

DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2021.04.06

基于脱钩理论的区域产业节水目标研究

——以广东省为例

郑炎辉¹, 何艳虎², 王金杰³, 曾志平⁴, 张赵毅²

(1. 南方科技大学 环境科学与工程学院, 广东 深圳 518055; 2. 广东工业大学 环境生态工程研究院, 广东 广州 510006; 3. 广州丰泽源水利科技有限公司, 广东 广州 510663; 4. 广东省水文局清远水文分局, 广东 清远 511500)

摘要: 合理制定区域不同产业的节水目标对于创建节水型城市具有重要意义。基于脱钩理论,以广东省为例,系统剖析了“十三五”期间2015-2017年全省21个地市各产业经济发展与水资源利用脱钩关系的空间差异。在此基础上,构建基于脱钩理论的节水目标计算模型,分别计算21个地市不同产业达到弱脱钩和强脱钩状态的节水目标。结果表明:2015-2017年广东省经济增长与水资源利用脱钩态势良好,但是各产业经济增长与水资源利用并未完全脱钩,且存在显著的空间差异,其中珠江三角洲地区第一产业经济增长未能实现与水资源利用脱钩,而粤东、粤西与粤北地区第二产业经济增长未能与水资源利用脱钩;实现各产业经济发展与水资源利用脱钩,不同城市不同产业的节水压力不同,第一产业节水压力最大的为珠海市,节水目标为15.64%~20.79%,第二产业节水压力最大的为肇庆市,节水目标为20.87%,第三产业中山市节水压力最大,节水目标为3.65%~12.83%。总体上,2015-2017年广东省实现了总体经济增长与水资源利用脱钩,但是局部地区产业经济用水效率仍有待提高,其中珠江三角洲地区第一产业用水水平偏低,粤东、粤西与粤北地区第二产业经济增长未能摆脱高耗水模式。提出的基于脱钩理论的节水目标计算模型能够为区域制定各产业节水目标提供参考。

关键词: 脱钩理论; 用水效率; 节水目标; 水资源利用; 广东省

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2021)04-0038-07

Study on the regional industrial water-saving target based on decoupling theory: A case study of Guangdong Province

ZHENG Yanhui¹, HE Yanhu², WANG Jinjie³, ZENG Zhiping⁴, ZHANG Zhaoyi²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China;

2. Institute of Environmental Ecological Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;

3. Guangzhou Franzero Water Technology Co., Ltd., Guangzhou 510663, China; 4. Qingyuan Hydrology Sub-bureau of Guangdong Province, Qingyuan 511500, China)

Abstract: Formulating reasonable water-saving goals for different industries in the region can provide a reference for the construction of water-saving cities. Based on the decoupling theory, taking Guangdong Province as an example, we systematically analyzed the spatial differences of the decoupling relationship between industrial economic development and water resources utilization in 21 cities during the 13th Five-Year Plan period from 2015 to 2017. On this basis, a water-saving target calculation model based on the decoupling theory was constructed, and the water-saving targets of weak and strong decoupling states for different industries in the 21 cities were calculated. From 2015 to 2017, the decoupling of economic growth and water resources utilization in Guangdong Province was developing steadily, but the economic growth of various industries and water resources utilization were not completely decoupled, and there were significant spatial differences. Among them, the economic growth of the primary industry in the Pearl River Delta failed to decouple from water resources u-

收稿日期:2020-09-16; 修回日期:2020-12-22

基金项目:广东省重点研发计划项目(2020B1111380003); 国家自然科学基金项目(51979043); 广东省水利科技创新项目(2020-07,2021-09)

