

系统思考 和系统动力学教程

教师与培训者指南

XITONGSIKAO HE XITONGDONGLIXUE

JIAOSHI YUPEIXUNZHE **ZHINAN**

主编 吴锡军

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

XITONGSIKAO

HE XITONGDONGLIXUE

JIAOCHENG

XITONGSIKAO HE XITONGDONGLIXUE JIAOCHENG

JIAOSHI YUPEIXUNZHE

ZHINAN

系统思考和系统动力学教程

教师与培训者指南

ISBN 978-7-5345-6531-1



9 787534 565311 >

定价:40.00 元

XITONGSIKAO
HE XITONGDONGLIXUE
JIAOCHENG

XITONGSIKAO
HE XITONGDONGLIXUE
JIAOCHENG

系统思考 和系统动力学教程

教师与培训者指南

XITONGSIKAO HE XITONGDONGLIXUE JIAOCHENG

JIAOSHI YUPEIXUNZHE **ZHINAN**

主编 吴锡军

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

系统思考和系统动力学教程 / 吴锡军主编. —南京:
江苏科学技术出版社, 2009. 10
ISBN 978-7-5345-6531-1

I. 系… II. 吴… III. ①系统思维—教材②系统动
力学—教材 IV. N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 035565 号

系统思考和系统动力学教程——教师与培训者指南

主 编	吴锡军
责任编辑	许礼光
责任校对	郝慧华
责任监制	曹叶平

出版发行	江苏科学技术出版社(南京市湖南路1号A楼, 邮编: 210009)
网 址	http://www.pspress.cn
经 销	江苏省新华发行集团有限公司
照 排	南京紫藤制版印务中心
印 刷	南通印刷总厂有限公司

开 本	880 mm×1 240 mm 1/16
印 张	12
插 页	22
字 数	248 000
版 次	2009 年 10 月第 1 版
印 次	2009 年 10 月第 1 次印刷

标准书号	ISBN 978-7-5345-6531-1
定 价	40.00 元

图书如有印装质量问题,可随时向我社出版科调换。

主 编 吴锡军

编 者 韩寿祖 袁永根 袁 浩 杨 阳

责任编辑 许礼光

封面设计 赵 清

前言 Preface

2001 年江苏科学技术出版社出版了我们的专著《系统思考和决策实验》以来,得到了广大读者的热情关注和实际应用,并不断有读者来信和来访,探讨广泛的问题,尤其将系统思考和系统动力学(ST&SD)应用于创新性教学,作为提高素质教育的一种内容,在部分学校进行应用试点和推广之后,产生了积极的响应,社会上各种层次的学校和单位都在进行不同方式的教学和应用,令人无比欣喜。

但是,因为系统思考是一套蕴含极广而且理论深奥的原理,是从 20 世纪开始到现在不断精炼的成果,跨越众多不同领域,如物理学、社会科学、工程学、管理学等。正是这一崭新的原理,使艰深的动态性复杂问题可以被驾驭;系统思考也是一种架构,能让人们看清事件背后的结构及组成元素之间的互动关系,并主动地“构建”和“解构”系统的思维能力;系统思考更是一种重要的帮助人们理解并解释客观世界中复杂问题的概念,是人们用整体的观点观察周围事物的最佳思维方式;系统思考又是一套特定的工具和技术,出自两个来源:控制论的“反馈”概念和“伺服机制”工程理论,利用这些工具可以了解企业、都市、区域、国家、社会、经济、政治、生活、气候变暖,以至生理系统。所以系统思考既是一种分析问题、解决问题、制定策略的方法,还是一种深刻认识客观世界,应对复杂性挑战的技能,更包括深层次的思维范式的转换。因此系统思考和系统动力学的学习和应用,决不是不需刻苦专研,可以在短时间内不学自通和一蹴而就的。系统思考需要付出耐心、热情、投入与智慧,系统思考需要审慎的研究,系统思考需要智力的激荡与挑战。有少数领袖人物,虽然没有学习并使用系统思考的基本技术与工具,但他们的直觉却暗合系统思考的智慧,尽管如此,这种人只是极少数的特例。对于绝大多数人来说,系统思考并非是“人类与生俱来的思维能力”,因此,更多的人,只有并完全可以通过学习与应用系统思考的方法、技术和工具,不断练习,逐渐培养,循序渐进,来提升自己的睿智水平,这一过程同样不是简单容易的。

