

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2018.0060

陈述,蒙锦涛,姚惠芹.引调水 PPP 项目利益分配的 Shapley 方法[J].南水北调与水利科技,2018,16(2):202-208. Profit distribution of water diversion PPP project based on the Shapley value[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(2): 202-208. (in Chinese)

引调水 PPP 项目利益分配的 Shapley 方法

陈 述^{1,2}, 蒙锦涛², 姚惠芹^{1,2}

(1 三峡大学 水电工程施工与管理湖北省重点实验室, 湖北 宜昌 443002; 2 三峡大学 水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 科学合理的利益分配机制是引调水 PPP 项目成功的关键, 基于利益分配基本原则, 结合引调水 PPP 项目特性, 构建利益分配影响因子体系; 然后在 Shapley 值法的基础上, 运用模糊综合评判法确定利益分配影响因子的权重, 建立了基于 Shapley 值改进的引调水 PPP 项目利益分配机制模型, 以协调各方利益分配, 使各方利益都实现最大化; 最后将建立的模型应用到工程实例中, 验证了模型的可行性和有效性。结果表明: 与初始分配方案相比, 改进后的利益分配机制不仅满足了个体理性以及群体理性, 且衡量了各利益相关者的实际贡献, 更为贴近实际。该分配方式对引调水 PPP 项目总利益不产生影响, 而只对分配比例产生影响, 其政府、社会资本方及引调水 PPP 项目特许经营公司的利益分配系数分别为 0.35、0.41、0.24。

关键词: 利益分配; 引调水工程; PPP; Shapley; 利益相关者

中图分类号: TV 68; F 407.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2018)02-0202-07

Profit distribution of water diversion PPP project based on the Shapley value

CHEN Shu^{1,2}, MENG Jintao², YAO Huiqin^{1,2}

(1. Hubei Key Laboratory of Construction and Management in Hydropower Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, China;

2. College of Hydraulic & Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: A scientific and reasonable profit distribution mechanism is the key to the success of water diversion PPP project. Based on the basic principles of profit distribution, we constructed an impact factor system of profit distribution with consideration to the features of water diversion PPP projects. Then, based on the Shapley value, we used the fuzzy synthetic method to determine the weight of each impact factor of profit distribution, and established an improved profit distribution model for water diversion PPP projects, so as to coordinate profit distribution and maximize profits for all stakeholders. Finally, we applied the model to an engineering case and verified the feasibility and validity of the model. The results showed that compared with the initial allocation scheme, the improved profit distribution mechanism not only can satisfy both individual rationality and group rationality, but also can measure the actual contribution of various stakeholders more truthfully. It does not affect the total profit of the water diversion PPP project, and only affects the distribution ratio between government, social capital, and franchise company of water diversion PPP project, whose profit distribution coefficients were 0.35, 0.41, and 0.24, respectively.

Key words: profit distribution; water diversion project; PPP; Shapley; stakeholders

我国水资源时空分布不均, 水资源短缺甚至已 成为我国众多地区经济社会发展的制约因素^[1-2]。

收稿日期: 2017-06-10 修回日期: 2017-09-16 网络出版时间: 2018-01-09
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20180105.1543.008.html>
基金项目: 国家自然科学基金(51609128)

Fund: National Natural Science Foundation of China(51609128)

作者简介: 陈 述(1986-), 男, 湖北英山人, 副教授, 博士, 主要从事水利工程管理及安全管理研究。E-mail: chen.shu@ctgu.edu.cn

通讯作者: 姚惠芹(1979-), 女, 湖北孝感人, 副教授, 博士, 主要从事水工程安全及风险研究。E-mail: yao5689@163.com

建设引调水工程,是解决用水与供水矛盾的根本措施^[3]。目前以政府投资为主的建设模式,已难以满足引调水工程建设庞大资金需求。为减轻政府财政压力,引入社会资本,加快实施引调水工程 PPP 项目势在必行。然而,政府部门社会保障职能与社会资本追利动机之间的内在利益冲突,是影响调水 PPP 项目成败的关键。因此,建立公正科学的利益分配机制对于协调不同利益主体冲突、保证引调水 PPP 项目成功实施具有重要意义。

