

基于物质流核算和LMDI分解分析方法的中国物质资源消耗研究

王红

(中国社会科学院 数量经济与技术经济研究所, 北京 100732)

摘要：以考虑资源综合利用的物质流核算数据为基础，运用LMDI方法分析了中国2000—2017年国内资源消耗（DMC）的规模、强度、变化趋势和DMC变化的影响因素。研究发现，2000—2017年中国DMC变化呈现倒“U”型，自2015年起已出现绝对减物质化现象。GDP增长对中国物质消耗增长产生了重要的正向拉动力，但近年来拉动力有所减弱。物质消耗强度总体上产生了重要的负向拉动力，且负向拉动力随时间有所增加。产业结构长期来看并没有对物质消耗产生显著影响，但是近年来正在持续产生负向拉动的积极影响。近年来，建筑业和工业行业的节能降耗措施与产业结构调整对中国经济活动减物质化产生了重要的作用；电力行业则由于能源效率提高和行业结构调整空间日趋狭窄，对DMC有少量的正向拉动力；其他三个行业的物质消耗强度持续呈现减小趋势，但交通行业的行业比重有所增加，对物质消耗产生了少量的正向拉动力。

关键词：物质消耗；资源综合利用；物质流核算；LMDI分解分析

中图分类号：F062.2 **文献标识码：**A **文章编号：**1671-4407(2020)12-013-08

A LMDI Analysis of China's Material Consumption Based on MFA Data Considering Resource Recycling

WANG Hong

(Institute of Quantitative & Technical Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China)

Abstract: Based on the MFA data in consideration of resource recycling, this paper employs LMDI method to analyze the scale, intensity, trend and influencing factors of DMC in China between 2000-2017. It is found that DMC in China in the observed period shows an “inverted U” pattern, and has shown signs of absolute declination since 2015, indicating that China is recently showing an absolute dematerialization in addition to the sustaining relative dematerialization. LMDI analysis finds that GDP growth has an important positive effect on China's material consumption changes, but this effect has weakened in recent years. Intensity of material consumption has an important negative effect which has strengthened in recent years. Industrial structure in the long run has not shown prominent effects but in recent years it has started to show a prominent negative effect. For construction and industry sectors, resource reduction practices and structural adjustment have played an important role in realizing dematerialization in recent years; for power sector, narrowing space for energy efficiency improvement and structural adjustment has resulted in minimal positive effects for DMC changes. Material consumption intensities of the other three sectors have been decreasing of which the continuous reduction effect cannot be ignored. The GDP percentage of the transportation sector has increased resulting certain positive effect on material consumption.

Key words: material consumption; resource reuse; MFA; LMDI

物质资源指土地和水资源之外的有形的实物性资源，是经济增长的重要要素投入，也是为人类提供生态服务的物质基础。中国已充分认识到了绿色发展、建设生态文明建设的重要性，把节约资源和保护环境作为中国的基本国策。党的十九大也重点提出要推进资源全面节约和循环利用，强调降低“物耗”，通过物质资源的可

持续利用，促进经济社会的绿色发展和环境质量的生态和谐。这就需要我们深刻探讨中国经济活动的物质资源消耗情况及其变化趋势，深入研究引起资源消耗变化的驱动作用和影响机制，从而为中国实现物质资源的可持续利用提供重要的信息和建议。

物质流核算(material flow accounting, MFA)是一种实

基金项目：中国社会科学院登峰战略重点学科建设项目“环境技术经济学”（sjjzdxk2017-03）；中国社会科学院哲学社会科学创新工程项目“绿色发展战略与政策模拟研究”（JJ06_2015_SCX_00116）

作者简介：王红，博士，副研究员，研究方向为循环经济与技术经济。E-mail: 13121969516@126.com

物评估经济与资源的方法,可测量自环境系统进入经济系统的物质投入的数量、强度及其变化趋势,能够反映可耗竭物质资源的消耗情况并间接反映环境质量的变化^[1]。对数均值迪氏分解法(logarithmic mean Divisia index, LMDI)是能源、资源和环境研究常利用的一种分解分析方法(decomposition analysis),常用来分析某种结果驱动因素的作用大小和驱动机理。利用 LMDI 方法分析中国经济活动的物质流数据,两种方法的结合将使我们更深刻地了解中国资源消耗的演变趋势和驱动因素,为中国绿色发展和生态文明建设提供一定的指导作用。

1 文献综述

物质流分析研究始于 20 世纪五六十年代;进入 21 世纪以来,在全球、区域和国家等各级层面的相关研究日益深入,研究方法更加多样,研究对象更加丰富。物质流投入端研究的主要指标包括直接资源投入(direct material input, DMI)、国内资源消耗(domestic material consumption, DMC)和物质消耗强度(DMC/GDP)等众多指标。研究内容涵盖了物质投入消耗的演变趋势、地区差异^[2]、重要的经济社会影响因素,包括人口^[3]、经济增长^[4]、产业结构、技术水平、物质消耗强度^[5]、资源结构^[6]等。

