

# 基于双边补偿期权的 PPP 项目价值评估模型及应用研究

## ——以昆明东格高速公路项目为例\*

吴孝灵<sup>1</sup> 谭深<sup>1</sup> 曹文博<sup>2</sup> 瞿萌<sup>1</sup>

(1. 南京财经大学, 南京 210023;

2. 江苏扬子江鼎荟创新投资有限公司, 南京 210000)

**摘要:** 针对 PPP 项目补偿受项目收益不确定性的影响, 首先在收益确定假设下构建项目特许权价值模型, 给出事前补偿机制; 其次基于项目收益不确定性, 借鉴期权对风险转移的思想, 引入政府与社会资本共同持有双边补偿期权, 构建双边补偿期权下的 PPP 项目价值评估模型; 最后将所构建模型应用于昆明东格高速公路项目的价值评估, 进行案例研究。研究发现, 当项目收益不确定性较大时, PPP 项目适合采取双边期权补偿, 该补偿方式相较于事前补偿更有助于促进政府方和社会资本方通过共担风险提高 PPP 项目价值; 而当项目收益不确定性较低时, PPP 项目适合采取事前补偿, 该补偿方式相较于双边期权补偿对激励社会资本方积极投资 PPP 项目具有更实际的价值。

**关键词:** PPP 项目; 政府补偿; 双边期权; 价值评估

## 0 引言

2023 年 11 月 8 日, 国家发展改革委、财政部发布《关于规范实施政府和社会资本合作新机制的指导意见》<sup>[1]</sup>, 标志着 PPP 新机制正式开启。与过往 PPP 不同的是, 新机制回归 PPP 模式初衷, 注重社会资本参与, 并全部采取特许经营模式。具体是指, 政府通过特许权协议方式授予社会资本对某公共基础设施项目投资、建设、运营和维护的特许权, 并在特许期结束后再将项目无偿移交给政府, 其中社会资本因拥有项目运营特许权而在特许期内获得了运营收益, 政府则因拥有项目所有权而获得了项目资产<sup>[2]</sup>。PPP 模式虽已被大力推广和使用, 但大都因项目收益不确定而引发社会资本投资积极性不高<sup>[3]</sup>。因此, 要激励社会资

本投资 PPP 项目, 政府补偿尤为重要。学者大都从事前或事后角度探讨 PPP 项目补偿问题<sup>[4]</sup>。其中, 事前补偿虽有一定激励性, 但很可能因补偿过高或过低而使项目资产价值或社会资本利益受损<sup>[5]</sup>; 而仅有事后补偿又会因忽略事前补偿的激励性而失灵或失效<sup>[6]</sup>。于是, 期权作为连接事前补偿和事后补偿的金融工具, 被引入 PPP 项目研究。但现有研究<sup>[7-9]</sup>大都局限于通过期权将项目风险转移给政府或担保方, 不能较好地体现“风险共担、收益共享”的 PPP 新机制本质。鉴于此, 本文首先在 PPP 项目收益确定假设下, 运用净现值方法构建项目特许权价值模型, 分析政府补偿决策机理, 给出事前补偿机制; 其次针对项目收益不确定性, 借鉴股票期权对风险转移方法, 考虑政府通过特许权协议方式在事前给予社会资本方特许收益承诺,

\* 基金项目: 教育部产学研协同育人项目 (231107542012630); 江苏省研究生科研与实践创新计划项目“基于双边补偿期权的 PPP 项目价值评估模型研究”(SJCX23\_0645)。

而在事后根据项目实际运营收益与特许收益比较给予社会资本方收益补偿或收益共享,以提出政府和社会资本方共同持有双边补偿期权的概念;再次利用期权定价方法,通过构建双边补偿期权价值模型给出政府方和社会资本方在双边补偿期权情形下对PPP项目的价值评估模型;最后将所构建模型应用于昆明东格高速公路项目价值评估,以通过案例分析论证PPP项目的双边期权补偿相对于事前补偿的合理性。

