



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.06.013

王新年, 沈大军. 基于讨价还价模型的跨省水源地保护生态补偿标准研究——以于桥水库为例[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(6): 88-95. WANG X N, SHEN D J. Research on eco compensation standards of interprovincial water source protection based on bargaining model: A case study of Yuqiao Reservoir[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(6): 88-95. (in Chinese)

# 基于讨价还价模型的跨省水源地保护生态补偿标准研究

——以于桥水库为例

王新年, 沈大军

(中国人民大学 环境学院, 北京 100872)

**摘要:** 在梳理现有流域生态补偿标准核算方法的基础上, 运用鲁宾斯坦-斯塔克尔讨价还价模型, 构建了有限期博弈和无限期博弈的跨省水源地保护生态补偿标准讨价还价博弈模型; 并以于桥水库为例, 按照不同补偿区域分析了天津市对河北省的生态补偿标准, 探讨了出价次序变化和贴现因子变化对补偿标准的影响。结果表明: 以于桥水库流域、潘家口-大黑汀水库及引滦入津沿线区域、和主要水源地承德市为补偿对象的生态补偿标准分别在 1.67~15.96 亿元、0.30~11.49 亿元和 8.49~85.37 亿元之间。影响因子分析显示, 在有限期讨价还价博弈中, 跨省水源地保护生态补偿标准与贴现因子  $\delta$  的大小、博弈时期  $T$  的长短及谁在最后出价有关; 在无限期讨价还价博弈中, 跨省水源地保护生态补偿标准与贴现因子  $\delta$  的大小以及谁最先出价有关。

**关键词:** 跨省水源地保护; 生态补偿标准; 讨价还价博弈; 于桥水库

中图分类号: X371 文献标识码: A 文章编号: 1672-1683(2017)06-0088-08

## Research on eco compensation standards of interprovincial water source protection based on bargaining model: A case study of Yuqiao Reservoir

WANG Xinnian, SHEN Dajun

(School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

**Abstract:** In this paper, we established a bargaining model of eco compensation standards for interprovincial water source protection under finite and infinite bargaining conditions by applying the Rubinstein & Stahl bargaining model after analyzing the problems in the existing basin eco compensation calculation methods. The established model was applied to the Yuqiao Reservoir to analyze the eco compensation standards of Tianjin Municipality for Hebei Province in terms of compensation regions. We discussed the impacts of bidding order variation and discount factor variation on the compensation standards. The results showed that the eco compensation standards for Yuqiao Reservoir basin, the region around Panjiakou Daheiting reservoirs and along Luanhe Tianjin water transfer project, and the main water source region Chengde City were respectively between 167 to 1596 million RMB, 30 to 1149 million RMB, and 849 to 8537 million RMB. The impact factor analysis demonstrated that, in the finite bargaining, the interprovincial eco compensation standard was related to the discount factor, the duration of the bidding stage  $T$ , and the last bidder; in the infinite bargaining, the standard was related to the discount factor and the first bidder.

**Key words:** interprovincial water source protection; eco compensation standard; bargaining; Yuqiao Reservoir

收稿日期: 2017-03-21 修回日期: 2017-09-06 网络出版时间: 2017-11-16  
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20171116.1004.002.html>

基金项目: 中央高校建设世界一流大学(学科)特色发展引导专项资金资助

Funds: The Construction of World Class Universities (Discipline) Characteristic Development Guides Special Funds

作者简介: 王新年(1990), 男, 安徽池州人, 主要从事水资源管理方面研究。E-mail: newyear0103@ruc.edu.cn

通讯作者: 沈大军(1969), 男, 浙江慈溪人, 教授, 博士, 主要从事水资源管理方面研究。E-mail: dajunshen@yahoo.com

科学合理的补偿标准和长效的财政路径与监督考核机制是流域生态补偿工作是否能够顺利开展并成功的关键。目前,流域生态补偿标准的制定和计算主要依据基于生态系统服务价值、生态保护与建设成本、发展机会成本、水资源价值、水足迹和博弈协商等核算方法。这些各有特点的方法在我国各地得到应用,如黑河<sup>[11]</sup>、锡林河<sup>[2]</sup>、闽江<sup>[3-4]</sup>、汉江<sup>[5]</sup>以及南水北调中线<sup>[6]</sup>、青海湖<sup>[7]</sup>、昆明松华坝流域<sup>[8]</sup>、辽河<sup>[9]</sup>、太湖<sup>[10]</sup>、滦河<sup>[11]</sup>、鄱阳湖<sup>[12]</sup>、碧流河<sup>[13]</sup>等。这些研究和应用涵盖了我国南方到北方、东部到西部的众多流域,从时间尺度分析,“量化”一直是流域生态补偿标准核算的重点和难点,呈现出由单纯追求补偿标准的数值计算向符合实际的多因素综合、从基于价值评估的定量研究向基于利益相关方价值判断的定性和定量相结合的转变。

目前,我国流域生态补偿标准制定研究正处于“单一量化”向博弈协商转变的阶段,存在以下问题:(1)关注微观而对宏观重视不足:现有方法大多以案例研究量化特定流域上下游间的生态补偿额度,缺乏对流域及区域经济、社会 and 环境的综合考虑。(2)“背靠背”算计而缺乏“面对面”协商:补偿标准多根据相关理论和方法单一量化,而忽视利益相关方的参与和协商,导致大多数研究只得到计算结果,而并不没有认可、接受和应用。(3)静态研究而缺乏动态机制。

