

基于 Tapio 模型的长兴县经济增长与碳排放关系研究

郭 嵘^{1,2*}, 吴晓晨^{1,2}

(1. 哈尔滨工业大学建筑与设计学院, 哈尔滨 150001;
2. 寒地城乡人居环境科学与技术工业和信息化部重点实验室, 哈尔滨 150001)

摘 要:我国提出“碳达峰、碳中和”的发展目标,在控碳减排的同时也要兼顾经济发展,识别经济增长与碳排放关系所处的阶段是实现经济与环境协调发展的关键。本研究以长兴县为例,通过碳排放系数法计算 2002-2017 年能源消耗碳排放量。利用 Tapio 模型对长兴县的经济增长与碳排放的脱钩关系进行分析;利用对数平均迪式指数分解模型对脱钩弹性指数进行分解,分析经济增长与碳排放脱钩关系的影响因素。研究表明,长兴县碳排放量逐年增加,并呈现增长率逐年降低的趋势;经济增长与碳排放脱钩关系呈现“负脱钩—弱脱钩—连接阶段—弱脱钩”的变化。经济增长速度大于碳排放增长速度,在国家政策的引导下,长兴县碳减排工作取得了初步成效。结合长兴县脱钩关系的影响因素,提出低碳经济发展的建议,为小城镇低碳发展提供借鉴。

关键词:碳排放;经济增长;小城镇;脱钩关系;Tapio 模型

中图分类号:F301.21 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2736(2024)-0032-10

0 引言

我国的小城镇是依靠国家城镇化政策发展起来,同许多大城市一样走的都是先污染后治理的道路^[1]。小城镇环境的破坏对于居民生活质量以及小城镇可持续发展都存在较大的影响。大多数小城镇以工业为主导产业,有些小城镇的工业发展水平对其经济和环境产生了影响^[2]。为了满足居民对生活环境日益提高的要求,小城镇急需通过低碳发展改善居民生活环境。

经济合作与发展组织首先提出脱钩理论,旨在研究经济发展与环境污染的关系。随后,脱钩理论应用于环境领域,成为测度经济发展与物质消耗或生态环境之间的压力状况、衡量经济发展模式可持续性的工具^[3]。根据哥本哈根会议精神,实现碳减排目标意味着经济增长率要超过碳排放增长率,即经济增长与碳排放的脱钩。因此,小城镇经济增长与碳排放脱钩关系的研究则尤为重要。只有了解小城镇经济增长与碳排放的脱钩关系,才能为其制定最适合的减排措施。

近年来,国外学者对经济增长与碳排放关系的研究成果颇丰,包括经济增长与碳排放脱钩模型的建立与完善^[4-6]、经济增长与碳排放关系所处阶段的研究^[7-8]等。国内对经济增长与碳排放关系的研究包括三个方面:一是从宏观经济角度,构建模型探讨经济增长与碳排放的关系^[9];二是按照不同行业和领域,分析特定部门的经济产出与碳排放之间的关系^[10-11];三是对研究对象的横向或纵向比较,分析经济增长与碳排放关系的时空分异特征^[12-13]。研究方法上,常用库兹涅茨曲线^[14]和脱钩模型^[15]来判断经济增长与碳排放的关系,其中常用的脱钩模型包括 OECD 脱钩指标和 Tapio 脱钩模型。在探究经济增长与碳排放关系的影响因素时,大多数学者利用对数平均迪式指数分解模型、STIRPAT 模型等从碳排放影响因素的角度进行分析^[16-17],也有学者利用 KAYA 恒等式将碳排放影响因素分解为能源结构、产业结构、人口规模等^[18],进一步分析二者关系的影响因素。整体上,国内外学者对经济增长与碳排放的研究集中在通过构建模

型,确定二者的脱钩关系以及空间分异特征、利用定性定量相结合的方法分析影响因素。研究尺度上,以宏观层面的国家及城市群、各省份为主,也有学者对中观层面的大城市进行研究,对县级及更小的行政单元研究较少。

本研究利用碳排放系数法计算长兴县 2002 - 2017 年能源消耗碳排放,利用 Tapio 模型对长兴县经济增长与碳排放的脱钩关系进行研究。在 LMDI 模型的基础上对长兴县经济增长与碳排放脱钩弹性指数进行分解,分析影响长兴县经济增长与碳排放脱钩关系的因素。本研究以长兴县为研究对象,旨在为小城镇低碳发展研究进行量化探索,为小城镇低碳研究提供借鉴。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

长兴县位于浙江省湖州市,地处浙江省北部。2022 年,长兴县全年地区生产总值达 853.37 亿元,常住人口 67.98 万人,三次产业结构为 5.2:51.1:43.7。作为浙江省典型的工业主导型城镇,连续多年入选中国工业百强县(市)^[19]。因此,分析长兴县碳排放与经济发展的关系,能够为其低碳发展提供新思路,同时也为其他工业主导型城镇的发展提供参考。

