

基于排放系数的城域公铁货运碳排放分析

李艳丽,索延栋

(石家庄铁道大学 经济管理学院,河北 石家庄 050043)

[摘要]在绿色交通、节能减排和低碳的经济背景下,以河北省为研究对象,对河北省2005-2019年的货运量和货运周转量进行统计分析,在此基础上对河北省铁路和公路能源消耗和碳排放情况进行分析,使用对数平均迪氏分解方法(LMDI)构建碳排放变化分析模型,得出影响河北省碳排放变化的主要因素,从而为交通运输体系的可持续发展提供可行的思路与方法。

[关键词]碳排放系数;公铁货运;对数平均迪氏分解方法;河北省

[中图分类号]F570;F512.4;F321

[文献标识码]A

[文章编号]1005-152X(2021)08-0011-04

Analysis of Carbon Emissions of Urban Regional Road-Rail Freight Transportation Based on Emission Coefficient

LI Yanli, SUO Yandong

(School of Economics & Management, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: Under the economic background of green transportation, energy conservation and emission reduction, and low carbon development, we took Hebei Province as the research object, and carried out a statistical analysis on the freight volume and freight turnover of the province from 2005 to 2019. On such basis, we analyzed the energy consumption and carbon emission of railway and highway in Hebei Province, used the logarithmic mean division index method (LMDI) to build the carbon emission change analytic model, and obtained the main factors affecting the carbon emission change in Hebei Province, so as to provide feasible ideas and methods for the sustainable development of the transportation system of the province.

Keywords: carbon emission coefficient; road-rail freight transportation; LMDI; Hebei province

0 引言

我国运输需求不断增长,能源消耗量和碳排放量也在持续增加。与此同时,到2030年我国将实现单位GDP的CO₂排放量比2005年减少65%左右的目标^[1]。因此,在保持经济增长的同时,减少CO₂排放是我国急需解决的问题。从碳排放的源头来看,交通能源消耗在终端能源消耗总量中的占比超过30%,其排放的污染物占全社会排放总量的23%。河北省作为国家循环经济和低碳试点城市^[2],近年来在推进绿色交通发展方面开展了很多工作,然而随着人口的不断增加,货运车辆保有量也将持续增大,交通碳

排放压力仍不乐观。因此,对河北省交通领域碳排放进行系统核算,对影响因素进行识别分析,具有重要的理论和现实意义。

1 河北省公路铁路货运量分析

1.1 公路货物运输现状

公路运输灵活性高,公路运输车辆既能够在高速公路上,也能在农村道路上行驶,因此,一般作为中短途运输以及其他运输方式衔接运输的主要方式,所以,公路运输的货运量一直占据运输方式中较高的比重。2005-2019年河北省公路货物运输量见表1。

[收稿日期]2021-04-19

[基金项目]河北省科技厅软科学项目“交通结构演进中的京津冀城域货运绿色低碳交通发展路径研究”(20557677D)

[作者简介]李艳丽(1969-),女,河北卢龙人,石家庄铁道大学管理学教授,研究生导师,美国普渡大学访问学者,主要研究方向:铁路物流运输管理、绿色低碳经济等;索延栋(1995-),通信作者,男,河北邯郸人,石家庄铁道大学经济管理学院物流工程专业硕士。

由表1可知,公路货运量由2005年的68 652万t上升为2019年的227 000万t,增加了3.3倍,周转量从691.45亿t上升到8 639.2亿t,增加了12.5倍。公路货运量一直占据河北省货运的75%以上,最近几年更是保持在85%以上,去除2013年统计方式的改变导致的货运量和周转量数据骤减外,货运量和周转量均保持增加,和其他运输工具相比,公路运输依然占据着主要地位。

