

分权式环境规制下城市群污染跨区域 协同治理路径研究

张艳楠¹ 孙蕾² 张宏梅¹ 孙娜³¹

(1. 上海师范大学旅游学院, 上海 200234;

2. 上海商学院商务经济学院, 上海 200235;

3. 上海师范大学天华学院, 上海 200093)

【摘要】: 以分权式环境规制为背景, 针对聚合式发展的城市群出现的环境激化问题, 引入地方政府的治理成本、机会成本、治理收益等合作性参数, 及中央政府的经济激励、经济补贴等政策性参数, 构建一种新的城市群污染跨区域协同治理路径三方演化博弈模型。同时分别对不同主体进行策略选择研究, 分析主体策略选择的影响因素及相互作用关系, 确定系统均衡稳定策略及其存在的条件。通过对不同策略组合的演化过程进行仿真模拟, 探究分权式环境规制下城市群污染跨区域协同治理路径, 提出建立激励与约束机制、联防联控机制、区域一体化协同机制发展建议。研究表明: 对于地方政府, 选择“合作行为”的概率与其他地方政府选择“合作行为”的概率、中央政府选择“严格督查”的概率呈正相关; 中央政府选择“严格督查”的概率与地方政府选择“合作行为”的概率呈负相关。对于系统稳定策略, 主体策略的演化速度会受到自身及其他主体策略选择比例的影响, 但无论比例取值如何变化, 都不会改变群体的最终策略决策。

【关键词】: 分权式 环境规制 城市群 跨区域污染协同治理 演化博弈

【中图分类号】: X32 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)12-2925-13

目前, 我国正处于全球第三次城市化运动的浪潮中。2012年, 中国城市化率占比首次突破50%。作为城市发展成熟阶段的高阶组织形式, 城市群指的是依托发达的交通网络和通信设施, 在特定地域上集中分布的若干特大城市和大、中城市集聚而成的庞大的、多核心、多层次的城市联合体, 具有空间组织紧凑、经济联系紧密、高度一体化的显著特征^[1]。现阶段, 我国已经形成以京津冀城市群、长三角城市群、粤港澳大湾区、成渝城市群、长江中游城市群、中原城市群、关中平原城市群为核心力量的主要城市群^[2], 建立以城市群带动区域发展的新模式, 形成推动国家重大区域融合发展的新战略。因此, 城市群是我国经济增长的重要引擎, 我国城市群以10%的国土面积、承载了全国1/3的人口, 为国家贡献了超过3/4的经济总量^[3]。

城市尤其是城市群聚合式的飞速发展势必消耗大量的环境资源, 产生巨大的环境压力。城市群现已成为我国环境问题集中

作者简介: 张艳楠(1990~), 女, 讲师, 主要研究方向为城市生态建设、机制设计与制度设计。E-mail: zhangyn119@foxmail.com; 孙蕾 E-mail: 438878648@qq.com

基金项目: 上海市科技人才计划项目青年科技英才扬帆计划项目(19YF1437000); 国家自然科学基金面上项目(41971254); 国家自然科学基金面上项目(71771151); 教育部人文社科青年项目(21YJC630120); 上海师范大学高峰高原学科-工商管理

激化的敏感地区。集中全国 3/4 经济总量的中国城市群，同样集中了全国近 3/4 的污染产出。然而，目前我国对城市群的污染治理主要是以总量控制为主的集中治理，即国家设定排放总量目标，各个城市按照分配的排放指标单独完成污染治理任务^[4]。这种非合作控制型区域污染治理模式存在明显不足^[5]：一是，各地单独进行污染治理的模式无法有效应对现有环境污染区域性的空间溢出效应。据《中国环境状况公报》显示，城市群环境污染状况已由局地污染逐渐演变为区域性、复合型污染。二是，各地污染物治理在设备技术、治污能力和治污成本方面存在差异，需要充分利用社会资源，实现公共资源的优化配置，实现城市群污染的跨区域协同治理。2016 年，《城市群发展规划》明确提出以改革创新推动城市群协调发展，并着重强调以生态保护提供发展新支撑，实施生态建设与修复工程，深化大气、土壤和水污染跨区域联防联控，建立地区间生态保护机制^[6]。因此，构建生态宜居的城市群空间形态，进行城市群污染跨区域协同治理，实现其与资源环境的和谐发展，是城市群新型城市化发展的必由之路。

城市群空间结构是指容纳人口社会活动及其相互作用的土地、交通、能源等城市基础设施物理结构及其形态的综合，其结构特征对资源环境具有一定的影响作用，并直接决定区域未来可持续发展与否^[7]。通过对城市群空间结构理想状态下环境污染的模拟研究发现，环境质量是城市群规划评价的重要指标，功能复合的紧凑型城市群相较于分散型、网络型城市群对资源环境的影响较小^[8]。同时，城市群密度和人均能耗呈负相关，城市群密度越低则人均能耗越高，密度较高的城市群依靠成熟的基础设施建设能够有效地降低人均能耗^[9]。城市群空间扩张的资源环境响应研究主要包括 3 个层次^[10, 11, 12]。(1) 从发展适宜度与协调发展模式、自然资源与区位定位、土地利用与生态评价讨论城市群空间分布与自然资源环境的相互作用。(2) 从气候变化、能源消耗、环境绩效探讨城市群空间扩张的资源环境效应问题，提出城市群经济增长对生态环境发展的建议。(3) 通过构建模型讨论城市群空间增长与资源环境的关系，研究模拟技术在分析城市群发展对资源环境影响方面的应用。如 Liang 等^[13]应用“环境库兹涅茨曲线”理论解决城市化问题。Anurag 等^[14]以 GIS 系统为平台，分析城市群与环境关系的复合框架。潘敏杰等^[15]构建城市动态演化模型，分析城市群对资源环境的胁迫作用和资源环境对城市群的约束作用。王欢明等^[16]着重分析了中国城市群空间结构重构与可持续再生发展的影响因素。

相关的研究还涉及城市群环境风险管控研究，包括环境脆弱性识别、企业和工业园区等综合区域的环境风险评价方法、突发性城市环境事件的应急管理^[17]，研究方法主要有线性加权求和法、函数模型法、集对分析法、数据包络分析法等^[18]。此外，在城市群价值共创与区域协调发展方面，包括城市多要素耦合理论、价值共创行为与感知^[19]，如由城市代谢模式决定环境要素流量之间的关联关系；考虑政府管理体系中的安全性及潜在环境风险；涉及心理参与和身体参与、感知参与和实际参与等的测量指标，涵盖经济价值、社会价值、质量价值、情感价值等的感知体验价值^[20, 21, 22]。

上述研究内容已逐步趋于完善，但仍存在不足。在研究视角方面，区域环境管理机制研究较多关注分散的工业集聚区、某一具体的生态保护区或脆弱地带，对于大型经济带，尤其是产业集中的城市群形成的经济与环境复合系统，缺少从环境规制的角度研究城市群污染跨区域协同治理机制。在研究过程方面，大部分研究侧重于单一生态环节，如环境效益与成本投入、影响因素及驱动力、绿色指标评价，缺少对环境规制政策下各种影响因素组合条件和共同作用的综合分析和全过程动态分析。

因此，本文以分权式环境规制为背景，针对聚合式发展的城市群出现的环境激化问题，引入地方政府的治理成本、机会成本、治理收益等合作性参数，及中央政府的经济激励、经济补贴等政策性参数，构建一种新的城市群污染跨区域协同治理路径三方演化博弈模型。同时分别对不同主体进行策略选择研究，分析主体策略选择的影响因素及相互作用关系，确定系统均衡稳定策略及其存在的条件，并通过对不同策略组合的演化过程进行仿真模拟，探究分权式环境规制下城市群污染跨区域协同治理路径，并提出发展建议。

