

# 一带一路背景下基础设施 PPP项目风险分担研究

常雅楠,王松江

(昆明理工大学 管理与经济学院,云南 昆明 650032)

**摘要:**一带一路 PPP 项目面临着巨大的风险,项目成功与否的决定性因素是风险的合理分担,不合理的风险分担会影响项目参与者的积极性,有损项目整体收益。在 PPP 项目风险分担原则的基础上,将风险分为自担风险和共担风险,运用随机合作博弈模型确定双方共担风险的分担比例。通过建立一带一路 PPP 项目风险分担模型,实现一带一路 PPP 项目最优风险策略组合。

**关键词:**一带一路;PPP;风险分担;随机合作博弈

**DOI:** 10.6049/kjbydc.2016GC0098

**中图分类号:** F062.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7348(2016)16-0102-04

## Risk Allocation in Infrastructure Public Private Partnerships Based on the Belt and Road

Chang Ya'nan, Wang Songjiang

(School of Economics and Management, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650032, China)

**Abstract:** The infrastructure PPP project faces enormous risks. Reasonable risk allocation is the key to the success of the PPP projects in the Belt and Road. Not only reducing the enthusiasm of the participant but also decreasing the income of the project when allocated inappropriately, but also leading to the revenue loss. Dividing risk into independent risk and total risk based on the principle of risk allocation on PPP project, and using the stochastic cooperative game model to determine the proportion of sharing risk. In consideration of the risk preference of the participants and based on the theory of stochastic cooperative games, this paper establish the optimal combination of PPP project risk strategy considering the risk preference of the participants.

**Key Words:** the Belt and Road; PPP; Risk Allocation; Stochastic Cooperative Games

### 0 引言

“一带一路”战略的提出,旨在发挥我国东部沿海辐射作用,将亚洲、欧洲、非洲三大经济商圈及其涵盖的海上范围相互串联,依靠发展势头强劲的东亚经济以及成熟发达的欧洲市场,进一步强化战略沿线地区及国家的互联互通伙伴关系网络。实现互联互通不仅是构建基础设施、公共产品等方面的硬联通,还有制度、规则甚至是行为模式、文化习惯等方面的软联通,形成多层次、全方位覆盖的互通网络,以促进一带一路沿线地区和国家迅速、健康发展。沿线国家发展的根本是基础设施网络化建设,但受到融资困难、技术力量薄弱等因素的制约,大多发展较为落后,基础设施完善程度较低,远不够平均水准。传统融资方式渠道单一、机制死板,无法满足发展的迫切需要,因而需要一个深层次、主体多元

化、覆盖面广的融资模式。PPP(Public-Private Partnership)即公私合营模式,是以特许经营权为基础,由政府部门和私营资产共同参与,并且共担风险、共享利益的一种融资模式<sup>[1]</sup>。该模式不仅能解决资金缺口问题,还能解决国内产能过剩及外汇资产过剩问题<sup>[2]</sup>。一带一路沿线国家多为中低收入国家,处于官员腐败、管理低效、政府信用差、社会不稳定、文化差异大等情境下,从而使我国企业对其投资所面临的环境十分恶劣。而高额的前期投资,较长的投资回收期,使基础设施 PPP 项目面临了巨大的风险。如何确定风险的分担方式及分担比例是 PPP 项目成功的决定性因素之一<sup>[3]</sup>,尤其对于一带一路基础设施 PPP 项目来说,各个参与者对项目的期望不同,风险偏好不同,管控风险的能力也有所差异,使风险公平分配问题增加了项目谈判的成本。因此,针对风险合理分担的研究对提高谈判效率有很大帮助。

**收稿日期:** 2016-06-27

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(70962003)

