

超大城市交通碳减排的激励机制与实现途径

赵继敏¹

(北京市社会科学院城市问题研究所, 北京 100101)

【摘要】: 超大城市是交通碳减排意愿最强、减排空间最大、效益最好的空间单元。目前, 国内外有关碳减排的研究大多聚焦于国家层面, 对于超大城市交通治理的特殊性鲜有考虑。论文探讨了碳减排的激励机制, 以及其在超大城市交通碳减排中的政策意蕴。指出由于一系列气候临界点的存在, 边际减排收益的变化难以被有效量化, 碳交易和碳税没有哪一种政策可以通过简单量化的手段被证明是更具效率的。综合考虑经济效率、社会公平、社会参与性等重要维度, 合理的激励机制是针对不同的减排渠道, 综合运用碳交易和碳税两种手段。在超大城市碳减排这一特定问题上, 需要着重考虑城市规模和交通工具的特征两个因素。在理论分析的基础上, 结合当前超大城市的实际情况, 提出了我国超大城市交通碳减排的五种实现途径。

【关键词】: 超大城市 碳减排 碳交易 碳税

【中图分类号】: F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)09-034-06

近年来, 北京、上海等超大城市的空气污染问题引起了广泛关注。其中, 机动车的污染排放是重要原因之一。以北京为例, 据 2018 年 5 月 14 日北京市发布的新一轮的细颗粒物($PM_{2.5}$)来源解析研究成果, 机动车等移动源排放已经成为细颗粒物($PM_{2.5}$)的首要污染物来源^[1]。碳排放和空气污染不是一一对应的, 但是, 有很强的共生关系。比如 $PM_{2.5}$ 的重要来源之一是黑碳气溶胶, 主要是由富含碳的化石原料和生物质原料不完全燃烧产生的, 对于气候变暖和人体健康都有很强的负面影响。

与此同时, 碳减排本身也是我国超大城市发展的重要目标。2018 年中国碳排放强度比 2005 年下降 45.8%, 已经提前达到了 2020 年碳排放强度比 2005 年下降 40%~45% 的承诺。在此之后, 我国又向着到 2030 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 60%~65% 的目标前进。在上海、北京等超大城市中, 工业减排空间已经很小, 正在向交通、建筑等消费领域寻求更多的碳减排能力。因此, 超大城市的碳减排问题理应成为当前城市治理的核心议题。国内外有关超大城市的治理, 以及国家层面的碳减排已经有非常多的研究。但是, 对于在城市层面实施何种治理方式, 应用具体哪种手段对交通出行的碳排放进行控制的相关研究较少。为此, 有必要梳理相关理论, 分析交通碳减排的激励机制和实现途径。

1 超大城市交通碳减排: 城市治理的新焦点

超大城市的发展带来了大量的机遇, 也引起了一系列的生态环境、社会生活、财政风险等问题^[2]。其中, 空气污染尤为突出。城市既是气候脆弱的区域, 也是碳消费的主要区域。作为高密度的人类活动场所, 城市在控制碳排放的政策创新方面有着巨大的潜力^[3]。超大城市是各种人类活动最为密集的城市, 其碳减排的空间也最为巨大。在国内的超大城市中, 交通出行已经成为最主要的碳排放和可吸入颗粒物等空气污染物的来源。因此, 设计合理的环境政策, 强化市民参与城市交通碳减排的意愿, 激励公众减少开车的时间和排放空气污染物的数量, 从而在减少温室气体排放的同时, 缓解城市交通拥堵和改善城市空气质量, 成

¹作者简介: 赵继敏, 博士, 副研究员, 研究方向为城市治理、城市发展战略。E-mail: zhaojimin@126.com

基金项目: 国家社会科学基金项目“新常态下京津冀山区生态经济发展空间格局、协同”(16BJL125); 北京市社会科学院重点课题“绿色北京视域下率先实现碳达峰并稳中有降的对策研究”(2021A6287)

