

稳增长、促就业和低碳转型可以兼顾吗？

——基于湖北省社会核算矩阵的分析

周文

(湖北经济学院金融学院, 湖北武汉 430205)

【摘要】通过编制 2012 年湖北省社会核算矩阵并以之为基础测算低碳转型措施对经整合的 31 个行业的产出、增加值、就业和碳排放的总效应,进而计算累计碳减排的产出、增加值和就业牺牲系数(1 单位直接碳减排导致的累计碳减排量与累计产出、增加值和就业变动值之比)发现,非金属矿物制品行业、化学产品行业、金属冶炼及压延加工品行业、交通运输仓储和邮政行业、非金属矿和其他矿采选产品行业、石油和天然气开采产品行业等六个行业是湖北省产业结构低碳转型的关键行业。基于社会核算矩阵计算、比较累计碳减排的产出、增加值和就业牺牲系数是在稳增长、促就业约束下进行低碳转型重点产业辨识的一个有效方法,其测算结果具有重要的政策指导意义。

【关键词】产业结构; 低碳转型; 社会核算矩阵

【中图分类号】F062.2 **【文献标识码】**A

【文章编号】1671-4407(2017)01-0067-06

1 引言

1.1 研究背景

稳增长、促就业和产业结构低碳转型是新时期我国经济发展不可偏废的关键目标。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》提出“到 2020 年,国内生产总值和城乡居民人均收入比 2010 年翻一番”和“坚持就业优先战略,实施更加积极的就业政策”,另一方面强调“生产方式和生活方式绿色、低碳水平上升”“碳排放总量得到有效控制”,产业结构调整优化是实现这些关键目标的重要途径。

1.2 文献综述

1.2.1 低碳转型与经济增长

Porter&Linde 提出的环境波特假说认为,长远看来,环境改善与生产率可以实现双赢,Zhang&Cheng 也认为经济增长与环境污染变量可能存在相互作用的反馈机制。陈诗一认为中国

可以实现环境治理和经济双赢发展，但 Beaumont&Tinch 认为这一假说的实现有赖于环境治理有效。短期来看，更多研究表明在我国现阶段经济增长是 Co2 排放量的驱动因素，减少碳排放对经济增长会产生负面影响。

1.2.2 低碳转型与就业

低碳转型与就业是否可以实现双赢？由于低碳转型可能减少一些高排放行业的就业机会，但同时也会增加一些低排放或治理行业的就业机会，因此对这两者关系有待进一步厘清。陆旻介绍，1990 年美国商业协会的研究表明，《清洁空气法案》导致了 100 万到 200 万个工作岗位损失，Bezdek 等认为随着环境保护的迅速发展，就业创造超过就业损失，净效应为正。

1.2.3 产业结构调整与低碳转型

产业结构调整是低碳转型的重要方面。解振华认为结构调整是节能减排的根本途径。刘再起、陈春认为产业结构调整对低碳经济影响很大。张友国认为在通过技术进步降低碳排放强度的同时，要注意优化产业结构。牛鸿蕾、江可申认为在保证稳定增长与就业的前提下，产业结构调整作为减少碳排放的手段在一定范围内有效。王剑芳等认为进行产业结构与能源结构调整是发展低碳经济的现实选择和必然要求。潘冬青、尹忠明认为产业结构调整应以发展低碳经济为宗旨。

1.2.4 相关研究简评

现有的研究表现出以下特征：第一，将经济增长、充分就业和产业结构低碳转型纳入同一个研究框架的成果尚不多见；第二，虽然部分研究已经涉及低碳转型过程中不同产业的结构性调整，但大多数仅基于三次产业划分，比较粗放；第三，在产业结构低碳转型相关研究中，仅有少数成果指出应注意若干重要行业；第四，在分析产业结构低碳转型时，行业间的内在关系更多地体现在碳排放的分解，较少地用于转型措施的效果评估。

1.3 本文的工作、假设及可能的创新

本文拟基于《2012 年湖北省投入产出表》和其他相关统计资料编制 2012 年湖北省社会核算矩阵 (social accounting matrix, SAM), 并以之为基础全面评估湖北省各行业在一定假设条件下碳减排措施的产出、增加值、就业和碳排放水平的总效应，探索出一条在稳增长、促就业目标约束下产业结构低碳转型关键行业辨识的新方法。

本文需要强调以下几点假设：第一，技术不发生变化，即各行业每单位产出需要的能源消耗是固定的；第二，能源消费结构不发生变化，即不存在低排放能源代替高排放能源的可能；第三，商品市场总处于平衡状态，某种商品产出下降与对该商品的需求减少导致的影响相同。

根据假设一和假设二，对某行业采取某项低碳转型措施，往往会导致该行业产出下降，根据假设三，该行业的产出下降的影响等同于对该行业产品需求的减少。

本文将稳增长、促就业和产业结构低碳转型纳入同一分析框架，从细分产业的角度、基于产业间关联与传导的综合评估思路与方法在此前的研究中尚不多见，提出了碳减排的产出、增加值和就业牺牲系数等概念，具有新意。

