

© 孙玉峰 著

矿区可持续发展 动态评价方法研究

——矿区复杂系统仿真设计



经济管理出版社

ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

矿区可持续发展动态评价 方法研究

——矿区复杂系统仿真设计

孙玉峰 著

经济管理出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

矿区可持续发展动态评价方法研究/孙玉峰著. —北京: 经济管理出版社, 2006

ISBN 7-80207-626-9

I. 矿... II. 孙... III. 矿区—可持续发展—评价—方法—研究 IV. F416.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 077655 号

出版发行: **经济管理出版社**

北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 11 层

电话: (010) 51915602 邮编: 100038

印刷: 北京交通印务实业公司

经销: 新华书店

责任编辑: 申桂萍

技术编辑: 晓 成

责任校对: 全志云

880mm×1230mm/32

6.375 印张 112 千字

2006 年 8 月第 1 版

2006 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1 — 2000 册

定价: 18.00 元

书号: ISBN 7-80207-626-9/F·542

·版权所有 翻印必究·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部

负责调换。联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 问题的提出	1
第二节 国内外研究现状综述	3
第三节 研究目标、主要内容与技术路线	26
第二章 矿区复杂系统分析	29
第一节 矿区复杂系统的结构与特征	29
第二节 矿区复杂系统的演化原理与动力机制	34
第三节 矿区复杂系统的内部协调机制	40
第四节 煤炭矿区及其发展	45
第五节 循环经济对矿区复杂系统的影响	53
第六节 矿区复杂系统的反馈作用机制	57
本章小结	61
第三章 矿区复杂系统 SD 仿真辅助预测模型	63
第一节 人均住宅面积辅助预测模型	64
第二节 其他产业投资辅助预测模型	66

第三节 煤炭储采比辅助预测模型	69
第四节 总人口辅助预测模型	74
第五节 循环经济辅助预测模型	81
本章小结	90
第四章 矿区复杂系统 SD 仿真建模	91
第一节 资源子系统 SD 仿真模型	92
第二节 环境子系统 SD 仿真模型	98
第三节 经济子系统 SD 仿真模型	104
第四节 人口子系统 SD 仿真模型	110
第五节 科技子系统 SD 仿真模型	114
本章小结	118
第五章 龙口矿区 SD 仿真实验与分析	121
第一节 龙口矿区的基本概况	121
第二节 龙口矿区 SD 仿真设计	131
第三节 仿真结果	149
第四节 龙口矿区 SD 仿真实验	157
第五节 矿区实施循环经济的对策与建议	171
本章小结	181
参考文献	183
后记	197

第一章 绪 论

第一节 问题的提出

资源、环境、经济与社会发展是人类社会实现可持续发展的核心问题。自工业革命以来，人类社会的改造自然、征服自然的过程中创造了巨大的物质财富的同时，引发了资源短缺、环境恶化、人口膨胀等一系列严峻的问题，导致生态危机逐步加剧，经济增长速度下降。矿区作为资源开发与原材料生产的主要场所，其矛盾更加突出。为解决这一涉及生存和发展的重大问题，人类进行了长期不懈的努力和探索。可持续发展（Sustainable Development）是其中最具有影响和最具代表性的概念。关于这一领域的研究自 20 世纪末以来非常活跃。例如，1984 年 Call dwell LK 提出了生态经济学理论^[1]；1990 年联合国开发计划署创立了人文发展指数（HDI），即以“预期寿命、教育水准和生活质量”三项基础变量按照一

定的计算方法组成的综合指标^[2]；世界银行、联合国可持续发展委员会（UNCSD）都提出了自己的可持续发展评价指标体系^[3-4]；联合国统计署也曾于1993年提出了环境经济综合核算体系（System of Integrated Environment and Economic Accounting, SEEA），并纳入到联合国新国民经济核算体系（System of National Accounts）中的资源—经济—环境一体化核算体系通用框架中^[5]；中国政府和学者也积极地开展了这一领域的研究^[6-7]。概括起来，这些工作都是从评价的角度出发的，由于评价是对已发生状态的研究，具有一定的滞后性，其用途是用于发展状态的比较。因此，其研究成果难以应用于预测、规划、优化等方面。

人类在迈向21世纪时，系统问题，特别是复杂系统及相应的复杂性科学问题变得日益突出。一方面，生命科学、物质科学、信息科学和认知科学中大量的关键科学问题属于复杂的系统问题，在传统的以线性和还原论思想为主导的科学理论框架中难以解决；另一方面，在环境、资源、经济、人口、健康、灾害、和平与安全等困扰人类生存和社会可持续发展的大问题上，必须依靠多学科的交叉和综合来从整体上寻找解决方案。