为超大城市关注的焦点话题。北京、上海、深圳等城市都推出了在交通领域的碳减排举措，尝试设计最合理的方案应对碳排放问题。

超大城市的交通碳减排在治理机制上，既要遵从城市治理的一般规律，也要强调超大城市的超常特性。一方面，从城市治理的一般规律来看，在治理方式上需要推动政府、社会、市民同心同向行动，使政府有形之手、市场无形之手、市民勤劳之手同向发力，努力构建多元参与、多元共治的现代城市治理体系^[4]。另一方面，超大城市的居民、地域设施、组织、文化等诸多方面都已呈现了前所未有的超常特性^[5]。超大城市交通碳减排也不能完全依照常规，仅仅定位于地方性治理，必须在国家层面给予相应的政策支持。近年，推动京津冀协同发展、长江经济带发展上升为国家战略，凸显出北京和上海等超大城市的治理已经成为我国国家治理的重要组成部分。邢华和邢普耀^[6]曾经指出京津冀大气污染的治理需要中央政府的介入，采用纵向嵌入式治理机制才能解决。北京、上海等超大城市中的交通不仅涉及行政区域内的车辆，也与其他省份，特别是周边城市群的车辆密切相关。从这个角度来看，超大城市的交通碳减排在必要的情况下，需要中央政府协调和介入。比如，给予超大城市率先建立交通碳交易体系的权力，带动周边区域协同推进碳减排建设等。

中国作为世界第二大经济体和全球最大的二氧化碳排放国，2011年年底提出了“探索建立碳排放交易市场”的目标。2013年6月至2014年6月，北京、天津、上海、重庆、湖北、广东及深圳等7个碳交易试点陆续启动，北京、天津、上海、广州和深圳等5个超大城市位列其中。目前，北京、上海和深圳已经将部分城市交通的碳减排纳入交易体系内。但是，从理论上讲，我国尚未开征的碳税在经济效率等方面也有自身的优势。因而，超大城市对于究竟是采用碳交易，还是碳税来解决交通碳减排问题，仍然没有定论。

2 碳交易还是碳税——交通碳减排的激励机制分析

我国现有针对公众生活消费领域的温室气体减排主要采取社会精神道德层面引导和公众自我约束控制相结合的方式，导致公众生活消费领域的节能减碳潜力尚未被有效挖掘出来^[7]。这就需要在北京、上海这样的超大城市利用其人口素质相对较高、管理机制较为完善、节能减排意愿强烈的特点，率先试点推进交通领域的碳减排工作。除了政府自上而下地推进公共交通，特别是轨道交通等“低碳交通工具”的建设外，还需要建立自下而上的激励机制，才能推进企业、公众更广泛、更深入地参与到节能减排的行动中来，才能与政府的“上层意志”形成完美的互动，推进碳减排工作的有力实施。目前，有关碳减排的激励机制有碳交易和碳税两种政策手段。

2.1 选择两种政策工具的理论基准

2.1.1 经济效率

在零交易费用条件下，庇古(碳税)和科斯(碳交易)的思路具有效果一致性^[8]。因而，采用哪种手段的经济效率更高取决于碳交易和碳税两种政策工具哪一个的交易成本更低，也即：合理征收碳税以及将碳税收入分配给全社会所花费的时间、人力、财力(也是广义的交易费用)与设定合理的碳配额、促成碳交易体系的建设、监测和交易的费用之间哪个更低。然而，这两种交易费用是非常难以确定的，并且是随着时间而变化的。Weitzman^[9]提出在一个经济体内，在信息不充分条件下，在边际收益曲线的斜率大于边际成本曲线的斜率时，相较于价格机制，数量机制能够减少效率损失。反之，在边际收益斜率小于边际成本斜率时，价格机制相对而言更为有效。这是因为边际收益变化更快的时候，最优的生产数量更容易获取，通过限定产量更容易接近最优的社会福利；相反，边际成本变化更快的时候，最优的价格信号更容易获取，通过限定价格能够避免更多的效率损失。Pizer^[10]和 Kolstad^[11]指出由于温室气体的环境损害具有存量效应和不可逆性(由于以二氧化碳为主的温室气体吸收热量并转化为全球温度的增加需要一个很长的过程，同时，二氧化碳的半衰期是60年，这就意味着影响气候变化的主要是已经排放出的温室气体。同时，这些气体很难消除)，边际减排收益(边际环境损害)曲线十分平缓，甚至可以近似看为一个常数，而边际减排成本曲线则呈现出非常强的递增态势，因而主张利用碳税而不是碳交易来解决碳减排问题。

