

基于耗散结构理论的水库移民系统有序化研究

施国庆, 徐俊新, 孔令强

(河海大学中国移民研究中心, 江苏 南京 210098)

摘要 对水库移民系统的构成要素和要素关系进行了讨论, 阐述耗散结构与熵变理论, 在分析水库移民系统耗散结构形成条件的基础上构建了系统有序化熵变模型。从国家对移民补偿、安置和扶持政策的变迁和展望角度对我国水库移民系统有序化进程中的 4 个发展阶段进行了研究。

关键词 耗散结构; 熵变理论; 水库移民系统; 有序化

中图分类号: N941.91

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2008)04-0071-05

Research on ordering of reservoir resettlement system based on dissipative structure theory // SHI Guo-qing, XU Jun-xin, KONG Ling-qiang (*National Research Center for Resettlement, HoHai University, Nanjing 210098, China*)

Abstract : A brief introduction is given to the dissipative structure and entropy exchange theory, and the components of the reservoir resettlement system and the relationships between different factors are discussed. Then, an orderly entropy exchange model for reservoir resettlement is established based on the analysis of the formation conditions of the dissipative structure. Finally, the four development stages in the ordering process of reservoir resettlement are studied in terms of resettlement compensation, placement and support policies.

Key words : dissipative structure; entropy exchange theory; reservoir resettlement system; ordering

水库移民系统的存在及其运动体现了不断变化的系统要素在一定地域空间内相互作用所形成的某种相对的均衡。正是这种系统的存在和运动, 才有了水库移民系统的变化与发展。因此, 分析水库移民系统的内部构成和外部环境, 描述其结构、机制和状态是认知和研究水库移民问题的前提。

耗散结构理论既适用于有机与无机系统, 也适用于社会与经济系统, 它的提出使人们找到了由无序状态变为有序状态的途径, 赢得了“普利高津重新统一了社会科学与自然科学”的美誉^[1]。耗散结构理论在社会科学领域已经有诸多应用, 但将其应用于水库移民系统却尚为鲜见。本文应用耗散结构理论对水库移民系统进行讨论, 试图为水库移民系统的研究提供一种新的视角, 为更加深入地探索水库移民系统的有序化问题奠定了基础。

1 水库移民系统与耗散结构

1.1 水库移民系统

水库移民系统是水库移民有关的多个互相制约的元素共处的统一体。即由于水库淹没, 导致水库淹没区及影响区域内原有居民连同与其生产生活

密切相关的资源、社会、经济等诸多要素脱离原有的区域系统而形成具有集体行为和特定目标的一个相对独立的有机结合体。水库移民系统有五大要素构成: 即经济、社会、人口、资源、生态, 构成水库移民系统的五大要素其实是水库移民系统的 5 个子系统, 各子系统又由其他元素或下一级子系统构成, 故水库移民系统的结构是一种多级递阶结构。如果按照移民所在地区范围来划分水库移民边界, 水库移民系统包括库区和移民安置区^[2]。

水库移民系统各要素均是系统的有机组成部分, 各要素相互依存, 有着密切的联系。衡量水库移民系统是否处于有序化状态, 主要看其经济子系统各要素是否趋于良性发展。在所有子系统中, 经济子系统是水库移民系统的核心, 对其他子系统变化起支配作用, 直接决定水库移民系统的动态有序化。移民经济收入不能恢复, 基本口粮得不到保障, 必然需要开垦荒地或林地以增加种植面积, 这样会造成水土流失、肥力降低和地质灾害, 影响到资源子系统和生态子系统, 经济子系统运转不良, 移民收入水平低下, 社会子系统就将处于动荡和潜在的危机之中, 一件偶发事件都有可能被放大, 最后引发社会危机。

和群体性事件,承载人口子系统的不仅是资源和生态子系统,在就业结构越来越多元化的趋势下,经济容量的承载力才是最为关键的要素,经济子系统运行状况对移民的生活水平、受教育程度和健康状况都有很大影响^[3]。人口、社会、资源与生态子系统同时又反作用于经济子系统,对经济子系统的发展起制约或促进作用。

