



基于分质供水的区域水资源配置

李 星¹, 杨 侃¹, 李春华²

(1. 河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098; 2. 江苏省水利厅, 南京 210029)

摘 要: 水资源的优化配置是提高水资源高效利用的一种有效途径, 基于水量的水资源配置无法体现水资源在水质方面的区别。

分质供水在我国已经起步, 但还没有广泛推广。因此建立基于水质的区域水资源优化配置模型, 并进行了实例应用研究。

关键词: 水资源配置; 分质供水; 水质系数; 配置模型

中图分类号: TV213.9 **文献标识码:** A

Allocation Model of Regional Water Resources in Water Supply in Different Quality

LI Xing¹, YANG Kan¹, LI Chun-hua²

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Optimal allocation of water resources is an effective method to improve the efficiency of using water resources, now water resources allocation in water quantity can not reflect the different water quality. Water supply in different quality in China is underway, but water supply in different quality has not been popularized. So the concept for water resources optimal allocation on the basis of supplying water in different quality was proposed, and an example has been applied.

Key words: water resources allocation; water supply in different quality; water quality coefficient; allocation model

随着经济的迅速发展,人口的急剧增加,水资源的供需矛盾日益突出,以资源匮乏为主要特征的水资源危机成为全球性问题,也成为严重制约我国经济社会可持续发展的因素。目前水质性缺水问题也十分突出,因此应在区域水资源合理配置中考虑水质因素,这样会更加合理利用各类水资源,缓解水资源危机。基于水资源水质的水量配置就是不仅考虑需水量,还考虑不同用户对水质需求的不同,把水质这一因素附加到供水水量这个系统中。

1 分质供水阐述

分质供水产生的条件主要有:①随着人们生活水平的提高,对城市供水的要求已从水量的满足提升到对水质和服务的关注上;②水资源稀缺性的出现,使得人们必须充分利用各种可以利用的水源,加强对水资源的优化配置,通过“优水优用”的办法来体现水资源价值的经济观^[1]。本文主要是针对水资源的优化配置方面的分质供水研究,分质供水是随

着社会经济的发展和人民生活水平的提高而出现的,是合理利用水资源要求的产物,是对城市不同用水需求的满足。单一的供水体制无法做到对水资源的合理配置和利用,分质供水可有效利用水资源和降低水处理成本。

1.1 分质供水可行性及供水模式

在上世纪 70~80 年代,分质供水就在欧美国家得到应用与发展,为建立分质供水提供了理论基础和实际经验,90 年代初分质供水技术先后在我国一些发达城市得到应用并在迅速发展中日趋成熟^[2]。分质供水主要涉及到管道分质供水系统,目前管网主要供水方式有独立式和终端式,而目前管道分质供水技术已相当成熟^[3]。

分质供水模式主要有以下 4 种:①集中处理、统一供应模式,单一管道供水;②集中处理、分质供水模式,双管道供水;③小区供应模式,小区集中净化饮用水;④用户分质供水模式,用户自行净化饮用水^[4]。本文是针对水资源的优化配置,供水模式是集中处理、分质供水模式,双管道。

1.2 分质供水中低水质水价及水量预测

制约低水质水价的因素,从宏观角度分析有以下几点^[5]:①工程造价成本;②企业运行成本;③企

收稿日期:2006-02-20

作者简介: 李 星(1980-),女,河南驻马店人,硕士研究生,主要从事水资源规划与管理方面研究;杨 侃(1965-),男,江苏南京人,教授,博士,硕士生导师,主要从事水资源规划与管理方面研究。

业效益,也就是国家对供水行业盈利的宏观控制范围;④社会经济发展程度,水价的制定要考虑居民的承受能力。可参考自来水的定价,根据国际标准,用水费占居民人均可支配收入的3%较为合理,当这一比例 $<1.5\%$ 时存在比较严重的浪费,达到6%时用户就会感受到水费的压力,因此,可以根据供需矛盾调节供水价格。

低质水主要是用于冲洗厕所、园林绿化、清洗车辆、喷洒道路及部分工业用水:①冲厕用水量预测。据有关调查资料,冲厕用水量占居民生活用水的32%左右,而居民生活用水量约占综合生活用水量的75%左右,因此居民冲厕用水量占综合生活用水量的24%左右。另外考虑饭店、机关、学校、公共浴室、餐厅等冲厕用水,则城镇冲厕用水量占城镇综合生活用水量的30%左右。由于实施中可能会有一定难度,低质水的供水比率也可再降低一些;②浇洒道路及绿化用水量预测。应尽可能节约优质水资源,其用水量应85%采用低品质水;③低品质工业生产用水量预测。低品质工业生产用水量主要是工业冷却水用水量,主要与工业产业结构有关,各地区应该根据产业结构情况预测。

