

基于效用理论的水利工程 PPP 项目风险分担研究

吴海燕^{a,b,c}, 黄德春^{a,b,c}

(河海大学 a. 商学院; b. 江苏省“世界水谷”与水生生态文明协同创新中心; c. 产业经济研究所, 南京 211100)

摘要: PPP 模式在水利工程中的运用越来越广泛,但由于水利工程 PPP 项目具有投资大、周期长、工序繁多等特点,使得项目参与方面存在众多风险。为确定水利工程 PPP 项目各参与方的合理风险分担比例以实现最大效用,论文针对水利工程 PPP 项目特点,以效用理论为手段,以公共部门、私营机构和金融机构为风险分担主体,建立水利工程 PPP 项目风险最优分担模型并对其求解。结果表明:确立合理风险分担比例的基础是明确项目参与方在谈判中的地位,而最小风险成本的确立则是由项目参与方对风险的期望成本所决定。最后结合南水北调工程,证明效用理论在水利工程 PPP 项目中的运用及此风险分担方法的可行性。

关键词: 水利工程 PPP 项目; 效用理论; 风险分担

中图分类号: F284

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)02-0152-06

Study on risk allocation of water conservancy PPP project based on utility theory

WU Haiyan^{a,b,c}, HUANG Dechun^{a,b,c}

(a. Business School of Hohai University; b. Jiangsu Provincial Collaborative Innovation Center of World Water Valley and Water Ecological Civilization; c. Institute of Industrial Economics, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: The PPP model has been widely used in water conservancy project. Because the water conservancy PPP project has many features with vast investment, long life cycle, various processes and so on, the participants have been faced up with many risks. To figure out the optimal risk allocation proportion to achieve maximum utility, the paper based on the characteristics of Water conservancy PPP project and used utility theory as method, makes public, private and financial institutions as risk-sharing bodies to establish the optimal risk-sharing model of Water conservancy PPP project and got its solution. Result showed that the basis of establishing reasonable risk allocation proportion is to definite the status of participants in the negotiation. The establishment of minimum risk cost is depend on the expectancy cost. At last, the applicability and of utility theory in water conservancy PPP project and the feasibility of risk allocation have been verified through the south-to-south water diversion project.

Key words: water conservancy PPP project; utility theory; risk-sharing

1 研究背景

水利是国民经济和社会发展的基础设施,2011 年中央 1 号文件的出台开启了水利事业发展的新征程,自此我国水利基础设施的建设步伐逐渐加快,投资需求也不断扩大^[1],形成了巨大的投资缺口,拓宽融资渠道迫在眉睫。自党的十八届三中

全会提出“允许社会资本通过特许经营等方式参与城市基础设施建设和运营”以来,PPP 模式越来越多地被运用于水利工程中。截至 2015 年 5 月,发改委发布确定了 12 个首批水利项目 PPP 试点。但由于水利工程 PPP 项目具有投资大、周期长、工序繁多、易受外界因素和不可抗力影响等特点,使得参与方面有很多风险,因此探索合理的水利工程 PPP

收稿日期:2015-12-01; 修回日期:2016-01-15

基金项目:国家自然科学基金项目(71573072); 国家社科基金重大项目(11ZD168); 国家外国专家局高端外国专家项目(GDW20153200137); 长江学者和创新团队发展计划(IRT13062)

作者简介:吴海燕(1992-),女,江苏如东人,硕士研究生,主要研究方向为工程经济。

通讯作者:黄德春(1966-),男,江苏海安人,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为项目投资与风险管理。

项目风险分担方案具有重要意义。

目前有关 PPP 项目的风险分担研究方法层出不穷,王雪青等^[2]、李林等^[3]、何涛等^[4]、Hurst 等^[5]通过博弈论法构造出最优风险分担方案;柯永建等^[6]、Ernest 等^[7]、杨飞雪等^[8]通过案例分析法明确了风险产生的原因并提出了合理的风险分担机制;陈通等^[9]、邓小鹏等^[10]、Ahwireng - Obeng F 等^[11]通过统计分析法归纳出 PPP 项目的关键风险因素,对 PPP 项目的风险控制具有重要意义。

