

基于主体不平等的跨国界河流水资源分配的破产博弈研究

袁 亮^{1,2} 沈菊琴^{1,3} 何伟军² Dagmawi Mulugeta Degefu⁴

(1. 河海大学商学院, 江苏南京 211100; 2. 三峡大学经济与管理学院, 湖北宜昌 443002;
3. 河海大学环境会计与资产管理研究所, 江苏南京 211100; 4. 三峡大学水利与环境学院, 湖北宜昌 443002)

摘 要:基于破产理论和讨价还价博弈,构建水资源分配的破产博弈模型。借鉴国际水法,构建主体在水资源分配谈判中的议价能力评价指标体系,将议价能力运用到破产博弈模型中,突出主体在水资源分配中的不平等性,减少水资源分配量与贡献、需求量和对水资源依赖程度的非对称性;结合主体的谈判破裂点,根据主体满意度函数的联动函数寻找水资源分配的最优解,使分配能同时满足个体理性和集体理性,并对澜沧江-湄公河流域进行实例研究。

关键词:水资源分配;破产博弈;跨国界河流;主体不平等

中图分类号:F224;TV213 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-4970(2018)02-0065-05

一、引 言

因水文、气候、地貌等原因,流域国家对流域水资源的贡献程度不同,出于自身利益最大化的考虑,各国在水资源分配中会采取不同的策略来影响分配结果,如相对强势的主体倾向于功利主义的公平,而弱势的主体则倾向于平均主义的公平。所以,流域国家在水资源分配的谈判与协商过程中,不可避免地会提出、设计和选择对自己有利的分配方案来强调自己与其他主体之间的不平等性以获取更多的利益,这是跨国界河流水资源分配中的客观事实,也是跨国界河流水资源冲突难以解决的原因之一。因此,在水资源分配中,需要考虑各国对水资源的需求、依赖程度和对流域水资源贡献的不同而造成的主体不平等性,尽可能减少水资源分配量与各国的贡献和需求之间的非对称性,提高水资源分配的实用性和可接受性。

二、跨国界河流水资源分配的破产理论

水资源短缺背景下的水资源分配可以用破产理论进行描述^[1]。破产理论认为,个体根据一定的规

则对资源都有合理的需求,而当主体合理的需求之和超过现有资源时,就出现了资源破产问题^[2]。

假设, $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 为需求者集合,每一个需求者 $i \in N$ 都有一个需求量 c_i ,而可供分配的资源为 E ,此时存在 $0 \leq E \leq \sum_{i=1}^n c_i$ 。由于主体在资源分配的谈判中都有正当的需求,此时,对资源分配的重点是找到一种可被解释的普遍可接受的规则,保证每个需求者都会接受这种分配 $e = (e_1, e_2, \dots, e_n)$,其中 $\sum_{i=1}^n e_i = E, 0 \leq e_i \leq c_i$ 。

为了使分配方案公平、合理和可行,研究者设计了经典的破产理论分配方法^[3]。

① 比例分配法则(P-Proportion):分配给主体与其需水量对应比例的水资源, $e_i = E \times c_i / \sum_{i=1}^n c_i$ 。

② 调整比例法则(AP-Adjusted Proportion):将整个分配过程分为两阶段: $e_i = e_{1i} + e_{2i}$ 。其中, $e_{1i} = \max\{E - \sum_{j \in N/i} c_j, 0\}$, $j \in N/i$; $e_{2i} = (E - \sum_{j \in N/i} e_{1j})(c_i^E - e_{1i}) / \sum_{j \in N/i} (c_j^E - e_{1j})$ 。

收稿日期:2017-11-05
基金项目:国家社会科学基金(13BMZ057,14CMZ034);河海大学中央高校基本科研业务费专项资金(2015B40614);江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(KYLX15-0517)
作者简介:袁亮(1987—),男,湖北石首人,博士研究生,从事水资源冲突与水资源分配研究。

③ 约束平等损失分配法则 (CEL-Constrained Equal Loss): 尽可能保证各主体分配水量和需水量之间差额相等, $e_i = \max\{0, c_i - \lambda\}$, $\sum_{i=1}^n e_i = E$ 。

④ 约束平等收益分配法则 (CEA-Constrained Equal Award): 尽可能保证各主体都能得到相等的水资源, $e_i = \min\{\lambda, c_i\}$, $\sum_{i=1}^n e_i = E$ 。

