

Research Methods and Trend Analysis of Optimal Allocation for Regional Water Resources

Li Cheng, Ping Jing

College of Urban and Environmental Science, Tianjin Normal University, Tianjin
Email: 282733827@qq.com, jingpingtj@163.com

Received: Jul. 20th, 2015; accepted: Aug. 8th, 2015; published: Aug. 11th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Serious water shortage and quality deterioration was caused by economic development and environmental pollution; the current water shortages became more and more worse, which hindered the sustainable development of regional society, economy and environment. In order to promote the sustainable use of water resources, optimize the allocation of water, research on water resource allocation has become an important research field. In this paper, water resource is selected as the research object; multi-objective optimization method was selected to analyze the system change; Finally, the analysis object, mathematical model and spatial model were selected as the research objects to be evaluated, the future development trend of research methods was proposed.

Keywords

Water Resources Optimal Allocation, Multi-Objective, Mathematical Model, Research Progress

区域水资源优化配置的研究方法及趋势分析

程 丽, 荆 平

天津师范大学, 城市与环境科学学院, 天津
Email: 282733827@qq.com, jingpingtj@163.com

收稿日期: 2015年7月20日; 录用日期: 2015年8月8日; 发布日期: 2015年8月11日

摘要

经济发展与环境污染导致水资源紧缺和水质严重恶化,目前水资源短缺现象越来越严重,阻碍区域社会、经济和环境的可持续发展。为促进水资源持续利用,对水资源的优化配置研究已成为研究的重要领域。本文以水资源为对象,对区域水资源的多目标优化配置方法进行系统分析,从分析对象、预测模型和空间模型对目前研究方法进行评价,提出区域水资源优化配置方法的发展趋势。

关键词

水资源优化配置, 多目标, 数学模型, 研究进展

1. 引言

水作为人类生存和经济发展不可缺少的资源,在促进社会进步中起到难以估量的作用,但我国水资源不仅空间分布不均而且年际降水也不均衡,这导致我国水资源极度短缺。随着城市人口增加和经济发展,对水资源的需求和开发程度逐年加大,但能够利用的水资源却不断减少,城市水资源供需矛盾突显。对水资源不适当和过度利用,会导致城市经济、社会和环境等方面的不协调。为实现水资源持续利用以及经济、社会和环境效益共赢的目标,构建水资源优化配置尤为重要。因此区域水资源高效的配置成为城市发展需要迫切解决的问题之一,必须采用科学的模型方法进行量化分析,实现区域水资源的优化配置和持续利用。

2. 水资源优化配置的对象

城市是人口高度密集的区域,城市缺水是目前城市面临的一个重要问题,建立节水型城市是未来发展趋势也是研究热点。积极寻找可利用的水源,充分利用任何形式的水资源是缓解城市用水压力大的必经之路。

城市水资源优化配置要充分考虑各部门各行业用水的实际情况,坚持可持续和公平原则,以新鲜水为水资源的分析对象,寻求合理的配置方案。如康卫东等(2011)通过对独山子区水资源利用状况研究,构建以工业、农业产值最大和费用最小的水资源多目标优化配置模型以及水资源耦合模型,分析获得合理的用水方案[1]。王宝红(2014)依据百色市用水现状,建立以缺水量最小和效益最大的水资源多目标优化配置模型,为解决城市用水供需矛盾提出科学建议[2]。李文忠等(2014)以焦作市为例,基于经济发展和水资源承载力的矛盾,建立以用户缺水程度最小的水资源单目标优化配置模型,利用3次平衡分析法对水资源配置分析,获取合理方案[3]。

雨水作为水资源不可缺少的组成部分,充分利用雨水可缓解区域缺水现状,将有利于区域生态环境建设。如高宏超等(2012)将中新天津生态城作为研究区域,结合水资源多目标优化配置方法,对城市雨水资源充分利用的综合效益进行评价[4]。续喆等(2013)依据天津市缺水现状、雨水资源重要性和目前利用存在的问题,指出未来对雨水资源利用的建议[5]。孙静愚等(2013)通过对崂山区的平原区雨水资源总量和潜力的估算,提出充分利用雨水的建议[6]。上述的这些研究,雨水作为可利用的重要水资源,参与区域水资源分配,为区域水资源综合利用提供了切实可行的指导意义。

