

李赫, 刘进翰, 左其亭, 等. 引江济淮工程(河南段)水资源调配系统设计与开发[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2024, 22(1): 186-195. LI H, LIU J H, ZUO Q T, et al. Design and development of water resources optimal allocation system for Yangtze-to-Huaihe River Water Diversion Project (Henan section)[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2024, 22(1): 186-195. (in Chinese)

引江济淮工程(河南段)水资源调配系统设计与开发

李赫¹, 刘进翰¹, 左其亭¹, 甘容¹, 王辉², 冯跃华³

(1. 郑州大学水利与交通学院, 郑州 450001; 2. 河南省引江济淮工程有限公司, 郑州 450000; 3. 河南省豫东水利保障中心, 河南 开封 475000)

摘要: 为强化引江济淮工程(河南段)水资源统一调配, 基于 Spring Boot 和 Vue 前后端分离开发的模式, 利用天地图 API、WebGL、Echarts 等技术设计研发引江济淮工程(河南段)水资源调配系统。从设计思路、功能界面、关键技术 3 个角度论述系统设计思路和实现过程, 从而实现地理信息服务、供需水预测、水资源优化配置、水资源优化调度等功能, 实现水量分配可视化、运行调度智能化和跨区域调水管控一体化。系统测试结果表明: 引江济淮工程(河南段)水资源调配系统的建立提高了受水区水资源精细化管理的水平, 解决了引江济淮工程(河南段)跨区域调水的配置难题, 为受水区水资源高效利用提供有效的技术支撑。

关键词: 引江济淮工程(河南段); 水资源调配系统; Spring Boot 框架; Vue 框架; 前后端分离开发模式; 水资源和谐配置

中图分类号: TV213.9 文献标志码: A DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2024.0019

引江济淮工程是连通我国长江、淮河两大水系, 实现长江下游向淮河中游地区调水的大型跨流域水资源配置工程, 是 172 项重大水利工程项目之一^[1]。引江济淮工程(河南段)受水区地处河南省东部属于河南省粮食的重要产区, 区域内地表水供水工程 627 座, 地下水供水工程即机电井 179 349 眼, 但由于规划范围内部分中小型供水工程年久失修, 供水条件复杂。用水涉及生活、农业灌溉、工业、生态多个方面, 水资源承载能力与人口、耕地分布不相适应, 存在着人均亩均水量少、工业用水挤占其它用水、工程措施复杂的问题, 加上水资源的先天不足, 受水区水资源供需矛盾紧张, 人水矛盾日益加大^[2-3]。科学合理地调配引江济淮水资源, 改善受水区水资源-经济社会-生态环境系统的内部结构和外部条件, 对解决受水区用水矛盾, 实现人水和谐的目标具有重要意义^[4-7]。

智慧水利是解决水资源供需矛盾, 实现水利行

业数字化、精细化、智能化的必然选择^[8]。目前已有学者^[9-11]运用 Spring Boot 框架、WebGIS 技术、B/S 架构等结合互联网、物联网对水资源调配系统进行了研究, 设计研发多情景多目标的水资源优化调配系统。成良歌^[12]基于 B/S 架构和 Spring Boot 框架开发了以发电效益最大为目标的丹江口水库调度系统。陈序等^[13]利用 GIS 技术以及 C/S 与 B/S 相结合的开发模式, 构建沿海围垦区水资源管理决策系统。李彤彤^[14]利用 ArcGIS Engine 组件, 开发海口市水资源优化配置及调度系统, 实现多水源、多用户、多目标的水资源优化配置方案。但是目前的研究很少将人水关系考虑到优化目标中, 配置结果可能会造成人水不和谐的情况。引江济淮工程已经通水, 然而河南段还未有配套的调配系统, 如何将和谐调配水的理念纳入水资源优化配置系统中来缓解受水区人水矛盾、改善生态环境、带动经济增长是亟待解决的问题。

收稿日期: 2023-09-06 修回日期: 2023-12-01 网络出版时间: 2024-01-18

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/13.1430.TV.20240118.0843.002>

基金项目: 引江济淮工程(河南段)工程科研服务项目(HNYJJH/JS/FWKY-2021002); 河南省水利科技攻关计划项目(GG202022; GG202125); 国家重点研发计划项目(2021YFC3200201); 国家自然科学基金项目(52209037)

作者简介: 李赫(1993—), 女, 河南郑州人, 讲师, 博士, 硕士生导师, 主要从事水资源开发利用研究。E-mail: lihe@zzu.edu.cn

通信作者: 左其亭(1967—), 男, 河南固始人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事水资源开发利用研究。E-mail: zuoqt@zzu.edu.cn

研究以引江济淮(河南段)受水区为工程案例,结合受水区供需矛盾、人水不和谐现状,以及多水源、多用户、多目标的实际需求,在考虑经济、社会目标的基础上引入和谐目标,构建耦合经济-社会-和谐多目标水资源优化配置模型,并在此基础上设计研发集水资源供需预测-水资源优化配置-水资源优化调度为一体的引江济淮工程(河南段)水资源调配系统。在物联网、互联网、大数据等新兴技术的发展下,进一步推动引调水工程基础设施数字化、综合管理智能化,对于引江济淮受水区(河南段)的高质量发展有重要意义^[15]。

1 工程概况

引江济淮工程(河南段)以城乡供水为主要任务,兼顾改善水生态环境,不考虑农业灌溉和航运,受水区涉及9个供水用户,分别为周口市的太康、郸城、鹿邑、淮阳4个县,以及商丘市的柘城、夏邑、永城、睢阳和梁园5个县(区),总面积12 114 km²。

引江济淮工程(河南段)属于江水北送的一部分,通过西淝河向河南境内输水,在河南、安徽两省分界处利用泵站将引江济淮水送入清水河。在河南境内利用清水河泵站逆流而上提水,再经鹿辛运河自流至调蓄水库,然后通过加压泵站和压力管道输送至各受水区。受水区的供水水源包括当地水源

和外调水源,其中,当地水源包括地表水、地下水和中水,外调水包括引黄水和引江济淮水,用水部门包括工业、农业、生活、生态,是一个多水源联合供水、多用户取水、多部门配水的长距离复杂人工-天然水资源系统。

