Journal of Water Resources Research 水资源研究, 2026, 15(4), 368-378
Published Online August 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/jwrr
https://doi.org/10.12677/jwrr.2026.154040

武汉市水资源利用与经济增长的脱钩分析

林峻贤[1]，郭家力[1,2,3*]，唐子龙[1,2]，夏宗浩[1,2]，王永强[4]，陈　述[4]

[1]三峡大学水利与环境学院，湖北 宜昌
[2]三峡大学水资源信息化研究所，湖北 宜昌
[3]水电工程施工与管理湖北省重点实验室(三峡大学)，湖北 宜昌
[4]长江水利委员会长江科学院，湖北 武汉

收稿日期：2026年7月21日；录用日期：2026年8月7日；发布日期：2026年8月27日

摘　要

为了探究具有丰水禀赋的超大城市水资源利用与经济发展的关系，本文基于2015~2024年武汉市相关公报的数据，运用水资源生态足迹评价和Tapio脱钩模型分析武汉市用水结构演变、水资源利用状态及总体和部门脱钩特征。结果表明：研究期内GDP增长93.54%，总用水量仅增长22.81%，用水结构由生产性用水占比较高的格局逐步转向生活、生产和生态环境用水多元配置；人均水资源生态足迹在0.45~0.59 hm^2/人小幅波动，人均水资源生态承载力在0.17~2.58 hm^2/人之间显著波动，生态赤字年份占70%，武汉在丰水禀赋下仍表现出阶段性水资源生态压力；强脱钩和弱脱钩合计占70%，经济增长对水资源消耗扩张的依赖总体减弱，但脱钩关系尚不稳定；工业和农业用水与相应增加值在多数年份呈脱钩状态，农业部门波动幅度更大。研究可为武汉落实水资源刚性约束、优化用水结构并促进形成稳定脱钩关系提供参考。

关键词

水资源生态足迹，脱钩分析，用水结构，武汉市

Decoupling Analysis of Water Resources Utilization and Economics Growth in Wuhan

Junxian Lin[1], Jiali Guo[1,2,3*], Zilong Tang[1,2], Zonghao Xia[1,2], Yongqiang Wang[4], Shu Chen[4]

[1]College of Hydraulic & Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang Hubei
[2]Institute of Water Resources Informatics, China Three Gorges University, Yichang Hubei
[3]Hubei Key Laboratory of Hydropower Engineering Construction and Management, China Three Gorges University, Yichang Hubei
[4]Changjiang River Scientific Research Institute, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei

Received: July 21, 2026; accepted: August 7, 2026; published: August 27, 2026

作者简介：林峻贤，男，福建龙岩人，本科在读，研究方向为水文学与水资源，Email: 18396330235@163.com
*通讯作者 Email: jiali.guo@ctgu.edu.cn

文章引用: 林峻贤, 郭家力, 唐子龙, 夏宗浩, 王永强, 陈述. 武汉市水资源利用与经济增长的脱钩分析[J]. 水资源研究, 2026, 15(4): 368-378. DOI: 10.12677/jwrr.2026.154040

Abstract

To investigate the relationship between water resources utilization and economic development in a water-abundant megacity, this study uses data from official Wuhan bulletins for 2015~2024 and applies water resources ecological footprint assessment and the Tapio decoupling model to examine changes in the water use structure, water resources utilization status, and overall and sectoral decoupling characteristics. The results show that, during the study period, GDP increased by 93.54%, whereas total water use increased by only 22.81%. The water use structure shifted from dominated by productive water use toward a more diversified allocation among domestic, productive, and ecological-environmental uses. The water resources ecological footprint per capita fluctuated slightly between 0.45 and 0.59 hm² per person, while the water resources ecological carrying capacity per capita varied markedly from 0.17 to 2.58 hm² per person. Ecological deficits occurred in 70% of the study years, indicating that it still exhibited stage-dependent ecological pressure on water resources despite its abundant water endowment. Strong and weak decoupling together accounted for 70% of the study years. The overall dependence of economic growth on the expansion of water consumption weakened, although the decoupling relationship remained unstable. Water use in the industrial and agricultural sectors was decoupled from the corresponding sectoral value added in most years, with greater fluctuations observed in the agricultural sector. This study provides a reference to implement rigid constraints on water resources, and optimizes its water use structure, and promotes a more stable decoupling between water use and economic growth.

Keywords

Ecological Footprint of Water Resources, Decoupling Analysis, Water Use Structure, Wuhan

Copyright © 2026 by author(s) and Wuhan University & Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission.
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

水资源是城市生态安全和经济社会发展的基础性要素。随着城市发展转向提质增效，区域水资源管理已由单一供水保障转向总量控制、节约集约利用、优化配置与生态保护协同推进。武汉是湖北省省会、中部地区的中心城市，人口超过千万，地处长江、汉江交汇区，河湖水系密布、过境水资源丰富，既有研究[1]将武汉视为丰水型城市。本文所称“丰水型”主要是对武汉降水较为丰沛、河湖水系密布和过境水资源丰富等自然地理与水系特征的相对概括，并非依据单一指标阈值作出的绝对分类。已有研究[1]指出，受水资源时空分布及水环境条件影响，丰水城市仍可能面临季节性、地域性和水质性水资源约束。当前，武汉正处于城市能级提升和高质量发展的重要阶段，并承担强化区域中心功能、服务湖北加快建成中部地区崛起重要战略支点的任务[2]。在水资源治理方面，武汉坚持落实水资源刚性约束和“以水定城、以水定地、以水定人、以水定产”要求，推动城市规模、人口布局、产业发展与水资源承载条件相协调[3]。因此，在区域高质量发展需求与水资源刚性约束并存的背景下，系统探究武汉市水资源利用状态、用水结构及其与经济增长的脱钩关系，具有较强的现实必要性。

