

# 区域可持续发展预警的 SWARM 博弈仿真模拟探析

朱 晔, 叶民强

(华侨大学 经济管理学院, 福建 泉州 362011)

**摘要:** 本文研究区域可持续发展中的预警问题。文章从复杂适应系统的角度出发, 提出了使用 SWARM 软件平台来模拟实际的区域系统的运行情况, 从而实现对系统中的警情的实时监控, 建立起了基于 SWARM 的可持续发展预警模型。

**关键词:** 区域可持续发展; 预警系统; SWARM

**中图分类号:** F224.0 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-9952(2002)01-0057-07

## 一、SWARM 的建模理论与方法

1. 复杂适应系统思想。从系统科学的角度来看, 许多复杂事物的复杂性是从简单性发展起来的, 是在适应环境的过程中产生的。我们可以把经济、生态、免疫系统, 胚胎、神经系统及计算机网络等系统称为复杂适应系统 (complex adaptive system, CAS)。在该系统内, 存在着某些一般性的规律控制着整个复杂适应系统的行为。显然, 区域可持续发展系统中的经济、社会、资源和环境 (ESRE<sub>n</sub>) 各子系统是由该区域内各个主体 (处于经济社会中活动的个人、企业和政府等具有适应能力的主动性个体) 和周围的环境所构成, 可以看成是一个复杂适应系统。这表明: 我们可以通过对系统内主体行为的模拟来实现对整个复杂适应系统运行情况的描述。

2. SWARM 建模原理。1994 年开始, 全美最优秀的五个实验室之一的桑塔费研究所 (SFI) (它的中心议题是研究复杂性), 开展了一个研究项目, 以开发一个工具集用来帮助科学家们分析复杂适应系统 (CAS), 这个模拟工具集就叫做 SWARM。

(1) SWARM 的基本概念。在 SWARM 中属于主体特性有: 聚集 (aggregation) 个体可以相互粘住, 形成更大的多个个体的聚集体、新聚集体并可以像单一个体般的运动, 如在经济社会中, 若干属性的个人可形成不同收入条件和消费习惯的多个群体; 非线性 (nonlinearity), 个体以及它们的属性在发生变化时, 不是完全遵循线性关系。我们在对 ESRE<sub>n</sub> 系统分析时, 其复杂的行为, 涉及到非线性的关系; 流 (flow), 指的是个体之间所存在信息、能量和物质交换, 系统中的企业、个人和政府通过自己的行为与其他个体进行交换的过程中, 有着大量的不同种类的流的存在, 而流的渠道是否通畅, 速度是否快捷都将影响系统的进程; 多样性 (diversity), 个体之间存着差别, 而且有着更加分化的趋势。同一属性的主体, 如一般企业与集团企业, 它们之间也有着属性的差异性, 而且这种差异性决定着他们在行为上也不完全相同。而 SWARM 中主体的活动机制有: 标识 (tagging), 它是实行信息交流的关键, 能够实现识别和选择的行为; 内部模型 (internal models), 复杂系统是由

收稿日期: 2001-09-09

基金项目: 国家社科基金项目 (OIBJYO24); 福建省自然科学基金项目 (DO110010)。

作者简介: 朱 晔 (1974-), 男, 上海人, 华侨大学硕士研究生;

叶民强 (1955-), 男, 福建泉州人, 华侨大学经济管理学院教授。

简单→复杂的若干层次所构成的,每个层次可视为一个内部模型,它会与模型外部发生关系。我们在构造 ESREn 系统时,可以将描述其属性的指标体系合理组合、搭配,从而构建出我们所需要的各种子系统模型;构件(building blocks),复杂系统是由若干个简单个体构成,在新个体的基础上会形成更复杂的个体。

(2)SWARM 的个体有着适应和学习的过程。主要包括两个方面的活动:一是刺激反应(通过功能器官:输入、输出、规则、探测器和效应器);二是对适应度大小的确定和修改(权重),建立新的规则。这两方面的活动充分地模拟了主体在周围环境中的主动适应运动。

(3)SWARM 本身是一个用 objective C 编写的面向对象的类库,用户可以通过调用这些类库简化模拟工作,并通过在自己的程序中引入 SWARM 类库建模,另外该模型的软件环境是面向对象编程的 JAVA 和 object-c 语言,所以用户可以方便地使用前人已经完成的各种子类库。