表1 2005–2019年河北省公路货运量与周转量

年份	货运量/万t	货运量占全省货运量比重	货运量增长率	货运周转量/亿t	周转量占全省货运量比重	周转量增长率
2005	68 652	75.17%	6.72%	691.45	14.55%	8.30%
2006	73 263	75.70%	8.95%	748.86	14.52%	12.60%
2007	79 822	76.61%	5.84%	843.23	15.31%	5.66%
2008	84 486	75.85%	26.09%	890.96	17.10%	36.55%
2009	106 530	77.87%	27.61%	2 998.49	50.13%	33.78%
2010	135 938	76.67%	22.61%	4 011.23	52.28%	30.12%
2011	166 680	78.50%	17.31%	5 219.28	53.04%	17.52%
2012	195 530	80.50%	14.72%	6 133.47	56.56%	13.69%
2013	224 319	80.74%	-17.40%	6 972.94	58.09%	0.67%
2014	185 286	77.61%	-5.21%	7 019.56	54.13%	-2.82%
2015	175 637	88.17%	8.08%	6 821.48	56.73%	6.94%
2016	189 822	89.97%	9.21%	7 294.59	59.12%	8.26%
2017	207 309	90.49%	6.72%	7 896.99	59.00%	8.30%
2018	226 546	90.79%	0.20%	8 553.66	61.65%	1.00%
2019	227 000	88.00%	-	8 639.2	61.00%	-

注:数据来源于《河北省统计年鉴》。

1.2 铁路货物运输现状

早年间铁路运输是货物运输中的主要方式,然而随着我国现代运输体系逐步发展,铁路货运的优势地位已经逐渐削弱。铁路货运大批量、小批次、速度慢、社会化程度低的模式难以适应现代运输小批量、大批次、速度快、社会化程度高的运输需求,导致铁路货运量难以增长。2005–2019年河北省铁路货物运输量见表2。

由表2可以看出,在全社会物资运输量增长的背景下,河北铁路货运量总体呈现逐年下降的趋势,2019年的货运量仅占全省货运量的10%,周转量占比从2005年到2016年在持续下降,近几年才有增加的趋势。铁路货运主要以煤炭、钢铁等大宗黑货运

输为主,其中,黑货货运量占铁路运输量的一半以上。近年来,煤炭、钢铁运量的下降,是导致铁路货运量下降的主要原因之一。铁路具有大容量、全天候、价格低、保障高、低碳环保等优势,但铁路在和公路货运的竞争中,并未把自身优势发挥出来。

表2 2005–2019年河北省铁路货运量与周转量

年份	货运量/万t	货运量占全省货运量比重	货运量增长率	货运周转量/亿t	周转量占全省货运量比重	周转量增长率
2005	19 051	20.86%	3.12%	2 120.98	44.65%	9.91%
2006	19 646	20.30%	6.48%	2 331.11	45.20%	10.76%
2007	20 920	20.08%	13.80%	2 581.86	46.88%	6.05%
2008	23 808	21.37%	18.90%	2 738.05	52.56%	0.18%
2009	28 308	20.69%	34.11%	2 743.10	45.86%	16.97%
2010	37 964	21.41%	9.76%	3 208.70	41.82%	27.92%
2011	41 671	19.63%	4.22%	4 104.69	41.71%	1.86%
2012	43 429	17.88%	14.41%	4 180.88	38.55%	7.39%
2013	49 688	17.88%	-3.27%	4 489.73	37.40%	-1.00%
2014	48 063	20.13%	-62.88%	4 444.78	34.27%	-18.26%
2015	17 843	8.96%	-8.57%	3 633.01	30.21%	1.97%
2016	16 313	7.73%	4.82%	3 704.47	30.02%	15.49%
2017	17 100	7.46%	15.25%	4 278.36	31.97	12.92%
2018	19 708	7.90%	37.00%	4 830.92	34.82%	2.20%
2019	27 000	10.00%	-	4 937.20	35.00%	-

注:数据来源于《河北省统计年鉴》。

2 河北省货运公铁交通能源消耗和碳排放计算

2.1 货运公铁交通能源消耗分析

整理得到不同交通工具的单位能源消耗量,见表3。

2.2 货运公铁交通碳排放计算

2.2.1 碳排放计算方法。主流的交通碳排放的计算方法是IPCC移动排放源测算方法,该方法又分为“自下而上”和“自上而下法”,前者是利用不同交通类型的行车里程,根据每公里燃料消耗量得到燃料消耗总量,再结合燃料碳排放因子得到碳排放量。后者是先计算研究区域中所有交通类型的燃料消耗量,再结合各燃料的碳排放因子得到碳排放量,两种方法的区别主要在于数据不同的选择。“自上而下”法是一种宏观的交通碳排放测算方法,计算简单,但燃

