

上下游型国际河流水资源分配冲突的博弈分析

华 坚^{1,2}, 吴祠金^{1,2}, 黄德春^{1,2}

(1. 河海大学商学院, 江苏 南京 211100; 2. 河海大学产业经济研究所, 江苏 南京 211100)

摘要:水资源供需矛盾的日益加剧导致不同国家在国际河流水资源分配问题上的矛盾冲突增加。在上下游型的国际河流中,不同地理位置的国家围绕水资源分配展开动态博弈。占据地理优势的上游国家先行采取的取水、排污策略对下游国家的水量水质造成不利影响,对下游国家的取水利益构成威胁可能导致冲突发生。在丰水年份,上下游国家之间的水资源分配冲突主要集中在上游排污问题上;在缺水年份,冲突则来源于水量分配不均以及上游排污两个方面。

关键词:国际河流;水资源分配;动态博弈

中图分类号:TV213.2

文献标识码:A

文章编号:1003-9511(2013)03-0033-04

各种自然资源之间的供需矛盾不可避免地会造成资源分配上的冲突,水资源是人类赖以生存的基础资源,水资源分配冲突越来越受到人们的关注。目前,水资源供给与需求之间的矛盾日趋严峻:一方面,人口的快速增长,经济的高速发展,对水资源的需求不断迅速增加;另一方面,受人类生产生活活动的影响,水生态环境遭到严重破坏,可供人类利用的水资源正在不断急剧减少。水资源的供需矛盾加剧给人类的生产生活以及国民经济发展造成了严重的障碍和挑战,联合国的一份报告显示,到 2025 年整个世界都将面临水资源短缺问题^[1]。水资源的供减需增使得水资源愈发宝贵,为了获取更多水资源,缓解水资源供需矛盾,世界各国不断加快水资源开发利用的步伐。

国际河流是世界各国开展水资源开发的重要对象。国际河流是指流经不同主权国家领土的河流,目前全世界范围内大约有 263 条国际河流^[2]。据 1978 年联合国经济和社会事务部提交的《国际河流登记》,国际河流的流域面积约占全球土地面积的 47%,全球约有 40% 的人口生活在国际河流流域内,有 44 个国家至少 80% 的土地面积位于国际河流流域内^[3]。国际河流具有跨主权国家和总量有限性的特性,国际河流水资源开发会引起不同主权国家之间的利益冲突。早在 1972 年,联合国就已发

出警告——水资源将导致严重的社会危机,国际河流水资源问题将成为世界范围内危及全球的重大国际问题。

过去 50 年中,由水资源引发的 507 件冲突个案中,有 37 件具有暴力性质,其中 21 件演变成军事冲突,有 18 件是在以色列和其邻国之间发生的^[4]。已有的研究表明,通过构建合理的利益分配共享调节机制可以有效应对不同国家之间的水资源冲突问题。根据机制设计理论^[5],水资源的初始分配是建立整个利益调节机制的第一步。但不幸的是,国际河流水资源分配问题最易在各流域国之间产生利害冲突^[2,6],尤其是在上下游型的国际河流中,不合理的水资源分配极可能引发不同国家之间的矛盾冲突。

水资源分配引发的冲突主要有水量分配以及水质分配两个方面,国内关于这类冲突的研究主要集中于内陆河流的水资源分配问题^[7-9]。国外方面,相关研究非常多,如文献 10 通过构建博弈模型分析了尼罗河流域的水资源冲突问题。但目前还缺乏对国际河流水资源分配冲突的形成机理的研究,笔者将通过构建博弈模型,从水量和水质分配角度分析上下游型国际河流的水资源分配冲突问题。

1 国际河流水资源分配博弈要素

描述水资源分配冲突行为的一种典型方法是对

基金项目:国家社会科学基金重大项目(11ZD168)