中国的相关研究也有了一定的进展,学者们探讨了经济增长与资源消耗间的长期双向因果关系^[7]和脱钩现象^[8]、资源消耗规模与强度的变化趋势^[9],资源投入与产出规模、产业结构^[9]等众多经济社会因素的关系等。近年来,少数几位学者开始运用 LMDI 方法研究经济活动物质流的驱动因素。2017 年,戴铁军和王婉君^[10]运用 LMDI 方法研究了人口、经济发展、资源使用效率、再生资源占比和再生资源使用效率 5 个因素对中国 1992—2014 年 DMI 的影响,发现人口、经济发展是正向因素,资源使用效率和再生资源占比是负向因素,而再生资源使用效率的影响较不明显,总体上有正向作用。2018 年,戴铁军和刘瑞^[11]运用 LMDI 方法研究发现,1992—2015 年北京市人口增长和经济规模扩张导致了 DMC 的增加,物质利用效率的提高导致了 DMC 的降低,但人口和经济规模的正向效应之和大于强度的负向效应。任嘉敏等^[12]对 2003—2015 年黑龙江省的研究发现,经济规模效应推动了物质投入和输出总量的增长,人口效应表现为先正向拉动后负向拉动,技术进步效应则有抑制作用,而清洁生产效应不显著。相对于能源消费、碳排放、大气污染物排放等领域开展的大量 LMDI 研究,中国物质消耗领域的研究还较为初步,对中国总体情况的研究没有考

虑产业结构、资源结构等因素,也没有细分行业的研究。另外,近年来中国经济进入了新常态,GDP 增速放慢,必定对资源消耗产生了显著的影响,但是现有的研究并没有涉及近几年的变化。因此,有必要在时间跨度更近的可得数据的基础上,对中国物质消耗的驱动因素和驱动机制进一步开展分行业的更全面细致的研究,及时了解驱动中国资源消耗变化的深层次因素。

为此,本文以 2013 年《经济范围物质流核算方法指南》^[1]为框架,在考虑资源综合利用的情况下,核算了中国 2000—2017 年国内物质消耗(DMC);利用 LMDI 方法分析了中国 2000—2017 年期间及 4 个分阶段内一次资源消耗增量的影响因素,揭示产出规模、资源效率和产出结构对中国一次物质资源消耗变化产生的效应和影响机理,在此基础上提出促进中国资源节约的建议。

2 研究方法和数据来源

2.1 研究方法

本文应用物质流核算(MFA)方法计算中国 2000—2017 年分行业国内物质消耗(DMC)。该方法基于资源利用全周期理念和物质平衡原理,使用物理单位(t)统计与分析物质资源进出特定经济环境系统的流动情况。DMC 是物质流核算主要的消耗类指标之一,等于国内物质开采加进口的一次资源、再减去出口的一次资源。该指标体现了国内经济的物质利用和保留在一国领土内的物质资源的情况。根据资源利用全周期理念,在物质资源开采、生产和消费的过程中,一部分物质资源经过回收再利用后,变成“二次资源”进入经济活动中,这一部分即为资源综合利用量,能够减少一次资源的投入量。本核算充分考虑了中国资源综合利用对 DMC 的减量化影响。

MFA 的核算结果经分行业分解整理后,应用 LMDI 方法研究 DMC 变化的驱动因素的作用大小和驱动机理。

2.2 数据来源与核算框架

本文所用一次资源开采和进出口数据、分行业能源消费数据及资源综合利用数据,来源于各年度《中国统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、CEIC 数据库、2014 年度《中国资源综合利用年度报告》、2016—2018 年度《中国再生资源回收行业发展报告》、各年度《中国大宗工业固废综合利用产业发展报告》等。

在考虑数据可得性的情况下,DMC 以 2013 年欧盟框架^[1]为基础核算,主要物质类型包括非生物物质和生物物质。非生物物质资源包括燃料(原煤、石油、天然气)、矿物质(铁矿和多种有色金属矿)和非金属矿(原盐、磷矿石、石灰石、砂石、普通黏土、高岭土、萤石矿等)。

生物质资源主要是农产品(粮食、棉花、油料、麻类、甘蔗、甜菜、烟叶、蚕茧、茶叶、水果等)和林产品(木材、橡胶、松脂、生漆、油桐籽、油茶籽、核桃等)。

由于石灰石和砂石开采量没有统计数据,因此按照一般的生产工艺条件和原料品质,砂石和石灰石的投入量按产品原材料消耗的平均系数计算而得:石灰石开采量按照1吨水泥消耗1.33吨石灰石、1吨电石消耗约1.9吨石灰石计算^[13];砂石开采量按照1吨水泥消耗约6.243吨砂石的平均参数计算^[14]。该系数没有考虑资源综合利用的替代和减少因素,但实际上,粉煤灰和工业副产石膏大量用于制造水泥可减少石灰石用量;粉煤灰、煤矸石、尾矿、钢铁冶炼渣用于建材可减少砂石用量^[15],因此将这一部分废弃物综合利用量分别作为按比例计算的石灰石和砂石一次资源投入量的削减项,是合理也是非常重要的,能充分反映出资源综合利用对一次资源投入的直接减量化影响。其他废弃资源,如大宗农业废弃物(农作物秸秆)、大宗工业废弃物(废钢铁、废铜、废铝),以及废纸、废塑料等废弃物资源,也大量替代或减少了木材、原油、金属矿产等一次资源的投入量,不过,这几类物质资源的消耗量本身已是受到中国资源综合利用减量化影响后的数量。

在计算分行业DMC数据前,首先进行了行业划分。根据数据可得性,将行业划分为农林牧渔业(简称农业)、工业(不包括电力热力燃气及水的生产和供应业,简称工业)、电力热力燃气及水生产和供应业(简称电力行业)、建筑业、交通、运输、仓储和邮政业(简称交通业)和其他第三产业六大类。

