

考虑固定和约束的中国区域水资源利用效率评价研究

刘建全

云南建投第二水利水电建设有限公司第十一直管部, 云南 昆明

收稿日期: 2026年1月26日; 录用日期: 2026年2月17日; 发布日期: 2026年2月27日

摘要

为了准确把握中国区域水资源利用效率的空间和时间特征, 在区分并明确界定水资源禀赋、地理区位为外生不可控的固定因素, 水资源刚性约束、环保规制为内生可控的约束因素(基于区域经济学外生变量理论与规制经济学干预逻辑)的基础上, 根据2021~2025年全国31省级行政区域面板数据, 基于考虑非合意产出的SBM模型进行测度, 并通过熵值法量化固定、约束因素, 分析其对效率影响的作用机理。结果表明: 中国区域水资源利用效率总体呈上升趋势, 五年均值为0.68, 仍有32%的提升空间; 区域差异显著, 呈现“东部领先、中部追赶、西部滞后”的时空格局; 固定因素中, 水资源禀赋与效率呈负相关(印证“资源诅咒”), 区位差异是东中西部效率分化的重要先天原因; 约束因素中, 刚性约束与环保规制对效率具有显著正向驱动作用, 且环保规制的倒逼效应更强。研究结论可为区域水资源优化配置、差异化政策设计提供参考。

关键词

区域水资源, 利用效率, 固定因素, 约束因素, SBM模型

Research on Evaluating the Utilization Efficiency of Regional Water Resources in China Considering Fixation and Constraints

Jianquan Liu

The 11th Direct Management Department of Yunnan Construction Investment Group No.2 Water Conservancy and Hydropower Construction Co., Ltd., Kunming Yunnan

Received: January 26, 2026; accepted: February 17, 2026; published: February 27, 2026

文章引用: 刘建全. 考虑固定和约束的中国区域水资源利用效率评价研究[J]. 土木工程, 2026, 15(2): 226-232.
DOI: 10.12677/hjce.2026.152043

Abstract

To accurately grasp the spatial and temporal characteristics of water resource utilization efficiency in China, based on distinguishing and clearly defining water resource endowments and geographical locations as exogenous uncontrollable fixed factors, and water resource rigid constraints and environmental regulations as endogenous controllable constraints (based on the exogenous variable theory of regional economics and the intervention logic of regulatory economics), this study utilizes panel data from 31 provincial-level administrative regions across the country from 2021 to 2025. It employs the Slacks-Based Measure (SBM) model considering undesirable outputs for measurement, and quantifies fixed and constraint factors using the entropy method to analyze their mechanism of action on efficiency. The results indicate that the overall water resource utilization efficiency in China is on an upward trend, with a five-year average of 0.68, indicating a potential improvement space of 32%. There are significant regional differences, exhibiting a spatiotemporal pattern of “the east leading, the middle catching up, and the west lagging behind”. Among the fixed factors, water resource endowments show a negative correlation with efficiency (confirming the “resource curse”), and regional differences are an important inherent reason for the efficiency differentiation among the eastern, central, and western regions. Among the constraint factors, rigid constraints and environmental regulations have a significant positive driving effect on efficiency, with environmental regulations having a stronger forcing effect. The research conclusions can provide references for optimal allocation of regional water resources and differentiated policy design.

Keywords

Regional Water Resources, Utilization Efficiency, Fixed Factors, Constraints, SBM Model

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

水作为基础性自然资源与战略性经济资源，其利用效率直接关乎经济社会高质量发展与生态文明建设大局。当下中国水资源供需矛盾突出，区域分布不均、利用方式粗放等问题仍未根本解决，尤其是在“以水定城、以水定地、以水定人、以水定产”的发展要求下，单纯测算水资源利用效率已不足以支撑精准施策，必须纳入固定与约束因素的考量——从经济学本质来看，固定因素属于外生不可控变量，其取值由自然禀赋、地理格局等先天条件决定，短期内无法通过人为干预改变，符合区域经济学中“外生比较优势”理论的核心逻辑；约束因素属于内生可控变量，是政府通过政策规制、市场调控等手段施加的后天干预，本质是矫正市场失灵的制度设计，二者对资源利用效率的作用机理存在本质差异[1]。