已有研究围绕脱钩分析和水资源生态足迹评价开展了较为系统的探索。脱钩分析侧重识别水资源消耗相对于经济增长的变化，Kong 等[4]基于水足迹和 Tapio 模型分析京津冀地区水资源消耗与经济增长的脱钩关系；Xu 与 Sun [5]结合水资源生态足迹、生态承载力及 Tapio 模型，揭示南京市水资源生态足迹与经济增长脱钩特征及阶段差异；杜森等[6]采用能值水生态足迹和 Tapio 模型，分析宜宾市水资源承载状况及产业用水效率。水资源生态足迹评价则侧重刻画资源消耗、生态承载与空间分异，张婉玲等[7]基于“省公顷”修正水资源均衡因子，并运用地

理探测器揭示长江中游城市群水资源生态足迹的空间分异及驱动因素；焦红波等[8]结合水足迹、Tapio 模型和 LMDI 分解方法，发现山东省黄河流域总体及农业用水以弱脱钩为主、工业用水以扩张连接为主，用水效率和经济规模分别是促进与抑制脱钩的主要因素；张旭等[9]进一步运用三维水生态足迹和对数平均迪氏指数法(LMDI)识别云南省水资源利用的时空格局及驱动效应。但现有研究仍有进一步深化的空间：一是研究对象多集中于缺水地区、资源约束较强区域或一般城市，对丰水型超大城市关注不足；二是已有研究虽揭示了水资源利用效率提升以及水资源消耗与经济增长脱钩等现象，但对用水结构演变、水资源生态状态和经济增长脱钩特征的综合考察仍显不足。基于此，本文主要关注以下三个问题：1) 武汉市用水结构与水资源利用状态呈现何种演变特征；2) 丰水型超大城市在年际来水波动背景下是否存在阶段性水资源生态压力；3) 总体及不同部门用水与经济增长之间表现出何种脱钩状态。回答上述问题对于认识武汉市水资源利用特征及其与经济增长的关系具有现实意义。

2. 研究方法与数据来源

2.1. 水资源生态足迹

生态足迹理论由 Rees [10]提出，后由 Wackernagel 等[11]加以完善，其基本思想是将特定人口在一定时期内消费自然资源、维持生产生活以及吸纳废弃物所需要的生态生产性空间，统一折算为可比较的生物生产性面积，并通过与区域生态承载力对比评价资源利用的可持续性。水资源生态足迹是在生态足迹理论基础上，通过将区域实际水资源消耗折算为具有统一生产能力的水资源用地面积，以评价水资源利用强度。本文参考黄林楠等[12]提出的计算方法，采用水资源生态足迹模型测度武汉市水资源利用强度，其公式为：

$$EF = ef_w \times N = \gamma \times \frac{W}{P} \tag{1}$$

式中：EF 为水资源生态足迹，hm^2；ef_w 为人均水资源生态足迹，hm^2/人；N 为年末常住人口(人)，γ 为全球水资源均衡因子，本研究取 5.19 [12]；W 为武汉市实际总用水量，m^3；P 指全球水资源平均生产能力，m^3/hm^2，本研究取 3140 m^3/hm^2 [12]。需要说明的是，γ 主要用于提供统一核算尺度，武汉作为丰水型城市的资源禀赋差异，主要通过后续产量因子和生态承载力核算予以体现。

2.2. 水资源生态承载力及人均水资源生态结余

水资源生态承载力反映区域水资源禀赋在维持生态系统基本用水需求后，对人口和经济活动的可持续支撑能力；人均水资源生态结余由人均水资源生态承载力减去人均水资源生态足迹得到，以判别区域水资源利用状态是富余、平衡还是超载，已广泛应用于水资源利用状态评价[13]，本文采用的人均水资源生态承载力的公式为：

$$ec_w = \frac{\lambda \rho \gamma R}{NP} \tag{2}$$

式中，ec_w 为人均水资源生态承载力，单位为 hm^2/人；λ 为可开发利用系数，水生态承载力核算中需预留不少于60%的水资源用于生态环境维持[12]，本文取 0.4，无量纲；ρ 为水资源产量因子，按当年水资源公报中的产水模数与 P 之比[14]计算，计算前将二者统一换算为 m^3/hm^2，因此 ρ 为无量纲参数；R 采用《武汉市水资源公报》公布的本地水资源总量，单位为 m^3，不包含长江、汉江过境水量，本文通过可开发利用系数 λ 对 R 进行约束；其余符号同式(1)。本文水资源生态承载力的核算边界遵循黄林楠等[12]建立的水资源生态足迹模型，以区域地表水资源量与地下水资源量扣除重复计算量后的水资源总量表征区域水资源供给能力。基于此，R 采用《武汉市水资源公报》公布的武汉市水资源总量，长江、汉江过境水属于流域上游形成并经武汉过境的外部来水，其规模虽大，但并非武汉市域自身形成的水资源量，且其可利用部分受到流域来水过程、上下游用水及水工程调度等因素影响，难以等同于武汉市可自主支配的本地水资源生产能力。为保持水资源生态承载力与区域水资源

产量因子核算边界的一致性，并保证研究期内统计口径的一致性，本文未将过境水量直接计入生态承载力。

在此基础上，人均水资源生态结余[14]可表示为：

$$es_w = ec_w - ef_w \tag{3}$$

式中，es_w为人均水资源生态结余，ef_w为人均水资源生态足迹。当 $es_w > 0$ 时，表现为生态盈余，水资源开发仍有一定余度；当 $es_w = 0$ 时，表明区域水资源利用与生态承载能力大体相当；当 $es_w < 0$ 时，说明区域已出现生态赤字，水资源生态承载相对不足。

