

# 基于第二代非支配排序遗传算法 (NSGA-Ⅱ)的水资源优化配置

刘士明, 于丹

(中国水电基础局有限公司, 天津 301700)

**摘要:** 水资源优化配置作为解决水资源短缺的重要手段,对于区域社会经济的可持续发展具有重要的意义。水资源优化配置模型是一个结构复杂的综合系统,传统的优化方法难以求得模型的全局最优解。第二代非支配排序遗传算法(NSGA-Ⅱ)是当前解决多目标优化问题最有效的方法之一,但在水资源优化配置领域应用很少。本文以浐灞河流域为例,尝试利用NSGA-Ⅱ优化方法求解该地区水资源多目标优化配置模型,研究了该方法在水资源优化配置模型求解中的适用性。结果表明:该方法得到的水资源优化配置结果合理、可行。

**关键词:** 水资源; 优化配置; 多目标; NSGA-Ⅱ

中图分类号:TV213.9

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2013)05-0185-04

## Optimal allocation of water resources based on non-dominated sorting genetic algorithm - II

LIU Shiming, YU Dan

(Sino-hydro Foundation Engineering Co., Ltd., Tianjin 301700, China)

**Abstract:** Water resources optimal allocation is an effective way to solve water shortage and has important significance for the sustainable development of regional socio-economy. The optimal allocation model of water resources is a complex comprehensive system. It is difficult to find the global optimal solution using the traditional optimum method. The non-dominated sorting genetic algorithm(NSGA-Ⅱ) is one of the most effective methods to solve multi-objective optimal problems. However, there is little application in the field of water resources optimal allocation. Taking the Chanba River basin for example, the paper used NSGA-Ⅱ to set up the model of multi-objective water resources optimal allocation and study the applicability of the method in the model solution of water resources optimal allocation. The results of water resources allocation gotten by the method are reasonable and applicable.

**Key words:** water resources; optimal allocation; multi-objective; NSGA-Ⅱ

水资源优化配置是指在某一特定区域,依据水资源量的供需状况采用工程与非工程措施对有限的水资源量进行科学合理的分配<sup>[1]</sup>。水资源优化配置作为水资源可持续利用和管理的重要手段,对社会经济、资源、生态环境的协调发展具有重要的意义。水资源配置是典型的多目标优化,涉及到人口、资源、社会经济以及生态环境等多方面的因素<sup>[2]</sup>。国际上对水资源进行优化配置研究最初源自20世纪40年代Masse提出的水库优化调度问题<sup>[3]</sup>。经过几十年的发展,水资源优化配置理论有了长足的发展,一些方法:如线性优化方法、二次规划、动态规划、多目标规划、随机规划等相继应用于水资源优化配置<sup>[4-6]</sup>。从研究对象的空间规模上,也由最初的

水库优化调度研究,扩展到不同规模的区域水资源优化配置研究<sup>[7-9]</sup>。水资源配置系统是一个规模庞大、结构复杂、功能综合、影响因素众多的大系统,具有多目标、多属性、多阶段、非线性等特点<sup>[10]</sup>,传统的优化方法难以获得系统的全局最优解。1975年, Holland提出的遗传算法具有自适应、并行搜索和全局优化等特点<sup>[11]</sup>。随后,不断有学者对其进行应用和改进<sup>[12-14]</sup>。其中,第二代非支配排序遗传算法(NSGA-Ⅱ)因其良好的收敛性和稳定性,已成为当前多目标优化问题主流的解决方法之一。目前,该方法在机械控制、化工、电力等领域有许多应用<sup>[15-17]</sup>,但在水资源系统优化方面应用很少。

本文尝试将NSGA-Ⅱ方法应用于陕西浐灞河

流域水资源多目标优化配置问题,探讨该方法在区域水资源优化配置中的适用性,以期在复杂系统下水资源优化配置问题提供新的解决途径。

## 1 优化配置模型及求解

### 1.1 目标函数

当前,水资源优化配置更注重社会经济、资源、生态环境的协调发展,因此,以区域经济、社会和生态的综合效益最大作为优化配置目标,即为:

$$f(x) = \max \{f_1(x), f_2(x), f_3(x)\} \quad (1)$$

(1) 目标函数 1:以区域供水效益最大为目标:

$$\max f_1(x) = \max \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (b_{ij} - c_{ij}) x_{ij} \alpha_i \beta_j \quad (2)$$