矿区作为一个典型的复杂系统，资源、环境、经济和人口等问题仍然是其实现可持续发展的关键要素。目前，关于矿区及其可持续发展的研究比较多，但我们认为还存在以下问题：一是定性研究多于定量研究，用传

统方法进行分析和评价的较多,用一些新方法、新理论分析和评价的较少;二是对矿区内部的局部问题进行研究的多,把矿区作为一个整体进行研究的较少;三是对矿区过去的发展情况进行评价的多,而对其未来的发展进行动态仿真、优化和预测的较少;四是各学科、各专业从本学科和本专业的角度研究问题的多,而综合运用多种理论和方法,从全局和系统的角度研究和探讨问题的较少。

因此,我们综合运用复杂性科学、系统科学、数学、生态学、环境学、经济学、人口学、社会学、资源学、采矿学以及计算机科学等理论和方法,提出矿区复杂系统SD(系统动力学, System Dynamics)仿真方法,以期对矿区这一典型的复杂系统进行深入的研究,揭示其内部机理和演化模式,并对其发展情况进行仿真、优化和预测,为矿区制定正确的发展战略,促进矿区的全面、协调和可持续发展提供决策工具和参考依据。

第二节 国内外研究现状综述

近年来,复杂性科学以及复杂系统、复杂问题的研究日益受到国内外学者的重视,这使复杂性理论得到了快速发展。目前,复杂性理论的思想与方法被广泛应用于社会、经济、生态等各种领域。矿区作为资源开发与原材料生产的主要场所,呈现出明显的复杂性,其本质

上是一个典型的复杂系统。目前,关于矿区复杂系统的研究已经取得了一定成果,但也存在着仍未解决的问题。

一、复杂性理论概述

复杂性科学是主要研究复杂性和复杂系统的科学。虽然复杂性科学还处于萌芽阶段,但已被科学家誉为“21 世纪的科学”^[8]。

关于复杂性科学的研究,一般认为是在 20 世纪 80 年代中期开始的^[9]。1984 年,由诺贝尔物理学奖获得者盖尔曼(Munay Gell Man)和安德逊(Philip Anderson)、经济学奖获得者阿罗(Kenneth Arow)等人支持,组织了圣塔菲研究所(Santa Fe Institute, SFI),专门从事复杂性科学的研究,试图由此找到一条解决复杂性问题的道路^[10-11]。从目前的研究来看,英国和美国做了比较多的工作。在美国,复杂性科学的研究形成了五个学派^[12],如表1-1 所示。

表 1-1 复杂性科学的研究学派

学派名称	代表人物	理论工具	复杂性所在	研究方向
系统动力学派	Forester, N eadms, Senge 等以 MIT 为基础的学者	常微分方程	系统中	组织理论,特别是学习型组织
适应性系统学派	Coner Kauffman, Houand, Arthur, Costi 等以 SFI 为基础的学者	偏微分方程	系统中	经济、生物、认知等系统
混沌学派	一些分散的小组,如 Los Alamos 非线性研究中心	非线性常微分方程	系统中	物理、经济等系统中

续表

学派名称	代表人物	理论工具	复杂性所在	研究方向
结构基础学派	Warfield, Vickers, Piece, Polanyi, Pra-got 等人	形式逻辑, 包括集合论、关系论、图论等	人脑中	管理理论, 特别是交互管理
暧昧学派	一些独立研究的学者	学科交叉及后现代主义方法	不明确	社会、语言等系统

英国复杂科学论坛, 主要研究包括突现的设计、复杂性理论的应用、复杂性与技术、创新的组织、组织设计等方面的问题^[13]。日本等国也成立了一系列复杂性研究中心和复杂性科学研究中心^[14], 中国也组织了复杂性研究会等^[15]。

研究复杂性科学的经典著作有 Forester 的《系统动力学》, Peter Senge 的《第五项修炼》, Bran Athur 的《经济中的递增回报与路径依存》, 此外还有《确定性的终结》、M.盖尔曼的《从夸克到美洲豹》、《数字不确定性的终结》等^[16-21]。

我国学者钱学森等人于 1990 年提出了开放的复杂巨系统的概念, 并认为复杂问题实际上是开放的复杂巨系统的动力学特性问题^[22]。1992 年, 他们又提出了从定性到定量综合集成研讨厅体系, 实现了人机结合的大成智慧^[23]。

