

重庆三峡库区后续发展生态补偿机制、模式研究*

官冬杰¹, 刘慧敏¹, 龚巧灵¹, 郭鸣球², 程丽丹¹

(1. 重庆交通大学 建筑与城市规划学院, 重庆 400074; 2. 贵州大学 林学院, 贵阳 550000)

摘要:【目的】随着社会经济的快速发展,环境污染日趋严重,当前急需解决的问题经济发展与环境污染之间的矛盾,生态补偿作为环境治理的有效手段受到了各界学者的关注。【方法】运用博弈论的方法,对流域上下游政府之间的博弈进行基本假定,构建演化博弈理论模型,并利用雅克比矩阵局部均衡点稳定性分析得到该博弈模型的最优解。【结果】基于流域博弈分析的结果,以重庆三峡库区为例,对三峡库区后续发展生态补偿进行分析,得到保护-补偿策略为重庆三峡库区生态补偿的最优策略。【结论】随着社会经济和工业化进程的快速发展,政府每年都会对库区投入保护成本,保护和补偿策略仍然是重庆三峡库区后续发展最优化的环境保护补偿稳定策略。

关键词:三峡库区;生态补偿;博弈分析;机制研究

中图分类号:X321;F129.9

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2017)01-0039-10

生态补偿已成为当前国际公认的重要的生态环境保护手段之一,在世界各地得到了广泛实践,也引发了众多学者的关注^[1-5]。在国际上,学者们通常把生态补偿称为生态服务付费,简称为 PES。生态服务付费是指人们享用了生态服务产品之后,对该产品进行的支付^[6]。自 1950 年以来,越来越多的国家尤其是发达国家认识到生态补偿的重要性,各国政府也纷纷采取相应措施来提高全社会的补偿意识。近些年随着生态补偿理论趋于成熟化,许多发达国家已经初步建立了对生态补偿进行付费的政策框架,并逐渐形成了例如公共补偿、慈善补偿等完整的生态补偿框架体系^[7]。易北河流域生态补偿的成功也验证了德国先进的补偿机制^[8-9]。除此之外,在欧洲最普遍的一种补偿方式是征收生态补偿税,如英国、瑞典、法国、西班牙等许多国家都是通过征收与环境保护有关的税收对生态环境进行补偿^[10]。国外对生态补偿的研究已经趋于成熟,还借助了相关法律政策,研究主要集中在生态补偿利益相关者的选取、生态补偿标准的制定、生态补偿机制的设计和效应评估等关键问题的讨论。自 1980 年以来,中国也开始关注生态补偿的相关理论,并制定了有关生态补偿方面的政策法规,国内的许多学者进行了理论探索和研究^[11-15]。研究主要内容有补偿中出现的问题、生态补偿的相关理论、生态补偿的标准和机制、生态补偿的制度与法律以及各类型补偿模式和对策等。目前,国内学者的研究重点方向为通过引入经济学的模型分析生态补偿各利益主体之间的关系。李镜等人^[16]以岷江上游为研究对象,分析该区域的退耕还林补偿现状,基于博弈论模型建立岷江上游的生态补偿机制,并研究了补偿过程中补偿主体与补偿对象的决策和行为。徐大伟等人^[17]以流域生态补偿为例,运用演化博弈的方法进行了实证研究,并根据研究结果对中国现阶段的流域管理体制提出了相关的政策建议;曹洪华^[18]等人将“举报惩罚”制度引入生态补偿利益群体关系分析中,建立演化博弈模型,分析各群体利益关系的复制动态、演化稳定策略和演化博弈系统的稳定性;曲富国等人^[19]构建成本收益的博弈模型,系统研究了中国流域的上下游政府之间的生态补偿机制;李昌峰等人^[20]以太湖流域为例,通过建立上下游的演化博弈理论模型得出社会最优环境保护(保护-补偿)策略不会达到稳定均衡状态,要引入约束因子才能确定状态稳定时的惩罚金范围。

总体来说,随着国内外学者研究内容的深入,现在有关生态补偿研究的核心问题是生态补偿机制的建立和完善。本研究以重庆三峡库区后续发展为研究对象,运用博弈论的方法,对重庆三峡库区生态补偿博弈模型进

* 收稿日期:2015-12-07 修回日期:2016-05-04 网络出版时间:2017-01-12 11:29

资助项目:国家自然科学基金(No. 41201546; No. 41261038);重庆市自然科学基金(No. cstc2012jjA20010);国家科技支撑计划项目(No. 2014BAB03B01);重庆市第二批高等学校青年骨干教师资助计划;贵州省科技计划(黔科合 JZ 字[2014]200206);重庆交通大学研究生教育创新基金资助项目(No. 20140108)

第一作者简介:官冬杰,女,教授,博士,研究方向为生态环境与可持续发展、土地利用模拟及 3S 应用等, E-mail: guandongjie_2000@163.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20170112.1129.012.html>

行基本假设,然后根据生态补偿博弈模型进行情景设定,并对重庆三峡库区生态补偿博弈分析,得到重庆三峡库区生态补偿的最优策略,从而完善三峡库区的生态补偿机制。

1 生态补偿博弈模型构建

在生态补偿中涉及群体之间的利益非常复杂,生态补偿过程中各种矛盾的形成与激化的直接原因就是群体利益的冲突,在此基础上通过构建相关利益者关系的模型,并对不同情形设定的博弈进行分析,使之达到平衡和稳定。本研究通过引入“奖惩约束”机制,运用博弈论^[21-24]的方法,构建特定的演化博弈模型,进一步完善生态补偿的动态演化机制。

