

# 汽车尾气排放标准提高的经济影响与减排效果 ——基于可计算一般均衡(CGE)模型的分析

柳青<sup>1</sup> 刘宇<sup>2</sup> 徐晋涛<sup>3,†</sup>

1. 北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871; 2. 中国科学院科技政策与管理科学研究所, 北京 100190;  
3. 北京大学国家发展研究院, 北京 100871; † 通信作者, E-mail: xujt@pku.edu.cn

**摘要** 基于一般均衡理论, 利用 CHINAGEM 模型, 对提高汽车尾气排放标准实施产生的经济 and 环境影响进行实证研究。通过调整汽油精炼和汽车零部件行业的生产税税率, 发现国Ⅳ、国Ⅴ新标准实施使得劳动力成本上升, GDP 略有下降, 利于出口导向型行业发展。新标准一旦全面实施, 会抑制汽车制造等行业的整体发展, 国产车产量将有所下降, 从而增加进口汽车对国产汽车的替代。研究发现, 随着排放标准的提高以及汽车产量增速的减缓, 中国的大气污染问题会有所缓解。根据模型对载客汽车和载货汽车尾气排放污染物的预测, 新标准实施后 2018 年的一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物和总颗粒物排放量分别减少 3952.03, 3751.34, 1163.23 和 166.27 万吨, 减排比例分别达到 32%, 36%, 63% 和 87%, 表明该政策的实施可以产生十分可观的减排效果。

**关键词** CGE 模型; 汽车尾气排放标准; 经济影响; 减排效果

**中图分类号** F572

## Economic and Environmental Effects of Improved Auto Fuel Economy Standard in China: A CGE Analysis

LIU Qing<sup>1</sup>, LIU Yu<sup>2</sup>, XU Jintao<sup>3,†</sup>

1. College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871; 2. Institute of Policy and Management, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190; 3. National School of Development, Peking University, Beijing 100871;  
† Corresponding author, E-mail: E-mail: xujt@pku.edu.cn

**Abstract** The authors use CHINAGEM, a computable general equilibrium model to investigate the economic effect and pollution reduction impacts of improved auto fuel economy standard in China. The policy change is modelled as shocks to production tax rate of two industries — petrol refine and motor vehicle parts. The results show that the shocks lead to higher labor cost, slightly decreased GDP and improved terms of trade. The majority of industries, such as motor vehicle manufacturing, will undergo downsizing because of new standards and substitution of imported motor vehicles for domestic ones. However, with improved emission standard and slowdown of vehicle production growth, air pollution problem will be alleviated. Based on the model prediction, the annual emission reductions of carbon monoxide, hydrocarbons, nitrogen oxides and total particulate matter amount to 39.52, 37.51, 11.63 and 1.66 million tons respectively, which are 32, 36, 63, and 87 percentage reduction from the respective business-as-usual levels.

**Key words** CGE model; auto fuel economy standard; economic effect; emission reductions

2013年初,中国大规模的雾霾天气频发,使大气污染防治成为社会关注的焦点。国家随即出台一系列应对政策,对汽车用油质量和尾气排放标准都提出更高的要求。

在提高汽车用油质量方面,2013年2月7日,国家质量监督检验检疫总局及中国国家标准化管理委员会发布实施《车用柴油(IV)》<sup>①</sup>,明确了第四阶段用油技术要求和试验方法及第五阶段用油的建议性技术指标,并于2018年1月1日施行第五阶段用油标准;2013年12月18日,《第五阶段车用汽油国家标准》<sup>②</sup>正式发布,并要求2018年1月1日起全国范围内按新标准供应汽油。控制尾气排放标准方面,根据不同车型的尾气排放情况<sup>③</sup>,国家环境保护总局及国家质量监督检验检疫总局2005年5月30日曾发布《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ阶段)》<sup>④</sup>,于2007年1月1日、2010年1月1日和2012年1月1日分别实施第Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ阶段排放标准;2013年9月17日发布《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国第Ⅴ阶段)》<sup>⑤</sup>,于2018年1月1日实施。

本文基于国Ⅳ<sup>⑥</sup>和国Ⅴ<sup>⑦</sup>标准细则,采用CHINAGEM一般均衡模型,尝试回答以下几个问题:国Ⅳ和国Ⅴ标准的实施对中国宏观经济是否存在显著影响?在微观层面上,对汽油精炼、汽车零部件及其他相关行业有怎样的影响?标准变动会带

来怎样的环境效益?对汽车尾气排放的减排效果是否显著?

## 1 文献综述

### 1.1 环境CGE模型

近十多年来,环境CGE模型(Environmental Computable General Equilibrium Model)在不断发展,并被用来研究环境与经济问题。针对中国面临的诸多环境问题,学者们通过CGE模型开展了一系列相关研究。Vanden等<sup>[1]</sup>通过CGE模型研究了提高能源使用效率和增强产品研发质量对能源需求和污染物排放之间的反向影响。肖皓等<sup>[2]</sup>运用一般均衡模型分析燃油税的征税效果,发现模拟燃油税实施会产生明显的减排效果,但一定程度上延缓了经济增长速度,且对资本密集型行业的长期负面作用相对较大。Lin等<sup>[3]</sup>比较我国各个部门的补贴额度,发现油品、电力和煤炭行业居高,若减少补贴,则相应产品的需求和排放都会下降,但也会给宏观经济造成负面影响。Dong等<sup>[4]</sup>通过部门能源消耗,结合CGE和GAINS (Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies Model)中国模型,在考虑减排成本的基础上,研究中国30个省份的CO<sub>2</sub>排放及CO、NO<sub>x</sub>和PM等污染物的排放,发现CO<sub>2</sub>减排政策会对其他污染物的减排产生联合效应,在经济相对发达的广东、江苏等省份和能源充足的内蒙古、山西等地,CO<sub>2</sub>及污染物的排放量较

① 2011年7月1日发布《普通柴油》,要求执行第三阶段柴油用油技术要求和试验方法。此外,环境保护部发布实施《车用柴油有害物质控制标准(第四、五阶段)》,明确规定了允许使用柴油的有害物质含量上限。

② 2011年5月12日发布GB 17930—2011《车用汽油》,明确规定车用汽油(Ⅲ、Ⅳ)生产的技术要求和试验方法,并要求立刻实施。此外,环境保护部发布实施《车用汽油有害物质控制标准(第四、五阶段)》,明确规定了允许使用汽油的有害物质含量上限。

③ M1类车指包括驾驶员座位在内,座位数不超过九座的载客车辆;M2类车指包括驾驶员座位在内,座位数超过九座,且最大设计总质量不超过5000 kg的载客车辆;M3类车指包括驾驶员座位在内,座位数超过九座,且最大设计总质量超过5000 kg的载客车辆;N1类车指最大设计总质量不超过3500 kg的载货车辆;N2类车指最大设计总质量超过3500 kg,但不超过12000 kg的载货车辆;N3类车指最大设计总质量超过12000 kg的载货车辆。

