

水资源开发利用生态补偿研究—— 以重庆市万州区为例¹

刘加伶¹, 时岩钧², 刘冠伸²

(1. 重庆理工大学计算机科学与工程学院, 重庆 400054;

2. 重庆理工大学管理学院, 重庆 400054)

【摘要】水资源开发与利用是流域稳定发展的前提与基础, 构建合理的生态补偿制度是解决水资源开发过程中各利益主体矛盾冲突及保障生态安全的有效办法。在长江经济带生态补偿机制构建背景下, 基于强互惠主体理论, 运用演化博弈方法分析了水资源生态开发利用时中央政府、当地政府、地方企业三者之间的利益诉求以及补偿行为的动态演化过程; 通过以存在复杂利益博弈关系的重庆市万州区水资源开发为案例开展实证分析, 对三者之间的利益互动关系与影响因素进行了 SD 仿真模拟和深入分析研究。研究结果表明: ①在中央与地方政府的博弈中, 中央通过提高生态补偿资金与政策支持水平, 会使得博弈更快达到帕累托最优状态; ②在地方政府与地方企业的博弈中, 政府征收较少的资源环境税会促使污染企业积极治理, 减少排污量; ③运用系统动力学验证了万州区水资源各利益主体行为规律与演化结果的一致性。针对研究结果, 提出了相应的生态补偿对策。

【关键词】生态补偿; 演化博弈; 实例测算; 水资源开发; 长江经济带; 重庆市

【中图法分类号】TV213 **【文献标志码】**A

1 研究背景

为了适应我国流域资源的开发速度与水资源的公共物品属性, 政府需要建立流域生态补偿机制, 以提供足够的流域生态服务, 保证流域的可持续发展。建设长江经济带是我国重要的经济发展战略之一, 流域境内水体环境恶化和生态污染加剧的现象, 已成为制约绿色发展的重要阻碍^[1]。因此建立长江经济带绿色发展体系, 实现水资源可持续利用和绿色发展, 是长江经济带经济发展的战略选择, 也是解决资源环境困境的必经之路。近些年来, 学术界对于水资源生态补偿有着不同层次的研究, 从研究内容来看, 主要集中在水资源生态补偿的定义^[2]、上下游流域生态补偿模型的构建^[3]、水资源生态补偿效率的测度^[4]、水资源生态补偿量化标准^[5]、水资源保护与政府财政之间的关系^[6]以及水资源安全^[7]等方面。研究对象主要为流域水资源生态补偿^[8]、水资源生态补偿参与者利益诉求^[9]等。研究区域一般为经济发达的长江流域与生态环境较为脆弱的西北地区^[10]。长江经济带作为国家目前重点开发建设的经济区域, 资源与经济发展矛盾尤为突出, 重庆市万州区更是其中的典型。因此, 建立该区域的水资源开发利用生态补偿机制, 对于地方经济发展有着重要的意义。以上的研究无疑对现今水资源生态补偿机制的构建有着巨大的推动作用, 但也存在一些不足, 比如:

¹收稿日期: 2019-12-26

基金项目: 国家社会科学基金项目 (16BGL122); 重庆市研究生科研创新项目 (CYS18316)

作者简介: 刘加伶, 女, 教授, 硕士生导师, 硕士, 研究方向为信息管理。E-mail: jialinliu@cqut.edu.cn

(1) 研究对象选择片面, 忽视了当前我国经济开发区建设进程中, 中央作为强互惠者参与治理的客观情况, 以及区域产业升级时地方政府监管力度不足的现象。

(2) 现有的研究方法主要是基于建立水资源生态补偿模型, 大多数模型只是基于过往数据对水资源生态补偿各方的意愿进行数值分析, 鲜少与实证案例的仿真工具相结合。

有鉴于此, 本文构建了基于中央-当地政府-地方企业的三方演化博弈模型, 并基于系统的动力学模型, 以重庆市的万州区生态补偿案例为研究对象开展实证分析。

2 基于演化博弈的水资源生态补偿关联

主体的利益均衡

2.1 中央与地方政府监管博弈分析

长江经济带作为我国近些年来经济开发与转型的重要区域, 在水资源利用中多出现资源枯竭、利用过度等情况, 为此本研究对长江经济带的实际情况进行了具体分析。长江横跨 11 个省、市、自治区, 流域的上下游之间经济发展差异较大, 部分地区的水资源基础设施建设不完善, 因此在现阶段长江流域水资源生态补偿中需要中央参与, 地方与企业共同配合的三主体的治理机制。

当前我国环境治理已经逐渐从中央负责转变到地方负责, 地方政府也因此对辖区的环境治理有着更大的责任, 但中央与地方政府仍在水资源治理责任判定、收益分配、开发目标等方面存在着分歧: 中央更多是强调以绿色发展为前提来发展经济, 实现水资源的可持续发展; 地方政府更多是强调自身的短期利益, 关心资源的开发给地方所带来的经济利益和增加就业量。在经济发展与政治声望的双重驱动下, 地方政府更倾向于在现有工业基础上加速发展, 在这个过程中对环境与企业的监管相对宽松。因此, 落实到具体的水资源开发进程中, 地方政府往往就会降低环境保护在经济发展中的优先级别, 利用水资源的负外部性效益以及相关法规的漏洞与中央进行博弈, 以达到加速地方经济发展的目的。

