

考虑风险关联的 PPP+EOD 项目风险分担研究

Risk Sharing of PPP+EOD Projects Considering Risk Association

何星彦, 周直

(重庆交通大学 经济管理与学院, 重庆 400074)

摘要:“十四五”规划《纲要》的有关内容,体现了对PPP项目的更高要求,而大力倡导的EOD模式与PPP项目的结合,有助于PPP项目实现高质量发展。文章为解决PPP+EOD项目的风险分担问题,在考虑了风险关联的基础上,刻画了项目风险损失,再立足于演化博弈视角,构建了风险分担演化博弈模型并获得了不同情况下的演化稳定策略。研究表明:在考虑风险关联条件下,会得到与风险直观损失不同的风险损失值,从而影响政府部门与社会资本的策略选择,进而导致同一风险的演化结果有所不同。

关键词: PPP项目; EOD模式; 风险分担; 风险关联; 演化博弈

中图分类号: X22 文献标志码: A 文章编号: 1005-8249(2023)04-0112-11

DOI: 10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2023.04.019

HE Xingyan, ZHOU Zhi

(School of Economics and Management, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: The relevant contents of the Outline of the 14th Five-Year Plan reflect the higher requirements for PPP projects, and the combination of the EOD model and PPP projects is strongly advocated to help PPP projects achieve high-quality development. In order to solve the risk-sharing problem of PPP+EOD projects, the article describes the project risk loss on the basis of risk association, and then constructs a risk-sharing evolutionary game model based on the perspective of evolutionary game and obtains the evolutionary stabilization strategies under different situations. The study shows that under the condition of risk association, different risk loss values are obtained from the risk intuition loss, which affects the strategy choice of government departments and social capital, thus leading to different evolutionary outcomes for the same risk.

Keywords: PPP project; EOD model; risk sharing; risk association; evolutionary game

0 引言

如今,由于我国经济发展理念的转变和经济社会的转型需求,PPP模式的发展有了新的挑战。生态环境导向的开发(Ecology-Oriented

Development, EOD)模式以可持续发展为目标,将生态环境治理带来的经济价值内部化,与PPP模式的高质量发展具有高度的契合性^[1]。PPP+EOD(生态环境导向的开发)的积极推广应用,是PPP模式的创新发展与有效赋能,可以推动我国PPP产业朝着绿色低碳、高质量、可持续发展的方向稳健前行,最终实现生态治理和经济社会的融合发展^[2]。但是,PPP+EOD项目与一般的PPP项目一样,合理的风险分担机制影响项目是否成功。政府部门和社会资本作为项目的参与方,将面临

作者简介:何星彦(1997—),女,硕士研究生,研究方向为项目风险管理。

收稿日期:2022-03-31

的风险进行风险分配的过程是一个博弈过程。因此，利用博弈论分析双方合理的风险分担策略是可行的。

虽然，大家认为国外学者 Medda^[3]开创了运用博弈论研究 PPP 项目中风险分配问题的先河。但其实早在 2005 年，李永强等^[4]早已运用博弈论探索了 PPP 项目的风险分担问题。此后，利用博弈论知识建立 PPP 项目的风险分担机制层出不穷。其中，宿辉等^[5]的参与方地位不对等条件下 PPP 项目风险分担博弈研究，李妍^[6]的基于参与方不同出价顺序开展的不完全信息动态博弈视角下的 PPP 项目风险分担研究，张建军等^[7]为了确定政府部门与私人资本之间最优风险分担比例建立了 PPP 项目在完全信息与不完全信息下的双方博弈模型。博弈模型除了可以分析 PPP 项目风险分担上的问题之外，还可以解决 PPP 项目上的其他问题。例如，方俊等^[8]的静态博弈与动态博弈结合构建博弈模型。为 PPP 项目合同主体进行合理的项目收益分配提供借鉴；马桑^[9]通过讨价还价博弈模型探讨了 PPP 项目再谈判问题；饶海琴等^[10]以政府的角度，为了探索政府的最优策略，使用不完全信息静态博弈模型；李小莉^[11]运用演化博弈模型探析了声誉对公私合作的影响。

首先，从总体来看，很多学者运用博弈理论分析 PPP 项目的风险分担问题。然而，多数学者构建风险分担博弈模型时并未考虑风险之间的相互作用。事实上，风险间存在诱发、相依等关系^[12]，故将风险视为独立个体并不符合实际。其次，在现有文献中，对 PPP+EOD 项目的风险分担研究较少。因此，本文考虑了风险之间的关联作用，在搭建了风险关联空间的基础上，刻画了 PPP+EOD 项目的风险损失，再根据建立的演化博弈模型分析了不同情况下的演化稳定策略，旨在得出合理的风险分担机制，有利于提高 PPP+EOD 项目风险管理决策效率和绩效水平，帮助 PPP+EOD 项目取得成功。

1 风险关联

1.1 综合影响矩阵

1) 根据 EOD 模式下的 PPP 项目特点，识别

风险因素。

风险集合为 $R = \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_m\}$ ， R_i 为第 i 种风险， $i=1, 2, \dots, m$ 。

2) 专家集合为 $E = \{E_1, E_2, E_3, \dots, E_n\}$ ， E_k 为第 k 位专家， $k=1, 2, \dots, n$ 。专家建立对应的风险因素影响矩阵 A_k 。

$$A_k = [a_{ij}^k]_{m \times m}, k = 1, 2, \dots, n$$

式中：

a_{ij}^k 为第 k 位专家针对 R_i 对 R_j 的直接影响程度给出的分值，采用 0~5 打分制，0 表示“无影响”，1 代表“弱影响”，2 代表“较弱影响”，3 代表“中度影响”，4 代表“较强影响”，5 代表“强影响”。

3) 专家权重向量 $W = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$ ， w_k 表示第 k 位专家的权重， $k=1, 2, \dots, n$ ，其中 $0 \leq w_k \leq 1$ ， $\sum w_k = 1$ 。根据专家权重，得到群体关联矩阵 A_G 。

$$A_G = [a_{ij}^G]_{m \times m}, i, j = 1, 2, \dots, m$$

式中：

$$a_{ij}^G = \begin{cases} \sum_{k=1}^n a_{ij}^k w_k, & t_{ij} \leq n/2 \\ 0, & t_{ij} > n/2 \end{cases}, i, j = 1, 2, \dots, m$$

t_{ij} 为专家 E_k 针对 R_i 对 R_j 的直接影响程度给出 0 的专家数目。

4) 将群体关联矩阵规范化得到 B_G 。

$$B_G = [b_{ij}^G]_{m \times m}, i, j = 1, 2, \dots, m$$

式中：

$$b_{ij}^G = \frac{a_{ij}^G}{\max\{a_{ij}^G\}}, i, j = 1, 2, \dots, m$$

5) 依据群体阈值 λ_c 将规范化的群体关联矩阵 B_G 转化为综合影响矩阵 C 。

$$C = [c_{ij}]_{m \times m}, i, j = 1, 2, \dots, m$$

式中：

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, & c_{ij} \geq \lambda_c \\ 0, & c_{ij} < \lambda_c \end{cases}, i, j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$\lambda_c = \sum_{k=1}^m w_k \lambda_k$ ，其中 λ_k 为综合影响程度值，代表专家 E_k 认为专家小组评价风险之间存在关联的界定值，当专家的综合评价小于 λ_k 时，可忽略风险间的关联作用， $0 \leq \lambda_k \leq 1$ 。

