

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2015.05.018

水资源综合管理决策支持系统开发及应用

马 彪, 钟平安, 万新宇, 曹明霖, 闫 堃, 张 宇

(淮海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

摘要:通过标准化建模、水资源规划与实时管理一体化设计、两层与三层供水体系一体化处理、区域或流域水资源配置模式选择等技术实现系统的通用性;围绕水资源配置的基本问题,采取问题导向型设计,保障系统的多功能性;基于水资源系统基本元素、模型结构与计算码、拓扑关系分离,提升系统的可扩充性;通过友好型界面设计、便捷化操作、可视化配置、情景模拟等技术研发实现系统的实用性。将开发的水资源决策支持系统运用在江苏沿海围垦区水资源综合管理中,结果表明系统实用、可靠,应用效果较好。

关键词:水资源综合管理;决策支持系统;通用性;多功能性;可扩充性;实用性

中图分类号:TV213.9 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2015)05-0096-06

Development and application of decision support system for integrated water resource management

MA Biao, ZHONG Pingan, WAN Xinyu, CAO Minglin, YAN Kun, ZHANG Yu
(College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Universality was achieved through standardization modeling, water resource planning and real-time management integration design, two and three layer water supply system design, regional or basin water resource allocation mode choice; versatility was guaranteed by focusing on the basic problem of water resources allocation and taking the problem-oriented design; scalability was improved, which was based on the basic elements of water resource system, model structure and computation code and the separation of topological relationship; practicality was realized through the design of friendly interface, convenient operation, visual configuration, scenario simulation and other technology. The application in the comprehensive management of water resources in Jiangsu coastal reclamation area showed that the system was practical, reliable and had good application effect.

Key words: integrated water resource management; decision support system; universality; versatility; scalability; practicability

水资源配置与调度是一个多区域、多水源、多用户、多目标的复杂系统问题,传统的水资源管理方法难以解决这种半结构化、非结构化问题,综合运用水资源管理技术、数据库管理技术、地理信息系统技术、计算机模拟及优化技术等现代化技术的决策支持系统成为很好的解决途径。决策支持系统由 Fedra^[1]首次引入水资源管理,之后,在国外该领域

得到广泛应用和发展,如意大利 Cagliari 大学开发了可用于解决干旱、半干旱地区水量预测与调度的 WARGI 系统^[2], Karjalainen 等^[3]开发了可用于评价河流生态和水文环境的 River Life DSS;在流域水资源综合管理方面,瑞典的 WEAP 系统、西班牙的 AQUA-Tool 系统等都是优秀的代表。我国水资源决策支持系统的研究起步较晚,但发展较快,取得了一

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAB03B03); 国家自然科学基金(51179044)

作者简介: 马彪(1990—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水资源规划与管理。E-mail: 1152069343@qq.com

通信作者: 钟平安, 教授。E-mail: pazhong@hhu.edu.cn

定的成果,钟平安等^[4]开发了流域水资源配置情景共享模拟系统,盖迎春等^[5]探讨了黑河流域中游水资源管理决策支持系统的设计与实现。随着计算机、GIS、人工智能等技术的发展,许多学者不断将新技术引入水资源决策支持系统,钟平安等^[6-7]研究了B/S模式、WebGIS等在水资源决策支持系统中的应用,取得了较好的研究成果。

然而现有水资源决策支持系统通用性和可扩充性差,缺乏灵活性,对解决不同区域、不同目标的水资源管理问题的适应性差,难以扩充和移植,因此实用性也大打折扣。针对上述问题,本文研究并开发了通用性和可扩充性好,灵活性和适应性强,功能多样、易于移植和扩充的开放性、实用性水资源综合管理决策支持系统,为水资源管理工作提供技术支撑。

1 系统总体结构

1.1 基本思路

1.1.1 系统设计原则

首先,系统在设计时以面向问题原则为导向,保证系统是针对水资源综合管理问题而建立的,系统应具有较好的实用性;其次,注重专家知识与计算机相结合,前者解决半结构化、非结构化问题,后者解决结构化定量计算问题;第三,注重系统的通用性、多功能性、可扩充性。

