

遗传算法在大伙房跨流域引水工程优化调度中的应用

王国利 梁国华 杨春霞 姜莉莉

(大连理工大学土木水利学院 辽宁 大连 116024)

摘要 在大伙房水库跨流域调水工程规划成果的基础上,重点研究遗传算法在制定优化调水方案中的应用。结合调水工程实际情况建立了优化调水模型,然后用遗传算法对该优化模型进行求解,并解决了求解过程中遗传算法计算各环节的问题,得到了优化方案。与传统的长系列调节计算结果相比,在相同供水指标和保证率条件下,优化调度方案引水少、弃水也少,更优先地利用了当地(受水流域)的水资源。

关键词 跨流域引水工程 遗传算法 优化调度 大伙房水库

中图分类号 :TV68 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2009)S1-0004-03

我国水资源短缺且水资源的时空分布与用水需求严重不匹配,使得水资源已经成为制约我国社会、经济可持续发展的关键性因素。为解决这一矛盾,我国已经和正在建设多个大型跨流域调水工程,这些工程的建设和运行为解决我国区域水资源短缺问题提供了前所未有的机遇^[1-2]。

跨流域调水工程不仅投资巨大,而且是一个多流域、多地区、多目标的复杂系统^[3-5],这 2 个方面都对跨流域调水决策提出了更高的要求。而跨流域调水决策是否科学,决定了跨流域调水工程运行的安全性与经济性,是调水工程能否得以充分发挥作用的关键^[6]。

为指导实时调水决策,调水工程的规划阶段会制定受水水库的调度图,并且有 2 种主要的调节计算方法:长系列法和动态规划法。前者利用径流的统计特性,以历史径流资料为基本输入进行调节计算,通过试算得到相对优化的计算结果;后者为常用的优化方法,基本原理是最优化决策序列,从当前状态出发,使面临时段的效益和预留期的效益之和最大。动态规划方法产生的“维数灾”问题曾经是其实际应用的主要障碍,这一问题随着计算机技术的发展而成为过去。

遗传算法是一种借鉴生物界自然选择原理和自然遗传进化机制发展起来的全局自适应搜索算法。与传统的以梯度为基础的优化算法相比,该方法无

需使用梯度,计算过程对函数性态的依赖性较小,具有适应性广、鲁棒性好、适于并行计算等优点^[7-8]。笔者尝试将遗传算法用于跨流域引水工程的优化调节计算,较详细地介绍了计算过程。通过与传统方法的计算结果相比较,在相同的供水指标和保证率条件下,根据遗传算法制定的优化调度方案引水少、弃水也少,更优先地利用了当地的水资源。而优先利用当地水资源,尽量少引水,正是衡量跨流域调水工程运行好坏的重要指标^[9]。

1 工程概况

据统计,辽宁中心城市群(包括沈阳、抚顺、鞍山、本溪、辽阳、盘锦、营口)地区所在的辽浑太流域,承担着辽宁中部城市的工业、城市生活和农业用水等供水任务,但当地水资源贫乏,且开发利用程度已达 81.9%,是我国资源性严重缺水地区之一。相比之下,辽宁省东部的水资源丰富且利用率仅为 9.39%,具备向外调水的良好条件。为缓解辽浑太地区水资源供需矛盾,优化配置该地区的水资源,已经建设了大伙房跨流域输水工程^[10]。

引水工程由周边水资源丰富且利用率低的流域,经输水隧洞自流水至新宾县境内的苏子河后,汇入大伙房水库,再经大伙房水库向辽宁中部地区的抚顺、沈阳、本溪、辽阳、鞍山、营口等六市提供城市生活和工业用水,工程设计引水流量为 70 m³/s。

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划(2006BAB14B05)

作者简介:王国利(1964—),男,辽宁辽中人,副教授,博士,从事水文学与水资源研究。E-mail:zwanggl@dlut.edu.cn

根据现状水平年大伙房水库兴利调度任务和运行调度方式设计和复合大伙房水库供水调度规划,确定引水工程实施后的兴利调度原则为农业保证率75%、工业保证率98%以上。采用大伙房水库1935~2004年69个调节年的实际径流资料 and 各部门的设计用水资料,以旬为时段,分别采用2种方法进行调节计算。一是用传统的长系列法进行调节计算,按照工农业和城市供水保证率制定,试算确定工农业限制供水线、工农业加大供水线以及调水限制线,绘制出引水工程实施后大伙房水库的兴利调度图;二是采用遗传算法,经优化计算得到水库的兴利调度图,并分析2种方法计算结果的合理性。

