

总量控制下流域多元主体水排污权交易行为仿真

张凯

(江苏理工学院经济学院,江苏常州 213001)

摘要:面对水量水质双重制约的不利局面,我国提出生态优先、绿色发展的新理念,同时明确了采用市场化交易机制治理水环境污染问题。当前市场化交易机制存在诸多桎梏,政策对排污权个体交易行为的有效性亦无法判断。在分析现实治污困境的基础上,引入总量控制下的水排污权交易理念,对排污权多元主体的交易逻辑进行阐述,同时基于多主体系统构建排污权交易系统的仿真模型,模拟政府在排污权交易过程中的政策规制与排污企业的动态博弈关系。仿真结果表明:总量控制下的排污权交易制度能够对排污主体进行有效正向激励和反向惩罚,引导排污企业主动减排;在弱管制的自由竞争市场下,水排污权交易方倾向于违规合谋,隐瞒真实价格;当政府进行强管制有效监督,且上级政府部门能够对下级部门采取有效监督时,水排污权交易方能够减少违规合谋现象。

关键词:水排污权交易;多元主体;演化博弈;总量控制;仿真分析

中图分类号:F124

文献标志码:A

文章编号:1003-9511(2022)05-0046-08

水资源是维系支撑区域经济社会发展和人民安居乐业的基础性战略资源。近年来,伴随着中国经济高速增长带来的水资源环境污染问题逐渐受到关注。我国的水体污染程度和废水排放总量均呈现上升趋势,《中国统计年鉴》显示,全国化学需氧量(COD)排放总量由2000年的1445万t上升至2020年2564.8万t,增幅为77.5%;同时全国废水排放总量呈上升趋势,生活废水排放总量逐渐增加,工业废水排放总量呈现先升后降的趋势。面对中美贸易摩擦带来的全球经济放缓和环境污染的双重压力,我国政府在“十四五”规划明确提出要坚持绿色发展,将生态文明可持续发展与经济社会发展的全面绿色转型结合,用以应对社会经济发展和环境污染之间的矛盾。我国采取市场化机制治理环境污染问题具有政策的一致性和可溯性。2015年党的十八届五中全会明确将“绿色发展”纳入中国未来经济和社会发展的五大理念之一,上升为国家发展战略。习近平总书记在2018年全国生态环境保护大会上指出,提高环境治理水平,要充分运用市场化手段,完善资源环境价格机制。2019年中央办公厅、国务院办公厅印发《关于统筹推进自然资源资产产权制度改革的指导意见》中指出,要通过完善价格形成

机制,扩大竞争性出让,发挥市场配置资源的决定性作用。我国“十四五”规划明确指出,全面实行排污许可制,推进排污权、用能权、用水权、碳排放权市场化交易。采用市场化交易机制已成为国家治理环境污染的重要手段之一。

学术界对排污权交易的研究主要集中在国外排污权交易机制经验借鉴、初始排污权配置、排污权交易机制构建、排污权交易的影响及效果、排污权交易与生态补偿等方面。在国外排污权交易机制经验借鉴方面,于杰等^[1]探究了排污权理论引入和本土化实践;胡彩娟^[2]对美国排污权交易的演进历程、基本经验和对中国启示进行了分析;封凯栋等^[3]对国内外的排污权交易制度设计进行对比。在初始排污权配置研究方面,张丽娜等^[4]基于纳污能力控制的ITSP配置模型对省区的初始排污权进行了配置;吴凤平等^[5]基于区间直觉模糊集模型对流域初始排污权配置方案进行综合评价;刘钢等^[6]以太湖流域为例构建了湖域工业初始排污权合作配置体系。在排污权交易机制构建研究方面,卜国琴等^[7-10]对中国的排污权交易机制进行了设计和探析;杜群飞等^[11-12]对中国排污权交易市场化机制存在的问题进行分析并寻找对策;涂正革等^[13]探究了排污权交

基金项目:国家社会科学基金(19CJY018);江苏省高校哲学社会科学研究一般项目(2019SJA1052)

作者简介:张凯(1990—),男,副教授,博士,主要从事生态经济、制度经济和水资源管理研究。E-mail:zhangkai@jsut.edu.cn

易机制是否能在中国实现经济和环境双赢的波特效应;Rubashkina等^[14]基于欧洲制造业的实证分析了环境规制和竞争力的相互影响。在排污权交易的影响及效果研究方面,任胜钢等^[15]分析了排污权交易机制是否会提高企业全要素生产率;傅京燕等^[16]分析了排污权交易机制对绿色发展的影响;刘承智等^[17]分析了排污权交易对经济绩效的影响作用;杜群飞等^[18]分析了排污权交易政策的有效性;刘海英等^[19]分析了排污权交易对清洁技术创新水平是否有提升影响;沈满洪等^[20]分析了排污权交易制度的减排效果;Testa等^[21]探讨了排污权机制对竞争绩效的影响;Färe等^[22-23]分析了非期望产出的交易下的潜在收益,以及交易许可制度带来的潜在收益;宿晓等^[24]建立了再生水供方最低定价模型;仇蕾等^[25]建立无政府监督管理和存在政府监督管理两种情形下排污权交易企业双方之间的博弈模型并进行了演化博弈仿真;王建文等^[26]对我国水排污权交易市场构建进行了法律层面的思考。在排污权交易与生态补偿方面,肖加元等^[27]分析了基于水排污权交易的流域生态补偿研究;李冬冬等^[28]基于排污权交易分析了减排研发补贴的最优值。梳理文献后可知,排污权交易的研究热点逐渐由理论迁移至实践,局部转向全面又转向局部,表明水排污权交易在理论和实践层面均在逐步深入发展,逐渐演变为资源环境管理方面的研究热点。学者们对于排污权交易机制的建立与绩效影响更为关注,而对排污权交易主体在政策影响下的行为策略选择的研究略显单薄。当前排污权交易机制虽然已经建立,但制度的不完善导致排污主体并无自身减排动力,通过市场机制倒逼绿色生产技术进步的成效也并不明显。因此亟须构建能够根据排污主体个体行为选择变化而动的排污权交易机制,实现应用市场化机制来治理环境污染问题,构建排污权交易市场,通过市场交易机制探究治污政策对企业污染排放起到的激励作用。