(4)SWARM 的 Multi-agent 建模思想:SWARM 建模框架是一系列独立的主体通过独立事件进行交互。SWARM 模拟的基本单位是主体,一个主体就象系统中的一个演员,是能够产生动作并影响自身和其他个体的一个实体。模拟包括几组交互的主体。

### 3. SWARM 建模的方法和优势。

(1)SWARM 建模方法。SWARM 就是许多个体(对象)组成的一个群体,这些个体共享一个行为时间表和内存池。“SWARM”有两个主要的组成部分:

一类是模型“SWARM”。其一,对象。模型“SWARM”中的每一项对应模型世界中的每一个对象(个体)。其二,时间表。它是一个数据结构,定义了各个对象的独立事件发生的流程,即各事件的执行顺序。在 SWARM 中特定的事件发生在特定的时间,按照时间表安排的顺序进行。每种行为是一个独立的动作。模型按照这种安排好的事件的执行顺序向前发展,并尽量使这些事件看起来像同步发生的。目前的 SWARM 程序的运行还不是并行处理,事先安排时间表,无法实现较大系统下的多主体同时活动,只能通过程序来模拟控制。其三,输入输出。模型“SWARM”还包括一系列输入和输出。输入是模型参数,如世界的大小,主体的个数等环境参数。输出是可观察的模型的运行结果:如个体的行为等等。其四,内存池。它是数据的存储地,即整个 SWARM 模型中各个对象的属性和行为的描述数据的放置位置,这属于程序的内容。

另一类是观察员“SWARM”。模型“SWARM”只是定义了被模拟的世界,但是一个实验不应只包括实验对象,还应包括用来观察和测量的实验仪器。在 SWARM 计算机模拟中,这些观察对象放在一个叫观察员“SWARM”的 SWARM 类库中。其最重要的观察组件是模型“SWARM”,观察员也有行为的时间表,其主要目的是为了驱动数据收集,即从模型中将数据读出,并画出图表。输入是对观察工具的配置,例如生成哪类图表;输出是观察结果。在图形模式下运行时,观察员“SWARM”中的大部分对象被用来调节用户界面。这些对象可能是平面网格图、折线图或探测器,它们一方面与模型“SWARM”相连以读取数据,同时非常重要是能通过控制面板把数据直接输出到图形界面,为用户提供了很好的实验观察方式。

(2)SWARM 建模的优势。首先,这种建模方法不需要以一个方程形式来体现系统整体中的内生关系。它强调非均衡的发展路径,它的分析是基于进化和突变行为,不是基于一种机械的观点来看待社会。其次,这种方法是基于单个主体的,因此用户必须为每个决策者建立微观模型,而不是为整个市场建立宏观模型。再次,这种方法将经济系统看作是一个进化的复杂系统。最后,用户可以使用 SWARM 提供的随机性数生成器轻松地引入随机因素。

## 二、复杂适应系统软件平台 SWARM 和预警系统模型

### SWARM 预警建模分析。

(1)建模方法。传统的预警建模是基于对大量的历史数据的简单回归来实现的,解决微观系统向宏观系统过渡的时候多采用基于概率统计和数理分析的方法,但是,区域可持续发展的系统

中的主体是具有主动性和适应性,对这一复杂自适应系统的预警建模,我们需要特殊处理。利用 SWARM 建模方法来获得区域可持续发展的预警模型,它可以通过主体的主动行为来模拟整个区域发展的过程,以实现区域当前或未来运行状况的预警和预测分析;我们选取系统中处于生产消费活动中的个人、企业和政府等作为具有适应能力的主体,他们在区域内的经济、社会、资源和环境系统所构成的客观条件下进行主动的活动,各个主体之间,主体和环境(这里我们把 ESREn 视为区域 CAS 系统的环境)之间发生信息、物质和能量交换,从而推进整个复杂系统的不断演化。另外,预警系统先通过对历史数据和区域运行中的警兆与警情信息的分析来测算与推断其警度。然后就可以通过政策制定者依据不同警度来确定相应的排警决策,以调控整个系统的运行,从而实现可持续发展的实时、动态和自动的预警和调控。

