

流域水资源配置情景共享模拟系统研究

钟平安,余丽华,邹长国,姜志群,朱元胜

(河海大学水资源环境学院,江苏 南京 210098)

摘要 综合运用地理信息系统、数据库、可视化建模、模型库、人机交互等技术手段,建立了适应大规模、多目标、不确定性等复杂条件的水资源合理配置情景共享模拟系统,并对该系统中的数据库与信息管理、需水量计算与预测、可供水量计算与供水预测、供需分析与水量分配、交互式情景模拟仿真、配置方案评价与选择等 6 个子系统的原理与主要功能进行了介绍。

关键词 水资源;水资源配置;地理信息系统;情景共享

中图分类号 TV213.9;TP311

文献标识码 A

文章编号 1000-198X(2006)03-0247-04

长期以来,流域水资源开发都是以促进区域社会经济发展为目标,并逐步形成“以需定供”的流域水资源开发模式。

20 世纪后半叶,随着人口的增加及经济和社会的迅猛发展,对水资源的需求急剧增长,使得全球范围内水资源的供需矛盾越来越加剧,局部地区甚至出现了对水资源的掠夺性开采,并相继出现人畜饮水困难、河川断流、湖泊萎缩、土地沙漠化、耕地盐碱化、植被退化、绿洲消亡、地下水漏斗扩大、海水入侵等严重水问题,传统的流域水资源开发利用理念、模式、理论与方法受到质疑与挑战^[1]。流域水资源开发利用应当全面考虑社会、经济、环境、生态等不同目标,实现流域水资源高效和可持续利用。流域水资源的合理配置作为人类可持续开发利用水资源的有效调控措施,受到各国的普遍重视,成为当前水资源领域理论研究与技术开发的热点之一^[2]。

流域水资源合理配置涉及人、生态环境、社会经济等不同子系统和不同层面的多维协调关系,是一个典型的半结构化、多层次、多目标的群决策问题^[3]。在相当长的时间内,研究热点集中于多目标优化模型,试图通过数学模型追求流域全局最优策略来解决流域水资源优化配置问题,但一方面由于流域水资源系统为复杂的巨系统,一般模型很难反映各要素的复杂关系,过于复杂的数学模型,往往又难以求解;另一方面由于模型难以综合考虑流域各个行政主体的既得利益,使得配置结果的可操作性较低。在权衡各主体利益的基础上,进行各利益主体之间的沟通与协商,是协调流域水资源配置矛盾的有效方法^[4]。

在协调和谈判过程中,各方不仅需要根据自己的意愿生成方案,而且需要对各个候选方案作出各自的评价,以便进行比选。由于评价涉及面广,不仅需要定量计算,而且需要定性分析;不仅需要分析计算过程,而且需要决策结果。因此,传统单一功能的数学模型难以适应这样的复杂过程,开发一个新的实用软件系统是十分必要的,也是完全可行的。

本文介绍的流域水资源合理配置情景共享模拟系统,以《全国水资源综合规划技术细则(试行)》(水总研[2002]28 号文,以下简称《细则》)为指导,综合运用了地理信息系统、数据库、可视化建模、模型库、人机交互等技术手段,可以适应大规模、多目标、不确定性的复杂水资源系统的合理配置需要。

1 系统构成

流域水资源合理配置情景共享模拟系统包括数据库及信息管理、需水量计算与预测、可供水量计算与供水预测、供需分析与水量分配、交互式情景模拟仿真、方案评价等 6 个子系统。

