

从“搭便车”到区域协同

——区域政府间治霾策略博弈研究

柏 康 王世进 邵子健*

摘要:雾霾严重危害人民身心健康,对我国发展也造成了巨大困扰,而协同治霾则被广泛认可为科学治霾途径。鉴于此,本文以政府间协同为研究要点,构建中央政府与不同地方政府的三方演化博弈模型,分析了各方在不同政策倾向下的收益情况,并通过仿真分析研究了治霾收益、成本、区域异质性等不同要素变动对治霾政策稳定性的影响。结果表明:相较积极策略,中央政府采用消极规制策略更利于稳定协同治霾机制形成,且对于“搭便车”处罚力度越大,形成博弈稳定速度越快;除了直接的治霾成本和收益,区域异质性导致的分配系数差异是造成“搭便车”行为的关键因素;“搭便车”行为会造成中央政府社会效益的丧失,而促成地方政府协同治霾是中央政府获取社会效益的关键。在此基础上,本文分别从中央政府和地方政府的视角,提出了在机制建设及具体操作层面促进区域协同治霾的政策建议。

关键词:雾霾;协同治理;区域异质性;演化博弈;搭便车

一、引言

雾霾是备受关注的社会热点问题,也是我国最突出的环境问题之一,雾霾给社会发展和人民健康带来的伤害正变得愈发难以忽视。曹彩虹和韩立岩(2015)研究指出空气污染导致的健康总成本的增长率远高于同期地区GDP的增长率。中国每年由空气污染导致过早死亡的人数在120万至160万之间,经济损失最高可达年GDP的8%(Kamal et al., 2018; Hong et al., 2019)。此外,污染还将招致一定政府公信力的丧失,削弱当地对高层次人才的吸引力(李明、张亦然, 2019; Liu et al.,

*柏康,江苏师范大学商学院,邮政编码:221000,电子信箱:2573356977@qq.com;王世进,江苏师范大学商学院,邮政编码:221000,电子信箱:1975550972@qq.com;邵子健,江苏师范大学商学院,邮政编码:221000,电子信箱:1336560361@qq.com。

本文系江苏省研究生科研与实践创新计划项目“高铁开通与城市资源配置”(KYCX20_2091)和2022年度江苏师范大学双碳专项培育项目“多情景视角下淮海经济区碳达峰的协同机制与实现路径研究”的阶段性成果。感谢匿名审稿人提出的宝贵意见。文责自负。

2021)。而雾霾与各类空气污染物同根同源,危害巨大。党中央在十九届六中全会上再度表态要以前所未有的力度落实生态文明建设,但雾霾扩散范围广,流动性强,具有很强的空间溢出性和空间关联性,易大范围快速扩散,依靠单边或局部治理很难从整体上、根本上解决区域性雾霾污染问题(Wu & Li, 2017; 陈诗一、陈登科, 2018; Zhao et al., 2018; 刘萧萧, 2021; 齐园等, 2021)。因此,需要跨区域的协同治理行动以有效控制污染、降低治理成本(Wu & Li, 2017)。

在此情形下,强化区域联动、资源共享、相互倚重的协同治霾机制和协同责任意识便成为了打赢治霾攻坚战的重中之重。国外学者Jutze和Gruber(1962)最早提出了大气污染有扩散性的特点,其影响的不仅仅是一个地区的经济、社会、环境和群众利益,地区间应该联合起来,采取搭配性的措施,共同应对。陈诗一和陈登科(2018)则通过实证研究表明政府制定合理环境治理政策可实现降低雾霾污染和提高经济质量双赢。然而,区域异质性导致的经济利益和环境利益、个体利益和整体利益等利益调节成为阻碍各地雾霾治理统一战线形成的重大现实难题,区域合作治霾机制很难建立,由各地自发推动的协同雾霾污染防治行动难以实现。周凌一(2022)研究指出上级政府要求性的规制行为可以促成地方政府的非正式协同,采取一次性或应付性举措,而绩效考核则可以使地方政府达成制度化机构化的正式协同。换言之,区域政府间协同治霾行动需要原始推动力,比如上级政府规制,以及科学的协同机制(如绩效考核)等。为此,国内学者就如何实现稳定的区域政府间合作及合作过程中的协同治理机制做出了许多探索。赵树迪和周显信(2017)指出区域协同共治的困境主要源于跨行政区合作权责不清、监管失位、执行力不足、无序的府际竞争与府际博弈等因素。肖周燕和李慧慧(2021)从京津冀协同发展角度实证研究三地合作发展对雾霾治理的影响,结果指出在协同经济发展过程中雾霾共治也颇有成效。同样以京津冀地区为范例针对区域雾霾协同治理的研究还有许多,齐园等(2021)指出通过制定产业协同发展规划,京津冀三地自上而下的产业结构升级和转移可以实现减排;初钊鹏等(2017)则从集体行动的逻辑视角探究了地方政府在雾霾协同治理中的集体行为特征及影响因素,结果表明三地政府在合作治霾行动中的行为决策主要取决于当地在区域整体内“搭便车”与参与集体行动的收益比值,控制搭便车收益是集体行动成功的关键。

构建跨区域大气污染共同治理框架的关键在于多主体关系的处理,而多主体关系管理的核心则在于地方政府的利益博弈(汪伟全, 2016)。因此,近年来越来越多的学者通过构建博弈模型来模拟区域间政府在面对流域、大气等强扩散性污染治理问题上的行为决策,探寻府际间合作治污的稳定模式以及协同主体间的动机、利益分配和补偿机制(Li et al., 2021)。李胜和陈晓春(2011)指出,由于信息不对称和利益分配问题,中央政府的政策难以在地方得以施行,地方政府间博弈的非理性均衡是跨区域协同受挫的根因。高明等(2016)利用演化博弈模型测算出了中央政府参与和不参与模式下地方政府属地治污与合作治污四条路径的博弈结果,阐明了协同收益是达成政府间合作的必要条件,而合作的稳定性则取决于中央政府的参与力度和治理成本。景熠等(2021)进一步改进了博弈模型,研究表明在多政府参与的大气污染治理过程中,协同增量成本会产生成倍的负向影

响,是协同机制稳定的关键,而协同加成收益的正向效应则会边际递减,中央政府应适时引导规制,减少协同增量成本,调整收益激励模式。而在具体行动中,Jiang等(2017)的研究表明,协同治理政策既有自上而下的协调,也有地方政府间横向的协调,地方政府在响应中央的速度上存在差异,在治理指标和具体措施上也有差异。崔立志和陈秋尧(2021)则指出伴随环保政绩考核的加入,相邻城市的环保治理策略从“竞争”变为了“模仿”,相邻城市倾向于采取相似治理强度,“搭便车”助长了“搭便车”。国外学者将区域捆绑、签订合作协议和有效的奖惩机制视作重点(Tacconi et al., 2008; Liu et al., 2016),国内学者的观点则主要包括从全局规划打造雾霾污染区域协同治理网络和区域联防联控机制,坚持常态化监管模式,落实雾霾治理履责考核和环境规制政策等(汪伟全, 2014; 邵帅等, 2016; 刘华军、雷名雨, 2018)。

由上文可知,现有研究已就大气污染共治的重要性达成了共识,已有文献指出了构建跨区域协同治理框架的关键在于多主体关系的处理,而多主体关系管理的核心在于地方政府的利益博弈。在已有研究的基础上,本文的贡献点主要体现在以下方面:首先,已有文献主要集中在政策讨论和理论研究,较少有关协同可行性和具体实施环节影响要素的研究。本文在此基础上通过构建博弈矩阵模拟政府间协同治霾的利害得失,探索协同治霾模式形成路径和稳定性状况,针对性地对区域合作治霾可行性和关键点做出分析,进而为政策实施做出指引。其次,学者们更多关注跨区同级政府间的横向关系,而较少研究上下级政府之间的纵向协调。少数将上级政府纳入讨论的文章,或是未将中央政府纳入协同治理整体考虑博弈稳定,或是未在模型中具体给出上级政府参与方式。本文将中央政府的参与行为分为奖励和惩罚两类具体行为的同时,将中央政府的利益纳入了博弈整体考量,并对可能影响协同机制的参数做出了具体分析,对参数的影响程度做出了清晰说明。最后,本文从政府间异质性差异视角着眼,在博弈系统中引入收益分配系数,并在此基础上测试了不同参数变化时因博弈参与方博弈力量不均对其治霾决策的影响,博弈过程更贴近现实,结果可参考性也更强。

二、演化博弈模型构建

(一)问题描述

由于生态的整体性和污染的空间溢出性,面对以大气和水等强流动性污染问题时,需要跨区域政府间协调共治已逐步成为共识。只是同样是区域协同治理,雾霾治理与流域治理却不尽相同。一般而言,流域A的水质由上游 n 个地区共同决定,且流域A及其上游又共同影响着下游流域B的水质情况,流域协同问题存在明显的上下游关系,因此上游和下游地区在协同治理博弈中决策方式也有所不同(李胜、陈晓春, 2011)。而雾霾无上下游之分,在有限理性的决策中,横向平级的政府决策行为同质无差异,因此在博弈模型中,参与府际合作的多个地方政府便可简化为地方政府A和B(聂丽、张宝林, 2019)。此外,我国有明确的行政区划分,所以流域权属存在清晰界限,水污染更多

出现在靠近下游流域的行政边界处,在没有上级政府干涉的情况下,下游流域作为受害方选择协同治理倾向显然更高。在中央政府参与时,对受害方的生态补偿要求以及对“合作”与“不合作”的奖惩指示也更容易下达。而因为无上下游关系,同时不同于河流的位置固定,雾霾流动方向的随机性和流动范围的无序性更强,所以在设计雾霾协同博弈模型时,对于收益分配便无需做方向性考量。但是与此同时,不同的决策行为对于雾霾治理成本和收益的影响及分配则必须纳入思考。所以,在本文的博弈模型中还需要设置收益分配系数和不协同效益损失系数。总体而言,相较流域等环境问题,雾霾成因更庞杂、扩散更不规律、监测难度更大,政府间协同的权责划分也更不易,科学的协同治霾机制更难建立。

