DOI:10.19641/j.cnki.42-1290/f.2018.16.011

垃圾焚烧发电PPP项目处理费定价探讨

——基于风险管理的定量分析

韦海民(副教授)，鲁 伟

【摘要】确定科学合理的垃圾焚烧处理费对垃圾焚烧发电PPP项目的正常运行和行业的持续健康发展具有重要意义。在分析PPP模式下垃圾焚烧发电项目处理费的定价原则及定价要素的基础上，采用多案例分析法识别出垃圾焚烧发电PPP项目处理费定价中7大类15项风险，并运用TFN-AHP法、集值统计法和统计分析法对风险进行量化，构建风险垃圾日焚烧量、风险投资成本、风险经营成本和风险投资收益率四个风险变量，采用财务净现值法建立垃圾焚烧发电PPP项目处理费NPV定价模型。最后以实际案例验证了定价模型的合理性。

【关键词】垃圾焚烧发电PPP项目；风险量化；风险变量；处理费定价模型

【中图分类号】F283;X705　　【文献标识码】A　　【文章编号】1004-0994(2018)16-0091-7

一、引言

伴随着城市的不断发展，大量资源被消耗，由此带来的城市垃圾指数化增长问题对城市发展和经济建设造成了严重阻碍。垃圾焚烧发电方式可有效减少土地占用，更好地实现垃圾的无害化处理，同时余热发电可创造经济收益，因此正逐渐成为解决“垃圾围城”问题最有效的途径。现阶段，垃圾焚烧发电项目多采用PPP模式，需政府按特许经营协议的约定支付垃圾焚烧发电PPP项目处理费(以下简称“垃圾焚烧处理费”)，作为项目的成本补偿以及合理利润，满足项目的盈利要求。因此，对垃圾焚烧处理费的合理定价进行研究，有助于提高社会资本的投资积极性，对垃圾焚烧发电行业的发展具有积极意义。

二、文献综述

有关PPP模式下垃圾焚烧发电的研究中，宋金波等[1]采用案例分析法识别归纳了垃圾焚烧发电BOT项目的各项风险，针对筛选出的八项关键风险做出分析并提出应对策略。Bon-Gang Hwang等[2]通过研究11个已经完成的成功案例得出影响PPP项目的主要风险因素。赵维纳等[3]对PPP模式下垃圾焚烧发电项目的风险进行总结归纳，在垃圾焚烧处理费的定价和调价方面做出了初步探索。宋国君等[4]建立了基于LCA的垃圾焚烧成本核算方法。叶苏东[5]运用形态学分析方法，设计出垃圾焚烧发电项目的四种偿付方式。麦伟仪等[6]运用NPV法构建了垃圾焚烧处理费价格计算模型。姚张峰等[7]和Xu Y.等[8]都采用系统动力学方法，分别构建了PPP模式下垃圾焚烧处理费项目和PPP公路项目的定价模型，其中Xu Y.等[8]定量考虑了定价要素和风险因素的关系。Shen L. Y.等[9]在考虑参与方收益均衡的基础上，建立了BOT项目特许经营期的财务净现值模型。何利辉[10]对PPP模式下特许经营项目的定价原理和关键因素进行了分析，提出了定价与调价的策略。郭斌等[11]对PPP模式下准经营性项目的价格

【基金项目】陕西省社会科学基金项目“PPP模式下陕西省地下综合管廊入廊定价研究”(项目编号：2017S012)；西安市社会科学基金项目“西安市地下综合管廊PPP项目入廊定价与调价研究”(项目编号：18J214)；陕西省教育厅专项科研计划项目(项目编号：11JK0069)

形成机制进行系统分析后，搭建了博弈定价模型并通过案例验证了模型的科学合理性。翟媛[12]对PPP模式下准公益性和公益性水利项目的回报机制进行了设计，分析了定价与调价机制，并提出建立动态投资回报机制。蔡丽婷[13]通过对实际案例的分析，从价格的初始制定及其调整方面提出了PPP项目的价格机制完善路径。这些研究成果对本文均有一定指导作用。

