

三江平原水资源可持续利用优化配置研究

李晨洋, 张磊

(东北农业大学 水利与建筑学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 水资源的优化配置是实现可持续发展的有效措施之一。在定性分析了目前三江平原出现吊泵、局部超采等水资源短缺问题的基础上, 利用水资源系统的多目标性, 建立了多目标水资源配置数学模型, 并引入具备内在并行机制及全局搜索能力的并列选择遗传算法求解。以获得生活、生产和生态综合效益最大为目标, 将各个子目标折算为一个统一量——经济效益作为基准点。结果表明, 该模型和算法的结合达到了水资源优化的目的。

关键词: 水源; 多目标; 可持续; 优化配置; 并列选择遗传算法

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2014)02-0307-04

中图分类号: S273

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.02.062

Optimized Allocation of Multi-objective Water Resource in Sanjiang Plain for Sustainable Utilization

LI Chen-yang, ZHANG Lei

(College of Water Conservancy and Civil Engineering,

Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: The optimal allocation of water resource is key to the sustainable development. By the qualitative analysis of the water shortages in Sanjiang plain due to hanging pump and local over-exploitation, a multi-objective water resource allocation model was set up based on the properties of water resource system with diverse targets. At the same time, paralleling choice GA with intrinsic parallelism and the ability of global search has been introduced to obtain a solution. Meanwhile, in order to realize the maximization of the comprehensive benefit in life, production and ecology, each calculation is converted into a unified economic benefit as a benchmark. The result showed that the combination of the model and the algorithm has optimized water resource use.

Keywords: water resource; multi-objective; sustainable; optimized allocation; paralleling choice GA

水资源的优化配置就是将处于不同子区、不同用水部门的多种水资源进行科学合理配置^[1]。它是对不同种类的有限的水资源进行合理分配, 实现水资源的可持续利用, 保证社会经济、资源和生态环境的协调发展为最终目的^[2]。一直以来, 学者在水资源优化的理论及应用方法方面的研究已经取得了显著成果, 并在社会经济体系和高科技的高速发展中不断完善。水资源优化配置的基本功能包括两个方面, 在供给方面协调竞争用水, 加强工程措施改变水资源时空布局以适应生产力要求; 在需求方面通过调整产业结构, 建设节水经济模式以适应不利的水资源条件^[3]。水资源的优化配置能够提供、改善并满足多方面、多

层次的用水需求; 进行水资源的协调优化有利于改善区域水资源的利用效率, 增加区域资源经济效益, 维持生态平衡稳定, 最终达到社会、生态环境及经济等的协调可持续发展。

多目标优化问题是指在可行域中确定由决策变量组成的向量, 使得一组相互冲突的目标函数值尽量同时达到最优, 即多个目标不可能同时达到最优^[2], 因而多目标优化问题的本质就在于在多个目标间进行协调并进行折衷处理, 使每个目标都尽可能同时达到最优。

在解决多目标优化问题时, 可以得到一系列较优解, 这些可能的最优解被称为非劣解, 即 Pareto

收稿日期: 2013-05-15

修回日期: 2013-06-02

资助项目: 哈尔滨市科技创新人才研究专项“三江平原水稻灌区多水源联合运用研究”(2010RFQXN102); 黑龙江省教育厅科学技术研究项目(12511039); 东北农业大学科技人才启动基金项目(2009); 2012年度黑龙江省博士后科研启动基金(LBH-Q12153)

作者简介: 李晨洋(1978—), 女(汉族), 黑龙江省哈尔滨市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事管理科学与工程、农业工程研究。E-mail: cli703@163.com。

解^[4]。这种最优解与传统的优化问题中的最优解有着本质的不同^[2],传统的的多目标优化是将多目标转为单目标问题,也就是一般每次都只能得到一个 Pareto 解,多次运行后才能得到一组近似 Pareto 最优解,其复杂程度清晰可见,而多目标优化问题,这样的 Pareto 最优解有很多个,而且各 Pareto 最优解之间也没有优劣之分,决策者可以根据自己的偏好或决策体系选择合适的 Pareto 解。

三江平原位于我国黑龙江省东北部,其范围东起乌苏里江、西接汤旺河及牡丹江分水岭,北接黑龙江,南抵兴凯湖^[5]。三江平原陆续开发并利用部分地下水资源用于农业发展,如今它已成为国家重要的商品粮(特别是大豆、水稻、玉米和小麦)的生产基地^[6]。三江平原全区水资源总量可达 $1.62 \times 10^{10} \text{ m}^3$,其中地表径流量平均每年达到 $1.16 \times 10^{10} \text{ m}^3$,过境水可利用量约 $1.00 \times 10^{10} \text{ m}^3$,地下水 $8.56 \times 10^9 \text{ m}^3$,地下水总开采量达 $4.70 \times 10^9 \text{ m}^3$ ^[7]。一直以来,三江平原各方面的快速发展与它发达的水系结构有着密切关系。但是目前区域内地下水超采,水土流失严重,水污染等问题诱发吊泵等问题的出现,严重制约了三江平原区域的可持续发展,水资源供需矛盾因此面临巨大挑战。