充分合理利用再生水成为缓解城市严重缺水的新举措,在水资源实现配置和构建节水型城市中具有现实意义。如熊家晴等(2007)通过对可处理污水量和再生水用户用水潜力的分析,利用线性规划模型对宝

鸡市再生水资源进行优化配置[7]。许碧霞等(2007)以天津市为例,建立污水多目标分析模型,利用 Matlab 软件求解,得到污水资源合理配置的方案[8]。刘耀成等(2011)建立茅洲河流域再生水优化配置模型,采用 LINGO 软件求得最优解,并指出使用再生水将成为城市发展的战略选择[9]。这些研究拓宽了水资源的领域范围,将再生水的回收利用考虑到区域水资源的再分配中,对水资源的循环利用具有积极意义。

3. 水资源线性多目标优化配置

水资源高效利用必须以满足社会、经济和环境需要为前提,合理的水资源利用能减少浪费和污染,使水资源保护和经济发展协调一致[10]。水资源配置应遵循公平、高效和可持续的原则,应用科学合理的方法使水资源在空间、时间和行业之间实现有效分配,达到高效用水、节约用水的目的[11]。水资源配置涉及到经济、社会和环境之间的相互协调统一,所以多目标配置方法将有助于水资源有效管理和充分利用的实现。

水资源多目标优化配置模型由决策变量、目标函数和约束条件 3 部分组成。在配置模型中,决策变量通常包括生活、生态、农业、工业和第三产业用水等;目标函数包括经济效益最大、社会和环境效益最小等;约束条件主要考虑区域水质水源、供水能力、需水能力、输水能力、供需平衡以及变量非负等。多目标决策问题的一般数学模型为:

$$\begin{aligned} & \max(\min)[f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)] \\ & s.t. x \in X \\ & x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T, \\ & X = \{x | g_k(x) \leq 0, k = 1, 2, \dots, m\} \end{aligned}$$

在具体实施配置过程中,依据可持续发展原则,灵活选择研究区域,将所有可利用水资源均作为配置对象,非工程和工程措施在配置工作中兼可利用,以实现农业、工业、第三产业、生活和生态水资源可持续利用的目的[12]。由于水资源优化配置的方法具有灵活性,对各种约束条件和范围适应能力强,有助于学者在研究区域选出最佳的配置方案[13]。相关研究见表 1。

4. 水资源优化配置多目标模型的优化求解

建立数学模型,就是应用数学语言,简洁明了的将事物之间的数学关系表达出来。同时建立数学模型也是确保水资源有效管理和合理配置的科学方法之一。水资源是社会经济与环境系统中一个主要组成部分,其优化配置涉及到人口、社会、经济、环境和资源等方面,因此水资源配置是多目标多约束条件的模型。为了增强研究的科学性和合理性,目前部分学者采用构建多目标优化模型的方法,实现水资源与经济发展的过程目标,最后通过组合模型,实现区域水资源优化配置。学者在建模求解过程中常使用的算法有 Pareto 蚁群算法(PACA)、遗传算法(GA)和粒子群算法(PSO)。目前的研究现状见表 2。

水资源多目标优化配置不仅具有庞大的工作量,而且非常复杂,应用科学的求解方法能有效的获得水资源最合理的优化方案。多目标配置问题的优化实质是在多个约束条件下,利用不同的算法,使所得的结果更接近目标函数的最优解,而快速的收敛速度和精确度是不同算法所追求的目标。蚁群算法(PACA)、遗传算法(GA)和粒子群算法(PSO)这些方法在水资源优化配置模型求解过程中具有各自的特点、突出的优势以及自身的缺点(见表 3)。

寻求最优解是实现水资源多目标优化配置的目的,由表 3 可知, PACA、GA 和 PSO 这三种方法在具体应用中各有优缺点,为了避免在模型计算中使用单一方法出现的问题,确保求解算法的可行性,得到全局最优解,两种甚至多种方法组合,改善和提高算法性能,适应海量数据的高效应用。

Table 1. The application of multi-objective optimization allocation
表 1. 多目标优化配置应用