2.3. 脱钩指数

经济合作与发展组织(OECD)系统构建了衡量资源环境压力与经济增长相对变化关系的脱钩指标框架[15]，在此基础上，Tapio 通过比较资源环境指标与经济指标的变化率，并结合二者的变化方向，对脱钩关系进行分类。本文采用 Tapio 脱钩模型，以水资源生态足迹变化率与 GDP 变化率之比计算脱钩指数，用于识别资源环境压力与经济增长之间的阶段性变化特征[14]，脱钩指数的公式为：

$$T = \frac{\Delta EF}{\Delta GDP} = \frac{\dfrac{EF_t - EF_{t-1}}{EF_{t-1}}}{\dfrac{GDP_t - GDP_{t-1}}{GDP_{t-1}}} \tag{4}$$

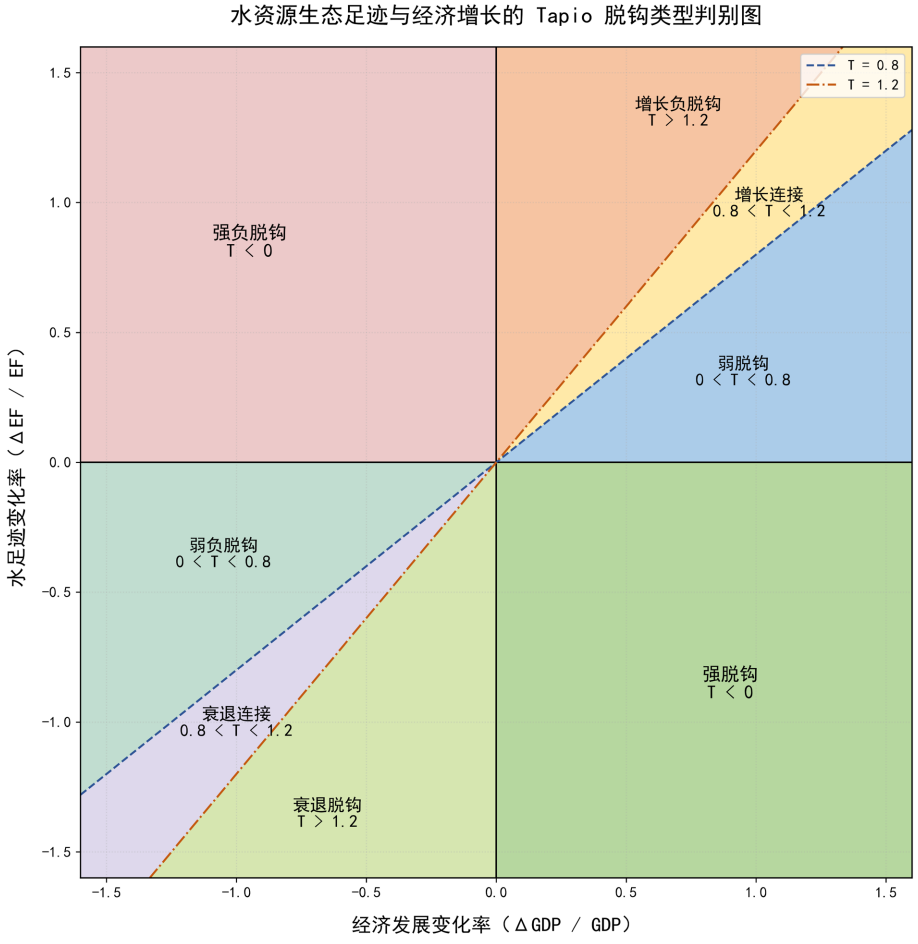


图 1. Tapio 脱钩类型判别图

式中：T 为脱钩指数；ΔEF 为第 t 年水资源生态足迹变化率；ΔGDP 为第 t 年 GDP 变化率；EF_t、EF_{t-1} 分别为第 t 年、第 $t-1$ 年水资源生态足迹；GDP_t、GDP_{t-1} 分别为第 t 年、第 $t-1$ 年国内生产总值。本文中 GDP 及部门增加值均采用《武汉市统计年鉴》公布的当年价格总量，并依据相邻年份总量计算变化率，以保持总体与部门经济指标的数据来源和统计口径一致。依据 Tapio 判别标准，以 0、0.8 和 1.2 为临界值，并结合水资源生态足迹与 GDP 的变化方向划分 8 种脱钩状态(如图 1 所示)。

2.4. 数据来源

本文研究期为 2015~2024 年，考虑到 Tapio 脱钩指数需要以前一年作为比较基期，另收集 2014 年相关数据，仅用于计算 2015 年的变化率和脱钩指数，不纳入研究期趋势分析。2014~2024 年所需的武汉市逐年总用水量、农业用水、工业用水、生活用水、生态环境用水、产水模数、逐年 GDP、农业增加值、工业增加值、服务业增加值、人口等数据来自《武汉市水资源公报》《武汉市统计年鉴》等公开数据。由于水资源公报中的生活用水包含居民生活及公共用水，无法与服务业增加值形成严格一致的部门统计口径，生态环境用水亦不存在直接对应的经济增加值，因此未对服务业进行部门 Tapio 脱钩测算。

3. 结果与分析

3.1. 用水结构演变

万元 GDP 用水量是衡量区域经济产出水资源消耗强度的重要指标，图 2 显示，2015~2024 年武汉市总用水量由 37.59 亿 m^3 增至 46.16 亿 m^3，增幅为 22.81%；同期 GDP 由 10905.60 亿元增至 21106.23 亿元，增幅为 93.54%，约为用水增幅的 4.10 倍。万元 GDP 用水量由 34 m^3/万元降至 19.5 m^3/万元，降幅为 42.65%。上述结果表明，武汉市水资源利用呈现“用水总量总体增加、单位经济产出用水量明显下降”的特征，经济规模扩张速度显著高于用水扩张速度。研究期内水资源利用方式的主要变化并非绝对用水量持续减少，而是经济产出的用水强度不断降低。这一变化与武汉市近年来强化水资源刚性约束、实施用水总量和强度双控、推进节水型社会建设的政策导向相一致[3]，反映出节约集约用水要求在经济增长过程中得到一定体现。