1 现实治污困境

排污权交易机制是通过激励和惩罚的制度约束倒逼排污企业自主形成减排动力,实现绿色技术突破与应用。然而现实中的市场化交易机制并不完美,我国自1991年开展水排污权交易试点以来,中央政府和地方政府都投入了大量的资金政策,但排污权二级交易市场的实践却始终不尽人意,除了浙江省部分地区外,排污权的试点工作均遭遇了不同的问题,实际上参与排污权交易的企业数量不高,政府行政主导痕迹明显,要素市场化

配置进程缓慢。排污权市场出现大规模市场失灵现象,原因由多方面构成,包括政府对交易行为的过度干预,交易成本过高,交易信息不完全,排污权交易相关法律支撑不足,企业对排污权交易认知不够等原因,这些问题直接影响到市场化交易机制的有效性。

现实的治污困境使排污权的交易机制运行不顺畅,行为主体责任权利不明,导致了一系列现实问题的出现,制约了排污权交易市场化的开展。①排污交易顶层设计缺位,交易体系不健全。目前排污权交易只在部分省份地区开展试点实践,排污权交易仅局限在单一区域内,在试点区域或省份才能进行排污权交易,试点的区域或省份之间无法进行跨区域交易,也没有形成国家层面的排污权交易法律法规和交易体系,缺乏对排污交易的技术指导。②排污权初始分配不够科学合理。企业污水排放配额的初始分配始终存在公平公正方面的问题,不仅要遵循历史沿革,更要注重治污效率。目前排污权初始分配的依据还不明确,还没有形成以市场机制为主导的排污权初始分配,排污权初始价格形成机制也无从谈起。③污水排放的监管不到位。我国污染物排放的计量基础相对薄弱,监管能力有限,无法使环保部门掌握排污单位的真实排放数据,对现有的总量和交易量的确定也无法确定,对交易情况的跟踪、记录、核实也难以全面有效展开。

针对以上排污权交易机制的实施困境,我国水管部门提出在总量控制下的排污权交易理念。目前对污染的治理目前依旧主要依赖行政手段,传统的行政命令手段对环境污染问题虽然能够起到一定的作用,但排污权交易制度能够使用经济激励的机制更具优势。由此引入总量控制下的水排污权交易理念,总量控制是在地区环境指标的基础上制定本地区的污染排放总量,能够在环境污染总体可控的情况下,赋予排污主体自由排污权利。

2 总量控制下水排污权交易逻辑与理论推演

总量控制是实行排污前交易制度的基础,通过规定排污染排放总量的上限,明确环境容量资源的稀缺性,使环境容量具备经济属性,从而赋予排污权力以资源稀缺性,使其有交易的价值。根据外部性理论,资源环境应当作为一种具有价值的产权,环境产权确立后,便能确定环境产权的利益归属和正负外部性影响,通过将环境资源确权才能保证环境资源价值化。在环境资源确权后,需要确定区域内的环境容量,根据结果确定可以

分配的排污权总量,进行有效的初始排污权额度分配。在排污总量确定时,可依据区域的历史排放量等进行未来一段时间的排放量预估,确定小于环境容量的排污总量,排污权的稀缺性会通过市场机制实现环境资源的产权价值。企业是政府制定排污权交易政策的作用主体,排污权交易的政策制定对企业排污权行为具有决定性的作用,应当加强企业基于政府排污权交易政策的排污权交易行为的作用机理分析,从而有效掌握企业的交易行为,推动排污权政策的有效实施。

企业作为经济利益主体,为实现自身盈利目标,会对市场中的环境或信号做出连续性、规范性的决策或反应,趋利避害,获取更多收益,因此企业对市场的外部环境和制约因素异常敏感,一旦发生变化,就会对企业造成刺激,企业也会基于刺激调整自身的行为来实现利益最大化。排污企业行为选择的内在机理是企业在内外部决策环境作用下进行的适应性反应,针对政府的政策激励或惩罚引导企业进行相应行为选择,如果政府不能正确预见或预判政策实施对企业的行为影响,制定的政策就无法达到预期效果,企业也无法按照政府的要求进行行为选择,导致政策失效。政府制定排污权政策是为了建立企业对环境资源的有偿使用机制和资源的交易市场机制,通过影响企业的资本要素分配,从而影响企业对环境资源的使用成本,进而影响企业的经营决策,最终影响企业的生产和环保行为决策,因此在排污权交易政策的作用下,企业将采取多种污染治理投资战略和策略,例如环保投资行为、排污权交易行为等等。在此分析框架下,政府的治污政策将对排污企业的交易行为策略选择产生重大的影响。

