

以水定产背景下水资源配置经济 - 社会 - 环境效益定量评估

李艳花¹, 潘春², 杨庭萱³, 孟凡增¹, 许银山⁴, 张袁宁⁴, 郭香利⁵, 李广辉⁶, 王现勋^{3*}

¹濮阳市水资源中心, 河南 濮阳

²长江水利水电开发集团(湖北)有限公司, 湖北 武汉

³长江大学资源与环境学院油气地球化学与环境湖北省重点实验室, 湖北 武汉

⁴长江水利委员会水文局, 湖北 武汉

⁵濮阳市水利勘测设计有限公司, 河南 濮阳

⁶河南水谷创新科技研究院有限公司, 河南 郑州

收稿日期: 2026年1月13日; 录用日期: 2026年2月13日; 发布日期: 2026年4月30日

摘要

在以水定产的背景下, 水资源的社会与环境效益作为其在产业间配置的重要考量, 其科学量化至关重要。针对现有量化方法存在数据获取困难、普适性弱的问题, 本文提出一种基于公开年鉴与公报信息, 利用行业薪酬增益和环境治理成本分别量化社会效益与环境效益的新方法, 并将其纳入以水定产背景下的水资源经济 - 社会 - 环境综合优化模型。以河南省濮阳市为例的案例研究表明, 该方法能够有效实现对水资源配置中社会与环境效益的定量刻画; 进一步分析表明, 基于该模型的优化配置可使综合效益提升约0.462亿元, 并揭示出经济、社会、环境效益之间相互影响与制约的关系, 验证了所提方法的可行性与合理性。本文为水资源配置等相关研究提供了新的技术参考。

关键词

以水定产, 水资源配置, 社会效益, 环境效益, 量化表征

Quantitative Evaluation of Economic-Social-Environmental Benefits of Water Resource Allocation Based on Determining Production by Water

Yanhua Li¹, Chun Pan², Tingxuan Yang³, Fanzeng Meng¹, Yinshan Xu⁴, Yuanning Zhang⁴, Xiangli Guo⁵, Guanghui Li⁶, Xianxun Wang^{3*}

¹Puyang City Water Resources Center, Puyang Henan

作者简介: 王现勋(1982-), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为水资源规划与管理。

*通讯作者 Email: wangxianxun@yangtzeu.edu.cn

文章引用: 李艳花, 潘春, 杨庭萱, 孟凡增, 许银山, 张袁宁, 郭香利, 李广辉, 王现勋. 以水定产背景下水资源配置经济-社会-环境效益定量评估[J]. 水资源研究, 2026, 15(2): 119-130. DOI: 10.12677/jwrr.2026.152015

²Changjiang Water Resources and Hydropower Development Group (Hubei) Co., Ltd., Wuhan Hubei

³Hubei Key Laboratory of Petroleum Geochemistry and Environment, College of Resources and Environment, Yangtze University, Wuhan Hubei

⁴Bureau of Hydrology Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei

⁵Puyang Water Conservancy Survey and Design Co., Ltd., Puyang Henan

⁶Henan Water Valley Innovation Technology Research Institute Co., Ltd., Zhengzhou Henan

Received: January 13, 2026; accepted: February 13, 2026; published: April 30, 2026

Abstract

Under the water-determined production framework, scientifically quantifying the social and environmental benefits of water resources is essential for inter-industry allocation. To address the difficulties in data acquisition and limited generalizability of existing methods, this study proposes a new approach that quantifies social benefits using industry salary increments and environmental benefits with governance costs, based on publicly available yearbooks and bulletins. This method is incorporated into an economic-social-environmental optimization model for water allocation. A case study in Puyang City, Henan Province shows that the method effectively quantifies these benefits. Optimization based on this model increased comprehensive benefits by approximately 46.2 million yuan, revealing the interactions and trade-offs among economic, social, and environmental benefits, thus verifying the feasibility of the model. This work provides a valuable technical reference for water resource allocation research.

Keywords

Determine Production by Water, Water Resource Allocation, Social Benefits, Environmental Benefits, Quantitative Representation

Copyright © 2026 by author(s) and Wuhan University & Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial International License (CC BY-NC 4.0).