式中:  $x_{ij}$  为供水水源  $i$  向用户  $j$  的供水量;  $b_{ij}$  为效益系数;  $c_{ij}$  为费用系数;  $\alpha_i$  为供水次序系数;  $\beta_j$  为用水公平系数;  $I$  为供水水源数目;  $J$  为用户数目。

(2) 目标函数 2:社会效益,以区域总缺水最小为目标:

$$\max f_2(x) = - \min \sum_{j=1}^J \left( \sum_{i=1}^I x_{ij} - D_j \right) \quad (3)$$

式中:  $D_j$  为  $j$  用户的需水量,  $\text{万 m}^3$ 。

(3) 目标函数 3:环境效益,以区域水污染综合指标(COD)排放量最小为目标:

$$\max f_3(x) = - \min \sum_{j=1}^J 0.01 d_j p_j \sum_{i=1}^I x_{ij} \quad (4)$$

式中:  $d_j$  为  $j$  用户单位废水中重要污染物因子的排放量,一般可用化学需氧量 COD 指标表示,  $\text{mg/L}$ ;  $p_j$  为  $j$  用户污染排放系数。

### 1.2 约束条件

主要考虑区域供水能力约束、供水水质约束以及用水系统需水量约束。

(1) 供水能力约束:供水量之和应小于可供水量:

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} \leq W_i \quad (5)$$

式中:  $W_i$  为  $i$  水源的可供水量。

(2) 用水系统需水能力约束:

$$L_j \leq \sum_{i=1}^I x_{ij} \leq H_j \quad (6)$$

式中:  $H_j$  和  $L_j$  分别为用户  $j$  需水量的上、下限。

(3) 供水水质约束:作为供水水源之一的中水(主要为雨水和污水回用水)不能作为生活用水和工业用水,一般用作生态景观用水。

(4) 变量非负约束:

$$x_{ij} \geq 0 \quad (7)$$

### 1.3 NSGA-II 优化方法

第二代非支配排序遗传算法是在非支配排序遗传算法(NSGA)基础上改进的一种全局优化算法。它通过引入快速非支配排序算法的精英策略,采用拥挤度和拥挤度比较算子,降低了算法的计算复杂度,使得优化问题的全局最优解集能均匀的扩展到整个解集域上,保证了种群的多样性<sup>[15]</sup>。相对于传统的多目标求解方法,如:加权法、约束法、理想点等,该方法不受初始值、目标权重等人为影响,基于快速无支配性排序算法强大的全局搜索能力能更有效的求得模型的全局最优解<sup>[17]</sup>。

本文基于 MATLAB 软件平台对研究区水资源优化配置模型的进行求解, NSGA-II 代码来自 MATLAB 官方网站 (<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/10429>)。在 MATLAB 平台下具体求解步骤如下:首先,建立各单目标及其约束条件的自定义函数文件;其次,根据各个单目标问题建立适应度函数及其约束条件;最后,按照 NSGA-II 函数格式进行求解即可。

## 2 模型应用

### 2.1 研究区概况

泾渭河流域位于西安市东部,东经  $109^{\circ}00' \sim 109^{\circ}47'$ ,北纬  $33^{\circ}50' \sim 34^{\circ}27'$ ,南到秦岭北麓,北至渭河,南北长 78 km,东西宽 50 km,流域面积 2 581  $\text{km}^2$ ,流域范围涉及西安市蓝田县、长安区、雁塔区、灞桥区 and 未央区,属渭河一级支流。流域多年平均降水量 770 mm,主要降雨集中于 7-9 月。泾渭河流域作为陕西省纺织工业、国防制造业和汽车工业的重要基地,区域水资源量十分短缺,地表水质污染严重,工农业以及生活用水矛盾突出,严重影响了区域经济社会的可持续发展。

### 2.2 模型参数确定

根据泾渭河流域规划,规划水平年供水水源主要有地表水、地下水和中水 3 类水源,需水用户主要包括生活用水、工业用水、农业用水和生态用水。水资源优化配置模型参数设置如下:

(1) 供水次序系数。目前,流域供水以地下水为主,占总供水量的 57.3%,地下水超采严重。因而,规划水平年应加大地表水的开发,减少地下水开采,同时,积极利用中水。受中水水质限制,供水水源次序为地表水、地下水和中水。参考陕西省其它流域水资源配置相关研究<sup>[18]</sup>,3 类水源供水次序系

