

低碳导向下制造业多目标规划模型分析及启示

吕红^{1,2}, 李廉水^{1,2}

(1. 东南大学经济管理学院, 江苏南京 210096; 2. 南京信息工程大学中国制造业发展研究院, 江苏南京 210044)

摘要:基于1995—2014年中国、美国和日本制造业产业数据,建立涵盖经济、能源、科技和碳排放因素的双目标产业结构规划模型,运用序贯算法给出优化后制造业产值和碳排放,并进行中美日制造业结构对比分析。结果表明,优化产业结构既能保证经济效益增长,也能对碳减排产生正向效应。

关键词:产业结构;多目标规划;碳排放;国际比较

中图分类号:F124

文献标志码:A

文章编号:1671-4970(2017)02-0026-07

一、引言

经过改革开放以来的快速发展,中国制造业产值在2010年占世界制造业产值的比重已达到19.8%,首次超过美国成为世界头号制造业大国;同时,中国制造业在1995—2014年间能源消费年均增长8.3%,2014年制造业能源消费占工业能源消费总量约82.87%、占能源消费总量约57.55%。数据表明,中国经济发展消耗了大量能源、排放了很多温室气体,目前“高碳经济”特征突出的“发展排放”已成为中国可持续发展的一大制约。2009年9月,我国在联合国气候变化峰会上承诺,中国将进一步把应对气候变化纳入经济社会发展规划,加强节能、提高能效工作,争取到2020年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年有显著下降。《国家应对气候变化规划(2014—2020年)》明确指出,到2020年我国实现单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%,这一承诺无疑为我国未来发展敲定了经济发展方向——“低能耗、低污染、低排放”为基础的低碳经济。中国经济的主体是工业,而工业大多数是制造业,周济院士认为:“中国制造2025”战略的实施、供给侧结构性改革的推进,就是在经济新常态下,形成中国经济增长新动力,形成经济发展新优势,推进供给侧结构性改革,重点在制造业,出路也在制造业。推进供给侧结构性改革,就是解决

问题导向,通过提高工业供给水平,可以采用更先进的装备和工艺提高资源和能源利用效率、减少污染物和二氧化碳排放、治理既有的环境生态问题;更为重要的是,通过优化供给结构,减少对资源、能源的消耗,减轻对环境生态和减排的压力^[1-2]。在目前工业技术水平下,调整制造业内部产业结构,是否能实现供给侧改革的目标成为值得研究的问题。

围绕产业结构的优化升级,很多学者在理论和实证方面做了深入研究。从文献观点看,学者整体支持产业结构的优化升级能促进经济的持续增长这个观点。Kuznets用50个国家的经验数据发现,制造业部门增加伴随人均国民收入增长^[3];David实证分析不同产业结构会导致不同经济增长结果^[4];吕铁等认为,产业结构变动就是资源在各部门之间的再配置,其能促进经济增长方式从粗放型向集约型转变^[5];周英章等认为产业结构的变动是影响我国经济增长的重要原因^[6];王玉玲指出改革开放以来,中国经济快速增长的主要原因之一就是产业结构演变效应以及要素重置效率的提高^[7]。在产业结构升级与科技创新方面,多数学者基于历年的数据、运用经济学实证分析工具,给出直观见解。周叔莲等研究科技创新与产业结构优化升级之间的互动关系^[8];闫海洲量化分析科技创新对于产业结构高级化的正向作用^[9];周孝坤等发现科技投入与产业结构升级间的作用是双向的^[10];陈皓等认为技术进

收稿日期:2016-11-28

基金项目:国家自然科学基金项目(71173116);中国制造业研究院开放课题(SK20130090-19)