④ GB17691—2005《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ阶段)》适用于设计车速大于25 km/h的M2 M3 N1 N2 N3类及总质量大于3500 kg的M1类汽车装用的压燃式(含气体燃料点燃式)发动机及其车辆型式核准、生产一致性检查和在用车符合性检查。

⑤ GB18352.3—2013《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国第Ⅴ阶段)》是对GB18352.3—2005《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ阶段)》的更新补充,是轻型车尾气排放的Ⅴ阶段标准。GB18352.3—2005适用于以点燃式发动机或压燃式发动机为动力、最大车速大于等于50 km/h,总质量不超过3500 kg的M1类、M2类和N1类的轻型汽车(不同阶段排放标准的具体差别见附录)。

⑥ 国Ⅳ、国Ⅴ标准,指汽车尾气排放标准第四、第五阶段政策及对应油品质量的第四、第五阶段标准。《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ阶段)》及《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ阶段)》中的第Ⅳ阶段。

⑦ 《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国第Ⅴ阶段)》及《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ阶段)》中的第Ⅴ阶段。

高,且联合减排的效果更明显。

环境 CGE 模型已经在逐步发展完善,但仍面临两大挑战:一方面缺乏完备的环境数据库,内容有限的环境数据库难以为 CGE 模型提供坚实的数据支撑;另一方面缺乏对环境与经济模块之间关系的有效刻画,多数模型仅通过外生给定冲击系数等方式反映环境影响,反馈能力有限。

## 1.2 汽车尾气排放标准

目前,通过动态模型分析汽车尾气排放污染物情况的研究相对较少。Conrad<sup>[5]</sup>在 CGE 模型中设置交通运输服务业作为独立的部门,包括航运和铁路服务等资本投入。模型中允许生产者使用自己的交通工具,也允许生产者向供应商购买交通运输服务,通过将交通拥堵这种主要的空气污染源视为一种中间投入,关注交通拥堵在一般均衡模型的表现及其对环境污染的影响。Conrad 等<sup>[6]</sup>在标准 CGE 模型中根据交通运输需求、运输成本和拥堵成本,加入拥堵影响、基础设施建设及交通运输设备库存情况等模块,通过对道路基础建设投资与拥堵成本削减的比较,分析道路拥堵及基础建设投资等问题,并模拟未来可能实现的环境效益。Schafer 等<sup>[7]</sup>通过 CGE 模型连接 EPPA (Emissions Prediction and Policy Analysis Model)与 MARKAL (MARKet Allocation Model)模型,突破宏观经济变化与交通运输业技术问题的壁垒,研究交通运输技术提升对多部门、多地区温室气体排放的影响。Yan 等<sup>[8]</sup>通过 SPEW-Trend 模型预测至 2050 年全球范围内道路行驶车辆排放的颗粒物总量。该模型能够较好地实现车辆总数和颗粒物排放量的动态链接,但由于目标范围为全球颗粒物排放,使得研究中缺少对不同地区车辆的细化和区分,对不同地区汽车尾气排放标准衡量的精确度有待提高。Viard 等<sup>[9]</sup>通过计量方法,对 2008 年 7 月开始施行的北京限行政策进行断点回归和双重倍差法分析,发现北京限行政策在实现汽车尾气减排的同时,减少了可自由支配劳动力的工作时间。

此外,针对我国汽车尾气排放标准提高的施行效果,目前的研究也相对有限,已有的少数研究局限在对经济影响的定性分析方面,有学者认为新标准出台会对经济造成一定负面影响。例如,梁静<sup>[10]</sup>认为,由于合资品牌汽车在技术储备和环保标准上都领先本土车企,因此国Ⅳ、国Ⅴ标准出台将主要对国产自主品牌车型产生影响,尤其对于国产自主

品牌集中的小排量轿车市场格局影响较大。另一部分学者持比较积极的看法。例如,岳欣等<sup>[11]</sup>认为,国家环境保护标准的制定与实施,对推动油品质量升级、有效应对汽车排放污染发挥了重要作用。对于该标准带来经济影响和减排效果的定量分析,已知研究还未涉及。

## 2 模型介绍

### 2.1 CHINAGEM 模型

本文采用 CHINAGEM 模型分析汽车尾气排放标准变动对中国的经济影响和减排效果。该模型是澳大利亚维多利亚大学(University of Victoria)政策研究中心(CoPS: The Center of Policy Studies)开发的动态 CGE 模型,以中国 2002 年投入产出表行业划分及经济产值为基础数据库,将 CGE 模型构造成符合中国经济体系现状的动态一般均衡模型。该模型不但可以测算中国宏观政策对 GDP、物价、进出口贸易等宏观经济指标的影响,还可以分析各部门的产出和价格的变化。

本文利用 CHINAGEM 模型的分析框架,结合中国国家统计局最新发布的 2007 年投入产出表,将公路、水路、铁路和航空业的客运和货运细化,使部门数量扩展到 139 个。模型中考虑劳动力、资本和土地 3 种投入要素及 6 类经济主体(生产、投资、家庭、出口、政府、库存),同时还考虑 8 类流通投入,分别为铁路货运、公路货运、水路货运、航空货运、管道运输、仓库贮存、贸易(批发和零售)和保险<sup>[12]</sup>。CHINAGEM 模型的数据库主要包含投入/产出数据和各种经济参数(进口品与国产产品的替代弹性、不同劳动力之间的替代、劳动力与资本的替代)。设定 2007 年为初始年份,模型运行于 2007—2013 年区间时,采用这些年度的宏观经济增长数据(如家庭消费增长率、投资增长率等)以及产业经济变化数据(如产业产出增长率、产业进出口的变动、国际市场产品价格的波动等)进行校正,并预测 2014—2020 年的一系列数据。本文对基准情景的设置主要参考 CoPS 的标准方法<sup>[13]</sup>,主要涉及私人消费、政府消费、固定资本形成、总进口、总出口、GDP 价格指数和劳动力等数据(《中国统计摘要》,2013)。

按照模型的 6 类经济主体划分<sup>[14]</sup>,对核心经济主体对应的均衡模块进行简单介绍。

#### 1) 市场均衡:

$$C_i^d = C_i^s。$$

通过市场均衡方程,可以决定模型中商品价格  $P_i$ 。

2) 要素均衡:

$$\sum_i L_i^d = \sum_i \bar{L}^s,$$

$$\sum_i K_i^d = \bar{K}^s,$$

式中,  $L^s$  表示社会总劳动力供给,  $K^s$  表示总资本存量。要素均衡方程决定模型中要素市场的均衡价格,即劳动力工资水平  $W_i$  和资本回报率  $R_i$ 。

3) 贸易均衡:

$$E_i^s = E_i^d,$$

$$S = (1 - \mu_h^s)Y_h + (1 - \mu_g^s)GR + S^f,$$

$$I = S,$$

其中,  $E_i^s$  为商品的出口供给,  $E_i^d$  为商品的出口需求,  $\mu_h^s$  是居民消费的储蓄份额,  $\mu_g^s$  是政府支出的储蓄份额,  $Y^h$  为居民收入,  $GR$  为政府收入,  $S^f$  为外汇结余,  $S$  和  $I$  分别为总储蓄和总投资。模型中一般假设出口供给均为国内产出,无国际市场商品二次输出,故实际上出口供给也是商品的国内市场价格与国际市场价格之间的函数。