然而，目前自然科学家对气候临界点的理解与经济学家对气候灾难建立的综合评估模型之间存在着巨大的鸿沟^[12]，古气候证据和气候模型测算的结果均表明，气候系统的变化中可能存在着一系列的临界点，温室气体排放量微小变化可能导致社会经济系统的非线性和不可逆的变化^[13]。比如，多年冻土中所储存的二氧化碳为大气中二氧化碳的 2 倍。一旦气温上升超过临界点，很可能导致冻土溶解，空气中的二氧化碳含量非线性增加，进而导致社会经济成本飞速而不可逆的提升。Weitzman^[14]指出由于气候变化的概率密度函数呈现出肥尾分布的特征，传统的成本效益估算难以预计潜在的无限下行的风险。如图 1 所示， MR_1 为当前的边际减排收益 (边际环境损害) 曲线， MR_2 为考虑到临界点到来后造成的环境损害所描绘的边际减排收益曲线，二者之间存在 $q_2 - q_1$ 这样一个巨大的减排目标差异。同时，边际减排收益曲线在临界点到来之时，会发生非线性的变化，这就导致仅仅依靠对比边际减排收益和边际减排成本的斜率来确定选择碳税和碳交易哪种手段更优变得非常不可靠。显然，边际减排收益的变化可能被大大低估了。考虑到碳交易是一种总量控制的手段，在应对气候变化临界点方面，更容易确定减排目标和分配方案，其优势又变得突出。由于气候临界点存在很多个，最终会导致统计手段无法判断总量控制 (碳交易) 和价格机制 (碳税) 哪种手段更优。

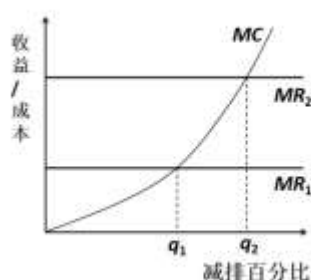


图 1 边际减排收益和边际减排成本

除了碳交易和碳税二选一之外，Pizer^[10]、Weber & Neuhoﬀ^[15]等的研究指出混合使用碳交易和碳税两种方案是更优化的选择。Pizer^[10]提出给碳交易方案加上一个上限，当经济波动导致碳价过高时，厂商可以按照事前设定的价格向政府购买碳权，从而确保企业的生产活动不受过分的影响。Weber & Neuhoﬀ^[15]将减排技术创新纳入了分析模型，给出的混合方案是在碳交易制度基础上同时设定价格下限和上限，认为价格下限保证了最低的创新回报，价格上限降低了总减排成本的波动性，并且随着创新效率的提升，这种混合机制相比碳税机制的综合效率显现出更为突出的优势。Mandell^[16]则提出碳交易和碳税在覆盖范围上的混合制度最优，即在某些经济部门实行碳交易，而另一个部门实行碳税的制度。这种混合可以使得两个部门的效率损失相互冲抵，进而提升社会整体上的减排效率。我国学者张博等^[17]也类似地提出了碳税和碳交易机制的混合机制，包含累进制碳税制度 (小企业只缴纳碳税) 以及碳交易制度 (建立碳交易市场并对大企业确定初始碳排放权，对于大企业的超排，将按照高起点的碳税税率加以惩罚)。

