

遗传算法和粒子群算法求解渠系多目标优化模型

褚宏业,王莹,文俊,李依耘,杨鑫

(云南农业大学水利学院,昆明 650201)

摘要:目前高原灌区灌溉用水管理相对落后,渠系渗漏损失较大、渠道闸门运行调度不合理等问题十分突出。因此,开展渠系工作制度优化的研究,对缓解灌区用水供需矛盾有着重要意义。考虑不同时刻各配水渠道流量标准差最小和各配水渠道平均日渗漏损失最小两个目标函数,以配水连续性和灌溉可供水量作为约束条件,建立渠系工作制度多目标优化模型。以云南省蜻蛉河灌区为例,采用遗传算法和粒子群算法进行优化求解。结果表明,遗传算法和粒子群算法都可以解决渠系工作制度优化问题,对各渠道闸门开关时间进行优化,能够满足灌区需求,从而减少渠系渗漏损失,达到节约灌溉用水量的目的。两种算法相比,粒子群算法运算速度更快,优化闸门运行调度更合理。

关键词:高原灌区;渠系工作制度;遗传算法;粒子群算法;多目标

中图分类号:S274.2 **文献标识码:**A

Genetic Algorithm and PSO Algorithm for Solving Canal System Multiobjective Optimization Model

CHU Hong-ye, WANG Ying, WEN Jun, LI Yi-yun, YANG Xin

(Faculty of Water Conservancy, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: Currently irrigation water management is relatively backward plateau, irrigation district. A larger canal system seepage loss, the channel floodgate operation scheduling problem are very unreasonable. Therefore, this paper considers channels of different moments each with water flow rate standard differential and each with a minimum average daily water seepage channels of minimal loss. Continuity to water distribution and irrigation available water supply as constraints, to establish channel system of work, multiobjective optimization model. Qingling River irrigation in Yunnan, for example, genetic algorithm and particle swarm optimization algorithm optimization are used to solve problem. The results show that, genetic algorithm and particle swarm optimization can solve canal system of work optimization problems. Floodgate for each channel of switching times is optimized and can meet the needs of irrigation district, thereby reducing canal system seepage losses, and saving water consumption for irrigation purposes. Compared to the two algorithms, PSO algorithm computing faster, optimize floodgate operation scheduling more reasonable.

Key words: plateau irrigation district; channel system of work; genetic algorithms; PSO algorithm; multiobjective

云南省人均供水量、有效灌溉面积、有效灌溉程度等指标

均远低于全国平均水平,经济也处于全国较落后的地位^[1]。云南高原灌区灌溉用水管理也较经济发达地区落后。开展渠系工作制度优化的研究,可以提高灌区水资源的利用率,有效解决云南省灌溉用水相对落后的问题。渠系优化配水是通过各级渠道的配水水量、流量和配水次序的合理安排,减少整个渠系的弃水和水量损失^[2]。

本研究在王莹等^[3]建立的以方差最小和总渗漏损失最小为目标函数的渠系工作制度多目标优化模型的基础上进行了改进。方差和变量的量纲不同,不容易对比。将方差改为标准差,因为标准差和变量同量纲,比方差更清楚直观;总的渗漏损

收稿日期:2014-11-10

基金项目:国家自然科学基金项目(51349010);国家重点实验室开放基金项目(2012490311);云南省教育厅基金项目(2012Y373);国家科技支撑计划项目(2012BAD40B00)。

作者简介:褚宏业(1990-),男,硕士研究生,从事节水灌溉理论与结构力学的研究。E-mail:446536925@qq.com。

通讯作者:王莹(1982-),女,博士,讲师,从事节水灌溉理论与灌区水管理研究。E-mail:ying.wang2002@gmail.com。

失最小不确切, 轮期改变后不能直观看出每天的渗漏损失。将总的渗漏损失最小改为轮期内每天的渗漏损失最小, 并用经验公式估算输水损失水量, 更加准确^[4]。

遗传算法有良好的全局搜索能力, 但编程比较复杂、参数的选择大多依靠经验^[5]。而粒子群算法简单, 但对一些优化问题处理不佳, 容易陷入局部最优, 不能保证得到最优解^[6]。用遗传算法^[7-9]和粒子群算法^[10]分别求解, 可以减少单一算法陷入最优解的缺陷。同时, 通过两种算法的对比, 为渠系工作制度优化模型的求解提供算法的借鉴, 从而达到减少渠系运行时间、节约灌溉用水量、提高灌区配水效率以及提高水资源利用率的目的。