CGE 模型主要有两个功能:政策分析(即分析一项政策出台后的经济影响)、预测分析(根据历史数据校准参数,预测未来的变化)。该模型在数据方面存在便利性,能够根据视为基准均衡的某单一年度的经济数据进行建模,并且不单纯依靠数据,强调与经济理论的关联性,擅长分析宏观政策组合的实施对多产业多部门的影响,能够较客观、全面地反映现实经济。

CGE 模型的局限性在于,一方面,该模型使用成熟的经典经济学理论,在模拟特殊理论问题时可能无法完全适用;另一方面,模型的数据和参数假定存在局限性,如基础数据库依赖于公开出版的投入/产出表(本研究使用国家统计局 2007 年表),一些参数和弹性的校准,目前主要采用 GTAP 模型中的中国参数和 Monash 模型的参数假设,也可能导

致一定的偏差。

## 2.2 标准变动引入模型

根据汽车尾气排放标准的规定和 CHINAGEM 模型的构建要求,需要把标准的变动通过设定变量及系数值引入模型,以便模拟外生政策变量对经济系统的冲击。时间方面,由于新标准 2018 年 1 月 1 日全面施行,与之对应,将模型中变量冲击时点定为 2018 年。内容方面,通过冲击汽油精炼和汽车零部件行业的生产税率将外生标准变动引入模型。

具体来说,炼油企业为达到国家要求的用油标准,必须进行技术改进和设备更新;汽车制造业为符合国家标准需要改进汽车零部件,比如提高发动机的燃油性能、提高 OBD 系统敏感程度等。由技术提升增加的生产成本可通过提高行业的生产税率模拟。据行业专家预测,国标实施将导致汽油成本上升 0.5 元/L<sup>①</sup>,提高 6.36 个百分点,汽车零部件生产成本约上升 4 个百分点<sup>②</sup>。

## 3 一般均衡分析

### 3.1 对经济的影响

本文通过在 CHINAGEM 模型中给汽油精炼和汽车零部件两个行业施加生产税的途径,模拟 2018 年新标准全面施行的效果,并分别从宏观变量和微观行业两个层面,分析新标准实施对中国经济的影响。

CHINAGEM 模型内部的联动关系可以通过一组变量的传导表达,这组关系即为 BOTE<sup>③</sup>核心分析,用来简明刻画各个宏观变量之间内部传导的主要机制。

主要方程式如下:

$$Y = \frac{1}{A} F(K, L), \quad (1)$$

$$Y = C + I + G + X - M, \quad (2)$$

$$\frac{Q}{P_p} = \frac{1}{A} F_k(K/L), \quad (3)$$

① 据中国石油勘探开发研究院专家访谈,成本数据为每升汽油成本增加 0.5 元,柴油类似。计算方法为以北京地区单位 92 号和 95 号汽油均价 7.86 元为基数,每升汽油成本增加 0.5 元,即增加 6.36%。

② 据北京汽车制造厂整车工程师访谈,尾气排放政策变动会导致车辆生产成本提升 4%左右。

③ BOTE(back of the envelope)核心分析指可计算一般均衡模型分析过程中的核心框架,通过简化的等式关系描述受到政策冲击后宏观经济变量的变化情况。

$$\frac{W}{P_p} = \frac{1}{A} F_{L_L}(K/L), \quad (4)$$

$$\left(\frac{Q}{P_p}\right) = \left(\frac{Q}{P_2}\right) \left(\frac{P_2}{P_{gdp}}\right) \left(\frac{P_{gdp}}{P_p}\right), \quad (5)$$

$$\left(\frac{W}{P_p}\right) = \left(\frac{W}{P_3}\right) \left(\frac{P_3}{P_{gdp}}\right) \left(\frac{P_{gdp}}{P_p}\right), \quad (6)$$

$$I = I(EROR, F_I), \quad (7)$$

$$X = h(P_4, F_X), \quad (8)$$

$$C = APC \cdot Y, \quad (9)$$

$$K_1 = K + I - D. \quad (10)$$

变量定义如表 1。

式(1)是收入法(要素法) GDP 的核算方程, 即 GDP 由技术、资本和劳动力三部分决定。式(2)是支出法 GDP 的核算方程, 宏观 GDP 包括消费、投资、政府支出以及净进出口。式(3)是资本的要素需求方程,  $F_k$  是对资本的偏导, 该式表示在资本市场, 资本的实际成本等于资本的边际产品。式(4)描述了劳动力的要素需求的情况,  $F_L$  是对劳动力的偏导。

短期宏观结果方面, 式(5)和(6)中的  $P_{gdp}/P_p$  反映支出法 GDP 价格指数与要素价格指数的差异。征收生产税会使支出法 GDP 价格指数高于基本生

产要素价格指数, 引起名义工资与基本生产要素价格比值上升, 从而使得社会整体就业水平下降。式(7)刻画投资与资本回报率同向变动关系。式(8)刻画出口需求函数关系, 即出口量与出口价格的反向变化关系。式(9)刻画消费与 GDP 的正向相关关系。式(10)表示资本的积累过程, 短期内当期资本存量( $K_1$ )等于初始资本存量( $K$ )加上短期投资( $I$ )减去折旧( $D$ )。

### 3.1.1 对宏观经济的影响

根据 BOTE 模型和尾气排放标准, 本文从要素市场、GDP 和贸易条件 3 个角度考察新标准实施的宏观经济影响。式(6)中  $P_{gdp}/P_p$  反映整个经济的间接税税率的变化。因为间接税的变化包括在支出法 GDP 价格指数中, 但不在要素法 GDP 价格指数中, 由于汽油精炼和汽车零部件生产税率受到正向冲击, 增加了支出法 GDP 价格的间接税部分, 使 GDP 价格指数高于基本生产要素价格指数, 从而导致  $P_{gdp}/P_p$  的比值增加。

#### 1) 劳动力成本上升。

短期内实际工资刚性使式(6)中  $W/P_3$ ,  $P_3/P_{gdp}$  和  $P_{gdp}/P_p$  比值不变, GDP 价格  $P_{gdp}$  的下降幅度小于基本生产要素价格  $P_p$ ,  $P_{gdp}/P_p$  比值增大, 使名义工资  $W$  与基本生产要素价格指数  $P_p$  的比值(即劳动力成本)上升, 式(4)中  $F$  对  $L$  的偏导数值上升, 使劳动力需求  $L$  下降。

由于劳动力需求下降, 式(3)中  $F_k$  偏导数值减小, 使资本租金  $Q$  与基本要素价格  $P_p$  的比值下降。结合式(5)和(6), 短期内式(5)中  $(P_2/P_{gdp}) \cdot (P_{gdp}/P_p)$  不变,  $Q/P_2$  数值下降。式(7)中, 由于  $Q/P_2$  比值下降, 导致投资函数值下降, 即投资回报率降低会减少投资, 反映为图 1 中投资量  $I$  的负向变化。新标准实施对劳动力和资本市场都有负面影响, 劳动力市场受损程度更大。