⑤ 沙普利法则 (Shapely): 以各主体的需水量及可能形成的联盟来衡量主体在水资源分配中的权力指数进行分配。 $e_i = \sum_{s \subseteq N} \gamma_n(s) [v(s) - v(s - \{i\})]$, $\forall i \in N$ 。其中, $\gamma_n(s) = (|s| - 1)! (n - |s|)! / n!$, $|s|$ 表示联盟 s 中的成员数目, $\gamma_n(s)$ 为加权因子, $v(\cdot)$ 表示形成联盟之后的总需水量, $[v(s) - v(s - \{i\})]$ 是国家 i 对联盟水资源分配的边际贡献。

但是, 以上方法没有考虑主体之间的不平等性、适应能力和可能面临的风险。Pulido 等认为, 在资源分配中不仅仅要考虑主体的需求量, 还需要考虑主体的客观权利^[4]; Alcalde 等在经典分配方法基础上建立具有相加性质的水资源分配博弈模型, 认为破产理论的经典分配法则仍然需要优化^[5]; Madani 等基于水资源的不均匀时空分布优化了破产模型, 认为分配规则的可接受性主要受经济条件、气候条件以及水文条件影响^[6]; Mianabadi 等认为跨国界河流的水资源分配需要考虑水资源的流向和主体对流域水资源的贡献^[7], 并引入权重的概念优化了经典破产理论分配方法^[8]; Sechi 等认为, 在传统破产博弈的基础上建立一个考虑干旱、水文和水资源短缺的合作博弈模型可以使分配法则更加有效^[9]; 孙东营等提出, 跨行政区水资源配置需要考虑主体对河流水量贡献比例和需求量占比, 明确主体在分配中的话语权^[10]; Oftadeh 等认为, 在水资源的分配中需要考虑法律、经济、社会和政治等因素, 否则, 设计的分配法则很难被接受^[11]。

因此, 基于破产理论构建跨国界河流水资源分配模型, 突出主体之间的不平等性, 减少水资源分配量与各国贡献和需求量之间的非对称性, 创新破产理论在水资源分配中的应用。

三、跨国界河流水资源分配的破产博弈模型构建

1. 破产博弈模型构建

由于主体在水资源分配冲突中的合作能够产生更大的经济、生态和政治效用^[12], 所以假设主体能

通过协商与谈判进行合作来化解水资源配置冲突^[13], 但是, 主体基于自身利益最大化, 将在谈判协商中就水资源分配量讨价还价。纳什讨价还价博弈不仅可以跨国际界河流水资源分配问题的大部分特征纳入其中^[14], 而且是根据主体效用函数的联动函数寻找水资源分配的最优解, 兼顾流域各国的利益、考虑主体在分配中的最小权利, 符合水资源分配中的个体理性和集体理性, 具有可行性、一致性和帕累托最优等特性。结合破产理论和纳什讨价还价博弈模型, 将跨国界河流水资源分配问题转化为一个效用非转移博弈模型^[15]。

根据纳什讨价还价博弈, 将主体之间的水资源分配问题^[16] 记为: $B: (S, D, u_1, u_2, \dots, u_n)$, S 为主体的可行方案, $S = (e_1, e_2, \dots, e_n)$, 各主体分配的水资源为 e_i , 参与人的效用函数为 $\{u_i(s), i = 1, 2, \dots, n\}$, 由于水资源渗透经济社会发展方方面面, 很难精确定其效用函数, 所以, 将水资源分配量的效用函数通过满意度转化为一个区间线性函数: $u_i(e_i) = (e_i - d_i) / (c_i - d_i)$, 其中 $d_1, d_2, \dots, d_n$ 为各主体的谈判破裂点, 在破裂点时主体的效用最低, $u_i(d_i) = 0$ 。在破产理论之中, 主体的谈判破裂点^[17] 为: $d_i = \max(E - \sum c_j, 0)$, $j \in N/i$, 对于任意的策略选择 $s \in S$, 存在 $u_i(d_i) \leq u_i(s)$ 。

