



新世纪高等学校教材

大学公共课系列教材

系统科学导论

XITONG KEXUE DAOLUN

谭璐 姜璐 编著



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

新世纪高等学校教材

大学公共课系列教材

系统科学导论

XITONG KEXUE DAOLUN

谭璐 姜璐 编著



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

系统科学导论 / 谭璐, 姜璐编著. —北京: 北京师范大学出版社, 2009. 2

新世纪高等学校教材

ISBN 978-7-303-09770-8

I. 系… II. ①谭…②姜… III. 系统科学 - 高等学校 - 教材 IV. N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 200928 号

营销中心电话 010-58802181 58808006

北师大出版社高等教育分社网 <http://gaojiao.bnup.com.cn>

电子信箱 beishida168@126.com

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印刷: 北京新丰印刷厂

经销: 全国新华书店

开本: 170 mm × 230 mm

印张: 13.5

字数: 221 千字

印数: 1 ~ 2 000 册

版次: 2009 年 2 月第 1 版

印次: 2009 年 2 月第 1 次印刷

定价: 23.00 元

策划编辑: 梁志国

责任编辑: 梁志国

美术编辑: 高霞

装帧设计: 高霞

责任校对: 李菡

责任印制: 李丽

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58800825

前言

系统科学是 20 世纪后半叶形成的综合性横断科学，它以自然和社会领域的复杂系统为研究对象，运用综合、整体、集成的方法，特别强调定性分析与定量计算的结合，提出了层次、涌现、适应等概念，并大量使用计算机工具对系统状态加以描述，对系统演化过程进行分析。它的发展大大推进了自然科学与社会科学的结合。21 世纪，人类社会的发展迈向新的目标，系统科学也面临着新的机遇和挑战。

系统科学与中国有着不解之缘。中国深厚的历史文化、大量的现代化建设实践和科学研究命题都是系统科学发展的肥沃土壤。著名战略科学家钱学森敏锐地洞察到系统科学发展的有利时机，与世界同步地带领我国科学家在这一领域内探索，使我国对系统科学的研究处于世界领先水平。1978 年，钱学森等人在《文汇报》发表文章“组织管理的技术——系统工程”，推动了系统科学在工程应用方面的发展；1987 年，钱学森又亲自组织系统学讨论班，开展基础理论层次上的研究。自此，中国开始了全面研究系统科学的热潮。今天，我们不仅成立了全国性的一级学会——系统工程学会，而且不少高等院校先后建立了系统科学及系统工程的本科专业，在研究生学科目录中也设立了系统理论的学科。如今在全国范围内，我国已培养了大批系统科学和系统工程专业的博士、硕士，他们不仅成为推动这一学科继续发展的中坚力量，而且不少人还充实到国民经济建设和国家管理的各个部门，将系统科学理论、系统工程方法运用于实践，并取得了显著的成果。总之，系统科学的概念、理论和方法，不仅是学者进行研究的对象、专家解决问题的利器，也是青年学子

攀登科学高峰应该具备的辅助知识，同时也是科技、教育、管理领域的人员推进工作急需补充的新知识。

由于系统科学学科体系建立的时间不长，全面介绍这一涉及面广、用途范围大的基础学科的参考书较少，使得普及系统科学的知识受到一定的影响，我们这本书正是为了解决这个问题、满足一般读者的需要而编写的。为使读者较为全面地掌握系统科学的知识，并鉴于社会上已有部分侧重工程应用方面的书籍，本书强调“三基”，着重介绍基本概念、基础理论和基本应用。我们也在适当的地方涉及微分方程的一些基本知识，便于读者把握知识的科学性，且能在实际中加以运用。这是为具有基本数理知识的读者提供的一本系统科学的普及教科书，故我们没有过多地讨论其哲学问题，也没有深入论述它在某一方向上的前沿成果和专项问题。总之，我们提供的是一个系统科学的研究平台，读者可结合个人专业和工作实际，选择适当的方向深入钻研，定能从中获得收益。