基于以上认识,本研究尝试以博弈论为基础,研究建立跨省水源地保护生态补偿标准制定的动态机制,并以于桥水库为例,分析不同区域和博弈模式下的补偿标准以及相关影响因素,从而实现补偿标准由“计算”向“制定”的转变、由“单一量化”向“多方协商博弈”的转变,建立“面对面”的流域生态补偿标准制定方法。

## 1 研究方法

博弈是指参与人在一定的规则下,同时或先后、一次或多次,从各自所允许选择的行动或战略中进行选择并实施,并取得相应结果(支付函数)的过程<sup>[14]</sup>。博弈主要有参与人、行动、信息、战略、得益及均衡构成。博弈有静态博弈与动态博弈之分,前者重在结果,而后者关注过程。

所谓“议价”(通称为“讨价还价”)是指双方(有时是多方)关于可能达成合作或一致的条件协商与谈判,或者说通过商谈方式解决利益在不同主体间的分配与协调问题。议价理论包括合作博弈和非合作博弈。本文所采用的鲁宾斯坦恩—斯塔尔议价模型是非合作博弈议价理论的基础模型,用动态模型

对议价过程进行模拟。

重复博弈指多次(两次以上、有限次或无限次)重复条件、规则和内容都相同的博弈过程。在重复博弈中,由于长期利益的存在,各博弈方在当前阶段的博弈中要考虑不能引起其它博弈方在后面阶段的对抗、报复或恶性竞争。无限期重复博弈指同一博弈被无限次重复,有限期重复博弈则是有限次重复。在无限期重复博弈中,对于任何一个参与者的欺骗和违约行为,其他参与者总会有机会报复,所以每一个参与者都不会采取违约或欺骗行为,存在囚犯困境合作的均衡解。在有限次重复博弈中,参与者会欺骗和违约,囚犯困境博弈的纳什均衡是参与者不合作,但当参与者不知道哪一次是末期时,决策近于无限次博弈。但无限期与有限期重复博弈的共同点是,试图“合作”和惩罚“不合作”是实现理想均衡的关键。<sup>[16]</sup>

### 1.1 模型构建

在跨省水源地保护生态补偿博弈中,参与人为流域水资源保护的利益相关方,分为补偿主体和补偿客体。补偿主体多为下游用水省份,指从水源地保护中受益的地区、单位和个人;补偿客体为流域上游的产水省份,为保护流域水源地而做出贡献和牺牲,包括流域上游产水地区及水源地周边的单位和个人。

在鲁宾斯坦恩—斯塔尔讨价还价模型中,两个参与人用水省份 A 与产水省份 B 轮流出价,假设用水省份 A 先出价,产水省份 B 可以接受或拒绝。如果产水省份 B 接受该出价,则该博弈结束,上游生态保护建设成本与发展机会损失 C 按用水省份 A 提出的方案来分担。如果产水省份 B 拒绝该出价,则由其出价(还价),用水省份 A 可以接受或拒绝。如果用水省份 A 接受,则该博弈结束, C 按产水省份 B 提出的方案分担。而如果用水省份 A 拒绝该出价,则由 A 再出价,如此循环,直至其中一个参与人的出价被另一个参与者接受为止。因此,有限期和无限期博弈在跨省水源地生态补偿中都可能出现和应用。

以上进行的讨价还价基于以下假设:(1)理性经济人假设:用水省份 A 和产水省份 B 在给定的约束条件下均追求自身利益最大化。(2)完全且完美信息:用水省份 A 与产水省份 B 完全了解对方各种情况下的得益,且每个主体轮到它行动时都能看到之前所有已做出的行动,每个时刻只有一个人行动,没有外生的随机性。(3)讨价还价有成本:随着时间的推移,讨价还价双方均要为此付出时间成本,如对于

用水省份 A, 每延迟一期达成协议, 就需多用一期污染的水或少用水, 将影响经济社会发展; 而产水省份 B 每延迟一期达成协议, 将少获得一期补偿, 意味着其生态产品价值的损失。在讨价还价模型中用贴现因子  $\delta$  来体现讨价还价的成本。(4) 协议总是即时达成且结果有效率: 鲁宾斯坦恩-斯塔尔讨价还价模型存在子博弈精炼纳什均衡, 该均衡具有无延迟性; 协议在讨价还价过程一开始就达成, 随后所谓的动态讨价还价过程实际是不发生的。

同时, 模型假设讨价还价基数  $C$  为上游(产水省份)生态保护和建设成本与发展机会成本的货币化价值, 用水省份 A 分得的份额为  $x$ , 则产水省份 B 分得的份额为  $C-x$  ( $C \geq 0, x \in [0, C]$ )。用水省份 A 与产水省份 B 的贴现因子分别为  $\delta_1$  和  $\delta_2$ , 其中  $\delta_i \in [0, 1]$ 。轮流出价中某一出价及对应的回应称为一个时期, 假定时间为离散, 时期被标为  $t \in \{1, 2, \dots, T\}$ 。