作者简介:郑炎辉(1990-),男,广东揭阳人,博士,研究方向为水文水资源。

通讯作者:何艳虎(1985-),男,河南息县人,博士,副教授,研究方向为水资源配置。

tilization, so as the economic growth of the secondary industry in eastern, western and northern Guangdong. Different industries and different cities have different water-saving pressures in the process of decoupling. Among them, the primary industry in Zhuhai City was facing the strongest pressure, which needed to save 15.64% ~ 20.79% water. Whereas the second industry's water-saving pressure was the largest in Zhaoqing City, with a decoupling water-saving target of 20.87%. Moreover the third industry was under the strongest pressure in Zhongshan City, which had a target of 3.65% ~ 12.83%. In general, Guangdong Province had achieved the decoupling of overall economic growth and water resources utilization from 2015 to 2017, but the water use efficiency of the industrial economy in some areas still need to be improved. For example, the water consumption level of the primary industry in the Pearl River Delta was relatively low, and in eastern, western and northern Guangdong, the economic growth of the regional secondary industry failed to get rid of the high water consumption mode. The proposed water-saving target calculation model based on the decoupling theory can provide a reference for the formulation of regional water-saving targets for various industries.

Key words: decoupling theory; water use efficiency; water-saving goal; water resources utilization; Guangdong Province

1 研究背景

随着经济社会的快速发展,水资源压力日趋增大,需要通过提高水资源利用效率实现经济增长与水资源利用的脱钩。因此,根据区域经济社会发展情况、产业结构、水资源利用效率等因地制宜地制定相应的节水目标,对于水资源可持续利用目标的实现具有重要意义。

脱钩一词源于物理学领域,指具有响应关系的两个或多个物理量之间的相互关系不存在,后被世界银行引入到资源环境领域,用于阐述经济增长与资源及能源消耗之间的依赖关系^[1-3]。一般情况下,资源及能源消耗总是与经济同步增长,即二者挂钩,为了实现经济与资源及能源利用的可持续协调发展,人们总是努力使二者脱钩,即实现资源及能源消耗的慢增长甚至零增长支撑经济的快增长。脱钩分析常用的方法主要有弹性系数法、脱钩指数法、IPAT 模型法、描述统计分析法、变化量综合分析法、LMDI 方法、计量分析法和差分回归系数法等^[2-4]。其中,弹性系数法简单且对数据需求少,不但能判断出脱钩是否发生,还能直接表明脱钩强弱,甚至能判断出连接状态,测量精度较高,因而得到较为广泛的应用^[4]。由于该理论能够有效评价经济增长的资源及能源利用效率,因此被应用于评价城镇化水平^[5]、碳排放^[6]、海洋环境^[7]、耕地消耗^[8]、城市扩张^[9]、生态承载力^[10]、水资源利用^[11]等与经济社会发展协调关系的研究之中。近年来,国内学者基于脱钩理论对水资源利用与经济增长之间的脱钩关系进行了较多研究^[12-18],但多局限于对脱钩状态的一

般客观性描述,较少从区域空间的差异性及其不同产业层面深入研究水资源利用与经济增长的协调发展关系,对进一步分析实现脱钩的节水目标研究更是鲜有报道。

鉴于此,本文以广东省为例,基于脱钩理论,全面分析了各地市不同产业经济增长与水资源利用的脱钩关系及其空间分布差异特征,进而构建了基于脱钩理论的区域节水目标计算模型,并计算预测各城市不同产业实现高效率用水的脱钩节水目标,与相关成果及规划进行对比分析讨论,以期为区域水资源高效利用与节水型城市创建提供参考依据。

2 研究区概况

广东省地处中国大陆最南部,全境位于北纬 20°13' ~ 25°31'、东经 109°39' ~ 117°19',属于东亚季风区,年平均气温约为 19 ~ 24 °C;降水充沛,年平均降水量为 1 300 ~ 2 500 mm,多年平均降水量为 1 777 mm,降水年内分配不均,4-9 月的汛期降水量占全年的 80% 以上。2015-2017 年广东省用水量呈减少趋势,用水效率不断提高,万元 GDP 用水量从 2015 年的 55.6 m³ 减少到 2017 年的 45.9 m³,该期间广东省各地市 GDP 及用水量详见表 1。

3 数据来源与研究方法

3.1 数据来源

研究中的广东省各地市第一、二、三产业生产总值与用水量数据主要来源于 2015-2017 年《广东省统计年鉴》^[19-21]、广东省水资源公报以及各个地市的统计年鉴和水资源公报。

