

引用格式:马海涛,康雷.京津冀区域公路客运交通碳排放时空特征与调控预测[J].资源科学,2017,39(7):1361-1370. [Ma H T, Kang L. Spatial and temporal characteristics and prediction of carbon emissions from road traffic in the Beijing-Tianjin-Hebei Region[J]. *Resources Science*, 2017, 39(7): 1361-1370.] DOI: 10.18402/resci.2017.07.13

京津冀区域公路客运交通碳排放时空特征与调控预测

马海涛^{1,2}, 康雷^{3,4}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;

3. 河南大学黄河文明传承与现代文明建设河南省协同创新中心, 开封 475001;

4. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:运用机动车燃料消耗的碳排放直接测算方法,对京津冀区域2005-2014年公路客运交通碳排放进行了测算和时空分析;并借助LEAP模型,设定了基准增长、比例控制和总量控制三种调控情景,对区域未来的公路客运交通碳排放进行了预测和调控设想。结果表明:①从时间演变来看,虽然单位乘客碳排放强度大大降低,但区域总体公路客运交通碳排放绝对量却在稳步快速增长,区域碳减排压力持续增加;②从空间分异来看,京津二市碳排放一直处于领先地位,但河北11市碳排放的稳步提升也使河北省碳排放京津冀区域中的比重大大抬升;③预测发现总量控制情景较比例控制情景有更大碳减排幅度,但两种控制情景的区域碳排放总量至2030年都会保持增长态势,因此区域公路客运交通的调控需要科学设计并加大力度。本研究可为区域交通管治政策制定和碳减排提供参考。

关键词:公路客运交通;碳排放;LEAP模型;情景预测;京津冀

DOI: 10.18402/resci.2017.07.13

1 引言

中国进入公路客运交通的机动化时代,这势必对区域能源的供给保障及其碳排放产生强烈影响^[1]。相关学者研究发现全球二氧化碳排放量约有25%来自交通运输^[2-4];国内公路交通的碳排放占交通运输中的比重超过90%,而且客运交通的碳排放占区域碳排放中占有绝对的主导地位^[5]。公路客运交通过去对碳排放有较大贡献,而且随着私家汽车拥有量的快速增加,未来对区域碳排放的贡献将进一步增加,这无疑对中国的碳减排任务是一个巨大挑战。伴随着全国统一碳市场的即将启动,区域碳排放总量核算和碳排放预测将引起更广泛关注,因为这直接影响区域碳排放的配额分配以及碳交易数量。对交通设施便捷、人口产业集聚、经济社会发达的城市群区域而言,面临的公路客运交通碳排放问题更为突出。京津冀城市群区域,相比国内其它

城市群面临着更为严峻的资源和生态环境压力;这与集中的能源使用和碳排放有直接关联,特别是燃油机动车数量的急剧攀升有较大贡献。那么,京津冀区域公路客运交通的碳排放有多少?过去如何演变、将来有何趋势?需要给予测算。未来如何调控和引导公路客运交通的发展,需要通过多情景预测提供科学依据。

事实上,国内外学者对交通碳排放的测算以及预测都有一些探索。在交通碳排放测算方面,目前主要通过问卷调查、走访等形式,以个体模拟整体来进行交通碳排放量估算。譬如,黄晓燕等通过对广州市不同圈层社区的居民进行问卷调查,估算其通勤碳排放量,进而探讨城市居民通勤碳排放特征和影响因素^[6];徐昔保等基于典型居住小区问卷调查获取第一手的城市居民出行基础数据,进而估算南京、宁波和常州等长三角地区典型城市居民出行

收稿日期:2017-01-21;修订日期:2017-04-27

基金项目:国家自然科学基金重大项目(41590842);国家自然科学基金重点项目(71433008)。

作者简介:马海涛,男,山东滕州市人,副研究员,硕士生导师,研究方向为城市地理与规划。E-mail: maht@igsnnr.ac.cn

碳排放特征并分析其影响机理^[7];宁晓菊等对中原经济区的中心城市郑州市居民交通出行开展微观调研,并结合统计数据分析了居民交通碳排放的时空变化特征和影响因素^[8]。相比而言,通过调研访谈法估算交通碳排放量,虽然有利于对居民出行行为碳排放机制的分析,但其准确度逊色于机动车燃料消耗的碳排放直接测算方法。在交通碳排放的预测方面,多种计量模型得到应用。例如,邓小乐等利用STIRPAT模型对未来西北五省区碳排放峰值进行了预测,该模型描述了影响碳排放的经济、社会和技术因素的作用机制,通过模型参数赋值进行碳排放预测^[9]。李志鹏利用系统动力学的方法对“十二五”期间城市交通能源消耗、碳排放进行了预测,该方法综合控制论、信息论和决策论的成果,以计算机为工具,运用状态变量、速率变量和辅助变量分析研究信息反馈系统的结构和行为^[10]。杨花等则运用LEAP模型预测了山西省的碳排放,该模型是一个能源环境情景分析模型,广泛应用于各种尺度各个行业的能源环境政策模拟评价^[11]。LEAP模型的出发点是工程技术模型,它对能源消费过程中的技术进行分析预测,并基于技术变化的详细信息进行预测,在辨别政策发展方向及其解释实施效果方面具有较强优势。此外,在公路交通减排措施方面,相关研究认为构建低碳的交通系统、提高车辆的能源利用效率、降低燃料中的碳含量和控制车辆行驶距离的增长率对交通碳减排至关重要^[12]。

鉴此,采用机动车燃料消耗的碳排放直接测算方法,对京津冀区域公路客运交通的碳排放总量及其结构、演变过程与空间分异等进行研究;并在此基础上,采用自下而上的LEAP模型,设定关键影响