利益分配与协调是 PPP 项目顺利进行的重要环节,是国内外学者研究的热点之一。Parrod 等^[4]指出要维持项目成员间的合作关系必须建立让各方满意的收益分配机制,叶晓甦等^[5]考虑激励措施印证了这一看法,认为解决各方利益冲突的根本途径是建立科学的利益分配机制。Medda^[6]以风险分担的视角分析认为各方承担风险的意愿在很大程度上取决于所获的期望收益,随后 Yuki 等^[7]基于合作博弈的角度认为项目成员的成本投入与收益呈正相关,而张巍等^[8]基于前人观点指出风险分担、投资比例等是影响利益分配的重要因素。对此,李军等^[9]以利益分配三要素为原则构建了 PPP 项目利益分配模型。从博弈角度,时茜茜等^[10]运用合作动态博弈模型,以分散、集中两个视角得出系统最优利益分配机制;凌阳明月等^[11]建立讨价还价博弈模型,探讨了最佳利益分配结构;Harrison 等^[12]将经典博弈模型与仿真分析相耦合,提出了利益分配最优比方法;从激励角度,张喻等^[13]基于契约设计理论,利用协同系数构建了具有激励性动态利益协调机制;胡文发等^[14]以激励相容理论为基础,提出多层次利益协调机制;马亚男^[15]以委托代理理论为契入点,探讨不同分配率区间对合作成员的激励影响。从数学理论的角度还有可拓^[16-17]、模糊集^[18-19]、优化模型^[20-21]等方法,然而这些方法存在计算复杂等缺陷^[22],Shapley L. S. 提出的 Shapley 值法^[23]具有计算简便等优点,胡丽等^[24]在 Shapley 值法的基础上设计了 PPP 项目利益分配机制,随后刁丽琳^[25]等在此基础上提出了一种多权重 Shapley 利益分配方法。

上述研究为引调水 PPP 项目利益分配问题提供了多样化思路,然而缺少针对引调水工程 PPP 项目工程特点的研究,未充分考虑利益相关者角色在项目投入产出的差异性,很难直接指导引调水 PPP 项目实践。本文综合权衡各利益相关者投入资源、努力水平、承担风险、贡献程度等因素对利益分配影响,引入影响利益分配因子,并通过模糊综合评判法赋权,建立基于改进 Shapley 值的引调水 PPP 项目

利益分配模型,以期为社会资本与政府部门的利益协调提供依据。

1 利益分配影响因子及系数测算

引调水 PPP 项目合约明确规定了各利益相关者的权利与义务,在设计利益分配机制时必须综合考虑各利益相关者对项目建设的实际贡献^[26]。因此,本文针对引调水 PPP 项目契约特征,根据引调水工程利益分配的责权利对等原则,影响引调水 PPP 项目利益分配因子主要包括利益相关者的资源投入、努力水平、风险分担、贡献程度等。

1.1 资源投入

引调水 PPP 项目建设离不开政府和社会资本方的各类资源投入,通常而言,投资者投入的资源越多,则期望的报酬越大。长距离引水线路穿越地质条件复杂、沿线交叉输水建筑物种类繁多,对施工人员专业技术、施工设备、人力资源等提出更高的要求,同时建设资金规模通常由设计供水量决定,而社会资本方因其一流的专业技术及强大的融资能力,主要承担这部分资源投入;政府部门是引调水 PPP 项目发起方,主要承担生态资源投入、水价调控及质量监管。项目实施过程中会形成许多无形资产如知识产权、专利、技术标准等难以被量化,由第三方评估后通过协商计入要素投入。因此,将资源投入作为影响利益分配因子,有助于提高社会资本方参与积极性,从而加快推动引调水工程建设。

令引调水 PPP 利益相关者 i 的资源投入为 V_i ,主要包括固定投资资产、技术能力、生态资源、人力资源、无形财产,利益相关者 i 对各资源投入记为 C_{ik} ,其资源投入指标权重依次为 λ_k ,有 $\sum_{k=1}^5 \lambda_k = 1$ 。

则引调水 PPP 项目的资源投入要素为:

$$D'_i = \frac{D_i}{D} \quad (1)$$

式中: D_i 表示利益相关者 i 的投入即 $D_i = \lambda_k C_{ik}$,

$$D = \sum_{i=1}^n D_i。$$

因此,针对各利益相关者资源投入的差异性,在进行设计引调水 PPP 项目利益分配机制时应充分考虑各方实际资源投入,以期对其补偿或惩罚。这里引入投入补偿因子 α_i ,且 $\alpha_i \in (0, 1)$,则利益相关者 i 的资源投入修正变量为:

$$\varphi'(u'_i) = \alpha_i \times D \times \Delta D_i \quad (2)$$

式中: ΔD_i 表示利益相关者 i 的资源投入要素与均等投入的差值,即 $\Delta D_i = D'_i - \frac{1}{n}$ 。

当 $\Delta D_i > 0$ 时, 表明利益相关者 i 在引调水 PPP 项目实际投资建设中, 资源投入额比项目利益相关者整体投入平均值高, 此时在利益分配时应给予投入补偿; 反之 $\Delta D_i < 0$ 时则受到惩罚。

1.2 努力水平

引调水 PPP 项目涉及利益相关者众多, 各利益相关者目标的多样性导致出现违背合约的行为, 从而增加项目管理成本。而努力水平是指各利益相关者依照合同商定而采取积极措施的程度, 以此作为利益分配影响因子, 可有效避免单方消极合作行为, 保障引调水 PPP 项目整体目标高效完成。