**作者简介:** 常雅楠(1992-),女,山东济南人,昆明理工大学管理与经济学院硕士研究生,研究方向为项目管理;王松江(1960-),男,云南昆明人,昆明理工大学管理与经济学院教授,研究方向为项目管理。

## 1 一带一路基础设施 PPP 项目利益相关者

在一带一路基础设施 PPP 项目中,中国企业是投资方,一带一路沿线国家的政府是项目发起人、监督者及债务主体,双方共同合作投资组建成 PPP 项目公司(简称 SPC)对整个项目负责,同时以基础设施建设项目为主体向亚洲基础设施投资银行进行债务融资,东道国政府给予 SPC 基础设施项目特许开发经营权,由 SPC 公司代替政府进行项目的建设运营。SPC 在特许经营期内通过向用户收费的方式收回投资。一带一路基础设施 PPP 项目主要利益相关者,如图 1 所示。

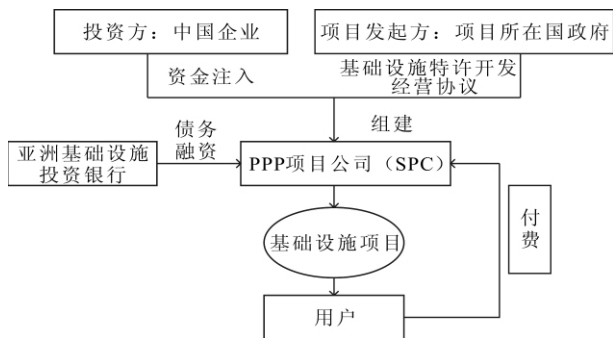


图 1 一带一路 PPP 项目利益相关者

## 2 风险分担原则及流程

### 2.1 风险分担原则

PPP 项目风险分配应该遵循以下 3 条原则<sup>[4]</sup>:①由对某种风险最具控制力的一方控制该风险;②承担的风险与收益相匹配;③承担的风险要有上限。以此,将风险合理分配给项目的利益相关者,通过项目利益相关者对风险的合理管控,把影响降到最低,从而保障 PPP 项目利益的最大化。

### 2.2 风险分担流程

政府和私人投资者对待风险的态度不同,各自对风险的掌控能力也不同,导致风险分配具有复杂性。本文基于上述风险分担原则,结合公、私部门的风险偏好,设计风险分担流程<sup>[5]</sup>(如图 2)。

第一阶段:自担风险的分配。政府部门作为项目的发起者,必然会在项目实施前对项目可行性进行研究,全面识别项目生命周期中可能遇到的风险。政府部门对在自身可控范围内的风险进行自留,其余转移给私人投资者承担。私人投资者根据自己对风险的控制能力,选择是否接受,若不接受双方将进行谈判。剩余风险作为共担风险留在第二阶段进行分配。

第二阶段:共担风险的分配。这个阶段的主要任务是通过双方协商谈判来确定共担风险的分配比例。合理的风险比例,可以降低风险管理成本,提高项目实施效率。一带一路基础设施 PPP 项目中,政府部门看重的是基础设施建设带来的社会效益,而私人投资者追求的是资本投入的回报。因此,要给予私人投资者一定的风险补偿来激励私人投资者来主动承担风险,平衡其风险管控成本。

这个风险分担流程不仅可以应用在项目谈判初期,对已识别风险进行分配,也可以应用在项目过程中出现的新风险。

## 3 风险分担模型

按照上文所述风险分担的原则及流程,将基础设施 PPP 项目中可能遇到的风险分为两类:政府、私人投资者各自承担的风险  $U_1$  和政府与私人投资者共担风险  $U_2$ 。

设政府和私人投资的风险分摊大小分别为  $X$ 、 $Y$ ;项目风险共有  $m$  种,将  $m$  种风险分别编号  $1, 2, \dots, m$ 。其中,  $1, 2, \dots, k$  为自担风险,  $k, \dots, m$  为共担风险;  $w_i$  为各类风险的权重;  $x_i + y_i = 1$ 。

$$X = w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_m x_m \quad (1)$$

$$Y = w_1 y_1 + w_2 y_2 + \dots + w_m y_m \quad (2)$$

对于双方控制范围内的风险,选择由对该风险最具控制力的一方独立承担,则承担该风险的一方分摊比例为 1,另一方为 0。对于在双方控制范围外的风险,应明确项目参与方各自的分摊比例,共同承担风险。