作者简介:华坚(1974—),女,江苏南京人,副教授,博士,从事水利技术经济与管理研究。

策论模型,可以根据博弈论原理建立水资源分配模型,对流域冲突各方采纳的自利行为及不同对策带来的结果进行分析^[10]。为构建本文所需博弈模型,首先对模型的要素进行界定:

a. 参与博弈的局中人有 n 个。一条上下游型国际河流要流经多个不同主权国家,这些国家即是参与水资源分配博弈的局中人。

b. $S_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为各局中人的战略集合。 $S_i = \{s_i\}$ 代表第 i 个局中人所有可选择的战略组合, s_i 表示第 i 个局中人的一个特定战略。在本文的博弈中, S_i 是指各局中人对连续型变量 q_i, q'_i 及 W_i 进行选择形成的所有策略的集合。 q_i 为局中人直接从河道取水量, q'_i 为地下水开发、节水等其他取水量, q_0 为生态需水量, W_i 为局中人排污量。河流水资源总量为 Q 。

c. 局中人信息。在该博弈中,假定各地区的直接取水量、其他取水量和排污量等都是参与人的共同知识,各局中人按上下游地理位置顺序,根据其他局中人的策略和支付,即对取水量和排污量的选择,来对本地区的直接取水量、其他取水量和排污量进行决策,因而这是一个完全信息动态博弈模型。

d. L_i 为各局中人的支付函数。 $L_i(q_i, q'_i, W_i) = R_i - C_i - C'_i - C''_i, R_i(q_i + q'_i, W_i)$ 为各局中人取水效益,与取水总量 $q_i + q'_i$ 以及排污量 W_i 呈正相关关系; $C_i(q_i, \theta_i, q_i^u, \eta_i)$ 为各局中人直接取水成本,受直接取水量 q_i 、取水技术 θ_i 、上游来水量 q_i^u , 以及来水水质 η_i 的影响, $\frac{\partial C_i}{\partial q_i} > 0, \frac{\partial C_i}{\partial \theta_i} < 0, \frac{\partial C_i}{\partial q_i^u} < 0, \frac{\partial C_i}{\partial \eta_i} > 0$; $C'_i(q'_i, \theta'_i)$ 为各局中人的其他取水成本,受其他取水量 q'_i 和其他取水技术 θ'_i 的影响, $\frac{\partial C'_i}{\partial q'_i} > 0, \frac{\partial C'_i}{\partial \theta'_i} < 0$; $C''_i(q_i + q'_i, \mu_i, \lambda_i)$ 为各局中人治污成本,受取水总量 $q_i + q'_i$ 、治污技术 μ_i 以及水资源利用效率 λ_i 等的影响, $\frac{\partial C''_i}{\partial (q_i + q'_i)} > 0, \frac{\partial C''_i}{\partial \mu_i} < 0, \frac{\partial C''_i}{\partial \lambda_i} < 0$ 。上游来水水量 $q_i^u = Q - \sum_{i=1}^n (q_{i-1} - q'_{i-1} - W_{i-1})$, 水质 $\eta_i = \frac{W_{i-1}}{q_i^u}$ 。其他取水技术 θ'_i 为水资源利用效率 λ_i 以及污水处理技术 μ_i 的函数, $\theta'_i = \theta'_i(\lambda_i, \mu_i)$ 。 $W_i(q_i + q'_i, \mu_i, \lambda_i) = [1 - \kappa_i(\mu_i)] \omega_i (1 - \lambda_i) (q_i + q'_i)$ 为各局中人排污总量,其中 $\kappa_i(\mu_i)$ 为污水处理系数,受治污技术影响, $\frac{\partial \kappa_i}{\partial \mu_i} > 0$, ω_i 为产污系数, $\omega_i (1 - \lambda_i) (q_i + q'_i)$ 为各国产污总量。第 i 国水资源分配流程详见图 1。

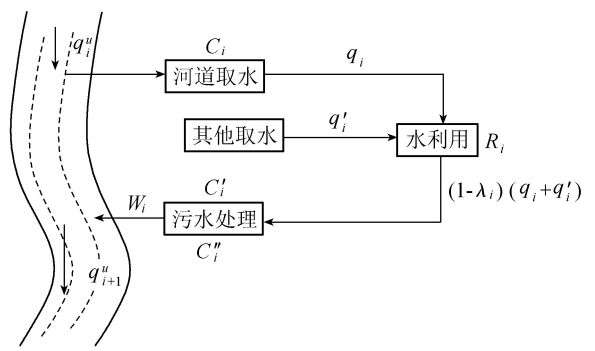


图 1 第 i 国水资源分配流程

2 两国水资源分配博弈模型

国际河流水资源分配的一个重要特征是“无政府性”,即不存在更高层次的权力机构可以对各分配主体的行为进行限制,这是国际河流水资源分配区别于国内河流水资源分配的主要特点之一。国家政府也是符合理性人假设的经济主体,其采取行为的目标是实现各自国家利益最大化。在国际河流水资源分配博弈中,不受行为限制的局中人更加自由,本文假定局中人可以自由取水、排污,不考虑其行为对下游地区的水量水质。同时,为便于分析,本文假定在上下游型的国际河流水资源分配博弈中,局中人只有两个:上游国家 $i=1$ 与下游国家 $i=2$ 。