1.2 风险影响系数矩阵

1) 提取风险关联矩阵 D 中 R_i 的行向量，为

研究与应用

$BCV \mid R_i$; 提取风险关联矩阵 D 中 R_i 的列向量, 为 $BEV \mid R_i$;

2) $BCV \mid R_i$ 与 $BEV \mid R_i$ 形成对 R_i 的风险影响强度矩阵, 分别为 $CCM \mid R_i$, $ECM \mid R_i$ 。其中 P_{st} 为风险 R_s 与 R_t 相比, 对 R_t 的影响程度, 采用“1~5 打分制”, 数值越小, 影响程度越小, 相反, 数值越大影响程度越大。

3) 根据专家打分后所得的风险影响强度矩阵 $CCM \mid R_i$ 与 $ECM \mid R_i$, 计算矩阵的最大特征值所对应的最大特征向量, 分别为 NEV_i 与 NCV_i 。

4) 每个风险因素 R_i 所对应的 NEV_i , 将其聚合形成矩阵 NEM , 每个风险因素 R_i 所对应的 NCV_i , 将其聚合形成矩阵 NCM 。

5) 最后根据 NEM 与 NCM 得出风险影响系数矩阵 RNM 。

$$RNM = \sqrt{NCM \cdot NEM} = \begin{pmatrix} I_{11} & \cdots & I_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ I_{m1} & \cdots & I_{mm} \end{pmatrix}$$

1.3 风险损失值

1) 风险直观损失值

根据每位专家对风险 R_i 对项目所造成的损失进行度量, 形成每位专家评估的风险损失矩阵并计算出平均风险损失矩阵为

$$D_i^s = (\sum d_1^s/n, \dots, \sum d_m^s/n) = (D_1^s, \dots, D_m^s)$$

2) 考虑风险关联的风险损失值

项目风险损失评估是由专家根据自身经验所得, 而专家在评估时往往将风险看作独立个体, 组合风险所产生的风险严格相加就违背了组合风险定量测度风险定理中相容性风险度量的次可加性^[14]。这就意味着这样的评估风险对项目造成的损失并不准确。实际上风险的损失应包含独立的自身损失 D_1 和考虑风险关联的次生损失 D_2 ^[15]。自身损失指的是由于自身风险原因对项目造成的直接损失, 次生损失是风险因素 R_i 在前缘因素的诱因下给项目造成的损失。也就是说, 如果没有前缘因素的诱因, 这部分损失不会发生。同理, 风险因素 R_i 有被前缘因素影响而产生的次生损失, 则其本身对其他某些因素也有作为前缘因素的存在, 从而使被影响的因素产生次生损失。因此,

根据风险传递效应^[16], 考虑风险关联时, R_i 所造成的风险损失应减去前缘因素对 R_i 的影响, 增加 R_i 作为前缘因素对其他因素带来的影响。为了使模型简化, 我们只考虑风险影响通过最短路径传递的次生损失, 则分担的风险损失值为^[15]

$$D_i^f = D_i^s - \sum_{j=1}^m I_{ji} D_j^s + \sum_{j=1}^m I_{ij} D_j^s$$

在考虑风险关联后, 风险损失更能体现风险因素对项目的影响, 风险分担则更准确, 降低了因风险损失值不准确, 导致演化博弈模型所得双方演化稳定策略不准确而对项目带来的影响。

2 博弈模型

2.1 参数假设

演化博弈模型中政府和社会资本的信息是不对称的, 双方宏观、中观等环境信息不全面, 收益、决策情况不能完全掌握^[17]。在构建之前, 需做出以下假设:

假设一: 博弈局中人包含政府与社会资本两方, 二者均为有限理性群体且追求各自利益最大化。双方具有学习能力, 会根据对方的策略的改变而调整己方策略^[18]。

假设二: 政府和社会资本结合实际情况, 自愿选择是否分担风险 R_i 。策略集有 {分担, 不分担}, {不分担, 分担}, {分担, 分担}, {不分担, 不分担} 四种。

风险分担系数: ϕ_i 。风险分担系数表示, 对于风险 R_i 来说, 政府与社会资本对其进行风险分担, 若政府承担其 ϕ_i 的比例, 社会资本则承担 $1-\phi_i$ 的比例, 此时 $0 \leq \phi_i \leq 1$ 。当双方都选择不承担此风险时 ϕ_i 和 $1-\phi_i$ 为 0。

风险控制收益: D_{ij} 。承担了风险就会获得相应的风险控制收益, 此收益为整体收益, 政府和社会资本会根据风险分担比例而相应地获得自己的风险控制收益。控制风险相当于挽回了风险损失值, 此时所取为风险损失值的绝对值, 故考虑风险关联后的风险损失值的绝对值为风险控制收益。

风险控制成本: $\eta_i^x (\phi_i D_i^f)$, $\eta_i^y ((1-\phi_i) D_i^f)$ 。风险控制成本代表控制风险 R_i 时所需要支付的成本。 $\eta_i^x (\phi_i D_i^f)$ 代表政府控制风险时所支出

研究与应用

成本， $\eta_i^y((1-\phi_i)D_i^f)$ 代表社会资本控制风险时所支出成本。

基础收益： φ_i 。当一方承担风险时，另一方虽不承担风险，但也有可能得到相应的收益。基础收益中，政府的分配系数是 θ_i ，那么，社会资本的分配系数是 $1-\theta_i$ 。

社会声誉收益： $\mu(D_i^s)$ 。PPP+EOD 项目中，若政府承担风险，基于大众对 PPP+EOD 项目的基础理解，会认为政府应该承担风险。反之，若政府没有承担风险，而风险由社会资本独立承担，那么社会资本就会获得相应的社会声誉收益。其中社会声誉占产出的一部分，即 $\mu(D_i^s)$ 。其中 D_i^s 是不考虑风险关联而得到的直观风险损失值的绝对值，因为在社会大众眼中看来，直接的风险损失值更加直观，所以这里社会声誉收益取其中的一部分。

