

无废城市 PPP 项目风险识别与分担研究

赵维树, 张禾伟

(安徽建筑大学 经济与管理学院, 安徽 合肥 230601)

摘要: 为顺应当下绿色发展的时代主题, 响应将 PPP 模式引入无废城市建设的政策要求, 在结合大量国内外学者的研究基础上, 把无废城市 PPP 项目中共担风险识别与分担作为研究对象。运用集值统计分析识别共担风险, 依据讨价还价博弈理论构建共担风险最优分担模型, 形成无废城市 PPP 项目建设的独特风险分担机制。通过义安区案例, 将风险按照宏观、中观、微观进行分类, 定量求解参与项目的政府部门和社会资本方共担风险的承担比例。研究发现, 双方共担风险的实际承担比例与谈判损耗直接相关, 因此双方应该在谈判过程中重视谈判成本的控制, 尽可能实现公平谈判。研究结果可丰富无废城市 PPP 项目共担风险分担理论, 推动无废城市建设。

关键词: 工程管理; 无废城市; 集值统计; 博弈论; 风险比例划分

中图分类号: F293

文献标识码: A

文章编号: 2095-8382(2022)03-097-08

Research on Risk Identification and Sharing of PPP Projects in Zero-Waste City Construction

ZHAO Weishu, ZHANG Hewei

(School of Economics and Management, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China)

Abstract: To respond to green development and the policy requirement of introducing the PPP mode into zero-waste city construction, the risk identification and sharing in zero-waste city PPP projects are studied based on a large number of domestic and foreign scholars' researches. Using set-value statistical analysis to identify shared risks and the bargaining game theory to construct the optimal risk sharing model, a unique risk sharing mechanism for PPP projects in zero-waste city construction is formed. Through the case of Yi'an District, the risks are classified into macro, meso and micro levels, and the proportion of shared risks between the government and social capitals is quantified. It is found that the actual proportion of risk sharing between the two parties is directly related to the negotiation loss, so both parties should control the cost in the negotiation process and achieve fair negotiation as much as possible. The research can enrich the theory of risk sharing in PPP projects of zero-waste city and promote the construction of zero-waste cities.

Keywords: engineering management; zero-waste cities; set value statistics; game theory; risk proportion division

随着社会经济发展不断加快,城市固体废弃物排放量也急剧增多,如何在此背景下提升城市生态环境质量和城市宜居水平,已经成为城市发展的重

点问题。2019年1月,国务院办公厅出台《“无废城市”建设试点工作方案》,旨在推行无废城市试点建设,在未来形成可供借鉴、可供推广的无废城

收稿日期: 2021-10-08

基金项目: 安徽省高校人文社会科学研究基金资助项目(SK2018A0568); 安徽省教育厅人文社科重大项目(SK2019ZD51)

作者简介: 赵维树(1963-),男,副教授,硕士生导师,研究方向: 工程项目管理、工程造价管理;

张禾伟(1997-),男,硕士研究生,研究方向: 工程投资与造价管理。

市示范模式,从而在全国范围内营造良好的城市环境,提升城市宜居水平,实现可持续发展战略目标。但由于相关法律不完善、投资回收期长、废弃物资源化技术不成熟等原因,无废城市项目建设过程中的潜在风险比一般建设项目更多。因此,该方案提倡依法合规地探索政府部门与社会资本合作的 PPP 模式^[1],从而合理分配政府与社会资本方之间的共担类风险,提高项目治理水平,推动无废城市项目建成。找出无废城市 PPP 项目中的共担风险、实现共担风险在政府与社会资本方之间的最优分担,是项目成功的关键因素,也具有理论和实践的双重意义。

1 文献综述

国内外专家学者对于无废城市的研究主要集中在建设路径方面。郭志达^[2]从我国无废城市建设背景出发,从六个方面探索了无废城市的建设路径;LEE Roh Pin^[3]通过分析现阶段垃圾气化技术,总结出建设无废城市垃圾气化技术的发展方向;赵曦^[4]通过建立固体废物处理基地建设水平指标体系,量化无废城市标准的建设水平。

PPP 模式项目风险研究主要集中在风险识别和风险分担两个方面。风险识别主要通过文献调查、案例分析和统计评分等定性方法实现。王志刚^[5]立足不完全契约理论提出了项目风险的识别与化解路径;Hwang 等^[6]通过问卷调查法列出新加坡 PPP 项目关键风险清单,为项目建设提供参考;Hastak^[7]通过建立国际建设风险评估模型(ICRAM-1)识别国际建设项目所涉及的风险;D Grimsey 等^[8]通过分析项目风险评价指标建立风险识别框架。

而关于风险分担的研究,国内外学者用不同的分析方法从定性和定量两种不同的形式确定合理的分担方案,其中定性研究以统计分析的方式对调查取得的项目各参与方风险分担偏好等数据进行分析。Loosemore 等^[9]从 PPP 项目的风险识别和反应出发,建立风险分担体系;Rashed 等^[10]探究政府的不同运行机制等对风险分担的影响,提出实现风险合理分担的有效路径,定量研究通过建立数学模型量化 PPP 项目各参与方的风险管理能力,并确定风险的具体分担比例;Jin 等^[11]通过建立人