此书是由于景元教授提议编写的，最初是面向中学物理、数学教师，向他们介绍系统科学的相关知识，使他们在教学实践中能够主动、自觉地向学生讲解系统科学的相关内容。后来，我们将它扩充为针对高等学校公共课的教材，同时也面向广大希望了解系统科学的非专业学者和工作人员。它可以作为向非系统科学专业学生讲授系统科学理论知识的参考教材，也可以作为自学系统科学的入门书。本书按照钱学森关于系统科学的思想体系，在基本理论、应用基础和实际应用三个层次上展开论述，经集体讨论、统一思想，多人执笔，发挥各自专长而完成，具体由谭璐撰写前7章，甘勇撰写后3章，最后由姜璐、谭璐修订统稿。书中大多数内容依据姜璐为北京师范大学本科生开设的公共选修课的讲义而编写，虽然书中内容在课堂上已讲解多次，我们在编写中也反复查阅，但因系统科学理论发展迅速，我们学习理解这些理论时仍有不准确之处，成书过程中也难免出现错漏，恳请学术界同仁及广大读者指正为感。

姜璐

2007年8月于京师园

出版说明

随着我国经济建设的发展,社会对技术型应用人才的需求日趋紧迫,这也促进了我国职业教育的迅猛发展,我国职业教育已经进入了平稳、持续、有序的发展阶段。为了适应社会对技术型应用人才的需求和职业教育的发展,教育部对职业教育进行了卓有成效的改革,职业教育与成人教育司、高等教育司分别颁布了调整后的中等职业教育、高等职业教育专业设置目录,为职业院校专业设置提供了依据。教育部连同其他五部委共同确定数控技术应用、计算机应用与软件技术、汽车运用与维修、护理为紧缺人才培养专业,选择了上千家高职、中职学校和企业作为示范培养单位,拨出专款进行扶持,力争培养一批具有较高实践能力的紧缺人才。

职业教育的快速发展,也为职业教材的出版发行迎来了新的春天和新的挑战。教材出版发行为职业教育的发展服务,必须体现新的理念、新的要求,进行必要的改革。为此,在教育部高等教育司、职业教育与成人教育司、北京师范大学等的大力支持下,北京师范大学出版社在全国范围内筹建了“全国职业教育教材改革与出版领导小组”,集全国各地上百位专家、教授于一体,对中等高等职业院校的文化基础课、专业基础课、专业课教材的改革与出版工作进行深入的研究与指导。2004年8月,“全国职业教育教材改革与出版领导小组”召开了“全国有特色高职教材改革研讨会”,来自全国20多个省、市、区的近百位高职院校的院校长、系主任、教研室主任和一线骨干教师参加了此次会议。围绕如何编写出版好适应新形势发展的高等职业教育教材,与会代表进行了热烈的研讨,为新一轮教材的出版献计献策。这次会议共组织高职教材50余种,包括文化基础课、电工电子、数控、计算机教材。2005年~2006年期间,“全国职业教育教材改革与出版领导小组”先后在昆明、

哈尔滨、天津召开高职高专教材研讨会，对当前高职高专教材的改革与发展、高职院校教学、师资培养等进行了深入的探讨，同时推出了一批公共素质教育、商贸、财会、旅游类高职教材。这些教材的特点如下。

1. 紧紧围绕教育改革，适应新的教学要求。过渡时期具有新的教学要求，这批教材是在教育部的指导下，针对过渡时期教学的特点，以3年制为基础，兼顾2年制，以“实用、够用”为度，淡化理论，注重实践，消减过时、用不上的知识，内容体系更趋合理。

2. 教材配套齐全。将逐步完善各类专业课、专业基础课、文化基础课教材，所出版的教材都配有电子教案，部分教材配有电子课件和实验、习题指导。

3. 教材编写力求语言通俗简练，讲解深入浅出，使学生在理解的基础上学习，不囫圇吞枣，死记硬背。

4. 教材配有大量的例题、习题、实训，通过例题讲解、习题练习、实验实训，加强学生对理论的理解以及动手能力的培养。

5. 反映行业新的发展，教材编写注重吸收新知识、新技术、新工艺。

北京师范大学出版社是教育部职业教育教材出版基地之一，有着近20年的职业教材出版历史，具有丰富的编辑出版经验。这批高职教材的编写得到了教育部相关部门的大力支持，部分教材通过教育部审核，被列入职业教育与成人教育司高职推荐教材，并有25种教材列为“十一五”国家级规划教材。我们还将开发电子信息类的通信、机电、电气、计算机、工商管理等专业教材，希望广大师生积极选用。