令引调水 PPP 项目各利益相关者努力水平为 E , 利益相关者 i 努力水平为 E_{i6} , 则所有成员努力水平的均值为:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n E_{i6}}{n} \quad (3)$$

因此, 针对各利益相关者努力水平的差异性, 在进行设计引调水 PPP 项目利益分配机制时应充分考虑各方实际努力水平, 以期对其补偿或惩罚。这里引入努力激励因子 α , 且 $\alpha \in (0, 1)$, 由此各利益相关者 i 的努力水平修正变量为:

$$\Phi_i^E(u)' = \alpha \times \sum_{i=1}^n E_{i6} \times \Delta E_i \quad (4)$$

式中: ΔE_i 表示各利益相关者与努力均值 E 的差值即 $\Delta E_i = E_{i6} - E$, 有 $\sum_{i=1}^n \Delta E_i = 0$ 。

当 $\Delta E_i > 0$ 时, 表明利益相关者 i 在引调水 PPP 项目合约遵照过程中, 实际努力水平高于项目利益相关者整体努力均值, 此时在利益分配时应给予激励补偿; 反之 $\Delta E_i < 0$ 时, 努力水平低的利益相关者应补偿其他合作伙伴。

1.3 风险分担

引调水 PPP 项目的核心原则之一就是共担风险, 若利益相关者在项目中承担风险的比重越大, 那么它期望所获得的利益也就越大。引调水 PPP 项目工程线路长、供水地域广、环节层级复杂, 且易受降雨、洪水等不确定水荷载影响, 导致引调水 PPP 项目风险管理难度较大, 具体如图 1 所示。政府部门主要承担政治法律风险、水量需求风险以及市场价格风险, 而社会资本方以其先进的技术及丰富的经验, 主要承担建设运营风险。为有效分担风险, 风险分配基本原则就是将风险分配给最能有效控制风险的一方, 从而能够提高各利益相关者的合作效率。因此, 风险分担是影响引调水 PPP 项目利益分配的至关重要的因子。

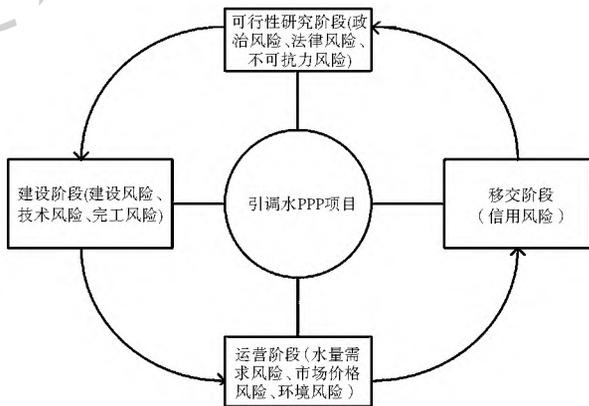


图 1 引调水 PPP 项目全生命周期风险类别

Fig. 1 Risk categories of water diversion PPP project

令引调水 PPP 项目建设中存在的风险因素为 R , 其可行性研究阶段有政治风险、法律风险、不可抗力风险; 建设阶段主要包括建设风险、技术风险、完工风险; 运营阶段主要有水量需求风险、市场价格风险、环境风险; 移交阶段有信用风险。

令各利益相关者承担的每一项风险为 C_{ik} , 每个风险指标的权重为 λ_k , $\sum_{k=1}^{16} \lambda_k = 1$ 。则利益相关者 i 的风险为:

$$R_i = \sum_{k=1}^{16} \lambda_k C_{ik} \quad (5)$$

针对各利益相关者实际承担风险的差异性, 通过引入风险补偿因子 α_3 , 利益相关者 i 的风险分担修正变量为:

$$\Phi_i^R(u)' = \alpha_3 \times R \times \Delta R_i \quad (6)$$

式中: R 表示项目总体承担风险即 $R = \sum_{i=1}^n R_i$, ΔR_i 表示实际承担风险值与理性值的差值即 $\Delta R_i = R_i - \frac{R}{n}$ 。

当 $\Delta R_i > 0$ 时, 表明利益相关者在引调水 PPP 项目实践中, 承担的实际风险值高于项目利益相关者整体风险均值, 此时应在利益分配时给予风险补偿; 反之 $\Delta R_i < 0$ 时, 表明该利益相关者应受到惩罚。

1.4 贡献程度

引调水 PPP 项目是复杂的巨系统, 项目实施过程中会有事先难以预料的突发状况产生。为快速响应复杂的环境变化, 各利益相关者必须做出临时的牺牲。因此, 为实现引调水 PPP 项目实施效率最优化, 将贡献程度纳入考虑影响因子的范围, 可激励各利益相关者自觉做出贡献行为。

令引调水 PPP 项目利益相关者贡献程度为 G , 利益相关者 i 贡献程度为 G_{i17} , 则利益相关者 i 的贡献度均值 G 为:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n G_{i17}}{n} \quad (7)$$