现阶段效用理论越来越多地运用到项目风险分担中,查京民等^[12]利用效用理论,建立了 BT 项目的风险最优分担模型;廖志达等^[13]基于效用理论构建讨价还价模型,制定出合理的土地价格;郑晓云等^[14]基于效用理论建立了公路建设项目的效用指标体系,并通过案例证实其可行性。

笔者将以水利工程 PPP 项目为出发点,以效用理论为手段,以公共部门、私营机构和金融机构为风险分担主体,建立水利工程 PPP 项目风险最优分担模型,为水利工程 PPP 项目风险的合理分配提供有效可行的方法。

2 水利工程 PPP 项目特征分析

2.1 施工要求高

水利工程 PPP 项目对水工建筑物的稳定、承压、防渗、抗冲、抗冻、抗裂等性能具有特殊要求;对施工处地基要求较为严格;有些工程需采取温度控制措施;需根据水流的自然条件及工程建设的要求施工导流、截流及水下作业等。这使得水利工程 PPP 项目面临着巨大的施工质量风险和安全风险。

2.2 专业性强

水利工程作业具有较强的专业性,比如要求复式断面、预应力锚索加固机理、地质力学模型实验和旱碱涝综合治理等专业性人才加入,专业对口至关重要,不然将面临技术风险和施工质量风险等。

2.3 风险发生频率高

市场价格变幻莫测,但是大部分发包人签订固定总价合同,而且在合同中都有“遇政策和文件不再调整”的条款,再加上水利工程周期长,不确定因素多,这使得利润风险、工程风险、市场预测风险等时常发生。

2.4 公益性强,投资回收期较长

大多数水利工程 PPP 项目为防洪、防涝、水土保持等纯公益性项目或临海高等级道路、垦区内部交通等准公益性项目,这些项目无收费机制、无资金

流入或虽有一定的收费机制和资金流入,但仍然难以收回成本,因此其投资回收期较长,面临着较大的成本超支风险、市场风险等。

2.5 监管难度大,寻租空间大

水利工程涉及范围广,人员流动快,从招投标、投融资、工程监理、业主、项目经理等纵向流程来看,监管战线较长;从材料供应商、日常开销、公共费用等横向流程来看,项目众多,监管难度较大。因此,在利益的趋势下,寻租现象频繁。

水利工程 PPP 项目的这些特点使其面临一系列风险,笔者从项目全过程角度出发,将水利工程 PPP 项目风险按可行性研究阶段、建设阶段、运营阶段和移交阶段划分,具体如图 1 所示。

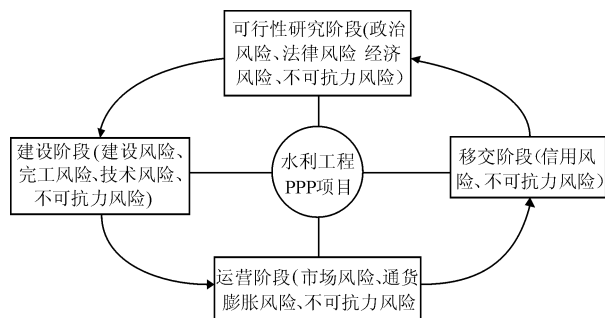


图1 全生命周期下水利工程 PPP 项目风险类别

其中不可抗力风险贯穿水利工程 PPP 项目全过程,建设风险包括施工质量风险、成本超支风险和安全风险,经济风险包括资本风险、汇率风险、利率风险,市场风险包括价格风险、需求风险、项目唯一风险、市场竞争风险和市场预测风险。

3 风险分担主体的界定与分担原则

3.1 风险分担主体的界定

水利工程 PPP 项目从发起至建设到最后运营经历多个阶段,涉及诸多参与方,包括政府机构、项目投资者、项目公司、银行等金融机构、运营商、供应商、建筑承包商和用户等^[15],它们之间的关系如图 2 所示。

