

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2024.02.002

基于改进分层博弈交叉效率模型的政策评价^①

王兆华^{1,2}, 李靖云^{1,2}, 王博^{1,2*}, 张斌^{1,2}

(1. 北京理工大学管理与经济学院, 北京 100081;

2. 数字经济与政策智能工业和信息化部重点实验室, 北京 100081)

摘要: 政策评估作为政策实施过程中的关键环节,是检验政策效果的基本途径与实现资源优化配置的重要依据.在复杂博弈情境下,决策单元群体间竞合关系不变的假设已经不能满足现实中效率评价的需求,考虑群体间动态变化的合作与竞争关系至关重要.本文将外界冲击下主体间竞合关系演变纳入效率评价框架,提出改进分层博弈交叉数据包络分析方法:从公平的视角出发,基于二次目标模型构建多层次效率矩阵,结合 Shapley 值对决策单元动态关系演变进行效率评价,进而,以水权交易市场试点政策为例,验证该模型的可行性.该方法放松了政策前后群体竞合关系稳定的假设,验证了水权交易市场政策的有效性和外溢性,为能源与环境领域试点政策效果评价提供了新方法.

关键词: 分层博弈交叉效率; 公平视角; 试点政策效果评估; 水权交易试点

中图分类号: C934 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2024)02-0018-12

0 引言

政策效果评估作为政策过程中的关键环节,是检验公共政策质量和水平的基本途径,也是实现公共资源合理、有效配置的重要依据.在能源与环境领域,如何提升能源资源利用效率是促进经济、社会与生态环境协调发展的基本问题.政策的出台所导致的政策前后的能源与资源利用效率评价成为重要研究议题,该问题的探讨对于助力我国“碳达峰”与“碳中和”目标的实现具有重要意义.

数据包络分析方法^[1-5]在 1978 年被 Charnes 等^[6]提出,简称 DEA 模型,它解决了决策单元多投入产出的相对效率评价问题,得到了各领域学者与产业界的广泛应用^[7-18].近年来,学者们围绕决策单元竞争与合作关系的动态变化以及决策单元最优权重偏好设定问题,对传统 DEA 方法进

行了一系列改进.在决策单元竞合关系方面,传统 DEA 方法将每个决策单元看作独立的评价体系,并没有考虑主体之间的交互影响.围绕决策单元间的竞合关系,学者们对传统的 DEA 分析方法进行不断地改进和完善.其中,交叉效率理论考虑各方主体的评价,从全局考量最优决策单元,解决了传统评价方法中权重仅仅依赖目标单元而设定的问题,由于综合考虑多个目标单元的优势,改进的交叉 DEA 方法被广泛地应用于评价决策问题^[19-22].该模型在计算交叉效率的过程中,并没有将合作博弈情形充分纳入分析框架,因而无法考虑主体间存在竞争关系的效率评价.基于此,Liang 等^[23]将博弈理论与交叉效率相结合,提出了博弈交叉 DEA,对交叉效率做了进一步的改进,有效地解决了上述问题.随后,该方法被广泛的应用于解决成本和资源分配、碳配额分配以及节能减排潜力等领域^[24-28].

① 收稿日期: 2021-01-16; 修订日期: 2021-10-17.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(72243001; 72321002; 72141302).

通讯作者: 王博(1983—),女,吉林长春人,博士,教授. Email: b.wang@bit.edu.cn

在现实世界中,主体之间的博弈是复杂的,现有的博弈交叉效率对于决策单元间关系的考量要么是竞争关系、要么是合作关系,同时考量竞争与合作动态关系变化的模型极其匮乏^[29]. 尽管有不少学者探讨了主体的竞争与合作关系并存的状态,如竞合交叉效率 DEA^[30],然而这些方法并未同时从时间和空间维度上考虑竞合关系,也并未考虑现实外界冲击对竞合关系的影响. 实际情况中,决策单元间竞争与合作关系经常同时存在,同时,决策单元间竞合关系也并非一成不变,如在受到试点政策等外界冲击后会发生明显或微妙的变化,进而引起效率的变动. 为此,将合作与竞争关系动态演化纳入效率评价的分析框架具有重要意义. 在合作与竞争过程中,决策单元为了得到更高的交叉效率会选择结盟,而联盟外的单元由于存在着竞争会导致较低的交叉效率. 如果每个决策单元都选择竞争,那么决策单元都会得到最小交叉效率;如果都选择合作形成一个大联盟,那么决策单元都将得到最大交叉效率. 现实情况往往是决策单元间形成不同的联盟且联盟之间存在着竞争.

在决策单元最优权重偏好设定问题上,传统 DEA 确定评价效率值时,采用最有利于评价单元的取值原则,容易夸大决策单元长处、回避缺陷. 针对这一问题,学者们对交叉效率矩阵进行了深入的分析和整合,并进一步改进了传统的平均交叉效率得分. Chen 和 Wang^[31] 讨论了决策者偏好对交叉效率的影响,解决了传统 DEA 在目标设置方面的局限性;Kao 和 Liu^[32] 基于松弛的测量方法来计算交叉效率,避免了传统交叉效率的一些缺陷;Wu 等^[33] 和 Giannis^[34] 利用信息熵对交叉效率矩阵进行了加权平均. 传统交叉效率具有综合考虑各主体之间的相互评价的优势,结果体现一定的公平性. 然而,在交叉效率评价过程中,决策单元虽然同时考虑了自身和其他决策单元的最优权重,但计算最终效率时对自评的考量不充分,自评的过分稀释导致了自评的价值不能充分体现,引起评价的公平问题. 基于此,本文从公平角度出发,提出公平博弈交叉 DEA 算法,对所有的他评取均值作为他评的综合数值,然后再分配自评和综合他评的比例,解决自评过度稀释的问题.

为此,本文首先构建分层博弈交叉效率评价

方法,实施二次目标模型构建多层次效率矩阵,充分考虑试点政策前后主体间合作与竞争关系变化,放松传统评价模型竞争性假设. 其次,在公平视角下,修正传统交叉模型自评和他评的占比,弥补了传统交叉效率模型对自评的过分稀释的问题,并在公平的分配原则下,利用 Shapley 值对效率进行综合的评价. 最后,以水权交易市场为例,通过比较竞合关系演变所带来的效率差异,验证了水权交易市场政策的有效性和外溢性,为能源与环境领域试点政策效果评价提供了可行方法.