(二)模型基本假设

本文基于我国中央政府的规制政策对地方政府雾霾治理政策的影响,综合考虑各类影响雾霾治理参与者策略选择的因素,在借鉴聂丽和张宝林(2019)、李昊(2019)、高明等(2016)的研究基础上,提出了如下的参数假设:

假设1:在不考虑其他约束条件的情况下,将中央政府和地方政府在雾霾治理问题上的关系进行描述,构成一个完整的博弈系统。假设博弈的参与主体都是有限理性的参与者,每一个主体掌握的信息都是不完全的。

假设2:博弈系统中共有3个参与主体,即地方政府A、地方政府B、中央政府G。其中,地方政府A和地方政府B的策略集合为(协同治理、搭便车);中央政府G的策略集合为(积极规制、消极规制)。以 x 代表地方政府A在策略选择中秉持协同治理的概率,则 $1-x$ 为秉持搭便车的概率。同理, y 代表地方政府B在策略选择中秉持协同治理的概率, $1-y$ 为秉持搭便车的概率; z 代表中央政府G积极规制的概率, $1-z$ 代表消极规制的概率。

假设3:策略定义。协同治理表示地方政府A和地方政府B双方合作、优势互补,通过不断地努力以实现雾霾治理的最大收益,力争彻底解决雾霾问题。“搭便车”表示地方政府A和地方政府B双方在雾霾治理中一方积极治理雾霾而另一方则不治理雾霾,导致积极治理雾霾的一方无法获取预期治理收益。积极规制代表中央政府从正面引导地方政府进行雾霾治理,即对地方政府A和地方政府B之间的雾霾治理合作给予一些优惠政策,具体包括:对地方政府给予政策性补贴、对雾霾治理有成效的地方政府的未来发展给予更多的优惠政策。消极规制代表中央政府从反面限制地方政府雾霾治理中的不当行为,即对地方政府A和地方政府B在雾霾治理合作中的不当行为给予一定的处罚,具体包括:对地方政府A和地方政府B在雾霾治理合作中的“搭便车”行为给予惩罚。

假设4:设 R 为地方政府A和地方政府B雾霾治理的协同治理总收益, α 为地方政府A在雾霾治理总收益中的收益分配系数, β 为地方政府B在雾霾治理总收益中的收益分配系数。同时,收益分配系数 α 和 β 满足 $0 \leq \alpha, \beta \leq 1$ 且 $\alpha + \beta = 1$ 。

假设5:当地方政府A和地方政府B同时选择协同治理策略时,合作双方会获得额外收益 V_A 、 V_B 。同时,因为受中央政府G策略选择的影响,在政府积极规制策略选择前提下,合作双方获得的

额外收益 V_A 要大于在政府消极规制策略选择前提下合作双方获得的额外收益 V_B 。

假设6: 地方政府A和地方政府B的雾霾治理成本分别为 C_A 和 C_B , 当双方在合作中同时秉持协同治理策略时, 双方会因为合作提升效率而各自缩减治理成本 c_A 和 c_B , 故双方同时选择协同治理策略时的合作成本分别为 $(C_A - c_A)$ 和 $(C_B - c_B)$; 当地方政府中一方选择协同治理, 另一方选择“搭便车”行为, 则选择协同治理的一方在付出治理成本的情况下仍无法获取全部的治理收益, 即会因为选择“搭便车”行为一方的不作为导致治理效果受损, 损失系数为 $w_i (i = A, B)$ 。

假设7: 在中央政府G选择积极规制策略时, 中央政府会对协同治理的地方政府给予一定的政策性补贴和优惠政策, 设 G_A 和 G_B 为中央政府G给予协同治理的地方政府A和地方政府B的政策性补贴; 在中央政府G选择消极规制策略时, 中央政府会对选择“搭便车”行为的地方政府给予惩罚, 设 F_A 和 F_B 为中央政府G给予选择“搭便车”行为的地方政府A和地方政府B的惩罚(若双方均不治理即都以“搭便车”方式给与惩罚)。

假设8: 设 H 为地方政府A和地方政府B协同治理雾霾为中央政府G带来的社会效益, 例如政府的社会公信力、权威性、政策推行效率等。当地方政府一方选择协同治理, 另一方选择“搭便车”行为时, 会对社会效益带来减免, 减免系数为 $r_i (i = A, B)$ 。

综上所述, 参数设定和博弈支付矩阵见表1—3。

表 1	参数设定	
参数	定义	取值范围
x	地方政府A秉持协同治理的概率	$0 < x < 1$
y	地方政府B秉持协同治理的概率	$0 < y < 1$
z	中央政府G积极规制的概率	$0 < z < 1$
R	地方政府协同治霾的总收益	R
$\alpha、\beta$	地方政府A和B的雾霾治理总收益分配系数	$0 \leq \alpha, \beta \leq 1$ 且 $\alpha + \beta = 1$
$V_A、V_B$	地方政府A、B协同治霾额外收益	$V_A、V_B > 0$
$C_A、C_B$	地方政府治霾成本	$C_A、C_B > 0$
$c_A、c_B$	协同策略下治霾成本缩减	$c_A、c_B > 0$ 且 $C_A > c_A, C_B > c_B$
$w_i (i = A, B)$	“搭便车”行为一方的不作为导致的治霾效益损失系数	$0 < w_i < 1$
$G_A、G_B$	中央政府积极规制策略下对参与治霾地方政府的政策性补贴和优惠政策	$G_A、G_B$
$F_A、F_B$	中央政府消极规制策略下对“搭便车”地方政府的政策性处罚	$F_A、F_B$
H	地方政府协同治霾为中央政府G带来的社会效益	$H > 0$
$r_i (i = A, B)$	当地方政府一方选择协同治理, 另一方选择“搭便车”行为时的社会效益系数	$0 < r_i < 1$

表2 中央政府G积极规制时地方政府A和地方政府B协同雾霾治理的博弈支付矩阵

		地方政府B	
		协同治理 y	“搭便车” $1-y$
地方政府A	协同治理 x	$\alpha(R+V_A)+G_A-(C_A-c_A)$ $\beta(R+V_B)+G_B-(C_B-c_B)$ $H-G_A-G_B$	$\alpha R-C_A-w_A+G_A$ βR $\gamma_A H-G_A$
	“搭便车” $1-x$	αR $\beta R-C_B-w_B+G_B$ $\gamma_B H-G_B$	0 0 0

表3 中央政府G消极规制时地方政府A和地方政府B协同雾霾治理的博弈支付矩阵

		地方政府B	
		协同治理 y	“搭便车” $1-y$
地方政府A	协同治理 x	$\alpha(R+V_A)-(C_A-c_A)$ $\beta(R+V_B)-(C_B-c_B)$ H	$\alpha R-C_A-w_A$ $\beta R-F_B$ $\gamma_A H+F_B$
	“搭便车” $1-x$	$\alpha R-F_A$ $\beta R-C_B-w_B$ $\gamma_B H+F_A$	$-F_A$ $-F_B$ F_A+F_B

(三)演化稳定策略求解

1. 中央政府复制动态方程与演化路径

中央政府G选择积极规制策略时的期望收益为：

$$E_G^Y = xy(H-G_A-G_B) + x(1-y)(\gamma_A H-G_A) + (1-x)y(\gamma_B H-G_B) \quad (1)$$

中央政府G选择消极规制策略时的期望收益为：

$$E_G^N = xyH + x(1-y)(\gamma_A H+F_B) + y(1-x)(\gamma_B H+F_A) + (1-y)(1-x)(F_A+F_B) \quad (2)$$

中央政府G以 z 和 $1-z$ 的概率选择监管和不监管策略的期望收益为：

$$E(G) = zE_G^Y + (1-z)E_G^N \quad (3)$$

则中央政府G的复制动态方程为：

$$\begin{aligned}
 F(G) &= \frac{dz}{dt} = z[E_G^Y - E(G)] = z[E_G^Y - zE_G^Y - (1-z)E_G^N] = z(1-z)(E_G^Y - E_G^N) \\
 &= z(1-z)[x(F_A-G_A) + y(F_B-G_B) - (F_A+F_B)]
 \end{aligned} \quad (4)$$

2. 地方政府A复制动态方程与演化路径

地方政府A选择协同策略时的期望收益为：

$$\begin{aligned}
 E_A^Y &= zy[\alpha(R+V_A)+G_A-(C_A-c_A)] + z(1-y)(\alpha R-C_A-w_A+G_A) + (1-z)y \times \\
 &\quad [\alpha(R+V_A)-(C_A-c_A)] + (1-y)(1-z)(\alpha R-C_A-w_A)
 \end{aligned} \quad (5)$$

地方政府A选择“搭便车”策略时的期望收益为：

$$E_A^N = zy\alpha R + (1-z)y(\alpha R-F_A) - (1-y)(1-z)F_A \quad (6)$$

地方政府 A 以 x 和 $1-x$ 的概率选择协同和“搭便车”策略的期望收益为:

$$E(A) = xE_A^Y + (1-x)E_A^N \quad (7)$$

则地方政府 A 的复制动态方程为:

$$\begin{aligned} F(A) &= \frac{dx}{dt} = x[E_A^Y - E(A)] = x[E_A^Y - xE_A^Y + (1-x)E_A^N] = x(1-x)(E_A^Y - E_A^N) \\ &= x(1-x)[z(G_A - F_A) + y(\alpha V_A - \alpha R + w_A + c_A) + (\alpha R - C_A - w_A + F_A)] \end{aligned} \quad (8)$$