1 渠系优化模型

在满足各渠道配水连续性和灌溉可供水量约束的条件下, 以各渠道流量差异系数最小和平均每天流量渗漏损失最小作为目标函数、各渠道灌水结束时间为决策变量建立渠系多目标优化模型。

1.1 目标函数

(1) 各配水渠道流量差异系数最小, 即标准差最小。

$$\min Z_1 = \min \sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{i=1}^T [Q_m - \overline{Q_n}]^2} \quad i = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

式中: Z_1 为轮灌期内各时刻净流量的标准差, m^3/s ; T 为轮灌周期, d ; $\overline{Q_n}$ 为轮灌期内各时刻净流量的均值, m^3/s ; Q_m 为第 i 时刻各渠道净配水流量, m^3/s ; i 为渠道编号。

$$Q_m = \sum_{i=1}^N q_i f_i(x) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

式中: q_i 为第 i 个渠道的净配水流量, m^3/s ; N 为渠道的个数; $f_i(x)$ 为描述轮灌期内渠道连续配水状态的连续函数。

如果 i 大于灌水开始时间小于灌水结束时间, $f_i(x) = 1$; 否则, $f_i(x) = 0$ 。

$$f_i(x) = \begin{cases} 0, & i \leq t_{0i} \\ 1, & t_{0i} < i \leq t_{2i} \\ 0, & i > t_{2i} \end{cases} \quad (3)$$

式中: t_{0i} 为灌水开始时间, d ; t_{2i} 为灌水结束时间, d 。

(2) 各配水渠道平均每天流量渗漏损失水量最小。

$$\min Z_2 = \min \frac{\sum_{i=1}^N W_i}{T} = \min \frac{\sum_{i=1}^N 60 \times 60 t_{1i} Q'_{li}}{T} \quad (4)$$

$$\sigma_i = \frac{A_i}{100 Q_m^m} \quad (5)$$

$$Q'_{li} = \gamma \beta_i Q_{li} = \gamma \beta_i \sigma_i L_i Q_m \quad (6)$$

$$t_{1i} = \frac{667 \times 10^4 h s_i}{3 600 \times 24 Q_m} \quad (7)$$

式中: Q'_{li} 为第 i 段渠道采取防渗措施后的渗漏损失流量, m^3/s ; W_i 为第 i 段渠道损失水量, m^3 ; t_{1i} 为第 i 段渠道灌溉时间, d ; h 为灌水深度, m ; s_i 为第 i 段渠道灌溉面积, hm^2 ; σ_i 为第 i 段渠道输水损失系数; A_i 为第 i 段渠床土壤透水系数; m_i 为第 i 段渠床土壤透水指数; Q_m 为第 i 段渠道净流量, m^3/s ; Q_{li} 为第 i 段

渠道输水损失流量, m^3/s ; L_i 为第 i 段渠道长度, km ; β_i 为第 i 段渠道采取防渗措施后渠床渗漏水量的折减系数; γ 为地下水顶托修正系数。

将式(6)代入式(4)得:

$$\min Z_2 = \min \frac{\sum_{i=1}^N W_i}{T} = \min \frac{\sum_{i=1}^N 60 \times 60 t_{1i} Q'_{li}}{T} = \min \frac{\sum_{i=1}^N 3 600 t_{1i} \gamma \beta_i \sigma_i L_i Q_m}{T} \quad (8)$$