分行业能源DMC的分解比较困难,本文用分行业能源消费量代替。该数据来源于《国家统计年鉴》按行业分能源消费中的煤炭、原油和天然气消费量(均为一次资源)。在不考虑前一年存量和当年未消耗量的情况下,假定能源的当年消费量等于开采量加进口量再减去出口量(能源DMC)。根据计算结果,2000—2017年中国能源消耗量与能源DMC的差值很小,占DMC比例的年均值仅为0.2%,差值在可接受范围内。

分解其他物质类型的分行业数据时,由于DMC主要统计投入经济系统的一次资源,因此,划分办法是生物质大部分归农业,小部分(木材、橡胶、松脂和生漆)归工业;金属与一部分非金属矿产(不包括砂石和黏土)归工业;砂石和黏土归建筑业。

分行业增加值为2000年不变价,计算时先按当年价计算六大行业增加值占当年GDP的比重(S_i),再按当年不变价GDP计算不变价行业增加值GDP_i。

DMC与GDP的比值(DMC/GDP)被称为经济活动的物质消耗强度,是衡量经济活动资源利用效率的一个重要指标。全国的物质消耗强度为全国DMC与全国GDP的比值;分行业物质消耗强度为分行业DMC与分行业增加值的比值,均为2000年不变价。DMC数值随时间下降,被称为经济活动的绝对减物质化;DMC/GDP数值随时间减少,被称为经济活动的相对减物质化。

2.3 统计学分析

2.3.1 DMC和DMC/GDP的演变趋势

从DMC规模来看,2000—2017年,中国的DMC从843 141万吨增加到了2 634 393万吨,增加了212.5%。具体变化已开始呈现倒“U”型趋势,在观察期内经多年持续上升后至2014年达到了峰值2 801 588万吨,自2015年起已出现绝对下降的现象,说明中国近年来已经在达到峰值后出现了绝对减物质化的现象。

从资源消耗强度来看,2000—2017年,中国的DMC/GDP经历了波动性的下降,从2000年的8.41吨/万元,下降到了2017年的5.93吨/万元,下降了29.5%,总体上实现了相对减物质化。分阶段来看,以SARS爆发的2002年和金融危机爆发的2008年为两个节点,2002—2008年、2008—2017年中国的DMC/GDP呈现了两波先增长再下降的波动式变化,自2013年以来即开始持续下降(图1)。

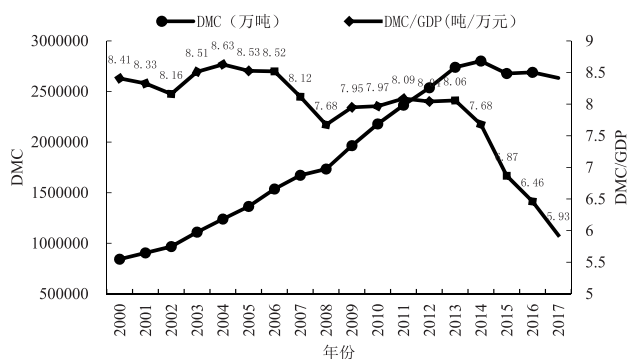


图1 2000—2017年中国DMC和DMC/GDP变化趋势

根据Voet等^[16]的研究,不同类型物质消耗的数据加总后形成的DMC,在特定物质投入结构、经济结构和时间范围内,与其产生的废弃物和污染物的环境影响是相互对应的,因此,DMC也能够体现资源消耗的实际环境压力。中国DMC总量和DMC/GDP的变化趋势,也说明中国经济活动的物质消耗对资源与环境的压力正在减小。

2.3.2 资源综合利用的减量化影响

中国经济活动总体上的相对减物质化和近年来出现的绝对减物质化现象,与多种因素密不可分。从资源综

合利用的角度来看,资源综合利用在很大程度上减少了 DMC 投入。例如,粉煤灰、煤矸石、尾矿、钢铁冶炼渣、工业副产石膏等废弃物综合利用,大量减少了非金属矿产资源的投入量,农作物秸秆、废钢铁、废铜、废铝、废纸、废塑料等废弃物资源综合利用,大量减少了木材、原油、金属矿产等一次资源的投入量。总体上,2000—2017 年,中国非全口径统计的资源综合利用总量从 7.48 亿吨增加到了 26.35 亿吨,增加了 2.52 倍;资源综合利用替代或减少一次资源总量从 14.81 亿吨增加到了 43.79 亿吨,增加了 1.96 倍;与 DMC 相比较,2000 年相当于 DMC 的 17.6%,2001 年为观察期峰值的 18.9%,该比值经过了波动式变化,但是从 2014 年起开始小幅增加,从 13.4% 增加到了 16.6% (见图 2)。