综合以上研究，垃圾焚烧发电PPP项目投资额巨大、专用性强，面临各种风险和不确定性因素的影响，已有的研究将项目的风险程度对垃圾焚烧处理费的影响考虑得不充分，主要是在项目实施过程中依据风险程度调整处理费价格，由此增加了政府与社会资本之间再谈判的可能，从而产生新的交易成本。本文对风险进行识别及量化，前置考虑风险对垃圾焚烧处理费定价的影响，实现基于风险管理的垃圾焚烧处理费定价。

三、垃圾焚烧处理费的定价分析

1. *定价原则*。垃圾焚烧处理费定价的目标是确保项目更好地运营，促进 PPP模式下垃圾焚烧发电领域的发展，最终造福社会大众。在这个过程中，必须兼顾各方的利益，遵循以下定价原则。

（1）各方平衡。各参与方利益需求的满足是垃圾焚烧发电PPP项目成功的基础。垃圾焚烧发电项目一般具有较强的地区垄断性，在市场定价规则下，采用边际成本等于边际收益的定价方式会损害社会公众福利，因此在垃圾焚烧处理费价格制定方面应秉承平衡的原则，对社会资本的超额利润进行限制，在保证其正常利润的同时满足社会效益的要求。

（2）风险与收益对等。在风险分担的研究中，当选择承担某一风险时，应相应地获得收益，否则会打击参与者的积极性，风险的承担也将没有意义。垃圾焚烧项目具有投资额巨大、设备的专用性高、投资不可逆性强等特点，因此在制定垃圾焚烧处理费价格时，应完整地评估风险并进行量化，将风险应对成本内化于处理费价格中。

（3）促进运营。PPP模式下的垃圾焚烧发电项目可以有效地解决垃圾围城问题，但同时也要满足环境标准，这对项目运营提出了很高的要求，因此在制定垃圾焚烧处理费价格时应考虑激发经营者的积极性，促使企业不断提升管理水平，提高运营效率。

（4）动态调整。垃圾焚烧发电项目定价完成后，随着项目的发展，内外部条件也会随之发生改变，使得风险因素呈现不同的状态，对项目产生的影响也就不同，因此应从项目进入运营阶段起就对垃圾焚烧处理费保持动态的调整。

2. *定价要素*。PPP项目的特许价格制定一般涉及成本核算、收入预估、项目投资收益水平确定等方面，同时受到新厂价格压力、特许经营期和政府/使用者接受水平等多种因素的影响。

政府支付的垃圾焚烧处理费和项目自身售电收入是PPP模式下垃圾焚烧发电项目最主要的两部分收入。如果售电收入不能达到预期的设计水平，那么必然需要提高垃圾焚烧处理费，才能实现预期收益。成本是垃圾焚烧处理费定价的基础要素，可分为投资成本和经营成本。社会资本方的投资以获取利润为目的，期望收回项目全部投资并取得满意的投资收益，因此投资收益率作为项目财务分析的重要参数，影响着项目整体收益。垃圾焚烧发电PPP项目一般由政府发起，在一定地域范围内具有垄断性，因此不考虑新厂的价格压力。另外，政府在采购阶段就对特许经营期限做出明确规定，而对于政府/使用者接受水平，垃圾焚烧发电项目是政府支付垃圾焚烧处理费，主要考虑政府的财政承受能力，需在价格制定后予以验证。

综合以上分析，对垃圾焚烧处理费进行定价时应主要考虑收入、成本、投资收益率三方面要素。

四、垃圾焚烧处理费定价的风险管理

依据利益相关者理论进行分析，政府和社会资本全程参与垃圾焚烧发电PPP项目的投融资、建造、运营管理和移交等阶段，因此政府和私人部门是垃圾焚烧发电PPP项目的核心利益相关者。本文的风险管理过程在政府和社会资本之间进行。在确定PPP模式下垃圾焚烧发电项目处理费价格的过程中，将公私双方的风险对垃圾焚烧处理费的影响进行量化，以参数形式引入定价模型中，得出的价格可抵御后期风险的发生，促进项目运营效率的提高，为公众带来更加优质的服务。

