

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2023.03.016

湖北省水资源压力与经济发展脱钩的时空演化

陈 述^{1,2}, 汪钟铃², 颜克胜^{1,2}, 吕文芳¹

(1. 三峡大学水电工程施工与管理湖北省重点实验室, 湖北 宜昌 443002;

2. 三峡大学水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002)

摘要:以水资源压力指数为指标,采用 Mann-Kendall 检验分析 2011—2020 年湖北省水资源压力的变化趋势及突变点,并利用 Tapio 脱钩模型揭示水资源压力与经济发展脱钩关系的时空演化规律。结果表明:除 2016 年与 2020 年外,湖北省水资源压力整体偏大,空间上呈现鄂西最大、鄂东居中、鄂中最小的态势;湖北省水资源压力整体呈下降趋势,突变点在 2012 年与 2019 年前后;全省水资源压力与经济发展之间的脱钩关系因水文特征波动,在时序上从 2012—2016 年的强脱钩发展到 2017—2019 年的扩张负脱钩,再到 2020 年的衰退脱钩;因自然气候及发展战略差异,在空间上各区域的平均脱钩率从 2012—2016 年鄂西最低、鄂东居中、鄂中最高,发展到 2017—2019 年鄂东最低、鄂中居中、鄂西最高,2020 年趋于平衡。为此,湖北省未来应重视制定基于水文波动的水资源压力变化应对预案,并对鄂东和鄂中地区实施产业结构调整。

关键词:水资源压力;经济发展;脱钩分析;时空演化;湖北省

中图分类号:F127;TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2023)03-0134-08

Spatio temporal evolution of decoupling between water resources stress and economic development in Hubei Province//CHEN Shu^{1,2}, WANG Zhongling², YAN Kesheng^{1,2}, LYU Wenfang¹ (1. Hubei Key Laboratory of Construction and Management in Hydropower Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, China; 2. College of Hydraulic & Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: With the water resources stress index taken as an indicator, Mann-Kendall test was used to analyze the trend and abrupt change points of water resources stress in Hubei Province from 2011 to 2020, and the Tapio decoupling model was applied to analyze the spatiotemporal evolution of the decoupling relationship between water resources stress and economic development. The results show that except in 2016 and 2020, the overall water resources stress in Hubei Province was relatively large, showing a spatial trend of maximum in western Hubei, middle in eastern Hubei, and minimum in central Hubei; the overall water resources stress in Hubei Province showed a downward trend, and abrupt change points occurred around 2012 and 2019; the decoupling relationship between water resources stress and economic development in Hubei Province experienced from strong decoupling during 2012-2016 to expansionary negative decoupling during 2017-2019, and then to recessionary decoupling in 2020 in time sequence due to fluctuations in hydrological characteristics; because of the differences in natural climate and development strategies, spatially, the average decoupling rate in Hubei Province experienced a gradual transition from the lowest in western Hubei, the middle in eastern Hubei, and the highest in central Hubei during 2012-2016, to the lowest in eastern Hubei, the middle in central Hubei, and the highest in western Hubei during 2017-2019, and finally tended to be balanced in 2020. Therefore, Hubei Province should pay more attention to formulating water stress response plans based on hydrological fluctuations, and implement industrial structure adjustment in eastern Hubei and central Hubei in the future.

Key words: water resources stress; economic development; decoupling analysis; spatiotemporal evolution; Hubei Province

基金项目:国家自然科学基金(52079073);湖北省高等学校哲学社会科学研究项目(21Y042)

作者简介:陈述(1986—),男,教授,博士,主要从事水资源管理研究。E-mail:chenshu@ctgu.edu.cn

通信作者:颜克胜(1988—),男,讲师,博士,主要从事水资源管理研究。E-mail:yankesheng@ctgu.edu.cn

水资源的合理利用,不仅关乎人类生存的舒适度,也决定经济发展的加速度^[1]。湖北省位于长江中游,是我国“中部崛起”的战略中心,也是“承东启西”的重要枢纽。虽然湖北省素有“千湖之省”之称,省内水资源丰富,但近年来因受南水北调中线工程持续调水、水生态保护公众认知不足、产业结构布局不合理和盲目追求经济跨越式发展等因素影响,水资源压力涨幅明显^[2]。全省经济发展与水资源压力之间的失调将严重影响湖北省经济持续、高效和绿色发展。因此,湖北省亟须对水资源压力的大小、变化趋势,以及水资源压力与经济发展之间的关系进行清晰与准确的动态评测。

现阶段已有不少学者开展了水资源压力与经济发展关系的研究,主要集中在水资源-经济-生态系统的耦合协调度^[3-5]、水资源承载能力^[6-8]、水资源利用情况与经济脱钩^[9-10]。如 Cheng 等^[3]利用动态耦合协调模型研究了黑龙江水资源子系统和其他子系统以及整个水资源系统之间的耦合协调度;Yang 等^[4]利用耦合可变模糊集和基尼系数,以水资源负荷指数、水土匹配系数和用水效益为指标,评价了长江经济带水资源的空间均衡性;焦士兴等^[5]运用层次分析法和耦合协调度模型对河南省城镇化与水资源系统的协调发展状况进行了研究;张志君等^[6]利用包含水资源、经济社会、生态环境、供需4个准则层的指标体系评价了新疆水资源安全状况;李少朋等^[7]从经济、生态环境和水资源3方面构建了水资源承载力评价指标体系,并采用 TOPSIS 模型综合评价了江苏省水资源承载力情况;高玉琴等^[8]构建了基于“量-质-域-流”4个维度的区域水资源承载力评价模型,对南京市水资源承载力状况进行了评价。上述研究主要侧重分析了水资源、经济、生态等多方面的内在协调性,未能清晰反映水资源压力与经济发展的匹配度以及时空演化特征。