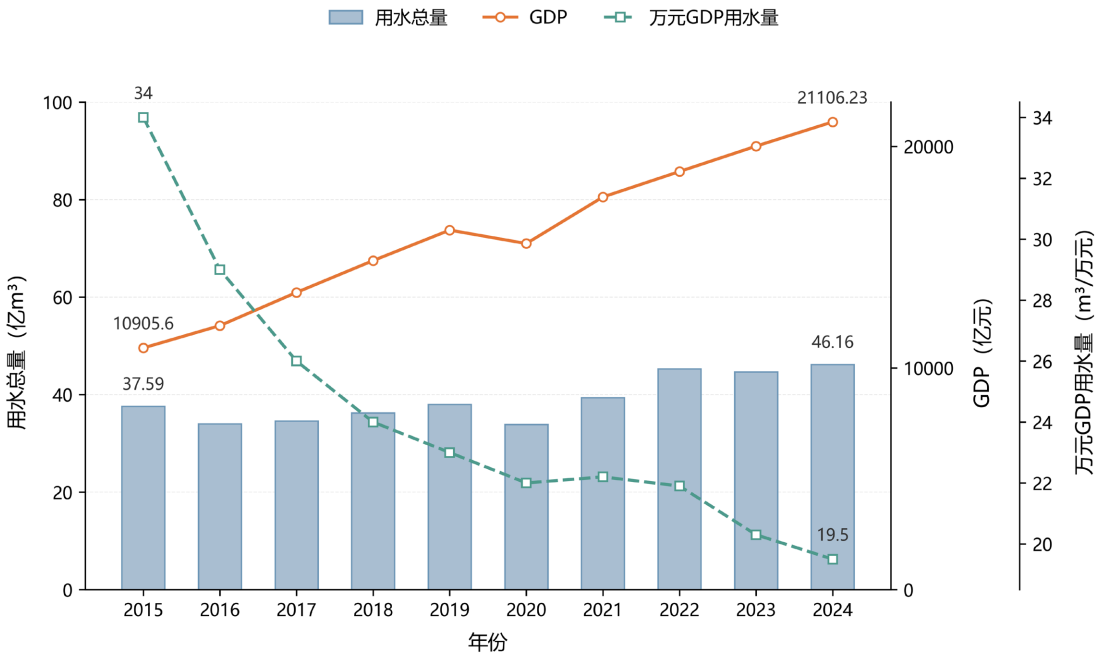


图 2. 2015~2024 年武汉市用水总量与 GDP 变化趋势

由图 3 可见，2015~2024 年间武汉市用水结构与产业增加值结构均发生明显调整。用水方面，工业、农业用水占比分别下降 17.85 和 6.65 个百分点，生活、生态环境用水占比分别提高 12.58 和 11.93 个百分点；同期工业增加值占比下降 13.45 个百分点，服务业占比提高 14.24 个百分点。需要说明的是，自 2022 年起，武汉市将污水处理厂尾水用于河湖补水的水量纳入生态环境用水统计。因此，生态环境用水占比上升既反映河湖生态补水需求增加，也受到统计核算口径调整及再生水利用规模扩大的影响。总体而言，武汉市用水结构已由工业用水占比较高，转向生活、工业、农业和生态环境用水共同配置，其中生产性用水份额下降与生活、生态用途份额上升构成最突出的结构变化。该演变方向与武汉市推动产业结构优化、传统产业转型升级、强化河湖生态修复以及扩大非常规水源利用的政策部署相吻合[2]。

