

# 经济增长与工业温室气体排放的仿真与脱钩

邓逸, 张圣书 (湖北省宏观经济研究所, 湖北武汉 430071)

**摘要** 研究经济增长与工业温室气体排放之间的因果关系。依据湖北省温室气体排放清单, 构建一个系统动力学模型, 对 1991~2020 年的经济增长和工业能源活动碳排放的互动关系进行模拟。基于仿真得到的各变量数据, 构建一个脱钩模型, 对 1991~2020 年的湖北省经济增长和工业温室气体排放的脱钩情况进行分析预测。结果表明, 两者的关系可划分为两个阶段。第一阶段(1991~2000 年): 两者之间的关系在“弱脱钩”和“强脱钩”之间交替变动, 表明这一时期工业温室气体排放与经济增长之间的关系较弱。第二阶段(2001~2020 年): 两者之间稳定为“弱脱钩”关系, 表明工业温室气体排放与经济增长之间的相关关系有所增强。

**关键词** 经济增长; 工业温室气体排放; 系统动力学; 仿真; 脱钩

中图分类号 S181.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2015)08-218-02

## A Simulation and Decoupling Analysis of Economic Growth and Industrial Green House Gas Emissions

DENG Yi, ZHANG Sheng-shu (Hubei Macroeconomic Institute, Wuhan, Hubei 430071)

**Abstract** This paper is aimed to research the relationship between economic growth and industrial greenhouse gas emissions. Based on the Hubei greenhouse gas inventories, this paper constructs a System Dynamics Model (SD), which analyzes and forecasts the interaction of economic growth and green house gas (GHG) emissions from industrial energy activities of Hubei Province. It constructs a Decoupling Index Model, which analyzes and forecasts the decoupling of economic growth and GHG emissions from industrial energy activities of Hubei province from 1991 to 2020. The result shows that the decoupling of economic growth and GHG emissions from industrial energy activities in Hubei was weak decoupling and strong decoupling alternately from 1991-2000. However, the decoupling of economic growth and GHG emissions from industrial energy activities is weak decoupling solely from 2001-2020, which indicates that the relationship between industrial GHG emissions and economic growth gets stronger.

**Key words** Economic growth; Industry greenhouse gas emission; System dynamics; Simulation; Decoupling

气候变化深刻影响着人类生存和发展, 是全球共同面临的重大挑战, 温室气体排放问题也成为国际社会关注的焦点。在分析经济增长与碳排放脱钩关系的文献中, 有些涉及到了工业。Freitas 等运用对数平均权重分解法(LMDI)分解了巴西二氧化碳排放和经济增长之间的脱钩关系, 将经济结构作为其中一项重要分解因素, 指出工业部门可再生能源使用是实现脱钩的第二大推动因素<sup>[1]</sup>; Andreoni 等运用 Sun JW 创立的方法对意大利的经济增长和二氧化碳排放进行脱钩分析, 并将碳排放重点领域之一的工业分为 6 个子工业部门进行分析, 指出 GDP 增长是引致工业二氧化碳排放增长的要因<sup>[2]</sup>。但是, 专门研究工业增长和碳排放关系的文献较少。Diakoulaki 等运用拉氏因素分解模型(Laspeyres model)对 14 个欧盟国家的工业增长和二氧化碳排放进行脱钩分析, 并将影响因素分为 5 个解释变量<sup>[3]</sup>。Enevoldsen 等对 3 个挪威的纳维亚国家的工业能源消费和能源密集型工业的二氧化碳排放进行脱钩分析, 指出能源税和碳税对实现脱钩的重要性<sup>[4]</sup>。Ren 等运用拉氏因素分解指标分析我国有色金属工业发展与二氧化碳排放之间的脱钩关系, 并将其分解为工业规模、能源种类、能源强度和能效水平等因素<sup>[5]</sup>。

国内也出现了少量研究工业和碳排放脱钩关系的研究, 主要运用的脱钩指标有两类。一类是运用 OECD 开发的 DPSIR 框架下的碳排放脱钩指数; 另一类是 Tapio 脱钩指数。主要运用的分解方法也有两类。一类是对数平均权重分解法(LMDI); 另一类是拉氏因素分解法(Laspeyres)。如徐盈