1.1.2 工作模式与模型选择

水资源系统是半结构化、非结构化复杂系统,涉及因素众多,部分因素可通过数学模型定量描述,另一部分因素只能通过决策者的经验与智慧进行定性分析与判断,决策过程是一个多方参与、不断反馈、不断修正的交互过程。纯数学优化有时并不能得出能被普遍接受的结果,难以适应复杂的水资源系统以及以“沟通和协调”^[8]为主题的水资源管理发展趋势。故本系统采用既能反映水资源系统物理本质,又能兼顾专家决策经验和决策者利益诉求的交互式模拟仿真模型,同时局部采用优化技术辅助计算。

1.1.3 技术选择

本系统以水资源规划与管理专业知识为基础支撑,综合运用GIS、数据库管理、信息管理、面向问题程序设计、模拟仿真与优化、情景交互分析、可视化建模、系统集成等技术,保障所开发系统的通用性、多功能性、可扩充性和实用性。

1.2 框架结构

系统分为用户层、应用服务层、业务支撑层、数据资源层和基础平台层5个层次,采用通用接口进行联接,系统用户界面与核心部件相对独立,软件结构体系追求“高内聚,低耦合”,以达到数据、方法、模块之间的相对独立,增加系统的灵活性,便于系统扩充和升级,保持用户交互的友好性。决策支持系统框架结构见图1。