## 1 PPP项目的事前补偿机制与双边补偿期权提出

### 1.1 PPP项目的特许权价值模型

PPP项目一般由社会资本方通过股本资本和债务资本的方式进行投资,要求的投资回报率可用公式表示为

$$k = \frac{Dr + E(r + \eta \rho_m \sigma)}{D + E} = r + \frac{E \eta \rho_m \sigma}{I} \quad (1)$$

式中, $k$ 为社会资本投资回报率; $I$ 为社会资本总投资; $D$ 为债务资本; $E$ 为股本资本; $r$ 为债务资本要求的回报率,因要求获取稳定的利息收益,故可看作无风险利率; $\sigma$ 为项目风险或收益波动率; $\rho_m$ 为风险溢价; $\eta$ 为风险补偿系数<sup>[10]</sup>。

在式(1)基础上,如果假设PPP项目特许权期为 $T$ ,建设期为 $T_b$ ,且在运营期 $T - T_b$ 内第 $j$ 年的运营收益与运营成本分别为 $R_j$ 和 $C_j$ ,则社会资本投资PPP项目的价值可表示为

$$V_T = \frac{1}{(1+k)^{T_b}} \sum_{j=T_b+1}^T \frac{R_j - C_j}{(1+k)^{j-T_b}} \quad (2)$$

式中, $V_T$ 为社会资本方获取项目特许权价值(Franchise Value),它等于项目在特许运营期内的每年净收益按其要求的回报率进行贴现的现值总和<sup>[11]</sup>。可将式(2)作为收益确定假设下的PPP项目特许权价值模型。

### 1.2 PPP项目的事前补偿机制

根据式(2),只有当 $V_T \geq I$ 时,社会资本才会投

资,获取的盈利为 $V_T - I$ 。否则,当 $V_T < I$ 时,政府需给予的补偿为 $I - V_T$ 时,方可保证社会资本盈亏平衡。所以,PPP项目补偿可表示为

$$C_I = \max\{I - V_T, 0\} \quad (3)$$

式中, $C_I$ 为项目需要缺口补偿或无补偿。由于在事前发生,故称式(3)为PPP项目的事前补偿机制。

在该补偿机制下,社会资本方获得了项目特许权价值 $V_T$ 和补偿价值 $C_I$ ,即

$$\begin{aligned} V_s &= V_T + C_I = V_T + \max\{I - V_T, 0\} \\ &= \begin{cases} I, & 0 \leq V_T < I \\ V_T, & V_T \geq I \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

式中, $V_s$ 为PPP项目在事前补偿下对社会资本方的价值,它不会低于社会资本总投资 $I$ 。因此,事前补偿对吸引社会资本投资PPP项目具有一定激励作用。

### 1.3 PPP项目的双边补偿期权提出

尽管事前补偿在理论上可行,但由于在项目收益事先预定情形下给定,故不可避免地会因项目事前预定收益与实际收益存在偏差而显得不足或过高。而且,补偿一旦事先确定,就很难再事后更改,会使事前补偿很难适应项目收益的不确定性。为此,借鉴股票期权风险转移方法,并根据陈占夺<sup>[12]</sup>对双边期权的概念界定,引入PPP项目的双边补偿期权协议,具体条款如下:

(1) 在项目特许期结束时,若项目收益低于社会资本方要求的特许收益,则赋予社会资本方履行向政府获取收益缺口补偿的权利。

(2) 在项目特许期结束时,若项目收益高于社会资本方要求的特许收益,则赋予政府方执行从项目收益高于特许收益的超额收益中获取一定比例作为收益共享权利。

将条款(1)和条款(2)合称为PPP项目的双边补偿期权,即社会资本方和政府方共同持有的期权。其中,条款(1)是社会资本方执行的看跌期权;条款(2)是政府方执行的看涨期权。为区别于事前补偿 $C_I$ ,将政府和社会资本方分别持有的双边补偿期权记

作  $C_{z-s}$  和  $C_{s-z}$ 。

2 双边补偿期权下 PPP 项目价值评估模型构建

2.1 双边补偿期权的价值模型构建

根据上述条款 (1) 和 (2), 双边补偿期权对政府和社会资本方都存在价值。为确定双边补偿期权价值, 不妨借鉴股票期权定价方法, 先对相关定价参数进行对照 (见表 1); 然后按期权行权条件和行权结果, 对双边补偿期权与股票期权进行比较 (见表 2)。

