

重载货车对北京市重污染天气影响的实证研究

李云燕, 潘冉*

(北京工业大学经济与管理学院, 北京 100124)

摘要:使用 PCA 算法与 MLR 模型实证分解 2002—2016 年重载货车污染对北京市严重空气污染天气形成的作用路径与贡献度。由方差分析结果得知 DHDT、DPM、DNO、DGTKM 的方差贡献度均在 50% 以上, 暗示省际公路货物周转需求是引起重载货车数量与行驶里程增加的关键因素, 由此引起大量柴油消耗并显著提高北京市 NO₂ 与 PM₁₀、PM_{2.5} 浓度。系数估计结果显示, 重载货车数量、省际货物周转量、NO₂ 浓度与 PM₁₀、PM_{2.5} 浓度显著相关, 重载货车污染综合变量与 CO 浓度、柴油消耗量每提高 1 个标准单位会使北京市重空气污染天数增加 1.489 个标准单位。因此, 在重载货车污染因素中, 重载货车数量、省际货物周转量、柴油使用量是北京市重污染天数增加的“元凶”, NO₂、PM₁₀、PM_{2.5} 与 CO 的排放生成是主要污染路径。

关键词:重污染天气; 北京市; PCA 算法; 重载货车; 柴油消耗量

中图分类号: X511

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2019)06-0206-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2019.06.044

Empirical study on impact of heavy-duty trucks on heavy air pollution in Beijing

LI Yun-yan, PAN Ran*

(College of Economy and Management, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: PCA algorithm and MLR model are used to figure out the route and degree that heavy duty trucks pollution has contributed to the severe air pollution weather in Beijing from 2002 to 2016. The variance contribution rates of DHDT, DPM, DNO and DGTKM exceed 50% by variance analysis, which indicates that the trans provincial freight turnover demand is the key factor causing the increase of the number and mileage of heavy-duty trucks, and in turn causing a large amount of diesel consumption and significantly increasing the concentration of NO₂, PM₁₀ and PM_{2.5} in Beijing. The number of heavy-duty trucks, trans provincial cargo turnover and NO₂ concentration are significantly correlated with PM₁₀ and PM_{2.5} concentration. Each standard unit increase in FAC, CO concentration and diesel consumption of heavy-duty trucks will increase the days of heavy air pollution in Beijing by 1.489 standard units. Therefore, among the pollution factors concerning heavy-duty trucks, the number of heavy-duty trucks, trans-provincial freight turnover and diesel consumption are the main causes for the increase of severe air pollution days in Beijing. The generation and emission of NO₂, PM₁₀, PM_{2.5} and CO are the main pollution paths.

Key words: heavy air pollution; Beijing municipality; principal component analysis algorithm; heavy duty trucks; diesel consumption

近年来, 空气污染治理已经超越 GDP 增长成为北京市的施政重点。通过“大气十条”等多项政策的严格实施, 北京市多项主要污染物浓度持续下降, 严重污染天数波动中下降。多项报告表明, 重载货车污染已成为北京市重污染天气形成的关键因素, 《对国三排放标准柴油载货汽车采取交通管理措施降低污染物排放》等针对重载货车的管制政策陆续出台, 短期内取得了明显的治理效果。然而, 有关重载货车污染的研究并不深入: 重载货车污染主要包含哪几种变量? 是否是导致 NO₂、PM_{2.5} 与 CO 浓度显著提升的元凶? 重载货车数量、尾气排放物、柴

油消耗量、省际货物周转需求等相关因素与北京市重污染天气形成有无显著关系? 贡献率多大? 以上问题的定量探究对高效治理北京市空气污染至关重要。

1 文献综述

探究人为因素对北京市空气污染的影响是解决污染问题的必由之路, 早期研究重点多聚焦于产业结构、能源消耗等因素, 后期研究重点则为机动车污染对空气质量的影响^[1-4]。潘敏杰等^[5]对我国省会城市的实证研究结果表明, 汽车尾气排放是我国东