表3 不同交通工具能源单位能耗量及交通比例

年份	公路				铁路			
	汽油/L	汽油比例	柴油/L	柴油比例	电力机车/ kW·h	电力比 例	内燃机 车/L	内燃比 例
2005	0.08	18.2%	0.063	81.9%	111.8	30.3%	24.6	71.2%
2006	0.079	18.8%	0.065	81.3%	110.0	31.0%	24.3	66.2%
2007	0.083	18.8%	0.063	79.3%	101.9	33.2%	27.3	66.2%
2008	0.78	19.7%	0.065	80.4%	102.1	34.2%	26.8	65.2%
2009	0.078	21.0%	0.063	79.0%	100.6	37.0%	26.5	62.4%
2010	0.075	18.2%	0.061	81.8%	102.4	45.0%	26.4	54.7%
2011	0.074	17.9%	0.061	82.1%	107.9	48.5%	25.2	51.5%
2012	0.074	20.3%	0.061	79.7%	102.1	51.2%	26.8	48.8%
2013	0.074	19.0%	0.061	80.6%	101.9	54.4%	27.3	45.6%
2014	0.074	20.0%	0.061	80.0%	102.0	55.0%	27.2	45.0%
2015	0.074	19.0%	0.061	81.0%	101.2	57.2%	27.1	42.7%
2016	0.073	19.0%	0.059	81.0%	100.7	58.0%	27.0	42.0%
2017	0.073	18.8%	0.059	81.2%	100.1	58.5%	25.2	41.5%
2018	0.072	19.0%	0.057	81.0%	101.5	60.0%	26.1	40.0%
2019	0.072	19.0%	0.057	81.0%	100.0	61.0%	25.1	39.0%

注:数据来源于《河北省统计年鉴》。

料销售数据中无法区分城市客运与货运,且统计口径中覆盖了邮政业和仓储业,在实际使用中受到了一定限制;而“自下而上”法则是一种微观的计算方法,体现出交通运输移动源的排放特点,理论上计算精度较高,虽然个别运输工具行驶里程和能耗等基础数据获取难度较大,但均有官方或权威机构公布的间接数据或调研数据可以采用,同时,计算结果的不确定性主要来源于车辆类型、燃油技术等因素,并不影响测算结果的有效性。因此,本文选取“自下而上”法测算河北省货运的交通碳排放。

2.2.2 碳排放系数确定。在货物运输过程中,常用的能源包括汽油、柴油、电力等,这些能源在使用过程中会排放二氧化碳,根据中国碳交易网,二氧化碳排放系数=平均低位发热量*单位热值含碳量*碳氧化率*44/12,汽油的单位热值含碳量为18.9TC/TJ,碳氧化率为0.98,平均低位发热量为43 070kJ/kg,通过计算其二氧化碳排放系数为2.92kgCO₂,柴油的单位热值含碳量为20.2TC/TJ,碳氧化率为0.98,平均低位发热量为42 652kJ/kg,通过计算其二氧化碳排放系数为3.10kgCO₂。电力碳排放系数依据区域进行划

分,根据《省级温室气体编制清单指南》,河北的电力碳排放系数为1.246kgCO₂。

2.2.3 基于碳排放系数的碳排放计算。根据文献研究,构建城域货运公铁交通碳排放计算模型:

$$C_{CO_2} = V_{j,k} * F_{j,k} * r_l * a_{j,k} \quad (1)$$

式中: C_{CO_2} 为城域货运交通碳排放量; $V_{j,k}$ 为货物的运输周转量; $F_{j,k}$ 为不同运输工具的单位能源消耗量; r_l 为第 l 种能源的二氧化碳排放系数; $a_{j,k}$ 为不同运输工具所占比例。2005-2019年运输工具比例见表3。