#### 2) GDP 略有下降。

劳动力需求  $L$  下降, 使式(1)中 GDP( $Y$ )下降 0.69%。如果以 2013 年 GDP 的同比增长率 7.6%为参照, 新标准实施的影响大致相当于 1 个月的经济停滞。经济的下降也导致消费需求的收缩。式(9)反映消费情况取决于 GDP 总量的变化, GDP 的下降导致消费减少 0.49%。由于回报率的下降, 投资也下滑 2.15%。投资降幅明显高于家庭消费, 所以, 新标准实施在一定程度上改善了内需结构。

#### 3) 贸易收支及条件改善。

表 1 变量定义  
Table 1 Defined variables

变量名称	解释
$Y$	GDP
$C$	消费
$I$	投资
$G$	政府支出
$X$	出口
$M$	进口
$K_1$	当期资本存量
$K$	初始资本存量
$L$	劳动力
$A$	技术进步
$F$	一次齐次函数
$Q$	资本租金
$P_{gdp}$	GDP 价格
$W$	名义工资水平(劳动力价格)

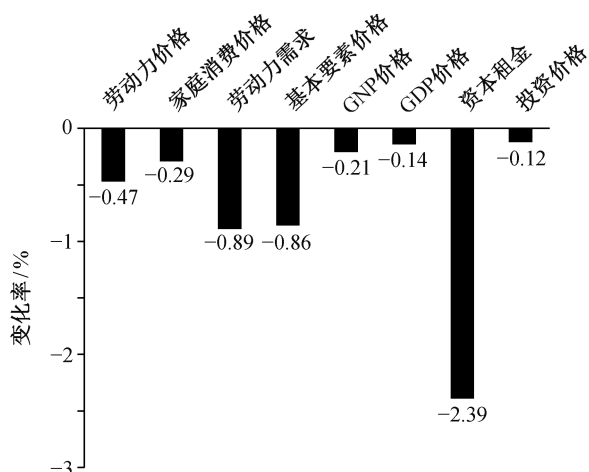


图 1 要素市场变化情况  
Fig. 1 Change of factor market

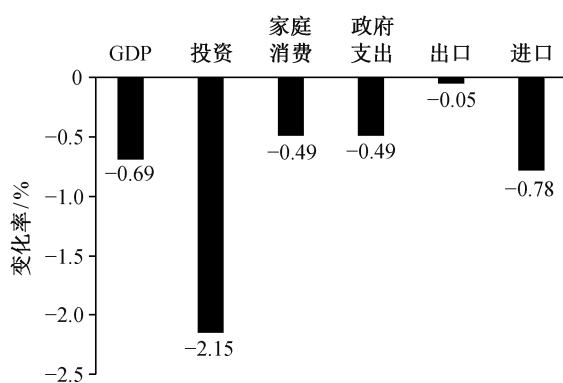


图 2 支出法 GDP 构成的变化  
Fig. 2 Change of expenditure-based GDP composition

图 2 显示净出口(出口量-进口量)大于零,即贸易录得顺差。贸易收支由净出口决定,贸易顺差使人民币实际贬值,即图 3 中的实际汇率大于零,

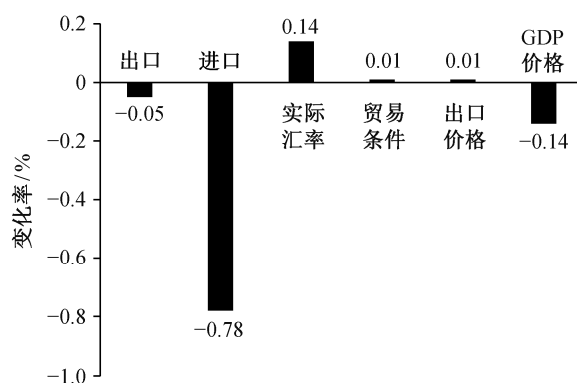


图 3 贸易收支与贸易条件变化  
Fig. 3 Change of trade condition with income and expenses

在一定程度上利于出口导向型行业的发展。贸易条件由产品出口价格与进口价格的比值决定,由于模型假定进口品价格外生,所以,出口价格上升改善了贸易条件,图 3 中贸易条件为正。

出口价格上升是由于受冲击行业如汽车零部件和汽油精炼等价格涨幅较大,上、下游供应链带动其他少数行业的价格大幅增加,共同拉高了所有行业平均出口价格。

### 3.1.2 具体行业影响

本文重点分析 139 个行业中受标准变动影响较大的 37 个行业,除直接受冲击的汽油精炼和汽车零部件行业外,对其他受标准影响较大的行业分为受损和受益两类分别研究。

#### 1) 对行业的整体影响。

2018 年汽车尾气排放标准的提高会抑制多数行业发展。37 个行业的产量呈现下降态势,平均降幅为 0.68%,最大为 3.46% (图 5); 相应的产品价格也有所下降,平均降幅为 0.07%,最大为 1.03% (图 6)。