各局中人的收益函数为:

$$L_1(q_1, q'_1, W_1) = R_1(q_1 + q'_1, W_1(q_1 + q'_1, \mu_1)) - C_1(q_1, \theta_1, q_1^u, \eta_1) - C'_1(q'_1, \theta'_1) - C''_1(q_1 + q'_1, \mu_1, \lambda_1)$$

$$L_2(q_2, q'_2, W_2) = R_2(q_2 + q'_2, W_2(q_2 + q'_2, \mu_2)) - C_2(q_2, \theta_2, q_2^u, \eta_2) - C'_2(q'_2, \theta'_2) - C''_2(q_2 + q'_2, \mu_2, \lambda_2)$$

国际河流水资源分配的另一个特征是行为不对称特征,上游国家的取水排污行为可以影响下游国家来水的水量水质,但下游国家不能影响上游国家。每个参与博弈的局中人都是理性的,其决策的目标是最大化自身利益。在该模型中,局中人 1 先行决策,确定利益最大化条件下的取水量和排污量,局中人 2 再根据上游来水情况确定最优取水量和排污量:

$$\max_{q_1, q'_1, W_1} L_1 \Rightarrow \frac{\partial L_1}{\partial q_1} = 0, \frac{\partial L_1}{\partial q'_1} = 0, \frac{\partial L_1}{\partial W_1} = 0$$

求得 q_1^*, q'_1^*, W_1^* ;

$$\max_{q_2, q'_2, W_2} L_2 \Rightarrow \frac{\partial L_2}{\partial q_2} = 0, \frac{\partial L_2}{\partial q'_2} = 0, \frac{\partial L_2}{\partial W_2} = 0$$

求得 q_2^*, q'_2^*, W_2^* 。

因此得到最优策略组合:

$$s_1^* = (q_1^*, q'_1^*, W_1^*)$$

$$s_2^* = (q_2^*, q'_2^*, W_2^*)$$

该博弈的纳什均衡即为:

$$s = (s_1^*, s_2^*)$$

在这个策略组合中,局中人的行为不受到限制,可以随意取水、排污,对取水量、排污量作自我约束会降低取水收益,同时增加取水成本,显然会劣于最优战略组合。即:

a. 无论局中人 2 选择何种策略 s_2 , 先行采取行动的局中人 1 采取任意非均衡策略 s_1 获得的收益均小于其采取均衡策略 s_1^* 的收益, 即 $L_1(s_1, s_2) < L_1(s_1^*, s_2), \forall s_2$ 。

b. 在局中人 1 先行采取均衡策略 s_1^* 的情况下, 局中人 2 采取任意非均衡策略 s_2 获得的收益均小于其采取均衡策略 s_2^* 的收益, 即 $L_2(s_1^*, s_2) < L_2(s_1^*, s_2^*)$ 。

在符合理性假设的情况下, 任意局中人没有动机采取任何偏离均衡策略的劣策略, 而只会专注于均衡策略实现自身利益最大化。

3 两国水资源分配冲突的分析

在该模型中, 下游国家的取水收益受到上游国家取水用水行为的影响。国际河流水资源具有总量有限性以及流动性等特征, 因而上游国家取水增加使得下游国家可取水量必然减少, 上游国家的排污行为将导致下游国家水质变差, 下游国家的取水成本必然增加, 最终体现在下游国家取水收益减少。

a. 在丰水年份, 上下游国家都有充足的取水来源, 总水量 $Q - q_0 \geq q_1^* + q_2^*$, 上游国家按最优取水策略取水不会对下游国家的最优取水量产生影响, 但是上游国家的排污行为会影响到下游国家的取水成本而减少其取水收益。因此, 在丰水年份, 上下游国家之间的水资源分配冲突主要体现在上游国家的排污行为上。