为弥补上述研究不能直观反映水资源压力与经济发展动态关系的不足,不少学者开始将脱钩模型运用到水资源压力与经济发展的研究中。通过对脱钩状态的描述,客观清晰地展示了水资源压力与经济发展关系。“脱钩”原指经济增长已摆脱对资源消耗的依赖,现已成为衡量环境友好与可持续发展的重要参考^[2]。如何伟军等^[9]进行了长江经济带灰水足迹与经济增长的二维脱钩分析;张玲玲等^[10]分析了长江经济带水污染与经济脱钩关系演变及驱动因素;Wang 等^[11]分析了北上广用水量与经济增长的脱钩关系。然而,上述研究均以反映水资源利用情况为着眼点,缺乏准确的水资源压力指标,忽视了水资源压力指标应体现水资源供需两方面特征,

且缺乏对水资源压力变化趋势的分析。

为直观反映水资源压力的变化趋势,体现水资源供需双方面的特征,本文以水资源压力指数为指标,采用 Mann-Kendall 检验法(以下简称 M-K 检验)分析 2011—2020 年湖北省水资源压力的变化趋势及突变点;同时,为直观体现能否在保证区域高质量发展经济发展的前提下,实现水资源压力增速降低,并最终实现负增长^[12],本文采用 Tapio 脱钩模型,分析水资源压力与经济发展脱钩的时空演化规律,以期湖北省未来水资源保护和经济高质量发展规划提供依据。

1 数据来源

以湖北省整体及省内 17 个市(州)为研究对象(图 1),选取 2011—2020 年水资源与经济相关数据,开展水资源压力与经济发展脱钩关系的时空演化分析。所涉及的生产用水量、生活用水量、生态用水量和水资源总量数据均来源于《湖北省水资源公报》。鉴于 GDP 是衡量一个国家或地区经济状况和发展水平的核心指标,是加速区域资源消耗的直接现实驱动力,也是现阶段“脱钩”研究中被广泛用于评价经济发展的指标^[10],本文采用 GDP 刻画经济发展程度,其数据来源于《湖北省统计年鉴》。为剔除价格波动的影响,GDP 数据均以 2011 年为基期,并用 GDP 指数进行换算。

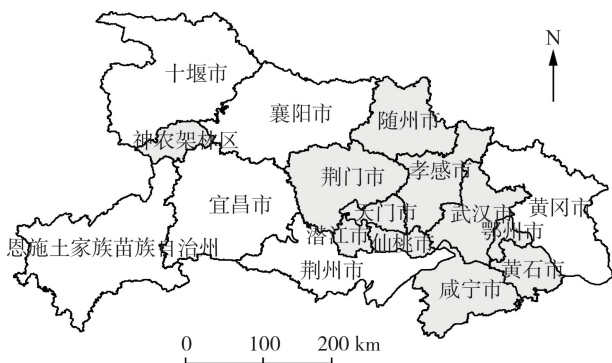


图 1 湖北省区划

Fig. 1 Zoning map of Hubei Province

2 研究方法

2.1 水资源压力指数测算

水资源压力指数反映某地区年度总用水量与可逐年更新的水资源禀赋之间的关系,揭示了该区域水资源承载负荷状况^[13]。现阶段,为探索各区域水资源的实际压力,采用的方法大致有指标法、供需比值法、综合评价法及水足迹评价法等^[14]。其中,供需比值法可直观、准确地反映区域内水资源特性,且兼顾自然系统与人类系统对水资源压力的综合作

用^[15]。为此,本文基于供需视角,采用区域内总用水量与水资源总量之比表示湖北省水资源压力指数:

$$I_s = \sum_{i=1}^3 W_i/W' \tag{1}$$

式中: I_s 为水资源压力指数; $W_i (i = 1, 2, 3)$ 分别为按《湖北省水资源公报》划分的 3 类用户的用水量,即生产用水量、生活用水量、生态用水量; W' 为区域内水资源总量。

根据 Fang 等^[16]对区域水资源承载力评价指标的研究,并兼顾湖北省水资源时空分布不均的特点^[2],本文依据 I_s 的取值情况,将湖北省水资源压力划分成 5 种状态: $0 \leq I_s < 0.1$ 为无压状态, $0.1 \leq I_s < 0.2$ 为低压状态, $0.2 \leq I_s < 0.4$ 为中压状态, $0.4 \leq I_s < 1$ 为较高压状态, $I_s \geq 1$ 为高压状态。

2.2 M-K 检验

M-K 检验是一种非参数统计检验方法,适用于检验数据序列的非线性趋势。该检验法具有不限定数据序列服从某种特定分布、不需要拟合特定概率分布、受异常数值干扰少、定量化程度高、检测范围广和计算简单等优点,现阶段多用于降水量、水位等^[17]水文现象的显著性检验及突变性分析中。分别用 Z 和 β 代表正态统计量和变化趋势指数,若 $|Z|$ 分别满足 $1.28 \leq |Z| < 1.64$ 、 $1.64 \leq |Z| < 2.32$ 、 $|Z| \geq 2.32$ 时,则该组数据序列分别通过了置信度(P)为 90%、95%、99% 的显著性检验,且 $Z > 0$ 时,数据序列整体呈现上升趋势,反之呈下降趋势。

为进一步分析已通过显著性检验的 I_s 变化趋势的突变开始时间,运用 M-K 检验进行序列突变性分析。将 M-K 检验统计量 UF、UB 的取值绘制成折线图,取 $\alpha = 0.05 (\alpha = 1 - P)$,在置信区间 $[-1.96, 1.96]$ 的范围内,如果两条曲线出现交点,则这些交点为序列的突变点,其对应时间点为突变开始时间。UF 大于 0 代表序列呈现上升趋势,反之呈现下降趋势。