基于大量文献的阅读与总结,笔者把政府、项目投资者和金融机构作为水利工程 PPP 项目风险分担的主体。其中政府是水利工程 PPP 项目的主要发起人,是项目的控制主体;项目投资者是项目的投资主体,和代表政府的股份投资机构合作成立 PPP 特殊目的公司(SPC);金融机构为水利工程 PPP 项目提供资金支持和信用担保,在整个项目的建设过程中有着非常重要的作用。

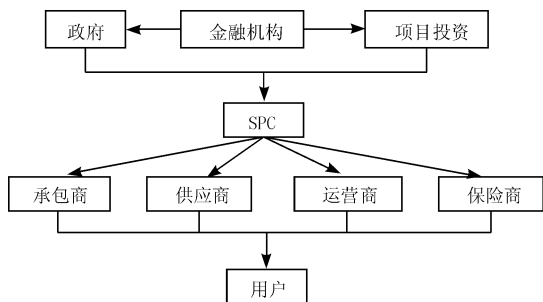


图2 水利工程PPP项目主体之间关系

3.2 水利工程PPP项目风险分担原则

合理的风险分配需遵循相应的原则,这些原则应能使风险承担者有效控制风险,同时能够减少风险发生的概率、发生后造成的损失和风险管理的成本^[16],以 Clifton 等 (2006)^[17] 的模型最为典型。Medda^[18] (2007) 分析了公私双方在 PPP 模式下对于风险分担的争论,认为预期报酬的多少在很大程度上决定了承担风险的意愿。柯永建 (2008) 等以英法海峡隧道的争议为例,分析了基础设施 PPP 项目的风险特点,并提出风险应由对该风险最有控制力的一方承担。Mohamed 等^[19] 论证了基于平衡的风险分摊原则在解决 PPP 项目风险分摊问题上的有效性,并提出了实施该原则的建议。

目前在学术界 PPP 项目风险分担原则已形成共识:由对风险最有控制力的一方承担该风险。根据这一原则,水利工程 PPP 项目大部分风险能够得到合理分配,但仍存在一些各方均不可控制的风险,如不可抗力风险,分配该风险时应综合考虑风险发生的概率、政府自留风险时的成本等方面,因此在进行风险分配时也要考虑“风险分担与收益相匹配”这一原则。此外,在项目实施过程中,可能会遇到风险远远超乎预料的情况,此时不能让某一方单独承担近乎无限大的风险,所以应该遵循“风险承担要有上限”原则。

综上所述,水利工程 PPP 项目风险分担主要遵循以下 3 条原则:(1) 由对风险最有控制力的一方承担该风险;(2) 风险分担与收益相匹配;(3) 风险承担要有上限。

4 基于效用理论的水利工程 PPP 项目风险分担模型的建立

笔者在本文所考虑的水利工程 PPP 项目风险分担主体为项目投资者、政府和金融机构 3 方,其中政府对规章制度、政策、法律等有较强的影响力,因此政治风险、法律风险应由政府承担;项目投资者则

对项目的建设和运营等更有控制力;而金融机构根据其控制能力更多地承担成本超支风险、通货膨胀风险、利率风险等。但对于不可抗力风险、剩余风险、市场风险等无法确定应由某方承担的风险,应以保证成本最低为目标,3 方共担风险,确定合理的风险分配比例。具体风险分担过程如图 3 所示。