收稿日期: 2019-03-26; 修回日期: 2019-04-17

基金项目: 国家社会科学基金项目《基于 DPSIR 模型框架的京津冀雾霾成因分析及综合治理对策研究》(15BJY059)

作者简介: 李云燕(1963-), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为环境经济、环境管理与评价、低碳经济、循环经济等, yunyanli@126.com; 潘冉(1993-), 女, 硕士生, 研究方向为环境经济与管理, 通讯联系人, panransunshine@126.com。

部地区雾霾污染的一大原因,并指出这主要源于东部运输网络发达、汽车拥有量高;李云燕等^[6]的研究结果表明,NO₂、CO与人均机动车保有量对北京市雾霾形成存在正效应,机动车污染对PM10浓度的贡献度为51.4%。部分学者探究了公路运输对空气污染的影响,如邵帅等^[7]的研究表明,东部省份公路运输强度的提升促使PM2.5浓度提高从而导致空气污染加剧。Yao等^[8]针对北京市柴油车污染物排放特征的研究结果证明,重载货车的CO、HC与NO_x的排放显著高于轻型、中型载货车,但有关重载货车与北京市空气污染关系的定量研究几乎空白。基于此,本文将结合使用PCA、MLR模型定量分析2002—2016年重载货车污染对北京市重污染天气的影响。

2 变量检验与方差分析

2.1 变量池建立

重载货车以柴油为主要燃料,主要排放物为NO_x、CO与颗粒物,分为本地区短距离行驶的基建用车与长距离省际货物运输的物流用车,后者是重载货车污染的主要排放源。因此,重载货车数量(HDT)、省际货物公路周转量(GTKM)、柴油消耗量(DFC)、CO浓度(CO)、NO₂浓度(NO)与PM2.5浓度是首选自变量组合,但由于PM2.5数据受2013年开始监测时间较短所限,选择PM10浓度(PM)代替。所用数据均来源于《北京市环境状况公报》、《北京市统计年鉴》与《中国统计年鉴》。

2.2 平稳性检验

对各变量量化处理后进行单位根检验。检验结果显示,一阶差分后所有变量均为平稳序列,符合建立线性回归模型条件(见表1)。

表1 各变量一阶差分后名称与ADF检验结果

变量名称	ADF统计量	1%临界值	5%临界值	10%临界值	P值	检验结果
DHPD	-4.2941	-4.1220	-3.1449	-2.7138	0.0076	平稳
DHDT	-3.9532	-4.0044	-3.0989	-2.6904	0.0110	平稳
DCO	-4.0638	-3.9591	-3.0810	-2.6813	0.0082	平稳
DDFC	-6.1983	-4.8001	-3.7912	-3.3423	0.0012	平稳
DGTKM	-5.2712	-4.8001	-3.7912	-3.3423	0.0048	平稳
DPM	-4.7393	-3.9591	-3.0810	-2.6813	0.0024	平稳
DNO	-4.3952	-4.0044	-3.0989	-2.6904	0.0050	平稳

2.3 共线性检验与方差分析

通过多重共线性检验与方差分析解读各序列信

息并判断相关性,检验结果见表2。观察特征值与条件指标,第三维数起,特征值小于0.1、条件指标大于10;第四维数起条件指标均大于30,暗示该组变量存在严重的多重共线性。观察方差比例矩阵,DHDT、DPM、DNO、DGTKM在第七维数的方差贡献度均大于50%,表示该4个变量数据序列信息高度相关。结合现实依据,方差分析结果暗示以下主要结论:①DHPT与DGTKM在同一维数的信息贡献量分别为91%与74%,说明重载货车数量与周转货物量存在最强序列相关,即北京市注册的重载货车多为承担省际运输任务的物流车。②同维数下,DNO、DPM的方差贡献度为56%、53%,表明重载货车数量的增加将显著提升PM10、NO₂浓度。

