

基于复杂适应系统理论的农业水资源优化配置

——以三江平原为例

李晨洋, 谢丹丹

(东北农业大学 水利与建筑学院, 哈尔滨 150030)

摘要:以对现有可利用的农业水资源进行优化配置为目的,从复杂适应系统理论的视角,研究其在农业水资源优化配置中的适用性,构建多层次的农业水资源配置复杂适应系统模型,并通过模型的求解预测三江平原灌区 2020 年的供需水情况,给予分析,结果表明,三江平原地区应该加强对地表水尤其是地表径流的合理开发利用,从而缓解地下水开采过度问题。研究表明,复杂适应系统理论应用在农业水资源优化配置中是可行的。

关键词:复杂适应理论; 农业水资源; 优化配置; 三江平原

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)05-0296-04

Optimal Allocation of Agricultural Water Resources Based on the Complex Adaptive System Theory

—A Case Study of the Sanjiang Plain

LI Chen-yang, XIE Dan-dan

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Based on the existing agricultural resources available to optimize the allocation for the purpose, and from the view of the complex adaptive system theory, this article is to study the applicability of agricultural water resources optimization allocation of agricultural water resources allocation, and construct the multi-level complex adaptive system model. Water demand and supply situation in 2020 irrigation area of Sanjiang plain was analyzed based on the model simulation. The results show that the plain area of Sanjiang should strengthen the surface water especially in the rational development and utilization of surface runoff, so as to resolve the problem of excessive exploitation of groundwater. The research shows that the complex adaptive system theory in agricultural water resources optimization allocation is feasible.

Key words: complex adaptive system theory; agricultural water resources; optimal allocation; Sanjiang plain

三江平原是黑龙江、松花江和乌苏里江汇流冲积形成的低地平原,是我国乃至世界沼泽湿地集中分布且面积最大的湿地区域。经过四次大规模开发后,三江平原已成为国家重要的商品粮基地,对于保障我国粮食安全做出了巨大贡献。随着社会经济的不断发展,人类对水资源的需求不断增加,水资源的合理利用成为解决水危机的关键。水资源是农业发展的重要物质基础,尤其是在水田灌区,更是无法替代的部分可再生资源。在三江平原有着丰富的水资源,但由于缺乏水资源控制性工程,地表水利用率较低,主要开采地下水来对水田进行灌溉,导致三江平原地下水位普遍下降。据统计,近十年来三江平原地下水

位平均下降 2~3 m,严重地区下降 3~5 m,而地表水利用率仅为 6%,过境水利用率仅为 24%^[1]。由此可以看出水资源匮乏有时候并不是真的缺少水资源,而是没有将可利用的水资源充分有效利用,因此对农业水资源的优化配置是实现水资源持续利用的有效途径之一。持续利用是可持续发展模式下对于可再生自然资源利用的专门术语,其含义是指将再生资源限制在其再生极限之内的开发利用。水资源持续利用强调的是水资源持久地利用,不仅要满足当代人的用水需求,而且又要为后代人继续利用创造条件,维持世世代代的持续利用^[2]。本文将引入在流域水资源和城市水资源优化配置中广泛应用的复杂适应理

论,对农业水资源的优化调度进行模型的建立,实现多源水的综合利用,从而达到实现灌区水资源可持续发展的目的。

1 复杂适应系统及其在水资源系统中的应用

复杂适应系统(Complex Adaptive Systems),简称 CAS 理论^[3-4],在 1994 年由 Holland 教授提出的。各主体在系统演变和发展过程中通过不断学习来改变自身行为,并且相互作用、相互协调、相互适应,从而形成的一个集适应性与复杂性于一体的整体系统,称之为复杂适应系统。其中主体是指系统的组成要素,具有学习能力的个体,可以根据系统环境的变化,适当调节自身,使之适应新的系统环境,例如在水资源配置中的供水者与用水者。

复杂适应系统具有如下特点^[5]:(1) 层次性。复杂适应系统具有分明的层次性,各层之间具有十分清晰的界限。(2) 独立性。层与层之间有相对独立性,主题主要是与同一层次的其他主体进行交互,层与层之没有直接的利益关系。(3) 个体具有智能性、适应性、主动性、并行性。系统中的各主体可以根据环境的变化,调节自身的状态,来适应环境,与其他个体进行协同、合作或竞争来实现利益最大化,并行性主要体现在个体是并行地对环境中的各种刺激做出反应,当主体的这种主动调整达到某种程度时,整个系统的结构和功能将发生改变。(4) 随机因素制约性。在复杂适应系统的模型里还可引进随机因素的作用,使它具有更强的描述和表达能力。