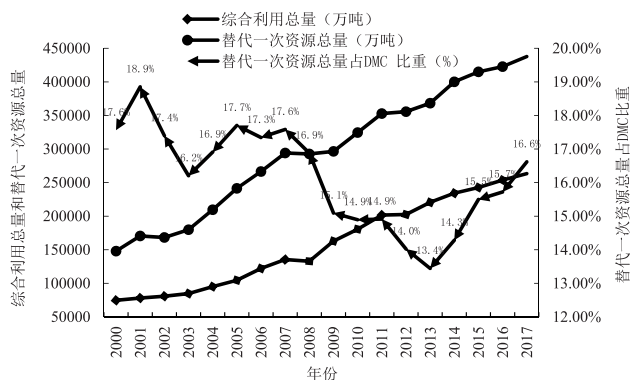


图2 2000—2017年中国废弃物资源综合利用情况

2.4 LMDI分析

不过,通过资源综合利用减少一次资源投入总量,只是影响中国 DMC 变化的技术层面的措施之一;在实践中,驱动 DMC 变化的影响因素是多重的、复杂的。在技术层面上,除了在各行业全生命周期的末端开展资源综合利用,还有在前端和中端节能降耗的工程与管理措施,通过物质消耗强度的总体变化影响物质的消耗量。另外,很多研究表明,经济活动的产出规模和产业结构的变化也是驱动 DMC 变化的主要影响因素。LMDI 为分析各种驱动因素的效应和驱动机制提供了一个有效的方法。

2.4.1 模型构建

常用的分解分析方法包括结构分解分析方法 (structural decomposition analysis) 和指数分解分析方法 (index decomposition analysis)。本文应用指数分解分析方法中的对数平均迪氏分解法 (LMDI)。在 1925 年 Divisia^[17] 提出的 Divisia 指数的基础上,Boyd 等^[18] 提出了 LMDI 方法,之后 Ang & Liu^[19-20] 等又从不同的角度对该方法进行了完善。LMDI 分解分析方法把影响目

标变量变动的各个因素都看作是时间 t 的连续可微函数,然后应用微积分理论对时间 t 求导,从而得出各个因素变动对目标变量的影响程度。LMDI 方法的分解形式有加法和乘法两种。与其他方法相比, LMDI 方法具有全分解、无残差、易使用、结果解释性强等优点,能源、资源和环境研究常用此方法分析某种结果的驱动因素的作用大小和驱动机理^[21]。

本文借鉴了 Ang^[22] 的分解方法,采用加法分解分析方法构建中国物质资源消耗变化的 LMDI 分析模型,对 2000—2017 年中国一次物质资源消耗变化趋势和影响因素进行分析,揭示产出规模、资源消耗强度和行业结构对中国一次物质资源消耗变化的影响机理。具体模型构建如下。

$$\begin{aligned} DMC &= \sum_i DMC_i \\ &= \sum_i GDP \frac{GDP_i}{GDP} \frac{DMC_i}{GDP_i} \\ &= \sum_i GDP * S_i * I_i \end{aligned} \quad (1)$$

$$S_i = \frac{GDP_i}{GDP}, I_i = \frac{DMC_i}{GDP_i} \quad (2)$$

式中: i 表示中国六大行业。国内生产总值 (GDP) 代表总体经济活动的产出水平, GDP_i 为行业 i 的增加值; DMC 为物质消耗总量, DMC_i 为行业 i 的物质消耗; S_i 为行业 i 增加值占 GDP 的比重; I_i 为行业 i 的物质消耗强度。

t 和 0 分别表示期初和期末。0 ~ t 时间段内国内物质消耗的变化为 ΔDMC_{tot} 。应用加法分解形式的 LMDI 模型将 ΔDMC_{tot} 分解为以下三个因素:

$$\Delta DMC_{tot} = DMC^t - DMC^0 = \Delta DMC_{act} + \Delta DMC_{int} + \Delta DMC_{str} \quad (3)$$

式中: ΔDMC_{act} 为 GDP 增长效应, ΔDMC_{int} 为物质消耗强度效应, ΔDMC_{str} 为行业结构效应。

三因素的效应分别通过以下表达式计算:

$$\Delta DMC_{act} = \sum_i w_i \ln \left(\frac{GDP^t}{GDP^0} \right) \quad (4)$$

$$\Delta DMC_{int} = \sum_i w_i \ln \left(\frac{I_i^t}{I_i^0} \right) \quad (5)$$

$$\Delta DMC_{str} = \sum_i w_i \ln \left(\frac{S_i^t}{S_i^0} \right) \quad (6)$$

式中: w_i 为权重系数,代表各因素的权重:

$$w_i = \frac{DMC_i^t - DMC_i^0}{\ln DMC_i^t - \ln DMC_i^0} \quad (7)$$

2.4.2 结果分析

(1) 总体分析。2000—2017 年中国物质消耗增量分

解结果见表1。在计算过程中,对零值的处理参考了Ang & Liu^[23]的方法,用极小值代替零值,如果连续有1个以上零值,假定极小值以极小增速增加。年度变化分析以外,根据中国DMC总量和DMC/GDP强度的变化趋势,将观察期分为三个阶段,分别为2000—2007年、2007—2014年和2014—2017年,计算2000—2017年逐年和三个阶段中国物质资源消耗变化量的分解结果。DMC年度增量、GDP增长效应(ΔDMC_{act})、物质消耗强度效应(ΔDMC_{int})和行业结构效应(ΔDMC_{str})详见表1。