1.2 约束条件

(1) 配水连续性约束: 各渠道灌水时间在轮灌周期内, 在一个配水周期中渠道配水过程不间断。

$$0 \leq t_{0i} \leq T \quad i = 1, 2, \dots, T \quad (9)$$

$$t_{2i} \leq T \quad i = 1, 2, \dots, T \quad (10)$$

$$t_{0i} + t_{1i} = t_{2i} \quad i = 1, 2, \dots, T \quad (11)$$

(2) 灌溉可供水量约束: 各级渠道的配水量应小于水库可供水量。

$$\sum_{i=1}^N 3 600 t_{1i} Q_m \leq W \quad (12)$$

式中: W 为水库可供水量, m^3 。

1.3 决策变量

每个渠道的灌水结束时间 t_{2i} 。

2 运行实例

蜻蛉河大型灌区位于云南省楚雄彝族自治州中西部金沙江二级支流蜻蛉河沿河两岸, 见图 1 和图 2。灌区地理位置北纬 $25^\circ 28' \sim 25^\circ 45'$, 东经 $101^\circ 05' \sim 101^\circ 10'$, 范围涉及姚安、大姚两县的 7 个乡镇, 117 个村委会(社区), 总人口 30.5 万人, 其中农业人口 26.6 万人。灌区土地面积 $1 828.28 \text{ km}^2$, 总耕地面积 $22 486.7 \text{ hm}^2$, 有效灌溉面积 $20 066.7 \text{ hm}^2$, 其中自流灌溉面积 $17 933.3 \text{ hm}^2$, 提水灌溉面积 $2 180 \text{ hm}^2$ 。灌区内灌溉、输水干、支渠渠系渗漏严重, 采用浆砌石衬砌, 有限的水资源得不到充分利用, 严重制约着灌区经济社会发展。具体工程概况见表 1。整个灌区分为两个片区, 第一片灌区渠道编号从 1~9, 第二片灌区渠道编号从 10~19。



图 1 蜻蛉河灌区位置示意图

Fig. 1 Qingling River Irrigation location schematic

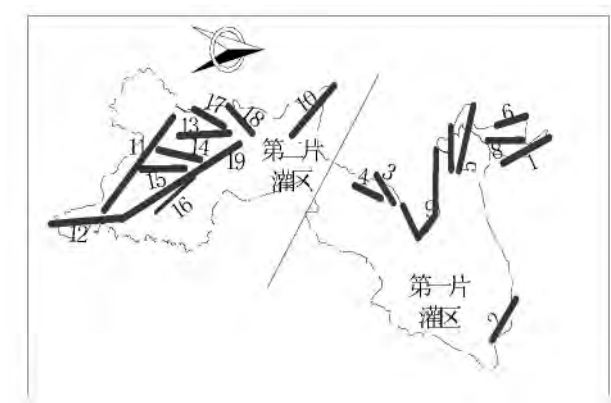


图 2 蜻蛉河灌区片区示意图

Fig. 2 Qingling River Irrigation Area schematic

表 1 蜻蛉河灌区渠道模型参数表

Tab. 1 Qingling River Irrigation channel model parameters table

渠道 编号	渠道名称	渠道设计	长度/ km	灌溉面积/ hm ²
		流量/ (m ³ ·s ⁻¹)		
1	大罗古干渠	1.20	7.00	466.67
2	三棵木干渠	1.10	9.20	446.67
3	将陆排灌干渠	3.00	8.40	260.00
4	钟秀干渠	1.00	4.00	386.67
5	芦川干渠	1.80	7.50	680.00
6	大古衙干渠	4.60	5.20	193.33
7	官坝干渠	10.60	7.80	286.67
8	新街干渠	7.60	8.30	520.00
9	大村干渠	1.18	10.50	473.33
10	七街排灌干渠	29.00	9.10	380.00
11	蜻蛉沟干渠	2.50	33.40	673.33
12	仁和排灌干渠	37.00	8.25	306.67
13	洋派东支 2	0.85	2.80	326.67
14	洋派东支 3	0.90	3.00	346.67
15	洋派东支 4	0.70	2.50	273.33
16	洋派东支 5	0.65	2.50	260.00
17	洋派西支 2	0.80	3.00	300.00
18	洋派西支 3	0.75	2.70	346.67
19	中运河排灌渠	23.00	30.00	1 040.00

3 模型求解

(1)参数设定。各渠道没有地下水托影响,采用浆砌石衬砌β取0.15;灌区是重黏壤土A取1.3,m取0.35;渠系水利用系数取0.9,Q_需取0.9倍的Q₀进行计算。根据经验,遗传算法的个体数目取20,种群数目取10;粒子群算法的种群规模取100。分别调大进化次数使得最优值变化稳定,遗传算法取60;粒子群算法取100。遗传算法加入代沟,根据经验取0.8。在允许的范围内不断试算,得出交叉概率0.7~0.9和变异概率0.001~0.05。粒子速度范围根据时间调节,取-5~5(见表3)。

表 2 遗传算法的参数设定

Tab. 2 Genetic algorithm parameter settings

个体 数目	种群 数目	进化 次数	代沟	交叉概率	变异概率
20	10	60	0.8	[0.7,0.9]	[0.001,0.05]