作者简介:吕红(1976—),女,江苏连云港人,博士研究生,从事制造业发展和创新管理研究。

步可以促进产业结构升级、实现经济快速增长^[11-12]。学者对产业结构升级与碳减排的关联效应也进行多方面研究。Lata 通过 9 个发展中国家实证发现产业结构变动提高了 CO₂ 排放量^[13]；Liu 等通过美国、英国、日本、德国和中国工业数据，研究发现产值结构比重对碳排放影响巨大^[14]；田银华论证了虽然产业结构调整是实现污染减排的有效途径，但产业只有在利润大于成本时才会主动进行污染减排^[15]；胡颖认为科技支出对产业结构高级化和合理化均存在正向效应，有助于我国产业结构升级^[16]。以低碳经济发展导向，学者们深入分析我国产业结构调整对策，其中 Zillman 站在发展中国家立场研究低碳经济，指出中国和印度两大发展中国家的能源消费对未来世界的影响，批评西方发达国家对化石燃料的过度依赖^[17]；Foxon 建议发展和实现低碳经济必须从经济、制度及管理层面进行协同创新^[18]；李宏岳等指明我国产业结构的调整路径是构建节能降耗型产业体系，大力发展新兴低碳产业^[19]；王修华等认为提高第三产业比重是实现产业结构升级和推进低碳经济发展的重要途径^[20]；杨浩昌等认为中国制造业低碳经济发展水平存在明显行业差异，应采用针对性的低碳改造策略^[21]；刘美平提出产业结构升级低碳化的策略，将低碳能源融合到能源工业结构调整中，并将低碳技术与低碳工艺融合到传统工业体系之中，促使企业减碳^[22]。

以上研究表明，影响碳排放的重要因素有产业结构、科技创新和能源消耗等，然而现有研究存在以下不足：第一，缺乏针对制造业内部产业结构的研究。已有研究主要围绕总体经济和三次产业展开，研究结论也都是三次产业比例变动对碳排放的影响，对于占工业碳排放接近三分之二制造业的内部产业结构研究太少，而这部分对于产业结构优化是更为微观的；第二，产业结构低碳化的测度缺乏科学方法，造成影响变量之间的量化分析可信度不高；第三，产业结构评价仅局限于产业比重与碳排放的关系，未考虑环境约束和科技投入对产业结构低碳化与碳减排的驱动问题。笔者试图探索以上问题，选取制造业内部结构作为研究对象，建立兼顾经济增长、节能降耗和供需平衡的多目标优化模型，依据中国、美国、日本制造业投入产出表、科技投入、能源消耗及碳排放数据，实证研究环境约束和科技投入对制造业结构低碳化与碳减排的驱动作用，并为制造业低碳化转型升级发展提供决策参考。

二、低碳导向下的产业结构演化机制

结合国内外产业结构升级领域丰富深入的理论

探索和实证研究，可得出低碳导向的产业结构演化机制(图 1)：经济增长和产业结构变动密切关联，产业结构变动是影响经济增长的重要原因，经济增长为产业发展提供物质基础；低碳经济的实质是提高资源使用效率，其核心问题是技术创新；节能降耗、碳减排、环境保护的约束和技术创新导致产业结构变动，即在资源环境约束和科技创新推动下产业结构升级的主要方式是发展低碳经济，同时在产业政策和能源政策等管理策略保证下，最终实现经济可持续发展。

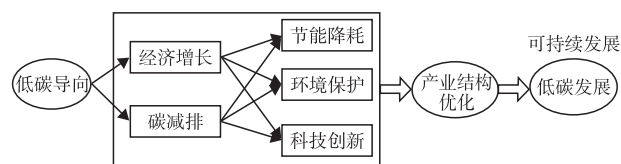


图 1 低碳导向下的产业结构演化机制

此次研究主题基于低碳经济的发展导向，提出制造业结构优化的方向约束，主要体现在 3 个方面：第一，环境约束方面要求提高资源使用效率，努力降低单位产值排放量并控制排放总量；第二，科技创新驱动是实现产业结构优化并走上低碳经济轨道的关键，即通过技术轨道变迁实现经济轨道变迁；第三，经济的适度增长是实现产业结构优化的物质基础，由高碳经济到低碳经济转换的轨道调整必须在动态优化中实现。因此，以发展低碳经济为导向的产业结构优化的目标设置为产业增加值和碳排放，影响因素设置为产业供给约束、科技投入、能源消耗和碳排放。