表1 2000—2017年中国物质消耗变化量分解

单位:万吨

年份	ΔDMC_{int}	ΔDMC_{act}	ΔDMC_{int}	ΔDMC_{str}
2000—2001	61 667	69 944	3 949	-12 226
2001—2002	62 921	81 799	-13 326	-5 552
2002—2003	142 983	99 244	15 437	28 302
2003—2004	129 003	113 100	30 025	-14 122
2004—2005	124 872	140 388	-64 313	48 797
2005—2006	172 237	173 497	-16 435	15 175
2006—2007	135 922	213 377	-78 443	988
2007—2008	61 529	156 925	-48 638	-46 758
2008—2009	231 037	165 932	15 390	49 715
2009—2010	214 081	209 265	-47 209	52 025
2010—2011	186 488	152 731	36 638	-2 881
2011—2012	171 222	185 494	-16 770	2 498
2012—2013	202 911	197 247	17 186	-11 522
2013—2014	61 572	195 233	-112 044	-21 617
2014—2015	-123 051	182 927	-239 994	-65 984
2015—2016	11 467	174 941	-94 808	-68 666
2016—2017	-55 610	174 047	-186 963	-42 694
2000—2007	829 608	870 345	-96 722	55 985
2007—2014	1 128 841	1 249 542	-153 854	33 153
2014—2017	-167 195	536 074	-523 754	-179 515
2000—2017	1 791 253	2 331 144	-536 994	-2 897

GDP增长对中国物质消耗产生了重要的正向拉动作用,主导着物质消耗的增长。2000—2017年对中国物质消耗的正向拉动达2 331 144万吨。18年间GDP的拉动总体呈现现阶段稳定增加、中阶段上下波动、2012年以来缓慢下降的趋势。

物质消耗强度对中国物质消耗产生了重要的负向拉动。2000—2017年,中国万元GDP物质消耗强度从8.41吨下降到了5.93吨,降低了29.5%,对中国物质消耗增长的总体负向拉动达到了536 994万吨。逐年和分阶段来看,中国物质消耗强度呈现阶段性波动变化的趋势,因而对中国物质消耗产生的作用有所不同。受2002年SARS和2008年全球金融危机的影响,中国物质消耗强度在2003—2004年、2009—2011年有所上升,2013年比前一年有极小幅度的增加,说明在经济波动的情况下物质消耗仍有一定的刚性;除这几个年度外,中国物质消耗强度一直保持着下降趋势。受此波动影响,2013年以前物质消耗强度对中国物质消耗产生的拉动作用有6年为正向、7年为负向,负向累计拉动仅比正向累计高

166 509万吨;产生正向拉动的年份基本为2002年和2008年前后。自2013年以来,物质消耗强度产生的拉动作用连续4年为负向,累计负向拉动为633 809万吨。分阶段来看,2000—2007年、2007—2014年和2014—2017年三阶段拉动力皆为负向,年均负向拉动力分别为17 586万吨、22 207万吨和173 922万吨,第一、二阶段的年均负向拉动力较小,第三阶段负向拉动力大幅度增加,负向拉动力呈现逐渐增加至快速增加的趋势,说明中国正在进入消耗强度持续快速下降、对中国物质消耗产生明显减量化影响的阶段。

产业结构对中国物质消耗增长产生的拉动作用比较复杂。2000—2017年,中国六大行业比重发生了显著的变化,农业、工业、电力行业、交通行业分别减少了7.0、6.2、0.6和1.6个百分点,建筑业增加了1.1个百分点,“其他第三产业”增加了14.4个百分点。根据LMDI分析,总体上来看,2000—2017年,产业结构对中国物质消耗的增长产生了负的拉动作用,但仅为2 897万吨,说明长期来看中国的产业结构调整对资源消耗还没有产生显著的影响。分阶段来看,2000—2007年、2007—2014年和2014—2017年三个阶段,产业结构调整的作用从正向拉动力逐渐减小乃至负向。2012年以前,产业结构对中国物质消耗产生的拉动作用有5年为正向、7年为负向,但总体上正向的累计拉动比负向高115 961万吨,说明产业结构调整并没有产生积极的减物质化影响。在2012—2017年的近阶段,中国的产业结构发生了显著的变化,物质消耗强度较高的工业比重明显下降(减少了4.9个百分点),强度高的建筑业与电力产业和强度较高农业的比重均有所下降,物质消耗强度低的其他第三产业比重显著增加(增加了7.0个百分点),交通行业比重也有所增加。在这种情况下,产业结构对中国物质消耗产生的拉动作用已连续5年为负向,累计负向拉动为210 483万吨。这说明,近年来中国的产业结构调整对中国物质消耗正在产生持续的负向拉动的积极影响。

(2)分行业效应分析。为比较三大因素对六大行业物质消耗变化的影响,开展分行业效应分析。该分析主要基于两类指标,一是单位产出的物质消耗效应强度指标,即对产出规模、物质消耗强度、产业结构的物质消耗效应,分别计算基于行业产出 GDP_i 的效应强度,分别表示为 $\Delta DMC_{(act, i)}/GDP_i$, $\Delta DMC_{(int, i)}/GDP_i$ 和 $\Delta DMC_{(str, i)}/GDP_i$ (GDP_i 采用阶段末年的数值)。二是物质消耗效应的行业比重指标。首先对产出规模、物质消耗强度、产业结构的物质消耗效应,分别计算各行业效应与行业效应之和的比值,分别为 $\Delta DMC_{(act, i)}/\Delta DMC_{act}$ 、 $\Delta DMC_{(int, i)}/$

