对燃油征税的区域能源环境影响研究：以中国为例

傅雨薇[1,2]，梁巧梅[1,2*]
（1.北京理工大学能源与环境政策研究中心，北京 100081；2.北京理工大学管理与经济学院，北京 100081）

【摘 要】控制汽柴油消费对中国的能源安全和环境保护有着重要意义。燃油税和碳税是中国近期两种主要的已经或可能施加于燃油的税收政策。以自回归分布滞后模型为核心，本研究构建了一个燃油税和碳税的区域能源环境影响评估模型。利用模型估计了我国的燃油需求价格弹性，测算了燃油需求响应，计算了在相同CO_2减排目标下，提高汽油消费税、提高柴油消费税、引入碳税三种政策情景下各省份预计产生的节能效应、减排效应和税收效益。研究结果显示，在相同的CO_2减排目标下，第一，在不同情景下，各省份节能程度差异均有限，但节能数量均体现出区域匹配性，燃油消费越多的省份，节能数量一般越多，且提高汽油消费税的全国节能总量最大；第二，在引入碳税情景下，各省份CO_2减排比例差异最小；第三，在全国层面，三种政策情景中空气污染物（$PM_{2.5}$和NO_x和SO_2）减排数量均为提高汽油消费税＞引入碳税＞提高柴油消费税，但在提高柴油消费税情景下，有4/5的省份预计$PM_{2.5}$排放减少程度超过14%。除此之外，提高汽油消费税的税收收益最大。

【关键词】燃油税；碳税；燃油消费；排放；自回归分布滞后模型
【中图分类号】X24 【文章编号】1674-6252（2020）02-0084-11
【文献标识码】A 【DOI】10.16868/j.cnki.1674-6252.2020.02.084

引言

石油是目前世界第一大燃料来源，2017 年占全球能源总消费的 34% [1]。中国现为世界上第二大石油消费国，2017 年中国石油消费总量约为 5.9 亿 t，占全球石油消费总量的 13.2%[2]。2000—2017 年，全球石油消费总量增加 9.2 亿 t，其中 41% 来自中国 [2]。中国现已经成为驱动全球石油消费增长的主要动力和重塑全球石油市场格局的重要力量 [2]。

随着工业化、城镇化进程加快和消费结构持续升级，中国能源需求呈刚性增长。煤炭和石油是中国最主要的消费能源。虽然石油比重明显小于煤炭，但现今已有许多针对煤炭消费量控制的政策，如煤改气工程、煤改电工程等，以及一些煤炭清洁利用的措施，如洁净煤技术（CCT）、碳捕获与碳封存技术（CCS）等，部分措施已取得了一定的成效。2013—2017 年全国的煤炭消费总量呈下降趋势。反观全国每年的石油消费总量，2000 年至今一直呈上升趋势。

石油消费在中国的能源安全战略中扮演着举足轻重的角色。从 2009 年起，中国石油的对外依存度超过了 50%。2017 年中国进口石油 4.2 亿 t，同比增长 10.1%，对外依存度达 68.9%[3]，取代美国成为世界第一大石油进口国。石油消费也会明显引致温室气体与污染物的排放 [4]。例如，交通运输行业是汽柴油的消费大户，根据 IEA 的数据，2016 年中国交通运输业 CO_2 的排放量为 8.4 亿 t，占全国碳排放总量的 9.3%[5]。交通运输行业也是 $PM_{2.5}$ 和 NO_x 主要的排放源之一：2017 年全国机动车排放污染物 4359.7 万 t，其中颗粒物（PM）有 50.9 万 t（占中国烟粉尘排放的 6.4%），NO_x 有 574.3 万 t（占中国 NO_x 排放的 45.6%）[6]。

对于石油消费在中国能源战略（无论是能源安全还是环境保护）中的关键地位，中国政府一直予以高度的重视 [7]。例如，“十一五”规划 [8] 中提到要稳步发展石油替代产品，降低石油消费比重。“十二五”[9] 和“十三五”[10] 规划都提到要控制石油消费增速，使石油在中国一次能源消费结构中的比例保持基本稳

【编者按】本文选自 2019 年召开的第十届中国能源经济与管理学术年会暨第十三届中国能源资源开发利用战略学术研讨会会议论文。中国能源经济与管理学术年会是国家自然科学基金委管理科学部和中国“双法”研究会能源经济与管理研究分会联合主办的年度大型学术交流活动，《中国环境管理》期刊为大会协办单位。
资助项目：国家重点研发计划“气候变化经济影响综合评估模式研究”（2016YFA0602600）；国家自然科学基金（71422011）。
作者简介：傅雨薇（1997—），女，硕士，研究方向为能源环境政策，E-mail: 15624952482@163.com。
* 责任作者：梁巧梅（1979—），女，教授，博士，博导，研究方向为能源经济复杂系统建模与能源环境政策，E-mail: lqmhl@hotmail.com。

定。在规划目标的实现手段方面，中国政府倾向使用基于市场的手段。例如，《中华人民共和国节约能源法》中指出“对节能技术、节能产品，实行税收优惠等扶持政策”[11]；《节能减排综合性工作方案》中提到“中国将制定和完善鼓励节能减排的税收政策，适时出台燃油税”[12]。中国目前已经施加于燃油的最主要的基于市场的政策是燃油税。燃油税是针对燃油的销售量在零售环节征收的税种，目前在中国的开征对象覆盖7种燃油产品：汽油、柴油、石脑油、溶剂油、燃料油、润滑油、航空煤油。另外，在中国，对能源产品征收碳税等直接面向排放的减排手段也受到关注和讨论[13−15]。碳税是针对化石燃料的含碳量征收的税种。无论是燃油税还是碳税，都能起到既减少燃油消费又降低排放的作用。那么，目前已开征的燃油税，在减少中国碳排放和空气污染物排放方面的效果如何？提高现有的燃油税率是否可以免征或少征相关的环境保护税？另外，若未来开征碳税，它对于中国燃油消费又是否有明显的控制效果？是否可以替代或是明显削弱现有的燃油税？为了在提高节能减排效率的同时尽可能地减少对社会经济系统的冲击，避免过度施政，本研究旨在对燃油税和碳税的节能减排效果进行比较，从而为未来相关的税制改革提供政策建议。

本研究的分析将从对石油消费价格弹性的估计入手。基于市场的政策要通过价格传导，而商品的价格弹性反映了商品价格与需求的直接关系，是影响施加于商品的价格政策的效果的关键因素。因此，在估计燃油需求价格弹性的基础上进一步研究相关税收政策影响的分析思路已受到不少研究的青睐[16−21]。这些研究关注的燃油品种主要是汽油[16−21]和柴油[16, 20]，关注的地区主要是欧洲[16, 17, 20]和美国[17−19, 21]。现有针对中国的类似研究不仅为数明显较少，而且只涉及了对全国层面的政策效果的评估[22, 23]。需要强调的是，在这样的思路下，弹性的不同会导致结果和结论的不同。因此在确定具体的燃油需求价格弹性值时，这些研究往往会通过计量模型来专门进行估计。此外，已有相关研究不仅对于中国燃油需求价格弹性的估计值存在明显差异，而且多使用的是局部调整模型[22−25]。Zimmer[16]指出，用局部调整模型估计燃油弹性值忽略了价格变量的滞后影响，这可通过采用自回归分布滞后模型进行修正。

与已有研究类似，本研究的分析对象也聚焦汽柴油消费。汽油和柴油是中国油品终端消耗所占比例最大的种类。2016年汽柴油共占中国所有14种油品消费总量的51%。同时，中国的汽柴油消费量一直在明显增长。例如，汽油由2000年的0.35亿t上升至2016年的1.19亿t，柴油由2000年的0.68亿t上升至2016年的1.68亿t。