之等运用改进的拉氏因素分解法, 对我国制造业 1995~2007 年碳排放的驱动因素进行了研究, 并基于 OECD 碳排放脱钩指数, 指出产出效应为脱钩的主要正向驱动因素, 能源强度效应为主要的负向驱动因素<sup>[6]</sup>。孙耀华等基于 Tapio 脱钩指标对 1999~2008 年间各省区碳排放与经济增长之间的脱钩关系进行测度, 指出工业领域能源利用效率的提高为碳排放增长速度的减缓起到了重要作用<sup>[7]</sup>。任洁等基于 Tapio 脱钩模型, 对 2000~2008 年间我国工业部门碳排放与能耗脱钩、能耗与 GDP 脱钩对碳排放与 GDP 脱钩影响力进行实证研究, 指出能耗与 GDP 脱钩效果较好, 而碳排放与能耗脱钩效果不明显, 工业部门的“减排”比“节能”任务更重<sup>[8]</sup>。王强等利用 Tapio 模型对我国工业部门能源消费-经济增长-碳排放三者之间的关系进行了分析, 认为工业部门能源消耗的持续增长是我国能源消耗总量增长与碳排放增长的主要驱动因子, 工业部门碳排放较能源消费受经济驱动更加明显, 人均 GDP、能源消费密度和人口等因素变动是导致工业部门碳排放总量变化的主要诱因<sup>[9]</sup>。李忠民等同时运用 OECD 脱钩指标和 Tapio 脱钩指标两种指标对山西工业部门工业增加值与其能耗投入及二氧化碳排放之间的关系进行了脱钩分析, 指出山西工业部门重工业化程度不断加深的倾向, 工业部门能源消耗产出低的现状及山西能源产品省外输出的工业增长模式共同导致山西对能源投入的依赖不断加深, 以高碳消费为主的能源投入结构又导致了山西工业领域碳排放的不断增加<sup>[10]</sup>。查建平等对我国 2000~2009 年工业经济增长与能源消费和碳排放之间的脱钩关系进行研究, 并结合 LMDI 分解法构建了脱钩指数分解模型, 提出能源效率是实现碳排放与工业经济增长脱钩的主要推动因素, 而能源排放强度、能源结构以及产业结构等是其脱钩工作中的薄弱环节<sup>[11]</sup>。

**基金项目** 中国清洁发展机制基金项目(1113031)。

**作者简介** 邓逸(1983-), 女, 湖北武汉人, 助理研究员, 硕士, 从事西方经济学研究。

**收稿日期** 2015-01-31

现有的相关研究都是基于历史数据展开的,是对于以往工业和碳排放关系的解释,尚未出现基于预测数据对经济增长和工业碳排放之间脱钩关系的研究。笔者拟在此方面取得突破,并考虑以下几点因素。一是研究对象的选择。湖北省是国家低碳试点省份和碳排放权交易试点省份,也是全国率先编制温室气体排放清单的省份之一。从温室气体排放清单来看,湖北工业温室气体排放占温室气体排放总量的70%以上,其中工业能源活动温室气体排放占总量的60%以上,工业生产过程温室气体排放占总量的10%以上。因此,笔者选择湖北为主要研究区域,以工业能源活动温室气体排放为主要研究领域。二是预测方法的选择。经济增长会带来能源消费的增加,而能源消费的扩大又反过来推动经济增长,需要用系统的观点和综合的分析手段,考虑不同经济变量之间的关联与互动。笔者拟建立一个系统动力学(SD)模型,描述经济增长与工业能源活动温室气体排放之间的关系,并以此得到各变量的仿真数据。三是脱钩指数选择。Tapio 脱钩指标相对于 OECD 脱钩指标对时间基期的选择不敏感,不受统计量纲的影响,且对脱钩状态的划分更为精细,因此笔者选择 Tapio 脱钩指标来描述经济增长与工业温室气体排放之间的脱钩状态。

1 系统模型构建

1.1 系统设定 使用系统动力学的专用软件 Vensim - PLE 进行建模仿真,模型运行时间为 1991 ~ 2020 年,仿真步长为 1 年。

1.2 系统动态流图 温室气体(GHG, Greenhouse Gas)是指任何会吸收和释放红外线辐射并存在大气中的气体。京都议定书中控制的6种温室气体为二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)、氢氟碳化合物(HFCs)、全氟碳化合物(PFCs)和六氟化硫(SF<sub>6</sub>)。根据湖北省温室气体清单,温室气体排放主要来源于能源活动、工业生产过程、农业、土地利用与林业、废弃物处理5个方面。其中能源活动中包括化石燃料燃烧、生物质燃烧、煤炭开采逃逸、油气系统逃逸4个方面。化石燃料燃烧又包括能源工业、农业、工业和建筑业、交通运输、服务业和居民生活等方面。笔者仅考察工业(将清单中“工业和建筑业”中的建筑业剔除,再加上能源工业,合并为“工业”核算)化石燃料燃烧温室气体排放,涉及的温室气体排放种类主要有CO<sub>2</sub>和N<sub>2</sub>O两种。将各构成要素分别设为状态变量(1个)、辅助变量(15个)与速率变量(1个)。其中GDP为状态变量,GDP增量为速率变量,其他均为辅助变量,如图1所示。