2 区域水资源配置

2.1 水资源系统

水资源系统是一个复杂的大系统,它由社会经济系统,水资源系统和生态系统组成^[6]。三者之间的关系是:①生态环境系统和水资源系统是社会经济系统赖以存在和发展的物质基础,它们为社会经济的发展提供持续不断的自然资源和环境资源;②社会经济系统在发展的同时,可通过消耗资源和排放废物对生态环境和水资源进行污染破坏,降低它们的承载能力,又通过环境治理和水利投资对生态环境和水资源进行恢复补偿,以提高它们的承载能力;③水资源系统在社会经济系统和生态环境系统之间起纽带作用,是组成和影响生态环境的重要因子,又是自然和人工的复合系统,既靠流域水文循环过程产生其物质性;又靠水利工程施工实现其资源性^[7]。由于水资源同时具有自然和社会属性,优化配置必然涉及国家与地方等决策主体,涉及各个部门的利益,决策又要分近期水平年与远期水平年等决策时段。社会经济、生态环境等决策目标,也要考虑水文循环,工程投资风险,故水资源的优化配置是一个高度耦合的大系统求解问题。随着城市人口的增长和城市用地的扩展,水土资源利用规模将不断扩大,城市化进程必将遇到水土资源承载力的约束。如果忽视资源有限性、环境容量及生态过程等阈限

的制约,发展必将导致可持续发展水平降低,经济效益、社会效益和生态效益的统一^[8]。

2.2 水资源配置原则

合理配置是人们对于稀缺资源进行分配时的目标和愿望,力求使资源分配的总效益或利益最大。水资源与水环境已是一个不容忽视的问题,对于水资源配置也必须考虑水资源量与质,社会经济发展,生态环境,可持续发展等一系列问题。实现水资源的社会、经济、生态环境综合效益最大化^[9]。为此考虑水资源配置应遵循以下原则:

(1)效率原则。主要是指水资源的高效利用,为体现水的资源性,应进行水量控制,分质供水,合理制定水价。

(2)量与质的原则。主要是指在进行水资源配置的时候,既要考虑水资源量的需要,同时还要考虑质的要求。

(3)可持续发展原则。持续发展的一个重要含义是可持续性的存在,任何事物的可持续性是指它在时空上能永远连续下去。人类社会的可持续性包括3个相互联系不可分割的部分,即生态可持续性,经济可持续性和社会可持续性。水资源是生态经济系统的组成部分,服从生态和经济规律的支配,并为生态环境和社会经济服务。水资源可持续性的存在,主要是由自然界生态可持续性法则和水循环过程决定的^[10]。

(4)公平原则。主要是指发达地区和落后地区在进行水资源分配时保证公平公正的原则,促进各地区的平衡发展。

(5)平衡性原则。所谓平衡性就是:水资源配置时要考虑发达地区与相对落后地区的平衡发展;各用水部门之间的平衡用水;生态、经济、社会几个系统之间的平衡发展。

(6)生态环境原则。水资源配置要考虑生态环境保护、改善和修复的自然要求。

3 分质供水与区域水资源配置

3.1 分质供水与供水系统优化配置的必要性

随着工业的发展,水资源受到严重污染,工矿企业对自然河流湖泊的污染日趋严重,水质性缺水问题已日益成为突出的问题。区域水资源缺水一部分存在于过境水受到上游污染,本来过境水可以利用一部分,作为一种水源,但是水质的不达标使得区域水质性缺水。水的用途与水质的矛盾加大,水的不同用途对水质的要求差别很大,直接饮用的矿泉水、冲洗厕所、洗车业,喷洒道路用水及绿化使用的市政用水,这些用水可以用低品质水,完全可通过对废

水、污水的二次处理回用提供,这样不但可节省紧张的水资源,而且还能降低城市水处理负荷。还有工业用水,循环冷却用水对水质要求不高,而电子工业要求用高纯水等,对工业用水业可以施行分质供水。分质供水大大提高了水资源的利用率,是缓解水资源危机的一个有效途径。应该在市政规划设计阶段考虑在内,尽量避免改造工程这一后续工作。