使用式(1)对碳排放量进行求解,分别计算河北2005-2019年不同能源类型公路和铁路的碳排放量,计算结果见表4。

表4 2005-2019年不同能源类型碳排放量

年份	汽油碳排放量/亿t	柴油碳排放量/亿t	电动机车碳排放量/千亿t	内燃机车碳排放量/亿t	合计碳排放量/千亿t
2005	294.5	1 104.6	895.2	115.0	896.8
2006	325.3	1 225.2	990.5	116.1	992.1
2007	384.8	1 304.3	1 088.3	144.5	1 090.2
2008	4 004.5	1 441.6	1 191.3	148.1	1 196.9
2009	1 436.6	4 620.3	1 272.2	140.4	1 278.4
2010	1 601.5	6 196.8	1 842.3	143.5	1 850.2
2011	2 022.2	8 092.5	2 676.4	164.9	2 686.7
2012	2 695.0	9 232.0	2 723.2	169.3	2 735.3
2013	2 867.7	10 614.1	3 101.1	173.0	3 114.7
2014	3 038.8	10 605.5	3 106.9	168.4	3 120.7
2015	2 805.3	10 435.1	2 620.4	130.2	2 633.7
2016	2 959.4	10 792.9	2 695.9	130.1	2 709.8
2017	3 170.1	11 713.1	3 121.7	138.5	3 136.7
2018	3 422.7	12 226.8	3 665.8	156.1	3 681.6
2019	3 456.9	12 349.1	3 752.6	149.6	3 768.5

2.3 城域货运公铁交通碳排放分析

2.3.1 碳排放变化分析模型建立。目前,最常见的碳排放变化分解方法为对数平均迪氏分解方法(LM-DI),本文使用LMDI,分析2005-2019年河北省公铁交通二氧化碳排放量变化的主要影响因素,详见式(2)。

$$M^t = \sum_{i=1}^2 \left(\frac{e_{ij}^t}{E_i^t} \times \frac{E_i^t}{T_i^t} \times \frac{T_i^t}{T^t} \times \frac{T^t}{g_{CDP}^t} \times g_{CDP}^t \times C_j \right) \quad (2)$$

式中: e_{ij}^t 为第 t 年第 i 种运输方式第 j 种能源的消

耗量; E_i^t 为第 t 年第 i 种运输方式的总能源消耗量; T_i^t 为第 t 年第 i 种运输方式的货运周转量; T^t 为第 t 年 4 种运输方式的总货运周转量; g_{GDP}^t 为第 t 年的 GDP, 以 2005 年不变价计算。

令 $E_{ij}^t = e_{ij}^t / E_i^t$ 表示第 i 中运输方式第 t 年的能源结构; $I_i^t = E_i^t / T_i^t$ 表示第 i 种运输方式第 t 年的单耗, $T_s^t = T_i^t / T^t$ 表示第 t 年的货运结构, $G_T^t = T^t / g_{GDP}^t$ 表示 t 年的交通运输强度, 将上述公式进行简化, 见式(3)。

$$M^t = \sum_{i=1}^2 E_{ij}^t \times I_i^t \times T_s^t \times G_T^t \times g_{GDP}^t \times c_j \quad (3)$$

此时, 碳排放变化就可以分解为能源结构、单耗水平、货运结构、交通运输强度和 GDP 五个影响因素。通过使用 LMDI 计算方法, 假设基年的碳排放量 M^0 变化到预测年的碳排放量 M^t , 可以计算得出:

$$\Delta M^t = \Delta M_q^t + \Delta M_c^t + \Delta M_{ij}^t + \Delta M_{gt}^t + M_{gdp}^t \quad (4)$$

$$\Delta M_q^t = \sum_{i=1}^2 W(M_i^t M_i^0) \ln \left(\frac{E_{ij}^t}{E_{ij}^0} \right) \quad (5)$$

$$\Delta M_{et}^t = \sum_{i=1}^2 W(M_i^t M_i^0) \ln \left(\frac{I_i^t}{I_i^0} \right) \quad (6)$$