### 1.2 模型求解

#### (1) 有限期讨价还价博弈。

有限期讨价还价博弈用逆推归纳法求解。

##### a. 当 $T=2$ 时。

考察用水省份 A 先出价和产水省份 B 先出价两种情形。

当用水省份 A 先出价时, 第一轮由用水省份 A 先出价, 而产水省份 B 拒绝该出价, 此时则由 B 在第二轮出价, A 接受该出价(因为 A 不再有出价机会), 博弈结束。在这种情形下, 如果将时间贴现  $\delta_2$  考虑在内, B 将仅仅接受 A 在第一轮提出的收益不低于  $\delta_2 \times C$  的出价。作为理性人的 A 为了不至于在第二轮被动接受全部成本, 其在第一轮出价为  $(1-\delta_2) \times C$ 。因此, 由 A 先出价的两时期讨价还价博弈的子博弈精炼纳什均衡结果为: 用水省份 A 承担数额为  $\delta_2 \times C$  的保护成本, 而 B 承担  $(1-\delta_2) \times C$  (图 1)。这里, 用水省份 A 所需承担的成本  $\delta_2 \times C$  即为 A 对 B 的生态补偿额度。

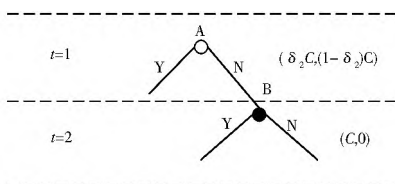


图 1 用水省份 A 先出价的两时期轮流出价博弈

Fig. 1 Two period bargaining with water using province A as the first bidder

同理, 可以推导出两时期讨价还价博弈中当产水省份 B 先出价时用水省份 A 对产水省份 B 的补偿额度为  $(1-\delta_1) \times C$  (图 2)。

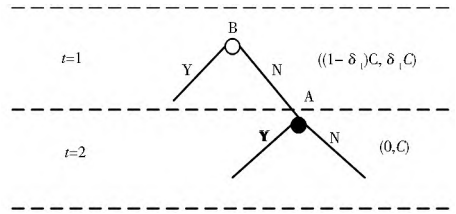


图 2 产水省份 B 先出价的两时期轮流出价博弈

Fig. 2 Two period bargaining with water source province B as the first bidder

##### b. 当 $T=3$ 时。

当用水省份 A 先出价时, 第一轮由用水省份 A 出价, 而产水省份 B 拒绝了该出价; 第二轮转由 B 出价, A 也拒绝了其出价; 第三轮再次由 A 出价, B 接受该出价(因为 B 不再有出价机会), 博弈结束。在这种情形下, 由 A 先出价的三时期讨价还价博弈的子博弈精炼纳什均衡结果为: 用水省份 A 承担数额为  $\delta_2(1-\delta_1) \times C$  的保护成本, 而产水省份 B 承担的成本为  $[1-\delta_1(1-\delta_2)] \times C$ 。这里用水省份 A 需支付给产生省份 B 的补偿额度为  $\delta_2(1-\delta_1) \times C$  (图 3)。

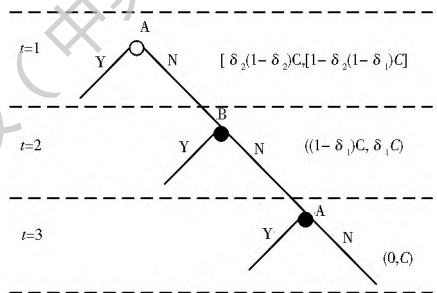


图 3 用水省份 A 先出价的三时期轮流出价博弈

Fig. 3 Three period bargaining with water using province A as the first bidder

同理, 可以推导出三时期讨价还价博弈中当产水省份 B 先出价时用水省份 A 对产水省份 B 的补偿额度为  $[1-\delta_1(1-\delta_2)] \times C$  (图 4)。

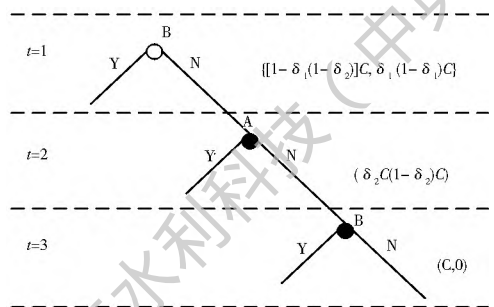


图 4 产水省份 B 先出价的三时期轮流出价博弈

Fig. 4 Three period bargaining with water source province B as the first bidder

因此, 运用上述方法可以推导出任何给定的  $T < \infty$  下的有限期讨价还价博弈的跨省水源地保护生态补偿标准。

以上分析可知, 在有限期讨价还价博弈中, 跨省

水源地保护生态补偿标准与贴现因子  $\delta$  的大小、博弈时期  $T$  的长短及谁在最后出价有关。

在讨价还价过程中,如果博弈双方不接受对方的出价方案,谈判就会持续下去,也没有结束期限的限制,这样就演变成无限期的讨价还价博弈。

## (2) 无限期讨价还价博弈。

由于无限期讨价还价博弈没有最后时期,所以无法直接运用逆推归纳法进行求解。但是萨克德和萨顿<sup>[15]</sup>提出了一种解决无限期讨价还价博弈的思路:由于从参与人 1 出价的任何一个时期开始的子博弈等价于从  $t=1$  时开始的整个博弈,因此,可借助有限时期逆向归纳法的解析逻辑求解子博弈精炼均衡<sup>[16]</sup>。而鲁宾斯坦恩又证明了在无限期轮流出价博弈中,子博弈精炼纳什均衡具有唯一性<sup>[17]</sup>。因此,本文将从用水省份 A 先出价和产水省份 B 先出价两种情形构建并求解跨省水源地保护生态补偿标准无限期讨价还价博弈模型。