2 基于社会核算矩阵的低碳转型措施效应乘数

2.1 SAM 乘数基本原理

SAM 描绘了不同经济部门间的收入支付关系，是一种重要的国民经济结构分析方法。类似于投入产出分析中的直接消耗系数矩阵，**SAM** 定义有平均支出倾向矩阵 A_n ，该矩阵中各元素的值通过内生账户中的每个元素除以其所在列的列和得到，根据 **SAM** 的行向平衡关系，可有：

$$X_n = A_n X_n + Y = (I - A_n)^{-1} Y = MaY \quad (1)$$

其中： I 为单位矩阵； Ma 称为账户乘数矩阵，它类似于投入产出分析中的列昂惕夫逆矩阵，是 **SAM** 乘数分析的核心。如果对第 j 账户实施减产以减少碳排放， Ma 中的第 (i, j) 个元素 Ma_{ij} 反映了该账户产出变动（直接影响）对第 i 账户造成的产出影响^①，因此，假设采取低碳转型措施使得各行业的产出变动为对角矩阵 ΔY ，基于公式(1)，其总产出影响可表示为：

$$\Delta X_j = \sum_{i=1}^n Ma_{ij} \Delta Y \quad (2)$$

2.2 低碳转型措施的增加值、就业和碳排放效应乘数

2.2.1 增加值影响乘数推导

从投入产出表中获得对应年份的各行业增加值数据，可计算出各行业增加值产出比：

$$va_i = \frac{VA_i}{Y_i} \quad (3)$$

式(3)中： Y_i 为第*i*行业产出， VA_i 为第*i*行业增加值，记 $C_{va} = (va_1, va_2, \dots, va_n)$ 为行业增加值产出比向量，当某项低碳减排措施导致产出变动 ΔY ，基于SAM计算得到各行业总增加值影响为：

$$\Delta VA_s = C_{va} \bullet Ma \bullet \Delta Y \quad (4)$$

2.2.2 就业影响乘数推导

从投入产出表和所编制的SAM对应年份的统计资料中获得当年的各对应行业的就业数据和产出数据，可得到各行业单位产出就业人数：

$$e_i = \frac{E_i}{Y_i} \quad (5)$$

式(5)中： Y_i 为第*i*行业产出； E_i 为第*i*行业就业人数；记 $C_e = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ 为行业单位产出就业人数向量，当某项低碳减排措施导致产出变动 ΔY ，基于SAM计算得到各行业总就业影响为：

$$\Delta E_s = C_e \bullet Ma \bullet \Delta Y \quad (6)$$

2.2.3 碳排放影响乘数推导

同理，从投入产出表和所编制的SAM对应年份的统计资料中获得当年的各对应行业产出数据，同时计算出对应年份各对应行业的碳排放数据，可得到各行业单位产出碳排放量：

$$c_i = \frac{C_i}{Y_i} \quad (7)$$

式(7)中： Y_i 为第*i*行业产出； C_i 为第*i*行业碳排放量；记 $C_c = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ 为行业单位产出碳排放量向量，当某项低碳减排措施导致产出变动 ΔY ，基于SAM计算得到各行业总就业影响为：

$$\Delta C_s = C_c \bullet Ma \bullet \Delta Y \quad (8)$$

3 2012年湖北省分行业碳排放量测算

3.1 二氧化碳排放量的测算方法

二氧化碳排放主要来自各种化石燃料和水泥、石灰、钢铁等工业生产过程，根据世界银行报告，前者占到 70%以上，而中国由于主要以污染严重的煤炭燃料为主，该比例高达 85%以上。因此，可以通过化石能源的终端消费量来推算二氧化碳排放最。

根据 2006 年联合国政府间气候变化专门委员会(IntergovernmentPanelonClimateChange, IPCC)为联合国气候变化框架公约及京都议定书所制定的国家温室气体清单指南(2006IPCCGuidelinesforNationalGreenhouseGasInventories)第二卷(Energy)第六章的参考方法，二氧化碳排放量可以根据各种能源消耗量来进行估算：

$$CO_2Emissions = \sum_{fuel} [(ApparentConsumption_{fuel} \cdot ConvFactor_{fuel} \cdot CC_{fuel}) \cdot 10^{-3} - ExcludedCarbon_{fuel} \cdot COF_{fuel} \cdot 44/12] \quad (9)$$

式(9)中： $CO_2Emissions$ 为二氧化碳排放量； $ApparentConsumption$ 为各种能源的表观消耗量； $ConvFactor$ (conversion factor)为用净发热值(低位发热量)表示的能源转化成能量的转化因子，单位：太焦(TJ)； CC 表示碳含量，单位：吨碳/太焦(tonne C/TJ)； $ExcludedCarbon$ 表示需要从前面计算的排放量中把作为非燃料原料和非能源用途的碳排放扣除的量，单位：吉克碳(GgC)； COF 为碳氧化因子，一般取 1，44/12 指 CO_2 和 C 的分子量之比。