3. 地方政府 B 复制动态方程与演化路径

地方政府 B 选择协同策略时的期望收益为:

$$\begin{aligned} E_B^Y &= xz[\beta(R + V_B) + G_B - (C_B - c_B)] + z(1-x)(\beta R - C_B - w_B + G_B) + (1-z)x[\beta(R + V_B) - (C_B - c_B)] + \\ &\quad (1-x)(1-z)(\beta R - C_B - w_B) \end{aligned} \quad (9)$$

地方政府 B 选择“搭便车”策略时的期望收益为:

$$E_B^N = zx\beta R + (1-z)x(\beta R - F_B) - (1-x)(1-z)F_B \quad (10)$$

地方政府 B 以 y 和 $1-y$ 的概率选择协同和“搭便车”策略的期望收益为:

$$E(B) = yE_B^Y + (1-y)E_B^N \quad (11)$$

则地方政府 B 的复制动态方程为:

$$\begin{aligned} F(B) &= \frac{dy}{dt} = y[E_B^Y - E(B)] = y(1-y)(E_B^Y - E_B^N) = y(1-y)\{z(G_B - F_B) + x[\beta V_B + F_B - (C_B - c_B)] + \\ &\quad (1-x)(\beta R - C_B - w_B + F_B)\} = y(1-y)[z(G_B - F_B) + x(\beta V_B + c_B - \beta R + w_B) + (\beta R - C_B - w_B + F_B)] \end{aligned} \quad (12)$$

4. 演化博弈稳定分析

(1) 中央政府规制策略演化稳定分析。当 $x(F_A - G_A) + y(F_B - G_B) - (F_A + F_B) = 0$ 时, 有 $F(G) = 0$ 恒成立, 对于任意的 z 的取值都有中央政府稳定策略; 而当 $x(F_A - G_A) + y(F_B - G_B) - (F_A + F_B) \neq 0$ 时, 根据演化稳定理论, 若存在行为策略 z^* , 能使 $F(G) = 0$, $\left. \frac{dF(G)}{dt} \right|_{z=z^*} < 0$, 则中央政府处于演化稳定策略点。

$$\frac{dF(G)}{dt} = (1-2z)[x(F_A - G_A) + y(F_B - G_B) - (F_A + F_B)] \quad (13)$$

令 $x(F_A - G_A) + y(F_B - G_B) - (F_A + F_B) = 0$, 则:

$$x' = \frac{(F_A + F_B) - y(F_B - G_B)}{F_A - G_A} \quad (14)$$

$$y' = \frac{(F_A + F_B) - x(F_A - G_A)}{F_B - G_B} \quad (15)$$

当 $x > x'$ 或 $y > y'$ 时, 有 $\left(\frac{dF(G)}{dt} \right)_{z=1} < 0$, 即 $z = 1$ 是中央政府演化博弈的稳定策略点, 此时中央

政府倾向于采取积极的雾霾治理规制策略。当 $x < x'$ 或 $y < y'$ 时, 有 $\left(\frac{dF(G)}{dt} \right)_{z=0} < 0$, 即 $z = 0$ 是中

央政府演化博弈的稳定策略点,此时中央政府倾向于采取消极的雾霾治理规制策略。

(2) 地方政府治霾策略演化稳定分析。分为地方政府 A 治霾策略演化稳定分析和地方政府 B 治霾策略演化稳定分析。

当 $z(G_A - F_A) + y(\alpha V_A - \alpha R + w_A + c_A) + (\alpha R - C_A - w_A + F_A) = 0$ 时,有 $F(A) = 0$ 恒成立,对于任意的 x 的取值都是地方政府 A 的稳定策略;而当 $x(F_A - G_A) + y(F_B - G_B) - (F_A + F_B) \neq 0$ 时,同理分析

$$\frac{dF(A)}{dt} = (1-2x)[z(G_A - F_A) + y(\alpha V_A - \alpha R + w_A + c_A) + (\alpha R - C_A - w_A + F_A)] \quad (16)$$

令 $z(G_A - F_A) + y(\alpha V_A - \alpha R + w_A + c_A) + (\alpha R - C_A - w_A + F_A) = 0$, 则:

$$z' = \frac{-(\alpha R - C_A - w_A + F_A) - y(\alpha V_A - \alpha R + w_A + c_A)}{G_A - F_A} \quad (17)$$

$$y' = \frac{-(\alpha R - C_A - w_A + F_A) - z(G_A - F_A)}{\alpha V_A - \alpha R + w_A + c_A} \quad (18)$$

当 $z > z'$ 或 $y > y'$ 时,有 $(\frac{dF(A)}{dt})|_{x=0} < 0$, 即 $x = 0$ 是地方政府 A 演化博弈的稳定策略点,此时地

方政府 A 倾向于采取“搭便车”的治霾策略。当 $x < x'$ 或 $y < y'$ 时,有 $(\frac{dF(A)}{dt})|_{x=1} < 0$, 即 $x = 1$ 是地方政府 A 演化博弈的稳定策略点,此时地方政府 A 倾向于采取协同治理的雾霾治理规制策略。

当 $z(G_B - F_B) + x(\beta V_B + c_B - \beta R + w_B) + (\beta R - C_B - w_B + F_B) = 0$ 时,有 $F(B) = 0$ 恒成立,对于任意的 y 的取值都有地方政府 B 的稳定策略。

当 $z(G_B - F_B) + x(\beta V_B + c_B - \beta R + w_B) + (\beta R - C_B - w_B + F_B) \neq 0$ 时做如下分析:

$$\frac{dF(B)}{dt} = (1-2x)[z(G_B - F_B) + x(\beta V_B + c_B - \beta R + w_B) + (\beta R - C_B - w_B + F_B)] \quad (19)$$

令 $z(G_B - F_B) + x(\beta V_B + c_B - \beta R + w_B) + (\beta R - C_B - w_B + F_B) = 0$, 则:

$$z' = \frac{-(\beta R - C_B - w_B + F_B) - x(\beta V_B + c_B - \beta R + w_B)}{G_B - F_B} \quad (20)$$

$$x' = \frac{-(\beta R - C_B - w_B + F_B) - z(G_B - F_B)}{\beta V_B + c_B - \beta R + w_B} \quad (21)$$

当 $z > z'$ 或 $x > x'$ 时,有 $(\frac{dF(B)}{dt})|_{y=0} < 0$, 即 $y = 0$ 是地方政府 B 演化博弈的稳定策略点,此时地

方政府 B 倾向于采取“搭便车”的治霾策略。

当 $z < z'$ 或 $x < x'$ 时,有 $(\frac{dF(B)}{dt})|_{y=1} < 0$, 即 $y = 1$ 是地方政府 B 演化博弈的稳定策略点,此时地

方政府 B 倾向于采取协同治理的雾霾治理规制策略。

基于演化稳定策略的性质,根据上述求解过程,可以简要博弈各方的演化过程。如图 1(a)所示,对于中央政府 G 而言,在曲面 Q 中的点在 Z 轴方向稳定,在曲面 Q 左方的点将演化趋向于 $Z=0$, 在曲面 Q 右侧的点将演化趋向于 $Z=1$ 。同理,对于地方政府 A,在曲面 P 中的点在 y 轴方向稳定,在

曲面P上方上的点将演化趋向于 $y=1$,在曲面P下方的点将演化趋向于 $y=0$,如图1(b)所示。对于地方政府B,如图1(c)所示,曲面O中的点在X轴方向稳定,在曲面O左侧的点将演化趋向于 $X=0$,在曲面O右侧的点将演化趋向于 $X=1$ 。

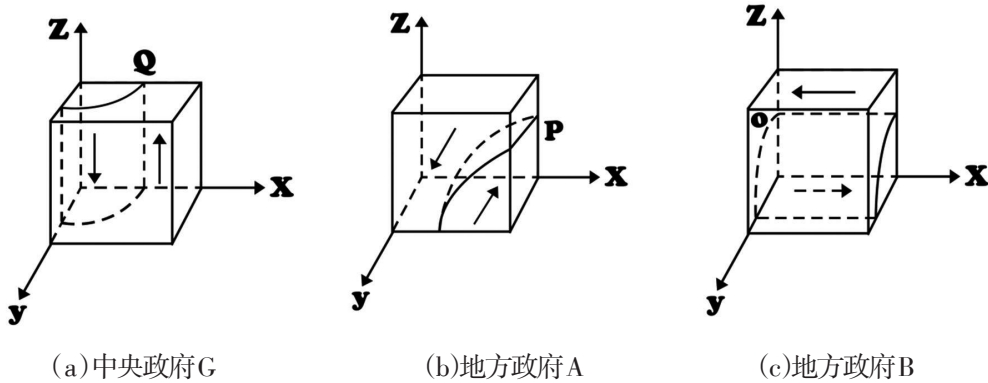


图1 各级政府策略演化过程

(3)协同治霾策略博弈系统演化稳定分析。将上述式(4)、式(8)和式(12)联立,可得复制动态系统:

$$\begin{cases} F(G) = z(1-z)[x(F_A - G_A) + y(F_B - G_B) - (F_A + F_B)] \\ F(A) = x(1-x)[z(G_A - F_A) + y(\alpha V_A - \alpha_R + w_A + c_A) + (\alpha R - C_A - w_A + F_A)] \\ F(B) = y(1-y)[z(G_B - F_B) + x(\beta V_B + c_B - \beta R + w_B) + (\beta R - C_B - w_B + F_B)] \end{cases} \quad (22)$$