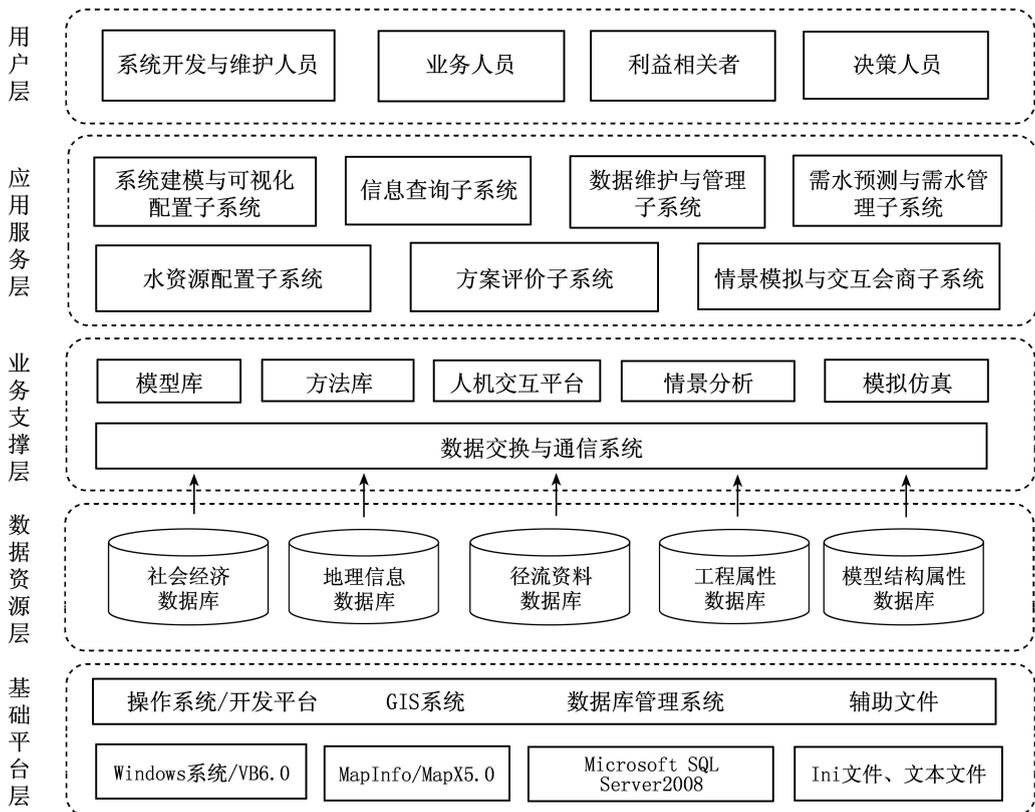


图1 决策支持系统结构框架

2 系统设计特点

2.1 通用性设计

通过分析水资源综合管理的技术需求,保证系统的广泛适应性,本系统从以下几个方面予以考虑。

2.1.1 标准化建模

为了使所构建的水资源综合管理系统能适应不同地区、不同情景要求,对数据库表结构设计、元素概化及编码等按照行业规范和标准进行设计,将庞大而复杂的水资源系统概化解分为水资源区、行政区、计算单元、水源、河流、用户、控制节点等7类基本元素。采用数据驱动、可视化配置建模方式,利用拓扑关系组合不同元素和功能模块,做到规划统一、标准统一、结构统一、接口统一,使软件结构和功能标准化、通用化,能适用于不同地区、不同情景要求下的水资源管理问题。

2.1.2 规划与管理一体化设计

系统采取水资源规划与实时管理一体化设计,既可以作宏观的水资源规划,又可以作微观的水资源实时管理。决策者根据实际需要,通过友好的操作界面选择计算模式。计算模式选择界面见图2。从模型库和方法库中选择所需的计算模型和计算方法,如作宏观规划时,可选择长系列法或典型年法进行分析计算,而当处于水资源实时管理工作模式时,系统提供多种中长期径流预测和需水预测方法供决策者选择。



图2 计算模式选择界面

2.1.3 两层与三层供水体系设计

传统水资源综合管理系统大多在原水水源与用户之间建立供需关系,本文称为两层供水体系,但对于城市水资源管理系统常常需要考虑原水水源-自来水厂-用户三者之间的供需平衡,本文称之为三层供水体系。对于三层供水体系,水厂在水资源系统中既是水源(给用户供水),又是用户(从原水水源取水),所以当考虑水厂的调节作用时,水资源配置系统是一个原水水源-用户(两层)、原水水源-水厂-用户(三层)供水体系并存的复杂系统。本文所采取的处理方法如图3所示:首先将由水厂供水的用户需水根据该用户供水水源的供水能力大小打包给水厂,如图3中的用户2根据水厂1和原水水源2面临时段的供水能力占二者总供水能力的比例将自身需水打包分配给水厂1和原水水源2,这样水厂就变成有用水需求的用户,整个系统统一为原水水源-用户两层供水体系;然后根据水量分配原则,按照原水水源-水厂/用户、水厂-用户的顺序将水量解耦、分配给用户。这样,两层、三层供水体系就被统一到本系统中去。

2.1.4 区域或流域水资源配置

计算单元的划分采取水资源区套行政区的划分方式,既有利于算清水账,保持河流、水系的内在联系,又有利于社会经济资料的收集。水资源区、行政区、计算单元、河流、水源、用户、控制节点之间通过拓扑关系相互联系,计算和分析结果在7类基本元素的属性中均有存储,可实现对行政区和水资源区水资源配置与调度状况进行全面的分析统计,并通过交互友好的操作界面展示给决策者,辅助决策者进行决策。

2.2 多功能性设计

系统的多功能性体现在两个方面:①工作模式多样。设计系统既可进行区域的水资源配置,又可开展流域的水资源配置;既可以作长期水资源规划,又可以进行短期水资源实时管理。②系统功能模块完善。软件系统包括系统建模与可视化配置子系统、信息查询子系统、数据维护与管理子系统、需水