1 分层博弈交叉效率算法

1.1 考虑公平的交叉效率评价模型

数据包络分析(DEA)在处理多投入多产出情况的效率评价具有明显的优势,该模型避免了函数形式的假设,具有客观性,并且易于变形,可进行其他形式的扩展^[35, 36]. 具体的一般形式如下所示

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rk} = E_{kk} \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \\ & \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ik} = 1 \\ & u_{rk}, v_{ik} \geq 0, r = 1, 2, \dots, s, \\ & i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (1)$$

其中 u_{rk}, v_{ik} 分别代表产出与投入的权重. 模型的目的是 DMU_k 寻找一组 $u_{1k}^*, u_{2k}^*, \dots, u_{sk}^*, v_{1k}^*, v_{2k}^*, \dots, v_{mk}^*$, 使得评价单元效率最大,最优效率值记为 E_{kk} . 在主体 k 已经得到最优权重后,继续计算其他主体的效率值,即交叉效率,这样就可以得到一个最优的效率值和 $n-1$ 个交叉效率值,由此,组成的交叉效率矩阵. 矩阵中,每一行代表着自身的最优值和其他的交叉效率,对角线为最优效率,即自评,对角线以外的为交叉效率,即他评. 平均交叉效率值的计算是每一列效率值的平均值.

在交叉效率值的计算过程中,各主体都是尽可能地使得自己的效率得分最大,而不考虑是否会降低其他主体的效率值. 其实,在现实的过程中,各主体间存在着竞争和合作的关系,那么有必要进行更深层次的效率值的探究. 主体 k 的最优效率值为 E_{kk} , 则其他主体在主体 k 效率值不降

低的前提下,最大化自身的效率,即寻找各自最优权重.具体模型如下所示

$$\begin{aligned} & \max \sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj} \\ \text{s. t. } & \sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij} \leq 0, j=1, 2, \dots, n \\ & \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij} = 1 \\ & E_{kk} \times \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rk} = 0 \\ & u_{rk}, v_{ik} \geq 0, r=1, 2, \dots, s, i=1, 2, \dots, m \quad (2) \end{aligned}$$

传统交叉效率模型在求解交叉效率时,自评的效率值只占交叉效率的 $1/n$, 本文对交叉效率的求解过程进行了改进,先对所有的他评取均值作为他评的综合数值,称为综合他评,然后,再分配自评和综合他评的比例.本文中自评和综合他评各占 50%,具体的求解如下所示

$$\begin{aligned} \tilde{E}_d &= 0.5 \times E_{\text{自评}} + 0.5 \times \frac{\sum_{i=1}^{n-1} E_{i-\text{他评}}}{\underbrace{n-1}_{\text{综合他评}}} \\ &= 0.5 \times E_{kk} + 0.5 \times \frac{\sum_{k=1, k \neq j}^{n-1} E_{kj}}{n-1} \quad (3) \end{aligned}$$

由上述模型(2)可得最大交叉效率矩阵,目标优化值 E_{kj}^{\max} 称为 DMU_k 对 DMU_j 的最大交叉效率评价,其中对角线的效率为 DMU_j 的 CCR 效率,最后可求得公平原则下最大交叉效率值,即

$$\bar{E}_j^{\max} = 0.5 \times E_{jj}^{\max} + 0.5 \times \frac{\sum_{k=1, k \neq j}^{n-1} E_{kj}^{\max}}{n-1} \quad (4)$$

假如把模型的目标改成最小值规划,即 E_{kj}^{\min} 称为 DMU_k 对 DMU_j 的最小交叉效率评价,则可得最小交叉效率矩阵,最后可求得公平原则下最小交叉效率值,即

$$\bar{E}_j^{\min} = 0.5 \times E_{jj}^{\min} + 0.5 \times \frac{\sum_{k=1, k \neq j}^{n-1} E_{kj}^{\min}}{n-1} \quad (5)$$

1.2 公平原则下 Shapley 值的效率方法

定义 1 $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 表示 n 个主体组成的集合,对于任一子集 $A \subset N$, 定义 A 的特征函数为

$$F(A) = \sum_{j \in A} \bar{E}_j^A \quad (6)$$

其中

$$\bar{E}_j^A = \frac{1}{2} \times E_{jj} + \frac{1}{2(n-1)} \left(\sum_{k \in A, k \neq j} E_{kj}^{\max} + \sum_{i \notin A} E_{ij}^{\min} \right) \quad (7)$$

这里的 E_{kj}^{\max} 是联盟后,联盟内 A 的 DMU_j 的最大交叉效率,而 E_{ij}^{\min} 是不在 A 内的 DMU_i 对 DMU_j 的最小交叉效率.本文定义了合作博弈中联盟 A 的收益.为了最大化收益,联盟内的主体会对联盟内的其他主体高的评价,反之,对不在联盟内的主体低的评价.每个主体都具有结盟的动力,以便获得更高的评价^[37].

各决策单元在合作博弈 (N, F) 的收益可以根据 Shapely 值进行分配,具体公式如下

$$\phi_k(F) = \sum_{\substack{k \in A \\ A \in N}} \frac{(|A|-1)!(n-|A|)!}{n!} \times [F(A) - F(A - \{k\})] \quad (8)$$

这里 $|A|$ 表示联盟 A 中参与者的个数, $F(A - \{k\})$ 是联盟 A 在除去参与者 k 后的收益. $\frac{(|A|-1)!(n-|A|)!}{n!}$ 是考虑了联盟形成顺序后的权重. Shapely 值既考虑两种极端情形下的交叉效率值(最大和最小)又考虑了合作博弈,所以, Shapely 值能综合评价各主体的效率评价.

对于定义 1 中的合作博弈 (N, F) , 主体 k ($k \in \{1, 2, \dots, n\}$) 的 Shapley 值为

$$\begin{aligned} \phi_k(F) &= \frac{(n-2)E_{kk}}{2(n-1)} + \frac{\sum_{j=1}^n (E_{jk}^{\max} + E_{jk}^{\min})}{4(n-1)} + \\ & \quad \frac{\sum_{j=1, j \neq k}^n (E_{kj}^{\max} - E_{kj}^{\min})}{4(n-1)} \quad (9) \end{aligned}$$

其中 $E_{kk} = E_{kk}^{\max} = E_{kk}^{\min}$ 表示的自评,即对角线上的效率值. $E_{kj}^{\max}, E_{kj}^{\min}$ 分别表示 DMU_k 对 DMU_j 最大交叉效率评价和最小交叉效率评价.

