

改进遗传算法确定水资源优化配置模型经济效益系数

陈夺峰,黄岁樑

(南开大学环境科学与工程学院,天津 300071)

摘要 确定水资源优化配置模型的经济效益系数是求解该模型的必要前提。将改进后的遗传算法应用于天津市水资源优化配置模型经济效益系数的求解。结果表明,改进后的遗传算法克服简单遗传算法早熟收敛和后期收敛速度缓慢的缺点。与传统求解方法相比,该方法反映经济效益系数与时间的函数关系,符合经济学原理和实际情况,适用性强,具有优越性。

关键词 水资源优化配置模型 经济效益系数 遗传算法

中图分类号 :TV212 ;O212.1 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-6933(2008)02-0006-04

Application of improved genetic algorithm to determination of economic profit coefficients of optimal allocation of water resources

CHEN Duo-feng, HUANG Sui-liang

(College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract In order to use the optimal allocation of water resources model, it is necessary to determine the economic profit coefficients. The improved genetic algorithm (GA) was used to compute economic profit coefficients for the optimal allocation of water resources model in Tianjin City. Results show that the improved GA can avoid the disadvantages of the simple GA, such as a premature and lower converging rate. This method indicates that the functional relationship between economic profit coefficients and time agrees with the economic mechanisms and actual conditions, and it is more suitable and feasible than other methods.

Key words optimal allocation of water resources model ; economic profit coefficients ; genetic algorithm (GA)

水资源优化配置是指在一个特定的流域或区域内,以可持续发展战略为指导,通过工程与非工程措施,统一调配水资源,并在各个用水部门间进行科学分配,从而促进社会、经济、环境协调发展^[1-3]。所以,面向可持续发展的水资源优化配置不仅要考虑经济效益,还要考虑社会和环境效益,是一个多目标规划问题。其中,经济效益系数是经济效益目标函数中的一个关键参数,如何确定经济效益系数,是求解水资源优化配置模型的重要环节。目前,确定经济效益系数主要有两种方法:直接确定法和层次分析法(AHP)。直接确定法是通过分析经济效益系数的物理意义,利用现有的一些数据直接确定。例如:

工业用水的经济效益系数可取用水定额(工业万元产值取水量)的倒数;农业灌溉用水经济效益系数按灌溉后的农业增产效益乘以水利分摊系数确定^[3]。AHP是通过求解判断矩阵确定效益系数^[4]。这两种方法虽然应用较多,但在应用中仍然存在一些缺陷。直接确定法虽然可以在一定程度上反映实际情况,但是由于其需要确定的影响参数较多,量化比较困难,在没有大量的、充足的背景资料的情况下很难运用到模型求解中。例如,利用直接确定法在确定生活用水经济效益系数时,由于难以定量化,为保证生活用水得到满足而直接赋予系数较大值的情况,这必然影响了模型求解的精度,造成与实际问题的

基金项目 天津市科技发展计划项目(05YFSZSF02100)
作者简介 陈夺峰(1981—),男,内蒙古呼和浩特人,硕士研究生,研究方向为水资源规划。E-mail :cdf@mail.nankai.edu.cn
通讯作者 黄岁樑,教授,E-mail :slhuang@nankai.edu.cn

的偏差。而层次分析法需要有专家参与确定判断矩阵,受到人为因素影响,有一定的主观性,判断矩阵的一致性也较难满足^[5-7],在实际运用中的通用性和普遍性较差。

当前,遗传算法作为随机化方法已在组合优化中得到相当广泛的应用,并在解决某些典型的优化问题时显示出良好的效果。特别是对有约束,多目标、非线性的复杂优化,已经发展成进化计算中的一个分支。遗传算法在水电站水库优化调度、水污染控制系统规划、布水管网设计方面应用较多^[8-10],但在水资源优化配置模型的参数确定中的应用尚不多见^[11-12]。

本文引入遗传算法并加以改进,编程序求解天津市水资源优化配置模型中的经济效益系数。研究表明,改进的遗传算法可以减少遗传代数和种群规模,从而缩短程序运行时间,提高运行效率,并具有良好的全局收敛性。利用改进的遗传算法确定水资源优化配置模型的经济效益系数,简单易用,为进一步求解水资源优化配置模型奠定基础。

