

文章编号:1005-0523(2019)01-0117-08

基于灰色关联分析的高铁 PPP 项目风险评价

张旭斌,董 莪

(武汉轻工大学土木工程与建筑学院,湖北 武汉 430023)

摘要:随着 PPP 融资模式在高铁建设应用中越来越广泛,其风险问题也越来越突出。为对我国高铁 PPP 项目风险进行合理的评价,构建了高铁 PPP 项目的风险综合评价体系,运用层次分析法求出各评价指标的权重,基于灰色关联分析建立了高铁 PPP 项目风险评价模型,通过对灰色关联度排序,找出了影响高铁 PPP 项目的关键风险因素。最后选择济青高铁项目进行评价模型应用,应用结果表明该模型具有一定的合理性和有效性。

关键词:PPP;高速铁路;风险评价;灰色关联分析

中图分类号:[U-9]

文献标志码:A

随着 2008 年我国第一条高速铁路京津城际铁路的正式开通运营,我国高铁基础设施建设迎来飞速发展。截至到 2016 年初,我国高铁建成通车里程已经有 1.9 万 km,而根据规划,我国计划到 2020 年将建成通车高铁里程 3 万 km,远期达到 4.5 万 km^[1]。高铁建设的蓬勃发展需要巨大的资金投入,而在高铁建设中应用 PPP 融资模式可以有效引入社会资本进行高铁建设投资,能够提高投资效率并大大增加经济和社会效益。

我国学者针对 PPP 模式在应用和发展中出现的问题,结合国际先进经验进行了相关理论研究,万冬君^[2]等在比较了 PPP 模式和其他融资模式在小城镇基础设施中的应用情况后,提出了包括融资环境在内的五种应用模型,并提出了相应的实施建议,这在一定程度上推动了 PPP 项目的发展。鲁庆成^[3]等在面临当时现有投资问题时进行了铁路 PPP 融资模式的研究,结合我国实际情况提出了应用 PPP 模式相应的政策建议。陈柳钦^[4]通过研究分析伦敦地铁等成功的 PPP 项目案例,认为我国在应用 PPP 模式时应注意监管机制、法律法规等方面的问题。赵斌^[5]等根据 PPP 项目风险分担原则,建立了城际铁路 PPP 项目风险分担模型,并进行分析以期能够达到避免风险的效果。李利娜^[6]分析了高速公路应用 PPP 模式的特点并分析了财务公司参与 PPP 融资的服务和优势,以期推动 PPP 融资模式在高速公路建设方面的应用。李素英^[7]等以某市基础设施为例,运用 AHP 方法得出了 PPP 在应用于基础设施时的风险情况,并针对存在的风险问题提出针对性的管控措施。

然而,我国学者对于 PPP 项目风险的研究大多停留在理论阶段,对于高铁 PPP 项目的风险评价及指标体系的建立尚确处在基础阶段。建立适用于高铁 PPP 项目的风险评价体系,找出高铁 PPP 项目中关键风险因素,为高铁 PPP 项目相关主体提供风险预防参考,成为 PPP 融资模式应用于高铁项目中的关键研究问题。基于此,本文建立了基于高铁 PPP 项目的包括 5 个一级指标和 16 个二级指标在内的风险评价体系,并求出各指标的权重;根据灰色关联分析建立风险评价模型,求出关键风险因素,最终得到综合性评价结果,并进一步针对关键风险提出了相应的对策建议。

收稿日期:2018-08-15

作者简介:张旭斌(1994—),男,硕士研究生,研究方向为建设项目管理。

通讯作者:董莪(1962—),女,教授,研究方向为建设项目管理。

1 高铁 PPP 项目风险评价体系的建立与权重确定

1.1 评价指标体系的建立

高铁 PPP 项目风险评价体系的建立应当遵循系统性、全面性、代表性和具有可操作性的原则。评价体系对于待评价对象的特点和意图应能够全面反映;应能够整体顾及到待评价对象所涉及到的各种问题,做到评价指标的细化;应具有高操作性,能够尽可能简单的获取评价指标数据和结果;使评价指标具有极强的代表性,使指标简单明了,各评价指标能突出反映评价对象的特点。

本文通过参考国内现有理论,根据我国高速铁路项目在投资规模、建设时间、技术要求、质量要求、经济效益、市场潜力、社会影响等方面的特征^[8-11],综合国内外 PPP 项目的应用现状及 PPP 模式本身的特点和优缺点,并总结国内外不成功 PPP 项目的影响因素,分析 PPP 模式中不同主体之间的博弈状况^[12-13],建立了包含 5 个一级指标 $B_1 \sim B_5$ 和 16 个二级指标 $B_{11} \sim B_{33}$ 在内的高铁 PPP 项目风险综合评价体系,如图 1 所示。

