

引用格式:王丽萍,刘明浩. 基于投入产出法的中国物流业碳排放测算及影响因素研究[J]. 资源科学, 2018, 40(1):195-206.
[Wang L P, Liu M H. Carbon emission measurement for China's logistics industry and its influence factors based on input-output method[J]. *Resources Science*, 2018, 40(1):195-206.] DOI :10.18402/resci.2018.01.18

基于投入产出法的中国物流业碳排放测算及影响因素研究

王丽萍,刘明浩

(河南理工大学财经学院,焦作454000)

摘要:随着中国对节能减排的高度重视,碳排放测算与分析显得愈发重要和迫切。本文对1997—2014年间中国物流业的直接能源消耗碳排放和基于投入产出表的隐含碳排放进行了测算,研究结果显示:前者大大低估了物流业的碳排放水平,2000年以来间接碳排放对物流业碳排放总量的贡献已经超过了直接能耗碳排放,2014年直接能耗碳排放占碳排放总量的比重不足40%。进一步的碳排放影响因素分解结果显示,经济规模对物流业碳排放的正向驱动效应最大,总贡献率为36.16%;其次,服务业经济发展带动中国物流业碳排放的增加,总贡献率为5.21%;再次,低碳技术的使用有利于抑制碳排放的增加,总贡献率为26.50%,但近两年低碳技术的进步迟缓;最后,行业效率提升对物流业碳排放的负向驱动效应明显,但这种作用效果不稳定,1997—2014年行业效率对物流业碳排放的总贡献率为21.72%。随着中国经济,尤其是制造业的持续快速发展,对物流业的服务需求还会继续扩张,由此导致的物流业间接碳排放增长态势不容忽视,因此,要想实现物流业低碳化发展不仅要加快清洁能源的推广使用、提高物流业的行业技术效率等方面采取措施,而且也要加快提高中国国民经济各部门的低碳化水平。

关键词: 物流业;碳排放;投入产出法;影响因素;中国

DOI :10.18402/resci.2018.01.18

1 引言

国际上系统地提出完整的碳排放核算体系的时间并不长。早在1992年,《联合国气候变化框架公约》(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)就提出要将大气中温室气体的浓度控制在一定范围内,但由于没有具体量化的减排指标,缺乏可操作性,直至政府间气候变化专门委员会(Intergovernment Panel on Climate Change, IPCC)温室气体排放清单的编制及算法的提出,才开启了温室气体排放核算体系的新时代^[1]。关于碳排放的测算思路最直观的做法就是实测法,即环境检测部门借助环境监测站采集排放气体样本,并测量其流速、流量、浓度,进而计算气体的排

放总量。显然,实测法的优点是精确度高,但缺点也非常明显,它要求样品要有代表性,并需要经常测定,而且测算成本较高。因此,实测法主要是用于锅炉、农林、森林等领域的碳排放研究,其他领域的应用很少。如吴晓蔚等利用U23多组分红外气体分析仪及TH880F烟尘分析仪对全国30台具有代表性的火力发电机组排放的CO₂和N₂O进行在线检测,以测算中国发电行业温室气体排放状况及排放因子^[2]。受实测法检测范围的限制,目前关于碳排放测算的思路主要是基于能源消耗的核算,根据《产品生命周期核算与报告标准》对温室气体核算范围的划分^[3],将其分为直接能耗测算法和完全能耗测算法。直接能耗法是指根据产品或服务在生

收稿日期:2017-05-23;修订日期:2017-07-26

基金项目:河南省高校科技创新人才支持计划(18HASTIT033);全国统计科学研究项目(2017LY09);河南理工大学人文社会科学研究决策咨询专项(SKJC2017-02)。

作者简介:王丽萍,女,山西昔阳人,博士,教授,博士生导师,主要从事环境经济研究。E-mail: lindsey18@hpu.edu.cn

产过程中直接消耗的能源测算其碳排放量,而完全能耗法则考虑了产品在包括其他关联行业在内的整个生产链过程中所消耗的能源。根据能源消耗结果,结合碳排放系数,就可以计算得出直接能耗的碳排放或完全能耗下的碳排放。其中:碳排放系数是指每一种能源燃烧或使用过程中单位能源所产生的碳排放数量。根据IPCC的假定,在一般使用过程中,可以认为某种能源的碳排放系数是不变的,并且都可以通过折煤系数转化为标准煤。综上所述,碳排放测算结果主要取决于估计的能源消耗量,并且直接能耗测算法较完全能耗测算法的估计值明显偏低,大量的实证研究也支持这一点。Lenzen利用投入产出表对澳大利亚居民需求造成的直接与间接温室气体排放进行了研究,认为居民对温室气体排放的贡献主要来自居民对能源的间接消费^[4];Machado等对巴西非能源类出口产品直接和间接二氧化碳排放量进行了测算,指出间接碳排放量比重较大^[5];温单辉在对碳关税对中国经济影响的研究中提出了直接能源消耗法、完全能耗法及混合计算法,分别采用三种方法对中国外贸碳排放量进行了比较,结果发现直接能源消耗法与完全消耗法碳排放量相差10倍^[6]。在间接碳排放测算方面,如何将整个产业链中的能源消耗估算准确,不同学者采用的方法不一,概括起来主要有投入产出表和生命周期法。徐盈之等从制造业部门最终需求出发,利用2007年中国投入产出模型分析了制造业的直接碳排放量和间接碳排放量^[7];韦韬等以多区域投入产出表为基础,对中国1995—2009年国际贸易中的隐含能源和碳排放进行了估算^[8];Wei Yiming等采用生命周期法对居民家庭生活的能源消耗量或二氧化碳排放量做了估算,研究发现居民的间接能源消费量更大^[9];Burchart-Korol采用生命周期法对ULCOS炼钢法的碳排放进行了评估,认为该方法有助于减少碳排放^[10];David Bonilla等采用9个部门的数据集和环境投入产出表,对欧盟各部门的碳排放水平进行了分析,得出电子工业和纺织工业的碳排放量最高^[11]。

在全球共同减排的大背景下,碳排放测算研究在各行业遍地开花,如制造业、建筑业、农业、电力、进出口贸易等^[12-16]。中国是全球的碳排放大国,物流业又是其中的高排放行业。从2013年起中国成