政府在完成排污权的初始分配后,排污权交易转向市场,由污染企业自行进行交易,形成水排污权再次交易(二次配置)。市场机制能够通过价格的引导机制让排污权流向产生价值最大的单位(个体),实现市场化的自由配置,也能够让资源使用效率达到最佳,在合理的市场竞争下产生最贴合实际情形的交易价格。在市场完全竞争的过程中,政府需要扮演重要的管理者和监督者的角色,政府对排污权交易的过程需要有效监管,需要设立相关法律法规来减少自由竞争中的恶性竞争行为,监督排污主体行为。沿着这个思路,总量控制下的多元主体水排污权交易可分为两个层次:一是在区域政府环保部门之间排污权的交易,这一层次的交易还没有形成市场,是政府与政府之间的协定;二是在交易市场中,得到确权的排污权主体可以自主选择满足自

身排污需求,或将剩余的排污权额度交易出去。具体来说,第一层次,政府部门依据区域环境容量目标确定出区域允许的最大污染排放量,在初级排污权市场上以有偿分配模式将排放指标配置给排污企业或者与其他政府的环保部门进行政府级别的排污权交易;第二层次,在排污权交易市场上,排污企业通过交易中介机构,根据自身需求转让或申购排污权指标,从而满足收益或排污的需求;政府部门、社会公众及环保组织等对排污权交易系统中的各主体进行监督和管理。排污权双层交易系统在使用市场机制的同时也需要政府监管对可控制的排污权进行优化配置,从而降低环境排放总量,提高治污效率和降低治理成本。因此分析排污企业在政府制定的排污权交易政策下的行为选择时,应当根据政府的管制强度深入分析排污企业的对排污权的交易行为,同时要分析排污企业对政府管制强度的敏感性。本文拟构建演化博弈模型,讨论排污权交易企业在强管制和弱管制下可能出现的均衡结果,并通过数值仿真实验演示不同参数的取值对演化结果的影响。

3 治污政策与企业排污行为仿真分析

由上述排污权多元主体的交易逻辑和理论推演可知,水资源排污权交易市场中存在着分配不公,初始排污权分配不顺,重交易轻监管,自上而下和自下而上的双重寻租行为等一系列制度管理缺陷,而政府的管理仅停留在排污权确权和交易的相关政策等方面,并没有将企业对政策决策的反馈效果,政府的政策对行为主体的影响,以及社会公众参与政策的相关环节考虑在内,忽视了相关政策对行为主体产生的行为影响,无法解决政府部门和企业之间的动态博弈的核心问题,即政策是否对参与主体产生了正向激励或反向惩罚。由此,本文将应用演化博弈方法分析在政府弱管制的排污权交易主体之间的演化博弈以及政府强管制下的监管部门与交易者之间的演化博弈。

3.1 政府弱管制下排污企业行为演化博弈与仿真分析

3.1.1 基本假设与模型建立

排污权交易市场上的转让方和需求方企业是市场中交易的主体。排污权转让方通常是排污量较低、排污成本低且剩余排污额度较大的企业,这些企业通过提升自身排污技术,降低治污成本,可以在排污权交易市场上出售剩余的排污权以获取额外收益,而排污权的需求方一般是对排污权需求量大,治污成本较高的排污企业,排污权需求方企业期望能够从市场上购买到价格低于其治污成

本的排污权。政府作为政策制定者、纠纷仲裁者、市场监管者,一般不直接参与排污权交易,但是在宏观层面政府的控制性政策依旧存在并发挥作用,因为在此处视为弱管制,即不直接对排污权交易企业的行为进行规制,通过其他宏观政策和管理制度间接进行管制,在政府弱管制下的排污企业交易的博弈分析不考虑政府制定政策的影响。在排污权交易市场中,买卖双方是否能够如实披露自己交易的真实价格对于能否实现资源的效率配置起到至关重要的作用。在排污权交易的过程中,卖方企业往往通过合谋的方式来提高卖出的价格,买方企业往往通过合谋来降低买入的价格,由此,博弈模型中买卖双方都有两个策略选择,合谋(违反规则)和不合谋(遵守规则)。

假设卖方的出售价格为 p_s , 买方的买入价格为 p_b , 只有当 $p_s \geq p_b$ 时, 交易行为才有可能成立。假设成交价格 $p = \alpha p_b + (1 - \alpha) p_s$, 系数 $\alpha (0 \leq \alpha \leq 1)$ 反映了买方企业的讨价还价能力, $1 - \alpha$ 反映了卖方企业的讨价还价能力。假定买方和卖方成交了数量为 q 的排污权量, c 为买方的治污成本。假设买方企业不合谋(遵守规则)的比例为 y , 合谋(不遵守规则)的比例为 $1 - y$, 卖方企业不合谋(遵守规则)的比例为 x , 合谋(不遵守规则)的比例为 $1 - x$, 其中 $x \in [0, 1], y \in [0, 1]$ 。在博弈过程中会存在 3 种情况: ① 卖方不遵守规则, 采取合谋行为, 买方遵守规则, 采取不合谋行为, 卖方通过合谋在排污权的真实价格上提高了 r_s ; ② 买方不遵守规则, 卖方遵守规则, 买方通过合谋在排污权交易过程中的真实价格降低了 r_b ; ③ 当买方和卖方都选择合谋时, 卖方报价提高 r_s^* , 买方报价降低 r_b^* , 假定 $r_b > r_b^*, r_s > r_s^*$, 买方企业和卖方企业的支付矩阵可表示为表 1。