1 博弈模型的构建

1.1 问题描述

在中国式分权下，中央政府在推进城市群污染跨区域治理工作中，主要采取以行政手段、经济手段为主的环境管制模式，以

公权力调控地方政府严格执行环境规制，达到区域内多方政府通过合作型联防联控工作取得污染防治的整体目标。具体规制过程如下。

(1) 中央政府给予某一城市群区域内地方政府污染治理专项转移支付资金，专项资金用于补贴地方政府执行环境规制过程中的环保设备技术改进、污染监管和治理成本。同时以环境税分税制，即环境保护税收分成比例，激励地方政府严格执行环境规制，促进地方企业进行绿色生产和达标排放污染物，提升城市群区域整体环境质量。

(2) 对于环境规制政策，地方政府可能面临短期内地方经济效益下降的可能，城市群区域内的地方政府参与跨区域环境协同治理的行为策略集包括合作和非合作两种。非合作行为，即地方政府追求经济利益而忽略环境影响，进而偏离共同维护区域生态的整体目标，属于经济偏向型地方政府；合作行为，即地方政府更多地考虑环境因素，以改善区域环境为目标，属于环境偏向型地方政府。

(3) 若地方政府选择合作行为，需要支付并承担一定的地方污染治理成本、区域合作交易成本和短期经济损失，同时获得地方污染治理单方收益和区域整体环境收益。考虑到城市群污染的区域性，若地方政府选择非合作行为，需要承担地方污染造成的环境损失与其他地方政府的负外部性损失，同时获得污染治理方产生的正外部性收益。

(4) 针对地方政府的不同策略选择，中央政府通过督查判断城市群区域内的地方政府是否履行环境规制政策。其督查的程度，可以选择严格督查，即督查范围覆盖全部地区；也可以选择宽松督查，即抽查部分地区治理情况。

(5) 通过核定督查结果，对于积极参与城市群污染跨区域治理的地方政府，给予一定程度的奖励。对于不参与合作治理区域污染的地方政府，需退还专项治理资金，将所得环境税收收入作为罚款上缴，并向被迫进行属地治理的地方政府支付一定的生态补偿。

其分权式环境规制的流程如图 1 所示。

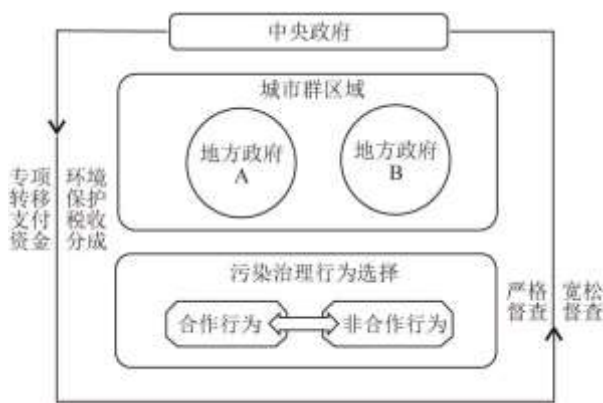


图 1 分权式环境规制下城市群污染跨区域治理机制

1.2 前提假设

假设 1 在分权式环境规制下，针对城市群污染问题进行跨区域协同治理，存在 1 个中央政府和某个具有环境污染效应的城市群。在该城市群中，存在 $n(n>1)$ 个地方政府分别对所在城市的环境污染进行治理。且环境污染治理的净收益值为正，忽略城市群外部环境对本区域的影响。

假设 2 中央政府给予城市群区域内地方政府 i 污染治理专项转移支付资金 F_i 。地方政府 i 的环境保护税收分成 d_i 。

假设 3 对于环境规制政策，地方政府治理污染获得的单方收益为 PR_i ；单独治理污染获得的城市群区域收益为 CR_i ；支付的地方污染治理成本为 c_i 。地方政府需要承担的短期经济损失为 JL_i 。同时，地方政府承担地方污染造成的环境损失为 HL_i ，且地方政府的外部性效应系数为 $\varepsilon_i (0 < \varepsilon_i < 1)$ 。

假设 4 若地方政府 i 在区域污染合作治理中选择合作行为，城市群中的某一地方政府与其他外部地方政府为达到合作治理污染目标需要支付一定的区域合作交易成本 TC ；获得的区域整体环境协同收益为 TE 。

假设 5 中央政府通过督查判断城市群区域内的地方政府是否履行环境规制政策，其环境督查成本为 SC 。当中央政府选择宽松督查时，地方政府被抽查的概率为 $\phi (0 < \phi < 1)$ 。

假设 6 通过核定督查结果，对于积极参与城市群污染跨区域治理的地方政府 i ，给予的奖励为 R_i 。对于不参与合作治理区域污染的地方政府 i ，需要向被迫进行属地治理的地方政府支付的生态赔偿为 P_i 。且除生态赔偿外，对于不参与合作治理区域污染的地方政府，还需退还专项治理资金 F_i ，将所得环境税收收入 d_i 作为罚款上缴。

1.3 模型构建

为了得到合理的结论，针对环境规制的现实复杂性，分析影响演化博弈主体和策略过程的具有关键性、共性的影响因素，在此基础上系统构建演化博弈模型。

1.3.1 支付矩阵

在分权式环境规制下，针对城市群进行跨区域污染协同治理的地方政府，分析所有地方政府在策略选择的共性问题，把地方政府分成两大群体，即一个本地政府、除本地政府外的其他外部政府，即存在本地政府 ($i=1$) 和外部政府 ($i=2$) 随机独立地、重复地选择合作或不合作污染治理行为。假定城市群内本地政府为异质小群体，城市群内除本地政府外的其他地方政府作为一致性大群体，异质小群体对一致性大群体的外部性影响程度相同，一致性大群体的策略选择由群体中占优的个体百分数决定，大、小群体参与跨区域环境协同治理的行为策略集包括合作和非合作两种。其中，本地政府选择合作行为的概率为 $x (0 \leq x \leq 1)$ ，选择非合作行为的概率为 $(1-x)$ ；外部政府选择合作行为的概率为 $y (0 \leq y \leq 1)$ ，选择非合作行为的概率为 $(1-y)$ 。同时，中央政府通过督查判断城市群区域内的地方政府是否履行环境规制政策，其督查程度选择严格督查的概率为 $z (0 \leq z \leq 1)$ ，选择宽松督查的概率为 $(1-z)$ 。

根据上述条件假设，城市群中的本地政府、外部政府及中央政府在跨区域污染协同治理时演化博弈的支付矩阵如表 1 所示。

表 1 城市群污染跨区域协同治理演化博弈支付矩阵

博弈方				中央政府	
				严格督查	宽松督查
本地政府	合作	外部政府	合作	$PR_1+TE+F_1+D_1+R_1-TC-C_1-JL_1$	$PR_1+TE+F_1+D_1+\phi R_1-TC-C_1-JL_1$
				$PR_2+TE+F_2+D_2+R_2-TC-C_2-JL_2$	$PR_2+TE+F_2+D_2+\phi R_2-TC-C_2-JL_2$

