Operations Research and Fuzziology 运筹与模糊学, 2018, 8(4), 161-172
Published Online November 2018 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/orf
https://doi.org/10.12677/orf.2018.84020

Common Mode Options for Infrastructure PPP Projects

Yingnan Xing, Qiuyang Ren, Yinghui Xiang

School of Management, Shenyang Construction University, Shenyang Liaoning
Email: 1072214533@qq.com

Received: Oct. 31st, 2018; accepted: Nov. 13th, 2018; published: Nov. 20th, 2018

Abstract

In this paper, the three financing modes of infrastructure PPP project, BOT, TOT and TOD, are compared and analyzed, and the applicability evaluation indexes are established respectively, and the fuzzy comprehensive evaluation model is constructed to provide the basis for the mode selection of PPP project, and the mode selection evaluation of the first phase project of Chongqing Light Rail Line 3 is carried out.

Keywords

Infrastructure PPP, Mode Selection, Fuzzy Comprehensive Evaluation

基础设施PPP项目的常用模式选择

邢英楠，任秋阳，项英辉

沈阳建筑大学，管理学院，沈阳 辽宁
Email: 1072214533@qq.com

收稿日期：2018年10月31日；录用日期：2018年11月13日；发布日期：2018年11月20日

摘　要

本文针对基础设施PPP项目三大常用融资模式——BOT、TOT、TOD进行比较分析，分别建立适用性评价指标，构建模糊综合评价模型，为PPP项目的模式选择提供依据，并对重庆市轻轨三号线一期工程案例进行了模式选择评价。

关键词

基础设施，模式选择，模糊综合评价

文章引用: 邢英楠, 任秋阳, 项英辉. 基础设施 PPP 项目的常用模式选择[J]. 运筹与模糊学, 2018, 8(4): 161-172.
DOI: 10.12677/orf.2018.84020

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

PPP 模式包含 BOT、TOD、TOT 等多种融资模式，不同模式的特点、影响因素和适用空间各不相同。本文针对基础设施 PPP 项目的常见的三种模式——BOT、TOT、TOD 进行比较分析，建立各自的选择评价指标，并结合 AHP-模糊综合评价模型对实例进行选择评价。

2. PPP 项目模式选择的评价指标选取

通过分析比较相关文献资料中 BOT、TOT、TOD 各自的特点及适用条件[1] [2] [3] [4] [5]，归纳总结模式选择的影响因素，结合专家访谈，提出以下 PPP 模式选择的评价指标。

2.1. BOT 模式评价指标的选取

在 BOT 模式(Build-Operate-Transfer，即建设－运营－移交)中，政府将特许经营权移交投资者，扮演着合作关系中捍卫投资者利益的角色，与其它模式相比，BOT 模式的成功更依赖政府的各项能力。政府信用、制度成熟度、政府承担风险的能力等都是政府能力的评价指标。政府对项目所有权的重视程度以及项目本身的特点，包括项目规模、难度、收益水平等，都是 BOT 模式适用性的评价指标。具体见表 1。

Table 1. Evaluation index for BOT mode selection
表 1. BOT 模式选择评价指标

一级指标		二级指标	数据来源	正负性
BOT 模式选择评价指标	政府的专业水平及管理能力 B_1	政府信用 C_1	合同违约数量	−
		制度过程成熟度 C_2	制度纰漏数量	−
		招投标竞争机制完善度 C_3		+
		土地供应情况 C_4	土地储备量	+
		项目发生亏损时时政府的救援能力及风险分担能力 C_5		+
	政府对所有权的重视程度 B_2	政府对收益权的重视程度 C_6		+
		政府对处置权的重视程度 C_7		+
	项目规模及项目难度 B_3	项目规模 C_8	投资额	+
		项目技术复杂程度 C_9		+
	项目收益稳定性 B_4	项目运营效率 C_{10}	企业资金周转速度	+
		内部收益率 C_{11}		+
		投资回收期 C_{12}		−
	社会资本充裕度 B_5	规模以上企业总资产 C_{13}		+
		金融机构信贷规模 C_{14}	年末贷款额增加值	+
	BOT 模式经验水平 B_6	BOT 模式国际经验水平 C_{15}		+
		国内 BOT 项目落地率 C_{16}		+

2.2. TOD 模式评价指标的选取

TOD (Transit-Oriented Development，交通导向开发)模式的本质是公交系统与城市开发规划之间的双向带动协调，是一种从根本上协调城市土地与交通的土地开发模式。TOD 模式凭借以公交为主要发展主