表2 2000—2017年三因素分行业单位产出的物质消耗效应

单位: 吨/万元

项目	阶段	农业	工业	电力行业	建筑业	交通行业	其他第一产业	总体
$\Delta DMC_{(act, i)}/GDP_i$	2000—2007	2.439	2.924	8.569	40.756	0.064	0.151	4.224
	2007—2014	1.843	3.078	10.326	26.772	0.053	0.072	3.425
	2014—2017	0.709	1.221	3.927	9.753	0.022	0.020	1.206
	2000—2017	3.817	4.761	17.805	43.920	0.116	0.116	5.246
$\Delta DMC_{(int, i)}/GDP_i$	2000—2007	0.210	0.626	-2.754	-10.534	-0.045	-0.090	-0.469
	2007—2014	-0.377	0.785	3.710	-10.461	0.031	-0.078	-0.422
	2014—2017	0.001	-0.991	-1.033	-12.192	-0.009	-0.030	-1.179
	2000—2017	-0.141	0.447	-0.935	-19.353	-0.020	-0.105	-1.208
$\Delta DMC_{(str, i)}/GDP_i$	2000—2007	-1.171	0.120	3.687	3.527	-0.011	0.017	0.272
	2007—2014	-0.525	-0.678	-8.089	8.059	-0.018	0.026	0.091
	2014—2017	-0.463	-0.450	-2.417	-2.566	0.002	0.010	-0.404
	2000—2017	-1.634	-0.540	-3.098	5.380	-0.024	0.030	-0.007

表3 2000—2017年物质消耗效应行业比重指标

指标	阶段	各效应的行业比重						各行业效应总计 / 万吨
		农业	工业	电力行业	建筑业	交通行业	其他第三产业	
产出规模效应	2000—2007	6.10%	28.63%	7.33%	56.67%	0.08%	1.19%	870 345
	2007—2014	4.82%	32.77%	6.97%	54.52%	0.07%	0.85%	1 249 542
	2014—2017	4.64%	34.34%	6.66%	53.54%	0.08%	0.74%	536 074
	2000—2017	5.72%	30.78%	6.95%	55.45%	0.10%	1.00%	2 331 144
物质消耗强度效应	2000—2007	-4.71%	-55.16%	21.21%	131.81%	0.52%	6.33%	-96 722
	2007—2014	8.02%	-67.91%	-20.33%	173.02%	-0.32%	7.52%	-153 854
	2014—2017	0.01%	28.51%	1.79%	68.51%	0.03%	1.15%	-523 754
	2000—2017	0.93%	-12.55%	1.58%	106.06%	0.07%	3.91%	-536 994
行业结构效应	2000—2007	-45.45%	18.30%	49.06%	76.25%	-0.23%	2.07%	55 985
	2007—2014	-51.78%	-271.89%	-205.68%	618.57%	-0.88%	11.66%	33 153
	2014—2017	9.03%	37.76%	12.24%	42.08%	-0.02%	-1.09%	-179 515
	2000—2017	1974.9%	2808.0%	972.6%	-5464.6%	16.51%	-207.41%	-2 897
总体效应	2000—2007	3.88%	37.70%	8.53%	49.23%	0.01%	0.65%	829 608
	2007—2014	2.73%	37.54%	4.44%	54.94%	0.09%	0.26%	1 128 841
	2014—2017	-5.17%	19.77%	-2.59%	88.10%	-0.18%	0.07%	-167 195
	2000—2017	3.99%	39.28%	6.99%	49.20%	0.08%	0.46%	1 791 253

ΔDMC_{int} 和 $\Delta DMC_{(str, i)}/\Delta DMC_{str}$, 简称各行业某因素效应比重。接着计算了各行业三大因素效应之和占所有行业三大效应之和的比重 $[\Delta DMC_{(act, i)} + \Delta DMC_{(int, i)} + \Delta DMC_{(str, i)}]/(\Delta DMC_{act} + \Delta DMC_{int} + \Delta DMC_{str})$, 简称为各行业总体效应比重。强度指标和行业比重指标没有明显的年度变化趋势, 因此计算了 2000—2017 年整个观察期和 2000—2017 年分阶段值, 以体现总体和阶段性变化趋势(见表 2、表 3)。

建筑业是物质消耗最大的行业, 每年消耗量占 DMC 总量的比重在 55% 左右; 三因素对建筑业资源消耗变化的影响也是最大的。与其他行业相比, 三因素对建筑行业的单位产出物质消耗效应相对最大(见表 2)。从物质消耗效应的行业比重来看, 各阶段产出规模的正向拉动力均占行业效应总和的 55% 左右; 物质消耗强度的负向拉动力在一、二阶段达到 132% 以上, 第三阶段占 68.5%; 结构效应的行业比重也很大; 三因素效应之和占三因素效应各行业总和的比重在各阶段均为 49% 以上, 带动了第一、二阶段 DMC 增量的一半左右, 以及第三阶段 DMC 减量的 88% (表 3)。总体上, 产出规模产生了持续的正向拉动力; 物质消耗强度产生了持续的负向拉动力且负向拉动力持续增加; 产业结构的效应

在前两个阶段为正向拉动力, 且第二阶段远远高于第一阶段, 但正向拉动力从第三阶段开始下降并向负向转变, 说明近年来建筑业物质消耗强度和行业增加值占比双双下降对中国物质消耗产生了显著的减量化影响。