1.1 生态补偿博弈模型的基本假设

本研究对流域生态补偿的相关利益者的演化模型做出以下假设。

1) 在流域中,与生态环境有关的利益主体有保护者、破坏者、受益者和受害者。一般来说,在流域关系中,保护者和破坏者是上游有关利益主体,而受益者和受害者则是下游有关的政府、企业等。为了便于分析,将生态补偿中充当保护者和破坏者的角色定义为保护群(流域中的上游政府),将充当受益者和受害者的角色定义为补偿群(流域中的下游政府),构建该博弈模型的目的是实现模型中各主体利益的最大化,进而达到理想的稳定均衡状态。

2) 对上游地区来说,库区生态环境的好坏对人类活动的影响小于下游地区,而且当上游地区发展经济时,可以利用环境、资源等来换取经济的发展,这样将会使环境更容易遭到破坏,由于上游政府代表的是保护群的利益,因此当地区在进行环境保护的过程中,有两个策略可供选择,即保护和不保护两种。同样,对下游地区来说,环境质量的好坏对人们的日常生活、生产加工等联系较为密切,下游地区的人们在某种程度上也更加偏向于用补偿去支付生态保护产品,改善环境质量,下游政府代表了补偿群的利益,在实施生态保护的过程中,可以选择补偿策略或不补偿策略。

3) 根据“谁保护谁受益,谁破坏谁补偿,谁享受谁补偿”的原理,本研究制定了生态补偿博弈主体的行为,并引入“奖惩机制”作为约束因子。保护群可以选择保护生态环境也可以选择破坏生态环境,对保护群来说,这样追求经济产出而破坏环境,或多或少都需要支付一定的费用补偿给下游政府。补偿群则需要根据保护群的决策来选择相应的策略,如当保护群选择保护策略时,补偿群从中获得了收益,此时补偿群需要给保护群支付一定的费用,如果补偿群选择不补偿时并被举报成功时,补偿群会受到严厉惩罚;另外,当保护群选择不保护策略时,同样需要向补偿群支付一定的补偿,如果保护群选择不补偿并且被举报成功时,也将会受到严厉惩罚。

1.2 构建生态补偿博弈矩阵

构建生态补偿博弈模型支付矩阵的各符号表示为: A_1, A_2 分别为当保护群选择保护策略时,保护群和补偿群所获得的长期经济效益; C 为保护群为了保护生态环境而投入的机会成本; D 为保护群选择保护生态环境策略时,由补偿群支付给保护群的补偿费用; E 为补偿群并没有支付给保护群补偿费用并且被举报成功后受到的惩罚; B_1, B_2 分别为当保护群选择不保护策略时,保护群和补偿群所获得的短期经济效益; P 为保护群用破坏环境的方式去追求经济增长时所需要支付的补偿费用; F 为保护群选择不保护生态环境而补偿群选择补偿策略时,保护群受到的惩罚; Q 为保护群破坏环境被举报成功后所受到的惩罚费用; U 为保护群选择不保护而补偿群选择不补偿策略时,补偿群所受到的惩罚。保护群和补偿群的收益矩阵如表 1 所示。

表 1 保护群和补偿群的收益矩阵

Tab. 1 Game gain matrix of protection group and compensation group

| | | 补偿群 | |
|-----|-----|--------------------------|----------------------|
| | | 补偿 | 不补偿 |
| 保护群 | 保护 | $(A_1 - C + D, A_2 - D)$ | $(A_1 - C, A_2 - E)$ |
| | 不保护 | $(B_1 - P - F, B_2 + P)$ | $(B_1 - Q, B_2 - U)$ |

1.3 博弈模型的演化稳定策略

假设保护群选择保护策略时的比例为 x , 则选择不保护策略时的比例为 $1-x$; 同理, 可以假设 y 为补偿群选择补偿策略时的比例, 选择不补偿策略时的比例为 $1-y$ 。除此之外, 假定 μ_{11} 是保护群选择保护策略时的期望收益, μ_{12} 是保护群选择不保护策略时的期望收益, 保护群的平均期望收益为 $\bar{\mu}_1$, 则关系式如下。

$$\mu_{11} = y(A_1 - C + D) + (1 - y)(A_1 - C), \quad (1)$$

$$\mu_{12} = y(B_1 - P - F) + (1 - y)(B_1 - Q), \quad (2)$$

$$\bar{\mu}_1 = x\mu_{11} + (1-x)\mu_{12} \tag{3}$$

同理,假定 μ_{21} 是补偿群选择补偿策略时的期望收益, μ_{22} 是选择不补偿策略时的期望收益, 补偿群的平均期望收益为 $\bar{\mu}_2$, 则关系式为:

$$\mu_{21} = x(A_2 - D) + (1-x)(B_2 + P), \tag{4}$$

$$\mu_{22} = x(A_2 - E) + (1-x)(B_2 - U), \tag{5}$$

$$\bar{\mu}_2 = y\mu_{21} + (1-y)\mu_{22} \tag{6}$$

1.3.1 保护群的演化稳定策略 保护群采用保护策略的复制动态方程为:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(\mu_{11} - \bar{\mu}_1) = x(1-x)[y(D+P+F-Q) + A_1 - C - B_1 + Q]. \tag{7}$$

对上式求关于的一阶导数得:

$$F'(x) = (1-2x)[y(D+P+F-Q) + A_1 - C - B_1 + Q]. \tag{8}$$

令 $F(x) = 0$, 可以得到 $x^* = 0$ 和 $x^* = 1$ 为动态方程式(7)的两个可能的稳定点, 则:

1) 当 $y = y^* = \frac{A_1 - C - B_1 + Q}{D + P + F - Q}$ 时, $F(x) = 0$ 恒成立, 即所有 x 处于稳定状态, 这时保护群的演化路径如图 1a