作者	年份	方法	研究对象	结论	不足
富飞[14]等	2011	改进的目标逼近法 宽容约束法	农八师石河 子市	构建水资源多目标优化配置模型, 根据优化结果提出建议	人为设定模型权重系 数的选取
杨玲[15]等	2012	动态规划方法	蜻蛉河灌区	构建以总效益最大的水资源单目标 递阶控制优化配置模型, 获得最优 作物灌溉制度和水量分配方案	若优化参数变化较大 时, 则研究数据需要 重新调整
田景环[11]等	2013	多目标线性规划的 两阶段算法	河南省中鹤 生态城	建立水资源多目标模糊优化配置模 型, 实现节约和高效率用水	数据初始值受人为影 响
陈妍彦[16]等	2014	Matlab 优化算法	江苏省	构建水资源多目标动态投入产出优 化模型, 得出各部门用水量, 分析 经济发展与用水之间的关系	模型计算中预测数据 和预测方法的准确性 需要检验
黄强[17]等	2015	仿真优化算法	塔里木河干 流流域	构建以缺水量最小的水资源单目标 优化配置模型, 为 2 个规划水平年 设置合理的配置方案	模型求解时, 供水系 数依据保证率的要求 而改变
胡新锁[18]等	2015	目标达到改进法	邯郸市	建立基于生态水网的水资源多目标 优化配置模型, 突出水质重要性, 提高中水利用率	模型中系数的确定人 为性较强
潘俊[19]等	2015	大系统总体优化法	凌源市城区	建立水资源多目标协调优化配置模 型, 符合区域协调发展内涵	目标函数系数选取存 在人为因素

Table 2. The method of calculation the multi-objective optimal allocation model
表 2. 多目标优化配置模型的求解方法

作者	年份	方法	研究对象	结论	不足
李涛涛[20]等	2012	粒子群优化算法	滦河流域	构建基于生态调度水资源多目标优 化配置模型, 为水量分配提供科学 算法	模型算法在其它流域 仍需要检验
苏明珍[21]等	2013	改进的遗传算法	滕州市	构建水资源优化配置的二级递阶模 型, 经多次计算结果合理	改进方法的适用性 需要验证
刘士明[22]等	2013	第二代非支配排序 遗传算法 (NSGA-II)	济灞河流域	为解决水资源优化配置提供科学算 法, 且计算结果可行	模型系数的设置参考 其它相关研究
岳剑飞[23]等	2013	改进的蚁群算法	太原市	构建区域水资源多目标优化配置模 型, 获取水资源优化方案	改进方法建立的模型 需检验其适用性
张伟[24]等	2014	粒子群优化(PSO)	徐州市	建立基于时空双维度多目标水资源 优化配置模型, 拓宽 PSO 应用领域	研究方法在应用领域 方面使用较少
褚宏业[25]等	2015	遗传算法 粒子群算法	蜻蛉河灌区	建立渠系工作制度多目标优化模 型, 优化闸门开关时间能降低渠系 渗漏损失	模型参数设定依据经 验而定

5. 基于 GIS 的水资源空间优化配置

随着水资源研究范围拓展, 为充分解决水资源的合理配置问题, GIS 技术辅助研究将会起到举足轻重的现实意义, 不仅为建立优化配置模型提供技术支持, 也将理论探讨延伸到实际应用之中, 确保水资源的管理和配置更加科学化[26]。如张智韬等(2010)通过 RS 技术获取宝鸡峡二支渠灌区基本信息, 建立效益最大和收入最高的水资源多目标优化配置模型, 通过蚁群算法(PACA)在 GIS 系统中求解, 获取斗渠

Table 3. Comparison of advantages and disadvantages of multi-objective optimal allocation method
表 3. 多目标优化配置方法优缺点对比