3.1.2 演化博弈模型构建及分析

买方企业选择不合谋的期望收益是 $xq(c - p) + (1 - x)q[c - p - (1 - \alpha)r_s]$, 买方企业选择合谋的期望收益是 $xq(c - p + \alpha r_b) + (1 - x)q[c - p + \alpha r_b - (1 - \alpha)r_s]$, 买方群体的期望收益是 $y\{xq(c - p) + (1 - x)q[c - p - (1 - \alpha)r_s]\} + (1 - y)\{xq(c - p + \alpha r_b) + (1 - x)q[c - p + \alpha r_b - (1 - \alpha)r_s]\}$, 由此, 买方在“遵守规则”的情况下复制动态方程为

$$f(y) = \frac{dy}{dt} = y(y - 1) \{x[\alpha(r_b - r_b^*) - (1 - \alpha)(r_s - r_s^*)] + (1 - \alpha)(r_s - r_s^*) + \alpha r_b^*\} \quad (1)$$

式中 t 为深化博弈次数。令 $f(y) = 0$, 可以得到复制动态的 3 个稳定状态, 即 $y^* = 0, y^* = 1, x^* = \frac{-\alpha r_b^* + (1 - \alpha)(r_s^* - r_s)}{\alpha(r_b - r_b^*) + (1 - \alpha)(r_s^* - r_s)}$, 只有当 $f(x) = 0$ 时, 演化博弈方程才达到了复制动态平衡。当 $x = x^* = \frac{-\alpha r_b^* + (1 - \alpha)(r_s^* - r_s)}{\alpha(r_b - r_b^*) + (1 - \alpha)(r_s^* - r_s)}$ 时, $f(y) = 0$, 即 y 的所有取值都是稳定状态; 当 $x < x^* = \frac{-\alpha r_b^* + (1 - \alpha)(r_s^* - r_s)}{\alpha(r_b - r_b^*) + (1 - \alpha)(r_s^* - r_s)}$ 时, 只有 $y = 1$ 时才是稳定策略; 当 $x > x^* = \frac{-\alpha r_b^* + (1 - \alpha)(r_s^* - r_s)}{\alpha(r_b - r_b^*) + (1 - \alpha)(r_s^* - r_s)}$ 时, 只有 $y = 0$ 时才是稳定策略。

卖方遵守规则(不合谋)概率的复制动态方程为

$$f(x) = \frac{dx}{dt} = x(x - 1) \{y[\alpha(r_b^* - r_b) + (1 - \alpha)(r_s - r_s^*)] + \alpha(r_b - r_b^*) + (1 - \alpha)r_s^*\} \quad (2)$$

$$f'(x) = \frac{df(x)}{dx} = (2x - 1) \{y[\alpha(r_b^* - r_b) + (1 - \alpha)(r_s - r_s^*)] - \alpha(r_b^* - r_b) + (1 - \alpha)r_s^*\} \quad (3)$$

令复制动态方程为 $f(x) = 0$, 可以得到复制动态的 3 个稳定状态, 即 $x^* = 0, x^* = 1, y^* = \frac{\alpha(r_b^* - r_b) - (1 - \alpha)r_s}{\alpha(r_b - r_b^*) + (1 - \alpha)(r_s^* - r_s)}$, 只有当 $f(x) = 0$ 时, 演化博弈方程才达到了复制动态平衡。当 $y = y^* = \frac{\alpha(r_b^* - r_b) - (1 - \alpha)r_s}{\alpha(r_b - r_b^*) + (1 - \alpha)(r_s^* - r_s)}$ 时, $f(x) = 0$, 即 x 的所有取值都是稳定状态; 当 $y < y^* = \frac{\alpha(r_b^* - r_b) - (1 - \alpha)r_s}{\alpha(r_b - r_b^*) + (1 - \alpha)(r_s^* - r_s)}$ 时, 只有 $x = 1$ 时才是稳定策略; 当 $y > y^* = \frac{\alpha(r_b^* - r_b) - (1 - \alpha)r_s}{\alpha(r_b - r_b^*) + (1 - \alpha)(r_s^* - r_s)}$ 时, 只有 $x = 0$ 时才是稳定策略。

表 1 政府弱管制下排污权交易企业的支付矩阵

买方	卖方	
	不合谋 x	合谋 $1 - x$
不合谋 y	$c - p, p$	$c - p - (1 - \alpha)r_s, p + (1 - \alpha)r_s$
合谋 $1 - y$	$c - p + \alpha r_b, p - \alpha r_b$	$c - p + \alpha r_b^* - (1 - \alpha)r_s^*, p - \alpha r_b^* - (1 - \alpha)r_s^*$