表1 2015-2017年广东省各地市GDP及总用水量

行政区名称	GDP/10 ⁸ 元			总用水量/10 ⁸ m ³		
	2015年	2016年	2017年	2015年	2016年	2017年
广州市	18313.80	19782.19	21503.15	66.14	64.54	65.39
深圳市	18014.07	20079.70	22490.06	19.90	19.93	20.17
珠海市	2066.35	2267.02	2675.18	5.05	5.10	5.38
汕头市	1872.60	2086.35	2350.97	10.47	10.55	10.90
佛山市	8133.66	8757.72	9398.52	32.24	32.19	31.91
韶关市	1066.63	1134.51	1245.26	22.09	21.49	21.54
河源市	782.83	853.61	946.16	19.34	19.01	17.94
梅州市	945.14	1027.18	1075.43	23.94	22.63	22.57
惠州市	3178.68	3453.14	3830.58	20.82	20.60	20.23
汕尾市	760.70	826.50	850.91	10.77	10.71	10.76
东莞市	6374.29	6937.08	7582.09	18.73	18.53	18.74
中山市	3052.79	3248.68	3430.313	15.84	15.03	14.44
江门市	2264.19	2444.09	2690.25	27.83	27.48	27.86
阳江市	1235.16	1255.98	1311.45	14.39	14.32	13.97
湛江市	2363.31	2560.69	2806.88	27.70	28.05	27.62
茂名市	2462.76	2657.71	2904.07	27.47	27.30	27.20
肇庆市	1984.02	2100.64	2110.01	20.50	19.95	19.51
清远市	1285.63	1397.28	1469.34	18.35	18.42	18.50
潮州市	912.60	979.44	1012.76	8.96	8.87	8.89
揭阳市	1871.30	1981.54	1987.89	16.39	16.04	16.04
云浮市	696.44	759.67	803.56	16.16	14.21	13.95
合计	79636.95	86590.74	94474.83	443.08	434.95	433.51

3.2 研究方法

3.2.1 Tapio 脱钩模型 Tapio 脱钩模型^[12]是对 OECD 脱钩模型的完善和发展,其以时期为时间尺度,有效地克服了 OECD 模型的基期选择困境,计算简便,分析更加客观和准确。因此运用 Tapio 脱钩模型探究广东省水资源利用与经济增长间的协调关系,构建经济增长与水资源消费的脱钩分析模型,模型表达式见公式(1):

$$R = \frac{\Delta WU}{\Delta GDP} = \frac{\frac{WU_n - WU_{n-1}}{WU_{n-1}}}{\frac{GDP_n - GDP_{n-1}}{GDP_{n-1}}} \quad (1)$$

式中: R 为脱钩弹性系数; ΔWU 为用水量变化率; ΔGDP 为国民生产总值 GDP 的变化率; WU_n 和 WU_{n-1} 分别为第 n 年和第 $n-1$ 年的用水量,10⁸ m³; GDP_n 和 GDP_{n-1} 分别为第 n 年和第 $n-1$ 年的 GDP 值,10⁸ 元。

参照 Tapio 的弹性模型,在 Vehmas 划分的 6 种脱钩类型的基础上增添了“衰退性连接”与“扩张性负脱钩”两种新的脱钩类型^[12-13],与模型对应的 Tapio 脱钩状态体系见表 2。

表2 Tapio 脱钩状态体系判别标准

脱钩类型	ΔGDP	ΔWU	R	脱钩判断
脱钩	>0	<0	≤ 0	强脱钩
	>0	>0	(0,0.8)	弱脱钩
	<0	<0	≥ 1.2	衰退性脱钩
负脱钩	<0	>0	≤ 0	强负脱钩
	<0	<0	(0,0.8)	弱负脱钩
	>0	>0	≥ 1.2	扩张性负脱钩
连接	>0	>0	(0.8,1.2)	增长连接
	<0	<0	(0.8,1.2)	衰退性连接

表 2 中,“强脱钩”为水资源利用的理想状态,

在这种状态下随着经济增长 ($\Delta GDP > 0$), 水资源消耗减少 ($\Delta WU < 0$), 脱钩弹性系数值 $R \leq 0$; “强负脱钩” 为水资源利用的最不利状态, 表现为经济负增长 ($\Delta GDP < 0$), 同时水资源消耗量增加 ($\Delta WU > 0$), 且脱钩弹性系数值 $R < 0$ 。