2.1.1 中央政府与地方政府博弈模型

假设在中央政府与地方政府的水资源生态补偿博弈中, 双方都会有执行和不执行两种行为选择。其中, 中央政府的策略集为(监管, 不监管)政府行为, 地方政府的策略集为(执行, 不执行)相关政策法规, 据此构建出演化博弈矩阵。同时, 设中央政府改变采取监管措施的概率为 X , 不采取监管措施的概率为 $1-X$; 地方政府执行措施的概率为 Y , 不执行措施的概率为 $1-Y$ 。基于此, 作出如下假设。

(1) 假设 1。当中央政府选择监管地方政府行为时, 监督成本为 G , 因政策执行对地方环境的社会与经济效益附加值记为 G_0

(2) 假设 2。地方政府执行生态补偿政策时的基本效用为金, 不执行生态补偿政策的效用记为 12 , 执行所付出的生态补偿成本记为 cL ; 同时会获得中央政府的政策支持资金 Tc , 不执行生态政策会有罚金 F 。

(3) 假设 3。在中央与地方政府博弈中因其为从属关系, 所以会存在一个强互惠者^[14], 即中央政府。作为强互惠者的中央政府, 当选择监管政策实施而地方政府消极执行时, 可以运用行政手段对相关责任人进行惩罚, 此时中央政府与地方政府各获得 U_1 、 U_2 单位负效用。同理, 当中央政府不进行监管, 地方政府主动实施生态补偿行为时, 中央政府与地方政府各获得 3、。4 单位正效应。在此基础上构建此次博弈的支付矩阵, 如表 1 所列。

表 1 中央政府与地方政府的生态补偿支付矩阵

		中央	政府
博弈主体及策略选择		监管 x	不监管 1-X
地方政府	执行 y	$L_1 - C_L + T_c, G - C_L - T_c - U_1$	$L_1 - C_L + T_c + U_4, G - T_c - U_3$
	不执行 1-Y	$L_2 - F - U_2, F - C_L - U_1$	$L_2 + T_c - U_2, -T_c$

基于上述分析，可以构建博弈双方的收益期望效用函数。其中，中央政府选择监管与不监管时的期望效用表达如下：

$$E_c^s = Y(G - C_L - T_c - U_1) + (1 - Y)(F - C_L - U_1) \quad (1)$$

$$E_c^n = Y(G - T_c + U_3) + (1 - Y)(-T_c) \quad (2)$$

可以得到中央政府的期望效用函数效用为： $E_c = XE_c^s + (1 - X)E_c^n$ 。

根据 Malthusian 动态方程^[15]，策略变化率等于微分方程，以此可以得到双方演化稳定策略的复制动态方程，进而求出企业与政府之间的演化稳定策略。

中央政府实行监管措施的复制动态方程以及一阶导数为

$$\begin{aligned} F(c) &= \frac{dx}{dt} = E_c^s - \overline{E_c} = (1 - X)(E_c^s - E_c^n) \\ &= X(1 - X)(F - C_L - U_1 + T_c - YF - YT_c - YU_3) \end{aligned} \quad (3)$$

$$F'(c) = (1 - 2X)[F - C_L - U_1 + T_c - YF - YT_c - YU_3] \quad (4)$$

当 $F(c)=0$ 时，两种群体采用不同策略的比例达到稳定状态。此时求得的中央政府稳定点的解为

$$X_1^* = 0, X_1^* = 1, Y_1^* = \frac{F - C_L - U_1 + T_c}{F + T_c + U_3}$$

同理，得到地方政府选择执行政策与不执行政策的期望效用函数为

$$E_L^p = Y(L_1 - C_L + T_C) + (1 - Y)(L_1 - C_L + T_C + U_4) \quad (5)$$

$$E_L^n = Y(L_2 - F - U_2) + (1 - Y)(L_2 + T_C - U_2) \quad (6)$$

地方政府的期望效用函数效用为

$$\overline{E_L} = XE_L^p + (1 - X)E_L^n \quad (7)$$

地方政府实行监管措施的复制动态方程以及一阶导数为

$$\begin{aligned} F(L) &= \frac{dy}{dt} = E_L^p - \overline{E_L} = (1 - Y)(E_L^p - E_L^n) \\ &= Y(1 - Y)[XF + XT_C - XU_4 + L_1 - L_2 + U_4 + U_2 - C_L] \end{aligned} \quad (8)$$

$$F^*(L) = (1 - 2Y)[XF + XT_C - XU_4 + L_1 - L_2 + U_4 + U_2 - C_L] \quad (9)$$

当 $F(L)=0$ 时，两种群体采用不同策略的比例达到稳定状态，此时求得的中央政府的稳定点的解为

$$Y_1^* = 0, Y_1^* = 1, X_1^* = \frac{L_2 - L_1 - U_2 - U_4 + C_L}{F + T_C - U_4}$$