一带一路基础设施 PPP 项目实质上是一个合作联盟,由沿线国家政府发起基础设施建设项目,通过 PPP 融资模式与私人投资者进行合作,利用私人投资者充裕的资金、先进的技术及丰富的管理经验,实现国家基础设施的建设,从而使政府获得社会效益,私人投资者实现自身收益。这种联盟关系达到的双赢效果,必然大于各方独自承揽的效果,并且各方承担风险也必然小于各方独自承揽。风险分担实质是项目参与方实现责任与收益平衡,是一个双方博弈、协商的过程。基于上述分析,随机合作博弈理论符合 PPP 项目特点,适合用来解决 PPP 项目共担风险分配比例问题。

### 3.1 共担风险分配模型

#### 3.1.1 随机支付合作博弈模型

随机支付合作博弈表述为  $(N, (R(s)_{s \in \beta}), (>_i)_{i \in N})$ ,其中  $N$  是一带一路 PPP 项目的合作者;一带一路 PPP 项目中小合作者联盟用  $S$  表示,对  $\forall S \in N$ ,用  $R(S)$  表示一带一路 PPP 项目合作者  $S$  的非负随机收益;一带一路 PPP 项目参与者的风险偏好集用  $(>_i)_{i \in N}$  表示;联盟  $S$  中成员的个数用  $|S|$  表示。记  $kR(S)$  为合作者联盟  $S$  的收益分配,用  $k_i R(S)$  表示联盟  $S$  中成员  $i$  的收益,此分配为有效分配的条件是  $\sum_{i \in S} k_i = 1$ <sup>[6]</sup>。

#### 3.1.2 利益相关者风险态度

假定在一带一路 PPP 项目中,政府部门和私人投资者都是损失的规避者,对项目生命周期中可能面临的风险采取规避行为,则  $u_i = e^{-r_i x}$ ,其中  $r_i > 0$ ,  $r_i$  与参与方风险规避程度成正比。

成员的风险偏好集由  $(>_i)_{i \in N}$  表述:若  $X \succsim_i Y$ ,则表示成员  $i$  承担风险  $X$  意愿大于承担风险  $Y$  的意愿;若  $X \sim_i Y$ ,则表示对于成员  $i$  承担风险  $X$  的意愿和承担风险  $Y$  意愿无差别。

#### 3.1.3 政府与私人投资者的随机 Shapley 值

记  $E(X)$  为随机变量  $X$  的数学期望,存在效用函

数  $U_i$ , 则当且仅当  $E(U_i(X)) \geq E(U_i(Y))$  时, 有  $X \succeq_i Y$ . 若存在转换函数  $\alpha$ , 可以使  $p_i R(S)$  无差异于  $q_i R(T)$ , 则  $p_i R(S) \sim \alpha_i(R(S), R(T)) q_i R(T)$ . 在大

联盟中, 有  $\alpha_i(R(S), R(T)) = f_T((f_S)^{-1}(p_i))/q_i$ , 即对任意  $S \in N$ , 相应的函数  $f^i$  可定义为  $f^i(t) = t/E(R(S))$ .