考虑主体之间存在的不平等性, 引入权重对讨价还价合作博弈进行扩展^[18]。假设, w_i 为讨价还价模型中的权重, 表示主体在水资源分配谈判与协商中的议价能力, 主体议价能力的大小主要由主体在水资源分配中面临的风险和自身对流域的贡献决定, 且 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。那么, 水资源分配问题的效用配置集合可以表示为: 对于任意一个 $s \in S$, 参与者都可以获得对应的效用 $\{u_i(s), i = 1, 2, \dots, n\}$, 那么满足如下最大化条件的唯一效用解 $\{u_i^N, i = 1, 2, \dots, n\}$ 为讨价还价情况下的解 $s = (e_1, e_2, \dots, e_n)$:

$$u^N(s) = \left\{ s \in S \mid \max \prod_{i=1}^n [u_i(s) - u_i(d_i)]^{w_i} \right\} \quad (1)$$

$$\text{s. t. : } 0 \leq e_i; d_i \leq e_i \leq c_i; \sum_{i=1}^n e_i \leq E; \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

2. 议价能力评价指标体系构建与计算

基于水资源分配公平与合理的考虑, 各国在讨价还价中的议价能力可以根据各国人口、经济、社会、生态等各方面对水资源量的依赖和各国对流域的贡献来确定。但是, 目前仍然没有形成统一的水资源分配协议, 所以选取《国际河流利用规则》第二章第 4~7 条^[19] 和《国际水道非航行使用法公约》第

二部分第 5 ~ 10 条^[20] 作为水资源分配议价能力评价指标体系构建的指南。它们可以平衡主体的利益诉求而形成公平的分配,在不伤害其他国家基本利益的前提下,以和平的方式处理水资源争端,是能够影响国际水资源配置冲突的重要指南^[21]。

结合两部国际水法对水资源分配的指南,选取 9 种指标类型来确定主体的议价能力。根据指标选取的合理性、科学性和数据的可获取性等要求,选取 9 个正向指标和 3 个负向指标构建跨国界河流水资源分配议价能力评价指标体系(表 1)。

表 1 跨国界河流水资源分配议价能力指标体系

序号	指标类型	指标名称	属性
1	地理位置	流域在本国面积	正向
		流域上下游位置	正向
2	水文条件	多年平均流速	正向
3	气候条件	多年平均降雨量	正向
4	经济与社会需要	灌溉面积	正向
		区域水力发电需求	正向
5	人口需要	流域人口密度	正向
6	水量	水量贡献	正向
7	生态需要	森林覆盖率	正向
8	替代品成本、可利用率和在使用中避免不必要的浪费	水生产力	负向
		内部可再生淡水资源	负向
9	可能对其他国家造成的伤害	人均国内生产总值	负向

由于主体的议价能力是一个多指标的评价系统,而在破产博弈模型中,议价能力是一个单指数形式的参数,因此,有必要将议价能力的计算转换为一个以权重为变量的非线性优化问题。本文选取的两部国际水法都明确其指标体系没有根据顺序来确定重要性,为了保证计算的科学性,采用多元数据分析的投影寻踪模型^[22]进行计算。

假设主体的指标值为 $x^*(i,j)$, i 为主体编号, $i=1,2,\dots,n$, j 为指标个数, $j=1,2,\dots,p$ 。若指标是正向的,则 $x(i,j)=[x^*(i,j)-x_{\min}(j)]/[x_{\max}(j)-x_{\min}(j)]$; 若指标是负向的,则 $x(i,j)=[x_{\max}(j)-x^*(i,j)]/[x_{\max}(j)-x_{\min}(j)]$ 。然后,把 p 维数据以投影方向 $a(\cdot)$ 转化为一维投影值 $Z(i)=\sum_{j=1}^p a(j) \cdot x(i,j)$, $a(\cdot)$ 为单位长度向量, $\sum_{j=1}^p a^2(j)=1$ 。投影函数可以表示为: $Q(a)=S_z \cdot D_z$, S_z 为投影值, $Z(i)$ 的标准差; D_z 为投影值 $Z(i)$ 的局部密度, $D_z=\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p [R-r(i,j)] \cdot u[R-r(i,j)]$; R 为局部密度的半径, $r(i,j)=|Z(i)-Z(j)|$, $r(i,j)$ 表示主体之间的距离, $u(t)$ 为单位阶跃函数。多维数据复杂的空间拓扑结构使得最优投影方向难于寻找,所以,利用实数编码加速遗传算

法计算最佳投影方向^[23]。最后,将计算所得的投影方向 a^* 代入 $Z(i)=\sum_{j=1}^p a(j)x(i,j)$, 可得投影值 $Z^*(i)$, 将 $Z^*(i)$ 值归一化后得到主体在水资源谈判中议价能力 w_i 的大小。