为世界物流总量第一大国,占全球物流市场的18.6%,且近年来物流业一直保持着较快增长,未来物流业规模将会进一步扩大,根据《中国统计年鉴》数据显示2014年物流业的货运量为438.68亿t,较1997年增长了243%^[17]。随着物流业的高速发展,其能源消耗总量不断攀升,随之而来的就是碳排放的增加。根据《中国能源统计年鉴》1997—2014年分行业能源消耗总量数据显示^[18],2014年物流业能源消耗总量为3.63亿tec,比1997年增长了382%,2014年物流业能耗总量位居行业能耗总量排行榜第四(前三甲分别是有色金属冶炼及压延业为6.93亿tec、化学原料和化学制品制造业为4.75亿tec、黑色金属冶炼及压延业为3.66亿tec),占全国能耗总量的比重由1997年的5.47%上升至2014年的8.53%。此外,国家发展和改革委员会能源研究所的研究资料显示,物流业将成为未来能源需求和碳排放增长的主要贡献者^[19]。因此,如何节能减排是物流业实现可持续发展面临的一大难题。要实现有效的碳减排,很多专家都认为首先须有科学的碳排放核算体系以便制定合理的减排指标,无论是对减排的奖励还是对减排不力的惩罚,都有一个科学的依据,即测算物流业的碳排放是发展低碳物流第一步。关于物流业碳排放的测算方法主要有基于IPCC碳排放系数法、基于运距的碳排放系数法、生命周期法和投入产出法等。其中前两种属于直接能耗法,研究成果相对丰富但精度较差,后两种是间接碳排放测算,实证研究还比较少见。由于物流行业的产业关联效应强,如果仅考虑其直接能耗碳排放,会忽视该行业通过获取其他部门的中间产品而引致的其他部门的碳排放量。因此,要在物流业深入开展节能减排,不仅需要掌握物流业的直接能源消耗碳排放量,而且还需要详细的间接能耗碳排放数据,这样才能使物流业减排责任的划分、减排目标的分解、减排潜力的测算、减排量的考核等工作具有更好的科学依据。在此背景下,本文围绕物流业的碳排放测算及影响因素开展相关研究,具有重要的理论和现实意义。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 行业划分

由于《中国投入产出表》^[20]的行业分类与《中国

2018年1月

能源统计年鉴》^[18]中能源消费行业划分不一致,为克服计算结果的不准确性,结合《国民经济行业分类与代码》^[21]以及《中国能源统计年鉴》^[18]中行业大类的划分,本文对行业重新进行合并整理,将部门分类调整为10个部门,即1农林牧渔业、2采矿业、3制造业、4电力、热力及水的生产和供应业、5石油加工、炼焦及核燃料加工业、6化学工业、7建筑业、8交通运输、仓储和邮政业、9批发零售贸易、住宿和餐饮业和10其他服务业。考虑到现有相关统计中,没有专门针对物流业能源消耗的统计类别,根据《中国能源统计年鉴》中对行业的划分,本文选取其中的“交通运输、仓储和邮政业”作为物流业,并统计该行业历年的各类能源消耗^[18]。

2.2 物流业碳排放测算方法选择

无论是国际通用的碳排放计算方法,还是能源活动、工业生产、农业、林业和土地利用、废弃物处置等各经济部门的碳排放计算方法,都体现了碳排放计算的核心思想:即碳排放总量是经济活动与各类碳排放因子的乘积^[22]。本文运用直接能耗法和间接能耗法对中国物流业的碳排放进行测算。从物流业的经济活动不难看出,化石能源的利用过程是其直接碳排放的最主要来源,因此,其碳排放可以根据能源消耗的数量与各类能源的碳排放因子进行精确计算。在间接能耗法计算过程中主要以中国各年份的投入产出表为基础^[20],分别测算了物流业的直接碳排放和隐含碳排放,隐含碳排放重点将物流业运行过程中对其他中间投入部门消耗所产生的间接碳排放加以量化。在此基础上,分析直接碳排放和隐含碳排放的动态变动关系,从而更精准地掌握中国物流业碳排放的结构及其变动趋势,为其低碳化发展提供决策依据。

(1)物流业直接能耗法的碳排放测算方法。IPCC碳排放系数法是指,将生产某种产品消耗的能源量同其碳排放系数相乘即可得其碳排放量,且IPCC假定,某种能源碳排放系数是不变的,据此可得,中国物流业直接能耗法的碳排放测算公式为:

$$CO_2 = EC_k \times \beta_k (NCV_k \times CEF_k \times COF_k \times 44/12) \quad (1)$$

(k=1, 2, ..., n)

式中 CO_2 表示物流业总的二氧化碳排放量; k 表示第 k 种能源; EC_k 表示物流业消耗的第 k 种能源的消耗

量; β_k 表示第 k 种能源的折标准煤系数; NCV_k 表示第 k 种能源的平均低位发热量; CEF_k 表示第 k 种能源的单位热值含碳量; COF_k 表示第 k 种能源的碳氧化率;44/12为二氧化碳的分子量。

尽管电力属二次能源,但考虑中国电力生产环节中煤炭的消耗量巨大,因此,在计算物流业电力消耗造成的碳排放时需要对其转换为煤炭消耗量,具体转换公式为:

$$CON_d = ELE \times p \times \beta_k \times C_k \quad (2)$$

式中 CON_d 为电力折煤消耗量; ELE 为物流业的耗电量; p 为当年火电比重; β_k 表示第 k 种能源的折标准煤系数; C_k 是折煤碳系数。

(2)基于投入产出法的物流业完全消耗碳排放测算方法。完全能耗系数是指对产品生产过程中的间接碳排放的测算,投入产出法是一个很好的计算框架,适用宏观层面计算。具体来说,以投入产出表为基础,利用直接消耗系数矩阵,得到直接碳排放系数,再利用公式(3)(其中 A 为直接消耗矩阵, I 为 A 的同阶单位矩阵, B 为完全消耗矩阵)得出完全消耗系数及矩阵,乘以碳排放系数,得到完全碳排放系数,乘以相应的产品消费量,得到间接碳排放量。计算 j 部门对 i 部门的完全消耗系数 δ_{ij} 组成的完全消耗系数矩阵 B 的计算公式为:

$$B = (I - A)^{-1} - I \quad (3)$$

式中 $(I - A)^{-1}$ 是里昂惕夫逆矩阵; A 为直接消耗系数 a_{ij} 组成的直接消耗矩阵,即 $A = [a_{ij}]$,直接消耗系数表示第 j 部门生产单位产品所直接消耗第 i 部门的产品数量,反映了部门之间的直接经济技术联系,其值 a_{ij} 是由第 j 部门的总产出 X_j (万元)与第 j 部门所需的第 i 部门投入 X_{ij} (万元)之比计算得到;完全消耗系数 δ_{ij} 表示 j 部门每提供一单位的最终产品或服务需要直接和间接消耗(即完全消耗) i 部门的产品或服务数量。