3.2 区域水资源分质供水配置模型

为了充分发挥水资源的价值,提高水资源利用效率。在水资源配置中应考虑水的质与量,以下为基于分质供水的水资源配置模型。

水资源配置应考虑到经济发展的可持续性,生态环境的可持续性,社会发展的可持续性。区域水资源优化配置的目标是经济,生态环境,社会等多目标的综合效益最大。假设区域有 k 个子区, i 个水源(包括分质供水水源), j 个用户。其一般模型形式为

$$\text{Opt}[E(x), S(x), H(x)]$$

式中 x 为决策变量; $E(x)$ 、 $S(x)$ 、 $H(x)$ 分别为经济效益、社会效益、生态环境效益。

具体目标函数及表达式为:

目标 1: 区域供水净效益最大

$$\text{Max}E(x) = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \gamma_j^k \sum_{i=1}^I (b_{ij}^k - C_{ij}^k) x_{ij}^k \alpha_i^k w_k$$

式中 x_{ij}^k 为水源 i 向 k 子区 j 用户的供水量; b_{ij}^k 为水源 i 向 k 子区 j 用户的单位供水量效益系数; C_{ij}^k 为水源 i 向 k 子区 j 用户的单位供水量的费用系数; α_i^k 为水源 i 向 k 子区的供水次序系数; γ_j^k 为水源 i 向 k 子区的供水水质级别系数,此值代表分质供水费用折算系数。一般在 $0 \sim 1$ 之间,水质越好值越大; w_k 为 k 子区的权重系数。

目标 2: 区域供水系统总缺水程度最小化

$$\text{Min}S(x) = \sum_{k=1}^K \left[\sum_{j=1}^J [D_j^k - \sum_{i=1}^I x_{ij}^k] / D_j^k \right]$$

式中 D_j^k 为 k 子区 j 用户需水量 (10^4 m^3), 总缺水程度最小化, 社会各方面在用水方面趋于和谐, 因此以区域总缺水程度最小化作为社会效益目标的间接度量。

目标 3: 区域污染物排放量最小

$$\text{Min}H(x) = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J 0.01 d_j^k p_j^k \sum_{i=1}^I x_{ij}^k$$

式中 d_j^k 为 k 子区 j 用户单位废水排放量中重要污染因子的含量 (mg/L), 一般可用化学需氧量 COD 等水质指标表示; p_j^k 为 k 子区 j 用户污水排放系数。

约束条件:

(1) 水源可供水量约束: $\sum_{j=1}^J x_{ij}^k \leq G_i^k$, 式中 G_i^k 为水源 i 的可供水量。

(2) 水源输水能力约束: $x_{ij}^k \leq Q_i^k$, 式中 Q_i^k 为 k 子区 i 水源的最大输水能力。

(3) 用户需水能力约束: $D_{j, \min}^k \leq \sum_{i=1}^I x_{ij}^k \leq D_{j, \max}^k$, 式中 $D_{j, \min}^k$ 、 $D_{j, \max}^k$ 分别为 k 子区 j 用户最小、最大缺水量。

(4) 变量条件约束: $x_{ij}^k \geq 0$

3.3 模型求解方法

优化模型能够较严格地反映各类约束, 但是过多的决策因素又会导致“维数灾”使得模型难以求解。相对而言, 模拟模型便于结合实际。国外在水资源配置方面, 水资源模拟的软件开发处于领先优势, 开发的模型具有较高的应用价值^[12]。

区域多目标求解问题有直接算法和间接算法。直接算法研究成果较少, 间接算法的研究成果较多, 间接算法是根据实际背景和具体情况将多目标转换成单目标, 本文采用实用的权系数法将多目标转换成单目标。但是单目标的求解也是一个复杂的大系统求解问题, 本文采用大系统分解协调模拟模型。首先是大系统分解协调技术, 对整个水资源系统分解协调成为几个相互联系又相互独立的子系统。子系统应用模拟模型求解, 切合实际。按地理特征和行政区域划分把研究区分为 K 个子区, 在研究区内有 i 个水源 j 个用水部门。总水量在各子区之间的分配为第一层次, 子区的水量在各个用水部门的分配为第二层次, 水量在部门中各行业中的分配用模拟计算。建立的目标优化模型见图 1。