2.1.2 中央政府与地方政府的演化稳定分析

基于以上分析，构建了雅可比矩阵来进行局部均衡点稳定分析，旨在测验该博弈系统的稳定状态。式(3)和式(8)的行列式与迹所构建的雅可比矩阵为

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(c)}{\partial c} & \frac{\partial F(c)}{\partial L} \\ \frac{\partial F(L)}{\partial c} & \frac{\partial F(L)}{\partial L} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1-2Y)[F-C_I-U_1+T_C-YF-YT_C-YU_3] & X(1-X)(-F-C_I-U_1) \\ Y(1-Y)(F+T_C-U_4) & (1-2Y)[XF+XT_C-XU_4+L_1-L_2+U_4+U_2-C_L] \end{bmatrix} \quad (10)$$

并依照矩阵的局部分析法,对均衡点进行稳定性分析,具体如表2所列。

表2 中央与地方博弈雅可比矩阵

均衡点	Det. J	TrJ
A(0, 0)	$P_1 \times O_1$	$P_1 + O_1$
B(1, 0)	$-P_1 \times I_1$	$I_1 - P_1$
C(0, 1)	$K_1 \times O_1$	$-K_1 - O_1$
D(1, 1)	$-K_1 \times I_1$	$K_1 - I_1$
E(X*, Y)	$-O_1 \times K_1 \times I_1 \times P_1$ $(F+T_c-U_4)(F+T_c+U_3)$	0

为了简化表达,设定:

$$P_1 = F - C_I - U_1 + T_C, O_1 = L_1 - L_2 + U_4 + U_2 - C_L, K_1 = C_I + U_1 + U_2, I_1 = F + L_1$$

在中央政府与地方政府的博弈中,最优解是(不监管,执行)组合,即中央政府不实行监管政策,地方政府自觉执行水资源生态补偿制度。在最优解条件下,已知 $k_1 > 0$,对参数 P_1 、 O_1 、 I_1 进行讨论,判断 Det. J、TrJ 的符号(见表3)。

表3 中央政府与地方政府局部均衡点稳定性分析

均衡点	情况 1: $P_1 > 0, O_1 > 0, I_1 > 0$			情况 2: $P_1 < 0, O_1 < 0, I_1 > 0$		
	Det. J	TrJ	局部稳定性	Det. J	TrJ	局部稳定性
A(0, 0)	> 0	> 0	不稳定点	< 0	-	鞍点
B(1, 0)	< 0	-	鞍点	> 0	> 0	不稳定点
C(0, 1)	> 0	< 0	ESS	> 0	< 0	ESS
D(1, 1)	< 0	-	鞍点	< 0	-	鞍点

由表3可以看出:以上两种情况可以达到(不监管,执行)的最优策略;其中, P_1 正负值不限制,而 O_1 、 I_1 的值需要大于0,所以可得:

$$\begin{cases} L_1 - L_2 + U_4 + U_2 - C_L > 0 \\ F + L_1 - L_2 + T_C + U_2 - C_L > 0 \end{cases}$$

由此可知:增加 L_1-L_2 的值,即地方政府进行生态补偿后的效益,提高 U_4+U_2 、 F 、 T_C ,即中央政府的财政补贴,减少 C_L 即地方政府进行生态补偿的成本,有利于达到均衡策略的最优条件,如图 1 中的情况 1 和情况 2 所示。由图 1 可以看出:此时, r_1 水平下移,双方行为选择大概率落在 E 点的左上方区域,则折线有更大的可能收敛于 C(0, 1) 点这一策略选择的最优点。

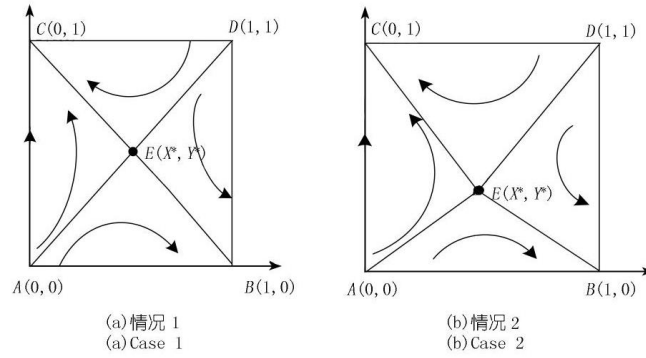


图 1 中央政府与地方政府博弈行为相位图

2.2 地方政府与当地企业的监管

博弈分析

在现阶段长江流域水资源的生态开发与补偿中,地方政府与企业因利益诉求而存在着分歧,双方在博弈中既有合作也有矛盾。一方面,当地政府与企业的需要是共同合作,政府希望通过建立经济开发区来增加税收与就业岗位,企业也想通过与政府的合作得到政策优惠;另一方面,企业出于长远发展与声誉的考虑,有较强的积极性来升级技术保护水资源。可是仅依靠这些并不能完全使企业与政府之间的利益达到均衡,势必有些企业为了追求经济利益最大化,会不按章办事或买通政府进行寻租行为。地方政府作为当地利益的维护者,将会对这类行为进行监督与整治,保持当地经济与环境协调发展的平衡,政企双方基于不同的利益诉求进行博弈,这是双方博弈的基础。