(2)建模思路。在区域可持续发展系统中的各个活动主体或个体与周围的环境之间除了存在物质、信息和能量的交换关系外,他们之间还存在着博弈关系,传统的预警系统比较难以描述这种博弈互动关系。然而,区域运行与发展中出现的矛盾与冲突问题,常常是博弈互动过程中的非均衡结果。此外,区域可持续发展的警源,大都是来自于区域经济社会活动中的人、企业或政府等行为主体(区域 CAS 的主体)。过分关注自身利益而导致对资源环境的人为破坏的结果,也是经济社会发展与资源环境保护冲突的产物。要弄清和找出这些警源,就需要分析各行为主体的博弈行为及其均衡结果,同时也需要开展必要的博弈量化和博弈仿真模拟。而进一步的博弈定量分析更是需要借用 CAS 的思想。事实上,SWARM 正是在此基础上产生的。因此用 SWARM 建模的预警模型具有明显的优势,可以从某种程度上有效解决博弈分析中遇到的量化困难问题。在区域可持续发展的过程中,各行为主体的帕累托均衡战略的确定、当前利益和远期利益的比较分析都需要借助博弈的方法来实现。我们在研究 ESREn 系统中 4 个子系统运行与发展中也存在着协调和权衡先后发展的问题,在 SWARM 模型中可以通过对权数的调整来实现,而且这种调整是实时的、主动的。

(3)模型功能。第一,SWARM 是个又好又简便的可重复实验平台,可以将实际数据代入整个系统以模拟实际经济的运行。在进行区域可持续发展的分析过程中,通过真实数据和不同的政策组合引入预警模型后,可以检验、评价和比较分析不同政策下的各个结果的合理程度。我们知道,传统的分析方法往往偏重于系统结果的形成,而与传统分析不同,以 SWARM 为建模基础的预警模型可以通过观察 SWARM 从各种图形和数据表上实时观测到整个系统的运行过程和每个时刻的系统运行状态,从而使研究更具有时效性,也可以解决传统分析尚不能解决的系统运行的时滞问题,这对我们的政策分析有着极为重要的帮助,对不同阶段政策制定者的主动反应也提供了必要的理论基础。第二,SWARM 本身是由若干属性的多主体和周围环境所构成,所以其模型有着非常清楚的系统性和层次性,我们在区域可持续发展的预警分析中,即可以分别对 ESREn 四个子系统分别进行预警,也可以对整个复杂系统进行总体性的研究,而且这些研究无须重新建模,从而使得整个系统的研究具有连续性和统一性,并可辨清子系统间的相关程度。在子系统的内部均衡发生变化时,政策制定者也能及时对警情作出相应的排警对策。

### 三、区域可持续发展 SWARM 预警模型系统

#### 1. 目标、建模方式及其运行过程。

(1)建模目标。整个预警模型建立所要达到的目标是:在以“人”为本的基础上,在区域经济、社会、资源、环境实际运行与发展状态下,监测各子系统的运行状态,实现子系统之间的协调发展,完成预警和排警的过程。

(2)建模方式。区域可持续发展 SWARM 仿真模拟预警模型是建立在可持续发展系统的层次化结构的基础上。具体可表现为:在 JAVA 编程环境下,利用 SWARM 的类库,进行计算机仿真模拟主体在其周围的 ESREn 环境之间的动态活动过程。模型通过一些控制参数和观察参

数来对整个子系统和各个子系统进行预警分析和动态控制(见图 1)。由图 1 可见,区域可持续发展 SWARM 预警模型系统是一个由 SWARM 主体与其环境反复交互的循环系统。在这个系统中,首先,系统通过 SWARM 主体行为变化来观察 ESREn 的反应,这些反应将由区域经济社会发展度、资源和环境承载力、ESREn 协调度和区域系统的相关警情、警兆指标的变动情况来加以描述,从而实现博弈模拟仿真 SWARM 主体行为对区域 ESREn 系统及其子系统的影响和制约关系。其次,系统将依据 ESREn 的反应情况来依次对区域内各子系统、ESREn 系统的预警分析及其相关信息反馈的结果,来调整 SWARM 主体行为,同时对各子系统与 ESREn 系统进行调控,以实现系统的动态预警。