体的城市交通系统，能带动我国城市空间的大幅度增长，这要求政府具备较强的以公共交通为导向的城市规划能力；TOD 模式可以应用于新拓展地区、再开发地区及城市待开发区域，因此区域特征必然影响 TOD 模式的应用；此外，土地征收成本，政府的城市经营水平以及 TOD 的经验水平都是 TOD 模式适用性的评价指标。具体见表 2。

Table 2. Evaluation index for TOD mode selection
表 2. TOD 模式选择评价指标

一级指标		二级指标	数据来源	正负性
TOD 模式选择评价指标	政府以公共交通为导向的城市规划能力 B_1	相关开发政策的创新和保障 C_1	政策增加数量	+
		一体化的交通与城市土地利用规划能力 C_2		+
		建设方案审批效率 C_3	审批数量	+
	基础设施区域特征 B_2	所处区域的可开发性 C_4	开发政策数量和内容	+
		所处区域的未来开发潜能 C_5		+
	土地征收(或拆迁)成本 B_3	土地征收效率 C_6		+
		土地征收成本额 C_7		−
	政府的城市管理水平 B_4	公共交通等基础设施的维护水平 C_8	维护资金	+
		政府轴向发展的普及性 C_9		+
		公交衍生商业的开发能力 C_{10}	相关政策数量	+
	TOD 模式经验水平 B_6	TOD 模式国际经验水平 C_{11}		+
		国内 TOD 项目落地率 C_{12}		+

2.3. TOT 模式评价指标的选取

TOT (Transfer-Operate-Transfer，移交－经营－移交)模式的特点是政府在一定期限内(指特许经营期间)出让特许经营权，从社会资本方获得一定量的资金用于其他项目的建设，获得资金金额量是基于政府自身对项目的资产评估情况。对于投资人来说，已建成项目的属性及价格的合理性都是重点考虑的因素；各方的管理水平，风险承担能力及财政资金紧张程度都是 TOT 模式适用性的评价指标。具体见表 3。

Table 3. Evaluation index for TOT mode selection
表 3. TOT 模式选择评价指标

一级指标		二级指标	正负性
TOT 模式选择评价指标	已建成项目的可获得性 B_1	项目预先评估论证的充分程度 C_1	+
		项目定价的正确性 C_2	−
	参与方的技术管理水平 B_2	竞争报价机制的合理性 C_3	+
		投资方运营管理经验 C_4	+
		政府监管的合理性 C_5	+
	财政资金水平 B_3	当地 $GDPC_6$	+
		政府债务率 C_7	−
	投资者的风险承受能力 B_4	投资者预测风险能力 C_8	−
		投资者风险承受能力 C_9	−
	TOT 模式经验水平 B_5	TOT 模式国际经验水平 C_{10}	+
		国内 TOT 项目落地率 C_{11}	+

3. AHP-模糊综合评价模型的构建

3.1. 层次分析法确定指标权重

3.1.1. 建立层次分析结构模型

对所研究的问题进行分析，明确问题所包含的各个因素、以及因素之间的相互关系，然后将这些因素进行划分，将隶属关系的元素分成从上至下的若干层，将具有共同属性的元素归为一组；最高层的一个元素为决策目标，中间层是受决策目标支配的准则和子准则层，最底层是方案层或措施层。本文的层次分析结构模型如图 1、图 2、图 3 所示。

3.1.2. 构造判断矩阵

由专家利用 1~9 比例标度法，分别对每一层次的评价指标的相对重要性进行定性描述，并用准确的数字进行量化表示。标度 a_{ij} 表示因素 i 比因素 j 的相对重要性，1、3、5、7、9 分别表示 i 因素比 j 因素“相同重要”、“稍微重要”、“较为重要”、“非常重要”、“绝对重要”，2、4、6、8 为两个标度的中间值。由专家打分得到的两两比较判断矩阵，见表 4。