2.2.1 地方政府与当地企业博弈模型

在长江经济带水资源开发中,地方政府与当地企业博弈中既有合作又有矛盾。其中,地方政府的策略集为(监督,不监督),当地企业的策略集为(治理,不治理)。根据相关政策法规,构建演化博弈矩阵,同时设地方政府改变采取监督措施的概率为 a ,不监督措施的概率为 $1-a$;地方企业治理的概率为 β ,不治理的概率为 $1-\beta$ 。基于此,可以作出如下假设。

假设 1. 当地方政府的监督成本为 C_6 ,地方政府进行监管与不监管的收益分别为 R_1 和 R_2 ($R_1 > R_2$),在企业不履行治理责任的情况下,地方政府需要支付额外治理成本为 C_E 。

假设 2. 企业治理时投入的成本是 C_E ,由此可以收获到企业的良好声誉成本 X_1 ,如果不治理,将会收入到地方政府的罚金 H ;企业执行与不执行治理政策的收益分别为 D_1 和 D_2 ($D_1 > D_2$),将企业每年固定要缴纳的税收记为 t_e ,由此可以构建地方政府与企

业收益矩阵，如表 4 所列。

表 4 地方政府与企业的生态补偿支付矩阵

博弈主体及策略选择	地方政府	
	监督 a	不监督 1-a
当地企业 治理 β	$D_1+X_1-C_E-T_E, R_1-X_1-C_G+T_E$	$D_1+X_1-C_E, R_2-X_1$
不治理 $1-\beta$	$D_2-H-T_E, R_1+H-C_G-C_E+T_E$	D_2, R_2-C_E

政府与企业的期望效用函数效用分别为

$$\overline{E_G} = \alpha E_G^p + (1 - \alpha) E_G^n \quad (11)$$

$$\overline{E_B} = \beta E_B^p + (1 - \beta) E_B^n \quad (12)$$

此时, 地方政府实行监管措施的复制动态方程以及一阶导数为

$$F(\alpha) = \frac{d\alpha}{dt} = E_G^p - \overline{E_G} = \alpha(1 - \alpha)(R_1 - R_2 + H - C_G + T_E - \beta H) \quad (13)$$

企业实行治理措施的复制动态方程以及一阶导数为

$$F(\beta) = \frac{d\beta}{dt} = E_B^p - \overline{E_B} = \beta(1 - \beta)(D_1 - D_2 + X_1 - C_E + \alpha H) \quad (14)$$

2.2.2 地方政府与企业的演化稳定分析

根据以上分析结果, 构建了雅可比矩阵对均衡点进行稳定性分析, 如表 5 所列。为了简化表达, 设: $P_2=R_1-R_2+H-C_G+T_E$, $O_2=-H$, $K_2=R_1-R_2-C_G+T_E$, $I_2=D_1-D_2+X_1-C_E+H$ 。在地方政府与企业的博弈中, 最优解是(监督, 治理)组合, 即地方政府实行监督政策, 企业自觉进行生产方面的生态治理, 维持水资源可持续发展。地方政府的行政责任与中央不同, 在地方发展中往往要承担更多的具体事务, 比如监督政策实施与监管企业行为, 以此来树立良好的政府形象。同时, 企业也会通过实施水资源生态补偿来得到地方政府的财政补贴和当地居民的支持, 从长期的角度来看, 一个良好的生态环境也有利于企业的发展。这种地方政府适当监管与企业积极治理, 是符合绿色发展理念行为的最优解。在此条件下, 对参数 P_2 、 O_2 、 I_2 、 K_2 进行讨论, 判断 Det. J 、 TrJ 的符号, 有两种情况符合其演化博弈的最优策略, 具体情况如表 6 所列。

表 5 地方政府与企业博弈雅可比矩阵

均衡点	Det. J	TrJ
-----	-----------------	--------------

$F(0, 0)$	$P_2 \times I_2$	$P_2 + I_2$
$G(1, 0)$	$-P_2 \times K_2$	$K_2 - P_2$
$H(0, 1)$	$-O_2 \times P_2$	$O_2 - P_2$
$I(1, 1)$	$O_2 \times K_2$	$-O_2 - K_2$
$J(X^*, Y^*)$	$O_2 \times K_2 \times P_2 \times I_2$	0
	H^2	

表 6 地方政府与企业局部均衡点分析

均衡点	情况 1: $P_2 > 0, O_2 > 0, I_2 > 0, K_2 > 0$			情况 2: $P_2 > 0, O_2 > 0, I_2 < 0, K_2 > 0$		
	Det. J	TrJ	局部稳定性	Det. J	TrJ	局部稳定性
$F(0, 0)$	> 0	> 0	不稳定点	< 0	-	鞍点
$G(1, 0)$	< 0	-	鞍点	< 0	-	鞍点
$H(0, 1)$	< 0	-	鞍点	> 0	> 0	不稳定点
$I(1, 1)$	> 0	< 0	ESS	> 0	< 0	ESS

