

# 基于博弈论的东江源流域省际横向生态补偿分析

王乾光

江西财经职业学院, 江西 九江 332000

DOI: 10.61369/SDME.2025280027

**摘 要 :** 流域上下游政府的横向生态补偿是环境保护方面的热点问题, 既有理论意义, 又有现实意义。理论上有很多项目从不同角度研究这一问题。2016年, 江西省和广东省签订《东江流域上下游横向补偿协议》。本文以东江源为例, 从博弈论角度, 分析上游的江西省和下游的广东省如何进行博弈, 静态博弈会产生上游不保护、下游不补偿的囚徒困境问题, 在此基础上探讨引入中央政府的介入和上下游政府无限期重复博弈角度破解这一问题的可能性, 提出中央政府的激励约束机制和上下游政府横向补偿的长效机制有助于达成上游保护、下游补偿的社会最优解。

**关 键 词 :** 博弈论; 东江源流域; 生态补偿

## Analysis of Inter-provincial Horizontal Ecological Compensation in the Dongjiang River Basin Based on Game Theory

Wang Qiangguang

Jiangxi Vocational College of Finance and Economics, Jiujiang, Jiangxi 332000

**Abstract :** Horizontal ecological compensation by governments in the upper and lower reaches of river basins is a hot issue in environmental protection, which has both theoretical and practical significance. Theoretically, there are many projects studying this issue from different perspectives. In 2016, Jiangxi Province and Guangdong Province signed the "Horizontal Compensation Agreement for the Upper and Lower Reaches of the Dongjiang River Basin". This article takes the source of the Dongjiang River as an example and, from the perspective of game theory, analyzes how Jiangxi Province in the upstream and Guangdong Province in the downstream engage in a game. Static games can lead to a prisoner's dilemma where the upstream does not protect and the downstream does not compensate. On this basis, the possibility of introducing the intervention of the central government and the indefinite repetitive game between upstream and downstream governments to solve this problem is explored. It is proposed that the incentive and restraint mechanism of the central government and the long-term mechanism of horizontal compensation by upstream and downstream governments are conducive to achieving the social optimal solution of upstream protection and downstream compensation.

**Keywords :** game theory; Dongjiang River Source Basin; ecological compensation

### 引言

流域生态环境是一种公共资源, 兼具正外部性和负外部性。当上游地区发展工业, 排放太多污染物到河流, 就会给下游造成负外部性, 政府常会征收污染费以减少污染物的排放。当上游地区保护环境, 植树造林, 保持水土, 关停污染企业等促进环境质量改善, 从而使水质提升, 又会对下游有正外部性, 这样理应由下游地区给上游地区提供一定补偿, 以弥补上游地区在治污过程的经济损失以及成本投入, 但由于此时受益者和建设者分属不同的主体, 其补偿的实现往往存在较高的交易成本, 补偿的过程往往是博弈的过程。

已有不少文献从博弈论角度研究流域上下游政府之间的补偿。大部分文献指出流域政府之间的静态博弈往往存在囚徒困境问题, 需要引入共同上级政府才能破解。张欣等 (2018) 建立了流域上下游政府的生态补偿博弈模型。王军生等 (2015) 以渭河流域为例, 指出上下游政府的博弈需要上游政府的介入。李宁等 (2017) 分析指出上下游政府无法自主博弈采取上游保护下游补偿的策略, 必须引入中央政府。

现有用博弈论分析流域上下游政府之间的生态补偿强调上级政府介入破解囚徒困境, 缺少从无限期重复博弈角度来解决这个问题。另外, 上级政府介入的分析采用动态演化博弈居多, 分析过程比较繁琐。因此, 本文以东江源流域为例分析上下游政府的静态博弈, 指出其中存在囚徒困境问题, 并在此基础上分两种方法破解, 第一是用相对比较简洁的静态博弈分析引入中央政府激励约束机制, 第二是分析其无限期重复博弈。建议一方面应引入中央政府的激励约束机制, 另一方面上下游政府之间应建立生态补偿的长效机制, 以实现上游保护、下游补偿的社会期望的结果。