1 遗传算法及其改进

遗传算法用数学方法模拟生物进化过程,将对问题的求解转化为对一群“染色体”(符号串)的一系列操作,通过群体的进化,最后收敛到一个最适应环境的染色体上,从而求得问题的最优解。遗传算法的基本原理和基本求解步骤在许多书中都有详细介绍,这里不再说明。简单遗传算法存在早熟收敛和后期收敛速度缓慢的现象,收敛过程中可能陷入局部最优解而非全局最优,为了提高运行效率和求解精度,需要对简单遗传算法进行改进。

1.1 改进要点

针对简单遗传算法存在的后期收敛速度慢、容易陷入局部最优的缺陷,本文采用以下两种方法对其进行改进。

1.1.1 交叉率、变异率的动态调整

交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 的大小关系到遗传算法运行性能。 P_c 越大,新个体产生的速度越快。然而, P_c 过大,模式被破坏的可能性越大,使得高适应度的个体结构很快遭到破坏; P_c 过小则搜索速度慢。变异可以产生新的模式,提高搜索的范围,但变异率过大或过小也会带来同样的问题。选择合适的 P_c 和 P_m 值,对算法的搜索性能至关重要。 P_c 和 P_m 的动态变化公式^[13]为

$$P_c = \begin{cases} P_{c1} - \frac{(P_{c1} - P_{c2})(f' - \bar{f})}{f_{\max} - \bar{f}} & f' \geq \bar{f} \\ P_{c1} & f' < \bar{f} \end{cases} \quad (1)$$

$$P_m = \begin{cases} P_{m1} - \frac{(P_{m1} - P_{m2})(f'' - \bar{f})}{f_{\max} - \bar{f}} & f'' \geq \bar{f} \\ P_{m1} & f'' < \bar{f} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $f_{\max}$ 为群体中最大的适应度值; $\bar{f}$ 为群体的平均适应度值; f' 为要交叉的两个个体中的较大的适应度; f'' 为待变异个体的适应度; $P_{c1}, P_{c2}, P_{m1}, P_{m2}$ 取区间 $(0, 1)$ 中的某个值,本文取 $P_{c1} = 0.9, P_{c2} = 0.6, P_{m1} = 0.1, P_{m2} = 0.001$ 。

以上对交叉率和变异率调整的效果是对适应度较小的个体应用较大的交叉率和变异率,对适应度较大的个体应用较小的交叉率和变异率。而种群中具有最高适应度值的个体其交叉率和变异率不为 0,本文分别取 $P_{c1} = 0.9$ 和 $P_{m1} = 0.1$,从而使得某代中较优的个体也具有一定的交叉率和变异率。交叉率、变异率的动态调整可以较好地保持生物多样性,从而可以减少过早收敛的发生,可以保证算法有较高的收敛率。

1.1.2 基于共享函数的小生境实现方法

这种方法的基本思想是通过反映个体之间相似程度的共享函数来调整种群中各个个体的适应值,从而在这以后的种群进化过程中,算法能够依据这个调整后的新适应值来进行选择运算,以维护种群的多样性^[14-16]。

共享函数(sharing function)是表示种群中两个个体之间相近程度的一个函数,可记为 $S(d_{ij})$,其中 d_{ij} 表示个体 i 和个体 j 之间的欧拉距离,两个决策变量 x_i 和 x_j 之间的欧拉距离计算如公式(3),共享函数的计算如公式(4):

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^V (x_k^i - x_k^j)^2} \quad (3)$$

$$S(d_{ij}) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{d_{ij}}{\sigma_{\text{share}}}\right)^a & d_{ij} \leq \sigma_{\text{share}} \\ 0 & d_{ij} > \sigma_{\text{share}} \end{cases} \quad (4)$$

式中 V 为决策变量的个数。

小生境数是某个个体在种群中共享程度的一种度量,它定义为该个体与种群内所有个体之间的共享函数值之和。第 i 个个体的小生境数 n_i 为

$$n_i = \sum_{j=1}^N S(d_{ij}) \quad (5)$$

根据小生境数计算,共享适应值 $f' = f_i/n_i$ 。由此可见,由于所有被过度表示的最优解将有一个较大的 n_i 值,所以它们的适应值将被较大地降低;由于所有表示不足的最优解将有一个较小的 n_i 值,所以它们的适应值将被降低不多。因为每个个体的选择概率是由其适应值的大小来控制的,所以,这种调