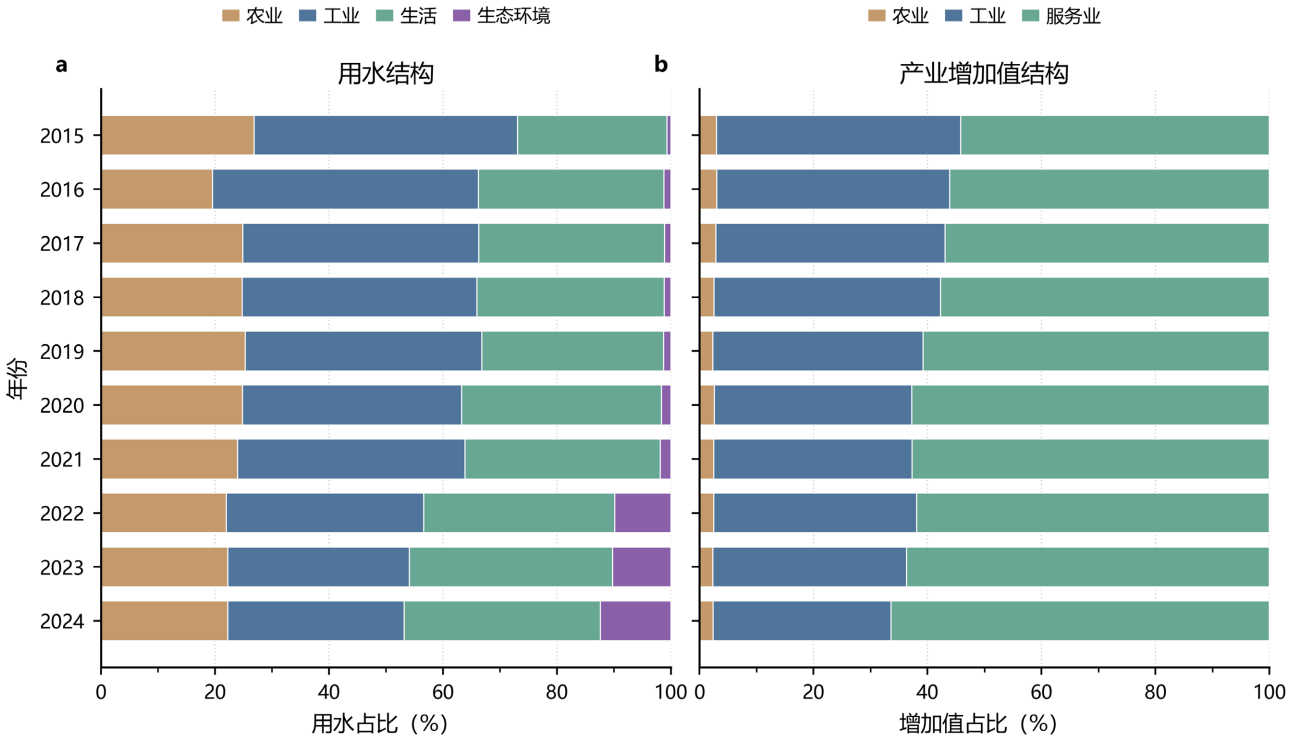


图 3. 2015~2024 年武汉市用水结构及产业增加值结构

3.2. 水资源生态足迹分析

将武汉市 2015~2024 年的用水数据代入式(1)~(3)，计算得到人均水资源生态足迹、生态承载力和生态结余，并绘制其年际变化趋势(结果见图 4 和图 5)。

由图 4 可知，2015~2024 年，武汉市水资源总量在 28.65~112.37 亿 m^3 之间波动，人均水资源生态承载力相应在 0.17~2.58 hm^2/人之间变化，极差为 2.41 hm^2/人，最大值为最小值的 15.18 倍。其中，2016 年和 2020 年人均水资源生态承载力分别达到 2.29 hm^2/人和 2.58 hm^2/人，呈明显的高值特征。从水文背景看，2016 年武汉市出现持续性强降雨，并引发严重城市内涝和河流洪涝灾害[16]；2020 年 6~8 月长江流域降雨量较历史同期均值偏多约三成，发生流域性大洪水[17]。上述水文事实与武汉市两年水资源总量及生态承载力高值具有一致性。而 2019 年降至 0.20 hm^2/人，2022 年进一步降至 0.17 hm^2/人。武汉市水务部门[18]指出，武汉虽降水丰沛、水系密布，但过境流量大、自产水量小，且面临水资源污染和清洁水源不足等水质性缺水问题。

由图 5 可见，2015~2024 年，人均水资源生态足迹均值为 0.53 hm^2/人，范围为 0.45~0.59 hm^2/人，极差为 0.14 hm^2/人；同期人均水资源生态承载力介于 0.17~2.58 hm^2/人，极差为 2.41 hm^2/人，波动幅度明显更大。2015 年、2016 年

