

基于博弈论的跨省水源地保护生态补偿 标准研究

——以天津市于桥水库为例

中国人民大学 沈大军
dajunshen@ruc.edu.cn

研究背景

责任有待明确

2

1

进展缓慢

3

标准的核算
缺乏科学性和全面性

问题

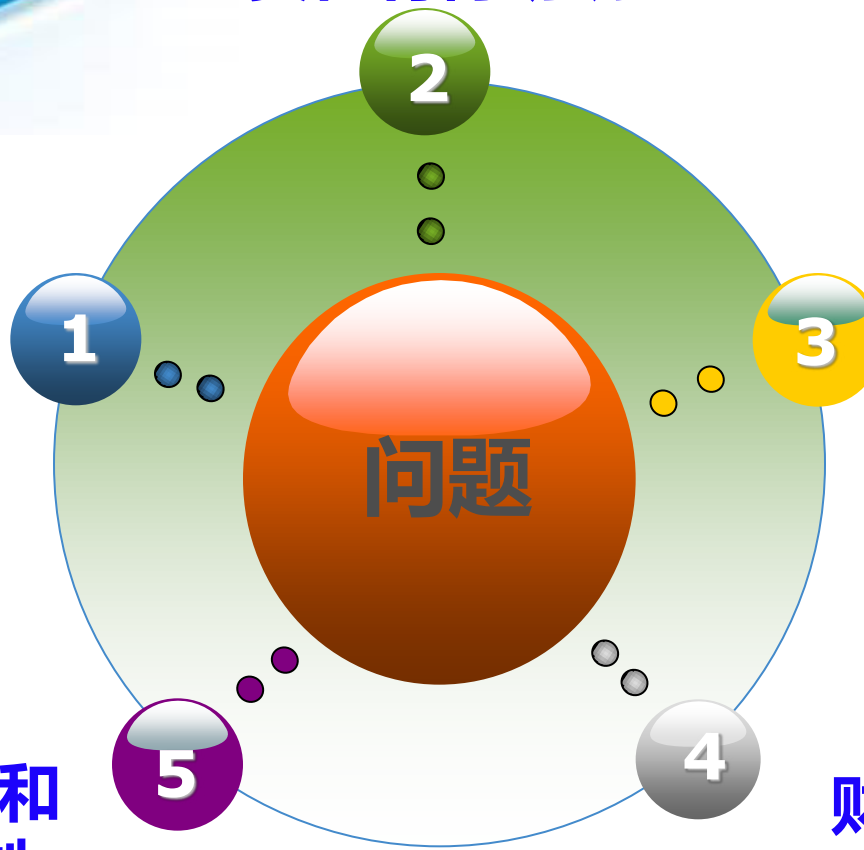
5

缺乏监督和
考核机制

4

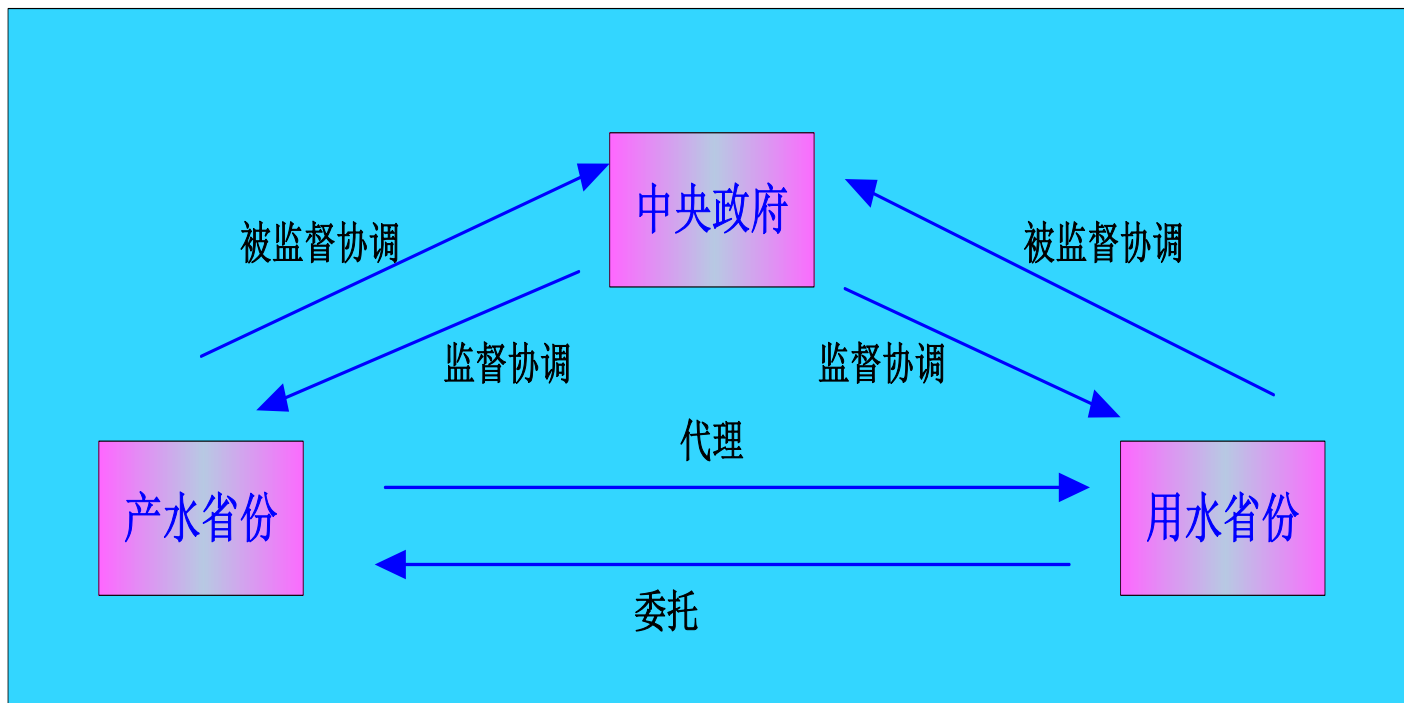
财政路径单一

跨省水源地生态补偿存在的问题



跨省水源地保护博弈利益相关方分析

- 补偿主体
- 补偿客体
- 第三方



跨省水源地保护生态补偿博弈模型

模型假设

- 理性人假设
- 参与人具有完全且完美信息