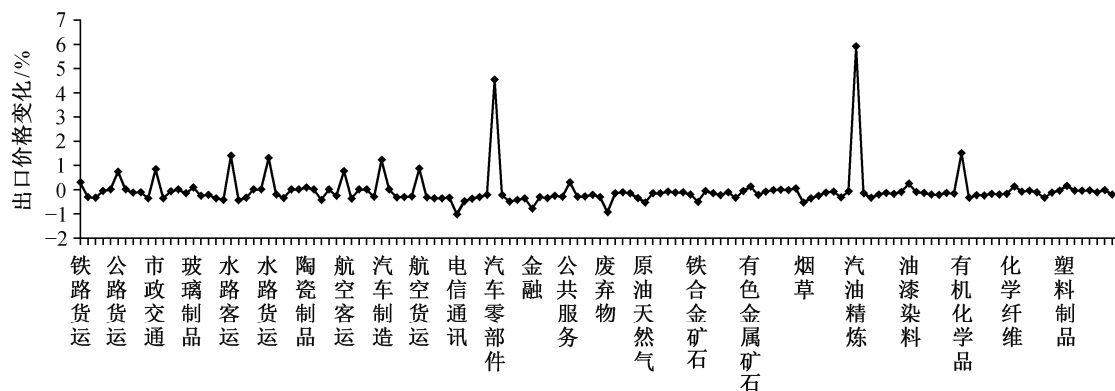


图 4 所有行业出口价格变化  
Fig. 4 Change of export prices of all industries

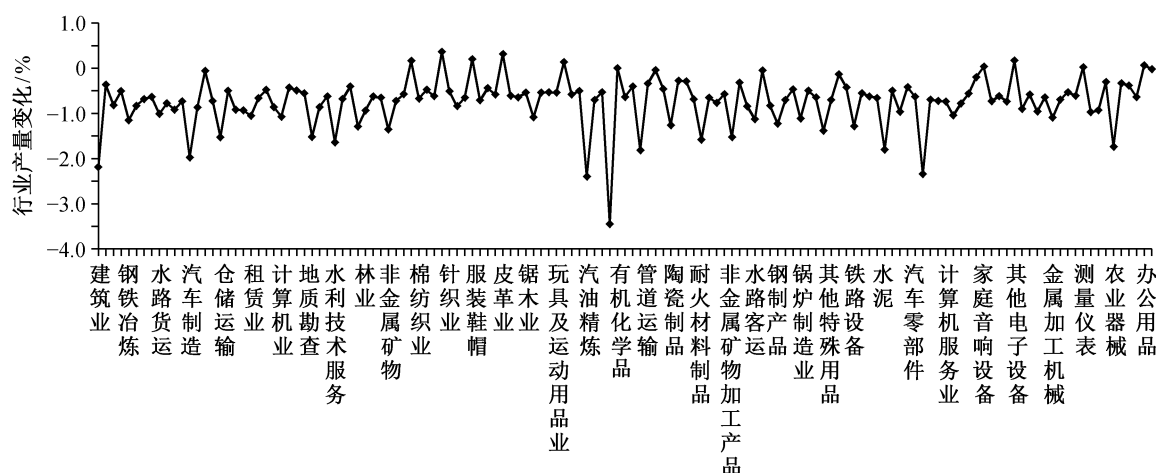


图5 2018年政策施行对各行业的产量影响

Fig. 5 Impact of the policy implement on all industries' productions in 2018

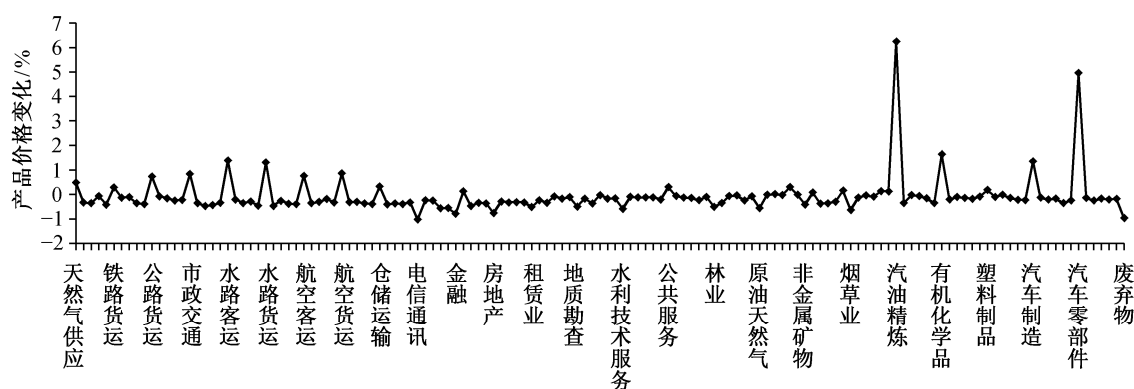


图6 2018年标准施行对各行业的价格影响

Fig. 6 Impact of the policy implement on all industries' prices in 2018

从供求关系的角度分析,由于整个市场结构性调整,政策冲击一方面导致很多行业产出下降,另一方面直接影响市场对各类产品的需求,需求量下降的幅度大于各行业产出减少的幅度,导致产品价格不升反降。

## 2) 直接受到冲击的行业表现。

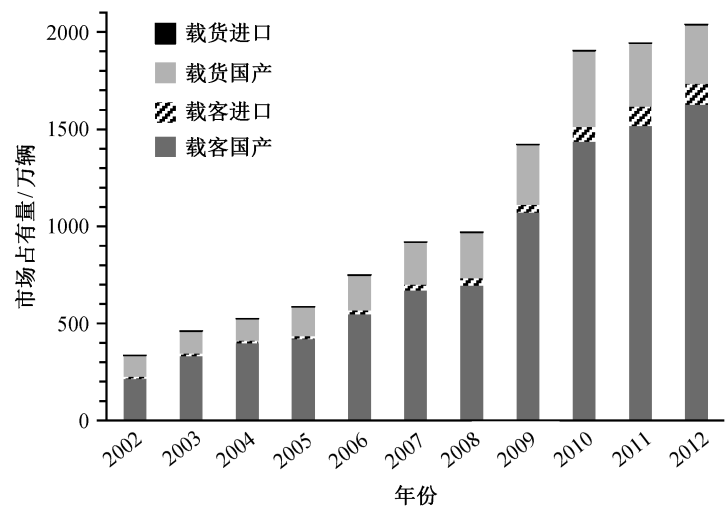
生产成本增加导致产品价格上升,下游各行业的需求下降,是直接冲击的汽油精炼和汽车零部件业受损的主要原因。两个行业的受损,会进一步影响各自的中间产品流向,还导致该行业进口产品对国产品的替代。

下面分析下游行业受到的负面影响。以汽车零部件行业为例,使用其产品作为中间投入的主要下游行业为汽车制造业(41.88%),其次是公路货运和市政交通等行业(使用比例均在9%左右)。因此,汽车制造、公路货运及市政交通等行业会因使用汽车

零部件作为中间产品而受损,具体表现为:汽车制造业产出下降1.82%,公路货运下降0.83%,市政交通下降0.85%。同理分析汽车零部件行业对上游行业的影响。该行业使用的上游产品中,金属加工机械行业提供5.06%,汽车制造、橡胶等行业均提供3%左右。汽车零部件行业对上游原材料的需求减少,在一定程度上会影响上游原材料供给行业。

汽油精炼和汽车零部件的国产品价格上升,进口品具有价格优势从而增加了对国产品的替代,使两个行业国产品的市场份额分别下降1.13和1.04个百分点。以汽车零部件行业为例,由于国产汽车所占市场份额远远大于进口车(见图7),载客和载货汽车的国产比例均超过90%。以国产载客、载货汽车年均增长率20.19%和10.71%推算,2018年国产车市场份额下降1个百分点,会减产约54万辆。

汽车尾气排放新标准的实施还会影响间接相关



据 2003—2013《汽车统计年鉴》和《中国统计年鉴》

图 7 2002—2012 年国产与进口汽车统计

Fig. 7 Comparison between domestic and imported motor vehicles from 2002 to 2012

的行业生产，例如有机化学品和建筑业等(见表 2)，其受损原因与产品的流向变动、生产要素变化等方面有关。

**原因一** 下游市场疲软，导致上游产品需求下降。下游行业的中间产品或投资需求下降是行业受损的主要原因。以有机化学品为例，其受损的 98.25% 由下游行业对其中间产品需求减少导致。分析中间产品投入流向，塑料制品和建筑业占比为 42.99% 和 14.88%，对应产出下降 0.57% 和 2.02%，

导致对有机化学品的需求降低。塑料制品行业由于使用汽油精炼等价格大幅上涨的原材料，使生产成本增加而受损；建筑业则属于典型的投资型行业，宏观投资形势受挫使其投资需求大幅下降。下游行业受损导致对有机化学品的需求降低，是有机化学品受损较为严重的原因之一。此外，有机化学品主要原材料是汽油精炼产品，其价格上升更刺激了有机化学品生产成本增加，进一步加剧行业受损。与有机化学品类似，租赁业、锯木业、炼钢业、钢制