2.3 Tapio 脱钩模型

“脱钩理论”于 20 世纪 50 年代被提出,首先被引入农业政策发展研究中,之后逐步扩展至环境与经济等领域,主要用于直观展现经济增长与物质消耗速率不同步的过程^[18]。近年来,利用“脱钩理论”评估区域资源环境与经济发展的协调状态已成为研究热点。目前国内外常用的脱钩测度方法有 IPAT (impact-population-affluence-technology) 模型法、脱钩指数法、Tapio 模型法和差分回归系数法等。鉴于 Tapio 模型法对基准年敏感性较低,对脱钩状态描述相对详细,可更准确地反映水资源压力变化

对经济变化的敏感程度^[19],本文选择 Tapio 脱钩模型对湖北省 17 个市(州)的水资源压力进行脱钩测度,具体计算公式为

$$\lambda_t = \frac{\Delta I_{s,t}/I_{s,t-1}}{\Delta P_t/P_{t-1}} = \frac{(I_{s,t} - I_{s,t-1})/I_{s,t-1}}{(P_t - P_{t-1})/P_{t-1}} \tag{2}$$

式中: λ_t 为 t 时期脱钩指数; $I_{s,t}$ 为 t 时期的水资源压力指数; P_t 为 t 时期的 GDP,亿元; $\Delta I_{s,t}$ 为 t 时期水资源压力指数变化量; ΔP_t 为 t 时期 GDP 增长幅度,亿元。

根据水资源压力指数变化量、GDP 增长幅度以及脱钩指数的取值情况,可划分如表 1 所示的 8 种脱钩状态。

表 1 脱钩状态的划分

Table 1 Classification of decoupling status			
压力指数变化量	GDP 增长幅度/亿元	脱钩指数	脱钩状态
>0	>0	>1.2	扩张负脱钩
>0	<0	<0	强负脱钩
<0	<0	[0,0.8)	弱负脱钩
>0	>0	[0,0.8)	弱脱钩
<0	>0	<0	强脱钩
<0	<0	>1.2	衰退脱钩
>0	>0	[0.8,1.2]	扩张连接
<0	<0	[0.8,1.2]	衰退连接

3 结果与分析

3.1 湖北省水资源压力时空分析

3.1.1 时序分析

由式(1)计算得到的省级水资源压力指数如图 2 所示。从时序分布上看,2011—2020 年省级水资源压力未进入高压状态, I_s 最大值为 0.49 (2019 年),最小值为 0.16 (2020 年)。2011—2016 年省级水资源压力指数逐年下降,水资源压力从中压状态转入低压状态;2016—2019 年省级水资源压力指数逐年下降,水资源压力从中压状态

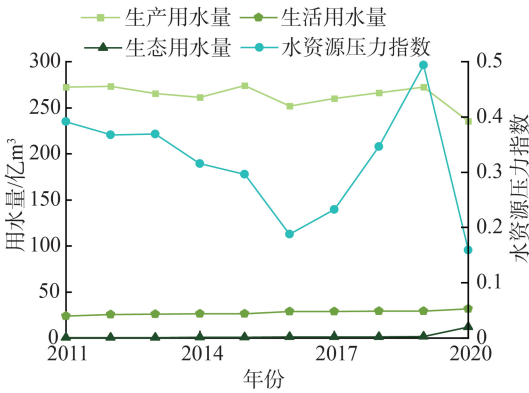


图 2 湖北省水资源压力指数和用水量的变化
Fig.2 Changes of water resources stress index and water consumption in Hubei Province

转入低压状态;2016—2019 年省级水资源压力指数急剧上升,在 2019 年达到峰值,水资源压力由低压状态转入较高压状态;2019—2020 年水资源压力重回低压状态。

由图 2 可知,2011—2020 年湖北省用水量的主要组成为生产用水量,且湖北省用水量整体变化趋势相对平稳,最大值为 303.15 亿 m^3 (2019 年),是最小值 278.90 亿 m^3 (2020 年)的 1.09 倍。根据《湖北省水资源公报》可知,湖北省水资源总量最大值为 1754.71 亿 m^3 (2020 年),是最小值 613.70 亿 m^3 (2019 年)的 2.86 倍。故造成湖北省水资源压力变化的主要原因是湖北省水资源年际间分配不均。

对湖北省各市(州) I_s 变化进行研究,其变化情况如图 3 所示。以各年水资源压力达到高压状态的市(州)数量为划分标准,依次分为:①2016 年、2020 年水资源压力相对偏小, I_s 平均值分别为 0.26 和 0.24,各市(州) I_s 最大值为 0.67,水资源压力均未达到高压;②2015 年、2017 年 I_s 平均值分别为 0.41 和 0.44,仅鄂州市水资源压力达到高压状态,表明鄂州市水资源严重稀缺,水资源冲突一触即发,应加强监管与控制;③2013 年、2014 年 I_s 平均值分别为 0.58 和 0.57,均有 2 市(州)水资源压力达到高压状态;④2011 年、2012 年、2018 年 I_s 平均值分别为 0.70、0.64 和 0.59,均有 3 市(州)水资源压力达到高压状态;⑤2019 年水资源压力状态最为严峻, I_s 平均值为 0.85,共有 8 市(州)水资源压力进入高压状态,且襄阳市、随州市、潜江市首次出现 $I_s \geq 1$ 。