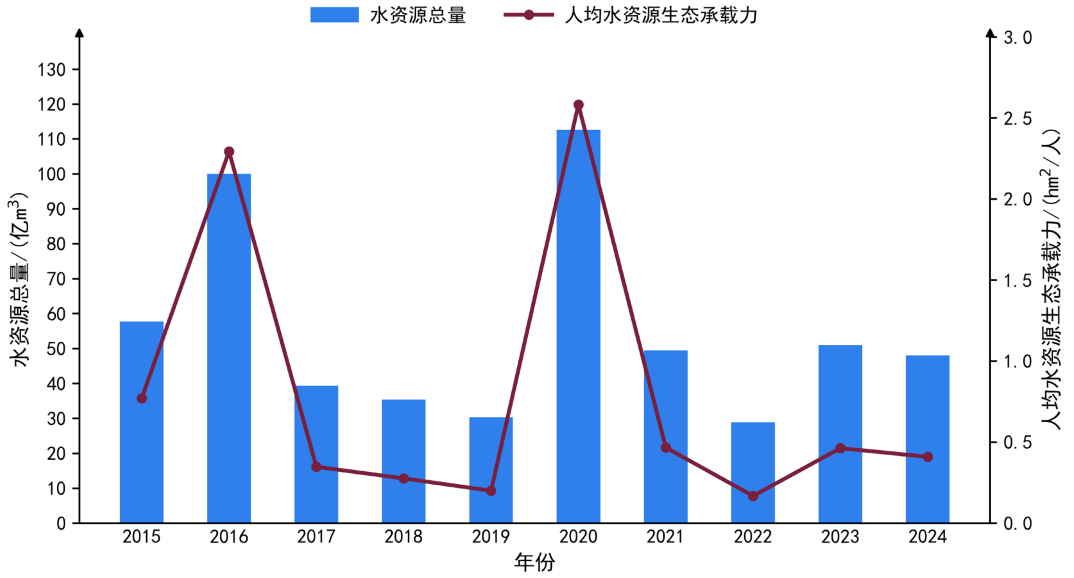


图 4. 2015~2024 年武汉市水资源总量与人均水资源生态承载力变化

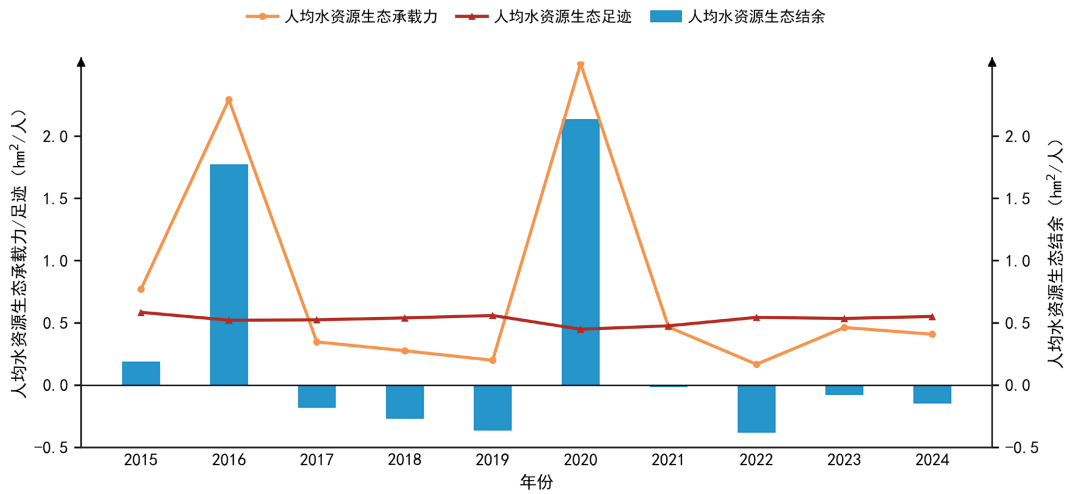


图 5. 2015~2024 年武汉市人均水资源生态结余变化趋势

和 2020 年人均生态结余分别为 0.19 hm²/人、1.77 hm²/人和 2.13 hm²/人，其余 7 年均为赤字；其中 2021 年接近平衡，2019 年和 2022 年赤字程度相对较高。武汉市人均水资源生态足迹总体较为稳定，但人均水资源生态承载力和人均水资源生态结余的年际变化明显。何梅等[19]研究指出，武汉虽具有水系密布、水量丰沛的资源禀赋，但仍面临水生态环境敏感、防洪排涝压力及治理协同性不足等问题。本文结果进一步表明，武汉的丰水特征主要体现在降水较丰沛、河湖水系密布和过境水资源丰富等方面，并不意味着各年份的水资源生态承载状态均保持稳定，武汉市存在阶段性水资源生态压力。需要说明的是，本文生态承载力基于本地水资源总量核算，未直接计入长江、汉江过境水，因此所得生态赤字主要反映本地水资源禀赋与区域用水需求的匹配程度，并不等同于现实供水短缺。

3.3. 脱钩分析

由表 1 可见，2015~2024 年武汉市水资源生态足迹与 GDP 之间以强脱钩和弱脱钩为主，其中强脱钩 3 年、弱脱钩 4 年，合计占 70%。强脱钩表现为 GDP 增长而水资源生态足迹下降，说明经济扩张未伴随用水量增加，是用水需求与经济增长相分离的理想状态；弱脱钩虽然表明水资源生态足迹增速低于 GDP 增速，但其绝对量仍

在增加，经济增长与水资源消耗尚未实现绝对分离。研究期内还出现了衰退脱钩和增长负脱钩，2020 年的衰退脱钩是经济与水资源生态足迹同步下降形成的特殊状态，不宜等同于经济增长条件下的脱钩改善。按水资源公报原统计口径，2021~2022 年均表现为增长负脱钩，表明水资源生态足迹增速超过 GDP 增速，用水需求与经济增长之间的相对关系阶段性恶化。其中，2022 年的判定受到生态环境用水统计范围调整的明显影响，其实际变化特征需结合后文口径一致性检验审慎解释。总体脱钩状态的阶段性转换可能与产业结构调整、节水效率变化以及人口集聚和生活、生态环境用水需求增长有关[7]。由此可见，武汉市经济增长与水资源消耗扩张总体趋于相对分离，但脱钩关系仍存在一定波动。

表 1. 2015~2024 年武汉市水资源利用与经济增长的脱钩关系

年份	水资源生态足迹变化率/%	生产总值变化率/%	脱钩指数	状态
2015	−4.89	8.30	−0.59	强脱钩
2016	−9.50	9.23	−1.03	强脱钩
2017	1.74	12.57	0.14	弱脱钩
2018	4.68	10.72	0.44	弱脱钩
2019	4.86	9.27	0.52	弱脱钩
2020	−10.88	−3.74	2.91	衰退脱钩
2021	16.34	13.45	1.21	增长负脱钩
2022	14.98	6.49	2.31	增长负脱钩
2023	−1.41	6.07	−0.23	强脱钩
2024	3.36	5.47	0.61	弱脱钩

从图 6 可以看出，2015~2024 年武汉市工业和农业部门的脱钩状态均发生多次转换，但两者脱钩指数的波动幅度与状态转换频次存在明显差异。工业部门强脱钩 5 年、弱脱钩 2 年，二者合计 7 年；其余为强负脱钩、衰退脱钩和增长负脱钩各 1 年。农业部门强脱钩 4 年、弱脱钩 2 年，二者合计 6 年，另有增长负脱钩 2 年、强负脱钩和增长连接各 1 年。工业脱钩指数为−3.43~1.76，状态转换 6 次；农业脱钩指数为−4.28~6.26，状态转换 8 次，研究期内农业的指数波动范围和状态转换频次均高于工业。具体看，2017 年农业水资源生态足迹增长 29.54%，高于农业增加值的 4.72%，脱钩指数为 6.26；2021 年工业水资源生态足迹增长 20.70%，高于工业增加值的 12.26%，脱钩指数为 1.69，均表现为增长负脱钩。总体而言，武汉市工业和农业部门均在多数年份呈现脱钩特征，但这种脱钩并非连续保持。与工业部门相比，农业部门的指数波动区间更宽、状态转换更频繁，可能与水文年景、灌溉投入和农业产值变化有关[20]。