当用水省份 A 先出价时,假定在时期  $t \geq 3$  时由用水省份 A 出价,产水省份 B 所需承担的最大成本数额为  $L(L \in [0, C])$ ,而自己所需承担的最小成本为  $C-L$ ,即此时 A 的最大收益为  $L$ ,通过贴现,等价于  $t-1$  期的  $\delta \times L$ 。在  $t-1$  期,用水省份 A 仅接受保证其收益不低于  $\delta_1 \times L$  的出价,因而根据利益最大化原则,该轮的出价人产水省份 B 将出价为用水省份 A 承担数额为  $(C - \delta_1 \times L)$  的成本,自己承担  $\delta_1 \times L$  的成本,此时产水省份 B 对应的收益为  $C - \delta_1 \times L$ ,等价于  $t-2$  期的  $\delta \times (C - \delta_1 \times L)$ 。在  $t-2$  期掌握出价主动权的用水省份 A 知道该轮产水省份 B 将会接受任何保证其收益不低于  $\delta_2 \times (C - \delta_1 \times L)$  的出价,因而该轮用水省份 A 的出价方案为产水省份 B 承担数额为  $C - \delta_2 \times (C - \delta_1 \times L)$  的成本,自己承担  $\delta_2 \times (C - \delta_1 \times L)$  的成本。因为从  $t-2$  时开始的博弈与从  $t$  时开始的博弈完全相同,用水省份 A 在  $t-2$  期所需承担的最小成本一定与其在  $t$  期所需承担的最小成本相同,如此有:

$$C-L = \delta_2(C - \delta_1 L) \quad (1)$$

求解该等式,可得:

$$L = \frac{1 - \delta_2}{1 - \delta_1 \delta_2} \times C \quad (2)$$

即,用水省份 A 所需承担的最小成本为

$$C-L = \frac{\delta_2(1 - \delta_1)}{1 - \delta_1 \delta_2} \times C \quad (3)$$

现假定时期  $t \geq 3$  由用水省份 A 出价,产水省份 B 所需承担的最小成本数额为  $l(l \in [0, C])$ ,因而自己所需承担的最大成本为  $C-l$ ,同理可得:

$$C-l = \delta_2(C - \delta_1 l) \quad (4)$$

解得:

$$l = \frac{1 - \delta_2}{1 - \delta_1 \delta_2} \times C \quad (5)$$

也即,用水省份 A 所需承担的最大成本为

$$C-l = \frac{\delta_2(1 - \delta_1)}{1 - \delta_1 \delta_2} \times C \quad (6)$$

所以,用水省份 A 所承担的最小保护成本数额与最大保护成本数额相同,且均衡结果是唯一的。

由用水省份 A 先出价的无限期讨价还价博弈的子博弈精炼纳什均衡结果为:用水省份 A 承担的成本

为  $\frac{\delta_2(1 - \delta_1)}{1 - \delta_1 \delta_2} \times C$ ,产水省份 B 承担的成本为

$\frac{1 - \delta_2}{1 - \delta_1 \delta_2} \times C$ 。此时跨省水源地保护生态补偿标

准为  $\frac{\delta_2(1 - \delta_1)}{1 - \delta_1 \delta_2} \times C$ 。

同理,可以推导无限期讨价还价博弈中当产水省份 B 先出价时跨省水源地保护生态补偿标准为

$\frac{1 - \delta_2}{1 - \delta_1 \delta_2} \times C$ 。

因此,在无限期讨价还价博弈中,跨省水源地保护生态补偿标准与贴现因子  $\delta$  的大小以及谁最先出价有关。

## 2 于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准研究

### 2.1 研究区概况

于桥水库位于天津市蓟县城东 4 km,总库容 15.59 亿  $m^3$ ,是以城市供水及防洪为主的大型水利工程。作为天津市唯一地表水饮用水水源地,于桥水库对保证天津市的城市供水安全起着至关重要的作用。于桥水库的大部分水量来自引滦工程的调水,近 5 年平均引用水量在 5 亿  $m^3$  以上。由于滦河流域大部分位于河北省,因此,于桥水库流域、潘家口水库和大黑汀水库库区和引滦入津沿线、以及滦河流域的水资源保护工作直接影响天津市的供水量和水质。受上游汇水以及引滦工程输水沿线的污染影响,引滦通水 30 年来,于桥水库的水体逐步恶化,富营养化水平已经从中上升到高,总氮和总磷超标<sup>[18]</sup>。因此,作为用水区的天津市是于桥水库跨省水源地保护生态补偿的主体,河北省承德市和唐山市是补偿客体。

### 2.2 补偿对象划分

于桥水库水资源保护需求的变动将影响补偿区域和补偿内容的选择。从空间上划分,按照从下游往上游扩展以及污染源的来源分析,于桥水库跨省

水源地保护工作可以划分为于桥水库流域、潘家口一大黑汀水库库区及引滦入津沿线、和上游产水区河北省承德市三个部分。为了更好地满足不同时期水资源保护工作的需要,并体现所构建模型的灵活性与适应性,本文将选择于桥水库流域、潘家口一大黑汀水库库区及引滦入津沿线、和上游产水区河北省承德市等三个区域作为补偿对象,研究于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准。