因子和不同情景,对区域碳排放进行预测;以期对京津冀区域碳减排和交通管控提供参考依据。

2 研究方法

2.1 公路客运交通碳排放的核算方法

从京津冀区域和地级以上城市两个层面计算公路客运交通碳排放量。区域整体层面的公路客运交通碳排放估算采用燃料消耗的直接测算方法^[13],公式如下:

$$C = \sum_{i=1}^4 C_i \quad (1)$$

$$C_i = \sum_{j=1}^n E_{ij} \times r_j \quad (2)$$

$$E_{ij} = S_i \times M_i \times N_{ij} \quad (3)$$

式中 C 为京津冀区域公路客运交通碳排放总量; C_i 为第 i 种机动车的碳排放量; E_{ij} 为第 i 种机动车的燃料消耗量; r_j 为第 j 种能源的碳排放系数; S_i 为第 i 种机动车的数量; M_i 为第 i 种机动车的行驶里程; N_{ij} 为第 i 种机动车第 j 种能源的单位能耗。燃料消耗量通过不同类型的客运机车数据、年平均行驶里程以及平均燃料消耗量相乘得到(表1)。

地级以上城市的公路客运交通碳排放量通过各城市不同交通工具的单位乘客碳排放强度与旅客周转量乘积加和得到;所用旅客周转量、客运车辆数量均来自京津冀各地市统计年鉴与城市统计年鉴^[14]。由于新能源汽车的碳排放小并且比重不高,本研究只计算公路客运交通中以汽油和天然气作为燃料的机动车碳排放量。考虑到本研究所使用的碳排放系数取值年份和数据的可获得性,选择京津冀地区2005-2014年这一时段测算其客运交通

表1 京津冀区域不同类型公路客运车辆的年均行驶里程和能源消耗量

Table 1 Annual mileage of different types of passenger vehicles and energy consumption

交通工具	年平均行驶里程/km	平均燃料消耗	燃料	碳排放系数/(tCO ₂ /t)
出租汽车	71 175	15.07km/kg	汽油	2.93
		0.07m ³ /km	天然气	2.16
公共汽车	34 000	3.91km/kg	汽油	2.93
		0.15m ³ /km	天然气	2.16
私人汽车	18 000	15.07km/kg	汽油	2.93
摩托车	10 000	50.23km/kg	汽油	2.93

数据来源:年平均行驶里程数来自《中国城市统计年鉴》^[14];平均燃料消耗量来自海德堡能源与环境研究所发布的研究报告^[15];碳排放系数来自2006年IPCC国家温室气体清单^[16]。

2017年7月

碳排放量,并作为预测的基础数据。

2.2 公路客运交通碳排放的预测模型

采用LEAP模型对京津冀区域的公路客运交通的碳排放进行预测。LEAP模型,是采用自下而上的方法,根据行业终端用能的变化设置不同情景,并链接各种环境污染物排放因子,对能源消费和大气污染物排放进行预测^[1]。借鉴LEAP模型思路,结合公路客运交通碳排放的特征,确定了关键参数:机动车数量、行驶里程以及燃料消耗,依据不同政策要求来调整参数和情景预测。研究中设定了基准情景和两种减排情景,三种情景对应不同的参数集,然后分别计算京津冀区域及三地未来的碳排放量,比较控制情景的节能减排潜力,并对各种政策的效果进行评估(图1)。

3 结果分析

3.1 碳排放总量及其演变

测算发现,近10年来京津冀区域公路客运交通的碳排放总量迅速增加,从2005年的2012.77万t增长到2014年的6003.22万t,年均增加443.38万t,年均增长12.91%。其中,北京市的公路客运交通碳排放量从2005年的952.57万t增长到2014年的2000.45万t,年均增加116.43万t,年均增长8.59%;天津市从2005年的326.56万t增长到2014年的984.11万t,年均增加73.06万t,年均增长13.04%;河北省则是从2005年的733.64万t增加到2014年的3018.67万t,年均增加253.89万t,年均增长17.02%(图2)。从数据上看,三地公路客运交通碳排放都在持续增加,从增量看河北较高、北京居中、天津较低,从增速看河北较高、天津居中、北京较低。2014年河北公路客运交通碳排放的贡献率最高,达到50.28%,而北京、天津分别为33.32%和16.39%;相比2005年,北京的贡献率降低了14.00%,河北增加

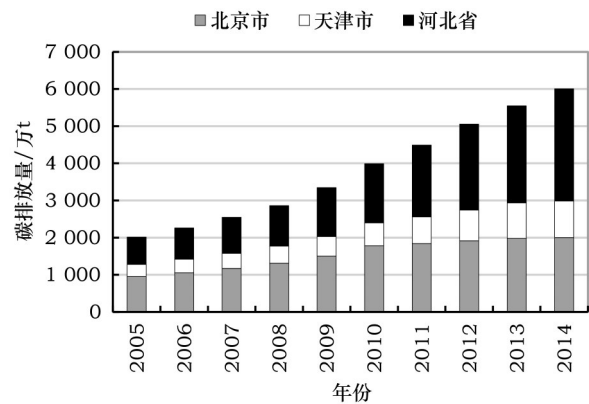


图2 京津冀区域公路客运交通碳排放总量变化

Figure 2 Carbon emissions from road traffic in Jing-Jin-Ji Region from 2005 to 2014

了13.84%,而天津则基本没有变化。可见,经过近10年的发展,京津冀区域的公路客运交通碳排放内部结构发生了很大变化,河北取代了北京,已经成为区域公路客运交通碳排放的主体单元。