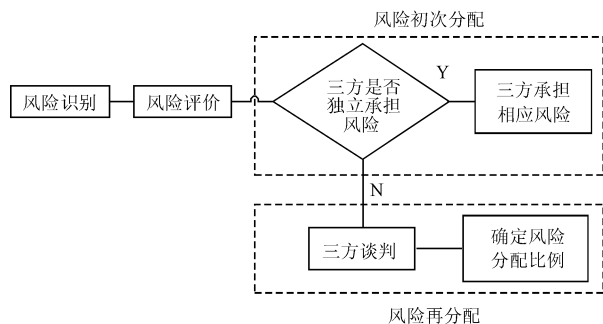


图3 水利工程PPP项目风险分担过程

水利工程 PPP 项目参与方效用函数可以表示为收益 V 和成本 C 的函数 $U = U(V, C)$, 则风险分担的成本优化模型可表示为:

$$\max [U_1(V_1, C_1) + U_2(V_2, C_2) + U_3(V_3, C_3)] \quad (1)$$

$$\min C_r(C_1, C_2, C_3) \quad (2)$$

式中: $U_{1-3}, V_{1-3}, C_{1-3}$ 分别为项目投资者、政府、金融机构的效用函数、承担风险的收益、承担风险的成本。

假设预期的风险总成本为 C_e , k_1, k_2 分别为水利工程 PPP 项目项目投资者、政府承担风险比例, $0 \leq k_{1,2} \leq 1$, 则此项目金融机构承担风险比例为 $1 - k_1 - k_2$; 实际风险总成本为 C_r , 则:

$$C_e = C_{e1} + C_{e2} + C_{e3} \quad (3)$$

$$C_r = C_{r1} + C_{r2} + C_{r3} \quad (4)$$

$$\begin{cases} C_{e1} = k_1 \cdot C_e \\ C_{r1} = k_1 \cdot C_r \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} C_{e2} = k_2 \cdot C_e \\ C_{r2} = k_2 \cdot C_r \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} C_{e3} = (1 - k_1 - k_2) \cdot C_e \\ C_{r3} = (1 - k_1 - k_2) \cdot C_r \end{cases} \quad (7)$$

式中: C_{e1}, C_{r1} 分别为此项目投资者承担的预期风险成本和实际风险成本;

C_{e2}, C_{r2} 分别为此项目政府承担的预期风险成本和实际风险成本;

C_{e3}, C_{r3} 分别为此项目金融机构承担的预期风险成本和实际风险成本;

实际风险成本是风险控制有效性函数和所分担的预期风险成本的函数, 表示为:

$$C_{r1} = F(k_1, C_{e1}) \quad (8)$$

$$C_{r2} = G(k_2, C_{e2}) \quad (9)$$

$$C_{r3} = H(1 - k_1 - k_2, C_{e3}) \quad (10)$$

式中: F, G, H 分别为此项目投资者、政府、金融机构对风险控制的有效性函数。

水利工程 PPP 项目投资者、政府、金融机构因对风险有效控制而获得的溢出收益分别为:

$$V_1 = C_{e1} - C_{r1} = k_1(C_e - C_r) \quad (11)$$

$$V_2 = C_{e2} - C_{r2} = k_2(C_e - C_r) \quad (12)$$

$$V_3 = C_{e3} - C_{r3} = (1 - k_1 - k_2)(C_e - C_r) \quad (13)$$

进一步,式(1),(2) 可以表示为:

$$\begin{aligned} & \max [U_1(k_1(C_e - C_r), k_1 \cdot C_r) + \\ & U_2(k_2(C_e - C_r), k_2 \cdot C_r) + \\ & U_3(1 - k_1 - k_2) \cdot (C_e - C_r), (1 - k_1 - k_2) \cdot C_r)] \end{aligned} \quad (14)$$

$$\min C_r \quad (15)$$

在谈判过程中三方地位并不平等,政府明显处于强势地位,三方未必能达到自身效用函数的最大化,所以构建一个综合的效用目标函数。由于在水利工程

PPP 项目的主层次风险分配中,有项目投资者、政府和金融机构三个主体,因此构建和式目标函数为:

$$\begin{aligned} f(U_1, U_2, U_3) = & \alpha_1 \cdot (U_1 - U_{1,0}) + \alpha_2 \cdot \\ & (U_2 - U_{2,0}) + \alpha_3 \cdot (U_3 - U_{3,0}) \end{aligned} \quad (16)$$