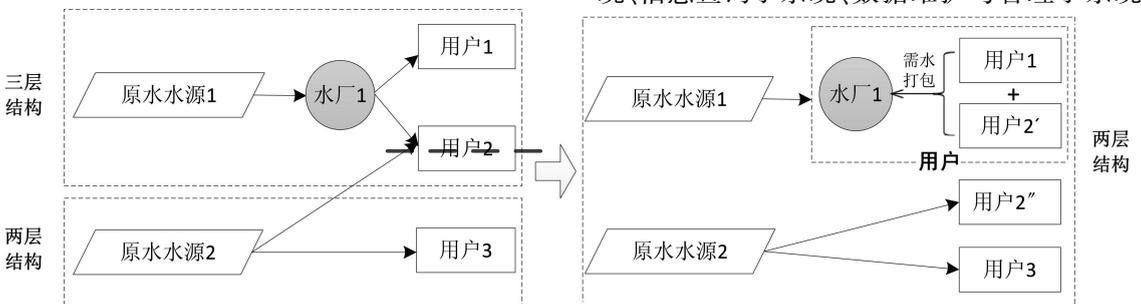


图3 两层、三层供水体系归一化处理示意图

预测与需水管理子系统、水资源配置子系统、方案评价子系统、情景模拟与交互会商子系统,系统体系结构和主要功能见图4。

2.3 可扩充性设计

本系统良好的可扩充性体现在两个方面:①软件结构体系和功能模块具有良好的可扩充性。采用“信息隐藏”、“高内聚,低耦合”等软件结构设计原则;即隐藏、封装系统功能模块的数据结构、算法、实现体等模块内部特征信息,增加模块内部元素间的聚合程度,减少模块间的相互干扰,提高系统功能模块的灵活性和独立性;系统操作界面与核心部件相对独立,数据存储与管理、子系统间数据交换与数据通信统一由数据库系统完成,降低系统耦合度,减少模块间的依赖性,便于扩充和升级;②水资源系统具有良好的可扩充性。采取标准化建模方式,复杂的水资源系统被概化解为按照行业规范进行编码的7类基本元素,由拓扑关系相互连接。按照逻辑结构对控制节点编制计算码,计算码独立于7类基本元素和模型结构,并作为系统调节计算的控制主线,即先按计算码逐节点进行节点水量平衡计算,再判断节点是否为水源入流节点,若是,查找该水源并进行水源来水计算,然后通过拓扑关系查找该水源所供给的用户,进行供需平衡计算,依次计算下去,直至最后一个节点。系统调节计算流程见图5。故如需修改、扩充水资源管理决策支持系统,只需按照既定规则修改或追加系统元素,然后修改、配置拓扑关系即可。

2.4 实用性设计

2.4.1 问题导向型设计

系统采用问题导向型设计策略,紧密结合水资源管理的技术需求和物理本质,突出研究区的问题描述,有针对性地进行分析计算,即所开发的水资源决策支持系统必须能够回答和解决研究区的水源组成、水量多少、水资源时空分布和演变趋势、研究区

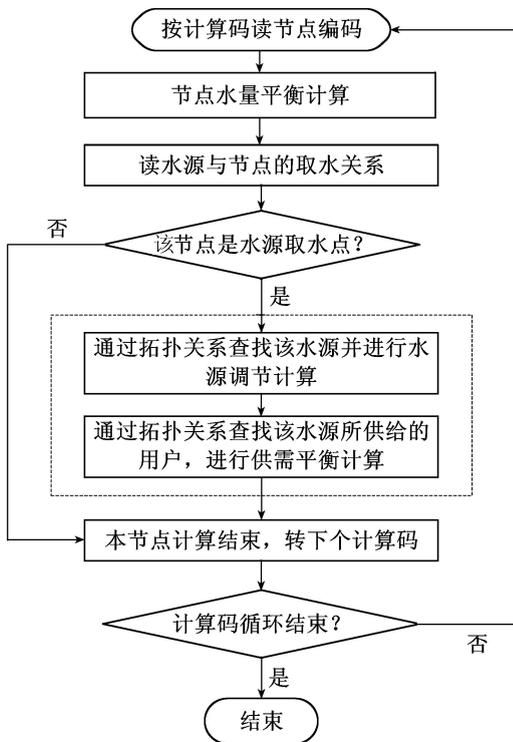


图5 系统调节计算流程

用水结构、需水量及其时空分布等问题,并能根据产业发展布局及规划、水源工程布局及规划等解决研究区的水资源配置问题,若有缺水,如何通过增加供水(扩大工程能力、外调水、非常规水等)、节约用水等措施弥补用水缺口等,这些都是系统所必须面对和回答的问题,也是系统功能模块的重心所在。