所示。从该图可以看出, 当补偿群选择以 $-\frac{A_1 - C - B_1 + Q}{D + P + F - Q}$ 水平进行补偿时, 保护群无论是选择保护策略还是不保护策略, 对其期望收益并没有影响, 保护群依然处于一个稳定状态。

2) 当 $y^* = -\frac{A_1 - C - B_1 + Q}{D + P + F - Q}$ 时, $x^* = 0$ 和 $x^* = 1$ 是 x 的两个可能的稳定状态点, 又因为 $F'(0) > 0, F'(1) < 0$, 所以 $x^* = 1$ 是 x 的稳定状态点, 此时保护群的动态演化路径如图 1b 所示。从该图可以看出, 当补偿群选择以高于 $-\frac{A_1 - C - B_1 + Q}{D + P + F - Q}$ 的水平进行补偿时, 保护群则会选择由不保护向保护转移, 即保护群选择保护是使该模型达到稳定状态的策略。

3) 当 $y < y^* = -\frac{A_1 - C - B_1 + Q}{D + P + F - Q}$ 时, $x^* = 0$ 和 $x^* = 1$ 是的两个可能的稳定状态点, 又因为 $F'(0) < 0, F'(1) > 0$, 所以 $x^* = 0$ 是 x 的稳定状态点, 此时保护群的动态演化路径如图 1c 所示。从该图可以看出, 当补偿群选择以低于 $-\frac{A_1 - C - B_1 + Q}{D + P + F - Q}$ 的水平进行补偿时, 保护群则会选择由保护向不保护转移, 即保护群选择不保护是使该模型达到稳定状态的策略。

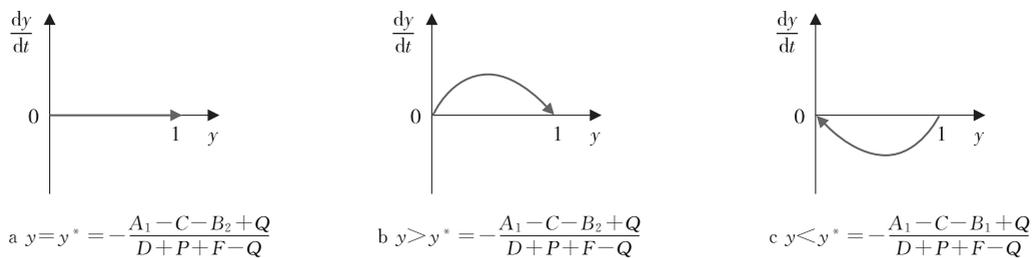


图 1 保护群的动态演化路径
Fig. 1 Dynamic evolution path of protection group

1.3.2 补偿群的演化稳定策略 补偿群采取补偿策略时的复制动态方程为:

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(\mu_{21} - \bar{\mu}_2) = y(1-y)[x(E-D-P-U) + P+U]. \tag{9}$$

对(9)式求关于 y 的一阶导数得:

$$F'(y) = (1-2y)[x(E-D-P-U) + P+U]. \tag{10}$$

令 $F(y) = 0$, 可以得到 $y^* = 0$ 和 $y^* = 1$ 这两个点可能是动态方程式(9)的稳定状态点, 则:

1) 当 $x = x' = -\frac{P+U}{E-D-P-U}$ 时, $F(y) = 0$ 恒成立, 即所有都是处于稳定的状态, 这时补偿群的演化路径如

图 2a 所示。从该图可以看出,当保护群选择以 $-\frac{P+U}{E-D-P-U}$ 的水平进行保护时,补偿群无论选择补偿策略还是不补偿策略,对其期望收益并没有影响,补偿群处于稳定状态。

2) 当 $x > x^* = -\frac{P+U}{E-D-P-U}$ 时, $y^* = 0$ 和 $y^* = 1$ 是 y 的两个可能的稳定状态点,又因为 $F'(0) > 0, F'(1) < 0$, 所以 $y^* = 1$ 是 y 的稳定状态点,补偿群的动态演化路径如图 2b 所示。从该图可以看出,当保护群选择以高于 $-\frac{P+U}{E-D-P-U}$ 的水平进行保护时,补偿群则会选择由不补偿向补偿转移,即补偿群选择补偿是使模型达到稳定状态的策略。

3) 当 $x < x^* = -\frac{P+U}{E-D-P-U}$ 时, $y^* = 0$ 和 $y^* = 1$ 是 y 的两个可能的稳定状态点,又因为 $F'(0) < 0, F'(1) > 0$, 所以 $y^* = 0$ 是 y 的稳定状态点,补偿群的动态演化路径如图 2c 所示。从该图可以看出,当保护群选择以低于 $-\frac{P+U}{E-D-P-U}$ 的水平进行保护时,补偿群则会选择由补偿向不补偿转移,即补偿群选择不补偿是使模型达到稳定状态的策略。