工业是物质消耗的第二大行业, 各年度占 DMC 总量的比重在 30% 左右。对工业, 三因素的作用力从规模上低于建筑业、高于电力行业, 但单位产出的效应强度则低于建筑业和电力行业(表 2)。产出规模的正向拉动力占各行业规模总效应的 30% 左右; 物质消耗强度的效应占 28% ~ 68% 之间; 结构效应所占比重也很大, 在整个观察期甚至占到了总体负向拉动力 2 897 万吨的 2 808.0%; 三因素效应之和占六大行业三因素效应总和的比重各阶段在 20% ~ 38% 之间, 代表了第一、二阶段 DMC 增量的 38%, 以及第三阶段 DMC 减量的 20% (表 3)。就三因素效应的拉动力方向来说, 工业的产出规模产生了持续的正向拉动力; 工业行业物质消耗强度在观察期呈现倒“U”型的变化趋势, 在 2013 年达到了高峰后逐渐下降, 使得物质消耗强度在第一、二阶段产生了正向的拉动力, 且在第二阶段大幅增加, 但从第三阶段开始转变为负向拉动力且近年来负向拉动力有所增加。产业结构的效应在第一阶段为正向拉

动力,但是从第二阶段起就产生了显著的负向拉动力,且在第三阶段年均拉动力有所加大。这说明近年来工业物质消耗强度和行业比重双双下降,节能降耗措施和结构调整发挥了积极的作用。

电力行业是物质消耗第三大行业,各年度占DMC总量的比重在8%左右。三因素对电力行业的效应从规模上低于建筑业和工业,但其单位产出的效应强度低于建筑业但却高于工业。对电力行业,产出规模的正向拉动力占规模总效应的7%左右;物质消耗强度的效应在第二阶段为正向,在第一和第三阶段均为负向拉动,正负消减,2000—2017年的拉动力虽为负但是数值不大,不过第三阶段拉动力由正转负;结构效应仅在第一阶段为正向,在第二和第三阶段均为负向拉动,但近年来拉动力有所下降。总体上,电力行业三因素效应之和代表了第一阶段DMC增量的8.5%、第二阶段DMC增量的4.4%,对第三阶段DMC的减少反向贡献了2.6%的增量。在第三阶段,电力行业的消耗强度效应和行业结构效应均为负向拉动,但是行业结构效应的拉动力有所减弱,同时产业规模效应依然明显,因此,电力行业在第三阶段仍然保持了少量的正向拉动力。电力行业实施了多年的节能降耗措施,能源效率显著提高,今后能源提效的空间日趋狭窄,而电力需求仍将迅速增加,因此电力行业今后仍将面临很大的节能降耗和结构调整的挑战。

其他三个行业的物质消耗占比小,三因素效应的比重和单位产出效应强度也远远低于建筑业、工业和电力行业。三个行业的物质消耗强度基本呈现减小的趋势,产生了持续的减量化效应。产业结构的效应则比较复杂:农业比重有所下降,产生了一定的负向拉动力,但是由于农业的产出规模效应增加了物质消耗,总体效应是正向拉动的。“其他第三产业”的比重在观察期内大幅度增加,对物质消耗产生了较大的正向拉动作用,加上规模产出效应,总体效应也是正向增加的。交通行业在近阶段行业比重有显著增加,对物质消耗也产生了一定的正向拉动力。这三个行业物质消耗强度下降的负向拉动力都未能抵消行业结构或(和)产出规模的正向拉动力。

3 结论与建议

本文以考虑资源综合利用的物质流核算数据为基础,运用LMDI方法分析了中国2000—2017年国内资源消耗(DMC)的规模、强度、变化趋势和驱动因素。研究发现,2000—2017年中国DMC增加了212.5%,观察期内变化趋势呈现倒“U”型,经多年持续上升后至2014

年达到了峰值2 801 588万吨,自2015年起已呈现出绝对下降的现象,代表着中国经济活动的物质消耗所产生的资源与环境压力正逐渐减少。

资源综合利用能够替代和减少一次资源投入总量,不过这只是资源利用末端的技术节耗措施之一。LMDI分析发现,经济规模、物质消耗强度和产业结构是驱动中国DMC变化的主要影响因素。GDP增长产生了重要的正向拉动力,但是这一拉动力近年来有所减弱。物质消耗强度总体上产生了重要的负向拉动力,且随着时间推移负向拉动力有所增加。产业结构对中国物质消耗产生的拉动作用比较复杂,整个观察期总体上的负向拉动力较小,长期来看产业结构调整并没有对物质消耗产生显著的积极影响。近年来这种形势正在转变中,中国的产业结构调整对中国物质消耗正在持续产生负向拉动的积极影响。

分行业来看,建筑业、工业和电力行业是物质消耗比重位列前三的行业,三因素对这三个行业的影响,无论与其他行业相比还是从各行业单位产出的效应强度来看都高于其他行业。就物质消耗强度效应来说,对建筑业产生了持续的负向拉动力且拉动力近年有所增加;对工业行业仅在第三阶段开始从正向转变为负向拉动力;对电力行业,则是在第二阶段的增量效应抵消了第一和第三阶段的负向拉动,使得观察期内效应不明显。就产业结构效应来说,建筑业、工业和电力行业的结构调整效应在第一阶段均为正向拉动,但是从第二阶段起有了不同的变化趋势:对建筑业的正向结构拉动效应大幅度增加,在第三阶段才转变为负向拉动力且在近年大幅加大;对工业和电力行业产生了负向拉动力,但近年来工业的负向拉动力明显加大,而电力行业有所减弱。从三因素效应之和来说,建筑业和工业分别代表了第一、二阶段DMC增量的一半和三分之一以上、第三阶段DMC减量的88.1%和19.8%,说明近年来建筑业和工业节能降耗措施和结构调整使这两个行业的物质消耗模式产生了明显的变化,对中国经济活动减物质化产生了重要的作用。电力行业则有所不同,由于能源效率提升和行业结构调整空间日趋狭窄,该行业代表了第一阶段DMC增量的8.5%和第二阶段DMC增量的4.4%,对第三阶段DMC减量仍贡献了2.6%的正向拉动力。其他三个行业的物质消耗占比小,三因素的效应大小和单位产出效应强度均远远低于建筑业、工业和电力行业,但是这三个行业物质消耗强度下降的负向拉动力都未能抵消产出规模或(和)行业结构的正向拉动力。