不考虑作为非燃料原料和非能源用途的碳排放扣除量，可以分步骤计算出式(9)的 CO_2 排放量：

步骤 1：计算各种能源的有效二氧化碳排放因子：

$$EEF_{fuel} = CC_{fuel} \cdot COF_{fuel} \cdot 44/12 \quad (10)$$

步骤 2：根据转化因子和有效二氧化碳排放因子计算出各种能源的排放系数：

$$CE_{fuel} = EEF_{fuel} \cdot ConvFactor_{fuel} \quad (11)$$

步骤 3：根据各种能源的消耗量和对应的排放系数计算出二氧化碳排放量：

$$CO_2Emission_{fuel} = CE_{fuel} \cdot Consumption_{fuel} \quad (12)$$

步骤 4：计算某国或某地区总的 CO_2 排放量：

$$CO_2Emission = \sum_{fuel} CE_{fuel} \cdot Consumption_{fuel} \quad (13)$$

3.2 2012 年湖北省分行业 Co_2 排放量估计

3.2.1 中国各种能源 Co_2 排放系数的确定

计算湖北省分行业 Co_2 排放量，必须先行确定碳排放因子和平均低位发热值。关于碳排放因子，湖北能源平衡表(实物表一 2012)中包括的能源与 IPCC(2006)能对应的，就取 IPCC(2006)的对应值，没有对应值的，按一定方法进行了处理。关于平均低位发热值，湖北能源平衡表(

实物表一 2012)中包括的能源在《中国能源统计年鉴(2013)》中能获得的,就取该对应值,没有对应值的,取 IPCC(2006)的对应值,最后经过整理可得到中国各种能源 Co₂ 排放系数。

3.2.2 湖北省各行业各种能源消费量的估算

关于各行业的能源消耗量,本文以 2012 年湖北省规模以上工业分行业原煤消费量占比作为计算湖北省各工业细分行业煤类能源消费的依据,以 2012 年湖北省规模以上工业分行业汽油和柴油消费量占比的算术平均值作为计算湖北省各工业细分行业除汽油和柴油外其他油品能源消费的依据(汽油和柴油依现有比例计算),以 2012 年湖北省规模以上工业分行业电力消费量占比作为计算湖北省各工业细分行业电力、热力和其他能源消费的依据,以 2012 年全国分行业天然气消费量占比作为计算湖北省各工业细分行业天然气类能源消费的依据。针对《湖北统计年鉴(2013)》中的工业细分行业与《2012 年湖北省投入产出表》部门划分不一致的问题,由于本文基于 SAM 的低碳措施各种效应的测算以 2012 年湖北省投入产出表为基础,因此,本文把《湖北统计年鉴(2013)》中的 41 个工业细分行业向《2012 年湖北省投入产出表》中 42 部门的投入产出表中的工业细分行业合并。经过计算,可以得到行业合并后湖北省工业分行业各大类能源消费占比,再将这一系列比例乘以湖北省能源平衡表(2012)中各种能源的终端消费量,即可得到湖北省工业分行业能源消费量,再加入其他非工业行业数据,即可得到各行业的各种能源消费量。

3.2.3 2012 年湖北省各行业 Co₂ 排放量的计算

根据已计算得到中国各种能源的(CO₂ 排放系数和湖北省各行业的各种能源消费量,可以计算出湖北省 31 个行业的(CO₂ 排放量及其占总排放量的比例,详见表 1。有三点需要特别说明:第一,在计算过程中,电力、热力生产和供应部门中间消费的能源均计为 0,由于电力和热力属二次能源,其他部门消费电力和热力均统计了 CO₂ 排放量,这样处理避免了重复计算;第二,由于水利管理部门总产出和增加值均较小,本文没有把水利部门从“水利环境和公共设施管理”部门中分离出来再加入到“农林牧渔产品和服务”部门;第三,为了保持与湖北省能源平衡表(2012)部门划分一致,本文把湖北省服务业整合为“批发、零售、住宿、餐饮”“交通运输仓储和邮政”和“其他服务业”三个行业部门。

从表 1 中可以观察到,2012 年湖北省各行业(CO₂ 排放量合计为 2.24 亿吨,其中排放量占比靠前的行业依次是:化学产品行业(23.09%)、非金属矿物制品行业(16.17%)、交通运输仓储和邮政业(14.86%)、金属冶炼及压延加工品行业(9.92%)、批发、零售、住宿、餐饮行业(8.04%),这五大行业 CO₂ 排放量合计占比达 72.08%。

4 2012 年湖北省社会核算矩阵编制

4.1 2012 年湖北省 SAM 表的编制

2014年8月，湖北省统计局和湖北省投入产出办公室联合发布了《2012年湖北省投入产出表》，该表提供了2012年湖北省42产品部门和139产品部门的投入产出表（价值型）和对应的直接消耗系数，以之为基础，本文采用“自上而下”的编制方法，先编制2012年湖北省宏观SAM，再根据各种统计资料填充、细化该表进而编制出2012年湖北省细化SAM(表2)。其中2012年湖北省宏观SAM包括10个账户：商品、活动、劳动力、资本、居民、企业、政府、投资-储蓄、存货变动和世界其他地区(restofworld, ROW)。