在我国碳市场的实际运行中，北京等地在配额的基础上，也都设定了碳价的上限和下限，已经略有混合机制的特征。当碳价过高的时候，管理部门按照限定碳价向企业发放政府持有的配额，当碳价过低的时候，政府向市场采购配额，通过政府的干预减少了市场的波动，提升了减排效率。

2.1.2 公平性

碳交易和碳税两种手段都有相对公平的侧面，同时在实施过程中受到各种条件的限制，其公平性往往难以贯彻到底。相对而言，碳税的覆盖面更为公平，所有碳排放的企业和个人都会纳入碳税征收的范围之内。但是，实际操作层面，能源密集型垄断企业具有强大的影响力，常常通过游说政策制定者推进碳税定价降低，达不到理想的激励作用，进而导致减排主体选择多缴税换取排放额度，甚至造成总体排放量不减反增。相反，碳交易的公平性体现在历史公平和主体公平上，充分考虑了不同主体

的历史排放量和其在社会经济中的作用，比如根据不同企业历史排放量的差异，发放其碳排放的配额，从而激励企业加大减排力度，进而在碳市场中交易剩余的配额，获得额外收益。实际操作中，常常难以客观估计各个企业应当获得的排放配额数量从而选择“祖父原则”的分配方案，即根据各个企业的历史排放量来分配各个企业的排放水平。特别是有些企业历史排放量高是因为其原本技术就较为落后，“祖父原则”的碳配额发放对于原本减排水平较高的企业不够公平。

2.1.3 社会参与性

Bristow 等^[18]将个人碳交易与碳税的公众接受度进行了比较研究，认为两者各有优势，公众是否接受取决于具体的方案设计。碳交易机制需要协调更多的主体，看似更难被公众接受。但是，考虑到人的主观能动性在两种机制下的差别可能会有不同的判断。由于碳税是与其他税收混杂在一起的，并且难以展现其税收之后的用途并确保这些用途的有效性，相比较而言，碳交易可以清晰地让行为主体感受到自己的贡献。因而，可以肯定碳交易机制能够调动更多资源和主体自愿参与到减排工作中来。比如，碳交易机制可以培养公民责任意识，鼓励个人行动应对气候变化，有助于全社会形成可持续发展的共同理念等。同时，碳交易可以提前规划和限定碳排放量，减排效果更容易监测，更能刺激社会主体对碳排放量的直观感受。此外，碳交易体系可以将全球碳减排纳入一个框架中，便于国际合作，有助于促成整个人类社会共同推进碳减排的目标。

综上，碳交易与碳税机制各有优势，很多学者研析二者利弊和适用情况，提出了综合运用的组合模式。如魏庆坡^[19]提出在碳交易之上附加最低限定价或最高限定价(或二者兼有)，超出限价范围即启动碳税调节机制。中国财政科学研究院课题组^[20]提出我国可联合利用两种机制，对大型污染源进行在线监测并使用碳交易机制，对碳交易机制之外的分散排放源采用碳税手段管控。在超大城市的交通领域，包括多种交通工具，比如航空、地铁、公交、出租车、私人小汽车。各种交通工具的碳排放数量差异很大，对于不同的交通工具节能减排的交易成本也有很大差异，因而，可以考虑在其内部进行分类，充分利用碳交易和碳税的优势，综合采用两种手段。

2.2 超大城市交通碳减排机制选择的主要影响因素

2.2.1 城市规模对于选择交通碳减排机制的影响

在存在交易费用(成本)的情况下，如果通过政府调节的边际交易费用低于企业之间协调的边际交易费用，那么采用庇古(碳税)的方法较好；如果通过政府调节的边际交易费用高于企业之间协调的边际交易费用，那么采用科斯(碳交易)的方法较好^[8]。