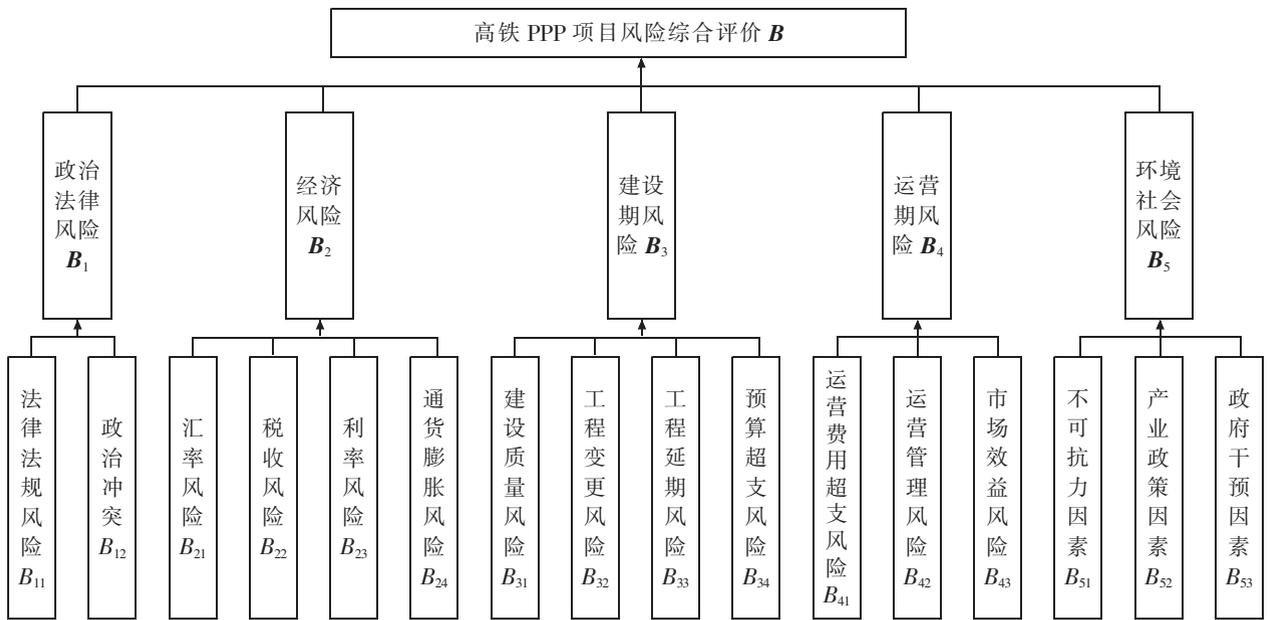


图 1 高铁 PPP 项目风险综合评价体系

Fig.1 Comprehensive evaluation system of high-speed railway PPP project risk

1.2 层次分析法确定权重

首先根据层次分析法建立层次结构,即建立以高铁 PPP 项目风险综合评价为目标层,以政治法律风险等 5 个一级指标为准则层,以政治冲突等 16 个二级指标为指标层的层次模型,然后再计算各级指标的指标权重,最后计算综合权重。运用层次分析法计算指标权重的步骤如下:

1) 判断矩阵构造。对于某层中的 n 个元素,有 $A=(A_1 \ A_2 \ \dots \ A_j \ \dots \ A_n)$,根据 1~9 标度法,用数字 1~9 及其倒数表示两两元素间的相互重要程度,由此可得到判断矩阵

$$A=(A_{ij}) \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & a_{k2} & \dots & a_{kk} \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中: a_{ij} 为第 i 个元素相对于第 j 个元素的重要性结果。

2) 相对权重计算。首先计算出判断矩阵 A 的特征值 λ , 然后再求出判断矩阵 A 的特征向量。由特征值和特征向量求出各指标的单排序权重: 归一化方根向量 $\bar{\omega}=(\bar{\omega}_1 \quad \bar{\omega}_2 \quad \cdots \quad \bar{\omega}_{n-1} \quad \bar{\omega}_n)$, 即

$$\bar{\omega}_i = \bar{\omega}_i / \sum_{j=1}^n \bar{\omega}_j (i, j=1, 2, \cdots, n) \quad (2)$$