另外,当刚接触到系统思考和系统动力学时会让人感觉有些复杂,一时无从下手,又宥于时间,急

于求成,还因为学习对象的程度不同,找不到适当的切入点,因此往往丢失了系统思考的精髓,不能达到预期的目的。

客观的现实激起了我们专门编写一本《系统思考和系统动力学教程》(下称《教程》)作为培训者和教师指南的责任感,希望培训者和教师能够成为“贤者,以其昭昭,使人昭昭”的楷模。这本书从系统思考的基础开始,全面地介绍系统思考的各方面,使培训者和教师能按部就班地学习,学通、学懂了再选择符合学习对象程度的内容,组成比较适切的课件,做到无论深浅的各个层次,课件都不失系统思考的灵魂,成为“一人善射,百夫决拾”的合格导师。

因此,《教程》的目的就是向社会上开展系统思考和系统动力学教学的人提供一个指南,一般系统思考的学习从了解一些系统思考的原理与术语开始,这是初步(例如读了一些有关的书籍,对系统思考有了一知半解);第二步要真正学习与应用系统思考,必须掌握结构化的方法与工具,方能有别于一般人,而睿智地建立自己独特的创新性的见解。基本方法与工具包括行为时间图(BOTG)、反馈环(回)路(FL)、因果环(回)路图(CLD)、动态行为的基本模式和系统基模。了解和熟悉这些方法与工具,这是真正掌握系统思考和系统动力学的最关键的、打好基础的一步;第三步还要掌握一些辅助方法与工具,即栈流图、系统建模软件与仿真、模拟器与缩微世界等。《教程》共包括五篇:第一篇为什么要学习系统思考和系统动力学;第二篇系统思考和系统动力学的基本知识;第三篇体验系统思考;第四篇洞察动态性复杂系统必须掌握的技能与工具;第五篇建模与模拟。通过学习《教程》,学习者将可正式进入粗通系统思考者的行列,但是要真正成为系统思考者,这些是很不够的,必须要通过实践,勤学善练,最后将系统思考的精髓与方法、工具内化于思维模式之中。

世界范围的综合国力竞争,归根结底是人才,特别是创新型人才的竞争。社会主义现代化事业的不断发展和创新归根到底有赖于各方面创新型人才的创造性思维和创造性活动。系统思考专家 Dennis Sherwood 有一本名为《Unlock Your Mind》的书,其内容是系统思考和创新参半的。他指出:无论是创新、创造,还是系统思考都是关于人们如何获得新的想法的学问,所以创新、创造和系统思考是异曲同工的事。

《教程》的最终目标是:希望我们在推广系统思考和系统动力学的学习过程中,能从中得益。“开启你的大脑”,博学之,审问之,慎思之,明辨之,笃行之,练就深入思考、整体思考、闭环思考、动态思考的能力,不仅对外部变化作出反应,而且去参与、促进,影响变化的发生,那就要求创新,通过建立自信心,熟练运用新的思维、方法、技术和工具,帮助自己以不同凡响的眼光去体察“相同”的事物,从而发现创新性的方略,为创建你的创新能力和睿智而努力。

第一篇 为什么要学习系统思考和系统动力学

■ 第 1 章 新时代的挑战更具威慑力 / 003

- 1.1 现代最永恒的主题是变革 / 003
- 1.2 当今世界的复杂程度是空前的 / 003
- 1.3 情景描述 / 004
- 1.4 实践和思考 / 006
- 1.5 今天的青少年学生——明天的决策者面临严峻的挑战 / 007