工神经网络(ANN)模型计算出项目各参与方风险分担比例;王军武^[12]构建基于演化博弈的轨道交通 PPP 项目风险分担模型,确定不同策略演化情形下风险分担系数。

综上,对于无废城市的研究尚处于建设路径的探索阶段,关于无废城市建设,尤其是将无废城市与 PPP 模式结合的建设形式风险研究很少,同时对于 PPP 模式风险的研究很少使用定性与定量相结合的方式,导致风险识别和风险共担分析过程主观因素影响较大。

2 无废城市 PPP 项目共担风险的识别

目前无废城市 PPP 项目正处于试点建设阶段,关于无废城市 PPP 项目的风险理论尚未形成完整体系。无废城市 PPP 项目共担风险识别需要专家依据自身经验和知识评价风险共担程度,评价结果具有较强的主观性,使用传统的经典统计和模糊统计方法难以消除评价结果中主观因素的影响。集值统计^[13]尤其适合程度类评价结果的分析,评分专家对需要评价共担程度的风险给出评分区间,运用集值统计方法即可精确计算该区间在空间中点的离散度,从而判断专家评价结果的可信程度,准确识别出共担程度满足要求的风险。

设计调查问卷以获取评分专家无废城市 PPP 项目风险的共担程度评价,问卷采用 Likert 五级量表法设计,划分评语集 $V=\{V1, V2, V3, V4, V5\}=\{$ 该风险不是共担风险,说不清是不是共担风险,较认同该风险为共担风险,认同该风险属于共担风险,该风险完全属于共担风险 $\}$,建立评语值标尺,见图 1。评分专家均为参与无废城市 PPP 项目的建设人员,从政府部门和私人部门中分别聘请,依据评语集标尺对需评价的风险给出评分区间。

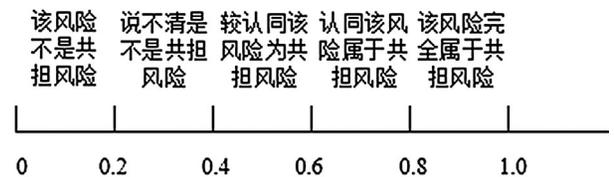


图 1 无废城市 PPP 项目风险的共担程度评语值标尺

根据调查问卷的结果,n 名专家对无废城市 PPP 项目风险的共担程度评分区间可表示为: $[a_{ij}, b_{ij}]$, $i=1, 2, \dots, n$ 。其中, b_{ij} 表示第 i 名专家认为风

险 j 的共担程度上限值, a_{ij} 表示第 i 名专家认为风险 j 的共担程度下限值, n 名专家可得 n 个分值区间, 进而形成关于风险 j 的集值统计序列 $[a_{1j}, b_{1j}]$, $[a_{2j}, b_{2j}]$, \dots , $[a_{nj}, b_{nj}]$ 。序列叠加后形成关于价值 r 的一种落影分布, 样本落影函数表示为:

$$\bar{X}(r_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X[a_{ij}, b_{ij}]^{(r)} \quad (2.1)$$

$$\text{其中, } X[a_{ij}, b_{ij}]^{(r)} = \begin{cases} 1, & a_{ij} < r < b_{ij} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2.2)$$

由此, 可以建立专家评价的可信度检验: 对风险的共担程度评价价值

$$E(r_j) = \frac{\int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \bar{X}(r) r dr}{\int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \bar{X}(r) dr} = \frac{\sum_{i=1}^n [(b_{ij})^2 - (a_{ij})^2]}{2 \sum_{i=1}^n (b_{ij} - a_{ij})} \quad (2.3)$$

$$g_i = \frac{\sum_{i=1}^n \left\{ [b_{ij} - E(r_j)]^3 - [a_{ij} - E(r_j)]^3 \right\}}{3 \sum_{i=1}^n (b_{ij} - a_{ij})} \quad (2.4)$$

专家对风险的共担程度评价可信度

$$b_i = \frac{1}{1 + g_i} \quad (2.5)$$

可信度 b_i 越接近于 1 越可信。可信度标准可根据具体项目要求确定, 一般至少为 0.9。当专家对风险共担程度的评价价值满足可信度标准后, 将评价价值 $E(r_j)$ 与图 1 评语值尺标比对, 将结果达到“认同该风险属于共担风险”和“该风险完全属于共担风险”评语区间的风险作为共担风险。