				$PR_1+PR_2+TE-SC-(F_1+F_2)-(D_1+D_2)-(R_1+R_2)$	$PR_1+PR_2+TE-\phi SC-(F_1+F_2)-(D_1+D_2)-\phi (R_1+R_2)$
			非合作	$PR_1+CR_1+F_1+D_1+R_1+P_2-\varepsilon_2HL_2-C_1-JL_1$	$PR_1+CR_1+F_1+D_1+\phi R_1+\phi P_2-\varepsilon_2HL_2-C_1-JL_1$
				$-(1-\varepsilon_2)HL_2-P_2$	$(1-\phi)(F_2+D_2)-(1-\varepsilon_2)HL_2-\phi P_2$
				$PR_1+CR_1-HL_2-SC-(F_1+D_1+R_1)$	$PR_1+CR_1-HL_2-\phi SC-(F_1+D_1+\phi R_1)-(1-\phi)(F_2+D_2)$
	非合作		合作	$-(1-\varepsilon_1)HL_1-P_1$	$(1-\phi)(F_1+D_1)-(1-\varepsilon_1)HL_1-\phi P_1$
				$PR_2+CR_2+F_2+D_2+R_2+P_1-\varepsilon_1HL_1-C_2-JL_2$	$PR_2+CR_2+F_2+D_2+\phi R_2+\phi P_1-\varepsilon_1HL_1-C_2-JL_2$
				$PR_2+CR_2-HL_1-SC-(F_2+D_2+R_2)$	$PR_2+CR_2-HL_1-\phi SC-(F_2+D_2+\phi R_2)-(1-\phi)(F_1+D_1)_1$
	非合作		$-HL_1-\varepsilon_2HL_2$	$(1-\phi)(F_1+D_1)-HL_1-\varepsilon_2HL_2$	
			$-HL_2-\varepsilon_1HL_1$	$(1-\phi)(F_2+D_2)-HL_2-\varepsilon_1HL_1$	
			$-SC-(1+\varepsilon_1)HL_1-(1+\varepsilon_2)HL_2$	$-\phi SC-(1+\varepsilon_1)HL_1-(1+\varepsilon_2)HL_2-(1-\phi)(F_1+D_1)-(1-\phi)(F_2+D_2)$	

1.3.2 动力系统

本地政府选择合作行为的期望收益 u_{11} 、选择非合作行为的期望收益 u_{12} ，及策略选择的平均期望收益 $\bar{u}$ 分别为：

$$u_{11} = yz(PR_1+TE+F_1+D_1+R_1-TC-C_1-JL_1) + y(1-z)(PR_1+TE+F_1+D_1+\phi R_1-TC-C_1-JL_1) + (1-y)z(PR_1+CR_1+F_1+D_1+R_1+P_2-\varepsilon_2HL_2-C_1-JL_1) + (1-y)(1-z)(PR_1+CR_1+F_1+D_1+\phi R_1+\phi P_2-\varepsilon_2HL_2-C_1-JL_1) \quad (1)$$

$$u_{12} = yz[-(1-\varepsilon_1)HL_1-P_1] + y(1-z)[(1-\phi)(F_1+D_1)-(1-\varepsilon_1)HL_1-\phi P_1] + (1-y)z(-HL_1-\varepsilon_2HL_2) + (1-y)(1-z)[(1-\phi)(F_1+D_1)-$$

$$HL_1-\varepsilon_2HL_2] \quad (2)$$

$$\bar{u} = x u_{11} + (1-x) u_{12} \quad (3)$$

外部政府选择合作行为的期望收益 u_{21} 、选择非合作行为的期望收益 u_{22} ，及策略选择的平均期望收益 $\bar{u}_2$ 分别为：

$$\begin{aligned}
u_{21} = & xz (PR_2 + TE + F_2 + D_2 + R_2 - TC - C_2 - JL_2) + \\
& x(1-z) (PR_2 + TE + F_2 + D_2 + \varphi R_2 - TC - C_2 - \\
& JL_2) + (1-x)z (PR_2 + CR_2 + F_2 + D_2 + R_2 + P_1 - \\
& \varepsilon_1 HL_1 - C_2 - JL_2) + (1-x)(1-z) (PR_2 + CR_2 + \\
& F_2 + D_2 + \varphi R_2 + \varphi P_1 - \varepsilon_1 HL_1 - C_2 - JL_2) \quad (4)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
u_{22} = & xz [(1-\varepsilon_2) HL_2 - P_2] + \\
& x(1-z) [(1-\varphi)(F_2 + D_2) - (1-\varepsilon_2) HL_2 - \\
& \varphi P_2] + (1-x)z (-HL_2 - \varepsilon_1 HL_1) +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (1-x)(1-z) [(1-\varphi)(F_2 + D_2) - \\
& HL_2 - \varepsilon_1 HL_1] \quad (5)
\end{aligned}$$

$$\bar{u}_2 = y u_{21} + (1-y) u_{22} \quad (6)$$

中央政府选择严格督查的期望收益 u_{31} 、选择宽松督查的期望收益 u_{32} ，及策略选择的平均期望收益 $\bar{u}_3$ 分别为：

$$\begin{aligned}
u_{31} = & xy [PR_1 + PR_2 + TE - SC - (F_1 + F_2) - \\
& (D_1 + D_2) - (R_1 + R_2)] + x(1-y) [PR_1 + \\
& CR_1 - HL_2 - SC - (F_1 + D_1 + R_1)] + \\
& (1-x)y [PR_2 + CR_2 - HL_1 - SC - \\
& (F_2 + D_2 + R_2)] + (1-x)(1-y) [-SC - \\
& (1+\varepsilon_1) HL_1 - (1+\varepsilon_2) HL_2] \quad (7)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
u_{32} = & xy [PR_1 + PR_2 + TE - \varphi SC - (F_1 + F_2) - \\
& (D_1 + D_2) - \varphi(R_1 + R_2)] + x(1-y) [PR_1 + \\
& CR_1 - HL_2 - \varphi SC - (F_1 + D_1 + \varphi R_1) - \\
& (1-\varphi)(F_2 + D_2)] + (1-x)y [PR_2 + CR_2 - \\
& HL_1 - \varphi SC - (F_2 + D_2 + \varphi R_2) - (1-\varphi)(F_1 + \\
& D_1)] + (1-x)(1-y) [-\varphi SC - (1+\varepsilon_1) HL_1 - \\
& (1+\varepsilon_2) HL_2 - (1-\varphi)(F_1 + D_1) - \\
& (1-\varphi)(F_2 + D_2)] \quad (8)
\end{aligned}$$

$$\bar{u}_3 = z u_{31} + (1-z) u_{32} \quad (9)$$

本地政府的复制动态方程：

$$\begin{aligned}
F(x) &= \frac{dx}{dt} = x(u_{11} - \overline{u_1}) = x(1-x)(u_{11} - u_{12}) \\
&= x(1-x) \{ (TE + \varphi P_1 - CR_1 - \varepsilon_1 H L_1 - TC - \varphi P_2) y + \\
&\quad (F_1 + D_1 + R_1 + P_2)(1-\varphi)z + (P_1 - P_2)(1-\varphi)yz + \\
&\quad [PR_1 + CR_1 + H L_1 + \varphi(F_1 + D_1 + R_1 + P_2) - C_1 - J L_1] \} \quad (10)
\end{aligned}$$

外部政府的复制动态方程:

$$\begin{aligned}
F(y) &= \frac{dy}{dt} = y(u_{21} - \overline{u_2}) = y(1-y)(u_{21} - u_{22}) \\
&= y(1-y) \{ (TE + \varphi P_2 - CR_2 - \varepsilon_2 H L_2 - TC - \varphi P_1) x + (F_2 + D_2 + R_2 + P_1)(1-\varphi)z + \\
&\quad (P_2 - P_1)(1-\varphi)xz + [PR_2 + CR_2 + H L_2 + \varphi(F_2 + D_2 + R_2 + P_1) - C_2 - J L_2] \} \quad (11)
\end{aligned}$$