三、多目标规划模型

投入产出模型是研究产业结构问题最基本、最实用的方法。然而，投入产出表通常只有一个经济目标，即国内生产总值(GDP)最大，显然仅仅用单目标方法研究低碳导向下的产业结构问题是不合适的。笔者将投入产出模型和数学规划方法结合，不仅考虑经济目标，而且考虑资源环境目标，具体做法是考虑多目标规划模型的约束条件中加入投入产出平衡方程，将二者结合起来研究制造业结构优化规律。

1. 目标函数

制造业结构优化目标的选取是由政府或决策者根据当时基本国情、结合本国和国际实际情况做出的，当前我国制造业发展寻求环境保护和经济增长并存的发展道路，因此将碳减排和经济增长设计为目标函数，而能源消耗，科技创新和环境保护等因素

设计为规划模型的约束条件。

(1) 经济增长目标

对制造业国家来说,促使经济增长、提高人民生活水平是重中之重,进行制造业结构优化绝不是无视经济发展,相反产业升级优化正是要达到经济与环境的协调发展,所以制造业结构优化第一个目标即为经济增长。考虑到经济总产出数据不能很好地反映生产效益以及重复计算等缺点,通常以产业增加值数据为指标反映经济发展规模,并设定其值最大化为优化目标之一,即

$$\text{Max } f_1(x) = \sum_{i=1}^n v_i x_i \quad (1)$$

式中, x_i 为第 i 个部门的产出; v_i 为第 i 个部门的产业增加值系数,即增加值在总产出中所占的比重。

(2) CO₂ 减排目标

寻求恰当的碳减排路径是制造业结构优化、低碳化发展的最终目标,因而取最小化 CO₂ 排放量为另一目标函数:

$$\text{Min } f_2(x) = \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad (2)$$

式中, x_i 为第 i 个部门的产出; c_i 为第 i 个部门的 CO₂ 排放系数,即第 i 个部门 CO₂ 排放量在总产出中所占比重。

2. 约束条件

(1) 投入产出均衡约束

经济系统是各种关系连结在一起的一个整体,每个行业都不可能脱离别的行业而存在,同时每个行业又都是别的行业生存和发展的基础,投入产出平衡约束在投入产出表的基础上描述各行业内部联系,因此该约束是进行制造业结构优化的基础。列平衡方程是指每个部门的总投入必须等于中间投入与该部门初始投入或增加值之和,且最优解不应低于投入产出表当年年份 Y_0 时的增加值数据,即

$$Z = (I - H^T)X \geq Z_{Y_0} \quad (3)$$

式中, Z 为各部门增加值向量; I 为单位矩阵; H 为中间投入系数矩阵; X 为 n 个部门的产出矩阵; Z_{Y_0} 为各部门投入产出表当年增加值向量。

(2) 碳排放约束

此约束要求 CO₂ 排放量不得超过预计最高数值,取投入产出表当年 CO₂ 排放量为碳排放量上限值作为规划模型边界约束,是模型现实意义的要求。

$$\sum_{i=1}^n c_i x_i \leq C_{Y_0} \quad (4)$$

式中, x_i 为第 i 个部门的产出; c_i 为第 i 个部门的 CO₂ 排放系数; C_{Y_0} 为对应投入产出表当年 CO₂ 排放量。

(3) 能源消耗约束

制造业生产过度依赖化石能源消费是制造业碳排放的直接原因,因此在碳减排过程中能源消耗不可忽视,因此增加此约束,要求能源消耗量不得超过当年能量消耗总量。

$$\sum_{i=1}^n r_i x_i \leq R_{Y_0} \quad (5)$$

式中, x_i 为第 i 个部门的产出; r_i 为第 i 个部门的能耗系数; R_{Y_0} 为对应投入产出表当年能量消耗量,作为消耗量约束范围上限。

(4) 科技投入约束

工业现代化带来的资源枯竭、环境污染问题,没有科技的支撑,就难以有效解决。加快制造业科技创新是制造业国家走低碳发展路径的关键。选取制造业各产业科技研发投入作为科技创新指标,约束要求各产业科技投入不得小于当前投入,即

$$\sum_{i=1}^n e_i x_i \geq RD_{Y_0} \quad (6)$$

式中, x_i 为第 i 个部门产出; e_i 为第 i 个部门科技投入系数; RD_{Y_0} 为对应投入产出表当年科技投入总量,作为科技投入总量约束范围上限。