表 2 典型非直接冲击的受损行业(26 个)

Table 2 Typical indirectly damaged industries from the policy shock (26)

行业	产量受损百分比	行业	产量受损百分比
有机化学品	-3.46	林业	-1.29
建筑业	-2.19	铁路设备	-1.29
管道运输	-1.98	陶瓷制品	-1.27
水泥	-1.82	钢制产品	-1.23
汽车制造	-1.81	水路客运	-1.15
农业机械	-1.74	钢铁冶炼	-1.13
水利技术服务	-1.64	锅炉制造业	-1.12
耐火材料制品	-1.58	金属加工机械	-1.10
非金属矿物加工品	-1.53	锯木业	-1.09
仓储运输	-1.53	租赁业	-1.07
地质勘查	-1.52	计算机服务业	-1.06
其他特殊设备	-1.39	计算机业	-1.05
非金属矿物	-1.36	水路货运	-1.01

产品、林业、锅炉制造业、非金属矿物、非金属矿物加工品、耐火材料等受损的主要原因都是其中间产品流向的下游行业受损,使得需求减少。

此外,计算机业、金属加工机械、铁路设备、其他特殊设备、农业机械、汽车制造、水泥、计算机服务业等行业受损是投资减少的直接和间接拉动共同导致。以计算机业为例,宏观投资下降使得下游行业对计算机业的投资需求减少,属于直接影响。投资的间接影响则表现为计算机业作为中间产品的投入,下游流向为贸易服务、计算机服务、电子设备等投资型行业,投资型行业受损导致其对计算机中间产品的需求减少,共同使计算机业受损。

**原因二** 劳动力价格上升,使得劳动力密集型行业受损。生产要素分为劳动力、资本和土地,资本密集型行业大多属于高新技术类或金融服务类,劳动力密集型行业则多是传统基础行业,土地密集型行业较少(139个行业对生产要素需求的平均比重分别为劳动力76.71%,资本19.70%,土地资源3.59%)。除了租赁业、地质勘探业和水利技术服务业以外,在25个间接受损行业中,22个为劳动力密集型行业。其中锯木业、林业、水泥和水上客运属于绝对的劳动力密集型行业,其劳动力需求比例都超过90%。例如,劳动力需求比例为98.55%的水泥业就属于典型劳动力密集行业。劳动力减少导致水泥工人薪酬大幅上升,迫使水泥业生产成本增加,是水泥业受损的主要原因。

此外,租赁业的下游行业需求显著下降,但其受损程度却不明显。租赁业属于典型资本密集型行业,其资本需求在生产要素总需求占比为45.72%,远高于行业平均资本需求水平19.70%,因此劳动力价格上涨对其生产成本影响较小。地质勘探业和水利技术服务业与租赁业类似,由于租赁业资本最密集度,受劳动力价格上涨的影响最小,故受损程度较小。

**原因三** 上游原材料成本增加,推动产品价格上涨。原材料成本增加并不是受损行业的普遍情况,25个间接受损行业中,只有汽车制造、有机化学产品和水上客运3个行业上游原材料价格增加导致产品价格提高。以汽车制造业为例,汽车零部件行业为汽车制造业提供42.57%的原材料,是汽

车制造业最主要的上游行业。汽车零部件产品价格涨幅4.95%,使汽车制造生产成本增加。同时,其他电器、橡胶等上游行业产品价格小幅上涨,推动了汽车制造生产成本的提高。生产成本增加推动国产汽车价格上升,会间接增强进口汽车的市场竞争力,进一步削减国产车的市场份额。

### 3) 受益行业。

标准的实施并不会伤及所有的行业,相反地,我们发现有些行业还会受益。模拟显示,9个行业的产出出现扩张。9个行业受益的原因可分为两类:一是由于政策冲击使人民币贬值,有利于出口导向型行业,除棉纺织物行业外,其他8个受益行业国产品出口比例均超过50%,属于出口导向型行业(表3);二是受益行业产品通常是出口导向型行业的主要中间投入,属于第一类受益行业的上游行业,如棉纺织物行业。

## 3.2 对环境的影响

### 3.2.1 污染物减排效果显著

#### 1) 单车污染减排效果明显。

以重型车ESC(European steady state cycle,稳态循环)&ELR(European load response test,负荷烟度试验)及ETC(European transient cycle,瞬态循环)试验限值和轻型车I型<sup>①</sup>试验标准的排放限值为例,通过不同阶段排放浓度限值对比(见附录),分析单车4种污染物的减排情况。对比国III、国IV与

表3 行业受益程度与出口比例  
Table 3 Production improvement and export percentage for the benefited industries

行业名称	产量增加比例/%	国产品出口比例/%
针织业	32.48	86.26
皮革制品	28.14	57.82
衣服鞋帽	18.06	68.52
其他电力设备	14.94	98.23
棉纺织物	14.18	23.33
玩具及运动用品	11.99	84.20
办公设备	5.77	97.44
家庭音响设备	2.90	79.52
仪表业	1.52	61.47

说明: CHINAGEM 模型分析结果。

① I型试验指常温下冷启动后排气污染物排放试验。其中的排气污染物,对装点燃式发动机的汽车,指排气管排放的气态污染物;对装压燃式发动机的汽车,指排气管排放的气态污染物和颗粒物。

表 4 单车减排比例

Table 4 Emission reduction on different kinds of pollutants for per vehicle

车型	阶段	减排比例/%			
		一氧化碳	碳氢化合物	氮氧化物	颗粒物
重型车	III-IV	27.6	30.5	30.0	80.6
	IV-V	0	0	42.9	0
	III-V	27.6	30.5	60.0	80.6
轻型车	III-IV	39.16	48.21	48.08	45.72
	IV-V	0	4.69	26.68	86.31
	III-V	39.16	50.79	61.91	92.77

说明: 根据国标计算汇总。

国 V 标准, 轻型车对污染物的减排比例均超过重型车, 其中轻型车对颗粒物的单车减排已达 92.77% (表 4), 效果显著。

## 2) 汽车减排总比例可观。

汽车尾气减排主要通过 3 个途径: 一是新标准允许单车的污染物排放量下降; 二是汽车保有量减少; 三是汽车实际的行驶里程会因油价上升而减少, 采用易如等<sup>[15]</sup>给出的行驶里程油价弹性系数, 计算后<sup>①</sup>得到汽车减排比例汇总表, 减排总效果整体较为显著。3 种方式对污染物减排的贡献存在明显差异, 例如载客汽车 4 种污染物的减排效果(表 5), 单车减排比贡献达 90%; 行驶里程减排量次之, 比例在 2.2%~7.0%之间; 而汽车保有量贡献比例仅为

0.16%~0.52%。

## 3.2.2 汽车增速有所抑制

### 1) 汽车产量增速减缓。

基于 2017 年无冲击时的汽车产量, 模拟得到汽车 2018 年受标准影响的产出及进出口变化。因国产车占 90.53% (CHINAGEM 模型模拟结果) 的市场份额, 国产汽车增速减缓 1.82% (表 6)。因此, 我们认为新标准的实施对于汽车保有量的控制有一定的促进作用。