针对各利益相关者实际贡献度的差异性, 通过引入贡献修正因子 α_i , 利益相关者 i 的贡献程度修正变量为:

$$\Phi_i^c(u)' = \alpha_i \times G \times \Delta G_i \quad (8)$$

式中: ΔG_i 表示实际贡献度与理想值的差值即 $\Delta G_i = G_{i17} - G$ 。

当 $\Delta G_i > 0$ 时, 表明利益相关者 i 在引调水 PPP 项目应急状况下, 做出的贡献度高于项目整体均值贡献度, 此时应在利益分配时给予利益补偿; 反之 $\Delta G_i < 0$ 时, 表明该利益相关者受到惩罚。

2 改进 Shapley 值法的利益分配模型

Shapley 值法认为参与者没有个体特征, 并没有充分考虑到利益相关者在项目中的内部因子差异性^[27]。引调水 PPP 项目各利益相关者实际的资源投入、努力水平、风险分担、贡献程度各不相同, 合作态度也必定存在差异, 这些因子都会对项目最终利益分配产生影响。鉴于此, 本文基于以上影响利益分配因子提出如下 Shapley 值法改进模型:

$$\Phi_i(u)' = \Phi_i(u) + \Phi_i^v(u)' + \Phi_i^e(u)' + \Phi_i^r(u)' + \Phi_i^c(u)' \quad (9)$$

其中,

$$\Phi_i(u) = \sum_{s \in S_i} \{\omega(|s|) [u(s) - u(s \setminus i)]\} \quad (10)$$

$$\omega(|s|) = \frac{(|s| - 1)! (n - |s|)!}{n!} \quad (11)$$

$$\Phi(u) = \Phi_1(u) + \Phi_2(u) + \dots + \Phi_n(u) = U(1 \cup 2 \cup \dots \cup n) \quad (12)$$

式中: $I = \{1, 2, \dots, n\}$ 表示引调水 PPP 项目的利益相关者组成的集合; $i = (1, 2, \dots, n)$ 表示引调水 PPP 项目的利益相关者个数; S 为集合 I 中包含利益相关者的所有子集; $|s|$ 为子集 S 里包含利益相关者的个数; $\omega(|s|)$ 为利益相关者 i 的权重系数; $u(s \setminus i)$ 为子集 S 去除利益相关者后可取得的收益; $u(s) - u(s \setminus i)$ 为利益相关者 i 在子集 S 中的边际贡献; $\Phi_i(u)$ 为利益相关者 i 的收益, $\Phi(u)$ 为大联盟(相对于子集)的总收益。由上述公式可知, Shapley 值法假设各利益相关者的边际成本都为 $1/n$ 。

同时由 Shapley 值法满足可加性原理可知:

$$\sum \Phi_i(u)' = \sum \Phi_i(u) + \sum \Phi_i^v(u)' + \sum \Phi_i^e(u)' + \sum \Phi_i^r(u)' + \sum \Phi_i^c(u)' \quad (13)$$

由此可知,

$$\sum \Phi_i^v(u)' = \alpha_1 \times \sum_{i=1}^n \left[D \times \left(D_i - \frac{1}{n} \right) \right] = \alpha_1 \times \left(D - n \times \frac{1}{n} \times D \right) = 0 \quad (14)$$

同理可得

$$\sum \Phi_i^e(u)' = \alpha_2 \times \left(\sum E_{i-n} \times \frac{1}{n} \times \sum E_i \right) = 0 \quad (15)$$

$$\sum \Phi_i^r(u)' = \alpha_3 \times \left(\sum R_{i-n} \times \frac{1}{n} \times \sum R_i \right) = 0 \quad (16)$$

$$\sum \Phi_i^c(u)' = \alpha_4 \times \left(\sum G_{i-n} \times \frac{1}{n} \times \sum G_i \right) = 0 \quad (17)$$

$$\sum \Phi_i(u)' = \sum \Phi_i(u) \quad (18)$$

由以上公式推导可以看出, 在应用 Shapley 值法改进模型的利益分配策略下, 虽然引调水 PPP 项目各参与方的利益有所变化, 但是总利益依然保持不变。

另外, 投入补偿因子 α_1 、努力激励因子 α_2 、风险补偿因子 α_3 、贡献修正因子 α_4 可利用层次分析法求得, 分别为: $\alpha_1 = 0.54$, $\alpha_2 = 0.07$, $\alpha_3 = 0.32$, $\alpha_4 = 0.07$ 。

3 案例仿真

南巴河引调水工程是在由南巴河上修建拦河枢纽工程并通过隧洞自流引水进入长茅水库库尾, 以补水长茅水库。主要解决长茅水库下游区内乡镇工农业用水, 改善区内人们的生存、生产和生态环境, 提高人们的生活质量。该引调水工程的 PPP 项目模式见图 2。