■ 第 2 章 架构使青少年学生能适应 21 世纪发展的教育模式 / 008

- 1.6 改进教育模式的紧迫性 / 008
- 1.7 创新型教育模式 / 009
- 1.8 能力测试 / 010

■ 第 3 章 克服学习智障应从青少年做起 / 013

- 1.9 挑战 / 013
- 1.10 案例 / 015
- 1.11 心智模型的原则和视角 / 017
- 1.12 现代社会的根本变革呼唤新的思维 / 021
- 1.13 系统思考(ST)和系统动力学(SD)要点 / 022
- 1.14 青年人更容易接受新的思维和掌握系统的学习方式 / 022

第二篇 系统思考与系统动力学的基本知识

第1章 关于系统的基本观点 / 027

- 2.1 什么是系统 / 027
- 2.2 系统的基本结构 / 032
- 2.3 系统的显著特点 / 032

第2章 系统思考和系统动力学基础 / 035

- 2.4 传统思考与系统思考 / 035
- 2.5 从线性思考到系统思考 / 038
- 2.6 系统思考 / 039
- 2.7 系统动力学 / 047
- 2.8 成为一个系统思考者 / 051

第三篇 体验系统思考

第1章 橙汁游戏 / 057

- 3.1 游戏过程 / 057
- 3.2 反思为什么不同的人群参加这类模拟实验都会犯相似的错误 / 065
- 3.3 如何改进绩效 / 068

第2章 新视角看世界 / 071

- 3.4 从寓言故事“企鹅的醒悟”看系统思考揭示的重要哲理 / 071
- 3.5 迎接挑战的智慧 / 072
- 3.6 因果环环相扣 / 072
- 3.7 识别微妙的动态性复杂 / 074