1.2 数据来源

本研究使用的化石燃料折标准煤系数来源于《中国能源统计年鉴》,化石燃料碳排放系数来源于《IPCC 国家温室气体清单指南》。长兴县社会经济发展指标如国内生产总值、年末总人口、能源消耗数据等来源于 2002 - 2017 年《湖州市统计年鉴》《长兴县统计年鉴》。

1.3 研究方法

1.3.1 碳排放计算方法

能源消费碳排放量主要根据联合国政府间气候变化专门委员会提出的碳排放量计算方法来计算。此方法是将各种化石能源终端消费量折算成标准煤消费量,然后利用换算后得到的标准煤消费量乘以碳排放系数,最后相加得出碳排放量^[16],其计算公式如下所示:

$$CE = \sum_{j=1}^{16} EN_j \times EF_j \quad (1)$$

式中:CE 为各种能源消费的碳排放总量(t); EN_j 为第 j 类能源经过折算后的标准煤消费量(t); EF_j 为第 j 类能源的碳排放系数;j 表示能源种类数目。各种化石能源的折标准煤系数与碳排放系数如表 1 所示。其中,热力的折算标准煤系数为 0.03412kgce/百万焦,电力的折算标准煤系数为 0.1229kgce/千瓦时,煤炭的碳排放系数取之 0.7330tC/t。

表 1 不同能源的碳排放系数表

能源名称	折标准煤系数 (Kgce/kg)	碳排放系数 (tC/t)	能源名称	折标准煤系数 (Kgce/kg)	碳排放系数 (tC/t)
原煤	0.7143	0.7559	原油	1.4286	0.5857
洗精煤	0.9000	0.7559	汽油	1.4714	0.5538
其他洗煤	0.2857	0.7559	煤油	1.4714	0.5714
焦炭	0.9714	0.8550	柴油	1.4571	0.5921
焦炉煤气	0.5714	0.3548	燃料油	1.4286	0.6185
高炉煤气	0.1286	0.4602	液化石油气	1.1743	0.5042
其他煤气	0.1786	0.3548	炼厂干气	1.5714	0.4602
天然气	1.2143	0.4483	其他石油制品	1.4286	0.5860

资料来源:《中国能源统计年鉴》《IPCC 国家温室气体清单指南》

表 2 脱钩关系判定标准

脱钩关系		ΔCE	ΔG	脱钩弹性指数(T)
脱钩	强脱钩	<0	>0	$T < 0$ 或 $0.8 \leq T \leq 1.2$
	弱脱钩	>0	>0	$0 \leq T < 0.8$
	衰退性脱钩	<0	<0	$T > 1.2$
负脱钩	弱负脱钩	<0	<0	$0 \leq T < 0.8$
	强负脱钩	>0	<0	$T < 0$
	扩张性负脱钩	>0	>0	$T > 1.2$
连接	衰退性连接	<0	<0	$0.8 \leq T \leq 1.2$
	扩张性连接	>0	>0	$0.8 \leq T \leq 1.2$

1.3.2 脱钩关系分析模型

当前在脱钩研究中应用较为广泛的是由 OECD 提出的脱钩指数模型及 Tapio 提出的脱钩模型。与 OECD 模型相比, Tapio 模型不需要过长的时间序列及复杂的基础数据,能够定量描述脱钩关系,明确地反映要素在不同阶段的脱钩状态^[20]。鉴于 Tapio 脱钩模型更为精准、客观、操作简便的优势,本研究利用 Tapio 模型对长兴县 2002 - 2017 年经济增长和碳排放的关系进行研究,具体模型如下^[6]:

$$T_t = \frac{\Delta CE_t}{\Delta G_t} = \frac{[CE_{t+1} - CE_t] / CE_t}{[G_{t+1} - G_t] / G_t} \quad (2)$$

式中: T_t 为脱钩弹性系数,代表 t 时期碳排放对经济发展的脱钩程度; ΔCE_t 、 ΔG_t 分别表示碳排放和经济增长的变化率; CE_{t+1} 、 CE_t 分别表示 $t+1$ 、 t 时期的碳排放量; G_{t+1} 、 G_t 分别表示 $t+1$ 、 t 时期的经济发展水平。

根据 Tapio 模型等的相关研究,将 0.8 和 1.2 作为临界值进行标准划分,结合碳排放变化、经济变化以及脱钩弹性指数,建立经济增长和碳排放 8 种关系的判定标准(表 2)。