作者简介: 王乾光, 男, 博士, 现任教于江西财经职业学院, 讲师, 研究方向: 资源与环境经济。

## 一、东江源流域省际生态补偿的静态博弈分析

### （一）研究区域

东江源区在江西赣州东南部，地处赣州的安远、寻乌、定南的三县交界，流入的南部是我国经济发达的广东省，其源头为娅髻钵山南侧，主河道长约127公里，整体流域面积为3490平方公里。其中，江西省内主河道长为115公里，流域面积为1974平方公里。作为东江源流域上游的江西省，经济相对落后，作为生态环境收益区的下游广东省，经济非常发达。保护生态环境会对当地经济造成不良影响，而且会增加环境保护方面的支出，对经济落后的上游地区有巨大的负面影响，而上游改善生态环境后，有利于水质提升，从而对下游地区产生正外部性，所以从社会整体来看，上游保护、下游补偿可能对上下游政府都有益处，但上下游政府是不同利益主体，存在着为本地区利益的计算。因此，流域间生态补偿存在着上下游政府的博弈，博弈论的研究框架有助于分析这个问题。

### （二）上下游政府间的静态博弈

作为上游的江西省对生态环境有保护和保护两种策略。而作为下游的广东省对上游的江西省也有两种策略：补偿和不补偿。上下游政府采取不同策略具有不同的收益。当江西省选择保护时，其收益为生态效益减去保护成本，再加上下游广东省对江西省补偿或不补偿的影响。当江西省采用不保护时，其收益为：短期收益，再加上下游广东省对江西省补偿或不补偿的影响。当下游广东省采取补偿时，其收益为上游的生态效益或生态损害减去补偿成本。当下游广东省采取不补偿时，其收益就是上游的生态效益或生态损害。

根据以上分析设定以下变量：

$L$ ：江西省采取保护策略时获得的生态利益；

$C$ ：江西省的保护成本；

$P$ ：广东省对江西省的补偿；

$S$ ：江西省采用不保护获得的短期收益；

$E$ ：广东省在江西省采取保护时外部效用；

$U$ ：广东省在江西省采取不保护时外部效用。

根据以上分析，可以构建江西省和广东省的成本收益矩阵。

如下表1：

表1 上下游政府的静态博弈

|       | 下游广东省 |              |          |
|-------|-------|--------------|----------|
|       |       | 补偿           | 不补偿      |
|       | 保护    | $L-C+P, E-P$ | $L-C, E$ |
| 上游江西省 | 不保护   | $S+P, U-P$   | $S, U$   |

我们求解以上博弈矩阵，发现当 $L-C < S$ 时，无论广东省采取补偿或不补偿，江西省都会采取不保护的策略。从广东省角度看，无论江西省是否保护，广东省都会采取不补偿的策略。由此得到一次博弈的最优解：江西省不保护、广东省不补偿。但是这个结果不是社会所期望的结果。社会期望的角度来看，应该是江西省保护、广东省补偿，而且在这种情况下，可能是 $L-C+P > S, E-P > U$ ，但从

上述分析来看，江西省仍是不保护，广东省不补偿。这样就出现了囚徒困境，从个体看是理性的，但整体看是非理性的。

## 二、破解上下游政府间静态博弈的囚徒困境

### （一）引入中央政府的激励约束机制的上下游政府间静态博弈分析

由以上分析可以得出，仅仅依靠上下游政府的决策是无法达到社会最优战略的，因此，我们引入中央政府的激励和惩罚机制，从而规范上下游政府的最优行为，以达到社会最优状态。

假定我们引入两个变量分别为：

$R$ ：对上下游政府履行协议的一方或两方，中央政府给予的奖励金额；

$F$ ：上下游政府中一方履行义务另一方未履行，中央政府对不履行一方的惩罚金额。

根据以上分析，可以构建引入中央政府激励约束机制后的江西省和广东省的成本收益矩阵。如下表2：

|       | 下游广东省 |                  |              |
|-------|-------|------------------|--------------|
|       |       | 补偿               | 不补偿          |
|       | 保护    | $L-C+P+R, E-P+R$ | $L-C+R, E-F$ |
| 上游江西省 | 不保护   | $S+P-F, U-P+R$   | $S, U$       |

