶近似级数解 .....	92
6.3.6 讨论 .....	95
6.4 广义仿射非线性系统状态空间转移变换 .....	96
6.4.1 状态空间转移的基本概念 .....	96
6.4.2 自由状态相空间非线性转移 .....	99
6.4.3 广义仿射非线性控制系统状态空间的转移 .....	106
6.5 小结 .....	113
参考文献 .....	114
<b>第 7 章 六维电子束非线性多变量协调控制系统的动态分析方法</b> .....	115
7.1 引言 .....	115
7.2 六维电子束动态方程 .....	115
7.2.1 空间直角坐标系相关的六维动态方程 .....	115
7.2.2 空间柱坐标系相关的六维动态方程 .....	117
7.2.3 平面曲线坐标相关的六维动态方程 .....	119
7.3 六维电子束非线性系统动态方程 .....	123
7.4 六维电子束非线性系统动态方程的任意阶近似解 .....	124

7.5 小结 .....	127
参考文献 .....	127
<b>第8章 印刷机械协调控制系统 .....</b>	<b>128</b>
8.1 引言 .....	128
8.2 印刷机自动控制系统 .....	128
8.2.1 胶印机自动控制系统 .....	128
8.2.2 凹版印刷机彩色套准控制系统 .....	131
8.3 无轴传动技术及应用 .....	134
8.3.1 引言 .....	134
8.3.2 无轴传动及其特点 .....	134
8.3.3 印刷机无轴传动原理 .....	136
8.3.4 无轴传动技术在胶印机中的应用 .....	140
8.4 小结 .....	140
参考文献 .....	140
<b>第9章 非线性协调控制系统的广义知识模型 .....</b>	<b>142</b>
9.1 广义关系模型 .....	142
9.1.1 定性关系模型 .....	142
9.1.2 定量关系模型 .....	144
9.2 多层高维可拓集合 .....	146
9.2.1 $n$ 维可拓集合的定义 .....	146
9.2.2 多层高维可拓集合的基本概念 .....	147
9.2.3 多层高维可拓集合的性质及运算 .....	150
9.2.4 多层高维可拓集合之交、并的可拓域与稳定域 .....	152
9.3 多层高维物元可拓集合 .....	164
9.3.1 $n$ 维物元可拓集合的定义 .....	164
9.3.2 多层高维物元可拓集的基本概念 .....	165
9.3.3 多层高维物元可拓集的性质及运算 .....	168
9.3.4 多层高维物元可拓集之交、并的可拓域与稳定域 .....	171
9.4 多层高维事元可拓集合 .....	176
9.4.1 多层多维事元可拓集的基本概念 .....	176
9.4.2 多层多维事元可拓集的性质及运算 .....	178
9.4.3 $m$ 层 $\prod_{j=1}^m n_j$ 维事元可拓集合之交的可拓域与稳定域及其性质 .....	179
9.4.4 结论 .....	184
9.5 小结 .....	184
参考文献 .....	185

<b>第 10 章 协调市场经济运动规律分析</b> .....	186
10.1 引言 .....	186
10.2 协调市场经济一般状态方程 .....	186
10.2.1 协调市场经济模式框图 .....	187
10.2.2 协调市场经济状态方程 .....	188
10.3 协调市场经济线性状态方程及其解 .....	189
10.3.1 齐次方程及其解 .....	190
10.3.2 线性方程的解 .....	191
10.4 协调市场经济非线性状态方程及其任意阶近似解 .....	193
10.4.1 积分方程 .....	193
10.4.2 非线性积分方程的解 .....	194
10.5 协调市场经济状态随宏观调控的变化规律 .....	196
10.5.1 协调市场经济的最佳状态 .....	196
10.5.2 过度调控 .....	197
10.5.3 疏于调控 .....	197
10.6 协调市场经济状态逆向运动分析 .....	198
10.7 协调市场经济状态方程解的收敛性 .....	199
10.8 小结 .....	201
参考文献 .....	201
<b>第 11 章 产品概念设计过程的协调控制理论和方法</b> .....	202
11.1 最经济产品概念设计方法 .....	202
11.1.1 最经济产品概念设计的提出 .....	202
11.1.2 最经济产品概念设计研究 .....	204
11.1.3 最经济产品概念设计的实现方法 .....	207
11.2 绿色设计 .....	208
11.2.1 绿色设计的概念 .....	208
11.2.2 绿色设计模式 .....	211
11.2.3 绿色产品概念设计的多重广义算子模型 .....	212
11.3 “良性循环”的绿色产品概念设计 .....	214
11.3.1 “良性循环”的绿色产品设计 .....	214
11.3.2 绿色产品回收再制造 .....	215
11.3.3 绿色设计可拓层次综合评价方法 .....	216
11.4 小结 .....	223
参考文献 .....	224
<b>第 12 章 展望</b> .....	225