正是因为复杂适应系统具有以上特点,才使得广大的研究者对其的研究如火如荼,被广泛地应用于经济、管理、社会、水资源优化配置研究领域。例如,Nicholas 和 Robert 从复杂适应系统理论出发阐述了基于主体仿真对研究竞争市场过程和策略的意义,并提出企业若想在激烈的市场竞争中获胜,应该多方面发展企业灵活性^[6],Amin 和 Ballard 基于复杂适应系统理论,通过对电力市场的研究,得出主体(企业)能够动态地通过合作和竞争创造市场^[7]。陈蔚珠和陈禹^[8]运用 CAS 理论分析了企业信息系统项目中各种风险关系以及如何进行风险管理和应该采取的策略。Sansores^[9]成功应用复杂适应系统理论中基于主体的仿真模拟方法模拟社会模型。

此外,CAS 理论在城市水资源优化配置和流域水资源配置中得到了广泛的应用,赵建世等^[10]针对城市水资源配置和流域水资源配置特点,应用复杂适应系统理论的基本原理和方法构建了城市水资源配

置复杂适应系统模型,并分析了南水北调工程对受水区水资源配置的影响。

2 农业水资源配置复杂适应系统模型构建

通过对农业水资源配置的综合分析,根据复杂适应系统的基本观点,对农业水资源系统的基本要素(主体)进行理论分析。将灌区农业用水过程的主要个体概化为三类,即管理者、供水者和用水者。其中管理者是指政府机构、供水企业等管理部门;供水者是指取水、供水等水工程,如水库、水井、河流等;用水者包括水田和旱田用水户等。由于管理者和用水者具有主观性,因此为水资源系统中的主体,而供水者必须在管理者的控制下,被动的对水资源进行时空的重新分配,因此供水者为对象。结合现行管理体制,将上述灌区农业用水过程的主体和对象进一步分层,以不同层次的主体为基本单元,可以构建农业水资源配置复杂适应模型框架。

3 水资源配置复杂适应系统模型应用

根据对三江平原灌区水资源的综合分析,灌区农业水资源系统具有复杂适应系统的一般特征,因此用该理论的基本方法对三江平原灌区水资源配置进行建模和分析是可行的,因此本文就针对三江平原灌区水资源进行探究,并得到适合三江平原灌区的水资源优化配置方案。

3.1 三江平原灌区农业水资源配置复杂适应模型

结合三江平原水资源基本资料,将系统中主体进行抽象和分析,并结合上文所建立的农业水资源配置复杂适应系统模型,构建三江平原灌区农业水资源配置复杂适应系统模型,如图 1 所示。

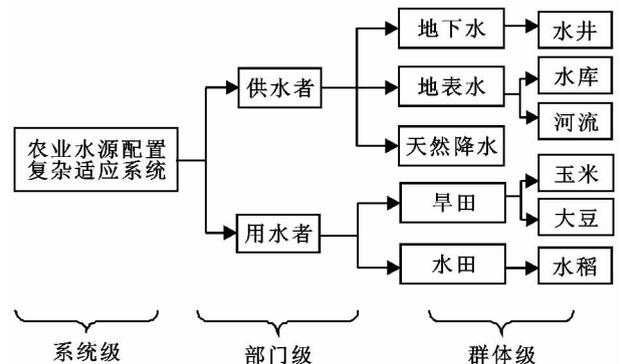


图 1 三江平原灌区农业水资源配置复杂适应系统模型框架

上述模型构架中的管理者是三江平原水资源管理的政府或供水机构,其主要行为是通过水价政策和管理制度等对用水量进行宏观调控,并且对三江平原灌区的供水过程进行调控,保障灌区持续发展。供水

者主要行为是在管理者的控制下为用水者提供水资源;用水者主要是以种植水稻为主的用水者,其主要的行为就是在谋求自身发展的需要和管理者调控的共同作用下调节自身的用水量及用水过程。这样通过这三个主体之间的相互协调、相互作用,就形成了三江平原灌区农业水资源配置的复杂适应系统模型。