(5) 产业扩张约束

产业扩张约束是指由于短期内产业发展的惯性,其产值规模应在合理幅度内小幅度变动。

$$x_i^L \leq x_i \leq x_i^U \quad (7)$$

式中, x_i^L 、 x_i^U 分别表示第 i 个产业部门产出扩张上限和下限,其中 x_i^L 、 x_i^U 分别为这一年份中各行业总产出的 85% 及 115%。由此,得出整个优化制造业结构的多目标模型为

$$\begin{aligned} \text{Max } f_1(x) &= \sum_{i=1}^n v_i x_i \\ \text{Min } f_2(x) &= \sum_{i=1}^n c_i x_i \\ \text{s. t. } Z &= (I - H^T)X \geq Z_{Y_0} \\ \sum_{i=1}^n c_i x_i &\leq C_{Y_0} \\ \sum_{i=1}^n r_i x_i &\leq R_{Y_0} \\ \sum_{i=1}^n e_i x_i &\leq RD_{Y_0} \\ x_i^L &\leq x_i \leq x_i^U \end{aligned} \quad (8)$$

四、多目标规划模型的实证分析

1. 数据来源

中国数据主要引自国家统计局出版的《中国统

计年鉴》(2015)以及《中国科技统计年鉴》(2015),美国和日本制造业产业数据主要来自 OECD《结构分析数据库 2012》和《主要科学与技术指标数据库 2012》以及 GTAP 6.0 免费数据库(美国、日本制造业分行业二氧化碳数据来自于此数据库)。

2. 制造业产业分类说明

规划模型的约束条件需要收集经济投入产出数据,考虑数据可得性和可比性,中国选取 2007 年投入产出表、美国和日本选取 2005 年投入产出表;美国、日本制造业分行业能源及二氧化碳最新数据为 2004 年。由于不同数据库中制造业产业分类不同,因此将中国国民经济行业分类标准(GB/T4754-2002)的制造业产业以及美国和日本投入产出数据中的制造业产业进行比较,最终合并为 14 个产业进行研究。此外,将中国 2003 年后增加的废弃资源和废旧材料回收加工业相关数据并入其他制造业研究。

3. 中、美、日制造业的二氧化碳排放量

从表 1 可知,中国、美国和日本制造业分行业二氧化碳排放存在明显的差异:中国在金属(除机械设备)制造业的二氧化碳排放量高达 391 540. 2Gg,该行业二氧化碳排放量占中国制造业全部排放量的三分之一以上,是美国和日本在此产业上的排放量的 5.78 和 8.67 倍;化学原料、化学品、橡胶及塑料制造业、其他非金属矿物制造业方面,中国碳排放高于美国,而美国高于日本;在焦炭、精炼石油产品及核燃料加工业上,美国碳排放最高,是中国此行业碳排放的 2 倍、日本的 15 倍,原因在于美国的能源结构过度依赖化石能源且消耗总量巨大;美国在食品、饮品及烟草制造业、木材和软木制品、纸制品印刷业

和出版、基本金属以及电气机械及通信设备制造业上,也远远超出中国和美国排放量的总和;日本制造业分行业碳排放量,按照日本制造业经济总量仅为美国和中国的一半来分析,碳排放数量远远低于美国和中国,这说明日本制造业重视能源技术、注重制造业产业节能降耗,因此表现出制造业能源效率的高效。

4. 优化结果

通过制造业结构多目标规划模型,分别计算中、美、日制造业规划模型,寻求更加优化的制造业产业比例,同时达到经济增长和碳排放减少的目标。在美、日和中制造业总产值、增加值、研发投入经费、能源消耗量以及碳排放量数据基础上,运用多目标规划序贯算法和 Matlab 软件编程计算多目标规划模型,得到最优解,即优化后的 14 个制造业产业产值(表 2~表 4)。