3.1.3 演化稳定策略仿真分析

根据排污权交易买卖双方企业的群体动态,其雅克比矩阵对应的行列式和迹分别为

$$\det J = \begin{vmatrix} \frac{\partial f(x)}{\partial x} & \frac{\partial f(x)}{\partial y} \\ \frac{\partial f(y)}{\partial x} & \frac{\partial f(y)}{\partial y} \end{vmatrix} \quad (4)$$

$$\text{tr} J = \frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{\partial f(y)}{\partial y} \quad (5)$$

演化的稳定点要求满足条件, $\det J > 0$, $\text{tr} J < 0$ 。根据局部稳定分析法对均衡点逐个进行分析,由表 2 可知,只有一个均衡点(0,0)是进化稳定策略(ESS),剩余的 3 个局部均衡点有 2 个是鞍点,1 个是不稳定的平衡点。

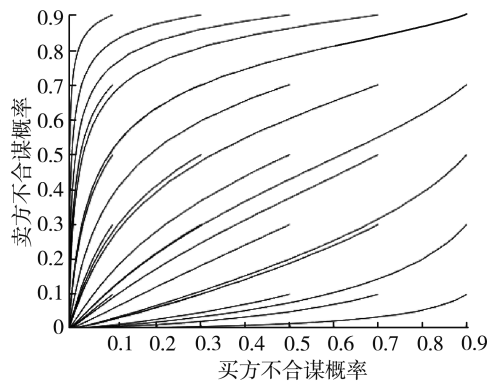
表 2 政府弱管制下排污权交易买卖企业之间局部稳定分析结果

均衡点	$\det J$ 的符号	$\text{tr} J$ 的符号	结果
(0,0)	-	-	ESS
(0,1)	-	不确定	鞍点
(1,0)	-	不确定	鞍点
(1,1)	+	+	不稳定

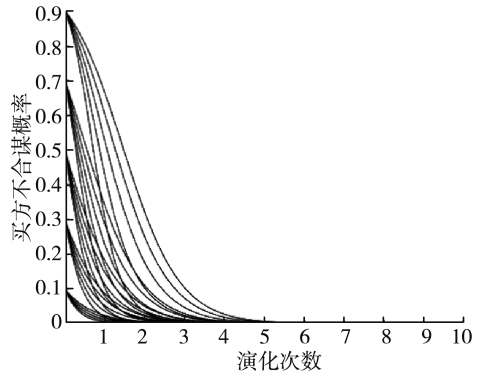
注:表中“+”表示 >0 ,“-”表示 <0 。

根据复制动态方程和参数约束条件,采用 MATLAB2019b 软件模拟仿真在政府弱管制下的水排污权买卖双方的行为策略选择,假设 $c = 10$, $\alpha = 0.4$, $r_s = 3$, $r_b = 3$, $r_s^* = 1$, $r_b^* = 1$,图 1 表示在“买方-卖方双方演化”“买方单独演化”和“卖方单独演化”多种情形下多次演化博弈后的模拟仿真结果。

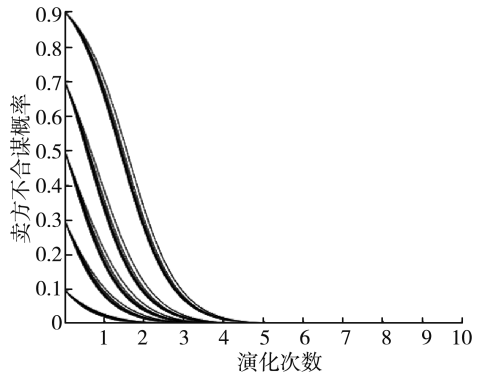
由图 1(a)可以看出,点(0,0)是政府弱管制下的排污权企业买卖交易的演化博弈进化稳定点,该点表示买方和卖方都倾向于选择合谋的策略,说明当政府采取弱管制时,政府的监管部门没有实际起到监督作用,买方和卖方的违约成本较低,通过合谋获取的收益高于遵守市场规则时的收益,在不断地演化博弈过程中买方和卖方的群体偏向于合谋的比例越来越高,直到最终稳定于买方和卖方群体都选择合谋策略。若买方选择合谋,卖方选择遵守规则,此时由于买方通过合谋能够压低报价,而卖方遵守规则,在一定范围内披露真实报价,则买方群体通过低于市场均衡价格而获得了超额收益,卖方群体由于遵守规则而遭受了损失,此时卖方群体在不断地演化博弈过程中就会逐渐从遵守规则转向合谋,报价高于市场均衡价格,最终由遵守规则转向为合谋。若卖方群体选择合谋,买方群体也会从遵守规则逐渐转变为合谋。最终双方的演化博弈策略选择都将稳定于合谋,但此时双方群体的策略选择没有达到全社会资源的帕累托最优,资源使用效率并没有达到最优。



(a) 买方-卖方双方演化



(b) 买方单独演化



(c) 卖方单独演化

图 1 政府弱管制下水排污权交易“买方-卖方”演化博弈仿真结果

由图 1(b)(c)可以看出,无论初始状态下买方群体和卖方群体中选择不合谋的个体占比如何,最终都将稳定于选择合谋策略,且初始状态中不合谋个体所占比例越低,趋向最终稳定策略的速率越快,当初始状态中不合谋个体所占比例为 10% 时,需要二次演化博弈仿真即可归于稳定策略,当所占比例为 90% 时,需要 5 次演化博弈达到稳定策略。同时还可发现,买方群体在演化博弈过程中,趋向稳定策略的速率要高于卖方群体,原因可能在于买方群体更为零散,无法形成更强合力,在交易过程中无法占据更为主动的市场地位,对政府的监管行为也较为