方法	特点	优点	缺点	适用条件
蚁群算法 (PACA)	PACA 是一种多目标蚁群算法, 是多目标、多约束水资源优化配置模型常用的算法之一	寻优性高、全局智能搜索、鲁棒性强、求解精度高、易于实现、通用性强、间接通讯、收敛速度快、稳健性强	搜索时间较长、搜索过程中可能会出现停滞现象	PACA 基于模拟蚁群觅食行为的优化算法, 适用于求解多目标优化问题
遗传算法 (GA)	GA 是一种智能优化算法, 已经被广泛应用到水资源多目标优化配置模型求解中	收敛性强、鲁棒性高、操作简单、通用性强、稳定性好、全局搜索能力强、快速找到全局最优解、避免早熟与锯齿问题	对 Pareto 表面形状或者连续性的敏感性较低、编程较复杂、参数选择多依靠经验	GA 借鉴生物界进化规律演化而来的优化算法, 适用于解决许多领域的多目标优化问题
粒子群算法 (PSO)	PSO 是基于群体的优化算法, 适合求解水资源多目标优化配置模型	收敛性快速、运算速度快、优化结果合理、算法简单	对参数有依赖性、搜索精度低、易陷入局部极小值	PSO 源于对鸟群捕食行为的进化算法, 适用于解决多种实际的多目标优化问题

最佳灌溉配水量, 但当水量不足时, 无法确保大田作物的灌溉[27]。侯景伟(2014)利用 RS 和 GPS 技术获取宁夏银北灌区基本信息, 建立以经济效益最大和运行费用最小的水资源多目标优化配置模型, 将改进的蚁群算法(PACA)在 GIS 平台上求解, 确保得到最优的灌、排水量和经济费用效益, 在空间上确保水资源合理配置的实现[28]。郭贝贝等(2014)基于 RS 和 GIS 获取黄土台塬区相关数据, 利用帕累托寻优原理构建以生产产量、边际效应和效益最优的水资源多目标优化配置模型, 通过 Matlab 和 LINGO 求解, 获得水资源空间配置最优方案和分布示意图[29]。

除了借助 GIS 技术构建水资源多目标优化配置模型以外, 以下研究是基于 GIS 技术构建的水资源单目标优化配置模型。如王莹等(2015)以澳大利亚马兰比季灌区为例, 基于 GIS 技术, 建立以灌区经济净效益最大的单目标用水量分布式优化模型, 用 Matlab 线性函数“linprog”求解, 结果表明优化后的方案更合理, 这种模型也适用于其他大型灌区[30]。王莹等(2015)基于 GIS 技术, 建立以灌区产量最大的单目标用水量分布式优化模型, 用 Matlab 非线性函数“fmincon”求解, 利用水量空间分布图更直观的展现优化结果[31]。这些研究将空间地域的特征考虑到区域水资源配置中, 能够增加优化结果的实际应用价值。水资源多目标优化配置模型与 GIS 技术相结合能够使水资源实现更加合理的配置目标, 为配置模型增加科学性, 确保得到水资源最理想的优化方案, 达到可视化的效果。

6. 水资源优化配置研究方法的发展趋势

水资源作为城市发展必不可少的资源, 其发挥的重要作用其他资源无可替代, 合理高效配置水资源成为区域节水的保障措施之一。有限资源发挥最大效益是优化配置水资源的目的, 加之水资源配置模型复杂性和多数据的特点, 增加了模型求解的难度, 因此 3S 技术和智能优化算法的耦合成为学者研究的热点, 如侯景伟等(2012)基于遥感技术(RS)获取研究地区的基本信息, 建立以实现社会、经济和生态环境效益最大的水资源多目标优化配置模型, 用蚁群算法(PACA)在栅格地图上求解, 并与遗传算法(GA)和 BP 神经网络算法(BP-ANN)对比, 结果表明蚁群算法(PACA)的收敛速度更快求解精度更高[32]。

水资源配置模型是一个结构复杂的动态模型, 随着科研的不断深入, 为增强水资源配置的实用性, 动态的预测模型将是未来研究水资源优化配置的潮流。如钟晨煜等(2013)以北京市为例, 利用灰色预测模型研究区域用水情况, 并建立以实现社会、经济生态和环境效益最大的水资源多目标优化配置模型, 用 Matlab 软件求解, 预测未来城市用水情况并确保水资源的科学配置[33]。姬卿伟等(2014)以乌鲁木齐市为例, 运用系统动力学方法, 建立以水资源利用和城市发展效益最大的水资源多目标优化配置模型, 对 5