1.3 数据来源与处理 数据主要来源于《湖北统计年鉴》(1991 - 2013)<sup>[12]</sup>,部分来自于其他统计资料。工业化化石能源消费量、能源消费总量的数据均来自于《中国能源统计年鉴》(2011 - 2013)<sup>[13]</sup>。由于《湖北统计年鉴》(2011)对2005 ~ 2009年的湖北省能源消费量数据进行修正,但未对以前年份的数据进行修正,故该研究采用类推法对1990 ~ 2004年的湖北能源消费量数据进行修正。温室气体数据均来自于《湖北省温室气体排放清单》(2005、2010)<sup>[14-15]</sup>。

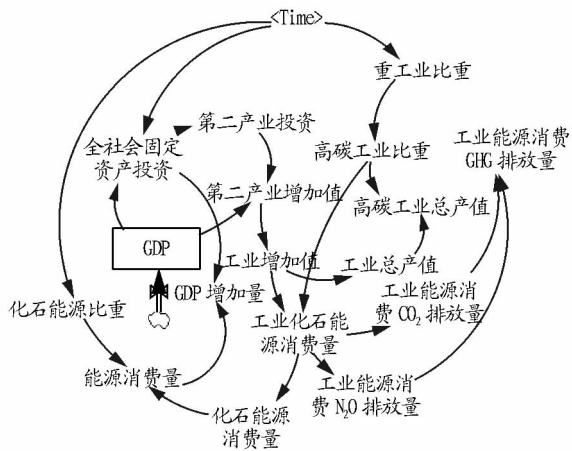


图1 工业能源活动温室气体排放系统动态流图

2 脱钩指数分解模型构建

2.1 脱钩公式与评价标准 用工业能源活动温室气体(GHG)排放强度(ICI)来测度工业能源活动GHG排放与经济增长之间的脱钩关系,脱钩指数计算公式如下:

$$ICI = \frac{(IEC/GDP)_t - (IEC/GDP)_0}{(IEC/GDP)_0}$$

式中,IEC为工业能源消费GHG排放量,t表示末期,0表示基期。“脱钩”与“复钩”的状态分类与评价标准如表1所示。

表1 “脱钩”与复钩状态分类与评价标准

状态		$\Delta IEC/IEC$	$\Delta GDP/GDP$	脱钩指数 ICI
脱钩	弱脱钩	>0	>0	<0
	强脱钩	<0	>0	<0
	紧缩性脱钩	<0	<0	<0
复钩	扩张性复钩	>0	>0	>0
	强复钩	>0	<0	>0
	弱复钩	<0	<0	>0

2.2 数据分析结果 目前,湖北省只编制完成了2005和2010年的温室气体排放清单。但通过系统动力学模型仿真结果得到的变量数据不仅实现了与历史数据的较好拟合,而且保证了数据的长期性和连续性。利用仿真数据,得到1991 ~ 2020年的湖北省经济增长和工业温室气体排放脱钩指数及其分解结果,如表2所示。

表2 1991 ~ 2020年经济增长与工业能源活动温室气体排放脱钩关系

年份	$\Delta IEC/IEC$	$\Delta GDP/GDP$	脱钩指数 ICI	脱钩状态
1991	0.017 4	0.109 0	-0.082 7	弱脱钩
1992	0.019 3	0.192 2	-0.145 0	弱脱钩
1993	0.040 8	0.219 3	-0.146 4	弱脱钩
1994	-0.054 9	0.283 7	-0.263 8	强脱钩
1995	-0.036 8	0.240 9	-0.223 8	强脱钩
1996	0.048 5	0.185 6	-0.115 7	弱脱钩
1997	0.031 0	0.143 8	-0.098 6	弱脱钩
1998	-0.009 1	0.091 3	-0.092 0	强脱钩
1999	0.034 8	0.035 4	-0.000 6	强脱钩

接下表

(下转第 234 页)