第3章 描述系统的新语言 / 076

- 3.8 故事演绎：假如你给老鼠一块曲奇饼 / 076
- 3.9 正反馈（增强环（回）路） / 077
- 3.10 负反馈（平衡环（回）路） / 082

3.11 多环(回)路系统的动力学 / 083

3.12 时间延迟 / 086

3.13 用新语言描述系统 / 087

■ 第4章 学习是一种反馈过程 / 089

3.14 单环(回)路学习 / 089

3.15 双环(回)路学习 / 090

第四篇 洞察动态性复杂系统必须掌握的技能与工具

■ 第1章 系统思考技能 / 097

4.1 动态思考 / 097

4.2 “从系统中找原因”思考 / 098

4.3 “见树木又见森林”思考 / 098

4.4 可操作思考 / 099

4.5 闭环思考 / 100

■ 第2章 因果环(回)路图(CLD) / 101

4.6 因果环(回)路图(CLD)的功用和优点 / 101

4.7 因果环(回)路图的有关准则 / 103

4.8 处理关键:从访问数据开发因果环(回)路图 / 109

4.9 实践:管理你的工作负荷 / 109

■ 第3章 表达系统结构和行为的高级结构语言 / 119

4.10 基本语素 / 119

4.11 栈和流——系统动力学的一个中心思想 / 120

4.12 练习:画出“工作负荷管理”例子中重要的栈、流结构 / 129

4.13 静态平衡和动态平衡 / 130

4.14 案例:全球碳循环和热平衡的栈流图 / 130

■ 第4章 动态行为的基本模式 / 134

4.15 动态行为的基本模式结构和行为 / 134

4.16 基本模式的组合与结构 / 151

4.17 动力学结构的类同性: 传染病传播和新技术扩散传播在系统结构上的相似性 / 160

■ 第5章 以系统基模支持系统思考 / 168

4.18 系统基模 / 168

第五篇 建模和模拟

■ 第1章 建模过程 / 187

5.1 建模目的 / 187

5.2 建模过程概要 / 187

5.3 小结 / 206

■ 第2章 建模工具 / 208

5.4 系统动力学软件 STELLA 的应用 / 208

5.5 使用方法和技巧 / 209

参考文献 / 227

第一篇

为什么要学习系统思考和系统动力学

第 1 章

新时代的挑战更具威慑力

1.1 现代最永恒的主题是变革

■ 技术、经济、人口、环境和社会各项活动的加速变革,正在改变着我们的世界。从单纯的技术应用产生的影响,例如,20 世纪的能源革命、新技术革命直接推动了世界经济的飞速发展,到深奥的人类自身活动所产生的时空范围更深更广的影响,其中有些变化就像一只看不见的手在掣肘着客观世界。例如,温室气体对全球气候的影响,人类对自然资源掠夺性的使用等,其结果有的污染了地球,有的破坏了生态平衡,甚至威胁到了我们的生存。然而更为重要的是,我们现在与之抗争的各种变化中,包含着许多人类自身行为所引起的后果,有些是可预料到的,有些是始料未及的。我们经常发现,有时为了解决紧迫问题所做的善意努力却导致政策的阻力,这时我们的政策被滞延、削弱,甚至因为受到其他人为的、自然的或意想不到的反击而挫败。事实上,我们很多企图解决某一问题的精心方略反而使得问题更加恶化,例如,杀虫剂和除草剂的应用对推进农业技术进步可以说具有里程碑意义,但殊不知它反过来导致了昆虫和杂草抗药能力的进化,同时又杀害了它们的天敌,这样,在食物链中不断积累,最终毒害了鱼、鸟和人类自己。这些都挑战了传统的常规、习惯和信念,以致使人们产生无助感和精神贫乏。

1.2 当今世界的复杂程度是空前的

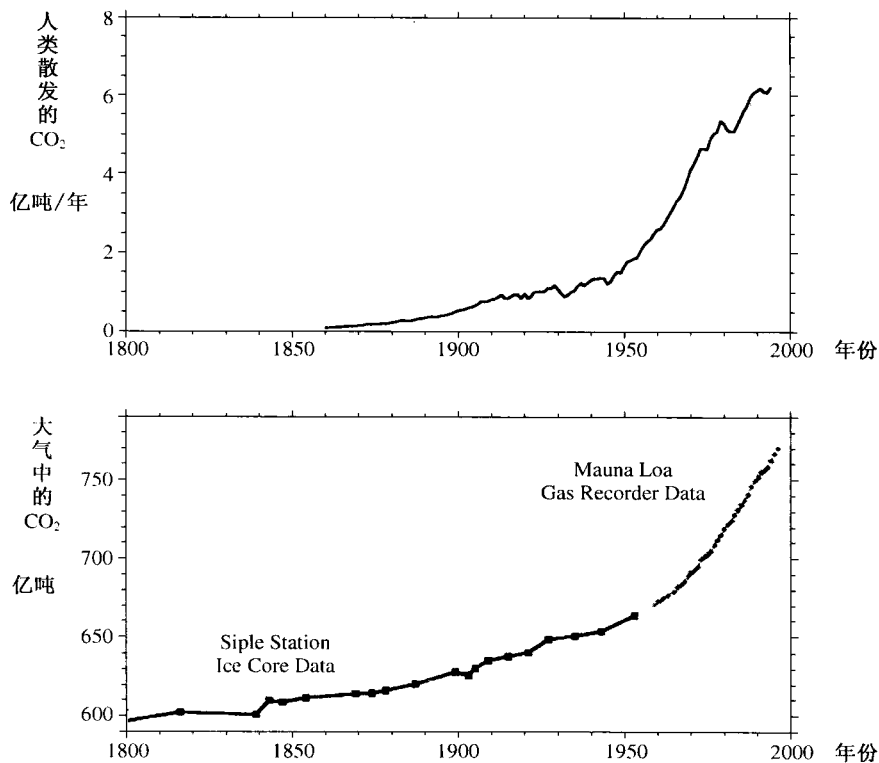
■ 现代有多得使人无法全部吸收的信息,紧密得使任何人都无法单独处理的相互依存关系,快得让人无法跟上的变化步调,因此,我们所面对的都是紧密联系的动态性复杂系统,它又是那么的微妙,只有当人们在扩大的时空范围内深入思考时,才能辨识它整体运行的微妙特性。如果不能洞察它的微妙法则,那么置身于其中处理问题时,往往受其愚弄而不知。一个局部决策的小小改变,却常常会使其他看似不相关的部分产生巨大的风暴。正是这些动态性复杂问题造成