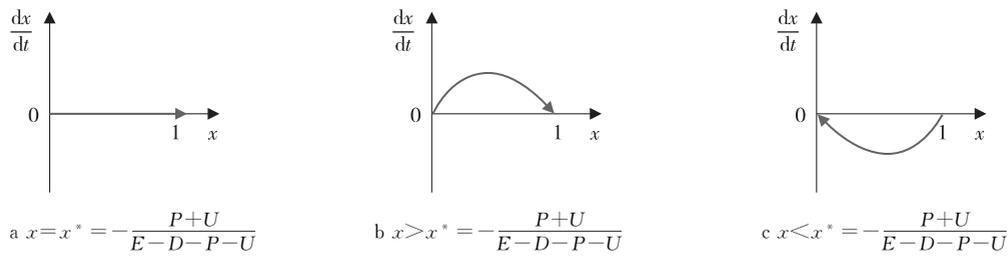


图 2 补偿群的动态演化路径

Fig. 2 Dynamic evolution path of the compensating group

1.4 复制动态系统稳定性分析

运用(7),(9)式构成保护群和补偿群的复制动态系统,同时,通过对保护群和补偿群稳定策略的分析,结果表明该博弈模型共有 $(0,0), (0,1), (1,0), (1,1), (x^*, y^*)$ 这 5 个局部均衡点。在此基础上,利用 Friedman^[25] 提出的雅可比矩阵局部均衡点的稳定分析方法,对该博弈系统的稳定进行检验,并研究该复制动态系统的演化稳定策略。该博弈模型的雅可比矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\alpha F(x)}{\alpha x} & \frac{\alpha F(x)}{\alpha y} \\ \frac{\alpha F(y)}{\alpha x} & \frac{\alpha F(y)}{\alpha y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1-2x)[y(D+P+F-Q)+A_1-C-B_1+Q] & x(1-x)(D+P+F-Q) \\ y(1-y)(E-D-P-U) & (1-2y)[x(E-D-P-U)+P+U] \end{bmatrix}, \tag{11}$$

$$\det(J) = \frac{\alpha F(x)}{\alpha x} \cdot \frac{\alpha F(y)}{\alpha y} - \frac{\alpha F(x)}{\alpha y} \cdot \frac{\alpha F(y)}{\alpha x}, \tag{12}$$

$$\text{trace}(J) = \frac{\alpha F(x)}{\alpha x} + \frac{\alpha F(y)}{\alpha y}. \tag{13}$$

将上述的 5 个均衡点带入到上述 3 个方程式中,可以求出 5 个局部均衡点的行列式值和迹,结果如表 2 所示。

从表 2 可以看出,上述局部均衡点的行列式值和迹的正负性只与保护群所做的决策有关,即与保护群选择保护 (A_1) 和不保护 (B_1) 时的经济效益有关。因此,在分析复制

表 2 各局部均衡点的行列式值和迹

Tab. 2 The determinant values and trace of the local equilibrium points

| 局部均衡点 | det(J) | trace(J) |
|--------------|---------------------------|--------------------|
| $(0,0)$ | $(A_1-C-B_1+Q)(P+U)$ | $A_1-C-B_1+Q+P+U$ |
| $(0,1)$ | $-(D+P+F+A_1-C-B_1)(P+U)$ | $D+F+A_1-C-B_1-U$ |
| $(1,0)$ | $-(A_1-C-B_1+Q)(E-D)$ | $-A_1+C+B_1-Q+E-D$ |
| $(1,1)$ | $(D+P+F+A_1-C-B_1)(E-D)$ | $-P-F-A_1+C+B_1-E$ |
| (x^*, y^*) | 0 | 0 |

动态系统的稳定性的时候,补偿群应该根据保护群做出决策之后再行决策。在此对保护群的收益参数的大小进行分析,存在以下关系:

$$A_1 - C + D > A_1 - C > B_1 - P - F > B_1 - Q, \tag{14}$$

$$A_1 - C + D > B_1 - P - F > A_1 - C > B_1 - Q, \tag{15}$$

$$A_1 - C + D > B_1 - P - F > B_1 - Q > A_1 - C. \tag{16}$$

根据上述的 3 种情况进行以下分析:

1) 当 $A_1 - C + D > A_1 - C > B_1 - P - F > B_1 - Q$ 时,该复制动态系统稳定性分析结果 I 如表 3 所示。从表 3 中可以看出,当均衡点为(1,1)时复制动态系统达到一个稳定状态,即(保护,补偿)策略是该演化模型的最优解。

2) 当 $A_1 - C + D > B_1 - P - F > A_1 - C > B_1 - Q$ 时,该复制动态系统稳定性分析结果 II 如表 4 所示。从表 4 中可以看出,该结果没有稳定均衡点。

3) 当 $A_1 - C + D > B_1 - P - F > B_1 - Q > A_1 - C$ 时,该复制动态系统稳定性分析结果 III 如表 5 所示。从表 5 中可以看出,该结果也没有稳定均衡点。

通过对保护群的收益参数在上述 3 种情况下进行的稳定状态分析可以看出:只有当 $A_1 - C + D > A_1 - C > B_1 - P - F > B_1 - Q$ 时,该博弈模型出现了稳定点,并且该模型会存在唯一的最优解(1,1),即(保护,补偿)策略。

2 重庆三峡库区后续发展生态补偿实证分析

2.1 研究区域概况

重庆三峡库区地处三峡水库的库尾地带,位于长江上游地区,地理范围在北纬 $28^{\circ}28'$ ~ $31^{\circ}44'$,东经 $105^{\circ}49'$ ~ $110^{\circ}12'$ 之间,包括沙坪坝区、南岸区、九龙坡区等重庆市 22 个区县,面积约占整个三峡库区的 85.6%,是中国生态环境最为复杂的区域之一,也是中国主要的淡水资源区。

随着人口的增长和经济的快速发展,大量的污水直接排入到长江流域(2000 年重庆市有大约 95% 的污水排入长江),严重污染了长江水质,给库区的水环境带来了极大危害。随着近年来工业污水的达标排放、生活污水的回收处理以及人们慢慢觉醒的环保意识,经过近 10 年的污染治理,重庆污水的处理率达到了 80% 以上,高于全国平均水平。但重庆依旧是一个重工业城市,产业的发展依赖资源,无形中对水资源和生态环境造成巨大压力,加之一些自然灾害的发生,使得重庆三峡库区的生态环境变得越来越脆弱。因此,在研究重庆三峡库区环境保护时,生态补偿成为了缓解资源-环境矛盾的重要手段之一。