综上所述，本研究旨在从估计中国汽柴油需求价格弹性入手，进而关注提高汽油税率、提高柴油税率以及开征碳税对中国的燃油消费、碳排放及空气污染物排放的影响。对比以往研究，本研究的贡献如下：第一，将对中国不同能源环境税的比较延伸到了省级层面；第二，针对中国面临的应对全球气候变化和降低局地环境污染的双重挑战，把污染物减排也纳入评估指标；第三，使用自回归分布滞后模型估计燃油弹性，从而修正使用局部调整模型估计弹性的不足。

1 研究方法与数据

1.1 研究方法

针对本研究的目的，设计了如图1所示的模型构建思路：第一步是建立一个燃油需求模型以估计燃油需求价格弹性；第二步是基于燃油需求模型系数计算燃油

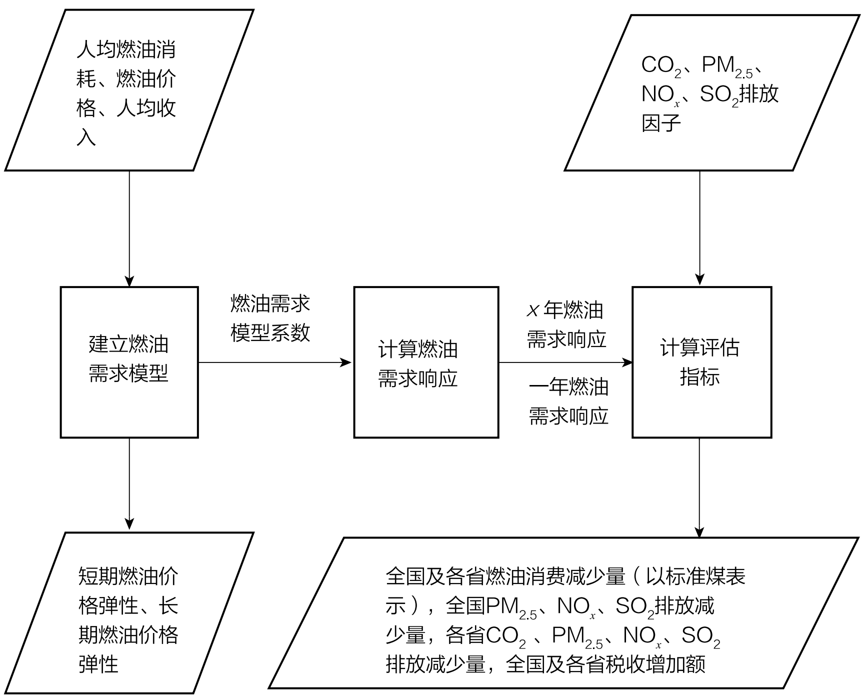


图1　总体分析框架

需求响应；第三步是计算用于政策评估的指标。

1.1.1 建立燃油需求模型

决定燃油消费量的关键因素是燃油价格和以收入水平反映的消费能力。燃油价格上涨通常被认为将导致消费量下降，而收入增加预计会增加对燃油的需求[16]。中国人均燃油消耗与其决定因素之间的一般关系可以写成对数线性需求方程[25]：

$$\ln d_{i,t}=c+\beta\ln p_{i,t}+\gamma\ln e_{i,t}+\varepsilon \tag{1}$$

其中，c 是常数项；ε 是误差项；$d_{i,t}$ 表示省份 i（i=1,⋯,N）在时间 t（t=1, ⋯,T）的人均燃油消耗；$p_{i,t}$ 表示省份 i 在时间 t 的实际燃油价格；$e_{i,t}$ 表示省份 i 在时间 t 的实际人均收入水平；β 表示 $p_{i,t}$ 变动 1% 时导致的 $d_{i,t}$ 的变动程度。

这个需求方程是基于价格、收入的变化对燃油需求产生的影响已经完全发挥这一假设的。虽然它很好地描述了价格和收入变化的长期影响，但因为消费者行为存在惯性[21, 26]，消费行为的变化只会缓慢发生，而这个方程不能反映价格或者收入产生变化后特定年限内对燃油需求的影响。为了更好地指导政策设置，燃油需求应该建立在一个可随时间调整的动态模型上。因此，参照 Zimmer 的研究[16]，本研究使用一个自回归分布滞后模型（ADL）来修改式（1），得到下式：

$$\begin{aligned}\ln d_{i,t} &= c+\alpha\ln d_{i,t-1}+\beta_0\ln p_{i,t}+\beta_1\ln p_{i,t-1}+\\ &\quad \gamma_0\ln e_{i,t}+\gamma_1\ln e_{i-1,t}+\mu_i+\nu_t+\varepsilon\end{aligned} \tag{2}$$

其中，相比式（1），新增变量 μ_i 表示省份 i 的个体效应；v_t 表示时间效应。ADL 模型中燃油价格短期弹性由系数 β_0 和 β_1 给出，长期弹性是（β_0+β_1）/（1−α），它反映了在未来时期燃油价格变化对燃油消耗的总体影响。

如果用局部调整模型（PAM）来估计燃油价格弹性，模型为：

$$\ln d_{i,t}=c+\alpha\ln d_{i,t-1}+\beta\ln p_{i,t}+\gamma\ln e_{i,t}+\mu_i+\nu_t+\varepsilon \tag{3}$$

其中，c 是常数项；ε 是误差项；短期燃油价格弹性是当期价格变量的系数 β，长期价格弹性是 β/（1−α）。

对比 ADL 和 PAM，PAM 只考虑了被解释变量的滞后项，未考虑解释变量的滞后项。在本研究中采用的是 ADL 模型，PAM 模型估计作为稳健性分析的结果可向作者获取。

1.1.2 计算燃油需求响应

燃油需求响应指价格变化 1% 时，燃油需求变化的百分比，可以通过一个数学上的累积效应模型式（4）来计算得到。具体来说，考虑式（2）中的 ADL 及其各个变量的系数。假设当 t = 0 时给予的一个永久性价格冲击为 1，对冲击的直接响应 ω_0（即价格冲击引起的燃油需求的变化）为 β_0；在 t = 1 时，t = 0 时的价格冲击的影响将被滞后价格变量以及滞后因变量传递，即需求的附加变化 $\omega_1=\alpha\omega_0+\beta_1$ 的间接作用进一步推动；从 t = 2 开始，冲击只通过滞后的因变量（因变量是燃油需求）传递，所以当 t >2 时，$\omega_t=\alpha\omega_{t-1}=\alpha^{t-1}\omega_1$。因此，在 T 期间实现的冲击的累积效果 φ_T 由下式得出：

$$\varphi_T=\sum_{r=0}^{T}\omega_t \tag{4}$$

综上，燃油价格变化 1%，累积 X 年的燃油需求响应为 φ_X%。基于燃油需求响应，利用 2015 年的柴油及汽油消费总量的样本数据，可估计燃油价格变化 X 年后引起的汽柴油消费的变化量。本研究假设政策实施期内收入水平保持不变，因此燃油消费量变化以及基于它而计算得到的评估指标值是指与 2015 年相比的变化。此外，假设政策实施期内的燃料替代效应忽略不计。