$$\Delta M_{ts}^t = \sum_{i=1}^4 W(M_i^t M_i^0) \ln \left(\frac{T_s^t}{T_s^0} \right) \quad (7)$$

$$\Delta M_{gt}^t = \sum_{i=1}^4 W(M_i^t M_i^0) \ln \left(\frac{G_T^t}{G_T^0} \right) \quad (8)$$

$$\Delta M_{GDP}^t = \sum_{i=1}^4 W(M_i^t M_i^0) \ln \left(\frac{G_{GDP}^t}{G_{GDP}^0} \right) \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^4 W(M_i^t M_i^0) = \frac{M_i^t - M_i^0}{\ln(M_i^t - M_i^0)} \quad (10)$$

式中, ΔM^t 为碳排放变化量; ΔM 为能源结构变化对碳排放的影响; ΔM_{et}^t 为单耗水平变化对碳排放的影响; ΔM_{ts}^t 为运输结构变化对碳排放的影响; ΔM_{gt}^t 为交通结构变化对碳排放的影响; ΔM_{GDP}^t 为 GDP 变化对碳排放的影响。

2.3.2 碳排放变化分析。由于公路和铁路能源种类消耗量没有统计资料, 故本文暂不计算能源结构变化导致的碳排放变化量。根据以上公式可以将河北省碳排放变化分解, 结果见表 5, 从表 5 可以看出, 2005-2019 年河北省碳排放量呈上升趋势, 15 年间增长了 2 亿 t, 其中, 2009-2013 年和 2017-2019 年为增长较快的年份, 从整体来看, 单耗水平对交通碳排放

量起着抑制作用, GDP 和货运结构变化对碳排放量起着促进作用, 运输强度变化的影响作用呈现出一定的波动, 但是从长远来看, 呈现出抑制作用。

表 5 河北省碳排放变化分解

年份	碳排放量	结构	强度	GDP	单耗水平
2005-2009	-7 370	-11	-22	-7 310	-27
2009-2013	10 701	-3 951	-1 094	6 932	8 814
2013-2017	-8 951	-8 208	181	-443	-481
2017-2019	10 544	-16 494	-1 230	1 886	26 382

3 结语

(1) GDP 对碳排放变化的影响分析。由表 5 可知 GDP 变化导致碳排放增加的效果十分显著, 对解释交通碳排放的贡献最大, 因此, GDP 是四个影响因素中最主要的行业碳排放促进因素。

(2) 能源消耗水平对于碳排放变化的影响分析。从总体来看, 2005-2019 年, 随着运输单耗水平的增减变化, 碳排放量也会随之发生增减变化, 因此, 运输单耗水平是促进碳排放量的主要因素。

(3) 关于运输结构对碳排放的影响。由表 5 可以看出, 运输结构发生变化, 碳排放量反而减少, 因此, 运输结构是抑制碳排放的主要因素之一。不同的运输方式其能耗特点也不同。

(4) 交通运输强度对碳排放量的影响。由表 5 可以看出, 交通运输强度是抑制碳排放的因素之一。随着货运量的增加, 交通运输强度增大, 其能源消耗和碳排放量随之增加。

【参考文献】

- [1] GRUBB M, SHA F, SPENCER T, et al. A review of Chinese CO₂ emission projections to 2030: the role of economic structure and policy[J]. Climate Policy, 2015(1): 7-39.
- [2] 国家发展改革委印发关于开展第二批国家低碳省区和低碳城市试点工作的通知[EB/OL]. (2012-12-11)[2012-04-15]. http://fgw.CZS.gov.cn/fzggdt/dqjyjlxsh/content_279370.html.
- [3] 闫枫. 京津城际高速铁路综合效益分析研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.
- [4] 王涛. 武汉城市交通碳排放的时空演化及影响机制研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2015.
- [5] 朱琪. 京、津、冀货运量影响分析及预测[D]. 北京: 华北电力大学, 2018.
- [6] 余启龙. 考虑碳排放的四川省集装箱多式联运路径优化研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2019.