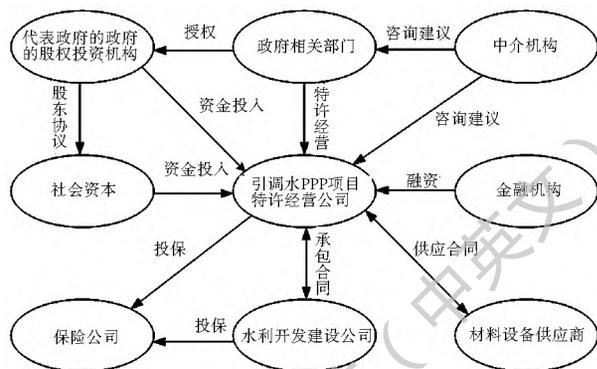


图 2 南巴河引调水 PPP 项目模式

Fig. 2 Nanba River water diversion PPP project

根据利益相关者理论, 由南巴河引调水 PPP 项目模式可知其核心利益相关者为: 即政府为 1, 社会资本方为 2, 引调水 PPP 项目特许经营公司为 3。按照合同约定, 利益相关者分配项目收益。经项目专家审议, 对经过项目的路线、投资、收益方式、需水量、水价、沿线土地开发等一系列进行评估之后, 项目运营 30 年所获总利益大概为 50 亿元。若该引调水工程不采用 PPP 模式, 而采用原始公共基础服务由政府投资建设运营的情况下, 若保持原始投资额

度不变,项目三方独自投资建设,则所获利益为: $U(1)=30, U(2)=28, U(3)=24$ (单位: 亿元, 以下省略); 双方合作利益策略有: $U(1U2)=40, U(1U3)=36; U(2U3)=33$; 三方合作策略有: $U(1U2U3)=50$ 。

3.1 系数测算

由式(1)、式(2)可知各利益相关者的资源投入修正变量为: $\varphi_1^D(u)' = \alpha_1 \times D \times \Delta D_1 = -1.4616$, 同理可知 $\varphi_2^D(u)' = 1.4760, \varphi_3^D(u)' = -0.0144$ 。

由式(3)、式(4)可知各利益相关者的努力水平修正变量为: $\varphi_1^E(u)' = \alpha_2 \times \sum_{i=1}^n E_{i6} \times \Delta E_1 = 0.0116$, 同理可知 $\varphi_2^E(u)' = -0.0023, \varphi_3^E(u)' = -0.0093$ 。

由式(5)、式(6)可知各利益相关者的风险分担修正变量为: $\varphi_1^R(u)' = \alpha_3 \times R \times \Delta R_1 = -1.1523$, 同理可知 $\varphi_2^R(u)' = 2.0119, \varphi_3^R(u)' = -0.8595$ 。

由式(7)、式(8)可知各利益相关者的贡献程度修正变量为: $\varphi_1^G(u)' = \alpha_4 \times G \times \Delta G_1 = 0.3888$ 同理可知 $\varphi_2^G(u)' = -0.0777, \varphi_3^G(u)' = -0.3111$ 。

3.2 改进 Shapley 值法的利益分配策略

根据式(9)–式(12), 计算政府 1 的初始利益 $\varphi_1(u)$, 所得数据见表 1。

表 1 政府的初始利益分配策略

Tab. 1 Initial profit distribution strategy of government

S	1	1U2	1U3	1U2U3
$u(s)$	30	40	36	50
$u(s \setminus 1)$	0	28	24	33
$u(s) - u(s \setminus 1)$	30	12	12	17
$1 \setminus s$	1	2	2	3
$\omega(1 \setminus s)$	1/3	1/6	1/6	1/3
$\omega(1 \setminus s) [u(s) - u(s \setminus 1)]$	10	2	2	17/3

将表中最后一行数值相加, 即得到政府 1 的利益 $\varphi_1(u) = \frac{118}{6}$ 。同理, 可得社会资本方 2 的利益

$\varphi_2(u) = \frac{103}{6}$ 、引调水 PPP 项目特许经营公司 3 的利益

$\varphi_3(u) = \frac{79}{6}$ 。(此时的利益分配比例为 $\sigma_1 = 0.40,$

$\sigma_2 = 0.34, \sigma_3 = 0.25$) 同时将三方利益相加, 则

$$\varphi_1(u) + \varphi_2(u) + \varphi_3(u) = U(1U2U3) = 50$$

由上式各因子补偿变量及式(13)可知:

$$\varphi_1(u)' = \varphi_1(u) + \varphi_1^D(u)' + \varphi_1^E(u)' + \varphi_1^R(u)' + \varphi_1^G(u)' = 17.4530$$