1.1.3 计算评估指标

在对不同政策的节能减排效率进行比较时，考虑到应对气候变化是未来基于燃油的税收可能会被调整的一大动因，本研究设定一个共同的 CO_2 减排目标：政策实施 x 年后实现全国减排 atCO_2。在这样相同的前置条件下，即可以实现对提高汽油消费税、柴油消费税和对汽柴油碳排放征收碳税下的区域环境影响的比较，同时由于对汽柴油征收的碳税值可以通过汽柴油的二氧化碳排放因子转化为对应的汽柴油涨价水平，这样也可以实现与提高汽油消费税和柴油消费税导致的汽柴油涨价水平的直观比较。

这里假设政策效应的考察期（x）为 10 年，减排量（a）为 10^8t。给定减排目标下不同政策方案中所需的征税水平可由下面公式组得出：

$$\begin{cases}\dfrac{y_g}{p_g}\times\varphi_{xg}\times f_g\times c_g\times 1000=10^8\\[2mm] \dfrac{y_d}{p_d}\times\varphi_{xd}\times f_d\times c_d\times 1000=10^8\\[2mm] \dfrac{y_c\times c_g}{p_g}\times\varphi_{xg}\times f_g\times c_g\times 1000+\dfrac{y_c\times c_d}{p_d}\times\varphi_{xd}\times f_d\times c_d\times 1000=10^8\end{cases} \tag{5}$$

其中，三种政策情景下增加的税额分别为 y_g 元 /t 汽油、y_d 元 /t 柴油、y_c 元 /tCO_2；φ_{xg}、φ_{xd} 指汽油和柴油的累

积 10 年需求响应；p_g 和 p_d 指汽油和柴油 2015 年年平均全国价格，单位为元 /t；f_g 和 f_d 指全国汽油和柴油 2015 年的终端消费量，单位是 t；c_g 和 c_d 指中国汽油和柴油燃烧的二氧化碳排放因子，单位是 $kgCO_2/kg$。

计算出各种政策下所需的税率后，可进一步比较不同政策的节能效应、减排效应和短期税收效益，具体的评估指标包括：全国及各省份汽柴油消费减少量；全国 $PM_{2.5}$、NO_x、SO_2 排放减少量；各省份 CO_2、$PM_{2.5}$、NO_x、SO_2 排放减少量；全国及各省份税收增加额。其中，NO_x 和 SO_2 是《中国统计年鉴》中专门统计的地区废气中的主要污染物。

每种政策情景下各省份的燃油消费减少量可以通过下面公式组计算得到：

$$\begin{cases} fr_{pg} = \dfrac{y_g}{p_{pg}} \times \varphi_{xg} \times f_{pg} \times 1.01 \\ fr_{pd} = \dfrac{y_d}{p_{pd}} \times \varphi_{xd} \times f_{pd} \times 1.08 \\ fr_{pg_c} = \dfrac{y_c \times c_g}{p_{pg}} \times \varphi_{xg} \times f_{pg} \times 1.01 \\ fr_{pd_c} = \dfrac{y_c \times c_d}{p_{pd}} \times \varphi_{xd} \times f_{pd} \times 1.08 \\ fr_{pc} = fr_{pg_c} + fr_{pd_c} \end{cases} \tag{6}$$

对比式（5），式（6）中新增的变量 fr_{pg}、fr_{pd}、fr_{pc} 分别表示三种政策情景下各省份预计燃油消费减少量，单位是吨标准油；fr_{pg_c} 和 fr_{pd_c} 分别表示征收碳税的政策情景下各省份预计的汽柴油消费减少量，单位是吨标准油；p_{pg} 和 p_{pd} 分别指各省份 2015 年汽油和柴油的平均价格，单位为元 /t；f_{pg} 和 f_{pd} 分别指各省份汽油和柴油终端消费量，单位是 t。常数 1.01 和 1.08 分别是汽柴油转化为标准油的系数。全国的燃油消费减少量指标通过各省份加和得到。当 φ_{xg} 和 φ_{xd} 替换为一年累积响应值 φ_{1g}、φ_{1d} 时，f_r 值即为短期节能效应。

根据节能效应计算出来的各省份汽油和柴油消费减少量，可以计算各省份的减排效应的指标。具体的算法为下面公式组：

$$\begin{cases} em_{pg} = \dfrac{fr_{pg}}{1.01} \times e_{pg} \\ em_{pd} = \dfrac{fr_{pd}}{1.08} \times e_{pd} \\ em_{pc} = \dfrac{fr_{pg_c}}{1.01} \times e_{pg} + \dfrac{fr_{pd_c}}{1.08} \times e_{pd} \end{cases} \tag{7}$$

对比式（6），式（7）中新增的变量 em_{pg}、em_{pd}、em_{pc} 表示三种政策情景下要计算的各省份各种排放物预计减少量（CO_2、$PM_{2.5}$、NO_x、SO_2），单位是 t；e_{pg} 和 e_{pd} 表示与各省份汽油和柴油燃烧产生的待计算排放物对应的排放因子，单位是 t 排放物 /t。全国层面的减排效应指标通过各省份加和得到。

根据节能效应计算出来的各省份汽油和柴油消费减少量，可以计算政策实施一年后各省份的税收效益。具体的算法为下面公式组：

$$\begin{cases} tax_{pg} = \dfrac{(f_{pg} - fr_{pg'})}{1.01} \times y_g - fr_{pg'} \times old_{tax_g} \\ tax_{pd} = \dfrac{(f_{pd} - fr_{pd'})}{1.08} \times y_d - fr_{pd'} \times old_{tax_d} \\ tax_{pc} = \dfrac{(f_{pg} - fr_{pg_c'})}{1.01} \times y_c \times c_g - fr_{pg_c'} \times old_{tax_g} + \\ \qquad \dfrac{(f_{pd} - fr_{pd_c'})}{1.08} \times y_c \times c_d - fr_{pd_c'} \times old_{tax_d} \end{cases} \tag{8}$$

对比式（5）和（6），式（8）中新增的变量 tax_{pg}、tax_{pd}、tax_{pc} 表示三种政策情景下，政策实施一年的税收收益，单位是元；$fr_{pg'}$ 和 $fr_{pd'}$ 分别表示每种政策方案下，政策实施一年各省份的汽柴油消费减少量，单位是吨标准油；$fr_{pg_c'}$ 和 $fr_{pd_c'}$ 分别表示征收碳税的政策情景下一年后各省份预计的汽、柴油消费减少量，单位是吨标准油。

1.2 数据收集和整理

第一步求解燃油需求模型时，输入的样本数据是 2000—2015 年中国 30 个省份（由于数据限制，西藏、台湾、香港、澳门等未能纳入研究范围）的年度（非平衡）面板数据，数据项包括人均燃油消耗、（实际）燃油价格和（实际）人均收入。所需的各项原始数据及其来源如表 1 所示。在原始数据基础上，通过以下处理得到模型中需要输入的样本数据值：人均汽油和柴油消费等于相应的总消费量除以常住人口数；根据分地区 CPI，以 2000 年为基期，使用式（9）计算去除通胀因素后的实际汽油和柴油价格；根据人均地区生产总值指数，以 2000 年为基期，使用式（10）计算实际人均地区生产总值。

$$\mathrm{real}_{p_{it}} = \frac{\mathrm{nominal}_{p_{it}}}{\mathrm{CPI}_{it}} \times 100 \tag{9}$$

其中，i 表示省份；t 表示年份；$\mathrm{real}_{p_{i,t}}$ 表示实际燃油价格；$\mathrm{nominal}_{p_{i,t}}$ 表示名义燃油价格；CPI_{it} 表示以 2000 年为基期的居民消费价格指数。

$$\text{real}_{\text{grp}_{it}} = \frac{\text{grp}_{2000,t} \times \text{grp}_{\text{index}_{it}}}{100} \quad (10)$$