3 无废城市 PPP 项目共担风险最优分担模型构建

无废城市 PPP 项目主要由政府向社会发布建设需求, 社会资本依据自身技术和资金优势参与建设, 所以参与主体主要分为政府部门和社会资本方。为合理确定风险分担比例, 政府部门和社会资本方按照先后顺序进行多回合谈判, 直到一方接受另一方的风险比例分担方案, 且在谈判中双方都能观察到对方行动, 这是一个讨价还价动态博弈的过程。实际谈判中, 无论是政府部门还是社会资本方, 在谈判中都无法掌握项目的全部风险信息, 属于不完

全信息状态下的博弈。因此, 构造不完全信息下的动态博弈模型, 可以模拟无废城市 PPP 项目的实际谈判流程, 并求解共担风险最优分担比例, 具有高度适用性。

3.1 风险分担博弈模型基本假设

假设一: 参与方政府部门与社会资本方都是完全理性的, 双方通过最佳决策和行为获取最大利益, 同时双方都希望谈判成功;

假设二: PPP 项目中的风险没有关联性, 是相互独立的;

假设三: 无废城市 PPP 项目中, 为了吸引更多投资者参与, 政府部门在谈判时, 让社会资本方先出价;

假设四: 对于无废城市 PPP 项目中第 i 类共担风险, 社会资本方承担 k_i ($i=1, 2, 3, \dots, n, n \in N^*$) 的风险比例, 政府部门承担 $1-k_i$ 的风险比例;

假设五: 政府部门与社会资本方在谈判中都无法掌握项目的全部风险信息, 获得项目风险信息多的一方可能采取故意隐瞒所掌握部分风险信息的策略^[14], 以向对方转移风险;

假设六: 政府部门与社会资本方的谈判地位是不对称的, 政府部门作为项目的发起方, 可能利用自身的强势地位向社会资本方转移风险。

3.2 风险分担博弈模型基本要素

(1) 博弈主体: 无废城市 PPP 项目共担风险主要由政府部门 G 和社会资本方 P 负担。

(2) 谈判系数: 博弈双方花费的资源和时间成本会随着谈判回合数量增大, 同时所承担的风险也会增加, 用 σ ($\sigma > 1$) 表示谈判损耗。在谈判过程中, 政府部门处于强势地位, 则每经过一次谈判, 政府部门会承担更少的风险, 所以政府部门的谈判系数 σ_2 小于社会资本方的谈判系数 σ_1 。

(3) 地位不对称转移风险: 在无废城市 PPP 项目中, 政府部门提供的政策支持、贷款补贴等项目能否成功运行起到决定性作用, 因此政府部门在谈判过程中占据强势地位, 而社会资本方相对弱势, 用 t_i ($i=1, 2, \dots, n$) 表示每个博弈回合政府部门利用自身强势地位转移给社会资本方的风险。 $t_i \in [0, 1]$, t_i 为 0 时, 表示政府部门不会转移风险给社会资本; t_i 为 1 时, 表示政府部门有绝对权利向社会资本转移风险。用 λ 表示转移风险的概率,

随着博弈回合数增加,转移风险的比例会减少,则有 $t_1 > t_2 > t_3$ 。

(4) 隐瞒负面信息转移风险:博弈双方在谈判过程中为了转移风险,可能会隐瞒负面信息。政府部门隐瞒负面信息的概率为 p ,且隐瞒负面信息可以转移的风险为 r_g ,社会资本方隐瞒负面信息的概率为 q ,且隐瞒负面信息可以转移的风险为 r_p ,满足 $0 \leq r \leq k \leq 1$ 。

3.3 博弈双方策略集

在无废城市 PPP 项目中,由于博弈双方可能存在隐瞒负面信息和利用地位不对称性转移风险的策略,政府部门与社会资本方策略集概率分布如表 1 所示:

政府部门的期望为:

$$E_g = 1 - k_i + q r_p - p r_g - \lambda t_i \tag{3.1}$$

社会资本方的期望为:

$$E_p = k_i - q r_p + p r_g + \lambda t_i \tag{3.2}$$

3.4 基于社会资本方优先出价的动态博弈模型

在不完全信息条件下,社会资本方优先出价,结合无废城市 PPP 项目双方地位不对称性,基于双方可能隐瞒负面信息的讨价还价博弈过程,模型构建如下:

第一回合博弈:社会资本方先提出承担 k_1 风险比例,政府部门承担 $1 - k_1$ 风险比例,政府部门接受,则谈判结束,反之谈判进入第二回合;

第二回合博弈:政府部门要求社会资本方承担 k_2 风险比例,社会资本方承担 $1 - k_2$ 风险比例,社会资本方接受,则谈判结束,否则进入第三回合谈判;

第三回合博弈:社会资本方提出承担 k_3 风险比例,政府部门承担 $1 - k_3$ 风险比例,政府部门接受,则谈判结束,反之谈判进入下一回合。

以此类推,直到产生博弈双方都接受的风险分

配方案,谈判结束。如图 2 所示:

3.5 模型求解

用海萨尼转换理论可以将上述无限回合的不完全信息博弈转换成完全信息博弈,然后求解。该理论的观点是对于无限回合的讨价还价模型,由于奇数回合中出价方相同,所以逆推点设为奇数回合所得到的结果相同。本文将逆推点设在第三回合。博弈双方作为理性人,都会在谈判过程中采用最佳策略和行为,在降低谈判成本的前提下获取最大利益。政府部门提出风险分担策略的原则是使社会资本方在第二回合中承担的风险份额 P_2 不超过第三回合承担的 P_3 ,同时让自己承担的风险份额最少。此时可得:

$$P_2 = P_3 \tag{3.3}$$

$$\sigma_1 (k_2 - q r_p + p r_g + \lambda t_2) = \sigma_1^2 (k_3 - q r_p + p r_g + \lambda t_3) \tag{3.4}$$

$$k_2 = \sigma_1 k_3 + (\sigma_1 - 1) p r_g - (\sigma_1 - 1) q r_p + (\sigma_1 t_3 - t_2) \lambda \tag{3.5}$$

把式 3.11 带入式 3.5 可得:

$$G_2 = \sigma_2 (1 - \sigma_1 k_3 - \sigma_1 p r_g + \sigma_1 q r_p - \sigma_1 \lambda t_3) \tag{3.6}$$

对政府部门第二回合承担的风险 G_2 和第三回合承担的风险 G_3 进行比较,可得:

$$\begin{aligned} G_2 - G_3 &= \sigma_2 [(1 - \sigma_2) - (\sigma_1 - \sigma_2) (k_3 + p r_g - q r_p + \lambda t_3)] \\ &< \sigma_2 [(1 - \sigma_2) k_3 - (\sigma_1 - \sigma_2) (k_3 + p r_g - q r_p + \lambda t_3)] \\ &= \sigma_2 [(1 - \sigma_1) k_3 + (\sigma_2 - \sigma_1) (p r_g - q r_p + \lambda t_3)] \end{aligned}$$

由于 $\sigma > 1$, $\sigma_2 < \sigma_1$, $0 \leq r \leq k \leq 1$ 同时 r 远远小于 k ,且 $p r_g - q r_p + \lambda t_3 > 0$,则有 $G_2 < G_3$,说明政府部门在第二回合中承担的风险小于在第三回合中承担的风险,那么博弈双方均不愿进行下一回合谈判。

同理逆推第一回合,社会资本方提出风险分担策略的原则是使政府部门在第一回合中承担的风险份额 G_1 不超过第二回合承担的 G_2 ,同时让自己

表 1 政府部门与社会资本方策略集概率分布

		政府部门			
		隐瞒 (概率 p)		不隐瞒 (概率 $1-p$)	
		强势地位 (λ)	非强势地位 ($1-\lambda$)	强势地位 (λ)	非强势地位 ($1-\lambda$)
社会资本方	隐瞒 (概率 q)	$p q \lambda$	$p q (1-\lambda)$	$(1-p) q \lambda$	$(1-p) q (1-\lambda)$
		$G = 1 - k_i - r_g + r_p - t_i$	$G = 1 - k_i - r_g + r_p$	$G = 1 - k_i + r_p - t_i$	$G = 1 - k_i + r_p$
	不隐瞒 (概率 $1-q$)	$P = k_i + r_g - r_p + t_i$	$P = k_i + r_g - r_p$	$P = k_i - r_p + t_i$	$P = k_i - r_p$
		$p (1-q) \lambda$	$p (1-q) (1-\lambda)$	$(1-p) (1-q) \lambda$	$(1-p) (1-q) (1-\lambda)$
		$G = 1 - k_i - r_g - t_i$	$G = 1 - k_i - r_g$	$G = 1 - k_i - t_i$	$G = 1 - k_i$
		$P = k_i + r_g + t_i$	$P = k_i + r_g$	$P = k_i + t_i$	$P = k_i$