表1 湖北省各行业CO₂排放量及占比（2012年）

行业	编号	排放量(万吨)	占比
农林牧渔产品和服务	01	944.528 816 6	4.21%
煤炭采选产品	02	57.403 124 55	0.26%
石油和天然气开采产品	03	110.429 851 8	0.49%
金属矿采选产品	04	67.833 042 44	0.30%
非金属矿和其他矿采选产品	05	415.323 147 1	1.85%
食品和烟草	06	962.101 498 6	4.29%
纺织品	07	247.492 194 9	1.10%
纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品	08	64.384 723 48	0.29%
木材加工品和家具	09	54.371 097 64	0.24%
造纸印刷及文教体育用品	10	286.511 815 9	1.28%
石油炼焦产品和核燃料加工品	11	83.230 305 78	0.37%
化学产品	12	5 176.238 915	23.09%
非金属矿物制品	13	3 625.238 225	16.17%
金属冶炼及压延加工品	14	2 222.603 777	9.92%
金属制品	15	169.509 361 1	0.76%
通用设备	16	104.819 620 4	0.47%
专用设备	17	59.456 747 02	0.27%
交通运输设备	18	590.722 011	2.64%
电气机械和器材	19	82.316 893 25	0.37%
通信设备计算机和其他电子设备	20	39.069 457 36	0.17%
仪器仪表	21	8.740 438 391	0.04%
其他制造产品	22	8.761 873 103	0.04%
废品废料	23	7.337 217 046	0.03%
金属制品、机械和设备修理服务	24	9.022 076 903	0.04%
电力、热力生产和供应	25	202.468 293	0.90%
燃气生产和供应	26	6.292 403 561	0.03%
水的生产和供应	27	17.167 428 72	0.08%
建筑业	28	743.349 020 6	3.32%
交通运输仓储和邮政	29	3 331.210 146	14.86%
批发、零售、住宿、餐饮	30	1 801.727 339	8.04%
其他服务业	31	915.915 479 1	4.09%
合计		22 415.576 34	

表2 2012年湖北省宏观SAM

单位：万元		支出											
账户	商品	活动	劳动力	资本	居民	企业	政府	储蓄-投资	存货变动	ROW	汇总		
商品	0	349 665 061			70 854 600		28 973 300	120 647 500	4 899 200	51 010 200	62 6 049 861	总需求	
活动	564 971 700	0									564 971 700	总产出	
劳动力	0	108 454 671								11 215 684	119 670 355	要素收入	
资本	0	80 119 235								28 659	80 147 894	要素收入	
居民			108 454 671	1 649 389		62 363 237	24 906 540			0	197 373 837	居民总收入	
企业				77 009 752							77 009 752	企业总收入	
政府	109 449 2	26 732 733			485 500	6 199 615		8 966 000		21 912 000	65 390 340	政府总收入	
储蓄-投资					21 855 800	8 446 900	11 093 400			-824 000	40 572 100	总储蓄	
存货变动									4 899 200		4 899 200	存货增加	
ROW	59 983 669		11 215 684	1 488 753	104 177 937		417 100	-93 940 600			83 342 543	对外支出	
汇总	626 049 861	564 971 700	119 670 355	80 147 894	197 373 837	77 009 752	65 390 340	40 572 100	4 899 200	83 342 543			
	总供给	总投入	要素支出	要素支出	居民支出	企业支出	政府支出	总投资	存货增加	对外收入			

资料来源：根据《湖北统计年鉴(2013)》《2012年湖北省投入产出表》《中国财政年鉴(2013)》等数据汇编。

表3 湖北省各行业SAM总产出效应乘数

行业	SAM 总效应乘数	行业	SAM 总效应乘数
农林牧渔产品和服务	7.498 191	专用设备	6.424 65
煤炭采选产品	6.777 057	交通运输设备	6.195 833
石油和天然气开采产品	6.052 915	电气机械和器材	6.472 16
金属矿采选产品	5.226 984	通信设备计算机和其他电子设备	5.299 385
非金属矿和其他矿采选产品	6.024 758	仪器仪表	6.479 791
食品和烟草	5.650 35	其他制造产品	6.386 604
纺织品	7.395 049	废品废料	8.220 251
纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品	7.033 362	金属制品、机械和设备修理服务	6.872 872
木材加工品和家具	6.782 716	电力、热力生产和供应	6.896 939
造纸印刷及文教体育用品	6.455 526	燃气生产和供应	6.127 171
石油炼焦产品和核燃料加工品	6.399 034	水的生产和供应	9.213 295
化学产品	6.254 963	建筑业	6.710 778
非金属矿物制品	6.668 593	交通运输仓储和邮政	7.072 877
金属冶炼及压延加工品	6.417 139	批发、零售、住宿、餐饮	4.582 122
金属制品	6.694 793	其他服务业	5.905 163
通用设备	6.541 699		

4.2 2012 年湖北省 SAM 各层次产出乘数的测算

在计算 SAM 各类产出乘数时，将劳动力和居民两个部门内生生化，因此，SAM 包含 33 个内生部门。假设因为低碳转型导致某行业总产出变动 1 个单位，根据前文介绍的方法可以计算得到 SAM 产出总效应乘数（表 3）。