由表 6 可知：演化博弈中想要达到（监督，治理）的情况，各参数中 O_2 可正可负， $P_2 > 0, O_2 > 0, K_2 > 0$ ，从而可得： $P_2 = R_1 - R_2 + H - C_G + T_E, K_2 = R_1 - R_2 - C_G + T_E, I_2 = D_1 - D_2 + X_1 - C_E + H$ 。由此可知，增加 $R_1 - R_2, H, T_E, D_1 - D_2, X_1$ 的值，减少 C_G, C_E 的值，可以使博弈模型更快达到稳定点；如图 2 的情况 1 和情况 2 所示，地方政府与当地企业在博弈中有更大可能达到 $I(1, 1)$ 点，即（监督，治理）这一最优策略。这也表明：对地方政府而言，要减少监管成本并增加监管后的既得利益，比如监管罚金、环境税收等；对企业而言，要激励其进行生态治理，减小企业生态治理成本，提高企业进行生态治理后的利益，从而有利于达到均衡策略的最优条件。

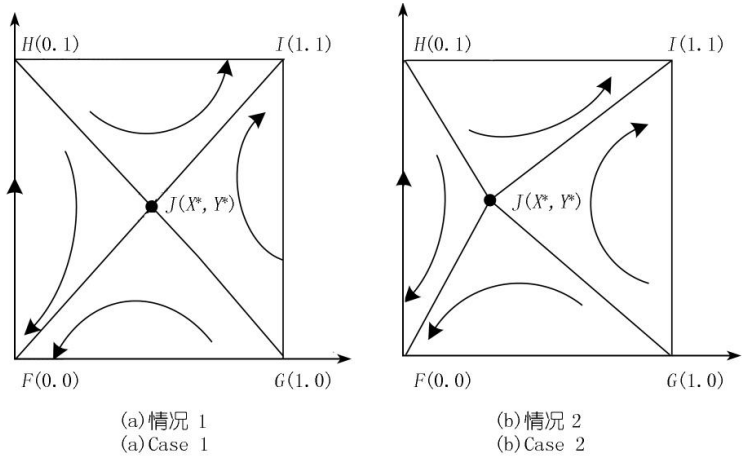


图 2 地方政府与企业博弈行为相位图

3 水资源生态补偿关联主体利益

均衡的实证

3.1 关联主体生态补偿分析

本研究以重庆市万州区为例进行实证分析。万州区作为渝东北重要的工业、商业、交通城区，在长江经济带建设中具有极其重要的位置。近年来，随着重庆市产业结构的升级，万州区政府着手于建设经济开发区，开发区内多为化工企业，对经济发展起到了一定的推动作用。然而在发展过程中，有些化工企业刻意地压缩本该用于治理排污的费用，导致工业废水不经处理而流入河流中；此外，万州区政府对水资源开发过程中的环境监管意愿不强。以上诸多因素导致了万州区水资源污染严重，长此下去，将会对长江沿岸以及长江中下游地区的生态环境造成不良的影响。针对上述情况，重庆市万州区人民政府及时反应，编制了《万州区贯彻落实水污染防治行动计划工作方案》，开展万州区的环境治理与水资源生态补偿工作。但是由于在水资源生态补偿中各利益主体的复杂性，需在实地调研与数据统计的基础上对案例中各方的行为进行分析。因此，本研究对重庆市万州区环保局以及相关工业园区进行了专访，对比水资源生态补偿的案例进行实证分析，与上述演化博弈中各利益主体之间的行为选择进行比较。采用贾舒娴^[14]等对生态补偿前后收益的估算方法，将重庆市万州区生态补偿前的收益以 2014 年进行计算，开始的收益用 2016 年的数据进行测算，长远收益则采用 2018 年的数据来表示。

3.2 参数测算与估值

3.2.1 中央政府和地方政府博弈的参数测算与估值

(1) 重庆市万州区中央政府的政策支持资金 4 用生态价值当量法⁷ 为基础进行测算，其公式表达如下：

$$Q = \sum Q(f, g, c, w, d, r) = \sum s_j \times e_j \quad (15)$$

$$Q = s_f \times f_e + s_e \times g_e + s_c \times c_e + s_w \times w_e + s_d \times d_e + s_r \times r_e \quad (16)$$

$$J = Q \times U \times L \quad (17)$$

$$T_c = Y = J - (D - I) \quad (18)$$

上述公式中:Q 为重庆市辖区内生态价值总量，f、g、c、w、d、r 分别为区内各湖泊、森林、农田以及湿地等生态分区的生态价值当量， s_j 为重庆市辖区生态系统的总面积， e_j 表示其中某一生态系统所对应的生态价值当量，J 为重庆市生态经济价值，U 为重庆市一个生态服务价值当量因子所对应的经济价值量，参考 2014 年刘春腊等^[16]所测算的中国各省市生态价值当量值，取值为 305.4hm²，已将调整系数 L 设为 1，Y、D、I 分别为重庆市生态经济剩余价值、预计治理污染的投入以及实际治理污染的投入。最后，得到中央政府对重庆市的生态补偿资金与财政转移支付资金 T_c 约为 40.860 亿元。

(2) 地方政府不执行政策支付的罚金 F，在重庆市万州区案例中，当地政府在环境恶化后积极实行监管与治理政策，此时地方政府所支付的罚金为 0。在其他案例查询中，中央政府一般很少直接对地方政府实施罚款，多是采用通报批评或问责官员等方式，设 F 值为 0。