1.3.3 脱钩影响因素分析方法

结合既有研究,利用 LMDI 模型将脱钩弹性指数进行分解,分析各因素对脱钩弹性指数的影响。碳排放变化可以分解为产业结构效应、能源强度效应、能源结构效应、经济发展效应和人口规模效应^[21],在此基础上对脱钩弹性指数进行分解,即将碳排放与经济增长脱钩弹性指数分解为产业结构脱钩弹性指数(T_{IS})、能源强度脱钩

弹性指数(T_{EI})、能源结构脱钩弹性指数(T_{ES})、碳排放系数脱钩弹性指数(T_{CI})、经济发展脱钩弹性指数(T_{ED})、人口规模脱钩弹性指数(T_P),表达式如下:

$$CE = \sum_i \sum_j \frac{C_{ij} E_{ij}}{E_{ij} E_i} \cdot \frac{E_i}{GDP_i} \cdot \frac{GDP_i}{GDP} \cdot \frac{GDP}{P} \cdot P$$

$$= \sum_i \sum_j IS_{ij} \times EI_{ij} \times ES_{ij} \times CI_{ij} \times ED_i \times P_t \quad (3)$$

式中: i 为产业(一、二、三次产业); j 为能源消费种类; CE_t 为 t 时期碳排放总量; CE_{ij} 为 t 时期,第 i 种产业消耗 j 种能源的碳排放量; GDP_{it} 、 GDP_t 分别表示 t 时期第 i 产业的 GDP 和第 t 年的 GDP; E_{it} 、 E_{ijt} 分别表示第 t 年第 i 产业的能源消耗量和第 t 年第 i 产业第 j 种能源的消耗量; P_t 为 t 时期的人口规模,代表人口规模效应;为 t 时期 i 种产业 GDP 占总 GDP 份额,代表产业结构效应; EI_{it} 为 t 时期 i 产业的能源消费强度,代表能源强度效应; ES_{ijt} 为 t 时期 j 种能源在 i 产业中所占的比重,代表能源结构效应; CI_{ijt} 为 t 时期,第 i 产业消费 j 种能源的碳排放系数,即碳排放系数效应; ED_t 为 t 时期的人均 GDP,代表经济发展效应。可以得到 t 时期到 $t+1$ 时期的碳排放量的总效应,如下:

$$\Delta CE = CE_{t+1} - CE_t = \Delta CE_{IS_{it}} + \Delta CE_{EI_{it}} + \Delta CE_{ES_{ijt}} + \Delta CE_{CI_{ijt}} + \Delta CE_{ED_t} + \Delta CE_{P_t} \quad (4)$$

式中: $\Delta CE_{IS_{it}}$ 表示产业结构效应引起的碳排放变化; $\Delta CE_{EI_{it}}$ 表示能源强度效应引起的碳排放变化; $\Delta CE_{ES_{ijt}}$ 表示能源结构效应引起的碳

排放变化; $\Delta CE_{C_{ijt}}$ 表示碳排放系数效应引起的碳排放变化; ΔCE_{ED_t} 表示能源强度效应引起的碳排放变化; ΔCE_{P_t} 表示人口规模效应引起的碳排放变化。由于每年碳排放系数的变化并不显著,因此在计算中,假设碳排放系数不变,一般取常量,在进行因素分解时, $\Delta CE_{C_{ijt}}$ 为 0,故不将碳排放系数效应作为考虑因素^[22],式(4)可变成:

$$\Delta CE = CE^t - CE^0 = \Delta CE_{IS_{it}} + \Delta CE_{EI_{it}} + \Delta CE_{ES_{ijt}} + \Delta CE_{ED_t} + \Delta CE_{P_t} \quad (5)$$

结合公式(2)可以得到 t 时期的碳排放与经济脱钩弹性指数^[23],见公式(6),各效应的计算方式见公式(7) - (11):

$$T_t = \frac{\Delta CE_t}{\Delta G_t} = \frac{\Delta CE_{IS_{it}} + \Delta CE_{EI_{it}} + \Delta CE_{ES_{ijt}} + \Delta CE_{ED_t} + \Delta CE_{P_t}}{\Delta G_t} = T_{IS} + T_{EI} + T_{ES} + T_{ED} + T_P \quad (6)$$

产业结构效应 $\Delta CE_{IS_{it}}$:

$$\Delta CE_{IS_{it}} = \sum_{ij} \frac{CE_{ij}^t - CE_{ij}^0}{\ln CE_{ij}^t - \ln CE_{ij}^0} \ln \left(\frac{IS_{it}^t}{IS_{it}^0} \right) \quad (7)$$

能源强度效应 $\Delta CE_{EI_{it}}$:

$$\Delta CE_{EI_{it}} = \sum_{ij} \frac{CE_{ij}^t - CE_{ij}^0}{\ln CE_{ij}^t - \ln CE_{ij}^0} \ln \left(\frac{EI_{it}^t}{EI_{it}^0} \right) \quad (8)$$