根据《湖北省水资源公报》,将各年按水文特征划分为丰、平、枯,对比各年水文特征及其对应的 I_s 平均值可知,偏丰年和丰年水资源压力较小,多数区域水资源压力处于中压或低压,甚至个别区域首次出现 $I_s < 0.1$;枯年水资源压力较大,多地水资源持续高压。因此,造成湖北省各年水资源压力差异性较大的主要原因与各年水文特征密切相关。

3.1.2 空间分析

从空间上可将湖北省划分成 3 个区域:鄂西、鄂中和鄂东,根据图 3 可分析出湖北省水资源压力的空间分布特征。

鄂西 I_s 平均值为 0.35,区域内各市(州) I_s 的平均值由小到大依次为神农架林区、恩施土家族苗族自治州、十堰市、宜昌市、荆州市、随州市、荆门市、襄阳市。其中,恩施土家族苗族自治州和神农架林区的各年 I_s 均小于 0.1,表明区域水资源始终处于无压力状态。襄阳市 I_s 的平均值为 0.73,且仅在 2019 年达到高压状态,表明水资源监管力度应提升,但整体在可控范围内。

鄂中 I_s 平均值为 0.72,区域内各市(州) I_s 的平均值由小到大依次为咸宁市、仙桃市、潜江市、武汉市、天门市、孝感市。其中,咸宁市水资源压力状况相对较好, I_s 的平均值为 0.16,基本控制在中压状态。孝感市 I_s 在统计时间段内以高压状态为主,表明水资源整体状况与社会发展的匹配关系在崩溃边缘,应及时采取补救措施。

鄂东 I_s 平均值为 0.64,区域内各市(州) I_s 的平

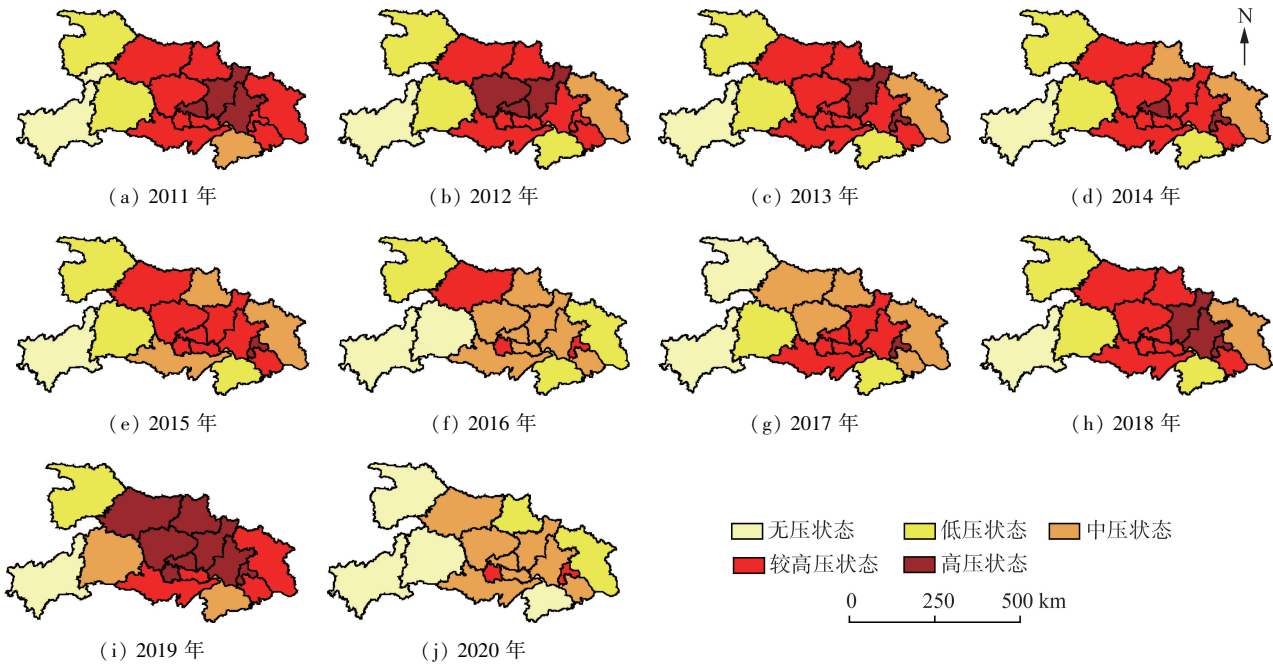


图 3 湖北省各市(州)水资源压力变化
Fig. 3 Changes of water resources stress of 17 cities in Hubei Province

均值由小到大依次为黄冈市、黄石市、鄂州市。其中,黄冈市和黄石市 I_s 的平均值分别为 0.28 和 0.50,各年均未到达高压,但鄂州市有 6 年 $I_s \geq 1$,且 I_s 的平均值为 1.14,居各市(州)之最。

将 3 个区域 I_s 的平均值进行对比,水资源压力呈现鄂西最低、鄂东居中、鄂中最高。鄂中和鄂东以亚热带大陆性季风气候为主,夏季高温日数多、年降水量少,故水资源总量较少。鄂中为人口分布密集区和经济发展的高速区,区域水资源需求量大。气候与经济发展现状的双重影响造成了鄂东和鄂中水资源压力普遍偏大,且鄂中较之鄂东,水资源压力现状更为严峻。鄂西以亚热带季风气候为主,四季分明、夏季湿润多雨、地下水资源丰富,且经济以发达的旅游业为引擎,推动生态文化旅游圈的建设,故鄂西水资源保护程度及利用效率较鄂东和鄂中稍高。

3.2 湖北省水资源压力变化趋势及突变分析

针对 2011—2020 年湖北省各市(州) I_s 数据,运用 M-K 检验分析湖北省水资源压力变化趋势。M-K 检验的 Z 值、 β 值及变化趋势的显著性水平如表 2 所示。由表 2 可知,湖北省整体水资源压力呈下降趋势,通过 90% 置信度检验,下降速率为 $-0.0397 a^{-1}$ 。