1.2 耗散结构理论与熵变

耗散结构理论是研究如何使开放系统从无序转变为有序的理论,由比利时科学家普利高津(Prigogine)1969年创立。耗散结构理论认为:一个不断与外界交换物质、能量和信息的复杂性开放系统,并且系统中存在非线性动力过程和正负反馈机制,在系统中某个参量的变化达到一定的阈值时,通过负熵增加及涨落,系统可能发生突变(非平衡相变),由原来的混沌无序结构进化为一种新的有序结构,即耗散结构(dissipative structure)^[4]。

克劳修斯(Clausius)提出的熵定律是热力学第二定律,它描述了系统能量的转化方向,即一个封闭系统能量只能不可逆地沿着衰减这个方向转化。系统科学把熵的概念引入系统科学领域,并把它改造为系统科学的一个范畴。当系统内部各要素之间的协调发生障碍,或者由于环境对系统的不可控输入达到一定程度时,系统就很难继续围绕目标进行控制,从而在功能上表现出某种程度的紊乱,表现出有序性减弱,无序性增加的状态。系统的这种状态,称为系统的熵值增加效应。熵值增加效应相当于系统孤立的自发变化,这个自然过程最终将系统带入对应于最大熵状态的热力学“平衡态”。在热力学“平衡态”下,系统只能维持这种状态,而不可能飞跃到另一种新质状态,是一种不再进化的“死寂”平衡态^[5]。

系统状态的变化是通过体系的状态函数“熵”(S)来表达的。熵是系统中混乱无序程度的一种量度,而负、正熵流即意味着系统有序性的增加或减少。根据耗散结构理论,系统只有不断地与外界进行物质、能量交换,增加系统的负熵,使总熵减小才能使系统逐步向新的有序方向发展。开放系统熵的改变由两部分组成:一部分是系统内本身不可逆过程所引起的熵增加,也称为熵产生(S_i);另一部分是系统与外界交换能量与物质引起的熵的变化,称为熵流(S_e)。开放系统的总熵变(S_d)为熵产生与熵流之和,即

$$S_d = S_i + S_e \quad (1)$$

用熵平衡方程表示为

$$\frac{dS_d}{dt} = \frac{dS_i}{dt} + \frac{dS_e}{dt} \quad (2)$$

由式(2)可知, S_d 的大小取决于 S_i 和 S_e 的代数和。根据熵增原理, S_i 为正值,而 S_e 可以为正值、零或负值。 S_d 、 S_i 和 S_e 的不同值代表了开放系统可能存在的4种不同状态:

a. $S_i > 0$, $S_e = 0$, $S_d > 0$ 。此状态为孤立系统,系统的有效能量逐渐减少、消耗掉,而无效能量不断增加,这是一个不可逆的过程,也是系统有序性递减的规律。

b. $S_i > 0$, $S_e > 0$, $S_d > 0$ 。系统与外界交换产生的熵流为正熵流,系统有序性递减速度快于封闭系统。

c. $S_i > 0$, $S_e < 0$, $|S_e| \leq S_i$, $S_d \geq 0$ 。系统与外界交换产生的熵流为负值,但不足以抵消或正好抵消内部产生的熵增量,系统有序性缓慢递减或维持在原有水平。

d. $S_i > 0$, $S_e < 0$, $|S_e| > S_i$, $S_d < 0$ 。系统与外界交换产生的负熵流足够强,它除了可以抵消系统内部的熵增量外,还能使系统的熵变值为负数,从而使系统进化至有序的耗散结构状态。

1.3 水库移民系统耗散结构的形成条件

根据相关理论,一个系统要形成耗散结构,即动态有序,必须具备以下3个先决条件:①系统具有开放性。孤立系统的熵总是增加,因而总是趋于无序。而对于开放系统,随着体系和环境间物质和能量的交换,同时有熵的交换,通过维持一个足够强的负熵流,系统可以维持在相对低熵和有序的状态。②系统远离平衡态。这是因为接近平衡态的非平衡定态和平衡态一样总是稳定的,从这样的状态不能自发发展到有序状态。只有在远离平衡态的条件下,非平衡定态有可能失去稳定性,从而自发发展到某种有序状态。普利高津把这称之为“非平衡是有序之源”。③非线性相互作用。只有通过非线性相互作用,才能使系统的各个要素之间产生协同作用和相干效应。内部各子系统只有通过非线性相互耦合作用推动系统演化,才能有效聚会、利用能量促进系统内部的非线性竞争和协同整合。