种配置方案进行动态仿真模拟, 选出最合理的方案并预测城市未来用水状况[34]。赵建强等(2014)为了预测 2025 年中国各省的淡水需求量, 构建灰色神经网络组合模型, 并构建以供水净效益和生态环境最大、经济费用最小的水资源多目标优化配置模型, 依据大陆地区 10 个湖泊及水库的存水量制定向各省调配淡水资源方案[35]。这些研究揭示了区域水资源配置方法必须和动态预测模型相结合, 将成为今后水资源优化配置的研究热点及发展趋势。

7. 结论

为实现社会、经济、环境和资源的协调统一, 确保区域有限水资源发挥最大综合效益, 这是实施水资源配置的最终目的。在水资源综合利用的过程中, 大力发展第三产业, 鼓励和支持低耗水和高效益产业发展, 果断淘汰多耗水、低效益和污染严重的产业, 应积极的进行产业结构的合理调整。加大对重点行业和关键环节的节水力度, 加强用水管理, 推广节水器具。同时提高水价有利于一些高耗水企业进行节水改造, 减少总需水量, 促进水资源的优化配置。

此外, 在具体实施水资源的配置工作时, 必须运用数学模型对区域水资源的变化趋势进行分析预测, 提出模拟模型和 GIS 集成的研究方法, 合理运用各种数学模型和空间分析工具, 对区域水资源优化配置进行动态优化配置, 实现区域社会、经济、环境、资源和人口的和谐发展, 提高水资源的利用率, 从而取得良好的综合效益, 为我国区域水资源优化配置提供依据。

致 谢

本论文即将收尾, 从论文选题、构建思路框架、写作过程、参考文献阅读技巧及后期修改, 一直是在荆平老师悉心指点下完成, 荆老师一直给予我细心地教诲和指导, 及时给我提出许多建议并指正我写作的方向。在这里我要感谢我的指导老师, 荆老师严谨细致、一丝不苟的作风一直是我学习的榜样。在生活方面, 荆老师积极乐观的生活态度深深感染着我, 在与导师相处的日子里, 会让我在各方面都有进步。在此请接受我诚挚的谢意! 其次, 感谢我的父母在生活上给我关怀和支持, 你们是我坚强的后盾。感谢陪我一起走过的朋友们, 你们是我学习生涯中的宝贵财富。最后, 我对教育部人文社会科学研究规划基金和本文参考文献的作者们以及参与本文评审的专家, 致以最真诚的谢意!

基金项目

教育部人文社会科学研究规划基金(11YJA790067)。项目名称: 城市水资源的循环经济发展模式及动态经济调控机制研究。

参考文献 (References)

- [1] 康卫东, 谢文, 杨涛 (2011) 独山子地区水资源耦合模型与优化配置研究. *水文地质工程地质*, **38**, 22-29.
- [2] 王宝红 (2014) 百色市水资源规划优化配置模型探析. *水资源管理与应用*, **5**, 35-37.
- [3] 李文忠, 马志林, 张玉顺 (2014) 焦作市水资源的优化配置研究. *长江科学院院报*, **31**, 12-17.
- [4] 高宏超, 李迎霞, 张凯 (2012) 优化方法分析中新天津生态城雨水利用综合效益. *给水排水*, **38**, 17-21.
- [5] 续喆, 刘磊, 张晶晶 (2013) 天津市雨水资源化利用建议. *资源节约与环保*, **4**, 4-6.
- [6] 孙静愚, 田文君, 乔建民 (2013) 基于 GIS 的平原区雨水资源潜力估算与利用研究——以崂山区为例. *测绘与空间地理信息*, **36**, 76-79.
- [7] 熊家晴, 陈浩, 王晓昌 (2007) 宝鸡市污水再生利用潜力分析. *西安建筑科技大学学报(自然科学版)*, **39**, 51-56.
- [8] 许碧霞, 李兆江 (2007) 基于循环经济的城市污水多目标优化配置分析. *中国农村水利水电*, **6**, 20-23.
- [9] 刘耀成, 马晓明, 李杨 (2011) 茅洲河流域再生水的综合优化配置. *水资源保护*, **27**, 45-48.