从表 2 还可知,仅鄂州市水资源压力呈上升趋势,但 $|Z| < 1.28$,未通过显著性检验,故上升趋势并不明显。其他城市水资源压力均呈现下降趋势,其中,黄石市通过 95% 置信度检验,水资源压力下

降速率为 $-0.0055 a^{-1}$ 。孝感市、荆州市、咸宁市、随州市、仙桃市和神农架林区通过 90% 置信度检验,水资源压力下降速率分别为 $-0.1240 a^{-1}$ 、 $-0.0233 a^{-1}$ 、 $-0.0073 a^{-1}$ 、 $-0.0557 a^{-1}$ 、 $-0.0424 a^{-1}$ 、 $-0.0004 a^{-1}$ 。

表 2 2011—2020 年湖北省水资源压力指数变化统计
Table 2 Statistics of changes in water resources stress index in Hubei Province from 2011 to 2020

区域	Z	β	趋势	显著水平
武汉市	-0.8944	-0.0529	下降	不显著
黄石市	-0.1789	-0.0055	下降	显著**
十堰市	-0.7155	-0.0026	下降	不显著
宜昌市	-1.2522	-0.0063	下降	不显著
襄阳市	-0.7155	-0.0231	下降	不显著
鄂州市	0.7155	0.0657	上升	不显著
荆门市	-1.0733	-0.0463	下降	不显著
孝感市	-1.6100	-0.1240	下降	显著*
荆州市	-1.4311	-0.0233	下降	显著*
黄冈市	-1.0733	-0.0220	下降	不显著
咸宁市	-1.4311	-0.0073	下降	显著*
随州市	-1.6100	-0.0557	下降	显著*
恩施土家族苗族自治州	-0.3578	-0.0002	下降	不显著
仙桃市	-1.4311	-0.0424	下降	显著*
潜江市	-0.7155	-0.0225	下降	不显著
天门市	-0.7155	-0.0443	下降	不显著
神农架林区	-1.2522	-0.0004	下降	显著*
湖北省	-1.4311	-0.0397	下降	显著*

注: * 表示置信度为 90%, ** 表示置信度为 95%。
针对 I_s 变化趋势显著的区域进行突变性 M-K 检验,结果见图 4。因存在多个突变点,故引入 Pettitt 检验法^[20]进行辅助判断,对比结果见表 3。

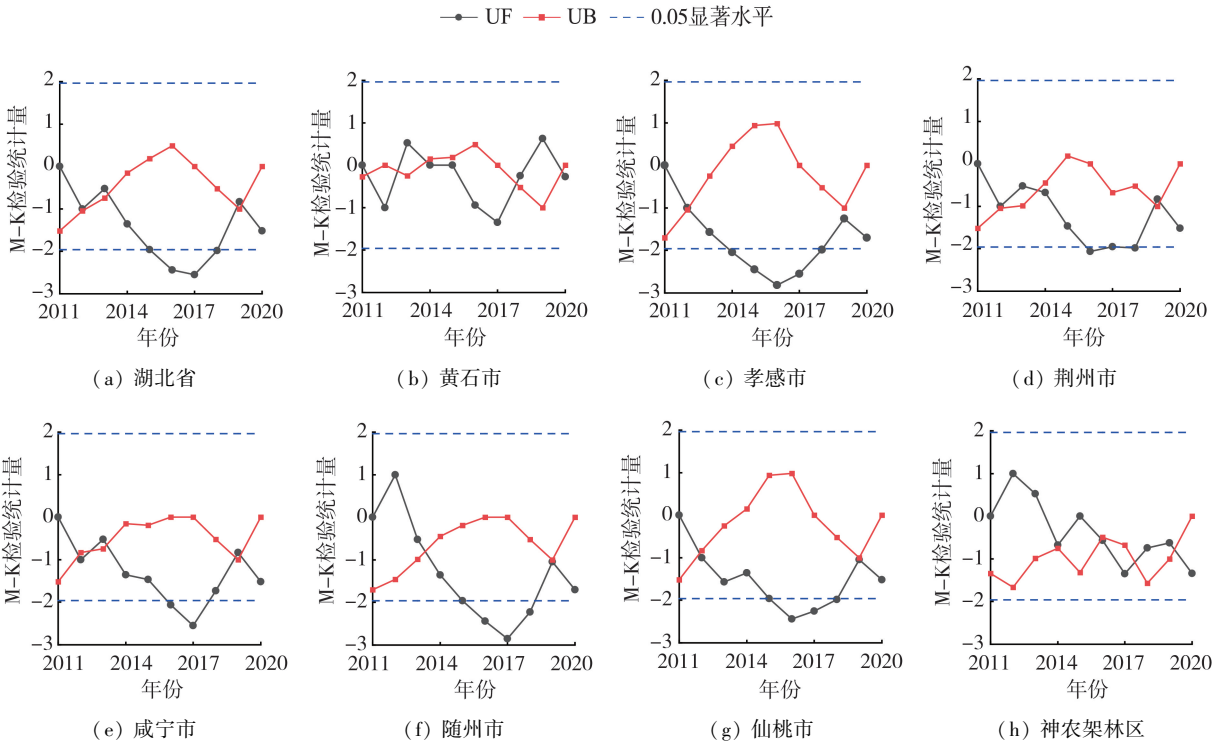


图 4 水资源压力指数突变性 M-K 检验结果

Fig. 4 M-K test results of abrupt changes in water resources stress index

M-K 检验检测出各区域水资源压力指数突变点集中在 2012 年、2013 年、2014 年和 2019 年, 但由 Pettitt 检验法可知, 突变点在 2013 年和 2014 年均未通过显著性检验 ($\alpha > 0.05$), 故可判断突变出现在 2012 年和 2019 年前后, 表现为水资源压力开始稍有缓解。由《湖北省国民经济和社会发展统计公报》《湖北省水资源公报》可知, 2012 年是实施“十二五”规划承上启下的关键之年, 2012—2013 年全省工业用水量减少 24%, 工业生产总值增加 4.6%, 故对工业用水合理规划, 可缓解区域水资源压力; 2019—2020 年从枯水年到丰水年, 故导致 2019 年水资源压力开始缓解的主要原因是水资源状况的改善。