根据表 1, PPP 项目期末实际收益可看作特许权价值在特许运营期内随机游走结果。借鉴 Chandra 等<sup>[13]</sup>对不确定性的描述方法, 先将项目特许权价值换算为特许运营期初始值为  $(1+k)^{T_b} V_T$ , 然后假设在特许运营期  $T-T_b$  年内有  $i$  年都以年增加率  $u$  呈上升趋势, 而在  $T-T_b-i$  年内都以年减少率  $d$  呈下降趋势, 则项目期末实际收益可表示为

$$R_i(V_T) = (1+u)^i(1-d)^{T-T_b-i}(1+k)^{T_b} V_T, \\ i=0, 1, 2, \dots, T-T_b \quad (5)$$

式中,  $R_i(V_T)$  为项目特许权价值  $V_T$  在随机状态  $i$  下的期末值, 即项目期末实际收益。

相应地, 社会资本方在 PPP 项目特许期结束时要求获得特许收益, 可由式 (1) 得

$$R_T(I) = (1+k)^T I = \left(1+r + \frac{E\eta\rho_m\sigma}{I}\right)^T I \quad (6)$$

式中,  $R_T(I)$  为特许收益的期末值, 由社会资本要求的回报率  $k$  与总投资  $I$ 、特许权期  $T$  确定。

于是, 根据表 2, 可分 3 种情形讨论双边补偿期权价值。

(1) 若期末收益低于特许收益, 即  $R_i(V_T) < R_T(I)$ , 则社会资本方履行双边补偿期权, 获取收益缺口补偿, 即期权价值为  $R_T(I) - R_i(V_T)$ 。同时, 政府也执行期权, 获取特许权公信力价值, 即期权价值为  $(\delta-1)[R_T(I) - R_i(V_T)]$ 。其中,  $\delta$  为收益缺口补偿期权对特许权公信力价值的影响程度, 当且仅当  $\delta \geq 1$  时, 政府愿意持有双边补偿期权, 因为政府通过缺口补偿赋予特许权公信力的价值高于缺口补偿成本。

(2) 若期末收益高于特许收益, 即  $R_i(V_T) > R_T(I)$ , 则政府履行双边补偿期权, 按比例获取超额收益, 即期权价值为  $\alpha[R_i(V_T) - R_T(I)]$ 。其中,  $\alpha$  为政府对项目收益高于特许收益的超额收益共享比例。同时, 社会资本方也执行期权, 期权价值为  $(1-\alpha)[R_i(V_T) - R_T(I)]$ , 表示社会资本方按  $1-\alpha$  的共享比例获取超额收益。

(3) 若期末收益等于特许收益, 即  $R_i(V_T) = R_T(I)$ , 则双方都不执行期权, 期权价值为 0。

表 1 PPP 项目双边补偿期权与股票期权的参数对照

期权类型	参数对照					
	特许权期	特许权价值	特许收益	实际收益	资金时间价值	收益波动率
双边补偿期权	到期时间	现行价格	执行价格	期末价格	无风险利率	价格标准差

表 2 PPP 项目双边补偿期权与股票期权的行权比较

股票金融期权	行权条件	股票期末价格低于期权执行价格	股票期末价格高于期权执行价格	股票期末价格等于期权执行价格
	行权结果	买方执行看跌期权; 卖方履行期权的义务	买方执行看涨期权; 卖方履行期权的义务	买方不执行期权; 卖方不履行期权的义务
双边补偿期权	行权条件	项目实际期末收益低于特许收益	项目实际期末收益高于特许收益	项目实际期末收益等于特许收益
	行权结果	双方共同执行期权, 社会资本方获取收益缺口补偿; 政府方获取特许权公信力价值	双方共同执行期权, 社会资本方和政府方按共享比例同时获取超额收益	社会资本方和政府方都既不执行补偿期权, 又不履行补偿期权义务