1.3.1 水库移民系统的开放性

在现实世界中,不存在绝对孤立和封闭的系统,只有保持开放性并与环境进行交换,才有可能维持系统动态发展和逐步进化。水库移民系统是一个以移民为主体的开放系统,它必然与环境之间进行物质、能量、信息的交换。移民系统与其环境之间这种交换表现为在空间上的迁出与迁入、经济上的补偿与被补偿、生产生活的扶持与被扶持、土地资源的淹没与开发、不同文化的冲突与融合、社会组织的解体与重构等方面。系统环境对水库移民系统的作用表现在物质、能力、信息的输入上,水库移民系统在这

种输入条件下,结合自身组织结构和构成要素进行反应、吸收、转换,最后以物质、能力、信息的方式输出。水库移民系统环境再对输出产生一定的反应,并将此作为信息反馈给移民系统。这种输入与输出的关系,体现出移民系统的开放性,以及移民系统与环境之间的作用与反作用的关系。

1.3.2 水库移民系统远离平衡态

对水库移民实施搬迁和安置后,水库移民系统中的经济、社会、人口、资源和生态子系统原有的平衡态被打破,均处于激变之中,并随时间的改变而不断变化。移民的经济经营模式、家庭收入构成和劳动就业结构都将被改变,原有地理、气候条件下积累的生产技能可能失效,原来劳动力从事劳务和商业的固定市场也可能失去,移民的经济收入必须经过较长时间才有可能逐步恢复到原有水平。对于农村移民家庭,亲戚和邻里关系以及其他关系网是维系乡村生活的社会基础,移民实施异地搬迁后,移民原所在社区组织和社会关系网络面临解体,旧的社会关系网络被破坏,而新的社会关系网络尚未建立,水库移民系统中的社会子系统远离于平衡态。水库淹没的土地资源大多为地势平坦、海拔较低的肥沃良田,而剩下的土地以非常贫瘠的陡坡地居多,即使借助科技和资金投入对其进行改良,库区土地资源承载力也不可能恢复到原有水平。安置区由于接收移民,同等的资源需要养活更多的人,资源承载压力陡增,其利用方式和程度都将扭曲而偏离平衡态。库区土地承载力不足时,如采用后靠安置方式则需要开垦荒山、荒坡以安置移民,新一轮的垦荒会造成水土流失、土地质量退化、水库泥沙淤积,生态环境逐渐恶化,如通过异地调剂耕地安置移民,安置区人均耕地面积将减少,原有田块被进一步分割使产量降低。安置地居民和移民为了取得较高粮食产量,加大单位种植面积的化肥与农药投入量,这样就导致了邻近水源污染和河流、湖泊的富营养化。

1.3.3 水库移民系统中各要素的非线性相互作用

水库移民系统各要素之间的非线性相互作用一般包括以下特征:滞后效应、共振效应、多值响应特性、指数放大效应、临界慢化效应、跳跃效应等^[6]。滞后效应是移民安置政策执行中非线性特征的一种,是指一个水库移民系统某自变量要素发生变化,而因变量要素出现回应的时间或者消退的时间比人们按照常规预想的时间要滞后一个时期的现象。移民外迁安置,并获得与原来等质等量的耕地资源,但农业经济收入却难以迅速恢复到原有水平,这是因为移民需要一个重新熟悉安置点地理、气候、耕作习惯和种植结构的时间过程,这属于水库移民系统各

要素非线性作用中滞后效应的一种。水库移民系统中的共振效应是指一个工作对象往往会自发地带动另一个工作对象按照相同的模式进行变化的过程,这里的共振效应可以理解为扩散、仿效、感染等效应。如对自愿参与特色农业项目的移民家庭实施扶持,参与的移民家庭通过种植某经济作物在预计年份内获得了较好的经济收入,这将吸引更多移民自动参与到特色农业扶持项目中来,而不需要移民工作人员做额外的说服和动员工作。多值响应特征是指一个自变量要素的变化会同时导致多个要素随之变化的现象。水库移民采取后靠生产安置方式开发荒地、荒坡调整资源子系统,移民经济子系统随新垦耕地的质量和数量发生变化,同时移民社会组织网络的破坏性减小,而生态子系统却有可能受到干扰。