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



Open Access

1. 引言

中国人均水资源量偏少,水资源供需矛盾已成为制约部分地区经济可持续发展的重要因素[1]。针对此问题,提出了一系列制度,推动水资源管理体系从单一工程治理向“水量 - 水质 - 用水效能”协同管控的系统治理转变[2]-[4]。“四水四定”强调对水资源的精细化管理,以保障水资源的合理使用和可持续发展[5],为水资源配置研究提供了新的视角。张雅萱[6]基于“四水四定”原则和生态足迹理论来评价水资源承载力,提出了基于水资源分布的产业结构调整方案。程蕾等[7]基于复合生态系统理论提出了“以水定产”的促进可持续水管理的概念框架及实施路径。魏豪杉等[8]构建了可动态调控的“四水四定”模型体系。

水资源优化配置是破解供需矛盾的核心路径,其目标从早期的水量分配拓展至经济、社会、生态多维效益的统筹协调[9]-[11]。水资源配置涉及到多个方面,其中关于水资源效益的评价是一个重点。效益评价主要包括对经济[12]、社会[13]、生态环境[14][15]和公平性[16]等目标的刻画。在现有研究中,社会效益采用区域总缺水[17]、就业机会[18]等来刻画;环境效益采用污染物排放量[19][20]等来刻画。社会效益评估方面,选取区域总缺水刻画社会目标忽视了不同行业的用水产出差异。环境效益评估方面,污染物排放大多选取 COD、BOD 等常规指标量化。鉴于此,考虑到一方面增加就业机会和薪酬是提高社会福祉的重要体现,统计年鉴等资料中的就业薪酬可直观表征水资源在不同产业之间配置所产生社会效益的差异,另一方面二氧化碳和污水排放是加重

环境负担的主要原因，环境公报等材料中的排放信息可清晰反映水资源在各个产业之间分配所带来环境效益的不同，本文尝试提出一种基于年鉴、公报等公开信息从行业薪酬增益和环境治理成本的角度定量表征水资源配置的社会效益和环境效益的新方法，并通过案例验证其可行性和合理性，以期水资源配置提供技术支持。

2. 模型构建

本研究将研究区域的农业节水量分配至工业的不同行业。考虑到一方面工业用水大户反映了该行业在水资源配置中的占比和重要性，另一方面有限的农业节水量无法满足所有工业用水需求，因此，在需水方面，首先一定程度上优先满足主要工业用水大户的用水，然后再将其余水量进行分配，以获取配置效益最大化。水资源优化配置模型采用多目标规划求解的方法来进行构建，模型包括目标函数和约束条件。鉴于水资源配置通常在不同行政区划之间进行，本研究将研究区域划分为若干个子区以考虑不同子区之间的水量调配。

2.1. 决策变量

x_j^i 为决策变量，表示 i 子区内向 j 工业行业供水量(m^3)。

2.2. 目标函数

水资源配置优化目标包括经济效益目标、社会效益目标和环境效益目标。目标函数数学表达式如下所示：

1) 经济效益目标：以农业节水量销售至各个工业行业的销售效益最大进行刻画。

$$F_1(X) = \max \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} (a_j^i \times x_j^i) \quad (1)$$

式中， a_j^i 为 i 子区内向 j 工业行业供水水费价格(元/ m^3)。

2) 社会效益目标：以区域薪酬增益最大为目标进行刻画。

$$F_2(X) = \max \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} (\alpha \times b_j^i \times x_j^i) \quad (2)$$

式中， b_j^i 为 i 子区内向 j 工业行业供水的社会效益系数(元/ m^3)，根据统计年鉴中各工业行业薪酬确定； α 为薪酬折减系数。

3) 环境效益目标：以区域内环境治理成本最小为目标进行刻画。

$$F_3(X) = \min \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} (\beta \times c_j^i \times x_j^i + e_j^i \times x_j^i) \quad (3)$$

式中， c_j^i 为 i 子区内向 j 工业行业供水所带来的碳排放成本(元/ m^3)； e_j^i 为 i 子区内向 j 工业行业供水所带来的污水治理成本(元/ m^3)，根据《中国环境统计年鉴》确定； β 为碳排放成本折减系数。

碳排放计算是评估和衡量温室气体排放的过程，通常以二氧化碳为主要衡量指标。碳排放的算式如下：

$$M = \sum_{j=1}^{J(i)} E_j \times CEF_j \quad (4)$$

式中， M 为碳排放量； E_j 为 j 工业行业的能源消耗量，根据统计年鉴确定； CEF_j 为能源的碳排放系数(每单位能源消耗所排放的温室气体量)。

4) 总目标。

$$F(X) = \omega_1 \times F_1(X) + \omega_2 \times F_2(X) + \omega_3 \times F_3(X) \quad (5)$$