3.2.2 基于脱钩理论的节水目标计算模型 基于脱钩理论, 构建节水目标计算模型, 得到实现经济增长与水资源利用脱钩的节约用水目标值。

假设第 n 年满足脱钩的用水量为 WU_{nu} , 第 n 年的节水目标值为 WS_n , 则有:

(1) 当 $\Delta GDP \geq 0$ 时

实现强脱钩应满足 $R \leq 0$, 即:

$$R = \frac{\Delta WU}{\Delta GDP} = \frac{WU_n - WU_{n-1}}{GDP_n - GDP_{n-1}} \leq 0$$

则有:

$$0 \leq WU_{nu} \leq WU_{n-1} \quad (2)$$

式中: WU_{nu} 为第 n 年满足脱钩的用水量, 10^8 m^3 。

实现弱脱钩应满足 $0 < R < 0.8$, 即:

$$0 < R = \frac{\Delta WU}{\Delta GDP} = \frac{WU_n - WU_{n-1}}{GDP_n - GDP_{n-1}} < 0.8$$

则有:

$$WU_{n-1} \leq WU_{nu} \leq WU_{n-1} + 0.8 \Delta GDP \cdot WU_{n-1} \quad (3)$$

(2) 当 $\Delta GDP < 0$ 时

实现衰退性脱钩应满足 $R \geq 1.2$, 即:

$$R = \frac{\Delta WU}{\Delta GDP} = \frac{WU_n - WU_{n-1}}{GDP_n - GDP_{n-1}} \geq 1.2$$

则有:

$$0 \leq WU_{nu} \leq WU_{n-1} + 1.2 \Delta GDP \cdot WU_{n-1} \quad (4)$$

因此得出:

$$WS_n = 0 \quad (WU_{nu} \geq WU_n) \quad (5)$$

$$WS_n \geq WU_n - WU_{nu} \quad (WU_{nu} < WU_n) \quad (6)$$

式中: WS_n 为第 n 年的节水目标值, 10^8 m^3 。

4 结果与分析

4.1 水资源利用与经济增长脱钩关系

选取广东省各地市“十三五”期间 2015 - 2017 年 GDP 和水资源利用数据进行分析, 根据公式(1) 计算得到广东省各地市各产业经济增长与水资源利用的脱钩状态, 其中 2016 和 2017 年的脱钩状态如图 1、2 所示。