基于多目标优化理论,以可持续发展为原则,针对三江平原日益加剧的水资源供需矛盾,以水资源供需平衡为出发点,兼顾区域社会经济和环境的协调发展,建立数学模型并采用多目标并列选择遗传算法对该区域的水资源进行优化调配,以期水资源的管理和可持续利用提供理论依据。

1 水资源多目标优化配置数学模型

构建多目标配置模型,系统总体发展目标用综合效益最大来衡量,其形式一般为:

$$\begin{aligned} Z &= \max[f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x), f_5(x)] \\ G(x) &\leq 0 \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x), f_5(x)$ ——生活、生产(第一、二、三产业)和生态用水效益目标; $G(x)$ ——约束条件集; x ——决策变量。

1.1 子目标函数

将区域划分为 k 个子区,每个子区有 i 个水源, j 个用水部门。

(1) 生产(第一、二、三产业)效益目标。用区域内年水量净效益最大表示:

$$\max f_1(x) = \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^i (b_{ij}^k - c_{ij}^k) x_{ij}^k \omega_{ij}^k \quad (2)$$

式中: x_{ij}^k ——水源 i 向 k 子区 j 部门的供水量(10^4 m^3); b_{ij}^k ——水源 i 向 k 子区 j 部门的供水效益系数(元/ m^3); c_{ij}^k ——水源 i 向 k 子区 j 部门的供水费用系数(元/ m^3); ω_{ij}^k ——水源 i 向 k 子区 j 部门的供水效益修正系数(元/ m^3)。

(2) 生态环境效益目标。以区域主要污染物化学需氧量 COD 最小表示:

$$\min f_2(x) = \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j d_j^k p_j^k (\sum_{i=1}^i x_{ij}^k) \quad (3)$$

式中: d_j^k —— k 子区 j 部门单位废水排放量中重要污染因子 COD 的含量(mg/L); p_j^k —— k 子区 j 部门污水排放系数。

(3) 生活效益目标。以区域总缺水最小来表示:

$$\min f_3(x) = \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j [D_j^k - \sum_{i=1}^i x_{ij}^k] \quad (4)$$

式中: D_j^k —— k 子区 j 用户需水量(10^4 m^3)。

1.2 模型转化

优化的实质是决策者可以根据自身条件选择相应的方案,而各部门的用水效益各不相同,使得决策者很难找到基准点做出判断。因此,将各效益系数折算成一个统计量,用经济效益表示:

$$f_j(x) = A_j B_j = A_j \cdot \sum_{i=1}^i x_{ji} \quad (5)$$

式中: j ——生活、生产(第一、二、三产业)和生态用水部门编号,依次为 1,2,3; i ——地表水和地下水的编号依次为 1,2; A_j ——第 j 部门单位用水效益系数(万元/ m^3); B_j ——第 j 部门可用水量(m^3); x_{ji} ——第 i 水源对第 j 部门的供水量(m^3);

工业用水效益系数采用工业总产值分摊方法,以此为基准确定生产、生活等部门的用水效益系数:

$$A = (B/M) \cdot \alpha / B = \alpha / M$$

式中: α ——工业供水效益分摊系数,参照水利经济研究会研究成果取值为 11%; B ——工业分配水量(m^3); M ——万元工业产值用水量($\text{m}^3/\text{万元}$)。

由此其它部门用水效益为:

$$A_j = \lambda_j A$$

式中:当 $0 < B_j \leq B_{\min}$ 时, $\lambda_j = k_j$; 当 $B_{\min} < B_j \leq B_{\max}$ 时, $\lambda_j = [k_j B_{\min} + \alpha_j (B_j - B_{\min})] / B_j$; 当 $B_j > B_{\max}$ 时, $\lambda_j = [k_j B_{\min} + \alpha_j (B_{\max} - B_{\min}) - \omega_j (B_j - B_{\max})] / B_j$ 。