与博弈系统动态方程组相应的雅可比矩阵为:

$$\begin{pmatrix} (1-2z)[x(F_A - G_A) + y(F_B - G_B) - (F_A + F_B)] & z(1-z)(F_A - G_A) & z(1-z)(F_B - G_B) \\ [x(1-x)(G_A - F_A)] & (1-2x)[z(G_A - F_A) + y(\alpha V_A - \alpha_R + w_A + c_A) + (\alpha R - C_A - w_A + F_A)] & x(1-x)(\alpha V_A - \alpha R + w_A + c_A) \\ y(1-y)(G_B - F_B) & y(1-y)(\beta V_B + c_B - \beta R + w_B) & (1-2y)[z(G_B - F_B) + x(\beta V_B + c_B - \beta R + w_B) + (\beta R - C_B - w_B + F_B)] \end{pmatrix}$$

在复制动态系统中,令 $F(G)=F(A)=F(B)=0$,可以得到局部均衡点为 $E1(0,0,0)$, $E2(0,0,1)$, $E3(0,1,0)$, $E4(0,1,1)$, $E5(1,0,0)$, $E6(1,0,1)$, $E7(1,1,0)$, $E8(1,1,1)$ 。依据演化博弈理论,满足雅可比矩阵的所有特征值都为非正时的均衡点为系统的演化稳定点(ESS)。

首先分析均衡点为 $E1(0,0,0)$ 的情况,此时雅可比矩阵为:

$$\begin{pmatrix} -(F_A + F_B) & 0 & 0 \\ 0 & \alpha R - C_A - w_A + F_A & 0 \\ 0 & 0 & \beta R - C_B - w_B + F_B \end{pmatrix}$$

可以看出,此时雅可比矩阵的特征值为 $\lambda_1 = -(F_A + F_B)$; $\lambda_2 = \alpha R - C_A - w_A + F_A$; $\lambda_3 = \beta R - C_B - w_B + F_B$ 。以此类推,将8个均衡点分别代入上述雅可比矩阵中,可以分别得到均衡点对应的雅可比矩阵的特征值如表4所示。

表 4

雅克比矩阵的特征值

均衡点	特征值 λ_1	特征值 λ_2	特征值 λ_3
E1(0,0,0)	$-(F_B + F_A)$	$\alpha R - C_A - w_A + F_A$	$\beta R - C_B - w_B + F_B$
E2(0,0,1)	$-(F_A + G_B)$	$\alpha V_A - C_A + c_A + F_A$	$-(\beta R - C_B - w_B + F_B)$
E3(0,1,0)	$-(F_B + G_A)$	$-(\alpha R - C_A - w_A + F_A)$	$\beta V_B + c_B - C_B + F_B$
E4(0,1,1)	$-(G_B + G_A)$	$-(\alpha V_A - C_A + c_A + F_A)$	$-(\beta V_B + c_B - C_B + F_B)$
E5(1,0,0)	$F_A + F_B$	$G_A + \alpha R - C_A - w_A$	$G_B + \beta R - C_B - w_B$
E6(1,0,1)	$F_A + G_B$	$G_A + \alpha V_A - C_A + c_A$	$-(G_B + \beta R - C_B - w_B)$
E7(1,1,0)	$F_B + G_A$	$-(G_A + \alpha R - C_A - w_A)$	$G_B + \beta V_B - C_B + c_B$
E8(1,1,1)	$G_B + G_A$	$-(G_A + \alpha V_A - C_A + c_A)$	$-(G_B + \beta V_B - C_B + c_B)$

根据Friedman(1991)提出的方法对雅克比矩阵的稳定性进行判定:雅克比矩阵的所有特征值均具有负实部,则均衡点为渐进稳定点;雅克比矩阵的特征值至少有一个具有正实部,则均衡点为不稳定点。根据原假设易知 $(F_A、F_B、G_A、G_B)>0$,可以判定在上述的雅可比矩阵中,稳定点只可能出现在E1(0,0,0),E2(0,0,1),E3(0,1,0),E4(0,1,1)四点。点E1(0,0,0)成为稳定点的必要条件是 $\alpha R - C_A - w_A + F_A < 0$ 且 $\beta R - C_B - w_B + F_B < 0$;点E2(0,0,1)成为稳定点的必要条件是 $\alpha V_A - C_A + c_A + F_A < 0$ 且 $\beta R - C_B - w_B + F_B > 0$;点E3(0,1,0)成为稳定点的必要条件是 $\alpha R - C_A - w_A + F_A > 0$ 且 $\beta V_B + c_B - C_B + F_B < 0$;点E4(0,1,1)成为稳定点的必要条件是 $\alpha V_A + c_A + F_A > C_A$ 且 $\beta V_B + c_B + F_B > C_B$; $\alpha V_A + c_A + F_A$ 和 $\beta V_B + c_B + F_B$ 即为地方政府治霾的协同收益。

在此基础上,为了便于分析不同均衡点所对应特征值的符号,且不失一般性,假设地方政府的治霾收益大于治霾成本,即 $\alpha R - C_A - w_A > 0$, $\beta R - C_B - w_B > 0$ 。在上述四个均衡点中,能够保证协同治霾模式稳定性的只有点E4(0,1,1),即两地方政府均选择协同策略,此时中央政府的治霾策略为消极规制。在 $\alpha V_A + c_A + F_A > C_A$, $\beta V_B + c_B + F_B > C_B$ 的条件下,对博弈系统的稳定性做出判定,其最终结果如表5。

表 5

地方政府协同治霾模式下演化稳定结果

均衡点	特征值			稳定性
	λ_1	λ_2	λ_3	
E1(0,0,0)	-	+	+	非稳定点
E2(0,0,1)	-	+	-	非稳定点
E3(0,1,0)	-	-	+	非稳定点
E4(0,1,1)	-	-	-	ESS
E5(1,0,0)	+	+	+	鞍点
E6(1,0,1)	+	+, -	-	非稳定点
E7(1,1,0)	+	-	+, -	非稳定点
E8(1,1,1)	+	+, -	+, -	鞍点

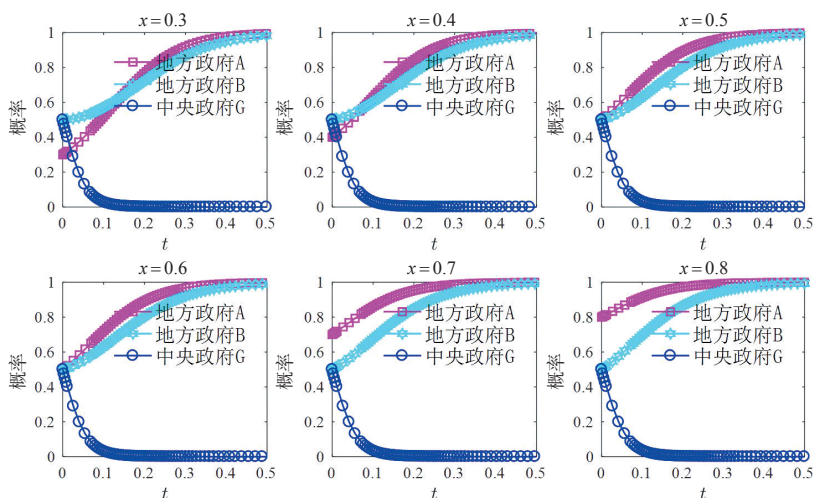
三、系统仿真与结果分析

为了更为直观地观察博弈系统各参数值变化对演化稳定状态的影响效果,运用MATLAB系统仿真工具模拟博弈系统从初始状态向演化稳定状态的动态轨迹。基于本文以上结论,在 $\alpha V_A + c_A + F_A > C_A$ 且 $\beta V_B + c_B + F_B > C_B$ 的条件下,即在保证协同治霾模式稳定性的演化框架内,模拟各参数之间的影响效果。参数设定如下:设定各博弈主体初始政策概率为中立即($x=0.5, y=0.5, z=0.5$),本文在实地调研的基础上,通过征询江苏徐州矿务集团、徐州环保局和审计局等多个资源型企业高管、政府雾霾治理部门负责人,以及相关领域专家学者的意见,在参考了大量相关文献的基础上(穆泉、张世秋,2013;姜丙毅、庞雨晴,2014;唐湘博、陈晓红,2017;聂丽、张宝林,2019;李昊,2019;初钊鹏等,2019;高明、廖梦灵,2020;张振华、张国兴,2021;张振华,2021),对模型中成本和收益等外部参数变量进行设定,以保证研究结果的准确性。其他各参数依据稳定性政策条件设定如下(所设参数处于相同量级):

$R=60; V_A=20; V_B=15; G_A=20; G_B=20; F_A=20; F_B=20; \alpha=0.6; \beta=0.4; c_A=12; c_B=10; C_A=30; C_B=25; w_A=20; w_B=20$ 。

(一)初始意愿对地方政府协同治霾演化的影响

由图2和图3可知,某一地方政府选择协同策略的初始概率越高,另一地方政府越倾向于选择协同策略。一方面,这是因为当一方地方政府选择协同治霾时,另一方政府可以决定选择协同以获取协同治霾成本缩减(c_A, c_B)及协同治理收益(V_A, V_B);另一方面,这也是由于在中央政府消极规制的举措下,地方政府更倾向于选择协同治霾以规避处罚,此时当一方表现出明显的协同治霾倾向,另一方因“搭便车”行为受到处罚的概率就会大大增加。故而当一方协同的意愿逐步增强,两地



注: t 表示演化周期,下同。

图2 x 对 y 和 z 的影响

方政府达成协同治霾共识的意愿更强、速度更快,这也使得演化系统达到稳定用时更短。此外,在当前赋值条件下,地方政府初始治霾策略的概率变动,并不会对中央政府的决策演化造成明显的影响。这表明中央政府在消极规制状态下可以达到演化稳定,且稳定状态受地方政府策略影响较小。