2.3 数据来源

本文的基础数据来自1997年、2000年、2002年、2005年、2007年、2010年、2012年的《中国投入产出表》^[20]。考虑到价格波动等因素,不同年份间的可比性较差,为此,本文采用价格指数缩减法将现价投入产出表转换为可比价投入产出表,即将各年

份的《投入产出表》都转化为以1997年不变价格为基础的可比价投入产出表,得到各年份物流业中间投入可比价格流量表,从而更精确的反映物流业与其他部门之间发展的关系。各类能源消耗数据来自历年中国能源统计年鉴^[18]。

3 碳排放测算结果与分析

3.1 直接能耗法测算结果

根据历年中国物流业对各类能源和电力的消耗量,以及折标准煤系数,运用公式(1)、公式(2)测算中国物流业直接能源消耗造成的碳排放结果见表1。

从能源消费结构上来看,随着中国经济转型以及新能源的开发利用,煤炭使用比例已得到控制,与此同时,天然气用量不断攀升,2014年物流业能源消费结构中主要能源为柴油、汽油,分别占能源消耗总量的44.28%和18.89%,二者合计占比高达六成以上。考虑到柴油的颗粒物污染和汽油硫化物和氮氧化物污染都很严重,加之中国是石油进口大国,因此,物流业能源消费结构调整还需继续努力。

从碳排放总量上看,中国物流业碳排放总量在考察期间呈一路上升趋势,1997—2014年的碳排放

增长率为376%,几乎翻了四倍。从碳排放增速来看,整体上呈逐渐减小的趋势,如图1所示。1997—2000年碳排放量增长率较高,同比增速从12.2%上升到24.81%;2000—2001年的碳排放量增长率有所下降,仅为2.43%,是前期增速的1/10水平;随着中国加入世界贸易组织,制造业发展驶入快车道,对物流业需求迅速攀升,导致2001—2004年物流业碳排放年增长率从6.4%上升到19%;随着2004年国家层面节能减排等一系列环境政策的颁布和实施,高耗能高污染行业发展进一步受到抑制,物流业的碳排放增长速度也随之有所下降,2004—2005年的增长率为11.8%;受2008年金融危机的影响,物流业发展受阻,致使2009年碳排放增长率触底为2.13%;此后,伴随世界经济的缓慢复苏,中国物流经济稳中趋好,但与此同时受中国节能减排政策的持续作用影响,碳排放增长整体波动幅度减缓且呈总体下降的趋势,2014年降到3%左右。

3.2 完全能耗法测算结果

根据历年可比价中间流量表的中间流量及总产出值,计算得出直接消耗系数矩阵,进而提取出

表1 1997—2014年基于直接能源消耗法的物流业碳排放量

Table 1 Carbon emissions of logistics industry based on direct energy consumption method from 1997 to 2014

(万 t)

年份	煤炭	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气	电力	碳排放总量
1997	1 944.5	18.0	711.3	5 096.9	1 876.8	6 228.8	2 639.5	10.7	30.6	18 557
1998	1 889.3	28.7	729.2	5 241.0	1 744.4	8 587.5	2 563.9	10.6	30.6	20 825
1999	1 758.4	28.2	732.0	5 451.7	2 258.8	10 031.1	3 808.1	13.8	30.5	24 113
2000	1 548.7	31.3	756.0	6 581.4	2 394.1	14 872.1	3 853.4	25.4	33.7	30 096
2001	1 427.7	32.5	733.4	6 739.1	2 504.8	15 446.3	3 876.1	31.6	37.0	30 829
2002	1 433.3	31.8	759.9	6 907.6	3 202.0	16 547.2	3 862.9	47.1	36.3	32 828
2003	1 450.1	30.0	640.5	8 250.1	3 313.4	18 671.1	4 262.8	54.2	48.7	36 721
2004	1 130.5	5.0	534.8	10 056.5	4 108.7	22 509.1	5 215.5	75.3	53.8	43 689
2005	1 107.7	3.0	547.9	10 468.3	4 254.8	26 596.1	5 716.8	109.4	51.5	48 856
2006	984.7	2.4	706.8	11 167.5	4 514.5	29 562.1	6 712.3	136.0	55.9	53 842
2007	931.3	1.5	706.8	11 257.2	5 048.1	32 438.5	7 978.6	134.9	63.7	58 561
2008	904.0	0.8	715.5	13 313.1	5 247.4	34 537.8	5 180.7	205.9	68.5	60 174
2009	870.7	0.4	662.6	12 413.4	5 871.3	35 633.4	5 669.7	262.1	73.9	61 458
2010	868.5	0.3	682.4	13 806.3	7 152.7	38 462.6	6 014.3	307.1	87.9	67 382
2011	877.5	0.3	455.2	14 532.6	7 355.0	42 827.1	6 098.2	398.2	102.0	72 646
2012	834.5	0.3	515.7	16 167.5	7 983.6	48 434.2	6 274.0	444.7	110.0	80 764
2013	836.1	6.2	642.4	18 876.1	8 926.7	49 307.8	6 478.2	506.0	120.0	85 699
2014	758.1	7.5	193.7	20 096.1	9 899.7	49 860.8	6 736.7	617.2	127.0	88 297

2018年1月

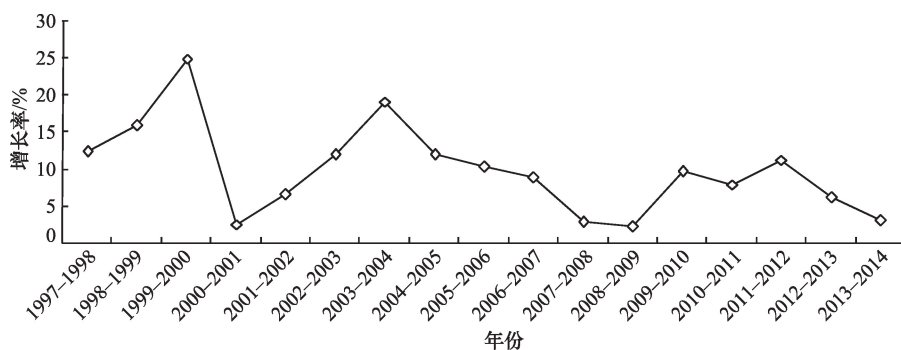


图1 1997—2014年中国物流业直接能源消耗碳排放增长率

Figure 1 The carbon emissions growth rate of logistics industry based on direct energy consumption method