1. *风险因素识别*。本文采用多案例研究法，对国内已有的20个垃圾焚烧发电项目的风险事件进行整理分析，并结合已有文献，从宏观层面进行了补充，加入案例中没有但必须考虑的风险因素，如通货膨胀、不可抗力等。最终将风险因素归为建设风险、供应风险、运营风险、政策风险、金融风险、社会风险和不可抗力7大类，为了给后期的风险量化和风险分担研究提供有效的风险指标，进一步细分出15项

风险，具体如表1所示。

表1　　垃圾焚烧处理费定价风险因素分类

建设风险	供应风险	运营风险	政策风险	金融风险	社会风险	不可抗力
工期拖延风险	垃圾供应不足风险	设备/技术选择风险	环保标准变化风险	利率/汇率的变化风险	公众反对风险	自然灾害/政治事件风险
工程质量风险		生产要素价格上涨风险				
原材料价格上涨风险	垃圾品质不良风险	市政配套设施完善风险	税收变化风险	通货膨胀风险		
		项目公司运营效率风险				

风险存在的充分条件是潜在损失，即项目收入的减少或者成本的增加，一种风险可能会对多个定价要素产生影响，由此建立起风险因素对定价要素的影响路径，见图1。

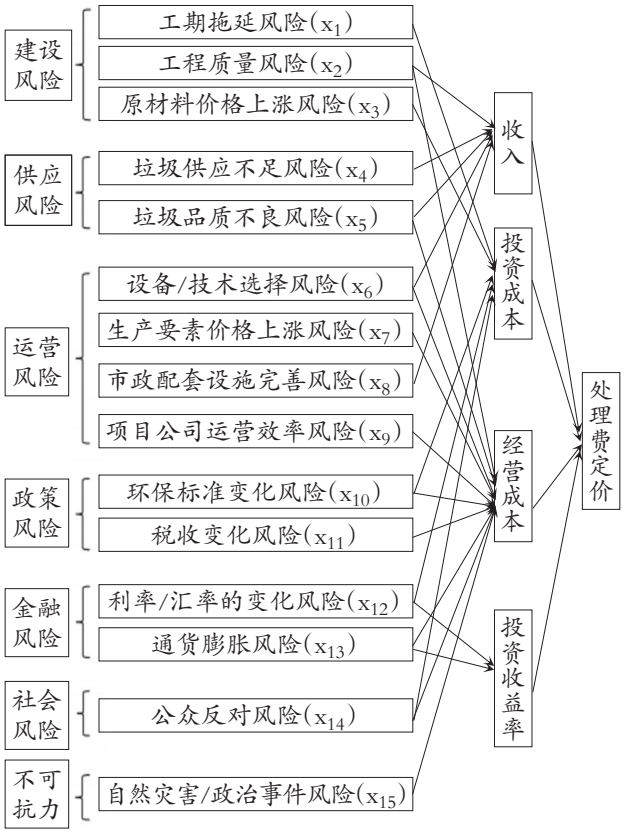

图1　风险因素及其对定价要素的影响路径

2. 风险量化。对风险进行科学合理的定量化评估，了解各项风险可能造成的损失后果、发生概率以及分担比例，正确反映各项风险对垃圾焚烧处理费定价的不同影响，才能使最终制定的价格更合理、更可靠。

（1）风险损失大小计算。本文运用TFN-AHP法对各项风险的损失权重进行评估，弱化了主观意见的影响，使数据更为精确。将垃圾焚烧发电PPP项目处理费定价风险设为目标层，7大类风险设为准则层，15项细分风险设为指标层，建立系统递阶层次模型。同一层次的风险因素进行两两重要性比较，构造三角模糊数模糊判断矩阵，计算同层次n种风险对上层风险的综合损失大小程度值，M_i为第i种风险对上层风险的综合损失大小：

$$M_i=\sum_{j=1}^{n}M_{E_i}^{j}\otimes\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}M_{E_i}^{j}\right)^{-1}$$

$$(i=1,2,\cdots,n;j=1,2,\cdots,n)\qquad(1)$$

其中，$M_{E_i}^{j}$为第i种风险与其他同级风险j两两比较的三角模糊数。再对每一层次进行层次单排序，第i种风险相对于其他各风险因素造成损失更大的可能性程度：

$$d'(A_i)=\min_{j=1,2,\cdots,n,j\neq i}\vee(M_i>M_j)(i=1,2,\cdots,n)\qquad(2)$$

然后进行归一化处理，即可得到该层次的风险损失大小：

$$\omega=[d(A_1),d(A_2),\cdots,d(A_n)]^T\qquad(3)$$

完成各层次中各风险的损失程度排序后，各指标层风险因素相对于垃圾焚烧处理费风险（目标层）的损失严重程度，为准则层风险因素在目标层影响下的权重与准则层风险因素影响下指标层风险因素权重的乘积。