地盘溢价收益： γ_i 。EOD 模式用优良的生态基底，吸引产业、人口的聚集，使区域整体溢价增值^[2]。那么，若项目成功，会在周围土地出让时给政府带来一笔不菲的收入。那么政府就有足够的动力进行风险分担，就会促使形成演化稳定策略。

风险发生概率： Ω_i 。风险会有发生与不发生的情况，则 $0 \leq \Omega_i \leq 1$ 。

社会福利损失： ω_i 。PPP 项目很复杂，结合 EOD 模式虽说会带来很多效益，但也存在失败的可能。当风险发生，且无人承担时，项目失败，那么就会失去项目成功时带来的社会福利。此福利一般包括生态环境发展、城市空间优化、城市经济发展等。

2.2 支付矩阵

结合以上假设和考虑到风险关联的情况，得出政府和社会资本的风险分担演化博弈支付矩阵，见表 1。当出现的风险分担情况为 {分担，分担} 时，政府会得到分担风险所带来的收益和地盘溢价收益，社会资本会得到分担风险带来的收益；当出现的风险分担情况为 {分担，不分担} 时，政府会得到分担风险带来的收益以及地盘溢价带来的收益，同时社会资本的部分基础收益会转移给政府；当出现的风险分担的情况为 {不分担，

分担} 时，政府会得到风险不发生时的基础收益和地盘溢价收益，社会资本会获得到分担风险的收益和声誉收益；当出现的风险分担的情况为 {不分担，不分担} 时，双方都没有承担风险，那么政府会获得额外的地盘溢价收益，但相应的会承担社会福利损失，而对于社会资本来说，则没有任何收益。

表 1 支付矩阵
Table 1 Payoff matrix

政府	社会资本	
	分担 β_i	不分担 $1-\beta_i$
分担 α_i	$\{ \Omega_i[\phi_i D_i^f - \eta_i^x(\phi_i D_i^f)] + \gamma_i, \Omega_i[(1-\phi_i)D_i^f - \eta_i^y(1-k_i)D_i^f] \}$	$\{ \Omega_i[D_i^f - \eta_i^x(D_i^f)] + (1-\Omega_i)\theta_i\varphi_i + \gamma_i, (1-\Omega_i)(1-\theta_i)\varphi_i \}$
不分担 $1-\alpha_i$	$\{ (1-\Omega_i)\varphi_i + \gamma_i, \Omega_i[D_i^f - \eta_i^y(D_i^f)] + \mu(D_i^s) \}$	$\{ (1-\Omega_i)\gamma_i - \Omega_i\omega_i, 0 \}$

3 模型分析

3.1 计算过程

政府分担风险时的期望：

$$E(Y) = \beta_i \{ \Omega_i[\phi_i D_i^f - \eta_i^x(\phi_i D_i^f)] + \gamma_i \} + (1-\beta_i) \{ \Omega_i[D_i^f - \eta_i^x(D_i^f)] + (1-\Omega_i)\theta_i\varphi_i + \gamma_i \}$$

不分担风险时的期望：

$$E(N) = \beta_i[(1-\Omega_i)\varphi_i + \gamma_i] + (1-\beta_i)[(1-\Omega_i)\gamma_i - \Omega_i\omega_i]$$

平均期望：

$$E(A|Z) = \alpha_i E(Y) + (1-\alpha_i) E(N)$$

政府的复制动态方程：

$$\frac{dx}{dt} = \alpha_i(1-\alpha_i) \{ \beta_i[\Omega_i\phi_i D_i^f - \Omega_i\eta_i^x(\phi_i D_i^f) - \Omega_i D_i^f + \Omega_i\eta_i^x(D_i^f) - (1-\Omega_i)(\theta_i + 1)\varphi_i - \Omega_i(\gamma_i + \omega_i)] + \Omega_i[D_i^f - \eta_i^x(D_i^f) - \theta_i\varphi_i + \gamma_i + \omega_i] + \theta_i\varphi_i \}$$

同理，社会资本分担风险时的期望：

$$E(Y) = \alpha_i\Omega_i[(1-\phi_i)D_i^f - \eta_i^y((1-\phi_i)D_i^f)] + (1-\alpha_i) \{ \Omega_i[D_i^f - \eta_i^y(D_i^f)] + \mu(D_i^s) \}$$

不分担风险时的期望：

$$E(N) = \alpha_i[(1-\Omega_i)(1-\theta_i)\varphi_i]$$

研究与应用

平均期望:

$$E(A|S) = \beta_i E(Y) + (1 - \beta_i) E(N)$$

社会资本的复制动态方程:

$$\frac{dy}{dt} = \beta_i(1 - \beta_i) \{ \alpha_i [\Omega_i(1 - \phi_i) D_i^f -$$

$$\Omega_i \eta_i^y((1 - \phi_i) D_i^f) - \Omega_i D_i^f + \Omega_i \eta_i^y(D_i^f) - \mu(D_i^s) - (1 - \Omega_i)(1 - \theta_i) \phi_i] + \Omega_i(D_i^f - \eta_i^y(D_i^f)) + \mu(D_i^s) \}$$

联立复制动态方程:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \alpha_i(1 - \alpha_i) \{ \beta_i [\Omega_i \phi_i D_i^f - \Omega_i \eta_i^x(\phi_i D_i^f) - \Omega_i D_i^f + \Omega_i \eta_i^x(D_i^f) - (1 - \Omega_i)(\theta_i + 1) \phi_i - \Omega_i(\gamma_i + \omega_i)] + \Omega_i [D_i^f - \eta_i^x(D_i^f) - \theta_i \phi_i + \gamma_i + \omega_i] + \theta_i \phi_i \} \\ \frac{dy}{dt} &= \beta_i(1 - \beta_i) \{ \alpha_i [\Omega_i(1 - \phi_i) D_i^f - \Omega_i \eta_i^y((1 - \phi_i) D_i^f) - \Omega_i D_i^f + \Omega_i \eta_i^y(D_i^f) - \mu(D_i^s) - (1 - \Omega_i)(1 - \theta_i) \phi_i] + \Omega_i(D_i^f - \eta_i^y(D_i^f)) + \mu(D_i^s) \} \end{aligned} \right.$$