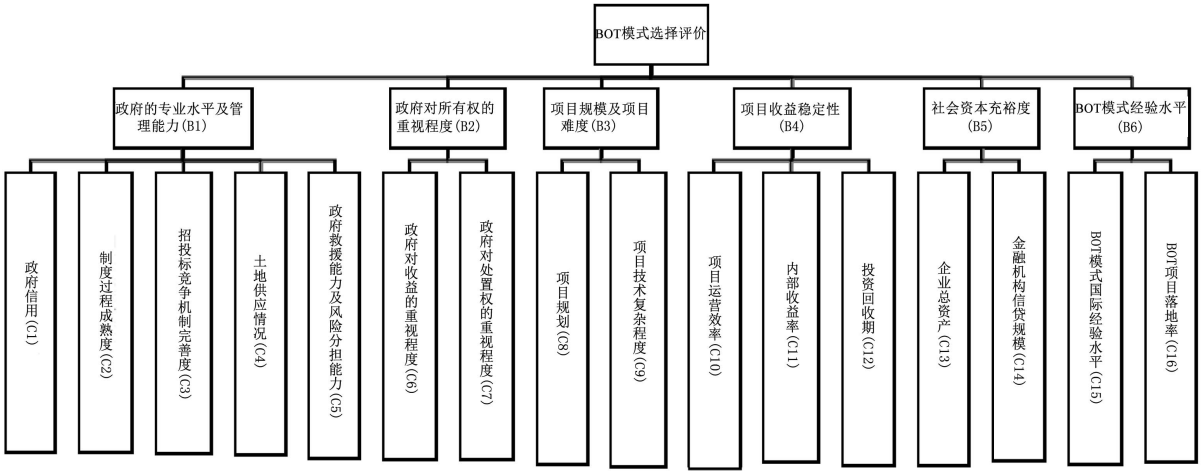

Figure 1. Hierarchy for BOT mode
图 1. BOT 模式层次结构

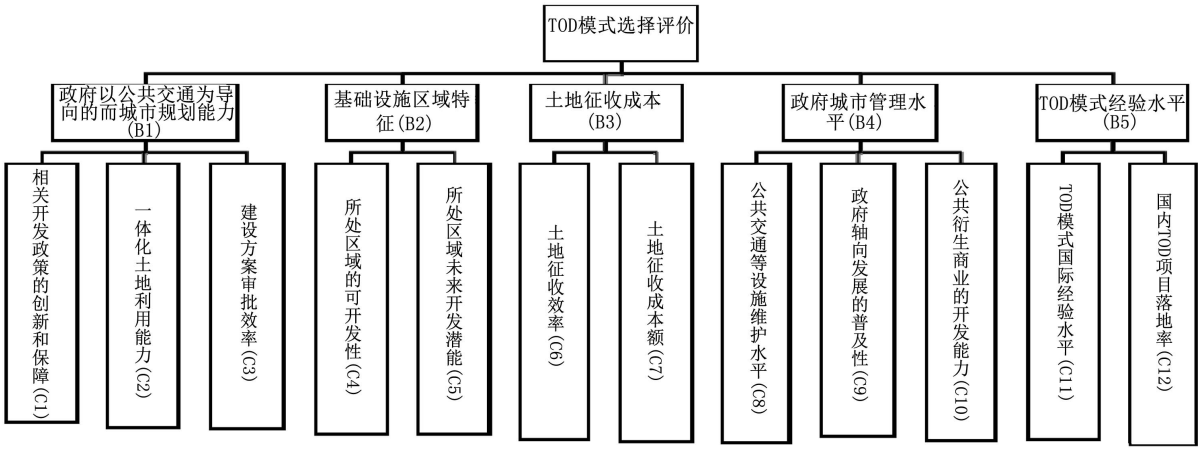

Figure 2. Hierarchy for TOD mode
图 2. TOD 模式层次结构

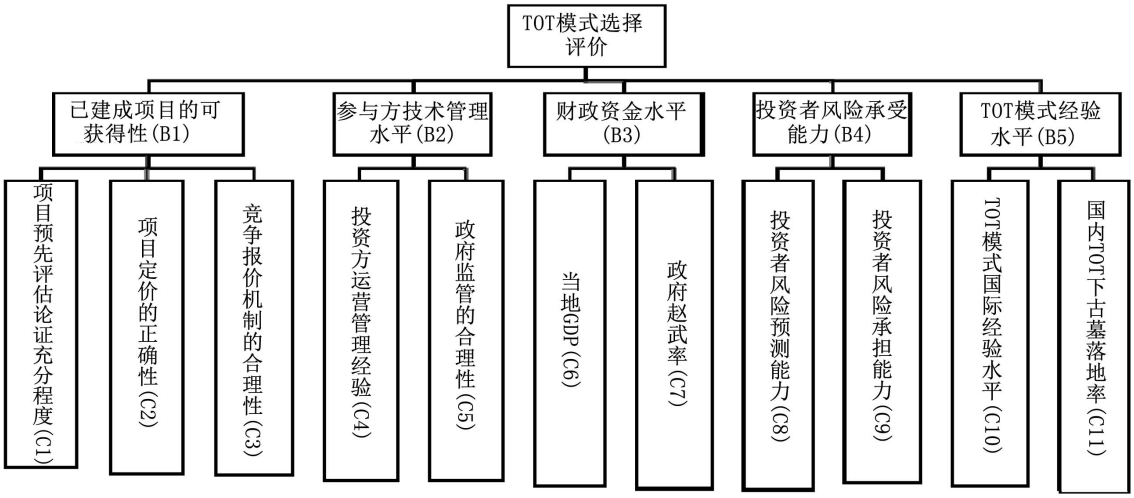

Figure 3. Hierarchy for TOT mode
图 3. TOT 模式层次结构

Table 4. Judgment matrix for A-B
表 4. A-B 判断矩阵

A	B_1	B_2	B_3	…	B_N
B_1	1	a_{12}	a_{13}	…	a_{1N}
B_2	a_{21}	1	a_{23}	…	a_{2N}
B_3	a_{31}	a_{32}	1	…	a_{3N}
…	…	…	…	…	…
B_N	a_{N1}	a_{N2}	a_{N3}	…	1

3.1.3. 层次单排序

1) 将得到的矩阵按行分别相加

$$W_j = W_i = \sum_{j=1}^{N} \frac{a_{ij}}{N} \tag{1}$$

得到列向量 $\overline{W} = [W_1, W_2, W_3, \cdots, W_N]^T$， $i = 1, 2, \cdots, N$ 。

2) 将所得的 W 向量分别做归一化处理，得到单一准则下各元素的排序权重向量。

3.1.4. 一致性检验

应用公式 2 能够计算求解判断矩阵的最大特征值；然后分别代入公式 3 和公式 4，计算判断矩阵的一致性指标 CI 和一致性比 CR，检验其一致性：

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{(AX)i}{W_i} \tag{2}$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \tag{3}$$

式中，A 为 A-B 判断矩阵，n 为判断矩阵阶数，$\lambda_{\max}$ 为判断矩阵最大特征值。判断矩阵一致性性程度越高，CI 值越小。当 $CI = 0$ 时，判断矩阵达到完全一致(表 5)。

$$CR = CI / RI \tag{4}$$

Table 5. Average consistency indicator of RI
表 5. 平均一致性指标 *RI*