（2）风险发生概率的估算。本文采用集值统计法估算细分的15项风险的发生概率。将每项风险的发生概率以区间表示，所有估值构成一个集值统计序列：$[p_1^1,\ p_2^1],[p_1^2,\ p_2^2],\cdots,[p_1^N,\ p_2^N]$。由N个估值区间叠加在数轴上所形成的分布，可计算得到各项风险发生的概率估计值：

$$\bar{p}=\frac{1}{2}\sum_{k=1}^{n}\left[(p_2^k)^2-(p_1^k)^2\right]/\sum_{k=1}^{n}(p_2^k-p_1^k)\qquad(4)$$

需对各项风险发生概率的估计值进行可信度检验，其离散程度记为：

$$g=\frac{1}{3}\sum_{k=1}^{n}\left[(p_2^k-\bar{p})^3-(p_1^k-\bar{p})^3\right]/\sum_{k=1}^{n}(p_2^k-p_1^k)\qquad(5)$$

如果对某风险发生概率的估计比较一致，则g值小且可信度较高，在数值轴上的分布会较集中，反之，如果分布分散，则可信度较低。

（3）风险分担比例的确定。PPP项目的风险分担应该遵循最优分配原则，使风险管理的成本最低，同

时在风险收益对等的基础上满足风险可控的原则。本文基于以上分担原则，运用统计分析法进行公私双方风险分担比例的确定。问卷打分方式采用Likert5点量表法：政府完全承担风险，打1分；政府主要承担风险，打2分；政府与社会资本共担风险，打3分；社会资本主要承担风险，打4分；社会资本完全承担风险，打5分。风险分担方式分值如图2所示，具体得分含义如表2所示。

图 2 风险分担方式分值

表 2 风险分担得分含义

分值X	风险分担类型	政府分担比例区间	社会资本分担比例区间
1≤X<1.5	政府完全承担	100%	0%
1.5≤X<2.5	政府主要承担	50%~100%	0~50%
2.5≤X<3.5	政府和社会资本共担	50%	50%
3.5≤X<4.5	社会资本主要承担	0~50%	50%~100%
4.5≤X<5	社会资本完全承担	0	100%

统计问卷中对15项风险的打分取平均值并进行置信检验，由此得到有说服力的数据，采用线性内插法计算出风险分担比例，结果如表3 所示。

表 3 公私双方风险分担比例

风险因素分类	均值	风险分担类型	社会资本分担比例	政府分担比例
工期拖延风险	3.75	社会资本主要分担	63%	37.5%
工程质量风险	4.98	社会资本完全分担	100%	0
原材料价格上涨风险	4.96	社会资本完全分担	100%	0
垃圾供应不足风险	2.44	政府主要分担	47%	53%
垃圾品质不良风险	2.38	政府主要分担	44%	56%
设备/技术选择风险	4.20	社会资本主要分担	85%	15%
生产要素价格上涨风险	4.98	社会资本完全分担	100%	0
市政配套设施完善风险	1.98	政府主要分担	24%	76%
项目公司运营效率风险	4.93	社会资本完全分担	100%	0
环保标准变化风险	2.36	政府主要分担	43%	57%
税收变化风险	1.96	政府主要分担	23%	77%
利率/汇率的变化风险	2.53	政府和社会资本共担	50%	50%
通货膨胀风险	3.27	政府和社会资本共担	50%	50%
公众反对风险	2.00	政府主要分担	25%	75%
自然灾害/政治事件风险	3.05	政府和社会资本共担	50%	50%