雅可比矩阵为:

$$J = \left[\begin{aligned} & (1 - 2\alpha_i) \left\{ \beta_i \left[\begin{aligned} & \Omega_i \phi_i D_i^f - \Omega_i \eta_i^x(\phi_i D_i^f) - \Omega_i D_i^f + \Omega_i \eta_i^x(D_i^f) - (1 - \Omega_i)(\theta_i + 1) \phi_i - \Omega_i(\gamma_i + \omega_i) \\ & \Omega_i [D_i^f - \eta_i^x(D_i^f) - \theta_i \phi_i + \gamma_i + \omega_i] + \theta_i \phi_i \end{aligned} \right] + \alpha_i(1 - \alpha_i) \left[\begin{aligned} & \Omega_i \phi_i D_i^f - \Omega_i \eta_i^x(\phi_i D_i^f) - \Omega_i D_i^f + \Omega_i \eta_i^x(D_i^f) - (1 - \Omega_i)(\theta_i + 1) \phi_i - \Omega_i(\gamma_i + \omega_i) \end{aligned} \right] \right\} \\ & \beta_i(1 - \beta_i) \left[\begin{aligned} & \Omega_i(1 - \phi_i) D_i^f - \Omega_i \eta_i^y((1 - \phi_i) D_i^f) - \Omega_i D_i^f + \Omega_i \eta_i^y(D_i^f) - \mu(D_i^s) - (1 - \Omega_i)(1 - \theta_i) \phi_i \end{aligned} \right] + (1 - 2\beta_i) \left\{ \alpha_i \left[\begin{aligned} & \Omega_i(1 - \phi_i) D_i^f - \Omega_i \eta_i^y((1 - \phi_i) D_i^f) - \Omega_i D_i^f + \Omega_i \eta_i^y(D_i^f) - \mu(D_i^s) - (1 - \Omega_i)(1 - \theta_i) \phi_i \\ & \Omega_i(D_i^f - \eta_i^y(D_i^f)) + \mu(D_i^s) \end{aligned} \right] + \right\} \end{aligned} \right]$$

行列式的值为:

$$\det J = (1 - 2\alpha_i) \left\{ \beta_i \left[\begin{aligned} & \Omega_i \phi_i D_i^f - \Omega_i \eta_i^x(\phi_i D_i^f) - \Omega_i D_i^f + \Omega_i \eta_i^x(D_i^f) - (1 - \Omega_i)(\theta_i + 1) \phi_i - \Omega_i(\gamma_i + \omega_i) \\ & \Omega_i [D_i^f - \eta_i^x(D_i^f) - \theta_i \phi_i + \gamma_i + \omega_i] + \theta_i \phi_i \end{aligned} \right] + \alpha_i(1 - \alpha_i) \left[\begin{aligned} & \Omega_i \phi_i D_i^f - \Omega_i \eta_i^x(\phi_i D_i^f) - \Omega_i D_i^f + \Omega_i \eta_i^x(D_i^f) - (1 - \Omega_i)(\theta_i + 1) \phi_i - \Omega_i(\gamma_i + \omega_i) \end{aligned} \right] \right\} \times (1 - 2\beta_i) \left\{ \alpha_i \left[\begin{aligned} & \Omega_i(1 - \phi_i) D_i^f - \Omega_i \eta_i^y((1 - \phi_i) D_i^f) - \Omega_i D_i^f + \Omega_i \eta_i^y(D_i^f) - \mu(D_i^s) - (1 - \Omega_i)(1 - \theta_i) \phi_i \\ & \Omega_i(D_i^f - \eta_i^y(D_i^f)) + \mu(D_i^s) \end{aligned} \right] + \right\} - \beta_i(1 - \beta_i) \left[\begin{aligned} & \Omega_i(1 - \phi_i) D_i^f - \Omega_i \eta_i^y((1 - \phi_i) D_i^f) - \Omega_i D_i^f + \Omega_i \eta_i^y(D_i^f) - \mu(D_i^s) - (1 - \Omega_i)(1 - \theta_i) \phi_i \end{aligned} \right]$$

行列式的迹为：

$$trJ = (1 - 2\alpha_i) \left\{ \beta_i \left[\begin{array}{l} \Omega_i \phi_i D_i^f - \Omega_i \eta_i^x(\phi_i D_i^f) - \\ \Omega_i D_i^f + \Omega_i \eta_i^x(D_i^f) - \\ (1 - \Omega_i)(\theta_i + 1)\phi_i - \\ \Omega_i(\gamma_i + \omega_i) \end{array} \right] + \right\} +$$

$$(1 - 2\beta_i) \left\{ \alpha_i \left[\begin{array}{l} D_i^f - \eta_i^x(D_i^f) - \\ \theta_i \phi_i + \gamma_i + \omega_i \end{array} \right] + \theta_i \phi_i \right\} +$$

$$\left\{ \alpha_i \left[\begin{array}{l} \Omega_i(1 - \phi_i)D_i^f - \\ \Omega_i \eta_i^y((1 - \phi_i)D_i^f) - \\ \Omega_i D_i^f + \Omega_i \eta_i^y(D_i^f) - \mu(D_i^f) - \\ (1 - \Omega_i)(1 - \theta_i)\phi_i \\ \Omega_i(D_i^f - \eta_i^y(D_i^f)) + \mu(D_i^f) \end{array} \right] + \right\}$$

3.2 均衡点分析

表示社会资本选择不承担风险时，政府资本选择承担风险和选择不承担风险所获得的收益之差：

$$\Gamma_1 = \Omega_i [D_i^f - \eta_i^x(D_i^f) - \theta_i \phi_i + \gamma_i + \omega_i] + \theta_i \phi_i$$

表示政府选择不承担风险时，社会资本选择承担风险和选择不承担风险所获得的收益之差：

$$\Gamma_2 = \Omega_i [D_i^f - \eta_i^y(D_i^f)] + \mu(D_i^f)$$

表示政府选择承担风险时，社会资本选择承担风险和选择不承担风险所获得的收益之差：

$$\Gamma_3 = \Omega_i(1 - \phi_i)D_i^f - \Omega_i \eta_i^y((1 - \phi_i)D_i^f) -$$

表 3 均衡点稳定性分析表

Table 3 Equilibrium point stability analysis table

情形	(α^*, β^*)			(0, 0)			(0, 1)			(1, 0)			(1, 1)			收益差
	det	tr	结果	det	tr	结果	det	tr	结果	det	tr	结果	det	tr	结果	
一	/	0	鞍点	+	+	不稳定	-	/	鞍点	-	/	鞍点	+	-	ESS	$\Gamma_1 > 0$ $\Gamma_2 > 0$ $\Gamma_3 > 0$ $\Gamma_4 > 0$ $\Gamma_2 > 0$
二	/	0	鞍点	+	+	不稳定	+	-	ESS	-	/	鞍点	-	/	鞍点	$\Gamma_3 < 0$ $\Gamma_4 > 0$ $\Gamma_2 > 0$
三	/	0	鞍点	+	+	不稳定	-	/	鞍点	+	-	ESS	-	/	鞍点	$\Gamma_3 < 0$ $\Gamma_4 > 0$ $\Gamma_2 > 0$
四	/	0	鞍点	+	+	不稳定	+	-	ESS	+	-	ESS	+	+	不稳定	$\Gamma_3 < 0$ $\Gamma_4 < 0$ $\Gamma_2 < 0$
五	/	0	鞍点	-	/	鞍点	+	+	不稳定	-	/	鞍点	+	-	ESS	$\Gamma_3 > 0$ $\Gamma_4 > 0$ $\Gamma_2 < 0$
六	/	0	鞍点	-	/	鞍点	-	/	鞍点	-	/	鞍点	-	/	鞍点	$\Gamma_3 > 0$ $\Gamma_4 < 0$ $\Gamma_2 < 0$
七	/	0	鞍点	-	/	鞍点	+	+	不稳定	+	-	ESS	-	/	鞍点	$\Gamma_3 < 0$ $\Gamma_4 > 0$ $\Gamma_2 < 0$
八	/	0	鞍点	-	/	鞍点	-	/	鞍点	+	-	ESS	+	+	不稳定	$\Gamma_3 < 0$ $\Gamma_4 < 0$