### 2) 汽车保有量得到控制。

根据 2003—2013 年《汽车统计年鉴》数据, 本文以 2002—2012 年汽车的年产量、进口量、出口量及报废量为基础, 通过国家统计局 2002—2012 年汽车实际增量数据, 校准 2002—2012 年间模型模拟的国产汽车、进口汽车和出口汽车相关数据。校准 2002—2012 年区间后, 通过 CHINAGEM 模拟得到在基准情况下和标准冲击情况下 2013—2017 年的汽车生产、进口和出口变化百分比, 结合模型校准后模拟得到的 2017 年汽车产量、进口量、出口量及报废量, 预测新标准冲击对 2018—2020 年汽车保有量的影响。当期汽车保有量=上一期汽车保有量+当期汽车产量+进口汽车量-出口汽车量-报废汽车, 报废汽车的增速在模型中无法模拟, 我们根据 2002—2012 年汽车报废量占当年汽车保有量的比例(3%), 对 2013—2020 年的汽车报废量进行固定比例计算。

表 5 汽车减排比例汇总

Table 5 Emission reduction on different kinds of pollutants for different kinds of vehicles

车型	阶段	载客减排总比例/%												载货减排总比例/%							
		一氧化碳			碳氢化合物			氮氧化物			颗粒物			一氧化碳		碳氢化合物		氮氧化物		颗粒物	
重型车	III-V	30.51			33.48			63.65			84.72			27.76		30.67		60.20		80.83	
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	A	B	A	B	A	B
		27.60	0.16	2.12	30.50	0.16	2.12	60.00	0.16	2.12	80.60	0.16	2.12	27.60	0.13	30.50	0.13	60.00	0.13	80.60	0.13
轻型车	III-V	42.33			54.23			65.60			97.17			39.34		50.98		62.11		93.01	
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	A	B	A	B	A	B
		39.16	0.16	2.12	50.79	0.16	2.12	61.91	0.16	2.12	92.77	0.16	2.12	39.16	0.13	50.79	0.13	61.91	0.13	92.77	0.13

说明: CHINAGEM 数据与国标计算汇总。A 表示单车减排比重的贡献, B 表示国 V 标准减排的贡献, C 表示由于标准冲击使载客汽车实际行驶里程减少的贡献, 其中行驶里程油价弹性系数取值-0.342。

① 载货汽车总减排比=单车减排比+汽车保有量减少比+单车减排比×汽车保有量减少比/100; 载客汽车总减排比=单车减排比+汽车保有量减少比+行驶里程下降比+单车减排比×汽车保有量减少比+(行驶里程下降比×汽车保有量减少比+单车减排比×行驶里程下降比)/100 (CGE 经济理论推导可证)。

**表 6 政策冲击后 2018 年汽车国产、进口及出口增速变化**  
Table 6 Percentage change in 2018 for domestic, imported and exported vehicles after the policy shock

汽车类别	增速/%
国产	-1.82
进口	1.30
出口	-0.67

模拟得到, 2020 年基准与受冲击情景下的汽车保有量为 2.22 和 2.20 亿辆, 即 2020 年因尾气排放标准提升, 预计减少约 165 万辆汽车, 减幅为 0.75%, 如表 7 所示。

### 3.2.3 汽车尾气总排放量下降

环境保护部、国家统计局和农业部 2010 年 2 月联合发布的第一次全国污染源普查公告, 披露了全国汽车分车型的尾气污染物排放量。汽车总颗粒物和氮氧化物排放主要来自载货汽车, 一氧化碳和碳氢化合物则主要来自载客汽车<sup>[16]</sup>。

根据 2007 年载货和载客汽车的污染排放量(表 8), 2018 年基线情况下模拟污染排放总量为 24638.54 万吨(表 9), 而国 V 标准能够实现减少排放 9032.87 万吨(表 10), 减排比例为 36.66%。横向对比载客和载货汽车的减排效果, 载客汽车污染物减排 35.61%, 载货汽车减排 41.72%, 载货汽车减排效果较为显著; 纵向排列污染物减排效果, 颗粒物减排比例高达 87%, 一氧化碳仅减排 32%。

**表 7 2018—2020 年汽车保有量预测**

Table 7 Vehicle ownership prediction from 2018 to 2020

年份	基线时汽车保有量/万辆	冲击后汽车保有量/万辆	差值/万辆
2018	19622.93	19592.97	29.96
2019	20922.04	20835.92	86.11
2020	22182.46	22017.47	164.99

**表 8 2007 年全国汽车尾气排放量**

Table 8 Total amount of vehicle emissions nationally in 2007

车型	一氧化碳/万吨	碳氢化合物	氮氧化物	颗粒物
载客汽车	1811.11	1960.07	205.35	16.00
载货汽车	958.86	132.09	263.73	35.76
总量	2769.97	2092.17	469.07	51.76

说明: 数据来自《污染源普查技术报告(下)》, 《污染源普查技术报告》提供了军用和民用汽车 2007 年主要污染物排放数据, 本文只研究民用汽车污染物排放情况。

## 4 结论

本文采用 CHINAGEM 模型分析汽车尾气排放新标准实施对中国经济和环境的影响。研究发现, 短期内新标准实施能够提高劳动力成本并改善贸易条件, 但在一定程度上抑制 GDP 增长, 且 135 个行业对新标准实施的反馈存在差异。汽车尾气中主要污染物排放量削减效果显著, 汽车保有量得到一定程度的控制, 并且间接抑制高耗能产业的发展。

**表 9 基准情况下 2018 年汽车污染物排放量**

Table 9 Vehicle emissions under baseline in 2018

车型	污染物排放量/万吨				
	一氧化碳	碳氢化合物	氮氧化物	总颗粒物	合计
载客汽车	9252.98	10014.03	1049.11	81.75	20397.87
载货汽车	2924.40	402.87	804.33	109.07	4240.67
总量	12177.37	10416.90	1853.45	190.82	24638.54

**表 10 标准施行后 2018 年汽车污染物减排量**

Table 10 Vehicle emission reductions under policy implement in 2018

车型	阶段	污染物减排量/万吨				
		一氧化碳	碳氢化合物	氮氧化物	总颗粒物	合计
载客汽车	III-V	2943.05	3580.14	670.06	70.37	7263.62
载货汽车	III-V	1008.98	171.20	493.17	95.90	1769.25
总量	III-V	3952.03	3751.34	1163.23	166.27	9032.87

经济影响方面,从宏观角度预测新标准的实施效果,发现贸易条件改善而 GDP 水平略有下降。具体来说,由于增加了汽油精炼和汽车零部件行业的生产税率,间接提高了生产成本,新标准的施行将给 126 个行业造成不同程度的负面冲击,仅有以出口导向型为主的 9 个行业经济产出增加。进一步分析,大多数行业受损的原因可归纳为以下 3 点: 1) 下游市场疲软,导致上游产品需求下降; 2) 劳动力价格上升,使得劳动力密集型行业受损; 3) 上游原材料成本增加,推动产品价格上涨,使得行业需求减少。