(1) 中国制造业结构优化结果

基于中国 2007 年投入产出表,制造业结构优化结果显示有纸制品印刷和出版、焦炭石油及核燃料、化学品橡胶及塑料、其他非金属矿物、基本金属、金属除机械设备、机械及设备共 7 个制造业部门产值按一定比例减少,其中焦炭石油及核燃料下调总产值 15%,其余产业总产出按一定比例增加。这样制造业结构调整将引起优化模型的一级优先级目标,即中国制造业总产出 GDP 上升至按购买力指数换算的 44 438.7 亿美元,增加了 830.1 亿美元,总产出上升 1.9%;同时二级优先级目标,即二氧化碳排放量将减少 109 683Gg,制造业结构优化后,经济继续保持小幅增长且二氧化碳排放量也降低,达到经济效益和环境效益的统一。

表 1 中国、日本、美国制造业二氧化碳排放量 Gg

分行业	中国 2007 年	美国 2005 年	日本 2005 年
食品饮料及烟草	34 207. 39	70 456. 6	10 730. 13
纺织品皮革及鞋类	48 914. 58	12 049. 38	695. 84
木材和软木制品	5 731. 106	12 106. 24	134. 95
纸制品印刷和出版	25 462. 43	73 056. 72	13 773. 29
焦炭石油及核燃料	86 224. 71	185 104. 83	11 712. 21
化学品橡胶及塑料	212 615. 5	174 203. 81	66 429. 39
其他非金属矿物	148 215. 1	76 346. 39	22 573. 83
基本金属	18 293. 98	86 319. 84	48 205. 1
金属除机械设备	391 540. 2	67 709. 4	45 163. 02
机械及设备	27 118. 46	18 610. 54	3 042. 08
办公用机械制造	1 673. 152	6 916. 49	864. 38
电气机械及通信设备	22 778. 98	119 645. 8	5 090. 84
交通运输设备	15 824. 98	17 766. 27	356. 86
其他制造业	8 489. 145	1 861. 4	2 739. 89

表 2 中国制造业结构多目标规划问题的优化结果

中国 2007 年	一级目标:GDP/平价百万美元			二级目标:CO ₂ 排放/Gg		
	优化前	优化后	差值	优化前	优化后	差值
食品饮料及烟草	432 341.5	501 030	68 688.53	34 207.39	39 642.11	5 434.722
纺织品皮革及鞋类	419 829.1	472 800	52 970.93	48 914.58	55 086.26	6 171.681
木材和软木制品	46 940.53	54 200	7 259.467	5 731.106	6 617.435	886.329 3
纸制品印刷和出版	112 573.6	101 390	- 11 183.6	25 462.43	22 932.87	- 2 529.56
焦炭石油及核燃料	238 011.7	202 310	- 35 701.7	86 224.71	73 291.01	- 12 933.7
化学品橡胶及塑料	566 698.9	499 340	- 67 358.9	212 615.5	187 343.6	- 25 271.9
其他非金属矿物	207 459.2	178 680	- 28 779.2	148 215.1	127 654.4	- 20 560.7
基本金属	152 627.7	130 120	- 22 507.7	18 293.98	15 596.2	- 2 697.78
金属除机械设备	689 798.5	587 760	- 102 039	391 540.2	333 621.6	- 57 918.6
机械及设备	386 766.7	338 910	- 47 856.7	27 118.46	23 762.95	- 3 355.51
办公用机械制造	57 439.87	66 310	8 870.133	1 673.152	1 931.528	258.375 9
电气机械及通信设备	643 237.9	846 760	203 522.1	22 778.98	22 874.12	95.145 86
交通运输设备	361 965.3	417 420	55 454.67	15 824.98	18 249.43	2 424.455
其他制造业	45 169.47	46 840	1 670.533	8 489.145	8 803.104	313.959 9
合计	4 360 860	4 443 870	83 010	1 047 089.713	937 406.6	- 109 683