式中， ω_1 、 ω_2 、 ω_3 对应地为经济、社会和环境效益目标的权重系数。

2.3. 约束条件

水资源配置优化模型包括供水约束、用水约束等，其数学表达式如下所示：

1) 区域可供水量约束。

$$\sum_{j=1}^{J(i)} x_j^i \leq W_j^i \quad (6)$$

式中, W_j^i 为 i 子区的预测可供水总量(m^3)。

2) 用户需水量约束。

$$D_{j_{\min}}^i \leq \sum_{j=1}^{J(i)} x_j^i \leq D_{j_{\max}}^i \quad (7)$$

式中, $D_{j_{\min}}^i$ 、 $D_{j_{\max}}^i$ 分别为 i 子区中 j 工业行业最小、最大需水量。

3) 输水能力约束。

$$x_j^i \leq Q_{j_{\max}}^i \quad (8)$$

式中, $Q_{j_{\max}}^i$ 为 i 子区至 j 工业行业的最大输水能力。

4) 变量非负约束。

$$x_j^i \geq 0 \quad (9)$$

3. 研究案例

3.1. 研究区概况

本研究选取河南省濮阳市为研究对象,分析农业节水量在各个县域不同工业行业之间配置的效益最优方案。濮阳市辖华龙区、经济技术开发区、濮阳县、清丰县、南乐县、范县和台前县,共 5 县 2 区。农业用水供给主要为引黄工程调水量及地下水。濮阳市的概况图如图 1 所示。

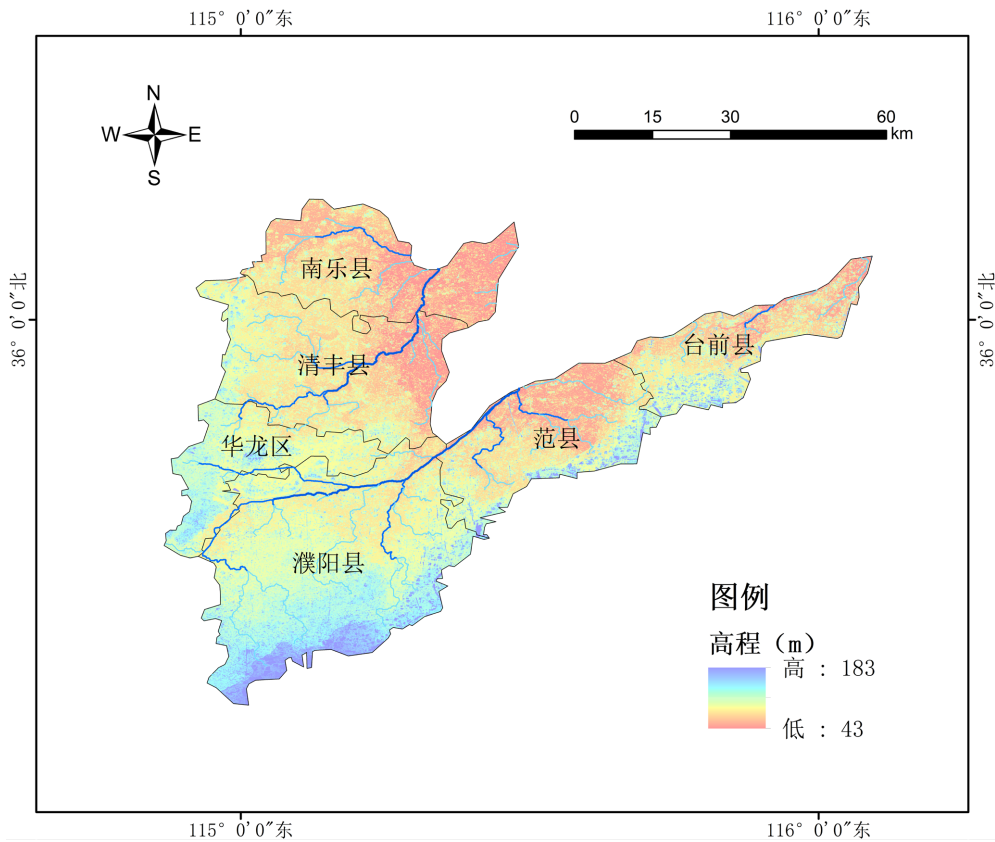


图 1. 濮阳市概况图

濮阳市将其工业行业主要划分为 9 个工业集聚区，涉及石油和天然气开采业等多个行业，如表 1 所示。

表 1. 濮阳市各县域工业集聚区分布

县域	集聚区
濮阳县	濮阳市化工产业集聚区
	濮阳县产业集聚区
清丰县	清丰县产业集聚区
南乐县	南乐县产业集聚区
范县	范县产业集聚区
台前县	台前县产业集聚区
华龙区	濮阳市产业集聚区
	濮东产业集聚区
开发区	经济技术产业集聚区