表2 引入中央政府激励约束机制的上下游政府的静态博弈

在引入中央政府激励约束机制后，要达到上游江西省保护和下游广东省补偿的符合社会最优的结果，需要满足以下条件：

（1）下游广东省补偿时，上游江西省保护的收益（ $L-C+P+R$ ）大于上游江西省不保护的收益（ $S+P-F$ ）；

（2）下游广东省不补偿时，上游江西省保护的收益（ $L-C+R$ ）大于上游江西省不保护的收益（ $S$ ）；

（3）上游江西省保护时，下游广东省补偿的收益（ $E-P+R$ ）大于下游广东省不补偿的收益（ $E-F$ ）；

（4）上游江西省不保护时，下游广东省补偿的收益（ $U-P+R$ ）大于下游广东省不补偿的收益（ $U$ ）。

整理后得到，以下四个条件：

（1） $L-C+R > S-F$

（2） $L-C+R > S$

（3） $F > P-R$

（4） $R > P$

以上分析说明，如果上下游政府要在一次博弈中实现社会最优策略，中央政府需要构建激励约束机制，满足以上条件。

为说明问题假定我们进行赋值。其中， $L=10, C=3, P=2, S=8, E=10, U=5$ 。在这种情况下上述四个条件就简化为：

（1） $F > 1-R$

（2） $R > 1$

（3） $F > 2-R$

（4） $R > 2$

$F$  和  $R$  为非负的情况下，四个条件中可以简化为两个： $F > 2 - R$  和  $R > 2$ 。因此，我们可以进一步赋值， $F = 1$ ， $R = 3$ 。则上下游政府博弈就变成了以下表3。

表3 引入中央政府激励约束机制的上下游政府的静态博弈

|       | 下游广东省 |        |       |
|-------|-------|--------|-------|
|       |       | 补偿     | 不补偿   |
| 上游江西省 | 保护    | 12, 11 | 10, 9 |
|       | 不保护   | 9, 6   | 8, 5  |

显然，引入中央政府的激励约束机制后，最后博弈的均衡是上游江西省保护、下游广东省补偿的社会最优状态。

(二) 上下游政府间无限期重复博弈

从上面引入中央政府激励约束机制的上下游政府间静态博弈来看，其博弈的最优解为江西省不保护、广东省不补偿。这显然不是社会所期望的。我们假定上下游政府之间就流域生态补偿问题每年签订一次合同并且持续下去，这样上下游政府之间博弈就变成了无限期重复博弈。以下将分析重复博弈下上下游政府的最优解。

为简化起见，我们对表1赋值。其中， $L = 10$ ， $C = 3$ ， $P = 2$ ， $S = 8$ ， $E = 10$ ， $U = 5$ 。我们得到表4。

表4 上下游政府间的无限次重复博弈

|       | 下游广东省 |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
|       |       | 补偿    | 不补偿   |
| 上游江西省 | 保护    | 9, 8  | 7, 10 |
|       | 不保护   | 10, 3 | 8, 5  |

赋值后，仍然是  $L - C$  小于  $S$ ，从一次博弈看是纳什均衡，结果是江西不保护、广东不补偿。上表可以清楚地看出江西省保护、广东省补偿的策略组合的收益为 (9, 8) 要好于江西省不保护、广东省不补偿的策略组合的收益 (8, 5)。

在这个无限次重复博弈中，假定双方都采用触发策略，第一次采用 (保护、补偿)，如果之前  $t-1$  期都是 (保护，补偿)，则在第  $t$  次时，继续采用 (保护，补偿)，否则，采用 (不保护，不补偿)。在贴现因子  $\delta$  足够大的情况下，双方采取的 (保护，补偿) 策略就是一个无限期重复博弈的完美纳什均衡。