3. 风险影响程度计算。在风险识别的基础上，完成风险损失权重、风险发生概率以及风险分担等量化工作，可以得到风险影响程度，计算公式如下：

$$Y_i=W_i\times P_i\times X_i \quad (6)$$

其中：Y_i为某风险影响程度值；W_i为某风险损失权重；P_i为某风险发生的概率；X_i为某风险分担比例。

要确定承担某项风险后所要付出的代价，需要用风险影响程度再乘以该风险对其造成影响的具体标的。

五、垃圾焚烧处理费定价模型的建立

1. 风险定价变量。根据风险因素与定价要素之间的影响路径，将风险因素对定价要素造成的影响量化于定价要素之内，得到风险定价变量。

（1）风险对收入的影响。垃圾焚烧的收入主要是由垃圾焚烧处理费收入、售电收入两部分组成，而售电收入与垃圾焚烧量密切相关。售电收入等于垃圾焚烧量、每顿垃圾折算上网电量与垃圾发电标杆电价三者的乘积。因此，风险实际上是通过作用于垃圾焚烧量来影响收入。

风险的发生会导致垃圾焚烧量的下降，在原有垃圾日焚烧量设计值Q的基础上减去风险可能造成的日焚烧量的减少值，得到一个新的垃圾日焚烧量，称为风险垃圾日焚烧量。影响垃圾焚烧量的风险有：工程质量风险（x_2）、垃圾供应不足风险（x_4）、垃圾品质不良风险（x_5）、设备/技术选择风险（x_6）、市政配套设施完善风险（x_8），则风险垃圾日焚烧量Q_r的计算表达式如下：

$$Q_r = Q - \sum_{i=2,4,5,6,8} Q_i \quad (7)$$

$$Q_i=Q\times Y_i \quad (i=2,4,5,6,8) \quad (8)$$

其中：Q_r为风险垃圾日焚烧量；Q_i为第i种风险造成的垃圾日焚烧量的减少量；Y_i为第i种风险的风险影响程度。

（2）风险对投资成本的影响。风险的发生会导致投资成本的增加，在原有的设计投资成本I的基础上加上风险可能造成的投资额的增加值，得到一个新的投资成本，称为风险投资成本。影响投资成本的风险有：工期拖延风险（x_1）、原材料价格上涨风险（x_3）、环保标准变化风险（x_{10}）、利率/汇率的变化风险（x_{12}）、公众反对风险（x_{14}），则风险投资成本I_r的计算表达式如下：

$$I_r = I + \sum_{i=1,3,10,12,14} I_i \quad (9)$$

$$I_i=I\times Y_i \quad (i=1,3,10,12,14) \tag{10}$$

其中：I_r为风险投资成本；I_i为第i种风险造成的投资成本的增加量；Y_i为第i种风险的风险影响程度。

（3）风险对经营成本的影响。同样地，在原有的设计经营成本C的基础上加上风险可能造成的经营成本的增加值，可构造一个风险经营成本计算式。影响经营成本的风险有：工程质量风险（x_2）、垃圾品质不良风险（x_5）、设备/技术选择风险（x_6）、生产要素价格上涨风险（x_7）、项目公司运营效率风险（x_9）、环保标准变化风险（x_{10}）、税收变化风险（x_{11}）、通货膨胀风险（x_{13}）、公众反对风险（x_{14}）、自然灾害/政治事件风险（x_{15}），则风险经营成本C_r的计算表达式如下：

$$C_r=C+\sum_{i=2,5,6,7,9,10,11,13,14,15} C_i \tag{11}$$

$$C_i=C\times Y_i \quad (i=2,5,6,7,9,10,11,13,14,15) \tag{12}$$

其中：C_r为风险经营成本；C_i为第i种风险造成的经营成本的增加量；Y_i为第i种风险的风险影响程度。

（4）风险对收益率的影响。风险导致真实的投资收益率降低，只有提高价格才能使其恢复。同样在初始折现率R的基础上构造一个风险投资收益率的计算式。影响投资收益率的风险有：利率/汇率的变化风险（x_{12}）、通货膨胀风险（x_{13}），则风险投资收益率R_r的计算表达式如下：

$$R_r=R+\sum_{i=12,13} R_i \tag{13}$$

$$R_i=R\times Y_i \quad (i=12,13) \tag{14}$$

其中：R_r为风险投资收益率；R_i为第i种风险造成的投资收益率的降低值；Y_i为第i种风险的风险影响程度。

2. 模型的建立。本文引入净现值理论建立垃圾焚烧发电PPP项目处理费定价模型。将项目的现金流量按照可行的基准收益率进行折现，得出的净现值大于或等于零时项目方案被接受。如此，创造现金流量的单位服务价格就可以满足项目经营目标的实现。