证明 对于 DMU_k , 假设 $k \in A$, 由定义 1 可知

$$F(A) = \sum_{j \in A} \bar{E}_j^A = \bar{E}_k^A + \sum_{j \in A - \{k\}} \bar{E}_j^A \quad (10)$$

$$F(A - \{k\}) = \sum_{j \in A - \{k\}} \bar{E}_j^{A - \{k\}} \quad (11)$$

则 DMU_k 在 A 中的贡献为

$$F(A) - F(A - \{k\}) = \bar{E}_k^A + \sum_{j \in A - \{k\}} (\bar{E}_j^A - \bar{E}_j^{A - \{k\}}) \quad (12)$$

由式(7)定义可得,当 $j \in A - \{k\}$ 时

$$\bar{E}_j^A - \bar{E}_j^{A-\{k\}} = \frac{1}{2(n-1)}(E_{kj}^{\max} - E_{kj}^{\min}) \quad (13)$$

将式(7)、式(13)代入式(12)可得

$$F(A) - F(A - \{k\}) = \frac{1}{2}E_{kk} + \frac{1}{2(n-1)} \times \left[\sum_{j \in A-\{k\}} (E_{jk}^{\max} + E_{kj}^{\max} - E_{kj}^{\min}) + \sum_{i \notin A} E_{ij}^{\min} \right] \quad (14)$$

将式(14)代入到式(8)

$$\phi_k(F) = \sum_{\substack{k \in A \\ A \in N}} \frac{(|A|-1)!(n-|A|)!}{n!} \times \left\{ \frac{1}{2}E_{kk} + \frac{1}{2(n-1)} \times \left[\sum_{j \in A-\{k\}} (E_{jk}^{\max} + E_{kj}^{\max} - E_{kj}^{\min}) + \sum_{i \notin A} E_{ij}^{\min} \right] \right\} \quad (15)$$

设 a, b_j, c_j 满足下列等式

$$\phi_k(F) = a \times E_{kk} + \sum_{j=1, j \neq k}^n \times [b_j \times (E_{jk}^{\max} + E_{kj}^{\max} - E_{kj}^{\min}) + c_j \times E_{jk}^{\min}] \quad (16)$$

进一步可知

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{2} \\ b_j &= \frac{1}{4(n-1)} \\ c_j &= \frac{1}{4(n-1)} \end{aligned} \quad (17)$$

进一步可知

$$\begin{aligned} \phi_k(F) &= \frac{1}{2} \times E_{kk} + \frac{1}{4(n-1)} \sum_{j=1, j \neq k}^n [(E_{jk}^{\max} + E_{kj}^{\max} - E_{kj}^{\min}) + E_{jk}^{\min}] \\ &= \frac{(n-2)E_{kk}}{2(n-1)} + \frac{\sum_{j=1}^n (E_{jk}^{\max} + E_{jk}^{\min})}{4(n-1)} + \end{aligned}$$

表 1 试点地区与非试点地区博弈情况

Table 1 Game situation between pilot areas and non-pilot areas

地区		试点地区 B	
		高	低
非试点地区 A	高	$(V(Z_1), V(Z_2))$	$(V(Z_3), V(Z_4))$
	低	$(V(Z_5), V(Z_6))$	$(V(Z_7), V(Z_8))$

定义收益函数 V , 具体形式如下所示

$$V(Z_i) = \begin{cases} 0, & Z_i < 0 \\ 1, & Z_i \geq 0 \end{cases} \quad i = 1, \dots, 8 \quad (19)$$

$Z_i = (X_{new} - X_{low}) \times (Y_{new} - Y_{low})$, X 表示决

$$\frac{\sum_{j=1, j \neq k}^n (E_{kj}^{\max} - E_{kj}^{\min})}{4(n-1)} \quad (18)$$

其中 $E_{kk} = E_{kk}^{\max} = E_{kk}^{\min}$ 表示的自评, 即对角线上的效率值. $E_{kj}^{\max}, E_{kj}^{\min}$ 分别表示 DMU_k 对 DMU_j 最大交叉效率评价和最小交叉效率评价.

1.3 考虑竞合关系动态演化的分层博弈 DEA

试点政策评价问题是政策研究领域的重要课题之一, 试点政策的实施通常会引起主体间竞合关系发生变化, 进而引致效率的变化. 政策实施前, 主体之间的竞争与合作关系是不确定的, 各地区可以根据自身效率判断与最优资源配置的差距, 制定策略提高资源配置效率. 因此, 从效率的角度来看, 每个主体都具有结盟的动力, 以便获得更高的评价^[37].

政策实施后, 主体之间的合作与竞争关系由于试点地区的政绩比拼和政策考核而发生变化. 试点地区内部由于存在交易约束, 其效率会因为合理分配而得到较高的评价, 形成新的联盟, 试点地区内部的相互评价趋于最大, 而对其他地区的评价趋于最小. 非试点地区内部合作与竞争关系共存, 利用 Shapley 值综合考虑非试点地区内部自评和他评. 非试点地区和试点地区之间存在着政绩竞争, 相关交易无法在其中流转, 非试点地区对试点地区的评价较复杂. 试点地区和非试点地区的博弈情况如表 1 所示, 每个地区都有两个策略, 分别是对其他地区高的效率评价和低的效率评价, $V(Z)$ 表示非试点地区 A 和试点地区 B 选择策略后的收益, 该收益通过效率和排名两个特性表示.