2 系统设计

2.1 设计思路

前后端分离开发。前后端分离是目前普遍采用的开发模式,它使项目的分工更加明确^[16-18]。本系统后端使用 Spring Boot 框架开发,主要负责数据的处理和存储;前端采用 Vue 框架开发,根据用户的需求把相应的请求发送到后端提供的端口,并将后端得到的数据渲染到页面容器中,前端和后端开发人员通过接口进行数据的交换(前后端数据交互见图1)。系统前后端分离开发的优势在于整个项目的开发权重往前移,前后端开发人员可以同时进行开发,提高了系统研发的效率,真正地实现系统前后端解耦,动静资源分离,提升系统的拓展性,便于水资源调配系统的二次开发。

面向服务的系统架构。调配系统采用了面向服务的架构设计,根据不同的功能划分为独立的功能组件,以按需引入的方式导入不同的子模块,提高代码的重用性,降低系统的耦合性,便于后期的维护和二次开发^[19]。

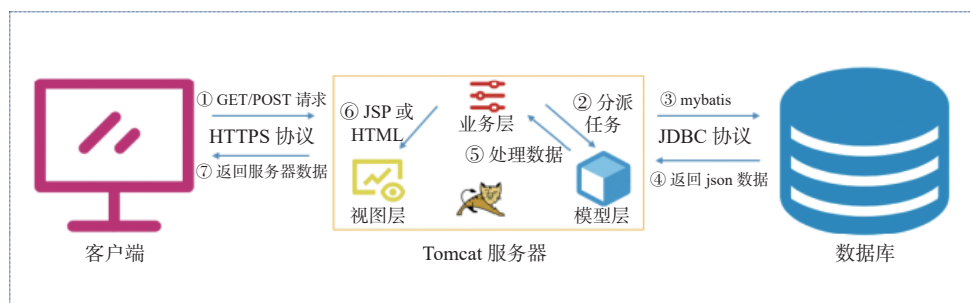


图1 前后端数据交互过程

Fig. 1 Front-end and back-end data interaction processes

微服务框架风格。微服务框架风格是利用多个小服务器单独开发、共同完成项目的框架风格,不同的服务可以利用不同的编程语言实现,以及不同数据库存储技术,使用 Spring Cloud 技术完成通信,实现项目的集中式管理^[20]。

2.2 系统架构

水资源优化调配系统应具备以下几个特点:遵循网络协议和相关技术的使用规范;高内聚,低耦合的系统框架;高性能、易维护、可拓展。基于

以上原则,系统总体架构分为4层:表现层、业务层、应用支撑层和数据层^[21],见图2。

2.2.1 表现层

表现层是水资源调度系统为用户提供的图形化界面,主要用来完成数据的可视化展示,用户可以通过该层进行信息的输入和结果的获取。表现层由 Vue 框架实现,采用了单页面设计模式,用户可以通过浏览器访问。主要展示的信息有:地理信息显示、模型参数展示、水资源调配过程展示等。

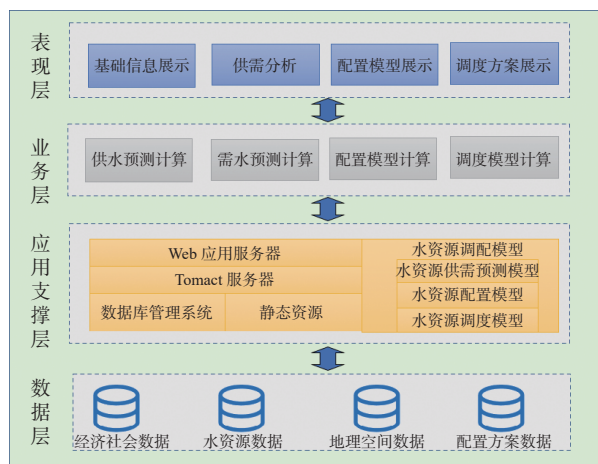


图 2 系统架构设计
Fig. 2 System architecture design

2.2.2 业务层

业务层是表现层与应用支撑层连接的桥梁来分发任务传递信息。表现层在调用接口访问相关业务时都会通过业务层去调用相关业务并把数据返回给表现层。该系统中业务层包括供需水预测计算、水资源配置模型计算、水资源调度模型计算, 该层通过与应用支撑层的交互获取相关数据, 同时将表现层输入的模型参数和约束条件传入应用支撑层的水资源调配模型中来完成多水源、多用户、多部门的水资源调配计算, 并结合 WebGIS 和可视化技术将水资源配置结果展示到表现层。

2.2.3 应用支撑层

应用支撑层提供水资源调配系统的业务处理、数据管理、调配模型模拟计算等重要功能。该层主要由 Tomcat 构建的 Web 应用服务器、MySQL 数据库管理系统、Lingo 的动态链接库、水资源配置模型等部分组成。应用支撑层通过 MySQL 数据库访问和管理本地或云服务器数据, 利用 Spring 框架内置的 Tomcat 技术为系统提供 Web 服务。

2.2.4 数据层

数据层为整个水资源优化调配系统提供数据的增删改查服务。系统的数据主要包括经济社会数据、地理空间数据、水文数据、用户信息数据和水资源配置方案数据等。数据层通过 Spring JDBC 技术来统一管理, 应用支撑层调用与数据库对应的 Mapper 文件对数据进行处理。其中: 经济社会数据主要提供项目区主要的经济指标数据如人口、经济产值、农业灌溉水量等; 水资源数据主要提供项目区不同保证率下的供水量和需水量; 地理空间数据主要提供项目区的位置和配水的路线信息; 配置方

案数据提供对业务层水资源配置方案的存储。

3 引江济淮工程(河南段)水资源优化调配系统

根据引江济淮工程(河南段)总体调配需求, 将调配系统分为 4 个子模块: 信息服务模块、供需水预测模块、水资源优化配置模块、水资源优化调度模块。基于供需预测模型进行水资源供需预测研究, 在得到受水区供需分析结果后开展水资源优化配置研究, 然后在得到受水区需水量和可配置水量的基础上, 按照以供定需的原则进行供需双侧调控, 最后在水资源供需平衡的条件下开展水资源优化调度研究, 得到受水区多水源、多用户、多部门的调配方案。各模块之间使用同一套数据进行传输, 解决了水资源常规配置中供需端和调配端结合不紧密的问题, 形成了集供需水预测-水资源配置模型-水资源调度模型为一体的水资源调配系统, 以模块化的形式存储于服务器端的决策系统中, 见图 3。