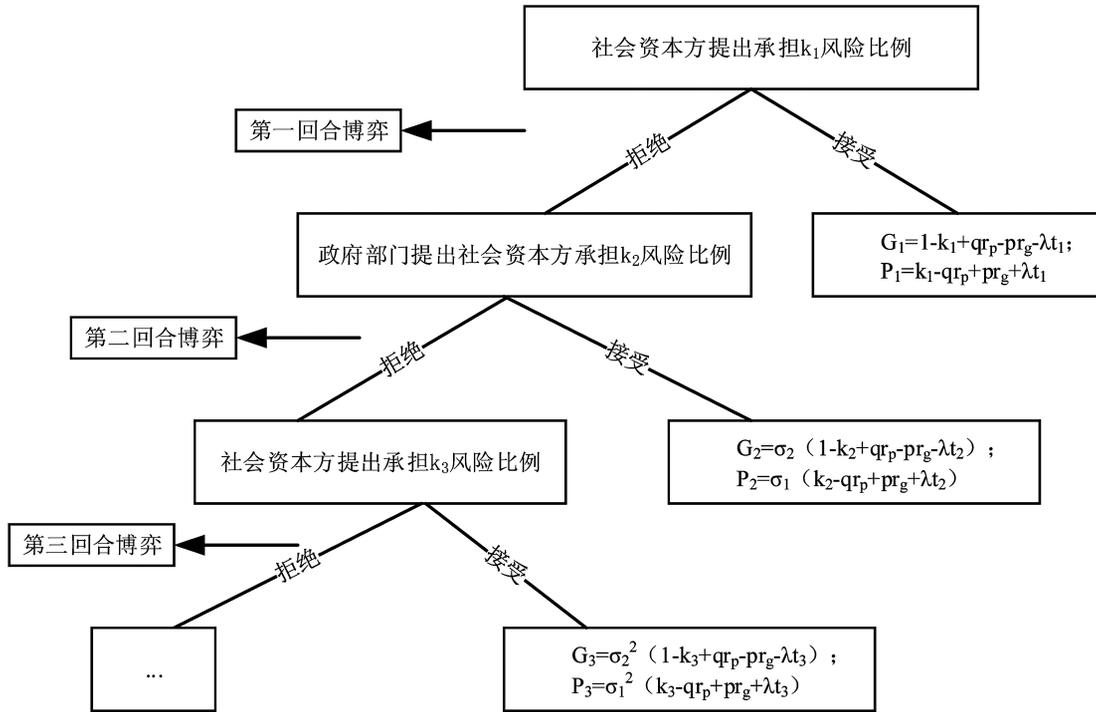


图 2 政府部门与社会资本方博弈流程

承担的风险份额最少。此时可得:

$$G_1=G_2 \tag{3.7}$$

$$1-k_1+q_{r_p}-pr_g-\lambda t_1=\sigma_2(1-k_2+q_{r_p}-pr_g-\lambda t_2) \tag{3.8}$$

将式 3.11 代入式 3.14 可得:

$$k_1=1-\sigma_2+(\sigma_1\sigma_2-1)pr_g-(\sigma_1\sigma_2-1)q_{r_p}+(\sigma_1\sigma_2t_3-t_1)\lambda+\sigma_1\sigma_2k_3 \tag{3.9}$$

根据海萨尼转换理论,逆推点设置在第一回合与设置在第三回合得到的结果一致,即第一回合博弈与第三回合博弈的结果等价,所以有:

$$k_1=k_3=K^* \tag{3.10}$$

将式 3.15 带入式 3.16:

$$1-\sigma_2+(\sigma_1\sigma_2-1)pr_g-(\sigma_1\sigma_2-1)q_{r_p}+(\sigma_1\sigma_2t_3-t_1)\lambda+\sigma_1\sigma_2k_3=k_3 \tag{3.11}$$

可得

$$k_3=\frac{\sigma_2-1-(\sigma_1\sigma_2t_3-t_1)\lambda}{\sigma_1\sigma_2-1}-pr_g+q_{r_p} \tag{3.12}$$

因此,无废城市 PPP 项目中社会资本方名义上承担的风险比例为:

$$K^*=\frac{\sigma_2-1-(\sigma_1\sigma_2t_3-t_1)\lambda}{\sigma_1\sigma_2-1}-pr_g+q_{r_p} \tag{3.13}$$

政府部门名义上承担的风险比例为:

$$1-K^*=\frac{\sigma_1\sigma_2-\sigma_2+(\sigma_1\sigma_2t_3-t_1)\lambda}{\sigma_1\sigma_2-1}+pr_g-q_{r_p} \tag{3.14}$$

假设 t_i 是常数 t ,则双方名义上承担的风险比例为

社会资本方:

$$K^*=\frac{\sigma_2-1}{\sigma_1\sigma_2-1}-\lambda t-pr_g+q_{r_p} \tag{3.15}$$

政府部门:

$$1-K^*=\frac{\sigma_1\sigma_2-\sigma_2}{\sigma_1\sigma_2-1}+\lambda t+pr_g-q_{r_p} \tag{3.16}$$

实际情况中,社会资本方会采取隐瞒负面信息的策略减少 q_{r_p} 份额的风险,同时因为政府部门采取隐瞒负面信息的策略和处于强势地位的优势而增加 λ_1 和 pr_g 份额的风险;政府部门会因为采取隐瞒负面信息的策略和处于强势地位的优势减少 λ_1 和 pr_g 份额的风险,同时,因为社会资本方采取的隐瞒负面信息的策略增加 q_{r_p} 份额的风险,可得无废城市 PPP 项目中双方承担的实际风险比例为:

$$\text{社会资本方: } K^*=\frac{\sigma_2-1}{\sigma_1\sigma_2-1} \tag{3.17}$$

$$\text{政府部门: } 1-K^* = \frac{\sigma_1\sigma_2 - \sigma_2}{\sigma_1\sigma_2 - 1} \quad (3.18)$$