式中: λ_j, k_j, α_j ——折算系数,且 $k_j > 1, \alpha_j < 1$,通常采用德尔菲法确定。

1.3 约束条件

(1) 水源可供水量约束。即 i 水源向 k 子区 j 用户的供水量应小于可供水量。

$$\sum_{j=1}^j x_{ij}^k \leq W_i \quad (6)$$

(2) 用水部门需水量约束。即 k 子区 j 用户从水源获得的水量应该介于该用户需水量的上下限之间。

$$\min D_j^k \leq \sum_{i=1}^i x_{ij}^k \leq \max D_j^k \quad (7)$$

(3) 环境约束。区域主要污染物化学需氧量 COD 的排放量应小于待优化水量年水体所能容纳的重要污染物 COD 的容量。

$$\sum_{i=1}^i d_i^k p_i^k x_{ij}^k \leq C_{\max} \quad (8)$$

(4) 变量非负约束。

$$x_{ij}^k \geq 0 \quad (9)$$

2 水资源多目标优化数学模型的并列选择遗传算法求解

2.1 并列选择遗传算法

并列选择遗传算法是改进的遗传算法之一,它是多种并列群体的共同进化,即先将群体中的全部个体按子目标函数的数目均等地划分为若干子群体,每个子群体对应一个子目标函数,各子目标函数在相应的子群体中独立地选择运算,分别选择出一些适应度高的个体组成一个新的子群体,然后再将所有这些新生成的子群体合并成一个完整的群体,在这个群体中进行交叉和变异运算,从而生成下一代的完整群体,如此不断地进行“分割—并列选择—合并”操作,最终可求出多目标优化问题的 Pareto 最优解^[8]。并列遗传算法求解过程如图 1 所示。

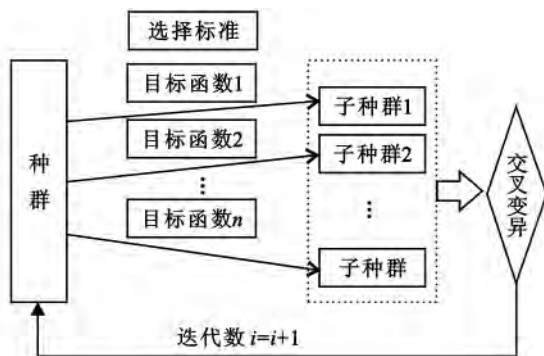


图 1 并列选择遗传算法示意图

2.2 计算基本步骤

(1) 编码。并列选择遗传算法解决水资源分配问题采用二进制编码,染色体串长度等于决策变量(供水水源分配给各部门的水量)个数。在各水源分配水量时,在特定区间变化内会随机产生若干组水资源分配方案(随机变量)组成一组初始种群;(2) 等分。将群体中全部个体按子目标函数的数目均等地

划分,即按生活、生产(第一、二、三产业)和生态用水目标 5 个目标函数均等划分为 5 个子群体。各个体在对应的子群体中独立地进行交叉、变异,选择出适应度较高的个体;(3) 重组。将上阶段保留的全部个体重组,形成一个新的群体,再次进行交叉、变异运算得到新一代群体,即产生新的预选方案;(4) 判别。判断新种群中最优个体是否满足终止条件,或进化代数是否达到预定值。若合格,则水资源已达到最优分配,停止进化计算,输出优化计算成果。否则,优化新的预选方案,重复上述步骤直到满足终止条件或进化代数。整理模型,输出结果^[9-10]。

3 应用实例分析

利用上述模型计算三江平原水量优化配置方案,在满足生产、生活及生态用水的条件下,以减少水资源浪费的可持续利用为目的,通过对该区的地表水、地下水 2 个水源的水量进行合理配置,得到最优方案。

本实例从 2 个水源对 5 个用水部门进行水量分配,其中水源为地表水和地下水,用水部门包括生活需水、生产(第一、二、三产业)需水和生态需水。因此决策变量数目为 10,则产生的每个染色体长度为 10 个基因位,分配水量;取种群大小 popsize=100,即初始水量分配方案为 100 个;最大进化代数 maxgen=200;变异率 pmutation=0.05;交叉率 pcross=0.6;结果详见表 1。

从表 1 可以看出,利用上述方法进行优化后,选定的年份内总需水量均比正常需水有所下降,各水源的供水量也有不同程度的减少,由此证明并列选择遗传算法在水资源优化配置中起到了优化作用。根据优化结果,总结其需水量减少的原因,主要归结为以下几点:(1) 近期三江平原大力发展有利的灌溉模式,如井灌结合灌溉,这在目前以及以后的发展过程中均可以优化水资源的时空分配,调节不合理的分配结构;(2) 因水资源短缺,改变了单一开采地下水的方式,将有效利用天然降水的方式放在水资源利用的首位;(3) 由于三江平原灌区在管理体制和运营机制上的不协调、系统的不完善,出现了各种问题,为此改善了各部门的管理,同时人们的节水意识逐步得到强化。经优化后需水量均比未优化前有所减少,但随着水平年的增长,总需水量还是大幅增加。

在上述分析基础上,以 2015 年为例,在保证地表水和地下水的总量变化幅度不大的情况下,用所建数学模型进行调节计算,再依据各自的计算结果进行供需平衡分析,得到三江平原水资源供需平衡分析表(表 2)。