数设置为:0.5、0.4、0.1。

(2)用水公平系数。根据当前西安市用水结构特点<sup>[19]</sup>以及各用水户对水体水质要求的差异制定各水源用水公平系数。浐灞河峪口以上人口较少,水质较好,峪口以下为人口聚集区,河流接纳大量污水排放,水质较差。因此,地表水主要作为工业用水和农业用水。生活用水、工业用水、农业用水和生态用水的用水公平系数设置为:0.1、0.3、0.5、0.1;流域地下水水质较好,主要作为居民生活用水和工业用水,各用户(次序同前)用水公平系数设置为:0.7、0.2、0.1、0.0;作为雨水和污水回用的中水水质不能满足居民生活用水和工业用水要求,主要作为农业用水和生态用水,各用户用水公平系数设置为:0.0、0.0、0.3、0.7。

(3)效益系数和费用系数。工、农业效益系数根据其各自产业用水量 and 总产值确定;生活用水和生态用水效益一般难以量化,但与流域居民的生活息息相关,效益系数应赋予较大值<sup>[18]</sup>。据此,制定生活、工业、农业和生态用水效益系数为:0.05、0.02、0.003、0.05 万元/m<sup>3</sup>。参考流域水费标准制定生活、工业、农业和生态用水费用系数分别为:1.4、1.7、0.5、2.0 元/m<sup>3</sup>。

(4)污水排放系数。根据中国城市排水工程规划规范和浐灞河流域排污现状,确定生活、工业、农业和环境排放的污水中 COD 浓度分别为 200、100、20、60 mg/L;污水排放系数分别为 0.6、0.2、0.1、0.1。

### 3 水资源优化配置结果

本文基于第二代非支配排序遗传算法(NSGA-Ⅱ)对浐灞河流域水资源优化配置模型进行求解,从解集中选择最后的优化配置方案,配置结果和目标值见表 1、表 2。

由表 1、表 2 可知,通过模型求解,实现了区域水资源的合理配置。各规划水平年居民生活用水首先得到充分保证,其次满足工业用水和生态用水的需要,在供水不足的情况下,水分缺口主要集中在节水潜力最大的农业灌溉用水,这为灌溉制度的优化和节水灌溉设施的发展提供了基础。通过表 1、表 2 可知,浐灞河流域用水结构发生改变,各水源用途更加明确,形成了以地表供水为主,地下供水为辅,中水供水为补充水源的合理用水结构,同时,在满足社会、经济、环境要求的前提下发挥了水资源综合效益。

## 4 结论与讨论

水资源优化配置的多目标性、多层次、多关联、

| 表 1 浐灞河流域水资源配置结果 |     |         |      |      |       |      | 万 m <sup>3</sup> |
|------------------|-----|---------|------|------|-------|------|------------------|
| 水平年              | 保证率 | 供需状况    | 生活用水 | 工业用水 | 农业用水  | 生态用水 | 合计               |
| 2015             | 50% | 需水量     | 3854 | 7335 | 13557 | 1245 | 25991            |
|                  |     | 地表水     | 1698 | 4251 | 8740  | 885  | 15574            |
|                  |     | 地下水     | 2156 | 3084 | 4293  | 0    | 9533             |
|                  |     | 中水      | 0    | 0    | 524   | 360  | 884              |
|                  |     | 缺水量     | 0    | 0    | 0     | 0    | 0                |
|                  |     | 75% 需水量 | 3854 | 7375 | 16057 | 1338 | 28624            |
|                  | 75% | 地表水     | 1829 | 4021 | 6253  | 518  | 12621            |
|                  |     | 地下水     | 2025 | 3155 | 4228  | 0    | 9408             |
|                  |     | 中水      | 0    | 0    | 224   | 620  | 884              |
|                  |     | 缺水量     | 0    | 199  | 5352  | 200  | 5751             |
| 2020             | 50% | 需水量     | 4569 | 9036 | 11626 | 2528 | 27759            |
|                  |     | 地表水     | 1923 | 5367 | 7880  | 1231 | 16401            |
|                  |     | 地下水     | 2646 | 3669 | 1873  | 0    | 8188             |
|                  |     | 中水      | 0    | 0    | 1273  | 1258 | 2531             |
|                  |     | 缺水量     | 0    | 0    | 600   | 39   | 639              |
|                  |     | 75% 需水量 | 4569 | 9036 | 14337 | 2694 | 30636            |
|                  | 75% | 地表水     | 2017 | 5361 | 5773  | 868  | 14019            |
|                  |     | 地下水     | 2552 | 3428 | 1951  | 0    | 7931             |
|                  |     | 中水      | 0    | 0    | 827   | 1704 | 2531             |
|                  |     | 缺水量     | 0    | 247  | 5786  | 122  | 6155             |