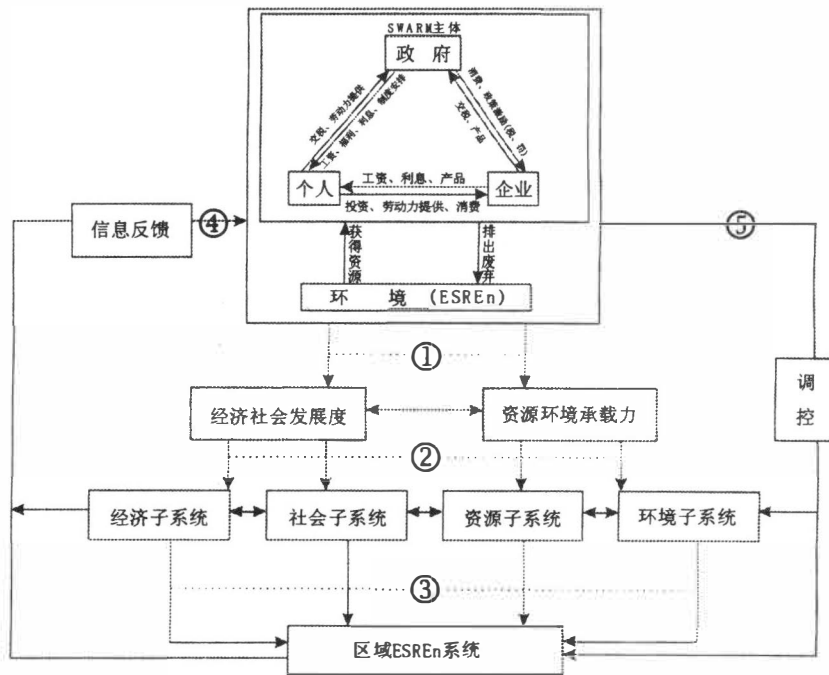


图 1 区域可持续发展预警 SWARM 仿真型系统流程图

注：①博弈模拟仿真；②子系统预警分析；③ESREn 系统预警分析；④信息反馈；⑤调控。

(3)区域可持续发展 SWARM 仿真模型。运行过程如图 2 所示。首先建立指标体系；然后根据指标体系相关程序中生成对应的子程序以定义个体和 ESREn 环境的属性和建模方法；用方程描述个体的行为并程序化；设置观察 SWARM；回归历史数据，生成预警指标；代入参数，并运行 SWARM 程序，从控制 SWARM 中监控区域系统，以实现 SWARM 仿真预警，对模型的运行结果进行测试，并进一步修改政府政策的外部环境变量，以达到持续、动态的预警。

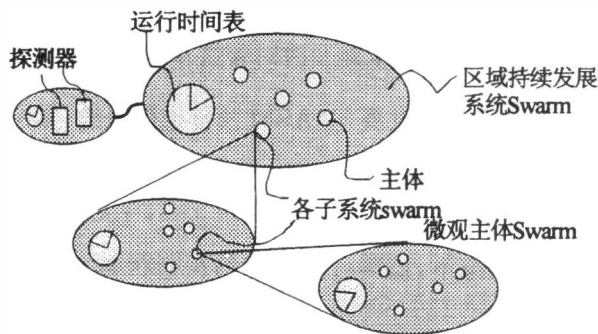


图 2 区域可持续发展预警的 SWARM 仿真模型运行图

2. 指标体系的建立。根据“动态压力—状态—响应”框架模型(DPSR)原理,我们可以得出

不同的4个子系统的指标体系群,并且也可选取相应的政策工具矩阵。“动态压力—状态—响应”框架模型表述了区域运行与发展过程中,在第t期制度安排的作用下,引起了区域第t+1期经济社会发展与资源环境保护存在的压力及其互相影响和作用产生的响应。按这一框架下,我们将整个的区域可持续发展指标体系按照ESREn子系统的层次分为4个指标群如表1所示。

表1 区域经济、社会、资源与环境预警指标表

子系统	预警指标群
经济	GDP(GDP总量、GDP增长速度、人均GDP),综合性经济指标 国民生产总值平减指数(反映经济增长的波动) 投资额(反映未来的经济增长重要指标) 消费额(反映主体的财政政策) 各产业的比重份额(用霍夫曼系数表示) 经济效益系数(加入一个高科技产值比例份额) 进出口额及外资利用总额
社会	人口数、人口增长率、人口密度、老少比例、男女比例、外来人口比重 人口质量(文盲率、大中专文化所占比例) 收入(人均收入、城镇收入比、储蓄存款余额) 居住条件(人均居住面积) 基础设施与环境(电、水、通讯、交通和警力情况)
环境	废气(SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 浓度) 废水(工业废水排放、家用废水排放) 废物(烟尘排放、工业固体废物排放) 噪音指数
资源	水资源 生物资源 绿地资源 耕地资源 森林滩涂资源 矿产资源