同理可知 $\varphi_2(u)' = 20.5746, \varphi_3(u)' = 11.9724$ 。

将上式计算得到的三个值相加, 由式(14)–

(18)可以推断:

$$\varphi_1(u)' + \varphi_2(u)' + \varphi_3(u)' = U(1U2U3) = 50$$

3.3 结果分析

比较利用 Shapley 值法初始模型和 Shapley 值法改进模型得到的引调水 PPP 项目中三个核心利益相关者的利益分配结果, 见表 2。

表 2 利益分配策略对比

Tab. 2 Comparison of profit distribution strategies

核心利益相关者	1	2	3
初始 Shapley 值法	19.6666	17.1667	13.1667
初始分配比例	0.40	0.34	0.26
资源投入修正变量	-1.4616	1.4760	-0.0144
努力水平修正变量	0.0116	-0.0023	-0.0093
风险分担修正变量	-1.1524	2.0119	-0.8595
贡献程度修正变量	0.3888	-0.0777	-0.3111
本文改进模型	17.4530	20.5746	11.9724
改进分配比例	0.35	0.41	0.24

由表 2 中数据可知:

(1) 就资源投入而言, 占比最多的社会资本方得到了 1.476 0 亿元的投入补偿, 该补偿值由投入相对较少的政府以及引调水 PPP 项目特许经营公司按比例进行分摊; 就风险分担而言, 占比最多的社会资本方得到了 2.011 9 亿元的风险补偿, 该补偿由承担风险较小的政府和引调水 PPP 项目特许经营公司按比例进行分摊。这与引调水 PPP 项目的融资经营模式有关, 将 PPP 模式引入引调水工程本身就是为吸收社会资本方融资能力强、风险管控度高等优点, 无论是资源投入还是风险分担, 社会资本方所承担的比例是最多的。因此, 在利益分配过程中, 根据投入、风险与利益相对称原则, 社会资本方理应获得更多的报酬, 同时也应给予社会资本方相应的政策补贴、税收优惠等补偿。

(2) 就努力水平而言, 占比最多的政府得到了 0.011 6 亿元的激励补偿, 该补偿值由努力水平不足的社会资本方和引调水 PPP 项目特许经营公司按相应比例进行分摊; 就贡献程度而言, 占比最多的政府得到了 0.388 8 亿元的激励补偿, 该补偿值由比较消极的社会资本方和引调水 PPP 项目特许经营公司按比例进行分摊。这与引调水 PPP 项目实际情况较为一致, 由于引调水工程作为公益性较强的项目, 导致社会资本方刚开始进入项目意愿并不强烈, 而政府作为牵头部门, 为解决群众的生活用水、工业用水以及灌溉用水问题, 尽最大的努力以及牺牲来促使引调水 PPP 项目的完成。因此, 在利益

分配过程中,政府应获得更多的报酬。

(3) 初始分配方案中政府、社会资本方及引调水 PPP 项目特许经营公司的利益分配系数为 0.40、0.34、0.26,而改进后的分配方案中,其利益分配系数分别为 0.35、0.41、0.24,较于初始分配方案,社会资本方的利益分配系数增幅较大,而政府以及引调水 PPP 项目特许经营公司的利益分配系数都有不同程度的降低。实际贡献度高的利益相关者将获得更多的利益分配,符合高投入高回报原则,极大地调动了各利益相关者的主动性。

4 结论

(1) 本文以政府、社会资本方及引调水 PPP 项目特许经营公司为研究对象,在 Shapley 值法的基础上综合考虑资源投入、努力水平、风险分担、贡献程度四个影响因子对利益分配的影响,通过运用模糊综合评判法对影响因子赋权,提出引调水 PPP 项目利益分配新方法,该研究成果对引调水 PPP 项目具有一定的指导意义。

(2) 结果表明:改进的利益分配机制对引调水 PPP 项目总利益不产生影响,只对分配比例产生影响,其政府、社会资本方及引调水 PPP 项目特许经营公司的利益分配系数分别为 0.35、0.41、0.24。较传统 Shapley 值法,社会资本方的利益分配系数增幅较大,而政府以及引调水 PPP 项目特许经营公司的利益分配系数都有不同程度的降低,体现了各利益相关者的个体特征差异和偏好,从而达到提高合作稳定性的目的。与传统解决合作博弈问题的方法相比,该分配模型运算简单合理且具有唯一解。

(3) 影响引调水 PPP 项目利益分配的因素众多,且各利益相关者所得的利益影响因子难以精准度量,因此如何在有限信息条件下不断优化与完善引调水 PPP 项目利益分配方案,这是今后进一步研究的方向。

参考文献(References):