整适应值的方法就能够避免种群内个别最优解的大量增加,强调了表示不足的最优解,从而维护了种群的多样性,并造就了一种小生境的进化环境,避免收敛到局部最优而非全局最优。

1.2 改进算法的求解过程

根据对改进的遗传算法编制相应的程序,其流程如图 1 所示。

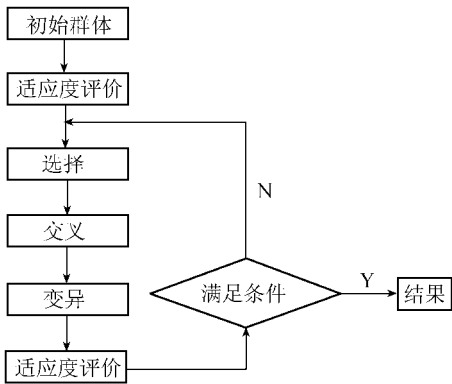


图 1 改进遗传算法流程

2 遗传算法确定经济效益系数的模型

面向可持续的水资源优化配置模型是综合考虑经济、社会、环境各方面效益的多目标复杂大系统。目标函数有 3 个,分别是经济效益最大、社会效益最优和环境效益最佳。由于篇幅所限,水资源优化配置的总体模型不在这里给出。因为经济效益系数只涉及经济效益目标,而与社会效益和环境效益无关,所以在确定经济效益系数时,只需考虑水资源优化配置模型的经济效益。将水资源优化配置模型的经济效益最大作为单一目标,建立如下的确定经济效益系数的模型。

假设在 p 个水源中,每个水源可以提供的水量为 $a_1, a_2, \dots, a_p$, 并有 q 个用水单位,每个单位的需求量为 $b_1, b_2, \dots, b_q$ 。 x_{ij} 为从第 i 源到第 j 单位的分配量,相应的经济效益系数为 c_{ij} 。模型的具体形式为^[2-3]

$$\text{目标函数: } \max F(X) = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q c_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

$$\text{需水约束: } \sum_{i=1}^p x_{ij} \leq b_j \quad (7)$$

$$\text{供水约束: } \sum_{j=1}^q x_{ij} \leq a_i \quad (8)$$

$$\text{非负约束: } x_{ij} \geq 0 \quad (9)$$

式中: p 为水源数; q 为用户数; a_i 为第 i 个水源的可供水量; b_j 为第 j 个用户的需求量; x_{ij} 为第 i 个水源供给第 j 个用户的水量; c_{ij} 为第 i 个水源供给第 j 个用户单位水量产生的用水经济效益系数。

用水经济效益系数是时间的函数,反映年际动态变化。例如,在现有的条件下,地表水是农业用水的主要供水水源,地下水是次要水源。这种情况下,认为地表水的经济效益系数比地下水的经济效益系数大,但随着水资源年际间的变化,水资源的短缺,地表水减少,地下水成为农业用水的主要供水水源,此时地下水的经济效益系数比地表水的经济效益系数大。

经济效益系数为时间的函数可表示为^[5,12,18]

$$c_{ij} = \alpha_{ij} [1 - \beta_{ij} \ln(t + 1)] \quad (10)$$

式中: t 为时间, $a; i, t = 1, 2, \dots, n$; α_{ij}, β_{ij} 为待求系数, $0 \leq \alpha_{ij}, \beta_{ij}, c_{ij} \leq 1$ 。

3 实例研究

本文采用改进的遗传算法,确定天津市水资源优化配置经济效益系数。

3.1 经济效益系数优化

天津市供水水源 3 个:地表水(包括引滦水和引黄水)、地下水和其他水源(海水利用和污水再利用)。用水部门 5 个:城市生活用水、农村生活用水、工业用水、农业用水、环境用水。以 α_{ij}, β_{ij} 为变量,根据天津市各部门利用地表水、地下水和其他水源的历史统计资料,输入模型公式(6)~(9),利用 C++ 编制遗传算法程序,计算经济效益系数。设定改进遗传算法的遗传代数 为 500,种群规模为 50,精度为 0.001,优化结果见表 1。