1.4 水库移民系统的有序化熵流模型

在耗散结构中,主导着其他变量变化,主宰系统整体演化过程的参量为序参量,它的大小决定了系统有序化程度的高低。因此,系统的有序程度以及演化方向可以用序参量来表示。对于水库移民系统而言,系统由经济、社会、人口、资源、生态五大要素构成。本文在研究水库移民系统时,将经济、社会、人口、资源、生态状况作为序变量。设第 $t+1$ 年的水库移民系统序变量熵变参量分别为:经济子系统 m_{t-1} 、社会子系统 o_{t-1} 、人口子系统 p_{t-1} 、资源子系统 z_{t-1} 、生态子系统 e_{t-1} ,那么系统在第 t 年的各序变量引起的熵变分别为

$$S_{d1} = S_{e1} + S_{i1} = \int_{t-1}^t \mathcal{F}(m) \lambda m \quad (3)$$

$$S_{d2} = S_{e2} + S_{i2} = \int_{t-1}^t \mathcal{F}(o) \lambda o \quad (4)$$

$$S_{d3} = S_{e3} + S_{i3} = \int_{t-1}^t \mathcal{F}(p) \lambda p \quad (5)$$

$$S_{d4} = S_{e4} + S_{i4} = \int_{t-1}^t \mathcal{F}(z) \lambda z \quad (6)$$

$$S_{d5} = S_{e5} + S_{i5} = \int_{t-1}^t \mathcal{F}(e) \lambda e \quad (7)$$

式中: S_{d1} , S_{d2} , S_{d3} , S_{d4} , S_{d5} 分别为经济、社会、人口、资源和生态序变量引起的子系统熵变。那么可以构建水库移民系统熵流模型,用以分析系统的有序化状态。熵流模型(EEM)可表示为

$$S_d = \kappa_1 \int_{t-1}^t \mathcal{F}(m) \lambda m + \kappa_2 \int_{t-1}^t \mathcal{F}(o) \lambda o + \kappa_3 \int_{t-1}^t \mathcal{F}(p) \lambda p + \kappa_4 \int_{t-1}^t \mathcal{F}(z) \lambda z + \kappa_5 \int_{t-1}^t \mathcal{F}(e) \lambda e \quad (8)$$

式中 κ_1 , κ_2 , κ_3 , κ_4 , κ_5 分别为各子系统转化速率常数。转化速率常数 κ 不同于权重系数 ω ,它表示的是序变量的非线性作用关系。经济子系统转化速率

常数 κ_1 值最大,对水库移民系统有序化影响力转化速度最快,对其他子系统起支配作用,为序变量中的核心序变量。如 $S_d < 0$,则可认为水库移民系统正朝有序化方向发展。

2 耗散结构理论对我国水库移民系统有序化进程的揭示

1949 年以来,我国修建了 8.6 万多座水库,直接搬迁安置移民 1 362 万人,移民人口繁衍至今已达 2 300 多万。从国家对移民补偿、安置和扶持政策^①的变迁和展望角度进行分析,可以看出我国水库移民系统有序化进程中 4 个发展阶段。

2.1 系统内部自我调节阶段(1949 ~ 1957 年)

这个时期,国家修建了白沙、薄山、南湾、佛子岭、梅山、上犹江等 20 多座大中型水库或水电站,移民总数约 30 多万人。由于当时我国农村经济发展水平不高,水库淹没实物指标比较简单,水库淹没补偿费只占整个工程投资比例的很少一部分。据调查,当时在综合利用工程中水库淹没补偿费仅占整个工程投资的 5.4%。此阶段正处于土地改革和农业合作化时期,全国各地均掌握充裕的公有耕地,农民人均占有耕地的数量也相对较多,移民系统内部可以通过简单划拨或调剂土地的方式实施安置。

在人地矛盾并不突出的时期,水库移民系统资源子系统拥有较大自我调节的空间,对经济子系统和生态子系统的影响不大。内部土地资源的充足性也避免了大规模的外迁安置,对社会子系统的影响程度降至最低。尽管此阶段水库移民系统的外部 S_e 输入几乎为零,属于相对孤立系统,但由于内部系统自我发展空间较大,对内部 S_i 能够得到一定的稀释作用,系统总的 S_d 以低速度增长。

2.2 系统加速混乱无序阶段(1958 ~ 1977 年)