四、实例分析

1. 澜沧江-湄公河流域基本情况和数据收集

澜沧江-湄公河流域(图 1)干流全长 4 909 km,流域面积为 79.5 万 km²,流经中国、缅甸、老挝、泰国、柬埔寨和越南等国。湄公河上游在中国境内,称为澜沧江,在流出中国之后被称为湄公河。



图 1 澜沧江-湄公河流域

澜沧江-湄公河流域年均径流量为 475 km³, 人均水资源为 8 000 m³, 低于全球平均水平, 流域的水资源补给基本来自于降雨。在旱季及雨季, 澜沧江-湄公河的流量变化极大, 年降雨量的 80% 左右集中于雨季^[24], 6 月至 11 月为雨季, 雨季降水丰富, 水资源充足; 12 月至次年的 5 月为旱季, 旱季降水较少, 从而导致河流的水资源不足。为满足各国的灌溉需求、洪水回流和防止海水倒灌, 共需增加旱季径流约 3 000 m³/s^[25], 所以, 该流域在旱季的水资源短缺量约为 47.3 km³。由此可见, 澜沧江-湄公河流域的水资源分配在旱季符合破产博弈的假设。对比旱季降雨量占全年降雨量的百分比和旱季各监测点的平均径流量的分配比, 计算出流域在旱季可供使用水资源占整个流域年径流量的比例约为 17.31%, 则流域在旱季可供分配水量 E 约为 82.26 km³^[26]。所以, 流域国家在完全满足生产生活和生态环境保护时的水量总需求为 129.56 km³。根据流域国家在河流的取水比例关系, 计算出各国在旱季能够得到完全满足时的水量需求(表 2)^[27]。

表 2 澜沧江-湄公河流域各国的需水量(旱季)						
国家	中国	缅甸	老挝	泰国	柬埔寨	越南
需水量/km³	100.99	0.99	0.29	7.18	0.27	19.84

利用专家打分法,确定澜沧江-湄公河流域国家上下游位置关系在议价能力中的赋值。通过 WORLD BANK DATABASE、FAO-AQUA STAT 数据库收集其他数据,议价能力评价指标体系的数据如表 3 所示。

假设, $i=($ 中国,缅甸,老挝,泰国,柬埔寨,越南),基于表 3 数据利用 Matlab 软件对实数加码遗传算法的投影寻踪模型进行计算,可得各国的议价能力为:

$$w(i)=(19.39\%,6.29\%,24.13\%,17.39\%,17.34\%,16.46\%)$$

可见,议价能力最强的是老挝,最弱的是缅甸。在正向指标上,老挝对流域的贡献最大、流域面积占比、多年平均流速和生态需求最大;在负向指标上,老挝内部可再生淡水资源、人均国内生产总值和水生产力都比较低,所以其议价能力最强。在正向指标上,缅甸对流域的贡献、流域面积、灌溉面积和多年平均流速最小;在负向指标上,缅甸的内部可再生淡水资源最大,导致其议价能力最弱。其他各国的议价能力并没有表现出显著的差异,这种差异不显著的议价能力,可以使各国更好地采取协商和合作的方法来进行水资源分配。

2. 分析结果

将计算和收集的数据代入式(1),利用 Matlab 软件计算可得:澜沧江-湄公河流域在旱季的水资源分配量如表 4 所示。从上游到下游依次是:64.43 km³,0.99 km³,0.29 km³,7.18 km³,0.27 km³,9.10 km³;各

表 4 不同议价能力下的破产博弈水资源分配结果(旱季)						
国家	需水量/km³	谈判破裂点/km³	议价能力	水资源分配量/km³	分配比例/%	占需水比例/%
中国	100.99	53.70	17.34	64.43	78.33	63.80
缅甸	0.99	0	5.93	0.99	1.20	100
老挝	0.29	0	26.48	0.29	0.35	100
泰国	7.18	0	17.31	7.18	8.73	100
柬埔寨	0.27	0	17.35	0.27	0.33	100
越南	19.84	0	15.58	9.10	11.06	45.87