碳交易能否发挥作用取决于市场的构建和管理成本。碳市场的构建和管理具有显著的规模效应，即市场越大，其单位碳交易的成本就越低。相较于一般城市，超大城市的人口数量、交通工具数量具有显著的规模优势。如表 1 所示，从规模经济的角度出发，超大城市建立碳市场、实施碳交易更具优势。

表 1 碳交易和碳税的交易成本在不同城市类型的对比

不同机制的交易成本	一般城市	超大城市
碳交易(市场的构建和管理)	较高	较低
碳税(税额的确定以及税收的收取和管理)	较低	较高

碳税机制的交易成本包括税额的确定，以及税收的收取和管理费用。这些与市场价格弹性有关，也就是居民是否对价格上升敏感，进而采用减少排放的手段出行。相较于一般城市，在我国超大城市中，居民收入高、支付能力强；同时，出行距离远，

公共交通又远不能满足舒适性的要求。这导致居民使用私家车出行的意愿很强烈。因此，碳税的市场价格弹性很低，实施碳税需要设定很高的价格，因而在操作层面面临着巨大的挑战。如果碳税价格过低，可能无法起到减排的作用；如果碳税价格达到有效率的高度，则会面临着居民的抵触情绪。同时，也面临着政府能否将所征得的碳税合理再分配的问题。

2.2.2 交通工具的差别对选择碳减排机制的影响

交通工具碳减排机制的选择与排放主体的大小和数量有很大关系。从国外的经验来看，碳交易体系更多应用于规模大而数量少的排放主体，碳税主要应用于规模小而数量多的主体。比如，欧盟排放交易体系(EUETS)覆盖了电力部门和大工业部门，而碳税则覆盖了来自汽车燃料、居民部门和小工业部门。这是因为碳交易的交易成本主要是随着排放主体的数量而变化的。在排放主体之间，无论规模大小，碳交易所涉及的交易费用相差不是很多。显然，规模大而数量少的排放主体采用碳交易手段更有效率，也更容易推行。相反，碳税所涉及的交易费用主要是随着排放气体的数量而变化，和排放主体的数量的相关程度远没有碳交易密切。相对而言，碳税适宜在数量多而规模小的排放主体中进行推广。

影响交通工具碳减排机制设定的根本原因是交易成本的高低。排放主体的数量和规模是影响碳交易监测、报告、核证等环节的关键因素，但不是唯一因素。如表 2 所示，私家车数量多，单个车主的排放量小，监测、报告、核证成本最高。公交车、货运车、出租车同样是数量多而排放少的主体，但是，这类车辆隶属于一个或几个运营主体，可以统一采用节能减排的技术和手段，可以显著地降低交易成本。由于车辆的特性不同，几种车辆之间的监测与核证成本又有显著的差异。货运车没有固定班次，行驶和排放数据难以监测，交易成本较高；出租车有计价器、公交车有标准的班次信息，碳排放量数据相对易于监测，整体交易成本较低；地铁、航空和出租车一样隶属于垄断型的大型企业经营，影响其碳排放量的班次、车型等信息非常容易监测、报告与核证，因而交易成本最低。综合城市规模因素和交通工具的监测成本因素，在超大城市中，将航空、地铁、公交、出租等纳入碳市场，对于私家车、货运车等征收碳税可能是比较合理的激励机制。

表 2 城市内部不同交通工具实施碳交易需承担的交易成本

交通工具	运营主体	交易成本(监测、报告、核证等)
货运车	企业为主	较高
出租车	大企业为主	较低
公交车	大企业	较低
私家车	个人	高
地铁	大企业	低
航空	大企业	低

3 超大城市交通碳减排的实现途径

3.1 以 TOD 模式优先发展公共交通

公共交通的碳排放水平远远低于私人交通，发展公共交通已经成为超大城市交通基础设施建设的共识，公共交通的利用率与整个城市的空间布局紧密相依。推进超大城市公共交通的发展，必须大力推动以公共交通为导向的城市开发(TOD)模式。从商务区到居民区都优先按照轨道交通布局 and 规划而建设。一方面，在城市建成区，以居民通勤为优先考量，大力新建轨道交通，