3.4. 讨论

3.4.1. 不同水资源禀赋下水资源利用－经济关系的比较

与已有研究相比，不同水资源禀赋地区呈现出差异化的水资源利用－经济关系。南京市 2013~2022 年水资源生态足迹总体下降，但研究期均处于生态赤字状态，总体脱钩率为 100%，其中强脱钩占 60% [5]；广州 2014~2023 年人均水资源生态足迹由 0.85 hm^2/人降至 0.53 hm^2/人，仅个别年份出现生态赤字，总体脱钩率亦达到 100%，其中强脱钩占 67% [14]；京津冀则属于典型的资源型缺水地区，水资源禀赋明显偏低，但其水足迹与经济增长仍以强脱钩和弱脱钩为主[4]。

相比之下，武汉人均水资源生态足迹维持在 0.45～0.59 hm^2/人的较低水平，但在本地水资源禀赋核算口径下仍存在较多生态赤字年份，且脱钩状态表现出一定年际波动。这表明，较低的水资源消耗强度并不必然对应

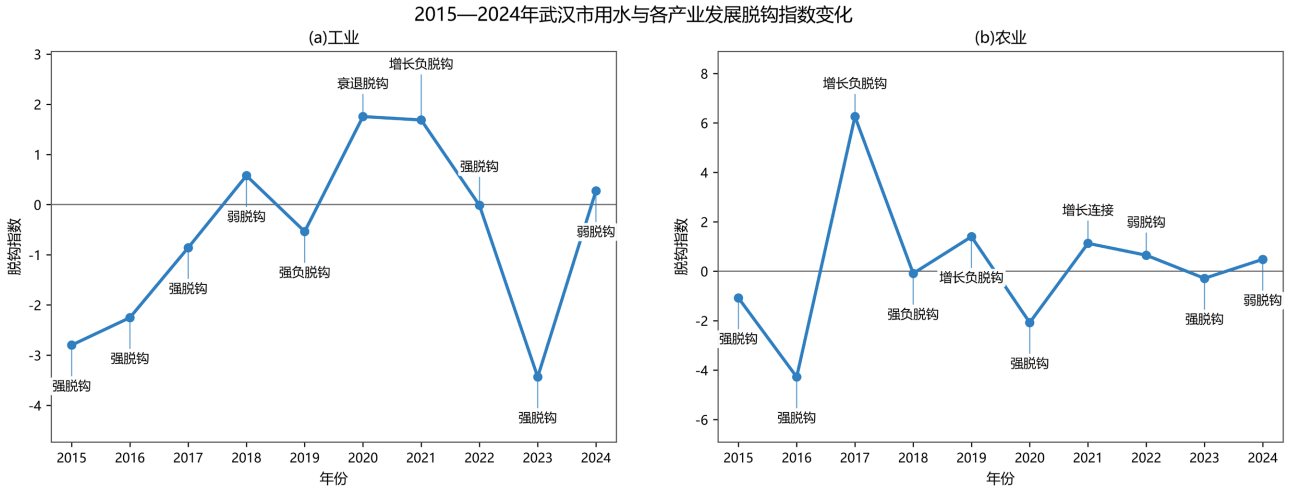


图 6. 2015~2024 年武汉市工业和农业用水与相应增加值的脱钩变化趋势

稳定的生态盈余和脱钩状态。对于过境水资源丰富而本地水资源量年际变化明显的超大城市，水资源压力更多体现为相对稳定的用水需求与波动性资源承载能力之间的阶段性不匹配。本文进一步表明，水资源禀赋的丰枯并不能单独决定水资源利用与经济增长的协调程度，其演变还需结合城市规模、用水结构及本地水资源供给波动等因素综合认识。

3.4.2. 生态环境用水统计口径调整的影响

2022 年武汉市生态环境用水统计范围发生调整，污水处理厂尾水用于河湖补水被纳入统计，使当年总用水量及水资源生态足迹的同比变化同时受到实际用水变化和统计范围扩展的影响。为检验该变化对脱钩结果的影响，本文按照 2022 年前的统计边界进行口径一致性处理，即从 2022~2024 年总用水量中分别扣除当年纳入统计的污水处理厂尾水，并采用相同方法重新计算脱钩指数。调整后，2022~2024 年脱钩指数分别为 0.799、−0.313 和 0.228，其中 2022 年由原统计口径下的增长负脱钩转为弱脱钩，2023 年和 2024 年仍分别保持强脱钩和弱脱钩。结果表明，2022 年的脱钩状态对统计口径调整较为敏感，原统计口径下的状态恶化不能完全归因于实际水资源消耗增长；强脱钩和弱脱钩年份合计占比由原统计口径下的 70%提高至 80%，但两类脱钩状态占主导的总体特征未发生改变。考虑到《武汉市水资源公报》原始数据具有统一的官方统计口径和可追溯性，本文仍以原统计口径的计算结果作为主体分析，口径一致性处理结果仅用于检验统计范围调整对脱钩判定的影响。

4. 结论与展望

4.1. 结论

本文基于 2015~2024 年武汉市相关数据，运用水资源生态足迹、水资源生态承载力与脱钩指数等分析方法，系统探究了武汉市用水结构演变、水资源利用状态及其与经济增长之间的脱钩关系，得到如下结论：

1) 研究期内，武汉市用水结构持续调整，GDP 增长 93.54%，总用水量仅增长 22.81%，经济增长速度明显快于用水增长速度；用水结构由工业用水占比较高的格局逐步转向生活、工业、农业和生态环境用水共同配置。上述变化与武汉市加快发展现代服务业、推进产业转型升级和加强河湖生态修复的政策导向相一致。

2) 研究期内，武汉市人均水资源生态足迹在 0.45~0.59 hm^2/人之间小幅波动，而人均水资源生态承载力在 0.17~2.58 hm^2/人之间呈现显著年际变化，共有 7 年处于生态赤字状态，武汉市在丰水禀赋下仍表现出阶段性水资源生态压力。