为便于计算且考虑各县域地理位置分布，仅在地理位置相邻的县域之间进行水资源调配。各县域之间水资源调配关系如表 2 所示。

表 2. 濮阳市各县域供水关系表

县域	濮阳县	清丰县	南乐县	范县	台前县	华龙区	开发区
濮阳县	——	■		■		■	■
清丰县	■	——	■			■	■
南乐县		■	——				
范县	■			——	■		
台前县				■	——		
华龙区	■	■				——	■
开发区	■	■				■	——

注：■表示该对应县域之间可进行水资源调配。

工业集聚区内所涉及的行业在各县域的分布情况如表 3 所示。

表 3. 濮阳市各县域工业行业分布情况表

编号	行业	濮阳县	清丰县	南乐县	范县	台前县	华龙区	开发区
1	石油和天然气开采业	——	——	——	——	——	■	——
2	食品制造业			■				
3	纺织业	■	■	■			■	
4	纺织服装、服饰业			■				
5	造纸及纸制品业		——	——	——	——		■
6	石油加工、炼焦及核燃料加工业		——	——	■	■		——
7	化学原料及化学制品制造业	■	■	■	■			■
8	橡胶和塑料制品业	■	■	——	■	■		■
9	电力、热力的生产和供应业	——	■		——	——	■	■

注：■表示该产业在对应县域为主要产业，——表示该产业在对应县域不存在。

3.2. 数据来源

本文数据来源于《濮阳市节水专项规划》《濮阳市统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《工业与城镇生活用水定额(DB41/T385-2014)》《濮阳水资源公报》和《节水灌溉工程技术标准(GB/T 50363-2018)》。

1) 各县域用水量。结合濮阳市各县域主要工业行业产品及用水定额(表 4), 得到工业行业用水量如表 5 所示。

表 4. 濮阳市主要工业行业用水定额表

行业	用水定额	单位
石油和天然气开采业	0.2~3.1	m ³ /t
食品制造业	1.9	m ³ /t
纺织业	1.55~75	m ³ /t
纺织服装、服饰业	3.4	m ³ /百件
造纸及纸制品业	16.5	m ³ /t
石油加工、炼焦及核燃料加工业	0.5~5	m ³ /t
化学原料及化学制品制造业	1.1~10	m ³ /t
橡胶和塑料制品业	4.8~34.3	m ³ /t
电力、热力的生产和供应业	0.97	m ³ /(MWh)

表 5. 濮阳市各县域主要工业行业用水量表(单位: m³)

行业		濮阳县	清丰县	南乐县	范县	台前县	华龙区	开发区
石油和天然气开采业	388.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	388.8	0.0
食品制造业	27.3	1.3	7.5	15.5	0.2	1.8	0.4	0.7
纺织业	247.8	49.3	79.3	47.5	28.7	4.8	17.1	20.9
纺织服装、服饰业	31.7	0.3	1.3	13.4	8.4	6.6	1.0	0.7
造纸及纸制品业	522.0	2.2	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	509.7
石油加工、炼焦及核燃料加工业	205.5	1.7	0.0	0.0	181.2	22.4	0.2	0.0
化学原料及化学制品制造业	962.1	97.3	43.3	53.1	216.6	8.4	7.9	535.6
橡胶和塑料制品业	1235.8	122.5	333.4	0.0	431.8	75.9	6.4	265.8
电力、热力的生产和供应业	503.3	0.0	53.4	3.2	0.0	0.0	23.4	423.3
总计	4124.2	274.7	518.1	132.7	866.9	129.8	445.3	1756.6

2) 单位水量的经济效益。采用河南省工业用水水价 1.8 元/m³。

3) 单位水量的社会效益。根据《濮阳市统计年鉴》得到工业各行业薪酬如表 6 所示, 除以对应工业行业用水量, 乘以薪酬折减系数, 得到各工业行业单位水量的社会效益。

4) 单位水量的环境效益。本研究选取造纸及纸制品行业进行污水治理成本计算, 根据《中国环境统计年鉴》, 得到其对应的污水处理成本 0.828 元/m³。根据《濮阳市统计年鉴》, 得出濮阳市主要工业行业的能源消耗如表 7 所示。计算出各主要工业行业的 CO₂ 排放量, 考虑碳排放价格, 乘以碳排放成本折减系数, 得到单位水量对应的碳排放成本。

表 6. 各工业行业薪酬(单位: 万元)

行业	薪酬(万元)
石油和天然气开采业	399,705
食品制造业	17,808
纺织业	7795
纺织服装、服饰业	21,252
造纸及纸制品业	32,834
石油加工、炼焦及核燃料加工业	8662
化学原料及化学制品制造业	113,328
橡胶和塑料制品业	12,626
电力、热力的生产和供应业	205,531