3.2 碳排放结构性贡献

从京津冀区域公路客运不同交通方式的碳排放结构看,近10年私人汽车碳排放一直居绝对优势。10年来京津冀区域私人汽车拥有量从2005年的362.56万辆增加到2014年的1522.88万辆,总量翻了两番,年均增加128.92万辆;私人汽车成为京津冀区域公路客运交通碳排放的绝对主力,而且优势保持增长。相比而言,摩托车的数量则表现出持续减少的态势,10年减少了接近200万辆;摩托车的单位公里燃油消耗量低,平均行驶里程较短,使得燃料消耗总量及碳排放总量并不高。10年间公共汽车增加了1.32万辆,出租车增加了0.75万辆,绝对量相对较少,而且增量不多,因此碳排放总量也维持稳定态势,从结构上看碳排放贡献是在降低的(图3、图4)。

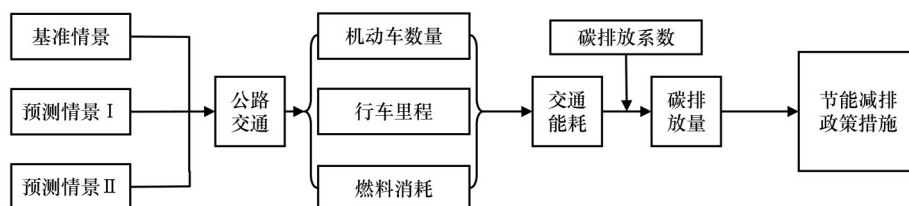


图1 基于LEAP模型的研究思路

Figure 1 The research idea based on LEAP model

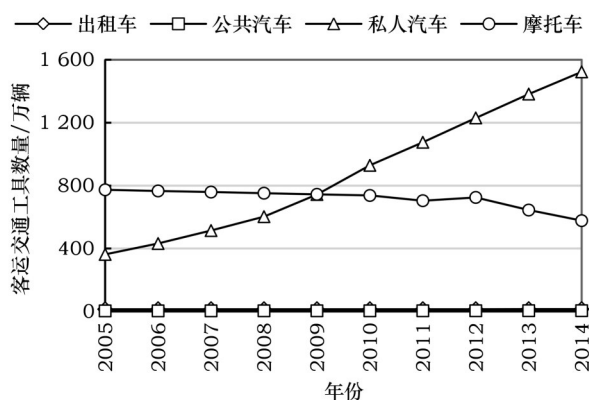


图3 2005–2014年京津冀区域各类
客运车辆数量

Figure 3 The number of all kinds of passenger vehicle
in Jing-Jin-Ji Region from 2005 to 2014

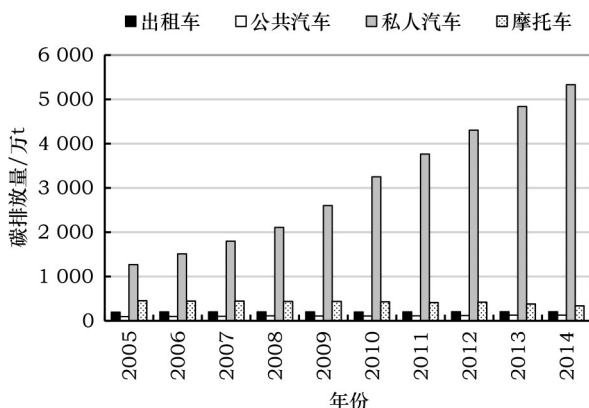


图4 2005–2014年京津冀区域四种公路交通工具
的碳排放量

Figure 4 Carbon emissions of various kinds of vehicles in Jing-Jin-Ji
Region from 2005 to 2014

3.3 碳排放强度变化态势

从单位乘客的公路客运交通碳排放量看,京津冀三地呈现较为类似的发展态势,表现为2008年前的迅速走低和之后的相对稳定,到2014年三地的碳排放强度基本上处于同一水平线。相比而言,北京的单位乘客公里碳排放量基本上处于一直领先的地位,但是下降幅度明显,10年降低了1010.44g;河北仅次于北京,10年降低711.99g;天津最低,10年保持稳定,但2014年却比2005年增加了115.36g。从图5看,2005–2008年的4年间是京津冀三地单位乘客公里碳排放量下降最明显的阶段,分别下降了1057.40g、854.04g和86.18g,一定程度表明公路客运交通为2008年北京奥运会的蓝天做出巨大贡献。

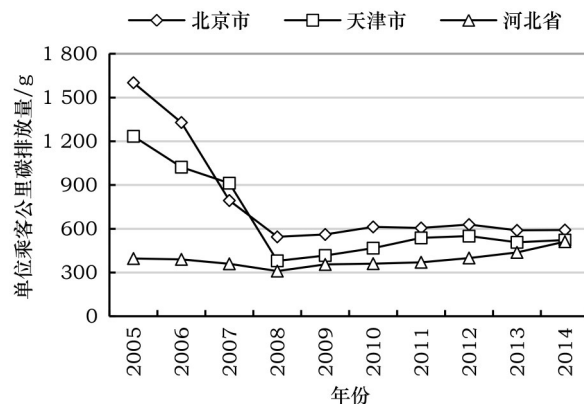


图5 2005–2014年京津冀公路客运交通单位乘客
公里碳排放量

Figure 5 Passenger transport carbon intensity of the Jing-Jin-Ji
Region from 2005 to 2014