关于什么是复杂系统, 目前仍未有权威的定义^[24]。一般认为, 复杂系统是具有复杂行为的系统, 表现在系统的部件之间或子系统之间有着很强的耦合作用, 系统具

有难以线性化的非线性性质；系统具有高度的不确定性，并具有实时性，而且难以用传统方法建立系统的数学模型^[25]。相对于简单系统而言，复杂系统具有以下特征^[26-29]：

(1) 复杂系统是由很多子系统组成的，系统规模庞大，通常为多级多层次系统；

(2) 复杂系统具有非线性结构，普通线性系统的叠加原理已不适应；

(3) 复杂系统内、外部关系多而且错综复杂，使得复杂系统行为具有多样性，复杂非线性系统的行为可能是静止的、周期的、混沌的或不稳定的；

(4) 由于复杂系统的非线性以及存在大量不确定因素和人为因素的影响，使得人们对复杂系统的认识和掌握的信息总是不完备的。

关于复杂性的概念至今看法各异。复杂性研究的是研究系统在不同层次上的复杂组成，认识它们之间的相互作用、它们与环境的相互作用和由此而产生的它们构成的整体的特性（结构、功能和行为、演化等），回答其发生、变化的规律、过程和原因，揭示整体的活动机理，以便于掌握、调节和控制。

L.Loyd 收集了关于复杂性的 31 种定义方式^[30]，它们是：

熵：复杂性等于热力学测定的一个系熵或无序；

信息：复杂性等于一个系统使一个观察者“惊奇”

(通知他)的能力；

分形尺寸：复杂性是一个系统“模糊状况”，即在越来越小的尺寸上显示的详细程度；

有效的复杂性：一个系统显示的“规律性”（而不是随机性）的程度；

体系的复杂性：由一个体系结构系统的不同层次所显示的多样性；

语言的复杂性：描述一个系统所需要的语言的普遍性程度；

热力学深度：将一个系统从头组织在一起所需要的热力学资源的数量；

时间计算上的复杂性：一部计算机描述一个系统（或解决一个问题）所需要的时间；

空间计算上的复杂性：描述一个系统所需要的计算机存储量；

相互的信息：一个系统的一部分关于矿业其他部分的信息量的程度，或者与其他部分的类似程度。

.....

显然，这些定义都有很大的局限性，只能在特定的范围内获得有效应用^[32]。

根据现阶段对于复杂性的认识，复杂性有以下几个特点^[31-33]：

(1) 整体性与系统性。整体大于各组成部分之和，即每个组成不能代替整体，每个层次的局部不能说明整

体，低层次的规律不能说明高层次的规律。

(2) 多组成性。即有多种多样的子系统和子系统，每个子系统有相对独立的结构、功能和行为。

(3) 多层次性。反映在时间和空间尺度两个方面，既是网络体系，又是不均一的。

(4) 各组成之间、不同层次的组成之间相互关联、相互制约，并有复杂的非线性相互作用，而且相互作用也是多种多样的，并且它们之间也是相互作用的。

(5) 开放性。系统与外部是相互关联、相互作用的，系统与外部环境是统一的并与环境有着物质、能量和信息的交换。

(6) 高度的动力系统，而且导向有序化发展。系统随着时间而变化，经过系统内部和系统与环境的相互作用，不断适应、调节，通过自组织作用，经过不同阶段和不同的过程，向更高级的有序化发展，涌现独特的整体行为与特征。系统有自适应、自组织的趋向有序化的功能。

(7) 系统的演化过程是阶段性的，有渐变和突变，整个过程是非线性的。渐变是突变的基础，而突变则是从低级到高级变化的原因，可以把突变作为一个系统由一种阶段、一种状态向另一种阶段、一种状态演化的转折^[34]。

复杂性科学和复杂系统的研究中所用的理论工具主要是微分方程和形式逻辑，以下工具对研究复杂性科学

和复杂系统都是很有帮助的^[35-40]。

(1) 在不确定条件下的决策技术。包括定性变量的量化(多维尺度、广义量化等)、经验概率的改进、案例研究与先验信息的集成等。

(2) 综合集成技术。包括系统的结构化、系统与环境的集成(全局和局部)、人的经验与数据的集成、通过模型的集成、从定性到定量的综合集成等。

(3) 整体优化技术。包括目标及其优先顺序的确定、巨系统的优化策略(面向方程法、多层迭代法、并行搜索法等)、优化算法(线性规划、目标规划等)、离线优化与在线优化、最优解与满意解的取得等。