2.2 基于重庆三峡库区后续发展的生态补偿博弈分析及最优化策略选择

以《2015 年重庆统计年鉴》为基础数据,对重庆三峡库区的生态补偿进行博弈分析,从而指导库区的后续发展。根据统计年鉴中“三峡移民工程后续工作专项资金完成投资情况”可以看出:到 2014 年,三峡后续工作专项资金计划投资为 144.73 亿元,其中用于生态补偿的投资金额约 80.95 亿元。通过库区居民的收入差异来进行估算库区生态环境建设的成本,公式如下:

$$\begin{aligned} \text{机会成本} = & (\text{重庆城镇居民人均可支配收入} - \text{库区城镇居民人均可支配收入}) \times \\ & \text{库区城镇居民人口} + (\text{重庆农民人均纯收入} - \text{库区农民人均纯收入}) \times \text{库区农业人口}。 \end{aligned} \tag{17}$$

表 3 复制动态系统的稳定性分析结果 I

Tab. 3 Stability analysis of dynamic replication system I

| 局部均衡点 | det(J) | trace(J) | 稳定性 |
|--------------|--------|----------|-----|
| (0,0) | + | + | 不稳定 |
| (0,1) | - | + - | 不稳定 |
| (1,0) | - | + - | 不稳定 |
| (1,1) | + | - | 稳定 |
| (x^*, y^*) | 0 | 0 | 鞍点 |

表 4 复制动态系统的稳定性分析结果 II

Tab. 4 Stability analysis of dynamic replication system II

| 局部均衡点 | det(J) | trace(J) | 稳定性 |
|--------------|--------|----------|-----|
| (0,0) | + | + | 不稳定 |
| (0,1) | - | + - | 不稳定 |
| (1,0) | - | + - | 不稳定 |
| (1,1) | + | + - | 不稳定 |
| (x^*, y^*) | 0 | 0 | 鞍点 |

表 5 复制动态系统的稳定性分析结果 III

Tab. 5 Stability analysis of dynamic replication system III

| 局部均衡点 | det(J) | trace(J) | 稳定性 |
|--------------|--------|----------|-----|
| (0,0) | - | + | 不稳定 |
| (0,1) | - | + - | 不稳定 |
| (1,0) | + | + | 不稳定 |
| (1,1) | + | + - | 不稳定 |
| (x^*, y^*) | 0 | 0 | 鞍点 |



图 3 重庆三峡库区区位图

Fig. 3 Chongqing Three Gorges reservoir area bitmap

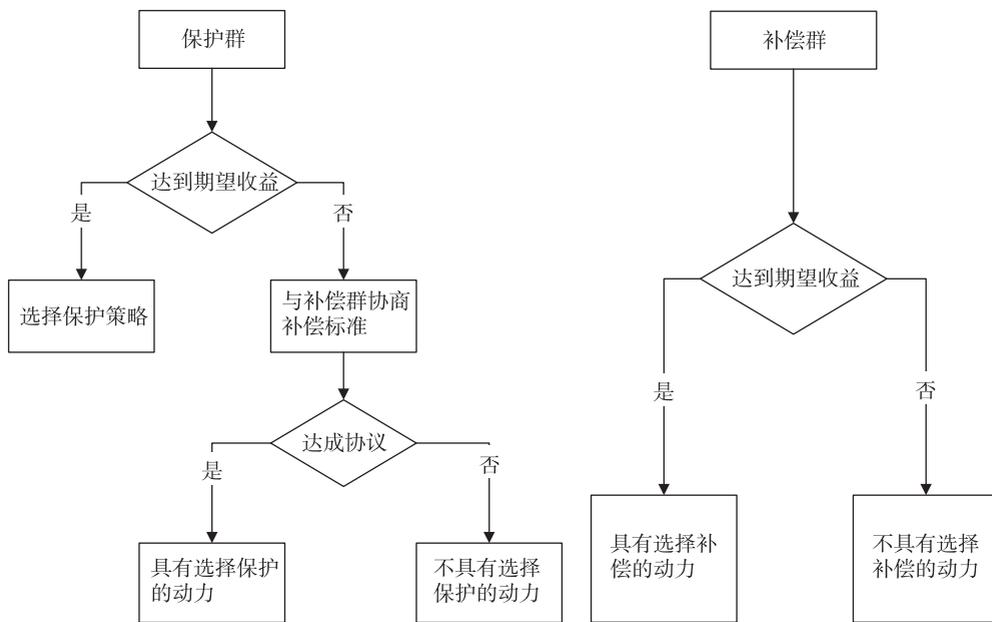


图 4 保护群和补偿群策略选择示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the protection group and the compensation group strategy

初步测算重庆三峡库区的机会成本约为 $7.68 \text{ 亿元} \cdot \text{a}^{-1}$, 加上 2014 年三峡后续工作生态补偿的投资金额, 可以得到库区生态补偿量为 $88.63 \text{ 亿元} \cdot \text{a}^{-1}$ 。为方便接下来的情形分析, 参照梁福庆^[26]在《三峡库区生态补偿

问题探讨》中提出的生态补偿标准,将补偿值调整为每年 100 亿元,其中 35 亿元用于库区生态保护直接投入及维护费用,损失 20 亿元的发展机会成本,库区生态受益者获利 20 亿元,库区生态系统服务的价值 25 亿元。即设库区的机会成本投入为 20 亿元,保护群选择保护策略时可以从中获得收益是 35 亿元,净收益为 15 亿元,补偿群在保护群选择保护策略时可以获得收益为 45 亿元,净收益为 20 亿元。

以下是对保护群和补偿群策略选择的情形分析:

情形 1,当库区的保护群投入 20 亿元时,保护群从中可以获得的收益为 35 亿元,此时,就算补偿群没有提供补偿费用,也不会影响保护群对库区生态环境的保护工作。即在该情形下,当保护群选择保护策略时,补偿群有两个选择,即为补偿策略和不补偿策略,对库区的生态保护工作影响不大。

从图 5 的分析结果可以看出,保护群投入 20~35 亿元的保护成本进行环境保护,而补偿群并没有做出补偿措施,整个系统的状态没有受到影响,趋于稳定均衡;当然,补偿群也可以选择补偿策略,这样可以加快生态补偿工作的进行,更快地使系统达到稳定状态。

情形 2,若投入的成本高于 35 亿元,但低于 45 亿元时,保护群依旧选择保护策略,但其保护积极性会明显下降。此时,若补偿群选择不补偿策略,将会使保护群完全丧失保护库区生态的能力,严重的话可能导致环境破坏加剧;若补偿群选择对保护群所做的牺牲做出补偿,那便可以缓解双方的矛盾,共同致力于库区生态环境的保护。

图 6 为情形 2 的分析结果,保护群投入 35~45 亿元进行库区的环境保护,就情形一来说,投入增加了不少。此时,若补偿群补偿费用低于 15 亿元,就会使保护群缺少环境保护的动力,可能加剧了库区的环境污染,因此,为了使系统趋于均衡稳定状态,补偿群至少需要向保护群支付 15 亿元作为补偿费用,使保护群具有选择保护环境的动力,促进保护群的保护行为。

情形 3,如果保护群投入的成本继续增加,最终超过补偿群的收益 45 亿元,此时,只靠博弈双方的保护与补偿策略已经很难达到一个稳定均衡状态。要解决该问题,则需要国家或政府进行财政转移支付,补偿保护群投入的巨额成本,从而使博弈双方达到均衡状态,有利于开展接下来的生态保护工作。

从图 7 可以看出,当保护群投入的保护成本超过 45 亿元时,补偿群要保证其收益为 20 亿元,最多只能向保护群补偿 25 亿元,而若要在保证保护群和补偿群利益最大化的前提下达到稳定状态,只靠两者的决策已经很难实现,此时就需要投入政府财政转移支付来平衡双方的利益关系,使保护群具有保护动力,补偿群具有补偿动力。

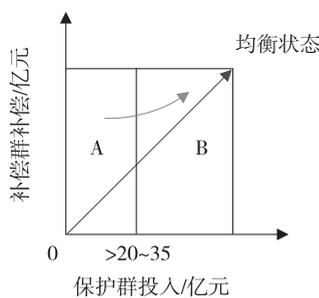


图 5 情形 1 分析
Fig. 5 Case analysis

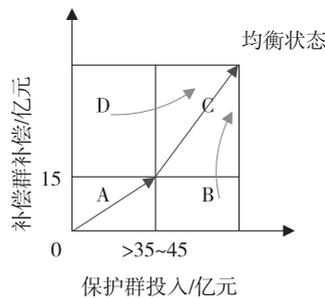


图 6 情形 2 分析
Fig. 6 Case two analysis

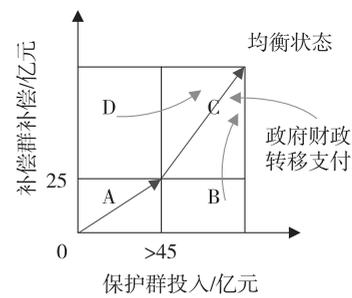


图 7 情形 3 分析
Fig. 7 Case three analysis

对上述 3 种情形进行分析(表 6),情形 1 与情形 2 各自的期望收益均较为理想,两者处于稳定状态,且不需要政府的财政转移支付。当处于情形 1 时,只由保护群选择保护策略,补偿群无论做出什么选择,对博弈双方来说,收益都比较高,并且对库区的生态保护最有利。但随着保护群投入的机会成本不断增加,最终超过一定额度时,如情形 3 所示,此时生态系统已经处于不稳定状态,这时需要政府的财政转移支付来进行调节,使之趋向于稳定状态。且在实际情况下,多为情形 2 或情形 3 的状况,即保护群会随着社会的发展,投入的机会成本也会不断增多,需要补偿群及时的做出调整,选择补偿策略。所以,重庆三峡库区后续发展生态补偿的最优策略为(保护,补偿),即当保护群选择保护策略时,补偿群选择补偿策略,同时需要政府的大力支持,来对库区进行生态补偿,从而保护库区的生态环境。

表 6 3 种情形分析一览表
Tab. 6 Three kinds of situations analysis list

| | 保护群 | | 补偿群 | | 稳定性 | 是否需要政府 财政转移支付 |
|------|-----------|---------|---------|---------|-----|------------------|
| | 投入机会成本/亿元 | 期望收益/亿元 | 补偿费用/亿元 | 期望收益/亿元 | | |
| 情形 1 | >20~35 | 15 | 0 | 45 | 稳定 | 不需要 |
| 情形 2 | >35~45 | 15 | 15 | 30 | 稳定 | 不需要 |
| 情形 3 | >45 | 15 | 25 | 20 | 不稳定 | 需要 |