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 写作背景

复杂大系统的综合自动化、智能自动化，国民经济管理大系统宏观调控的需求，以及建设和谐社会、和谐世界等重大问题的提出，都涉及“协调控制”问题。“协调”意味着：协同配合、分工和谐、友好协商、统筹兼顾、全局优化、动态平衡、取长补短、相生相克、共同发展。各变量之间的关系有时是线性的，但实际系统往往是非线性的，这就相应地要求“协调控制理论”向“非线性协调控制理论”方向发展<sup>[1~4]</sup>。

近年来，作者一直从事非线性协调控制理论及应用方面的研究工作。2002年9月作者考入北京理工大学模式识别与智能系统专业，攻读博士学位，有幸师从“协调控制理论”的创立者、奠基人涂序彦教授。学习期间，参加了国家自然科学基金项目“基于物元动态系统分析的智能化模型化概念设计研究”（60375014）、山东省自然科学基金项目“创新设计思维的可拓模型和基于该模型的智能CAD软件”（Y2002G16），运用涂序彦教授的“协调控制”和“人机和諧智能CAD系统”的理论和方法，研究支持产品创新概念设计的人机和諧的协同智能CAD系统。在研究产品创新概念设计过程中，采用多层多种问题与矛盾的模型化与协调化方法，支持产品创新概念设计的理论方法和实现技术。在涂序彦教授的指导下，完成了《支持产品创新概念设计的协同智能CAD系统》的博士学位论文，主要研究工作包括：

(1) 针对具有多层次结构、多个特征的产品概念设计中矛盾问题的知识表示问题，提出了多层高维可拓集合。将物元理论与多层高维可拓集合结合，提出了多层高维物元可拓集。

(2) 对于复杂产品概念设计中存在的横向、纵向关系的特点，给出了一种多层高维产品物元可拓集广义模型，恰当地刻画了复杂产品的概念设计过程。

(3) 提出了产品概念设计的物元系统模型，并给出了基于该模型的可拓推理创新原理。

(4) 对于产品概念设计中存在的产品的性能与产品的制造成本之间的矛盾问题，提出了最经济概念设计的概念，给出了一种最经济概念设计方法。

(5) 针对产品概念设计中功能分解与协调问题，提出了产品概念设计的多矛盾功能模型、分解协调模型。针对产品概念设计中的人机协调问题，提出了产品

概念设计的多库协同方法,给出了产品概念设计中人机合理分工的原则,建立了一种人机协调的计算机辅助概念设计过程模型,提出了一种人机协调的计算机辅助概念设计系统结构。

(6) 针对协同概念设计中不同领域、不同专业设计人员之间存在的设计冲突,提出了一种协调概念设计中的人人协调化方法,给出了一种基于多 agent 的多库协同产品概念设计系统结构。

(7) 对于产品概念设计中存在的产品设计方案与生态环境之间的矛盾问题,提出了一种在循环经济背景下的绿色概念设计系统化方法。

(8) 开发了一个面向日用陶瓷产品的概念设计原型系统,此系统可以为陶瓷设计师设计产品提供有效帮助。

这些成果是“协调控制理论”在产品概念设计中的应用和发展,可用于解决产品概念设计过程中的多种多类“协调”问题,给出了和谐智能计算机辅助概念设计理论和方法,作者总结部分成果与青岛大学杨国为教授合作出版了专著《和谐智能 CACD 系统》。

2005 年 10 月,作者进入北京科技大学控制科学与工程博士后流动站,在涂序彦教授和刘贺平教授指导下,从事非线性系统协调控制理论和应用的研究工作。刘贺平教授在非线性控制理论方面具有深厚的造诣,作者将涂序彦教授的协调控制理论与非线性理论相结合,系统研究了非线性多变量协调控制理论,完成了《非线性多变量协调控制理论研究及应用》的博士后研究报告,研究内容包括:

(1) 对于一个工作在指定状态附近的非线性系统自由运动,研究了非线性系统自由运动状态方程的近似解析解。

(2) 对于一个非线性系统,通过常数变易法和逐次逼近法,研究了非线性系统状态方程的解析解。

(3) 对于非线性系统协调问题,给出了“非线性多变量协调控制原则”以及相应的非线性协调控制系统方程,求得了此方程的任意阶近似解析解,并证明了解的收敛性。

(4) 对于大型电子束设备中由大量电子组成的电子束,通过建立直角坐标、柱坐标、平面曲线坐标的非线性六维状态方程,系统分析了六维电子束非线性多变量协调控制系统。

这些研究成果为进一步深入研究非线性协调控制理论奠定了基础。2006 年作者到北京印刷学院工作后,继续开展非线性协调控制理论研究,目前主持北京印刷学院院选项目“基于现场总线的协调控制系统研究及应用”、北京印刷学院院选重点项目“交流伺服系统非线性协调控制关键技术研究”、北京市教育委员会科技面上项目“基于无速度传感器的印刷机电机非线性调速技术研究”、北京

市自然科学基金项目“非线性系统协调控制模型及应用研究”。项目的研究成果已在包括《电子学报》等重要期刊上发表，目前已发表论文20多篇，其中EI检索15篇。

为了进一步发展非线性协调控制理论，在涂序彦先生鼓励和支持下，作者把博士期间、博士后期间和新近所做的工作进行了总结，撰写了本书初稿。涂先生审阅了书稿，提出了修改指导意见。