表 1 75% 保证率下经济效益系数参数优化计算

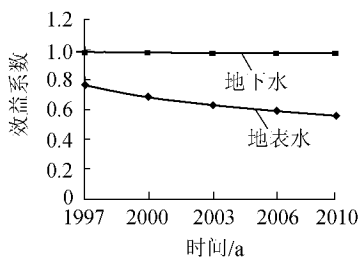
用水分类	α_{ij}			β_{ij}		
	地表水	地下水	其他水源	地表水	地下水	其他水源
城镇生活	0.992	0	0	0.004	0	0
农村生活	0	0.198	0	0	0.002	0
农业	0.895	0.994	0	0.212	0.010	0
工业	0.984	0.266	0.281	0.102	0.056	0.075
生态环境	0.999	0	0	0.403	0	0

本文通过对程序代码的调整,比较未改进的遗传算法和改进的遗传算法,可以发现:未改进的简单遗传算法在设置种群规模 200,遗传 1 000 代才可以得到与改进的遗传算法相同的优化结果,在运行效率上大大劣于改进后的算法。由此可见,改进遗传算法不但具有良好的全局收敛可靠性,而且具有较快的收敛速度。

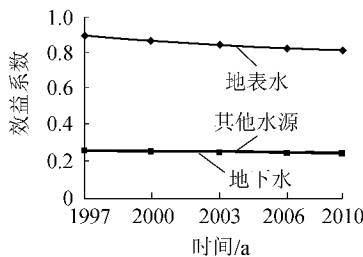
3.2 结果分析

经过计算得到的 75% 保证率下经济效益系数随时间变化的趋势,如图 2 所示。

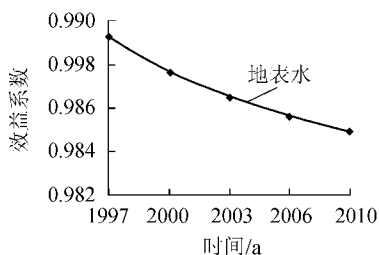
从图 2 可见,农业利用地下水的经济效益系数大于利用地表水的经济效益系数,而且,随着时间的延长,经济效益系数之间的差距越大。造成这种现



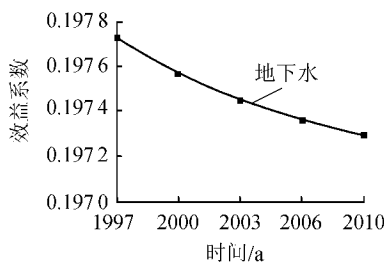
(a) 农业用水



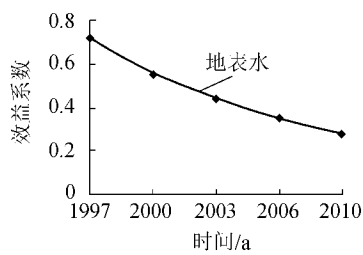
(b) 工业用水



(c) 城镇生活用水



(d) 农村生活用水



(e) 环境用水

图2 经济效益系数随时间变化关系 ($P = 75\%$)

象的原因是天津市农业用水主要来源于地下水,随着地表水逐年的减少,地下水在农业用水中所占的比重越来越大。工业利用地表水的经济效益系数远远大于利用地下水的经济效益系数和其他水源经济效益系数,但随着时间的推移,经济效益系数之间的差距有所减小。其原因是天津市工业用水主要来自于地表水,地下水和其他水源只作为补充。但随着地表水的逐年减少,其比重有所减小。天津市城镇生活用水主要依靠地表水供给,农村生活用水主要依靠地下水供给,环境用水依靠地表水供给。

从经济效益系数随时间的变化关系图2可见,用水经济效益系数的变化趋势是递减的,这也符合经济学原理,在各部门用水当中,其他条件不变的条件下,用水量增加,效益增加逐渐减少。

4 结 语

a. 改进的遗传算法克服了简单遗传算法早熟收敛和后期收敛速度缓慢的缺点,不但具有良好的全局收敛可靠性,而且具有快的收敛速度。

b. 应用改进的遗传算法求解水资源优化配置模型中经济效益系数,对背景资料 and 人为因素的依赖性小,适用性强,反映了经济效益系数与时间的关系,求解结果更加科学。

c. 经济效益系数的确定为求解多目标水资源优化配置模型奠定了基础。“大系统总体优化遗传算法”是求解多目标水资源优化配置模型的有效方法之一^[11],其具体内容不在本文中探讨。

d. 探索遗传算法与其他算法耦合使用,如单纯形法、模拟退火算法、神经网络方法等等,形成混合遗传算法,相互取长补短,具有广阔的研究前景和研

究空间。

参考文献:

- [1] 许新宜,王浩,甘泓,等. 华北地区宏观经济水资源规划理论与方法[M]. 郑州:黄河水利出版社,1997:50.
- [2] 高丽丽,何俊仕,石志强,等. 基于可持续发展区域水资源优化配置模型研究[J]. 沈阳农业大学学报,2004,35(S1):534-536.
- [3] 冯耀龙,韩文秀,王宏江,等. 面向可持续发展的区域水资源优化配置研究[J]. 系统工程理论与实践,2003(2):133-138.
- [4] SATTY T L. The analytic hierarchy process[M]. New York: Mc-Craw-Hill,1980.
- [5] 孙才志,潘俊. 动态层次分析法在确定模糊优化管理模型效益系数中的应用[J]. 勘察科学技术,2000(2):3-6.
- [6] 孙才志,林学任,王金生. 水资源系统模糊优化调度中的动态 AHP 及应用[J]. 系统工程学报,2002,17(6):551-555.
- [7] 王为人,屠梅曾. 基于层次分析法的流域水资源配置权重测算[J]. 同济大学学报,2005,33(8):1133-1136.
- [8] 畅建霞,黄强,王义民. 基于改进遗传算法的水电站水库优化调度[J]. 水力发电学报,2001(3):85-90.
- [9] 魏加华,张建立. 非线性水污染控制系统规划的遗传算法[J]. 煤田地质与勘探,1999,27(2):49-53.
- [10] 王荣和,姚仁忠,潘建华. 遗传算法在给水管网现状分析中的应用[J]. 给水排水,2000,26(9):31-36.
- [11] 贺北方,周丽,马细霞,等. 基于遗传算法的区域水资源优化配置模型[J]. 水电能源科学,2002,20(3):10-12.
- [12] 沈军,刘勇健. 水资源优化配置模型参数识别的遗传算法[J]. 武汉大学学报:工学版,2002,35(3):13-16.
- [13] 刘拥军. 防止过早收敛的改进型遗传算法[D]. 南京:河海大学,2004:35-36.

(下转第13页)

持与恢复方面具有优势,而扬水筒技术、遮光技术等物理技术以及其他一些物化技术针对高含藻的水源水则具有立竿见影的效果,互相联合可望达到水质修复和减灾防灾的双重目的,这将是原位控藻技术发展的重要方向。

参考文献：

[1] 彭海清,谭章荣,高乃云,等. 给水处理中藻类的去除[J]. 中国给水排水,2002,18(2) 29-31.

[2] 孔海南. 关于湖泊富营养化治理工程中应采用深度处理和生态工程技术的初浅建议:从日本湖泊富营养化治理中的经验教训谈起[C]//中国环境科学学会水环境分会. 中国湖泊富营养化及其防治国际学术研讨会专家论文集. 昆明:中国环境科学学会水环境分会,2000 301-304.

[3] 濮培民,李正魁,王国祥. 提高水体净化能力控制湖泊富营养化[J]. 生态学报,2005,25(10) 2757-2763.

[4] 中村圭吾,岛谷幸宏. 人工浮岛的机能与技术的现状[J]. 土木技术资料(日本),1999,41(7) 26-31.

[5] 宋祥甫,陈荷生,邹国燕. 利用生态浮床技术治理污染水体[J]. 水文水资源,2005(5) 50-53.

[6] 日本河道整治中心. 多自然型河流建设的施工方法及要点[M]. 周怀东译. 北京:中国水利水电出版社,2003.

[7] 李树华. 一种新型的园林绿地[J]. 花卉园艺,2005(12): 8-9.

[8] 尚农. 花飞碟生态景观浮岛技术与水上绿化[J]. 花卉园艺,2006(1) 46-47.

[9] 潘纲,张明明,闫海,等. 黏土絮凝沉降铜绿微囊藻的动力学及其作用[J]. 环境科学,2003,24(5) 4-10.

[10] 邹华,潘纲,陈灏. 壳聚糖改性黏土对水华优势藻铜绿微囊藻的絮凝去除[J]. 环境科学,2004,25(6) 40-43.

[11] ALIOTTA G, GRECA N D, MONACO P, et al. In vitro algal growth inhibition by phytotoxins of typha latifolia L.[J]. Journal of Chemical Ecology,1990(16) 2637-2646.