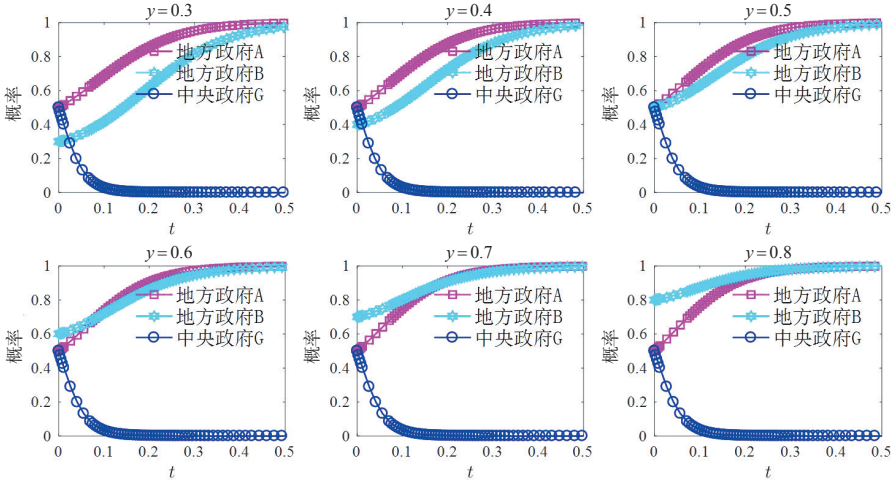


图3 y 对 x 和 z 的影响

由图4可知,中央政府选择积极规制策略的概率变化,对地方政府的治霾倾向只产生轻微的影响,且这种轻微的影响表现为随着积极规制策略的概率初始值增加,地方政府趋向协同治霾的速度有所降低,两个地方政府倾向于选择“搭便车”策略。这表明在政府采取积极规制的奖励政策时,地方政府倾向于选择不协同治霾的策略,在治霾博弈中,中央政府消极的惩罚策略比积极奖励策略更易推动地方政府进行雾霾治理。此外,在两个地方政府中,地方政府B更倾向于以“搭便车”的方式来谋求最大利益,在中央政府初始策略变化时所受影响也更大。这表明地方政府B受中央政府政策影响更为显著,上级政府应更多关注地方政府B的治霾状况。

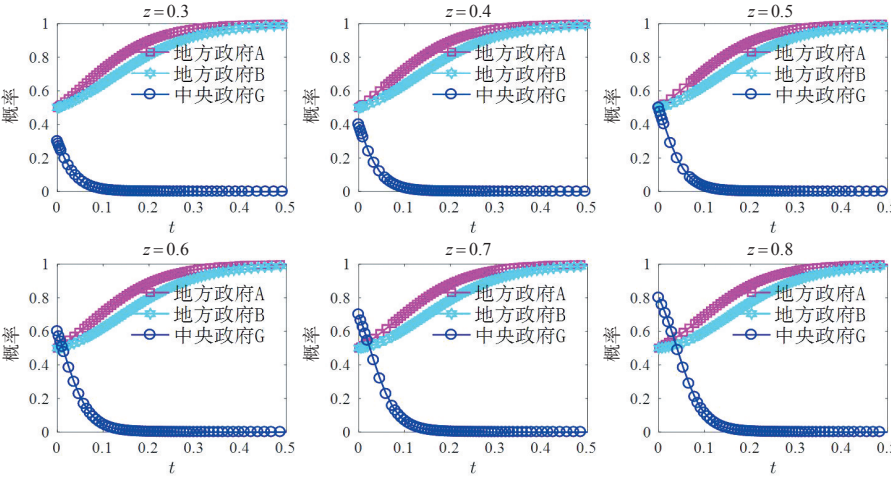


图4 z 对 x 和 y 的影响

(二) 参数敏感性分析

治霾总收益 R 对博弈系统的影响如图5所示。治霾的总体收益越高, 博弈系统达到稳定状态越难。这是由于总净收益越高, 协同收益在收益组成中造成的影响力越不足, 此时, “搭便车”收益得到强化, 政府对“搭便车”行为的惩罚的威慑力也会因为这种强化而降低。最终呈现出的博弈结果就是地方政府主动治霾的难度更大, 而中央政府则会以更快的速度倾向消极规制的策略以促进博弈系统稳定。进一步观察图5, 当收益 R 从100增至110, 地方政府策略变化明显, 其中地方政府B的演化策略选择方向已经发生了变化, 这表明地方政府B“搭便车”倾向更高, 在总收益超过一定数值时, 对地方政府的影响较之中央更为剧烈。

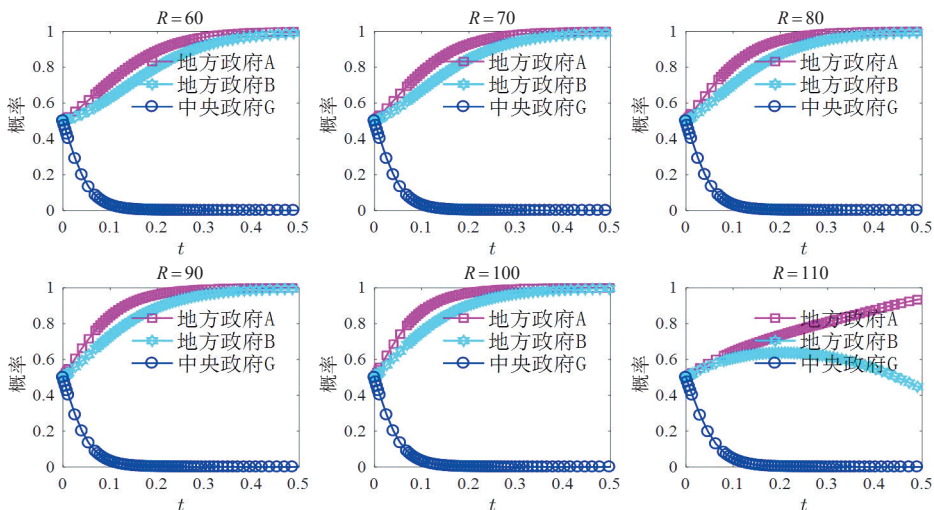


图5 治霾总收益对演化系统的影响

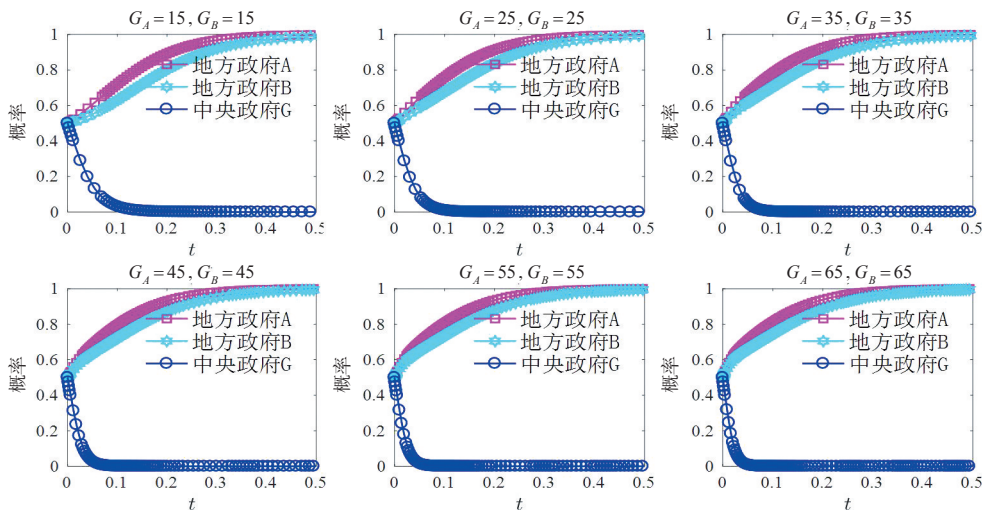


图6 协同治理政策性补贴对演化系统的影响

G_A 、 G_B 对博弈系统的影响如图6所示, 中央政府提供的政策补贴越高, 博弈系统越快达到稳

定状态。其中,地方政府达到稳定状态的速率变化很微小,只有很小幅地提前稳定,而中央政府则发生了较为明显的快速向消极规制策略的倾斜。这表明中央政府对协同治霾的政策性补贴额度提升并非是促进地方政府协同治霾的要因,即使是有一个较大的激励支持,地方政府协同治霾的倾向变化仍不显著。而在此情形下,补贴数值上升导致的中央财政支出加剧则加速了中央政府向消极规制策略靠拢。

图7反映了消极规制策略下,中央政府对地方政府消极治霾行为惩罚的变化对博弈系统的影响。由图可知,当惩罚额度较小时,地方政府更倾向于通过“搭便车”的方式获取雾霾治理的收益,尤其治霾收益分配系数较少的地方政府B,在惩罚力度较轻时更倾向于“搭便车”的方式。而当中央政府加大对“搭便车”行为的惩治力度时,地方政府的策略选择发生了巨大转变,两个地方政府为了避免遭受处罚都以较为明显的速度向协同治理策略转变,并且随着惩罚金额上升形成稳定协同治霾策略的速度也有明显提升。此外,随着惩罚力度的增加,中央政府亦更快演化至稳定状态。这表明随着惩罚力度的增大,中央政府的收益也在增加,只是当惩罚金额上升至25后,变化不再明显,这表示中央政府的惩罚力度也应有限额,需要谋定合适的消极规制策略才可使利益最大化。