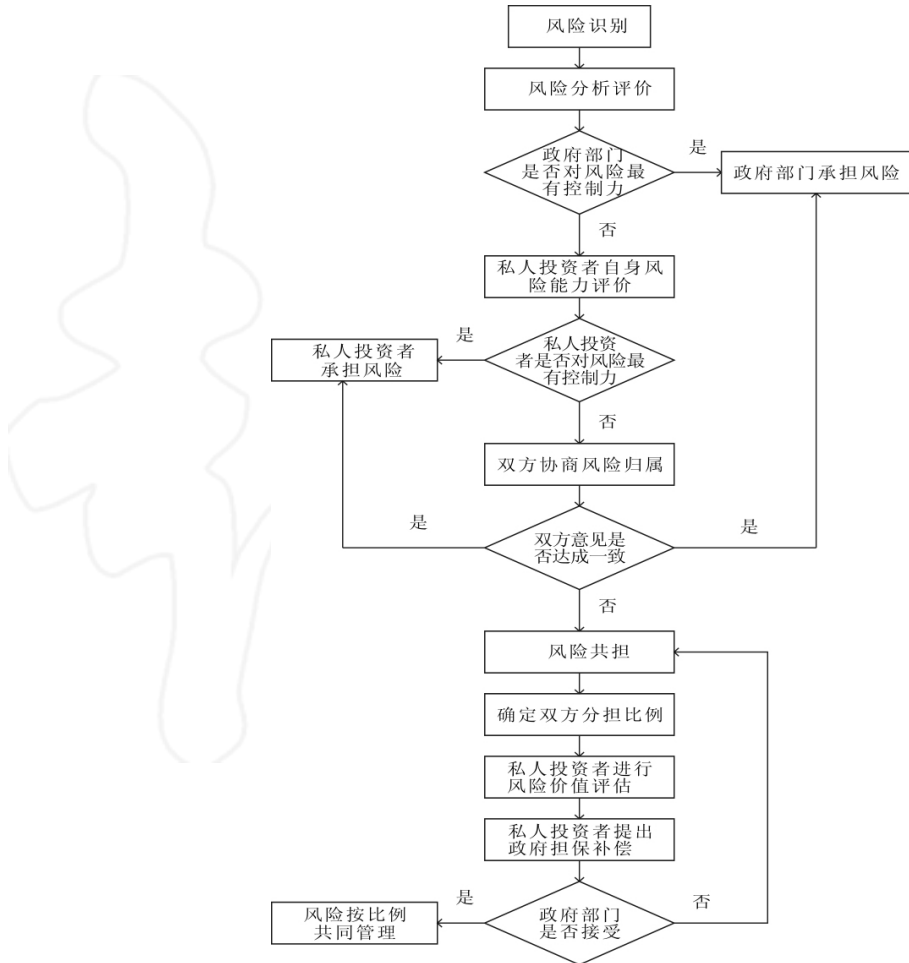


图2 风险分担流程

Suji<sup>[7]</sup> 等证明了对于合作中的任意一个参与者, 均有一个确定性等价  $m_i$ , 并且通过这个值可以得到其随机收益, 表述如下:

$$\alpha_i(R(S), R(T)) = \frac{m_i(S)}{m_i(T)} \quad (3)$$

由此定义随机合作博弈的 Shapley 值为:

$$x_i = n!^{-1} \left[ \sum_{\sigma \in \Pi(N)} \alpha_i(Y_{\sigma(i)}, R(N)) \right] R(N) \quad (4)$$

$$Y_{\sigma(i)} = \left[ 1 - \sum_{k=1}^{i-1} \alpha_i(Y_{\sigma(k)}, R(S_i^{\sigma})) \right] R(S_i^{\sigma}) \quad (5)$$

$R(N)$  为项目利益相关者按照一定顺序的排列。在 PPP 项目中, 利益相关者风险有两个, 分别是政府和私人投资者, 其 Shapley 值表述为如下:

$$x_1 = \frac{1}{2} \alpha_1(R(1), R(N)) R(N) + \frac{1}{2(1 - \alpha_2(R(2), R(N)) R(N))} \quad (6)$$

$$x_2 = \frac{1}{2} \alpha_2(R(2), R(N)) R(N) + \frac{1}{2(1 - \alpha_1(R(1), R(N)) R(N))}$$