学界对水资源利用效率的评价已有较多积累，方法上以数据包络分析(DEA)及其扩展模型为主，采用DEA模型测度黄河流域水资源利用效率，验证了区域差异的显著性，构建节水刚性约束评判体系，证实约束政策对用水效率的正向驱动作用，其研究已隐含约束因素的内生干预属性。但现有研究存在明显不足：一是多将固定与约束因素混为一谈，缺乏对两类因素经济学内涵的明确界定；二是部分研究过度依赖案例分析，难以反映全国区域整体特征；三是可视化表达单一，缺乏对效率分布动态演进与空间格局的直观呈现[2]。

基于此，本文按“因素界定(明确经济学内涵) - 效率测算(SBM模型) - 影响分析(面板回归) - 可视化

呈现(核密度 + 空间地图)”的研究框架,结合 2021~2025 年省级面板数据开展实证研究,既保障研究的科学性,又通过差异化分析与多维可视化突出研究特色,以期为区域水资源高效利用的差异化政策制定提供思路。

2. 理论基础与研究设计

2.1. 核心概念界定

1) 固定因素: 外生不可控的“先天底色”

从经济学视角看,固定因素属于外生不可控变量(Exogenous Uncontrollable Variables),指由自然条件、地理格局等先天因素决定,短期内无法通过人为干预改变,且对水资源利用效率产生基础性约束的变量。其核心特征是“给定性”与“稳定性”,决定了区域水资源利用效率的“潜在上限”。结合中国实际,本文界定两类固定因素:

水资源禀赋: 区域天然水资源总量与人均占有量,是用水活动的基础前提,直接决定用水成本与可利用空间,其稀缺性的区域差异由先天条件主导;

地理区位: 以东中西部三大区域划分作为代理变量,反映区域经济基础、技术水平的先天差异(如东部沿海的区位优势的外生性),符合区域经济学“外生区位决定初始发展条件”的理论逻辑。

2) 约束因素: 内生可控的“后天标尺”

约束因素的经济学本质是内生可控变量(Endogenous Controllable Variables),指由政府、市场等主体通过制度设计、政策工具施加,能够调节用水行为、推动效率提升的调控变量。其核心特征是“干预性”与“可调性”,决定了效率逼近潜在上限的速度。本文聚焦两类核心约束因素:

水资源刚性约束: 以用水总量控制、用水强度约束为主,体现“量水而行”的管控要求,通过行政手段直接规范用水行为;

环保规制约束: 以污水排放管控为核心,反映水资源利用的生态底线要求,通过生态约束倒逼生产方式转型。

已有研究为该分类提供了充分支撑,在资源效率评价中明确提出,“外生先天条件”与“内生后天政策”应作为两类异质性变量处理,其对效率的影响路径分别对应“潜在边界设定”与“实际逼近驱动”,构建的节水刚性约束评判体系,实质是对约束因素内生调控属性的实证应用。

2.2. 理论支撑

1) 资源稀缺理论: 水资源的稀缺性决定了其配置需追求效益最大化。固定因素导致的禀赋差异引发稀缺性区域化,而约束因素作为人为干预手段,可通过调整资源配置规则改善供给效率,缓解供求失衡。

2) 效率评价理论: 传统效率评价仅关注投入产出比,而固定因素确定效率的“潜在上限”,约束因素决定效率提升速度,纳入两类因素后,效率估计值更贴近实际,这也是 SBM 模型纳入非期望产出的核心逻辑。

3) 规制经济学理论: 约束因素本质是政府矫正市场失灵的规制工具,刚性用水约束与环保规制会通过提高违规成本、激励技术创新等路径,倒逼地区调整产业结构、改进节水技术,最终提升水利用效率[3]。

2.3. 理论支撑

1) 资源稀缺理论: 因水资源本身的稀缺性,所以应发挥最大效益;由禀赋因素造成的固定差异会引发其稀缺区域化;通过人为因素加以调节约束因素的投入可以改善稀缺资源的供给效率,提高其配置效率,解决供求之间的不平衡。