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI 值	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48

通常情况下，对于 $n \geq 3$ 阶的判断矩阵，当 $CR \leq 0.1$ 时，即 $\lambda_{\max}$ 偏离 n 的相对误差 CI 不超过平均随机一致性指标 RI 的十分之一时，一般认为判断矩阵的一致性是可以接受的；否则，当 $CR > 0.1$ 时，说明判断矩阵偏离一致性程度过大，必须对判断矩阵进行必要的调整，使之具有满意的一致性为止。

3.1.5. 层次总排序

层次的总排序可以直观的掌握每个层次中的因素之间相对重要性。邀请从事 PPP 模式研究的专家学者、法律人士以及与 PPP 项目相关的政府部门、工程企业、咨询机构的从业人员等进行打分，最后统计数据，计算出权重，见表 6、表 7、表 8。

Table 6. Index weight for selection evaluation for BOT mode
表 6. BOT 模式选择评价指标权重

准则层	准则层权重	指标层	指标层权重	综合权重
B_1	0.323	C_1	0.364	0.118
		C_2	0.108	0.349
		C_3	0.183	0.059
		C_4	0.068	0.022
		C_5	0.277	0.089
B_2	0.256	C_6	0.33	0.084
		C_7	0.67	0.172
B_3	0.066	C_8	0.5	0.033
		C_9	0.5	0.033
B_4	0.17	C_{10}	0.55	0.094
		C_{11}	0.24	0.041
		C_{12}	0.21	0.036
B_5	0.087	C_{13}	0.33	0.056
		C_{14}	0.67	0.058
B_6	0.09	C_{15}	0.67	0.060
		C_{16}	0.33	0.030

Table 7. Index weight for selection evaluation for TOD mode
表 7. TOD 模式选择评价指标权重

准则层	准则层权重	指标层	指标层权重	综合权重
B_1	0.303	C_1	0.265	0.080
		C_2	0.479	0.145
		C_3	0.256	0.078
B_2	0.274	C_4	0.500	0.137
		C_5	0.500	0.137
B_3	0.189	C_6	0.330	0.062
		C_7	0.670	0.127