能源结构效应 $\Delta CE_{ES_{ijt}}$:

$$\Delta CE_{ES_{ijt}} = \sum_{ij} \frac{CE_{ij}^t - CE_{ij}^0}{\ln CE_{ij}^t - \ln CE_{ij}^0} \ln \left(\frac{IS_{ijt}^t}{IS_{ijt}^0} \right) \quad (9)$$

经济发展效应 ΔCE_{ED_t} :

$$\Delta CE_{ED_t} = \sum_{ij} \frac{CE_{ij}^t - CE_{ij}^0}{\ln CE_{ij}^t - \ln CE_{ij}^0} \ln \left(\frac{ED_t^t}{ED_t^0} \right) \quad (10)$$

人口规模效应 ΔCE_{P_t} :

$$\Delta CE_{P_t} = \sum_{ij} \frac{CE_{ij}^t - CE_{ij}^0}{\ln CE_{ij}^t - \ln CE_{ij}^0} \ln \left(\frac{P_t^t}{P_t^0} \right) \quad (11)$$

2 经济增长与碳排放脱钩关系变化分析

2.1 长兴县碳排放变化

根据长兴县 2002 - 2017 年各类能源消耗量以及 IPCC 提供的碳排放计算方法,计算出长兴县 2002 - 2017 年能源消耗碳排放量(图 1)。整体来看,长兴县的碳排放量逐年增加,变化趋势可以大致分为三个阶段,分别是 2002 - 2009 年的碳排放快速增加阶段、2009 - 2010 年下降阶段和 2010 - 2017 年缓慢增加阶段。在 2002 - 2006 年碳排放量增长率处于较高水平,在 2007 - 2017 年,碳排放增长率在 10% 以内波动,其中 2010 年碳排放增长率出现最低值,对应 2010 年的碳排放量出现下降趋势,在 2017 年之后碳排放增长率出现下降趋势,未来的碳排放量可能会出现逐渐缓慢增加的趋势。