2.4.2 友好型设计

友好型界面和便捷的操作设计能显著提高软件的可操作性,提高决策效率,系统在设计时坚持这一理念,具体体现在以下几个方面:①友好型操作界面。系统采用结构化、模块化设计,模块间结构紧凑,美观大方,数据信息、分析计算结果图文并茂,功能菜单及工具栏新颖独特、快捷方便。②操作简单。水资源系统的复杂性制约了软件的可操作性,决策者并非都是业务专家,所开发的决策支持系统应保

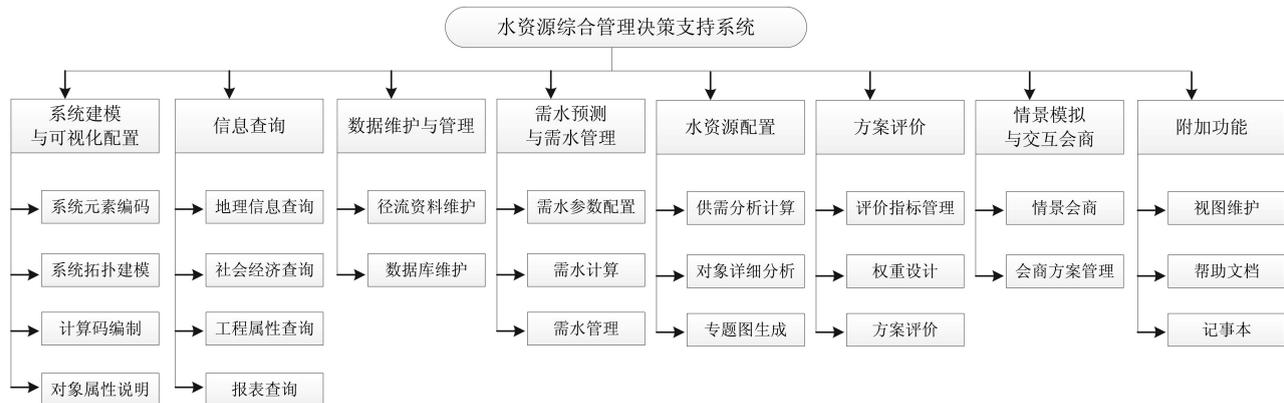


图4 系统体系结构和主要功能示意图

证专业人员与非专业人员都能够熟练操作,系统在设计时尽可能将专业模型结构打包封装,使操作简洁化。③可视化配置。嵌入组件式 GIS 部件,提高软件系统的空间分析能力和可视化程度,元素树状组织结构辅以计算机图形图像技术,实现系统拓扑关系可视化配置。可视化建模与配置应用示例见图 6。

2.4.3 情景模拟与交互会商

在实际工作中,水资源开发与管理目标呈现多样化,水资源利用与环境保护间的矛盾、不同地区间的用水竞争、不同利益团体间的用水矛盾等交错在一起,“纯优化”技术已很难适应这一形势,更多情况下的水资源管理是利益诉求者之间“沟通和协调”的结果。为适应这一形势,本系统设计了情景模拟与交互会商模块,主要功能如下:①跟踪分析。系统可对计算单元、水源、用户、控制节点等重点对象实施跟踪分析,如来水分析、需水分析、供水分析、水源组成及合理性检验等。②二次分析。改变模型的约束条件、初始条件和边界条件,调整对模型起重要影响的参数(如拓扑关系修改、会商因子调整等)和计算原则,在零方案的基础上调整模型结构和部件,选择分析模型和计算方法,重新生成配置情景进行方案二次分析。③情景模拟仿真。决策者可通过设置模型参数(如工程能力、工程布局、来水大小及水源组成等)、调整模型结构和部件等,模拟某种情景,如遭遇特殊干旱年份下的情景、发生突发性水污染下的情景等,开展分析,制定应急调度方案。

3 实例应用

根据 2009—2020 年《江苏沿海滩涂围垦开发规划》,至 2020 年江苏沿海滩涂将新增围垦面积 18 万 hm^2 ,届时新增围垦区的水资源保障将成为沿海围垦区发展面临的首要问题。笔者将所开发的水资源综合管理决策支持系统应用到江苏沿海围垦区,其系统主界面如图 7 所示。系统既可以开展江苏沿海围垦区水资源中长期规划,又可用于围垦区水资源实时管理,其先进性、完整性、多功能性、实用性及友好型设计保障系统实用、可靠,显著改善和提高了沿海围垦区水资源管理工作的效率和科学化决策水平,为沿海围垦区水资源保障提供了技术支撑,应用效果较好。