敏感,对交易价格的敏感程度也更高,对利空事件的反应更为剧烈,因此将会更快得达到稳定策略。综上所述可知,无论买方还是卖方,无论群体中在初始阶段选择不合谋的个体占比如何,在经过几次演化博弈后,买方和卖方群体最终都将稳定于合谋,这与政府的弱管制、市场对合谋行为的默许程度、合谋行为所产生的较大收益以及政府对合谋行为的较低惩罚有关。因此,为防止排污权交易的买卖双方最终达到合谋的稳定行为,扰乱市场的正常秩序,政府应当承担起市场监管、规则制定、惩罚激励并举的重要角色,由弱监管向强监管逐渐转化。

3.2 政府强管制下监管部门与交易者之间的演化博弈与仿真分析

3.2.1 基本假设与模型建立

与上节中的设定不同,在政府强监管的情形下,将博弈主体改为政府监管部门和排污权交易企业。政府水管部门是监管者,对排污权企业的交易行为进行监管,体现到模型中就是政府监管排污权交易双方是否按照排污权交易规则进行交易,当然政府管理部门也可以默认市场交易主体熟谙交易规则从而减少监管,降低成本,因此政府水管部门有监管程度高和监管程度低两种行为策略选择。排污权交易企业既包含买方,也包含卖方,排污权交易企业有合谋与不合谋两种策略选择。

政府监管程度较高的比例为 x , 监管程度较低的比例为 $1-x$, 政府监管程度高时, 监管成本设为 c_w , 若交易双方存在违规行为, 则向收取惩罚费用 c_v ; 在政府监管程度较低时, 监管成本较低, 则监管成本为 0 , 上级政府发现监管部门的监管力度不够的概率为 λ , 向监管部门收取的惩罚费用为 c_h , 监管部门向违规交易双方收取惩罚费 c_a 。排污权交易企业遵守规则的比例为 y , 不遵守规则的比例为 $1-y$ 。遵守规则情况下市场的单位交易价格为 p , 违反规则情况下的单位交易价格为 p_a , 市场上有 m 个卖方企业, 有 n 个买方企业, 买方企业的单位治污成本为 c_i 。对于政府监管部门和排污权交易企业的演化博弈分析可以用表 3 表示。

3.2.2 演化博弈模型及其分析

政府监管部门选择“监管程度高”的复制动态

方程如下:

$$f(x) = \frac{dx}{dt} = x(x-1)[y(\lambda c_a + c_v) - (\lambda c_h + c_a + c_v - c_w)] \quad (6)$$

令 $f(x) = 0$, 可得到政府监管部门的复制动态的 3 个稳定状态, 即

$$x^* = 0, x^* = 1, y^* = \frac{\lambda c_h + \lambda c_a + c_v - c_w}{\lambda c_a + c_v}。$$

排污权交易企业选择“不合谋”的复制动态方程如下:

$$f(y) = \frac{dy}{dt} = y(y-1)[(p_a q + \lambda c_v - p q - c_v)x - \lambda c_v] \quad (7)$$

令 $f(y) = 0$, 可得到排污权交易企业的复制动态 3 个稳定状态, 即

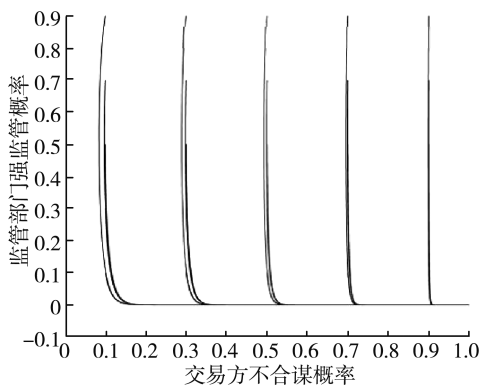
$$y^* = 0, y = 1, x^* = \frac{\lambda c_v}{p_a q + \lambda c_v - p q - c_v}。$$

3.2.3 演化稳定策略仿真分析

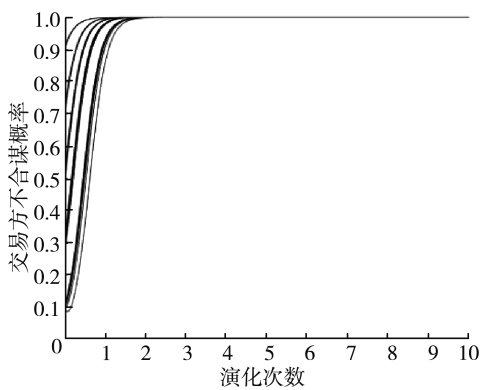
根据复制动态方程和参数约束条件, 采用 MATLAB2019b 软件模拟仿真在政府管制下监管部门和水排污权买卖双方的行为策略选择, 假设 $c_w = 5, c_v = 8, \lambda = 0.2, c_h = 2, c_a = 7, p = 8, p_a = 11, q = 10$, 图 2 表示在“政府监管部门-交易方”“交易方单独”和“政府监管部门单独”情形下多次演化博弈后的模拟仿真结果。由图 2 可以看出, 点 $(0, 1)$ 是进化稳定点, 即在政府管制下监管部门与水排污权交易方在进行不断的博弈过程中, 监管部门稳定于监管程度低的策略选择, 水排污权交易方稳定于不合谋的策略选择。该稳定点的意义在于, 通过加强对合谋行为的惩罚力度, 让排污权交易企业意识到合谋的最终受益将低于遵守规则时的收益, 此时交易企业会自觉遵守规则。从图 2(a) 也可以看出, 无论水排污权交易方的初始概率如何界定, 其策略选择最终均稳定于不合谋, 同样无论监管部门监管程度高的概率如何界定, 其策略选择最终均稳定于监管程度低, 这符合实际情形下对监管部门和水排污权交易双方的预期, 也是政府监管想要达到的政策管理和实施效果, 即通过政府管制政策敦促