Continued

		C_8	0.273	0.048
B_4	0.175	C_9	0.438	0.077
		C_{10}	0.289	0.051
B_5	0.059	C_{11}	0.500	0.030
		C_{12}	0.500	0.030

Table 8. Index weight for selection evaluation for TOT mode
表 8. TOT 模式选择评价指标权重

准则层	准则层权重	指标层	指标层权重	综合权重
		C_1	0.427	0.130
B_1	0.305	C_2	0.258	0.079
		C_3	0.315	0.096
B_2	0.284	C_4	0.33	0.094
		C_5	0.67	0.190
B_3	0.237	C_6	0.538	0.128
		C_7	0.462	0.109
B_4	0.104	C_8	0.659	0.069
		C_9	0.341	0.035
B_5	0.070	C_{10}	0.500	0.035
		C_{11}	0.500	0.035

3.2. 模糊综合评价法进行评价

3.2.1. 确定评价因素集合

评价因素集合 $U=\{u_1,u_2,\cdots,u_n\}$，其中 $u_i\left(i=1,2,\cdots,N\right)$ 为评价因素，N 是同一层次上单个因素的个数。

3.2.2. 确定评价等级标准集合

评价等级标准集合 $V=\{v_1,v_2,\cdots,v_n\}$，其中 $v_j\left(i=1,2,\cdots,n\right)$ 是评价等级标准，n 是元素个数，V 集合规定了某一评价因素的评价结果的选择范围。

3.2.3. 确定隶属度矩阵

本文采用专家打分法确定定性指标隶属度，定性指标隶属度由以下计算得到：

$$r_{ij}=\sum_{k=1}^{H}u_{ij}^{k},i=1,2,\cdots,m;j=1,2,\cdots,n \tag{5}$$

式中：u_{ij}^{k} 表示评价者 k 对评价对象 i 的评价结果；H 为邀请的评价者数目；m 为评价对象个数；n 为评价等级数。

定量指标隶属度由以下半梯度分布函数确定：

设评价指标因素集 $X^T=\{x_1,x_2,\cdots,x_m\}$，评价等级标准 $V=\{v_1,v_2,v_3,\cdots,v_n\}$，设 v_j 和 v_{j+1} 为相邻两级标准，且 $v_{j+1}>v_j$，则 v_j 级隶属度函数为

$$r_1=\begin{cases}1 & x_1\le V_1\\ \left(V_2-x_1\right)/\left(V_2-V_1\right) & V_1\le x_1\le V_2\\ 0 & V_2\le x_1\end{cases}$$

$$r_2=\begin{cases}1-r_1 & V_1<x_1\le V_2\\ (V_3-x_1)/(V_3-V_2) & V_2\le x_1\le V_3\\ 0 & V_3\le x_1 或 x_1\le V_1\end{cases} \tag{6}$$

$$r_j=\begin{cases}1-r_j-1 & V_{j-1}<x_i\le V_j\\ (V_{j+1}-x_i)/(V_{j+1}-V_j) & V_j\le x_i\le V_{j+1}\\ 0 & V_{j+1}\le x_i 或 x_i\le V_{j-1}\end{cases}$$

3.2.4. 进行多层次综合评价

根据最大隶属原则，确定评价对象所属的评价等级，给出评价结论。

4. 重庆市轻轨三号线一期工程模式选择评价

4.1. 工程概况

重庆市轨道交通三号线(简称“轻轨三号线”)是重庆市“五年计划中”所重点关注的项目之一，它作为一条缓解城市交通压力的重要轨道交通干线，也是国务院着重审批的交通计划，其贯穿着重庆市主城区所形成的交通网络，在当地发展中发挥着至关重要的作用。该轻轨项目采用跨座式单轨道模式，总长度为 19.93 千米，其中地上部分长度为 14.25 千米，地下部分长度为 5.68 千米，地下部分为四段隧道，整个线路车站总数为 18 个。该项目的客流量在初期的预测水平为 1.13 万人次/小时，在近期的预测水平为 1.39 万人次/小时，在远期的预测水平为 2.0 万人次/小时。

该项目预计总投资额为 58.1 亿元，平均 2.6 亿元/公里，其中 23.7 亿元属于自有资金，其余借款类分为三个部分：金额为 1 亿元的短期借款、日本协力银行放贷的 13 亿贷款以及向当地金融机构取得的 20 亿元的融资租赁。内部收益率为 3.68%，财务净现值为 15.2 亿元，投资回收期为 22.87 年。