(3) 重庆市执行生态补偿效用的收益，借鉴贾舒娴等的测算方法^[14]，2016 年全国财政收入同比增长 7.4%，重庆市财政收入同比增长 10.8%。重庆市 2016 年高于全国财政的增长率的部分，反映了地方政府执行生态补偿政策后的收益情况，则 $L_1 = L_2 \times (1 + 0.8\% - 7.4\%) = 2227.9 \times 103.4 = 2294.737$ 亿元。此外，公式中的其他数据如表 7 所列。

表 7 中央政府和地方政府博弈中参数定义及统计说明

参数	含义	数据来源	参数值
L_2	2014 年重庆市财政收入	《重庆市统计年鉴 2014》	2227.90

C_1	2016 年重庆市环保局预算支出	《重庆市统计年鉴 2016》	12.63
G	2018 年重庆市地区生产总值	《重庆市统计年鉴 2018》	19500.27
C_e	2016 年重庆市环境保护支出	《重庆市统计年鉴 2016》	13.96

3.2.2 地方政府和当地企业博弈的参数测算与估值

当地企业的生态建设与补偿成本 CE 主要包括 2 个部分:一部分是因排污问题引起的水资源污染进而导致当地居民生产与生活不便而应付出的生态补偿成本;另一部分为河流治理及环境恢复费用。主要通过以下方法进行测算。

(1)企业对居民身体健康的补偿金额 c_{DA} , 主要采用修正人力法与医疗费用法测量, 水污染对人群健康造成的经济损失包含每年早逝人群的健康损失而导致的经济价值、因病引起的病假损失及医疗费用两部分组成。

$$\begin{aligned}
 C_{DA} &= V1 + V2 \\
 V1 &= \text{早逝例数} \times VSL \quad (19) \\
 VSL(\text{每例早逝的统计生命价值}) &= GDP_{cs} \times \\
 &\quad \left[\frac{1 - (1 + g)^n (1 + i)^{-n}}{i - g} \right] = 5.19 \times \\
 &\quad \left[\frac{1 - (1 + 5.74\%)^{14} (1 + 6.80\%)^{-14}}{6.80\% - 5.74\%} \right] = 249.07 \text{ 万元} \\
 &\quad (20) \\
 V2 &= \text{住院病例} \times \text{患者的误工天数} \times \\
 &\quad (\text{人均收入} + \text{每日医疗费用}) = 132 \times 10 \times \\
 &\quad (120 + 90) = 27.72 \text{ 万元} \quad (21)
 \end{aligned}$$

上述式中: $V1$ 为万州区水资源污染给当地居民造成的经济损失及居民健康成本; GDP_{cs} 采用 2014 基准年计算, 万州区的人均 GDP 为 5.190 万元; i 为万州区的经济增速 6.8%; g 为万州区的贴现率以 3a 以上银行贷款计算, 为 5.74%; n 为早逝损失的工作年数, 借鉴胥卫平等^[17]研究成果测算的因水污染而损失的工作年数约为 14a。同时, 根据卫生统计与服务部门的资料而获取的医疗费用及病例调查表明: 2014 年, 万州区可查病例记录约为 132 例, 早逝病例约为 4 例, 平均住院天数为 10d, 每人医疗费用约 1000 元。所以 $C_{DA}=249.07+27.72=276.79$ 万元。

(2)对于河流治理及环境恢复费用, 主要是采用实际调研以及运用影子价格来测算因水资源污染所要付出的社会、经济及生态环境价值。

万州区工业开发园区产生的占地面积为 33.5km², 截至 2016 年, 初步测算万州区居民每人用水的经济费用为 1 元, 1a 共需要 1.5 亿元; 同时, 工业用地并占据了农耕地 15.0km², 结合自然以及当地人文经济因素, 借鉴于相关的耕地价值计算公式, 经计

算得到万州区的补偿标准为 152.63 万元/hm², 共计 22.89 亿元。基于以上公式计算出企业的生态建设与补偿成本 C_e 为 24.39 亿元。

(3) 企业执行与不执行生态治理政策的收益为 D₁ 和 D₂ (D₁>D₂)。

2015 年, 重庆市万州区工业园区整体的企业营收收入为 521.00 亿元; 2016 年, 万州区工业园区企业营收收入为 621.00 亿元, 年收入增长率为 12%, 全国工业园区平均增长率为 6%, 则 2016 年万州区工业园区相对于全国工业园区而言的营业收入增长率的增加值即表示万州区工业园区进行生态补偿前后的收益, 亦即 $D_1 = D_2 \times (1 + 12\% - 6\%) = 521 \times 106\% = 552.26$ 亿元。

博弈公式中的其他数据如表 8 所列。

表 8 地方政府与当地企业博弈中参数定义及统计说明

		the model	亿元
参数	含义	数据来源	参数值
C _g	2016 年万州区一般公共支出	重庆市统计局	84.450
H	按最大值计算	《重庆市工业园区管理条例》	0.004
X ₁	政府给予补贴	重庆市人民政府网	1.160
D ₂	2015 年重庆工业园区产值	重庆市万州区人民政府工作报告	521.000
R ₁	2016 年万州区财政收入	重庆市万州区人民政府工作报告	91.300
R ₂	2014 年万州区财政收入	重庆市万州区人民政府工作报告	89.500