在人口密集区建设轨道交通复线；另一方面，在新建城区，比如北京城市副中心的运河商务区、环球影城文化旅游区等人流汇聚点，布局尽可能多的轨道交通和其他公共交通，同时，兴建立体化的综合交通枢纽，全面提升乘坐公共交通的便利性。

3.2 以碳交易手段推进节能减排技术的应用

目前，新能源汽车等低碳交通工具的推广以各种补贴政策为主，这种补贴可以视为碳鼓励政策。与碳交易相比，存在运营效率不高、机制不灵活、激励不公平等潜在问题。

通过碳交易手段，可以促进节能减排技术在航空、地铁、公交、出租等城市公共交通领域拓展更大的增长空间。首先，通过碳交易可以激励地铁、快速公交系统(BRT)、新能源公交车、公交专用道、优化公交系统、电车、索道、燃料转换项目、道路基础设施等诸多项目的实施。其次，碳交易手段有助于激励减排技术的持续进步。减排技术是不断更新换代的，碳交易手段可以促使企业不断更新自己的技术，从而在碳市场中获取更多的收益。最后，碳交易手段使得企业在减排和购买碳配额之间可以进行权衡，避免了“强制淘汰+发放补贴”这类政策中对于运营企业存在的激励不公平问题。

3.3 以碳税手段激励私家车和货运车低碳行驶

目前，“强制淘汰+发放补贴”是我国超大城市老旧机动车淘汰更新和推广新能源汽车使用的主要手段。如前文的分析，对于私家车、货运车等难以监测的小型排放主体，宜采用碳税激励手段促进其低碳出行。虽然超大城市的市场价格弹性较低，相比于一般城市，征收碳税的效果不够突出，但是，与传统的行政命令和财政补贴手段相比，仍然有其重要的存在价值。

首先，碳税不仅激励车主使用新能源汽车，更能促进车主减少不必要的出行，能够更最大限度地推进低碳减排工作。其次，财政补贴的来源是有限的，通过征收碳税才能给予财政源源不断的资金支持，持续促进低碳减排技术的更新和发展。最后，相比于政府的强制命令，碳税是更为灵活的治理机制。通过设立碳税，并设定税率调整的时间表和调整范围，可以使碳排放的企业和个人根据自身情况安排未来的生产经营以及家庭支出计划，根据企业和家庭的个性化需求减少排放水平，而不是只能走置换汽车一条出路。

3.4 以“准个人碳交易”项目培育低碳出行文化

理论上，以私家车为代表的个人碳交易的交易成本很高，更适合采用碳税的激励方式推进低碳减排工作。但是，在经济效率之外，个人碳交易有一个突出的优点是碳税等方式所不能替代的，那就是唤醒大众对低碳减排的重视，以及培育低碳出行的文化。近年来，北京等超大城市大力倡导绿色出行，在个人交通碳交易方面做出尝试，积极研究以车联网设备为检测手段，将机动车污染物减排量与市场奖励相结合，打造“绿行者—绿色出行奖励平台”。2018年1月30日该平台在北京上线，在汽车上安装一个特定的车载智能设备后，车辆停驶时间会被自动核算，无须自行申请停驶，就能获得相应奖励。初步实现了“停驶数据自动记录”和“现金奖励在线发放”。车主停驶一天可获得1~20元额外奖励，每年可获奖励金额从数百到数千元不等。这类项目没有规定汽车碳排放的配额，距离真正的碳交易尚有差别，可以称之为“准个人碳交易”项目。但是，其对于吸引公众参与减排行动，塑造低碳出行文化有独特的效果，尤其值得在人口规模巨大的超大城市进行推广。