策单元排名, Y 表示效率值, new 和 low 分别代表其他决策单元对被评价单元的任何评价和低评价, X_{new} 表示其他决策单元选择任何策略时被评价单元的排名, X_{low} 表示其他决策单元选择低评

价时被评价单元的排名,同上, Y_{new} 和 Y_{low} 代表其他决策单元选择策略时被评价单元的效率值。

传统的博弈交叉效率基于非合作博弈视角,没有充分考虑主体间竞合关系的动态变化.改进后该方法考虑了政策对竞合关系的冲击,并测度了竞合关系变化所引致的效率变化,可以通过竞合关系演变所导致的效率差异评价政策的有效性。

2 模型的实证分析

本文以水权交易市场为例验证改进分层博弈交叉效率模型的可行性,比较了竞合关系的动态演变带来的效率差异,进而验证水权交易市场的有效性.目前,国际社会有很多成功的案例已经肯定了水权市场的积极作用^[18, 38-40],然而我国的水权交易仍处于初级阶段.评价大多从时间维度上进行前后对比,而忽略了技术进步等因素的影响,不能准确识别政策效果.相比于传统的博弈交叉模型,本文考虑了多主体博弈及政策所引致的竞合关系的演变,在多主体博弈效率评价方面具有明显的优势。

2.1 数据

考虑到影响水资源利用效率的关键因素与数据的可获得性,本文选取省级效率评价数据开展模型的实证分析.投入指标包括:资本存量(亿元),劳动力(万人),总用水量(亿 m^3),其中各省资本存量计算方法为永续盘存法^[41],劳动力为各地区年末就业人数,总用水量包括了农业用水、工业用水、生活用水和生态用水;产出指标包括:地区生产总值(亿元),废水排放量(万吨),其中各地区废水排放量包括了工业废水、生活废水等.除水资源利用效率值,其余数据均来源于《中国统计年鉴》、各省统计年鉴以及各地区历年的水资源公报.各省生产总值、资本存量以 2000 年为不变价格进行折算.本文探究了 2002 年—2017 年中国 30 个省份的水资源利用效率,以水权交易试点建立的时间为分界线,划分了两个时间段,水权交易试点前:2002 年—2013 年,水权交易试点后:2014 年—2017 年。

2.2 水权交易市场的竞合关系变化

水权交易市场实施前主体间竞合关系如表 2 所示,主体间选择相同的策略收益最大,即加入联盟会得到高的评价,不加入联盟则都会选择低的评价。

表 2 水权交易实施之前决策单元间的策略

Table 2 Strategies among decision-making units before the implementation of water rights trading

地区		联盟	
		高	低
地区 A	高	(1,1)	(0,1)
	低	(1,0)	(1,1)

政策实施后,主体之间的合作与竞争关系由于试点地区的政绩比拼和政策考核而发生了变化.试点地区不仅要考核效率的提升,而且还要考虑效率排名的上升.水权交易市场实施后的关系如表 3 所示,(低,低)的收益是(1,1),(低,高)的收益是(1,0),(高,低)的收益是(0,1),(高,高)的收益可能存在四个值(0,0)、(0,1)、(1,0)和(1,1).类型 1~类型 3 的均衡策略是(低,低).类型 4 存在两个均衡策略(高,高)和(低,低).一方面假如存在试点地区 B(非试点地区 A)对非试点地区 A(试点地区 B)的最大他评和最小他评一致

的情况,那么由于政绩的比拼和加入联盟后收益并没有增加,非试点地区 A(试点地区 B)会更倾向于给试点地区 B(非试点地区 A)低的评价,这种情况下,(高,高)为均衡点的情况不会出现,即类型 4 的情况不存在.同时,因为试点地区内部存在着水资源交易的束缚,一旦试点地区 B 与非试点地区 A 之间的评价都是低的,那么试点地区的其他决策单元会由于水交易而捆绑在一起,因此,试点地区对非试点地区会形成统一的低评价.另一方面,西部试点地区水资源利用效率低^[18],假如效率排名靠前的非试点地区加入联盟后,若联

盟利益增加,则在联盟分配收益时,基于公平原则下的最小、最大交叉效率基础上,将对其增加一部分收益分配,这对效率排名末尾的试点地区不利,

加剧了排名的差异,因此,试点地区会对非试点地区进行低评价. 综上,试点地区与非试点地区的相互评价都是低评价.

表 3 水权交易实施后决策单元间的博弈类型

Table 3 The type of game between decision-making units after the implementation of water rights trading

类型 1			
地区		试点地区 B	
		高	低
非试点地区 A	高	(0,0)	(0,1)
	低	(1,0)	(1,1)
类型 2			
地区		试点地区 B	
		高	低
非试点地区 A	高	(1,0)	(0,1)
	低	(1,0)	(1,1)
类型 3			
地区		试点地区 B	
		高	低
非试点地区 A	高	(0,1)	(0,1)
	低	(1,0)	(1,1)
类型 4			
地区		试点地区 B	
		高	低
非试点地区 A	高	(1,1)	(0,1)
	低	(1,0)	(1,1)

水权交易市场运行前,各主体之间的竞合关系是不确定的,可以是合作的关系而选择(高,高)的策略,也可以是竞争的关系而选择(低,低)的策略. 为此,本文基于合作博弈的视角,利用 Shapley 值探究水资源利用效率,联盟内各主体之间的评价为(高,高),而联盟内的主体和联盟外的主体之间的评价为(低,低)的策略. 水权交易市场运行后,该政策的实施影响了各地区竞合关系的变化,而竞合关系的演变又会通过最大、最小效率矩阵影响最终的评价,为此,本文通过比较竞合关系演变所带来的效率差异来验证水权交易市场的有效性.

2.3 水权交易市场的有效性分析

水权交易市场实施改变了地区间之前的竞合关系,而效率的差异体现了水权交易市场的影响. 水权交易市场运行前,各地区水资源利用效率采用合作博弈的 Shapley 值求解,各地区组成相应的合作团体,团体内部的相互评价都是最大值,团体之间的相互评价都是最小值;运行后,所有地区被分成 2 个以上的团体,分别是国家试点地区、省级试点地区和非试点地区组成的团体.

如图 1 所示,本文首先考察了水权交易市场对国家试点地区的影响,国家试点地区水资源利用效率的平均值由于竞合关系演变提升最

大,且效率差异还在逐年增加;其次考察了省级试点地区受到的影响,省级试点地区效率的平均值相比于原来竞合关系的效率均值提升幅度小于国家试点地区;最后考察了非试点地区受到的影响,非试点地区效率的平均值在竞合关系发生变化后并没有迅速得到提升,但也受到

了正向的影响,差异值在2015年达到了最大. 本文与相关学者的结论相似^[18, 39],验证了水权交易市场的有效性. 综合来看,水权交易市场的运行能够有效地提高试点地区的水资源利用效率,同时,对非试点地区的水资源利用效率也具有溢出效应.