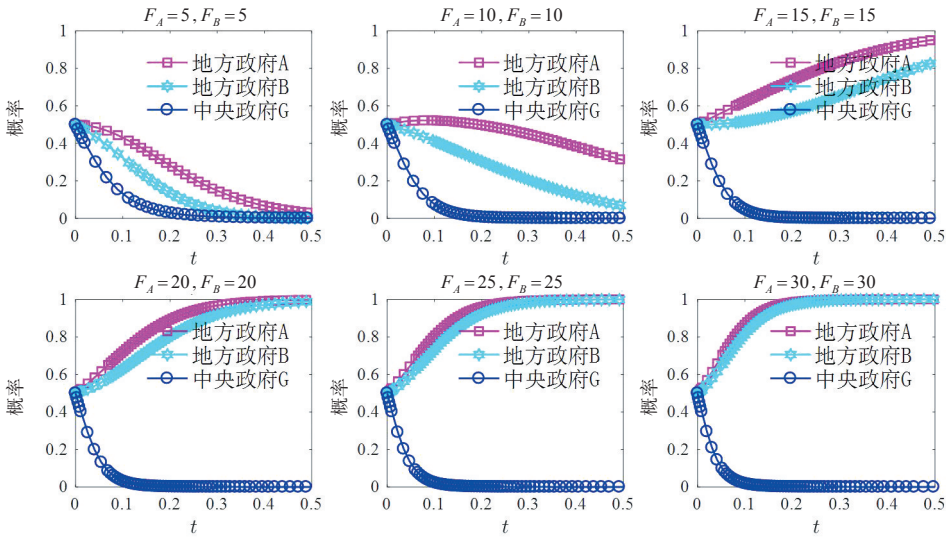


图7 中央政府对“搭便车”行为处罚对演化系统的影响

图8和图9分别反映了地方政府选择协同治霾形成的额外收益和协同治霾带来的成本缩减变动影响的博弈稳定性。两图都直观地反映出了协同治霾带来的好处越大,两地政府倾向协同治霾的时间越短,而对于中央政府的影响却并不明显。协同治霾收益增加显著提高了地方政府的协同倾向,但协同治霾对中央政府的收益增加体现在协同治霾的社会效益上,与地方政府协同收益的关系不大,故而中央政府受此影响程度较低。图10的结果也非常清晰,当治霾一方的收益因“搭便车”行为影响降低时,形成稳定的协同策略难度就会增加,这一点在两地方政府都有体现,地方政府B较地方政府A反应更加强烈一些,这也表明其“搭便车”心理更重,需要更多上级政府协调指导。

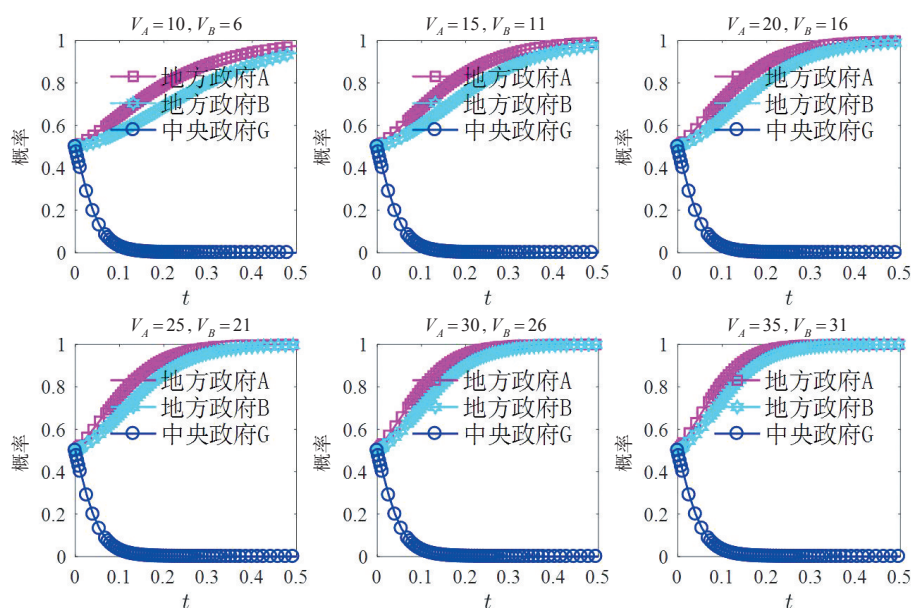


图8 协同治霾额外创收数额变动对演化系统的影响

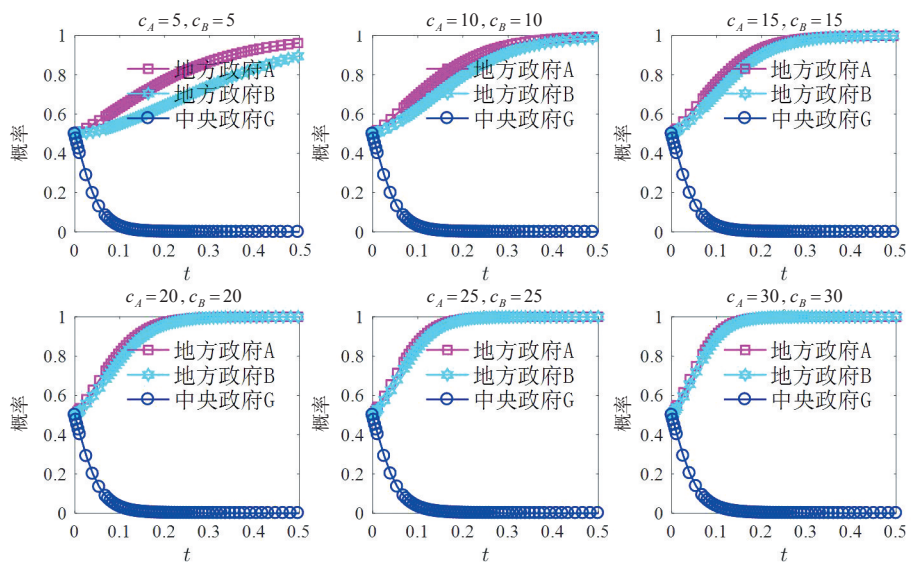


图9 协同治霾成本缩减数额变动对演化系统的影响

在其他激励因素不变的情况下,当雾霾治理的成本越高时,形成稳定的协同治霾难度越大,如图 11(a)所示,当治霾成本上升时,若不能获取更高的收益,地方政府选择治霾的愿景本身就不高,这自然加剧了双方协同治霾的难度。当治霾成本过高时,地方政府就会向“搭便车”策略倾斜,其中地方政府 B 对治霾成本增加的应对能力更低,可见其治霾意愿不足。进一步通过增加地方政府 A 的初始成本进行仿真,结果如图 11(b)所示,稳定性变化倾向较之前结果出入不大,仍是地方政府 B 改变幅度较大,这反映了收益分配系数差异性对治霾倾向的影响。

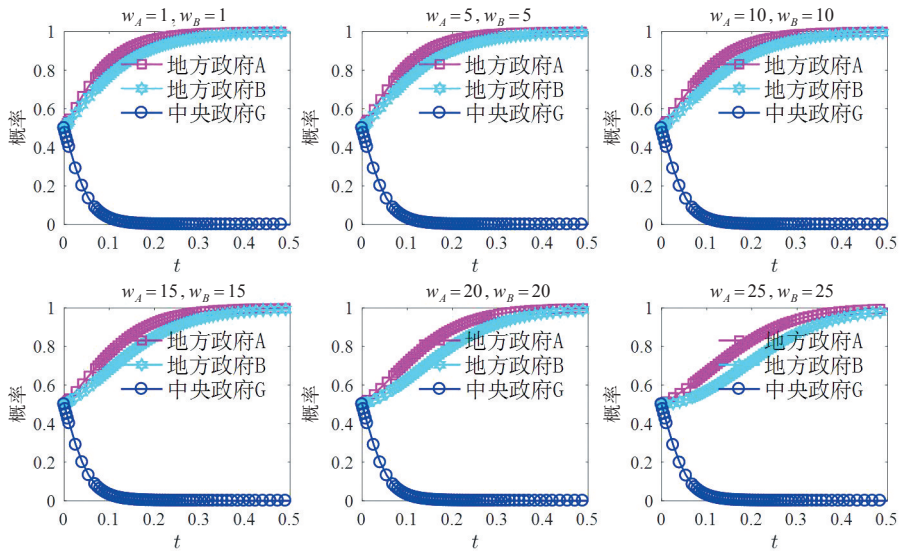
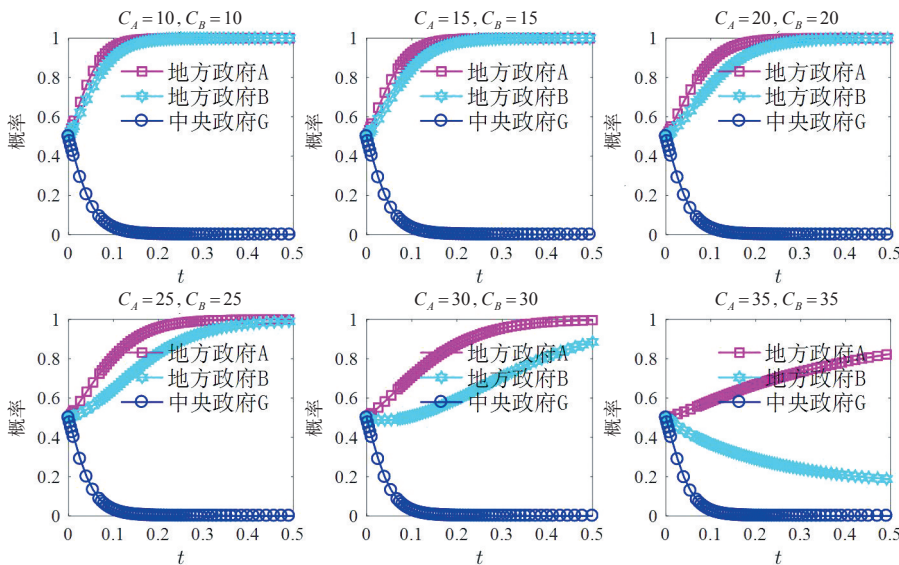