$$(1 - \Omega_i)(1 - \theta_i)\phi_i$$

表示社会资本选择承担风险时，政府选择承担风险和选择不承担风险所获得的收益之差：

$$\Gamma_4 = \Omega_i \phi_i D_i^f - \Omega_i \eta_i^x(\phi_i D_i^f) - (1 - \Omega_i)\phi_i$$

联立得出均衡点，均衡点有 5 个，分别为 (α^*, β^*) , $(0, 0)$, $(0, 1)$, $(1, 0)$, $(1, 1)$ 。

其中： $\alpha^* = (-\Gamma_2) / (\Gamma_3 - \Gamma_2)$, $\beta^* = (-\Gamma_1) / (\Gamma_4 - \Gamma_1)$ 。

由均衡点计算各行列式的值与迹，如表 2 所示。

表 2 行列式的值与迹

Table 2 The value and trace of the determinant

	值 (det)	迹 (tr)
(α^*, β^*)	$-(\Gamma_1 \times \Gamma_2 \times \Gamma_3 \times \Gamma_4) / [(\Gamma_4 - \Gamma_1) \times (\Gamma_3 - \Gamma_2)]$	0
(0, 0)	$\Gamma_1 \times \Gamma_2$	$\Gamma_1 + \Gamma_2$
(0, 1)	$\Gamma_4 \times (-\Gamma_2)$	$\Gamma_4 - \Gamma_2$
(1, 0)	$(-\Gamma_1) \times (\Gamma_3)$	$\Gamma_3 - \Gamma_1$
(1, 1)	$(-\Gamma_4) \times (-\Gamma_3)$	$-\Gamma_4 - \Gamma_3$

根据演化博弈理论原则，满足得以 $\det > 0$, $\text{tr} < 0$ ，则为演化博弈稳定点 ESS。由于社会福利损失远大于其他损失，那么式 (23) 恒成立。参数的不同情况，使得模型共有 8 种情况，各情形下各均衡点的稳定情况见表 3。

研究与应用

根据均衡点稳定分析表看出情形一的演化博弈稳定策略是 {分担, 分担}; 情形二的演化博弈稳定策略是 {不分担, 分担}; 情形三的演化博弈稳定策略是 {分担, 不分担}; 情形五的演化博弈稳定策略是 {分担, 分担}; 情形七的演化博弈稳定策略是 {分担, 不分担}; 情形八的演化博弈稳定策略是 {分担, 不分担}。其中情形四和情形六的演化稳定策略较复杂, 下面详细分析。

在情形 4 中, 表示政府选择不承担风险时, 社会资本选择承担风险和选择不承担风险所获得的收益之差大于 0; 政府选择承担风险时, 社会资本选择承担风险和选择不承担风险所获得的收益之差小于 0; 社会资本选择承担风险时, 政府选择承担风险和选择不承担风险所获得的收益之差小于 0。此时演化博弈模型得到稳定点 ESS 为 (1, 0) 和 (0, 1), 即 {分担, 不分担} 和 {不分担, 分担}。说明在 ESS 为 (1, 0) 时政府选择分担风险, 而社会资本选择不分担风险。ESS 为 (0, 1) 时政府选择不分担风险, 而社会资本选择分担风险。

当 $\Gamma_1 > 0, \Gamma_2 > 0, \Gamma_3 < 0, \Gamma_4 < 0$ 时, 得 $\alpha^* > 0, \beta^* > 0$ 。当 $\beta_i < \beta^*$, 根据公式 (8), 那么政府的复制动态方程大于 0; 当 $\beta_i > \beta^*$, 那么政府的复制动态方程小于 0。同理分析得出, 当 $\alpha_i < \alpha^*$ 时, 根据公式 (9) 社会资本的复制动态方程大于 0, 当 $\alpha_i > \alpha^*$ 时, 社会资本的复制动态方程小于 0。由动态方程分析结果画出相位图, 如图 1 所示。

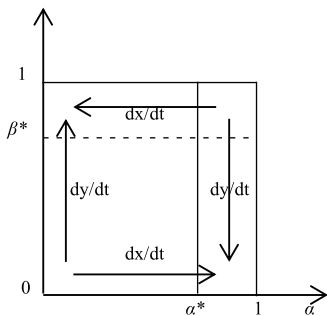


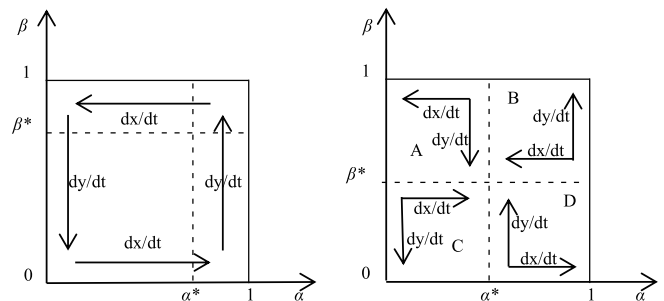
图 1 情形 4 的相位图
Fig. 1 Phase diagram of case 4

从相位图中获悉, 在此情况下, 政府和社会资本在动态博弈之后, 最终都会朝向 {不分担, 分担} 或者 {分担, 不分担} 稳定。也就是说,

当政府选择分担风险的概率降低时, 那么社会资本将会选择分担风险, 这一行为的转变会使社会资本获得更多的收益, 就会形成 {不分担, 分担} 的局面。相反, 那么就会形成社会资本不分担风险, 而政府分担风险来获得更多的利益, 此时就是 {分担, 不分担} 的局面。

在情形 6 中, 表示政府选择不承担风险时, 社会资本选择承担风险和选择不承担风险所获得的收益之差小于 0; 政府选择承担风险时, 社会资本选择承担风险和选择不承担风险所获得的收益之差大于 0; 社会资本选择承担风险时, 政府选择承担风险和选择不承担风险所获得的收益之差小于 0。此时演化博弈模型没有稳定点。