式中: $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 分别为此项目三方在谈判中的权重系数,且 $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$,一般情况下,权重系数 α 与承担的风险比例 k 呈反比关系;

$U_{1,0}, U_{2,0}, U_{3,0}$ 分别为此项目三方在无风险因素影响下的初始效用值;

$U_1 - U_{1,0}, U_2 - U_{2,0}, U_3 - U_{3,0}$ 分别为此项目三方由于承担风险而获得的溢出效用,由于承担风险的三方目标是获得总效益最大,因各方的溢出效用均为正值,必然有 $U_1 - U_{1,0} > 0, U_2 - U_{2,0} > 0, U_3 - U_{3,0} > 0$ 。

在多种不同风险因素的影响下,风险总成本难以确定,设最小风险成本是水利工程 PPP 项目投资者、政府、金融机构对风险的共同期望成本 EC ,即:

$$C_r = \overline{EC} \quad (17)$$

则风险分担的优化模型为:

$$\begin{aligned} \max f(U_1, U_2, U_3) = & \max \{ \alpha_1 \cdot [U_1(k_1 \cdot (C_e - C_r), k_1 \cdot C_r) - U_{1,0}] + \alpha_2 \cdot [U_2(k_2 \cdot \\ & (C_e - C_r), k_2 \cdot C_r) - U_{2,0}] + \alpha_3 \cdot [U_3(1 - k_1 - k_2) \cdot (C_e - C_r), (1 - k_1 - k_2) \cdot C_r) - U_{3,0}] \} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\text{s. t.} \quad C_r = \overline{EC} \quad (19)$$

对 $f(U_1, U_2, U_3)$ 中 k_1, k_2 求偏导,其中 C_e 为常数,根据具体项目而定, C_r 为关于 k_1, k_2 的函数,则有:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial k_1} = & \alpha_1 [(C_e - C_r) \cdot \frac{\partial U_1}{\partial V_1} - k_1 \frac{\partial U_1}{\partial V_1} \frac{\partial C_r}{\partial k_1} + C_r \frac{\partial U_1}{\partial C_1} + k_1 \frac{\partial U_1}{\partial C_1} \frac{\partial C_r}{\partial k_1}] + \alpha_3 [-(C_e - C_r) \cdot \frac{\partial U_3}{\partial V_3} - \\ & (1 - k_1 - k_2) \frac{\partial U_3}{\partial V_3} \frac{\partial C_r}{\partial k_1} - C_r \frac{\partial U_3}{\partial C_3} + (1 - k_1 - k_2) \frac{\partial U_3}{\partial C_3} \frac{\partial C_r}{\partial k_1}] = 0 \end{aligned} \quad (20)$$

同理可求,得 $\frac{\partial f}{\partial k_2}$ 。

从而可以求得最佳承担风险成本比例 K_1, K_2 , 其为关于 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 的函数。

运用拉格朗日法对式(18)、(19) 求最优解。令 $K_1 = \mu_1(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3), K_2 = \mu_2(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$, 则:

$$\begin{aligned} L = & f(U_1, U_2, U_3) + \lambda \cdot (\overline{EC} - C_r) = \alpha_1 \cdot [U_1(K_1 \cdot (C_e - C_r), K_1 \cdot C_r) - U_{1,0}] + \alpha_2 \cdot [U_2(K_2 \cdot (C_e - C_r), \\ & K_2 \cdot C_r) - U_{2,0}] + (1 - \alpha_1 - \alpha_2) \cdot [U_3 \cdot ((1 - K_1 - K_2)(C_e - C_r), (1 - K_1 - K_2) \cdot C_r) - U_{3,0}] + \\ & \lambda \cdot (\overline{EC} - C_r) \end{aligned} \quad (21)$$

$$\text{令} \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0, \frac{\partial L}{\partial \alpha_1} = 0, \frac{\partial L}{\partial \alpha_2} = 0$$