数据来源:根据前文物流业直接能耗碳排放测算结果计算得到。

物流行业历年对中间投入部门的直接消耗系数。根据公式(3),计算得出历年10行业完全消耗系数矩阵,提取出物流行业历年对中间投入部门的完全消耗系数,见表2。

表2 1997—2012年物流业对中间投入部门的完全消耗系数

Table 2 The complete consumption coefficients of intermediate input department for logistics industry from 1997 to 2012

行业	年份						
	1997	2000	2002	2005	2007	2010	2012
1	0.067	0.091	0.081	0.130	0.066	0.072	0.076
2	0.097	0.144	0.169	0.181	0.237	0.247	0.335
3	0.490	0.648	0.532	0.708	0.569	0.571	0.748
4	0.049	0.089	0.067	0.168	0.107	0.098	0.164
5	0.094	0.196	0.206	0.299	0.274	0.256	0.307
6	0.102	0.141	0.113	0.380	0.136	0.146	0.199
7	0.026	0.029	0.023	0.018	0.006	0.007	0.015
8	0.066	0.079	0.171	0.215	0.119	0.148	0.248
9	0.079	0.085	0.098	0.103	0.073	0.079	0.114
10	0.097	0.120	0.164	0.215	0.143	0.134	0.190

由表2看出,物流业对制造业的完全消耗系数最大,且与其他行业部门相比存在数量级的差距,其次是采矿业、石油加工、炼焦及核燃料加工业、化工行业和其他服务业,说明物流业对这些行业部门的依赖程度高、关联关系强,这些部门对物流业完全碳排放量贡献较大。

基于表2的完全消耗系数,再乘以相应的产品消费量,计算得到中国物流业历年隐含碳排放量,间隔年份的隐含碳排放量根据平均插值法得到,计算结果见表3。

结果发现,基于投入产出法的物流业隐含碳排

放量在1997—2014年间整体增长率为520.9%,同期基于直接能源消耗法的物流业碳排放量的整体增长率仅为375.9%,较前者减少145个百分点,1997年、2014年后者的碳排放量分别仅为前者的52%和39.7%。综合以上数据对比得出,基于碳排放系数法的直接能源消耗同基于投入产出法的隐含碳排放测算结果差距悬殊,以往文献只计算直接能源消耗造成的碳排放量大大低估了物流业的碳排放水平,不利于中国节能减排工作的科学部署。

3.3 两种测算结果的对比

由图2看出,从碳排放总量变化上看,两种测算方法下的物流业碳排放趋势基本相同,都呈不断上升趋势,但上升幅度随国家环境管制政策的实施以及经济发展呈上下波动,且两种方法下都显示出最近两年的增长势头趋于平稳。具体来说,为加快建设资源节约型社会,推动循环经济发展,解决全面建设小康社会面临的资源约束和环境压力问题,2004年国家发改委会同有关部门出台了诸多节能减排政策,这些环境管制措施使得2006—2008年物流业碳排放有短暂下降。但是为了应对2008年爆发的金融危机,2009年国家层面又陆续出台了一系列经济刺激方案,这些经济刺激计划的实施在恢复经济增长的同时,也使碳排放量在2009年之后又开始呈上升趋势,2012—2014年隐含碳排放水平保持平稳增长。

此外,从图2看出,两种测算方法下的碳排放量差距总体上处于逐步扩大趋势,由于2012年到2014年隐含碳测算下的碳排放量增长势头放缓,这种剪刀

表3 1997—2014年两种测算方法下的物流业碳排放量对比

Table 3 Carbon emissions comparison of the logistics industry based on two methods from 1997 to 2014

年份	直接能耗法 碳排放量/万 t	投入产出隐含法碳排放量/万 t			前者占有者的 比重/%
		直接能耗法碳排放量	间接碳排放量	合计	
1997	18 557	18 557	17 236	35 793	51.85
1998	20 825	20 825	21 709	42 534	48.96
1999	24 113	24 113	26 182	50 295	47.94
2000	30 096	30 096	30 655	60 751	49.54
2001	30 829	30 829	38 479	69 308	44.48
2002	32 828	32 828	46 302	79 130	41.49
2003	36 721	36 721	63 096	99 817	36.79
2004	43 689	43 689	79 891	123 580	35.35
2005	48 856	48 856	96 685	145 541	33.57
2006	53 842	53 842	82 881	136 723	39.38
2007	58 561	58 561	69 078	127 639	45.88
2008	60 174	60 174	74 956	135 130	44.53
2009	61 458	61 458	80 834	142 292	43.19
2010	67 382	67 382	86 711	154 093	43.73
2011	72 646	72 646	109 350	181 996	39.92
2012	80 764	80 764	131 989	212 753	37.96
2013	85 699	85 699	129 610	215 309	39.80
2014	88 297	88 297	133 766	222 063	39.76

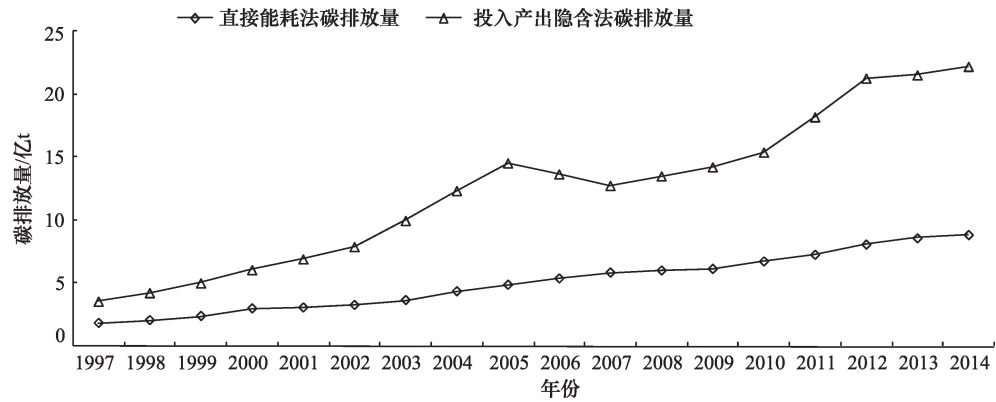


图2 1997—2014年两种测算方法下物流业碳排放量变化对比

Figure 2 Carbon emissions comparison of the logistics industry based on two calculation method from 1997 to 2014

