

陈华君, 付景保. 水资源与经济的脱钩驱动效应与预测: 以南水北调中线受水区为例[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2023, 21(1): 107-115. CHEN H J, FU J B. Decoupling driving factors and prediction of water resources and economy: Case study of water receiving areas in the middle route of South-to-North Water Transfer Project[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2023, 21(1): 107-115. (in Chinese)

水资源与经济的脱钩驱动效应与预测

——以南水北调中线受水区为例

陈华君, 付景保

(河南工程学院南水北调与黄河流域生态环境研究中心, 郑州 451191)

摘要: 在脱钩模型的基础上, 运用对数平均迪氏指数(logarithmic mean Divisia index, LMDI)分解模型和系统动力学(system dynamics, SD)模型, 分别研究受水区 2000—2020 年用水量与经济脱钩的驱动因素和 2020—2030 年的变化趋势。将用水量与经济脱钩状态变化分解为产业用水强度脱钩效应、产业结构脱钩效应和经济发展水平脱钩效应。研究发现: 产业用水强度和产业结构累积脱钩指数始终为负值, 分别达到-12.59 和-3.43, 是维持脱钩状态的主要和次要影响因素; 而经济发展水平累积脱钩指数始终为正值, 累积达到 19.11, 是促进受水区用水量与经济负脱钩的重要影响因素。预计在 2020—2030 年, 受水区用水量与经济发展脱钩指数位于 0~1, 处于弱脱钩阶段, 且有负脱钩发展趋势, 其中产业用水强度的持续下降和产业结构的不断调整对受水区脱钩状态起着持续的稳固作用, 而经济发展的稳步上升显著促进受水区脱钩状态的负向发展。

关键词: 用水量; 经济; 脱钩状态; LMDI 模型; SD 模型

中图分类号: TV213 **文献标志码:** A **DOI:** 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2023.0012

我国属于缺水型国家, 近 20 年的平均水资源总量为 27 715 亿 m^3 , 位居世界第 6, 但人均水资源量仅为世界水平的 1/4^[1]。有专家^[2]指出: 水资源短缺是国家亟待解决的问题, 如何解决好该问题直接关系到生态环境安全和经济可持续发展。南水北调中线受水区是中国具有经济影响力的区域, 也是生态环境保护的重点区域, 且在国家区域发展中占有重要地位。2020 年受水区生产总值为 117 505.1 亿元, 占全国生产总值的 12%, 水资源消耗量为 877.4 亿 m^3 , 占全国的 15%, 单位水资源产值为 134 亿元, 比全国单位水资源产值低 25%, 确保该区域水资源利用与经济可持续发展是国家可持续发展目标实现的重要组成部分。因此, 定量研究受水区水资源利用与经济发展关系, 深层剖析两者关系的影响因素并预测其未来演变趋势, 对制定受水区水资源管理政策、

提高水资源利用率、稳固并推动受水区协调发展具有重要意义。

在水资源管理研究中, 学界对水资源与经济发展的关系一直很关注: 有研究^[2-3]解析水资源利用中存在的问题, 提出系列水与经济协调发展的政策和建设; 也有研究^[4-6]关注如何测量两者协调度, 构建两者协调发展模型, 分析两者协调关系, 提出水资源综合利用和经济综合发展的建议; 还有学者^[7]基于脱钩模型研究水资源利用与经济发展关系, 提出相关节水建议。这些探讨均引入了相关数学模型, 从定量的角度考量了水资源与经济发展的关系。针对水资源利用与经济发展的驱动因素研究多数采用因素分解法, 如结构分解法(structural decomposition analysis, SDA)^[8]、平均迪氏指数分解法(logarithmic mean Divisia index, LMDI)^[1, 9-11]、全要素分解法^[12],

收稿日期: 2022-06-10 修回日期: 2022-09-04 网络出版时间: 2022-11-18

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.TV.20221118.0837.002.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(42077449; 71804042); 河南省教育厅高等学校重点科研项目(22A630012); 河南省教育厅哲学社会科学重大攻关招标项目(2020-YYZD-04)联合资助; 河南省高校人文社会科学研究一般项目(2023-ZZJH-045)

作者简介: 陈华君(1987—), 女, 江苏启东人, 讲师, 主要从事系统工程研究。E-mail: gloomy_qt@126.com

通信作者: 付景保(1966—), 男, 河南南阳人, 教授, 主要从事区域生态环境保护与可持续发展研究。E-mail: fujingbao@126.com

主要关注如何让经济量变化和用水量变化的影响因素更加精准等目标,研究较为详尽,其中 LMDI 分解模型的分解结果不具有残差项而被广泛应用。目前学界对水资源利用与经济发展关系预测的研究相对匮乏,而与水资源有关的预测方法中,系统动力学(system dynamics, SD)模型是代表模型之一,可以建立非线性模型展开定性定量相结合的分析预测^[13]。鉴于此,本文在现有研究基础上,通过脱钩模型建立 LMDI 分解模型和 SD 预测模型^[6],对受水区水资源与经济的关系、影响因素和未来演变趋势进行深入分析,并根据研究结论提出针对性建议。