表2 自变量多重共线性分析结果

维数	特征值	条件指标	方差比例						
			(常量)	DHDT	DPM	DNO	DOC	DGTKM	DDFC
1	6.813	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.135	7.096	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00
3	0.050	11.713	0.00	0.03	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
4	0.001	78.925	0.02	0.03	0.11	0.03	0.09	0.03	0.02
5	0.001	104.964	0.05	0.00	0.04	0.01	0.44	0.02	0.47
6	0.000	232.685	0.16	0.03	0.33	0.61	0.05	0.21	0.36
7	0.000	314.143	0.77	0.91	0.53	0.56	0.02	0.74	0.15

3 PCA模型构建与分析

PCA算法可通过坐标转换将存在相似信息的变量生成新的综合变量,最大化保留信息的同时消除共线性,模型如公式(1)。

$$F_i = a_{1i}ZX_1 + a_{2i}ZX_2 + \dots + a_{pi}ZX_p, i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

式中, F_i 为第*i*主成分; $a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{pi}$ 为原序列的协方差矩阵的特征值所对应的特征向量; ZX_1, ZX_2, \dots, ZX_p 是原序列 $\{X_1, X_2, \dots, X_p\}$ 标准化后的值,令 $R \cdot a_i = \lambda_i a_i$,则 R 为相关性系数矩阵; λ_i, a_i 是相应的特征值和单位特征向量($\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_i \geq 0$); F_i 序列则为携带最大信息量且不存在相关性的综合变量。

将DHDT、DPM、DNO、DGTKM代入模型,各输入变量提取值均大于80%,表明该4个变量所携带的信息高度相似。4个主成分方差贡献度依次为87.164%、11.077%、1.424%、0.336%。根据累计信息大于85%停止提取主成分原则,提取第一主成分并计作变量FAC,以此表示重载货车数量、省际货物周转量、PM10与NO₂浓度所代表的综合变量体。

PCA 算法主成分提取结果见表 3。

表 3 PCA 算法主成分提取结果

公因子方差			总方差解释			
变量	初始	提取	主成分	总计	方差百分比	累积百分比
DHDT	1	0.919	1	3.487	87.164	87.164
DPM	1	0.944	2	0.443	11.077	98.240
DNO	1	0.752	3	0.057	1.424	99.664
DGTKM	1	0.872	4	0.013	0.336	100.000

4 MLR 模型构建与系数估计

4.1 模型构建

确定主变量后,建立重载货车与北京市空气污染影响关系模型,见公式(2)。其中, $\beta_0 \sim \beta_3$ 为影响系数, ε 为随机扰动项。

$$\ln DHPD = \beta_0 + \beta_1 \ln DCO + \beta_2 DFCA + \beta_3 \ln DDFC + \varepsilon \quad (2)$$

4.2 模型检验分析

依次观察模型拟合优度、显著性、自回归检验结果。由表 4,调整后的 $R^2 = 0.869 > 0.8$, P 值 = 0.001 < 0.01, DW 值 = 2.093,表明模型拟合优度良好,效果显著且不存在自相关。

表 4 MLR 模型各项检验结果

R	R^2	调整后 R^2	标准估算的错误	德宾-沃森	显著性
0.947	0.897	0.869	0.240425949	2.093	0.001

观察异方差检验结果。作残差散点图(图 1),各残差点随机、均匀分布于 $-2 \sim 2$ 之间,表明方程拟合良好,不存在异方差性。至此,模型通过所有检验,可进行系数估计结果分析。