5 湖北省产业结构低碳转型的关键产业

5.1 累计碳减排的产出、增加值和就业牺牲系数的测算

5.1.1 各行业减排 1 吨 Co_2 的产出、增加值、就业和碳排放效应根据整合后的 31 个行业部门的 2012 年湖北省投入产出表，可以计算出 2012 年湖北省各行业增加值占产出之比，用各行业碳排放量除以该行业产出，可以计算出 2012 年湖北省各行业的单位产出碳排放量，用各行业就业人数除以该行业产出可以得到 2012 年湖北省各行业的单位产出就业人数^⑧。整理得到的 2012 年湖北省各行业增加值产出比、单位产出碳排放量和单位产出就业人数见表 4。采用前文相关计算公式，可以得到湖北省各行业每万元产出下降带来的增加值、就业和碳排放的 SAM 总效应，见表 5。

如果各行业采取某项低碳减排措施，每减少 1 吨 Co_2 排放量，将会给增加值、就业和碳排放带来的总效应是多少？可以用各行业产出除以该行业 Co_2 排放量得到 2012 年湖北省各行业的单位碳产出，再用各行业的单位碳产出值乘以表 3 中产出总效应乘数和表 5 中的各个数据，即得到各行业直接减排 1 吨 Co_2 的综合性产出、增加值、就业和碳排放结果，如表 6 所示。

表4 增加值产出比、单位产出碳排放量和单位产出就业人数

行业	增加值产出比	单位产出碳排放 / (吨 / 万元)	单位产出就业人数 / (人 / 万元)
农林牧渔产品和服务	0.574 052	0.1996	0.346 335
煤炭采选产品	0.376 108	0.575 958	0.057 749
石油和天然气开采产品	0.448 891	0.922 79	0.027 103
金属矿采选产品	0.447 066	0.102 81	0.026 873
非金属矿和其他矿采选产品	0.352 349	0.586 528	0.020 798
食品和烟草	0.371 123	0.154 431	0.012 005
纺织品	0.175 138	0.164 262	0.021 896
纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品	0.292 503	0.081 857	0.041 405
木材加工品和家具	0.236 989	0.161 547	0.015 199
造纸印刷及文教体育用品	0.247 17	0.410 813	0.012 726
石油炼焦产品和核燃料加工品	0.139 38	0.136 667	0.002 795
化学产品	0.250 284	1.240 402	0.013 871
非金属矿物制品	0.227 524	2.055 521	0.019 987
金属冶炼及压延加工品	0.192 576	0.789 331	0.008 13
金属制品	0.214 19	0.199 465	0.017 382
通用设备	0.249 553	0.126 542	0.019 253
专用设备	0.261 399	0.090 341	0.021 963
交通运输设备	0.265 453	0.132 535	0.011 341
电气机械和器材	0.219	0.065 631	0.012 953
通信设备计算机和其他电子设备	0.330 021	0.032 694	0.010 036
仪器仪表	0.298 013	0.085 835	0.027 665
其他制造产品	0.284 28	0.058 819	0.018 86
废品废料	0.309 99	0.094 964	0.054 799
金属制品、机械和设备修理服务	0.307 339	0.262 209	0.046 655
电力、热力生产和供应	0.229 583	0.106 935	0.013 637
燃气生产和供应	0.229 224	0.082 328	0.008 918
水的生产和供应	0.273 995	0.363 003	0.099 387
建筑业	0.397 791	0.132 053	0.053 551
交通运输仓储和邮政	0.378 218	1.305 406	0.073 038
批发、零售、住宿、餐饮	0.612 209	0.543 786	0.071 761
其他服务业	0.593 09	0.112 485	0.103 451

资料来源：根据《2012 年湖北投入产出表》等资料计算得到。

表5 各行业每万元产出变动的增加值、就业和碳排放的SAM总效应

行业	SAM 增加值总效应 / 万元	SAM 就业总效应 / 人	SAM 碳排放总效应 / 吨
农林牧渔产品和服务	2.067 308	0.661 352	1.908 065
煤炭采选产品	1.754 66	0.274 932	2.459 695
石油和天然气开采产品	1.657 389	0.207 409	2.344 814
金属矿采选产品	1.510 624	0.172 27	1.395 215
非金属矿和其他矿采选产品	1.583 235	0.196 354	2.330 274
食品和烟草	1.611 832	0.318 914	1.463 861
纺织品	1.746 019	0.338 347	2.238 794
纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品	1.742 674	0.286 951	1.793 088
木材加工品和家具	1.725 75	0.353 926	1.881 748
造纸印刷及文教体育用品	1.589 523	0.205 069	2.151 683
石油炼焦产品和核燃料加工品	1.590 649	0.188 111	2.159 915
化学产品	1.560 759	0.198 917	3.383 878
非金属矿物制品	1.629 781	0.218 303	4.236 383
金属冶炼及压延加工品	1.547 156	0.178 801	2.635 819
金属制品	1.591 638	0.198 922	2.226 103
通用设备	1.585 398	0.194 806	2.007 768
专用设备	1.585 32	0.194 046	1.783 05
交通运输设备	1.530 354	0.173 286	1.909 873
电气机械和器材	1.544 532	0.182 87	2.209 954
通信设备计算机和其他电子设备	1.421 041	0.135 31	1.294 876
仪器仪表	1.634 975	0.204 419	1.649 269
其他制造产品	1.592 742	0.210 972	2.145 518
废品废料	1.990 363	0.322 371	1.949 297
金属制品、机械和设备修理服务	1.701 181	0.240 742	2.081 991
电力、热力生产和供应	1.664 487	0.222 172	1.849 165
燃气生产和供应	1.503 597	0.161 021	1.430 417
水的生产和供应	2.194 368	0.406 27	2.510 205
建筑业	1.760 628	0.253 217	2.128 543
交通运输仓储和邮政	1.833 691	0.296 027	3.118 021
批发、零售、住宿、餐饮	1.521 493	0.232 684	1.466 194
其他服务业	1.746 703	0.285 057	1.406 237