中央政府的复制动态方程:

$$\begin{aligned}
F(z) &= \frac{dz}{dt} = z(u_{31} - \overline{u_3}) = z(1-z)(u_{31} - u_{32}) \\
&= z(1-z) \{ -(1-\varphi)R_1x - (1-\varphi)R_2y + \\
&\quad (1-\varphi)[(F_1 + D_1 + F_2 + D_2) - SC] \} \quad (12)
\end{aligned}$$

为简化运算, 令:

$$\begin{cases}
a_1 = TE + \varphi P_1 - CR_1 - \varepsilon_1 H L_1 - TC - \varphi P_2 \\
b_1 = (F_1 + D_1 + R_1 + P_2) (1 - \varphi) \\
c_1 = (P_1 - P_2) (1 - \varphi) \\
d_1 = PR_1 + CR_1 + H L_1 + \varphi (F_1 + D_1 + R_1 + P_2) - C_1 - J L_1 \\
a_2 = TE + \varphi P_2 - CR_2 - \varepsilon_2 H L_2 - TC - \varphi P_1 \\
b_2 = (F_2 + D_2 + R_2 + P_1) (1 - \varphi) \\
c_2 = (P_2 - P_1) (1 - \varphi) \\
d_2 = PR_2 + CR_2 + H L_2 + \varphi (F_2 + D_2 + R_2 + P_1) - C_2 - J L_2 \\
a_3 = -(1 - \varphi) R_1 \\
b_3 = -(1 - \varphi) R_2 \\
d_3 = (1 - \varphi) [2(F_1 + D_1 + F_2 + D_2) - SC]
\end{cases} \quad (13)$$

因 $0 < \varphi < 1$, 得 $b_1 > 0$ 、 $b_2 > 0$ 、 $a_3 < 0$ 、 $b_3 < 0$ 。

对于环境规制政策, 中央政府通过污染治理专项转移支付资金、环境保护税收分成、奖励机制等一系列政策提高地方政府进行跨区域协调治理的积极性。同时, 随着治污水平的提升, 地方政府的污染治理成本、短期经济损失均会控制在一定限度内。因此, (13) 式中 $D_1 > 0$ 、 $D_2 > 0$ 。

由 (10) 式、(11) 式、(12) 式、(13) 式得到三维动力系统 (I):

$$\begin{cases}
F(x) = x(1-x)(a_1y + b_1z + c_1yz + d_1) \\
F(y) = y(1-y)(a_2x + b_2z + c_2xz + d_2) \\
F(z) = z(1-z)(1-\varphi)(a_3x + b_3y + d_3)
\end{cases} \quad (14)$$

2 主体策略选择分析

2.1 本地政府

对本地政府的复制动态方程 $F(x) = x(1-x)(a_1y + b_1z + c_1yz + d_1)$ 求一阶偏导, 得:

$$F'(x) = (1-2x)(a_1y + b_1z + c_1yz + d_1) \quad (15)$$

(1) 若 $z = -\frac{a_1y + d_1}{c_1y + b_1}$, 则 $F(x) = 0$, 即所有水平均处于稳定状态。

(2) 若 $z \neq -\frac{a_1 y + d_1}{c_1 y + b_1}$, 令 $F(x)=0$, 则稳定点为 $x=0$ 、 $x=1$ 。

$z < -\frac{a_1 y + d_1}{c_1 y + b_1}$, 有 $F'(x)|_{x=0} < 0$, 则 $x=0$ 为演化稳定策略;

$z > -\frac{a_1 y + d_1}{c_1 y + b_1}$, 有 $F'(x)|_{x=1} < 0$, 则 $x=1$ 为演化稳定策略。

地方政府策略选择的动态演化路径如图 2 所示。

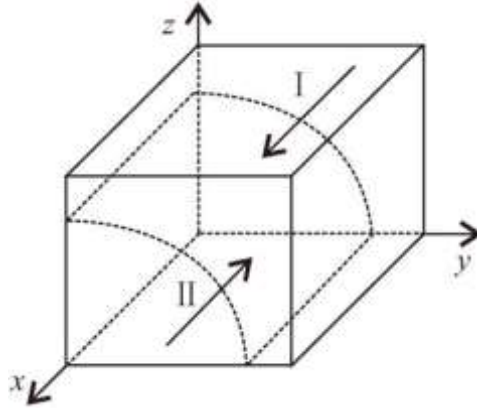


图 2 地方政府策略选择动态演化路径示意图

图 2 中空间分为 I、II 两部分, 当地方政府初始状态处于空间 I 时, $x=1$ 是均衡点, 即地方政府趋向于选择合作行为; 当地方政府初始状态处于空间 II 时, $x=0$ 是均衡点, 即地方政府趋向于选择非合作行为。

结论 1 本地政府选择“合作行为”的概率, 会随着外部政府选择“合作行为”的概率、中央政府选择“严格督查”的概率的增加而提高。

结论 2 当 b_1 或 D_1 增大时, $-\frac{a_1 y + D_1}{C_1 y + b_1}$ 减小, 导致空间 I 增大而空间 II 减少。即当中央政府加大对本地政府的奖励 R_1 或惩罚力度 P_1 、提高给予本地政府的污染治理专项转移支付资金 F_1 或环境保护税收分成 D_1 ; 当本地政府通过提高治污水平增加单方收益 PR_1 或单独治理污染提升城市群区域收益 CR_1 、降低地方污染治理成本 C_1 或短期经济损失 JL_1 , 将提高本地政府选择合作行为的积极性。

2.2 外部政府

对外部政府的复制动态方程 $F(y)=y(1-y)(a_2 x + b_2 z + c_2 xz + d_2)$ 求一阶偏导, 得:

$$F'(y) = (1-2y)(a_2x + b_2z + c_2xz + d_2) \quad (16)$$

(1) 若 $x = -\frac{b_2z + d_2}{c_2z + a_2}$, 则 $F(y)=0$, 即所有水平均处于稳定状态。

(2) 若 $x \neq -\frac{b_2z + d_2}{c_2z + a_2}$, 令 $F(y)=0$, 则稳定点为 $y=0$ 、 $y=1$ 。

$x < -\frac{b_2z + d_2}{c_2z + a_2}$, 有 $F'(y)|_{y=0} < 0$, 则 $y=0$ 为演化稳定策略;

$x > -\frac{b_2z + d_2}{c_2z + a_2}$, 有 $F'(y)|_{y=1} < 0$, 则 $y=1$ 为演化稳定策略。

外部政府策略选择的动态演化路径如图 3 所示。

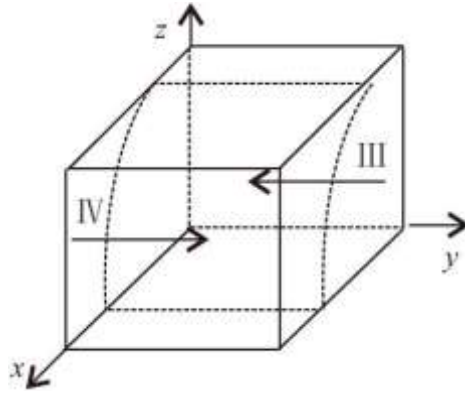


图 3 外部政府策略选择动态演化路径示意图

图 3 中空间分为 IV、III 两部分, 当外部政府初始状态处于空间 IV 时, $y=1$ 是均衡点, 即外部政府趋向于选择合作行为; 当外部政府初始状态处于空间 III 时, $y=0$ 是均衡点, 即外部政府趋向于选择非合作行为。