1 研究区概况

南水北调中线工程共向河南省 8 个地级市(南阳、平顶山、许昌、郑州、焦作、新乡、鹤壁、安阳)、河北省 4 个地级市(邯郸、邢台、石家庄、保定)以及北京市和天津市供水。本研究主要以这 14 个受水区为研究对象,分析其水资源利用与经济发展关系、影响因素及未来演变趋势。

2 研究方法数据来源

2.1 用水量与经济发展的关系测算和影响因素分解

2.1.1 脱钩模型

国内外学者相继开发了许多模型用以定量分析经济与环境间的具体关系,在已有的众多模型中,脱钩模型是应用最广泛的模型之一。本文在 Tapio 模型^[14]的基础上,通过变换相应的变量,构建水资源使用量与经济增长的脱钩模型,具体公式为

$$E = Y_w/Y_G = \frac{\Delta W/W}{\Delta G/G} \quad (1)$$

式中: E 为水资源使用量与经济增长的脱钩指数; Y_w 为水资源使用量的变化率,%; Y_G 为经济增长量的变化率,%; ΔW 为水资源使用变化量,亿 m^3 ; W 为水资源使用量,亿 m^3 ; ΔG 为经济增长变化量,亿元; G 为经济增长量,亿元。

根据 Tapio 对脱钩指数值的划分,结合中线受水区的实际情况将脱钩指数值划分为以下 6 种类型,见表 1。

2.1.2 脱钩模型的 LMDI 分解

本文在脱钩模型的基础上,采用 LMDI 分解方法,对脱钩指数的驱动因素进行分解:根据恒等式,用水量 W 主要由用水强度、经济水平、产业结构所

决定,具体公式为

$$W = \sum_{i=1}^3 W_i = \sum_{i=1}^3 \frac{W_i}{G_i} \times \frac{G_i}{G} \times G = \sum_{i=1}^3 I_i \times S_i \times G \quad (2)$$

式中: $i=1,2,3$ 分别表示农业、工业、服务业; $G(=\sum_i G_i)$ 是受水区生产总值; $S_i(=G_i/G)$ 为各产业增加值占总产值的百分比,用以反映受水区产业结构比例; $I_i(=W_i/G_i)$ 为各产业用水量与该产业增加值的比值,反映用水强度; W 为受水区用水总量。

假设 W_0 和 W_t 分别代表基年和第 t 年的用水量, ΔW 表示第 t 年相对于基年的用水变化量,根据 LMDI 方法将用水量从基年到第 t 年的变化分解为 3 个影响因素,即:

$$\Delta W = W_t - W_0 = \Delta W_I + \Delta W_S + \Delta W_G \quad (3)$$

式中: ΔW_I 为各产业用水强度影响因素; ΔW_S 为产业结构影响因素; ΔW_G 为经济发展水平影响因素。

联立公式(1)和(3),得到水资源脱钩模型的分解式为

$$E = \frac{\Delta W/W}{\Delta G/G} = \frac{(\Delta W_I + \Delta W_S + \Delta W_G)/W}{\Delta G/G} =$$

$$\frac{\Delta W_I/W}{\Delta G/G} + \frac{\Delta W_S/W}{\Delta G/G} + \frac{\Delta W_G/W}{\Delta G/G} \quad (4)$$

$$E = E_I + E_S + E_G \quad (5)$$

式中: E_I 为各产业用水强度脱钩指数; E_S 为产业结构脱钩指数; E_G 为经济发展水平脱钩指数^[4-8]。

表 1 脱钩指数类型划分标准

Tab. 1 The categorization criteria of decoupling index

脱钩类型	划分标准			
	$Y_G/\%$	$Y_w/\%$	E	
脱钩	强脱钩	>0	<0	<0
	弱脱钩	>0	>0	(0,1)
	衰退性脱钩	<0	<0	>1
负脱钩	强负脱钩	<0	>0	<0
	弱负脱钩	<0	<0	(0,1)
	扩张性负脱钩	>0	>0	>1

2.2 用水量与经济发展关系的预测

基于脱钩模型的 LMDI 分解结果,采用 SD 模型对受水区用水量与经济发展关系进行模拟,以期得到脱钩指数的预测结果。在模型中,受水区各产业用水量受各产业用水强度、各产业产值比、总 GDP 这 3 个因素影响,各要素间互为因果。

2.3 数据来源与说明

本文所涉及的主要指标为受水区用水总量、各产业用水量、各产业增加值、生产总值等,数据均来

源于 2000—2020 年历年的《中国统计年鉴》《中国水资源公报》《河北省水资源公报》《北京市水资源公报》《天津市水资源公报》《河南省水资源公报》。在计算过程中,为避免历年各产业产值受价格等其他因素的影响,以 2000 年为基期,采用指数法换算成可比数据后进行计算。