数据来源：根据前文两种方法测算的物流业碳排放结果整理所得。

差略微有所控制。究其原因主要有以下三点：①测算范围不一致，碳排放系数法核算的范围是物流业运行过程中直接消耗的能源所造成的碳排放，而投入产出法核算的碳排放既包括直接能耗造成的碳排放，也包括中间投入部门所消耗的能源造成的碳排放。②随着产业分工的不断深入，物流业也逐渐进入精细化分工阶段，这不仅会延伸产业链，同时

也会牵扯越来越多的中间投入部门，以此将会造成更多的间接隐含碳排放，换言之，物流业对其他部门的最终需求会强力拉动物流业隐含碳排放的增加，因此，对物流业间接碳排放的测算具有重要的现实意义。如果仅考察物流业自身的直接能耗碳排放会低估其他部门在物流业碳排放中的重要作用，进而造成政策上的失误。③物流业节能减排措

2018年1月

施正在发挥积极的减排效果。直接能耗造成的碳排放增速整体呈逐渐减小的趋势,且1997—1998年直接能源消耗碳排放量多于间接能源消耗碳排放量,1999年两者基本持平,2000—2014年间接碳排放量成为物流行业整体碳排放的主要贡献者,反映出中国物流业在节约能源、清洁生产等方面取得了一定成效,其他部门的减排力度有待加强。

4 物流业碳排放的影响因素分析

4.1 模型构建与指标设置

随着环境状况的恶化,近些年对碳排放影响因素分解的研究也越来越多,根据国内外相关研究来看,目前应用较多的碳排放影响因素分解的方法为结构分解法和指数分解法。由于数据获取难度较大,结构分解法目前应用研究不多。指数分解法是指通过分离各个影响因素对总指标变动的影响程度,分析出总指标的主要影响因素,由于其只需要使用产业的加总数据,数据较易获取且适用于时间序列的分析,目前应用较多。指数分解法(IDA, Index Decomposition Analysis)主要包括 Divisia IDA 和 Laspeyres IDA^[23]。其中, Laspeyres 指数分解后存在残差、不能同时分解多个影响因素等问题。而对数平均迪氏指标分解法(LMDI, Log Mean Divisia Index)与之相比,首先能够消除残差项,使模型具有说服力;其次,根据 LMDI 分解方法的结果,由于分解各部门效用加总和总效用结果一样,分解后并不影响整体结果,适用与多因素分析,应用比较广泛^[24-26]。

根据对相关资料的整理总结,结合隐含碳排放的测算结果,物流业碳排放影响因素归纳为四个方面:

(1)经济规模。伴随着国民经济规模的发展壮大,各行各业的经济也呈现快速增长趋势,随之而来的就是对社会物流需求的大幅增加,推进物流业经济发展和碳排放的增加,经济规模指标具体用我国历年的 GDP 来表示,且假定经济规模正向驱动物流业碳排放。

(2)经济结构。前文的隐含碳排放测算结果表明,制造业、采矿业、石油加工业、化工行业等行业对物流业的碳排放贡献最多,因此这里的经济结构

指标具体指,我国三次产业的经济结构以及第三产业的内部结构,分别用服务业在国民经济中所占的经济份额以及物流业在服务业中所占的经济份额来表示,且假定服务业经济份额和物流业经济份额均正向驱动物流业碳排放。

(3)行业效率。行业的整体效率对于一个行业来说是至关重要的,对于物流业也不例外,从减少碳排放角度来看,高效的物流效率意味着运输线路最优、空载率更低,仓储等环节节点的布局更加合理,进而就能减少对运输、仓储等物流服务的需求,进而达到节能减排的目的。本文采用物流业的投入产出比表示物流行业的运行效率指标且正向驱动物流业碳排放。

(4)低碳技术。低碳技术是实现节能减排的重要保障,对于物流行业来说,低碳技术不仅包括能源低碳技术(例如能源净化技术、新能源汽车等低碳技术),也包括物流作业中的机械化设备、设施低碳技术(例如升降机等装卸设备的低碳化),同时还包括改进物流业生产方式的低碳技术(例如改进物流业现有包装材料浪费的粗放式生产方式、加强物流网络建设、改进运输方式等低碳化方式)等等,具体采用单位投入的碳排放量来表示低碳技术指标,且假定低碳技术负向驱动物流业碳排放。除物流业的投入产出比数据根据中国投入产出表计算得出之外,其他数据来自《中国统计年鉴》,物流业碳排放量是前文计算的完全能耗法碳排放,即物流业的总碳排放量。

根据研究需要,对 Kaya 恒等式进行扩展,得到中国物流业碳排放的影响因素分解模型为:

$$C = M \times \frac{Y}{M} \times \frac{Y_L}{Y} \times \frac{X_L}{Y_L} \times \frac{C}{X_L} \quad (4)$$

式中 M 为国民生产总值; Y 为服务业 GDP; Y_L 为物流业 GDP; X_L 为物流业中间投入; C 为物流业总碳排放量。

假设基期年份和 t 年的物流业二氧化碳排放分别用 C_0 、 C_t 来表示,用 ΔC 表示 t 年和基期年份相比其碳排放量总的变化量,即: $\Delta C = C_t - C_0$ 。同时,令 α 、 β 、 δ 、 γ 、 μ 分别表示经济规模 ($\alpha = M$)、服务业经济份额 ($\beta = Y/M$)、物流业经济份额 ($\delta = Y_L/Y$)、物流业投入产出比 ($\gamma = X_L/Y_L$)、物流业单位投入碳

排放量($\mu = C/X_L$)。由此,各影响因素对碳排放的影响可分别用 ΔC_α 、 ΔC_β 、 ΔC_δ 、 ΔC_γ 、 ΔC_μ 来表示。在LMDI加法分解模式下,第 t 年和第0年相比,其碳排放变化差值 ΔC 为:

$$\Delta C = \Delta C_\alpha + \Delta C_\beta + \Delta C_\delta + \Delta C_\gamma + \Delta C_\mu \quad (5)$$