2 优化调度模型

优先利用受水流域的水资源,尽可能少引水,不仅在经济上合理,更是水资源合理配置的基本原则。因此,建立如下优化调度模型。

目标函数:受水流域的年引水量最少,即

$$\min Q_y = \min \sum_{i=1}^N Q_{y,i} \quad (1)$$

- 约束条件如下:
- 引水流量约束:小于工程的最大引水能力 $Q_{y,\max}$
 - 水库水位约束:

$$\begin{cases} \text{汛期 } Z_{\text{死}} < Z_i < Z_{\text{汛}} \\ \text{非汛期 } Z_{\text{死}} < Z_i < Z_{\text{兴}} \end{cases}$$
 - 水量平衡约束: $V_{i+1} = V_i + Q_{\text{in},i} + Q_{y,i} + Q_{\text{fyin},i} - Q_{\text{suse},i} - Q_{\text{ind},i} - Q_{\text{agr},i} - Q_{\text{los},i}$
 - 工业供水约束: $Q_{\text{ind},\min} \leq Q_{\text{ind},i} \leq Q_{\text{ind},\max}$
 - 农业供水约束: $Q_{\text{agr},\min} \leq Q_{\text{agr},i} \leq Q_{\text{agr},\max}$

式中: $Z_{\text{死}}$ 为水库死水位; Z_i 为第 i 时段水库水位; $Z_{\text{汛}}$ 为水库汛限水位; $Z_{\text{兴}}$ 为水库兴利蓄水位; V_i 为第 i 时段水库库容; $Q_{\text{in},i}$ 为第 i 时段水库天然来水量; $Q_{y,i}$ 为第 i 时段引水量; $Q_{\text{fyin},i}$ 为第 i 时段富尔江引水量注入大伙房水库水量; $Q_{\text{suse},i}$ 为第 i 时段大伙房水库上游规划用水量; $Q_{\text{ind},i}$ 为第 i 时段工业供水量; $Q_{\text{agr},i}$ 为第 i 时段农业供水量; $Q_{\text{los},i}$ 为第 i 时段蒸发、渗漏损失水量; $Q_{\text{ind},\max}$ 为第 i 时段工业最大供水量; $Q_{\text{ind},\min}$ 为第 i 时段工业最小供水量; $Q_{\text{agr},\max}$ 为第 i 时段农业最大供水量; $Q_{\text{agr},\min}$ 为第 i 时段农业最大供水量; N 为时段数。

3 遗传算法设计

遗传算法是把问题空间的每一个可能的解表示成一个“个体”,由若干个这样的个体串组成一个群体即“种群”,该种群被置于问题特定的环境中,根据预定的目标函数对每个个体进行评估,给出个体适应度,在进行遗传操作过程中,以适应度大小为“自

然选择”的基础,决定其生存或淘汰。开始时,个体是随机产生的,由于进化过程中本着“适者生存”原则,致使后代个体明显优于上一代,即保证种群逐步朝着更优解方向进化。

遗传算法在很多领域得到了应用,但尚未见用于跨流域调水决策的工程实例。笔者结合跨流域调水优化决策的工程实例,研究和探索该方法的实际应用,具体步骤如下:

- a. 遗传算法编码:将实际问题的解表示为染色体的数字串,采用浮点数对时段引水量 Q_i 进行编码。
- b. 种群初始化:为保证种群的可行性,在编码范围内随机生成一个染色体 $(Q_1, Q_2, \dots, Q_L)$,用水量平衡约束进行检验,其含义是在引水后时段末的水位要满足汛限水位等约束条件。
- c. 适应度函数的确定:用适应度函数评价染色体的优劣,并在此基础上进行各种遗传操作。本模型中目标函数为年被补偿流域引水量最小,则适应度函数表达式为

$$F(X) = C_{\max} - \sum_{i=1}^N Q_{y,i} \quad (2)$$

式中: $C_{\max}$ 为适当的相对比较大的数; $Q_{y,i}$ 为 i 时段引水量。

- d. 遗传算子设计:
 - ①选择运算:采用比例选择,也叫“轮盘赌”选择;
 - ②交叉运算:采用算术交叉,即由2个个体的线性组合而产生出2个新的个体;
 - ③变异运算:采用非均匀变异,即对原有基因值作一随机扰动,以扰动后的结果作为变异后的新基因值。

- e. 参数的自适应调整:采用文献[2]提出的精英选择策略,根据文献,取 $P_{c1} = 0.9$, $P_{c2} = 0.6$, $P_{m1} = 0.1$, $P_{m2} = 0.001$ 。

4 遗传算法计算及结果分析

采用遗传算法对上述优化模型进行求解。输入资料与长系列法相同,采用1935~2004年69个调节年的径流和各需水资料,以旬为时段进行计算,从汛限水位开始起调。为使优化计算成果更具实用性,计算中将优化调度与长系列法相结合,首先优化计算出第1年的年时段引水量分配,同时把第1年的末水位作为第2年初水位,再进行第2年的引水优化调度,依此逐年优化计算。

在编制优化计算程序时,为解决进化过程中产生的部分破坏约束条件的个体,采用下述方法进行处理:

- a. 根据兴利调度图,如果时段初水位超过了引水限制水位,则该时段不引水。

表 1 遗传算法与长系列法的计算结果比较

计算方法	天然来水量/ 10 ⁶ m ³	引水量/ 10 ⁶ m ³	供水量/ 10 ⁶ m ³	城市供水 量/10 ⁶ m ³	城市供水 保证率/%	农业供水 量/10 ⁶ m ³	农业供水 保证率/%	总缺水量/ 10 ⁶ m ³	工业缺水 量/10 ⁶ m ³	农业缺水 量/10 ⁶ m ³	弃水量/ 10 ⁶ m ³	系列年 数/a
遗传算法	1 509.0	1 564.4	2 847.2	2 368.2	100	479	75	93.0	0	93.0	128.5	69
长系列法	1 509.0	1 646.7	2 847.2	2 368.2	100	93.0	75	93.0	0	93.0	210.8	69

b. 若时段末水位降低到死水位 ,则时段引水量在零和工程引水能力范围之内随机抬高到某一值 ,使得时段末水位不会低于死水位 ,这样可以减少破坏段。

c. 若时段末水位超过了汛限水位或正常蓄水位 ,则时段引水量在零和工程引水能力范围之内随机降低到某一值 ,使得时段末水位不会高于汛限水位或正常蓄水位 ,这样可以使时段引水量仍然是可行解。

d. 若当前时段产生弃水 ,并且弃水量大于时段来水量和时段总用水量之差时(即时段中既引水又弃水)时段末水位在时段末最高水位和时段末水位范围之间随机抬高到某一值。这样处理可以令时段引水量减小 ,从而达到少弃水的目的。

e. 若时段产生弃水 ,并且时段水位未达到时段最高水位时 ,时段末水位在时段末最高水位和时段末水位范围之间随机抬高到某一值。这样处理可以令时段弃水减少或不弃水 ,从而达到优先利用受水流域水资源的目的。

由于遗传算法是一种以随机理论模仿生物进化的搜索方法 ,进化相同代数 ,其每次计算结果并不一定相同 ,因此 根据上述计算步骤 ,对大伙房水库进行了多次模拟迭代 ,选择较好的调度结果。遗传算法的计算结果及其与传统的长系列调节结果的比较见表 1。

对比 2 种计算结果可以看出 ,较之长系列计算方法 ,遗传算法的计算结果得到一定的优化 ,在保持工业与城市生活用水和农业用水保证率相同的条件下 ,优化调度方案实现了少弃水、少引水的目的 ,更优选地利用了受水流域的水资源。

5 结 语

优化的调度方案对跨流域调水工程的高效运行十分重要 ,也是工程规划设计阶段的重要工作内容。笔者以大伙房水库的跨流域调水工程为背景 ,研究了遗传算法在制定优化跨流域调水方案时的应用。应用中 ,密切结合工程实际建立了优化调度模型 ,并逐步解决了用遗传算法优化计算过程中各环节的问题 ,得到了较为优化的计算结果。与传统的长系列调节计算相比 ,优化的调度方案引水少、弃水也少 ,优先利用了当地水资源 ,对更合理地配置区域水资

源提供了更好的基础。

参考文献 :

[1] 王宏江 . 跨流域调水系统研究与实践 [J]. 中国水利 , 2004 (11) : 11-13.

[2] 朱尔明 . 对南水北调工程的基本认识 [J]. 中国水利 , 2000 (11) : 16-20.

[3] 刘国纬 . 关于中国南水北调的思考 [J]. 水科学进展 , 2000 , 11 (3) : 345-350.

[4] 刘国纬 , 张立锦 , 张建云 , 等 . 跨流域调水运行管理——中国南水北调东线工程实例研究 [M]. 北京 : 中国水利水电出版社 , 1995 : 2-10.

[5] 邵东国 . 跨流域调水工程规划调度决策理论与应用 [M]. 武汉 : 武汉大学出版社 , 2001 : 20-25.

[6] 王宏江 . 跨流域调水系统水资源综合管理研究 [D]. 南京 : 河海大学 , 2003 : 35-46.

[7] 李敏强 . 遗传算法的基本理论与应用 [M]. 北京 : 科学出版社 , 2002 : 46-58.

[8] MICHALEWICZ Z. Genetic Algorithm + Data Structure = Evolution Programs , 3rd edition [M]. New York : Stringer-Verlag , 1996.

[9] 董子敖 . 水库群调度与规划的优化理论与应用 [M]. 济南 : 山东科学技术出版社 , 1989 : 102-115.

[10] 辽宁省水利厅 . 辽宁省水资源评价成果报告 [R]. 沈阳 : 辽宁省水利厅 , 2005.

(收稿日期 2008-07-24 编辑 : 高建群)

· 简讯 ·

“ 第三届地下水科学与工程学术研讨会 ”
将在南京举行

“ 第三届地下水科学与工程学术研讨会 ” 将于 2009 年 10 月 30 日 ~ 11 月 1 日在南京举行。会议由中国水利学会地下水工程专业委员会、中国水力发电工程学会地质及勘探专业委员会、江苏省水利学会主办 , 河海大学承办。会议的主题是 “ 地下水与环境 ”。会议的议题有 : ① 人类活动与地下水 , 包括区域地下水开采与地面沉降、水利水电工程与地下水、城市建设与地下水、地下水污染预测与防治 ; ② 气候变化与地下水 , 包括气候变化对水资源影响、气候变化与干旱区地下水补给、地下水对气候变化的响应 ; ③ 地下水探测新技术 , 包括同位素测试技术、水文地质参数获取技术及其他新技术新方法。

(编辑部供稿)