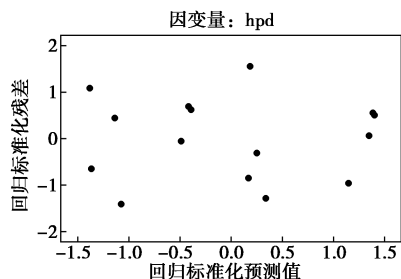


图 1 残差散点图

4.3 系数估计结果分析

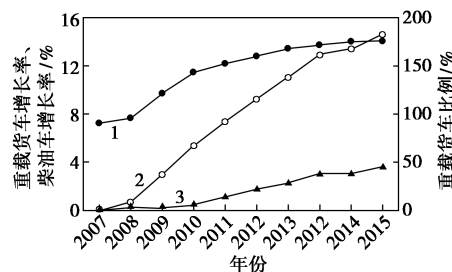
各变量系数估计结果表明(表 5),重载货车污染综合变量、CO 浓度与柴油消耗量每提高 1 个标准单位会使北京市重空气污染天数增加 1.489 个标准单位;重载货车数量、货物周转量、柴油消耗量是北

京市重污染天气形成的“元凶”,CO、PM10(含 PM2.5)与 NO₂ 浓度是直接因素。

表 5 变量系数估计结果与检验参数

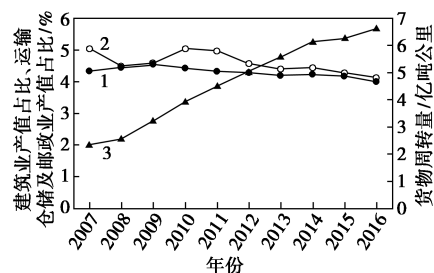
	未标准化系数		标准化系数 Beta	显著性	共线性统计	
	B	标准误差			容差	VIF
(常量)	-6.199	2.382		0.025		
FAC	0.290	0.107	0.438	0.020	0.352	2.840
DCO	0.976	0.291	0.498	0.006	0.414	2.415
DDFC	1.381	0.427	0.556	0.008	0.309	3.234

重载货车排放的 NO_x 与 PM 占机动车排放总量的 70%与 90%^[8],重载货车数量与行驶里程本应受到严格管控,而事实却与此相反。观察图 2、图 3,2007—2016 年北京市重载货车数量增长率高达 183%;重载货车在柴油车中占比、省际公路货物周转量均增长 1 倍,而与重载货车最相关的运输、邮政与仓储业、建筑业产值占比逐年下降,表明北京市省际公路货物周转创造的价值量不断下降,造成的污染排放却与日俱增。由于无“柴油车数量”官方统计数据,本文中用载货汽车与中、大型载客汽车的总和近似代替。



1—柴油车中重载货车的比例;2—重载货车增长率;
3—柴油车增长率

图 2 2007—2016 年北京市重载货车比例、增长率与柴油车增长率



1—建筑业产值占比;2—运输、仓储、邮政产值占比;
3—货物周转量(亿吨公里)

图 3 2007—2016 年北京市重载货车数量与货物周转量

NO₂ 浓度年均值下降幅度最小,主要污染物秋冬季浓度居高不下。观察图4、图5,PM10与SO₂浓度一直呈稳定的下降趋势,而NO₂浓度却下降微弱,甚至在2008年后小幅上升。具体到月均浓度值,NO₂走势与PM2.5走势最为接近,秋冬季PM2.5与NO₂浓度显著高于其他月份。可见,重载货车所排放的NO_x与颗粒物已成为PM2.5的重要来源,是重污染天气形成的关键因素,对北京市重载货车的严格管控已迫在眉睫。