表 7. 各工业行业能源消耗量

指标	原煤 (t)	天然气 (万 m ³)	原油 (t)	汽油 (t)	柴油 (t)	液化石油 气(t)	炼厂干气 (t)	石脑油 (t)	热力 (百万 kJ)	电力 (万 kWh)
石油和天然气开采业	1300	7271	26,203	2232	9346	205	—	—	293,255	92,937
食品制造业	271	304	—	119	—	2	—	—	—	7240
纺织业	—	—	—	5	—	—	—	—	—	5564
纺织服装、服饰业	—	2	—	7	9	—	—	—	—	1133
造纸和纸制品业	1301	20	—	0	381	—	—	—	1,161,687	36,644
石油加工、炼焦和 核燃料加工业	—	2015	1,769,729	—	132	358	54,862	—	—	16,788
化学原料和化学制品 制造业	1,586,251	37,688	—	149	329	747,746	8491	435,337	3,218,148	145,685
橡胶和塑料制品业	—	148	—	6	—	—	—	—	—	10,429
电力、热力生产和 供应业	2,504,490	3088	—	4470	2650	12	—	—	1,338,345	42,060

单位水量供水在各行业所产生的效益如表 8 所示。

表 8. 各行业单位水量效益(单位: 元/m³)

行业	经济效益	环境效益	社会效益	综合
石油和天然气开采业	1.80	-1.76	1.03	1.07
食品制造业	1.80	-1.21	0.65	1.24
纺织业	1.80	-0.07	0.03	1.76
纺织服装、服饰业	1.80	-0.11	0.67	2.36
造纸及纸制品业	1.80	-1.24	0.06	0.62
石油加工、炼焦及核燃料加工业	1.80	-32.26	0.02	-30.42
化学原料及化学制品制造业	1.80	-10.03	0.12	-8.11
橡胶和塑料制品业	1.80	-0.03	0.01	1.78
电力、热力的生产和供应业	1.80	-9.59	0.04	-7.38

3.3. 节水需水预测

按照《濮阳市节水专项规划》中规划节水灌溉面积,结合节水措施灌溉水利用系数和灌溉水定额来预测农业节水量。各县域的预测节水量如表 9 所示,总节水量为 0.23 亿 m^3 。

表 9. 节水灌溉规模费用及节水量

县域	渠灌(hm^2)	低压管灌(hm^2)	微灌喷灌(hm^2)	节水量(亿 m^3)
濮阳县	6666.7	5600.0	160.0	0.08
清丰县	266.7	3066.7	173.3	0.03
南乐县	1333.3	1333.3	120.0	0.02
范县	6666.7	600.0	120.0	0.04
台前县	1000.0	2800.0	93.3	0.03
华龙区	266.7	533.3	133.3	0.01
开发区	266.7	3133.3	66.7	0.03
总计	16466.7	17066.7	866.7	0.23

各县域主导行业的需水量按各县域节水量乘以主导行业用水量占比的 80%,如表 10 所示。

表 10. 各县域主导行业需水量表(单位: m^3)

行业	濮阳县	清丰县	南乐县	范县	台前县	华龙区	开发区
石油和天然气开采业	—	—	—	—	—	476,191	—
食品制造业	—	—	168,430	—	—	—	—
纺织业	1,111,649	337,699	516,709	—	—	20,998	—
纺织服装、服饰业	—	—	145,669	—	—	—	—
造纸及纸制品业	—	—	—	—	—	—	628,262
石油加工、炼焦及核燃料加工业	—	—	—	—	—	—	—
化学原料及化学制品制造业	—	—	—	—	—	—	—
橡胶和塑料制品业	2,759,448	1,419,146	—	1,465,228	1,310,353	—	327,557
电力、热力的生产和供应业	—	—	—	—	—	—	—

4. 结果与分析

4.1. 配置方案

根据前述节水和需水分析,使用本研究所建水资源优化配置模型,可得到各县域各行业配置水量如表 11 所示。

在节水量方面,总节水量为 2275.2 万 m^3 ,其中濮阳县最多,为 794.7 万 m^3 ,华龙区最少,为 69.8 万 m^3 ;在用水量方面,总用水量为 2275.2 万 m^3 ,等于节水量,其中濮阳县最多,为 794.7 万 m^3 ,开发区最少,为 97.7 万 m^3 。总的来说节水量等于用水量,满足水量供需平衡要求。各县域主要行业的用水需求已得到满足,剩余水量被调出用于跨县域的水量配置。各县域的节水量、用水量如图 2 所示。可知,除濮阳县外,其他县域均存在跨县域调配的情况。清丰县的水分配给了南乐县;台前县的水分配给了范县;开发区的水分配给了华龙区。其中开发区调出水量最多,为 178.9 万 m^3 ,华龙区调入水量最多,为 178.9 万 m^3 。