### 2.3 补偿标准分析

#### (1) 贴现因子选择

在本文构建的博弈模型中,贴现因子  $\delta$  表示讨价还价的时间成本,也是博弈参与者耐心程度的反映。其影响因素主要有<sup>[9]</sup>:一是时间的相对重要性:若时间对某一参与者越重要,那么其贴现因子就越小,在讨价还价中就越处于不利位置;二是机会成本大小:在跨省水源地保护中,机会成本是指参与者能找到相似或相同成交条件的可能性,如水源替代性、产业发展对水源的依赖度等等,其与贴现因子呈反向变动关系;三是参与人的风险厌恶度大小:风险厌恶度小的参与者,其贴现因子较大,在讨价还价中处于较有利的地位,同时引发谈判破裂的可能性也较大;风险厌恶度大的参与者,其贴现因子较小,在讨价还价中处于较被动不利的地位,但引发谈判破裂的可能性也较小。因此,贴现因子是以上因素的综合体现。

作为用水省份的天津市,其贴现因子主要受跨省水源地保护所带来的预期收益、机会成本大小及所持的风险态度等因素影响。作为主要产水省份的河北省,其贴现因子主要受跨省水源地生态环境保护投入成本、中央政府对该地区生态环境保护扶持力度及所持的风险态度等因素影响。于桥水库是天津市当前唯一地表水饮用水水源地(课题研究时南水北调中线工程未通水)且绝大部分水资源来自上游河北省,因此,本文假定天津市讨价还价的成本高于河北省,耐力度低于河北省,也即天津市贴现因子  $\delta$  比河北省贴现因子  $\delta$  小,并设天津市的贴现因子  $\delta = 0.9$ ,河北省的贴现因子  $\delta = 0.95$ 。

#### (2) 以于桥水库流域为补偿对象的生态补偿标准

天津市环境监测中心运用公式  $ESV = \sum(A_i \times VC_i)$ (其中  $ESV$  表示生态系统服务总价值,  $A_i$  表示土地利用类型的面积,  $VC_i$  表示生态价值系数)计算了于桥水库流域 2010 年生态系统服务功能价值为 16 716 亿元。根据本文所构建的生态补偿标准博弈模型,以于桥水库流域 2010 年生态系统服务价值核算结果作为博弈基数的于桥水库跨省水源地保护

生态补偿标准见表 1。

表 1 以于桥水库流域为补偿对象的于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准

Tab. 1 Ec compensation standards with the Yuqiao Reservoir basin as the compensation object

情形	亿元		
	有限期讨价还价博弈		无限期讨价还价博弈
	$T=2$	$T=3$	
天津市先出价	15.88	1.59	10.95
河北省先出价	1.67	15.96	11.53

(3) 以潘家口-大黑汀水库及引滦入津沿线区域为补偿对象的生态补偿标准。

在本情景下,以天津市环境监测中心基于四种不同核算方法计算得出的补偿标准作为博弈基数(表 2),模拟以潘家口-大黑汀水库及引滦入津沿线区域为补偿对象的于桥水库跨省生态补偿标准。表 2 显示,不同方法的计算结果差异很大,这也是前言中所提出的问题以及本文的目的,即标准确定需要双方的博弈协商,而合理与否则需要看双方的接受度。

表 2 基于不同核算方法测得的博弈基数

Tab. 2 Bargaining bases by different calculation methods

核算方法	核算结果	核算方法	亿元
基于发展机会成本	3.00	通过对潘家口-大黑汀水库网箱养殖规模和产值的统计数据进行分析,测得该区域基于发展机会成本的年均补偿标准为 3 亿元。	
基于水资源价值	12.03	运用公式 $P = Q \times Va \times C$ , 其中 $P$ 为补偿标准, $Q$ 为调水量, $Va$ 为水资源价值, $C$ 为水质调整系数,测得该区域基于水资源价值的补偿标准为 12.03 亿元(取 2010-2012 年平均值)。	
基于水环境容量	4.15	运用公式 $P = D \times M$ , 其中 $P$ 为补偿标准, $D$ 为调水量, $M$ 为水环境容量,测得该区域基于水环境容量的补偿标准为 4.15 亿元(取 2010-2012 年平均值)。	
基于补偿主体支付能力	10.95	运用公式 $P = r \times \alpha \times PG$ , 其中 $P$ 为补偿标准, $r$ 为生态补偿系数, $\alpha$ 为补偿能力因子, $PG$ 为调水量 $Q$ 的潜在 GDP 值,测得该区域基于补偿主体支付能力的补偿标准为 10.95 亿元(取 2010-2012 年平均值)。	

根据本文所构建的博弈模型,以潘家口一大黑汀水库及引滦入津沿线区域为补偿对象的于桥水库

跨省水源地保护生态补偿标准见表3。

表3 以潘家口-大黑汀水库及引滦入津沿线区域为博弈对象的于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准

Tab.3 Ecor compensation standards with the region around Panjiakou Dahaiting reservoirs and along the Luanhe Tianjin water transfer project as the bargaining object

博弈对象	出价次序	亿元		
		有限期讨价还价博弈		无限期讨价还价博弈
		T=2	T=3	
基于发展机会成本测算结果	天津市先出价	2.85	0.29	1.97
	河北省先出价	0.3	2.87	2.07
基于水资源价值测算结果	天津市先出价	11.43	1.14	7.88
	河北省先出价	1.2	11.49	8.30
基于水环境容量测算结果	天津市先出价	3.94	0.39	2.72
	河北省先出价	0.42	3.96	2.86
基于补偿主体支付能力测算结果	天津市先出价	10.4	1.04	7.17
	河北省先出价	1.1	10.46	7.55