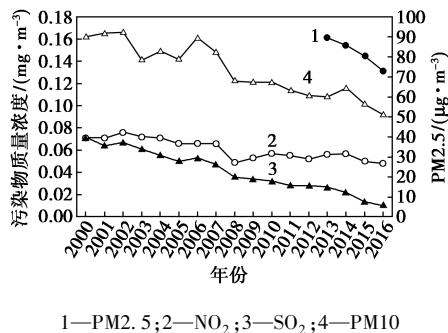


图4 2000—2016年北京市各污染物浓度走势图

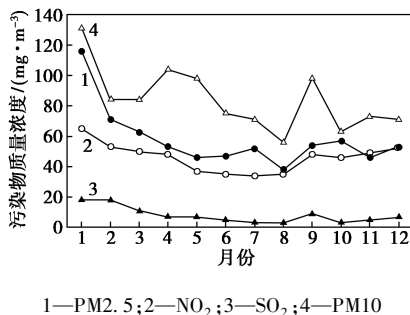


图5 2017年北京市四大空气污染物浓度走势图

5 结论与建议

5.1 主要结论

通过PCA算法与MLR模型对重载货车污染与北京市重污染天气形成的研究表明:①DHDT、DPM、DNO、DGTKM在第七维度的方差贡献度分别为91%、53%、56%、74%,表明省际公路货物周转需求是引起重载货车数量增加的关键因素,由此产生的尾气污染显著提高了北京市NO₂浓度与PM10、PM2.5浓度,但重载货车数量不是CO浓度与柴油消耗量的关键影响因素;②使用PCA算法所提取的第一主成分信息量高达87.164%,表明重载货车数量、公路货物周转量、NO₂浓度与PM10、PM2.5浓度显著相关,综合变量的生成良好解决了变量间多重共线性问题;③污染综合变量、CO浓度与柴油消

耗量每提高1个标准单位会使北京市重空气污染天数增加1.489个标准单位,证明重载货车数量、省际货物周转量、柴油使用量是北京市重污染天数增加的“元凶”,NO₂、PM10、PM2.5与CO的排放生成是主要污染路径。

5.2 政策建议

首先,严格控制北京市重载货车数量。“淘汰老旧”与“疏解需求”双管齐下,加速淘汰污染排放大的老旧重载货车,提高对运输、邮政与仓储业、建筑业等重载货车主要投入领域的产业禁限门槛与要求,加速“公转铁”进程,疏解省际货物公路周转需求,对重载货车数量进行强力规制。其次,严格实施“路控”。采取“环保取证、公安处罚”的执法模式,对重载货车检验检测机构实施记分制管理,加强对新生产、销售机动车和非道路移动机械排放状况抽查监管,并将执法中查出的排放超标的重型柴油车纳入“黑名单”数据库。“路检夜查”、“入户监管”,必要时运用法律手段对损害环境者予以行政拘留与经济罚没。第三,减少柴油消耗量。短期内应降低柴油不充分燃烧而产生的氮氧化物与颗粒物排放。长远来看,加快研究制订以推进重载货车电动化为重点的新能源车推广专项实施方案,加强与周边科技区的新能源汽车及核心零部件的产业合作,攻破新能源重载货车制造技术难题。

参考文献

- [1] 魏巍贤,马喜立.能源结构调整与雾霾治理的最优政策选择[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(7):6-14.
- [2] Guan D,Su X,Zhang Q,et al.The socioeconomic drivers of China's primary PM2.5 emissions [J]. Environmental Research Letters, 2014,9:0240102.
- [3] Li S,Feng K,Li M. Identifying the main contributors of air pollution in Beijing [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 163: S359-S365.
- [4] 蔡海亚,徐盈之.产业协同集聚、贸易开放与雾霾污染[J]. 中国人口·资源与环境,2018,(6):93-102.
- [5] 潘敏杰,武舜臣,张继良.中国式分权、环境规制与雾霾污染[J]. 产业经济评论,2017,(1):5-19.
- [6] 李云燕,孙桂花.基于VAR模型的北京市雾霾与机动车污染关系研究[J]. 现代化工,2018,38(4):206-210.
- [7] 邵帅,李欣,曹建华,等.中国雾霾污染治理的经济政策选择——基于空间溢出效应的视角[J]. 经济研究,2016,(9):73-88.
- [8] Yao Z,Wu B,Wu Y,et al. Comparison of NO_x emissions from China III and China IV in-use diesel trucks based on on-road measurements [J]. Atmospheric Environment, 2015, 123 (A): 1-8. ■