2.2 碳排放强度变化

碳排放强度是指每单位国内生产总值的增

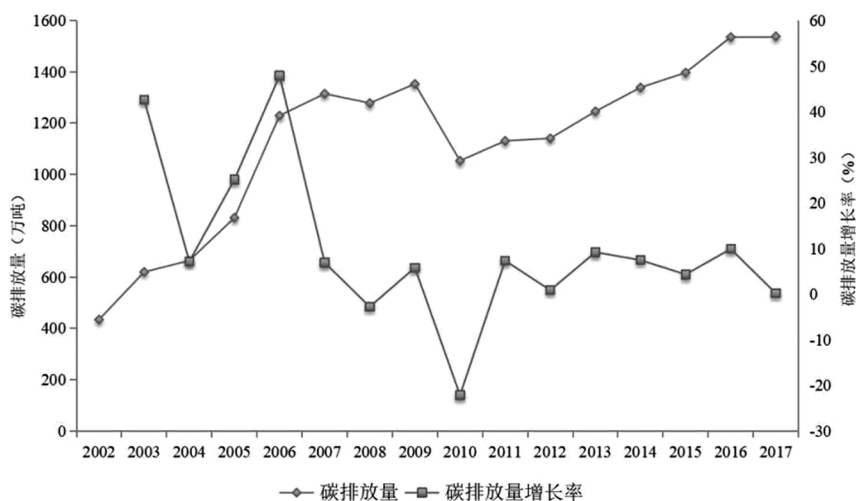


图 1 2002 - 2017 年长兴县能源消耗碳排放量变化图

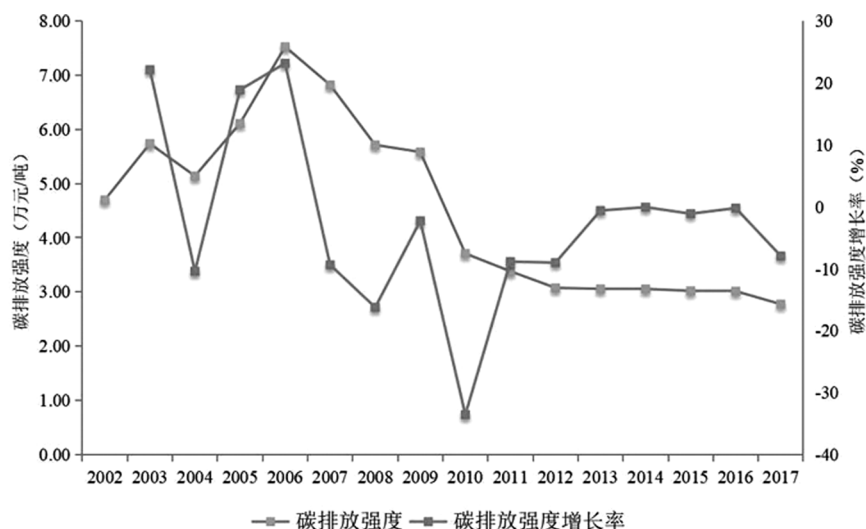


图 2 2002 - 2017 年长兴县碳排放强度变化图

长所产生的二氧化碳排放量,用来衡量经济增长的碳排放效率。长兴县碳排放强度整体上呈下降趋势,按照变化趋势可以分为两个阶段(图 2),分别是 2002 - 2006 年的碳排放强度增加阶段和 2007 - 2017 年的碳排放强度降低阶段。自 2002 年起,长兴县的碳排放强度开始上涨,在 2003 - 2004 年出现下降波动,之后开始逐年增加,并在 2006 年达到最高值;2006 年之后,碳排放强度从峰值开始下降,2006 - 2012 年飞速下降,2012 - 2017 年呈现缓慢下降的趋势。总体而言,长兴县 GDP 不断增长,碳排放量整体上呈现增长趋势,但是增长速度却在不断减缓,由此可见长兴县获得单位 GDP 而产生的碳排放逐渐减少。

2.3 经济增长与碳排放脱钩关系变化特征

在 2002 - 2017 年间,长兴县经济增长与碳排放脱钩关系正在从扩张负脱钩逐渐向弱脱钩过渡。根据脱钩弹性指数的变化(表 3),可以将长兴县的脱钩变化过程划分为三个阶段:

(1) 2002 - 2006 年的负脱钩阶段,弹性指数在 0.4362 到 2.7847,其中 2003 - 2004 年是弱脱钩状态。经济和碳排放共同增长,但是碳排放增长的速度大于经济增长的速度,这个阶段是最不理想的脱钩阶段。

(2) 2006 - 2012 年的弱脱钩阶段,弹性指数

在 -1.2099 到 0.5633 之间,经济和碳排放均处于增长阶段,且经济增长的速度大于碳排放增长的速度,判定为脱钩状态。其中,2006 - 2007 年、2008 - 2009 年、2010 - 2011 年、2011 - 2012 年脱钩弹性指数为正,这几年长兴县的经济增长与碳排放的脱钩状态为弱脱钩。2007 - 2008 年、2009 - 2010 年均出现了碳排放增长率为负的情况,判定为强脱钩状态,是经济增长与碳排放之间的最佳状态。

(3) 2012 - 2017 年的连接向弱脱钩过渡阶段,弹性指数在 0.0690 到 1.0579 之间,经济增长与碳排放同时增长,且增长速度相对接近,判定为扩张连接状态。2016 - 2017 年呈现弱脱钩状态,长兴县呈现出经济增长与碳排放向脱钩关系转变的发展趋势。

3 基于 LMDI - Tapio 模型的碳排放及脱钩关系影响因素分析

3.1 脱钩弹性指数分解

根据 2.2.3 中构建的基于 LMDI 的 Tapio 分解模型,计算出各影响因素的脱钩弹性指数(表 4)。从各脱钩弹性分解指数的变化来看(图 3),经济发展脱钩弹性指数和能源结构脱钩弹性值所占的比重较大,说明这两个分解指标的变化很大程度上影响了脱钩状态的整体走向。经济发

表 3 2002 - 2017 年各时期长兴县经济增长与碳排放的脱钩关系一览表

年份	ΔCE	ΔG	T	脱钩关系
2002 - 2003	0.4448	0.1597	2.7847	扩张负脱钩
2003 - 2004	0.0827	0.1896	0.4362	弱脱钩
2004 - 2005	0.2627	0.1534	1.7125	扩张负脱钩
2005 - 2006	0.5040	0.1964	2.5667	扩张负脱钩
2006 - 2007	0.0776	0.1862	0.4170	弱脱钩
2007 - 2008	-0.0243	0.1585	-0.1535	强脱钩
2008 - 2009	0.0559	0.0992	0.5633	弱脱钩
2009 - 2010	-0.2195	0.1815	-1.2099	强脱钩
2010 - 2011	0.0782	0.1772	0.4416	弱脱钩
2011 - 2012	0.0132	0.1077	0.1225	弱脱钩
2012 - 2013	0.1003	0.0949	1.0579	扩张连接
2013 - 2014	0.0782	0.0793	0.9869	扩张连接
2014 - 2015	0.0467	0.0551	0.8462	扩张连接
2015 - 2016	0.1039	0.1016	1.0230	扩张连接
2016 - 2017	0.0061	0.0882	0.0690	弱脱钩