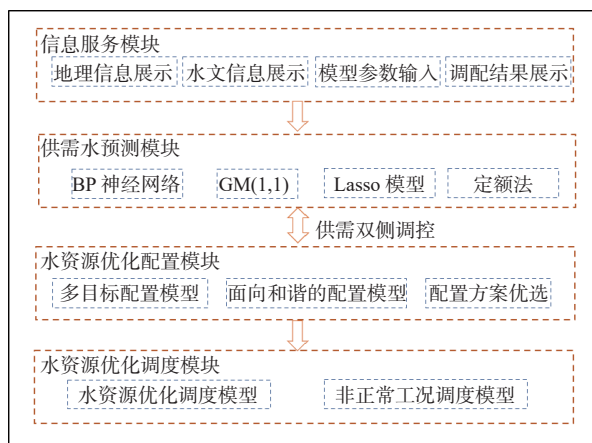


图 3 水资源调配系统模块信息
Fig. 3 Module information of water resource allocation system

3.1 信息服务模块

信息服务模块为调配系统的基础部分, 为用户提供了引江济淮工程(河南段)基本信息的展示, 包括受水区水资源综合信息展示、工程调水路线信息展示以及受水区历史数据查询 3 个部分: 受水区水资源综合信息展示包括水系、水库、水闸的基础信息的展示; 工程调水路线信息展示为引江济淮工程(河南段)分为清水河段、鹿辛运河段、后陈楼调蓄水库—七里桥调蓄水库段(压力管道)、七里桥调蓄水库—新城调蓄水库(压力管道)、七里桥调蓄水库—夏邑出水池(压力管道)共 5 部分, 用户可以在项目规划图中查看调水路线信息; 受水区历史数据查询中

用户可以查询受水区 2010—2020 年地表水、地下水、中水对工业、农业、生活、生态多部门的历史供水数据,以及经济发展指标等数据。

通过调用天地图提供的 API 以及 WebGL 技术,开发了水资源调度系统的基本信息展示图。地图

上展示了受水区的边界图、七里桥水库、袁桥泵站、试量闸等水工建筑物的地理位置、配水路线等信息,用户点击相应的图标可以获取水工建筑物的基本参数信息以及它在水资源配置中起到的作用。受水区基本信息见图 4。

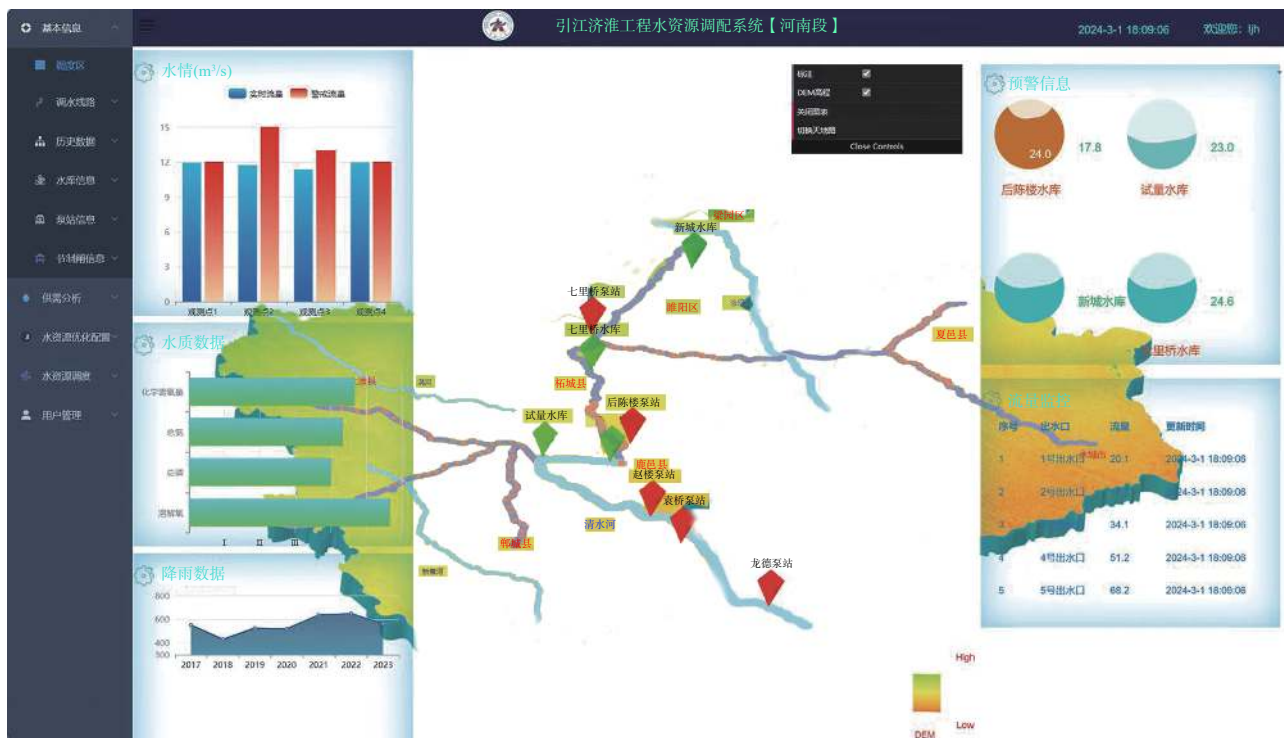


图 4 受水区基本信息

Fig. 4 Basic information of water intake area

3.2 供需水预测模块

系统采用多种方法进行需水量的预测,包括 BP 神经网络^[22]、GM(1,1)^[23] 灰色预测模型以及定额法,用户可结合数据的特征和模型的适用性选择合适的预测模型。用户在前端输入模型的参数,系统后端会基于前端传输的模型参数以及数据库中受水区多年的供需水数据,率定并求解模型,然后在前端页面展示数据的预处理结果、模型构建过程以及预测成果。可供水量包括地表水量、地下水量以及中水,结合《引江济淮工程河南段初步设计报告》以及对现状蓄水工程、外调水工程、污水处理工程、地下水预间期可开采量进行分析,利用定额法对 2030 规划年和 2040 规划年的可供水量进行预测。供需水预测结果会以方案的形式存储在数据库中,以供水资源调配模型调取。

水资源供需分析是建立在基准年和规划水平年经济社会发展对水资源的需求的基础上,在无引江济淮工程的前提下,区域内水资源的供求态势分析。如图 5 所示,在 2030 年 75% 保证率下,系统测试结

果为:鹿邑县和太康县缺水率较大分别为 32% 和 36%;受水区总需水量为 28 亿 m^3 ,总供水量为 21.2 亿 m^3 ;总缺水量为 6.8 亿 m^3 ,缺水率为 24.2%。可以看出,由于经济社会的快速发展,如无外水补给,受水区规划水平年的水资源供需矛盾仍然存在。