3.5 以区域合作带动区域交通碳减排

碳减排是国家层面大力推动的战略。超大城市理应发挥其辐射带动能力强的优势，通过区域合作的方式带动区域交通碳减排的发展。特别是在交通领域，超大城市与周边省份存在着密切的物流和人流，交通碳减排也不能完全依照常规，仅仅定位于地方性治理，还需要在国家 and 区域层面给予两方面的政策支持：一方面，积极推动周边地区纳入超大城市碳交易体系的框架内，推动区域统一的碳市场在周边地区交通工具的淘汰更新等方面发挥作用，带动周边地区的企业和个人享受到节能减排带来的市

场收益。另一方面,通过碳税收入的财政转移支付,支持周边地区交通碳减排的发展。由于超大城市的市场价格弹性较低,超大城市的碳税收入较多,但是碳减排效果可能不是很理想。如果将部分碳税收入转移到周边地区,支持周边地区的减排工作,可能在区域整体上取得更为理想的减排效果。

参考文献:

- [1]邓琦,余华尊.北京PM_{2.5}主要来自机动车[N].新京报,2018-05-15(A01).
- [2]李懿.国外超大城市治理经验述评[J].国家治理,2017(35):32-37.
- [3]Harwatt H,Tight M,Timms P.Personal transport emissions within London:Exploring policy scenarios and carbon reductions up to 2050[J].International Journal of Sustainable Transportation,2011,5(5):270-288.
- [4]李思琪.超大城市的发展与治理,公众最关心什么[J].国家治理,2017(35):18-30.
- [5]赵孟营.超大城市治理:国家治理的新时代转向[J].中国特色社会主义研究,2018(4):63-68.
- [6]邢华,邢普耀.大气污染纵向嵌入式治理的政策工具选择——以京津冀大气污染综合治理攻坚行动为例[J].中国特色社会主义研究,2018(3):77-84.
- [7]刘航.碳普惠制:理论分析、经验借鉴与框架设计[J].中国特色社会主义研究,2018(5):86-94,112.
- [8]刘红,唐元虎.外部性的经济分析与对策——评科斯与庇古思路的效果一致性[J].南开经济研究,2001(1):45-48.
- [9]Weitzman M L.Prices vs.quantities[J].The Review of Economic Studies,1974,41(4):477-491.
- [10]Pizer W A.Combining price and quantity controls to mitigate global climate change[J].Journal of Public Economics,2002,85(3):409-434.
- [11]Kolstad C D.Learning and stock effects in environmental regulation:The case of greenhouse gas emissions[J].Journal of Environmental Economics and Management,1996,31(1):1-18.
- [12]Lenton T M,Ciscar J C.Integrating tipping points into climate impact assessments[J].Climatic Change,2013,117(3):585-597.
- [13]Bahn O,Edwards N R,Knutti R,et al.Energy policies avoiding a tipping point in the climate system[J].Energy Policy,2010,39(1):334-348.
- [14]Weitzman M L.On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change[J].Review of Economics and Statistics,2009,91(1):1-19.
- [15]Weber T A,Neuhoff K.Carbon markets and technological innovation[J].Journal of Environmental Economics and Management,2010,60(2):115-132.

[16]Mandell S.Optimal mix of emissions taxes and cap-and-trade[J].Journal of Environmental Economics & Management, 2007, 56(2):131-140.

[17]张博, 刘庆, 潘浩然. 混合碳减排制度设计研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016(12): 39-45.

[18]中国财政科学研究院课题组, 傅志华, 程瑜, 等. 在积极推进碳交易的同时择机开征碳税[J]. 财政研究, 2018(4): 2-19.

[19]Bristow A L, Wardman M, Zanni A M, et al. Public acceptability of personal carbon trading and carbon tax[J]. Ecological Economics, 2010, 69(9):1824-1837.

[20]魏庆坡. 碳交易与碳税兼容性分析——兼论中国减排路径选择[J]. 中国人口·资源与环境, 2015(5): 35-43.