(4) 以主要水源区承德市为补偿对象的生态补偿标准。

作为引滦入津最重要水源区的承德市,为保证入潘家口水库的水量和水质,投入了大量的人力、物力和财力进行流域生态保护和建设。依据生态建设与建设总成本核算方法得出承德市为保护水源所投入的生态建设成本及所遭受的工农业发展机会损失年均值C为89.39亿元,其中生态保护与建设年均直接成本为6.225亿元,年均间接成本为83.165亿元(取2008-2012年平均值)。

因此,根据本文所构建的博弈模型,以主要水源区为补偿对象的于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准见表4。

表4 以主要水源区承德市为补偿对象的于桥水库跨省水源地生态补偿标准

Tab.4 Ecor compensation standards with Chengde City as the compensation object

出价次序	有限期讨价还价博弈		无限期讨价还价博弈
	T=2	T=3	
	天津市先出价/亿元	84.92	
河北省先出价/亿元	8.94	85.37	61.65

(5) 出价次序对生态补偿标准的影响。

为了分析生态补偿标准制定的各种影响因素,本部分对出价次序进行研究。为了更准确地反映出价次序对于于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准的影响,假定天津市与河北省的贴现因子相同,为 $\delta = \delta = 0.9$ 。并以主要水源区为例,分别基于有限期讨价还价博弈和无限期讨价还价博弈分析出价次序对补偿标准的影响。计算结果分别见表5和表6。

表5说明,在相同的出价期数下,随着出价次数的增加,基于偶数期和基于奇数期的讨价还价博弈对用水省份和产水省份的生态补偿标准的影响相反:在天津市先出价的情形下,当T为偶数时,补偿标准呈递减趋势;而当T为奇数时,补偿标准呈递增趋势;而在河北省先出价的情形下,当T为偶数时,补偿标准呈递增趋势,而当T为奇数时,补偿标准呈递减趋势。例如,在天津市先出价的情形下,T=4时的生态补偿标准73.21亿元小于T=2时的补偿标准80.45亿元,而T=5时的补偿标准14.56亿元大于T=3时的补偿标准8.05亿元。

表5 有限期讨价还价博弈下出价次序对于于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准的影响

Tab.5 The impact of bidding order on the ecor compensation standard in the finite bargaining

出价次序	亿元			
	T=2	T=3	T=4	T=5
天津市先出价	80.45	8.05	73.21	14.56
河北省先出价	8.94	81.34	16.18	74.83

表6 无限期讨价还价博弈下出价次序对于于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准的影响

Tab.6 The impact of bidding order on the ecor compensation standard in the infinite bargaining

出价次序	T=∞
	天津市先出价
河北省先出价	47.05

表5同时说明,在给定出价期数下,不同的出价次序对补偿标准具有相反方向的影响:当T为偶数时,天津市先出价下的补偿标准高于河北省先出价下的补偿标准;当T为奇数时,天津市先出价下的补偿标准低于河北省先出价下的补偿标准。例如,当T=2时,天津市先出价下的跨省生态补偿标准80.45亿元远远高于河北省先出价下的补偿数额8.94亿元;T=3时,天津市先出价下的跨省生态补偿标准8.05亿元却远远低于河北省先出价下的补偿标准81.34亿元。

因此,在有限期讨价还价博弈中,不论T为奇数还是偶数,参与人均具有明显的“后动优势”:当天津市掌握最后一轮出价权时,于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准往往较低;而当河北省掌握最后一轮出价权时,于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准往往较高。

而基于无限期讨价还价博弈的结果表明,在贴现因子相等的前提下,河北省先出价下的于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准47.05亿元大于天津

先出价下的 42.34 亿元,从而证明了无限期讨价还价博弈中的“先动优势”:当天津市先出价时,跨省生态补偿标准较低;而当河北省先出价时,跨省生态补偿标准较高(表 6)。

#### (6) 贴现因子对生态补偿标准的影响。

本部分分析贴现因子对生态补偿标准的影响,同样以主要水源区作为补偿客体,分别分析河北省贴现因子  $\delta_2$  一定时天津市贴现因子  $\delta_1$  变动、和天津市贴现因子  $\delta_1$  一定时河北省贴现因子  $\delta_2$  变动对补偿标准的影响。同时,均以  $\delta_1 = \delta_2 = 0.8$  作为变动基准,分别设置 6 个变动情形:5%、10%、15%、-5%、-10%、-15%。需要指出的是,由于  $\delta_1, \delta_2 \in [0, 1]$ ,在设置贴现因子变动范围时,应保持在有效取值范围内。计算结果分别见表 7 和表 8。

表 7  $\delta_2$  一定时  $\delta_1$  变动对于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准的影响

Tab. 7 The impact of the discount factor  $\delta_1$  variation on ecor compensation standard (%)

$\Delta\delta_1$	有限期讨价还价博弈				无限期讨价还价博弈	
	天津市先出价		河北省先出价		天津市先出价	河北省先出价
	$T=2$	$T=3$	$T=2$	$T=3$		
5%	0.00	-20.00	-20.00	-0.95	-12.20	-12.20
10%	0.00	-40.00	-40.00	-1.90	-27.03	-27.03
15%	0.00	-60.00	-60.00	-2.86	-45.45	-45.45
-5%	0.00	20.00	20.00	0.95	10.20	10.20
-10%	0.00	40.00	40.00	1.90	18.87	18.87
-15%	0.00	60.00	60.00	2.86	26.32	26.32

表 8  $\delta_1$  一定时  $\delta_2$  变动对于桥水库跨省水源地生态补偿标准的影响

Tab. 8 The impact of the discount factor  $\delta_2$  variation on ecor compensation standard