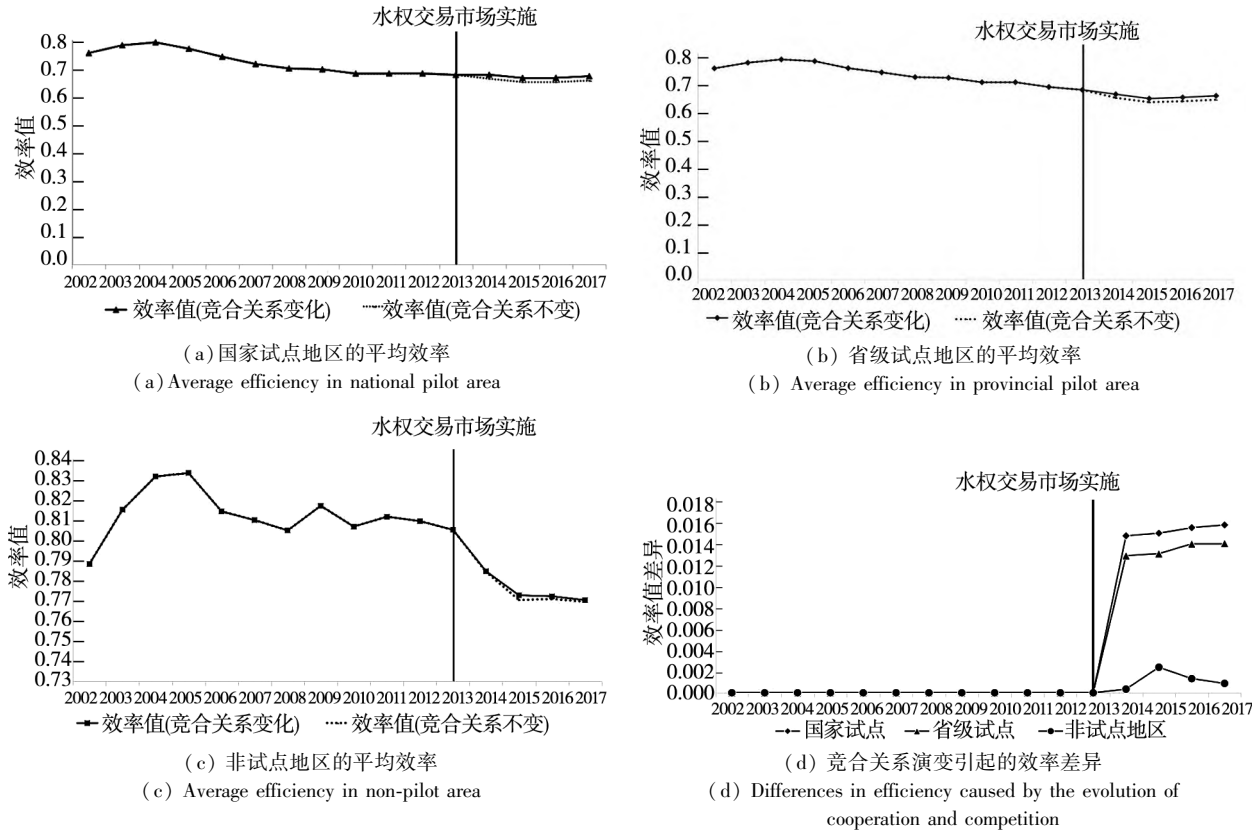
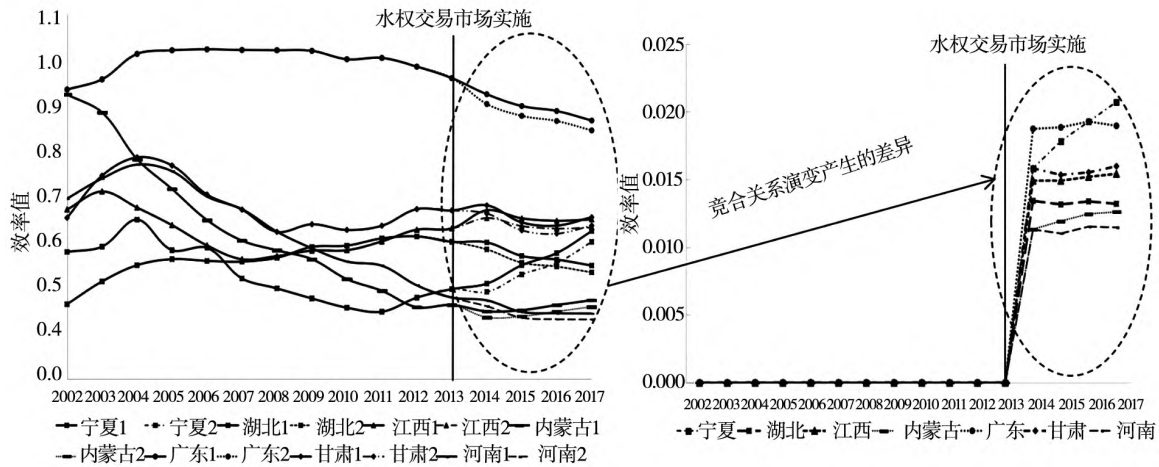