社会主义改造基本完成后,全国加快了大江大河治理和水电开发的步伐,先后建成了三门峡、新安江、富春江、丹江口、刘家峡等 280 多座大中型水库,共移民 253 万多人^[6]。这是 1949 年以来修建水利水电工程最多、移民数量最多的时期。此阶段我国水利水电建设处在复杂的政治背景下,经历了“大跃进”、“人民公社”、3 年严重自然灾害及“文化大革命”等特殊历史时期。在工程建设中“左”的思想盛行,“大刮”“浮夸风”,在移民安置中违反了客观经济规律,缺乏实事求是精神。移民搬迁主要靠政治动员、行政命令、军事化组织进行简单安置,加之经济补偿低、安置区容量严重不足、基础设施差等多种原因,

给移民生产、生活造成了很大影响。

这一时期修建的水库淹没损失较大,移民人口众多,库区剩余耕地根本不足以安置移民。实施后靠安置移民,多数采取由低向高就近、就地、后靠上山安置的办法或安置到荒山、荒坡和未经开垦的不毛之地,同时缺乏相应的移民生产生活和库区基础设施建设的扶持政策,这都加速了库区移民系统的紊乱与崩溃。实施移民外迁安置,对安置区资源承载力分析不够,相继出现了数十次集体性的移民返迁事件。移民返迁要素包括自然资源枯竭、耕地质量不佳、生存环境恶化、社会关系紧张等方面。此阶段整个水库移民系统内部 S_i 增长速度最快,外部 S_e 输入更是为正值。移民大量返迁预示着安置区水库移民系统进入了混乱无序状态。

2.3 系统秩序缓慢恢复阶段(1978 ~ 2006 年)

十一届三中全会以后,我国完成了乌溪江、葛洲坝、龙羊峡、二滩、小浪底等 70 多座大型水库工程建设。在水库移民安置问题上,国家在总结经验教训的基础上一方面采取措施解决移民遗留问题,另一方面加紧改革水库移民工作方针,制定了一系列相关政策、法律、条例、规范和办法。为了帮助移民改善生产、生活条件,国家先后设立了库区维护基金、库区建设基金和库区后期扶持基金,努力解决水库移民遗留问题,对维护水库移民系统的稳定、有序发挥了重要作用。1984 年,水利电力部在水库移民问题专题研讨会上首次提出了开发性移民方针,以区别过去的政治性移民、补偿性移民和安置性移民方针。1991 年国务院颁布了《大中型水利水电工程建设征地和移民安置条例》,正式提出“国家提倡和支持开发性移民,采取前期补偿、补助与后期生产扶持的办法”,2006 年又进行了重新修订,进一步明确“国家实行开发性移民方针”,并对征地补偿倍数、移民安置规划、实施组织机构和后期扶持问题进行了规定。

此阶段实施开发性移民模式,移民资金除用于搬迁、安置基本费用之外,其余部分用于中低产田改良、农田基本建设、配套基础设施建设、技术推广、劳动力培训等。同时还利用库区的政策优势、资源优势内引外联,吸引外部资金,开发库区资源,使源源不断的资金投入形成强大的负熵流,通过发展生产,重建家园,移民的生产与生活走向正轨,恢复生机与活力,通过环境整治,生态建设,减少对自然环境和生态系统的高熵物质输入,并疏导库区内部因长期投入不足而积累的熵。开发性移民作为一项复杂的系统工程,不仅将移民开发和库区建设紧密结合起

①此处的国家移民补偿、安置和扶持政策相当于水库移民系统的外部熵流 S_e ,它可能是负值或正值,也可能是零。

来、将移民安置和改善生态环境很好地结合起来,而且将库区与安置区作为一个系统来综合考虑,将移民的经济子系统恢复与社会子系统恢复两者有机地统筹考虑,使移民安置区的经济、社会、资源、环境协调发展。此阶段外界对水库移民系统输入了资金流、信息流、管理流和人才流等负熵流,另外对系统内部产生的熵增值有良好的疏导机制,最后使系统总熵变趋近为零值,形成了一个缓慢的系统有序性恢复过程。

2.4 系统实现飞跃进化阶段(2007年以后)

在开发性移民方针指导下,以补偿、补助、扶持等方式存在的水库移民系统负熵流,只是用20年的时间跨度对系统有序性起一个缓慢恢复作用,而不是力图使系统进化至一个更高级的有序系统。水库移民系统有序化的第四阶段应该是通过一定模式对关键子系统加大负熵流输入,在恢复系统有序性的基础上,借助系统中非线性动力过程和正负反馈机制,通过涨落和突变,促使系统进化为一种新的有序结构,即水库移民系统耗散结构。经济子系统是水库移民系统中的核心序变量,对其负熵流的输入量可以决定整个系统的有序性进化过程。改变对经济子系统传统式的补偿、补助式输入,实现移民对工程经济效益的共享,为移民经济子系统恢复和进化提供稳定的负熵流。