展脱钩弹性值从 2002 年的 1.0423 下降到 2017 年的 0.9800,整体上呈现出下降的趋势,在 2004 - 2005 年出现最低值,在 2013 - 2014 年出现最高值。能源结构脱钩弹性指数从 2002 年的 1.3819 下降到 2017 年的 -0.8822,在 2009 年 - 2010 年出现最低值,2002 - 2003 年出现最高值。

人口规模脱钩弹性指标变化较小,能源强度脱钩弹性和产业结构对于脱钩状态的指标变化较小,对碳排放影响还不明显,能源结构和产业结构的调整是未来长兴县完成脱钩状态转变的主导方向。

表 4 2002 - 2017 年长兴县经济增长与碳排放的分解脱钩弹性指数

年份	T_{IS}	T_{EI}	T_{ES}	T_{ED}	T_P
2002 - 2003	0.1356	0.0631	1.3819	1.0423	-0.0050
2003 - 2004	0.0395	-0.0105	-0.5479	1.0329	0.0032
2004 - 2005	0.3640	-0.0133	1.2580	0.3583	-0.0193
2005 - 2006	0.1525	-0.0130	1.1575	1.0241	-0.0185
2006 - 2007	0.0779	-0.0921	-0.4932	0.9600	-0.0032
2007 - 2008	0.0794	0.0069	0.0000	0.9963	0.0194
2008 - 2009	-0.3900	-0.0300	-0.2270	0.7888	0.0420
2009 - 2010	-0.1389	-0.1000	-1.8633	0.9273	0.0233
2010 - 2011	-0.2033	-0.0228	0.4917	0.9585	0.0267
2011 - 2012	-0.0536	-0.0373	-0.8200	0.9656	-0.0018
2012 - 2013	-0.1178	-0.3422	-0.0667	0.5431	0.0389
2013 - 2014	0.0625	-0.3150	-0.0075	1.5065	0.0463
2014 - 2015	-4.4333	0.8417	-0.1867	0.9017	-0.0300
2015 - 2016	0.1470	0.0880	-0.0220	0.5608	0.0470
2016 - 2017	-0.0978	-0.2789	-0.8822	0.9800	0.0367

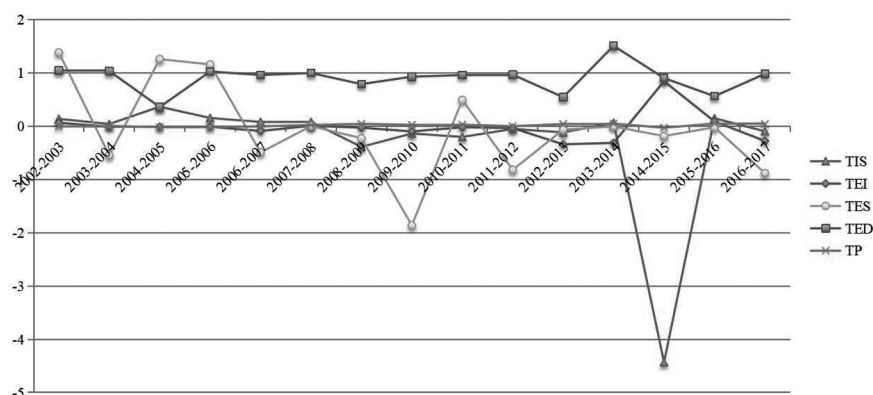


图 3 2002 - 2017 年长兴县经济增长与碳排放的分解脱钩弹性指数

3.2 经济增长与碳排放脱钩关系影响因素分析

产业结构对长兴县经济发展与碳排放脱钩关系有一定影响,但是影响程度较小。当第二产业比重增加时,碳排放量也随之增加,产业结构对经济发展与碳排放脱钩关系产生负向作用。长兴县的第二产业比重降低时,产业结构推动经济发展与碳排放的脱钩关系朝着强脱钩方向发展。因此,降低第二产业比重可以促进脱钩关系的转变。能源强度对长兴县经济发展与碳排放脱钩关系的影响较小:当能源强度增加时,对脱钩关系产生负向影响;当能源强度降低时,脱钩关系朝着强脱钩关系发展。本研究将能源强度定义为获得单位 GDP 消耗的标准煤量,可以将能源强度对脱钩关系影响解释为获得单位 GDP 消耗的标准煤越少,脱钩关系越倾向于强脱钩;获得单位 GDP 消耗的标准煤越多,脱钩关系越远离强脱钩状态。能源结构对长兴县经济发展与碳排放脱钩关系的影响较大,当能源结构增加时,对脱钩关系产生负向影响;当能源强度降低时,脱钩关系朝着强脱钩关系发展。说明煤炭消耗量占总能源消耗量的比重越大,脱钩关系越偏离强脱钩状态。在长兴县能源结构调整的策略下,煤炭逐渐被其他能源替代,碳排放与经济发展的关系逐渐向强脱钩转变。经济发展对脱钩关系影响较大,随着经济不断加快发展,GDP 增长速度大于碳排放量的增长速度,说明由经济发展带来的碳排放增长速度逐渐降低,脱钩关系逐渐向弱脱钩甚至是强脱钩状态转变,长兴县的低