图1 水权交易市场实施后, 竞合关系演变引起的效率变化

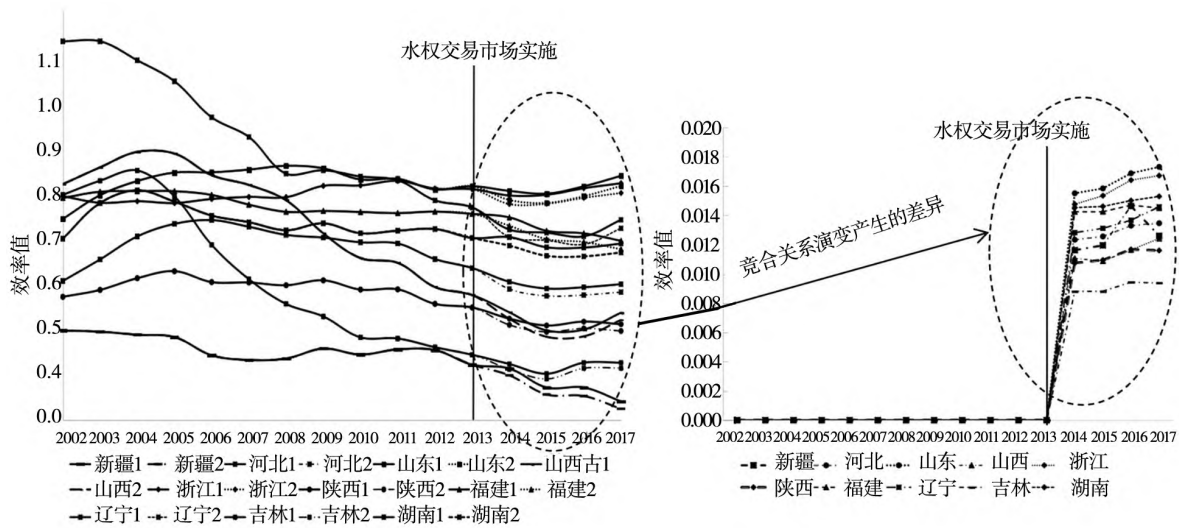
Fig. 1 After the implementation of the water rights trading market, the efficiency changes caused by the evolution of cooperation and competition

从各地区的差异来看,如图2所示,地区1表示竞合关系发生变化的水资源利用效率,地区2表示竞合关系保持不变的水资源利用效率. 本文首先考察了国家试点地区水资源利用效率的提升情况. 如图2(a)所示,水权交易市场运行后,国家试点各地区的水资源利用效率在竞合关系演变后都得到了提升,说明水权交易市场对国家试点所有地区的水资源利用效率的提升有显著作用,同时,效率的差异非常明显,其中,宁夏和广东差异最大,说明水权交易市场对这两个省效率的提升最大;其次考察了省级试点各地区水资源利用效

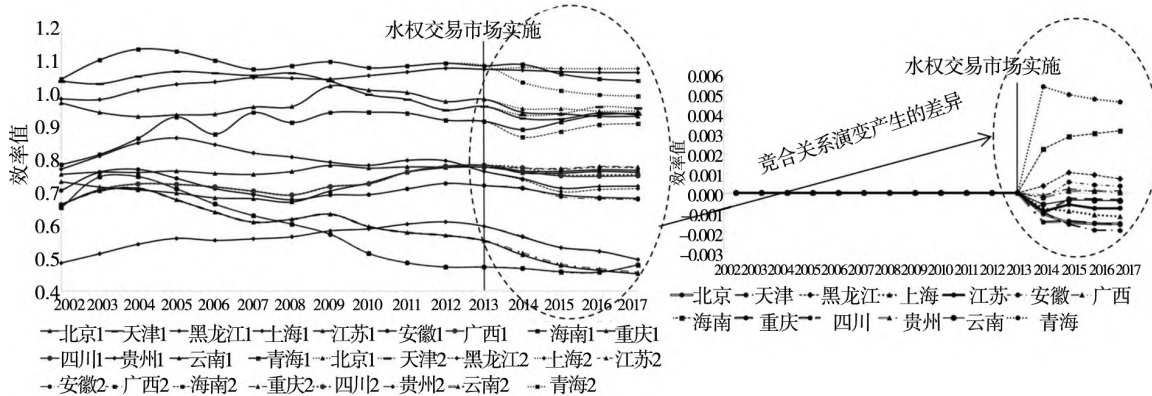
率的提升情况,如图2(b),水权交易市场运行后,省级试点地区水资源利用效率全部都得到了提升,同时,竞合关系所引致的效率差异大,其中,山东最大,浙江次之;最后考察了非试点地区水资源利用效率的情况,如图2(c)所示,水权交易市场引发竞合关系变化后,非试点地区的水资源利用效率大部分小于之前竞合关系不变的效率,这说明水权交易市场运行后,这些非试点地区的水资源利用效率低于之前竞合模式的效率,因此,全面推广水权交易市场、推进地区间合作交易可以起到提高效率的效果.



(a) 国家试点各地区的效率值比较②



(b) 省级试点地区的效率值比较



(c) 非试点地区的效率值比较

图 2 水权交易市场实施后, 各地区效率值的比较

Fig. 2 The comparison of various regions after the implementation of the water rights trading market

② 地区 1 表示竞合关系变化的效率值;地区 2 表示竞合关系不变的效率值。

3 结束语

对决策单元的评价与选择是一个相对复杂的过程,不仅需要考虑主体的自评和他评,也要考虑主体之间的竞合关系. 以往的研究大多侧重决策单元间稳定竞合关系,但在复杂博弈情境下,决策单元间竞合关系会随着外界的冲击发生动态的演变. 因此,本文提出了分层博弈交叉效率评价方法,在考虑外界冲击的情况下,探索了主体策略选择所导致的竞合关系的变化,进而影响效率的变化,同时,从公平的视角,重新分配了权重,并通过算例分析验证了方法的可行性,将决策单元间动态的竞合关系纳入效率评价框架更具现实意义.

具体来说,本文基于分层博弈交叉效率评价

方法,分析了竞合关系演变所引致的水资源利用效率的差异,评价了水权交易市场的有效性,结果显示:地区间竞合关系演变通过效率评价矩阵影响最终效率,验证了水权交易市场的运行能够提高水资源利用效率,其中国家级试点地区的提升最大,省级试点地区次之,最后是非试点地区,并且该市场具有外溢效应.

政策评价问题是政策研究领域的重要课题,试点政策的实施通常会引起主体间竞合关系变化. 本文提出的评价体系在碳市场、电价改革等政策评价领域具有重要应用价值. 同时,本文也存在以下局限性,在研究政策冲击的效果时,仅探究了一种政策对主体之间博弈关系的影响,在未来研究中,将进一步探究考虑多种政策冲击所引致的竞合关系变化而带来的效率差异.