结论 3 外部政府选择“合作行为”的概率, 会随着本地政府选择“合作行为”的概率、中央政府选择“严格督查”的概率的增加而提高。

结论 4 当 b_2 或 D_2 增大时, $-\frac{b_2z + D_2}{C_2z + a_2}$ 减小, 导致空间 IV 增大而空间 III 减少。即当中央政府加大对外部政府的奖励 R_1 或惩

罚 P_1 力度、提高给予外部政府的污染治理专项转移支付资金 F_2 或环境保护税收分成 D_2 ; 当外部政府通过提高治污水平增加单方收益 PR_2 或单独治理污染提升城市群区域收益 CR_2 、降低地方污染治理成本 C_2 或短期经济损失 JL_2 , 将提高外部政府选择合作行为的积极性。

2.3 中央政府

对中央政府的复制动态方程 $F(z)=z(1-z)(1-\phi)(a_3x+b_3y+d_3)$ 求一阶偏导, 得:

$$F'(z) = (1-2z)(1-\phi)(a_3x+b_3y+d_3) \quad (17)$$

(1) 若 $y = -\frac{a_3x+d_3}{b_3}$, 则 $F(z)=0$, 即所有水平均处于稳定状态。

(2) 若 $y \neq -\frac{a_3x+d_3}{b_3}$, 令 $F(z)=0$, 则稳定点为 $z=0$ 、 $z=1$ 。

当 $y < -\frac{a_3x+d_3}{b_3}$, 因 $b_3 < 0$, 有 $F'(y)|_{y=1} < 0$, 则 $z=1$ 为演化稳定策略;

当 $y > -\frac{a_3x+d_3}{b_3}$, 因 $b_3 < 0$, 有 $F'(y)|_{y=0} < 0$, 则 $z=0$ 为演化稳定策略。

因 $a_3 < 0$ 、 $b_3 < 0$ 、 $0 \leq x < 1$ 、 $0 \leq y < 1$, 得 $d_3 > 0$ 。

中央政府策略选择的动态演化路径如图 4 所示。

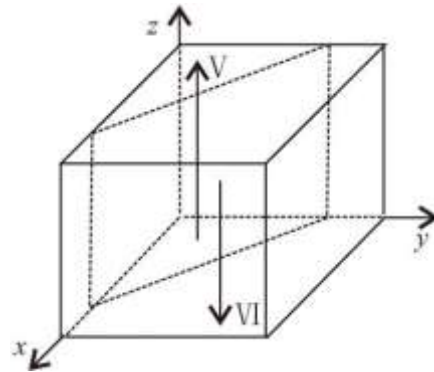


图 4 中央政府策略选择动态演化路径示意图

图 4 中空间分为 V、VI 两部分，当中央政府初始状态处于空间 V 时， $z=1$ 是均衡点，即中央政府趋向于选择严格督查；当中央政府初始状态处于空间 VI 时， $z=0$ 是均衡点，即中央政府趋向于选择宽松督查。

结论 5 中央政府选择“严格督查”的概率，会随着本地政府选择“合作行为”的概率、外部政府选择“合作行为”的概率的减少而提高。

$$-\frac{a_3x+d_3}{b_3}$$

结论 6 当 d_3 增大时， $-\frac{a_3x+d_3}{b_3}$ 减小，导致空间 VI 增大而空间 V 减少。即当中央政府适当提高给予地方政府的污染治理专项转移支付资金 F_1 或环境保护税收分成 d_1 ，将适当降低督查概率，更高效、更经济的机制管理将逐渐代替人力督查。

3 系统稳定策略分析

3.1 均衡点分析

命题 1 三维动力系统(I) 存在 8 个 3 种群采纳纯策略的均衡点 $(0, 0, 0)$ 、 $(0, 0, 1)$ 、 $(0, 1, 0)$ 、 $(1, 0, 0)$ 、 $(1, 1, 0)$ 、 $(1, 0, 1)$ 、 $(0, 1, 1)$ 、 $(1, 1, 1)$ 。

证明：对于三维动力系统(I)，当 $F(x)=0$ 、 $F(y)=0$ 、 $F(z)=0$ ，

有 $x=0$ 或 1 、 $y=0$ 或 1 、 $z=0$ 或 1 ，

即 $(0, 0, 0)$ 、 $(0, 0, 1)$ 、 $(0, 1, 0)$ 、 $(1, 0, 0)$ 、 $(1, 1, 0)$ 、 $(1, 0, 1)$ 、 $(0, 1, 1)$ 、 $(1, 1, 1)$ 是三维动力系统(I) 的 8 个 3 种群采纳纯策略的平衡点。

证毕。

$$\left(0, -\frac{d_3}{b_3}, -\frac{d_2}{b_2}\right),$$

命题 2 三维动力系统(I) 可能存在 4 个单种群采纳纯策略均衡点

$$\left(-\frac{d_3}{a_3}, 0, -\frac{d_1}{b_1}\right), \left(-\frac{d_2}{a_2}, -\frac{d_1}{a_1}, 0\right), \left(1, -\frac{a_3+d_3}{b_3}, -\frac{a_2+d_2}{b_2+c_2}\right),$$

, 其中第一个平衡点的存在条件为： $-1 < d_3/b_3 < 0$ 、

$$-1 < \frac{d_3}{b_3} < 0, -1 < \frac{d_2}{b_2} < 0,$$

同理可得其他 3 个平衡点的存在条件。

证明：对于三维动力系统(I)，当 $F(x)=0$ 、 $F(y)=0$ 、 $F(z)=0$ ，且 $x=0$ 时，

$$y = -\frac{d_3}{b_3}, z = -\frac{d_2}{b_2},$$

有 $b_3y+d_3=0$ 、 $b_2z+d_2=0$ ，得

又 $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$, 得

$$0 < -\frac{d_3}{b_3} < 1, \quad 0 < -\frac{d_2}{b_2} < 1,$$

即 $-1 < \frac{d_3}{b_3} < 0$ 、 $-1 < \frac{d_2}{b_2} < 0$ 是第一个平衡点的存在条件。

同理可得其他 3 个平衡点的存在条件。

证毕。

命题 3 三维动力系统 (I) 可能存在 1 个混合策略均衡点 $(x^*, y^*, z^*) \in (0, 1)$ 。

证明：对于三维动力系统 (I), 当 $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 时,

令 $F(x)=0$ 、 $F(y)=0$ 、 $F(z)=0$,

有 $a_1y+b_1z+c_1yz+d_1=0$ 、 $a_2x+b_2z+c_2xz+d_2=0$ 、 $a_3x+b_3y+d_3=0$,

$$\begin{aligned} x^* &= -\frac{b_2 z^* + D_2}{a_2 + C_2 z^*}, \quad y^* = -\frac{b_1 z^* + D_1}{a_1 + C_1 z^*}, \quad \text{且} \quad \begin{aligned} &(a_3 b_2 c_1 + b_1 b_3 c_2 - c_1 c_2 d_3) z^{*2} + (a_1 a_3 b_2 + a_2 b_1 b_3 + \\ &a_3 c_1 d_2 + b_3 c_2 d_1 - a_1 c_2 d_3 - a_2 c_1 d_3) z^* + \\ &(a_1 a_3 d_2 + a_2 b_3 d_1 - a_1 a_2 d_3) = 0 \end{aligned} \end{aligned} \quad (18)$$