- 讨价还价是有成本的
- 协议总是即时达成，且结果是有效率的
- 模型参数假定

模型构建与求解

➤ 有限期的讨价还价博弈

- 逆推归纳法

- $T=2$

- $T=3$

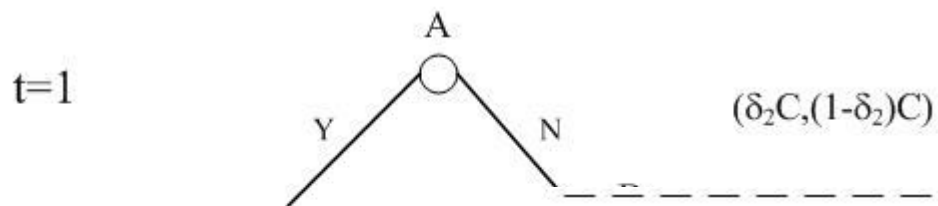
➤ 无限期的讨价还价博弈

- 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，可以应用有限时期逆向归纳法的逻辑寻找子博弈精炼均衡

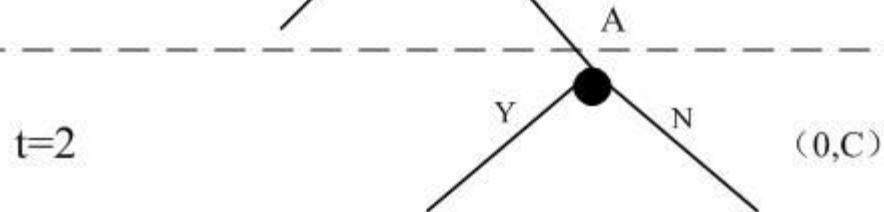
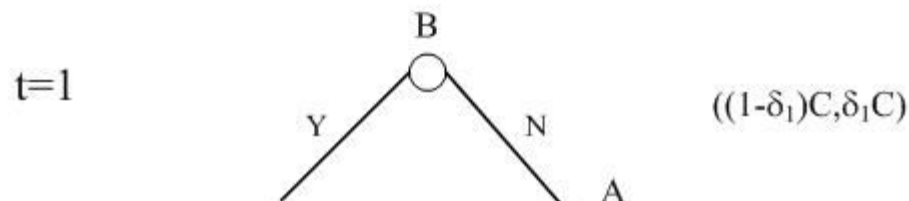
- 无限期子博弈均衡具有唯一性