$$\text{得} \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda} = \overline{EC} - C_r = 0 \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \alpha_1} = & [U_1(K_1(C_e - C_r), K_1 C_r) - U_{1,0}] + \alpha_1 [(C_e - C_r) \frac{\partial U_1}{\partial V_1} \frac{\partial \mu_1}{\partial \alpha_1} + C_r \frac{\partial U_1}{\partial C_1} \frac{\partial \mu_1}{\partial \alpha_1}] + \alpha_2 [(C_e - C_r) \frac{\partial U_2}{\partial V_2} \frac{\partial \mu_2}{\partial \alpha_1} + \\ & C_r \frac{\partial U_2}{\partial C_2} \frac{\partial \mu_2}{\partial \alpha_1}] + [U_{3,0} - U_3((1 - K_1 - K_2)(C_e - C_r), (1 - K_1 - K_2) C_r)] + (1 - \alpha_1 - \alpha_2) [-(C_e - C_r) \cdot \\ & (\frac{\partial U_1}{\partial \alpha_1} + \frac{\partial U_2}{\partial \alpha_1}) \frac{\partial U_3}{\partial V_3} - C_r (\frac{\partial U_1}{\partial \alpha_1} + \frac{\partial U_2}{\partial \alpha_1}) \frac{\partial U_3}{\partial C_3}] = 0 \end{aligned} \quad (23)$$

同理可得:

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha_2} = 0 \quad (24)$$

由式(22)可求得 C_r , 代入公式(23)、(24) 得到 α_1 、 α_2 , 易知 K_1 、 K_2 是与水利工程 PPP 项目在谈判中的地位紧密相连, 如果 K_1 、 K_2 得到确定, 则谈判方向也会随之而定。通过该模型确定水利工程 PPP 项目三方之间承担的风险比例的同时, 也保证了风险分担成本最低化, 有效调动各方合作的积极性, 实现了风险分担的目标。

5 案例分析

南水北调工程是缓解我国北方水资源严重短缺的重大战略性水利工程基础设施项目, 通过东线、中线和西线三条调水线路与长江、黄河、淮河和海河四大江河的联系, 形成以“四横三纵”为主体的水网布局。2008 年 10 月 21 日, 国务院批准南水北调东线和中线一期工程总投资 2 320 亿元, 其中东线一期工程 497 亿元, 中线一期工程 1 823 亿元, 资金主要来源包括中央预算、国家重大水利工程建设基金、中央增加投资和地方自筹、南水北调基金、银行贷款等。但至 2007 年 11 月, 商业银行贷款利率达到十多年以来的高峰, 为 7.83%, 成为南水北调融资的一大障碍。在财政部的推动下, 2009 年 9 月南水北调债权投资计划在太平资产管理公司得以立项, 使得南水北调工程成为典型的 PPP 融资模式, 2010 年 6 月, 太平资产与国务院南水北调办签署《南水北调工程过渡性资金融资合同》, 一共进行了三期, 提供的资金总额为 550 亿元^[20]。

该工程对于不可抗力风险、剩余风险、市场风险等应由太平资产、国务院南水北调办和银行等金融机构共同承担。其中, 假设太平资产、国务院南水北调办和银行等金融机构设定的预期成本分别为 400 亿元、300 亿元和 200 亿元, 由于三方在谈判中的地位不平等, 政府处于较强势地位, 所以假设三方谈判的权重系数分别为 0.3、0.5 和 0.2, 三方风险效用函数分别为:

$$U_1 = U_1(V_1, C_1) = \frac{1}{720}C_1^2 + V_1 + 1 \quad (25)$$

$$U_2 = U_2(V_2, C_2) = \frac{1}{150}C_2^2 + V_2 + 1 \quad (26)$$

$$U_3 = U_3(V_3, C_3) = \frac{1}{340}C_3^2 + V_3 + 1 \quad (27)$$

该工程的实际成本为 C 亿元 ($C \geq 0$), 三方在风险为 0 时的初始效用值分别为: $U_{1,0} = 1$, $U_{2,0} = 1$,

$$U_{3,0} = 1。$$

由式(22)可得: $C_r = 300$ 亿元, 并将 $\alpha_1 = 0.3$ 、 $\alpha_2 = 0.5$ 、 $\alpha_3 = 0.2$ 代入式(18) 并整理得:

$$\begin{aligned} \max f(U_1, U_2, U_3) \\ &= \max F(K_1, K_2) \\ &= -37.5K_1^2 + 180K_1 - 300K_2^2 + 300K_2 - \\ &\quad \frac{1800}{34}(1 - K_1 - K_2)^2 + 120(1 - K_1 - K_2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{令 } \frac{\partial F}{\partial K_1} = 0, \frac{\partial F}{\partial K_2} = 0, \text{ 得 } K_1 = 0.5166, K_2 = \\ 0.2932, K_3 = 0.1092。 \end{aligned}$$

此时, 太平资产、国务院南水北调办、银行等金融机构的效用之和达到最大。即太平资产所分担的风险比例最大、国务院南水北调办其次、银行等金融机构最小时, 实现效用最大化。

6 结 论

论文考虑了水利工程 PPP 项目中 3 个风险分担主体, 即政府、项目投资者和金融机构, 在满足风险承担主体效用总和最大的前提下, 基于效用理论, 构造出最优风险分配比例模型, 以实现风险的合理分配。通过模型求解可以得出: 确立合理风险分担比例的基础是明确项目参与方在谈判中的地位, 而最小风险成本的确立则是由项目参与方对风险的期望成本所决定。最后结合南水北调工程, 证明效用理论在水利工程 PPP 项目中的运用及此风险分担方法的可行性。研究表明该模型能够综合考虑水利工程 PPP 项目中政府、项目投资者和金融机构 3 方风险分担情况, 有利于增加风险承担者对风险分担的满意度, 减少风险管理成本, 保证效用最大化, 为决策者提供参考与借鉴。此外, 可将该效用理论模型进一步推广运用到其他基础设施 PPP 项目, 如城市轨道交通、地铁建设、污水处理等领域, 在保证效用最大化的前提下, 实现风险的最优分配。

参考文献:

- [1] 李 洁. 深化水利投融资体制改革对策探讨[J]. 中国水利, 2012(16): 55-58.
- [2] 王雪青, 喻刚, 邢兴国. PPP 项目融资模式风险分担研究[J]. 软科学, 2007, 21(6): 39-42.
- [3] 李 林, 刘志华, 章昆昌. 参与方地位非对称条件下 PPP 项目风险分配的博弈模型[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(8): 1940-1948.
- [4] 何 涛, 赵国杰. 基于随机合作博弈模型的 PPP 项目风险分担[J]. 系统工程, 2011, 29(4): 88-92.