当 $\Delta > 0$ 时, 存在 $(x^*, y^*, z^*) \in (0, 1)$ 。

证毕。

3.2 协同演化路径分析

由三维动力系统 (I) 构建雅克比矩阵:

$$\begin{bmatrix} (1-2x)(a_1y+b_1z+c_1yz+d_1) & x(1-x)(a_1+c_1z) & x(1-x)(b_1+c_1y) \\ y(1-y)(a_2+c_2z) & (1-2y)(a_2x+b_2z+c_2xz+d_2) & y(1-y)(b_2+c_2x) \\ a_3z(1-z)(1-\varphi) & b_3z(1-z)(1-\varphi) & (1-2z)(1-\varphi)(a_3x+b_3y+d_3) \end{bmatrix} \quad (19)$$

由雅克比矩阵 (19) 得系统的均衡点及特征值, 如表 2 所示。

根据演化博弈理论, 满足雅克比矩阵所有特征值都为非正时的均衡点才是系统的演化稳定点 (ESS)。

因 $d_1 > 0$ 、 $d_2 > 0$, 则 $E_1(0, 0, 0)$ 不是 ESS; 又 $b_1 > 0$ 、 $b_2 > 0$, 则 $E_2(0, 0, 1)$ 不是 ESS。

表 2 系统的均衡点及特征值

均衡点	特征值		
	λ_1	λ_2	λ_3
$E_1(0, 0, 0)$	D_1	D_2	$d_3(1-\phi)$
$E_2(0, 0, 1)$	b_1+D_1	b_2+D_2	$-d_3(1-\phi)$
$E_3(0, 1, 0)$	a_1+D_1	$-d_2$	$(1-\phi)(b_3+d_3)$
$E_4(1, 0, 0)$	$-d_1$	a_2+D_2	$(1-\phi)(a_3+d_3)$
$E_5(1, 1, 0)$	$-(a_1+D_1)$	$-(a_2+D_2)$	$(1-\phi)(a_3+b_3+d_3)$
$E_6(1, 0, 1)$	$-(b_1+D_1)$	$a_2+b_2+C_2+D_2$	$-(1-\phi)(a_3+d_3)$
$E_7(0, 1, 1)$	$a_1+b_1+C_1+D_1$	$-(b_2+D_2)$	$-(1-\phi)(b_3+d_3)$
$E_8(1, 1, 1)$	$-(a_1+b_1+C_1+D_1)$	$-(a_2+b_2+C_2+D_2)$	$-(1-\phi)(a_3+b_3+d_3)$

因

$$a_1+D_1=PR_1+TE+(1-\varepsilon_1)HL_1+\varphi(F_1+D_1+R_1+P_1)-C_1-JL_1-TC \quad (20)$$

$$a_1+b_1+C_1+D_1=PR_1+TE+(1-\varepsilon_1)HL_1+(F_1+D_1+R_1+P_1)-C_1-JL_1-TC \quad (21)$$

对于环境规制政策，中央政府通过污染治理专项转移支付资金、环境保护税收分成、奖励机制等一系列政策提高地方政府跨区域协调治理的积极性。同时，随着治污水平的提升，地方政府的污染治理成本、短期经济损失均会控制在一定限度内。因此，(20)式、(21)式中 $a_1+D_1>0$ 、 $a_1+b_1+C_1+D_1>0$ 。同理可得， $a_2+d_2>0$ 、 $a_2+b_2+C_2+D_2>0$ 。则 $E_3(0, 1, 0)$ 、 $E_4(1, 0, 0)$ 、 $E_6(1, 0, 1)$ 、 $E_7(0, 1, 1)$ 不是 ESS。

(1) 当 $a_3+b_3+d_3<0$ 时

$$a_3+b_3+d_3=(1-\varphi)[(F_1+D_1+F_2+D_2)-SC-R_1-R_2]<0 \quad (22)$$

因 $0<\phi<1$ ，当且仅当 $2(F_1+D_1+F_2+D_2)-SC-R_1-R_2<0$ 时， $a_3+b_3+d_3<0$ ，此时 $E_5(1, 1, 0)$ 为 ESS。

结论 7 当中央政府的督查成本 SC 与制定的关于污染治理专项转移支付资金 F_1 和环境保护税收分成 d_1 、奖励 R_1 和生态补偿 P_1 政策，满足 $2(F_1+D_1+F_2+D_2)-SC-R_1-R_2<0$ 时，地方政府倾向于选择“双方治理”的合作行为，中央政府倾向于选择宽松督查以确保政策实施过程中的资金有效使用。

(2) 当 $a_3+b_3+d_3>0$ 时

$$a_3+b_3+d_3 = (1-\varphi) [2(F_1+D_1+F_2+D_2) - SC-R_1-R_2] > 0 \quad (23)$$

因 $0<\phi<1$, 当且仅当 $2(F_1+D_1+F_2+D_2)-SC-R_1-R_2>0$ 时, $a_3+b_3+d_3>0$, 此时 $E_8(1, 1, 1)$ 为 ESS。

结论 8 当中央政府的督查成本 SC 与制定的关于污染治理专项转移支付资金 F_1 和环境保护税收分成 d_1 、奖励 R_1 和生态补偿 P_1 政策, 满足 $2(F_1+D_1+F_2+D_2)-SC-R_1-R_2>0$ 时, 地方政府倾向于选择“双方治理”的合作行为, 中央政府倾向于选择严格督查以确保政策的实施效果。

综合 (22) 式、(23) 式, 各参数变化对本地政府、外部政府、中央政府跨区域污染协同治理策略演化方向的影响如表 3 所示。

4 仿真模拟分析

考虑到分权式环境规制下城市群污染跨区域协同治理中本地政府、外部政府和中央政府在不同稳定性条件下的策略选择具有差异性, 为更直观地研究所构建的演化博弈模型, 本文运用 Matlab 对稳定性条件下策略组合的演化过程进行数值仿真与模拟分析。

表 3 治理参数对行动策略的影响

参数类别	参数变化	鞍点变化	相位体积变化	行动演进方向
中央补贴	$F_1 \uparrow ; F_2 \uparrow$	$x^* \downarrow, y^* \downarrow, z^* \downarrow$	$V \uparrow$	(合作, 合作, 严格)
	$D_1 \uparrow ; D_2 \uparrow$	$x^* \downarrow, y^* \downarrow, z^* \downarrow$	$V \uparrow$	(合作, 合作, 严格)
督查成本	$SC \downarrow$	$x^* \downarrow, y^* \downarrow, z^* \downarrow$	$V \uparrow$	(合作, 合作, 严格)
经济激励	$R_1 \downarrow ; R_2 \downarrow$	$x^* \downarrow, y^* \downarrow, z^* \downarrow$	$V \uparrow$	(合作, 合作, 严格)

目前, 在我国众多发展成熟的城市群中, 依托上海为中心的长三角城市群以占全国 2%的国土面积和 11%的人口为国家贡献了近 20%的国民生产总值。作为中国“一带一路”与长江经济带的重要交汇区域, 长三角城市群具有强大的经济、科技、人口聚集效应和规模效应, 在现代化建设大局和全方位开放格局中具有举足轻重的战略地位。但长三角城市群因人口基数大且流动性强、可利用土地面积少、资源配置有限、生活生产活动相对密集等一系列问题, 其城市群的聚合式发展势必产生巨大的环境压力, 在社会公共治理方面城市群面临严峻的城市环境风险挑战, 使长三角城市群成为环境问题集中激化的敏感地区。