4 结语

针对水资源规划与管理过程中的特点,开展了水资源综合管理决策支持系统的研究及开发应用,提出了系统的基本思路和结构框架,重点论述了系统的通用性设计、多功能性设计、可扩充性设计和实用性设计。其主要特色有:

- a. 系统采取标准化建模,7 类基本元素和模型结构相互独立,由计算码和拓扑关系控制和连接,保障了系统的可扩充性;
- b. 系统围绕水资源配置的基本问题,采取问题导向型设计,功能全面;
- c. 提出水资源规划与实时管理一体化设计、两层与三层供水体系一体化处理、区域或流域水资源

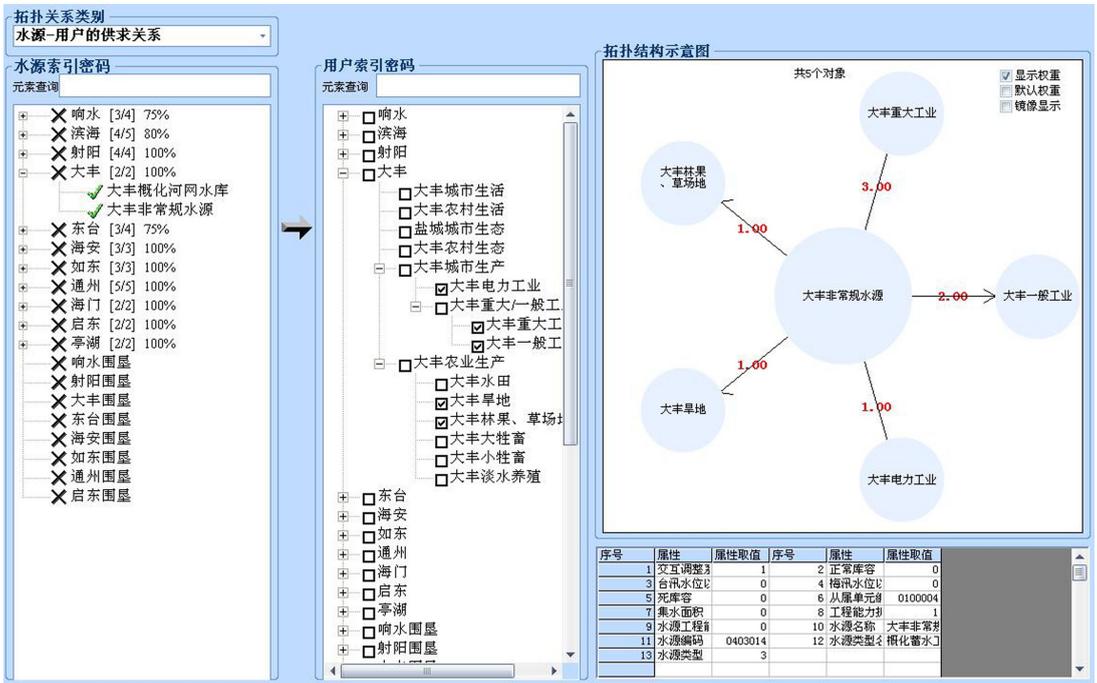


图 6 可视化建模与配置应用示例

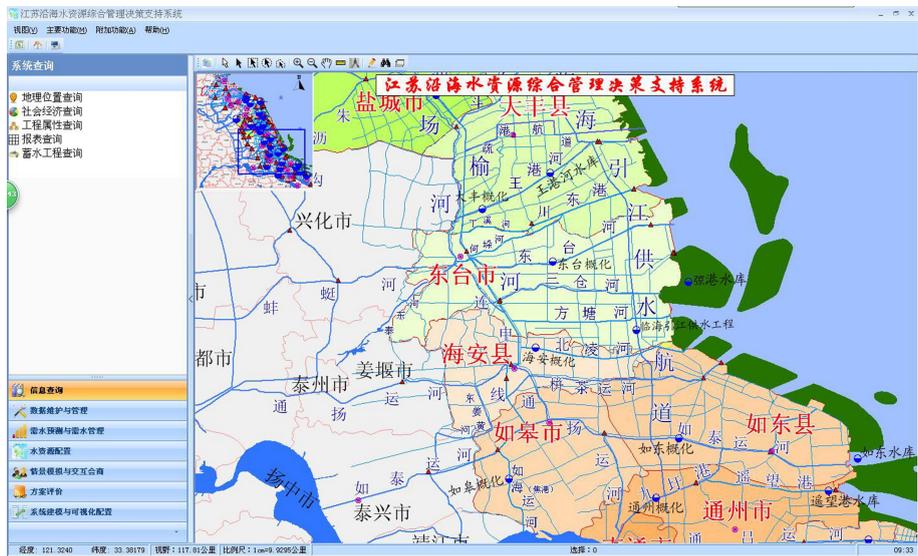


图7 江苏沿海水资源综合管理决策支持系统主界面

配置模式选择等技术,保障了系统的通用性;

d. 通过友好型界面设计、便捷化操作、可视化配置、情景模拟与交互会商等技术研发,使系统实用、可靠。

参考文献:

[1] FEDRA K. Interactive water quality simulation in a regional framework; a management oriented approach to lake and watershed modeling [J]. *Ecological Modelling*, 1984, 21 (4): 209-232.

[2] SECHI G M, SULIS. Water system management through a mixed optimization-simulation approach [J]. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2009, 135 (3): 160-170.

[3] KARJALAINEN S M, HEIKKINENO K. The river life project and implementation of the water framework directive [J]. *Environmental Science & Policy*, 2005, 8 (3): 263-265.

[4] 钟平安,余丽华,邹长国,等.流域水资源配置情景共享模拟系统研究[J]. *河海大学学报:自然科学版*, 2006, 34 (3): 247-250. (ZHONG Ping'an, YU Lihua, ZOU Changguo, et al. Vision-shared modeling system for river basin water resources allocation [J]. *Journal of Hohai University: Natural Sciences*, 2006, 34 (3): 247-250. (in Chinese))