治污要付出治污成本 $C''_i(q_i + q'_i, \mu_i, \lambda_i)$, 随着治污技术 μ_i 以及水资源利用效率 λ_i 的提高, 治污成本 $C''_i(q_i + q'_i, \mu_i, \lambda_i)$ 将下降。但提高治污技术 μ_i 以及水资源利用效率 λ_i 要增加相应的投入, 在水量充足并且自由取水、排污的情况下, 处于上游的局中人 1 没有理由需要增加这些投入, 多取水、少治污、多排污的方式对上游国家更有利。

上游国家采取均衡策略 s_1^* , 其取水量 q_1^* 、排污量 W_1^* 都将取最大值。对于下游国家而言, 上游来水水质 $\eta_2 = (q_2^* - W_1^*) / q_2^*$ 将处于最低水平。因 $\frac{\partial C_i}{\partial \eta_i} < 0$, 即取水成本随来水水质的下降而增加, 在其他因素不变的情况下, 下游取水的局中人 2 为了获得可供使用水质的水量 q_2^* 要付出最大取水成本 $C_2(q_2^*,$

$\theta_2, q_2^*, \eta_2)$ 。由水质下降导致的取水成本属于额外成本, 尽管下游国家最终能实现自身的最大化利益, 但上游国家的任意排污行为使得下游国家均衡利益仍处于相对较低水平, 显然会引起下游国家对上游国家任意排污行为的不满, 甚至可能导致冲突。

b. 在相对缺水年份, $Q - q_0 < q_1^* + q_2^* \leq Q$, 具有优先取水优势的上游国家可以实现最优取水量, 但下游国家为了实现最优取水量, 只得与生态环境“争水”, 导致生态环境因没有充足的水量支撑而遭到破坏。同时上下游国家之间还会因为上游国家的排污行为发生冲突。

c. 在绝对缺水年份, 总水量 $Q < q_1^* + q_2^*$, 而具有优先取水优势的上游国家将竭尽所能保证最优取水量, 下游国家即使与生态争水也不能实现最优取水量, 同时上游国家的排污行为会进一步影响其取水收益。因此, 在缺水年份, 上下游国家之间的水资源分配将在水量和水污染问题上产生冲突, 生态环境也会遭到严重破坏。

各分配主体的随意取水排污行为一方面给友好的国家关系造成不良影响, 另一方面可能威胁国际河流的水生态环境, 不利于国际河流水资源的可持续开发利用。因此, 必须对分配主体的行为进行限制。天然形成的地理位置造就了下游国家在水资源分配博弈中的弱势地位, 由于不存在更高层次权力机构对上游国家取水行为的限制, 下游国家在水资源分配冲突中往往只得通过利用国际舆论、吸引第三方势力介入或是加强与上游国家的各种渠道的合作等方式来实现限制上游国家的行为, 最大限度地保证和提升本国的水资源分配利益。

随着经济社会发展, 人口结构、经济结构等的变化会导致均衡需水量 $q_1^* + q_2^*$ 发生变化。从目前的形势来看, $q_1^* + q_2^*$ 倾向于不断增加。另一方面, 人类活动导致总水量 Q 有不断减少的趋势。随着水量需增供减的趋势不断明显, 国际河流流域国之间的水资源分配冲突将由水质分配冲突逐步转向水质水量分配冲突并存的更为棘手的冲突局势。在这种形势下, 寻找有利于缓解流域国之间冲突的水资源分配模式显得愈来愈紧迫。

4 结 语

水资源供需矛盾加剧导致不同国家在国际河流水资源分配问题上的矛盾冲突增加, 这些矛盾冲突主要体现在水量分配以及上游排污问题上。在“无政府”的环境中, 上游国家的行为不受限制, 因而可以致力于采取有利于自身利益最大化的均衡策略自由排污、取水, 但同时会影响到下游国家的取水利益

而引发上下游国家之间的水资源分配冲突。在丰水年份,冲突主要集中在上游排污问题上,在缺水年份,冲突则来源于水量分配不均以及上游排污两个方面。上游国家按照自身的利益最大化需求,多取水、少治污、多排污,导致下游国家来水水质下降而要付出额外的取水成本。在缺水年份,上游国家的行为不仅不利于下游国家最大利益的实现,甚至可能最终导致流域水生态环境遭到破坏。