表 3 政府监管部门和排污权交易企业演化博弈支付矩阵

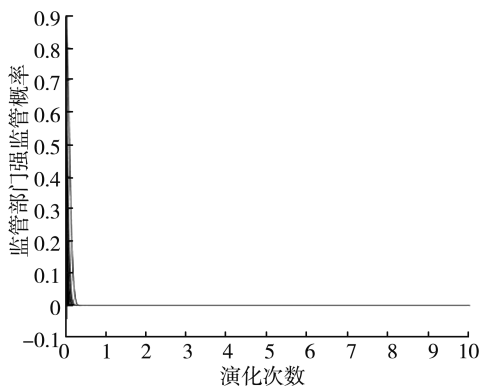
排污权交易企业	政府监管部门	
	监管程度高 x	监管程度低 $1-x$
不合谋 y	$qp + q(\sum_{i=1}^n c_i - pn), pq - c_w$	$qp + q(\sum_{i=1}^n c_i - pn), pq - \lambda c_h$
合谋 $1-y$	$qp + q(\sum_{i=1}^n c_i - pn) - c_v, p_a q - c_w + c_v$	$qp_a + q(\sum_{i=1}^n c_i - pn), p_a q - \lambda(c_h + c_a)$



(a) 监管部门-交易方



(b) 交易方单独



(c) 监管部门单独

图2 政府强管制下监管部门与水排污权交易方演化博弈仿真图

监管部门在发现排污权交易企业出现合谋的现象后收取较高的惩罚费用,水排污权交易企业从自身利益最大化的角度出发,逐渐倾向于采取不合谋的策略选择,最终达到一种稳定的策略均衡,即监管部门监管程度低,排污权交易企业不合谋。由图2(b)(c)可以看出,在政府管制下由于机会成本与惩罚费用的不对等,无论水排污权交易方还是监管部门,其初始选择的概率并不会影响最终演化策略的稳定性,且监管部门的达到稳定选择的演化速率比水排污权交易企业更为迅速。

在实际情况下,上级政府部门对环保监管部门

的监督应当采用机制化、制度化的管理模式,增加法治,减少“人治”,以规章制度为准绳对监管部门实施常态化管理,因此降低上级政府部门对环保监管部门的监管程度具有现实意义。同样,对于水排污权交易方,遵守交易规则应当成为所有交易者的共识,由政策引导,由激励和惩罚机制倒逼,使监管部门的正向政策激励水排污权交易者始终采取遵守交易规则的策略。

通过对比政府管制前后排污权交易方的策略选择可知,上级政府对环保监管部门的监管在很大程度上影响了排污权交易方是否会产生合谋的行为。无政府监管时,水排污权交易企业无论买方还是卖方最终都稳定于合谋策略,而政府选择监管后无论初始选择监管程度高的概率如何,水排污权交易企业都将策略稳定于不合谋,这符合政策预期,也符合个体的理性选择。

4 结论与建议

4.1 结论

a. 排污权交易机制是应对环境保护和社会经济协调可持续发展的创新方式,总量控制下的排污权交易制度能够对排污主体进行有效正向激励和反向惩罚,引导排污企业主动减排,相比传统行政命令更具制度优势。

b. 对比水排污权交易方在政府弱管制和政府强管制两种情形下是否会选择违规的合谋行为压低或抬高价格的策略行为,在完全自由竞争的市场下,政府的弱管制没有对排污权交易企业形成有效制约,水排污权交易方倾向于违规合谋,隐瞒真实价格;当政府进行强管制,有效监督,制定有效的奖惩政策,并且上级政府部门能够对下级部门采取有效监督时,水排污权交易方的行为策略受到多因素制约,能够引导企业减少违规合谋现象,产生自发减排动力,倒逼绿色生产技术进步。

4.2 建议

a. 有效提升排污权交易制度的市场化条件。排污权交易制度应当在试点、示范和推广经验基础上,充分发挥市场化属性,逐步完善建立水排污权的有偿取得和交易管理制度,为水排污权交易主体提供优质的交易平台,同时应当规范中介组织和社会舆论监督组织的行为,需要处理好政府和社会组织的联合监管监督制度,强化排污权交易企业的市场主体地位,政府应当充当合格的裁判员、仲裁员和监督员。

b. 适时恰当使用总量控制行政管制和排污权交易制度市场化控污手段。总量控制行政管制和排

污权交易制度都能够对减排发挥重要作用,两种控污手段各有侧重,应当在实践中结合适时恰当使用。在初始排污权分配前应当以该地区的环境容纳水平进行排污总量控制,而在初始排污权分配后应当行政管制与市场化交易并重进行治污。

c. 制定排污权交易制度时应加大对减排绿色创新的政策激励和对违法违规行为的惩罚力度。在排污权初始额度分配时应当根据不同企业绿色创新的差异给予不同的政策奖励扶持,给绿色创新减排的企业适当增加初始额度,引导排污企业提高自身减污能力,投入更多资源提升清洁能源。同时,应当结合经济、行政处罚、追究刑事责任等一系列惩罚措施对违法违规的排污权交易现象进行追究,建立动态惩罚机制,降低监督成本。

参考文献:

[1] 于杰,周伟铎,蒋金星. 排污权交易:理论引进与本土化实践[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2014, 14(6): 96-104.