表 3 水资源压力指数突变点检测结果

Table 3 Test results of abrupt changes in water resources stress index

区域	M-K 检测突变点	Pettitt 检测结果	
		突变点	显著性概率
湖北省	2012 年、2013 年、2019 年	2013 年	0.59
黄石市	2012—2019 年交点密集	2019 年	1.29
孝感市	2012 年	2013 年	0.28
荆州市	2012 年、2014 年、2019 年	2014 年	0.49
咸宁市	2012 年、2013 年、2019 年	2013 年	0.59
随州市	2013 年、2019 年	2013 年	0.59
仙桃市	2012 年、2019 年	2014 年	0.34
神农架林区	2014—2019 年交点密集	2015 年	0.80

3.3 湖北省水资源压力与经济发展脱钩分析

3.3.1 时序分析

针对 2012—2020 年省级及各市(州) I_s 与 GDP 的变化值, 用 Tapio 脱钩模型计算出各年脱钩指数, 结果见表 4 与图 5。

表 4 湖北省水资源压力与经济发展脱钩结果

Table 4 Results of decoupling between water resources stress and economic development in Hubei Province

年份	压力指数变化量	GDP 增长幅度/亿元	脱钩指数	脱钩状态
2012	<0	>0	-0.5226	强脱钩
2013	>0	>0	0.0391	弱脱钩
2014	<0	>0	-1.5070	强脱钩
2015	<0	>0	-0.6940	强脱钩
2016	<0	>0	-4.5515	强脱钩
2017	>0	>0	3.2838	扩张负脱钩
2018	>0	>0	6.2576	扩张负脱钩
2019	>0	>0	5.6044	扩张负脱钩
2020	<0	<0	13.1839	衰退脱钩

2012—2016 年省级水资源压力和经济发展之间协调性较好, 其间出现 1 次弱脱钩和 4 次强脱钩。2013 年出现弱脱钩, 表示水资源压力和经济同时增长, 但经济增速大于水资源压力增速, 其脱钩指数为 0.0391, 在弱脱钩中处于相对较好的范畴; 其他 4 次强脱钩, 是二者最为良好的关系, 表示水资源压力下降但经济在增长。从湖北省各市(州) 水资源压力

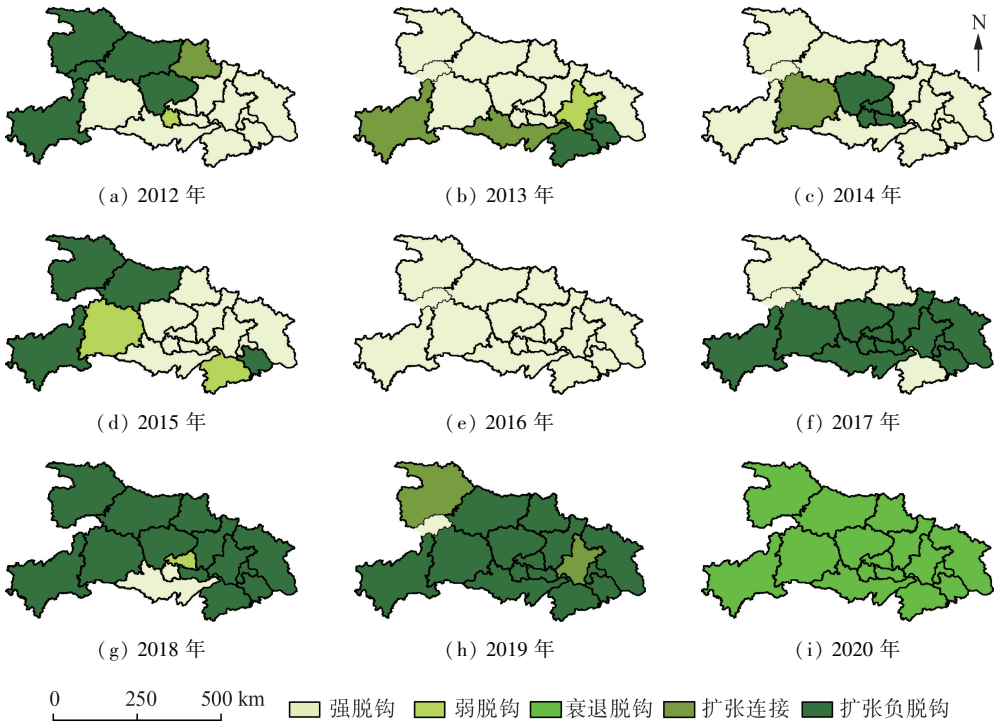


图 5 湖北省各市(州) 水资源压力与经济发展的脱钩情况

Fig. 5 Results of decoupling between water resources stress and economic development of different cities in Hubei Province