水质与水量分配的冲突是水资源分配的主要冲突问题,流域水资源的水量和水质分配与该流域水权市场和排污权市场的运作密切相关^[9],构建有效运作的完善水市场可以应对水资源分配的有效途径。在不同国家之间由于经济发展结构存在差异,针对国际河流水资源分配冲突问题建立国际水市场必然存在诸多难点和瓶颈,而这一问题也将成为未来研究国际水资源问题的主要热点之一。

由于冲突不利于国际关系的发展,在实际的国际河流水资源分配实践中,分配主体会尽可能减少冲突,比如国家之间为了构建良好的国际关系而产生的国家利他行为,或者第三方势力以维护世界和平的名义的干预行为等都可能影响到水资源分配的结果而协调冲突。在这些因素的影响下,水资源分配将如何进行,水资源分配冲突如何被协调,将是进一步可能的研究方向。

参考文献:

[1] WOUTERS P K, VINOGRADOV S, ALLAN A, et al. Sha-

ring transboundary waters: an integrated assessment of equitable entitlement; the legal assessment model [M]. Paris: UNESCO, 2005: 6.

[2] WOLF A T. Criteria for equitable allocations; the heart of international water conflict [J]. Natural Resources Forum, 1999, 23: 3-30.

[3] 刘登伟, 李戈. 国际河流开发和管理发展趋势 [J]. 水利发展研究, 2010(5): 69-74.

[4] 王正旭. 水资源危机与国际关系 [J]. 水利发展研究, 2004(5): 52-55.

[5] 汤敏, 茅于軾. 现代经济学前言专题 [M]. 北京: 商务印书馆, 1989: 31-60.

[6] 何大明, 苟俊华, KUNG H T. 国际河流(湖泊)水资源的竞争利用、冲突和求解 [J]. 地理学报, 1999, 54(增刊): 38-441.

[7] 孔珂. 水市场的博弈分析 [J]. 水利学报, 2005, 36(4): 491-495.

[8] 尹云松, 孟枫平, 糜仲春. 流域水资源数量与质量分配双重冲突的博弈分析 [J]. 数量经济技术经济研究, 2004(1): 136-140.

[9] 刘文强, 孙永广, 顾树华, 等. 水资源分配冲突的博弈分析 [J]. 系统工程理论与实践, 2002(1): 16-25.

[10] ELIMAM L, RHEINHEIMER D, CONNELL C, et al. An ancient struggle: a game theory approach to resolving the Nile conflict [C] // American Society of Civil Engineers. Proceeding of the 2008 World Environmental and Water Resources Congress. Hawaii: American Society of Civil Engineers, 2008: 1-10.

(收稿日期: 2012-12-17 编辑: 陈玉国)

· 简讯 ·

《2013 中国水利发展报告》正式出版

日前,由水利部副部长李国英担任主编的《2013 中国水利发展报告》已正式出版。《中国水利发展报告》是记录中国水利发展轨迹的重要载体,国内外了解中国水利发展的重要窗口,预测中国水利发展前景的重要参考。

《2013 中国水利发展报告》以水利主要业务领域为线索设置栏目,分为 15 章,包含“综合篇、政策法规、发展战略及规划计划、防汛抗旱减灾、水资源配置及城乡供水、水资源节约保护、建设与管理、农田水利、水土保持与水生态、农村水电、体制机制改革、科技进步、交流与合作、水利数据解析、水利普查”等。特邀中共中央财经领导小组办公室副主任杨伟民撰写“加快水利发展 建设美丽中国”一文,对党的十八大报告关于生态文明建设的重要论述进行解读。

《2013 中国水利发展报告》通过重大政策、重大发展、重大改革、重大实践以及闪亮火花,对 2012 年中国水利发展状况、特点,特别是水利发展改革中出现的新情况、新形势进行了阐述,并且分析提出 2013 年的走势。在原有版块基础上,今年增设了部分篇章和专栏,同时,首次面向全国水利系统广泛征集“链接”素材,时代感和现实性更强。

(摘自 <http://www.waterinfo.com.cn/dwxw/Document/70176/70176.html>)