表 3 粒子群算法的参数设定

Tab. 3 PSO algorithm parameter settings

种群规模	进化次数	粒子速度范围
100	100	[-5,5]

(2)结果分析。通过两种方法的对比可以看出,遗传算法和粒子群算法优化后整个灌区灌溉时间相同,见表4。遗传算法计算第一片灌区灌溉需要耗时22d,粒子群算法计算第一片灌区灌溉仅需要耗时14d。第二片灌区两种方法计算出的灌溉时间相同,都需要耗时整个轮期。通过对比可以看出粒子群算法更加方便灌区管理,节省人力物力。

以第二片区为例,遗传算法和粒子群算法优化后得到的渗漏损失均为176 138 m³,从2008—2012年,年平均渗漏损失为227 912 m³,减少了22%。两种方法优化后轮期均为25d,现行灌区轮期为36d,缩短了约30%。满足灌溉的需求下,准确计算出每条渠道闸门开关时间。灌区管理局可以根据实际情况,自行开关闸门以满足灌溉需要。

表 4 两种算法求解灌水时间

Tab. 4 Two algorithms for solving irrigation time

渠道 编号	灌水量/ m ³	遗传算法/d		粒子群算法/d		灌水 时间/ d
		灌水开 始时间	灌水结 束时间	灌水开 始时间	灌水结 束时间	
1	933 800	4	15	11	22	11
2	893 780	12	23	14	25	11
3	520 260	6	9	12	15	3
4	773 720	6	16	12	22	10
5	1 360 680	5	15	14	24	10
6	386 860	10	12	16	18	2
7	573 620	24	25	20	21	1
8	1 040 520	13	15	12	14	2
9	947 140	6	17	14	25	11
10	760 380	16	17	3	4	1
11	1 347 340	18	25	4	11	7
12	613 640	4	5	24	25	1
13	653 660	5	15	7	17	10
14	693 680	6	16	9	19	10
15	546 940	4	15	14	25	11
16	520 260	6	17	4	15	11
17	600 300	5	15	13	23	10
18	693 680	6	18	13	25	12
19	2 081 040	1	3	1	3	2

(下转第 17 页)

关键生育期需水,在确保产量增长的情况下,减少作物灌水次数和灌水量。

4 结 语

运用参与式工具定性定量地对内蒙古河套灌区种植业现状中存在的限制节水灌溉技术适宜性的问题进行了深入的讨论和分析,通过问题矩阵排序得到了现存关键问题,采用问题因果关系分析诸问题间的因果关系,最后结合 SWOT 分析清晰了解灌区内部现状及外部形势并提出相应对策。表明了参与式工具在进行一定区域内现状调查、问题分析、策略选择时的有效合理性。

内蒙古河套灌区节水型种植结构调整主要存在节水意识淡薄、土地盐碱化情况严重、耕地规模化程度差、农业收入比例不协调、节水灌溉技术认识不足、灌溉用水效率低等问题,可通过 WO 战略,加快土地流转,完善灌溉工程系统,提高灌溉技术水平来解决。

综上所述,节水灌溉技术的推广应用要全面了解研究区域现状,摸清当地农户对调整的心理状况及顾虑因素,最终建立符合当地实情的节水灌溉技术体系,合理引进及推广节水灌溉技术,提高水资源利用综合效益,实现灌区种植业向节水、增效、可持续方向发展。 □

参考文献:

- [1] 操信春,吴普特,王玉宝,等.中国灌区水分生产率及其时空差异分析[J].农业工程学报,2012,28(13):1-7.
- [2] 黄季焜,Scott Rozelle.技术进步和农业生产发展的原动力:水稻生产力增长的分析[J].农业技术经济,1993,(6):21-29.
- [3] 吴景社,康绍忠,王景雷.节水灌溉综合效应评价指标的选取与分级研究[J].灌溉排水学报,2004,23(5):17-19.
- [4] 刘宇,黄季焜,王金霞.影响农业节水技术采用的决定因素——基于中国10个省的实证研究[J].节水灌溉,2009,(10):1-5.
- [5] 国亮,侯军歧.农业节水灌溉技术扩散过程中的影响因素分析[J].西安电子科技大学学报(社会科学版),2011,21(1):50-55.