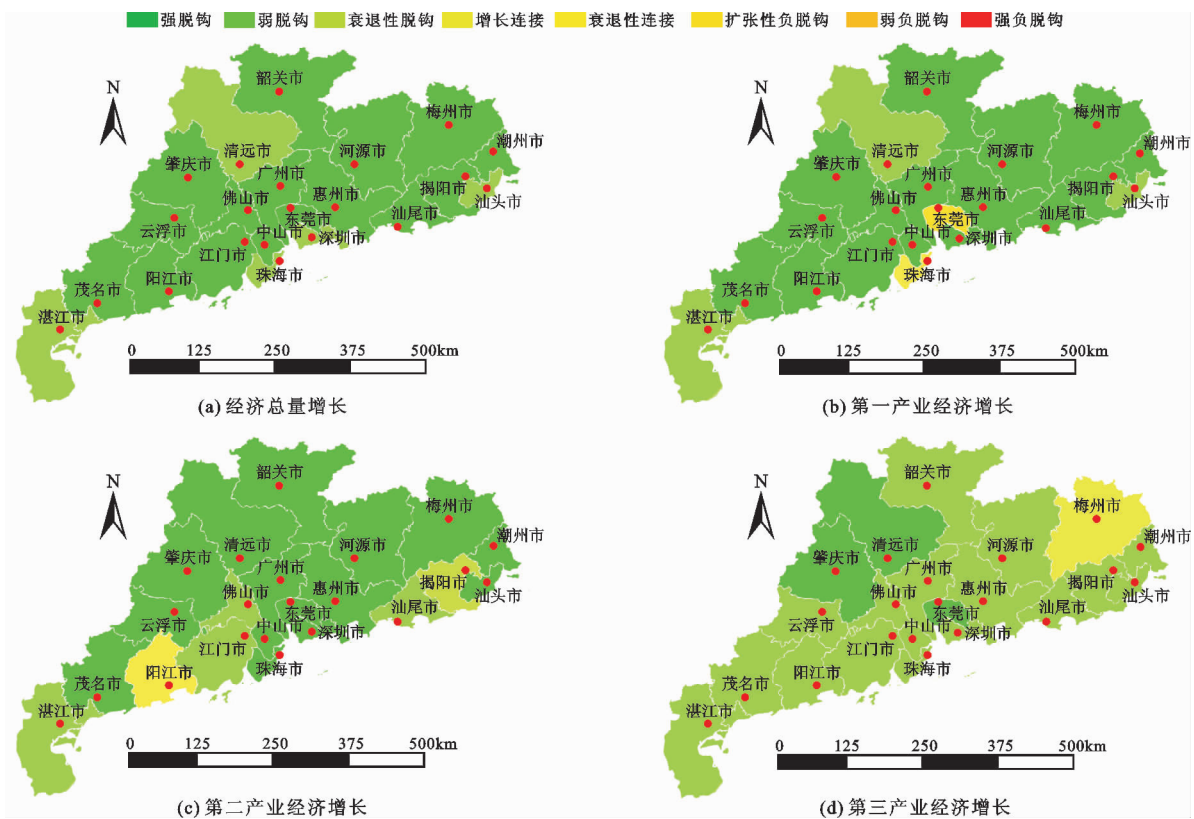


图 1 2016 年广东省各地市各产业经济增长与水资源利用的脱钩状态

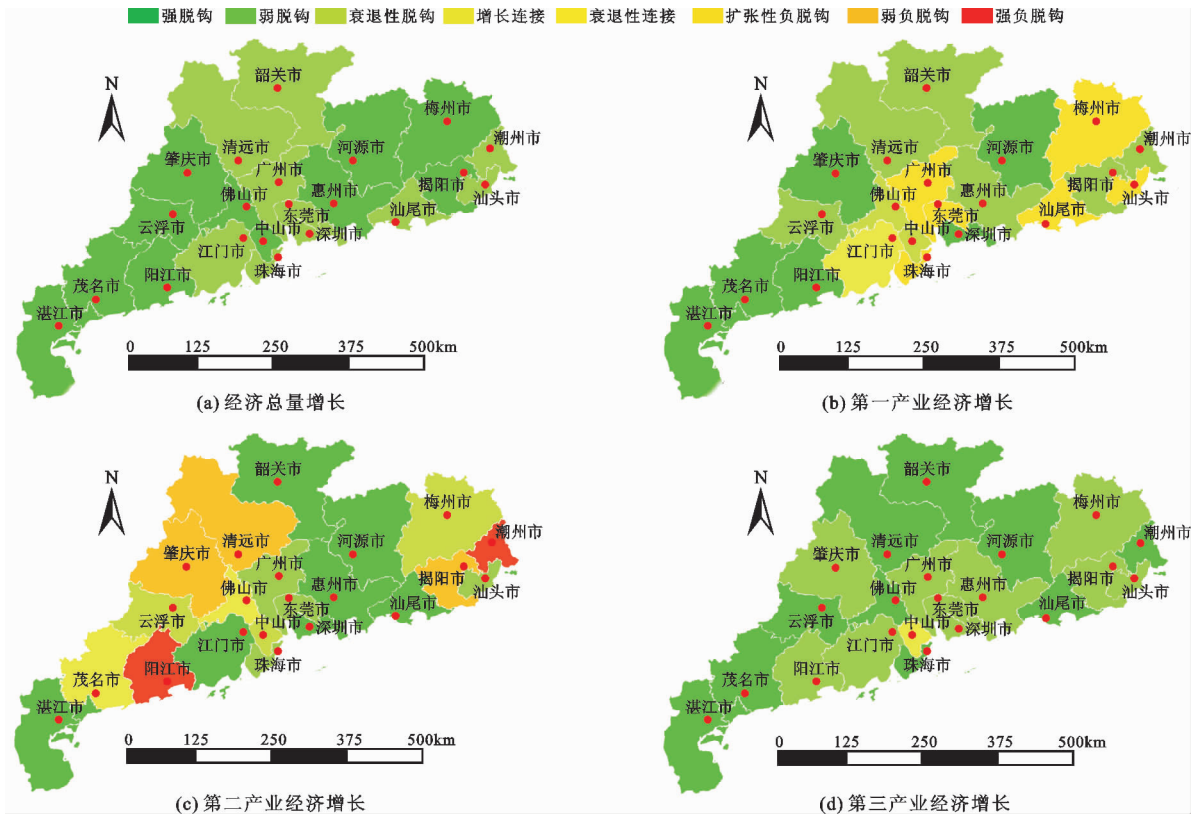


图2 2017年广东省各地市各产业经济增长与水资源利用的脱钩状态

由图1可知,2016年,广东省21个地级市总体经济增长和 zwar 资源利用全部实现脱钩,其中广州市等16个地市实现强脱钩,佛山市等5个地市实现弱脱钩。第一产业用水中,除珠海市与东莞市以外,其余19个地市全部实现经济增长与水资源利用脱钩;第二产业用水中,除阳江市以外,其余20个地级市全部实现经济增长与水资源利用脱钩;第三产业用水中,除梅州市以外,其余20个地级市全部实现经济增长与水资源利用脱钩;2016年总体脱钩态势良好,各产业用水效率较高,基本实现了水资源利用与经济增长脱钩。2017年,广东省21个地市总体经济增长与水资源利用仍全部实现脱钩,其中佛山市等11个地市实现强脱钩,广州市等10个地市实现弱脱钩,广州市等6个地市从强脱钩状态变为弱脱钩状态,仅有湛江市从弱脱钩状态变为强脱钩状态。在第一产业用水中,有深圳市等14个地市实现第一产业经济增长与水资源利用脱钩,江门市呈现增长连接状态,广州市等6个地级市呈现扩张性负脱钩状态,非脱钩城市主要分布在珠江三角洲和粤东地区;在第二产业经济用水中,广州市等14个地市实现第二产业经济增长与水资源利用脱钩,佛山市和茂名市呈现增长连接状态,肇庆市等5个地级市呈现负脱钩状态,非脱钩城市主要分布在粤东、粤西和粤北地区,该部分地区第二产业用水效率偏低;在第三产