参 考 文 献:

- [1] Yang M, Hou Y, Qiang J, et al. Assessment and optimization of provincial CO₂ emission reduction scheme in China: An improved ZSG-DEA approach[J]. *Energy Economics*, 2020, (91): 104931.
- [2] Allevi E, Basso A, Bonenti F, et al. Measuring the environmental performance of green SRI funds: A DEA approach[J]. *Energy Economics*, 2019, (79): 32–44.
- [3] Wu J, Li M, Zhu Q, et al. Energy and environmental efficiency measurement of China's industrial sectors: A DEA model with non-homogeneous inputs and outputs[J]. *Energy Economics*, 2019, (78): 468–480.
- [4] Du M, Liu Y, Wang B, et al. The sources of regulated productivity in Chinese power plants: An estimation of the restricted cost function combined with DEA approach[J]. *Energy Economics*, 2021, (100): 105318.
- [5] Xiao H, Wang D, Qi Y, et al. The governance-production nexus of eco-efficiency in Chinese resource-based cities: A two-stage network DEA approach[J]. *Energy Economics*, 2021, (1010): 105408.
- [6] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. *European Journal of Operational Research*, 1978, 2(6): 429–444.
- [7] 钱忠好, 李友艺. 家庭农场的效率及其决定——基于上海松江 943 户家庭农场 2017 年数据的实证研究[J]. *管理世界*, 2020, 36(4): 168–181, 219.
Qian Zhonghao, Li Youyi. The values and influence factors of family farms' efficiency: Empirical research based on 2017 data of 943 family farms in Songjiang, Shanghai[J]. *Management World*, 2020, 36(4): 168–181, 219. (in Chinese)
- [8] 王文举, 陈真玲. 中国省级区域初始碳配额分配方案研究——基于责任与目标、公平与效率的视角[J]. *管理世界*, 2019, 35(3): 81–98.
Wang Wenjū, Chen Zhenling. Research on the initial carbon allowance Allocation plan of China's provincial regions: Based on the perspectives of responsibilities and goals, equity and efficiency[J]. *Management World*, 2019, 35(3): 81–98. (in Chinese)
- [9] Mohammad R, Joshua I, Babak R. Improving discriminating power in data envelopment models based on deviation variables framework[J]. *European Journal of Operational Research*, 2019, 278(2): 442–447.
- [10] Mahdiloo M, Lim S, Duong T, et al. Some comments on improving discriminating power in data envelopment models based

- on deviation variables framework[J]. *European Journal of Operational Research*, 2021, 295(1): 394 – 397.
- [11] 巩灿娟, 徐成龙, 张晓青. 黄河中下游沿线城市水资源利用效率的时空演变及影响因素[J]. *地理科学*, 2020, (11): 1930 – 1939.
- Gong Canjuan, Xu Chenglong, Zhang Xiaoqing. Spatio-temporal evolution and influencing factors of water resources utilization efficiency of cities along the middle and lower[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, (11): 1930 – 1939. (in Chinese)
- [12] 易明, 彭甲超, 张尧. 中国高等教育投入产出效率的综合评价——基于 Window-Malmquist 指数法[J]. *中国管理科学*, 2019, (12): 32 – 42.
- Yi Ming, Peng Jiachao, Zhang Yao. Comprehensive evaluation of input-output efficiency of higher education in China: Based on Window-Malmquist index method[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2019, (12): 32 – 42. (in Chinese)
- [13] 夏丛, 胡守庚, 吴思, 等. 长江经济带城市用地效率时空演变特征[J]. *经济地理*, 2021, 41(8): 115 – 124.
- Xia Cong, Hu Shougeng, Wu Si, et al. Spatial-temporal evolution characteristics of urban land use efficiency in Yangtze River Economic Belt[J]. *Economic Geography*, 2021, 41(8): 115 – 124. (in Chinese)
- [14] 许成磊, 朱秭洁, 段万春. 考虑多维合作策略的非径向超预期管理效率评价[J]. *中国管理科学*, 2021, 29(1): 237 – 248.
- Xu Chenglei, Zhu Zijie, Duan Wanchun. Non-radial exceeding expected management efficiency evaluation considering multi-dimensional cooperation strategies[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2021, 29(1): 237 – 248. (in Chinese)
- [15] 楚雪芹, 李勇军, 崔峰, 等. 基于两阶段非期望 DEA 模型的商业银行效率评估[J]. *系统工程理论与实践*, 2021, 41(3): 636 – 648.
- Chu Xueqin, Li Yongjun, Cui Feng, et al. Efficiency evaluation of commercial banks based on two-stage DEA model with undesirable output[J]. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2021, 41(3): 636 – 648. (in Chinese)
- [16] 胡剑波, 闫烁, 韩君. 中国产业部门隐含碳排放效率研究——基于三阶段 DEA 模型与非竞争型 I-O 模型的实证分析[J]. *统计研究*, 2021, 38(6): 30 – 43.
- Hu Jianbo, Yan Shuo, Han Jun. Study on the carbon emissions efficiency embodied in China's industrial sector: Empirical analysis based on three-stage DEA model and non-competitive I-O model[J]. *Statistical Research*, 2021, 38(6): 30 – 43. (in Chinese)
- [17] 孙才志, 马奇飞, 赵良仕. 基于 GWR 模型的中国水资源绿色效率驱动机理[J]. *地理学报*, 2020, (5): 1022 – 1035.
- Sun Caizhi, Ma Qifei, Zhao Liangshi. Analysis of driving mechanism based on a GWR model of green efficiency of water resources in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, (5): 1022 – 1035. (in Chinese)
- [18] 田贵良, 盛雨, 卢曦. 水权交易市场运行对试点地区水资源利用效率影响研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, (6): 146 – 155.
- Tian Guiliang, Sheng Yu, Lu Xi. On the influence of water rights trading market operation on water resource use efficiency in pilot areas[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, (6): 146 – 155. (in Chinese)
- [19] 刘金培, 杨宏伟, 陈华友, 等. 基于交叉效率 DEA 与群体共识的区间乘性语言偏好关系群决策[J]. *中国管理科学*, 2020, 28(2): 190 – 198.
- Liu Jinpei, Yang Hongwei, Chen Huayou, et al. Group decision making with interval multiplicative linguistic preference relations based on cross-efficiency DEA and group consensus[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2020, 28(2): 190 – 198. (in Chinese)
- [20] Liu H, Song Y, Yang G. Cross-efficiency evaluation in data envelopment analysis based on prospect theory[J]. *European Journal of Operational Research*, 2019, 273(1): 364 – 375.