其中，i 表示省份；t 表示年份；$\text{real}_{\text{grp}_{i,t}}$ 表示实际人均地区生产总值；$\text{grp}_{2000,t,i}$ 表示 2000 年人均地区生产总值；$\text{grp}_{\text{index}_{it}}$ 表示以 2000 年为基期的人均地区生产总值指数。

将人均汽油需求变量、人均柴油需求变量、汽油价格变量、柴油价格变量、人均收入变量分别设为 dg_{it}、dd_{it}、pg_{it}、pd_{it}、i_{it}，其基本特征如表 2 所示。

表 1　各数据项的原始数据来源

数据名称	数据来源
各省份 2000—2015 年柴油和汽油年消费量	《中国能源统计年鉴》[27]
各省份 2000—2015 年常住人口数	《中国统计年鉴》[28]
各省份 2000—2015 年居民消费价格指数	《中国统计年鉴》[28]
各省份 2000—2015 年人均地区生产总值	《中国统计年鉴》[28]
各省份 2000—2015 年柴油和汽油价格	《国际石油经济》期刊[29]

表 2　燃油需求弹性模型输入数据基本特征

统计指标	人均汽油需求 /t	实际汽油价格 /（元 /t）	人均柴油需求 /t	实际柴油价格 /（元 /t）	实际人均收入 / 元
N	474	480	471	480	480
平均值	0.053	5 312	0.109	4 741	23 102
标准差	0.034	1 277	0.059	1 175	20 626
最小值	0.009	2 304	0.017	3 041	3 257
最大值	0.205	7 909	0.320	7 288	125 985

第三步计算评估指标时，为了计算 CO_2 和其他污染物的减排量，需要输入汽柴油燃烧的 CO_2 和其他污染物排放因子的样本数据。各省份的排放因子来自 GAINS 数据库 2015 年的数据。

2 结果分析与讨论

2.1 燃油需求弹性

表 3 和表 4 显示了 ADL 模型的估计结果。估计效应的符号符合预期，产生负价格弹性、正收入弹性。

根据汽油需求弹性估计结果，OLS、FE、FE-IV 估计的燃油价格系数存在差异，说明 OLS 和 FE 的估计结果存在偏差，应当采用 FE-IV 的估计结果，即汽油价格变量的系数为 −0.239，而汽油价格一阶滞后变量的系数是 −0.121。同理，对于柴油需求弹性估计，我们采用 FE-IV 的估计结果，即柴油价格变量的系数为 −0.760，而柴油价格一阶滞后变量的系数是 −0.123。

2.2 燃油需求响应

表 5 显示了在 t=0 时给予一个永久性价格冲击——将燃油价格上调 1% 后，汽油和柴油的累积需求响应。观察表 5 的 φ_R 列数据，可以得到燃油价格上涨 1%，一年后（短期）汽油和柴油的累积需求响应分别为 −0.539% 和 −1.431%，十年后汽油和柴油的累积需求响应分别为 −1.359% 和 −3.074%。

表 3　汽油需求弹性模型 _ADL

因变量：人均汽油消耗	OLS	FE	FE-IV
人均汽油消耗一阶滞后	0.890***	0.748***	0.747***
	(0.020 8)	(0.032 5)	(0.032 6)
实际汽油价格	−0.173**	−0.209**	−0.239***
	(0.084 3)	(0.083 7)	(0.089 7)
实际汽油价格一阶滞后	0.178**	−0.147	−0.121
	(0.083 2)	(0.110)	(0.113)
实际收入水平	0.402	1.019***	1.086***
	(0.342)	(0.393)	(0.399)
实际收入水平一阶滞后	−0.316	−0.663*	−0.728*
	(0.341)	(0.378)	(0.385)
常数项	−1.195***	−1.255***	−1.242***
	(0.288)	(0.379)	(0.380)
观测对象	442	442	442
R^2	0.946	0.863	0.863
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1			

注：括号里的数值为标准差；所有变量都取了对数；被解释变量是：人均汽油消耗（的对数）；固定效应的 R^2 是组内 R^2

表 4　柴油需求弹性模型 _ADL

因变量：人均柴油消耗	OLS	FE	FE-IV
人均柴油消耗一阶滞后	0.889***	0.721***	0.721***
	(0.019 1)	(0.031 2)	(0.031 7)
实际柴油价格	−0.023 8	−0.801***	−0.760*
	(0.087 1)	(0.262)	(0.428)
实际柴油价格一阶滞后	0.035 4	−0.106	−0.123
	(0.087 0)	(0.260)	(0.298)
实际收入水平	1.657***	1.887***	1.897***
	(0.379)	(0.544)	(0.551)
实际收入水平一阶滞后	−1.830***	−1.693***	−1.705***
	(0.357)	(0.540)	(0.548)
常数项	−0.698**	4.623*	4.450
	(0.314)	(2.551)	(2.931)
观测对象	438	438	438
R^2	0.926	0.872	0.872
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1			

备注：括号里的数值为标准差；所有变量都取了对数；被解释变量是：人均汽油消耗（的对数）；固定效应的 R^2 是组内 R^2

表5　燃油需求响应

时期	汽油		柴油	
t	w_r	φ_R	w_r	φ_R
0	−0.239	−0.239	−0.760	−0.760
1	−0.300	−0.539	−0.671	−1.431
2	−0.224	−0.762	−0.484	−1.915
3	−0.167	−0.929	−0.349	−2.264
4	−0.125	−1.054	−0.251	−2.515
5	−0.093	−1.148	−0.181	−2.696
6	−0.070	−1.217	−0.131	−2.827
7	−0.052	−1.269	−0.094	−2.921
8	−0.039	−1.308	−0.068	−2.989
9	−0.029	−1.337	−0.049	−3.038
10	−0.022	−1.359	−0.035	−3.074
……				
n		−1.423		−3.165

2.3 不同政策的区域能源环境影响

在2.2得到的燃油需求响应值的基础上，为了实现所设置的碳减排目标，可以计算得到三种需设置的政策情景分别是：提高汽油消费税0.99元/L（后文用GTAX表示）；提高柴油消费税0.22元/L（后文用DTAX表示）；引入73.4元/tCO_2的碳税（后文用CTAX表示），相当于汽油0.11元/L的税或柴油0.20元/L的税。

2.3.1 节能效应

在全国层面，从短期看，提高汽油消费税（GTAX）的节能效应最大，不过各政策的节能程度之间差异不大；从长期看，依然是提高汽油消费税（GTAX）的节能效应最大，且其相对于提高柴油消费税和引入碳税的节能优势明显提升。在相同的碳减排目标下，政策实施的10年间，GTAX能累计带来0.48亿吨标准油的汽油消费减少量，DTAX能累计带来0.32亿吨标准油的柴油消费减少量，CTAX能累计带来0.35亿吨标准油的汽柴油消费减少量。GTAX的节能效应最明显的原因是汽油的CO_2排放因子小于柴油，从而当减排了同样多的CO_2时，对应减少的燃油消费量是汽油大于柴油。