3.4 碳排放的空间分异

测算出京津冀区域13个地级以上城市的公路客运交通碳排放量,制作2000年、2005年、2010年和2014年城市碳排放的空间分异图(图6),可以发现京津冀区域公路客运交通的碳排放量呈现明显整体上升态势。从高排放城市看,北京和天津一直是京津冀区域中排放最高的两个城市,数值不断攀升并始终位列前两名,其中:北京2014年的碳排放量相比2000年大约增长了5倍;天津2014年比2000年大约增长了6倍。从低排放城市看,碳排放量小于50万t的城市2000年有7个,到2005年减少到5个;2010年已经不存在碳排放量小于50万t的城市,排放量(51~100)万t的城市也仅有5个;2014年排放量最少的城市已经整体提高到100~300万t。河北省的11个城市碳排放都位于京津之后,但也存在2~3个层级,石家庄、唐山和保定是除京津之外的三个高排放城市,始终处于河北的第一层级;邯郸和沧州也在2014年进入了高排放城市之列;张家口、承德、秦皇岛和廊坊四个环京津城市的碳排放一直处于最低层级,但自身的排放量也在一直攀升,从低于50万t进入(100~300)万t行列。虽然京津总量一直处于区域首位,但随着整个区域碳排放的增长,京津排放比重呈现下降的趋势,从2005年的63.5%下降到2014年49.7%。

4 调控预测

4.1 调控情景设定

借助LEAP预测模型,以2014年为基准年,预

2017年7月

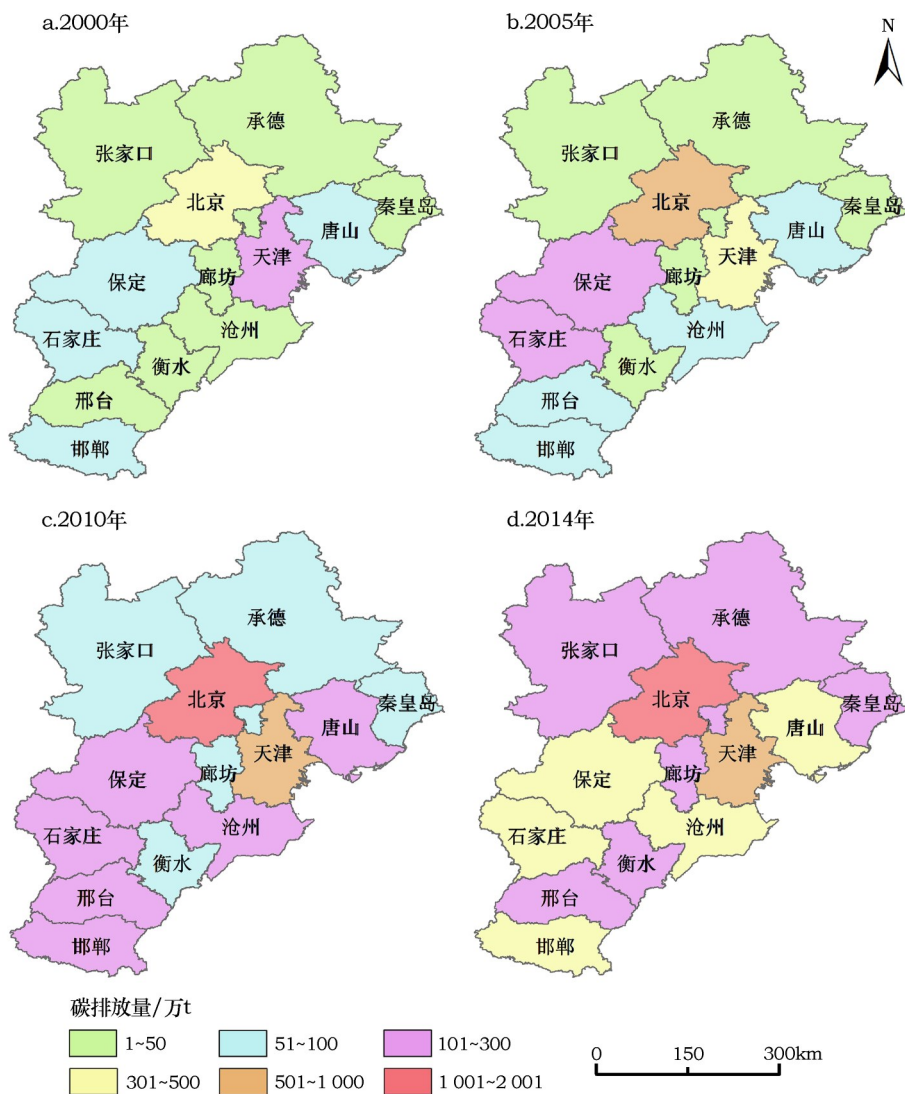


图6 京津冀地级以上城市公路客运交通碳排放的区域差异

Figure 6 The regional difference of the highway passenger transport carbon emissions in Jing-Jin-Ji Region

测不同情景下京津冀区域2015-2030年的公路客运交通碳排放量。分别设定了基准增长、比例控制和总量控制三种调控情景,其中:基准增长情景,假设情景时间内区域各交通部门不采用任何措施来减少碳排放量,可以看成是交通部门不作为的情况下能源消费和碳排放的一个参照结果。比例控制情景,假设情景时间内调整机动车类型的结构,大幅度增加公共交通以及新能源汽车的比例,调低私人汽车和摩托车的比例。总量控制情景,假设情景时间内采取严格控制机动车总量的措施,通过遏制机动车总量增长和加强技术减排措施来降低碳排放(表2)。