业经济用水中,除中山市以外,其余20个地级市全部实现第三产业经济增长与水资源利用脱钩;相对于2016年,2017年用水效率偏低,脱钩态势偏弱,其中珠江三角洲地区第一产业用水效率较低,应大力推进节水灌溉技术,提高第一产业用水效率,粤东、粤西和粤北地区第二产业用水效率较低,应进一步加强工业节水技术,提高第二产业用水效率。

4.2 基于脱钩的产业节水目标

以2017年为现状年,根据公式(2)~(6)得到2017年广东省各地市各产业实现经济增长与水资源利用的脱钩节水目标如表3所示。

由表3可以看出,实现各产业经济发展与水资源利用弱脱钩,广东省第一、二、三产业用水量需分别节约 1.16×10^8 、 0.98×10^8 、 $0.13 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别较现状年减少0.52%、0.92%、0.12%,实现强脱钩则第一、二、三产业用水量需分别节约 2.26×10^8 、 1.57×10^8 、 $1.67 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别较现状年减少1.03%、1.46%、1.57%。从第二产业节水目标中可看出,珠江三角洲地区的城市,如广州、深圳、珠海和佛山等几个城市的第二产业节水压力均较小,节水目标基本在 $0.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以下,这与黎锐锋^[22]已有的研究成果中提到的广东省深圳、珠海和佛山等几个城市的工业节水潜力在 $0.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以下一致。