3 用水量与经济发展脱钩状态驱动效应分析

3.1 受水区用水量与经济发展脱钩趋势分析

表 2 显示了中线受水区 2000—2020 年水资源用水量与经济发展脱钩状态变化趋势,其脱钩状态

呈现出阶段性特征。在考察期间,基本处于脱钩状态,但在 2014—2015 年和 2019—2020 年呈现负脱钩趋势。其中 2015 年和 2020 年的负脱钩状态表明,这两年的水资源消耗速度远超前于经济发展速度,较 2014 年和 2019 年分别增加了 1.6 倍、1.0 倍,前者可能是由于 2015 年世界经济出现滑坡的现象,后者可能是由于 2020 年受疫情影响全国经济呈现低增长模式。总体上,在 2000—2020 年,受水区水资源总用水量平均变化率为 5.5%,经济水平的平均变化率为 7.6%,受水区经济发展水平增长速度高于用水量的增加速度,两者处于弱脱钩状态。

表 2 受水区用水总量与经济发展之间的脱钩指数

Tab. 2 Decoupling index between total water consumption and economic development in water receiving area

时段	$Y_G/\%$	$Y_W/\%$			E	脱钩类型
		农业	工业	服务业		
2019—2020	0.0249	0.2532	-0.0140	0.1713	16.4906	扩张性负脱钩
2018—2019	0.0225	-0.0050	-0.0200	0.0256	-0.0196	强脱钩
2017—2018	0.0257	-0.0180	-0.0040	0.0253	0.0730	弱脱钩
2016—2017	0.1015	-0.0190	0	0.0458	0.2548	弱脱钩
2015—2016	0.0829	0.0001	-0.0110	0.0153	0.0453	弱脱钩
2014—2015	0.0470	0.0296	-0.0030	0.0397	1.4097	扩张性负脱钩
2013—2014	0.0638	-0.0430	-0.0180	0.0274	-0.5389	强脱钩
2012—2013	0.0980	0.0305	-0.0002	-0.0091	0.2164	弱脱钩
2011—2012	0.1010	0.0091	0.0182	0.0071	0.3413	弱脱钩
2010—2011	0.1886	-0.0140	-0.0013	0.0412	0.1335	弱脱钩
2009—2010	0.2355	-0.0598	0.0077	0.0111	-0.1740	强脱钩
2008—2009	0.0740	0.0094	0.0041	-0.0010	0.1690	弱脱钩
2007—2008	0.1941	-0.0205	-0.0141	0.0352	0.0031	弱脱钩
2006—2007	0.1855	-0.0419	-0.0001	0.0043	-0.2031	强脱钩
2005—2006	0.1572	0.0702	0.0034	0.0068	0.5116	弱脱钩
2004—2005	0.2639	-0.0292	0.0102	0.0105	-0.0324	强脱钩
2003—2004	0.2333	0.0192	-0.0076	0.0083	0.0856	弱脱钩
2002—2003	0.1647	-0.0701	0.0022	0.0110	-0.3456	强脱钩
2001—2002	0.1005	-0.0281	-0.0030	0.0022	-0.2878	强脱钩
2000—2001	0.1109	0.0603	-0.0226	-0.0072	0.2747	弱脱钩

考察两者脱钩状态,除了从用水总量的角度外,还可从产业用水的角度来进行,以便更深入了解用水量的产业分布,制定针对产业的节水政策和措施^[15]。从表 2 产业用水变化率来看:农业用水量变化率从下降 0.06% 到增长 0.25%,年均增长率为 0.95%,其变化趋势与总体脱钩指数极为相似,均在 2015 年

和 2020 年有较大的变动,分别下降了 0.043% 和 0.010%,农业用水量变化率对总用水量变化率的影响较大;工业用水量变化率从下降 0.02% 到下降 0.01%,年均增长率为 0.05%,工业用水量变化率基数较小且变化幅度不显著;服务业用水量变化率从下降 0.007% 到增长 0.170%,年均增长率为 0.9%,

服务业用水量变化率基数较大且逐年增长,对将来总用水量变化率的影响将逐渐扩大。因此,受水区在协调水资源与经济发展过程中,要将农业、工业、服务业融合发展,以农业、工业为主要抓手,并兼顾服务业。

3.2 受水区用水量与经济发展脱钩状态变化驱动因素分解

通过 LMDI 分解方法,计算得到驱动因素脱钩指数及绝对贡献率结果,见表 3。除 2020 年外,产业用水强度和产业结构累积脱钩指数始终为负值,分别达到-12.59 和-3.43,平均绝对贡献率分别为 38% 和 12%,两者是促进受水区用水量与经济发展脱钩状态的主要和次要影响因素。受水区产业用水强度从 2000 年的 0.08 亿 m^3 /亿元降至 2019 年的 0.02 亿 m^3 /亿元,说明受水区产业用水强度的下降,可以有效促进用水总量的减少,保持了脱钩状态,