| 表 2 浐灞河流域水资源配置目标值 |     |       |       |       | 亿元, 万 m <sup>3</sup> , t |
|-------------------|-----|-------|-------|-------|--------------------------|
| 水平年               | 保证率 | $f_1$ | $f_2$ | $f_3$ |                          |
| 2015              | 50% | 105.1 | 0     | 41258 |                          |
|                   | 75% | 101.7 | 5751  | 40688 |                          |
| 2020              | 50% | 167.4 | 639   | 44146 |                          |
|                   | 75% | 158.9 | 6155  | 43538 |                          |

非线性等特点,传统的优化方法求解此类问题往往易陷入局部最优解。此外,传统的多目标优化求解方法对是按照某种策略将多目标问题转换为单目标问题再求解,结果很大程度上受初始值和权重系数等人为因素的影响。本文对第二代非支配排序遗传算法(NSGA-Ⅱ)功能和特点进行了介绍,以浐灞河流域为例探讨该方法在区域水资源优化配置中的适用性,结果表明,该方法得出的水资源优化配置结果合理、可行。

#### 参考文献:

[1] 游进军,甘泓,王浩.水资源配置模型研究现状与展望[J].水资源与水工程学报,2005,16(3):1-5.

- [2] 王宏伟,张鑫,邱俊楠,等.基于多目标遗传算法的西宁市水资源优化配置研究[J].水土保持通报,2012,32(2):150-153.
- [3] 任高珊,李援农,吴冠宇,等.多目标遗传算法优化配置水资源研究[J].水资源与水工程学报,2009,20(4):58-61.
- [4] 赵得军.开封市水资源优化配置研究[D].武汉:武汉大学,2004:3-5.
- [5] 张成凤.基于遗传算法的榆林市水资源优化配置的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2008:5-8.
- [6] 赵丹,邵东国,刘丙军.灌区水资源优化配置方法及应用[J].农业工程学报,2004,20(4):69-73.
- [7] 任政,郑旭荣,夏明华,等.玛纳斯河流域水资源优化配置模型研究[J].水资源与水工程学报,2005,16(3):33-36.
- [8] 苏丹,费良军,杨晓茹.陕西省引汉济渭工程受水区水资源优化配置研究[J].水资源与水工程学报,2008,19(4):46-49.
- [9] 张俊栋.环渤海经济圈四点一带水资源安全保障战略研究[J].水资源与水工程学报,2010,21(2):167-169+173.
- [10] 尤祥瑜,谢新民,孙仕军,等.我国水资源配置模型研究现状与展望[J].中国水利水电科学研究院学报,2004,2(2):131-140.
- [11] John H Holland. Adaptation in natural and artificial systems[M]. Ann Arbor, MI, The University of Michigan Press,1975:131-142.
- [12] 黄伟.基于自适应遗传算法的水资源优化配置研究[J].人民黄河,2010,32(8):62-65.
- [13] Kalyanmoy Deb, Amrit Pratap, Sameer Agarwa. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(2): 182-197.
- [14] Suman B, Kumar P. A survey of simulated annealing as a tool for single and multi-objective optimization[J]. Journal of the Operational Research Society, 2006, 57(10): 1143-1160.
- [15] 张超勇,董星,王晓娟,等.基于改进非支配排序遗传算法的多目标柔性作业车间调度[J].机械工程学报,2010,46(11):156-164.
- [16] 俞辉,王超,李丽娟,等.基于非支配排序遗传算法的乙苯脱氢工艺条件优化[J].化工学报,2012,63(9):2771-2776.
- [17] 刘烽,游海,丁一钧,等.基于NSGA2算法的混合流水车间多目标调度问题研究[J].电脑编程技巧与维护,2012,27(24):86-87.
- [18] 雷霄.基于多目标规划的杨凌示范区水资源优化配置[J].水资源与水工程学报,2009,20(4):96-100+103.
- [19] 张静,秦公伟.西安市用水结构变化及驱动力分析[J].水资源保护,2012,28(4):87-90+94.