[2] 胡彩娟. 美国排污权交易的演进历程、基本经验及对中国的启示[J]. 经济体制改革, 2017(3): 164-169.

[3] 封凯栋,吴淑,张国林. 我国流域排污权交易制度的理论与实践:基于国际比较的视角[J]. 经济社会体制比较, 2013(2): 205-215.

[4] 张丽娜,吴凤平,王丹. 基于纳污能力控制的省区初始排污权ITSP配置模型[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(8): 88-96.

[5] 吴凤平,周进梅,张丽娜. 基于区间直觉模糊集的流域初始排污权配置方案综合评价[J]. 水利经济, 2015, 33(1): 27-31.

[6] 刘钢,王慧敏,仇蕾. 湖域工业初始排污权合作配置体系构建:以太湖流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(10): 1223-1229.

[7] 卜国琴. 排污权交易市场机制设计的实验研究[J]. 中国工业经济, 2010(3): 118-128.

[8] 秦敏,朱建春,刘小童. 农业面源污染排污权交易制度的设计与创新[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2017, 17(1): 155-160.

[9] 叶闽,杨芳,王孟. 长江流域排污权交易制度框架设计研究[J]. 人民长江, 2011, 42(2): 116-120.

[10] 窦明,王艳艳,李胚. 最严格水资源管理制度下的水权理论框架探析[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(12): 132-137.

[11] 杜群飞. 当前排污权交易市场化机制的问题及对策研究[J]. 生态经济, 2015, 31(1): 103-108.

[12] 朱皓云,陈旭. 我国排污权交易企业参与现状与对策研究[J]. 中国软科学, 2012(6): 15-23.

[13] 涂正革,谌仁俊. 排污权交易机制在中国能否实现波

特效应?[J]. 经济研究, 2015, 50(7): 160-173.

[14] RUBASHKINA Y, GALEOTTI M, VERDOLINI E. Environmental regulation and competitiveness: empirical evidence on the Porter Hypothesis from European manufacturing sectors[J]. Energy Policy, 2015, 83(8): 288-300.

[15] 任胜钢,郑晶晶,刘东华,等. 排污权交易机制是否提高了企业全要素生产率:来自中国上市公司的证据[J]. 中国工业经济, 2019(5): 5-23.

[16] 傅京燕,司秀梅,曹翔. 排污权交易机制对绿色发展的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(8): 12-21.

[17] 刘承智,杨籽昂,潘爱玲. 排污权交易提升经济绩效了吗:基于2003—2012年中国省际环境全要素生产率的比较[J]. 财经问题研究, 2016(6): 47-52.

[18] 杜群飞,文云飞. 中国排污权交易政策有效性研究:基于自然实验的实证分析[J]. 经济学家, 2016(5): 19-28.

[19] 刘海英,谢建政. 排污权交易与清洁技术研发补贴能提高清洁技术创新水平吗:来自工业SO₂排放权交易试点省份的经验证据[J]. 上海财经大学学报(哲学社会科学版), 2016, 18(5): 79-90.

[20] 沈满洪,杨永亮. 排污权交易制度的污染减排效果研究:基于浙江省重点排污企业数据的检验[J]. 浙江社会科学, 2017(7): 33-42.

[21] TESTA F, IRALDO F, FREY M. The effect of environmental regulation on firms' competitive performance: the case of the building & construction sector in some EU regions[J]. Journal of Environmental Management, 2011, 92(9): 2136-2144.

[22] FÄRE R, GROSSKOPF S, PASURKAC A. Potential gains from trading bad outputs: the case of U. S. electric power plants[J]. Resource and Energy Economics, 2014, 36(1): 99-112.

[23] FÄRE R, GROSSKOPF S, PASURKA CA. Tradable permits and unrealized gains from trade[J]. Energy Economics, 2013, 40(11): 416-424.

[24] 宿晓,倪简,汪蕊. 基于排污权交易的再生水定价模型[J]. 水利经济, 2016, 34(6): 68-71.

[25] 仇蕾,张廷熙,王瑜梁. 排污权交易市场中小企业行为演化博弈分析[J]. 水利经济, 2016, 34(3): 5-9.

[26] 王建文,李俊. 我国水排污权交易市场构建的法律思考[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2018, 20(3): 85-89.

[27] 肖加元,潘安. 基于水排污权交易的流域生态补偿研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(7): 8-26.

[28] 李冬冬,杨晶玉. 基于排污权交易的最优减排研发补贴研究[J]. 科学学研究, 2015, 33(10): 1504-1510.

(收稿日期:2021-09-02 编辑:陈玉国)