综上所述,社会资本方和政府方分别持有的双边补偿期权  $C_{s-z}$  和  $C_{z-s}$  在期末状态  $i$  下的价值可表示为

$$C_{s-z}(i) = \max\{R_T(I) - R_i(V_T), (1 - \alpha)[R_i(V_T) - R_T(I)], 0\} \quad (7)$$

$$C_{z-s}(i) = \max\{(\delta - 1)[R_T(I) - R_i(V_T)], \alpha[R_i(V_T) - R_T(I)], 0\} \quad (8)$$

如果再假设特许权价值  $V_T$  的年度增长率为  $u$  的概率是  $q$ , 则根据期权套利定价的复制等价原理<sup>[14]</sup>, 可将双边补偿期权  $C_{s-z}$  和  $C_{z-s}$  的期望现值分别表示为

$$C_{s-z}(P) = \frac{1}{(1+r)^T} \sum_{i=0}^{T-T_b} C[T - T_b, i] (1-q)^{T-T_b-i} q^i C_{s-z}(i) \quad (9)$$

$$C_{z-s}(P) = \frac{1}{(1+r)^T} \sum_{i=0}^{T-T_b} C[T - T_b, i] (1-q)^{T-T_b-i} q^i C_{z-s}(i) \quad (10)$$

式中,  $q = (1 + r - e^{-\sigma}) / (e^{\sigma} - e^{-\sigma})$  表示等价概率;  $(1-q)^{T-T_b-i} q^i$  表示期权  $C_{s-z}$  或  $C_{z-s}$  的期末价值为  $C_{s-z}(i)$  或  $C_{z-s}(i)$  的概率;  $C[T - T_b, i] = (T - T_b)! / i! (T - T_b - i)!$  表示在期末状态  $i$  下的期权价值为  $C_{s-z}(i)$  或  $C_{z-s}(i)$  情形数量。

式(9)和式(10)表明,双边补偿期权价值是双边期权实际执行时价值的无风险期望贴现值。为此,称式(9)和式(10)分别为社会资本方和政府方拥有对项目双边补偿期权的价值,分别记作  $C_{s-z}(P)$  和  $C_{z-s}(P)$ 。

## 2.2 双边补偿期权下的 PPP 项目价值评估模型

当社会资本方和政府方同时持有双边补偿期权时,社会资本方获得了项目特许权价值  $V_T$  和补偿期权价值  $C_{s-z}(P)$ ; 政府方获得了项目所有权价值  $I$  和补偿期权价值  $C_{z-s}(P)$ 。因此,在双边补偿期权下,PPP 项目对社会资本方和政府方的价值可分别表示为

$$V_s = V_T + C_{s-z}(P) \quad (11)$$

$$V_z = I + C_{z-s}(P) \quad (12)$$

式(11)和式(12)分别为社会资本方和政府方

在双边补偿期权下对 PPP 项目价值评估模型,简记为  $V_s$  和  $V_z$ 。

## 3 应用案例:昆明东格高速公路 PPP 项目价值评估

### 3.1 项目简介与估值说明

#### 3.1.1 项目简介

昆明东格高速公路是国家级示范 PPP 项目,主要由云南省政府(以下简称“政府方”)与中铁开发投资集团有限公司(以下简称“社会资本方”)通过特许协议方式进行合作。该项目计划建设期 3 年,特许经营期 30 年,总投资约为 56.53 亿元。其中,政府出资 11.73 亿元,其余由社会资本方通过股本和债务方式进行融资。昆明东格高速公路项目融资结构见图 1。

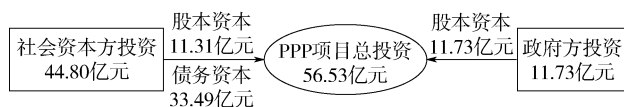


图1 昆明东格高速公路项目融资结构

#### 3.1.2 估值说明

该项目因由社会资本方和政府方共同投资,故其投资价值必受双方共同关注。为探讨事前补偿和双边期权补偿情形下的投资价值差异,先对两种补偿情形下社会资本方和政府方分别对 PPP 项目的价值评估模型进行比较,见表 3。根据表 3,选取该项目建设初期(2020 年)为评估时点,通过对该项目特许权价值及经济可行性进行评估,分别讨论该项目在两种不同补偿情形下投资价值。