选择某个行业通过减产实现碳减排目标，可能面临多重目标冲突问题，以农林牧渔业和交通运输仓储和邮政行业为例，如果选择农林牧渔业，虽然最终减排效果相对要好（累计减排 9.56 吨），但总产出、增加值和就业损失较多；如果选择交通运输仓储和邮政行业，虽然总产出、增加值和就业损失较少，但最终减排效果却不理想（累计减排仅 2.39 吨）。5.1.2 累计碳减排的产出、增加值、就业牺牲系数的测算

针对这一难题，本文计算了三个系数：第一，累计碳减排的产出牺牲系数：

$$SY_i = \frac{TC_i}{TY_i} \quad (14)$$

式(14)中： TC_i 表示直接减排 1 吨 CO_2 累计碳减排的量；

TY_i 表示直接减排 1 吨 CO_2 总产出减少值。

第二，累计碳减排的增加值牺牲系数：

$$SVA_i = \frac{TC_i}{TVA_i} \quad (15)$$

式(15)中： TC_i 表示直接减排1吨CO₂累计碳减排的量；

TVA_i 表示直接减排1吨CO₂增加值总减少值；

第三，累计碳减排的就业牺牲系数：

$$SE_i = \frac{TC_i}{TE_i} \quad (16)$$

式(16)中： TC_i 表示直接减排1吨CO₂累计碳减排的量；

TE_i 表示直接减排1吨CO₂就业总减少人数。

根据表6及各行业单位碳产出数据，采用式(14)、(15)和(16)测算得到的累计碳减排产出、增加值和就业牺牲系数如表7所示。表中的值越大，表示1单位累计产出、增加值和就业牺牲换取的累计碳减排越多，以SAM就业牺牲系数为例，非金属矿物制品行业的值为19.4，意味着同样一单位的直接碳减排导致每牺牲1单位就业，累计减少的CO₂排放量高达19.4个单位；而农林牧渔产品和服务行业的值为2.9，意味着同样一单位的直接碳减排导致每牺牲1单位就业，累计减少的CO₂排放量仅为2.9单位。因此，这两个行业中，想在保证就业的前提下尽可能多地减少碳排放，应优先减少非金属矿物制品行业的排放量，而不是农林牧渔产品和服务行业。

表6 各行业减排1吨CO₂各变量的总效应

行业	SAM 产出总 效应 / 万元	SAM 增加值 总效应 / 万元	SAM 就业 总效应 / 人	SAM 碳排放 总效应 / 吨
农林牧渔产品和服务	24.843 48	10.357 28	3.313 396	9.559 466
煤炭采选产品	8.649 048	3.046 505	0.477 347	4.270 612
石油和天然气开采产品	4.864 364	1.796 062	0.224 762	2.541 004
金属矿采选产品	39.024 13	14.6934	1.675 625	13.570 86
非金属矿和其他矿采选产品	7.905 955	2.699 333	0.334 773	3.972 994
食品和烟草	27.161 86	10.437 26	2.065 097	9.479 09
纺织品	34.213 91	10.629 47	2.0598	13.6294
纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品	64.335 35	21.289 17	3.5055	21.905 05
木材加工品和家具	31.297	10.682 65	2.190 85	11.648 29
造纸印刷及文教体育用品	12.2997	3.869 213	0.499 178	5.237 623
石油炼焦产品和核燃料加工品	36.539 15	11.638 86	1.376 418	15.804 21
化学产品	3.967 063	1.258 269	0.160 365	2.728 05
非金属矿物制品	2.515 253	0.792 88	0.106 203	2.060 978
金属冶炼及压延加工品	6.480 543	1.960 085	0.226 522	3.339 308
金属制品	26.506 47	7.979 537	0.997 278	11.160 37
通用设备	40.688 93	12.528 62	1.539 453	15.8664
专用设备	55.699 85	17.5481	2.147 916	19.736 81
交通运输设备	37.2277	11.546 82	1.307 48	14.410 36
电气机械和器材	78.873 72	23.533 59	2.786 334	33.672 45
通信设备计算机和其他电子设备	131.4485	43.4646	4.138 667	39.605 65
仪器仪表	57.890 01	19.047 86	2.381 532	19.214 38
其他制造产品	84.6033	27.078 62	3.586 795	36.476 52
废品废料	61.748 68	20.9592	3.394 681	20.526 76
金属制品、机械和设备修理服务	19.848 84	6.487 869	0.918 127	7.940 184
电力、热力生产和供应	49.711 93	15.565 46	2.077 64	17.292 48
燃气生产和供应	59.870 07	18.263 57	1.955 855	17.374 68
水的生产和供应	17.552 31	6.045 042	1.119 193	6.915 109
建筑业	37.114 01	13.332 73	1.917 539	16.118 85
交通运输仓储和邮政	3.898 616	1.404 689	0.226 77	2.388 544
批发、零售、住宿、餐饮	6.144 572	2.797 961	0.427 897	2.696 269
其他服务业	36.702 97	15.528 31	2.534 173	12.501 54