以特许经营期作为项目生命周期、以风险投资收益率R_r作为折现率、以P表示垃圾焚烧处理费单价，可得到垃圾焚烧处理费NPV定价模型：

$$NPV=-\sum_{n=1}^{T_0}\frac{I_{rn}}{(1+R_r)^n}+\sum_{n=T_0+1}^{T_1}\frac{(Q_{rn}\times 365)\times(P+280\times 0.65)-C_{rn}}{(1+R_r)^n} \tag{15}$$

其中：T_0为项目建设期；T_1为项目运营期；I_{rn}为项目在第n年的风险投资成本；C_{rn}为项目第n年的风险经营成本；Q_{rn}为项目在第n年的风险垃圾日焚烧量。

令式（15）中NPV=0，即可得到垃圾焚烧处理费单价P。这个价格是充分考虑各项风险对项目定价的影响并在公私双方合理分担的基础上得出的，下文将通过实际案例验证模型的合理性。

3. 价格调整。垃圾焚烧发电PPP项目的特许经营期较长，初始定价具有一定的风险抵御能力，同时也应在特许协议中对价格调整机制进行设置，明确价格调整触发条件。在项目运营开始阶段，根据初期的预测和设计结果的落地情况进行价格的首次调整，此后在项目运营期间，需保持对价格的动态调整，对影响价格的各项指标实施动态监控，当指标变动导致运营成本、收入等发生变化而使项目实际现金流与期初的预估现金流差异达到一定程度后触发调整条件，对价格予以调整，确保私人部门的合理收益和项目正常运作。

六、实例应用

河南省尉氏县生活垃圾焚烧发电PPP项目，首期建设一条日焚烧量400吨的生产线。项目以BOT方式运行，社会资本全额出资，总投资为26221万元，分两年投入，第一年投入60%，次年投入40%。项目折现率约为4.75%，合理利润率拟定为 8%。自项目建设完成后转入运营阶段，政府开始支付垃圾焚烧处理费，支付周期为28年，年度运营成本为1317.46万元。

1. 风险损失权重计算。依据上文的研究，对各项风险的损失权重予以评估，结果如表4所示。

2. 风险发生概率计算。依据上文的研究，统计得出各项风险发生概率的综合估计值，并进行可信性检验，结果如表5所示。

各项风险概率估计的g值均较小，表明对各项风险发生概率的估计相对比较集中，所得数据可以继续参与下面的计算。

3. 垃圾焚烧处理费的计算。根据式（7）～（14），计算各项风险变量的结果，其中：风险垃圾焚烧量Q_r=319.54（t/d）；风险投资成本I_r=28166.74（万元）；风险经营成本C_r=1558.35（万元）；风险折现率R_r=4.842%。将以上数值代入模型（15）中，令NPV等于

表 4　垃圾焚烧处理费定价风险的各级指标损失权重

目标层	准则层	准则层风险相对于目标层的权重 Ⅰ	指标层	指标层风险在对应准则层下的权重 Ⅱ	指标层风险相对于目标层的权重 Ⅲ=Ⅰ×Ⅱ
垃圾焚烧处理费定价风险	建设风险A	0.205	工期拖延风险A_1	0.363	0.075
			工程质量风险A_2	0.550	0.113
			原材料价格上涨风险A_3	0.087	0.018
	供应风险B	0.312	垃圾供应不足风险B_1	0.634	0.198
			垃圾品质不良风险B_2	0.366	0.114
	运营风险C	0.241	设备/技术选择风险C_1	0.372	0.090
			生产要素价格上涨风险C_2	0.136	0.033
			市政配套设施完善风险C_3	0.484	0.117
			项目公司运营效率风险C_4	0.008	0.002
	政策风险D	0.049	环保标准变化风险D_1	0.725	0.036
			税收变化风险D_2	0.275	0.014
	金融风险E	0.077	利率/汇率的变化风险E_1	0.295	0.023
			通货膨胀风险E_2	0.705	0.054
	社会风险F	0.094	公众反对风险F_1	1	0.094
	不可抗力G	0.021	自然灾害/政治事件风险G_1	1	0.021