图10 “搭便车”导致的治霾收益缩减对演化系统的影响

由图12可知,地方政府的收益分配系数差异越大,博弈系统达到演化稳定状态所需的时间越长,这表明收益分配异质性本身会造成一方政府产生“搭便车”心理。但是在仿真图反映的结果中,收益系数较小的一方收敛于协同治霾的速度反而越快,这是因为在中央政府的政策调节下,政策补贴抵消了部分另一地方政府“搭便车”行为带来的收益缩减,同时选择协同治霾能使其免于政策处罚,这时获取的政策补贴和免除的政策处罚便可能弥补了其在分配收益上的劣势。由图12还可知,当双方对协同治霾收益均等分配时,两地方政府的演化曲线基本重合,进一步可以猜想,若两地其他因素相同,演化路径将完全相同,这一结果充分表明了治霾收益分配差异是造成两地治霾博弈结果不同的根本原因之一,而上级政府的调控作用则在雾霾治理中发挥着决定性的作用。



(a)

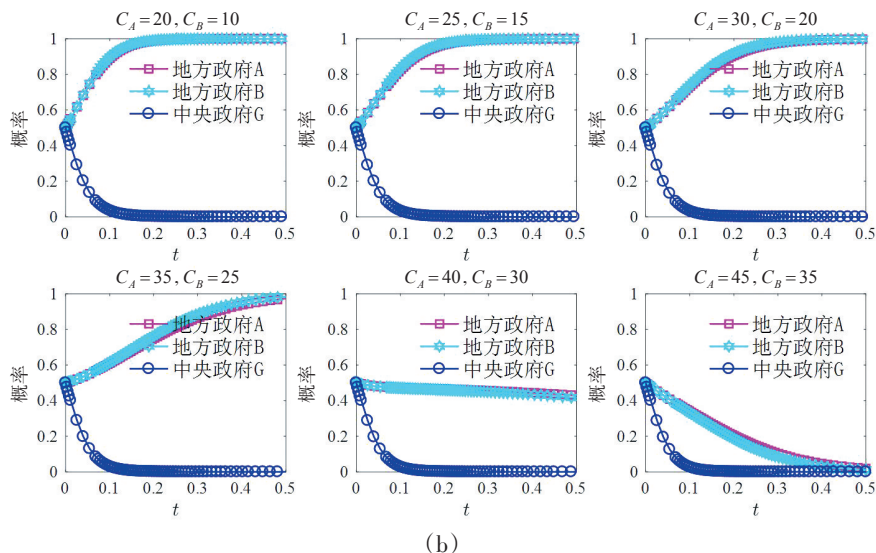


图 11 治霾成本变化对演化系统的影响

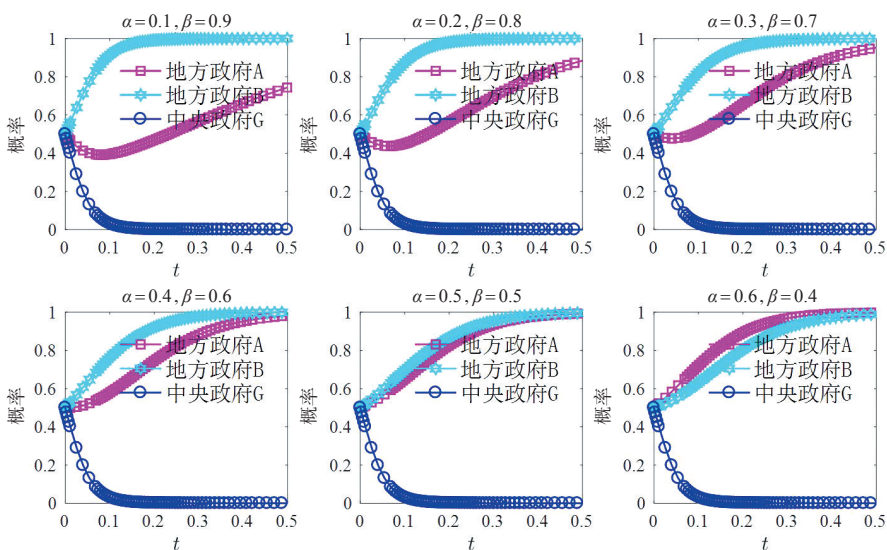


图 12 收益分配系数变化对演化系统的影响

四、研究结论与政策建议

(一)研究结论

本文构建了区域政府间协同治霾三方博弈模型,并据此进行了数值仿真分析,对协同治霾参与方的决策演化路径、影响要素及决策稳定性变化情况做出研究,得出了以下结论:

第一,在忽略异质性影响的情况下,地方政府选择协同策略的概率越小,中央政府越倾向于选择消极规制策略。在中央政府采取积极规制策略时,当一方政府倾向于选择协同,另外一方政府就会更倾向于选择“搭便车”。当中央政府采取消极规制时,一方政府选择协同,另外一方政府也更倾

向于选择协同。在地方政府参与协同治霾意愿不足时,上级政府对“搭便车”的政策处罚更利于促使府际合作治霾的实现。在博弈演化过程中,中央政府对“搭便车”的地方政府的政策性处罚也极大影响了其政策选择,只是当惩罚金额超过一个界限,惩罚带来的边际效益便会消失,即惩罚金额达到某一临界值时,再继续增加将不再提高地方政府选择协同治霾的意愿,该临界值为参与协同的地方政府中治霾成本较低一方的治霾成本金额。

第二,协同治霾的收益和成本都对政府的治霾决策有着重大影响,其中协同治霾总收益越高,两地方政府越倾向于选择协同治霾,治霾成本越高,两地方政府越倾向于“搭便车”,但当协同治霾总收益超过一定区间,一方政府可以通过“搭便车”获得超额收益超过由此带来的处罚成本时,中央政府的规制就会失灵。在协同治霾合作体系中对收益分配较少且治霾成本较低的一方,更易在总收益很高时“搭便车”。此外,地方政府协同治霾的额外收益及双方协同策略下治霾成本的缩减都能够促进地方政府做出协同决策,但此二者对中央政府决策选择的影响则不明显。协同策略下治霾成本的缩减对参与方达成协同治理的正向影响远远超过协同带来的额外收益的影响,可见,协同治霾决策对参与方治霾成本的降低是地方政府从“搭便车”到协同的关键。

第三,不同地方政府发展水平不同、环境基础不同、权力也不对等,这些因素共同导致了政府间异质性的存在,在博弈系统中体现为治霾收益分配比重的不同,这是造成治霾博弈决策差异的根本原因,也是影响协同模式稳定性的关键因素。在收益成本相同的情况下,分配系数较低的一方更倾向于“搭便车”。此外,分配系数较低的一方受成本、收益和处罚等各类要素变动的影响也更大,且通常更容易向“搭便车”决策转变。这表明在以自身利益最大化的理性博弈中,收益分配劣势一方更可能滋生“搭便车”的心理,这是需要中央政府重点关注的对象。

(二)政府间协同治霾政策建议

结合演化博弈模型分析过程和上述结论,本文从中央与地方政府间协同策略以及地方政府间协同策略两个角度提出政策建议,具体如下:

(1)因势利导,充分发挥中央政府的协同推动作用。协同治霾的形成有赖于中央政府的调控,而相较于鼓励性质的规制手段,严格的惩罚举措更利于雾霾治理的实施,中央政府应在保证惩罚力度的同时设定惩罚上限才可获得最佳的规制效果,同时中央政府的规制应以奖惩作为支持协同治霾的手段,以财政及其他方面资源作为支持治霾的激励。中央政府应更多关注弱积极性的一方,通过设计奖优罚劣的行政规制手段实现雾霾治理系统的稳定均衡。

(2)明确权责机制,划分权力界限。以治霾为例,不能仅仅依靠中央政府的力量,应妥善划分中央和地方政府在雾霾天气治理工作中的职权,以中央政府为指导中心,各级政府充分利用自己的自主权来制定和执行符合地方特色的政策法规协同参与。同时在雾霾治理问题上,应淡化人为的属地界限划分,不再只追究雾霾问题当地责任,而是在各市各县划定大范围跨区域的环保责任区,根据污染辐射范围按从中心到四周百分比递减的形式对整体污染范围内地区问责,强化政府间的合作治霾意识。

(3)把控整体方向,引导治霾创新。在中央政府与地方政府有关治霾的博弈中,中央政府需让渡充足的自主权发挥各地政府的积极性和创造力,但在大方向把控和顶层设计上中央政府需做好基础的协同制度保障。在治霾机制和方法上,中央政府应统筹全局,在倡导各地方政府创新的同时将优秀的实践经验在大范围层面上推广。

(4)协调利益分配,尽可能平衡各方权力与义务。地方政府是中央政府政策的实施层,执行中的利益摩擦不可避免。为了促进各级地方政府间的良性互动和协同治霾的顺利进行,各地政府间利益分配均衡必须得到重视。一方面要在各个区域的地方政府之间形成利益互惠和利益互补的格局,另一方面要落实区别责任,让雾霾污染严重地区与发达地区承担更多责任。具体实践中,需从各地政府对利益的基本诉求出发,尽可能地消除由于发展水平不同而带来的合作利益和成本分配不平衡的问题。在雾霾治理过程中,利益相关区域应当共同寻求多层次、多领域的合作,通过一定的利益互补与利益让渡促成能够实现利益共享、利益互惠和利益补偿的利益共同体。