式中 ΔC 表示中国物流业碳排放量总变动; ΔC_α 表示因总经济规模变动而引起的碳排放变动,即经济规模效应; ΔC_β 表示服务业在国民经济中比重变动引起的碳变动,即国民经济结构效应; ΔC_δ 表示物流业在服务业经济中比重变动引起的碳排放变动,即物流业经济结构效应; ΔC_γ 表示物流业投入产出比率变化而引起的碳排放变动,即物流业技术进步效应; ΔC_μ 表示物流业单位投入碳排放量变动引起的碳排放变动,即低碳技术进步效应。

4.2 实证结果与分析

根据公式(4)和公式(5)以及相应的指标数据,对物流业碳排放影响因素进行分解研究,计算出各影响因素在考察期间导致的物流业碳排放量及其

在总碳排放量中的贡献率,贡献率见表4。

(1)经济规模正向驱动碳排放。随着经济规模的扩大,碳排放逐渐扩大,1997—2008年其经济规模效应不断上升,其中由2008—2009年、2011—2012年、2013—2014年国民经济总值增速下滑导致其相应的碳排放经济规模效应有所下降,这是由于产业的关联效应而导致的,经济规模的增长导致对物流服务的需求量增加,进而正向驱动其碳排放。1997—2014年间国民经济规模对物流业碳排放的总贡献率为36.16%,平均贡献率为38.26%,其总贡献率及平均贡献率在五个影响因素中居首位,可见国民经济的快速发展刺激了对物流业的需求,对物流业碳排放量的影响非常大。

(2)经济结构因素中,服务业在国民经济中所占的经济份额对物流业碳排放的驱动效应呈正负波动趋势,但整体上呈正向驱动。其中2002—2004年、2007—2008年以及2009—2010年,其驱动效应为负的主要原因是,这些年份分别对应中国入世初期和全球性金融危机,首先中国入世极大地释放了

表4 1997—2014年物流业碳排放驱动因素贡献率

Table 4 Contribution rate of driving factor for carbon emission of logistics industry from 1997 to 2014

(%)

年度区间	经济规模效应	服务业经济份额	物流业经济份额	行业效率效应	低碳技术效应
1997—1998	29.87	25.48	2.98	21.52	20.15
1998—1999	35.06	23.73	1.76	21.06	18.39
1999—2000	40.61	12.79	16.68	20.39	9.53
2000—2001	51.42	18.39	13.78	11.13	5.28
2001—2002	49.96	13.50	16.79	15.47	4.28
2002—2003	17.61	0.71	8.96	50.34	22.38
2003—2004	39.54	4.76	4.55	29.92	21.23
2004—2005	47.74	1.43	4.37	27.89	18.57
2005—2006	39.02	2.99	9.12	17.03	31.84
2006—2007	39.10	4.63	9.72	22.69	23.86
2007—2008	35.87	0.10	11.32	21.29	31.42
2008—2009	16.90	6.97	22.06	32.19	21.88
2009—2010	52.64	1.78	10.69	6.58	28.31
2010—2011	44.48	0.70	5.45	21.60	27.77
2011—2012	36.52	9.85	15.04	7.40	31.19
2012—2013	28.86	7.70	10.07	15.24	38.13
2013—2014	45.26	7.57	6.48	5.11	35.58
平均贡献率	38.26	8.42	9.99	20.40	22.93
总贡献率	36.16	5.21	10.42	21.72	26.50

数据来源:作者计算得出。

2018年1月

国民生产力,尤其是中国商品出口规模显著扩大,同比导致服务业经济份额减少,通过产业关联效应,进而导致对物流业需求增加和物流业碳排放增长。其次,在金融危机时期,中国出台的经济刺激方案在优先恢复经济增长的同时也带来了碳排放的增加。这些年份服务业在国民经济总值中所占份额呈同比下降趋势,此外,其他年份中正向驱动呈下降趋势的原因也是随着服务业经济份额的增速下滑而导致的。整体上看,服务业经济份额在考察期间呈整体上升趋势,物流业碳排放中服务业经济份额效应整体上呈正向驱动。这些都充分说明,随着中国对服务业的大力支持,服务业迅速发展,在国民经济中所占比例越来越高,服务业对制造业的支撑作用越强,越有利于国民经济的发展,进而带动对物流业的需求量也不断增加,致使物流业碳排放量的增加。1997—2014年间服务业经济份额对物流业碳排放的总贡献率为5.21%,平均贡献率为8.42%,在五个影响因素中其贡献率最小。

在经济结构因素中,物流业在服务业中所占的经济份额对物流业碳排放的驱动效应也呈正负波动趋势,但整体上看主要呈负向驱动。究其原因主要是:一般地,在国民经济发展中,服务业越发达,对国民经济的支撑作用就越显著,但如果物流业在整体服务业中所占比重较大,这恰恰反映出服务业整体发展较弱,国民经济发展的信息化、现代化水平较低。事实上中国服务业占比在2012年才达到50%,相比发达国家70%的比重还存在较大差距。因此,物流业经济份额对物流业碳排放呈负向驱动关系。1997—2014年间物流业经济份额对物流业碳排放的总贡献率为10.42%,平均贡献率为9.99%,在五个影响因素中其贡献率较小。

(3)低碳技术整体上负向驱动碳排放但近两年驱动效应变为正向驱动。单位投入碳排放效应在7个年度区间为正向驱动效应,8个年度区间为负向驱动效应,其中1997—2002年以及2010—2012年为正向驱动,其余年份为负向驱动。与此同时,单位投入的碳排放量于1997—2002年以及2010—2012年处于不断上升趋势,而其余年份其单位投入碳排放处于不断下降趋势,这些区间与前文提到的中国入世、全球经济危机等事件基本吻合,由此反

映出,在经济不景气时出于经济发展的优先考虑较易出现高排放事件,此外在经济扩张期,如果节能减排工作力度不足也容易出现碳排放增长。这说明单位投入碳排放效应即低碳技术效应负向驱动碳排放,但近两年低碳技术进展迟缓。1997—2014年间低碳技术对物流业碳排放的总贡献率为26.50%,平均贡献率为22.93%,总贡献率在五个影响因素中排名第二,对物流业碳排放量的影响较大。