表 5　垃圾焚烧处理费风险概率

风险因素	各风险概率综合估计值(%)	g值
工期拖延风险A_1	68	2.318
工程质量风险A_2	44	0.940
原材料价格上涨风险A_3	77	3.266
垃圾供应不足风险B_1	73	2.089
垃圾品质不良风险B_2	80	2.315
设备/技术选择风险C_1	34	3.135
生产要素价格上涨风险C_2	88	3.363
市政配套设施完善风险C_3	64	1.143
项目公司运营效率风险C_4	39	1.534
环保标准变化风险D_1	45	3.143
税收变化风险D_2	60	2.462
利率/汇率的变化风险E_1	68	2.314
通货膨胀风险E_2	43	2.821
公众反对风险F_1	57	2.947
自然灾害/政治事件风险G_1	36	1.348

0，计算得出垃圾焚烧处理费单价为123.52元。

4. 政府财政承受能力分析。经模型计算得到的垃圾焚烧处理费价格应通过政府财政承受能力论证，即年度PPP项目需从政府财政预算中安排的支出责任不得超过一般公共预算的10%。考虑到项目完全由社会资本出资且红线内无配套支出责任，在进行政府财政承受能力评估时，只需对项目的可行性缺口补助和政府风险承担支出予以测算。可行性缺口补助支出的计算公式为：

当年运营补贴支出数额=[项目全部建设成本×(1+合理利润率)×(1+年度折现率)^n]/财政运营补贴周期(年)+年度运营成本×(1+合理利润率)−当年使用者付费数额

目前对于政府风险承担支出的测算还没有明确的计算公式，上文对项目的风险已经进行识别并对损失大小和概率做出测算，政府承担的比例也已经明确，因此将政府风险承担支出与可行性缺口补助计算相结合，将风险的影响作用在可行性缺口补贴计算的各项参数上，得到政府承担风险时的项目全部建设成本、年度运营成本及年度折现率，而当年的使用者付费数额为垃圾焚烧售电收入，需计算政府承担风险的垃圾日焚烧量。

参照风险变量的计算，得到政府承担风险时项目建设成本为：I_r'=28231.36(万元)；年度运营成本为：C_r'=1484.8(万元)；垃圾日焚烧量为：Q_r'=324.34(t/d)；年度折现率为：R_r'=4.842%。由此可计算出政府各年的可行性缺口补助和政府风险承担支出，再根据已获取的项目数据，进行政府财政承受能力评估：

项目的可行性缺口补助和政府风险承担支出共计50500万元，每年的支出责任均未超过一般公共预算的10%，且本项目为当地第一个应用PPP模式的建设项目，故符合政府财政承受能力的要求。

模型测算的垃圾焚烧处理费单价为123.52元，按照每年垃圾处理规模的设计值计算，则运营期28年内共需支付垃圾焚烧处理费50494.98万元(123.52×14.6×28)，较可行性缺口补助测算的运营补贴费更少，处于政府财政承受能力范围内。因此，本模型测算出的垃圾焚烧处理费的价格是合理适用的。

七、结论

在对垃圾焚烧发电PPP项目定价风险因素进行识别的基础上，对风险的损失权重、发生概率和分担比例进行了量化操作，构建风险定价变量，并采用财务净现值法构建垃圾焚烧发电项目处理费NPV定价模型，然后通过实际案例分析，证明了计算出的垃圾焚烧处理费单价符合政府财政承受力的要求，模型具有一定的合理性和实用性，可为实际项目的定