供需水预测模块使用了 ml5.js、ECharts 等技术。ml5.js 是能在浏览器里面运行的机器学习框架,它封装了 tensorflow.js 的 API,能帮助开发者快速构建机器学习模型。ECharts 是基于 JavaScript 语言实现的可视化图形库,兼容当前绝大部分浏览器,可以为开发者提供动态渲染、内容丰富、交互灵活的图表^[24]。

3.3 水资源优化配置模块

水资源优化配置模块包括多目标水资源优化配置模型、面向和谐的水资源配置模型和水资源配置方案优选 3 部分。其中,多目标水资源配置模型以受水区总缺水率最小和总经济效益最大为目标。

引江济淮工程(河南段)水资源和谐调配的目的是减少受水区供需矛盾、促进受水区人水和谐以及

高质量发展。通过制定和调整跨流域多水源调度运行方案,寻找和谐度最大时的最优和谐行为,以达到和谐调配的目的。

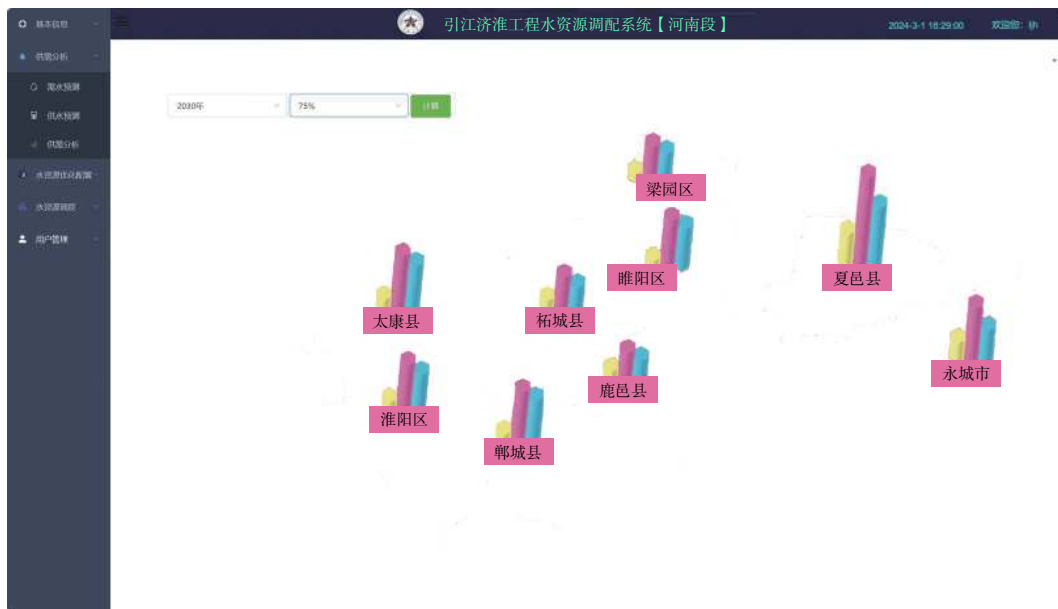


图 5 受水区供需水平衡分析

Fig. 5 Analysis of the balance of supply and demand in the receiving area

水资源年度和谐配置以 9 个受水区为主要研究对象,基于受水区缺水率平方和最小、和谐度最大、各用水户产生的总经济效益最大 3 个目标建立了水资源和谐配置模型,针对 3 个优化目标将模型分为 3 层进行求解。每层模型既是相互区别的,又是彼此关联的:它们具有不同的决策变量、目标函数和约束条件,上层的决策变量传递到下层作为参量参与下层约束决策,下层的目标函数也会影响上层模型的结果寻优,彼此相互反馈,直到找到整体最优的多水源和谐配置方案。以受水区综合缺水率最小为第一目标,目的是在可调引江水总量一定的情况下优先满足公平;在满足第一层目标的前提下,以受水区水资源供需和谐度最大为第二目标,进行第二层次的系统优化,目的是调整各用户需水量,使受水区和谐度达到最高水平;将一、二层优化的结果作为第三层的约束条件,以受水区总供水效益最大为目标,求解多水源、多用户的配置结果。见公式(1)~(3)。其中,和谐度计算采用了和谐论的基本思想^[25],通过建立评价体系摸清受水区经济发展和水资源利用现状,借鉴“单指标量化-多指标综合-多准则集成”评价方法,计算和谐分水系数,然后根据公式(2)计算其和谐度。用户需在前端输入决策变量、约束条件、用水保证率以及规划年,数据经过后端模型的处理会返回 9 个受水区在规划年中多水

源(地表水、地下水、引江济淮水、中水)对工业、农业、生活、生态 4 个部门的配水量以及受水区的缺水率、和谐度、经济效益,实现对年度水资源配置的优化计算,通过报表和图片的生成和导出,为调度部门提供多水源、多用户、多目标的年度和谐配置等信息。

图 6 左侧为和谐分水系数计算过程。中间柱形图展示了在 2030 规划年,多年平均保证率下不同地区、不同部门的水资源配置结果。图 6 右侧为模型参数的输入和多水源配置结果的展示。桑基图中蓝色曲线代表不同的水源对不同用户的配水情况,绿色曲线代表不同用户对不同部门的配水情况,曲线的粗细代表了水量的多少。系统测试计算结果表明,受水区地下水的供应量最大,农业部门的用水量最大,其中,和谐度为 0.94,综合缺水率为 2.4%,经济效益 793.1 亿元。

受水区缺水率平方和最小,公式为

$$\min F_1(x) = \sum_{j=1}^J \left[\frac{L_j - \mu_j X_{j, \text{引}}}{D_j} \right]^2 \quad (1)$$

式中: L_j 为 j 受水区不考虑引江济淮工程供水情况下的时段总缺水量,万 m^3 ; $X_{j, \text{引}}$ 为引江济淮工程向受水区 j 地供给的水量; D_j 为 j 受水区需水量,万 m^3 ; μ_j 为水量损失系数。