(4)行业效率正向驱动碳排放但驱动趋势不稳定,其中有10个年度区间为正向驱动效应,分别是1997—1999年以及2000—2005年、2007—2010年,其他5个区间为负向驱动效应,这5个负向驱动恰恰是物流业投入产出比率呈上升趋势,即物流效率降低,其碳排放量不断增加,这与前文的指标设置假定条件完全吻合,即行业效率提高有助于降低碳排放,但是中国物流业的行业运行效率不稳定,投入产出比忽高忽低。整体来看,1997—2014年间行业效率对物流业碳排放的总贡献率为21.72%,平均贡献率为20.40%,在五个影响因素中其总贡献率排名第三,对物流业碳排放影响也较大。

5 结论与启示

5.1 主要结论

(1)基于能源消耗法的物流业碳排放与基于投入产出表的隐含碳排放测算结果存在较大差异,后者不仅大大增强了物流业碳排放测算的科学性,而且能更加真实地反映物流业碳排放的主要来源,尤其是进入21世纪以后随着国家能源结构调整和节能政策的逐步实施,直接能耗对物流业碳排放总量的贡献呈减少趋势,在物流业碳排放总量中的比重已经下降到40%以下,与此同时,隐含碳排放的贡献及其所占比重越来越大,物流业碳排放的来源结构变化应引起有关部门的高度重视。

(2)物流业碳排放影响因素的模型分析显示,经济规模和经济结构正向驱动碳排放的增长,而行业效率和低碳技术反向抑制碳排放的增长。概括地说,经济规模对物流业碳排放的扩张效应最大;服务业在国民经济中所占比重越高,越会增加对物流业的需求,进而带动其碳排放的增长,但其影响较小;物流业经济份额对碳排放呈正向驱动是指,

物流业在服务业中所占比例越小,即物流业发展规模越小,其碳排放也就越少;物流行业效率负向驱动碳排放,即行业的投入产出比越低、碳排放就越少,这一点也恰好说明碳排放高是效率低下的表现,资源节约、环境友好的生产经营活动不仅有利于降低碳排放,而且还能取得良好的经济效益;低碳技术负向驱动碳排放,反映出随着新能源的替代或者化石能源单位碳排放的减少等低碳技术的进步,物流业能源消耗造成的碳排放有所下降,但中国低碳技术发展近两年表现不太理想。

5.2 政策启示

(1)物流业碳排放的增长不仅与物流直接消耗的化石能源有关,而且还与其他行业的碳排放有着紧密关联关系,尤其是制造业、采矿业、石油加工、炼焦及核燃料加工业、化工行业和其他服务业,对物流业碳排放的贡献也非常大,因此,政府部门一方面应持续加大能源结构调整的力度,加快清洁能源的推广使用,另一方面,还应加强对制造业等部门的碳排放监测,提高其他行业的节能减排技术水平,统筹推进节能减排的保障体系建设,将碳减排融入经济发展、城乡一体化、工业信息化等全方位和全过程,实现碳减排工作的科学化、常态化、立体化和法制化。在其他产业碳减排方面,优先形成“点-线-面”产业生态化发展格局,“点”指的是重点企业或者重点项目,特别是具有示范带动作用的龙头企业和龙头项目;“线”指的是生态产业链的构建,重点锁定具体产业生态化转型的关键环节与主要驱动力,提出产业链生态化的思路;“面”指的是产业与产业之间的融合,即实践中在区域层次上如何集聚发展。在环境政策方面,加快推进以市场化手段为基础的环境经济政策,促进体制机制创新,尤其是要坚持“先简后繁”、“先易后难”的原则,加快推进全国碳排放权交易制度的建设,为节能减排工作的深入推进提供制度保障。

(2)经济发展是碳排放的主要来源,发展低碳技术和节约型经济是抑制碳排放的根本出路。低碳发展主要是通过新的发展模式,在减碳的同时提高效益或竞争力,促进经济社会发展。因此,推进低碳发展,就必须降低高能耗、高排放、高污染

产业的比重,提高低消耗、低排放、高附加值产业的比重,实现产业结构转型升级。推进低碳发展,就必须加大低碳技术的研发创新投入,引导技术创新活动向既能提高经济效益、又能提高环境效益的环境技术创新活动中去,提高企业自愿开展环境技术创新的积极性。当然,除了运输环节会造成碳排放之外,其仓储、装卸搬运和流通加工环节也会造成一定的碳排放,所以除了调整能源消耗结构,改进其他环节也非常重要,首先,虽然目前中国物流业务正从大规模运输转向多品种、多批次方向发展,仓储的功能正在下降,但是也要做好仓储中心器械设备的采用与管理以及电力等资源节能管理;其次,保证合理的装卸方式减少装卸活动的频率;同时,合理选择流通加工中心,减少运输距离造成的碳排放,并且注意包装材料的环保性。

参考文献(References):

- [1] 陈红敏. 国际碳核算体系发展及其评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(9): 111-116. [Chen H M. Evaluation on the development of international carbon accounting systems[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(9): 111-116.]
- [2] 吴晓蔚, 朱法华, 杨金田, 等. 火力发电行业温室气体排放因子测算[J]. 环境科学研究, 2010, 23(2): 170-176. [Wu X W, Zhu F H, Yang J T, et al. Calculation of greenhouse gas emission factors in thermal power industry[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2010, 23(2): 170-176.]
- [3] 世界资源研究所, 世界可持续发展工商理事会, 中国标准化研究院. 温室气体核算体系: 产品生命周期核算与报告标准[M]. 北京: 中国质检出版社, 2013. [World Resources Institute, World Business Council for sustainable development, China Institute of standardization. GHG Accounting System: Product Life Cycle Accounting and Reporting Standards [M]. Beijing: China Quality Inspection Press, 2013.]
- [4] Lenzen M. Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input-output analysis[J]. *Energy Policy*, 1998, 26(6): 495-506.
- [5] Machado G, Schaeffer R, Worrell E. Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: an input-output approach [J]. *Ecological Economics*, 2001, 39(3): 409-424.
- [6] 温丹辉. 不同碳排放计算方法下碳关税对中国经济影响之比较—以欧盟碳关税为例[J]. 系统工程, 2013, 31(9): 84-92. [Wen D H. Comparisons of the impacts of carbon tariff on China's economy under three carbon estimation methods: taking EU carbon tar-