20世纪90年代国内相关学者就对移民共享工程经济效益的可行性开展过研究,并在广西、福建等地小水电项目进行过尝试与探索^[7]。水库移民长效补偿安置模式是对实现移民共享工程经济效益的重要机制之一,2007年后建设的金沙江中游“一库八级”大型水电站和澜沧江流域大型水电项目中已采用该安置方案。在以后的水库项目移民安置中,长效补偿安置方案将成为主要安置方式。移民长效补偿是指在对移民进行生活安置的基础上,以移民被淹没法定承包耕地前3年的农作物平均产量为原

始依据,根据当地粮食主管部门公布的粮食交易价格确定耕地平均年产值,采取货币形式对移民实行逐年补偿,相当于移民每生产周期领取一份“工资”^[8]。移民长效补偿安置方案以分享工程经济效益为核心,是一种高于开发性移民方针的全新移民安置理念。实施长效补偿安置方案后,移民经济子系统可以获得稳定的经济收益负熵流,同时避免了垦荒造地导致的生态恶化问题和重新调剂土地导致的社会矛盾。对于水库移民系统,长效补偿方案对经济、社会、人口、资源和生态子系统都是负熵流输入源,整个系统的外界输入熵流绝对值将大于内部熵增值,即 $|S_e| > S_i$,总 $S_d < 0$,当 S_d 值超过或者接近一定的阈值时,通过非线性作用机制下的涨落,水库移民系统可以实现由初始无序状态飞跃进化至更高级的有序结构。

参考文献:

[1] 普里高津.从混沌到有序[M].曾庆宏,沈小峰,等,译.上海:上海译文出版社,1996:6-7.
[2] 施国庆.水库移民系统规划理论与应用[M].南京:河海大学出版社,1996:14-19.
[3] CERNEA M M. Compensation and benefit sharing: Why resettlement policies and practices must be reformed[J]. Water Science and Engineering, 2008, 1(1): 89-120.
[4] 李如生.非平衡态热力学与耗散结构[M].北京:清华大学出版社,1996:73-77.
[5] 傅广苑.非线性视角中的公共政策执行过程[J].中国行政管理, 2003(5): 33-36.
[6] 张绍山.水利水电工程移民补偿机制的发展与改革[J].水利发展研究, 2005(8): 17-23.
[7] 朱文龙,施国庆.移民系统分享工程效益机理与方法探讨[J].水利经济, 1995(2): 58-61.
[8] 孔令强.水电工程移民共享经济效益的机理与机制研究[J].贵州社会科学, 2007(10): 25-28.

(收稿日期:2007-10-09 编辑:方宇彤)

(上接第10页)的权值优化求解中,并用工程实例进行了验证。实例分析结果表明 CPSO-NN 模型在全局搜索、收敛以及预报等能力上明显优于 PSO-NN 模型以及 BP-NN 模型,为大坝安全监控提出了一种新方法。

参考文献:

[1] 顾冲时,吴中如.大坝与坝基安全监控理论和方法及其应用[M].南京:河海大学出版社,2006.
[2] 杨杰.大坝变形监测的 BP-NN 模型与预报研究[J].西安理工大学学报, 2001, 17(1): 25-29.
[3] KENNEDY J, EBERHART R C. Particle swarm optimization

[C]//Proc IEEE Int Conf on Neural Networks. NJ:IEBE Service Center, 1995:1942-1948.
[4] 方峻.粒子群算法及其应用研究[D].成都:电子科技大学,2006.
[5] 李爱国.多粒子群协同优化算法[J].复旦学报:自然科学版, 2004, 43(5): 923-924.
[6] VAN DEN BERGH F, ENGELBRECHT A P. A cooperative approach to particle swarm optimization[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2004, 8(3): 225-239.
[7] 苏怀智,吴中如,温志萍,等.遗传算法在大坝安全监控神经网络预报模型建立中的应用[J].水利学报, 2001(8): 47-48.

(收稿日期:2007-09-29 编辑:方宇彤)