4 实例分析

铜陵市义安区无废城市 PPP 重点建设项目总投资约为 21036.68 万元,由铜陵市义安区住房和城乡建设局批准建设。社会资本方承担建设资金 90%,采用 PPP 模式中 BOT(建设-运营-移交)运作形式。项目有 25 年的特许经营期,其中运营期 24 年,建设期 1 年,将可行性缺口补助作为回报机制。

4.1 共担风险识别

通过对义安区无废城市 PPP 项目实地调研和资料整合,查阅无废城市相关的法律法规^[15]和政策^[16],结合 PPP 项目风险指标的相关文献和同类型 PPP 项目中的风险因素作为参考,筛选出义安区无废城市 PPP 项目中存在的风险因素。运用 Li B 和 Akintoye A^[17]的分类方法,按照宏观、中观、微观三个层次构建出如表 2 所示的义安区无废城市 PPP 项目风险清单。

通过问卷调查获取评分专家对表 2 中 19 项风险的共担程度评分区间,评分专家均为参与本项目

的建设人员,具有至少十年 PPP 项目建设经验,从政府部门和私人部门中分别聘请,共计 7 人,依据图 1 中评语集标尺对需评价的风险给出评分区间。通过集值统计分析方法对评分区间进行处理。

以 7 个宏观风险为例,令政府信用风险为 u_1 ,政府决策风险为 u_2 ,民众反对风险为 u_3 ,政策稳定性风险为 u_4 ,自然风险为 u_5 ,法律文件或合同风险为 u_6 ,金融风险为 u_7 。运用集值统计分析,最终专家对各类风险的共担程度评价价值 $E(r_j)$ 、专家对风险的共担程度评价离散度 g_j 和专家对风险的共担程度评价可信度 b_i 如表 3 所示。本项目中专家评价的可信度值 $b_i \geq 0.95$ 方认定为可信。

表中专家评价的可信度均满足可信度标准,根据图 1 评语值尺标,自然风险 u_5 、法律文件或合同风险 u_6 、金融风险 u_7 的 $E(r_j)$ 值属于“认同该风险属于共担风险”和“该风险完全属于共担风险”的评语区间。因此,本项目宏观风险中自然风险、法律文件或合同风险和金融风险属于共担风险。对于本项目的中观风险和微观风险的共担程度评价,也利用集值统计分析方法进行,最终,中观共担风险包括市场需求风险、融资风险和环境保护风险;微观共担风险包括经营风险和安全事故风险。

表 2 义安区无废城市 PPP 项目风险清单

风险层面	风险类别	相应风险的特征
宏观	政府信用风险	政府部门终止合同、无作为或负面行为给项目带来直接或间接危害的风险
	政府决策风险	政府部门决策程序不规范,缺乏科学决策能力和经验,缺乏对项目的足够了解而造成决策失误的风险
	民众反对风险	本项目存在可能产生“邻避效应” ^[18] 设施,影响民众支持度,导致项目进展慢等风险
	政策稳定性风险	国家相关政策是否完善,税率政策、价格政策、产业政策、与无废城市 PPP 项目相关法律等是否发生较大变化或变更造成的风险
	自然风险	不可抗力、气候、地质环境等造成的风险
	法律文件或合同	与本项目中法律文件或合同中有歧义或争端、仲裁条款和适用法律中有效元素变化等风险
	金融风险	通货膨胀、金融市场以及汇率等变动带来的风险
中观	市场需求风险	同行业项目的竞争、市场对本项目的需求发生变化、产品的价值变化等产生的风险
	融资风险	融资的可行性、融资的及时性、融资成本、融资结构、等带来的风险
	设备技术风险	项目有关配套建设滞后,施工技术和设备不能满足设计要求,造成施工质量低下等风险
	环境保护风险	本项目中,建设和运营阶段产生二次污染带来的风险,整个项目全寿命周期的环保效果不达标等风险
	建设成本风险	项目建设缺少有效成本控制手段,造成成本超支等风险
	项目审批风险	项目审核过程复杂,时间和费用成本高造成项目延期或成本超支的风险
	征地拆迁风险	由于土地征地拆迁补偿和复杂的构筑物设施等转移问题导致的风险
微观	招投标风险	由于无废城市 PPP 项目暂无可参考的定额,信息不充分易导致招投标费用高、资源浪费、采购程序冗长等风险
	勘察设计风险	承包商勘察不到位,设计难度大可能导致设计变更频繁,设计质量不达标,无法通过设计标准等风险
	工期延误风险	由于材料、机械、能源供应不及时或者施工进度管理不到位导致的不能按时交付等风险
	安全事故风险	施工过程中由于人为或自然原因造成的人员伤亡等损失产生的风险
	经营风险	项目的经济收益和社会效益具有不确定性,同时运营过程中的维修、改造等方面的成本能否承担等方面导致的风险