$\Delta\delta_2$	有限期讨价还价博弈				无限期讨价还价博弈	
	天津市先出价		河北省先出价		天津市先出价	河北省先出价
	$T=2$	$T=3$	$T=2$	$T=3$		
5%	5.00	5.00	0.00	3.81	15.24	9.76
10%	10.00	10.00	0.00	7.62	33.78	21.62
15%	15.00	15.00	0.00	11.43	56.82	36.36
-5%	-5.00	-5.00	0.00	-3.81	-12.76	-8.16
-10%	-10.00	-10.00	0.00	-7.62	-23.58	-15.09
-15%	-15.00	-15.00	0.00	-11.43	-32.89	-21.05

表 7 显示,除两时期天津市先出价的情形以外,其他各时期及出价次序下,  $\delta_1$  变动对于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准的影响与  $\delta_1$  的变动方向相反。这一结果表明,在  $\delta_1$  一定时,随着  $\delta_1$  的增大,于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准将逐渐

降低;反之,将逐渐提高。此外,本模拟中出现了两时期天津市先出价时生态补偿标准不受  $\delta_1$  变动影响这一特殊情况,这是因为该情形下的生态补偿标准仅由  $\delta_2$  决定,而  $\delta_1$  保持不变。

表 7 同时显示,从影响程度来看,  $\delta_1$  相同的变动幅度对各时期及出价次序下的于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准的影响程度从大到小依次为:天津市先出价下的三时期博弈与河北省先出价下的两时期博弈、天津市先出价下的无限期博弈与河北省先出价下的无限期博弈、河北省先出价下的三时期博弈、天津市先出价下的两时期博弈。此外,在有限期博弈下,  $\delta_1$  正负两个方向的变动对补偿标准的影响对称,影响的绝对值相等。在无限期博弈下,对不同出价次序的影响相同,且  $\delta_1$  正方向变动对补偿标准的影响高于相同幅度的负方向变动的的影响。

表 8 显示,除两时期河北省先出价的情形以外,其他各时期及出价次序下,  $\delta_2$  变动对于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准的影响与  $\delta_2$  的变动方向相同。这一结果表明,在  $\delta_2$  一定时,随着  $\delta_2$  的增大,于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准将逐渐提高;反之,将逐渐降低。此外,两时期河北省先出价的特殊情况与表 7 所分析的两时期天津市先出价的情况相同。

表 8 也显示,从影响程度来看,  $\delta_2$  同等变幅对各时期及出价次序下的于桥水库跨省水源地保护生态补偿标准的影响程度从大到小依次为:天津市先出价下的无限期博弈、河北省先出价下的无限期博弈、天津先出价下的两时期博弈与天津市先出价下的三时期博弈、河北省先出价下的三时期博弈、河北省先出价下的两时期博弈。此外,在有限期博弈下,  $\delta_2$  正负两个方向的变动对补偿标准的影响也对称,影响绝对值相等。而在无限期博弈下,对不同出价次序下的补偿标准的影响不具备对称性特征,  $\delta_2$  正方向变动对补偿标准的影响高于相同幅度的负方向变动。

### 3 结论

流域生态补偿,特别是横向补偿,是我国生态文明制度体系建设的重要内容。文章针对现有流域生态补偿标准确定中存在的问题,运用鲁宾斯坦恩-斯塔尔讨价还价模型构建了有限期博弈和无限期博弈的跨省水源地保护生态补偿标准讨价还价博弈模型,并以于桥水库为例,分别从不同补偿区域分析了天津市和河北省的生态补偿标准,并探讨了出价次序和贴现因子变化对补偿标准的影响,从而构建了博弈协商的“面对面”生态补偿标准制定模式。



以于桥水库流域、潘家口-大黑汀水库及引滦入津沿线区域、和主要水源区承德市为补偿对象的生态补偿标准分别在 1.67~15.96 亿元、0.30~11.4396 亿元和 8.49~85.37 亿元之间。影响因子分析显示,在有限期讨价还价博弈中,跨省水源地保护生态补偿标准与贴现因子  $\delta$  的大小、博弈时期  $T$  的长短及谁在最后出价有关;在无限期讨价还价博弈中,跨省水源地保护生态补偿标准与贴现因子  $\delta$  的大小以及谁最先出价有关。以上的分析可以看出,除了补偿区域等物理因素以外,标准的确定与博弈规则,包括期次和次序,以及贴现因子所体现的博弈方之间的地位密切相关。