3.3 生态补偿中各方利益主体的实证

模拟结果

水资源生态补偿系统动力学模型仿真, 主要是验证上述演化博弈模拟结果的正确性并进一步预测博弈主体行为的概率变化率。因此, 构建系统动力学模型来进行仿真研究, 主要设计思路是拟通过水资源生态补偿中央政府、地方政府、当地企业博弈的相互制衡影响关系来搭建 SD 模型, 如图 3 所示。

结合博弈过程中的复制动态方程, 以及表 7 和表 8 中所列出的案例数据与部分测算值, 运用 Vensim. PLE 软件, 对水资源生态补偿中各方利益主体的动态博弈行为进行仿真模拟。三方主体行为的动态演化结果分别如图 4 和图 5 所示。

上述案例中, 中央与地方政府博弈时的具体实证数据为 $F - C_l - U_1 + T_c > 0, L_1 - L_2 + U_4 + U_2 - C_l > 0, F + L_1 - L_2 + T_c + U_2 - C_l > 0$, 满足表 3 中局部稳定点的情况 1。由图 4 可知: 此时在中央政府与地方政府的博弈中, 实现中央政府不监管, 地方政府主动实施生态保护策略, 达到了帕累托最优策略(不监管, 实施), 这是因为在此次博弈中, 地方政府不执行政策支付罚金 F 较低时, 获得的中央财政转移补贴资金较多; 同时, 在执行政策后地方政府得到的收益较大, 能够缓和其所付出的生态治理成本, 使地方政府有更高的积极性来进行环境监督与治理工作。由图 4 还可以看出: 地方政府实施政策曲线的斜率要大于中央政府实施政策的斜率, 表明在双方的博弈过程中, 中央政府并不会直接放弃对地方的监管, 而是具备一个考察过程。因此, 地方政府有更强烈的积极性实行治理行为。

根据图 5 可知: 在地方政府与当地企业的博弈过程中, 可以达到地方政府监督, 企业自觉治理这一最优均衡策略。算例中具体数值符合表 6 均衡点分析中情况 1 的数值, 即 $p_2 > 0, O_2 > 0, I_2 > 0, K_2 > 0$ 可以在演化博弈中达到(监督, 治理)这一最优策略。这是因为在该案例中, 地方政府可以通过高效率的监管方式取得良好的成效, 虽然所征收的资源税不高, 但因此获得了较好的民间声

誉与地区长期发展的可能性。对企业而言,虽然短期利益受损,但是可以获得足够弥补其损失的长期的经济收益与心理收益,并使企业的负外部性效益降到最低,长远来看,有利于企业在当地的发展建设。

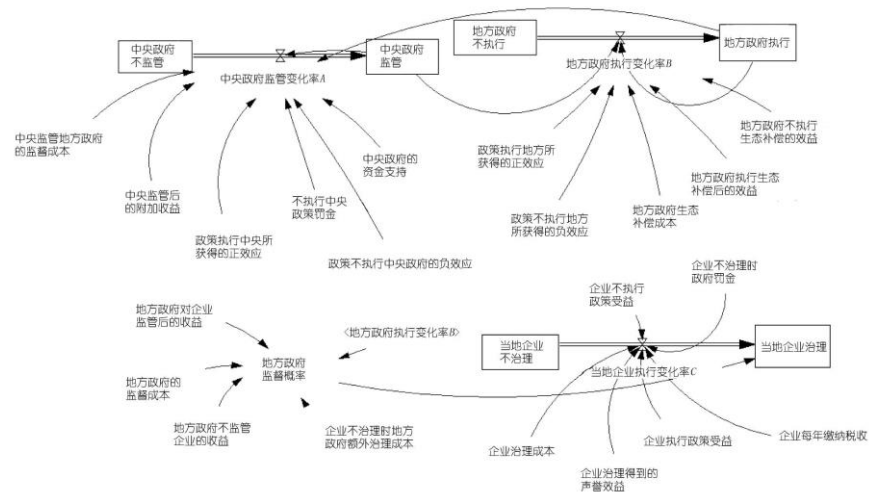


图3 水资源开发生态补偿系统动力学图

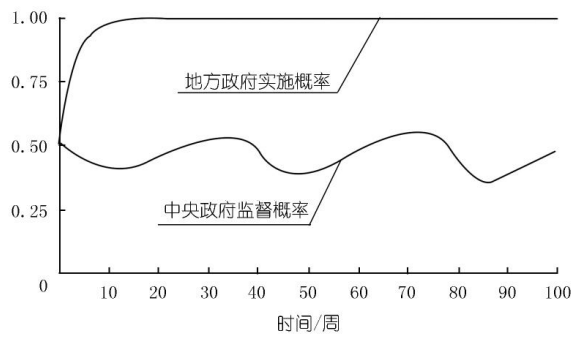


图4 中央与地方政府博弈行为博弈仿真

由图5还可以看出：企业实行治理措施曲线的斜率要高于当地政府实施监督措施曲线的斜率。这就表明：在双方的博弈中，地方政府出台的政策与具体落实监督是一个平稳的过程，而当地企业对于政策变化表现出的较为敏感，会较快达到合作路径。