(4) 计算智能。包括演化计算(如遗传算法、演化策略、演化规划、遗传规划等)、人工神经网络、模糊系统等。

(5) 非线性科学。美国罗萨拉莫斯(Los Alamos)国家实验室非线性研究中心是非线性科学的发源地和权威单位,他们认为非线性科学已由传统的动力系统理论(稳定性和分叉理论、混沌、孤子)和统计力学(分形、标度),延伸到多尺度、多体,以及非平衡系统中的复杂和随机现象的研究。而对非线性科学的压倒一切的挑战就是:对原理平衡的多体系统中的自组织结构的形成和功能,确认其关键的范式。

(6) 数理逻辑。即数学化的形式逻辑,包括经典谓词逻辑、广义数理逻辑(例如模型论、公理集合论、证

明论、递归论等)、多值逻辑、模态逻辑、归纳逻辑等。

(7) 计算机模拟。它是十分重要的手段, 目前已被广泛应用于复杂科学研究中。其中比较著名的有人工生命 (Artificial Life)、元胞自动机 (Cellular Automata)、竞争与合作 (Co-operation)、大群模拟工具 (Swarm Simulation Toolkit) 等^[34]。

二、SD 理论与方法概述^[41~46]

目前, 在复杂性研究方面, 最著名的当数美国的圣塔菲研究所 (SFI)。他们在复杂性问题的研究方面提出了许多新的思想与方法, 并对社会经济、自然科学中的具体问题展开研究, 引起了广泛关注。

但不容忽视的是, 从 20 世纪五六十年代起, 诞生于美国的系统动力学学派, 就建立系统动力学 SD 的理论、方法与工具体系, 面向社会、经济和生态复杂系统开展研究, 并取得了较大的成就。故我们选择以系统动力学的理论与方法为主要手段, 对矿区复杂系统进行仿真与分析。

SD 是一门分析、研究非线性信息反馈系统的学科, 是认识和解决复杂大系统问题的交叉、综合性的学科。SD 研究问题的方法是一种定性与定量结合, 系统思考、分析、综合与推理的方法。它是定性分析与定量分析的统一, 以定性分析为先导, 以定量分析为支持, 两者相

辅相成，螺旋上升逐步深化的解决问题的方法。按照 SD 的理论、原理与方法分析实际系统，建立起定量模型与概念模型一体化的 SD 模型，决策者就可以借助计算机模拟技术在专家群体的帮助下，定性与定量相结合研究社会、经济系统等问题，以进行决策。SD 模型可视为实际系统的“实验室”，特别适合于解决社会、经济、生态等一类非线性复杂大系统的问题^[47]。

1. SD 建模原理与方法

SD 的研究重点是那些源自反馈机制的动力学问题^[48]。这种动力学问题具有两个特点：一个特点是它是动态的，即它所包含的量是随时间变化的，能以时间为坐标的图形表示；另一个特点是它包含了反馈概念。SD 认为，各种组织系统、经济系统、社会系统，几乎所有人工的系统都是反馈系统。因此，SD 构模面临的第一个问题就是如何根据所要研究的对象确定系统的边界，然后画出系统内各要素的因果与相互关系图，在此基础上，准确地确定系统的流图。

(1) 系统边界。在系统科学的庞大体系中，不同的学科由于研究范围和重点不同，给出了不同的系统定义。在技术学科层次上，钱学森认为：系统是由相互制约的各部分组成的具有一定功能的整体。在基础学科层次上，贝塔朗非认为：系统是相互联系、相互作用的诸元素的综合体。在系统内部存在着两个或两个以上的相互作用

的元素（或组分）。一个系统之外的一切事物或系统的总和，被称为系统的环境。把系统与环境分开来的某种界限，叫做系统的边界。系统与环境之间存在着相互作用、相互联系的关系，这种相互作用和相互联系是通过交换物质、能量和信息来实现^[49]。在 SD 建模时，依据所要研究的对象确定合理的系统边界是建模取得成功的基础和关键。因此，应力图把那些与建模目的关系密切和重要的量都列入边界。边界过小，会使一部分重要的元素遗失，影响研究问题的准确性；反之，边界过大，又会使问题复杂化，给建模人员造成不必要的麻烦。

（2）系统的因果与相互关系图。如图 1-1 所示，这是 SD 中典型的因果与相互关系图。

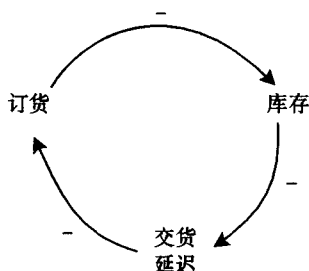


图 1-1 因果与相互关系图

该图不但表明了反馈回路中的各元素，而且回路的极性也清晰可见。在 SD 理论中，正反馈回路的作用是使回路中变量的偏离增强，而负反馈回路则力图控制回路的变量趋于稳定。