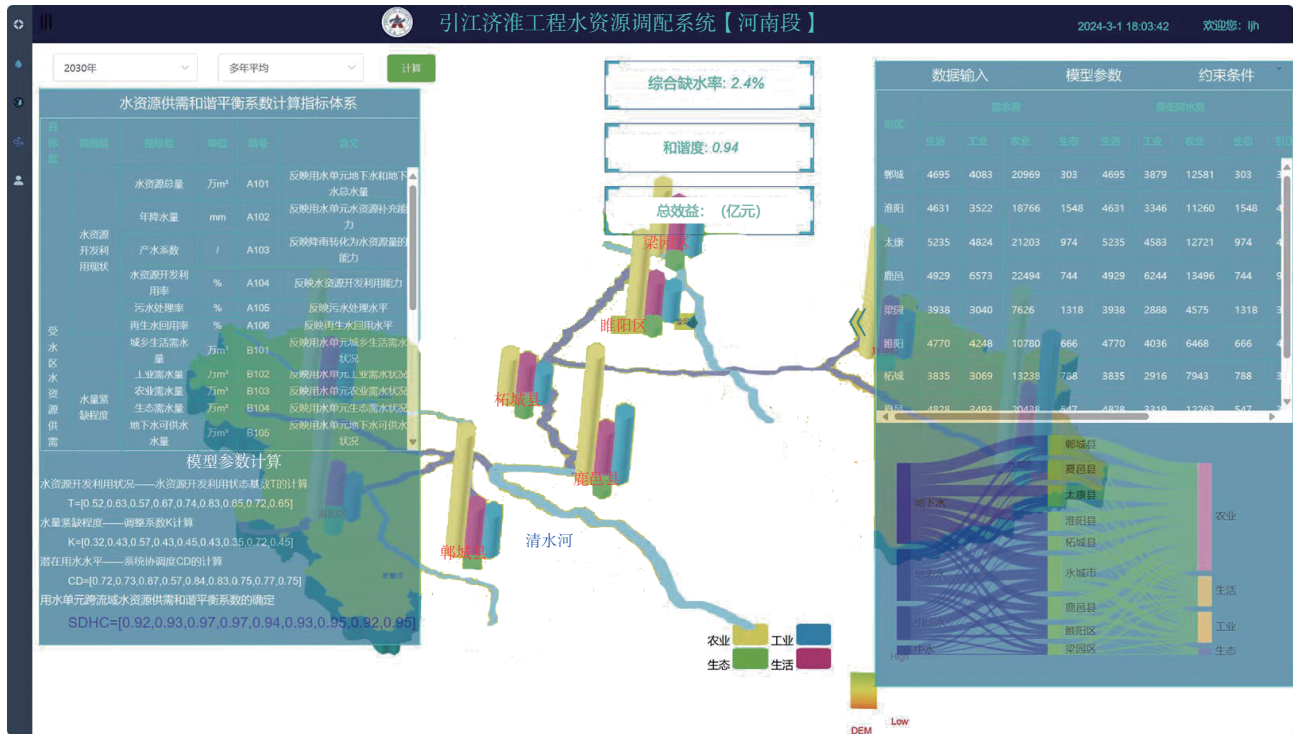


图6 面向和谐的水资源配置模型
Fig. 6 Harmonious water allocation model

水资源供需和谐度最大,公式为

$$\max F_2(x) = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J D_{H_{jk}} = \sum_{k=1}^K \phi_k \sum_{j=1}^J \omega_j (a_i - b_j) \quad (2)$$

式中: D_{H_j} 为受水区第 j 个用水单元水的和谐度 $D_{H_j} \in [0, 1]$, D_{H_j} 越大,表示受水区水资源的调配总体和谐程度越高; a 为统一度; b 为分歧度,

$$a = \begin{cases} \frac{x_{jk}}{R_{jk}}, & x_{jk} \leq R_{jk} \\ 1, & x_{jk} > R_{jk} \end{cases}, b = 1 - a; x_{jk} \text{ 表示第 } j \text{ 个用水单元对第 } k \text{ 个部门的配水量; } R_{jk} \text{ 为第 } j \text{ 个受水单元第 } k \text{ 部门的需水量; } \phi_k \text{ 为第 } k \text{ 个用水户的用水公平系数, } \omega_j \text{ 为第 } j \text{ 个用水单元和谐分水系数。}$$

多水源供水净效益最大,公式为

$$\max F_3(x) = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I p_{ijk} x_{ijk} \phi_k \sigma_i R_{ijk} \quad (3)$$

式中: x_{ijk} 为规划水平年 i 水源向受水区 j 地 k 用水户配水量, 万 m^3 ; p_{ijk} 为 i 水源向受水区 j 地 k 用水户配水的净效益系数, $\text{元}/\text{m}^3$; σ_i 为 i 水源的供水次序系数; R_{ijk} 为配水关系。

水资源配置方案优选。由于水资源优化调配模型的目标函数、约束条件与模型参数等存在差异,求解结果往往不同。因此对目前3种年调配方案进行比较:调配方案1来源于《引江济淮工程河南受

水区水资源论证报告书》(2019年);调配方案2为基于多目标规划的优化调配模型求解得到的年优化调配方案;调配方案3为面向和谐的水资源优化调配模型求解得到的年和谐调配方案。如图7所示,系统会计算出不同方案下的经济效益、缺水率、配水量信息以及不同方案差别的原因和最佳配置方案,可以有效辅助用户选择最优的水资源配置方案。

3.4 水资源优化调度模块

水资源优化调度模块包括水资源月优化调度、非正常工况调度两部分。水资源月度优化调度以水库和泵站为主要研究对象,以各受水对象缺水率平方和最小为目标函数,以年优化配置结果为边界条件,以各时段水库的出库流量为决策变量,以月为调度时段对工程来水进行调度,最终求得调水期内各个时段内各水库、泵站的调度计划(最优调度过程、水库水位及出入库流量)。在2030年水平年下,系统测试计算的月调水量见图8左图,其中1月份不同节点的流量见图8右图。

非正常工况调度。在泵站运行过程中,因设备损坏、断电等造成的突然停机会对整个泵站系统运行产生巨大影响。以清水河梯级泵站输水系统为研究对象,分别在单机泵站停机状态与全部泵站停机状态下模拟不同运行水位工况的水力变化过程,分析事故发生后上下级泵站之间的影响,并计算水

位超出安全运行区间的时间,提出应急响应调度运行方案,为决策者提供参考。用户可选择损坏的泵站,后端模型会返回泵站低水位、高水位、设计水位运行工况下的最大应急响应时间以及当前工况达