碳发展取得一定成效。长兴县的人口变化对脱钩状态的转变的影响作用较小,目前人口规模还不是影响长兴县脱钩状态变化的主要因素。

4 结论与建议

4.1 结论

本研究计算了长兴县 2002 - 2017 年能源消耗碳排放,基于 Tapio 模型分析长兴县经济增长与碳排放之间的脱钩关系,通过 LMDI 模型对脱钩弹性指数进行分解,分析经济增长与碳排放脱钩关系的影响因素。本研究得到的研究结论如下:

长兴县碳排放量逐年增加,但增幅逐渐降低。随着地方经济发展与相关减排技术引进,碳排放强度逐年降低,表明长兴县获得单位 GDP 而排放的二氧化碳量在逐渐减少,符合国家降低碳排放强度的发展要求。长兴县经济增长与碳排放整体上呈现弱脱钩关系,2002 - 2006 年长兴县的经济增长与碳排放呈现扩张负脱钩关系,2006 年之后进入弱脱钩状态。说明长兴县在 2002 - 2017 年间实施的环境管制政策和节能减排措施取得了较好的成效,经济发展对于能源的依赖程度逐渐降低。经济增长与碳排放之间的脱钩关系正处于逐步削弱的阶段,符合“低碳经济”的发展模式,是积极转型中经济发展与环境污染比较理想的同步模式。能源结构是抑制碳排放的主要因素,且其抑制作用逐年增强。产业结构和能源强度也在抑制碳排放过程中起到较

为重要的作用。长兴县经济增长与碳排放脱钩关系转变的原因是能源结构、产业结构的优化,以及能源强度的提升。此外,经济发展和人口规模是促进碳排放增长的主要因素。

4.2 建议

为了促进长兴县低碳经济发展,在保持经济增长与碳排放弱脱钩状态的基础上,早日进入**强脱钩状态**,本研究提出如下建议:(1)优化产业结构,降低第二产业碳排放。长兴县的主要碳源是第二产业,第二产业的比重增加会促进产业结构效应增加。应采取积极措施推进第二产业低碳、绿色发展,引进先进技术替代传统技术,减少第二产业的碳排放,同时降低第二产业的比重,大力发展第三产业,合理优化产业结构。(2)调整能源结构,以清洁能源替代传统能源。长兴县在发展中对于煤炭的依赖性较强,可在未来发展中引入新能源,替代传统能源,优化能源结构。(3)提高能源强度,提升能源利用效率。长兴县能源使用效率方面已经取得较大进步,但仍有提升空间,各企业应在政府指导下引进新技术与新设备,进一步提高能源使用效率。(4)合理控制人口规模,普及低碳意识。长兴县人口变动幅度较小,对碳排放的影响相对较弱。随着长兴县人才引进政策的推进,人口将逐年增加。长兴县应根据自身情况合理控制人口规模,并向居民普及低碳知识、宣传低碳生活、倡导绿色出行。(5)发展低碳经济,引入绿色产业。长兴县的新能源产业及高新技术产业已经走入正轨,逐步替代传统高能耗产业,带动长兴县经济发展。未来应该继续引入新技术,将不能替代的产业低碳化、绿色化,早日实现经济增长与碳排放的脱钩发展。

参考文献(References):

[1] 刘嗣明,周飞. 关于小城镇发展绿色低碳经济的若干思考[J]. 小城镇建设, 2012(12): 73-75.
 [2] 于立,彭建东. 中国小城镇发展和管理中的现存问题及对策探讨[J]. 国际城市规划, 2014, 29(01): 62-67.