[5] 盖迎春,李新.黑河流域中游水资源管理决策支持系统设计及实现[J]. *冰川冻土*, 2011, 33(1): 190-196. (GAI Yingchun, LI Xin. Design and implementation of water resources management and decision support system in the middle reaches of Heihe River [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2011, 33(1): 190-196. (in Chinese))

[6] 钟平安,吴善锋,余丽华.基于B/S模式的区域水资源合理配置系统设计及开发[J]. *水文*, 2006, 26(2): 22-25. (ZHONG Ping'an, WU Shanfeng, YU Lihua. Research on a

reasonable allocation system of local water resources based on browser/server mode [J]. *Journal of China Hydrology*, 2006, 26(2): 22-25. (in Chinese))

[7] 吴善锋.基于B/S模式区域水资源合理配置系统研究[D].南京:河海大学,2006.

[8] 朱元胜.水资源开发与管理的时代特性[J]. *科技导报*, 2002(12): 55-59. (ZHU Yuanshen. A new era for water resource development and management [J]. *Science & Technology Review*, 2002(12): 55-59. (in Chinese))

(收稿日期:2014-11-28 编辑:徐娟)

· 简讯 ·

第三届大坝长效特性及环保修复技术国际研讨会将在河海大学召开

由河海大学、南京水利科学研究院等单位主办的第三届大坝长效特性和环保修复技术国际研讨会(LTBD2015)将于2015年10月17—19日在河海大学召开。届时将就土石坝、混凝土坝的设计计算理论和方法、长期运行特性、环保修复技术等方面的问题,进行广泛的交流探讨。会议主要议题有:大坝设计及分析方法,大坝监测及监控技术,筑坝材料的时间依存性及其本构模型,大坝内部侵蚀与接触问题,坝基与坝体结构相互作用,大坝地震计算分析,大坝安全评价,水电工程环境保护,大坝运行及维护,大坝环保修复技术。

(本刊编辑部供稿)