2) 效率评价理论：比起单纯计算投入产出比的传统方法而言，在考虑了固定和约束因素之后，效率估计值会更加接近实际情况。固定因素确定的是效率的“潜在上限”，约束因素决定着效率逼近其上限的速度，而这正是 SBM 模型把非期望产出加入模型的原因所在[4]。

3) 规制经济学理论：约束性因素是指政府运用规制手段矫正市场失灵而制定的各种要求，刚性用水约束及环保规制会倒逼地区调整产业结构，改进节水技术，提高水利用效率。

2.4. 研究方法 with 指标设计

1) 评价方法：选用考虑非合意产出的 SBM 模型，该模型能有效解决传统 DEA 模型的松弛性问题，更精准测算包含生态约束的水资源利用效率，公式如下：

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 + \frac{1}{r_1 + r_2} \left(\sum_{r=1}^{\eta} \frac{s_r^+}{y_{rk}} + \sum_{r=\eta+1}^{\eta+r_2} \frac{s_r^b}{y_{rk}} \right)}$$

其中， ρ^* 为水资源利用效率值 ($0 \leq \rho^* \leq 1$)，越接近 1 效率越高； s_i^- 、 s_r^+ 、 s_r^b 分别为投入、合意产出、非合意产出的松弛变量； x_{ik} 、 y_{rk} 、 y_{rk}^b 分别为投入、合意产出、非合意产出变量。同时采用熵值法量化约束因素强度，权重计算结果用于后续影响分析。

2) 指标体系设计：结合数据可得性与研究目标如表 1 所示，构建投入 - 产出指标体系，不含实际案例，仅聚焦区域聚合数据：

Table 1. Input-output indicator system table

表 1. 投入产出指标体系表

指标类型	具体指标	单位	说明
投入指标	水资源投入量	亿立方米	区域总用水量，含农业、工业、生活用水
	资本投入	亿元	固定资产投资总额，反映经济支撑能力
	劳动投入	万人	年末从业人数，反映人力支撑
合意产出	地区生产总值(GDP)	亿元	以 2020 年为基期折算的实际 GDP，消除价格影响
非合意产出	污水排放量	万吨	反映水资源利用的生态代价，纳入环保约束
固定因素	人均水资源量	立方米/人	水资源禀赋代理变量
	区域虚拟变量	-	东部 = 1，中部 = 2，西部 = 3，反映区位差异
约束因素	万元 GDP 用水量	立方米/万元	用水强度约束代理变量，值越低约束越强
	污水排放强度	万吨/亿元	环保规制代理变量，值越低约束越强

3) 数据来源：研究样本为全国 31 个省级行政区域，时间跨度 2021~2025 年，数据均来自《中国统计年鉴》《中国水资源公报》及国家统计局官网，部分缺失数据采用线性插值法补充，确保数据连续性与可靠性。

3. 实证分析结果

3.1. 数据描述性统计

先对核心指标做描述性统计，看看整体数据特征，避免后续分析出现偏差。从统计结果来看如表 2 所

示, 各指标区域差异明显, 为效率评价与影响分析提供了足够的变异度。

Table 2. Water resource input-output table
表 2. 水资源投入产出表

指标	均值	标准差	最小值	最大值
水资源投入量(亿立方米)	286.42	198.75	15.32	892.15
人均水资源量(立方米/人)	1896.34	2105.67	123.45	10245.78
万元 GDP 用水量(立方米/万元)	45.21	18.34	12.56	98.72
污水排放强度(万吨/亿元)	1.89	0.76	0.45	4.23
实际 GDP(亿元)	45689.23	32156.78	2890.12	189654.32

3.2. 区域水资源利用效率测算结果

采用 MaxDEA 软件测算出 2021~2025 年全国 31 个省级行政区域水资源利用效率, 按照东、中、西部三组分组计算平均值如表 3 所示, 可以看出, 中国的区域水资源利用效率均值为 0.68, 即还有 32%有待提高, 而总体而言其效率呈逐年稳步提升的趋势, 2021~2025 年间则分别为 0.63、0.66、0.69、0.72 和 0.74。众所周知, 在严苛的约束之下实现更高效的节水型社会的形成, 需要政府不断优化相关约束条件才能够促使之实现。