表 6　项目每年需从PPP财政支出数额及所占比例

年份	预计一般公共财政支出(万元)	PPP财政支出上限(万元)	本项目年支出(万元)	占比
2018	488795	48879.5	622.55	1.27%
2019	527898	52789.8	677.83	1.28%
2020	570130	57013	735.79	1.29%
2021	615741	61574.1	796.55	1.29%
2022	665000	66500	860.25	1.29%
2023	718200	71820	927.04	1.29%
2024	775656	77565.6	997.06	1.29%
2025	837708	83770.8	1070.47	1.28%
2026	904725	90472.5	1147.44	1.27%
2027	977103	97710.3	1228.13	1.26%
2028	1055271	105527.1	1312.74	1.24%
2029	1139693	113969.3	1401.43	1.23%
2030	1230868	123086.8	1494.42	1.21%
2031	1329338	132933.8	1591.92	1.20%
2032	1435685	143568.5	1694.14	1.18%
2033	1550539	155053.9	1801.30	1.16%
2034	1674583	167458.3	1913.65	1.14%
2035	1808549	180854.9	2031.45	1.12%
2036	1953233	195323.3	2154.94	1.10%
2037	2109492	210949.2	2284.42	1.08%
2038	2278251	227825.1	2420.17	1.06%
2039	2460511	246051.1	2562.49	1.04%
2040	2657352	265735.2	2711.70	1.02%
2041	2869940	286994	2868.13	1.00%
2042	3099536	309953.6	3032.14	0.98%
2043	3347498	334749.8	3204.09	0.96%
2044	3615298	361529.8	3384.37	0.94%
2045	3904522	390452.2	3573.38	0.92%

价提供参考。同时本文前置考虑风险对垃圾焚烧处理费定价的影响，可以避免运营过程中再谈判和交易成本的发生，提升项目运营效率，进而促进垃圾焚烧行业的可持续发展。

主要参考文献：

[1] 宋金波，宋丹荣，孙岩. 垃圾焚烧发电BOT项目的关键风险：多案例研究[J]. 管理评论，2012(9)：40～48.

[2] Bon-Gang Hwang, Xianbo Zhao, Mindy Jiang Shu Gay. Public private partnership projects in Singapore: Factors, critical risks and preferred risk allocation from the perspective of contractors[J]. International Journal of Project Management，2013(3)：66～80.

[3] 赵维纳，闫琰，赵雷，刘颢. 垃圾焚烧发电BOT项目风险应对机制研究[J]. 能源研究与利用，2014(4)：47～50.

[4] 宋国君，孙月阳，赵畅，刘帅，王颖. 城市生活垃圾焚烧社会成本评估方法与应用——以北京市为例[J]. 中国人口·资源与环境，2017(8)：17～27.

[5] 叶苏东. 城市垃圾焚烧发电BOT项目的偿付机制[J]. 北京交通大学学报(社会科学版)，2014(4)：25～30.

[6] 麦伟仪，杨东超，杜海，唐兰，赵矿美. 城市生活垃圾等离子体气化发电CDM项目经济性分析[J]. 现代化工，2017(6)：8～14.

[7] 姚张峰，许叶林，龚是滔. 关于PPP垃圾焚烧发电项目特许定价研究——基于系统动力学理论分析[J]. 价格理论与实践，2017(4)：132～135.

[8] Xu Y., Sun C., Skibniewski M. J., et al.. System Dynamics (SD)-based concession pricing model for PPP highway projects[J]. International Journal of Project Management，2012(2)：240～251.

[9] Shen L. Y., Bao H. J., Wu Y. Z., et al.. Using Bargaining-Game theory for negotiating concession period for BOT-Type contract[J]. Journal of Construction Engineering and Management，2007(5)：385～392.

[10] 何利辉. PPP模式下特许经营项目定价机制探究[J]. 中国财政，2016(2)：34～35.

[11] 郭斌，张晶. PPP模式下准经营性项目产品定价问题研究：模型建构与案例验证[J]. 现代财经：天津财经大学学报，2017(5)：26～35.

[12] 翟媛. 关于准公益性和公益性水利项目PPP回报机制的探索[J]. 水利规划与设计，2017(6)：150～153.

[13] 蔡丽婷. 完善PPP公共项目价格机制的路径探讨——以福建PPP公共项目分析为例[J]. 价格理论与实践，2016(4)：137～139.

作者单位：西安建筑科技大学管理学院，西安710055