表7 各行业累计碳减排的产出、增加值和就业牺牲系数

行业	SAM 产出 牺牲系数	SAM 增加 值牺牲系数	SAM 就业 牺牲系数
农林牧渔产品和服务	0.384 788	0.922 971	2.885 096
煤炭采选产品	0.493 767	1.401 807	8.946 559
石油和天然气开采产品	0.522 371	1.414 764	11.305 29
金属矿采选产品	0.347 756	0.923 602	8.098 98
非金属矿和其他矿采选产品	0.502 532	1.471 843	11.867 72
食品和烟草	0.348 985	0.908 197	4.590 142
纺织品	0.398 359	1.282 228	6.616 857
纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品	0.340 482	1.028 929	6.248 766
木材加工品和家具	0.372 186	1.090 394	5.316 791
造纸印刷及文教体育用品	0.425 833	1.353 666	10.4925
石油炼焦产品和核燃料加工品	0.432 528	1.357 883	11.482 13
化学产品	0.687 675	2.168 098	17.0115
非金属矿物制品	0.819 392	2.599 357	19.406 01
金属冶炼及压延加工品	0.515 282	1.703 655	14.741 67
金属制品	0.421 043	1.398 624	11.190 83
通用设备	0.389 944	1.266 412	10.306 52
专用设备	0.354 342	1.124 726	9.188 818
交通运输设备	0.387 087	1.247 994	11.021 48
电气机械和器材	0.426 916	1.430 825	12.084 86
通信设备计算机和其他电子设备	0.301 302	0.911 216	9.569 664
仪器仪表	0.331 912	1.008 742	8.068 075
其他制造产品	0.431 148	1.347 06	10.169 67
废品废料	0.332 424	0.979 367	6.046 742
金属制品、机械和设备修理服务	0.400 033	1.223 851	8.648 242
电力、热力生产和供应	0.347 854	1.110 952	8.323 138
燃气生产和供应	0.290 206	0.951 33	8.883 42
水的生产和供应	0.393 972	1.143 931	6.178 656
建筑业	0.434 306	1.208 968	8.406 009
交通运输仓储和邮政	0.612 665	1.700 407	10.532 89
批发、零售、住宿、餐饮	0.438 805	0.963 655	6.301 217
其他服务业	0.340 614	0.805 081	4.933 184

5.2 湖北省产业结构低碳转型的重点

为了综合观察，我们把表 7 中基于 SAM 计算出来的累计碳减排产出、增加值和就业牺牲系数绘制成一个三维散点图，如图 1 所示。结合图 1 和表 7，累计碳减排的产出、增加值和就业牺牲系数最高的三个行业是非金属矿物制品行业(0.82, 2.6, 19.4)^⑧、化学产品行业(0.69, 2.17, 17.01)和金属冶炼及压延加工品(0.52, 1.7, 14.74);接下来综合观察三个系数都较高的行业是交通运输仓储和邮政行业(0.61, 1.7, 10.53)、非金属矿和其他矿采选产品行业(0.5, 1.47, 11.87)和石油和天然气开采产品行业(0.52, 1.41, 11.31)。根据本文定义的累计碳减排产出、增加值和就业牺牲系数含义，系数值越高的行业表明 1 单位产出、增加值和就业的牺牲可换取的碳排放减少量越大，如此看来，非金属矿物制品行业、化学产品行业、金属冶炼及压延加工品行业、交通运输仓储和邮政行业、非金属矿和其他矿采选产品行业、石油和天然气开采产品行业这六个行业是湖北省产业结构低碳转型的关键行业，即便采取较为简单低碳转型措施，如减产，相对其他行业而言，对湖北省的产出、增加值和就业的影响也比较小。从表 1 也可以发现，非金属矿物制品行业、化学产品行业、金属冶炼及压延加工品行业是 2012 年湖北省 Co₂ 排放的前三位行业，这三个行业的 Co₂ 排放量占比高达 49.18%，即占到全部行业 Co₂ 排放量的一半左右，把这三个关键行业的低碳转型工作做好了，湖北省的碳排放压力将会极大地缓解。