表3 宏观风险共担程度评分区间与可信度评价

评分专家	评分区间						
	u ₁	u ₂	u ₃	u ₄	u ₅	u ₆	u ₇
1	[0.1, 0.2]	[0.2, 0.3]	[0.2, 0.3]	[0.6, 0.7]	[0.7, 0.9]	[0.5, 0.7]	[0.7, 0.8]
2	[0, 0.2]	[0.3, 0.5]	[0.1, 0.3]	[0.1, 0.2]	[0.5, 0.6]	[0.7, 0.8]	[0.5, 0.7]
3	[0.3, 0.4]	[0.3, 0.5]	[0.2, 0.4]	[0.4, 0.5]	[0.6, 0.8]	[0.7, 0.8]	[0.5, 0.7]
4	[0.3, 0.5]	[0.4, 0.6]	[0.4, 0.5]	[0.5, 0.6]	[0.8, 0.9]	[0.8, 1.0]	[0.8, 1.0]
5	[0.3, 0.5]	[0.3, 0.4]	[0.1, 0.2]	[0, 0.2]	[0.8, 1.0]	[0.7, 0.8]	[0.6, 0.8]
6	[0.4, 0.6]	[0.5, 0.6]	[0.4, 0.6]	[0.1, 0.3]	[0.7, 0.8]	[0.5, 0.6]	[0.5, 0.7]
7	[0.5, 0.6]	[0.2, 0.3]	[0, 0.3]	[0.2, 0.3]	[0.7, 0.9]	[0.6, 0.7]	[0.5, 0.6]
E (r _j)	0.35	0.40	0.28	0.29	0.78	0.72	0.68
g _i	0.03	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02	0.02
b _i	0.97	0.99	0.98	0.96	0.99	0.98	0.98

4.2 共担风险最优分担

本文通过问卷调查的方式对专家发放问卷,确定社会资本方与政府部门在共担风险比例划分博弈过程中的谈判系数 σ_1 与 σ_2 。共发放 137 份调查问卷,收回 136 份,其中 131 份有效问卷,是测量题项的 10.9 倍,有效率为 96.32%,有效问卷对应的受访专家均为本项目参与者,从事无废城市项目及 PPP 模式项目的经验至少为十年,收回的 136 份问卷中,66 份来自政府部门,70 份来自社会资本方。分别取回收问卷中谈判系数数值的平均数作为本项目政府部门与社会资本方实际谈判系数参数值 σ_1 与 σ_2 ,并代入共担风险最优分担模型中式 3.23、3.24,计算出本项目中政府部门与社会资本方共担风险的分担比例。

以自然风险为例,社会资本方承担的实际最优风险比例为 $K^* = (1.2-1)/(1.41 \times 1.2-1) = 28.90\%$,政府部门承担的实际最优风险比例为 $1-K^* = (1.41 \times 1.2-1.2)/(1.41 \times 1.2-1) = 71.10\%$ 。最终本项目中政府部门与社会资本方对共担风险的实际最优风险分担比例如表 4 所示。

5 结论

无废城市 PPP 项目是新时代绿色发展的产物,带来社会效益和经济效益的同时也存在高风险。引入 PPP 模式,虽然一定程度上消除了部分风险,

表4 义安区无废城市PPP项目共担风险分担比例

共担风险名称	社会资本方谈判系数 σ_1	政府部门谈判系数 σ_2	社会资本方实际风险分担比例	政府部门实际风险分担比例
自然风险	1.41	1.20	28.90%	71.10%
法律文件或合同风险	1.30	1.16	31.50%	68.50%
金融风险	1.31	1.25	39.22%	60.78%
市场需求风险	1.17	1.15	43.42%	56.58%
融资风险	1.25	1.17	36.76%	63.24%
环境保护风险	1.27	1.20	38.17%	61.83%
安全事故风险	1.35	1.22	34.00%	66.00%
经营风险	1.24	1.18	38.86%	61.14%

但是也带来了政府部门与社会资本方如何合理划分共担风险的问题。

在义安区无废城市 PPP 项目中,政府部门和社会资本方的谈判损耗是影响双方最终实际承担共担风险比例的关键因素。从本项目博弈的实际分担比例看,双方谈判损耗系数相差越小,双方承担的实际风险比例就越接近,谈判成功的可能性也相对更高。因此,政府部门和社会资本方在谈判过程中应尽可能追求公平公正,减少采取隐瞒信息和转移风险的策略,从而减少谈判成本,更加合理分担风险,推动项目顺利进行。

参考文献:

- [1] 国务院办公厅印发《“无废城市”建设试点工作方案》[J]. 建筑技术, 2019, 50(2): 153.
- [2] 郭志达, 白远洋. “无废城市”建设模式与实现路径[J]. 环境保护, 2019, 47(11): 29-32.
- [3] LEE Roh Pin, SEIDL Ludwig Georg, HUANG Qiu-liang, et al. 垃圾气化分析及其对中国实现碳中和与无废城市建设的贡献[J]. 燃料化学学报, 2021, 49(8): 1057-1076.
- [4] 赵曦, 吴姗姗, 陆克定. “无废城市”固体废物综合处理产业园建设水平评价指标体系[J]. 环境工程, 2021, 39(2): 136-140, 15.
- [5] 王志刚, 郭雪萌. PPP项目风险识别与化解: 基于不完全契约视角[J]. 改革, 2018(6): 89-96.
- [6] Zhao X, Hwang B G, Gay M. Identifying critical risks in public private partnership projects in Singapore[C]. The 5th International Conference on Construction Engineering and Project Management At: Orange County, CA, 2013.
- [7] Hastak M, Shaked A. ICRAM-1: model for international