- [21] Shi H, Chen S, Chen L, et al. A neutral cross-efficiency evaluation method based on interval reference points in consideration of bounded rational behavior[J]. *European Journal of Operational Research*, 2021, 290(3): 1098 – 1110.
- [22] Mostafa D, Masoud A. On Pareto-optimality in the cross-efficiency evaluation[J]. *European Journal of Operational Research*, 2021, 288(1): 247 – 257.
- [23] Liang L, Wu J, Cook W, et al. The DEA game cross-efficiency model and its Nash equilibrium[J]. *Operation Research*, 2008, 56(5): 1278 – 1288.
- [24] Li Y, Li F, Emrouznejad A, et al. Allocating the fixed cost: An approach based on data envelopment analysis and cooperative game[J]. *Annals of Operations Research*, 2019, (274): 373 – 394.
- [25] Li F, Wu H, Zhu Q, et al. Data envelopment analysis cross efficiency evaluation with reciprocal behaviors[J]. *Annals of Operations Research*, 2021, (302): 173 – 210.
- [26] Li F, Zhu Q, Liang L. Allocating a fixed cost based on a DEA-game cross efficiency approach[J]. *Expert Systems with Applications*, 2018, (96): 196 – 207.
- [27] Li F, Emrouznejad A, Yang G, et al. Carbon emission abatement quota allocation in Chinese manufacturing industries: An integrated cooperative game data envelopment analysis approach[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2019, 71(8): 1259 – 1288.
- [28] Zhu Q, Li X, Li F, et al. The potential for energy saving and carbon emission reduction in China's regional industrial sectors[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, (716): 135009.
- [29] Wang L, Zhou Z, Yang Y, et al. Green efficiency evaluation and improvement of Chinese ports: A cross-efficiency model [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2020, (88): 102590.
- [30] Cao L, Ma Z M. Cooperation and competition strategy analysis of decision-making units based on efficiency game[J]. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 2020, 29(2): 235 – 248.
- [31] Chen L, Wang Y. DEA target setting approach within the cross efficiency framework[J]. *Omega*, 2020, (96): 102072.
- [32] Kao C, Liu S. A slacks-based measure model for calculating cross efficiency in data envelopment analysis[J]. *Omega*, 2020, (95): 102192.
- [33] Wu D, Wang Y, Liu Y, et al. DEA cross-efficiency ranking method considering satisfaction and consensus degree[J]. *International Transactions in Operational Research*, 2021, 28(6): 3470 – 3492.
- [34] Giannis K. Partial average cross-weight evaluation for ABC inventory classification[J]. *International Transactions in Operational Research*, 2021, 28(3): 1526 – 1549.
- [35] 周建军, 孙倩倩, 鞠 方. 产业结构变迁对房价的时空动态效应研究——基于人口老龄化背景的实证分析[J]. *管理科学学报*, 2020, 23(3): 41 – 64.
Zhou Jianjun, Sun Qianqian, Ju Fang. Spatial and temporal dynamic effects of industrial structure changes on housing price in the context of population aging[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2020, 23(3): 41 – 64. (in Chinese)
- [36] 杨子晖, 陈里璇, 罗 彤. 边际减排成本与区域差异性研究[J]. *管理科学学报*, 2019, 22(2): 1 – 21.
Yang Zihui, Chen Lixuan, Luo Tong. Marginal cost of emission reduction and regional differences[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2019, 22(2): 1 – 21. (in Chinese)
- [37] 刘文丽, 王应明, 吕书龙. 基于交叉效率和合作博弈的决策单元排序方法[J]. *中国管理科学*, 2018, 26(4): 163 – 170.
Liu Wenli, Wang Yingming, Lü Shulong. Ranking decision making units based on cross-efficiency and cooperative game [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2018, 26(4): 163 – 170. (in Chinese)
- [38] Lewis D, Zheng H. How could water markets like Australia's work in China? [J]. *International Journal of Water Resources Development*, 2019, 35(4): 638 – 658.
- [39] 潘海英, 朱彬让, 周 婷. 基于实验经济学的水权市场有效性研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(8): 112 – 121.

- Pan Haiying, Zhu Binrang, Zhou Ting. Research on the water rights market efficiency based on experimental economics [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(8): 112 – 121. (in Chinese)
- [40] Iftexhar M, Buurman J, Lee T, et al. Non-market value of Singapore's ABC waters program[J]. *Water Research*, 2019, (157): 310 – 320.
- [41] 单豪杰. 中国资本存量 K 的再估算: 1952 – 2006 年[J]. *数量经济技术经济研究*, 2008, (10): 17 – 31.
- Shan Haojie. Reestimating the capital stock of China: 1952 – 2006[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2008, (10): 17 – 31. (in Chinese)

Policy evaluation based on an improved hierarchical game cross-efficiency model

WANG Zhao-hua^{1, 2}, LI Jing-yun^{1, 2}, WANG Bo^{1, 2*}, ZHANG Bin^{1, 2}

1. School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China
2. Ministry of Industry and Information Technology Key Laboratory of Digital Economy and Policy Intelligence, Beijing 100081, China

Abstract: As a key step in the process of policy implementation, policy evaluation is not only a basic way to test the effects of policies but also an important basis for achieving optimal allocation of resources. In a complex game situation, the assumption that the relationship between decision-making unit groups remains unchanged is not suitable for efficiency evaluation in reality. It is very important to consider the dynamic evolution of cooperation and competition between groups. Considering the evolution of the competition and cooperation relationship between subjects under external shocks in the evaluation framework, the paper proposes an improved hierarchical game cross-efficiency model. A multi-level efficiency matrix is constructed by employing the programming model twice from a fair perspective; moreover, the efficiency model applied the Shapley value to evaluate the efficiency caused by the dynamic relationship evolution of decision-making units. Finally, the water rights trading market is adopted as an example to verify the feasibility of the model. The results show the effectiveness and spillover of the market policy. Our model broadens the assumption that the group relationship of competition and cooperation remains unchanged and provides a feasible method for evaluating the effect of pilot policies in energy and environment.

Key words: hierarchical game cross-efficiency; fair perspective; evaluation of the effects of pilot policy; pilot of water rights trading