如果江西省采取不保护，第一次能得到10，但引起广东省采用不补偿的报复，江西省只能一直采取不保护，导致收益一直为8，此时总收益现值为

$$P = 10 + 8\delta + 8\delta^2 + \dots = 10 + \frac{8\delta}{1-\delta}$$

如果江西省采用保护，第一次为9，则之后一直为9，整个无限次重复博弈的现值为

$$V = 9 + \delta V, \text{ 计算得到 } V = \frac{9}{1-\delta}$$

当  $\frac{9}{1-\delta} > 10 + \frac{8\delta}{1-\delta}$  时，即  $\delta > \frac{1}{4}$  时，江西省会采取保护策略。

从广东省角度看，如果广东省采取不补偿，第一次能得到10，但引起江西省采取不保护的报复，广东省只能一直采取不补偿，此时总收益现值为

$$P = 10 + 5\delta + 5\delta^2 + \dots = 10 + \frac{5\delta}{1-\delta}$$

如果广东省采取补偿，第一次收益为8，之后一直为8，则整个无限次重复博弈的总收益现值为

$$V = 8 + \delta V, \text{ 计算得到 } V = \frac{8}{1-\delta}$$

当  $\frac{8}{1-\delta} > 10 + \frac{5\delta}{1-\delta}$ ，即  $\delta > \frac{2}{5}$  时，广东省会采取补偿策略。

综上分析，只要贴现因子  $\delta > \frac{2}{5}$  时，上下游采取 (保护，补偿) 的策略，在这种情况下，触发策略就是一个纳什均衡。

三、讨论

引入中央政府的激励约束机制的上下游政府间静态博弈分析，仍然是理性假设为前提，放弃理性假设，采用动态演化博弈得到进化稳定策略，其结论与上述结果一致。

上述上下游政府间无限期重复博弈是在完全信息和理性的假设下的分析，如果考虑不完全信息和存在非理性的情况下，根据KMRW 声誉模型，假设参与者之间的支付函数或者战略空间是不完全信息的，那么在有限时间内，如果博弈的重复次数足够多，那么也会发生合作行为，上下游政府间不需要无限次的条件，只要重复的次数足够长，双方也能采取上游保护、下游补偿的符合社会期望的合作均衡。

四、结论与政策建议

以上分析表明为达到上下游政府的博弈与社会期望结果一致，也就是上游保护、下游补偿的结果，不引入中央政府的上下游政府间静态博弈因为存在囚徒困境的问题无法达到。为破解这一问题，一方面可以引进中央政府的激励和约束机制，让中央政府能够充分扮演组织者、协调者和仲裁者的角色，并对其进行适当的激励和约束，另一方面可以通过建立上下游政府生态补偿的长效机制，在没有上级政府的介入下，贴现因子不是太小的情况下，仍可以激发双方采取触发战略来实现社会期望的结果。

参考文献

[1] 张欣，高鑫. 基于博弈论视角的政府间流域生态补偿机制研究 [J]. 价值工程, 2018 (36) : 110-112.

[2] 王军生，邹东哲，鹿明雷. 基于博弈论方法分析流域内生态补偿机制 [J]. 西安财经学院学报, 2015 (6) : 109-114.

[3] 李宁，王磊，张建清. 基于博弈理论的流域生态补偿利益相关方决策行为研究 [J]. 统计与决策, 2017 (23) : 54-59.

[4] 张维迎. 博弈论与信息经济学 [M]. 上海人民出版社, 2018.

[5] 谢识予. 经济博弈论 [M]. 复旦大学出版社, 2018.

[6] 王玉青，李恒凯，武镇邦，等. 东江源区生态安全格局演变分析与评价 [J]. 科学技术与工程, 2022(014):022.

[7] 孔凡斌. 江河源头水源涵养生态功能区生态补偿机制研究——以江西东江源区为例 [J]. 2021(2010-2):299-305.

[8] 江西省财政厅. 江西：赣粤东江流域保护与治理实现新跨越 [J]. 中国财政, 2023(15): 37-37.D01:10.3969/j.issn.1007-578X.2023.15.016.

[9] 韦选. 江西寻乌：高质量实施生态补偿项目 确保东江出境断面水质 [J]. 中国环境监察, 2021(011):000.

[10] 方鹏. 为有源头“清”水来——东江流域生态补偿资金管理使用情况调研侧记 [J]. 时代主人, 2022(7):38-39.