## 1.2 内容概要

本书共分为12章。第1章简要回顾本书的写作背景。第2章简要介绍非线性控制理论的概况。第3章介绍协调控制理论的产生背景、国内外研究和应用现状。第4章介绍非线性多变量协调控制理论基础。第5章研究非线性控制系统状态方程近似迭代解法。首先研究非线性系统自由运动状态方程任意阶近似迭代解，然后研究更一般的非线性系统状态方程的任意阶近似迭代解。按照“非线性多变量协调控制原则”，给出相应的非线性协调偏差状态方程，求得该方程的任意阶近似解析解，并证明在实际工作状态不远离协调工作道情况下解的收敛性。第6章从非线性系统状态方程出发，研究非线性系统状态方程的近似级数解法和非线性控制系统状态空间转移理论。首先，针对仿射非线性系统状态方程，通过泰勒展开，利用微分方程理论求解该方程的近似级数解；其次，研究广义仿射非线性系统状态方程、完全补偿非线性协调控制系统状态方程的近似级数解；最后，讨论线性、非线性系统状态空间转移理论。第7章提出六维电子束非线性多变量协调控制系统动态分析方法。第8章介绍印刷机械协调控制系统。第9章给出非线性协调控制系统的广义知识模型。第10章应用协调控制理论，对协调市场经济运动规律进行定量分析。第11章论述产品概念设计过程的协调控制理论和方法。第12章展望非线性协调控制理论的进一步发展。

## 1.3 致 谢

本书是在涂序彦教授的悉心指导下完成的，是作者在博士期间、博士后期间，以及在北京印刷学院工作期间，关于非线性“协调控制”理论方面科研成果的系统总结。在本书出版之际，作者衷心感谢涂序彦先生多年来的关心、指导和帮助，感谢刘贺平教授在博士后研究期间的指导和帮助，感谢北京邮电大学王枏教授的指导和帮助，感谢青岛大学杨国为教授的指导和帮助，感谢北京工商大学韩力群教授在本书写作过程的指导和帮助，感谢北京印刷学院在本书写作出版过程中的支持和帮助。

### 参 考 文 献

- [1] Tu X Y. Theory of an harmonically acting control system with a large number of controlled variables// Proceedings of the First International Congress of IFAC. London: Butterworths Scientific Publications, 1960.
- [2] 涂序彦. 多变量协调控制问题//第一届国际自动化学术会议论文选集. 上海: 上海科学技术出版社, 1963: 1~16.
- [3] 涂序彦. 论协调. 科学学与科学技术管理, 1981, 5: 17~20.
- [4] 曹少中. 非线性多变量协调控制理论研究及应用. 北京: 北京科技大学博士后研究报告, 2007.



## 第 2 章 非线性控制理论概述

### 2.1 引 言

非线性是世界的本质，非线性无处不在。自然现象和社会现象的多样性决定了非线性现象的多样性。非线性科学正是研究自然界、人类社会中非线性现象共性的基础学科。它是 20 世纪 60 年代以来，在各门以非线性为特征的分支学科基础上逐步发展起来的综合性学科，几乎涉及自然科学和社会科学的各个领域。非线性的无序性、非周期性等特点孕育出大自然的万千气象、人类社会的风云变幻和人类思维的错综差异，形成了一个色彩斑斓的世界<sup>[1]</sup>。在研究和认识非线性的过程当中，产生了非线性控制理论。作为非线性学科的重要组成部分，并且也是控制学科中最具活力和挑战性的研究领域，非线性控制理论及其应用技术越来越受到国内外控制理论学者的高度重视，人们进行了大量的研究工作和有益的探索，获得了许多有价值的重要研究成果<sup>[2]</sup>。

非线性系统需用非线性微分方程描述，不能应用叠加原理。在非线性系统中，其时域响应除了发散和收敛两种形式外，即使无外部激励也可能发生某一固定振幅和频率的自激振荡，在某些非线性系统中，还可能产生不止一种的振幅和频率都不相同的自激振荡，甚至还可能出现跳跃谐振、倍频振荡和分频振荡等现象。这就决定了非线性微分方程类型及其解的多样性，没有一种统一的方法来求解非线性微分方程。

非线性系统的个性差异决定了不可能找到一种普遍适用的方法来解决所有的非线性控制问题，所以非线性控制理论本身也是色彩纷呈的，人们研究和发展了不同的控制方法适应千差万别的非线性系统。

非线性控制系统的发展几乎是与线性控制系统平行的，但对非线性控制系统的研究成果还是比较有限的，显然这是由于非线性系统本身所包含的现象十分丰富，迄今为止对其了解还不够所造成的。同时，从数学角度上讲，对线性系统已有完善的数学分析工具，而对于非线性系统，发展合适的数学工具是一个相当困难的问题。非线性系统控制的发展是一个漫长的过程，取得了可喜的成果，特别是近十年来的发展，更使非线性系统的控制有了突飞猛进的进展<sup>[3]</sup>。非线性系统理论可以分为古典理论和现代理论。