当 $\Gamma_1 > 0, \Gamma_2 < 0, \Gamma_3 > 0, \Gamma_4 > 0$ 时, 得出 $\alpha^* < 0, \beta^* > 0$ 。当 $\beta_i < \beta^*$, 根据公式 (8), 政府的复制动态方程大于 0; 当 $\beta_i > \beta^*$, 那么政府的复制动态方程小于 0。同理分析得出, 当 $\alpha_i < \alpha^*$, 根据公式 (9), 社会资本的复制动态方程小于 0, 当 $\alpha_i > \alpha^*$, 社会资本的复制动态方程大于 0。由动态方程分析结果画出相位图, 见图 2。



(a) 情形 6 的相位图 (一) (b) 情形 6 的相位图 (二)

图 2 情形 6 的相位图
Fig. 2 Phase diagram of case 6

由图 2 明显得出, 此情况下无稳定战略状态。将图 2 (b) 中分为 A、B、C、D 四个区域。当处于 A 区域时, 稳定状态倾向于 (0, 0) 即 {不分担, 不分担}; 当情况处于 B 区域时, 稳定状态倾向于 (0, 1), 即 {不分担, 分担}; 当情况处于 C 区域时, 稳定状态倾向于 (1, 0), 即 {分担, 不分担}; 当情况处于 D 区域时, 稳定状态倾向于 (1, 1), 即 {分担, 分担}。由此可以看出, 政府和社会资本处于一个动态博弈的状态, 一方的改

研究与应用

变会随之影响另一方的改变。

根据这 8 种情况分析，首先我们可以看出不会出现无人分担风险的情况。其次，八种博弈稳定局面中有四种都是政府独自承担风险，但 PPP 项目中政府独自承担风险不是为了盈利而是为了社会发展。有两种情况是社会资本独自承担风险，但独自承担风险的前提是社会资本获得的利益大于不承担风险的利益。还有另外两种稳定局面是双方都承担风险，因为此时双方承担风险双方获得的利益更大，所以就形成双方共同分担风险的局面。

4 实证分析

某集团与某市签订了协同发展示范区项目合作意向书，建设某县以 EOD 模式为核心理念的区域开发模式。其中，以 PPP 模式参与了某河段的生态综合整治。建设工期为 2 年，工程初步概算为 350.43 亿元。经查阅资料^[19]，收集数据整理并计算，得到了风险网络关系和模型所需要的参数。

5 位专家组成的专家小组 $\{E_1, E_2, E_3, E_4, E_5\}$ ，专家的权重向量为 $(w_1, w_2, w_3, w_4, w_5) = (0.25, 0.2, 0.3, 0.1, 0.15)$ ，风险集合为 $\{R_1, R_2, R_3, R_3, R_4, R_5\} = \{\text{不可抗力风险, 市场需求变化风险, 政治信用风险, 市场收益不足风险, 收费变更风险}\}$ 。

专家按照公式 (1) 并根据 5 种风险给出风险关联矩阵 A_k ；通过公式 (2) 整合为群体关联矩阵 A_G ；通过公式 (3) 转换为标准关联矩阵 B_G ；根据阈值 $\lambda_1 = 0.25, \lambda_2 = 0.2, \lambda_3 = 0.3, \lambda_4 = 0.1, \lambda_5 = 0.15$ ，得出群体阈值为 $\lambda_G = 0.115$

结合公式 (4)，得出综合影响矩阵：

$$C = \begin{matrix} & R1 & R2 & R3 & R4 & R5 \\ \begin{matrix} R1 \\ R2 \\ R3 \\ R4 \\ R5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

根据公式 (5)，计算风险影响系数：

$$NCM = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.89 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0.44 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$NEM = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.97 & 0.24 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.95 & 0.32 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$RNM = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.92 & 0.49 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.97 & 0.38 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

根据公式 (6) 得出专家的损失值估计为 $D = (160 \ 190 \ 240 \ 270 \ 260)$ ，以 R_2 为例，风险的直观损失 $D_2^s = 190$ 万元，而根据公式 (7)，得出 R_2 考虑风险关联后的风险损失值为 $D_2^f = 324.8$ 万元。将表中其他参数代入演化博弈模型中，可得到公式 (10)、(11)、(12)、(13) 中 $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4$ 的相应结果，参数见表 4。

表 4 参数值
Table 4 The parameter value

参数	值	参数	值
ϕ_2	0.3	$\eta_2^x (D_2^s)$	350 万元
Ω_2	0.6	$\eta_2^x (\phi_2 D_2^s)$	100 万元
γ_2	120 万元	$\eta_2^y ((1-\phi_2) D_2^s)$	180 万元
ω_2	800 万元	$\eta_2^x (D_2^f)$	140 万元
ϕ_2	10 万元	$\eta_2^y (D_2^f)$	360 万元
θ_2	0.15	$\eta_2^x (\phi_2 D_2^f)$	110 万元
$\mu (D_2^s)$	20 万元	$\eta_2^y ((1-\phi_2) D_2^f)$	190 万元

不考虑风险关联，计算得到 $\Gamma_1 = 594.6, \Gamma_2 = -76, \Gamma_3 = -31.6, \Gamma_4 = -29.8$ ，此时符合情形八，其对应的演化稳定策略为 {分担，不分担}。

为了准确性，根据公式 (8) 得出政府的复制动态方程 $F(\alpha, \beta) = \alpha \times (1-\alpha) \times (-\beta \times 624.4 + 594.6)$ 判断结果，当 $\beta = 0.95$ 时， $F(\alpha, 0.95) = 0$ ，此时 $\beta = 0.95$ 为临界点；当 $\beta > 0.95$ 时， $F'(\alpha, \beta) < 0$ ；当 $\beta < 0.95$ 时， $F'(\alpha, \beta) > 0$ 。根据公式 (9) 得出社会资本的动态复制方程 $G(\alpha, \beta) =$

研究与应用

$\beta \times (1-\beta) \times (\alpha \times 44.4 - 76)$ 判断结果, 无论 α 的取值, $G'(\alpha, \beta) < 0$ 恒成立, 此情形相位图如图 3 所示。得到 ESS 为 $(1, 0)$ 即为 {分担, 不分担}。综上, 两种分析方法都得到相同演化稳定策略为 {分担, 不分担}。

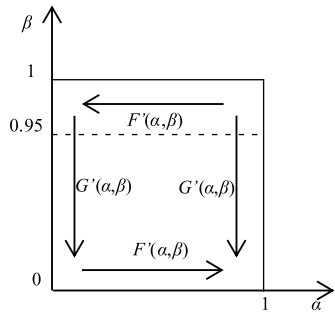


图 3 相位图
Fig. 3 Phase diagram

考虑到风险关联后的风险损失值为 $D_2' = 324.8$ 万元, 此时 $\Gamma_1 = 663.48$, $\Gamma_2 = -11.2$, $\Gamma_3 = 19.016$, $\Gamma_4 = -11.536$, 符合情形六, 即无演化稳定策略。