同一政策情景下，各省份节能效应存在明显差异。2015年汽油、柴油消费量如图2所示。一方面表现在节能程度上的差异，如图3（a）所示。从数据上看，各省份汽柴油消费减少幅度在GTAX下为9%～23%，在DTAX下为4%～15%，在CTAX下为7%～15%。从经济区域上看，汽油、柴油消费减少幅度较大的省份在GTAX下集中分布在东部地区，最大的省份是北京。在DTAX和CTAX下则更多分布在西部地区，最大的省份都是青海。此外，在CTAX下，大部分省份的节能程度稍高于DTAX，但这个差距随着省份的柴油、汽油消费量差的增大而缩小，当柴油消费超过汽油消费约1.5倍时，该省份在DTAX下的节能程度大于CTAX，如宁夏和青海。另一方面表现为节能数量上的差异，如图3（b）所示。汽油、柴油消费量大的省份的节能更多，这是由于各省份节能程度差异带来的影响有限而造成的现象。而且在东部地区，节能数量大的省份分布较多。三种政策情景下，节能最多的省份都是广东，其汽油、柴油消费减少量为233万吨标准油（DTAX）、417万吨标准油（GTAX）。

2.3.2 减排效应

图4显示了十年期三种政策情景下各省份CO_2排放预计减少程度及减少量。减少程度如图4（a）所示，在GTAX下为6%～19%，北京最大；在DTAX下为6%～16%；在CTAX下为8%～15%。后两种政策情景下，都是青海、甘肃和宁夏的减少程度最大。三种政策情景下，减少程度大于10%的省份占比均超过2/3，而且在CTAX下，仅有北京的减少程度稍低于10%。排放减少绝对量如图4（b）所示，在GTAX中，四川的CO_2排放减少量最多，为938万t。在DTAX和CTAX中，CO_2排放减少量预计最高的省份均为广东（分别为811万t和737万t）。此外，相比DTAX和CTAX，在GTAX下省份之间的减排量差异略大一些，这是各省份汽油碳排放系数差异较大造成的。

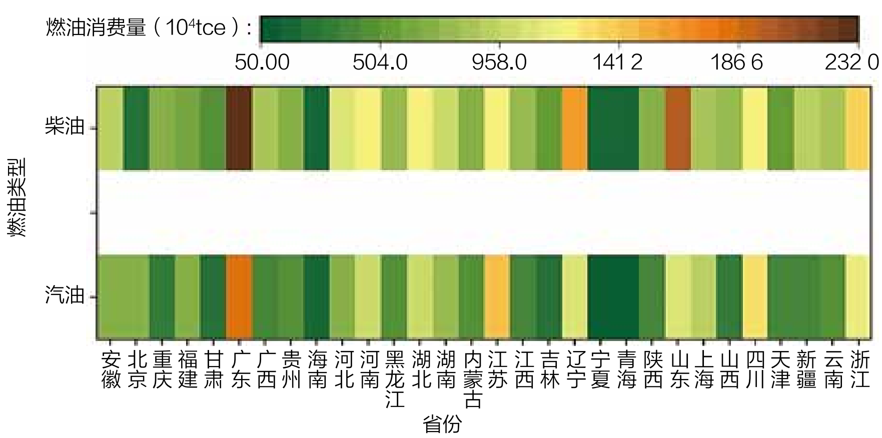
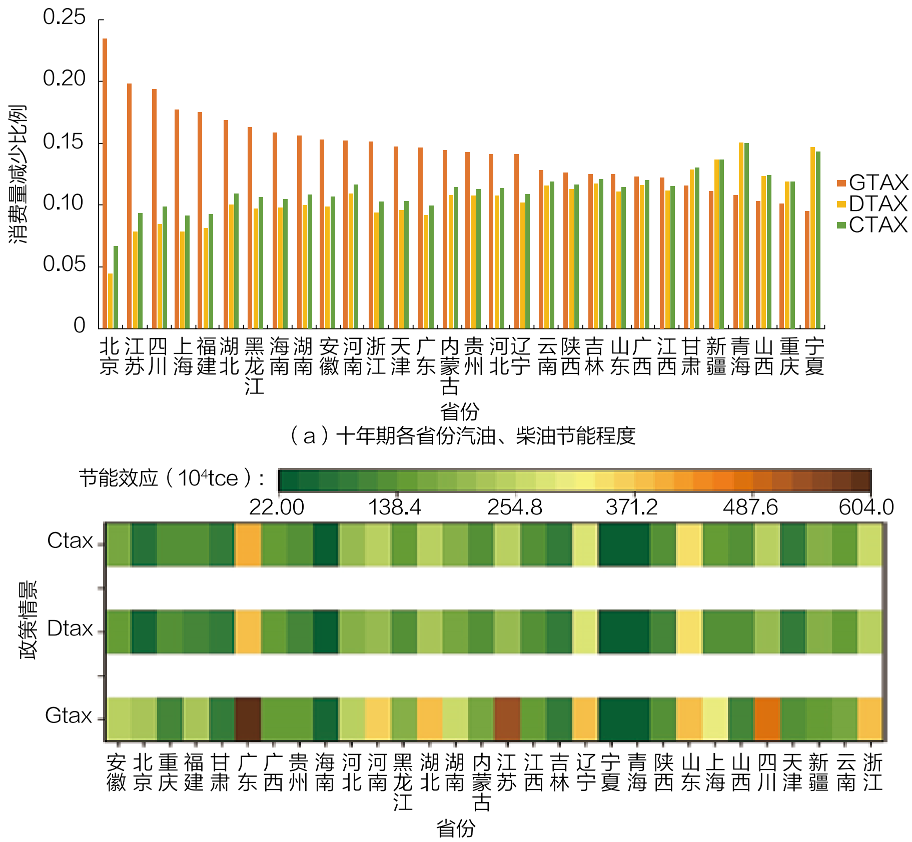