有限期的讨价还价博弈

T=2



用水省份A先出价



产水省份B先出价

T=3

产水省份B先出价

一般情况下，有限期讨价还价博弈中，子博弈精炼纳什均衡结果与贴现因子 δ 的大小、博弈时期T的长短及谁在最后出价有关。

用水省份A先出价

(C,0)

无限期的讨价还价博弈

用水省份A先出价

- 用水省份A所需承担的最小成本为 $C-L = \frac{\delta_2(1-\delta_1)}{1-\delta_1\delta_2} * C$
- 用水省份A所需承担的最大成本为 $C-l = \frac{\delta_2(1-\delta_1)}{1-\delta_1\delta_2} * C$
- 子博弈均衡结果唯一：用水省份A承担的成本为 $\frac{\delta_2(1-\delta_1)}{1-\delta_1\delta_2} * C$
产水省份B承担的成本为 $\frac{1-\delta_2}{1-\delta_1\delta_2} * C$

产水省份B先出价

➤ 产水省份A

➤ 产水省份B

➤ 子博弈均

产水省份B承担的成本为 $\frac{\sigma_1(1-\sigma_2)}{1-\delta_1\delta_2} * C$

一般情况下，无限期讨价还价博弈中，子博弈精炼纳什均衡结果与贴现因子 δ 的大小以及谁最先出价有关。

研究区概况

滦河流域概况

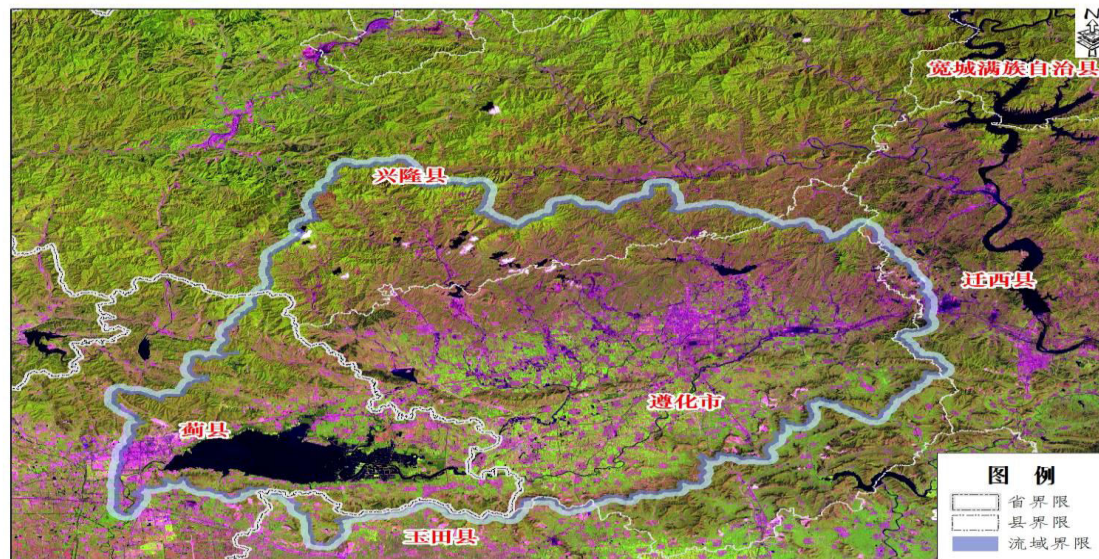
- ▶ 滦河发源于河北省承德市，流域面积44750平方公里，流域范围包括了河北、内蒙古及辽宁三大省区。

引滦入津工程概况



于桥水库及流域概况

研究区域包括滦河流域上游河北省承德市境内、潘家口水库、大黑汀水库、引滦入津输水线及于桥水库流域。



河流名称	河长* (km)	流域面积 (km ²)	多年平均入库径流量 (含 引滦输水量) (亿m ³)	多年平均入库径流量 占比 (%)
沙河	70	887	1.355	17.14
淋河	47	252	0.28	3.54
黎河	55.5	488	6.27	79.32

于桥水库保护利益相关方界定

- 补偿主体，用水区的天津市
- 补偿客体，河北省承德市和唐山市
- 补偿内容包括为保护水源投入的生态保护建设成本、水资源调出区及其下游地区的用水权损失等。

于桥水库保护生态补偿标准 博弈分析

贴现因子的选择

- **天津市贴现因子：** 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。
- **河北省贴现因子：** 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。