可见,受水区近年来在产业领域积极探索提高水资源利用的政策和方法带来了良好的脱钩效应^[16-17]。在考察期内,产业结构的调整也带来了良好的脱钩效应^[18],但近年来随着服务业比例不断调整扩大,其用水强度在不断增加,导致产业结构对用水量与经济关系的负脱钩效应不断增强,因此,受水区未来在强调产业结构调整的同时,重点关注服务业,保障产业结构的高级化和合理化,以此扩大产业结构的脱钩效应空间。经济发展水平脱钩指数始终为正值,从 0.96 增至 1.18,平均绝对贡献率为 50%,是促进受水区水资源与经济关系负脱钩的重要影响因素;由于受水区社会经济活动的进行离不开水资源的使用,因此经济发展水平并没有正向促进水资源与经济往脱钩方向发展,但这并不表示为实现水资源与经济的脱钩效应而抑制受水区经济的发展。

表 3 受水区用水总量与经济关系的脱钩影响因素

Tab. 3 Influencing factors of decoupling between total water consumption and economic development in water receiving area

时段	用水强度		产业结构		经济发展水平		E
	E_I	绝对贡献率/%	E_S	绝对贡献率/%	E_G	绝对贡献率/%	
2019—2020	12.7782	77.49	2.5373	15.38	1.1751	7.12	16.4906
2018—2019	-1.7484	50.28	0.7404	21.29	0.9883	28.42	-0.0196
2017—2018	0.2814	11.41	-1.1965	48.52	0.9881	40.06	0.0730
2016—2017	-0.3268	19.52	-0.3826	22.86	0.9643	57.61	0.2548
2015—2016	-0.6351	33.78	-0.2820	15.00	0.9624	51.21	0.0453
2014—2015	0.7150	35.07	-0.3144	15.42	1.0091	49.50	1.4097
2013—2014	-1.2805	52.41	-0.2105	8.61	0.9521	38.97	-0.5389
2012—2013	-0.6277	36.67	-0.1198	7.00	0.9639	56.32	0.2164
2011—2012	-0.5742	35.96	-0.0534	3.34	0.9690	60.68	0.3413
2010—2011	-0.6649	38.63	-0.1288	7.48	0.9272	53.87	0.1335
2009—2010	-0.9326	48.28	-0.1203	6.23	0.8790	45.50	-0.1740
2008—2009	-0.7597	42.86	-0.0421	2.37	0.9707	54.76	0.1690
2007—2008	-0.6816	37.36	-0.2290	12.55	0.9137	50.08	0.0031
2006—2007	-1.0318	51.52	-0.0711	03.55	0.8998	44.93	-0.2031
2005—2006	-0.2688	18.94	-0.1850	13.03	0.9654	68.03	0.5116
2004—2005	-0.6257	34.78	-0.2901	16.12	0.8835	49.10	-0.0324
2003—2004	-0.8807	47.68	0.0586	3.17	0.9077	49.14	0.0856
2002—2003	-1.0161	47.42	-0.2281	10.65	0.8986	41.94	-0.3456
2001—2002	-0.9493	43.83	-0.2775	12.81	0.9390	43.36	-0.2878
2000—2001	-0.5864	35.55	-0.1010	6.12	0.9621	58.33	0.2747

4 受水区用水量与经济发展关系的脱钩趋势预测

4.1 模型的建立

本文基于SD模型的基本原理建立受水区用水

量与经济发展水平的SD预测模型,具体流程见图1。系统仿真的基期为2020年,跨期为1年,流程图中水平变量的初始值为2020年各相应的统计数据。

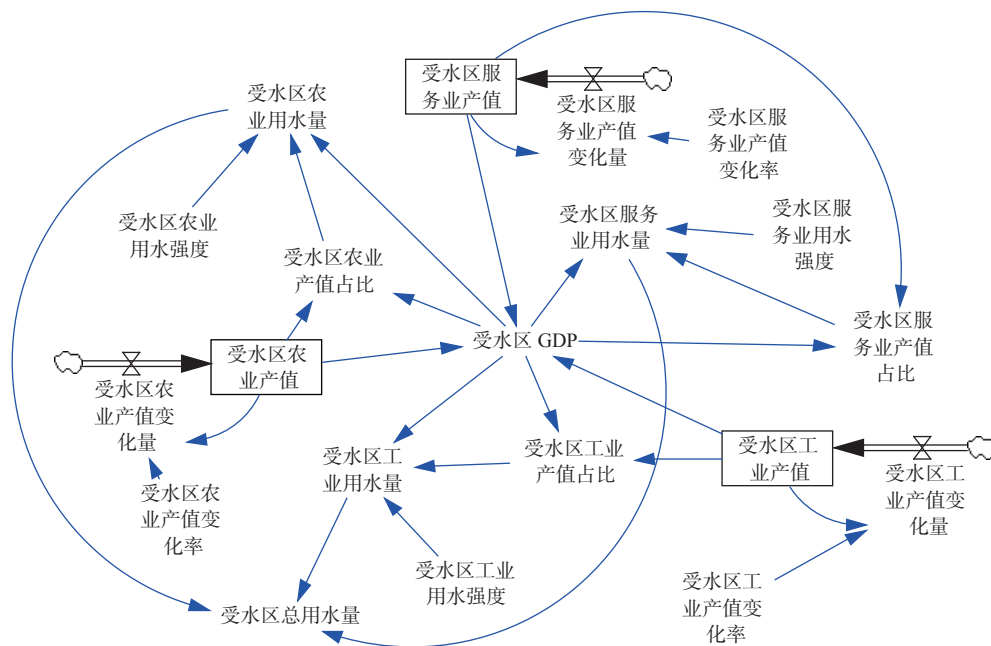


图1 受水区用水量与经济水平预测模型流程

Fig. 1 Prediction model diagram of water consumption and economic level in water receiving area