式(6)中,  $R(1)$ ,  $R(2)$ ,  $R(N)$  分别代表成员 1、成

员 2 和联盟的随机收益。

特别的, 本文对于每种可能的排序给予固定权重的 1/2, 而在实际风险分担过程中, 双方的风险态度、谈判能力会对权重产生影响。经过谈判, 各方的风险承担量会有所增减, 因而, 采用权重向量  $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$  代替平均权重, 其中  $\sum k_n = 1$ 。博弈双方各自的随机 Shapley 值为:

$$x_1 = k_1 \alpha_1(R(1), R(N)) R(N) + k_2 (1 - \alpha_2(R(2), R(N)) R(N)) \quad (7)$$

$$x_2 = k_2 \alpha_2(R(2), R(N)) R(N) + k_1 (1 - \alpha_1(R(1), R(N)) R(N))$$

### 3.1.4 共担风险随机合作博弈模型建立

依据 PPP 项目参与各方的博弈特征, 当参与方进入风险分担合作机制中后, 其可以获得的风险总收益是较大的, 而且一定会高于各方分别独自承受风险的收益总和。这就表明, 加入联盟的全部成员都会得到更好的收益, 即满足超可加性:

$$EU(x_i) = \int f(x_i) U(x_i) \geq \int f(R(i)) U(R(i)) = EU(R(i)) \quad (8)$$

用确定性等价代替式中的期望效用,有:

$$m_i(x_i) = E(x_i) - \frac{1}{2}r_i Var(x_i), i = 1, 2 \quad (9)$$

用  $E(x_i)$  代表  $x_i$  在联盟无风险时的期望,用  $Var(x_i)$  代表  $x_i$  的方差,  $F(x_i) = 1/2r_i Var(x_i)$  表示利益参与者承担一定的风险追求的风险溢价。 $x_i$  随着权重  $k$  的变化而变化,则  $m_i, Var(x_i)$  都是权重  $k$  的函数。

政府部门与私人投资者组成的合作联盟的确定性收益为:

$$M(X) = m(x_1) + m(x_2) = E(x_1) - \frac{1}{2}r_1 Var(x_1) + E(x_2) - \frac{1}{2}r_2 Var(x_2) = E(X) - F(X) \quad (10)$$

$E(X)$  为政府和私人投资者期望收益之和,是一个定值。因此,模型可简化为求  $F(X)$  时对应的权重  $k$ :

$$\begin{cases} \min f = \frac{1}{2}r_1 Var(x_1) + \frac{1}{2}r_2 Var(x_2) \\ k_1 + k_2 = 1 \end{cases} \quad (11)$$

### 3.1.5 模型求解

建立拉格朗日方程  $L = \frac{1}{2}r_1 Var(x_1) + \frac{1}{2}r_2 Var(x_2) + \lambda(1 - p_1 - p_2)$ 。

为便于运算,记  $\alpha_1 = \alpha_1(R(1), R(N)), \alpha_2 = \alpha_2(R(2), R(N))$ 。

$$f = \frac{1}{2}r_1 [k_1 \alpha_1 + k_2 (1 - \alpha_2)]^2 \sigma^2(N) + \frac{1}{2}r_2 [k_2 \alpha_2 + k_1 (1 - \alpha_1)]^2 \sigma^2(N) \quad (12)$$

对  $k_1, k_2, \lambda$  进行一阶求导:

$$\frac{\partial L}{\partial k_1} = [r_1 k_1 \alpha_1^2 + r_1 k_2 \alpha_1 (1 - \alpha_2) + r_2 k_2 \alpha_2 (1 - \alpha_1) + r_2 k_1 (1 - \alpha_1)^2] \sigma^2(N) - \lambda = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial L}{\partial k_2} = [r_2 k_2 \alpha_2^2 + r_2 k_1 \alpha_2 (1 - \alpha_1) + r_1 k_1 \alpha_1 (1 - \alpha_2) + r_1 k_2 (1 - \alpha_2)^2] \sigma^2(N) - \lambda = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = 1 - k_1 - k_2 = 0$$

令:

$$\begin{cases} A_1 = [r_1 \alpha_1^2 + r_2 (1 - \alpha_1)^2] \sigma^2(N) \\ A_2 = [r_2 \alpha_2^2 + r_1 (1 - \alpha_2)^2] \sigma^2(N) \\ A_3 = [r_2 \alpha_2 (1 - \alpha_1) + r_1 \alpha_1 (1 - \alpha_2)] \sigma^2(N) \end{cases} \quad (14)$$