- [1] 曹廷立. 浅谈跨流域调水规划的基本思路与方法[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(6): 102-104. (CAO T L. Basic strategies and methods of inter-basin water transfer planning[J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2011, 9(6): 102-104. (in Chinese)) DOI: 10.3724/SP.J.1201.2011.06102.
- [2] 陈述,汪飞,李娇娇,等. 基于路径熵的长距离输水系统脆弱性研究[J]. 水利水电技术, 2016, 47(9): 23-27. (CHEN S, WANG F, LI J J, et al. Path entropy based study on vulnerability of long-distance water conveyance system[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2016, 47(9): 23-27. (in Chinese)) DOI: 10.13991/j.cnki.wrahe.2016.09.005.
- [3] 宋亚净,刘立华,石兆英等. 长距离调水对沿线及受纳水体水环境的影响[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(3): 98-102. (SONG Y J, LIU L G, SHI Z Y, et al. Environment impact of long distance water transfer on the water conveyance line and receiving water body[J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2012, 10(3): 98-102. (in Chinese)) DOI: 10.3724/SP.J.1201.2012.03098.
- [4] NICOLAS P, CAROLINE T, HÉLÈNE F, et al. Cooperative subcontracting relationship within a project supply chain: A simulation approach[J]. Simulation Modelling Practice & Theory, 2007, 15(2): 137-152. DOI: 10.1016/j.simpat.2006.09.016.
- [5] 叶晓魁,吴书霞,单雪芹. 我国 PPP 项目合作中的利益关系及分配方式研究[J]. 科技进步与对策, 2010, 27(19): 36-39. (YE X S, WU S X, SHAN X Q. Research on the interest relationship and distribution mode of PPP project cooperation in China[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2010, 27(19): 36-39. (in Chinese)) DOI: 10.3639/j.issn.1001-7348.2010.19.010.
- [6] FRANCESCA M. A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships[J]. International Journal of Project Management, 2007, 25(3): 213-218. DOI: 10.1016/j.ijproman.2006.06.003.
- [7] YUKI K, NOBUO M. Vertical integration with endogenous contract leadership: Stability and fair profit allocation[J]. European Journal of Operational Research, 2014, 238(1): 221-232. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.03.022.
- [8] 张巍,任远谋. 公租房 PPP 项目收益分配研究[J]. 工程管理学报, 2015, 29(6): 59-63. (ZHANG W, REN Y M. Study of the income distribution on public rental housing PPP projects[J]. Journal of Engineering Management, 2015, 29(6): 59-63. (in Chinese)) DOI: 10.13991/j.cnki.jem.2015.06.012.
- [9] 李军,朱先奇,姚西龙,等. 供应链企业协同创新利益分配策略——基于夏普利值法改进模型[J]. 技术经济, 2016, 35(9): 122-126. (LI J, ZHU X Q, YAO X L, et al. Profit distribution strategy for collaborative innovation of enterprises in supply chain: based on improved shapley value model[J]. Technology Economics, 2016, 35(9): 122-126. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1002-980X.2016.09.017.
- [10] 时茜茜,朱建波,盛昭瀚. 重大工程供应链协同合作利益分配研究[J]. 中国管理科学, 2017, 25(5): 43-51. (SHI Q Q, ZHU J B, SHENG Z H. Study on profit distribution of collaboration in mega project supply chain[J]. Chinese Journal of Management Science, 2017, 25(5): 43-51. (in Chinese)) DOI: 10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2017.05.006.
- [11] 凌阳明月,凌阳明星,赵帆. 基于 EPC 模式的节能改造项目利益分配[J]. 土木工程与管理学报, 2016, 33(6): 115-120. (LINGYANG M Y, LINGYANG M X, ZHAO F. Benefit allocation in energy saving reconstruction project based on EPC model[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2016, 33(6): 115-120. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.2095-0985.2016.06.021.