与经济发展脱钩效果上看,2012—2016年间,各年平均有超过60%的城市实现脱钩,且2016年二者脱钩效果最好,各市(州)全部实现强脱钩。2017—2019年省级水资源压力与经济发展的协调性较之前有所减弱,都处于扩张负脱钩。在这种状态下,水资源压力和经济同步增长,但水资源压力增速大于经济增速。从湖北省各市(州)水资源压力与经济发展脱钩效果上看,2017年水资源压力与经济发展呈现强脱钩的城市主要集中在鄂西,包括十堰市、神农架林区、襄阳市和随州市;2018年只有3个城市水资源压力与经济发展间达到脱钩,其中,荆州市和潜江市达到强脱钩,天门市达到弱脱钩;2019年水资源压力与经济发展二者脱钩效果最差,全省仅有神农架林区实现强脱钩,其他城市均未脱钩。2020年水资源压力与经济发展同步减弱,但水资源下降速率大于经济下降的速率,二者为衰退脱钩。

将各年脱钩结果与水文条件变化进行对比分析,2012—2016年水文特征经历的变化为偏枯年—偏枯年—平水年—平水年—丰水年,各年水资源总量波动较小或呈现转好趋势。受“十二五”阶段国家政策及政府决策影响,湖北省在水资源节约、水污染防治等方面意识加强,在保证GDP维持9.70%平均增速的同时,用水量以0.95%的平均速率下降,水资源压力与经济发展之间协调性较好。2017—2019年水文特征经历丰水年—偏丰年—偏枯年—枯水年的变化,水资源逐渐短缺。虽然GDP维持7.53%的平均增速,但由于水资源总量下降明显,导致水资源压力以38.37%的速率急速上涨,故水资源压力与经济发展之间呈现扩张负脱钩。2020年水文特征虽然经历枯水年—丰水年的变化,水资源压力得到了极大的缓解,但由于疫情影响,生活与生产停滞,GDP以5.14%的速率下降,故水资源压力与经济发展之间转变成成为衰退脱钩。

综上所述,正常年份湖北省整体水资源压力与经济发展之间的脱钩关系主要受各年水资源总量影响,因此,应加强对湖北省未来几年水文状况的预测,并在此基础上做好应对预案。

3.3.2 空间分析

为探索水资源压力与经济发展脱钩关系的空间分布特征,选取各区域(鄂西、鄂中、鄂东)的平均脱钩率作为评价指标。各区域的年脱钩率为每年各区域内各市(州)达到脱钩状态城市数量占总城市数量的百分比,而各区域的平均脱钩率即为统计时间段内各区域年脱钩率的算术平均值。由图5可知,2012—2016年,省级水资源压力与经济发展之间都实现了脱钩,但每年各区域达到脱钩的城市数量不

尽相同。2012—2016年,各区域中鄂西的平均脱钩率最低(65%)、鄂东居中(80%)、鄂中最高(86.7%)。2017—2019年,省级水资源压力与经济发展之间呈现扩张负脱钩,各区域中鄂东的平均脱钩率最低(0%)、鄂中居中(11.1%)、鄂西最高(25%)。2020年,各区域水资源压力与经济发展之间实现100%衰退脱钩。

将上述脱钩关系的空间分析结果与各年水资源情况及湖北省发展战略结合可知,鄂东和鄂中经济发展对水资源的依赖性强于鄂西,当水资源匮乏时,鄂东和鄂中水资源压力与经济发展之间的失调程度将大于鄂西,故需要适当调整其产业经济结构。

4 结 论

a. 除2016年和2020年水资源压力相对偏小外,湖北省水资源压力整体偏大。由于自然气候以及各市(州)经济发展战略的差异,湖北省各市(州)水资源压力分布不均,整体鄂西最低、鄂东居中、鄂中最高。

b. 2011—2020年湖北省水资源压力下降趋势通过90%置信度检验,下降速率为 -0.0397 a^{-1} 。因工业用水合理规划、水文条件改善,2012年、2019年前后出现水资源压力指数突变点,表现为水资源压力开始稍有缓解。

c. 湖北省水资源压力与经济发展之间的脱钩关系,因水文特征的波动,在时序上从2012—2016年的强脱钩发展到2017—2019年的扩张负脱钩,再到2020年的衰退脱钩。因自然气候及发展战略差异,在空间上,2012—2016年鄂西的平均脱钩率最低、鄂东居中、鄂中最高;2017—2019年鄂东的平均脱钩率最低、鄂中居中、鄂西最高;2020年趋于平衡。

参考文献:

- [1] 陈述,吕文芳,王建平.长江流域水资源利用效率时空演变特征分析[J].水资源保护,2022,38(4):80-86. (CHEN Shu, LYU Wenfang, WANG Jianping. Analysis of spatio-temporal evolution characteristics of water resources utilization efficiency in the Yangtze River Basin[J]. Water Resources Protection, 2022, 38(4): 80-86. (in Chinese))
- [2] 高甜,杨肖丽.中部地区水资源利用与经济社会发展关系研究[J].中国农村水利水电,2022(1):79-84. (GAO Tian, YANG Xiaoli. Research on the relationship between water resources utilization and economic and social development in central China[J]. China Rural Water and Hydropower, 2022(1): 79-84. (in Chinese))
- [3] CHENG Kun, YAO Jiping, REN Yongtai. Evaluation of the coordinated development of regional water resource systems based on a dynamic coupling coordination model [J]. Water Supply, 2019, 19(2): 565-573.