2018年1月

- iff for examples[J]. *Systems Engineering*, 2013, 31(9): 84-92.]
- [7] 徐盈之, 胡永舜. 中国制造业部门碳排放的差异分析: 基于投入产出模型的分解研究[J]. *软科学*, 2011, 25(4): 69-75. [Xu Y Z, Hu Y S. Difference analysis of carbon emission in China's manufacturing sector: A decomposition study based on input-output model [J]. *Soft Science*, 2011, 25(4): 69-75.]
- [8] 韦韬, 彭水军. 基于多区域投入产出模型的国际贸易隐含能源及碳排放转移研究[J]. *资源科学*, 2017, 39(1): 94-104. [Wei T, Peng S J. Embodied energy and carbon emissions transferred in international trade using a MRIO model[J]. *Resources Science*, 2017, 39(1): 94-104.]
- [9] Wei Y M, Liu L C, Fan Y. The impact of lifestyle on energy use and CO₂ emission: an empirical analysis of China's residents [J]. *Energy Policy*, 2007, 35(1): 247-257.
- [10] Burchart-Korol D. Significance of environmental life cycle assessment (LCA) method in the iron and steel industry [J]. *Metallurgija Sisak then Zagreb*, 2011, 50(3): 205-208.
- [11] Bonilla D, Keller H, Schmiele J. Climate policy and solutions for green supply chains: Europe's predicament [J]. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2015, 20(3): 249-263.
- [12] 朱俏俏, 孙慧, 王士轩. 中国资源型产业及制造业碳排放与工业经济发展的关系[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(11): 112-119. [Zhu Q Q, Sun H, Wang S X. Research on the relationship between carbon emission of Chinese resource-based industry & manufacturing industry and development of Chinese industrial economy [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(11): 112-119.]
- [13] 何有世, 王玉龙. 产业发展与碳排放的协整性与因果关系分析[J]. *统计与决策*, 2012, (20): 106-108. [He Y S, Wang Y L. Cointegration and causality analysis of industrial development and carbon emission[J]. *Statistics and Decision making*, 2012, (20): 106-108.]
- [14] 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(4): 28-34. [Feng B, Wang X Q. Research on carbon decoupling effect and influence factors of provincial construction industry in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(4): 28-34.]
- [15] 侯建超, 史丹. 中国电力行业碳排放变化的驱动因素研究[J]. *中国工业经济*, 2014, (6): 44-56. [Hou J C, Shi D. Driving factors for the evolution of carbon dioxide emission from electricity sector in China[J]. *China Industrial Economics*, 2014, (6): 44-56.]
- [16] 吴贤荣, 张俊飏, 田云, 等. 中国省域农业碳排放: 测算、效率变动及影响因素研究-基于DEA-Malmquist指数分解方法与To-bit模型运用[J]. *资源科学*, 2014, 36(1): 129-138. [Wu X, Zhang J B, Tian Y, et al. Provincial agricultural carbon emissions in China: calculation, performance change and influencing factors[J]. *Resources Science*, 2014, 36(1): 129-138.]
- [17] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴2015[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015. [National Bureau of Statistics of China. China Statistical Yearbook 2015[M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.]
- [18] 国家统计局能源司. 中国能源统计年鉴(1997-2016)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016. [Energy Department of the National Bureau of Statistics. China Energy Statistical Yearbook (1997-2016) [M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.]
- [19] 国家发展和改革委员会能源研究所课题组. 中国2050年低碳发展之路: 能源需求暨碳排放前景分析[M]. 北京: 科学出版社, 2010. [Energy Research Institute National Development and Reform Commission. China's Road to Low Carbon Development in 2050: Energy Demand and Carbon Emission Analysis [M]. Beijing: Science Press, 2010.]
- [20] 国家统计局国民经济核算司. 中国投入产出表(1997-2012)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016. [National Economic Accounting Department of the National Bureau of Statistics. Input-Output Tables of China (1997-2012) [M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.]
- [21] 国民经济行业分类2017版[GB/T4754-2017]
- [22] 程豪. 碳排放怎么算-2006年IPCC国家温室气体清单指南[J]. *中国统计*, 2014, (11): 28-30. [Cheng H. How do carbon emissions count-a guide to the 2006 IPCC greenhouse gas inventories [J]. *China Statistics*, 2014, (11): 28-30.]
- [23] Diakoulaki D, Mandaraka M. Decomposition analysis for assessing the progress in decoupling industrial growth from CO₂ emissions in the EU manufacturing sector [J]. *Energy Economics*, 2007, 29(4): 636-664.
- [24] Papagiannaki K, Diakoulaki D. Decomposition analysis of CO₂ emissions from passenger cars: the cases of Greece and Denmark [J]. *Energy Policy*, 2009, 37(8): 3259-3267.
- [25] Tan Z F, Li L, Wang J J, et al. Examining the driving forces for improving China's CO₂ emission intensity using the decomposing method [J]. *Applied Energy*, 2011, 88(12): 4496-4504.
- [26] 郭朝先. 中国碳排放因素分解: 基于LMDI分解技术[J]. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(12): 4-9. [Guo C X. Decomposition of China's Carbon emissions: based on LMDI method [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20(12): 4-9.]

Carbon emission measurement for China's logistics industry and its influence factors based on input-output method

WANG Liping, LIU Minghao

(School of Finance and Economics, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: With great attention on energy conservation and emission reduction, the calculation and analysis of carbon emissions are becoming more important and urgent. Here, carbon emissions from direct energy consumption and implicit carbon emissions based on input-output table in China's logistics industry from 1997-2014 were calculated. We found that the former greatly underestimated the carbon emissions level of the logistics industry: since 2000 the contribution of indirect carbon emissions of the logistics industry has exceeded direct energy consumption carbon emissions. The proportion of direct carbon emissions accounting for total carbon emissions was less than 40% in 2014. Further carbon emission influence factor decomposition shows that the positive driving effect of economic scale on carbon emissions in the logistics industry is most, the total contribution rate is 36.16%. Economic development of the service industry has led to an increase in carbon emissions in China's logistics industry, with a total contribution rate of 5.21%. The use of low carbon technology is conducive to curb the carbon emissions increase, the total contribution rate of 26.50%, but in recent years slow progress in low-carbon technology. The reverse driving effect of industry efficiency on carbon emissions in the logistics industry is obvious, but the effect is not stable. On the whole, the total contribution rate of industry efficiency on carbon emissions in the logistics industry is 21.72% for 1997-2014. With rapid development of manufacturing, the service demand of the logistics industry will continue to increase in China and indirect carbon emissions growth should not be ignored. To realize the low carbon development of the logistics industry, we should accelerate the promotion of the use of clean energy, from the aspects of improving technical efficiency of the logistics and accelerating improvements in the low carbon levels of China's national economic departments.

Key words: logistics industry; carbon emissions; input output method; influence factors; China