因  $A = A_1 + A_2 - 2A_3 > 0$ , 方程存在唯一解。

$$\begin{cases} k_1 A_1 + k_2 A_3 - \lambda = 0 \\ k_1 A_3 + k_2 A_2 - \lambda = 0 \\ k_1 + k_2 = 1 \end{cases} \quad (15)$$

解得:

$$\begin{cases} k_1 = \frac{A_2 - A_3}{A} \\ k_2 = \frac{A_1 - A_3}{A} \end{cases} \quad (16)$$

$k_1, k_2$  即为政府部门、私人投资者共担风险的分配比例。在该分配比例下,政府部门和私人投资者的确定性收益最高。

## 3.2 风险权重确定

采用层次分析法,对各类风险的权重进行定量分析。首先构造层次分析的指标体系,然后构造两两判断矩阵  $D_{ij}$ ,并邀请相关专家进行评价。判断矩阵的评价标度<sup>[8]</sup>如表 1 所示。矩阵元素  $a_{ij}$  的组成见表 2。

表 1 判断矩阵评价标度

标度	含义
1	表示两个因素相比,具有同样重要性
3	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素明显重要
7	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素强烈重要
9	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素极端重要
2,4,6,8	上述两个相邻判断的中值
倒数	因素 $i$ 与 $j$ 比较的判断 $a_{ij}$ , 则因素 $j$ 与 $i$ 比较的判断 $a_{ji} = 1/a_{ij}$

表 2 矩阵元素成分

	$C_1$	$C_2$	...	$C_j$
$C_1$	1	$a_{12}$	...	$a_{1j}$
$C_2$	$a_{21}$	1	...	$a_{2j}$
...	...	...	...	...
$C_i$	$a_{i1}$	$a_{i2}$	...	1

最后,进行一致性检验。求出矩阵  $D_{ij}$  的特征向量  $W = (W_1, W_2, \dots, W_i)$  及特征值  $\lambda$ , 利用公式  $CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$  及  $CR = \frac{CI}{RI}$  进行一致性检验。其中  $RI$  为一致性检验指标。将求得分配比例及各类风险的权重带入公式(1)、(2),可得政府和私人投资者的风险分担系数。

## 4 结语

本文假定了一带一路 PPP 项目的各参与方均为风险规避者,但是在实践过程中,其对待风险的态度是不相同的,并且风险配置达不到理论模型的最优效果,同时也不是一次谈判就可以实现的。因此,各个参与者应设置适当的目标与投资报酬率,确定其风险承受程度和范围,凭借科学决策对一带一路 PPP 项目进行全局风险配置。

### 参考文献:

- [1] 张莱楠. 构筑“一带一路”下的 PPP 合作新模式[J]. 金融博览, 2015(16): 22-23.
- [2] 王松江, 王敏正. PPP 项目实施指南——融资与案例[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2015.
- [3] 柯永建, 王守清. 基础设施 PPP 项目的风险分担[J]. 建筑经济, 2008(4): 31-35.
- [4] 刘新平, 王守清. 试论 PPP 项目的风险分配原则和框架[J]. 项目管理, 2006(2): 59-63.
- [5] 杨秋波, 侯晓文. PPP 模式风险分担框架的改进研究[J]. 项目管理技术, 2008, 6(8): 13-17.
- [6] 王军民, 杜河建. 基于随机支付的合作博弈分析[J]. 控制与决策, 2010, 25(1): 157-160.
- [7] SUIJS J, et al. Cooperative games with stochastic payoffs[J]. European Journal of Operational Research, 1999, 113(1): 193-205.
- [8] 陈欣. 基于财务角度的社会责任评价指标体系的构建[J]. 商, 2013(18): 148-149.

(责任编辑:林思睿)