4.2 预测结果与分析

基准增长情景下,即没有任何减排措施的影响下,京津冀区域公路客运交通碳排放量将会维持高速增长;到2020年将达到8806.13万t,比2015年增加2695.39万t;2030年将达到15 009.62万t,预测期内平均每年增长6.17个百分点。比例控制情景下,2020年碳排放总量将达到7921.22万t,比同期基准增长情景减少884.91万t;2030年将达到12 762.75万t,比同期基准增长情景减少2246.87万t。比例控制情景下预测期内平均每年增长5.03个百分点,相比基准增长情景减少1.14个百分点,说明发展公共交通和增加新能源机动车比例的减排措施具有实

表2 情景假设及具体内容

Table 2 Scenario and the details

情景设定	具体内容
基准增长情景	未来没有任何减排措施,机动车总量依旧维持现在的增长水平,私家车、公交车也维持既有增长水平
比例控制情景	私家车、摩托车数量2020年在基准情景基础上减少10%,2025年、2030年分别减少15%、20%;公交车到2020年出行比例达到40%左右,公交车年平均行驶里程到2020年比2010年增加10%,2030年比2010年增加20%。公交车、出租车的新能源车(CNG、电动)2020年达到总量的40%,2030年达到总量的50%
总量控制情景	私家车总量到2020年北京市不超过600万辆,天津市不超过350万辆,河北省不超过1 000万辆,2030年北京市不超过700万辆,天津市不超过500万辆,河北省不超过1 500万辆,公交车和出租车的数量维持原有的增长水平。技术减排,2020年机动车平均汽油消耗在2010年基础上减少5%,2030年减少10%。

参考资料:具体指标依据《京津冀协同发展规划纲要》、《北京交通发展纲要(2004-2020)》、《北京市城市总体规划(2004年-2020年)》和《河北省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》^[17-20]等相关官方文件。

效,不过交通碳排放总量依旧较大。总量控制情景下,2020年的碳排放总量达到6695.05万t,比同期基准增长情景减少2111.08万t;2030年达到8503.68万t,比同期基准情景减少6506.94万t。总量控制情景下2015-2030年平均每年增长2.23个百分点,相比基准增长情景和比例控制情景分别减少3.94和2.80个百分点。比较可见,总量控制情景的减排效果更好,无论是增长速度还是增长总量都有较大下降(图7)。

两种控制情景下的碳排放预测中京津冀三地也有差异。比例控制情景下,三地公路客运交通碳排放量在2015年之后都在持续增加,京津的增长幅度相对较低,15年分别增加705.06万t和1374.50万t;河北则呈现快速增长态势,15年增加4572.45万t,2030年达到7492.24万t,比京津两市的总和还多2221.74万t(图8)。总量控制情景下,北京还出现

了总量负增长的情况;天津在15年内增加539.52万t,相比比例控制情景减少834.98万t;河北15年增加1742.96万t,相比比例控制情景减少2829.49万t(图9)。相比而言,总量控制情景的减排效果优于

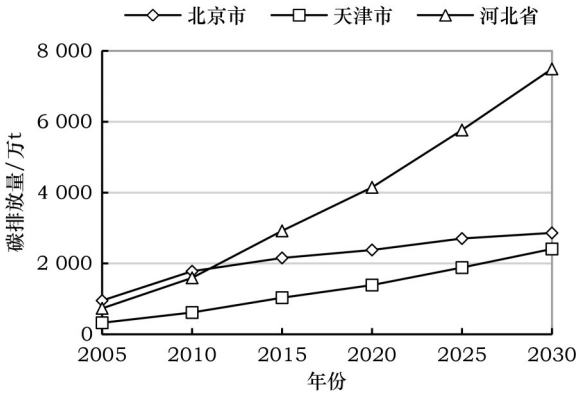


图8 2005-2030年京津冀三地比例控制情景碳排放量预测

Figure 8 Proportional control scenario prediction carbon emissions in Jing-Jin-Ji Region from 2005 to 2030

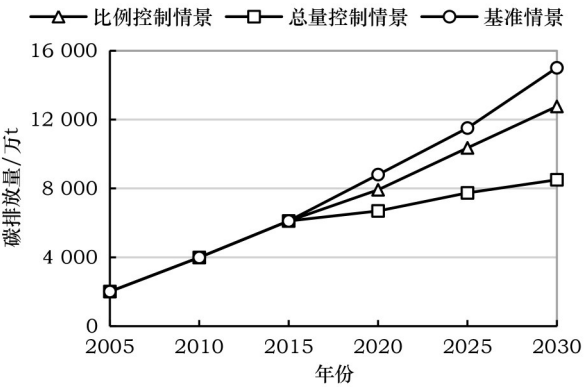


图7 2005-2030年京津冀不同情景下公路客运交通碳排放总量

Figure 7 Highway passenger transportation emissions under different scenarios in Jing-Jin-Ji Region from 2005 to 2030

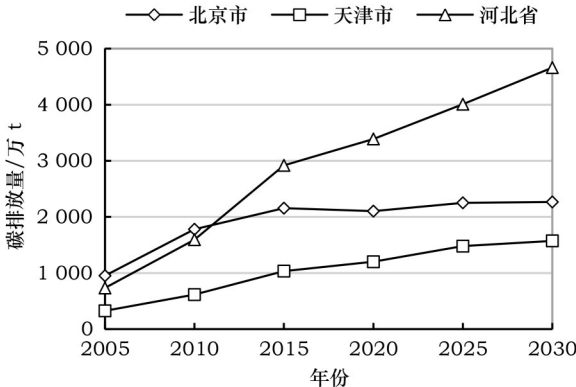


图9 2005-2030年京津冀三地总量控制情景碳排放量预测

Figure 9 Total quantity control scenario prediction carbon emissions in Jing-Jin-Ji Region from 2005 to 2030