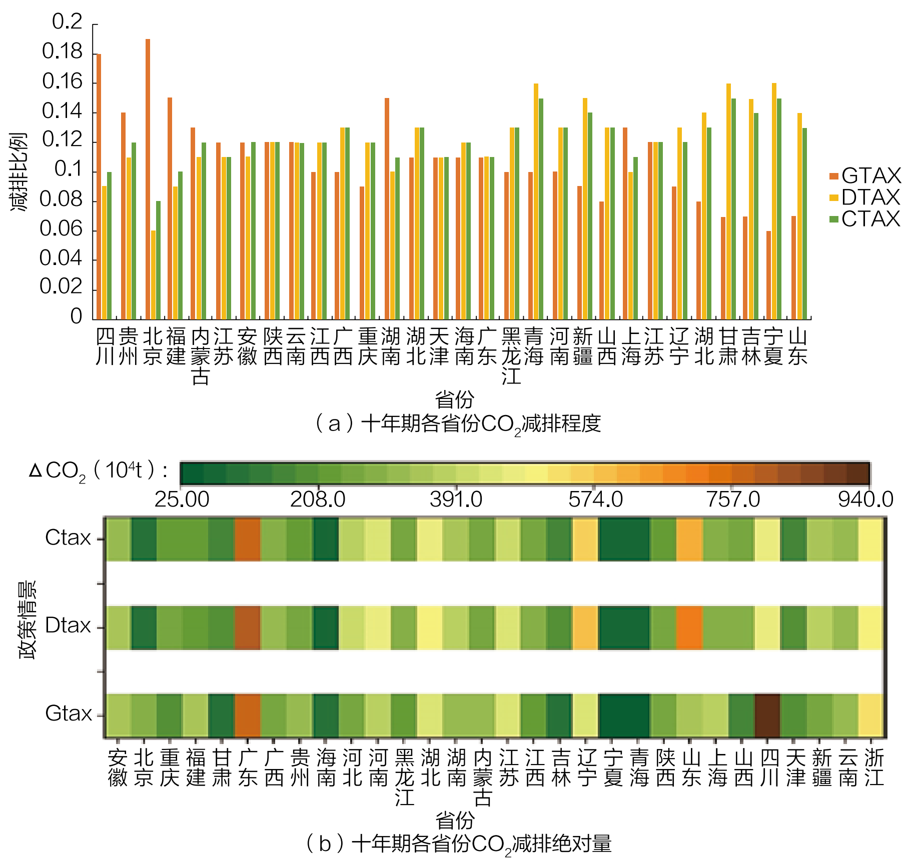
图2　各省份2015年汽油、柴油消费量



（a）十年期各省份汽油、柴油节能程度

（b）十年期各省份汽油、柴油节能数量

图3　十年期各省份汽油、柴油节能程度和节能数量分布



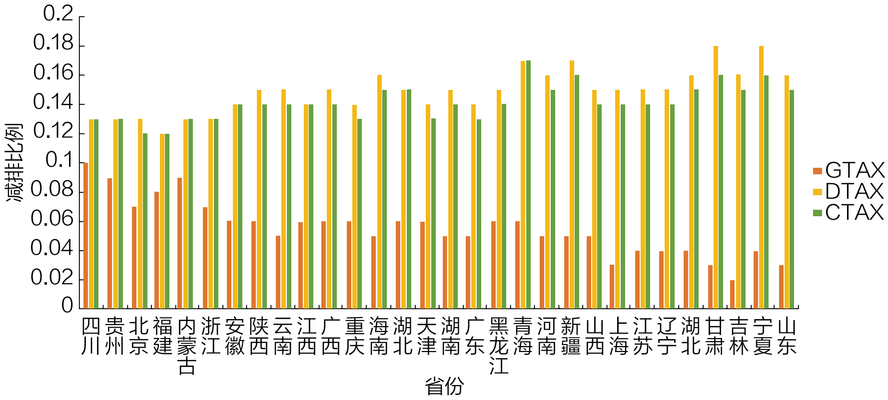
（a）十年期各省份CO_2减排程度

（b）十年期各省份CO_2减排绝对量

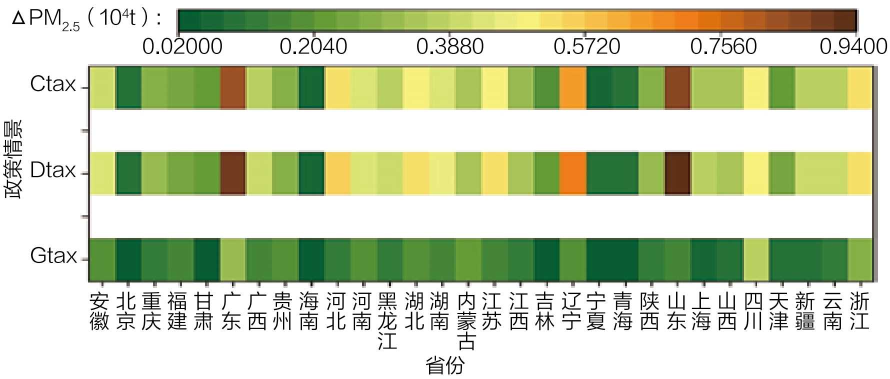
图4　十年期各省份 CO_2 减排程度和减排绝对量分布

在考虑政策短期效应时，三种政策情景下的 $PM_{2.5}$ 减排效果差距较小。图 5 显示了十年期三种政策情景下各省份 $PM_{2.5}$ 排放预计减少程度及减少量。从汽油、柴油消费的 $PM_{2.5}$ 减排程度来看，在 GTAX 下为 2%～10%，四川最大；在 DTAX 下为 12%～18%，宁夏和甘肃最大；在 CTAX 下为 12%～17%，青海最大。此外，在 DTAX 下 4/5 的省份预计减少程度超过 14%。从排放减少绝对量来看，其中 DTAX 的 $PM_{2.5}$ 减排总量（11.7 万 t）最多，其次是 CTAX（11.1 万 t），最少的是 GTAX（4.3 万 t），这主要是因为柴油燃烧的 $PM_{2.5}$ 排放因子大于其汽油燃烧的 $PM_{2.5}$ 排放因子。在 GTAX 下，四川的 $PM_{2.5}$ 预计减排量最大，为 0.37 万 t；在 DTAX 和 CTAX 下，山东的预计减排量最大，分别为 0.94 万 t 和 0.87 万 t。虽然广东的预期节能数量是最多的，但由于其 $PM_{2.5}$ 排放因子较小，所以对应的减排量并不突出。

在短期内，GTAX 的 NO_x 减排效果与 DTAX 和 CTAX 呈现明显差距，且随着时间的推移更加明显。图 6 显示了三种政策情景下十年期各省份 NO_x 预计减少程度及减少量。图 6（a）显示了各省份汽油、柴油消费的 NO_x 的减排程度的比较（除去吉林，因为缺失吉林的汽油燃烧 NO_x 排放因子）。在 GTAX 下为 3%～13%，江苏最大；在 DTAX 下为 11%～18%，青海最大；在 CTAX 下为 11%～17%，青海最大。考虑