3.2 模型各主体之间的通信

通过对三江平原灌区农业水资源复杂适应系统模型中主体目标行为及主体之间通信机制的分析,可得到主体职能及通信过程,如图2所示。各主体之间的联系和相互作用协调,就形成了三江平原农业水资源配置复杂适应系统模型的动态通信机制,同时这种动态通信机制也维系着各主体之间的相互协调作用。

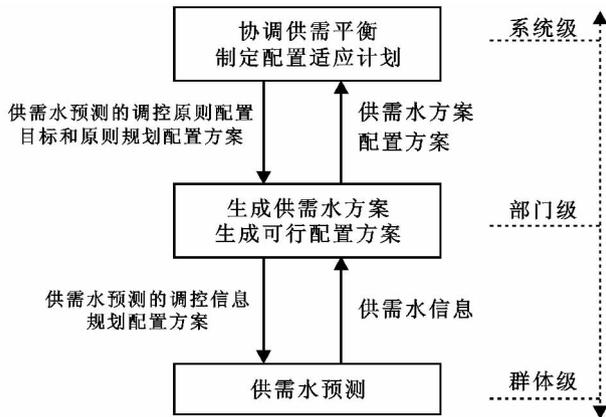


图2 主体职能及通信过程示意图

各群体级用水主体分别进行供需水预测,然后将预测成果汇总至部门级用水主体,由部门级生成供需水方案、生成可行配置方案,将配置方案传递至系统级主体,最终制定配置适应方案,由系统级部门制定配置适应计划,然后将水资源规划配置方案传达给部门级,最终将配置方案传递给群体级的用水者,用水者按照配置方案进行合理用水。这种动态通信机制,不仅为三江平原灌区农业水资源的合理配置提供动态调控的平台,而且为三江平原灌区农业水资源复杂适应系统能够良好运行提供保障,解决了三江平原灌区因地表水资源利用率低、地下水资源开采过度所造成的水资源缺乏问题。这种动态通信机制,是以往水资源优化配置中所缺少的,是水资源配置复杂适应系统模型的特别之处。

3.3 模型的目标函数及约束条件

三江平原灌区农业水资源配置复杂适应系统模型必须考虑在一定经济发展目标下建立,因此经济目标和环境目标可以综合表示为在满足社会经济发展和生态需水的前提下,水资源开发成本最小,即系统的总缺水量最小和供水成本最小。综上所述可以将

水资源配置适应的目标函数表示为:

$$\begin{cases} \min f_1(X) = \sum_{j=1}^3 [R_j - \sum_{i=1}^4 x_{ij}] \lambda_j \\ \min f_2(X) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 k_i x_{ij} \end{cases} \quad (1)$$

式中: x_{ij} ——第*i*类供水主体供给第*j*类用水主体的水量, $i=1,2,3,4$ (供水主体分别是水井、水库、河流和天然降水), $j=1,2,3$ (用水主体是玉米、大豆和水稻); R_j ——第*j*类用水主体需水量; λ_j ——*j*类用水主体的用水次序系数,由二元比较模糊决策理论来确定,这里取用水次序系数为0.330; k_i ——第*i*类供水主体的供水成本。由于可供水量在不同保证率下差异较大,因此模型应按不同水平年进行分析,结合三江平原水资源的实际情况,在75%的保证率下对水量进行配置。

主要约束条件为:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^3 x_{ij} \leq X_i \\ R_{j\min} \leq \sum_{i=1}^4 x_{ij} \leq R_{j\max} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\sum_{j=1}^3 x_{ij}$ ——*i*个供水主体供给的总水量; X_i ——第*i*个水源的供水能力; $\sum_{i=1}^4 x_{ij}$ ——供给*j*类用水主体的总水量; $R_{j\min}, R_{j\max}$ ——第*j*类用水主体的最小需水量和最大需水量。

3.4 三江平原水资源供需平衡过程

结合三江平原地区历年资料以及其它规划,本文将各群体级用水主体需水情况做了初步的预测,然后将预测成果汇总至部门级用水主体,由部门级生成三江平原灌区农业用水2020年的需水基本方案和强化节水方案(表1)。将表1信息传递至系统级主体,完成三江平原灌区农业用水2020年的需水情景分析。