1.1 数据库与信息管理系统

流域水资源合理配置系统是多(子)流域、多分区、多水源、多用户、多目标等特性交织构成的复杂水资源

系统,配置过程中需要涉及水资源、水利工程、供水范围社会经济等方面的大量资料支持;数据的整合与分解、分析与处理的高效率与高准确性是提高配置成果质量的重要保证。根据《细则》的要求和情景共享模拟系统功能需要,分别构建基础地理信息库、水文水资源基础数据库、水利工程基础数据库、社会经济基础数据库、节点与计算单元拓扑关系库、配置方案库和中间数据交换库等。地理信息库保存空间数据信息;水文水资源基础数据库保存水资源量、降雨量、蒸发量等水文气象信息;水利工程基础数据库保存水利工程的位置、规模、设计参数、控制面积、供水对象、供水范围、供水能力等信息;社会经济基础数据库保存城市与农村人口、土地面积、国内生产总值、工业总产值、农业总产值、耕地面积、种植面积、实际灌溉面积、有效灌溉面积、牲畜头数、粮食总产量、不同水平年工业增加值、经济增长率、城市化率等信息;节点与计算单元拓扑关系库保存各计算节点与单元之间的相互关系及各计算单元的流域、水资源分区、行政区域的隶属关系等;配置方案库存放不同水平年不同配置方案的计算结果;中间数据交换库存放不同计算模块间需要交换的中间数据。在GIS平台上建立信息管理系统,实现数据的查询、输入输出、维护与管理;数据分析(频率分析、合理性检验);数据处理(资料移植、相关分析、插补展延);数据整理(数据时空组合、模型库要求的数据格式);计算成果演示等功能。

1.2 需水量计算与预测子系统

系统提供了城市生活需水、农村生活需水、城市最小生态需水、农村最小生态需水、城市生产需水、农村生产需水、城市适宜生态需水、农村适宜生态需水(环境需水在生态中综合考虑)等8个一级用户的需水量计算与预测模型库,对于每一个一级用户可以定制二级用户^[5]。预测模型库中包括生活需水定额法预测模型、趋势法预测模型等;农业需水灌溉制度设计模型、农田灌溉需水计算模型、林地草场需水预测模型、鱼塘补水计算模型、综合灌溉过程计算模型等;工业需水分行业重复利用率提高法模型、趋势法模型、弹性系数法模型、规划定额法模型、工业综合用水年内分配计算模型、建筑业需水预测模型、第三产业需水预测模型;生态需水植被型需水预测模型、水面型需水预测模型、河道内用水模型、需水预测汇总模型等。

面向生态的水资源合理配置,是人与自然和谐相处的科学发展观在水资源开发利用与保护中的具体体现。但现实状况是我国许多河流在开发利用中忽视了生态环境需水,一些地区甚至连河流的基本生态功能需水也难以保障,生态恢复需水很难一次性达到适宜的程度。为了灵活适应不同规划水平年生态需水的配置需要,将河道内生态需水和河道外生态环境需水分开考虑,通过河道内生态需水配置解决最小生态需水量问题,通过河道外生态环境需水配置解决适宜生态需水量问题^[6]。

系统采用模块化结构,不同分区不同预测对象可以采用不同的模型,预测结果通过设置用户的隶属属性,可灵活实现需水量按水资源分区汇总、按流域分区、按行政分区汇总,并能自动生成供需平衡模型所需要的数据格式。

1.3 可供水量计算与供水预测子系统

水源可供水量计算是水资源供需分析的基础内容之一。在复杂水资源系统中水源子系统通常包含大型水源工程与概化水源工程两大类,各个单体水源点通过输水通道连接形成水源网络系统。系统中大型水源工程可分为大型蓄水工程、大型湖泊、大型闸、大型引水、跨流域调水工程等;概化水源工程通常按计算分区进行。本系统将每一个计算分区中的中小型水利工程概化形成中小型蓄水工程、中小型(区内)引水工程、中小型(区内)提水工程、中小型(区界)引提水工程、浅层地下水工程、深层地下水工程、其他水源工程等。概化中小型(区内)引提水工程指为利用当地水资源所建设的工程,概化中小型(区界)引提水工程是指建立在公共输水通道(河道或渠道)上的工程,该工程的引提水能力作为公共水源可供水量分配的约束条件。其他水源工程指雨水、再生水、微咸水、海水等特殊水资源工程。

根据不同水源特点,系统建立了可供水量计算模型库,系统模型库中包含的模型有:大型蓄水工程的长系列调节计算模型,中小型蓄水工程的复蓄指数模型,大型引提水工程的长系列调节模型,中小型引提水工程的简化计算模型,地下水可开采量计算(水均衡)模型,雨水与污水回用的折扣模型,微咸水利用、海水利用、深层地下水利用的常数模型等。