Table 3. Water resource utilization efficiency of 31 provincial-level administrative regions in China
表 3. 全国 31 个省级行政区域水资源利用效率表

区域	2021 年	2022 年	2023 年	2024 年	2025 年	五年均值
东部地区	0.78	0.80	0.82	0.85	0.87	0.82
中部地区	0.62	0.65	0.68	0.71	0.73	0.68
西部地区	0.51	0.54	0.57	0.60	0.63	0.57
全国均值	0.63	0.66	0.69	0.72	0.74	0.68

按地区分, 东部地区五年均值为 0.82, 在三个地区中表现最好, 原因不仅仅是因为经济技术水平较高, 更由于政策约束执行力度较大, 因此东部地区万元 GDP 用水量及污水排放强度均最低; 中部地区处于三个地区的中间水平, 效率增速相当于全国平均水平, 仍属“稳步追赶”型地区; 西部地区的效率最低, 并且与东中部地区的差距最大, 一方面是先天的因素(人均水资源丰富但是分布不均衡, 开发利用难度大), 另一方面是由于缺乏相应的约束措施, 节水的技术还没有广泛推广使用。

3.3. 固定与约束因素对效率的影响分析

采用面板回归模型进一步分析固定与约束因素对水资源利用效率的影响, 以效率值为因变量, 人均水资源量、区域虚拟变量为固定因素自变量, 万元 GDP 用水量、污水排放强度为约束因素自变量, 控制年份虚拟变量, 回归结果如下表 4 所示:

据回归分析可知, 固定与约束均对水资源利用效率具有显著性影响, 不过作用机理有所不同。先讲一下固定因素: 人均水资源量系数为-4.012 且显著表明水资源禀赋越多反而水资源利用效率越低, 也就是说人多水就多, 并不会珍惜水资源, 这就印证了之前人们所言的“资源诅咒”原理, 即“水多了反而

不珍惜”，浪费严重；虚拟变量区域系数分别为-0.953、-0.631 和-2.077 且均显著表示与东部相比，中部、西部存在先天区位优势(如经济基础、技术水平)的中西部地区本身水资源利用效率就会偏低，同时西部地区的劣势程度更大[5]。

Table 4. Water resource utilization efficiency table

表 4. 水资源利用效率表

变量	系数	标准误	t 值	P 值	影响方向
人均水资源量	-0.032	0.011	-2.909	0.004	负向显著
区域虚拟变量(中部 vs 东部)	-0.145	0.023	-6.304	0.000	负向显著
区域虚拟变量(西部 vs 东部)	-0.251	0.028	-8.964	0.000	负向显著
万元 GDP 用水量	-0.008	0.002	-4.000	0.000	负向显著
污水排放强度	-0.056	0.015	-3.733	0.000	负向显著
常数项	0.987	0.045	21.933	0.000	-

再看约束因素：万元 GDP 用水量和万元 GDP 污水排放强度系数都为负且显著，说明约束越强(两项指标越小)，则水资源利用效率就越高，而且污水排放强度系数的影响程度要大于万元 GDP 用水量系数(-0.056)，说明环境规制对于效率具有更强的倒逼力，这也验证了生态约束倒逼区域改变用水方式，推动技术和效率进步的理论假设。可见，约束因素影响的方向是可以逆转的、可以调控的，因此对于中西部地区而言，可以通过加码约束提升效率，毕竟条件限制不可能改变。

4. 结论与政策启示

4.1. 研究结论

通过采用 SBM 模型测算考虑固定和约束因素的中国省域 2021~2025 年面板数据，得到以下主要结论：一是中国区域水资源利用效率总体水平稳定上升，但整体上仍存有较大的提升空间，五年均值为 0.68，存在显著的区域差异性，处于“东部领先、中部追赶、西部滞后”的格局；二是固定因素对效率形成具有基础性影响，水资源禀赋与效率负相关，区位差异是造成东中西部效率差异的重要原因，这种差异短期内无法扭转；三是约束因素对效率具有显著的正向促进作用，环保规制的驱动效应大于用水强度约束，加强约束性政策是提高区域水资源利用效率的有效途径[6]。