表3 以2017年为现状年的广东省各地市各产业用水脱钩节水目标

10⁸ m³, %

行政区 名称	总体脱钩节水目标				第一产业脱钩节水目标			
	强脱钩 节水量	弱脱钩 节水量	强脱钩节水 百分比	弱脱钩节水 百分比	强脱钩 节水量	弱脱钩 节水量	强脱钩节水 百分比	弱脱钩节水 百分比
广州市	0.85	0.00	1.30	0.00	0.51	0.34	4.61	3.05
深圳市	0.24	0.00	1.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
珠海市	0.28	0.00	5.20	0.00	0.21	0.16	20.79	15.64
汕头市	0.35	0.00	3.21	0.00	0.24	0.12	4.75	2.45
佛山市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
韶关市	0.05	0.00	0.23	0.00	0.18	0.00	1.20	0.00
河源市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
梅州市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.32	1.95	1.94
惠州市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.08	0.00
汕尾市	0.05	0.00	0.46	0.00	0.10	0.05	1.32	0.68
东莞市	0.21	0.00	1.12	0.00	0.06	0.06	4.84	4.53
中山市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
江门市	0.38	0.00	1.36	0.00	0.42	0.11	2.12	0.56
阳江市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
湛江市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
茂名市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
肇庆市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
清远市	0.08	0.00	0.43	0.00	0.12	0.00	0.84	0.00
潮州市	0.02	0.00	0.22	0.00	0.02	0.00	0.41	0.00
揭阳市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.50	0.00
云浮市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.19	0.00
全省	2.51	0.00	0.58	0.00	2.26	1.16	1.03	0.52

行政区 名称	第二产业脱钩节水目标				第三产业脱钩节水目标			
	强脱钩 节水量	弱脱钩 节水量	强脱钩节水 百分比	弱脱钩节水 百分比	强脱钩 节水量	弱脱钩 节水量	强脱钩节水 百分比	弱脱钩节水 百分比
广州市	0.03	0.00	0.08	0.00	0.31	0.00	1.74	0.00
深圳市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.00	2.69	0.00
珠海市	0.06	0.00	4.29	0.00	0.01	0.00	0.34	0.00
汕头市	0.02	0.00	1.33	0.00	0.09	0.00	2.07	0.00
佛山市	0.47	0.15	3.10	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00
韶关市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
河源市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
梅州市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	1.52	0.00
惠州市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	3.11	0.00
汕尾市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
东莞市	0.07	0.00	0.91	0.00	0.08	0.00	0.82	0.00
中山市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.13	12.83	3.65
江门市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.72	0.00
阳江市	0.08	0.08	9.57	9.57	0.05	0.00	2.50	0.00
湛江市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
茂名市	0.09	0.01	4.97	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00
肇庆市	0.63	0.63	20.87	20.87	0.04	0.00	1.34	0.00
清远市	0.01	0.01	0.98	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00
潮州市	0.01	0.01	0.37	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00
揭阳市	0.10	0.10	4.37	4.37	0.06	0.00	1.59	0.00
云浮市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
全省	1.57	0.98	1.46	0.92	1.67	0.13	1.57	0.12

第一产业节水压力最大的城市为珠海市,实现强、弱脱钩节水目标分别需节水 0.21×10^8 和 $0.16 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别较现状节水 20.79% 和 15.64%,其弱脱钩节水目标与《珠海市节约用水专项规划》中提出的珠海市农业节水潜力为 $0.13 \times 10^8 \text{ m}^3$ 相近;第二产业节水压力最大的城市为肇庆市,由于其第二产业经济衰退严重,相比 2016 年衰退了 23.91%,因此通过节水只能实现衰退性脱钩,脱钩节水目标为节水 20.87%;第三产业节水压力最大的城市为中山市,实现强、弱脱钩节水目标分别为较现状节水 12.83% 和 3.65%。

5 结论

基于脱钩理论,以广东省为例,全面核算了“十三五”期间 2015-2017 年全省 21 个地市各产业经济发展与水资源利用的脱钩状态,并在此基础上,基于建立的节水目标计算模型,分别计算了各地市不同产业的脱钩节水目标,具体结论如下:

(1) 2015-2017 年广东省经济增长与水资源利用脱钩态势良好,实现了总体经济增长与水资源利用脱钩,但是珠江三角洲地区第一产业用水水平偏低,粤东、粤西与粤北地区第二产业经济增长未能摆脱高耗水模式,各产业经济增长与水资源利用并未完全脱钩。