博弈模拟情景设置

模拟情景	模拟对象	
情景I：区域选择	基于有限期 博弈的于桥 水库保护生 态补偿标准	基于无限期 博弈的于桥 水库保护生 态补偿标准
情景II：出价次序变动		
情景III：贴现因子变动		

博弈模拟与分析

➤ 情景 I：博弈区域选择对于桥水库保护跨省生态补偿标准的影响

- 子情景1：以主要水源区为博弈对象的于桥水库跨省生态补偿标准
- 子情景2：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生态补偿标准
- 子情景3：以于桥水库流域为博弈对象的于桥水库跨省生态补偿标准

子情景1

➤ 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（取自2008年-2012年平均值）。

以主要水源区为博弈对象的于桥水库跨省生态补偿标准

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	84.92	8.49	58.57
河北省先出价	8.94	85.37	61.65

子情景2

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生态补偿标准

基于不同核算方法测得的博弈基数

核算方法	核算结果
基于发展机会成本	3
基于水资源价值	12.03
基于水环境容量	4.15
基于补偿主体支付能力	10.95

博弈对象	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	
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

子情景3

以于桥水库流域为博弈对象的于桥水库跨省生态补偿标准

情形	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

一级类型	二级类型	2005年（亿元）	2010年（亿元）	变化情况
供给服务	食物生产	0.539	0.536	-0.0022
	原材料生产	1.342	1.342	0.0003
调节服务	气体调节	2.051	2.054	0.0024
	气候调节	2.141	2.158	0.0165
	水文调节	2.899	2.875	-0.0238
	废物处理	1.995	1.981	-0.0146
支持服务	保持土壤	2.235	2.235	0.0001
	维持生物多样性	2.398	2.395	-0.0032
文化服务	提供美学景观	1.143	1.140	-0.0032
合计		16.744	16.716	-0.0277



➤ 情景Ⅱ：出价次序变动对于桥水库保护跨省生态补偿标准的影响

- 子情景1：出价次序变动对基于有限期讨价还价博弈的于桥水库保护跨省生态补偿标准的影响
- 子情景2：出价次序变动对基于无限期讨价还价博弈的于桥水库保护跨省生态补偿标准的影响

子情景1

出价次序对基于有限期讨价还价博弈的于桥水库 保护跨省生态补偿标准的影响

出价次序	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

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，于桥水库保护跨省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，于桥水库保护跨省生态补偿标准往往较高。

子情景2

出价次序对基于无限期讨价还价博弈的于桥水库 保护跨省生态补偿标准的影响

出价次序	$T = \infty$
天津市先出价	42.34
河北省先出价	47.05

在无限期讨价还价博弈中，参与人具有“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。



➤ **情景Ⅲ：贴现因子变动对于桥水库保护跨省生态补偿标准的影响**

- 子情景1： δ_2 一定时， δ_1 变动对于桥水库保护跨省生态补偿标准的影响
- 子情景2： δ_1 一定时， δ_2 变动对于桥水库保护跨省生态补偿标准的影响

子情景1

δ_2 一定时, δ_1 变动对于桥水库保护跨省生态补偿标准的影响

$\Delta\delta_1$	Δ 天津市先出价的有限期博弈的生态补偿标准		Δ 河北省先出价的有限期博弈的生态补偿标准		Δ 天津市先出价的无限期博弈的生态补偿标准	Δ 河北省先出价的无限期博弈的生态补偿标准
	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%

子情景2

δ_1 一定时, δ_2 变动对于桥水库保护跨省生态补偿标准的影响

$\Delta\delta_2$	Δ 天津市先出价的有限期博弈的生态补偿标准		Δ 河北省先出价的有限期博弈的生态补偿标准		Δ 天津市先出价的无限期博弈的生态补偿标准	Δ 河北省先出价的无限期博弈的生态补偿标准
	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%

执行情况：基于发展成本和水环境容量的补偿

- 2016年，河北省与天津市签署《关于引滦入津上下游横向生态补偿的协议》。河北、天津共同出资设立“引滦入津”水环境补偿资金，资金额度为两地（2016—2018年）每年各1亿元，共6亿元。河北省通过开展面源污染治理、潘家口水库污染治理和建设生态保护工程，确保水质有效改善。中央财政根据水质考核情况，每年最多奖励河北省3亿元，用于污染治理。
- 2020年，河北省与天津市两地人民政府就引滦入津上下游横向生态补偿共同签订了《关于引滦入津上下游横向生态补偿的协议（第二期）》，



Thank You !

敬请批评指正!