3) 用水与经济增长总体以脱钩为主，但阶段性反复仍然存在。按原统计口径，总体强、弱脱钩合计占 70%，

研究期内曾出现增长负脱钩，脱钩状态并未形成连续稳定的演变趋势。部门层面，工业用水与工业增加值之间有 7 年处于强脱钩或弱脱钩状态，农业用水与农业增加值之间则有 6 年。农业脱钩指数的波动区间更宽、状态转换更频繁，说明两部门均在多数年份呈现脱钩状态，但农业部门脱钩关系的年际波动更为明显。

4.2. 展望

鉴于模型评价显示武汉市部分年份人均水资源生态结余为负且年际波动较大，应落实水资源刚性约束和水量水质双目标管控，完善丰枯水年差异化调度与水资源优化配置机制，推进非常规水源利用和重点用水单位精细化管理，健全节水价格机制、节水激励机制和水权交易机制，提升水资源配置韧性与节约集约利用水平。

本文采用 Tapio 脱钩指数，以水资源生态足迹变化率和 GDP 变化率的比值识别不同年份资源利用与经济增长的相对变化，但其解释仍受数据尺度和指标构造的约束。所用 GDP 及部门增加值均按当年价格计量，其年度变化同时受到实际产出和价格水平变动的影响，价格因素可能影响 GDP 变化率、脱钩指数及其类型判定。因此，脱钩结果反映的是既定统计口径下水资源生态足迹与经济指标之间的相对变化。受年度数据限制，难以识别脱钩关系的季节性特征和区县间差异；Tapio 模型难以量化产业结构调整、技术进步和人口变化等因素对脱钩状态演变的具体贡献。未来研究可在采用按可比价格计算的 GDP 及部门增加值数据的基础上，结合更长时间序列和区县尺度数据，引入 LMDI 等分解方法，进一步识别经济规模、技术进步、产业结构和人口变化等因素的作用。

基金项目

湖北省自然科学基金(2024AFA011)。

参考文献

[1] 段凯, 肖伟华, 梅亚东, 等. 丰水城市建立水权交易制度的驱动力与策略分析[J]. 长江科学院院报, 2012, 29(3): 7-12.

[2] 市人民政府关于印发《武汉市国土空间总体规划（2021—2035 年）》的通知[EB/OL]. https://www.wuhan.gov.cn/zwgk/xxgk/zfwj/szfwj/202504/t20250425_2573228.shtml, 2025-04-25.

[3] 武汉市水务发展“十四五”规划（2021-2025 年）[EB/OL]. https://swj.wuhan.gov.cn/xxgk/new_fdzdgknr/new_ghxx/new_145gh/202203/t20220324_1945005.html, 2022-03-22.

[4] KONG, Y., HE, W., YUAN, L., SHEN, J., AN, M., DEGEFU, D. M., GAO, X., ZHANG, Z., SUN, F. and WAN, Z. Decoupling analysis of water footprint and economic growth: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei region from 2004 to 2017. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(23): 4873. https://doi.org/10.3390/ijerph16234873

[5] XU, Q., SUN, H. Decoupling analysis of urban water resource utilization and economic development. Frontiers in Environmental Science, 2025, 13: 1521769. https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1521769

[6] 杜森, 张大勇, 王冠南, 等. 基于水资源保护的长江流域产业发展研究: 以宜宾市为例[J]. 灌溉排水学报, 2025, 44(9): 143-152.

[7] 张婉玲, 邹磊, 夏军, 等. 长江中游城市群水资源生态足迹时空演变及其驱动因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(1): 83-92.

[8] 焦红波, 蒋亚, 胡亚婷. 山东省黄河流域水资源利用与经济发展脱钩关系研究[J]. 人民黄河, 2025, 47(10): 94-100, 160.

[9] 张旭, 马巍, 杨燕, 等. 基于三维水生态足迹的云南水资源可持续利用研究[J]. 人民长江, 2025, 56(5): 113-120.

[10] REES, W. E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out. Environment and Urbanization, 1992, 4: 121-130. https://doi.org/10.1177/095624789200400212

[11] WACKERNAGEL, M., REES, W. E. Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.

[12] 黄林楠, 张伟新, 姜翠玲, 等. 水资源生态足迹计算方法[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 1279-1286.

[13] 徐幸仪, 邓中元, 盛东, 等. 郴州市水资源生态足迹及生态承载力时空分析[J]. 水资源研究, 2024, 13(4): 355-362.

[14] 陈涛, 陈娟. 广州市水资源利用与经济发展脱钩分析[J]. 人民珠江, 2025, 46(11): 85-90.

[15] OECD. Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth. SG/SD(2002)1/FINAL. Paris: OECD, 2002.

[16] 张丽文, 梁益同, 李兰. 基于高分一号影像的武汉市洪涝遥感监测与分析[J]. 气象科技进展, 2018, 8(5): 51-57.

[17] 陈敏. 2020 年长江暴雨洪水特点与启示[J]. 人民长江, 2020, 51(12): 76-81.

[18] 丰水城市需要节水吗? [EB/OL]. https://swj.wuhan.gov.cn/xxgk/new_zc/new_zcwd/202112/t20211202_1864852.html, 2021-09-02.

[19] 何梅, 成钢, 张琪, 等. 丰水城市理水营城的规划思考——以武汉为例[J]. 城市规划, 2018, 42(S2): 58-63.

[20] ZHANG, W., LIU, D., CHEN, X., ZHOU, X., DING, Y. and ZHANG, J. Driving factors for decoupling water resources ecological footprint and economic growth in water-deficient cities dominated by agriculture. Water Science & Technology, 2023, 88(5): 1246-1268. https://doi.org/10.2166/wst.2023.284