表3 PPP 项目在两种不同补偿情形下的价值评估模型

PPP 项目价值	事前补偿情形	双边期权补偿情形
社会资本方 ( $V_s$ )	特许权价值 + 事前补偿价值 ( $V_T + C_I$ )	特许权价值 + 双边补偿期权价值 [ $V_T + C_{s-z}(P)$ ]
政府方 ( $V_z$ )	所有权价值 - 事前补偿价值 ( $I - C_I$ )	所有权价值 + 双边补偿期权价值 [ $I + C_{z-s}(P)$ ]

3.2 项目特许权价值估算与经济可行性分析

为讨论该案例项目的经济可行性，利用式（2）确定项目特许权价值，接下来详细阐述具体的计算和分析过程。

3.2.1 净现金流估算

根据式（2），确定项目未来各期的净利润  $R_j - C_j$ 。利用项目可行性研究报告中的相关数据，编制该项目的净现金流量估算表，见表4。

3.2.2 折现率确定与特许权价值估算

根据式（1），确定社会资本要求的回报率  $k$ 。首先，以近年国债收益率的均值确定无风险回报率<sup>[15]</sup>，即  $r = 3.14\%$ ；其次，参考吴孝灵等<sup>[16]</sup>的研究，确定参数  $\eta = 0.02$ ， $\rho_m = 3.33$ ；最后，根据股本资本  $E =$

11.31 亿元和社会资本总投资  $I = 44.80$  亿元，基于项目运营收益不确定性，通过对项目收益波动率  $\sigma$  进行不同取值，编制折现率和特许权价值估算表，见表5。

3.2.3 项目收益不确定性与经济可行性分析

由表5可知，在项目收益或现金流确定的假设下，即项目收益波动率  $\sigma = 0$  时，项目的特许权价值为  $V_T = 46.84$  亿元，高于社会资本总投资  $I = 44.80$  亿元，所以社会资本投资该项目在经济上是可行的，即在评估时点可获取项目净现值为2.04亿元。但随着项目收益不确定性（即收益波动率  $\sigma$ ）的增加，该项目的经济可行性逐渐变弱。特别当项目收益不确定性较高时，社会资本投资该项目存在可行性缺口，需要政府给予相应的缺口补偿，方可使项目在经济上可行。

表4 昆明东格高速公路 PPP 项目的运营期内净现金流量 (单位：万元)

参数名称	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年	2024 年	2025 年
运营收入 ( $R_i$ )	9 933.68	10 915.61	11 994.28	13 181.20	14 486.46	15 921.57
运营成本 ( $C_j$ )	2 096.15	2 162.81	2 231.58	2 302.55	2 375.77	6 643.52
净利润 ( $R_j - C_j$ )	7 837.53	8 752.80	9 762.70	10 878.65	12 110.69	9 278.05
参数名称	2026 年	2027 年	2028 年	2029 年	2030 年	2031 年
运营收入 ( $R_i$ )	17 499.47	19 233.13	21 139.79	23 236.72	25 542.63	27 573.89
运营成本 ( $C_j$ )	6 721.47	6 801.90	6 884.89	6 970.52	2 866.67	2 957.83
净利润 ( $R_j - C_j$ )	10 778.00	12 431.23	14 254.90	16 266.20	22 675.96	24 616.06
参数名称	2032 年	2033 年	2034 年	2035 年	2036 年	2037 年
运营收入 ( $R_i$ )	29 768.28	32 137.33	34695.45	37 457.04	39 700.24	42 076.70
运营成本 ( $C_j$ )	3 051.89	3 148.94	3 249.07	7 544.60	7 651.20	7 761.20
净利润 ( $R_j - C_j$ )	26 716.39	28 988.39	31 446.38	29 912.44	32 049.04	34 315.50
参数名称	2038 年	2039 年	2040 年	2041 年	2042 年	2043 年
运营收入 ( $R_i$ )	44 596.53	47 266.96	50096.67	52 106.95	54 197.70	56 371.90
运营成本 ( $C_j$ )	7 874.69	7 991.79	3 920.42	4 045.09	4 173.73	4 306.45
净利润 ( $R_j - C_j$ )	36 721.84	39 275.17	46 176.25	48 061.86	50 023.97	52 065.45
参数名称	2044 年	2045 年	2046 年	2047 年	2048 年	2049 年
运营收入 ( $R_i$ )	58 633.92	60 986.73	61026.45	61 068.16	61 111.95	61 157.94
运营成本 ( $C_j$ )	4 443.40	8 776.89	8 922.69	9 073.12	9 228.33	9 388.48
净利润 ( $R_j - C_j$ )	54 190.52	52 209.84	52 103.76	51 995.04	51 883.62	51 769.46