本文选取长三角城市群作为主要研究区域对象, 考虑到城市群中上海市的集聚效应, 以及周边省会城市中合肥市日益加剧的污染效应, 将上海市作为本地城市, 合肥市作为外部城市, 进行相关数据收集与仿真模拟研究。首先, 选取在城市群区域污染中具有普遍性、广泛性污染效应的工业污染源、生活污染源作为调研对象, 其数据收集工作主要集中在废气污染物、废水污染物、工业固体废弃物。具体来说, 结合《全国生态环境统计公报》《上海市生态环境状况公报》《安徽省环境质量年报》获取总氮排放量、总磷排放量、PM_{2.5}、二氧化硫、氮氧化物、一般工业固体废物产生量和综合利用量的污染物数据。其次, 结合《中华人民共和国环境保护法》《大气污染防治行动计划》《水污染防治行动计划》《中央生态环境保护督察工作规定》的相关内容, 获取

中央政府在区域性环境保护方面的政策性决策数据。再者，结合《中国统计年鉴》关于国民经济核算、资源和环境、区域发展方面的内容，获取地方政府在经济发展、环保投入、合作治理方面的决策数据。

情景 1 本地政府、外部政府和中央政府采取(合作行为、合作行为、宽松督查)策略演化

将参数取值为 $F_1=3$ 、 $D_1=2$ 、 $R_1=1$ 、 $P_1=2$ 、 $C_1=6$ 、 $JL_1=3$ 、 $HL_1=2$ 、 $PR_1=4$ 、 $CR_1=2$ 、 $\varepsilon_1=0.6$ ； $F_2=2$ 、 $D_2=1$ 、 $R_2=0.5$ 、 $P_2=1$ 、 $C_2=4$ 、 $JL_2=2$ 、 $HL_2=1$ 、 $PR_2=3$ 、 $CR_2=1$ 、 $\varepsilon_2=0.4$ ； $TC=2$ 、 $TE=3$ 、 $SC=17.5$ 、 $\phi=0.5$ 。三方主体策略初值变化对演化结果的影响如图 5 所示。

其中，图 5 各个分图中，不同簇彩色线条分别代表，在不同策略初值下， x (或 y 、 z)变化对本地政府(或外部政府、中央政府)策略演化的所有可能的影响结果。各个分图中同一簇彩色线条代表，某一策略初值下， x (或 y 、 z)变化对本地政府(或外部政府、中央政府)策略演化影响的最有可能的结果，同一簇每条线条代表 x (或 y 、 z)与 t 的一种对应的可能影响关系。

结论 9 当中央政府设定的污染治理专项转移支付资金 F_1 和环境保护税收分成 D_1 较小、奖励 R_1 较大、环境督查成本 SC 较大时， $2(F_1+D_1+F_2+D_2)-SC-R_1-R_2<0$ ，本地政府、外部政府、中央政府选择(合作，合作，宽松)稳定策略。即在本地政府、外部政府均倾向于选择合作行为时，中央政府只需提高合作治理中获得的奖励，降低督查概率，使系统进入良性循环。

结论 10 对于(合作，合作，宽松)稳定策略，当本地政府、外部政府策略选择的比例越大，中央政府策略选择的比例越小，系统演化至 $x \rightarrow 1$ 、 $y \rightarrow 1$ 、 $z \rightarrow 0$ 的时间就越短、速度越快。但无论 x 、 y 、 z 取值如何变化，都不会改变群体的最终策略决策。

情景 2 本地政府、外部政府和中央政府采取(合作行为、合作行为、严格督查)策略演化

将参数取值为 $F_1=3$ 、 $D_1=2$ 、 $R_1=1$ 、 $P_1=2$ 、 $C_1=6$ 、 $JL_1=3$ 、 $HL_1=2$ 、 $PR_1=4$ 、 $CR_1=2$ 、 $\varepsilon_1=0.6$ ； $F_2=2$ 、 $D_2=1$ 、 $R_2=0.5$ 、 $P_2=1$ 、 $C_2=4$ 、 $JL_2=2$ 、 $HL_2=1$ 、 $PR_2=3$ 、 $CR_2=1$ 、 $\varepsilon_2=0.4$ ； $TC=2$ 、 $TE=3$ 、 $SC=15$ 、 $\phi=0.5$ 。三方主体策略初值变化对演化结果的影响如图 6 所示。

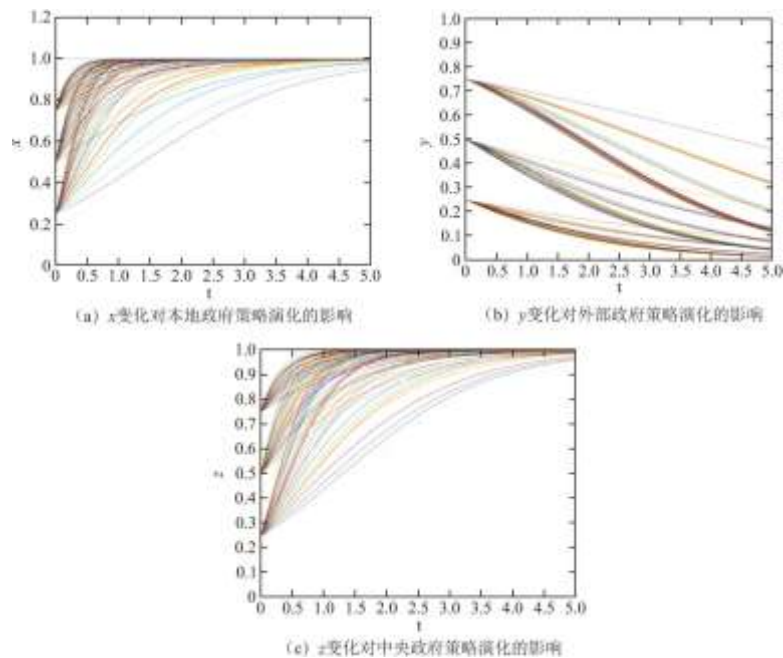


图 5 三方主体策略初值变化对演化结果的影响(情景 1)

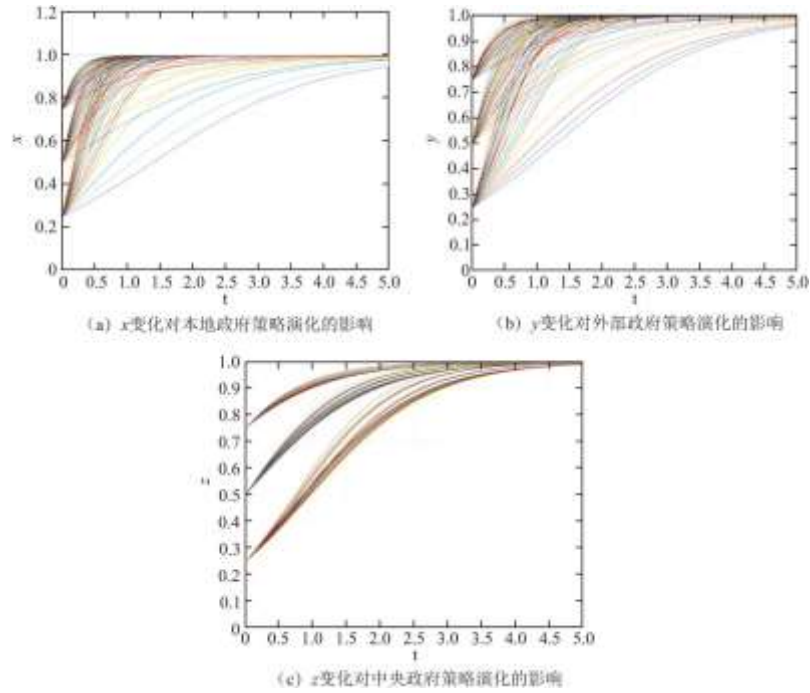


图 6 三方主体策略初值变化对演化结果的影响(情景 2)