4.2 模型的检验

为确保模型的模拟精度,运用2010—2020年的历史数据,对该模型进行检验。将模型中水平变量初始值设为2010年基期数据,并将用水量、经济水平的模拟值与实际值进行对比,限于文章篇幅,仅列出2020年的农工服务用水量和农工服务经济水平的误差,其预测值与实际值的误差分别为7.93%、9.93%、7.62%和-1.15%、-7.08%、0,其余各年份误差也均在允许误差范围内,模型模拟精度良好,因此,该模型可用于受水区用水量与经济发展关系脱钩趋势的分析。

4.3 预测结果分析

4.3.1 产业用水强度脱钩指数预测

图2为产业用水强度脱钩指数的预测趋势,作为促进受水区用水量与经济发展脱钩状态的主要因素,在预测期内,产业用水强度脱钩指数小于0,均处于强脱钩状态。从分解产业用水强度脱钩指数看:工业用水强度用水量变化率呈逐年下降趋势,降了0.007%;农业用水强度用水量变化率呈先降后升的态势,但整体有小部分下降,降了0.000002%;服务业用水强度用水量变化率呈上升趋势,但增幅

较小,只有0.0000001%。总体上,受水区用水强度用水量变化率有大幅度下降,说明受水区未来一段时间内在节约水资源、提高水资源循环利用率方面努力效果显著。农业用水强度降低幅度最小,且到预测后期有上升的趋势,这是由于农业对水资源有较强的依赖性,虽然受水区积极提高农业科技水平、改善农业用水方式,但在预测后期,农业用水强度下降将出现瓶颈;服务业用水强度有上升趋势,但增加幅度极小,未来服务业对水资源需求的增加将有所改变。受水区用水强度的下降,在将来一段时间内对用水强度脱钩状态起维持作用,进而将持续对受水区的脱钩状态起促进作用,且仍有很大的促进空间。

4.3.2 产业结构脱钩指数预测

图3为受水区产业结构脱钩指数预测趋势,产业结构脱钩指数小于0,处于强脱钩状态。分解各产业结构脱钩指数可看出,预测期内受水区农业结构和工业结构用水量变化率小于0,表明对水资源需求较大的产业占比有所下降,其预测期内农业、工业比例分别下调了12%、27%。受水区的产业结构不断调整,对水资源依赖性大的产业占比不断下