- [4] YANG Yafeng, WANG Hongrui, WANG Cheng, et al. Coupling variable fuzzy sets and Gini coefficient to evaluate the spatial equilibrium of water resources [J]. Water Resources, 2022, 49(2): 292-300.
- [5] 焦士兴, 王安周, 李青云, 等. 河南省城镇化与水资源耦合协调发展状况[J]. 水资源保护, 2020, 36(2): 21-26. (JIAO Shixing, WANG Anzhou, LI Qingyun, et al. Study on coupling and coordinated development of urbanization and water resources in Henan Province [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(2): 21-26. (in Chinese))
- [6] 张志君, 陈伏龙, 龙爱华, 等. 基于模糊集对分析法的新疆水资源安全评价[J]. 水资源保护, 2020, 36(2): 53-58. (ZHANG Zhijun, CHEN Fulong, LONG Aihua, et al. Xinjiang water resources security evaluation based on fuzzy set pair analysis [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(2): 53-58. (in Chinese))
- [7] 李少朋, 赵衡, 王富强, 等. 基于 AHP-TOPSIS 模型的江苏省水资源承载力评价[J]. 水资源保护, 2021, 37(3): 20-25. (LI Shaopeng, ZHAO Heng, WANG Fuqiang, et al. Evaluation of water resources carrying capacity of Jiangsu Province based on AHP-TOPSIS model [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(3): 20-25. (in Chinese))
- [8] 高玉琴, 吴迪, 刘海瑞, 等. 城市化影响下区域水资源承载力评价[J]. 水利水电科技进展, 2022, 42(3): 1-8. (GAO Yuqin, WU Di, LIU Hairui, et al. Evaluation of regional water resources carrying capacity under urbanization [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2022, 42(3): 1-8. (in Chinese))
- [9] 何伟军, 孔阳, 沈菊琴. 长江经济带灰水足迹与经济增强的二维脱钩分析[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2022, 24(1): 68-74. (HE Weijun, KONG Yang, SHEN Juqin. Two-dimensional decoupling analysis of grey water footprint and economic growth in the Yangtze River Economic Zone [J]. Journal of Hohai University (Philosophy and Social Sciences), 2022, 24(1): 68-74. (in Chinese))
- [10] 张玲玲, 车力, 王宗志, 等. 长江经济带水污染与经济脱钩关系演变及驱动因素研究[J]. 水利水电技术(中英文), 2021, 52(12): 47-59. (ZHANG Lingling, CHE Li, WANG Zongzhi, et al. Study on evolution and driving factors of relationship between water pollution and economic decoupling in Yangtze River Economic Zone [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2021, 52(12): 47-59. (in Chinese))
- [11] WANG Qiang, JIANG Rui, LI Rongrong. Decoupling analysis of economic growth from water use in city: a case study of Beijing, Shanghai, and Guangzhou of China [J]. Sustainable Cities and Society, 2018, 41: 86-94.
- [12] 王保乾, 严蕾. 长江经济带水足迹与经济高质量发展的脱钩效应[J]. 水利经济, 2022, 40(1): 6-12. (WANG Baoqian, YAN Lei. Decoupling effects of water footprint and high-quality economic development in Yangtze River Economic Belt [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2022, 40(1): 6-12. (in Chinese))
- [13] 张知非, 倪红珍, 陈根发, 等. 我国分区水压力变化趋势分析与差异化应对建议[J]. 水利水电技术, 2020, 51(11): 41-48. (ZHANG Zhifei, NI Hongzhen, CHEN Genfa, et al. Analysis on changing trend of regional water resources pressure and suggestions on dealing with differentiation [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2020, 51(11): 41-48. (in Chinese))
- [14] 贾学秀, 严岩, 朱春雁, 等. 区域水资源压力分析评价方法综述[J]. 自然资源学报, 2016, 31(10): 1783-1791. (JIA Xuexiu, YAN Yan, ZHU Chunyan, et al. Approaches for regional water resources stress assessment: a review [J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(10): 1783-1791. (in Chinese))
- [15] 罗开盛, 陶福祿. 黑河流域 1995—2014 年县域水资源压力评价[J]. 中国科学院大学学报, 2018, 35(2): 172-179. (LUO Kaisheng, TAO Fulu. Assessment of water resource pressure of Heihe River Basin at the county level from 1995 to 2014 [J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2018, 35(2): 172-179. (in Chinese))
- [16] FANG Hongyuan, GAN Shengwei, XUE Chenying. Evaluation of regional water resources carrying capacity based on binary index method and reduction index method [J]. Water Science and Engineering, 2019, 12(4): 263-273.
- [17] SUN Siao, BARRAUD S, CASTEBRUNET H, et al. Long-term stormwater quantity and quality analysis using continuous measurements in a French urban catchment [J]. Water Research, 2015, 85: 432-442.
- [18] 彭虹, 黄攀攀, 张万顺, 等. 重庆市农业用水量与农业经济发展脱钩程度的时空变化[J]. 水资源保护, 2020, 36(2): 13-20. (PENG Hong, HUANG Panpan, ZHANG Wanshun, et al. Spatial-temporal change characteristics of decoupling between agricultural water consumption and agricultural economic development in Chongqing [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(2): 13-20. (in Chinese))
- [19] 郑炎辉, 何艳虎, 王金杰, 等. 基于脱钩理论的区域产业节水目标研究: 以广东省为例[J]. 水资源与水工程学报, 2021, 32(4): 38-44. (ZHENG Yanhui, HE Yanhu, WANG Jinjie, et al. Study on the regional industrial water-saving target based on decoupling theory: a case study of Guangdong Province [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2021, 32(4): 38-44. (in Chinese))
- [20] 王毅, 张晓美, 周宁芳, 等. 1990—2019 年全球气象水文灾害演变特征[J]. 大气科学学报, 2021, 44(4): 496-506. (WANG Yi, ZHANG Xiaomei, ZHOU Ningfang, et al. Evolution characteristics of global meteorological and hydrological disasters from 1990 to 2019 [J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2021, 44(4): 496-506. (in Chinese))

(收稿日期: 2022-05-20 编辑: 施业)