[3] 孙耀华,李忠民. 中国各省区经济发展与碳排放脱钩关系研究[J]. 中国人口 资源与环境, 2011, 21(05): 87-92.
 [4] OECD. Decoupling: a conceptual overview[R]. Paris: OECD, 2000, (5).
 [5] Grand M C. Carbon emission targets and decoupling indicators[J]. Ecological Indicators, 2016(67): 649-656.
 [6] Tapio P. 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.
 [7] Gao C C, Ge H Q, Lu Y Y, et al. Decoupling of provincial energy-related CO₂ emissions from economic growth in China and its convergence from 1995 to 2017[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 297: 126627.
 [8] Zhao X R, Zhang X, Li N, et al. Decoupling economic growth from carbon dioxide emissions in China: A sectoral factor decomposition analysis[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 142: 3500-3516.
 [9] 罗芳,郭艺,魏文栋. 长江经济带碳排放与经济增长的脱钩关系: 基于生产侧和消费侧视角[J]. 中国环境科学, 2020, 40(03): 1364-1373.
 [10] 黄元,刘佳. 低碳试点城市工业碳排放脱钩状态及驱动因素研究[J]. 生态经济, 2024, 40(04): 13-19+54.
 [11] 冯博,王雪青. 中国各省建筑业碳排放脱钩及影响因素研究[J]. 中国人口 资源与环境, 2015, 25(04): 28-34.
 [12] 武娜,沈镭,钟帅,等. 晋陕蒙地区经济增长与碳排放时空耦合关系[J]. 经济地理, 2019, 39(09): 17-23.
 [13] 张赫,黄雅哲,王睿,等. 中国县域碳排放脱钩关系及其时空特征演变[J]. 资源科学, 2022, 44(04): 744-755.
 [14] 李忠民,宋凯,孙耀华. 碳排放与经济增长脱钩指标的实证测度[J]. 统计与决策, 2011(14): 86-88.
 [15] 王凤婷,方恺,于畅. 京津冀产业能源碳排放与经济增长脱钩弹性及驱动因素: 基于 Tapio 脱钩和 LMDI 模型的实证[J]. 工业技术经济, 2019, 38

- (08): 32 - 40.
- [16] 杨迪, 杨旭, 吴相利, 等. 东北地区能源消费碳排放时空演变特征及其驱动机制[J]. 环境科学学报, 2018, 38(11): 4554 - 4565.
- [17] 盖美, 曹桂艳, 田成诗, 等. 辽宁沿海经济带能源消费碳排放与区域经济增长脱钩分析[J]. 资源科学, 2014, 36(6): 1267 - 1277.
- [18] 查建平, 唐方方, 傅浩. 中国能源消费、碳排放与工业经济增长: 一个脱钩理论视角的实证分析[J]. 当代经济科学, 2011, 33(6): 81 - 89, 125.
- [19] 郭嵘, 吴晓晨, 瑞芳. 城镇空间紧凑度对碳排放的影响研究: 以长兴县为例[J]. 西部人居环境学刊, 2023, 38(06): 122 - 128.
- [20] 邢红. 长江经济带能源消费碳排放与经济增长实证分析: 基于弹性脱钩模型[J]. 资源开发与市场, 2019, 35(10): 1244 - 1251.
- [21] 胡怀敏, 左薇, 徐士元. 长江经济带交通能源碳排放脱钩效应及驱动因素研究[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(04): 862 - 877.
- [22] 张爱宁, 李滋婷, 李宗省. 基于 LMDI 和 Tapio 脱钩模型的甘肃省碳排放研究[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2024, 60(03): 55 - 63.
- [23] 王奕淇, 黄涵祝. 中国碳排放脱钩效应、时空特征与驱动因素[J]. 生态学报, 2024, 44(06): 2228 - 2243.

作者简介:

第一作者/通讯作者: 郭嵘, 1969 年生, 女, 北京人, 博士, 哈尔滨工业大学建筑与设计学院。教授, 博士生导师, 主要研究方向为区域发展与规划、城乡规划理论与方法。Email: hitgr@sina.com

Research on the Relationship between Economic Growth and Carbon Emissions in Changxing County based on Tapio Model

GUO Rong^{1,2*}, WU Xiaochen^{1,2}

(1. School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. Key Laboratory of Cold Region Urban and Rural Human Settlement Environment Science and Technology, Ministry of Industry and Information Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: China has put forward the development goal of “carbon peak, carbon neutrality”, which should take into account economic development while controlling carbon emissions. Identifying the stage of the relationship between economic growth and carbon emissions is the key to achieve coordinated development of economic and environment. Taking Changxing County as an example, this paper calculates the carbon emissions of energy consumption from 2002 to 2017 using carbon emission coefficient method. The Tapio model is used to analyze the decoupling relationship between economic growth and carbon emissions in Changxing County. The Log Mean Divisia Index (LMDI) model is used to decompose the decoupling elasticity index, and analyze the influencing factors of the decoupling relationship. The results show that the carbon emissions of Changxing County are increasing, and the growth rate is decreasing year by year. The decoupling relationship between economic growth and carbon emissions shows a change of “negative decoupling – weak decoupling – connection stage – weak decoupling”. The economic growth rate is greater than that of carbon emissions. Under the guidance of national policies, the program of carbon emission reduction in Changxing County has achieved initial results. Combined with the influencing factors of the decoupling relationship in Changxing County, this paper puts forward suggestions for the development of low-carbon economy, and provides references for the low-carbon development of small towns.

Key words: carbon emissions, economic growth, small towns, decoupling relationship, Tapio model