2017年7月

比例控制情景。

4.3 调控措施建议

根据碳排放预测,京津冀区域未来公路客运交通碳排放绝对量仍会持续增加,这对京津冀区域日益严峻的碳排放及环境压力来说,需要倍加警惕。只有加强调控,才可以将环境压力降到最低;只有政策合理,调控才可以真正发挥实效。基于上文分析,建议采用“五结合”的调控思路:一是总量控制与比例控制相结合,总量控制过于僵硬,难以推进;比例控制明确公共交通和新能源交通的比例,加上燃油机动车的总量控制,更容易实现碳减排。二是数量控制与技术提升相结合,提高燃油利用效率、减少碳排放量,推广新能源和生物燃料,以及优化交通线路减少拥堵,都可以实现技术减排。三是区域控制与地方控制相结合,京津冀区域三地发展阶段和水平不同,应结合本地实际制定差异化客运交通减排目标。四是长期控制与近期调控相结合,将长期的绝对控制目标,依据区域发展阶段要求合理分解到各个时期。五是控制措施与宣传倡导相结合,积极宣传碳减排的居民责任,提倡绿色出行,鼓励选择公共交通和自行车,“软硬结合”调控交通碳排放。

5 结论与讨论

本文采用机动车燃料消耗的碳排放直接测算方法,对京津冀区域公路客运交通的碳排放进行测算,分析了碳排放的总量演变、结构贡献、强度变化和空间格局,明确了公路客运交通碳排放对京津冀区域碳排放总量的绝对贡献;并借鉴 LEAP 模型思路,选择关键参数,设置三种情境,预测京津冀区域未来公路客运交通的碳排放量,提出公路客运的减排调控建议。

以史为证,通过 2005-2014 年京津冀区域客运交通碳排放的核算,发现客运交通碳排放总量成倍增加,已经成为京津冀区域能源消耗和环境污染的重要力量。从公路交通方式上看,私人汽车存量的急剧攀升是区域碳排放量持续增加的关键因素;从区域结构上看,京津二市引领区域碳排放,但河北省 11 个地级市碳排放的稳步提升也使河北碳排放京津冀区域中的比重大大抬升。

以史为镜,通过对未来京津冀区域客运交通碳

排放的预测,发现总量控制和比例控制情景下的碳排放要比没有减排措施的基准增长情景有很大减排幅度(总量控制情景下区域 2030 年比基准情境最高减排量达 6506.94 万 t);但即使在控制情景下,由公路客运交通带来的碳排放绝对量将依然会保持增长(区域 2030 年预测最低排放量相比 2014 年实际排放量净增 2500.46 万 t,是 2014 年的 41.65%),这对京津冀区域不断加剧的空气污染程度和不断增加的雾霾治理压力来说,也是一个棘手的难题。

以史为鉴,京津冀区域未来客运交通方式的选择、管治与调控还需要加大力度、加强研究,努力减少对京津冀区域碳排放的增量压力。从两种控制情景看,总量控制明显优于比例控制,但总量控制的难度较大。未来的客运交通调控,可以采用总量控制与比例控制相结合、数量控制与技术控制相结合、区域控制与地方控制相结合、长期控制与近期控制相结合、控制措施与鼓励倡导相结合的方式开展,既要长期减排目标为宗旨,又要考虑到地方差别、民众需求和发展阶段。

随着交通设施的快速发展和居民交通出行需求的增加,交通碳排放将会得到更加广泛的关注。公路客运交通并不是交通的全部,货运交通碳排放的强度及对空气污染的影响更大,还需要在数据健全的情况下进一步考虑;随着城际交通的日趋完善及城际联系增多,城市群内部城市之间的客运交通碳排放也需要在城市群尺度内加以考虑;此外,如何从更好地满足居民出行需求的角度探讨客运交通碳排放也值得深入研究。

参考文献(References):

- [1] 池熊伟. 中国交通部门碳排放分析[J]. 鄱阳湖学刊, 2012, (4): 56-62. [Chi X W. Carbon pool economists China's transportation sector analysis[J]. *Journal of Poyang Lake*, 2012, (4): 56-62.]
- [2] Wang R, Liu W, Xiao L, et al. Path towards achieving of China's 2020 carbon emission reduction target a discussion of low-carbon energy policies at province level[J]. *Energy Policy*, 2011, 39(5): 2740-2747.
- [3] Shabbir R, Ahmad S S. Monitoring urban transport air pollution and energy demand in Rawalpindi and Islamabad using leap model[J]. *Energy*, 2010, 35(5): 2323-2332.
- [4] He K, Huo H, Zhan Q, et al. Oil consumption and CO₂ emissions