数据来源：财政部政府和社会资本合作中心。

表5 东格高速公路 PPP 项目的特许权价值估算

参数名称	收益波动率 $\sigma$ 取值								
	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
折现率 $k/\%$	3.14	3.22	3.31	3.39	3.48	3.56	3.64	3.73	3.81
特许权价值 $V_T$ /亿元	46.84	46.03	45.25	44.47	43.72	42.98	42.25	41.54	40.84



根据表 5，计算该项目在不同收益波动率下的可行性缺口，见表 6。

3.3 事前补偿情形下的 PPP 项目价值评估

根据表 6，政府一般可设计式（3）所示事前补偿机制。运用表 3 中事前补偿下的 PPP 项目价值评估模型，可基于项目收益波动率的不同取值，分别计算该项目对社会资本方与政府方的价值，见表 7。

表 7 中的结果表明，当项目收益不确定性较低时，社会资本方投资项目的价值仅表现为项目特许权价值，并随项目收益不确定性增加而减少；但当项目收益不确定性较高时，因有政府事前补偿保证社会资本方投资不受亏损，所以随项目收益不确定性增加，政府需支付的补偿越来越高，从而使政府拥有项目价值随之减少。因此，在项目收益不确定性较高情形下，事前补偿因需政府承担过多风险而不利于 PPP 模式的实施。

3.4 双边补偿期权下的 PPP 项目价值评估

根据表 6，如果政府设计双边补偿期权，则由式（11）和式（12），先借鉴吴孝灵等<sup>[6]</sup>的方法，确定超额收益共享比例系数和公信力价值系数分别为  $\alpha = 0.3$

和  $\delta = 1.1$ ，然后计算不同收益波动率下该项目对社会资本方与政府方的价值，见表 8。

表 8 中的结果表明，当项目收益确定或不确定性较低时，该项目对社会资本方和政府方没有确定的价值；但当项目收益不确定性较高时，该项目对社会资本方和政府方的价值都会随项目收益不确定性增加而增加。因此，双边补偿期权有利于促进社会资本方和政府方共担项目风险，符合 PPP 模式的实施本质。

3.5 两种不同补偿情形下的 PPP 项目价值比较

3.5.1 PPP 项目价值评估结果比较

对表 7 和表 8 的结果进行比较可知，面对项目存在的收益不确定性，政府实施双边补偿期权不仅有助于提升项目价值，而且能够使项目对社会资本方和政府方的价值同时随项目收益不确定性增加而增加。但在项目收益确定或不确定性较低时，政府实施事前补偿机制相对补偿期权更有实际意义，因为在事前补偿情形下社会资本方获取项目价值不会低于其对项目的总投资，而补偿期权则因不确定性较低或不存在而没有实际价值。

表 6 东格高速公路 PPP 项目的可行性缺口估算 (单位：亿元)

参数名称	收益波动率 $\sigma$ 取值								
	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
特许权价值 $V_T$	46.84	46.03	45.25	44.47	43.72	42.98	42.25	41.54	40.84
可行性缺口	0	0	0	0.33	1.08	1.82	2.55	3.26	3.96

表 7 东格高速公路 PPP 项目在事前补偿下的价值估算 (单位：亿元)

参数名称	收益波动率 $\sigma$ 取值								
	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
社会资本方价值 $V_S$	46.84	46.03	45.25	44.80	44.80	44.80	44.80	44.80	44.80
政府方价值 $V_G$	44.80	44.80	44.80	44.47	43.72	42.98	42.25	41.54	40.84