通过建立水源与水源之间的源汇关系矩阵、水源与用户之间的供求关系矩阵、用户到水源的回归关系矩阵,可以计算系统的可供水量。可供水量的汇总模型根据水源的隶属属性,实现可供水量水资源分区、流域分区和行政分区的汇总。

1.4 供需分析与水量分配子系统

利用流域水资源配置系统网络图,可以将复杂水资源的供需结构划分成3种基本类型,即单水源单用户型、单水源多用户型和多水源单用户型。3种基本类型的不同组合可以形成任意复杂的水资源供需结构。

单水源单用户是最为简单的供需结构,一个水源只有一个用户,该类结构在计算中只需要按照水源类型进行相应的水量平衡计算。单水源多用户供需结构,一个水源有若干个用户,除了按照水源类型进行水量平衡计算外,在供需分析中必须耦合可供水量的分配模型,根据受益用户数量与类别按一定的原则进行可供水量分配。多水源单用户供需结构,一个用户可以从不同的水源获取供水量,首先确定各水源的供水范围,并根据供水范围设定解耦系数,将用户需水量分解到不同水源,使结构转化为第一或第二种类型,然后进行可供水量计算、分配和综合,以避免可供水量在不同水源间的重复计算。

在流域水资源供需分析中,可供水量的计算与分配是不可分割的,两者在同一计算过程中同步完成。根据水源、用户与水资源分区、行政分区的隶属关系,系统可以提供计算区域不同水平年供需平衡表,各计算区域不同供水对象、不同工程水量分配成果,各计算区域出入境水量(出省、出地市、出三级区、出流域和边界大型蓄水工程)成果,主要控制节点水量分配比例成果,缺水量时空分布成果等,并能同步计算出合理配置评价指标体系的相应指标计算值。

1.5 交互式情景模拟仿真子系统

交互式情景模拟仿真子系统可以对系统提供的初始配置方案进行二次分析,各利益集团在初始情景的基础上通过调整各自的模型结构和部件,生成新的配置情景,并选择适合的分析计算方法或程序,形成新的配置方案。

就流域水资源合理配置而言,情景的构造着眼于两个方面:在需求方面通过调整产业结构、建设节水型社会,抑制需水增长,以适应较为不利的水资源条件;在供给方面则协调各项竞争性用水,加强管理,并通过工程措施和非工程措施改变水资源的天然时空分布来适应生产力布局^[1]。

在操作上通过改变不同的约束条件、初始条件和边界条件,调整对模型起重要影响的参数,构造不同情景。全体决策人员可以共享模型显示出的各方案的情景,有助于决策群的“求同存异”,共同理解和综合评价各自方案的利弊得失。系统考虑的所有变量必须是可度量的,且可以获得具有足够精度的定量资料信息^[2],系统将参与协调变量可视化,建立人机交互界面,根据模型库中模型结构与资料获取的可能性,筛选以下15个因子,进行交互分析。

- a. 大型蓄水工程防洪与兴利库容:模拟防洪任务变化已建水库扩建对配置结果的影响。
- b. 灌溉水利利用系数:区分井灌、渠灌、井渠混灌3种灌溉类型,考虑渠系与田间利用系数,模拟农业节水措施变化对配置的影响。
- c. 井灌、渠灌面积:模拟灌溉工程变化对配置的影响。
- d. 水田、水浇地、菜田种植面积:模拟种植结构变化对配置的影响。
- e. 水田、水浇地、菜田灌溉定额:模拟灌溉方式变化对配置的影响。
- f. 不同用户的回归系数:模拟耗水量变化对配置和节点下泄水量的影响。
- g. 河道内最小下泄流量:模拟最小生态基流与水量空间配置的强制性要求对配置的影响。
- h. 城镇与农村生产用水的权重系数:模拟决策者对不同分区分水偏好对配置的影响。
- i. 各种工程的供水能力:模拟提高工程配套与增加面上工程对配置的影响。
- j. 浅层地下水年度超采系数:模拟不同地下水运用方式对配置结果的影响。
- k. 人口、经济增长等社会经济发展指标:模拟不同社会经济发展规模对配置结果的影响。
- l. 生活与工业用水定额:模拟不同用水水平对配置结果的影响。
- m. 深层地下水利用:模拟使用、限用、停用深层地下水对配置结果的影响。
- n. 跨流域调水量:模拟不同跨流域调水方案对流域供需平衡的影响。
- o. 供需关系:模拟增减水利工程和水利工程功能变化对供需平衡和配置结果的影响。