表 11. 水资源配置结果(单位: 万 m³)

行业		濮阳县	清丰县	南乐县	范县	台前县	华龙区	开发区	合计
用水量	石油和天然气开采业	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.7	0.0	48.7
	食品制造业	0.0	0.0	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	17.3
	纺织业	114.2	34.5	53.0	0.0	0.0	2.1	0.0	203.9
	纺织服装、服饰业	397.0	0.0	217.0	331.0	50.6	197.8	0.0	1193.4
	造纸及纸制品业	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.2	64.2
	石油加工、炼焦及核燃料加工业	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	化学原料及化学制品制造业	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	橡胶和塑料制品业	283.5	145.0	0.0	151.6	134.1	0.0	33.5	747.7
	电力、热力的生产和供应业	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	总计	794.7	179.5	287.3	482.5	184.8	248.7	97.7	2275.2
节水量	总计	794.7	281.7	185.2	380.3	287.0	69.8	276.6	2275.2

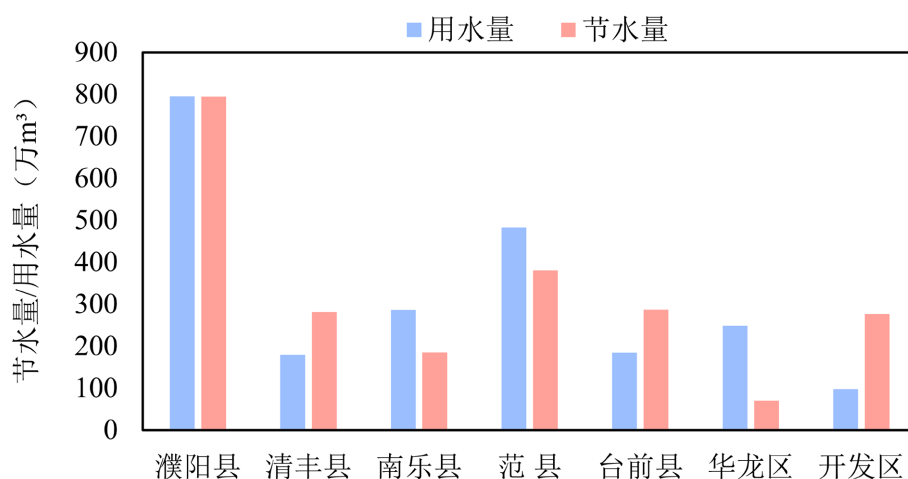


图 2. 濮阳市各县域节水量、用水量图

各工业行业的用水量、需水量如图 3 所示。社会效益高的行业(石油和天然气开采业、食品制造业、纺织业、纺织服装、服饰业、造纸及纸制品业、橡胶和塑料制品业), 被调增了用水量。其中, 纺织服装、服饰业社会效益高, 且在工业行业中环境效益相对较高, 调增的水量最多, 用水量为 1193.4 万。石油和天然气开采业和食品制造业社会效益高、但环境效益低, 调增的水量较少。纺织业和橡胶和塑料制品业环境效益相对较高, 但社会效益低, 调增水量较少。造纸及纸制品业社会效益和环境效益都低, 调增的水量少。石油加工、炼焦及核燃料加工业, 化学原料及化学制品制造业和电力、热力的生产和供应业行业环境效益极低, 使得综合效益为负, 被调减了用水量, 不进行水量分配。因此, 出现了水资源在满足行业一定用水需求后被调配至邻近县域效益较高其他行业的现象, 达到了水资源配置优化的目的; 同时有效地刻画和考虑了水资源综合配置中社会和环境效益的影响和贡献, 所提量化表征方法是可行和有效的。