### 3. SWARM 仿真模型系统的建立。

(1)定义主体。其一,个人,属性是:年龄、性别、受教育程度、收入情况和生活质量(居住、周围环境的综合值);其行为是:生产、投资、消费、改变环境和繁殖。其二,企业,属性是:资产、雇用人员、产出、利润和生产环境质量(经济情况、同行业状况);其行为是:生产、投资、消费、改变环境。其三,政府,属性是:税收、财政政策、行政政策;其行为是:消费、支出、改变环境指标要求。

(2)分类指标。在区域CAS系统中选择预警指标,并分成两类:首先,属于约束变量,它们大多数是描述环境、资源等的指标,在模型中它们是由政府在前期制定好的,对整个系统有着约束作用。另外它们可以随模型的动态发展而改变,也是政府政策行为的结果;其次,属于目标变量,它们反映了整个ESREn系统的运行状况,在模型中,这些目标变量的取值反映系统内各个主体所追求的优化水平。其相对重要性,可以用权重来进行衡量。

(3)建立SWARM模型系统。该模型系统包括有4类模型:一是经济社会发展度、资源环境承载力与ESREn协调测算模型。二是区域可持续预警系统的衡量与评价模型。三是以“动态压力—状态—响应”框架下的经济计量模型。四是SWARM博弈模拟变量仿真模型。通过上述各类模型的计量分析,可以动态地反映区域CAS系统内主体与主体之间、主体与个体之间、主体与ESREn环境之间的影响与制约关系。此外,在建模中,我们所要解决的问题还有行为表的排列(见表2)和对各个主体的(目标函数)策略活动的模拟(过程略)。

表 2 SWARM 主体行为表

序号	主体	行为	序号	主体	行为
A	政府、企业	雇用或解雇雇员	G	企业	利润分配(利息)
B	政府、企业	支付工资	I	个人	根据当日收支盈余,决定投资
C	企业	进行生产活动	H	政府	根据对敏感指标的分析,决定: (1)对公众事业的投入 (2)消费活动(基于收支活动盈余) (3)企业经营活动有关的政策变化 (4)家庭个人福利 (5)家庭个人生活有关的政策变化 (6)税收的制定
D	企业	决定商品决策			
E	个人	家庭消费	J	企业	决定新的投资活动
F	政府、企业	交税	K	企业 个人 政府	重新初始化每日参数 根据偏好,对权数进行调整

SWARM 模型根据此时间顺序,对主体行为进行观察,同时调度其活动,从而更真实地模拟这此这些主体在现实生活中的行为。

另外,也要考虑政府在对整个 ESREn 系统有着监督和调控的作用,它通过预警指标取值变化来判断警情,并用预警系统来监测、预警各个子系统之间的协调发展情况,同时建立相应调控与排警措施。还可以用手动或者程序两种方法改变约束指标。由于政府在政策制定时需要同时考虑到 E、S、R、En 各部分的要求,所以不能简单用最优化问题来求解,同时我们考虑到其非线性、模糊性及其指标的定量化具有一定的难度,因此,在这一部分中我们力图通过利用 SWARM 中的神经网络模块和遗传算法模块来研究。

理论上,ANN(Artificial Neural Networks)的优势在于模式识别,函数逼近,最优化处理,其中的 BP 网络由输入层、隐层、输出层组成。在 SWARM 模型中,输入层的内容为全部的 ESREn 指标体系;隐层中是根据区域不同时期的实际需要的 ESREn 重要特征值所确定,它是由输入层中进行特征抽取所得;输出层为相应的反射输出的结果。

在 ANN 网络的学习结构上,由于数据信息大,学习过程比较漫长,所以我们考虑引入遗传算法搜索可能的神经网络结构空间,其主要过程为:首先从随机的网络群体开始,每个网络结构由一个染色体层表示;然后应用学习算法训练网络;再应用遗传算子产生新的网络群体;将以上步骤重复迭代,直到获得满意的网络结构,基本循环过程如图 3 所示。由图 3 可见,在实际运行模型过程中,政府主体通过该方法学习,会逐渐得到其监督的目标函数,从而得到了按照博弈预期的结果。在上面工作的基础上,政府继续实行控制活动,在 SWARM 模型中我们采取两种方式来实行:一是手动:在警情出现后,直接中断程序的运行,在探测器“SWARM”的控制面板中,调整相应的参数变量(如图 4 的右半图是在热虫模型中对控制面板进行手动调整的模式)。二是程序:预测可能出现的问题集,并制定出相应的对策,并通过 SWARM 程序上实现各种条件选择(参见图 4 的左半图)。