- [6] 张庆华,白玉慧,倪红珍.节水灌溉方式的优化选择[J].水利学报,2002,(1):47-51.
- [7] Ezatollah Karami. Appropriateness of farmers' adoption of irrigation methods: The application of the AHP model[J]. Agricultural Systems, 2006,87(1):101-119.
- [8] 翟治芬,王兰英,孙敏章,等.基于 AHP 与 Rough Set 的农业节水技术综合评价.生态学报,2012,32(3):931-941.
- [9] 卢玉邦,郭龙珠,郎景波.综合评价方法在节水灌溉方式选择中的应用[J].农业工程学报,2006,22(2):33-36.
- [10] 邵光成,张展雨,刘娜,等.投影寻踪分类模型在膜下滴灌模式评价中的应用[J].水利学报,2007,38(8):944-947.
- [11] 王婧,逢焕成,任天志,等.基层农民节水意识与节水技术采用取向探讨[J].节水灌溉,2008,(7):33-36.
- [12] 黄玉祥,韩文霆,周龙,等.农户节水灌溉技术认知及其影响因素分析[J].农业工程学报,2012,28(18):113-120.
- [13] 刘红梅.农户采用节水灌溉技术激励机制的研究[J].中国水利,2006,(6):33-35.
- [14] 刘静,吴普特,王玉宝,等.河套灌区粮食水足迹与虚拟水净输出时空演变[J].排灌机械工程学,2014,32(5):435-440.
- [15] 甄霖,谢高地,杨丽.基于参与式社区评估法的泾河流域景观管理问题分析[J].中国人口资源与环境,2007,17(3):129-133.
- [16] 王学雄,周琼.小流域参与式土地利用规划探讨[J].水土保持研究,2006,13(6):295-297.
- [17] 廖玉静,宋长春,郭跃东,等.基于 PRA 方法的社区居民对湿地生态系统稳定性及退耕政策的认知分析[J].自然资源学报,2009,24(6):1041-1048.
- [18] 甄霖.“问题树分析法”——区域发展研究的有效分析方法[J].科研管理,2000,21(4):103-107.
- [19] 曹连海,吴普特,赵西宁,等.内蒙古河套灌区粮食生产灰水足迹评价[J].农业工程学报,2014,30(1):63-72.
- [20] 朱慧,张新焕,焦广辉,等.基于 PRA 的新疆三工河流域农户土地利用差异研究[J].干旱区资源与环境,2012,(6):90-95.
- [21] 谢良生,罗茂婵,李吉跃,等.城市绿地节水灌溉的 SWOT 分析[J].北京林业大学学报,2006,28(S1):107-110.

(上接第 11 页)

4 结 语

(1)渠系工作制度多目标优化模型可以较好地解决灌区渠系工作制度优化的问题,优化后的渠系工作制度可准确控制闸门开关时间和减少渠系渗漏损失。模型具有普遍性和适用性。

(2)遗传算法和粒子群算法都适用于本渠系优化模型,但粒子群算法比遗传算法运算速度快、优化结果更合理。 □

参考文献:

- [1] 李如丹,张跃彬,刘少春,等.云南蔗区小型水利设施建设效益分析[J].西南农业学报,2012,(6):2316-2320.
- [2] 张智韬,刘俊民,陈俊英,等.基于 RS、GIS 和蚁群算法的多目标渠系配水优化[J].农业机械学报,2010,(11):72-77.
- [3] 王莹.基于空间决策支持系统的灌区灌溉用水优化配置[D].南

京:河海大学,2011:37-47.

- [4] Dorigo M, Blum C. Ant colony optimization theory: a survey[J]. Theoretical Computer Science, 2005,344(2/3):243-278.
- [5] 水勇.遗传算法的研究与应用[J].软件,2014,35(3):107.
- [6] 黄文秀.粒子群优化算法的发展研究[J].软件,2014,35(4):73-77.
- [7] 张志政,王毅,矫亚涛.管道灌溉流量控制模型研究[J].节水灌溉,2009,(1):41-43.
- [8] 尤文坚,叶雪英.粒子群和遗传算法在农业工程中的应用[J].农机化研究,2013,(1):209-212.
- [9] 赵文举,马孝义,张兴建,等.基于模拟退火遗传算法的渠系配水优化编组模型研究[J].水力发电学报,2009,(5):210-214.
- [10] 张国华,张展雨,邵光成,等.基于粒子群优化算法的灌溉渠道配水优化模型研究[J].水利学报,2006,37(8):1004-1008.