4.2. 确定评价标准集合

4.2.1. 定性指标评价标准

本文针对指标体系中的定性指标建立了“非常不适用”、“不适用”、“基本适用”、“很适用”、“非常适用”五个评价等级，用专家打分的方法确定隶属度。这些专家来自造价咨询单位、施工单位、财政局、发改委等政府部门、高校及其他的独立研究机构的 PPP 相关研究人员。

4.2.2. 定量指标评价标准

根据当地政府相关文件条例、参考文献中相关指标的取值，考虑到实例自身特点，建立了定量指标评价等级标准[6] [7] [8] [9] [10]，以近几年数值的平均值作为要评价实例。数据来源为政府部门的调研数据及政府采购招标网、统计年鉴等其他相关网站、文献。收集的数据汇总于下表 9~表 11。

Table 9. Evaluation criteria for quantitative indicators for BOT mode
表 9. BOT 定量指标评价标准

评价指标	等级					
	非常不适用	不适用	基本适用	很适用	非常适用	实例
政府信用 C_1 (合约违约量：个)	5	4	3	2	0	1
制度过程成熟度 C_2 (制度纰漏数量：个)	5	4	2	1	0	0
土地供应情况 C_4 (土地供应量百分比：%)	0	10	20	30	40	15

Continued

项目规模 C_8 (投资额：亿元)	1	10	20	40	50	58.1
项目运营效率 C_{10} (企业资金周转率：%)	0	10	20	30	40	25
内部收益率 C_{11} (%)	4	8	12	16	20	15.2
投资回收期 C_{12} (年)	50	40	30	20	10	22.8
规模以上企业总资产 C_{13} (亿元)	1500	3000	4500	6000	7500	6500
金融机构信贷规模 C_{14} (亿元)	500	1000	1500	2000	2500	1800
当地 BOT 项目落地率 C_{16} (%)	10	20	30	40	50	15

Table 10. Evaluation criteria for quantitative indicators for TOD mode
表 10. TOD 定量指标评价标准

评价指标	等级					
	非常不适用	不适用	基本适用	很适用	非常适用	实例
开发政策的创新和保障 C_1 (政策增加数：个)	0	1	3	5	7	2
建设方案审批效率 C_2 (审批数量：个/周期)	1	3	5	7	9	3
所处区域的可开发性 C_4 (政策数量：个/开发周期)	0	1	4	7	9	3
征收土地成本额 C_7 (亿元)	25	20	15	10	5	8.38
公共交通等基础设施维护水平 C_8 (政府基础设施维护资金：亿元)	5	10	15	20	25	9.84
公交衍生商业的开发能力 C_{11} (相关开发政策数：个/周期)	1	3	5	7	9	4
当地 TOD 项目落地率(%) C_{12}	10	20	30	40	20	10

Table 11. Evaluation criteria for quantitative indicators for TOT mode
表 11. TOT 定量指标评价标准

评价指标	等级					
	非常不适用	不适用	基本适用	很适用	非常适用	实例
项目预先论证评估的充分程度 C_1 (%)	10	15	20	30	40	13
项目定价的正确性 C_2 (价格变动次数：个)	6	4	2	1	0	3
投资方运营管理经验 C_4 (参与类似项目数量：个)	0	1	3	5	7	3
当地 $GDPC_6$ (亿元)	5000	7500	10,000	12,500	15,000	7800
政府债务率 C_7 (%)	100	125	150	175	200	115
当地 TOT 项目落地率(%) C_{11}	10	20	30	40	50	5

4.3. 构造模糊综合评价矩阵

以 BOT 模式为例，对模式适用性进行评价。

1) 采用专家打分法获得定性指标评语集

邀请专家根据定性指标评价等级标准表，对重庆市轻轨三号线模式适用情况进行打分，采用十分制统计法统计专家意见。

2) 由隶属度函数计算定量指标评语集

以 BOT 模式中“政府信用 C_1”评语集的确定为例，说明定量指标隶属度的确立过程。C_1 评价标准见表 12。

Table 12. Evaluation criteria of government credit
表 12. 政府信用评价标准

评价指标	等级					
	非常不适用	不适用	适用	很适用	非常适用	实例
政府信用 C_1 (合约违约量：个)	5	4	3	2	0	1

可知 $x_1=1$、$v_1=0$，$v_2=2$，$v_3=3$，$v_4=4$，$v_5=5$ 按照公式 6，具体计算过程如下：

$$r_1=(v_2-x_1)/(v_2-v_1)=2-1/2=0.5, v_1<x_1<v_2$$
$$r_2=1-r_1=0.5, v_1<x_1\le v_2$$
$$r_3=r_4=r_5=0, x_1\le v_2$$