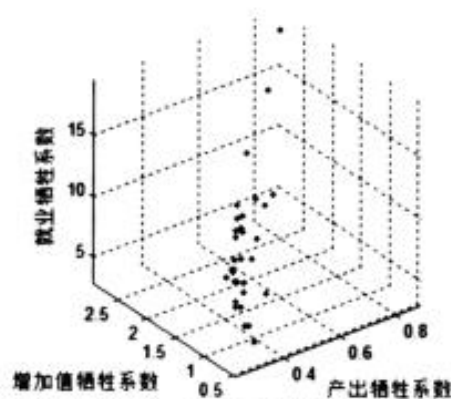


图1 累计碳减排的产出、增加值和就业牺牲系数三维散点图

6 结论

6.1 基于社会核算矩阵的低碳转型效应分析方法具有优势

2013 年，湖北省人民政府印发的《湖北省低碳发展规划(2011-2015 年)》提出要抑制高耗能高排放行业过快增长，重点控制电力、钢铁、有色、建材、石化、造纸等行业的能耗。本文基于社会核算矩阵的测算结果建议关注的重点行业是：非金属矿物制品行业、化学产品行业、金属冶炼及压延加工品行业、非金属矿和其他矿采选产品行业、石油和天然气开采产品行业和交通运输仓储和邮政行业，不仅行业不完全一致，排序也存在较大差异。出现这种差异的原因在于本文基于社会核算矩阵的测算考虑了某一行业低碳转型对其他行业的间接影响和引致影响，是一种综合影响测算，与直接按 Co2 排放量确定重点行业相比，本文的方法具有优势。

6.2 基于社会核算矩阵的低碳转型效应分析方法有重要的政策指导意义

本文的研究结果表明，产业结构的低碳转型在策略上应该区别对待：以湖北省为例，对非金属矿物制品行业、化学产品行业、金属冶炼及压延加工品行业等关键行业中存在过剩产能的行业，如水泥、平板玻璃、钢铁等行业^⑧，可以通过关、停低效企业等强制措施来推进湖北省产业结构低碳转型，相对而言，这些行业通过减产减少同样多的 Co2 对产业、增加值和就业的影响相对有限：关键行业中不存在过剩产能的，如交通运输仓储邮政业，则应优先通过调整能源消费结构和技术减排来推动低碳转型，在保证产品和服务供应的同时，节能减排。对于累计碳减排的产出、增加值和就业牺牲系数都比较小的行业，如农业、食品加工业和服务业，则可以在当前的技术水平下大力发展，有限的碳排放可换得更多的产出、增加值和就业。

参考文献：

- [1]Porter M E, Linde C V D. Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship [J]. Journal of Economic Perspectives, 1995(9): 97-118.
- [2]Zhang X P, Cheng X M. Energy Consumption, carbon emissions, and economic growth in China [J]. Ecological Economics, 2009, 68(10): 2706-2712.
- [3]陈诗一. 节能减排与中国工业的双赢发展: 2009-2049[J]. 经济研究, 2010 (3) : 129-143.
- [4]Beaumont N J, Tinch R. Abatement Cost curves: A viable management tool for enabling the achievement of Win-Win waste reduction strategies? [J]. Journal of Environmental Management, 2004, 71(3): 207-215.
- [5]王锋, 吴丽华, 杨超. 中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究[J]. 经济研究, 2010 (2) : 123-136.
- [6]林伯强, 孙传旺. 如何在保障中国经济增长前提下完成碳减排目标[J]. 中国社会科学, 2011 (1) : 64-76.
- [7]李志强, 赵守艳. 基于 ICaya 模型的高能耗产业低碳发展研究——以山西省为例[J]. 经济问题, 2011 (8) : 59-62, 68.
- [8]刘竹, 耿涌, 薛冰, 等. 中国低碳试点省份经济增长与碳排放关系研究[J]. 资源科学, 2011 (4) : 620-625.
- [9]张清, 陶小马, 杨鹏. 碳减排约束条件下的内生经济增长机制研究[J]. 经济理论与经济管理, 2010 (11) : 33-39.
- [10]杨子晖. 经济增长、能源消费与二氧化碳排放的动态关系研究 m. 世界经济, 2011 (6) : 100-125.
- [11]陆旸. 中国的绿色政策与就业: 存在双重红利吗? [J]. 经济研究, 2011 (7) : 42-54.
- [12]Bezdek R H, Wendling R M, Dipema P. Environmental protection, the economy, and jobs: National and regional analyses [J]. Journal of Environmental Management, 2008, 86(1): 63-79.

- [13]解振华. 2007 中国节能减排（政策篇）[M]. 北京. •中国发展出版社, 2008.
- [14]刘再起, 陈春. 低碳经济与产业结构调整研究[J]. 国外社会科学, 2010 (3) : 21-27.
- [15]张友国. 经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响[J]. 经济研究, 2010 (4) : 120-133.
- [16]牛鸿蕾, 江可申. 产业结构调整的低碳效应测度—基于 NSGA-II 遗传算法[J]. 产业经济研究, 2012 (1) : 62-69.
- [17]王剑芳, 赵光洲, 孙立新. 云南省发展低碳经济的路径研究[J]. 生态经济, 2014 (1) : 57-61.
- [18]潘冬青, 尹忠明. 对开放条件下产业升级内涵的再认识[J]. 管理世界, 2013 (5) : 178-179.
- [19]陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J]. 经济研究, 2009 (4) : 41-55