变黄期较快降解,及早进入定色期,排出水分稳固烟叶既得品质<sup>[21]</sup>。虽然高温中湿环境变黄可以解决组织疏松、内含物不足、水分较多烟叶的变黄,但在烘烤具体操作上仍有许多影响烟叶变黄的关键问题,例如密集烤房高温变黄期烤房内不同棚次温度协调和失水问题都能影响烟叶变黄的正常进行。

### 参考文献

- [1] 郑金陵,朱承山,柏青华,等. 湘南雨季结束日期的长期预报方法研究[J]. 水资源保护,2006,22(4):59-61.
- [2] 周米良,吴志科,卿湘涛,等. 湘西山区主要气候事件对烟叶产质量的影响[J]. 安徽农业科学,2011,39(14):8293-8298.
- [3] 师会勤,艾复清,万红友,等. 烘烤变黄环境对烤后烟叶化学组分的影响[J]. 江西农业大学学报,2004,26(5):749-753.
- [4] 徐秀红,孙福山,王永,等. 我国密集烤房研究应用现状及发展方向探讨[J]. 中国烟草科学,2008,29(4):54-56,61.
- [5] 郭全伟,侯跃亮,宗树林,等. 密集烤房在烘烤实践中的应用[J]. 中国烟草科学,2005,26(3):15-16.
- [6] 邓小华,曾中,谢鹏飞,等. 密集烘烤关键温度点不同湿度控制烤烟主要化学成分动态变化[J]. 中国农学通报,2013,29(6):213-216.
- [7] 张晓远,毕庆文,汪健,等. 变黄期温湿度及持续时间对上部烟叶呼吸速率和化学成分的影响[J]. 烟草科技,2009(6):56-59.
- [8] 罗勇,谢已书,李明海,等. DB 52/T 665-2010,烤烟散叶堆积烘烤技术规程[S]. 贵阳:中国烟草总公司贵州省公司,2010.

- [9] 官长荣,贺帆,江凯,等. 烤烟调制工艺节能的研究进展[J]. 湖北农业科学,2009,48(8):2017-2019.
- [10] 宋朝鹏,霍开玲,武圣江,等. 不同成熟度烟叶烘烤中颜色值和色素含量的变化[J]. 中国农业科学,2011,44(10):2013-2021.
- [11] 国家烟草专卖局. GB 2635-92,中华人民共和国国家标准烤烟[S]. 北京:中国标准出版社,1992.
- [12] 王传义,张忠锋,徐秀红,等. 烟叶烘烤特性研究进展[J]. 中国烟草科学,2009,30(1):38-41.
- [13] 官长荣,杨煥文,艾复清,等. 烟草调制学[M]. 北京:中国农业出版社,2011:261-262.
- [14] 朱佩,王传义,田福海,等. 特殊烟叶烘烤过程中生理生化变化及烤后质量特点[J]. 中国烟草科学,2014,35(1):32-36.
- [15] 王松峰,王爱华,程森,等. 引进烤烟新品种 NC55 的烘烤特性研究[J]. 华北农学报,2012,27(S1):158-163.
- [16] 官长荣,杨煥文,艾复清,等. 烟草调制学[M]. 北京:中国农业出版社,2011.
- [17] 闫新甫,孔劲松,罗安娜,等. 烤烟生产上等烟比例估算与分析[J]. 中国烟草科学,2014,35(2):131-137.
- [18] 古战期. 烤烟主产区生态因子与烟叶品质的关系[D]. 郑州:河南农业大学,2012.
- [19] 孟可爱,聂邦邦,肖春生,等. 密集烘烤过程中烟叶水分和色素含量的动态变化[J]. 湖南农业大学学报,2006(2):144-148.
- [20] 刘颖,王能如,徐增汉,等. 定色前期稳温点对烟叶石油醚提取物和多酚含量的影响[J]. 安徽农业科学,2007,35(19):5788-5789.
- [21] 谢鹏飞,邓小华,周清明,等. 密集烘烤过程中烟叶颜色、形态和水分变化及相互关系[J]. 作物研究,2012,26(5):486-490.