3 重庆三峡库区后续发展生态补偿模式研究

基于构建的博弈模型,对重庆三峡库区后续发展的生态补偿进行实证分析结果表明重庆三峡库区后续发展最优化的环境保护补偿稳定策略为(保护,补偿),所以就重庆三峡库区而言,国家应该明确各参与者的利益关系,认清保护主体和补偿主体,并依据库区内各政府间相互约束力来制定补偿协议,规范参与者进行保护和补偿的行为。根据保护群和补偿群的期望收益作为参考,确定库区的生态补偿标准,并依据标准来要求参与者补偿与否。具体如下:一是对保护库区的自身生态系统的投入机会成本进行补偿;二是为了发展社会经济而对破坏了生态环境进行补偿;三是对库区的移民进行补偿;四是对库区占用的耕地等进行补偿。另外,国家还应该将库区的生态补偿项目统一管理,综合运用行政手段、市场手段来进行库区生态保护和污染防治工作。缓解保护主体和补偿主体之间的矛盾,使得库区生态补偿机制的进一步完善。

4 结论与讨论

生态补偿机制虽然在世界各地已经有了诸多研究,但国外学者们开始关注因大型水利工程的修建形成库区内生态环境保护所带来的生态补偿问题却只有短短的 30 多年时间,以致相关的生态补偿机制也远没有完善。生态补偿机制是确定“补给谁”的问题,由于在进行生态补偿的过程中,所涉及的群体之间的利益关系非常复杂,群体之间矛盾形成和激化的直接原因就是利益的冲突,所以必须借助构建相关利益者关系的模型,通过不同情形设定的博弈分析,使之达到平衡和稳定。目前得到广泛认可的是静态博弈模型、两阶段动态博弈模型,演化博弈模型等,这些模型在流域生态补偿中得到了很好的实践。但是三峡工程在实施的过程中,生态补偿的主体之间的利益调整是一个循序渐近的过程,各主体之间为了达到最好的利益,做出的最终策略是在不断冲突与调适中实现的,这时一般的动态模型是没有办法描述这个复杂的调试过程,使之达到稳定平衡,需要对模型进一步修正、研究和讨论。因此,本研究以重庆三峡库区为研究对象,引入相应的“奖惩约束”机制,构建特定的演化博弈模型,完善生态补偿机制,具体研究结论如下:

1) 利用库区生态补偿博弈模型,分别从保护群和补偿群的角度分析演化博弈稳定策略,然后再将其构成库区的博弈复制动态系统,利用雅克比矩阵局部均衡点的稳定性分析,进而得到(保护,补偿)策略为该博弈模型的最优解。

2) 在博弈模型的基础上,对重庆三峡库区后续发展的生态补偿进行实证分析,分别对库区生态补偿的 3 种情形进行分析,结果表明,随着社会经济和工业化进程的快速发展,社会上对于库区环保事业的关注也越来越重视,并且每年都会投入数目巨大的保护成本,在对保护群和补偿群进行博弈分析后,得到重庆三峡库区后续发展最优化的环境保护补偿稳定策略为(保护,补偿),此举与博弈模型的结果不谋而合。

3) 本研究在构建博弈模型的时候不仅基于“谁保护谁受益,谁破坏谁补偿,谁享受谁补偿”的原则,还引入了“奖惩约束”机制,从而使模型结果更接近于实际应用的结果。

参考文献:

- [1] HOFFMAN J. Watershed shift: collaboration and employers in the New York city catskill/ delaware watershed from 1990—2003[J]. Ecological Economics, 2008, 68(1/2): 141-161.
- [2] GALLI A, WIEDMANN T, ERCIN E, et al. Integrating ecological, Carbon and water footprint into a “footprint family” of indicators: definition and role in tracking human pressure on the planet[J]. Ecological Indicators, 2012(16): 100-112.
- [3] TACCONI L. Redefining payments for environmental serv-