了在真实世界中,那些精心设计的、被认为十分完善的各项变革措施常常会遭受到意外的挫折与失败,而实际上面临的这些问题却经常是我们自己过去的行动所引起的,只是在当时还没有预想到而已。

1.3 情景描述

■ 地球是否正在变暖? 变暖是由人类活动所产生的温室气体(GHG)所引起的吗? 下世纪可能会变得多暖? 在气候模式、降雨量、生长季节和风暴的发生率及其严重程度等方面会有什么变化? 海平面可能会发生怎样的变化? 这些变化对人类和其他物种将会产生多大危害? 上述的这些问题都很难回答,关于温室气体散发对人类活动所造成的影响的合理性科学争论一直在继续。

■ 尽管有科学上的不确定性,但若干事实已不必争论:自然过程使大气中的二氧化碳(CO_2)浓度随地质时期而显著波动,地表温度也随之波动,而现在人类活动已达到了一种能影响这些自然过程的程度。如图 1.1 所示,影响人类生存环境的温室气体散发量随着工业时代的开始而呈指数增长。



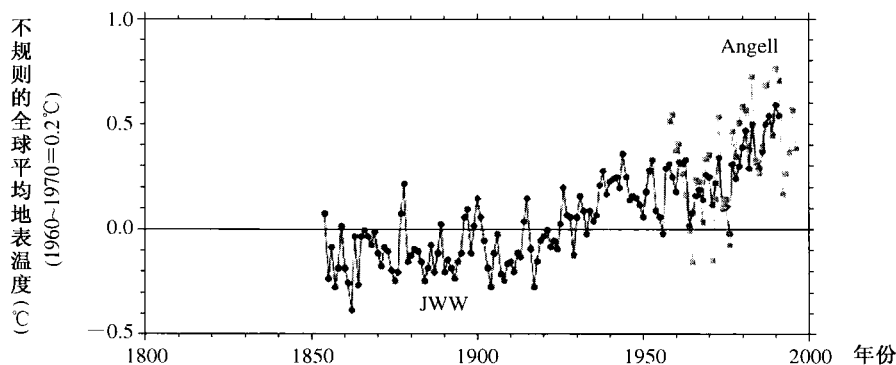


图 1.1 全球温室气体散发浓度和全球平均地表温度^[1]

大气中 CO_2 的浓度以及包含 N_2O 、 CH_4 、CFCs、HFCs、PFCs 等其他温室气体的浓度正在呈指数增长,自 1800 年以来, CO_2 、 N_2O 和 CH_4 的浓度分别增加了 30%、15% 和 145%。全球平均地表温度不断上升,虽然并不是以一种稳定的模式上升,但与 19 世纪后期相比,今天的全球地表温度已升高了 $0.5\sim 1^\circ\text{C}$ 。

1995 年,联合国(UN)关于气候变化的政府间专门小组(IPCC)得出结论:全球变暖现象确实正在出现,而且人类的活动对此是负有责任的。他们还称“证据的权衡已提示了一种可看得出来的人类对气候的影响”(1996 IPCC)。关于气候的联合国框架公约(UNFCCC),各国进行商讨限制温室气体散发,但是否遵守依然捉摸不定。

另外,气候系统具有巨大的惯性,科研工作者对极端条件做了分析,即假设从 2000 年起, CO_2 的散发量突然降到零,然而出人意料的是:全球平均温度还会继续上升 30 余年,然后才会很缓慢地下降(如图 1.2)。对于这种即使 CO_2 散发量为零,但温度依然上升的反直觉结果,你想到过吗? 如何来理解呢? 而且这种结果是影响全球的,不管温室气体是在什么国家和地区散发的,你了解这一点吗?