降,水资源需求量也随之不断下降,因此,未来对水资源需求较大产业占比的下降将对产业结构脱钩

状态起维持作用,且产业结构脱钩状态的保持将对受水区的脱钩状态起到一定的促进作用。

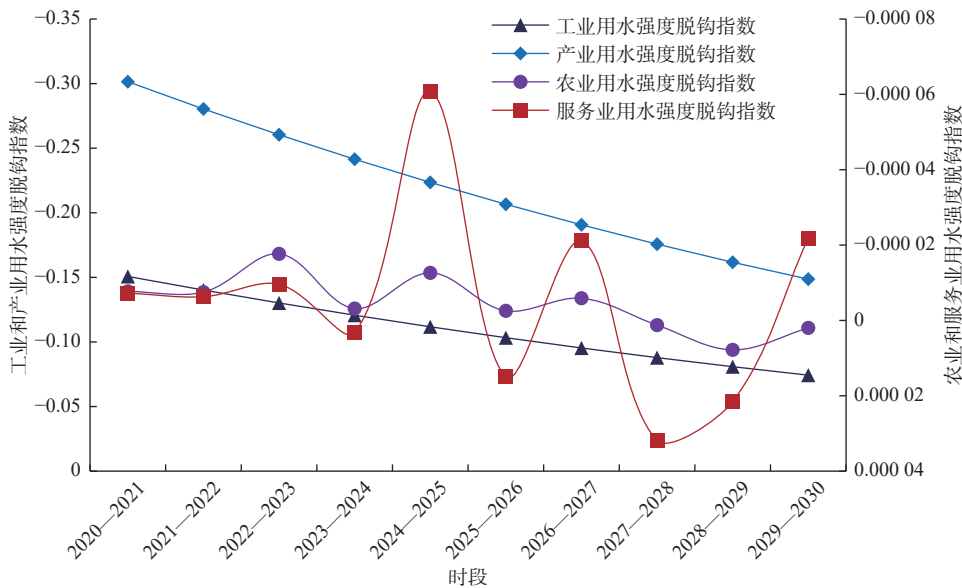


图 2 受水区各产业用水强度(E_1)脱钩指数预测

Fig. 2 Prediction of decoupling index of water intensity in various industries

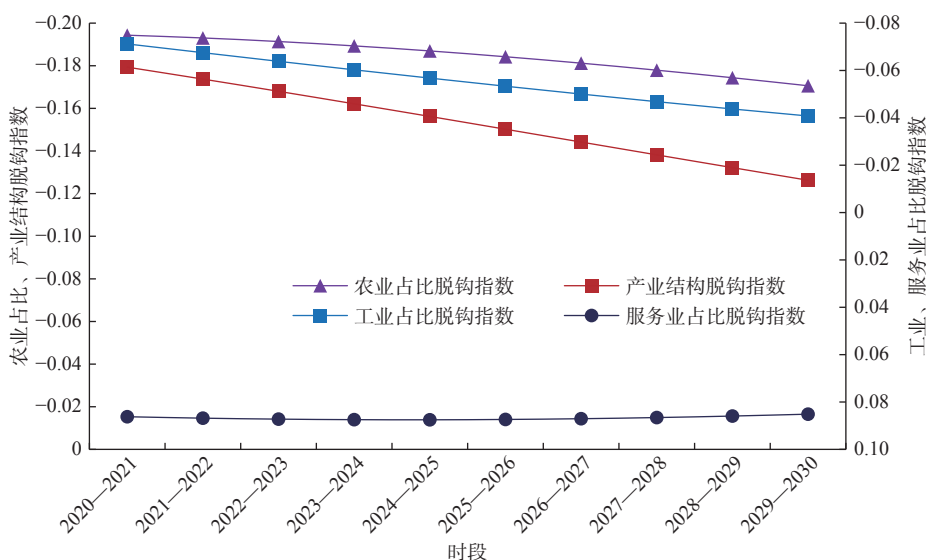


图 3 受水区各产业结构(E_5)脱钩指数预测

Fig. 3 Prediction of decoupling index of industrial structure

4.3.3 经济发展水平脱钩指数预测

图 4 为受水区经济发展水平脱钩指数预测趋势,经济发展水平脱钩指数为 0~1,处于弱脱钩状态。分解经济发展水平脱钩指数可看出,经济水平用水量变化率 Y_G 大于 0,即经济的发展呈逐年增长趋势,增幅为 8%。随着受水区经济的增长,水资源需求量也将持续增加,因此经济的增长对经济水平脱钩状态起着负向推动作用,进而该负向推动作用又将持续显著地促进受水区负脱钩状态的发展。

4.3.4 用水量与经济发 展的脱钩指数预测

图 5 显示了受水区用水量与经济发展脱钩指数随年份变化的趋势。到 2030 年,受水区用水量与经济发展脱钩指数为 0~1,且经济增长量的变化率 Y_G 和用水量的变化率 Y_w 均为正数,表明在预测期内用水量与经济发展处于弱脱钩阶段,但从 Y_G 和 Y_w 的平均变化率变化趋势可看出, Y_w 平均变化率(2.7%)快于 Y_G 平均变化率(0.65%),脱钩状态有往负脱钩方向发展趋势。从脱钩指数的 3 个分解因素

来看,在预测期内,各产业用水强度用水量变化率从-0.013 0 缩小到-0.0068,产业结构用水量变化率从-0.015 缩小为-0.011,两个变化率都在不断缩减,均接近于零点,可以看出在现有节水、控水政策基础上继续推行可持续发展、调整产业结构以实现受

水区脱钩状态的维持作用将逐渐减弱,加之经济水平脱钩状态对受水区脱钩状态产生了持续的负向作用,且该负向作用将越来越显著,因此受水区脱钩状态将有负脱钩的发展趋势^[16]。

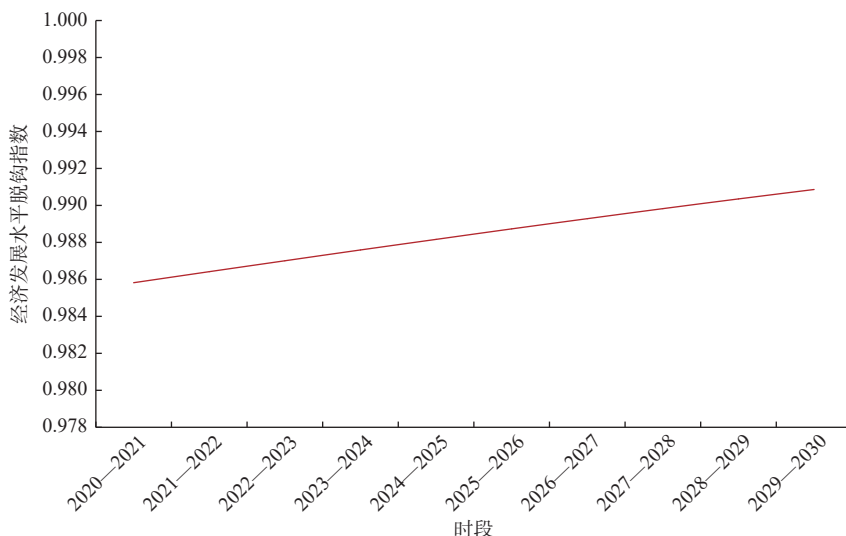


图 4 受水区经济发展水平 (E_G) 脱钩指数预测
Fig. 4 Prediction of decoupling index of economic development level