- [5] Hurst C, Reeves E. An economic analysis of Ireland's first public private partnership[J]. The International Journal of Public Sector Management, 2004, 17(5): 379 - 388.
- [6] 柯永建, 王守清, 陈炳泉. 英法海峡隧道的失败对 PPP 项目风险分担的启示[J]. 土木工程学报, 2008, 41(12): 97 - 102.
- [7] Ernest E A, Albert P C C. Identifying public private Partnership(PPP) risks in managing water supply projects in Ghana[J]. Journal of Facilities Management, 2013, 11(2): 152 - 182.
- [8] 杨飞雪, 黄丹林. 城市轨道交通 PPP 项目风险分担机制研究[J]. 综合运输, 2014(7): 50 - 56.
- [9] 陈通, 杜泽超, 姚德利. 基于 PPP 视角的公共项目风险因素重要性调查分析[J]. 山东社会科学, 2011(11): 127 - 130.
- [10] 邓小鹏, 李启明, 熊伟, 等. 城市基础设施建设 PPP 项目的关键风险研究[J]. 现代管理科学, 2009(12): 55 - 56 + 59.
- [11] Ahwireng - Obeng F, Mokgohlwa J P. Entrepreneurial risk allocation in public private infrastructure provision in South Africa[J]. South African Journal of Business Management, 2002, 33(4): 29 - 39.
- [12] 查京民, 林金明, 姜敬波. 基于效用理论的建设——移交项目风险分担研究[J]. 城市轨道交通研究, 2012, 15(10): 28 - 31.
- [13] 廖志达, 张智慧. 基于效用理论的土地征收价格模型[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2008, 48(6): 936 - 939.
- [14] 郑晓云, 杨晓冬, 杨晓庄, 等. 基于效用理论的公路建设项目综合评价研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2007, 23(1): 120 - 123.
- [15] 穆蔚鹏. PPP 项目融资风险分担机制研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
- [16] 刘新平, 王守清. 试论 PPP 项目的风险分配原则和框架[J]. 建筑经济, 2006(2): 59 - 63.
- [17] Clifton C, Duffield C F. Improved PFI/PPP service outcomes through the integration of Alliance principles[J]. International Journal of Project Management, 2006, 24(7): 573 - 586.
- [18] Medda F. 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.
- [19] Mohamed Chohra, Mu Shiyu, Cheng Hu. Risks and new transformation of PPP contracts[J]. Journal of Southeast University, 2011, 27(4): 458 - 462.
- [20] 苏峻. 南水北调投资 PPP 模式值得推广[N]. 中国证券报, 2014 - 12 - 15(4).

(上接第 151 页)

- [4] 钱蛟龙, 雷泽勇, 邓健, 等. 不同搅拌转速的沉淀搅拌槽三维流场数值模拟[J]. 南华大学学报(自然科学版), 2015, 29(1): 71 - 74 + 83.
- [5] 钱蛟龙, 雷泽勇. 沉淀搅拌槽三维流场数值模拟[J]. 机械工程师, 2015(3): 30 - 32.
- [6] 赵小英, 杜飞龙, 向贤礼. 基于 Fluent 的搅拌槽内多相流数值仿真及研究[J]. 制造业自动化, 2015, 37(7): 109 - 112.
- [7] 姜昊罡, 郝慧娣, 李忙刚, 等. 搅拌槽内桨叶安装高度的数值模拟[J]. 广东化工, 2015, 42(7): 153 - 154.
- [8] 刘玉玲, 赵小军, 魏文礼. 搅拌槽内气液流动大涡数值模拟研究[J]. 应用力学学报, 2014, 31(3): 381 - 386.
- [9] 杨锋苓, 周慎杰, 张翠勋. 无挡板搅拌槽内的自由表面湍流流场研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2015, 47(2): 179 - 183.
- [10] 曹乔乔, 郝慧娣, 王瑾. 旋流式鼓泡塔内部流场特性的实验模拟[J]. 当代化工, 2015(4): 815 - 817.
- [11] Li Wanbo, Geng Xingye, Bao Yuyun, et al. Micro mixing characteristics in a gas - liquid - solid stirred tank with settling particles[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2015, 23(3): 461 - 470.
- [12] 舒安庆, 王敏, 魏化中, 等. 直斜错位桨搅拌槽内流场的探究[J]. 武汉工程大学学报, 2015, 37(1): 44 - 48.
- [13] 周俊波, 刘洋, 等. FLUENT 6.3 流场分析从入门到精通[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [14] 魏文礼, 戴会超. 紊流模型理论及工程应用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2006.
- [15] Shen Y M, Ng CO, Zheng Y H. Simulation of wave propagation over a submerged bar using the VOF method with a two - equation k - ϵ turbulence modeling[J]. Ocean Engineering, 2004, 31(1): 87 - 95.
- [16] Murthy B N, Joshi J B. Assessment of standard k - ϵ , RSM and LES turbulence models in a baffled stirred vessel agitated by various impeller designs[J]. Chemical Engineering Science, 2008, 63(22): 5468 - 5495.