(上接第 219 页)

续表 2

年份	$\Delta IEC/IEC$	$\Delta GDP/GDP$	脱钩指数 $ICI$	脱钩状态
2000	-0.006 9	0.099 0	-0.096 3	强脱钩
2001	0.006 9	0.095 9	-0.081 3	弱脱钩
2002	0.134 0	0.080 9	0.049 1	弱脱钩
2003	0.077 4	0.129 8	-0.046 4	弱脱钩
2004	0.196 1	0.184 4	0.009 8	弱脱钩
2005	0.364 1	0.170 4	0.165 5	弱脱钩
2006	0.186 2	0.156 5	0.025 7	扩张性复钩
2007	0.079 1	0.225 5	-0.119 5	弱脱钩
2008	0.006 3	0.214 1	-0.171 1	弱脱钩
2009	0.090 7	0.144 7	-0.047 2	弱脱钩
2010	0.146 0	0.232 3	-0.070 0	弱脱钩
2011	0.116 9	0.229 7	-0.091 7	弱脱钩
2012	0.157 4	0.217 6	-0.049 4	弱脱钩
2013	0.171 5	0.224 0	-0.042 9	弱脱钩
2014	0.185 3	0.230 4	-0.036 6	弱脱钩
2015	0.197 8	0.236 0	-0.030 9	弱脱钩
2016	0.212 7	0.240 8	-0.022 6	弱脱钩
2017	0.221 1	0.244 9	-0.019 1	弱脱钩
2018	0.228 4	0.248 4	-0.016 0	弱脱钩
2019	0.234 7	0.251 4	-0.013 3	弱脱钩
2020	0.240 1	0.253 9	-0.011 0	弱脱钩

湖北省经济增长与工业温室气体排放之间的关系划分为两个阶段。第一阶段(1991~2000年):两者之间的关系在“弱脱钩”和“强脱钩”之间交替变动,表明这一时期工业温室气体排放与经济增长之间的关系较弱。第二阶段(2001~2020年):两者之间稳定为“弱脱钩”关系(个别年份除外,仅2006年为扩张性复钩),表明工业温室气体排放与经济增长

之间的相关关系有所增强。

### 参考文献

- [1] DE FREITAS L C, KANEKO S. Decomposing the decoupling of CO<sub>2</sub> emissions and economic growth in Brazil[J]. Ecological Economics, 2011, 70(8):1459-1469.
- [2] ANDREONI V, GALMARINI S. Decoupling Economic Growth from Carbon Dioxide Emissions: A Decomposition Analysis of Italian Energy Consumption[J]. Energy, 2012, 44:682-691.
- [3] DIAKOULAKI D, MANDARAKA M. Decomposition Analysis for Assessing the Progress in Decoupling Industrial Growth from CO<sub>2</sub> Emissions in the EU Manufacturing Sector[J]. Energy Economics, 2007, 29:636-664.
- [4] ENEVOLDSEN M K, RYELUND A V, ANDERSEN M S. Decoupling of Industrial Energy Consumption and CO<sub>2</sub>-Emissions in Energy-Intensive Industries in Scandinavia[J]. Energy Economics, 2007, 29:665-692.
- [5] REN S G, HU Z. Effects of Decoupling of Carbon Dioxide Emission by Chinese Nonferrous Metals Industry[J]. Energy Policy, 2012, 43:407-414.
- [6] 徐盈之,徐康宁,胡永舜. 中国制造业碳排放的驱动因素及脱钩效应[J]. 统计研究, 2011, 28(7):55-61.
- [7] 孙耀华,李忠民. 中国各省份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(5):87-90.
- [8] 任洁,陈东景. 中国工业部门碳排放与 GDP 脱钩因素影响力分析[J]. 国际经济战略, 2012, 3(1):21-25.
- [9] 王强,伍世代,李婷婷. 能源消费与碳排放变动关联特征及其 Tapio 效应研究——基于中国工业经济转型的分析[J]. 福建师范大学学报:哲学社会科学版, 2010(4):17-22.
- [10] 李忠民,庆东瑞. 经济增长与二氧化碳排放脱钩实证研究:以山西省为例[J]. 福建论坛:人文社会科学版, 2010(2):67-72.
- [11] 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.
- [12] 湖北省统计局,国家统计局湖北调查总队. 湖北统计年鉴 1991-2013[M]. 北京:中国统计出版社,1990-2011.
- [13] 国家统计局工业交通统计司,国家发展和改革委员会能源局. 中国能源统计年鉴 2011-2013[M]. 北京:中国统计出版社,1992-2012.
- [14] 湖北省节能监察中心,国家发展改革委能源研究所. 2005年湖北省温室气体排放清单总报告[R]. 2012.
- [15] 湖北省节能监察中心,国家发展改革委能源研究所. 2010年湖北省温室气体排放清单总报告[R]. 2012.