表 3 美国制造业结构多目标规划问题的优化结果

美国 2005 年	一级目标:GDP/平价百万美元			二级目标:CO ₂ 排放/Gg		
	优化前	优化后	差值	优化前	优化后	差值
食品饮料及烟草	616 544	720 500	103 956	70 456.6	81 022.21	10 565.61
纺织品皮革及鞋类	111 315	128 000	16 685	12 049.38	13 855.46	1 806.08
木材和软木制品	105 179	121 000	15 821	12 106.24	13 927.26	1 821.02
纸制品印刷和出版	249 939	287 400	37 461	73 056.72	84 006.5	10 949.78
焦炭石油及核燃料	320 648	272 600	- 48 048	185 104.8	157 367.5	- 27 737.3
化学品橡胶及塑料	547 476	575 900	28 424	174 203.8	183 248.2	9 044.39
其他非金属矿物	101 305	86 100	- 15 205	76 346.39	64 887.46	- 11 458.9
基本金属	180 730	153 600	- 27 130	86 319.84	73 362.16	- 12 957.7
金属除机械设备	257 568	296 200	38 632	67 709.4	77 864.97	10 155.57
机械及设备	260 598	289 700	29 102	18 610.54	20 688.85	2 078.31
办公用机械制造	435 288.2	500 600	65 311.77	6 916.49	7 954.258	1 037.768
电气机械及通信设备	409 483	348 066	- 61 417	119 645.8	101 698.9	- 17 946.9
交通运输设备	650 749	748 400	97 651	17 766.27	20 432.27	2 666
其他制造业	91 104.86	104 800	13 695.14	1 861.4	2 140.617	279.217
合计	4 337 927	4 632 866	294 938.9	922 153.7	902 456.6	- 19 697.1

表 4 日本制造业结构多目标规划问题的优化结果

日本 2005 年	一级目标:GDP/平价百万美元			二级目标:CO ₂ 排放/Gg		
	优化前	优化后	差值	优化前	优化后	差值
食品饮料及烟草	310 193.64	316 720	6 526.36	10 730.13	10 955.89	225.758
纺织品皮革及鞋类	48 542.727 94	56 970	7 427.272	695.84	800.16	104.317 9
木材和软木制品	23 531.673 48	23 670	138.326 5	134.95	135.74	0.793 271
纸制品印刷和出版	171 290.368 2	176 980	5 689.632	13 773.29	14 230.79	457.497 7

续上表

日本 2005 年	一级目标:GDP/平价百万美元			二级目标:CO ₂ 排放/Gg		
	优化前	优化后	差值	优化前	优化后	差值
焦炭石油及核燃料	139 276.04	118 380	-20 896	11 712.21	9 504.89	-2 207.32
化学品橡胶及塑料	509 806.96	540 340	30 533.04	66 429.39	70 407.94	3 978.548
其他非金属矿物	64 575.72	54 890	-9 685.72	22 573.83	19 187.98	-3 385.85
基本金属	252 795.76	256 030	3 234.24	48 205.10	48 821.83	616.730 5
金属除机械设备	104 655.52	98 420	-6 235.52	45 163.02	42 472.15	-2 690.87
机械及设备	262 200	301 530	39 330	3 042.08	3 498.39	456.312
办公用机械制造	60 910.6	70 050	9 139.4	864.38	994.08	129.7
电气机械及通信设备	358 739.28	412 550	53 810.72	5 090.84	5 854.47	763.624 9
交通运输设备	449 016.12	516 370	67 353.88	356.86	410.39	53.530 16
其他制造业	58 801.404 4	67 620	8 818.596	2 739.89	3 150.80	410.908 2
合计	2 814 335.814	3 010 520	195 184.2	231 511.81	230 425.50	-1 086.31

表 5 中美日制造业优化结果比较

制造业	一级目标:GDP/平价百万美元			二级目标:CO ₂ 排放/Gg		
	优化前	优化后	相对变化率/%	优化前	优化后	相对变化率/%
中国 2007 年	4 360 860	4 443 870	1.90	1 047 089.7	937 406.6	-10.48
美国 2005 年	4 337 927	4 632 866	6.80	922 153.7	902 456.6	-2.14
日本 2005 年	2 814 335.81	3 010 520	6.94	231 511.81	230 425.5	-0.47