简要说来,近年来中国GDP的正向拉动力有所下

降,六大行业物质消耗强度和产业结构调整总体上产生了积极的物质减量化作用。其中,建筑业和工业物质消耗强度下降和产业结构调整对中国近年来出现的物质减量化做出了显著的贡献,电力行业能源效率提高和产业结构调整空间的日趋狭窄,对该行业的节能减耗产生了较大的压力。今后要继续重点关注建筑业、工业和电力行业的资源节约与产业结构调整,但是也不能忽视其他行业产出规模和产业结构调整对DMC的正向拉动力以及资源降耗的物质减量化影响。未来,中国应继续促进各行业节能减耗和资源效率提高,升级产业结构,从而进一步促进中国经济活动的减物质化进程,为绿色发展和生态文明建设做出应有的贡献。■

参考文献:

- [1]Eurostat. Economy-wide material flow accounts (EW-MFA) [R]. Compilation Guide 2013. Luxembourg: EUROSTAT Office, 2013.
- [2]Schaffartzik A, Mayer A, Gingrich S, et al. The global metabolic transition: Regional patterns and trends of global material flows, 1950-2010 [J]. Global Environmental Change, 2014, 26: 87-97.
- [3]West J, Schandl H. Material use and material efficiency in Latin America and the Caribbean [J]. Ecological Economics, 2013, 94: 19-27.
- [4]Steinberger J K, Krausmann F, Eisenmenger N. Global patterns of materials use: A socioeconomic and geophysical analysis [J]. Ecological Economics, 2010, 69(5):1148-1158.
- [5]Pothén F, Schymura M. Bigger cakes with fewer ingredients? A comparison of material use of the world economy [J]. Ecological Economics, 2014, 109: 109-121.
- [6]Krausmann F, Fischer-Kowalski M, Schandl H, et al. The global socio-metabolic transition: Past and present metabolic profiles and their future trajectories [J]. Journal of Industrial Ecology, 2008, 12(5/6): 637-656.
- [7]王亚菲. 中国资源消耗与经济增长动态关系的检验与分析[J]. 资源科学, 2011 (1): 25-30.
- [8]梁涵玮, 倪玥琦, 董亮, 等. 经济增长与资源消费的脱钩关系——基于演化视角的中日韩美比较研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018 (5): 8-16.
- [9]王红. 基于物质流分析的中国减物质化趋势及循环经济成效评价[J]. 自然资源学报, 2015 (11): 1811-1822.
- [10]戴铁军, 王婉君. 基于物质流核算的我国直接物质投入与影响因素分析[J]. 现代化工, 2017 (8): 5-11.
- [11]戴铁军, 刘瑞. 北京市经济增长与物质消耗的脱钩分析及反弹效应研究[J]. 环境保护与循环经济, 2018 (9): 9-12.
- [12]任嘉敏, 马延吉, 郭付友. 基于物质流分析的黑龙江省物质代谢及减量化研究[J]. 生态与农村环境学报, 2019 (9): 1144-1153.
- [13]王红, 齐建国. 中国分地区经济活动物质流分析与比较研究[J]. 西部论坛, 2015 (5): 71-83.
- [14]朱兵, 江迪, 陈定江, 等. 基于物质流分析的中国水泥及水泥基材料行业资源消耗研究[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2014 (7): 839-845.
- [15]国家发展与改革委员会. 中国资源综合利用年度报告[R]. 北京: 国家发展与改革委员会, 2014.
- [16]Voet E V D, Oers L V, Moll S, et al. Policy review on decoupling: Development of indicators to assess decoupling of economic development and environmental pressure in the EU-25 and AC-3 countries [R]. Leiden: Universitair Grafisch Bedrijf, 2005: 26.
- [17]Divisia F. L'indice monétaire et la théorie de la monnaie [J]. Revue d' Economie Politique, 1925, 39: 980-1008.
- [18]Boyd G, McDonald J F, Ross M, et al. Separating the changing composition of US manufacturing production from energy efficiency improvements: A Divisia index approach [J]. The Energy Journal, 1987, 8(2): 77-96.
- [19]Ang B W, Liu F L. A new energy decomposition method: Perfect in decomposition and consistent in aggregation [J]. Energy, 2001, 26: 537-548.
- [20]Ang B W, Liu F L, Chew E P. Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis [J]. Energy Policy, 2003, 31(14): 1561-1566.
- [21]Ang B W. Decomposition analysis for policymaking in energy [J]. Energy Policy, 2004, 32(9): 1131-1139.
- [22]Ang B W. The LMDI approach to decomposition analysis: A practical guide[J]. Energy Policy, 2005, 33(7): 867-871.
- [23]Ang B W, Liu N. Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach [J]. Energy Policy, 2007, 35 (1): 238-246.

(责任编辑: 冯胜军)