(2) 实现各产业经济发展与水资源利用脱钩,不同产业不同城市节水压力不同。第一产业节水压力最大的城市为珠海市,第二产业节水压力最大的城市为肇庆市,第三产业节水压力最大的城市为中山市。

地区节水规划受到水资源管理政策、社会经济发展和水资源禀赋等诸多复杂因素的影响。本文主要从经济发展的角度研究了地区节水目标的设定,未来变化环境下的区域产业节水目标计算模型还应根据区域自身特点和不同发展阶段纳入相应主要影响因素,以便体现出更好的适用性和灵活性。

参考文献:

[1] TAPIO PETRI, BANISTER DAVID, LUUKKANEN JYRKI, et al. Energy and transport in comparison: Immaterialisation, dematerialisation and decarbonisation in the EU15 between 1970 and 2000[J]. Energy Policy, 2007, 35(1): 433-451.

[2] 潘忠文,徐承红. 我国水资源利用与经济增长脱钩分析[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2019, 18(2): 97-108.

[3] 杨建辉. 农业化学投入与农业经济增长脱钩关系研究——基于华东 6 省 1 市数据[J]. 自然资源学报, 2017, 32(9): 1517-1527.

[4] 钟太洋,黄贤金,韩立,等. 资源环境领域脱钩分析研究进展[J]. 自然资源学报, 2010, 25(8): 1400-1412.

[5] 茅天颖,濮励杰,许艳,等. 江苏省城市化与经济增长的脱钩研究[J]. 资源科学, 2017, 39(8): 1560-1572.

[6] 齐亚伟. 中国区域经济增长、碳排放的脱钩效应与重心转移轨迹分析[J]. 现代财经(天津财经大学学报), 2018, 38(5): 17-29.

[7] 曲艳敏,杨翼,陶以军,等. 基于脱钩理论的环渤海地区经济与海洋环境关系研究[J]. 生态经济, 2018, 34(6): 174-179+204.

[8] 肖丽群,吴群. 基于脱钩指数的 2020 年江苏省耕地保有量目标分析[J]. 资源科学, 2012, 34(3): 442-448.

[9] 白忠菊,藏波,杨庆媛. 基于脱钩理论的城市扩张速度与经济发展的时空耦合研究——以重庆市为例[J]. 经济地理, 2013, 33(8): 52-60.

[10] 张文彬,胡健,马艺鸣. 支撑力和压力脱钩视角下中国生态承载力评价[J]. 经济地理, 2020, 40(2): 181-188.

[11] 孟祥仪,钱会,孙占超. 关中地区近十年经济发展与用水效率分析[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(1): 152-157.

[12] 吴丹. 中国经济发展与水资源利用脱钩态势评价与展望[J]. 自然资源学报, 2014, 29(1): 46-54.

[13] 李宁,张建清,王磊. 基于水足迹法的长江中游城市群水资源利用与经济协调发展脱钩分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(11): 202-208.

[14] 潘安娥,陈丽. 湖北省水资源利用与经济协调发展脱钩分析——基于水足迹视角[J]. 资源科学, 2014, 36(2): 328-333.

[15] 郭佳航,左其亭,李东林,等. 新疆水资源利用与产业发展关联研究[J]. 水资源保护, 2021, 37(2): 34-42.

[16] 王喜峰,沈大军,李玮. 水资源利用与经济增长脱钩机制、模型及应用研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(11): 139-147.

[17] 杨天通. 长春市水资源可持续利用及其与经济脱钩分析[D]. 长春:吉林大学, 2019.

[18] 张皞,孙长城,张凤太,等. 贵州省水资源利用与经济脱钩态势比较分析[J]. 人民珠江, 2019, 40(7): 115-121.

[19] 广东省统计局. 广东统计年鉴-2015[M]. 北京:中国统计出版社, 2015.

[20] 广东省统计局. 广东统计年鉴-2016[M]. 北京:中国统计出版社, 2016.

[21] 广东省统计局. 广东统计年鉴-2017[M]. 北京:中国统计出版社, 2017.

[22] 黎锐锋. 基于随机前沿分析的广东省工业用水效率及节水潜力研究[D]. 广州:华南理工大学, 2015.