表 8 东格高速公路 PPP 项目在双边补偿期权下的价值估算 (单位：亿元)

参数名称	收益波动率 $\sigma$ 取值								
	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
社会资本方价值 $V_S$		52.77	61.74	70.07	77.83	84.88	91.44	97.82	103.34
政府方价值 $V_G$		46.40	48.44	50.32	52.05	53.62	55.06	56.45	57.63

3.5.2 对项目收益不确定的敏感性比较

为更好地比较项目收益不确定性对上述两种不同补偿情形下的 PPP 项目价值影响程度，基于该案例项目在现金流确定假设下是可行的，不妨考虑项目收益波动率较低，选取  $\sigma = 0.1$  为基准，运用表 3 中给定的价值评估模型，对两种情形下的 PPP 项目价值进行收益波动率敏感性分析，结果见表 9。

表 9 中的结果表明，两种不同补偿情形下的 PPP 项目价值对项目收益波动率的敏感性不同。在事前补偿情形下，随收益波动率向上浮动，即收益不确定性增加，PPP 项目对社会资本方和政府方的价值都随之下降，但下降幅度不同，从而敏感度不同。因为，项目收益不确定性增加，需政府承担收益缺口风险，所以政府对收益不确定性的敏感度逐渐变强，而社会资本方因有政府事前补偿给予兜底而对收益不确定性的敏感度逐渐变弱。相反，在双边期权补偿情形下，随收益波动率向上浮动，PPP 项目对社会资本方和政府方的价值都随之上升，但双方对收益不确定性的敏感度都随之下降。因为，在此情形下，双方共担风险、共享收益，收益不确定性增加对双方而言都意味着价值增加，所以双方对收益不确定性的敏感度都逐渐减弱。

因此，通过上述比较可发现，当项目收益不确定

性较高时，双边期权补偿相对事前补偿有助于促进政府方和社会资本方通过共担风险而提高 PPP 项目价值；当项目收益不确定性较低时，事前补偿相对双边期权补偿有助于激励社会资本方积极投资 PPP 项目。

4 结语

本文针对 PPP 项目补偿受制于项目收益不确定的决策困境，首先在收益确定假设下运用净现值方法构建项目特许权价值模型，分析政府补偿决策机理，给出事前补偿决策机制；其次针对项目收益不确定性，借鉴股票金融期权对风险转移方法，引入双边期权补偿机制，并分别构建政府方和社会资本方在双边补偿期权情形下对 PPP 项目价值评估模型；最后将所构建模型应用于昆明东格高速公路项目的价值评估，进行案例研究。结果表明：① 当项目收益不确定性较高时，PPP 项目适合设计双边期权补偿机制，在该补偿机制下社会资本方和政府方的项目价值都将随项目收益不确定性增加而增加，此时双方虽都对收益不确定性较为敏感，但敏感度都随项目收益不确定性增加而降低；② 当项目收益确定或不确定性较低时，PPP 项目适合设计事前补偿机制，在该补偿机制下社会资本方和政府方的项目价值都较为稳定，双方都对收益不确

表 9 两种不同补偿情形下 PPP 项目价值对收益波动率的敏感性比较 (单位:%)

波动率变动幅度	PPP 项目价值变动幅度				PPP 项目价值敏感度			
	事前补偿情形		双边补偿情形		事前补偿情形		双边补偿情形	
	社会资本方	政府方	社会资本方	政府方	社会资本方	政府方	社会资本方	政府方
-50	1.72	0.00	-14.53	-4.21	3.44	0.00	-29.06	-8.42
-25	0.86	0.00	-6.87	-1.98	3.44	0.00	-27.48	-7.92
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	-0.86	0.00	6.53	1.88	-3.44	0.00	26.12	7.52
50	-1.00	-0.74	13.49	3.88	-2.00	-1.48	26.98	7.76
100	-1.00	-2.41	26.06	7.45	-1.00	-2.41	26.06	7.45
150	-1.00	-4.06	37.48	10.69	-0.67	-2.71	24.99	7.13
200	-1.00	-5.69	48.10	13.67	-0.50	-2.85	24.05	6.84