再根据公式 (8) 得出政府的复制动态方程 $F(\alpha, \beta) = \alpha \times (1-\alpha) \times (-\beta \times 675.016 + 663.48)$ 判断结果, 当 $\beta = 0.98$ 时, $F(\alpha, 0.98) = 0$, 此时 $\beta = 0.98$ 为临界点; 当 $\beta > 0.98$ 时, $F'(\alpha, \beta) < 0$; 当 $\beta < 0.98$ 时, $F'(\alpha, \beta) > 0$ 。根据公式 (9) 得出社会资本的动态复制方程 $G(\alpha, \beta) = \beta \times (1-\beta) \times (\alpha \times 30.216 - 11.2)$ 判断结果, 当 $\alpha = 0.37$ 时, $G(0.37, \beta) = 0$, 此时 $\alpha = 0.37$ 为临界点; 当 $\alpha > 0.37$ 时, $G'(\alpha, \beta) > 0$; 当 $\alpha < 0.37$ 时, $G'(\alpha, \beta) < 0$ 。此情形相位图如图 4 所示。根据图 4 确定无稳定点, 则无 ESS。综上, 两种方法得出的结果相同。

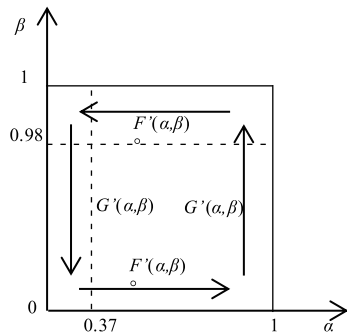
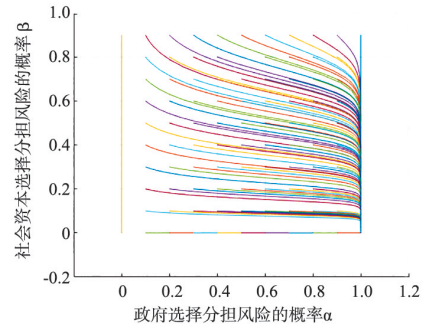
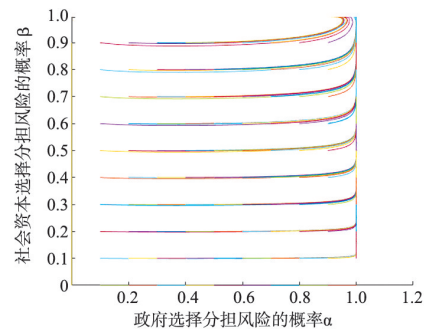


图 4 相位图
Fig. 4 Phase diagram

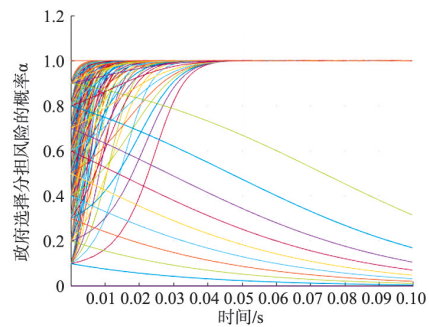
为研究上述演化博弈模型内容, 直观反映政府部门和社会资本策略演化路径, 笔者采用了 Matlab 进行了仿真模拟。在不考虑风险关联时和考虑风险关联的情况下, 案例的仿真演化图对比, 如图 5 所示。



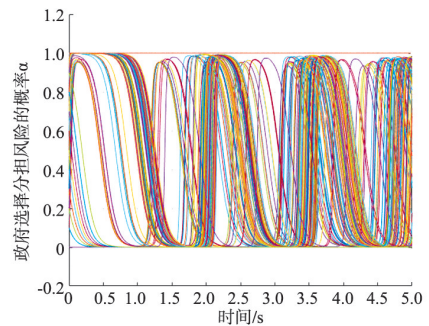
(a) 不考虑风险关联时双方演化策略变化



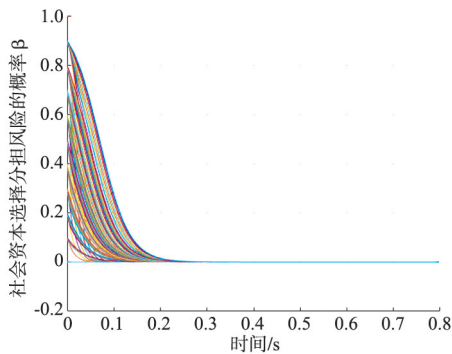
(b) 考虑风险关联时双方演化策略变化



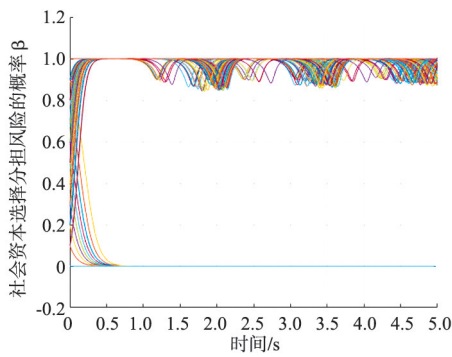
(c) 不考虑风险关联时政府方演化策略变化



(d) 考虑风险关联时政府方演化策略变化



(e) 不考虑风险关联时社会资本方演化策略变化



(f) 考虑风险关联时社会资本方演化策略变化

图 5 仿真图

Fig. 5 Simulation diagram

根据对比可以得出，在考虑风险关联之后演化稳定策略由最初的 {分担, 不分担} 变为无演化稳定策略。但是虽无演化稳定策略，政府和社会资本策略是围绕着 $(\alpha^*, \beta^*) = (0.37, 0.98)$ 变动的。

5 结论与展望

由于忽视了风险关联这一现象，运用现有的演化博弈模型会使政府与社会资本的策略选择不符合实际，从而无法获得公平合理的风险分担结果。因此，本文以考虑风险关联的风险损失为依据，建立演化博弈模型并进行实例验证，对 PPP+EOD 项目的风险分担进行了研究。结果表明：

(1) 在构建的演化博弈模型中，有 8 种不同的情形，其中有一种情况下没有演化稳定策略，但是政府和社会资本的选择还是有迹可循；剩下的 7 种情况中，有 3 种情况是政府独自承担风险，有 1 种情况是社会资本独自承担风险，有 2 种情况

是政府与社会资本共同承担风险，还有 1 种情况下有两种演化稳定策略，即政府和社会资本各自承担风险。

(2) 在承担风险时，政府由于地位原因主动承担风险的情况更多，社会资本会根据利益情况选择是否承担风险。因为存在地盘溢价收益和社会福利损失，政府也会选择承担风险，从而不会出现无人承担风险的情况。