到最高(低)水位需要的时间,如图 9所示,模拟当赵楼泵站出现故障后的处理响应时间。模拟结果可辅助用户制定针对各种突发情况的应急解决方案。

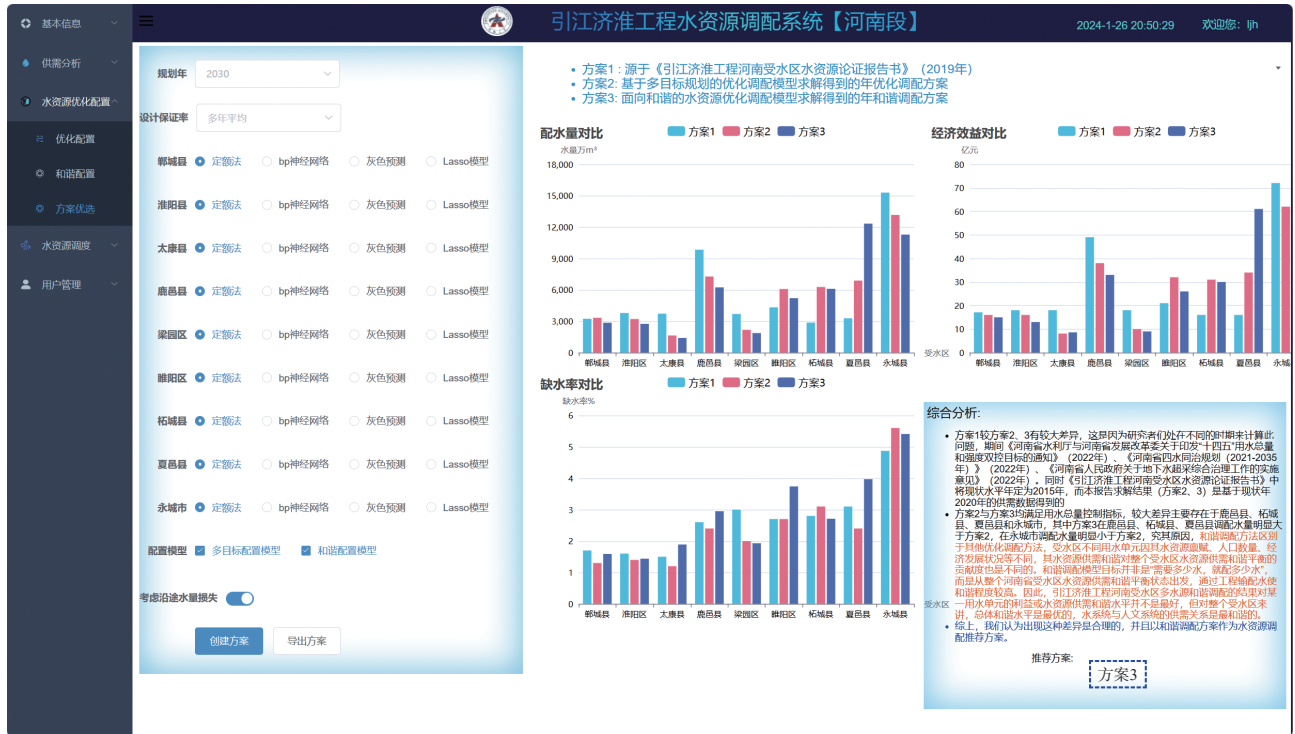


图 7 水资源调配方案优选

Fig. 7 Optimal water resource allocation schemes

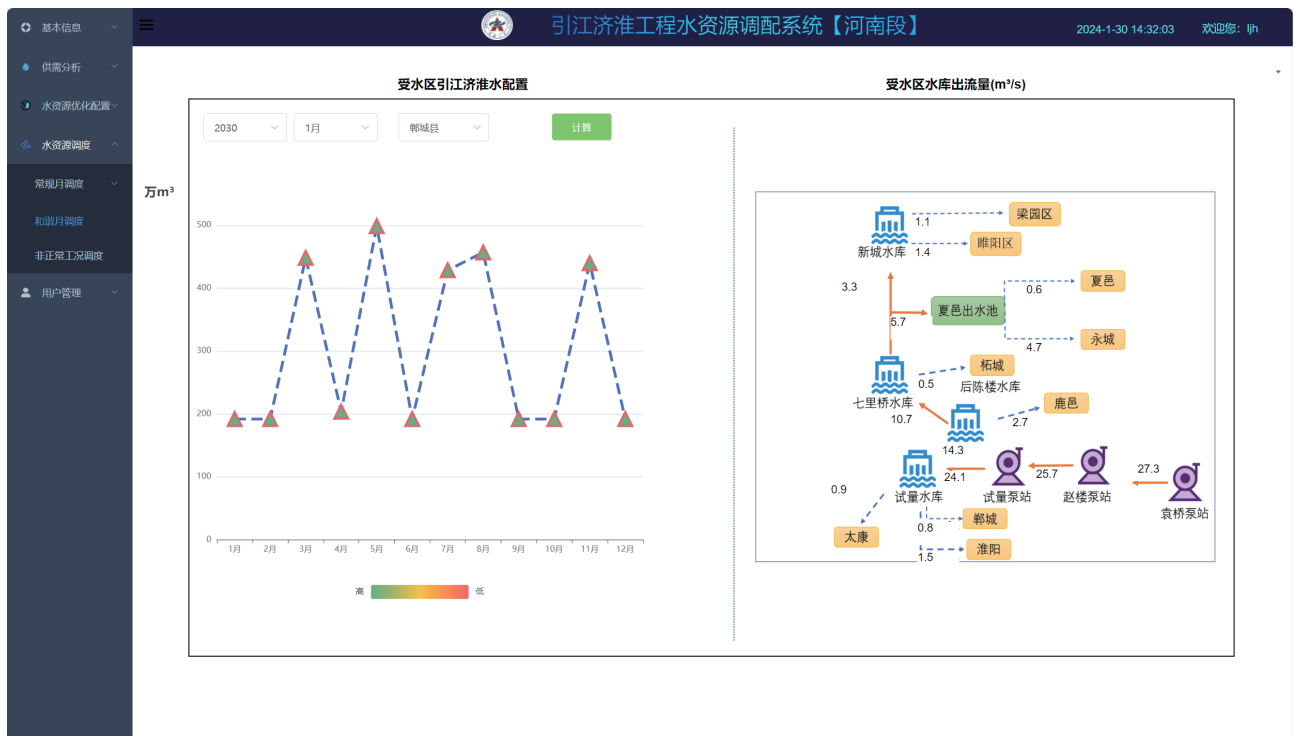


图 8 水资源月优化调度结果

Fig. 8 Results of monthly optimal water resources operation

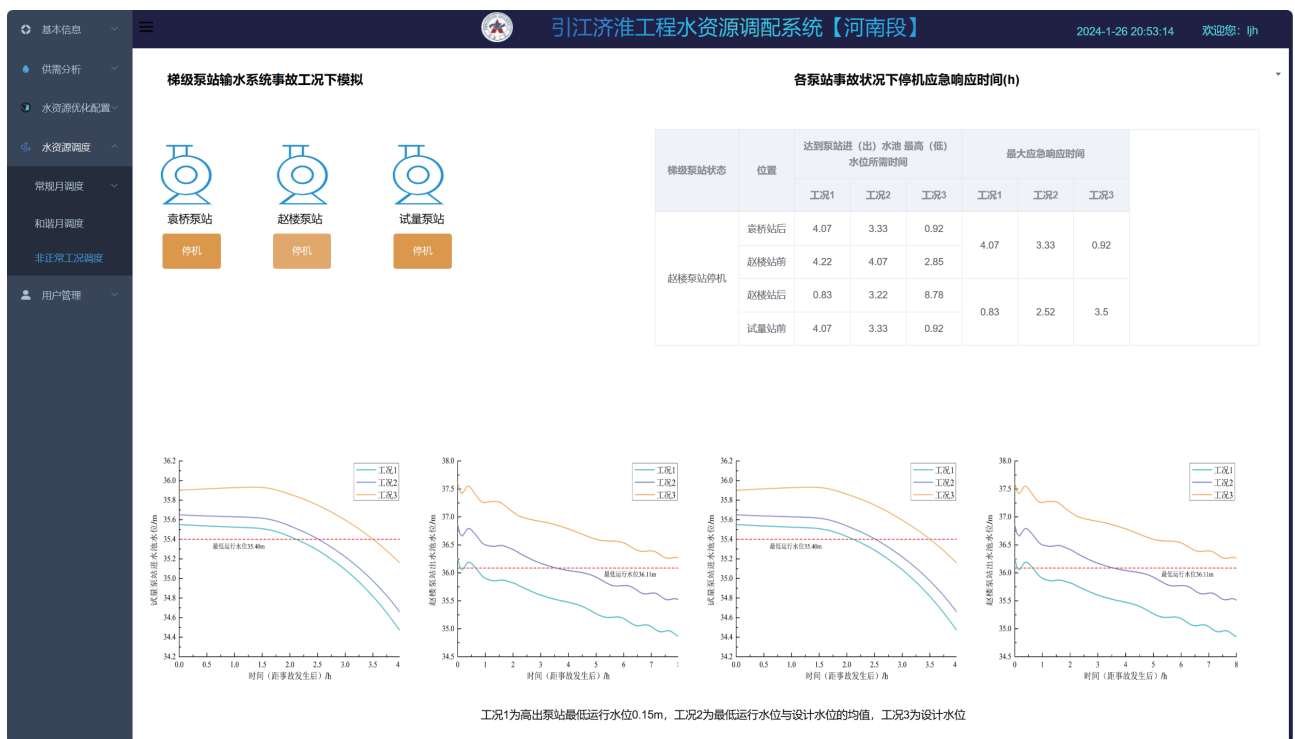


图9 非正常工况调度

Fig. 9 Operation under the abnormal working condition

4 结论

结合引江济淮工程(河南段)水资源调配的工程实践需求,研发了一套数字化、智能化、可视化的综合调度管理系统,实现供需水预测、水资源和谐调配计算与结果展示、信息查询与管理等功能,提高了引江济淮工程(河南段)水资源调配管理能力,具体体现在:将受水区水利信息、地理信息进行整合,通过前后端分离开发的模式,实现信息数据和模型数据的统一管理;引入和谐度作为人水和谐的评价标准,旨在减少受水区供需矛盾,改善生态环境,实现高质量发展;构建集水资源供需预测-水资源优化配置-水资源优化调度为一体的配置模型,解决引江济淮工程(河南段)跨流域调配水的难题,实现了多水源、多用户、多目标水量分配可视化、方案决策智能化和跨流域调水管控一体化。引江济淮工程(河南段)尚处于建设初期,面向数字孪生目标的调度管理模式有待进一步研究和开发。

参考文献:

[1] 雷晓辉,张利娜,纪毅,等. 引江济淮工程年水量调度模型研究[J]. 人民长江, 2021, 52(5): 1-7. DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2021.05.001.
 [2] 左其亭,赵衡,马军霞. 水资源与经济社会和谐平衡