- [10] 刘婧尧, 胡雨村, 金相哲 (2014) 基于系统动力学的天津市水资源可持续利用. *华中师范大学学报(自然科学版)*, **48**, 106-111.
- [11] 田景环, 刘林娟 (2013) 区域水资源多目标优化配置方法研究. *人民黄河*, **4**, 29-31.
- [12] 王化月, 张红侠 (2014) 水资源多目标优化配置模型及其应用. *吉林水利*, **6**, 41-43.
- [13] 王洪波, 王宏伟 (2007) 查哈阳灌区水资源多目标优化配置模型及其应用研究. *中国农村水利水电*, **7**, 47-50.
- [14] 富飞, 贾志峰, 朱红艳 (2011) 基于宽容约束的多目标水资源优化配置. *水资源与水工程学报*, **2**, 77-81.
- [15] 杨玲, 文俊, 李靖 (2012) 蜻蛉河大型灌区水资源优化配置模型. *云南农业大学学报*, **4**, 566-572.
- [16] 陈妍彦, 张玲玲 (2014) 水资源约束下的区域产业结构优化研究. *水资源与水工程学报*, **6**, 50-55.
- [17] 黄强, 赵冠南, 郭志辉 (2015) 塔里木河干流水资源优化配置研究. *水力发电学报*, **4**, 38-46.
- [18] 胡新锁, 邢威洲, 王玉梅 (2015) 邯郸市生态水网建设水源优化配置模型研究. *水资源研究*, **2**, 181-192.
- [19] 潘俊, 董健, 解立强 (2015) 基于区域协调发展的多水源复杂系统优化配置. *沈阳建筑大学学报(自然科学版)*, **3**, 562-568.
- [20] 李涛涛, 董增川, 王南 (2012) 基于生态调度的滦河流域多目标优化配置. *水电能源科学*, **7**, 58-61.
- [21] 苏明珍, 董增川, 张媛慧 (2013) 大系统优化技术与改进遗传算法在水资源优化配置中的应用研究. *中国农村水利水电*, **11**, 52-56.
- [22] 刘士明, 于丹 (2013) 基于第二代非支配排序遗传算法(NSGA-II)的水资源优化配置. *水资源与水工程学报*, **5**, 185-188.
- [23] 岳剑飞, 杨军耀, 张乾业 (2013) 基于改进蚁群算法的太原市受水区水资源优化配置. *水电能源科学*, **9**, 39-41.
- [24] 张伟, 聂锐, 王慧 (2014) 全生命周期视角下水资源多目标优化配置研究. *现代经济探讨*, **1**, 89-92.
- [25] 褚宏业, 王莹, 文俊 (2015) 遗传算法和粒子群算法求解渠系多目标优化模型. *中国农村水利水电*, **4**, 9-12.
- [26] 张海廷 (2013) GIS 在水文水资源领域中的应用研究. *华北水利水电学院学报*, **3**, 63-66.
- [27] 张智韬, 刘俊民, 陈俊英 (2010) 基于 RS、GIS 和蚁群算法的多目标渠系配水优化. *农业机械学报*, **11**, 72-78.
- [28] 侯景伟 (2014) 基于 Pareto 蚁群算法和 3S 技术的灌区水资源空间优化配置. *中国农村水利水电*, **3**, 166-169.
- [29] 郭贝贝, 杨绪红, 金晓斌 (2014) 基于多目标整形规划的黄土台塬区水资源空间优化配置研究. *资源科学*, **9**, 1789-1798.
- [30] 王莹, 彭世彰, 陈芸 (2015) 灌区灌溉用水量分布式优化模型及应用. *人民黄河*, **4**, 145-148.
- [31] 王莹, 彭世彰, 王龙 (2015) 月灌溉用水量分布式优化模型. *排灌机械工程学报*, **2**, 158-162.
- [32] 侯景伟, 孔云峰, 孙九林 (2012) Pareto 蚁群算法与遥感技术耦合的水资源优化配置. *控制理论与应用*, **9**, 1157-1162.
- [33] 钟晨煜, 胡慧婷 (2013) 基于灰色预测及多目标规划模型的水资源预测及优化配置. *四川理工学院学报(自然科学版)*, **5**, 90-95.
- [34] 姬卿伟, 孙建光 (2014) 绿洲城市水资源配置模拟和优化. *人民黄河*, **7**, 65-68.
- [35] 赵建强, 戴青松, 李浩然 (2014) 基于灰色神经网络与多目标优化的中国淡水资源预测与分配研究. *节水灌溉*, **10**, 33-35.