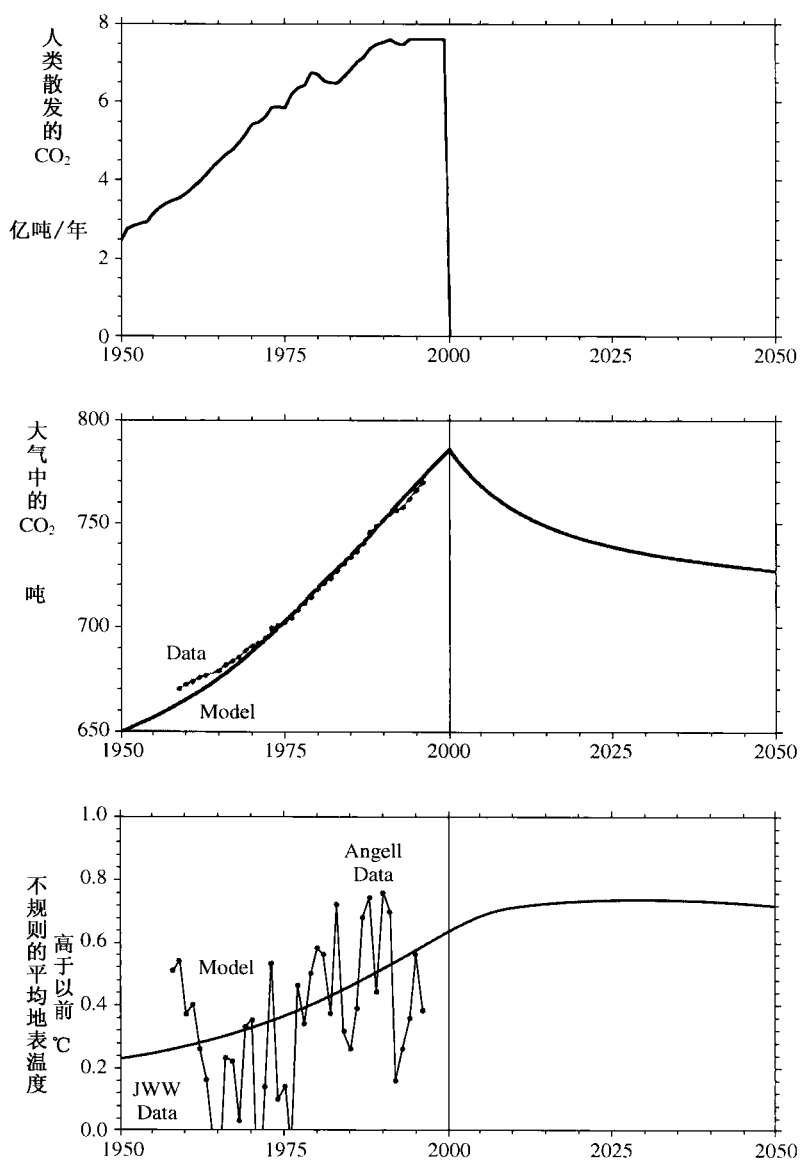


图 1.2 温室气体散发量从 2000 年起降为零以后,平均地表温度仍继续上升^[2]

1.4 实践和思考

取一张普通的纸(其厚度约 0.1 mm),将其对折后,再次对折,则纸的厚度仍然不到 0.5 mm。若将纸对折 40 次以上,纸会有多厚? 若将纸对折 100 次以上,它又将有多厚? 请不要用计算器,根据直觉给出一个估计值。再按上下置信域为 95% 给出你的估计(即有 95% 的可能相信你所估计的范围中含有那个正确的答案,95% 置信域意味着正确答案落到你给出的上界和