因此，得到 C_1 评语集为 $[0,0,0,0.5,0.5]$，表示此项目的“政府信用”有 50.00%的可能属于“很适用”水平，有 50.00%的可能属于“非常适用”水平。分别计算 BOT 模式其他选择指标的隶属度，最终得到模糊综合评价矩阵，见表 13。

Table 13. Fuzzy comprehensive evaluation matrix for BOT mode
表 13. BOT 模式模糊综合评价矩阵

准则层 B	指标层 C	模糊综合评价矩阵				
		非常不适合	不适合	基本适合	很适合	非常适合
政府的专业水平及管理能力 B_1	政府信用 C_1	0	0	0	0.5	0.5
	制度过程成熟度 C_2	0	1	0	0	0
	招投标竞争机制完善度 C_3	0	0	0.56	0.44	0
	土地供应情况 C_4	0	0.33	0.67	0	0
	项目亏损时政府的救援能力及风险分担能力 C_5	0	0	0.23	0.44	0.33
政府对所有权的重视程度 B_2	政府对收益权的重视程度 C_6	0	0.22	0.56	0.22	0
	政府对处置权的重视程度 C_7	0	0	0.22	0.22	0.56
项目规模及项目难度 B_3	项目规模 C_8	0	0	0	0	1
	项目技术复杂程度 C_9	0	0.22	0.22	0.56	0
项目收益稳定性 B_4	项目运营效率 C_{10}	0	0	0.5	0.5	0
	内部收益率 C_{11}	0	0	0.2	0.8	0
	投资回收期 C_{12}	0	0	0.28	0.72	0
社会资本充裕度 B_5	规模以上企业总资产 C_{13}	0	0	0	0.67	0.33
	金融机构信贷规模 C_{14}	0	0	0.4	0.6	0
BOT 模式经验水平 B_6	BOT 模式国际经验水平 C_{15}	0	0	0.33	0.34	0.33
	当地 BOT 项目落地率 C_{16}	0.5	0.5	0	0	0

4.4. 综合评价

4.4.1. 一级综合评价

根据公式：

$$B_i = W_i * R_i \tag{7}$$

式中：B_i 为 B 层第 i 个指标所包含的各下级因素相对于它的综合模糊运算结果；W_i 为 B 层第 i 个指标下级各因素相对于它的权重；R_i 为模糊评价矩阵，表示 B 层第 i 个指标下级各因素相对于评语集的关系，具体数值见表 14。

Table 14. Fuzzy operation results of index of layer B
表 14. B 层各指标模糊运算结果

W_i	R_i	B_i
$W_1=[0.364,0.108,0.183,0.068,0.277]$	$R_1=\begin{bmatrix}0&0&0&0.5&0.5\\0&1&0&0&0\\0&0&0.56&0.44&0\\0&0.33&0.67&0&0\\0.1&0.16&0.2&0.34&0.2\end{bmatrix}$	$B_1=[0.000,0.130,0.212,0.384,0.273]$
$W_2=[0.33,0.67]$	$R_2=\begin{bmatrix}0&0.22&0.56&0.22&0\\0&0&0.22&0.22&0.56\end{bmatrix}$	$B_2=[0.000,0.073,0.332,0.220,0.375]$
$W_3=[0.5,0.5]$	$R_3=\begin{bmatrix}0&0&0&0&1\\0&0.22&0.22&0.56&0\end{bmatrix}$	$B_3=[0.000,0.110,0.110,0.280,0.500]$
$W_4=[0.550,0.240,0.210]$	$R_4=\begin{bmatrix}0&0&0.5&0.5&0\\0&0&0.2&0.8&0\\0&0&0.28&0.72&0\end{bmatrix}$	$B_4=[0.000,0.000,0.382,0.618,0.000]$
$W_5=[0.33,0.67]$	$R_5=\begin{bmatrix}0&0&0&0.67&0.23\\0&0&0.4&0.6&0\end{bmatrix}$	$B_5=[0.000,0.000,0.268,0.623,0.109]$
$W_6=[0.67,0.33]$	$R_6=\begin{bmatrix}0&0&0.33&0.34&0.33\\0.5&0.5&0&0&0\end{bmatrix}$	$B_6=[0.165,0.165,0.221,0.228,0.21]$