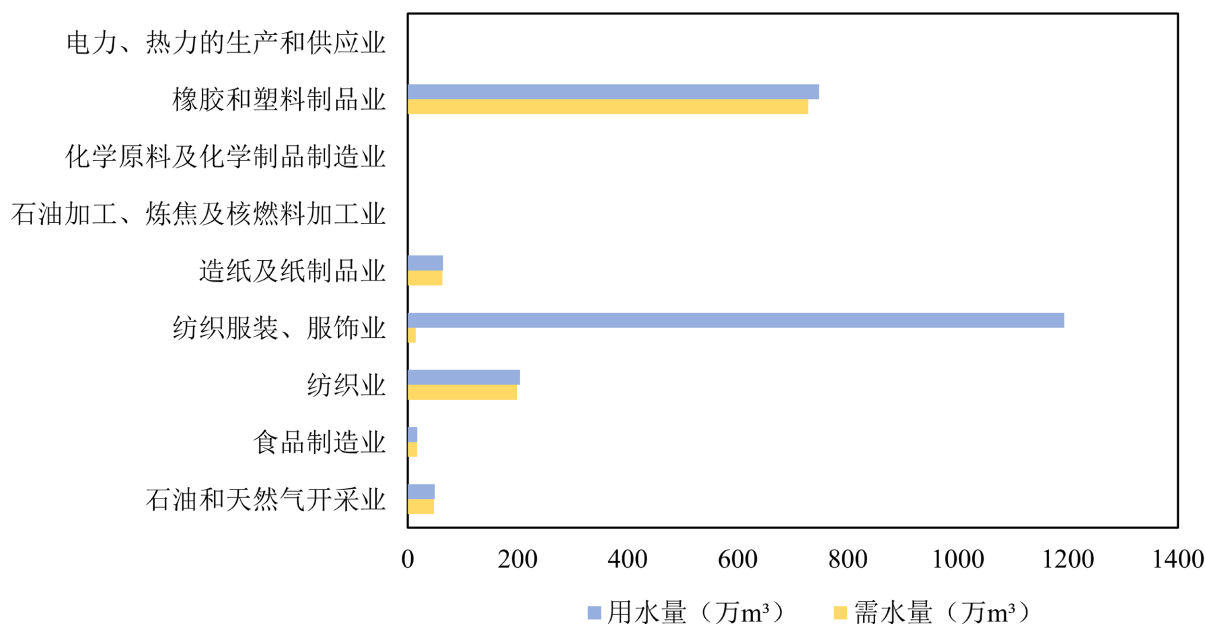


图 3. 濮阳市各工业行业用水量、需水量图

综上所述，使用本研究所建水资源优化配置模型，配置效益如表 12 所示，综合效益可提升 0.462 亿元。

表 12. 配置效益(单位：亿元)

效益	结果
经济效益	0.410
社会效益	0.088
环境效益	-0.036
综合效益	0.462

4.2. 效益分析

为探究经济效益、社会效益、环境效益之间的关系，设置 4 种不同权重系数的情景，如表 13 所示。

表 13. 不同情景下的目标权重

情景	经济目标	社会目标	环境目标
1	0.34	0.33	0.33
2	0.90	0.05	0.05
3	0.05	0.90	0.05
4	0.05	0.05	0.90

各情景配置效益如表 14 所示。由表 14 可知，增加经济目标的权重，行业单位水量的综合效益增加；增加社会目标的权重，行业单位水量的综合效益增加；增加环境目标的权重，行业单位水量的综合效益减少。对应地，随着经济目标权重的增加，社会目标和环境目标的权重不断减小，配置综合效益由 0.156 亿元增加到 0.323 亿元；随着社会目标权重的增加，经济目标和环境目标的权重不断减小，配置综合效益由 0.156 亿元减少到 0.115

亿元；随着环境目标权重的增加，经济目标和社会目标的权重不断减小，配置综合效益由 0.156 亿元减少至 0.013 亿元；符合客观实际。

表 14. 各情景配置结果(单位: 亿元)

效益	情景 1	情景 2	情景 3	情景 4
经济效益	0.139	0.369	0.020	0.020
社会效益	0.029	0.003	0.102	0.0002
环境效益	-0.012	-0.048	-0.008	-0.007
综合效益	0.156	0.323	0.115	0.013

综上所述，通过设置经济、社会、环境效益最优化三个目标不同权重的情景，使用本研究水资源配置模型，得出了经济效益、社会效益、环境效益之间互相联系和影响，相互制约的关系，符合客观实际，再次验证了量化方法的合理性。在相关决策规划中，应注重经济效益、社会效益和环境效益三个维度的协调与平衡，避免过度侧重某一方面。管理者可根据此关系进行节水与水资源配置方面的决策。

5. 结论

本研究提出一种基于年鉴、公报等公开信息从行业薪酬增益和环境治理成本的角度定量表征水资源配置的社会效益和环境效益的新方法，并引入至以水定产背景下的水资源配置经济 - 社会 - 环境综合优化模型，选取河南省濮阳市进行算例研究。主要结论如下：