定性不太敏感。本文研究结果不仅为 PPP 项目的政府补偿决策提供了理论参考和实践指引,而且对丰富 PPP 项目价值评估理论具有重要意义。

#### 参考文献

- [1] 国务院办公厅. 国务院办公厅转发国家发展改革委、财政部《关于规范实施政府和社会资本合作新机制的指导意见》的通知; 国办函[2023]115号[A/OL]. (2023-11-03) [2023-11-08]. [https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202311/content\\_6914203.htm](https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202311/content_6914203.htm).
- [2] 吴孝灵. PPP项目私人投资决策与政府补偿对策[M]. 南京: 南京大学出版社, 2018.
- [3] 龚强, 张一林, 雷丽衡. 政府与社会资本合作(PPP): 不完全合约视角下的公共品负担理论[J]. 经济研究, 2019, 54(4): 133-148.
- [4] 吴孝灵, 刘小峰, 周晶, 等. 基于私人过度自信的 PPP 项目最优补偿契约设计与选择[J]. 中国管理科学, 2016, 24(11): 29-39.
- [5] 高颖, 张水波, 冯卓. 不完全合约下 PPP 项目的运营期延长决策机制[J]. 管理科学学报, 2014, 17(2): 48-57.
- [6] 吴孝灵, 周晶, 王冀宁, 等. 依赖特许收益的 PPP 项目补偿契约激励性与有效性[J]. 中国工程科学, 2014, 16(10): 77-83.
- [7] 马光红, 刘蕾蕾, 刘亮, 等. PPP 高速公路项目政府担保价值研究[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2018, 24(4): 642-654.
- [8] 刘小峰, 王雪荣, 吴孝灵. 信贷环境与类型差异情景下的 PPP 项目政府经济承诺决策[J]. 中国管理科学, 2020, 28(6): 63-72.
- [9] 王兵, 张水波, 王秀芹, 等. 基于实物期权的 PPP 项目最优资本结构研究[J]. 管理科学学报, 2019, 22(6): 73-85.
- [10] 吴孝灵, 周晶, 王冀宁, 等. 基于 CAPM 的 BOT 项目“有限追索权”融资决策模型[J]. 管理工程学报, 2012, 26(2): 175-183.
- [11] REN Y. A new measure of insurer franchise value[J]. Journal of Insurance Issues, 2020, 43(1): 1-21.
- [12] 陈占夺. 嵌入双向期权的激励相容型 CoPS 研发合约设计[J]. 管理科学学报, 2019, 22(9): 82-96.
- [13] CHANDRA A, HARTLEY P R, NAIR G. Multiple volatility real options approach to investment decisions under uncertainty[J]. Decision Analysis, 2022, 19(2): 79-187.
- [14] COX J C. The valuation of options for alternative stochastic processes[J]. Journal of Financial Economics, 1976, 3(1-2): 145-166.
- [15] 财政部. 中国国债收益率曲线[EB/OL]. (2023-11-09) [2023-11-09]. [https://yield.chinabond.com.cn/cbweb-czb-web/czb/moreInfo? locale = cn\\_ ZH&nameType = 1&wd = &eqid = ebf864700026d900000000464acbe4b](https://yield.chinabond.com.cn/cbweb-czb-web/czb/moreInfo? locale = cn_ ZH&nameType = 1&wd = &eqid = ebf864700026d900000000464acbe4b).
- [16] 吴孝灵, 周晶, 朱振涛, 等. BOT 项目风险补偿分配研究-CAPM 方法[C] //中国优选法编译法与经济数学研究会. 第十二届中国管理科学学术年会论文集. 北京: 中国管理科学学术年会, 2010.

收稿日期: 2023-12-14

#### 作者简介:

吴孝灵, 男, 1978 年生, 博士研究生、博士后, 副教授, 硕士研究生导师, 主要研究方向: 投资项目评估与 PPP 项目管理。

谭深 (通信作者), 男, 1999 年生, 硕士研究生在读, 主要研究方向: 金融资产评估。

曹文博, 男, 1989 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 金融资产管理。

瞿萌, 女, 1996 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 投资项目评估。