(3) 考虑风险关联因素时，会得到与风险直观损失不同的损失值，这可能会改变社会资本与政府部门的策略选择，从而使演化稳定策略发生改变。

在 PPP+EOD 项目风险识别方面，我们要准确的分析风险因素，也要考虑到风险关联这一情况，这样能使项目进行贴切实际的风险分担。若将难以把控的风险双方共同承担，容易控制的风险由更有效率的一方承担，尽量避免地位不平等的情况出现，鼓励并激发社会资本主动分担风险，利用地盘溢价收益和社会福利损失减轻政府财政压力，那么 PPP 项目融资难，融资贵的问题会得到改善，更有助于 EOD 模式与 PPP 项目的结合，使得 EOD 模式下的 PPP 项目前景广阔，大有可为。

参 考 文 献

- [1] 周兰萍. EOD 助推 PPP 高质量发展 [J]. 项目管理评论, 2021 (377): 64-67.
- [2] 王天义. EOD 为绿色 PPP 赋能 [J]. 项目管理评论, 2021 (36): 34-37.
- [3] 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.
- [4] 李永强, 苏振民. PPP 项目风险分担的博弈分析 [J]. 基建优化, 2005, 26 (5): 16-19.
- [5] 宿辉, 田少卫, 冯天鑫. 参与方地位不对等条件下 PPP 项目风险分担博弈研究 [J]. 人民长江, 2021, 52 (3): 167-171.
- [6] 李妍. 不完全信息动态博弈视角下的 PPP 风险分担研究 [J]. 财政研究, 2015 (10): 50-57.
- [7] 张建军, 王丽娜. 基于博弈模型的 PPP 项目风险分担 [J]. 土木工程管理学报, 2017, 34 (5): 72-76.

(下转第 133 页)

参 考 文 献

- [1] 徐旺, 游雄, 张威巍, 等. 2D 地图的建筑物场景结构提取方法及其在城市增强现实中的应用 [J]. 测绘学报, 2020, 49 (12): 114-124.
- [2] 严旭, 范盛颖. Revit 软件钢结构建模与出图的实践 [J]. 建筑钢结构进展, 2019, 21 (1): 100-109.
- [3] 马焜阳, 成毅, 葛文, 等. 利用 Faster R-CNN 自动识别建筑平面图功能构件的方法 [J]. 测绘科学技术学报, 2019, 36 (3): 311-317.
- [4] 王权, 宋春花, 牛保宁. 面向移动终端的三维建筑物模型简化方法 [J]. 计算机应用研究, 2019, 36 (2): 615-620.
- [5] 赵继芳, 晋良念, 刘庆华. 穿墙雷达建筑物结构布局稀疏成像方法 [J]. 雷达科学与技术, 2019, 17 (5): 101-106.
- [6] 赵元, 齐锋, 何俊, 等. 分布式仿真环境下空室通信畅通区三维空间数据生成方法 [J]. 弹箭与制导学报, 2019, 39 (1): 74-78.
- [7] 王浩宇, 路强. 空间监视雷达测试数据的自动生成方法研究 [J]. 合肥工业大学学报 (自然科学版), 2020, 43 (5): 50-53.
- [8] 李宏亮, 贾茹, 张悦, 等. 一种航天器测试注入数据序列自动生成方法 [J]. 航天器工程, 2020, 29 (1): 93-99.
- [9] 侯文龙, 邓雪原. 基于 IFC 标准的楼层平面尺寸标注自动生成方法研究 [J]. 图学学报, 2019, 40 (6): 137-143.
- [10] 周鹏, 刘星, 谭浩. 网络三维 GIS 空间数据存储及动态拓扑方法 [J]. 测绘科学, 2018, 43 (10): 137-143.
- [11] 刁明光, 赵元元, 赵丹宁, 等. 矿山遥感监测成果数据报表自动生成方法 [J]. 科学技术与工程, 2020, 20 (3): 1107-1112.
- [12] 赵鹏飙, 刘歌, 罗磊, 等. 基于手机的室内数字平面图构建方法 [J]. 计算机工程, 2018, 44 (11): 271-275, 281.
- [13] 陈尔康, 高长生, 荆武兴. 空间目标的轨迹和姿态数据生成 [J]. 西北工业大学学报, 2019, 37 (2): 378-385.
- [14] 杨杰, 诸云强, 宋佳, 等. 地理空间模型自动数据匹配结果精准表达方法 [J]. 地球信息科学学报, 2018, 20 (6): 744-752.
- [15] 王晓鹏, 王忠义, 许玉龙, 等. 四维光场数据中基于极平面的深度估计方法 [J]. 湘潭大学自然科学学报, 2018, 40 (2): 35-38.
- [8] 方俊, 王柏峰, 田家乐, 等. PPP 项目合同主体收益分配博弈模型及实证分析 [J]. 土木工程学报, 2018, 51 (8): 96-104, 128.
- [9] 马桑. PPP 项目再谈判的博弈分析与模型构建 [J]. 现代管理科学, 2016, 274 (1): 40-42.
- [10] 饶海琴, 徐彩红. 政府投资项目中的不完全信息静态博弈模型分析 [J]. 上海理工大学学报, 2006 (4): 386-390.
- [11] 李小莉. 考虑声誉的公私合作项目监管演化博弈分析 [J]. 系统工程学报, 2017, 32 (2): 199-206.
- [12] 曹吉鸣, 申良法, 彭为, 等. 风险链视角下建设项目进度风险评估 [J]. 同济大学学报, 2015, 43 (3): 468-474.
- [13] 陈婉. “PPP+EOD” 创新城市可持续发展新模式 [J]. 环境经济, 2021 (15): 26-29.
- [14] 黄岩渠, 胡宗义, 喻采平. 风险定量测度方法的相容性与局限性 [J]. 统计与决策, 2016, 458 (14): 28-32.
- [15] 王军武, 余旭鹏. 考虑风险关联的轨道交通 PPP 项目风险分担演化博弈模型 [J]. 系统工程理论与实践, 2020, 40 (9): 2391-2405.
- [16] 王元明, 徐大海. 基于风险传递的公共项目风险分配研究 [J]. 开发研究, 2012, 163 (6): 94-97.
- [17] 徐杰, 李果林. 风险收益动态视角下政府与社会资本合作演化博弈分析 [J]. 软科学, 2020, 34 (6): 126-130.
- [18] 王望珍, 匡思玥. 基于演化博弈的装配式建筑激励政策研究 [J]. 粉煤灰综合利用, 2022, 36 (1): 126-131.
- [19] 亓霞, 柯永建, 王守清. 基于案例的中国 PPP 项目的主要风险因素分析 [J]. 中国软科学, 2009 (5): 107-113.

(上接第 121 页)