教材建设是一项任重道远的工作，需要教师、专家、学校、出版社、教育行政部门的共同努力才能逐步获得发展。我们衷心希望更多的学校、更多的专家加入到我们的教材改革出版工作中来，北京师范大学出版社职业教育与教师教育分社全体人员也将备加努力，为职业教育的改革与发展服务。

全国职业教育教材改革与出版领导小组
北京师范大学出版社

目 录

绪论 /1

- 热力学与不可逆性 2
- 两种时间箭头——进化与退化 3

第1章 系统科学的发展史 /5

- 1.1 定性的系统思想的产生和发展 5
- 1.2 定量的系统科学方法的建立和发展 9
 - 1.2.1 科学技术背景 9
 - 1.2.2 20世纪40~60年代形成的系统科学“学科群” 10
 - 1.2.3 20世纪70~80年代基础学科发展促进系统科学的建立 13
 - 1.2.4 20世纪80年代以来系统科学与其他科学的发展相互交织在一起 13
 - 1.2.5 系统科学在中国的发展 14
- 1.3 综合的现代科学技术体系 15
 - 1.3.1 学科分类的标准与形式 15
 - 1.3.2 钱学森学科分类的原则及现代科学技术体系 17

第2章 系统科学的基本概念和方法 /20

- 2.1 系统的定义、结构和功能 20
 - 2.1.1 系统的定义 20

2.1.2	系统的结构	21
2.1.3	系统的功能	22
2.2	系统的状态、演化及分类	23
2.2.1	系统的状态	23
2.2.2	系统的演化	24
2.2.3	系统的分类	25
2.3	系统方法论	27

第3章 耗散结构理论 /31

3.1	非平衡热力学的背景	31
3.1.1	什么是熵	31
3.1.2	开放系统的热力学第二定律	33
3.1.3	非平衡系统的局域平衡假定 熵产生率	34
3.1.4	昂萨格倒易关系 最小熵产生原理	35
3.2	耗散结构理论的创立	37
3.2.1	普利高津及耗散结构理论创立的历史背景	37
3.2.2	非平衡系统在远离平衡区的演化	38
3.2.3	自组织现象和耗散结构	39
3.3	稳定性	43
3.3.1	稳定性和 Lyapunov 函数	43
3.3.2	定态解的线性稳定性分析	46
3.3.3	定态解的性质	47
3.3.4	一个实例——Lotka-Volterra 模型	51
3.4	分岔理论	52
3.4.1	从热力学分支到耗散结构分支	52
3.4.2	分岔现象	53
3.5	耗散结构现象	56
3.5.1	热力学分支的失稳	56
3.5.2	耗散结构现象的特点	58
3.5.3	耗散结构形成的条件	60
附录:	最小熵产生原理的证明	62

第4章 协同学 /64

4.1 序和对称性	64
4.1.1 序	64
4.1.2 对称性和有序	66
4.2 序参量	68
4.2.1 哈肯和协同学的创立	68
4.2.2 序参量——自组织的状态描述	71
4.3 支配原理	73
4.3.1 支配原理的概念	73
4.3.2 快变量绝热消去法	75
4.4 随机层次上讨论系统的演化	78
4.4.1 进行随机层次分析的必要性	78
4.4.2 描述随机过程的几类方程	79

第5章 非线性行为 /83

5.1 从线性到非线性	83
5.2 非线性系统的演化	85
5.2.1 非线性系统演化的特点	85
5.2.2 线性化方法	86
5.2.3 平均值方法	86
5.2.4 演化趋势的定性分析	87
5.3 混沌现象	89
5.3.1 “平衡态混沌”与“非平衡态混沌”	89
5.3.2 产生混沌的一个简单例子	90
5.3.3 混沌现象的特点	93
5.3.4 通向混沌的途径	93
5.3.5 蝴蝶效应	96
5.4 分维与分形简介	98
5.4.1 分数维几何学	98
5.4.2 分数维的计算	100
5.4.3 自相似结构和分形	101