表 1 三江平原需水量优化配置结果

各年份对应需水部门		地表水	地下水	相应部门总需水量	合计	原需水量
2015 年	生活需水	1.34	1.92	3.26	129.28	140.61
	第一产业	46.10	66.33	112.43		
	生产需水 第二产业	4.88	7.02	11.90		
	第三产业	0.42	0.60	1.02		
	生态需水	0.27	0.40	0.67		
2020 年	生活需水	1.62	2.33	3.95	176.64	200.30
	第一产业	62.56	90.02	152.58		
	生产需水 第二产业	5.70	8.20	13.90		
	第三产业	0.62	0.89	1.51		
	生态需水	1.93	2.77	4.70		
2030 年	生活需水	1.68	2.41	4.09	206.85	247.33
	第一产业	73.80	106.20	180.00		
	生产需水 第二产业	6.66	9.59	16.25		
	第三产业	0.70	1.01	1.71		
	生态需水	1.97	2.83	4.80		

表 2 2015 年三江平原水资源供需平衡对比

类别	生活用水	生产需水			生态用水
		第一产业	第二产业	第三产业	
地表水/ 10^8 m^3	1.34	46.10	4.88	0.42	0.27
地下水/ 10^8 m^3	1.92	66.33	7.02	0.60	0.40
供水量/ 10^8 m^3	3.26	110.30	11.90	1.00	0.59
需水量/ 10^8 m^3	3.26	112.43	11.90	1.02	0.67
用水效益/亿元	33.51	158.94	89.20	35.00	30.12

由表 2 可以看出：(1) 区域总体上按照以供定需的原则进行水量分配。生活用水和第二产业(工业、建筑业)得到满足,其它部门都有部分缺水现象。由此,虽然将地表水和地下水合理分配,力求个部门在水资源上达到供需平衡,水资源短缺的问题仍然存在；(2) 将生活、生产(一、二、三产业)、生态三个效益子目标折算成一个统一量:经济效益,更简洁地表示出优化后获得的效益,同时,通过对各部门产生的效益对比,为决策者提供直接判断依据来选择适合地区发展的优化分配政策。

此外,表 2 优化后仍未能满足所有部门所需水量,一方面该地区仍要继续扩大水源,加快污水处理设施建设,努力实现污水资源化,提高工业用水的重复利用率及污水处理回用量,加大该区的地表水供水能力。另一方面要强化节约用水,科学用水等意识,减少无效需求,促进水资源的再生,力求从根本上解决水资源短缺问题。

4 结论

目前,水资源可持续发展问题越来越成为人们关注的焦点,水资源的优化配置的研究是实现水资源持

久利用,促进区域和谐发展的有效途径。由于对水的需求急剧增加,使得再生问题也成为对水的考验,因而节约水资源成为解决水资源短缺的一种方法。多目标并列选择遗传算法的运用较好地解决了水资源优化配置问题。三江平原力求满足各个行业在水资源的方面需求,但研究发现仍会出现部分缺水现象,由于受信息量等因素的制约,研究中带有一定的主观性,与实际发展需求具有一定差距。因此,还需再进行进一步的研究。

[参 考 文 献]

- [1] 何俊仕,栗晓玲. 水资源规划与管理[M]. 北京:中国农业出版社,2006:203-204.
- [2] 郑海利,鞠勤国,刘美侠,等. 基于多目标遗传算法的水资源优化配置[J]. 东北水利水电,2011(5):54.
- [3] 黄金林,丁元芳,迟宝明. 岔路河流域水资源合理配置研究[J]. 水土保持研究,2008,15(2):235-238.
- [4] 陈南祥,李跃鹏,徐晨光. 基于多目标遗传算法的水资源优化配置[J]. 水利学报,2006,37(3):308-313.
- [5] 黑龙江省水利水电勘测设计研究院. 三江平原水资源[R]. 黑龙江 哈尔滨:黑龙江省水利水电勘测设计研究院,2008.
- [6] 李晨洋. 三江平原井渠结合灌区水资源可持续利用对策[J]. 节水灌溉,2013(1):41-43.
- [7] 赵惠新. 三江平原水资源可持续利用与保护[J]. 黑龙江水专学报,2008,35(4):1-3.
- [8] 牛晓博,赵虎,周国祥. 基于并列选择遗传算法的舰艇编队目标分配问题[J]. 现代防御技术,2010,38(6):70-75.
- [9] 郑海利,鞠勤国,刘美侠,等. 基于多目标遗传算法的水资源优化配置[J]. 东北水利水电,2011(5):54-57.
- [10] 付强. 数据处理方法及其农业应用[M]. 北京:科学出版社,2006:2-10.