表 3 水资源分配议价能力评价指标数据												
国家	流域面积/km²	流域上下游位置比例关系/%	年平均降水量/mm	多年平均水量/(m³·s ⁻¹)	森林覆盖率/%	内部可再生淡水资源/km³	流域人口密度/(人·km ⁻²)	水量贡献/%	区域电力需求比例关系/%	灌溉面积比例关系/%	水生产力/(\$ ·m ⁻³)	人均国内生产总值/ \$
中国	165000	28.57	645	2410	55.7	112.72	46	16	70.31	11.88	14.9	4850
缅甸	24000	23.81	2091	300	44.5	1003	24	2	0.98	1.98	2.3	1152
老挝	202000	19.04	1834	5270	81.3	190.4	33	35	0.4	6.93	2.8	1752
泰国	184000	14.29	1622	2560	32.1	224.5	147	18	15.76	29.7	6.7	6100
柬埔寨	155000	9.53	1904	2860	53.6	120.6	107	18	0.25	7.93	6.8	1065
越南	65000	4.76	1821	1660	47.6	359.4	366	11	12.3	41.58	1.8	1963

国分配的比例分别为:77.98%、1.20%、0.35%、8.73%、0.33%、11.41%。

在破产理论经典分配法则下的水资源分配结果如表 5 所示。

表 5 破产理论经典分配法则下的分配结果						
分配法则	中国/km³	缅甸/km³	老挝/km³	泰国/km³	柬埔寨/km³	越南/km³
P 法则	64.12	0.63	0.19	4.56	0.17	12.59
AP 法则	75.96	0.22	0.07	1.58	0.06	4.37
CEA 法则	53.70	0.98	0.29	7.18	0.27	19.84
CEL 法则	82.26	0	0	0	0	0
Shapley 法则	67.98	0.49	0.15	3.59	0.13	9.92

根据 Madani 等基于权利指数设计的破产理论资源配置稳定性指数,计算不同分配方法的稳定性^[6]。假设主体分配的差额比例 $BPI_i=(e_i-s_i)/\sum_{j\in N}(e_j-s_j)$,其中, $s_i=[(E-R_i)+|E-R_i|]/2$, R_i 为除了主体*i*之外,其他所有主体的水需求之和。设 σ_{BPI} 为 BPI_i 的标准差, $\overline{BPI}$ 为 BPI_i 的平均值,资源配置稳定性指数 $BASI=\sigma_{BPI}/\overline{BPI}$, $BASI$ 的值越大则分配结果越不稳定。

从分配稳定性的结果(表 6)来看,破产博弈模型下的分配稳定性最高;其次,是 P 法则;最不稳定的是 CEL 法则,这是因为 CEL 法则优先满足需求量大主体,所以分配结果最不稳定。

表 6 不同分配方法的稳定性分析						
分配方法	P	AP	CEA	CEL	Shapley	破产博弈
BASI	1.1605	1.8348	1.6544	2.4494	1.2586	1.0062

五、结 语

基于破产理论和讨价还价博弈构建跨国界河流水资源分配的破产博弈模型。该模型具有以下特点:①强调了主体之间存在的平等性。借鉴国际水法,构建各国在水资源分配谈判和协商的议价能力评价指标体系,并利用实数编码加速遗传算法和投影寻踪模型进行计算,提高了模型在水资源分配中实用性。②根据主体满意度函数的联动函数和谈判破碎点来寻找水资源分配的最优解,兼顾流域中各国的利益,增强了模型在水资源分配中的可接受性。③满

是个体理性和集体理性的基本原则,提高了模型的适用性,是一种公平、合理和自适应的分配方式。

通过实例研究发现,破产博弈模型相比传统经典的破产理论分配方法有更高的稳定性。但是,想要更广泛地解决水资源分配中的非结构性问题,各国之间还需进一步加强信任与合作,以利益分配取代水量分配,实现真正意义上的国际合作,从而从根本上解决流域水资源配置的困局。

参考文献:

[1] MIMI Z A, SAWALHI B I. A decision tool for allocating the waters of the Jordan River Basin between all riparian parties [J]. Water Resources Management, 2003, 17 (6):447-461.

[2] O’ NEILL B. A problem of rights arbitration from the Talmud [J]. Mathematical Social Sciences, 1980, 2 (4):345-371.

[3] THOMSON W. Axiomatic and game-theoretic analysis of bankruptcy and taxation problems: an update [J]. Mathematical Social Sciences, 2015(74):41-59.