- in China's road transport: current status, future trends, and policy implications[J]. *Energy Policy*, 2005, 33(12): 1499-1507.
- [5] 李琳娜. 中国客运交通的碳排放地理特征与展望[J]. 地理研究, 2016, 35(7): 1230-1242. [Li L N. China's carbon emissions geographical characteristics and prospect of passenger transport [J]. *Journal of Geographical Research*, 2016, 35(7): 1230-1242.]
- [6] 黄晓燕, 刘夏琼, 曹小曙, 等. 广州市三个圈层社区居民通勤碳排放特征-以都府小区、南雅苑小区和丽江花园为例[J]. 地理研究, 2015, 34(4): 751-761. [Huang X Y, Liu X Q, Cao X S, et al. Guangzhou three spheres of community residents commuting carbon features[J]. *Journal of Geographical Research*, 2015, 34(4): 751-761.]
- [7] 徐昔保, 陈爽, 杨桂山. 长三角地区城市居民出行交通碳排放特征与影响机理[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(8): 1064-1071. [Xu X B, Chen S, Yang G S. Yangtze river delta urban residents travel transport carbon emissions characteristics and effect mechanism[J]. *Journal of Resources and Environment in Yangtze River Basin*, 2014, 23(8): 1064-1071.]
- [8] 宁晓菊, 张金萍, 秦耀辰, 等. 郑州城市居民交通碳排放的时空特征[J]. 资源科学, 2014, 36(5): 1021-1028. [Ning X J, Zhang J P, Qin Y C, et al. Zhengzhou urban traffic carbon emission characteristics of space and time[J]. *Resources Science*, 2014, 36(5): 1021-1028.]
- [9] 邓小乐, 孙慧. 基于STIRPAT模型的西北五省区碳排放峰值预测研究[J]. 生态经济, 2016, 32(9): 36-41. [Deng X L, Sun H. Based on the northwest five provinces of carbon emissions peak STIRPAT model prediction research[J]. *Ecological Economy*, 2016, 32(9): 36-41.]
- [10] 李志鹏. 基于系统动力学的天津市城市交通能源消耗与碳排放预测[J]. 价值工程, 2012, 31(7): 308-310. [Li Z P. Based on system dynamics of Tianjin urban transportation energy consumption and carbon emissions prediction[J]. *Value Engineering*, 2012, 31(7): 308-310.]
- [11] 杨花, 杜斌, 吕锋骅, 等. 基于IPCC排放清单和LEAP模型的山西省CO₂排放研究[J]. 环境污染与防治, 2014, 36(3): 103-109. [Yang H, Du B, Lv F H, et al. Based on the IPCC emissions inventory and LEAP model of CO₂ emissions of Shanxi Province [J]. *Journal of Environmental Pollution and Prevention*, 2014, 36(3): 103-109.]
- [12] 童抗抗, 马克明. 居住-就业距离对交通碳排放的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(10): 2975-2984. [Tong K K, Ma K M. Living-employment distance on the influence of traffic emissions[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(10): 2975-2984.]
- [13] 张金萍, 秦耀辰, 张艳, 等. 城市CO₂排放结构与低碳水平测度-以京津沪渝为例[J]. 地理科学, 2010, 30(6): 874-879. [Zhang J P, Qin Y C, Zhang Y, et al. The urban structure and low carbon level measure CO₂ emissions-in the Beijing and Tianjin only, for example[J]. *Journal of Geographical Science*, 2010, 30(6): 874-879.]
- [14] 国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴 2013 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2013. [National Bureau of Statistics of China. China City Statistics Yearbook 2013[M]. Beijing: China Statistics Press, 2013.]
- [15] 海德堡能源与环境研究所. 中国交通: 不同交通方式的能源消耗与排放研究报告[R]. 海德堡: 海德堡能源与环境研究所, 2008. [Institute of Energy and Environment. Transport in China: Different Transport Modes Energy Consumption and Emission [R]. Heidelberg: Institute of Energy and Environment, 2008.]
- [16] IPCC国家温室气体清单特别工作组. 2006年IPCC国家温室气体清单指南[M]. 神奈川: 日本全球环境战略研究所, 2006. [IPCC National Greenhouse Gas Inventory Task Force. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[M]. Kanagawa: Japan Global Environmental Strategy Institute, 2006.]
- [17] 冀丰渊. 京津冀协同发展规划纲要[R]. 廊坊: 对接京津-解题京津冀一体化与推动区域经济协同发展(对接京津与环首都沿渤海第13次论坛)论文集, 2016. [Ji F Y. The Integration of Beijing - Tianjin- Hebei Cooperation and the Development of Regional Economy (the 13th Forum of Beijing - Tianjin and Central Capital along the Bohai Sea), 2016.]
- [18] 北京交通委员会, 北京发展和改革委员会. 北京市十二五时期交通发展建设规划[EB/OL]. (2012-08-20)[2017-01-21]. http://district.ce.cn/zt/zlk/bg/201208/20/t20120820_23601104_1.shtml. [Beijing Transportation Commission, Beijing Development and Reform Commission. Beijing 12th Five-Year Transportation Development and Construction Planning[EB/OL]. (2012-08-20)[2017-01-21]. http://district.ce.cn/zt/zlk/bg/201208/20/t20120820_23601104_1.shtml.]
- [19] 北京市人民政府. 北京市城市总体规划(2004-2020)[EB/OL]. (2005-04-25)[2017-01-21]. <http://www.cityup.org/case/general/20070907/32261.shtml>. [Beijing Municipal People's Government. Beijing Urban Master Plan (2004-2020)[EB/OL]. (2005-04-25)[2017-01-21]. <http://www.cityup.org/case/general/20070907/32261.shtml>.]
- [20] 河北省人民政府. 河北省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要[EB/OL]. (2016-08-02)[2017-01-21]. <http://www.inic.cn/xyjyc/zt/gdsswgh/2016/08/407588.shtml>. [Hebei Province People's Government. Outline of the 13th Five-Year Plan for the National Economic and Social Development of the Hebei Province [EB/OL]. (2016-08-02)[2017-01-21]. <http://www.inic.cn/xyjyc/zt/gdsswgh/2016/08/407588.shtml>.]
- [21] 张秀媛, 杨新苗, 闫琰. 城市交通能耗和碳排放统计测算方法研究[J]. 中国软科学, 2014, (6): 142-150. [Zhang X Y, Yang X