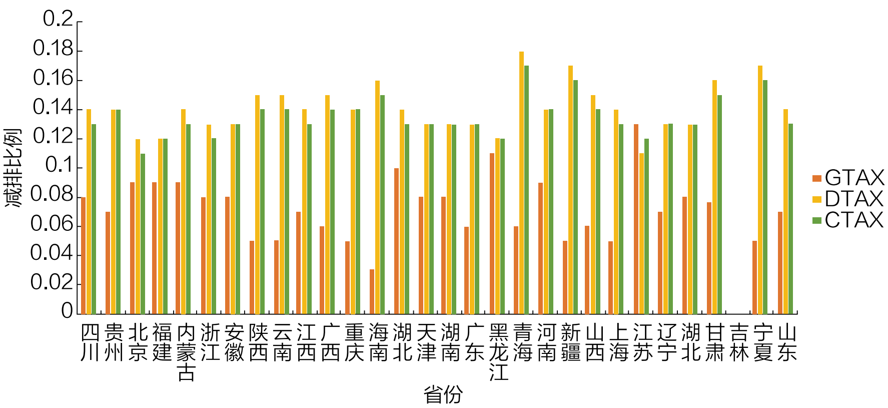


（a）十年期各省份$PM_{2.5}$减排程度

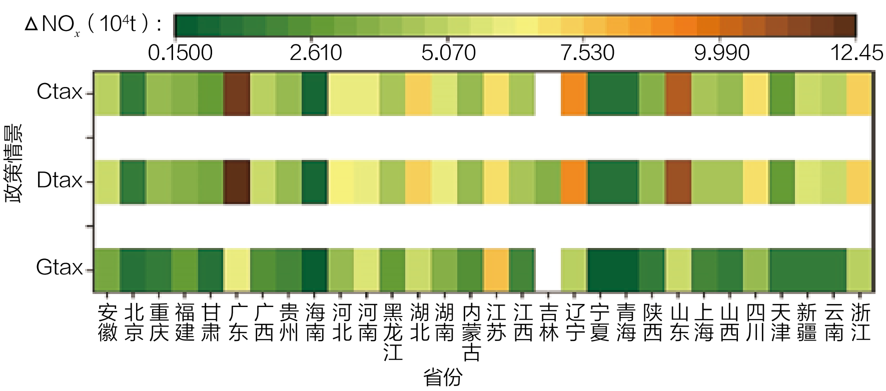


（b）十年期各省份$PM_{2.5}$减排绝对量

图5 十年期各省份$PM_{2.5}$减排程度和减排绝对量分布



（a）十年期各省份NO_x减排程度



（b）十年期各省份NO_x减排绝对量

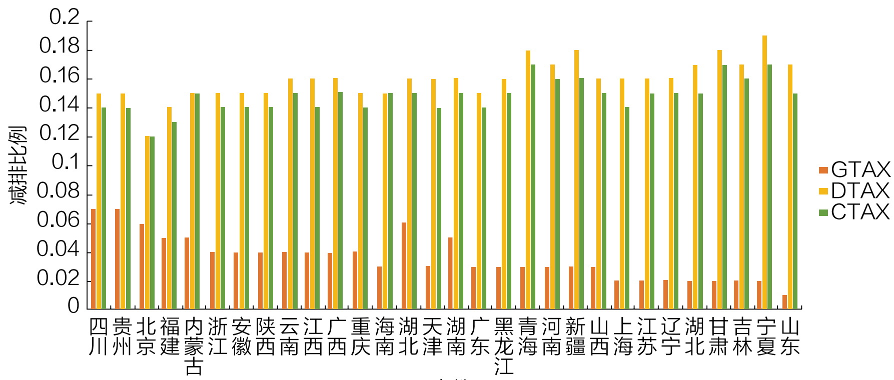
图6 十年期各省份NO_x减排程度和减排绝对量分布

NO_x减排总量，DTAX下最多（148.5万t），其次是CTAX（144.3万t），最差的是GTAX（83.7万t），这主要是因为柴油比汽油的NO_x排放因子大。图6（b）显示了各省份NO_x减排量分布。在GTAX下，减排量最大的仍为江苏省，达到7.8万t，这是因为在GTAX下江苏的汽油消费预计减少量以及汽油燃烧的NO_x排放因子都位居前列；在政策DTAX和CTAX下，广东的减排量最大，分别有12.4万t和12.0万t。

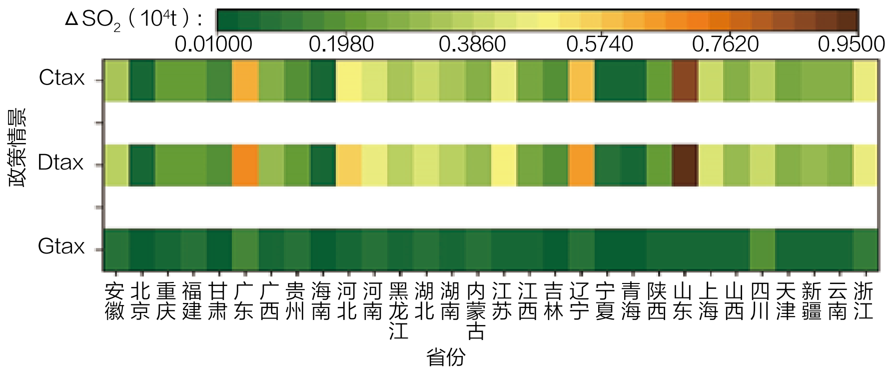
GTAX的SO_2减排效果与DTAX和CTAX呈现明显差距，且随着时间的推移更加明显。图7显示了三种政策情景下十年期各省份SO_2预计减少程度及减少量。从各省份政策汽油、柴油消费的SO_2的减排程度来看，在GTAX下为1%～7%，四川和贵州最大；在DTAX下为12%～19%，宁夏最大；在CTAX下为12%～17%，青海、甘肃和宁夏最大。从总量来看，DTAX的SO_2减排效果最好，其次是CTAX，最差的是GTAX（总量分别为10.1万t、9.4万t和2.0万t），这主要是因为柴油比汽油燃烧的SO_2排放因子大。在GTAX下，四川的减排量最大，有0.19万t；在DTAX和CTAX下，减排量最大的省份是山东，分别有0.95万t和0.87万t。

2.3.3 税收效益

三种政策情景在政策实施一年后预计会带来的税收收益增加分别为1182亿元（GTAX）、224亿元（DTAX）



（a）十年期各省份SO_2减排程度



（b）十年期各省份SO_2减排绝对量

图 7　十年期各省份 SO_2 减排程度和减排绝对量分布

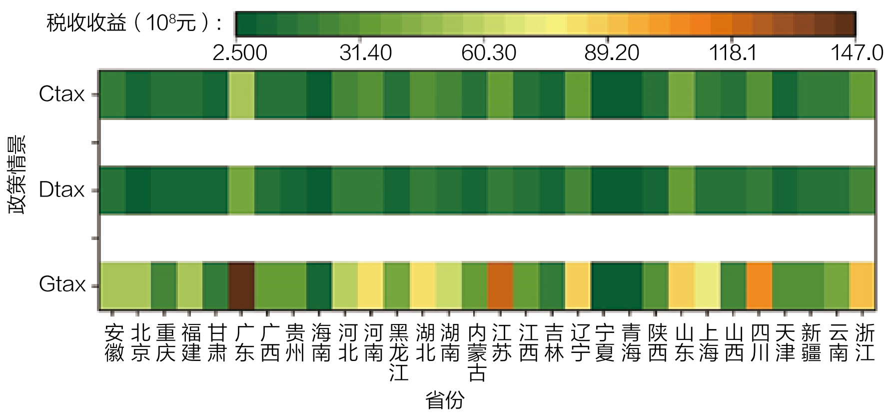


图 8　各省份短期税收收益分布

和 365 亿元（CTAX）。图 8 是各省份一年增加的税收收益分布情况，可以看到，在三种政策情景下，税收效益最大的省份都是广东，这是因为广东的汽柴油消费量最大；最小的省份都是青海和宁夏，因为它们的汽柴油消费量最小。此外，三种政策情景下 10 年增加的税收总收益分别为 16 532 亿元（GTAX）、4175 亿元（DTAX）和 5685 亿元（CTAX）。

3 结论与政策建议

针对石油消费在中国和全球能源战略中的重要地位，本研究以自回归分布滞后模型为核心构建了一个燃油税和碳税的区域能源环境影响评估模型，分析了提高汽油消费税、提高柴油消费税、引入碳税三种政策情景下的区域环境影响。研究的主要结论如下：

（1）要实现相同的 CO_2 减排目标，汽油的涨价水平需高于柴油。

（2）从全国层面来看，对于已开征的燃油税和可能开征的碳税，三种政策情景下的节能效应为提高汽油消费税 > 引入碳税 > 提高柴油消费税。

（3）从省份层面的节能效应比较可知，三种政策情景下节能数量最多的省份都是广东，而且在中国，各省份节能程度差异带来的影响有限，燃油消费越多的省份，一般节能数量也越多，具有区域匹配性。

（4）在相同的 CO_2 减排目标下，三种政策情景下，碳减排程度大于 10% 的省份占比均超过 2/3，而且在引入碳税情景下，仅有北京的减排程度稍低于 10%。CO_2 减排量最大的省份有所差异，在提高汽油消费税下为四川，在提高柴油消费税和引入碳税下为广东；此外，提高柴油消费税和引入碳税的各省份预期 CO_2 减排量差异比提高汽油消费税小。

（5）在全国层面，三种政策情景下空气污染物（$PM_{2.5}$、NO_x 和 SO_2）减排数量为提高汽油消费税 > 引入碳税 > 提高柴油消费税，但在提高柴油消费税情景下有 4/5 的省份 $PM_{2.5}$ 预计减少程度超过 14%。每种政策情景下，$PM_{2.5}$ 减排量最大的省份分别是四川（汽油消费税）、山东（柴油消费税和碳税），NO_x 减排量最大的省份分别是江苏（汽油消费税）、广东（柴油消费税和