研究[J]. 水利学报, 2014, 45(7): 785-792, 800. DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.2014.07.004.

[3] 游进军,蔡露瑶,林鹏飞,等. 基于分类效率识别的水资源承载力三层次评价方法[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2022, 20(4): 631-642. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2022.0065.
 [4] 关雪桦,陈志和,叶智恒. 中山市水资源系统动态模拟与敏感性分析[J]. 水资源保护, 2022, 38(2): 103-111. DOI: 10.3880/jissn.10046933.2022.02.015.
 [5] ZHANG Y, ZUO Q T, WU Q S, et al. An integrated diagnostic framework for water resource spatial equilibrium considering water-economy-ecology nexus [J]. Journal of Cleaner Production, 2023, 414: 137592. DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2023.137592.
 [6] 陶洁,张李婷,左其亭,等. 基于泰尔指数的水资源配置公平性研究:以引江济淮工程河南段为例[J]. 人民长江, 2023, 54(12): 113-119. DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2023.12.015.
 [7] 陶洁,王沛霖,王辉,等. 基于A-NSGA-III的引江济淮工程河南段水资源优化配置研究[J]. 水利水电科技进展, 2023, 43(6): 111-119.
 [8] 张建云,刘九夫,金君良. 关于智慧水利的认识与思考[J]. 水利水运工程学报, 2019(6): 1-7. DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640x.2019.06.001.