[12] 李锋民,胡洪营. 大型水生植物浸出液对藻类的化感抑制作用[J]. 中国给水排水,2004,20(11) 18-21.

[13] STEVE M. Lake and pond management guidebook [M]. New York:CR Cnet BASE,2003.

[14] BARRETT P R F, LITTLEJOHN J W, CURNOW J. Long-term algal control in a reservoir using barley straw [J]. Hydrobiologia,1999,415 309-313.

[15] 刘建康,谢平. 用鲢鳙直接控制微囊藻水华的围隔试验和湖泊实践[J]. 生态科学,2003,22(3) 193-196.

[16] 陆开宏,晏维金,苏尚安. 富营养化水体治理与修复的环境生态工程:利用明矾浆和鱼类控制桥墩水库蓝藻水华[J]. 环境科学学报,2002,22(6) 732-737.

[17] 谢平. 水生动物体内的微囊藻毒素及其对人类健康的潜在威胁[M]. 北京:科学出版社,2006.

[18] JUNGO E, VISSER P M, STROOM J, et al. Artificial mixing to reduce growth of the blue-green alga microcystis in Lake

Nieuwe Meer, Amsterdam:an evaluation of 7 years of experience[J]. Water Science and Technology :Water Supply 1,2001(1) 17-23.

[19] 孔海南. 应用扬水筒技术控制饮用水源水库富营养化的工程规模实验研究[C]//中国环境科学学会水环境分会. 2005 中国水环境污染控制与生态修复技术高级研讨会论文集. 宜昌:中国环境科学学会水环境分会,2005 27-32.

[20] 尹澄清,兰智文. 富营养化水体中藻类生长限制因素的确定及其应用[J]. 环境化学,1993,12(5) 380-386.

[21] 小岛贞男,饭田稻作,滑川明夫. 局部遮光控制藻类(微囊藻属)的验证研究[J]. 用水与废水(日本),2000,42(5) 5-12.

[22] 孙扬才,陈雪初,孔海南,等. 遮光法控藻的人工围隔试验研究[C]//中国环境科学学会水环境分会. 2006 中国水环境污染控制与生态修复技术高级研讨会论文集. 上海:中国环境科学学会水环境分会,2006 393-397.

[23] 陈雪初,孙扬才,孔海南,等. 消光处理对源水中铜绿微囊藻增殖的影响[C]//中国环境科学学会水环境分会. 2006 中国水环境污染控制与生态修复技术高级研讨会论文集. 上海:中国环境科学学会水环境分会,2006 608-614.

[24] 濮培民,胡维平,逢勇,等. 净化湖泊饮用水源的物理-生态工程实验研究[J]. 湖泊科学,1997,9(2) 159-167.

[25] 濮培民,王国祥,李正魁,等. 健康水生系统的退化及其修复:理论、技术及应用[J]. 湖泊科学,2001,13(3) 193-203.

[26] 秦伯强,杨柳燕,陈非洲,等. 湖泊富营养化发生机制与控制技术及其应用[J]. 科学通报,2006,51(16) 1857-1866.

[27] 秦伯强,胡维平,刘正文. 太湖梅梁湾水源地通过生态修复净化水质的试验[J]. 中国水利,2006(17) 23-29.

[28] 王洪君,王为东,卢金伟,等. 植被型岸带对藻类的捕获与水源保护研究[J]. 中国给水排水,2006,22(7) 4-8.

[29] 郑建军,钟成华,邓春光. 试论水华的定义[J]. 水资源保护,2006,22(5) 45-47.

(收稿日期 2006-12-14 编辑 高渭文)

+++++

(上接第 9 页)

[14] 喻寿益,郭观七. 一种改善遗传算法全局搜索性能的小生境技术[J]. 信息与控制,2001(6) 526-530.

[15] 周北岳,邓斌,郭观七. 基于小生境技术的改进遗传算法研究[J]. 机械强度,2002,24(1) 13-16.

[16] 张兆中,张问银. 一种可实现精确优化的微小生境遗传算法[J]. 计算机应用,2005,25(8) 1903-1905.

[17] 孙才志,潘俊. 水资源的模糊优化调度研究[J]. 勘察科学技术,2000(4) 3-6.

[18] 赵得军,洪林,李远华,等. 效益系数年际动态变化的水资源合理配置[J]. 中国农村水利水电,2004(9) 34-36.

(收稿日期 2006-12-26 编辑 高渭文)