2017年7月

- M, Yan Y. Urban transportation energy consumption and carbon emissions statistic method research[J]. *China Soft Science*, 2014, (6):142-150.]
- [22] 王会芝. 交通能源消费碳排放情景预测研究-以天津市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(7):37-41. [Wang H Z. The transportation energy consumption carbon emissions scenario prediction research- in Tianjin, for example[J]. *Journal of Resources and Environment in Arid Areas*, 2016, 30(7):37-41.]
- [23] 柯水发, 王亚, 陈奕钢, 等. 北京市交通运输业碳排放及减排情景分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(6):81-88. [Ke S F, Wang Y, Chen Y G, *et al.* The Beijing transport carbon emissions and emissions scenario analysis[J]. *China Population Resources and Environment*, 2015, 25(6):81-88.]
- [24] 马丽, 刘立涛. 基于发达国家比较的中国能源消费峰值预测[J]. 地理科学, 2016, 36(7):980-988. [Ma L, Liu L T. Based on the developed country compare peak of China's energy consumption prediction[J]. *Journal of Geographical Science*, 2016, 36(7):980-988.]
- [25] 周健, 崔胜辉, 林剑艺, 等. 基于LEAP模型的厦门交通能耗及大气污染物排放分析[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(11):164-170. [Zhou J, Cui S H, Lin J Y, *et al.* Based on the LEAP model of Xiamen transportation energy consumption and air pollutants emission analysis[J]. *Journal of Environmental Science and Technology*, 2011, 34(11):164-170.]
- [26] 王长建, 张小雷, 张虹鸥, 等. 基于IO-SDA模型的新疆能源消费碳排放影响机理分析[J]. 地理学报, 2016, 71(7):1105-1118. [Wang C J, Zhang X L, Zhang H O, *et al.* Based on the IO-SDA model of energy consumption in Xinjiang carbon impact mechanism analysis[J]. *Journal of Geography*, 2016, 71(7):1105-1118.]
- [27] 林晓丹, 吕彬, 田良, 等. 基于LCA的北京市公交车节能及温室气体减排潜力分析[J]. 环境科学学报, 2015, 35(2):576-584. [Lin X D, Lv B, Tian L, *et al.* Based on LCA of Beijing bus energy saving and greenhouse gas emission reduction potential analysis[J]. *Journal of Environmental Science*, 2015, 35(2):576-584.]
- [28] 王宇飞, 李惠民, 齐晔. 交通出行需求对碳排放的影响及贡献[J]. 生态经济, 2016, 32(9):32-35. [Wang Y F, Li H M, Qi Y. The influence of the transportation demand of carbon emissions and contribute[J]. *Ecological Economy*, 2016, 32(9):32-35.]
- [29] 董洁芳, 王强, 王兴民, 等. 山西省煤炭消费需求影响因素的实证研究[J]. 中国科学院大学学报, 2016, 33(5):641-650. [Dong J F, Wang Q, Wang X M, *et al.* Shanxi coal: An empirical study of factors influencing consumer demand[J]. *Journal of University of Chinese Academy of Sciences*, 2016, 33(5):641-650.]
- [30] 苏涛永, 张建慧, 李金良, 等. 城市交通碳排放影响因素实证研究-来自京津沪渝面板数据的证据[J]. 工业工程与管理, 2011, 16(5):134-138. [Su T Y, Zhang J H, Li J L, *et al.* The urban traffic carbon emission factors affecting the empirical research, the evidence from the Beijing, Tianjin, Shanghai, and Chongqing only panel data[J]. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2011, 16(5):134-138.]
- [31] 刘建翠. 中国交通运输部门节能潜力和碳排放预测[J]. 资源科学, 2011, 33(4):640-646. [Liu J C. China's transportation and energy saving potential and carbon emissions prediction[J]. *Resource Science*, 2011, 33(4):640-646.]

Spatial and temporal characteristics and prediction of carbon emissions from road traffic in the Beijing–Tianjin–Hebei Region

MA Haitao^{1,2}, KANG Lei^{3,4}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

3. Collaborative Innovation Center on Yellow River Civilization of Henan Province, Henan University, Kaifeng 475001, China;

4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In the 21st century, China entered an era of highway passenger transport, which is bound by regional energy supply and that strongly impacts carbon emissions. With the rapid increase in the number of private cars, road passenger transport has made a significant contribution to carbon emissions, and future contributions to regional carbon emissions will increase further. This is undoubtedly a huge challenge for China's carbon reduction goals. By using the bottom-up approach for estimating carbon emissions, the Beijing-Tianjin-Hebei region (hereafter, ereafte Jing-Jin-Ji) of highway passenger transport carbon emissions were estimated and analyzed from 2005 to 2014. With the help of a LEAP model, we set three kinds of regulations including benchmark growth, proportional control and total amount of control. The future of regional highway passenger transport carbon emissions is forecasted. We found that from the evolution of time, although per capita carbon emission intensity is greatly reduced, regional overall highway passenger transport carbon emissions grow steadily, and regional carbon reduction pressure increases. From a spatial differentiation perspective, the carbon emissions of the two cities Beijing and Tianjin is leading. The steady rise of carbon emissions in the 11 cities of Hebei also meant that the proportion of carbon emissions in the Jing-Jin-Ji region in Hebei increased. We predict that the total quantity control scenario is a proportional control situation and more carbon emissions, but no matter the regional carbon emission reductions, carbon emissions will keep rising until 2030. The design of highway passenger transport control requires scientific areas and greater effort. These data should be used to improve highway passenger transport policy and regional carbon reduction in China.

Key words: road transport; carbon emissions; LEAP Model; forecast; Beijing-Tianjin-Hebei region