(5)职责共担,加强政府间合作紧密度。所谓协同行动,就是要紧密合作、互信互利,在实际操作中可从以下几点出发:一是成立治霾专项机构,集中负责管控处理治霾事宜,且权力凌驾于各单一组成方,定期举行工作会议,要求治理各方及时反馈雾霾治理情况,分析并决定下一步雾霾天气联防联控的工作重点,并处理协同问题。二是严格落实相关协同方在各项治霾工作中的具体责任,但对外职责共担,将两地的雾霾问题看作同一问题,深度合作互相监督。三是完善协同治理区域内各主体的信息共享。不单是雾霾信息,还应包括各地方的经济发展以及产业政策方面的信息。一方面信息共享的主体要全面,不仅包括其他地方政府,还要包括区域内的社会大众、企业;另一方面信息共享要保证透明,信息要包含详细的证据和信息源以确保信息真实可靠。四是以协同发展推动协同治霾。在经济全球化形势下,各地在经济等领域的合作日趋密切,借此契机各级政府应努力突破区域壁垒,在加强引导市场,深化产业合作的同时,借鉴共同发展经验组织共同治霾,促进绿色发展。

(三)研究不足与展望

本文只是单纯从利益调配角度,以奖惩收支对中央政府“纵向规制”作用做出了探索。但事实上,中央政府的规制工具还包括机构嵌入、规则安排、政治引导和行政命令等,中央政府的参与除了调整各地异质性差异,其协同的动因以及在其他方面作用产生的价值是否应定量核算纳入系统考量还需要进一步研究。此外,地方治霾政策的选择也远不只是成本收益的估量那么简单,包括外部政策环境、当下产业状况、其他利益与协同利益的重叠程度等,这些因素影响了协同治霾的哪些环节,产生多大影响都需要纳入考虑。因此,在统筹上下级政府纵向协调与同级政府横向关系的基础上,还需有更具综合性和代表性的指标指导政策选择才能使有关协同治霾的研究更加真实有说服力。此外,雾霾治理与大气治理无法割裂,未来我们应该细分地区和行业研究雾霾及各类大气污染协同治理的方向,研究雾霾与大气污染的共同驱动因素和协同治理行动的影响要素,同时进一步完善包括不同级别政府、不同的政府部门、公益组织、企业和公众等多个参与方参与的协同治理多主

体框架,构建污染联合治理多主体、多学科研究框架,为制定有效的协同治理政策奠定基础。最后,系统收益的分配是影响博弈稳定的重要因素,协同治霾的收益分配问题也需更深入的研究,在多主体参与协同治理行动中必须有科学长效的收益分配方式,这是此后的研究需要关注的重点。

参考文献:

- [1] 曹彩虹,韩立岩. 雾霾带来的社会健康成本估算[J]. 统计研究,2015,32(07):19-23.
- [2] 陈诗一,陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J]. 经济研究,2018,53(02):20-34.
- [3] 初钊鹏,卞晨,刘昌新,朱婧. 雾霾污染、规制治理与公众参与的演化仿真研究[J]. 中国人口·资源与环境,2019,29(07):101-111.
- [4] 初钊鹏,刘昌新,朱婧. 基于集体行动逻辑的京津冀雾霾合作治理演化博弈分析[J]. 中国人口·资源与环境,2017,27(09):56-65.
- [5] 崔立志,陈秋尧. 雾霾治理、地方政府竞争与全要素生产率[J]. 环境经济研究,2021,6(01):120-139.
- [6] 高明,郭施宏,夏玲玲. 大气污染府际间合作治理联盟的达成与稳定——基于演化博弈分析[J]. 中国管理科学,2016,24(08):62-70.
- [7] 高明,廖梦灵. 雾霾治理中的协作机制研究:基于演化博弈分析[J]. 运筹与管理,2020,29(05):152-160.
- [8] 姜丙毅,庞雨晴. 雾霾治理的政府间合作机制研究[J]. 学术探索,2014,(07):15-21.
- [9] 景熠,曹柳,张闻秋. 考虑多元行为策略的地方政府大气治理四维演化博弈分析[J/OL]. (2021-11-18) [2022-08-21]. DOI: 10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2021.1005.
- [10] 李昊. 雾霾污染时空演变分析与异质性政府协同治霾博弈研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2019.
- [11] 李明,张亦然. 空气污染的移民效应——基于来华留学生高校-城市选择的研究[J]. 经济研究,2019,54(06):168-182.
- [12] 李胜,陈晓春. 基于府际博弈的跨行政区流域水污染治理困境分析[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(12):104-109.
- [13] 刘华军,雷名雨. 中国雾霾污染区域协同治理困境及其破解思路[J]. 中国人口·资源与环境,2018,28(10):88-95.
- [14] 刘萧萧. 长三角区域大气污染协同减排成本分担及其保障机制研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2021.
- [15] 穆泉,张世秋. 2013年1月中国大面积雾霾事件直接社会经济损失评估[J]. 中国环境科学,2013,33(11):2087-2094.
- [16] 聂丽,张宝林. 大气污染府际合作治理演化博弈分析[J]. 管理学报,2019,32(06):18-27.
- [17] 齐园,李源彬,张永安. 基于 Multi-Agent 的区域产业协同减排策略研究[J]. 软科学,2021,35(08):100-105.
- [18] 邵帅,李欣,曹建华,杨莉莉. 中国雾霾污染治理的经济政策选择——基于空间溢出效应的视角[J]. 经济研究,2016,51(09):73-88.
- [19] 唐湘博,陈晓红. 区域大气污染协同减排补偿机制研究[J]. 中国人口·资源与环境,2017,27(09):76-82.
- [20] 汪伟全. 空气污染的跨域合作治理研究——以北京地区为例[J]. 公共管理学报,2014,(1):55-64.
- [21] 汪伟全. 空气污染跨域治理中的利益协调研究[J]. 南京社会科学,2016,(04):79-84+112.
- [22] 肖周燕,李慧慧. 京津冀协同发展对大气污染防治的影响及作用机制[J]. 城市问题,2021,(02):36-43.
- [23] 张振华,张国兴. 地方政府之间合作治霾的演进逻辑——基于大气污染联防联控机制的案例分析[J].

环境经济研究, 2021, 6(03): 97-114.

- [24] 张振华. 政府间协同治霾的演进逻辑及效果评价研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2021.
- [25] 赵树迪, 周显信. 区域环境协同治理中的府际竞合机制研究[J]. 江苏社会科学, 2017, (06): 159-165.
- [26] 周凌一. 正式抑或非正式? 区域环境协同治理的行为选择——以2008—2020年长三角地区市级政府为例[J]. 公共管理与政策评论, 2022, 11(04): 120-136.
- [27] Friedman, D. Evolutionary Games in Economics[J]. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1991, 59(3): 637-666.
- [28] Hong, C. P., Q. Zhang, Y. Zhang, et al. Impacts of Climate Change on Future Air Quality and Human Health in China[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2019, 116: 17193-17200.
- [29] Jiang, L., X. T. Ye, and W. Zhang. Differences and Collaboration Quantitative Study on Air Pollution Control Policy in Beijing-Tianjin-Hebei and the Surrounding Areas[J]. *Environmental Technology & Innovation*, 2017, (08): 126-132.
- [30] Jutze, G. A. and C. W. Gruber. Establishment of an Intercommunity Air Pollution Control Program[J]. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 1962, 12: 384-7.
- [31] Kamal, J. M., W. F. Ye, M. Arora, and S. M. Shiva Nagendra. PM_{2.5}-Related Health and Economic Loss Assessment for 338 Chinese Cities[J]. *Environment International*, 2018, 121: 392-403.
- [32] Li, Z. P., X. L. Yuan, J. H. Xi, and L. Yang. The Objects, Agents, and Tools of Chinese Co-governance on Air Pollution: A Review[J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2021, 28(20): 24972-24991.
- [33] Liu, G., Z. Yang, B. Chen, et al. Prevention and Control Policy Analysis For Energy-Related Regional Pollution Management in China[J]. *Applied Energy*, 2016, 166: 292-300.
- [34] Liu, X., X. Dong, S. Li, et al. Air Pollution and High Human Capital Population Migration: An Empirical Study Based on 35 Major Cities in China[J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2021, 27: 643-652.
- [35] Tacconi, L., F. Jotzo, and R. Q. Grafton. Local Causes, Regional Co-operation and Global Financing for Environmental Problems: The Case of Southeast Asian Haze Pollution[J]. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 2008, 8(1): 1-16.
- [36] Wu, Y. and Z. Li. Can the Development of Electric Vehicles Reduce the Emission of Air Pollutants and Greenhouse Gases in Developing Countries?[J]. *Transportation Research Part D*, 2017, 51: 129-145.
- [37] Zhao, C., Y. Yan, C. Wang, et al. Adaptation and Mitigation for Combating Climate Change—from Single to Joint[J]. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2018, 4: 85-94.

From "Free-Riding" to Regional Synergy: Research on the Game of Regional Intergovernmental Haze Control Strategies

Bai Kang, Wang Shijin, Shao Zijian
(Business Collage, Jiangsu Normal University)

Abstract: Smog seriously endangers people's physical and mental health, and has also caused great trouble to our country's development. Collaborative haze control is widely recognized as a scientific way to control haze. In view of this, this paper takes inter-governmental coordination as the research point, constructs a tripartite evolutionary game model between the central government and different local governments, analyzes the benefits of each party under different policy inclinations, and studies the benefits, costs, and costs of haze control through simulation analysis. The results show that the central government adopts the negative regulation strategy rather than active strategy, which is more conducive to the formation of a stable and coordinated haze control mechanism. And the greater the penalty for "free-riding", the faster the stability of the game will be formed. In addition to the direct costs and benefits of haze control, the difference in distribution coefficients caused by regional heterogeneity is a key factor in "free-rider" behavior. "Free-rider" behavior will cause the loss of the central government's social effect, and the promotion of local governments' coordinated haze control is the key to its social benefits. On this basis, from the perspectives of the central government and the local government, this paper puts forward policy recommendations for promoting regional coordinated haze control at the level of mechanism construction and specific operations.

Keywords: Smog; Collaborative Governance; Regional Heterogeneity; Evolutionary Game; Free Rider

JEL Classification: G38 ,Q58 ,Q56

(责任编辑:朱静静)