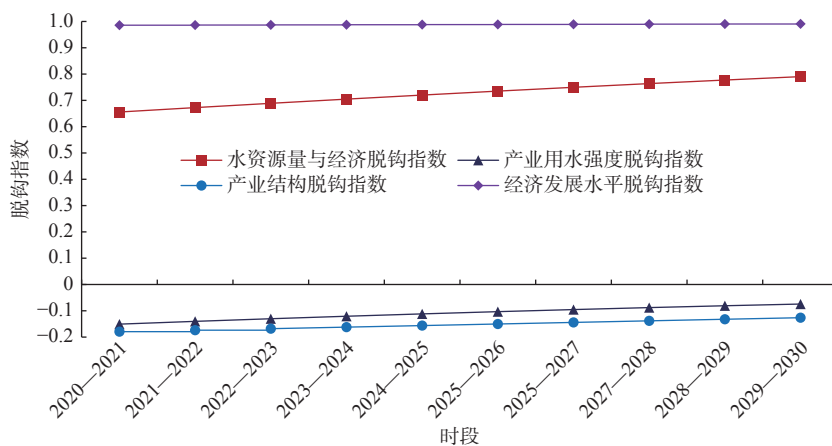


图 5 受水区用水量与经济发展脱钩指数预测
Fig. 5 Prediction of decoupling index between water consumption and economic development

5 结论与启示

本文基于脱钩模型测算 2000—2020 年 14 个受水区水资源与经济关系的脱钩指数,并建立了脱钩指数驱动因素的 LMDI 分解模型和 SD 预测模型,考察各驱动因素对受水区水资源与经济关系脱钩指数的影响和未来演变趋势,得到如下主要结论:

受水区用水量与经济发展水平脱钩状态在 2000—2020 年整体上处于脱钩状态。从产业用水角度分解脱钩指数可知,农业用水量变化率对总用水量变化率影响较大,工业用水量变化率占比基数

小且变化幅度不显著,服务业用水量变化率占比基数最大,对未来总用水量变化率影响将扩大。

受水区用水量与经济发展脱钩指数的 3 个分解因素中,产业用水强度和产业结构脱钩指数始终为负值,且其平均贡献率分别达到 38%、12%,是维持脱钩状态的主要和次要影响因素,而经济发展水平是促进受水区用水量与经济负脱钩的重要影响因素。

SD 模型预测结果显示,受水区用水量与经济发展处于弱脱钩阶段,有往负脱钩发展趋势。在脱钩指数变化的驱动因素中,产业用水强度有所下降,

产业结构也在不断调整,对水资源需求较大的产业占比不断下降,产业用水强度脱钩状态和产业结构脱钩状态对受水区脱钩状态起着持续的稳固作用;经济发展脱钩指数呈上升趋势,预计到 2030 年达到 0.991,接近于 1(负脱钩阶段界定的数值),经济发展脱钩状态对受水区脱钩状态的负向发展起到显著的促进作用。

基于以上结论,为进一步实现水资源与经济协调发展的目标,提出以下建议:首先,宏观层面做好政策引导,以维持水资源用水量与经济发展的脱钩状态;其次,受水区要增加产业、科技资金投入,加大节水创新和科技转化能力,以突破产业用水强度下降瓶颈^[19];最后,要注重水资源循环利用效率,调整产业结构,受水区各省市在继续推动产业结构合理化高级化的基础上,要做好系统产业结构设计^[20],提高产业系统中水资源中间产物利用率,以实现高用水效率目标,这对稳固受水区用水量与经济发展的脱钩状态有着重要意义。

参考文献:

- [1] 章恒全,杨柳,张陈俊.长江经济带用水量演变的驱动因素与预测:基于LMDI与SD模型[J].工业技术经济,2021,40(6):143-152.
- [2] 井沛然,郭利丹.基于生态足迹的浙江省水资源利用与经济协调发展研究[J].水利水电技术(中英文),2021,52(6):42-51. DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2021.06.005.
- [3] 李立凡,陈佳骏.中亚跨境水资源:发展困境与治理挑战[J].国际政治研究,2018,39(2):89-107.
- [4] 杨胜苏,张利国,喻玲,等.湖南省社会经济与水资源利用协调发展演化[J].经济地理,2020,40(11):86-94. DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2020.11.010.
- [5] 周成,冯学钢,唐睿.区域经济-生态环境-旅游产业耦合协调发展分析与预测:以长江经济带沿线各省市为例[J].经济地理,2016,36(3):186-193. DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2016.03.025.
- [6] 崔木花.中原城市群9市城镇化与生态环境耦合协调关系[J].经济地理,2015,35(7):72-78. DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2015.07.011.
- [7] 许长新,林剑婷.江苏产业用水与经济发展关系研究:基于改进脱钩模型[J].中国农村水利水电,2017(1):171-174,179. DOI: 10.3969/j.issn.1007-2284.2017.01.040.
- [8] 王苗苗,马忠,惠翔翔.基于SDA法的水资源管理评价:以黑河流域张掖市为例[J].管理评论,2018,30(5):158-164. DOI: 10.14120/j.cnki.cn11-5057/f.2018.05.018.
- [9] ANG B W. LMDI decomposition approach: A guide for implementation[J]. Energy Policy, 2015, 86(11):233-238. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.07.007.
- [10] PETRI T. Towards a theory of decoupling: Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001[J]. Transport Policy, 2005, 12(2):137-151. DOI: 10.1016/j.tranpol.2005.01.001.
- [11] ANG B W. The LMDI approach to decomposition analysis: A practical guide[J]. Energy Policy, 2005, 33(7):867-871. DOI: 10.1016/j.enpol.2003.10.010.
- [12] 张陈俊,许静茹,张丽娜,等.长江经济带水资源消耗时空差异驱动效应研究[J].资源科学,2018,40(11):2247-2259. DOI: 10.18402/resci.2018.11.11.
- [13] 孙东川,林福永,孙凯,等.系统工程引论[M].北京:清华大学出版社,2014.
- [14] 朱洪利,潘丽君,李巍,等.十年来云贵两省水资源利用与经济发展脱钩关系研究[J].南水北调与水利科技,2013,11(5):1-5. DOI: 10.3724/SP.J.1201.2013.05001.
- [15] 余灏哲,李丽娟,李九一.一体化进程中京津冀水资源利用与城市经济发展关系时空分析[J].南水北调与水利科技,2019,17(2):29-39. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbqk.2019.0031.
- [16] 郝林钢,左其亭,刘建华,等.“一带一路”中亚区水资源利用与经济社会发展匹配度分析[J].水资源保护,2018,34(4):42-48. DOI: 10.3880/J.issn.1004-6933.2018.04.08.
- [17] 郭佳航,田进宽,左其亭,等.沙颍河流域水资源利用量与经济发展匹配特征分析[J].南水北调与水利科技(中英文),2021,19(3):487-495. DOI: 10.13476/J.cnki.nsbqk.2021.0052.
- [18] 章恒全,李一明,张陈俊.人口、经济、产业城镇化对水资源消耗影响的动态效应及区域差异[J].工业技术经济,2019,38(1):83-90. DOI: 10.3969/j.issn.1004-910X.2019.01.011.
- [19] 杨志远,杨建,杨秀春.典型喀斯特城市水资源利用与经济发展关系分析:以铜仁市为例[J].经济地理,2018,38(9):105-113. DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2018.09.012.
- [20] 周三多,陈传明,刘子馨,等.管理学:原理与方法[M].上海:复旦大学出版社,2018.

Decoupling driving factors and prediction of water resources and economy: Case study of water receiving areas in the middle route of South-to-North Water Transfer Project

CHEN Huajun, FU Jingbao

(*Research Center for South-To-North Water Diversion and The Ecological Environment of the Yellow River Basin, Henan University of Engineering, Zhengzhou 451191, China*)

Abstract: With the rapid development of the national economy and the continuous urbanization, water demand in social and economic activities has increased sharply. China is a country with a serious shortage of water resources, and the per capita amount of water resources is only 1/4 of the world level. Therefore, some experts pointed out how to solve the water shortage problem that is directly related to eco-environmental security and sustainable economic development. The middle route of the South-to-North Water Transfer Project benefits areas spanning the central and northern regions. These regions have strong economic influence and key areas for eco-environmental protection in China, which also occupy important strategic positions in the national regional development. Therefore, it is of great significance to make a profound study on the driving factors of the relationship between water resource utilization and economic development and predict the evolutionary trend of the future relationship for the sustainable development of ecology and economy in the water-receiving area. The key steps to finding out the driving factors are to reasonably define the state of water resources utilization and economic development and quantitatively investigate the relationship between them.

Tapio model of water resources utilization and economic development was constructed by transforming the corresponding variables. The logarithmic mean Divisia index(LMDI) decomposition method was used to study the decoupling state and effect between water resources utilization and economic development, and a system dynamics(SD) prediction model was established.

Tapio model was used to analyze the trend of decoupling state between water resources utilization and economic development in water-receiving areas from 2000 to 2020. The results show that it is in a weak decoupling state. From 2000 to 2020, industrial water intensity and industrial structure are the main and secondary influencing factors to maintain the decoupling state, while the level of economic development is an important factor to promote the negative decoupling state. SD model results indicated that in the next ten years, the water consumption and economic development in the water-receiving area will be in a weak decoupling stage.

During the development of the water-receiving area in the middle route, the decoupling state between water resources and the economy is still not optimistic. In order to achieve the goal of coordinated development, the work of water-receiving areas should focus on the guidance of laws and policies, financial support, water-saving innovation, science, and technology transformation, etc., which mainly improves the utilization efficiency of water resources.

Key words: water consumption; economy; decoupling status; LMDI model; SD model