- ices[J]. *Ecological Economics*, 2012(73):29-36.
- [4] KACZAN D, SWALLOW B M, Adamowicz W L. Designing a payments for ecosystem services (PES) program to reduce deforestation in Tanzania: an assessment of payment approaches[J]. *Ecological Economics*, 2013(95):20-30.
- [5] WUNDER S. Revisiting the concept of payments for environmental services[J]. *Ecological Economics*, 2015(117):234-243.
- [6] 聂倩. 国外生态补偿实践的比较及政策启示[J]. *生态经济*, 2014, 30(7):156-160.
- NIE Q. Experiences from comparison of international ecological compensation practice[J]. *Ecological Economy*, 2014, 30(7):156-160.
- [7] 高彤, 杨妹影. 国际生态补偿政策对中国的借鉴意义[J]. *国际瞭望*, 2006(19):72-76.
- GAO T, YANG S Y. The international ecological compensation policy for China's reference significance[J]. *International Outlook*, 2006(19):72-76.
- [8] 赵玉山, 朱桂香. 国外流域生态补偿的实践模式及对中国的借鉴意义[J]. *世界农业*, 2008(4):14-17.
- ZHAO Y S, ZHU G X. The practice mode of ecological compensation in foreign countries and its reference to China [J]. *World Agriculture*, 2008(4):14-17.
- [9] 朱桂香. 国外流域生态补偿的实践模式及对我国的启示[J]. *中州学刊*, 2008(5):69-71.
- ZHU G X. The practice mode of ecological compensation in foreign countries and the enlightenment to our country[J]. *Academic Journal of Zhongzhou*, 2008(5):69-71.
- [10] IFTIKHAR U A, KALLESOE M, DURAIAPPAH A, et al. Exploring the inter-linkages among and between compensation and rewards for ecosystem services(CRES) and human well-being[J]. *World Agroforestry Centre*, 2007(36):26-29.
- [11] 毛显强, 钟瑜, 张胜. 生态补偿的理论探讨[J]. *中国人口·资源与环境*, 2002, 12(4):38-41.
- MAO X Q, ZHONG Y, ZHANG S. Conception, theory and mechanism of eco-compensation[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2002, 12(4):38-41.
- [12] 任勇, 俞海, 冯东方, 等. 建立生态补偿机制的战略与政策[J]. *环境保护与循环经济*, 2007(6):4-5.
- REN Y, YU H, FENG D F, et al. Strategy and policy of establishing ecological compensation mechanism[J]. *Environmental Protection Circular Economy*, 2007(6):4-5.
- [13] 张建肖, 安树伟. 国内外生态补偿研究综述[J]. *西安石油大学学报*, 2009, 18(1):23-28.
- ZHANG J X, AN S W. Research summarization of ecology compensation at home and abroad[J]. *Journal of Xi'an Petroleum University*, 2009, 18(1):23-28.
- [14] 何沙, 邓璨. 国外生态补偿机制对我国的启发[J]. *西南石油大学学报*, 2010, 3(4):66-69.
- HE S, DENG C. Ecological compensation mechanism abroad and its illumination to China[J]. *Journal of Southwest Petroleum University*, 2010, 3(4):66-69.
- [15] 李碧洁, 张松林, 侯成成. 国内外生态补偿研究进展评述[J]. *世界农业*, 2013(2):11-21.
- LI B J, ZHANG S L, HOU C C. Review on the research progress of domestic and international ecological compensation[J]. *World Agriculture*, 2013(2):11-21.
- [16] 李镜, 张丹丹, 陈秀兰, 等. 岷江上游生态补偿的博弈论[J]. *生态学报*, 2008, 28(6):2792-2798.
- LI J, ZHANG D D, CHEN X L, et al. Game theory on the ecological compensation of the upper reaches of Minjiang river[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6):2792-2798.
- [17] 徐大伟, 涂少云, 常亮, 等. 基于演化博弈的流域生态补偿利益冲突分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(2):8-14.
- XU D W, TU S Y, CHANG L, et al. Interest conflict of river basin ecological compensation based on evolutionary game theory[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(2):8-14.
- [18] 曹洪华, 景鹏, 王荣成. 生态补偿过程动态演化机制及其稳定策略研究[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(9):1547-1555.
- CAO H H, JING P, WANG R C. The dynamic evolution mechanism of ecological compensation and its stable strategy research[J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(9):1547-1555.
- [19] 曲富国, 孙宇飞. 基于政府间博弈的流域生态补偿机制研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(11):83-88.
- QU F G, SUN Y F. Study on payments for environmental services in basin area based on intergovernmental game [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(11):83-88.
- [20] 李昌峰, 张变英, 赵广川, 等. 基于演化博弈理论的流域生态补偿研究—以太湖流域为例[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(1):171-176.
- LI C F, ZHANG L Y, ZHAO G C, et al. Research on basin ecological compensation based on evolutionary game theory—taking Taihu basin as a case[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(1):171-176.
- [21] 刘学强, 罗仕伟, 田述宝. 基于博弈论的区域旅游合作分析[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2010, 29(2):99-104.
- LIU X Q, LUO S W, TIAN S B. Analysis of regional tourism cooperation based on game theory[J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 2010, 29(2):99-104.
- [22] 刘红刚, 陈新庚, 彭晓春. 感潮河网区环境合作博弈模型

- 及实证[J]. 生态学报, 2012, 32(11): 3586-3594.
- LIU H G, CHEN X G, PENG X C. The cooperative environmental game model in the Tidal river network regions and its empirical research[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(11): 3586-3594.
- [23] 祁新华, 叶士琳, 程煜, 等. 生态脆弱区贫困与生态环境的博弈分析[J]. 生态学报, 2013, 33(19): 6411-6417.
- QI X H, YE S L, CHENG Y, et al. The game analysis between poverty and environment in ecologically fragile zones[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6411-6417.
- [24] 解建仓, 席保军, 黄俊铭. 流域水资源保护补偿博弈分析及蚁群算法解[J]. 自然资源学报, 2014, 1(1): 39-45.
- XIE J C, XI B J, HUANG J M. Game model for river basin water resources protection compensation solved by ant colony algorithm[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 1(1): 39-45.
- [25] FRIEDMAN D. Evolutionary games in economics[J]. Econometrica, 1991, 59(3): 637-666.
- [26] 梁福庆. 三峡库区生态补偿问题探讨[J]. 三峡大学学报, 2010, 32(1): 13-17.
- LIANG F Q. Discussion about the ecological compensation in Three Gorges project reservoir area[J]. Journal of China Three Gorges University, 2010, 32(1): 13-17.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Study on Mechanism and Mode on the Follow-up Development of Ecological Compensation in the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing

GUAN Dongjie¹, LIU Huimin¹, GONG Qiaoling¹, GUO Mingqiu², CHENG Lidan¹

(1. College of Architecture and Urban Planning, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074;

2. Forestry College, Guizhou University, Guiyang 550000, China)

Abstract: [Purposes] With the rapid development of social economy, environmental pollution is becoming more seriously, how to solve the contradiction between economic development and environmental pollution has become one of most urgent problems at present. As an effective means of environmental management, ecological compensation has attracted intensive attention of scholars in all fields. [Methods] After defining a basic assumption on governments game located in upstream and downstream regions of river basin in the viewpoint of game theory, the paper builds an evolutionary game theory model according to the scenario setting of game model. Then, local equilibrium stability analysis based on the Jacobi matrix is used to get the optimal solution of the game model. [Findings] By using the result of the game analysis, protected-compensation strategy is verified to be the optimal solution for the follow-up development in the Three Gorges reservoir area. [Conclusions] The government will invest a huge amount of protection costs every year to satisfy the rapid development of social economy and industrialization, and consequently, the strategy of protection and compensation is still the most optimized stabilization strategy of environmental protection compensation for the development of the Three Gorges reservoir area.

Keywords: Three Gorges reservoir area; ecological compensation; game analysis; mechanism study

(责任编辑 游中胜)