(2)美国制造业结构优化结果

从美国制造业结构优化结果(表 3)可以看出,和中国制造业大范围结构调整方案相比,美国仅有焦炭石油及核燃料、其他非金属矿物、基本金属和电气机械及通信设备 4 个制造业部门产值需要调整,且其余产业总产出按一定比例增加。优化调整后,美国制造业总产出上升 6.80%、二氧化碳排放量将减少 196 971Gg。通过结构优化,美国经济得到较大幅度增长、二氧化碳排放量下降 2.14%。在产业实践中,美国制造业需进一步均衡经济增长和碳排放两个目标的权重,寻求更为合理的产业调整方向。

(3)日本制造业结构优化结果

根据日本 2005 年投入产出表,计算日本制造业结构优化方案(表 4)。从优化结果中可看出,焦炭石油及核燃料、其他非金属矿物 2 个制造业的产值需下调 15%,金属除机械设备制造业下调 5.96%,其余产业总产出按一定比例增加。该项结构调整将引起优化模型的一级优先级目标,即日本制造业总产出 GDP 上升 6.94%,二氧化碳排放量将减少 452.2Gg。经多目标规划模型的产业结构调整模拟,调整后的日本制造业生产总值得到较大幅度增长、二氧化碳排放量略有下降,这说明日本制造业在各行各业中低碳化程度较高且较均衡。

通过中国、美国和日本制造业结构比较(表 5)可知,优化前后的中、美和日制造业生产总值得明显增加、二氧化碳排放量有所降低,其二氧化碳排放量相

对变化率分别为 -10.48%、-2.14% 和 -4.7%。可见,通过制造业结构调整,实现了保持经济持续增长而碳排放降低的目的、推进了制造业的低碳发展、充分验证了制造业结构优化对碳减排具有明显正向效应,是实现工业供给侧结构改革目标的重要途径。

五、结 语

笔者构建考虑经济、能源和科技的制造业产业结构线性规划模型,包括投入产出均衡方程、能源消耗约束、科技创新约束和碳排放约束。从优化结果来看,多目标方案在保持经济持续增长的同时,实现了能源消耗的降低,优化结果较为理想,说明制造业结构优化对碳减排具有明显正向效应,模型有一定的理论意义。依据上述实证分析结论,提出以下 3 点建议。

第一,完善市场公平竞争和资源配置效率的经济运行机制。我国经济发展已进入新常态,工业生产能力过剩矛盾突出、资源环境约束趋紧,迫切要求提高资源配置效率。毋庸置疑,市场在资源配置中起决定性作用,因此首先需要解决公平竞争的市场机制问题,其次是提高资源配置效率问题。建议通过结构性减税、国企改革、金融体制改革等供给侧改革方法,促进产业集聚化、技术密集化和产品品牌化,增强企业自我积累和自我发展能力;通过加速折旧、创新成本抵扣、贴息贷款、政府采购新产品等政策,促进企业技术创新、提高企业的竞争力,让企业在竞争中实现优胜劣汰;鼓励企业间通过市场手段

重组,盘活存量资产;引导社会投资将财力更多地投向民生、环保等领域的相关制造业企业。

第二,推动自主创新技术进步机制的形成。制造业结构升级的驱动就是技术进步,政府要营造自主创新的政策环境,与企业一同加大科技创新投入力度、加大知识产权保护力度、积极培育创新人才、加快科技成果转化、鼓励企业加大技术改造及品牌建设等投资,促进科技与经济的紧密结合,推动地方经济转型。通过持续地投入科技经费,推动科技创新、推动制造业技术进步,尤其是能耗低技术密集型制造业。因此,以科技创新为引领,深化供给侧结构性改革,主动发展节能环保、新能源、新材料技术产业,经济发展先导产业向其他产业广泛渗透、融合,促进产业间技术创新、技术融合,这将对传统产业的结构水平提升带来巨大推动力。