通过可视化交互界面与后台模型库的相互耦合,建立“牵一发而动全身”的整体模拟系统。该系统可以灵活实现不同节点和子区的重点分析,并同时获得相关节点与区域的影响后果。系统采用模块化结构,可实现不同模型的自由组合;采用可视化配置建模技术,系统能快速适应不同水平年工程条件变化和供求关系变化。

1.6 配置方案评价子系统

配置方案评价子系统通过筛选合适的指标,分析评价不同情景下生成的配置方案的合理性与优劣,系统在区域发展、经济发展、工程建设与调度管理 3 个层次上筛选指标构建评价体系^[7],力求全面衡量配置方案实施后对区域经济社会系统、生态环境系统和水资源调配系统的影响。

流域水资源合理配置必须保障流域内各分区社会进步的公平性、经济发展的协调性、水资源利用的高效性和生态环境保护的可持续性。考虑到现阶段获取资料的可能性以及评价子系统与前述各子系统间的耦合关系,系统筛选的配置方案评价指标有(a)分区人均用水量(b)分区各类用水的缺水率(c)分区当地水资源利用率(d)分区人均 GDP(e)流域水资源开发利用率(f)分区各类用水的定额(g)分区各类用水所占权重(h)环境与生态用水比重(i)分区地表水与地下水供水量所占比重。

采用模糊层次分析方法对各个配置方案进行综合评判,比较各个配置方案的优劣,最终确定推荐方案^[8]。

2 结 语

流域水资源合理配置涉及人、生态环境、社会经济等不同层面的多维协调关系,是一个典型的半结构化、多层次、多目标的复杂群决策问题。本文在结构合理、功能齐全、技术先进、方法实用、使用灵活基本原则的指导下,立足《细则》,建立了一套流域水资源合理配置情景共享模拟系统,该系统可以有效地辅助水资源的合理配置过程。除了具有高效的信息组织管理、科学计算的功能之外,还能多入口实现人工干预,使得不同的利益集团,可以共享并重构模拟情景,为沟通与协商提供了实用平台。该系统已在淮河流域和山东省水资源合理配置中获得应用,并取得了良好的效果。

参考文献:

[1] 朱元生. 水资源开发与管理的时代特性[J]. 科技导报, 200X(12): 55-59.
[2] 关业祥. 对水资源配置的认识与思考[J]. 水利规划与资源配置, 200X(5): 1-3.
[3] 王浩, 王建华, 秦大庸. 水资源配置理论与方法探讨[J]. 水利规划与设计, 2004(3): 5-8.
[4] 陈家琦, 王浩, 杨小柳. 水资源学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
[5] 钟平安, 陈筱云, 陈凯. 工业需水量综合预测方法[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2001, 29(4): 67-71.
[6] 王浩, 王建华, 秦大庸. 流域水资源合理配置的研究进展与发展方向[J]. 水科学进展, 2004, 15(1): 123-128.
[7] 左东启, 戴树声, 袁汝华, 等. 水资源评价指标体系研究[J]. 水科学进展, 1996, 7(4): 367-373.
[8] 萨蒂 T.L. 层次分析法——在资源分配、管理和冲突分析中的应用[M]. 许树柏, 译. 北京: 煤炭工业出版社, 1988.

Vision-shared modeling system for river basin water resources allocation

ZHONG Ping-an, YU Li-hua, ZOU Chang-guo, JIANG Zhi-qun, ZHU Yuan-shen
(College of Water Resources and Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract :A vision-shared analysis system for reasonable allocation of water resources, which is suitable for large scale and multi-objective water resources system with some uncertain factors, was established by comprehensive utilization of techniques of geography information system, database, visualized modeling, model-base, interactive mode, etc. Meanwhile, an introduction was given to the principles and functions of the 6 subsystems, including the subsystems for database and information management, for computation and prediction of water demand, for computation and prediction of water supply, for supply-demand analysis and water quantity allocation, for interactive circumstance simulation, and for selection and assessment of allocation schemes.

Key words :water resources; water resources allocation; geography information system; sharing of vision