第6章 复杂性研究 /104

6.1 复杂性研究的三个阶段	104
6.1.1 简单系统和三类巨系统	104
6.1.2 简单巨系统	105
6.1.3 复杂适应性系统	107
6.1.4 开放的复杂巨系统	108
6.2 复杂性科学	110
6.2.1 从简单性到复杂性	110
6.2.2 从有机界到无机界	111
6.2.3 复杂性研究的方法 and 意义	113

第7章 运筹学 /116

7.1 运筹学概论	116
7.1.1 运筹学的基本概念	116
7.1.2 运筹学简史	118
7.2 运筹学的主要内容	119
7.2.1 规划论	119
7.2.2 对策论	120
7.2.3 决策论	122
7.2.4 排队论	123
7.2.5 库存论	124
7.2.6 搜索论	125
7.2.7 可靠性理论	125
7.2.8 网络分析	126
7.3 几类规划问题	127
7.3.1 线性规划	127
7.3.2 非线性规划	129
7.3.3 动态规划	130
7.4 运筹学的应用	132

第8章 控制论 /135

8.1 控制论的产生	135
------------------	-----

8.1.1 社会背景	135
8.1.2 理论渊源	136
8.2 控制论的基本概念	137
8.2.1 什么是控制	137
8.2.2 控制论的定义与分类	139
8.2.3 控制能力	140
8.2.4 输入与输出	141
8.2.5 反馈	142
8.3 控制系统	143
8.3.1 控制系统及其分类	143
8.3.2 控制系统的主要方法	145
8.3.3 控制系统的性能指标	147
8.4 控制论系统	148
8.4.1 控制论系统	148
8.4.2 控制论系统的基本规律	151
8.5 控制论的运用	153
8.5.1 控制论的理论内容	153
8.5.2 控制论的运用概况	154

第9章 信息论 /156

9.1 信息论的产生和发展	156
9.1.1 准备阶段	156
9.1.2 创立阶段	157
9.1.3 发展阶段	158
9.2 信息的基本概念	159
9.2.1 什么是信息	159
9.2.2 信息的分类	161
9.2.3 信息的特性	161
9.2.4 信息载体的特性	162
9.3 香农的通信系统模型	163
9.3.1 通信系统模型	163
9.3.2 香农信息的度量	166

9.4 信息方法与信息技术	169
9.4.1 信息方法	169
9.4.2 信息技术	171
9.5 信息论的应用	173
9.5.1 信息分析与预测	173
9.5.2 信息与管理	175

第10章 系统工程 /177

10.1 系统工程概述	177
10.1.1 系统工程的相关概念	177
10.1.2 系统工程学的产生和发展	179
10.1.3 系统工程的方法论	180
10.2 系统分析和工程建模	182
10.2.1 系统分析	182
10.2.2 系统工程建模	184
10.3 系统工程的技术方法	187
10.3.1 系统预测	188
10.3.2 系统仿真	189
10.3.3 系统评价	191
10.3.4 系统决策	192
10.4 系统工程的应用	194
10.4.1 应用概况	194
10.4.2 一个应用实例	195

参考书目 /201

绪 论

从 17 世纪牛顿(Newton)创立经典力学体系至今,现代物理学已经经历了几次深刻的变革.每每我们感到成功地建立起了一套解释周围世界运动和变化规律的完美理论时,又会产生一些新的、无法解释的问题,继而引导科学家们探索和提出新的理论.借此,科学技术得以推动和不断进步;人类对于客观世界的认识,也在这样的循环往复中一步步得以深化.

毋庸置疑,经典的物理学理论曾给近代科学带来了相当辉煌的成果.牛顿力学体系在其建立之后的数百年间,一度成为自然科学的代名词.然而,19 世纪末,物理学领域上空飘来两朵“乌云”,其后引发的一场物理学革命,将物理学带入了相对论和量子力学的时代.

在相对论和量子力学出现之前,人们普遍认为,依靠经典物理学的牛顿体系完全可以解释自然界的基本现象.但是,很快人们发现,对宇观物体和微观粒子而言,牛顿力学不再适用,而爱因斯坦(Einstein)的相对论和玻尔(Bohr)等人的量子力学讨论了相应的问题,扩大了牛顿力学体系的范畴.此后,部分科学家又认为,在宏观层次上,牛顿力学体系已经比较成熟,可以解决相关的所有问题,在这方面科学应该不会有什麼重大突破了.然而事实远非如此,广义上的牛顿体系仍旧无法解决一些基本的问题.