碳税)，SO_2 减排量最大的省份分别是四川（汽油消费税）、山东（柴油消费税和碳税）。此外，减排量和污染程度没有明显的地域匹配性。

（6）提高汽油消费税带来的短期税收收益明显更高，这是因为该政策情景下提高的税额明显较大。

基于以上结论可得到如下政策建议：

（1）由于节能效应区域匹配性的存在，对于燃油消费量较大而经济欠发达的区域，可以在实施政策的同时考虑并行一些适当的税收优惠或者补贴策略，避免燃油消费量突然减少导致区域经济不稳定，但优惠或者补贴力度需进一步考察。

（2）对于已经开征的汽油消费税和柴油消费税，若提高现有税率，可以促进碳减排和污染物减排，因此可以同时考虑少征部分环境保护税。

（3）若提高汽油消费税，考虑到各省份预期 CO_2 减排量差异，对于汽油碳排放系数高于均值的区域，可以通过政策或者技术支持来降低其碳排放系数，从而促进这些区域的碳减排，缩小地区间预期的 CO_2 减排量差异。

（4）对于控制绝对数量，在相同的碳减排目标下，若侧重考虑空气污染物减排量的大小，应当优先提高柴油消费税；若侧重考虑节能数量或税收效益的大小，应当优先提高汽油消费税。但如果同时考虑各省份各种效应的比例差异控制，应当选择引入碳税。在碳税情景下，各省份碳减排和空气污染物减排程度差异都较小，而且减排绝对量均居于中位。

4 进一步工作展望

本研究的评估指标目前只能评估燃油税和碳税政策的节能效应与减排效应，在未来，可以通过扩展评估指标，对燃油税和碳税政策的健康效应进行分析。此外，现在的评估模型是基于政策实施期间内燃料替代效应忽略不计的假设的，但它可能对各种政策情景下的燃油需求响应有一定的潜在影响，在未来的工作中，可以进一步讨论将燃油替代效应的影响放入评估模型的构建中的必要性。

参考文献

[1] BP. BP Statistical Review of World Energy[R]. Britain: BP, 2018.

[2] 自然资源保护协会.《中国石油消费总量控制方案和政策研究》执行报告 [R]. 北京：自然能源保护协会，2019.

[3] 自然资源保护协会 . 跨越石油时代——“中国石油消费总量控制方案和政策研究”在京启动 [EB/OL]. (2018-01-19). http://nrdc.cn/news/newsinfo?id=535&cook=2.

[4] 单丽，江飞，贺晓婧，等 . 中国道路交通源大气污染的健康影响评估 [J]. 中国环境管理，2018, 10(5): 59-64.

[5] IEA. CO_2 Emissions from Fuel Combustion 2018 Highlights[R]. France: IEA, 2018.

[6] 中华人民共和国生态环境部 . 中国机动车环境管理年报 [R]. 北京：中华人民共和国生态环境部，2018.

[7] 刘骏，刘驰，张辉 . 强化环境保护推进绿色经济是我国发展的必然 [J]. 中国环境管理，2010(4): 16-18.

[8] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要 [R]. 中华人民共和国全国人民代表大会常务委员会公报 . 2006 (03)： 18-61

[9] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要 [R]. 北京：新华社，2011.

[10] 新华社 . 中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要 [R]. 北京：新华社，2016.

[11] 全国人大常委会 . 中华人民共和国节约能源法 (2016 最新修正版)[M]. 北京：法律出版社，2016.

[12] 国家发展改革委员会 . 节能减排综合性工作方案 [M]. 2007.

[13] 贾康 . 环保税立法领跑全面深化改革 [EB/OL]. (2017-04-04). http://tgs.ndrc.gov.cn/jjgg/zjgd/201704/t20170426_845604.html.

[14] 朱妍 . 再问碳减排：何日“税”会来？ [N]. 中国能源报，2018.

[15] 闫楠 . 煤炭产业的环境保护问题及建议 [J]. 中国环境管理，2018, 10(3): 38-40.

[16] ZIMMER A, KOCH N. Fuel consumption dynamics in Europe: tax reform implications for air pollution and carbon emissions[J]. Transportation research part A: policy and practice, 2017, 106: 22-50.

[17] STERNER T. Fuel taxes: an important instrument for climate policy[J]. Energy policy, 2007, 35(6): 3194-3202.

[18] BENTO A M, GOULDER L H, JACOBSEN M R, et al. Distributional and efficiency impacts of increased US gasoline taxes[J]. American economic review, 2009, 99(3): 667-699.

[19] DAVIS L W, KILIAN L. Estimating the effect of a gasoline tax on carbon emissions[J]. Journal of applied econometrics, 2011, 26(7): 1187-1214.

[20] MELO P C, RAMLI A R. Estimating fuel demand elasticities to evaluate CO_2 emissions: panel data evidence for the Lisbon Metropolitan Area[J]. Transportation research part A: policy and practice, 2014, 67: 30-46.

[21] SCOTT K R. Rational habits in gasoline demand[J]. Energy economics, 2012, 34(5): 1713-1723.

[22] 黄春元 . 成品油消费税经济效应的实证研究 [J]. 税务研究，2017(7): 101-106.

[23] 尹音频，张莹，孟莹莹 . 成品油消费税改革的供求效应 [J]. 税务研究，2015(4): 36-42.

[24] 曹静，谢阳 . 1999 年至 2007 年期间中国人均柴油需求弹性 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2011, 51(2): 241-244.

[25] LIN C Y C, ZENG J. The elasticity of demand for gasoline in China[J]. Energy policy, 2013, 59: 189-197.

[26] RAVINA E. Habit formation and keeping up with the joneses: evidence from micro data[J]. Ssrn Electronic Journal, 2007.

[27] 国家统计局能源统计司 . 中国能源统计年鉴 [M]. 北京 : 中国统计出版社 , 2001-2016.
[28] 国家统计局 . 中国统计年鉴 [M]. 北京 : 中国统计出版社 , 2001-2016.
[29] 全国各省、区及中心城市汽油、柴油零售价格表 [J]. 国际石油经济 , 2000-2001.

Impacts of Taxing Fuel on Regional Energy Environment: A Case of China

FU Yuwei[1,2], LIANG Qiaomei[1,2*]
(1.Center for Energy and Environmental Policy Research, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;
2.School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Controlling gasoline and diesel consumption is of great significance to China's energy security and environmental protection. The fuel tax and carbon tax are two of the most recent tax policies in China that have been or may be applied to fuel. Taking the Autoregressive-Distributed Lag (ADL) model as the core, this study constructs a regional energy environmental impact assessment model for fuel tax and carbon tax. The model is used to estimate the price elasticity of fuel demand in China, calculate the fuel demand response, and calculate the expected energy-saving effects, emission reduction effects and tax benefits of the provinces under the same CO_2 emission reduction targets. There are three scenarios designed in this study: increasing gasoline consumption tax, increasing diesel consumption tax and introducing carbon tax. The results show that under the same CO_2 emission reduction targets, first, in different scenarios, the differences in energy-saving ratio are limited, but the energy-saving quantity reflects regional matching. The more fuel consumption of province, the more energy saving in general. And the national energy-saving quantity is the largest in the scenario of increasing gasoline consumption tax. Second, under the introduction of carbon tax scenario, the difference in CO_2 emission reduction ratio between provinces is the smallest. Third, at the national level, the orders of air pollutants ($PM_{2.5}$, NOx and SO_2) reductions in the three policy scenarios are the same: increasing gasoline tax > introducing carbon tax > increasing diesel tax, but in the case of increasing diesel tax, 4/5 provinces are expected to reduce $PM_{2.5}$ emissions by more than 14%. In addition, the tax revenue for increasing gasoline tax is the largest.

Keywords: fuel tax; carbon tax; fuel consumption; emission; Autoregressive-Distributed Lag model