4.4.2. 二级综合评价

根据公式 7，对目标层的综合评判为 $B=W*R$，其中，B 为 A (目标层)包含的各下级因素相对于 A (目标层)的综合模糊运算结果，W 为 A 层下级各因素(即 $B1$，$B2$，$B3$，$B4$，$B5$，$B6$)相对于 A 层的权重，可知 $W=(0.323,0.256,0.066,0.170,0.087,0.098)$。

经矩阵相乘运算后，得到如下结果：

$$B_{\mathrm{BOT}} = W*R = [0.016,0.084,0.271,0.381,0.249].$$

同理：

$$B_{\mathrm{TOD}} = [0.217,0.369,0.203,0.136,0.072].$$

$$B_{\mathrm{TOT}} = [0.399,0.276,0.187,0.109,0.271].$$

由结果可知，重庆轻轨三号线的 BOT 模式适用性有 1.6%的可能属于“非常不适用”；有 8.4%的可能性属于“不适用”；有 27.1%的可能性属于“基本适用”；有 38.1%的可能性属于“很适用”；有 24.9%的可能性属于“非常适用”。根据模糊综合评价法中的最大隶属度原则，在五个等级的隶属度中“38.1%”

的数值最大，因此，所评价的重庆轻轨三号线的 BOT 模式适用性为“很适用”。同理，TOD 模式中“36.9%”的数值最大，TOD 模式适用性为“不适用”；TOT 模式中“39.9%”的数值最大，TOT 模式适用性为“非常不适用”。综上，重庆轻轨三号线的融资模式应选择 BOT 融资模式。而实际上，重庆轻轨三号线正是采用了 BOT 模式，验证了模型的适用性。

5. 结语

本文分析了我国基础设施 PPP 项目常见的三种模式——BOT、TOD、TOT 的特点及适用条件，结合专家访谈，针对 BOT 模式适用性提出 6 个一级指标、16 个二级指标，其中包括 10 个定量指标，6 个定性指标；针对 TOD 模式适用性共提出 5 个一级指标、12 个二级指标，其中包括 7 个定量指标，5 个定性指标；针对 TOT 模式适用性提出 5 个一级指标、11 个二级指标，其中包括 6 个定量指标，5 个定性指标。基于以上评价指标体系，构建了 AHP-模糊综合评价模型，设立了“非常不适用”、“不适用”、“基本适用”、“很适用”、“非常适用”五个评价等级，并对重庆市轻轨三号线一期工程进行了分析，得出 BOT 模式“很适用”的结论，和实际情况高度符合。本文的研究为我国基础设施 PPP 项目的模式选择提供了参考依据。

参考文献

[1] 项英辉, 刘亚臣. 我国城乡基础设施建设投资情况对比分析[J]. 建筑经济, 2012(1): 81-83.

[2] 项英辉, 肖赞. 基于社会资本视角的 PPP 模式推广中的问题分析[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2016, 18(5): 476-481.

[3] 冯剑梅. PPP 模式下的政府投资项目融资模式[J]. 合作经济与科技, 2009(1): 64-66.

[4] 丰景春, 钟云, 薛松. 基于 FAHP 的公私合作伙伴关系(PPP)模式适用性研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2016, 30(3): 126-133.

[5] 章昀玥, 张云宁, 欧阳红祥. PPP 模式下基础设施项目合作伙伴选择研究[J]. 工程管理学报, 2016, 30(4): 85-89.

[6] 项英辉, 肖赞. PPP 项目城市投资环境综合评价——以 15 个副省级城市为例[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2017, 19(2): 141-146.

[7] 袁竞峰, 李启明, 邓小鹏, 李先光. 基于公共部门角度的 PPP 模式在我国发展的推动力研究[J]. 建筑经济, 2009(1): 85-89.

[8] 项英辉, 笪可宁. 基础设施投融资[M]. 北京: 中国电力出版社, 2016: 2.

[9] 项英辉, 薛飞, 李荣彬. 农村基础设施不同融资模式适用性的比较分析[J]. 辽宁行政学院学报, 2011, 13(1): 73-75.

[10] 项英辉. 中国农村基础设施投融资问题研究[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2013: 5.

Hans 汉斯

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD
   下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-1476，即可查询
2. 打开知网首页 http://cnki.net/
   左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：http://www.hanspub.org/Submission.aspx
期刊邮箱：orf@hanspub.org