第三,建立促进制造业微观企业转型升级机制。制造业结构性改革应推进制造业企业低碳化转型,提高工业微观层次的资源配置的效率。建议以制造业结构低碳化为导向,同时兼顾经济效益,运用经济、法律、环保等手段激励低碳创新产业,抑制高碳排放且产能过剩产业,逐步降低高能耗产业比重;通过提高产品技术及质量标准、出台更严格的能源产业政策、环境保护政策,促进制造业产业调整能源消费结构,鼓励大中小企业都参与到节能环保中,倒逼企业转型升级,让诸如焦炭石油及核燃料、其他非金属矿物和基本金属等传统产业主动改造能源消耗方式,提高能源的利用效率;让技术密集型产业保持低能耗状态,推动制造业企业形成节约资源、降低消耗、增加效益的机制。

参考文献:

- [1] 李晓华. 加快推进工业供给侧结构性改革[N]. 经济日报,2016-04-07(14).
- [2] 王青山. 从产业结构调整看供给侧改革[N]. 光明日报,2015-12-08(1).
- [3] KUZNETS S. Quantitative aspect of the economic growth of nations[J]. Economic Development and Cultural Change, 1957(5):3-111.
- [4] DAVID R. Keynesian macroeconomics without the LM Curve[J]. NBER working paper,2000,14(2):149-169.
- [5] 吕铁,周叔莲. 中国的产业结构升级与经济增长方式转变[J]. 管理世界,1999(1):113-125.
- [6] 周英章,蒋振声. 我国产业结构变动与实际经济增长关系实证研究[J]. 浙江大学学报(人文社会科学版),2002,32(3):146-152.
- [7] 王玉玲. 中国产业结构变动对经济增长的影响[J]. 商业研究,2013(12):21-26.
- [8] 周叔莲,王伟光. 科技创新与产业结构优化升级[J].

管理世界,2001(5):70-80.

- [9] 闫海洲. 长三角地区产业结构高级化及影响因素[J]. 财经科学,2010(12):50-57.
- [10] 周孝坤,冯钦,袁颖. 科技投入、金融深化与产业结构升级:基于中国1978—2008年数据的实证检验[J]. 社会科学家,2010(10):55-58.
- [11] 陈皓,郑垂勇. 论政府科技投入与区域产业结构的协整性[J]. 求索,2013(2):217-220.
- [12] 黄茂兴,李军军. 技术选择、产业结构升级与经济增长[J]. 经济研究,2009(7):143-151.
- [13] LATA C, HAN X L. Impacts of growth and structural change on CO₂ emissions of developing countries [J]. World Development,1997,25(3):395-407.
- [14] LIU C M, DUAN M S, ZHANG X L, et al. Research on the contributions of industrial restructuring to low carbon development[J]. Energy Procedia,2011,5(5):834-838.
- [15] 田银华,邝嫦娥. 产业结构调整与污染减排的演化博弈分析[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版),2015,17(6):78-82.
- [16] 胡颖,田新民. 供给侧改革对产业结构升级的空间效应研究:基于空间面板杜宾模型[J]. 工业技术经济,2016,35(7):28-35.
- [17] ZILLMAN D N. Beyond the carbon economy[M]. Oxford: Oxford University Press,2008.
- [18] FOXON T, JONATHAN K, CHRISTINE O. Innovation for a low carbon economy: economic, institutional and management approaches [M]. London: Edward Elgar Publishing,2008.
- [19] 李宏岳,陈然. 低碳经济与产业结构调整[J]. 经济问题探索,2011(1):66-71.
- [20] 王修华,王翔. 产业结构升级与低碳经济发展的耦合研究[J]. 软科学,2012,26(3):29-33.
- [21] 杨浩昌,李廉水,刘军. 中国制造业低碳经济发展水平及其行业差异:基于熵权的灰色关联投影法综合评价研究[J]. 世界经济与政治论坛,2014(2):147-162.
- [22] 刘美平. 我国低碳经济推进与产业结构升级之间的融合发展[J]. 当代财经,2010(10):86-91.

(责任编辑:高虹)