为了说明经典物理学领域未能涵盖的诸多盲点之一,物理学家庞加莱(Poincaré)曾经举过一个十分浅显的例子:把一粒大麦藏在一堆小麦之中非常容易,可是相反的过程,即要把它从一堆小麦中拿出来,实际操作非常困难,甚至不大可能.按照传统的牛顿力学体系的观点,所有的物理现象都具有时间反演对称性;也就是说,如果一个物理现象(演化过程)是可能的,那么反过来,原来物理现象的逆过程也同样是可能的.但是,从上述那个简单的例子可以看出,自然界的实际情况往往并不符合牛顿体系的观点.客观世界中存在着大量类似的现象,事件朝一个方向的演化是自然的,而倒过来的过程就不一样了,它们属于不可逆过程,经典的牛顿力学无法讨论.

不可逆性只是问题的冰山一角,经典物理学在处理很多问题时实际上有着根本的局限,在关于客观事物的演化、不稳定性、非线性关系、复杂性等方面,都不能给出完好的解释.20 世纪中后期,在近代物理学取得巨大进步的基础之上,结合二战时期形成的技术学科与工程技术应用方面的相关成果,在研究平衡与演化、非线性与复杂性的科学家群体的努力之下,逐渐形成了一套

以复杂系统为研究对象的、综合性的理论体系，现在统称为系统科学体系，这些内容便成为系统科学理论需要逐一探讨的问题。

我们首先从宏观运动的不可逆性及演化方向的两种时间箭头讲起，向读者初步展示系统科学研究领域的多彩画卷。

热力学与不可逆性

宏观世界最显著的特征之一是演化。古语云：“一切皆流，无物常驻。”永恒的变动、创生和消亡，是科学家乃至全人类一直以来共同关心的课题。

我们知道，经典力学体系的牛顿力学方程具有时间反演的对称性，即如果把方程中的时间符号由 t 改为 $-t$ ，方程依然成立。换句话说，牛顿方程是可逆的，在方程中没有所谓的“时间箭头”。不仅牛顿方程如此，在量子力学领域和相对论力学领域，它们的基本方程也都是满足时间反演对称性的。

然而，19 世纪诞生的热力学首先打破了这一特性。热力学是一门研究物质冷热变化和热量传递的科学。构建起热力学理论体系的是热力学的三个基本定律，其中，热力学第二定律和热力学第三定律都是研究系统演化方向的，都具体论述了客观世界的某种不可逆性。第二定律描述了能量传递的方向，指出系统会自发地向着熵增加的方向演化；第三定律断定绝对零度不可到达，指出运动是系统的本质性质。

从以下的热力学现象中，我们将会深刻认识到热力学的不可逆性，例如，房间中有一瓶香水，打开瓶塞，香气四处弥漫，那是因为香水分子扩散到了整个房间。如果没有外界条件的干预，相反的时间过程是不存在的，即弥散在整个房间的香气不会自动收拢，香水分子不可能再自发地全部回到香水瓶中。又如，一根同外界绝热的质地均匀的金属棒，用酒精灯对其一端加热，棒上各点的温度是不均匀的，移开酒精灯这时开始观测，一段时间以后，金属棒两端温度似乎在逐渐“渗透”，最终达到一致。试想相反的过程，一根原本温度均匀的金属棒，如果没有环境条件的影响，它断然不会自动产生出温度梯度。热力学中类似这样的扩散现象还有很多，这些现象拥有一个共同的特点：不均匀分布的密度或温度总是会自发地趋向于均匀分布，而相反的过程则不会自动发生，也就是说，物理状态的演化具有了方向性。这与牛顿力学体系所研究的情况形成了对比：在牛顿方程中，过程是可逆的，总有一个相反的方程，可以使系统从现在回到过去；而在上述扩散现象中，演化是不可逆的，事物一旦达到均匀状态，过去的历史就被完全遗忘了，系统不能再回到过去。