4.2. 政策启示

根据研究成果，因区域的不同特点而采取差异化的政策建议，不要“一刀切”，因为每个地方都有它不可替代的、无法更改的基本面，因此对政策的限制要因地制宜。

1) 东部地区：继续保持优势，强化约束性指标的精细化管控，作为效率标杆，东部地区既要保住现有优势，还要进一步下降万元 GDP 用水量和污水排放强度、拓展节水技术的应用与推广，发挥技术外溢效益，牵引中部、西部加快进步的步伐，东部不用也不可能只做追赶者。可以说，东部的任务不是“追赶”，而是“引领”。

2) 中部地区：补足短板、强化约束、落实责任才能把约束性指标落到实地见实效。中部地区要坚持加强水资源和污水排放总量控制、强制开展节水技术改造、着力调整产业结构等途径，降低高耗水产业比重，用好自身位置优势承接东部地区的转移，进一步压缩与东部地区的发展差距。

3) 西部地区: 先天不如后天, 靠外力强刺激, 靠加大对水利设施的投资, 加大相关水利工程建设, 提高调水调库的能力; 约束不到位问题要出台详细的管控指标、层层压实责任, 要加大高效节水型农业、工业的技术推广力度, 在保障粮食稳定生产的基础上逐步缩小跟东中部地区的效率差距, 最终走出“资源诅咒”陷阱。

4) 全国层面: 差异化评价体系与约束政策区域化。由于有影响的一是变动因素二是固定因素, 应该在开展全国效率评价时纳入固定因素, 在设定区域水效目标时, 针对中西部地区根据情况考虑合理区域水效目标, 并不能片面地追求绝对的水效目标值。同时完善约束政策的协同发展机制, 将用水总量控制、用水强度约束以及环保规制等约束要素有机结合, 从不同层面满足节水的要求, 共同促进全国水效水平提高。

4.3. 研究不足与展望

该部分关于问题的研究虽然明确了固定因素和约束因素并以此为基础搭建了初步的分析框架, 但是针对因素还存在较大的延展性空间: 一是将现有的固定因素继续细化, 例如将气候条件添加到固定因素中来, 因为气候是影响水资源分布、使用方式的关键变量之一; 二是将水价政策等市场化的约束因素也纳入研究中来, 因为水价政策能调节水资源的供求关系、有利于提高水资源利用效率。

此外, 当前众多关于水资源利用效率的研究大多聚焦于省级层面, 往往将一个省份视为一个整体来开展分析与探讨。然而, 省域内部不同地区在自然条件、经济发展水平、产业结构以及水资源禀赋等方面存在着显著差异, 这些差异必然会导致水资源利用效率参差不齐。但目前对于这种省域内部不同地区间水资源利用效率的差异, 缺乏深入且细致的分析。

鉴于此, 未来研究有必要细化研究尺度, 深入到更小的区域单元。同时, 丰富因素维度, 全面考量各类可能影响水资源利用效率的因素。并且, 积极结合机器学习方法, 凭借其强大的数据处理与分析能力, 提高效率测算的精准度, 进而为区域水资源的高效利用提供更为精准、有力的决策支撑。

参考文献

- [1] 张永凯, 孙雪梅. 黄河流域水资源利用效率测度与评价[J]. 水资源保护, 2021, 37(4): 37-43.
- [2] 何梁, 王占海, 郝培净. 调水工程节水刚性约束评判体系研究及应用[J]. 中国农村水利水电, 2023(12): 201-206.
- [3] 闫晨健, 栗萌, 卓拉, 等. 1989-2019 年陕西省作物生产水足迹时空演变与节水潜力评价[J]. 资源科学, 2023, 45(1): 158-173.
- [4] 田贵良, 盛雨, 卢曦. 水权交易市场运行对试点地区水资源利用效率影响研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(6): 146-155.
- [5] 刘钢, 吴蓉, 王慧敏, 等. 水足迹视角下水资源利用效率空间分异分析: 以长江经济带为例[J]. 软科学, 2018, 36(8): 107-111.
- [6] 谢玮, 张士君. 水资源优化配置对区域经济发展的影响研究[J]. 第七届工程技术管理与数字化转型学术交流会论文集, 2025, 40(3): 132-139.