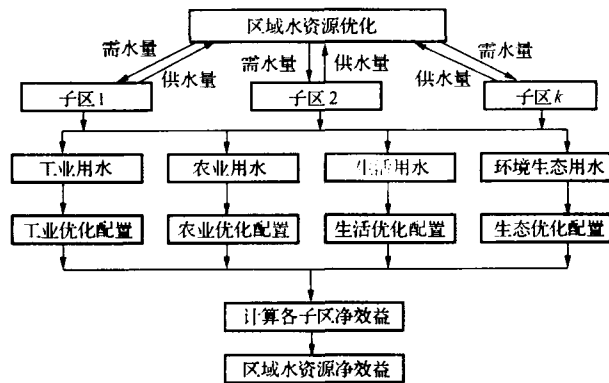


图 1 区域水资源配置模型

3.4 实例应用及结果分析

某市水资源供需矛盾已成为经济发展的制约因素, 合理配置水资源已成为经济发展的后备力量。该市水源有蓄水, 引水, 过境水, 浅层地下水, 中水回



用水源工程,供水水源为6个,根据地理特征和行政区划,将该市划分为4个子区。仿真模拟模型主要是水文分析计算模型,地下水联合调度模型,水源水质模型,水库调度模型,水量平衡分析模型,水量分配计算模型。水文长系列逐日水量平衡模型采用本市1965~2000年36a的资料,先生活、后生产原则,优先保证城乡居民生活用水,合理安排生产、生态用水和其他用水。优质、一般、环境用水分级分质

平衡区分用水性质,以合格水作为计量指标,优水优供。优质用水量必须通过各种途径首先满足,“一般用水量”视条件尽可能满足。

根据建立仿真模拟模型进行优化配置模型分析计算,在工业用水95%保证率,农业用水80%保证率情况下,对现状工况与2015年工况作供需平衡及缺水程度分析,进行水资源配置,计算成果见表1与表2。

表1 现状工况的水资源配置成果表

/10⁴ m³

分区	需水量			供水量			缺水量		
	优质需水	一般需水	合计	优质供水	一般供水	合计	优质缺水	一般缺水	合计
1区	8301	11734	20035	6250	8497	14747	2051	3237	5288
2区	560	1130	1690	453	986	1439	107	144	251
3区	381	1752	2133	329	1679	2008	52	73	125
4区	735	4861	5596	612	3536	4148	123	1325	1448
合计	9977	19477	29454	7644	14698	22342	2333	4779	7112

表2 2015年工况的水资源配置成果表

/10⁴ m³

分区	需水量			供水量			缺水量		
	优质需水	一般需水	合计	优质供水	一般供水	合计	优质缺水	一般缺水	合计
1区	13885	9851	23736	9530	7600	17130	4355	2251	6606
2区	650	920	1570	410	625	1035	240	295	535
3区	861	1432	2293	530	1296	1826	331	136	467
4区	1197	3983	5180	719	2900	3619	478	1083	1561
合计	16593	16186	32779	11189	12421	23610	5404	3765	9169

由结果分析,不同子区缺水情况有一定差异性,子区2的优质缺水和一般缺水基本持平,分质供水更是当务之急,针对区域内其他各子区的缺水情况,制定具体切实可行的解决缺水措施。

现了水资源价值差别,在理论与实践上都体现水资源社会价值。并对基于水质的水资源配置模型给出了大系统分解协调及子区模拟计算相结合的求解方法,在此基础上分析出优质水量和一般水需水量及其供水量,配置效益情况。水资源配置模型中水质级别折算系数如何合理确定还有待进一步研究。

4 结 语

本文在水资源配置模型中考虑了水质级别,体

参考文献:

- [1] 李明,刘应宗,金宇澄.探讨我国分质供水模式[J].华中科技大学学报(城市科学版),2005,22(3):80-81.
- [2] 宋广瑞,陈光明.分质供水的可行性研究[J].中国测试技术,2003,(2):61-62.
- [3] 肖华.管网分质供水系统分析[J].山西建筑,2003,29(3):156-157.
- [4] 张鹏,邵东国.低质水的价格理论与实践[J].水利科技与经济,2005,11(4):195-198.
- [5] 卢景晖.当前我国分质供水可行性及模式分析[J].工程论坛,2005,(2):142-145.
- [6] 阳书敏,邹东国.面向生态的区域水资源优化配置理论框架与数学模型[J].水资源评价,2005,26(3):1-3.
- [7] 刘默,赵加敏,将福春.水资源优化配置分析[J].国土资源研究,2005,(2)81-82.
- [8] 赵雪雁,周健,王录仓.西北地区城市化战略环境影响评价研究[J].干旱区资源与环境,2005,19(5):1-2.
- [9] 王浩,汪林.水资源配置理论与方法探讨[J].水利规划与设计,2004,(3):50-51.
- [10] 冯尚友,刘国全.水资源持续利用框架[J].水科学进展,1997,8(4):301-302.
- [11] 周丽,黄哲浩,贺惠平,等.多目标非线性水资源优化模型的混合遗传算法[J].水电能源科学,2005,23(5):23-25.
- [12] 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):2-3.