其中，图 6 各个分图中，不同簇彩色线条分别代表，在不同策略初值下， x (或 y 、 z)变化对本地政府(或外部政府、中央政府)策略演化的所有可能的影响结果。各个分图中同一簇彩色线条代表，某一策略初值下， x (或 y 、 z)变化对本地政府(或外部政府、中央政府)策略演化影响的最有可能的结果，同一簇每条线条代表 x (或 y 、 z)与 t 的一种对应的可能影响关系。

结论 11 当中央政府设定的污染治理专项转移支付资金 F_1 和环境保护税收分成 d_1 较大、奖励 R_1 较小、环境督查成本 SC 较小时， $2(F_1+D_1+F_2+D_2)-SC-R_1-R_2>0$ ，本地政府、外部政府、中央政府选择(合作，合作，严格)稳定策略。即在本地政府、外部政府均倾向于选择合作行为时，若中央政府在经济补贴和经济奖励两种政策选择前者，需提高督查概率，使系统进入良性循环。

中央政府设定的奖励标准与地方政府的治污成本有关，当治污投入越高时，奖励的幅度越大。中央政府在经济补贴和经济奖励两种政策中选择前者，意味着地方政府因实际因素的限制降低治污投入，中央政府需选择经济补贴制度，并辅以严格督查，确保地方政府选择合作行为。

结论 12 在系统趋于稳定时，中央政府选择严格督查或宽松督查，主要取决于地方政府的治污成本。即当地方政府的治污成本较高时，中央政府选择宽松督查；当地方政府的治污成本较低时，中央政府选择严格督查。

结论 13 对于(合作，合作，严格)稳定策略，当本地政府、外部政府、中央政府策略选择的比例越大，系统演化至 $x \rightarrow 1$ 、 $y \rightarrow 1$ 、 $z \rightarrow 1$ 的时间就越短、速度越快。但无论 x 、 y 、 z 取值如何变化，都不会改变群体的最终策略决策。

5 结语

现阶段，经济进步、城市发展与人口、资源环境的相互影响是城市及城市群发展面临的重要科学问题，为有效应对城市群的空间扩张及其资源环境负荷的加剧，本文在理论层面完善分权式环境规制下城市群污染跨区域协同治理机制，实现区域生态价值共创；在实践层面缓解城市群空间增长的资源环境压力，为跨域调控提供参考性方法和建议，具体如下：

(1)对于地方政府,其选择“合作行为”的概率,随着其他地方政府选择“合作行为”概率、中央政府选择“严格督查”概率的增加而提高;地方政府通过技术革新提升治理收益、降低治理成本或减少短期经济损失,将提高其选择合作行为的积极性。

(2)对于中央政府,其选择“严格督查”的概率,随着地方政府选择“合作行为”概率的减少而提高;中央政府加大奖惩力度、提高治理补贴,将促进督查概率的降低,使更经济高效的机制管理逐渐代替人力督查。

(3)在中央政府的约束下,本地政府、外部政府的系统稳定策略均趋向选择“合作行为”。中央政府只需提高地方政府合作治理中的奖励,即可降低督查概率,反之若中央政府在经济补贴和经济奖励中选择前者,则需提高督查概率,使系统进入良性循环。

为建立分权式环境规制下城市群污染跨区域协同治理路径,本文尝试提出两个方面的创新思路建议。

(1)在激励与约束机制基础上,中央政府在实施生态性补偿、经济性补贴政策的同时,建立合作性奖励、懈怠性惩罚机制等,有效推动合作治理联盟的达成与巩固。

(2)在环境污染区域联防联控机制基础上,建立地方政府成本投入与收益产出的多方合作优化协调机制,以此形成稳定的合作联盟以促进区域污染防治策略与行动的可持续性,实现城市群区域生态价值的共创。

本文的结论可看作是提高城市群污染跨区域协同治理机制合理性与有效性的一种思考。进一步的研究可全面分析地方政府在协同治理中的成本与收益差异,深入研究约束措施与调控力度,巩固“常态型”合作治理联盟的稳定性与持续性,将提升“内涵式”驱动力作为推动长期合作的根本保障。

参考文献:

- [1]张华. 地区间环境规制的策略互动研究—对环境规制非完全执行普遍性的解释[J]. 中国工业经济, 2016(7):74-90.
- [2]李雪松, 龙湘雪, 齐晓旭. 长江经济带城市经济-社会-环境耦合协调发展的动态演化与分析[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28 (3):505-516.
- [3]陈健鹏, 高世楫, 李佐军. “十三五”时期中国环境监管体制改革的形势、目标与若干建议[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(11):1-9.
- [4]魏娜, 孟庆国. 大气污染跨域协同治理的机制考察与制度逻辑—基于京津冀的协同实践[J]. 中国软科学, 2018, (10):79-92.
- [5]杨朝均, 呼若青, 冯志军. 环境规制政策、环境执法与工业绿色创新能力提升[J]. 软科学, 2018, 32(1):11-15.
- [6]陈黎明, 王文平, 王斌. 环境管制引致的环境技术创新及其偏向性[J]. 管理工程学报, 2018, 32(1):186-195.
- [7]TANG X, CHEN X. Mechanism of regional atmospheric pollution collaborative reduction compensation[J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(9):76-82.
- [8]WANG H, WANG B, Zhao Q. Antibiotic body burden of Chinese school children: A multisite biomonitoring-based

study[J].Environmental Science & Technology, 2015, 49 (8):5070-5079.

[9]JOHN M.The fourth revolution:The global race to reinvent the state[M].New York:The Penguin Press,2014 .

[10]陈真玲, 王文举. 环境税制下政府与污染企业演化博弈分析[J]. 管理评论, 2017, 29 (5):226-236.

[11]祁毓, 陈建伟, 李万新, 等. 生态环境治理、经济发展与公共服务供给—来自国家重点生态功能区及其转移支付的准实验证据[J]. 管理世界, 2019, 35 (1):115-134.

[12]姚洪心, 吴伊婷. 绿色补贴、技术溢出与生态倾销[J]. 管理科学学报, 2018, 21 (10):47-60.

[13]CHENG L,JIANG P,CHEN W.Farmland protection policies and rapid urbanization in China:A case study for Changzhou City[J].Land Use Policy,2015,48:552-566.

[14]ANURAG C,SAINI.Size optimization and demand response of a stand-alone integrated renewable energy system[J]. Energy,2017,124:59-73.

[15]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.

[16]王欢明, 陈洋愉, 李鹏. 基于演化博弈理论的雾霾治理中政府环境规制策略研究[J]. 环境科学研究, 2017, (4):621-627.

[17]KIRKMAN.Globalization and the environment[J].Australasian Journal of Environmental Management,2016,23(1):118-119.

[18]武晓利. 环保技术、节能减排政策对生态环境质量的动态效应及传导机制研究——基于三部门DSGE模型的数值分析[J]. 中国管理科学, 2017, 25 (12):88-98.

[19]CHEN C,LIU G,MENG F,et al.Energy consumption and carbon footprint accounting of urban and rural residents in Beijing through consumer lifestyle approach[J].Ecological Indicators,2019,98:575-586.

[20]LIN L,LIU G,WANG X,et al.Emergy-based provincial sustainability dynamic comparison in China[J].Journal of Environmental Accounting and Management,2018,6(3):249-261.

[21]陈燕丽, 杨语晨, 杜栋. 基于云模型的省域生态环境绩效评价研究[J]. 软科学, 2018, 32 (1):100-108.

[22]LI B,WU S.Effects of local and civil environmental regulation on green total factor productivity in China:A spatial durbin econometric analysis[J]. Journal of Cleaner Production,2017,153:342-353.