- [12] HARRISON F, El M C. Exploring the effects of working for endowments on behaviour in standard economic games[J]. Plos One, 2011, 6(11): e27623. DOI: 10.1371/journal.pone.0027623.
- [13] 张瑜, 管利荣, 刘思峰, 等. 基于优化 Shapley 值的产学研网络型合作利益协调机制研究——以产业技术创新战略联盟为例[J]. 中国管理科学, 2016, 24(9): 36-44. (ZHANG Y, JIAN L R, LIU S F, et al. Interests coordination mechanism of university-industry network cooperation based on optimized Shapley value A case study in industrial technology innovation strategy alliance[J]. Chinese Journal of Management Science, 2016, 24(9): 36-44. (in Chinese)) DOI: 10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2016.09.005.
- [14] 胡文发, 朱言, 何新华. 工程项目承包商多层次利益分配与激励机制[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2014, 42(9): 1437-1443. (HU W F, ZHU Y, HE X H. Multi layer profit distribution and stimulation model among contractors in construction project [J]. Journal of Tongji University (Nature Science), 2014, 42(9): 1437-1443. (in Chinese)) DOI: 10.3639/j.issn.0253-374x.2014.09.022.
- [15] 马亚男. 大学-企业基于知识共享的合作创新激励机制设计研究[J]. 管理工程学报, 2008, 22(4): 36-39. (MA Y N. The optimal incentive contract for university industry cooperative innovation based on knowledge sharing[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2008, 22(4): 36-39. (in Chinese)) DOI: 10.13587/j.cnki.jieem.2008.04.017.
- [16] 刘松, 宋加升, 高长元. 基于虚拟供应链的可拓利益分配方法研究[J]. 管理科学, 2005, 18(2): 14-20. (LIU S, SONG J S, GAO C Y. Research on the method of profit allocation based on virtual supply chain[J]. Management Sciences in China, 2005, 18(2): 14-20. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1672-0334.2005.02.003.
- [17] 陈鹏, 严新平, 李旭宏, 等. 基于可拓学的轨道交通与常规公交换乘收益分配[J]. 上海交通大学学报, 2010, 44(6): 797-802. (CHEN P, YAN X P, LI X H, et al. Transfer income distribution between rail transit and bus transit based on extenics[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2010, 44(6): 797-802. (in Chinese))
- [18] 苗治平, 李翠. 基于模糊博弈的合作联盟最优利益分配模型[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(3): 670-679. (MIAO Z P, LI C. Optimal benefit allocation model of cooperative alliance based on fuzzy game theory[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 23(3): 670-679. (in Chinese)) DOI: 10.1319-6/j.cims.2017.03.024.
- [19] 李翠, 薛昱. 基于谈判集的模糊合作博弈的收益分配方案[J]. 控制与决策, 2014(11): 2101-2107. (LI C, XU E Y. Scheme of profit allocation based on fuzzy cooperative game in bargaining set [J]. Control and Decision, 2014(11): 2101-2107. (in Chinese)) DOI: 10.13195/j.kz.yj.c.2013.0793.
- [20] 卜祥智, 赵泉午, 黄庆, 等. 考虑空箱调运的集装箱海运收益管理能力分配优化模型[J]. 中国管理科学, 2005, 13(1): 71-75. (BU X Z, ZHAO Q W, HUANG Q. Optimal capacity allocation model of ocean shipping container revenue management considering empty container transportation[J]. Chinese Journal of Management Science, 2005, 13(1): 71-75. (in Chinese)) DOI: 10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2005.01.013.
- [21] 冯蔚东, 陈剑. 虚拟企业中伙伴收益分配比例的确定[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(4): 45-49. (FENG W D, CHEN J. Study on the proportion making for profit/risk allocation within virtual enterprises[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2002(4): 45. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:1000-6788.2002.04.008.
- [22] 陈伟, 张永超, 马一博, 等. 基于 AHP-GEM-Shapley 值法的低碳技术创新联盟利益分配研究[J]. 运筹与管理, 2012, 21(4): 220-226. (CHEN W, ZHANG Y C, MA Y B. Research on profit allocation in low carbon technology innovation alliance value based on AHP-GEM-Shapley [J]. Operations Research and Management Science, 2012, 21(4): 220-226. (in Chinese)) DOI: 10.3639/j.issn.1007-3221.2012.04.031.
- [23] SHAPLEY L S. A Value for n person Games. Annals of Mathematics, 1953, 28(1953): 307-317. DOI: 10.1017/CBO9780511528446.003.
- [24] 胡丽, 张卫国, 叶晓甦. 基于 SHAPLEY 修正的 PPP 项目利益分配模型研究[J]. 管理工程学报, 2011, 25(2): 149-154. (HU L, ZHANG W G, YE X S. Profit allocation of PPP model based on the revised SHAPLEY [J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2011, 25(2): 149-154. (in Chinese)) DOI: 10.3639/j.issn.1004-6062.2011.02.022.
- [25] 刁丽琳, 朱桂龙, 许治. 基于多权重 Shapley 值的联盟利益分配机制[J]. 工业工程与管理, 2011, 16(4): 79-84. (DIAO L L, ZHU G L, XU Z. The profit allocation of alliance based on the multi-weighted Shapley value [J]. Industrial Engineering and Management, 2011, 16(4): 79-84. (in Chinese)) DOI: 10.3639/j.issn.1007-5429.2011.04.013.
- [26] 何天翔, 张云宁, 施陆燕, 等. 基于利益相关者满意的 PPP 项目利益相关者分配研究[J]. 土木工程与管理学报, 2015(3): 66-71. (HE T X, ZHANG Y N, SHI L Y. Allocation research of stakeholders based on stakeholder satisfaction with the PPP project benefits [J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2015(3): 66-71. (in Chinese)) DOI: 10.13579/j.cnki.2095-0985.2015.03.012.
- [27] 陈菁, 代小平, 陈祥等. 基于改进的 Shapley 值法的农业节水补偿额测算方法[J]. 水利学报, 2011, 42(6): 750-756. (CHEN J, DAI X P, CHEN X, et al. Calculation of compensation amount for agricultural water saving based on improved Shapley method [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2011, 42(6): 750-756. (in Chinese)) DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.2011.06.012.