[4] PULIDO M, SANCHEZ-SORIANO J, LLORCA N. Game theory techniques for university management: an extended bankruptcy model [J]. Annals of Operations Research, 2002, 109(1):129-142.

[5] ALCALDE J, MARCO M D C, SILVA J A. Bankruptcy games and the Ibn Ezra’ s proposal [J]. Economic Theory, 2005, 26(1):103-114.

[6] MADANI K, ZAREZADEH M, MORID S. A new framework for resolving conflicts over transboundary rivers using bankruptcy methods [J]. Hydrology & Earth System Sciences, 2014, 18(8):3055-3068.

[7] MIANABADI H, MOSTERT E, ZARGHAMI M, et al. A new bankruptcy method for conflict resolution in water resources allocation [J]. Journal of Environmental Management, 2014(144):152-159.

[8] MIANABADI H, MOSTERT E, PANDE S, et al. Weighted bankruptcy rules and transboundary water resources allocation [J]. Water Resources Management, 2015, 29(7):2303-2321.

[9] SECHI G M, ZUCCA R. Water resource allocation in critical scarcity conditions: a bankruptcy game approach [J]. Water Resources Management, 2015, 29(2):541-555.

[10] 孙冬营,王慧敏,褚钰. 破产理论在解决跨行政区河流水资源配置冲突中的应用[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(7):148-153.

[11] OFTADEH E, SHOURIAN M, SAGHAFIAN B. Evaluation of the bankruptcy approach for water resources allocation conflict resolution at basin scale, Iran’ s Lake

Urmia experience [J]. Water Resources Management, 2016, 30(10):3519-3533.

[12] GREY D, SADOFF C. Beyond the river: the benefits of cooperation on international rivers [J]. Water Science & Technology, 2003, 47(6):91-96.

[13] 周海炜,刘宗瑞,郭利丹. 国际河流水资源合作治理的柔性特征及其对中国的启示[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2017, 19(4):29-34.

[14] DEGEFU D M, HE W, YUAN L. Monotonic bargaining solution for allocating critically scarce transboundary water [J]. Water Resources Management, 2017,31(9):1-18.

[15] DAGAN N, VOLIJ O. The bankruptcy problem: a cooperative bargaining approach [J]. Mathematical Social Sciences, 1993, 26(3):287-297.

[16] NASH J. The bargaining problem [J]. Econometrica, 1950, 18(2):155-162.

[17] CURIEL I J, MASCHLER M, TIJS S H. Bankruptcy games [J]. Mathematical Methods of Operations Research, 1987, 31(5):143-159.

[18] HARSANYI J C. A simplified bargaining model of the n-person cooperative game [J]. International Economic Review, 2008, 13(4):194-220.

[19] International Law Association. Helsinki rules on the uses of the waters of international rivers[EB/OL]. [2017-01-15]. https://en.wikipedia.org/wiki/The_Helsinki_Rules_on_the_Uses_of_the_Waters_of_International_Rivers.

[20] STEPHEN C C. Convention on the law of non-navigational uses of international watercourses [EB/OL]. [2017-01-15]. <http://legal.un.org/avl/ha/clnuiw/clnuiw.html>.

[21] 冯彦,何大明,包浩生. 国际水法的发展对国际河流域综合协调开发的影响[J]. 资源科学, 2000, 22(1):81-84.

[22] 金菊良,汪淑娟,魏一鸣. 动态多指标决策问题的投影寻踪模型[J]. 中国管理科学, 2004, 12(1):64-67.

[23] 金菊良,杨晓华,丁晶. 基于实数编码的加速遗传算法[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2000, 32(4):20-24.

[24] 周婷,李传哲,于福亮,等. 澜沧江-湄公河流域气象干旱时空分布特征分析[J]. 水电能源科学, 2011, 29(6):4-7.

[25] 唐海行. 澜沧江-湄公河流域的水资源及其开发利用现状分析[J]. 云南地理环境研究, 1999,11(3):16-25.

[26] Mekong River Commission. Overview of the hydrology of the Mekong basin[EB/OL]. [2017-02-11]. <http://www.mekonginfo.org/assets/midocs/0001968-inland-waters-overview-of-the-hydrology-of-the-mekong-basin.pdf>.

[27] CLAUDIA R. Optimal water allocation in the Mekong River Basin [R]. Bonn: Center for Development Research, 2001.

(责任编辑:高虹)