- [9] 张文, 杨立功, 罗向平. 嘉兴市智慧水利平台设计与应用[J]. *水电能学*, 2022, 40(10): 209-212. DOI: [10.20040/j.cnki.1000-7709.2022.20212359](https://doi.org/10.20040/j.cnki.1000-7709.2022.20212359).
- [10] 李生钱, 袁福永, 毛中豪, 等. 引洮供水一期工程水量调度系统的设计与仿真验证[J]. *中国农村水利水电*, 2020(9): 122-126.
- [11] 刘江啸, 张进朝. 泵站智慧管控一体化平台的研究[J]. *中国农村水利水电*, 2022(9): 25-29.
- [12] 成良歌. 丹江口水库水资源调度管理系统设计与实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2019.
- [13] 陈序, 董增川, 杨光. 沿海围垦区水资源管理决策系统开发研究[J]. *南水北调与水利科技*, 2016, 14(1): 72-77. DOI: [10.13476/j.cnki.nsbdqk.2016.01.012](https://doi.org/10.13476/j.cnki.nsbdqk.2016.01.012).
- [14] 李彤彤. 海口市水资源优化配置及调度系统[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- [15] 左其亭, 张志卓, 李东林, 等. 黄河河南段区域划分及高质量发展路径优选研究框架[J]. *南水北调与水利科技(中英文)*, 2021, 19(2): 209-216. DOI: [10.13476/j.cnki.nsbdqk.2021.0022](https://doi.org/10.13476/j.cnki.nsbdqk.2021.0022).
- [16] 魏永强, 黄草, 张移郁, 等. 中小流域水库群智能调度与决策支持系统设计与开发[J]. *中国防汛抗旱*, 2021, 31(10): 61-66. DOI: [10.16867/j.issn.1673-9264.2021085](https://doi.org/10.16867/j.issn.1673-9264.2021085).
- [17] 王微微, 李奕超, 赵瑞莲, 等. Web应用前后端融合的遗传算法并行化测试用例生成[J]. *软件学报*, 2020, 31(5): 1314-1331. DOI: [10.13328/j.cnki.jos.005955](https://doi.org/10.13328/j.cnki.jos.005955).
- [18] 刘翎翔, 潘祖烈, 李阳, 等. 基于前后端关联性分析的固件漏洞静态定位方法[J]. *信息安全*, 2022, 22(8): 44-54. DOI: [10.3969/j.issn.1671-1122.2022.08.006](https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-1122.2022.08.006).
- [19] BHADORIA RS, ZAINI H G, NEZAMI M M, et al. Cone model in resource provisioning for Service-Oriented Architecture System: An effective network management to the Internet of things[J]. *IEEE Access*, 2022, 10: 61385-61397. DOI: [10.1109/ACCESS.2022.3181546](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3181546).
- [20] ROBLES M C, AMOS H M, DODSON J B, et al. The GLOBE spring cloud challenge[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2020, 101(11): 985-990. DOI: [10.1175/BAMS-D-19-0295.A](https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0295.A).
- [21] 王宁, 邹强, 王汉东, 等. 基于Flex和SOA的防洪调度管理信息系统开发[J]. *人民长江*, 2015, 46(23): 99-103. DOI: [10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.23.023](https://doi.org/10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.23.023).
- [22] 李晓英, 苏志伟, 周华, 等. 基于主成分分析的GA-BP模型在城市需水预测中的应用[J]. *南水北调与水利科技*, 2017, 15(6): 39-44. DOI: [10.13476/j.cnki.nsbdqk.2017.06.006](https://doi.org/10.13476/j.cnki.nsbdqk.2017.06.006).
- [23] 栾清华, 庞婷婷, 王志友, 等. 需水量预测技术方法文献分析及其应用综述[J]. *人民黄河*, 2022, 44(12): 62-66. DOI: [10.3969/j.issn.1000-1379.2022.12.012](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-1379.2022.12.012).
- [24] 芦天亮, 涂君奥, 杜彦辉, 等. 基于大数据技术的电信网络诈骗案件分析实验设计[J]. *实验技术与管理*, 2020, 37(10): 50-55. DOI: [10.16791/j.cnki.sjg.2020.10.014](https://doi.org/10.16791/j.cnki.sjg.2020.10.014).
- [25] 左其亭. 人水和谐论及其应用研究总结与展望[J]. *水利学报*, 2019, 50(1): 135-144. DOI: [10.13243/j.cnki.slxb.20180783](https://doi.org/10.13243/j.cnki.slxb.20180783).

Design and development of water resources optimal allocation system for Yangtze-to-Huaihe River Water Diversion Project (Henan section)

LI He¹, LIU Jinhan¹, ZUO Qiting¹, GAN Rong¹, WANG Hui², FENG Yuehua³

(1. School of Water Conservancy and Transportation, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Henan Water Diversion Engineering Co., Ltd, Zhengzhou 450000, China; 3. Henan Yudong Water Conservancy Security Center, Kaifeng 475000, China)

Abstract: The Yangtze-to-Huaihe River Water Diversion Project (Henan Section) is located in the eastern part of Henan Province, and its water consumption affects many elements of life, including agricultural irrigation, industry, and the environment. The carrying capacity of water resources is incompatible with the distribution of population and cultivated land. There are issues such as low per capita average water per mu, industrial water crowding out other water uses, and complex engineering measures, coupled with the congenital scarcity of water resources. The contradiction between supply and demand for water resources in the water-affected area is tense, and the paradox between people and water is growing. However, the current researches rarely take the human-water relationship into

account in the optimization goal, and the configuration results may cause human-water disharmony. The project has been opened to water, but there is currently no supporting allocation system in the Henan section, and how to incorporate the concept of harmonious water allocation into the optimal allocation system of water resources to alleviate the contradiction between people and water in the water-affected areas, improve the ecological environment, and drive economic growth is an urgent problem to be solved.

To strengthen the unified allocation of water resources, based on the model of separate development of Spring Boot and Vue front-end and back-end, the water resources allocation system of the Henan section was designed and developed by Tianditu API, WebGL, Echarts, Lingo and other technologies. Among them, the front-end framework was built by Vue framework, Tianditu API, WebGL, and Echarts technology, and the main functions are model parameter input and data visualization. The back-end framework was built using Spring Boot and Lingo technology, and the main functions are the solution of water resource allocation models and data persistence. The advantage of this front-end and back-end development of system separation is that the development weight of the entire project is shifted forward, and the front-end and back-end developers can develop together, to improve the efficiency of system research and development, truly realizing the decoupling of the front-end and back-end of the system, separates dynamic and static resources, improves the scalability of the system, and facilitates the secondary development of the water resource allocation system.

The system design ideas and implementation process were discussed from the three perspectives of system design, functional interface, and key technology, to realize the functions of geographic information service, supply and demand water forecast, annual harmonious allocation of water resources, monthly scheduling scheme of engineering, and scheduling of abnormal working conditions, and realize the visualization of water allocation, intelligent operation scheduling, and integration of cross-basin water diversion management and control.

The establishment of the water resources allocation system of the Henan section has improved the level of refined management of water resources in the receiving area, solved the multi-source, multi-target, and multi-department allocation problem of the cross-basin water diversion project, and provided effective technical support for the efficient utilization of water resources in the Yangtze to Huaihe River Water Diversion (Henan section).

Key words: Yangtze-to-Huaihe River Water Diversion Project (Henan section); water resource dispatching system; Spring Boot; Vue; separate development model of the front and back ends; harmonious allocation of water resources