需要注意的是，不管是香水气体分子的扩散过程，还是金属棒的热传导过

程，对于构成运动物质的具体微粒而言，经典力学仍然成立，在微观上这些分子和原子的个体运动是可逆的，它们遵从牛顿力学方程。这样，宏观运动的不可逆性和微观运动具有的时间反演对称性并存，这构成了物理学上所面临的一个基本矛盾。

两种时间箭头——进化与退化

热力学第二定律继续说明：对于一个孤立的系统，它的发展总会朝着消除差别，朝着均匀、简单的方向进行。自然界也确实存在着这样一大类基本的演化，其发展趋势是由复杂到简单、从高级到低级，它们代表了一种退化的运动形式，可以用传统的热力学理论加以解释。

过去有人根据热力学第二定律，把整个宇宙看做是一个孤立系统，认为它的演化必将向着温度均匀、各种物理差别不复存在的方向进行，所有的能量最后都转化为热，宇宙中一切终极的归宿就是均匀、单一，宇宙终将陷入永恒的静止状态。这样的观点被称之为“热寂说”，它一度成为“最扰人而又似是而非的问题”，加上唯心主义和宗教神学的大肆渲染，“世界由退化主导”的悲观情绪在当时甚至引起过一系列的社会问题。

达尔文及其追随者通过对生物界的观察和研究，很快引入了一种对立的思想。他们指出：生物界中的演化过程是朝着由简单到复杂、从低级到高级的方向进行的，也就是说，它们的演化形态是进化而非退化。生物发展的历史给出的是进化的时间箭头，“适者生存”的竞争和长期的“自然选择”，使得生物体不可避免地朝着具有更多组织性和功能性的方向演化。人类社会亦是如此，生产力的提高、劳动分工的精细、科学技术的发展、社会文明的进步等，都表明了社会是在不断地向着更高级的方向演变。

由此，物理学、化学等自然科学领域呈现的退化的时间箭头，与生命世界中广泛存在的进化现象形成了鲜明的对比，物理学规律和生物学规律的此项矛盾，又向科学家们提出了新的挑战。

微观和宏观运动呈现出的两种物理图像、生命世界和无生命世界演化的两个时间箭头，它们似乎构成了物理学理论的新的基本矛盾。显然，在动力学和热力学之间、物理学和生物学之间，需要提出一种更完善的理论，在更高层次上对它们进行统一说明。虽然这些问题至今尚未得到彻底解决，然而不少科学家已经开始关注，他们指出：牛顿用他的经典力学“把分割天体和地球之间的壁垒推倒，并把两者结合起来，统一成为整个的宇宙”，但他却“把我们的世界一分为二”^[1]，分成了一个物理的、量的世界和一个生物的、质的世界。可逆

性和不可逆性的关系究竟如何？物质进化的内在动力是什么，能否用物理学的观点来解释生命的进化过程？……所有这些问题都处在科学和哲学的交汇点上，体现了近代科学的一个最重要的间隙——物理科学和精神科学的分离，寻求这个问题的解决途径，正是当代科学家和哲学家为实现自然科学的大统一而努力的方向。

在此方面，系统科学领域的科学家们提出了有价值的理论和解释。从系统学的观点来看，系统是分层次的，不同层次上系统的性质不一样，在由低层次的子系统组成高层次的系统时，系统整体会涌现出新的、原来子系统所没有的性质。理解运动物质微观可逆到宏观不可逆的关键是：从系统的动态特性出发，运用综合性的整体思维，明白不同层次上的系统，其性质有所不同是普遍现象，而事物具体的演化方向是向无组织的状态退化，还是往有序的方向进化，这并不取决于所研究的对象是否属于物理系统或生命系统，讨论的核心应该是：由于系统内部各子系统之间的联系和相互作用，系统是否会在整体层次上产生出新的性质。本书前面部分(第1章~第6章)介绍以非平衡自组织理论为主要内容的、涉及现实中各种非线性现象以及复杂性研究的系统理论，正是围绕这些问题的探讨而展开的。本书的后面部分(第7章~第10章)包括运筹学、控制论、信息论和系统工程，主要介绍系统理论应用于一些实际系统时的方法基础和工程技术。

参考文献

- [1] 湛垦华. 普利高津与耗散结构理论. 西安: 陕西科学技术出版社, 1982.