环境影响方面,短期内新标准的实施能小幅度地减缓汽车保有量增速,对汽车尾气污染物的排放有显著削减作用。本文以汽车制造业的受损情况、汽车产量及保有量的历史数据为基础,估算 2020 年汽车保有量为 2.2 亿辆,同期可减少 164 万辆。根据模型对载客汽车和载货汽车尾气排放污染物的预测,2018 年新标准实施后一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物和总颗粒物的排放量分别为 8225.34, 6665.56, 690.22 和 24.55 万吨,对应污染物的减排量分别为 3952.03, 3751.34, 1163.23 和 166.27 万吨,减排量可观。此外,新标准的实施使高耗能行业<sup>①</sup>受到抑制,在环境保护方面可能产生积极作用。但由于汽车尾气排放仅占大气污染的 20% 左右,施行新标准并不能完全解决空气污染问题,应结合能源结构、生产方式等多方面减排措施配套实施。

致谢 感谢张海鹏博士、陈帅博士以及北京大学环境经济学学科发展项目(EEPC)许多参与者的有益建议。

## 参考文献

- [1] Vanden K F, Wing I S. Accounting for quality: issues with modeling the impact of R&D on economic growth and carbon emissions in developing economies. *Energy Economics*, 2008, 30: 2771–2784
- [2] 肖皓, 赖明勇. 燃油税改革的动态一般均衡分析. *经济数学*, 2009, 26(3): 53–59
- [3] Lin BQ, Jiang Z J. Estimates of energy subsidies in China and impact of energy subsidy reform. *Energy Economics*, 2011, 33: 273–283
- [4] Dong H J, Dai H C, Dong L, et al. Pursuing air pollutant co-benefits of CO<sub>2</sub> mitigation in China: a provincial leveled analysis. *Applied Energy*, 2015, 144: 165–174
- [5] Conrad K. Traffic, transportation, infrastructure and externalities — a theoretical framework for a CGE analysis. *The Annals of Regional Science*, 1997, 31: 369–389
- [6] Conrad K, Heng S. Financing road infrastructure by saving in congestion costs: a CGE analysis. *The Annals of Regional Science*, 2002, 36: 107–122
- [7] Schafer A, Jacoby H D. Technology detail in a multisector CGE model: transport under climate policy. *Energy Economics*, 2005, 27: 1–24
- [8] Yan F, Winijkul E, Jung S, et al. Global emission projections of particulate matter (PM): I. exhaust emissions from on-road vehicles. *Atmospheric Environment*. 2011, 45: 4830–4844
- [9] Viard V B, Fu S H. The effect of Beijing's driving restrictions on pollution and economic activity. *Journal of Public Economics*, 2015, 125: 98–115
- [10] 梁静. 国Ⅳ: “爱你”不容易. *时代汽车*, 2008(4): 21–24
- [11] 岳欣, 庞媛, 马遥, 等. 中国车用汽油、柴油有害物质和环保指标研究. *环境工程技术学*, 2012, 2(4): 325–331
- [12] Dixon P, Rimmer M. Dynamic general equilibrium modelling for forecasting and policy: a practical guide and documentation of MONASH. Bingley, West Yorkshire: JAI Press, 2007: 137–230
- [13] Mai Y. The Chinese economy from 1997–2015: developing a baseline for the MC-HUGE model. Monash University, Centre of Policy Studies and the Impact Project, 2006
- [14] 秦昌波. 中国环境经济一般均衡分析系统及其应用. 北京: 科学出版社, 2014: 13–17
- [15] 易如, 张世秋. 油价上调对北京市私家车驾驶者出行行为改变的影响//中国环境科学学会学术年会论文集. 北京, 2009: 959–969
- [16] 第一次全国污染源普查资料文集(4): 全污染源普查技术报告, 2011: 125–126

<sup>①</sup> 根据《2011 年国民经济和社会发展统计报告》对各行业的分类, 建筑业、非金属矿物质产品、炼钢、钢制产品、锅炉制造业、炼铁和铁合金冶炼业等属于高耗能行业。

## 附录

以重型车的排放限值为例,需要根据发动机的类型对气态污染物和颗粒物等排放进行试验测定。型式核准的传统柴油机,包括安装了燃料电喷系统、排气再循环和(或)氧化型催化器的柴油机,均应采用 ESC 和 ELR 试验规程测定其排气污染物。对于安装先进的排气后处理装置(包括 NO<sub>x</sub> 催化器和(或)颗粒物捕集器的柴油机),应当附加 ETC 试验规程测定排气污染物。重型车相关标准参照 GB 17691—2005 车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法的具体规定。

不同轻型车在型式核准时要求进行的试验项目差别较大,不同型式核准所允许的污染物排放限值也存在差异。由于所有轻型车都必须通过 I 型试验,故以 I 型试验具体标准为例分析。

轻型车 3 个阶段污染物排放量下降比例  
Percentage change of light vehicles' emission in three stages

阶段	类别	级别	RM/Kg	限值/%									
				CO		HC		NO <sub>x</sub>		HC+NO <sub>x</sub>		PM	
				L1		L2		L3		L2+L3		L4	
				点燃式	压燃式	点燃式	压燃式	点燃式	压燃式	点燃式	压燃式	点燃式	压燃式
III—IV	第一类车	—	全部	56.52	21.88	50.00	—	46.67	50.00	—	46.43	—	50.00
		I	RM≤1305	56.52	21.88	50.00	—	46.67	50.00	—	46.43	—	50.00
	第二类车	II	1305<RM≤1760	56.59	21.25	48.00	—	44.44	49.23	—	45.83	—	42.86
		III	1760<RM	56.51	22.11	44.83	—	47.62	50.00	—	46.51	—	40.00
IV—V	第一类车	—	全部	0.00	0.00	0.00	—	25.00	28.00	—	23.33	—	82.00
		I	RM≤1305	0.00	0.00	0.00	—	25.00	28.00	—	23.33	—	82.00
	第二类车	II	1305<RM≤1760	0.00	0.00	0.00	—	25.00	28.79	—	24.36	—	88.75
		III	1760<RM	0.00	0.00	18.75	—	25.45	28.21	—	23.91	—	92.50
III—V	第一类车	—	全部	56.52	21.88	50.00	—	60.00	64.00	—	58.93	—	91.00
		I	RM≤1305	56.52	21.88	50.00	—	60.00	64.00	—	58.93	—	91.00
	第二类车	II	1305<RM≤1760	56.59	21.25	48.00	—	58.33	63.85	—	59.03	—	93.57
		III	1760<RM	56.51	22.11	55.17	—	60.95	64.10	—	59.30	—	95.50

说明: 由 GB18352.3—2005 轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国 III、IV 阶段)和 GB18352.3—2013 轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国第 V 阶段)数据加权平均处理得到。第一类车: 指包括驾驶员座位在内, 座位数不超过六座, 且最大总质量不超过 2500 kg 的 M1 类汽车; 第二类车: 指标准适用范围内除第一类车以外的其他所有轻型汽车。RM (基准质量)指汽车的“整备质量”加上 100 kg。