表1 2020年需水情景方案 亿 m^3

方案	水田	旱田	合计
基本情景	152.88	3.16	156.00
强化节水情景	140.34	2.86	143.20

各群体级供水主体分别进行供水预测,然后将预测成果汇总至部门级供水主体,可得如表2所示的三江平原灌区农业水2020年可供水量。

表2 2020年可供水情景方案 亿 m^3

方案	地下水	地表径流	过境水	合计
基本情景	55.96	21.00	48.00	124.96
强化节水情景	51.37	19.27	44.06	114.70

4 结论

本文以三江平原灌区农业水资源配置为例,阐述了复杂适应系统理论在农业用水过程中的应用,以水

资源配置为主线,构建了适合于三江平原灌区的多层次的农业水资源配置复杂适应系统模型,并给该模型配置了动态通信机制,增进了各主体之间的相互联系和相互协调。从而实现三江平原灌区水资源合理分配、合理使用的最终目标。本文对2020年三江平原灌区农业供需水做了预测,由水资源配置研究得到的2020年的需水量已经超过了供水量,但是地下水已经超采,所以应该把技术放在水资源控制工程的建设上。充分利用地表水,预计2020年过境地表水的利用率为48%,地表径流也只才开发了18%,还有很大的开采空间。

基于复杂适应理论的水资源配置模型的一大特点就是它通过动态通信机制将各级主体紧密联系在一起,这是以往传统的水资源配置模型所没有的。也正是这种通信机制使得该模型具有较好的层次性、系统性和整体性,可以为以后水资源配置管理决策支持系统的结构设计提供一定的参考。

参考文献:

[1] 王韶华,苏轶醒,刘昆鹏.三江平原水资源的合理开发利用[J].

中国农村水利水电,2005(7):26-28.

[2] 傅春,冯尚友.水资源持续利用(生态水利)原理的探讨[J].水科学进展.2000(4):436-440.

[3] 霍兰.隐秩序:适应性造就复杂性[M].上海:上海科技教育出版社,2000.

[4] 谭跃进,邓宏钟.复杂适应系统理论及其应用研究[J].系统工程,2001,19(5):1-6.

[5] 张永安,李晨光.复杂适应系统应用领域研究展望[J].管理评论,2010(5):121-128.

[6] Tay N S P, Lusch R F. Agent-based modeling of ambidextrous organizations: Virtualizing competitive strategy[J]. Intelligent Systems, 2007, 22(5): 50-57.

[7] Massoud A, Dan B. Defining new markets for intelligent agents[J]. IT Professional, 2000, 2(4): 29-35.

[8] 陈蔚珠,陈禹.以复杂适应系统理论探析企业信息系统项目风险[J].复杂系统与复杂性科学,2004,1(2): 80-86.

[9] Sansores C, Pavón J. Agent Based Simulation for Social Systems: From Modeling to Implementation[M]. Current Topics in Artificial Intelligence, Springer Berlin Heidelberg, 2006: 79-88.

[10] 赵建世,王忠静,翁文斌.水资源复杂适应配置系统的理论与模型[J].地理学报,2002,57(6):639-647.

(上接第295页)

[8] 李树德,岳升阳,徐海鹏.森林植被与泥石流活动[J].水土保持研究,2001,8(2):30-31.

[9] 田昭一,徐海鹏.森林破坏和泥石流形成关系的探讨[C]//中国科学院兰州冰川冻土研究所.泥石流学术讨论会兰州会议文集.成都:四川科学技术出版社,1986.

[10] 魏东岚,李永化.青藏高原东缘第四纪泥石流沉积物地球化学分析[J].水土保持研究,2012,19(6):292-298.

[11] 李德基,吕儒仁,唐邦型,等.四川甘洛利子依达沟泥石流及其防治[C]//全国泥石流防治经验交流会文集编审组.全国泥石流防治经验交流会论文集.重庆:科学技术文献出版社重庆分社,1982.

[12] 高克昌,孟国才,韦方强,等.德宏“7·5”特大滑坡泥石流

流灾害分析及其对策[J].防灾减灾工程学报,2005,25(3):251-257.

[13] 施蕾蕾,陈宁生,杨成林,等.娃娃沟流域泥石流活动与植被关系探讨[J].水土保持研究,2008,15(3):96-99.

[14] 李德基.泥石流减灾理论与实践[M].北京:科学出版社,1997.

[15] 陈晓清,崔棚,韦方强.良好植被区泥石流防治初探[J].山地学报,2006,24(3):333-339.

[16] 田连权.亚热带山区泥石流源地的片流与泥沙[J].铁道工程学报,1986,12(4):115-119.

[17] 吴积善,康志成,田连权,等.云南蒋家沟泥石流观测研究[M].北京:科学出版社,1990.