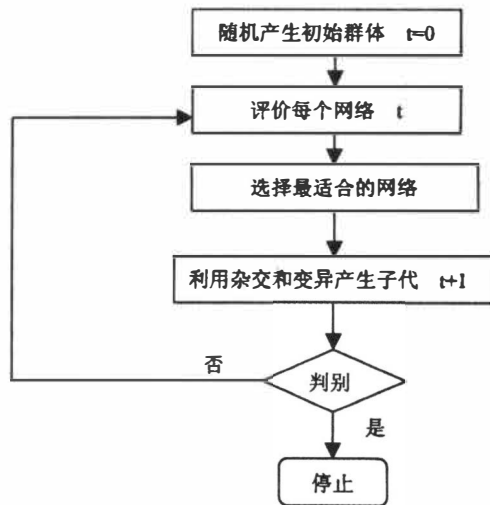


图 3 遗传算法循环流程图

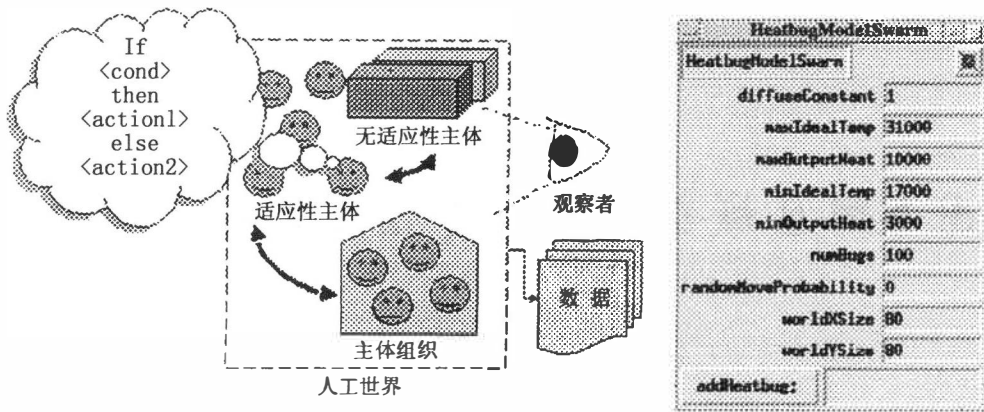


图4 SWARM模型运行图

另外,我们也可以考虑用Evo(生命演进模拟工具,可在www.swarm.org上得到其类库)代替遗传算法的内容来模拟SWARM建模中主体学习的过程。在模型建立以后,我们把各个指标数据按时间表的顺序通过探测器SWARM代入整个区域可持续发展的SWARM预警模型中。设定目标变量预警指标的参照系及临界值,这些临界值的突出特点是:它的初始值由原始的历史数据回归得出,可动态修改,同时能显著地反映对预警对象的动态变化过程。

本文提出的复杂系统的SWARM软件平台应用在区域可持续发展研究中建立预警模型,是一次新的尝试。其优点在于从微观主体的角度出发,引入博弈的思想,讨论个体与社会、现在和未来之间的利益问题的权衡。该模型的建立有着较强的实际意义,它可以起到对整个系统的监控和预警作用;能在某种程度上作出政策的仿真模拟及其评价,为区域政府政策制定提供决策依据。它是一个具有良好的可重复政策实验平台。尤其是当模型建立后,在具体的区域可持续发展预警研究中只要依据区域系统运行与发展的实际情况,引入相关的目标变量和预警指标及其相应的参照系、临界极限值,就可以较快捷地将模型应用化,它不仅可移植能力强,而且还可以充分发挥计算机在数据处理和模拟仿真过程中的应用优势。

参考文献:

[1]许国志. 系统学[M]. 上海:上海科技教育出版社,2000,9.

## A SWARM-based Warning System Model for Regional Sustainable Development

ZHU Ye, YE Min-qiang

*(Institute of Economics and Administration, Huaqiao University, Fujian Quanzhou 362011, China)*

**Abstract:** The paper discusses some problems in the warning system for region sustainable development. In the viewpoint of complex adaptive system, it advances that we can use SWARM to simulate the actual status of the real world in region system. Thus a swarm-based warning system model of regional sustainable development is formed. After that, the warning signal of the system can be traced in real time.

**Key words:** region sustainable development; warning system; SWARM