致谢:感谢天津市环境监测中心提供于桥水库生态补偿计算结果。

#### 参考文献(References):

- [1] 张志强,徐中民,程国栋,等.黑河流域张掖地区生态系统服务恢复的条件价值评估[J].生态学报,2002,22(6):885-893. (ZHANG Z Q, XU Z M, CHENG G D, et al. Contingent valuation of the economic benefits of restoring ecosystem services of Zhangye Prefecture of Heihe River Basin[J]. Acta Ecologica Sinica. 2002, 22(6): 885-893. (in Chinese))
- [2] 许中旗,李文华,闵庆文,等.锡林河流域生态系统服务价值变化研究[J].自然资源学报,2005,20(1):99-104. (XU Z Q, LI W H, MIN Q W, et al. Research on changes in value of ecosystem services in Xilin River Basin[J]. Journal of Natural Resources. 2005, 20(1): 99-104. (in Chinese))
- [3] 黎元生,胡熠.闽江流域区际生态受益补偿标准探析[J].农业现代化研究,2007,28(3):327-329. (LI Y S, HU Y. On regional ecological benefit compensation standard in Minjiang River Basin[J]. Research of Agricultural Modernization. 2007, 28(3): 327-329. (in Chinese))
- [4] 韩凌芬,胡熠,黎元生.基于博弈论视角的闽江流域生态补偿机制分析[J].中国水利,2009(11):10-12. (HAN L F, HU Y, LI Y S. Analyzing ecological compensation mechanism in Minjiang River Basin from the angle of Game theory[J]. China Water Resources. 2009(11): 10-12. (in Chinese))
- [5] 江中文.南水北调中线工程汉江流域水源保护区生态补偿标准与机制研究[D].西安:西安建筑科技大学,2008. (JIANG Z W. Study on ecological compensation standard and mechanism of South to North Water Diversion in Hanjiang River water resource Basin[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology. 2008. (in Chinese))
- [6] 史淑娟,李怀恩,刘利年,等.南水北调中线陕西水源区生态补偿量模型研究[J].水土保持学报,2009,23(5):147-151. (SHI S J, LI H E, LIU L N, et al. Study on calculation model of eco compensation quantity in Shaanxi water source of middle Line South to North Water Transfer Project[J]. Journal of Soil and Water Conservation. 2009, 23(5): 147-151. (in Chinese))
- [7] 韩艳莉,陈克龙,朵海瑞,等.青海湖流域生态补偿标准研究[J].生态科学,2009,28(5):460-464. (HAN Y L, CHEN K L, DU O H R, et al. Study on the standards of ecological compensation in Qinghai Lake watershed[J]. Ecological Sciences. 2009, 28(5): 460-464. (in Chinese))
- [8] 李云驹,许建初,潘剑君,等.松华坝流域生态补偿标准和效率研究[J].资源科学,2011,33(12):2370-2375. (LI Y J, XU J C, PAN J J, et al. Discussion on standards and efficiency of payment for ecosystem services in the Songhuaba Watershed[J]. Resources Science. 2011, 33(12): 2370-2375. (in Chinese))
- [9] 徐大伟,常亮,侯铁珊,等.基于WTP和WTA的流域生态补偿标准测算——以辽河为例[J].资源科学,2012,34(7):1354-1361. (XU D W, CHANG L, HOU T S, et al. Measure of watershed ecological compensation standard based on WTP and WTA: A case study in Liaohe River Basin[J]. Resources Science. 2012, 34(7): 1354-1361. (in Chinese))
- [10] 陈江龙,姚佳,徐梦月,等.基于发展权价值评估的太湖东部水源保护区生态补偿标准[J].湖泊科学,2012,24(4):609-614. (CHEN J L, YAO J, XU M Y, et al. Eco compensation of drinking water source protection region in eastern Lake Taihu Based on development right valuation[J]. Journal of Lake Sciences. 2012, 24(4): 609-614. (in Chinese))
- [11] 吕明权,王继军,周伟.基于最小数据方法的滦河流域生态补偿研究[J].资源科学,2012,34(1):166-172. (LYU M Q, WANG J J, ZHOU W. Payments for water provision service for the Luanhe River Basin based on a minimum data approach[J]. Resources Science. 2012, 34(1): 166-172. (in Chinese))
- [12] 孔凡斌,廖文梅.基于排污权的鄱阳湖流域生态补偿标准研究[J].江西财经大学学报,2013(4):12-19. (KONG F B, LIAO W M. Research on eco compensation standard based on pollutant discharge rights in the Poyang Lake basin[J]. Journal of Jiangxi University of Finance and Economics. 2013(4): 12-19. (in Chinese))
- [13] 耿涌,戚瑞,张攀.基于水足迹的流域生态补偿标准模型研究[J].中国人口·资源与环境,2009,19(6):11-16. (GENG Y, QI R, ZHANG P. A water footprint based model on river basin eco compensation[J]. China Population Resources and Environment. 2009, 19(6): 11-16. (in Chinese))
- [14] 姚允柱.从博弈论看劳动价值的成因[J].社会科学,2005(3):24-27. (YAO Y Z. Viewing cause of formation of labor value from game theory[J]. Social Science. 2005(3): 24-27. (in Chinese))
- [15] Shaked V, Sutton J. Involuntary unemployment as a perfect equilibrium in a bargaining model[J]. Econometrica. 1984, 52, (6): 1351-1364.
- [16] 张维迎.博弈论与信息经济学[M].上海:上海人民出版社,2004,120-121. (ZHANG W Y. Game and information economics[M]. Shanghai, Shanghai People's Press, 2004, 120-121. (in Chinese))
- [17] Rubinstein A. Perfect equilibrium in a bargaining model[J]. Econometrica. 1982, (50): 97-109.
- [18] 李雪娇,孙翔宇,孔庆杰.于桥水库水污染因素调查分析[J].海河水利,2013,6:27-28. (LI X J, SUN X Y, KONG Q J. Investigation and analysis of pollutant factors in the Yuqiao Reservoir[J]. Haihe River Water Resources, 2013, 6: 27-28. (in Chinese))
- [19] 周筱莲,庄贵军.讨价还价的博弈模型及其现实补充[J].西安财经学院学报,2011,24(3):5-9. (ZHOU X L, ZHUANG G J. The bargaining game model and its realistic supplement[J]. Journal of Xi'an University of Finance and Economics, 2011, 24(3): 5-9. (in Chinese))