- 1) 本研究所提量化方法刻画了水资源配置中水量分配带来的社会和环境效益，使用年鉴和公报等公开信息中的相关数据，计算并得到了社会和环境效益的具体数值，验证了方法的可行性；
- 2) 案例分析显示综合考虑经济、社会和环境效益的水资源优化配置方案可使区域综合效益提升约 0.462 亿元，进一步对比分析得到了水资源配置综合效益优化中经济效益、社会效益和环境效益之间相互影响和制约关系，符合客观实际，说明了所提方法的合理性。

基金项目

国家自然科学基金项目(U2240204, 51979198)；河南水谷创新科技研究院有限公司重点研发课题(2023-01038-06)。

参考文献

- [1] 张春玲, 付意成, 臧文斌, 等. 浅析中国水资源短缺与贫困关系[J]. 中国农村水利水电, 2013(1): 1-4.
- [2] 陈雷. 实行最严格的水资源管理制度保障经济社会可持续发展[J]. 中国水利, 2009(5): 9-17.
- [3] 王建华, 何凡. 承载力视域下的水资源消耗总量和强度双控行动认知解析[J]. 中国水利, 2016(23): 34-35+40.
- [4] 冯利海, 苏茂荣, 冯雨飞, 等. 建立水资源刚性约束制度全面提升水安全保障能力[J]. 人民黄河, 2021, 43(S2): 48-49+53.
- [5] 王浩, 许新发, 成静清, 等. 水资源保护利用“四水四定”: 基本认知与关键技术体系[J]. 水资源保护, 2023, 39(1): 1-7.
- [6] 张雅萱. “以水四定”背景下县域水资源承载力定量评价[J]. 中国农村水利水电, 2023(3): 60-68+73.
- [7] 程蕾, 陈吕军, 田金平, 等. “以水定产”驱动的黄河流域可持续水管理策略研究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(1): 187-197.
- [8] 魏豪杉, 王红瑞, 郝鹏鑫, 等. 基于水资源空间均衡的“四水四定”调控模型构建[J]. 水资源保护, 2024, 40(3): 71-77.
- [9] NAGHDI, S., BOZORG-HADDAD, O., KHORSANDI, M., et al. Multi-objective optimization for allocation of surface water and groundwater resources. *Science of the Total Environment*, 2021, 776: 146026. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146026>

- [10] 王慧, 高泽海, 孙超, 等. 基于 NSGA-II 的灌区水资源优化配置模型及应用[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(9): 118-124.
- [11] ROOZBAHANI, R., SCHREIDER, S. and ABBASI, B. Optimal water allocation through a multi-objective compromise between environmental, social, and economic preferences. *Environmental Modelling & Software*, 2015, 64: 18-30. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.11.001>
- [12] 张茵, 王婷, 游进军, 等. 全国水-社会经济耦合协调时空演变及其障碍因子分析[J]. 水利水电技术(中英文), 2023, 54(1): 64-74.
- [13] WANG, Z., TIAN, J. and FENG, K. Optimal allocation of regional water resources based on simulated annealing particle swarm optimization algorithm. *Energy Reports*, 2022, 8: 9119-9126. <https://doi.org/10.1016/j.egyvr.2022.07.033>
- [14] 李波, 曹正浩, 毛文耀, 等. 基于生态优先的渝西地区水资源配置研究[J]. 人民长江, 2017, 48(11): 7-10+111.
- [15] DENG, L., GUO, S., YIN, J., et al. Multi-objective optimization of water resources allocation in Han River basin (China) integrating efficiency, equity and sustainability. *Scientific Reports*, 2022, 12(1): 798. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04734-2>
- [16] VALIPOUR, E., KETABCHI, H., SAFARI SHALI, R., et al. Equity, social welfare, and economic benefit efficiency in the optimal allocation of coastal groundwater resources. *Water Resources Management*, 2023, 37(8): 2969-2990. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03456-6>
- [17] WU, X., WANG, Z. Multi-objective optimal allocation of regional water resources based on slime mould algorithm. *The Journal of Supercomputing*, 2022, 78(16): 18288-18317. <https://doi.org/10.1007/s11227-022-04599-w>
- [18] DAVIJANI, M. H., BANIHABIB, M. E., ANVAR, A. N., et al. Optimization model for the allocation of water resources based on the maximization of employment in the agriculture and industry sectors. *Journal of Hydrology*, 2016, 533: 430-438. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.12.025>
- [19] WANG, J., QIN, T., LV, X., et al. Study of optimal and joint allocations of water and land resources for multiple objectives. *Water Resources Management*, 2023, 37(3): 1241-1256. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03427-x>
- [20] 樊红梅, 刘晓民, 刘廷玺, 等. 基于空间均衡的水资源合理配置研究[J]. 水资源与水工程学报, 2022, 33(2): 61-67.