- construction risk assessment[J]. Journal of Management in Engineering, 2000, 16(1): 59-69.
- [8] Grimsey D, Lewis M K. Evaluating the risks of public private partnerships for infrastructure projects[J]. International Journal of Project Management, 2002, 20(2): 107-118.
- [9] Loosemore M, Raftery J, Reilly C, et al. Risk Management in Projects[M]. Routledge, 2012.
- [10] Rashed A, Alam M M, Ibrahim Y B. Central public-private partnership (PPP) development facility for enhancing government obligation and efficiency in PPP project[J]. International Journal of Information Technology Project Management, 2020, 8(4): 66-77.
- [11] Alireza V, Mohammadreza Y, Zin R M, et al. An enhanced multi-objective optimization approach for risk allocation in public-private partnership projects: a case study of Malaysia[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2014, 41(2): 164-177.
- [12] 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.
- [13] 方宏伟, 李长洪, 纪洪广, 等. 基于粗糙商集的模糊隶属度集值统计算法[J]. 北京科技大学学报, 2012, 34(8): 959-965.
- [14] 敖慧, 朱茜, 朱玉洁. 农村基础设施 PPP 项目的风险分担[J]. 统计与决策, 2020, 36(8): 173-176.
- [15] 张波, 秦鲁豫. 无废城市法律问题研究[J]. 河北环境工程学院学报, 2021, 31(2): 72-76.
- [16] 郑凯方, 温宗国, 陈燕. “无废城市”建设推进政策及措施的国别比较研究[J]. 中国环境管理, 2020, 12(5): 48-57.
- [17] Li B, Akintoye A, Edwards P J, et al. Perceptions of positive and negative factors influencing the attractiveness of PPP/PFI procurement for construction projects in the UK[J]. Engineering, Construction and Architectural Management, 2005, 12(2): 125-148.
- [18] 温宗国. “无废”理念及“无废城市”建设[J]. 资源再生, 2020(10): 58-61.

(上接第 73 页)

5 结论

提出一种用于直拉单晶炉的外加新型超导磁体, 通过数值分析得出如下结论:

(1) 该新型瓦状线圈整体呈圆弧形, 且易于调节, 所占空间位置更小, 采用 NbTi/Cu 复合矩形线密绕而成, 满足单晶硅生长所需的磁场强度(最低 0.5T) 及分布要求。

(2) 借助数值分析确定瓦状线圈的结构及匝数排布, 磁屏蔽体厚度、磁芯高度与磁场强度的关系, 选定超导线圈安匝数为 $150 \times 9\ 000$ 、匝数排布为 50×180 、圆筒形磁屏蔽体厚度为 75 mm、磁芯高度为 400 mm 的非正交式结构, 坩埚区域磁场均匀度达到 8.5%, 满足单晶炉磁场基本要求。

(3) 分析结果显示磁芯能够有效增强坩埚区域内部场强。X/Y 轴场强在中心处最小, 坩边处最大; Z 轴场强在中心处最大, 在固液面上下一定区域内变化平缓均匀。实际使用中磁场中心面一般取坩埚中心液面下 30-50 mm。

参考文献:

- [1] 孙妹. 单晶硅生长技术及氧缺陷控制方法[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊), 2015(10): 272.
- [2] 滕冉. 大直径硅单晶的制备与数值分析[D]. 北京: 北京有色金属研究总院, 2017.
- [3] 王伟, 朱浩, 王力, 等. 地面与微重力环境下冷原子量子磁性的精密测量[J]. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2021, 51(7): 87-104.
- [4] 杨亦霖, 丁先庚, 李瑾. 传导冷却型匀场超导磁体的研制[J]. 低温与超导, 2020, 48(10): 45-48.
- [5] 刘旭峰, 杜世俊, 叶民友. 聚变堆用 Nb₃Sn 超导磁体设计分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2011, 34(8): 1183-1187.
- [6] 何宇新. 极低温-高压/高应变率下 Nb₃Sn 材料的力学响应分析[D]. 太原: 太原理工大学, 2020.
- [7] 邝向军. 任意四边形载流线圈的空间磁场计算[J]. 大学物理, 2017, 36(4): 28-31.
- [8] 侯东斌. 超导磁场的结构设计 with 优化[D]. 西安: 西安理工大学, 2018.
- [9] Fujita S, Hiruma S, Igarashi H. Time-domain analysis of magnetically shielded wire coils using homogenized finite-element method[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2020, 56(2): 1-4.