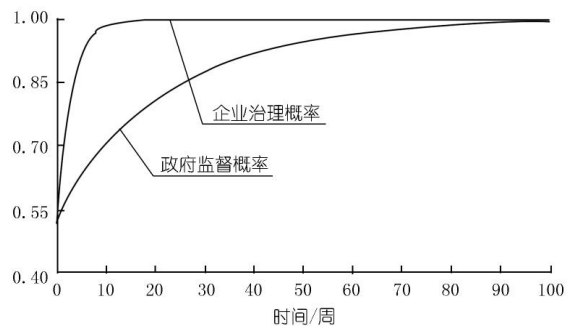


图5 地方政府与当地企业行为博弈仿真

4 结论与建议

基于以上模型与实证研究结果可以看出：在中央政府与地方政府的博弈中，中央政府补贴与罚款、地方政府监督成本以及收益都会直接影响到双方的行为选择；地方政府与当地企业博弈时，地方政府的监督成本、企业治理成本等因素对双方行为的选择起着正向激励或者负向激励的作用。以重庆市万州区水资源生态补偿案例为例开展了实证分析，结果表明，仿真结果与实际案例中各方选择的行为相一致。

根据本研究的博弈与实证分析中影响水资源生态补偿最优策略解的变量，提出了以下政策性建议：

(1) 要因地制宜地实施监管模式，制定合理的奖惩机制。中央政府在制定政策时，应充分考虑到地方的区域发展与水资源开发的具体状况，可以征收并逐步提高水资源生态环境补偿税(费)。

(2) 完善地方政府水资源考核制度，鼓励地方政府主动执行水资源保护政策；将水中污染物增加量、三废污染物减少量以及公众对于水资源环境的满意度等纳入到考核指标的经济发展权重系数中。

参考文献：

- [1] 姚瑞华, 李赞, 孙宏亮. 全流域多方位生态补偿政策为长江保护修复攻坚战提供保障《关于建立健全长江经济带生态补偿与保护长效机制的指导意见》解读[J]. 环境保护, 2018, 46(9): 20-23.
- [2] 陈兆开, 施国庆, 毛春梅. 流域水资源生态补偿问题研究[J]. 科技进步与对策, 2008, 25(3): 51-55.
- [3] 杨芳丽, 耿嘉良, 付中敏, 等. 长江中游航道整治中生态技术应用探讨[J]. 人民长江, 2012, 43(24): 68-71.
- [4] BO S, MING W, DU J, et al. Multi-attribute Group Decision Making Method of Ecological Water Compensation Program Based on Preference of Decision Makers [J]. Journal of Coastal Research, 2015(73): 606-610.
- [5] CUPERUS R, CANTERS K J, PIEPERS A A G. Ecological compensation of the impacts of a road. Preliminary method for the A50 road link (Eindhoven—Oss, The Netherlands) [J]. Ecological Engineering, 1996, 7(4): 327-349.
- [6] MTETWA S. Experiences in the water resources development and management for sustainable use in Zimbabwe [J]. Natural Resources Forum, 2010, 23(1): 31-42.
- [7] 张凤太, 王腊春, 苏维词. 基于 DPSIRM 概念框架模型的岩溶区水资源安全评价[J]. 中国环境科学, 2015, 35(11): 3511-3520.
- [8] 赵玉, 张玉, 熊国保. 基于随机效用理论的赣江流域生态补偿支付意愿研究[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 26(7): 1049-1056.
- [9] 杨光明, 时岩钧. 基于演化博弈的长江三峡流域生态补偿机制研究[J]. 系统仿真学报, 2019, 31(10): 2058-2068.
- [10] 郭文献, 付意成, 闫丽娟. 治理修复型水生态补偿问题分析[J]. 自然资源学报, 2013, 28(9): 1538-1546.
- [11] 徐大伟, 刘春燕, 常亮. 流域生态补偿意愿的 WTP 与 WTA 差异性研究：基于辽河中游地区居民的 CVM 调查[J]. 自然资源学报, 2013, 28(3): 402-409.

-
- [12]刘加伶, 时岩钧, 陈庄, 等. “长江经济带”背景下政府补贴与企业生态建设行为分析[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2019(3):139-146.
- [13]杨中文, 刘虹利, 许新宜, 等. 水生态补偿财政转移支付制度设计[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2013, 49(增1): 326-332.
- [14]贾舒娴, 黄健柏, 钟美瑞. 生态文明体制构建下的金属矿产开发生态补偿利益均衡研究[J]. 中国管理科学, 2018(11):122-133.
- [15]MARSHALL G A, JONKER B P, MORGAN M K, et al. Prospective study of neuropsychological and psychosocial outcome following surgical excision of intracerebral arteriovenous malformations [J]. Journal of Clinical Neuroscience, 2003, 10(1) : 42-47.
- [16]刘春腊, 刘卫东, 徐美. 基于生态价值当量的中国省域生态补偿额度研究[J]. 资源科学, 2014, 36(1):148-155.
- [17]胥卫平, 魏宁波. 西安市大气和水污染对人群健康损害的经济价值损失研究[J]. 中国人口-资源与境, 2007, 17(4):71-75.
- [18]周春芳, 张新, 刘斌. 基于演化博弈的流域生态补偿机制研究: 以贵州赤水河流域为例[J]. 人民长江, 2018, 49(23):42-46.