得到相对权重向量 $C=(W_1 \quad W_2 \quad \cdots \quad W_n)^T$, 其中 W_i 为集合中各元素的权重值。

3) 一致性检验。若矩阵 A 满足 $a_{kj}a_{ik}=a_{ij}$ 或一致性比例 $CR=CI/RI < 0.1$ 时, 则判断矩阵 A 具有完全一致性, 其中 $CI=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1}$, RI 为随机一致性指标。若矩阵不具有完全一致性, 则需要修正矩阵或者重新进行判断构造新的判断矩阵。

2 基于灰色关联分析的高铁 PPP 项目投资风险评价模型

2.1 构建思路

灰色关联分析是一种产生于 20 世纪 80 年代的基于多因素的分析方法, 通常以不确定性系统作为研究对象^[4]。高铁 PPP 项目风险具有很高的复杂性, 表现在有经济、环境等多方面的风险, 同时高铁 PPP 项目风险又具有不确定性和未知性, 因此灰色关联分析方法是一种合理的分析方法。本文将上文确定的 16 个评价指标作为参考数列, 将待评价项目作为比较数列, 然后计算灰色关联系数与关联度, 据此来找出关键风险因素, 分析待评价项目的风险程度。

2.2 计算步骤

1) 确定数据列。将待评价项目作为被比较序列 X_i , 将各指标的最优情况设为参考序列 X_0 , 则被比较序列

$$\begin{aligned} X_i(k) &= \{x_i(1) \quad x_i(2) \quad \cdots \quad x_i(n)\}, (i=1, 2, \cdots, m) \\ X_0(k) &= \{x_0(1) \quad x_0(2) \quad \cdots \quad x_0(n)\} \end{aligned}$$

2) 原始数据处理。按照式(3)的方法量纲统一化参考序列与被比较序列的原始数据

$$x_i^0(k) = \frac{x_0(k) - \min x_i(k)}{\max x_i(k) - \min x_i(k)} \quad (3)$$

其中, $x_i^0(k)$ 为初始化后的新序列。

3) 灰色关联系数计算。首先计算绝对差序列 Δ_{ik}, Δ_{ik} 为无量纲化参考序列与被比较序列的差的绝对值, 即

$$\Delta_{ik} = |x_0'(k) - x_i'(k)| \quad (4)$$

记 $\Delta = \begin{bmatrix} \Delta_{11} & \cdots & \Delta_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ \Delta_{m1} & \cdots & \Delta_{mn} \end{bmatrix}$, 则 $\Delta_{\min} = \min_i \min_k \{ |x_0^0(k) - x_i^0(k)| \}$, $\Delta_{\max} = \max_i \max_k \{ |x_0'(k) - x_i'(k)| \}$ 。其中, Δ_{\min} 与

Δ_{\max} 分别为中的最小差和最大差。

然后根据绝对差序列计算关联系数,

根据式(5)计算每一点被比较数列和参考数列的关联系数 ξ_{0i}

$$\xi_{0i} = \frac{\Delta_{\min} + \rho(j)\Delta_{\max}}{\Delta_{ij} + \rho(j)\Delta_{\max}} \quad (5)$$

式中: $\rho(j)$ 为分辨系数^[15], 记

$$\zeta(k) = \frac{1}{n \cdot \max_i \max_k \Delta_{ik}} \sum_{i=1}^n \Delta_{ik} \quad (6)$$

则当 $\frac{1}{2} < \zeta(k)$ 时, $\rho(k)$ 取 0.8~1 之间; 当 $\frac{1}{3} \leq \rho(k) \leq \frac{1}{2}$ 时, $\frac{1}{2}\rho(k) = \zeta(k)$; 当 $\zeta(k) < \frac{1}{3}$, $\rho(k) = 1.5\zeta(k)$ 。

$\rho = \{\rho(1), \rho(2), \dots, \rho(m)\}$ 且 ρ 的取值在 0~1 之间, 通常取 $\rho=0.5$ 。

4) 计算灰色关联度。第 k 个评价方案与最优方案的灰色关联度为

$$\gamma_{\alpha} = \sum_{k=1}^n w_i(k) \zeta_{\alpha}(k) \quad (7)$$

其中 $w_i(k)$ 为与在 k 点的灰色关联系数 $\zeta_{\alpha}(k)$ 对应权重。

5) 找出关键影响因素。为分析高铁 PPP 项目的关键风险因素, 找到需要重点控制的风险薄弱环节, 进而有效规避风险, 因此根据综合权重和各指标评分的加权数 $D(k)$ 来确定关键风险因素

$$D(k) = (6 - x_0(k)) w_i(k) \quad (8)$$

$D(k)$ 越大, 则所对应的二级指标的影响程度越大。

3 实例应用

对即将建成通车的济青(济南—青岛)高速铁路项目进行实例分析, 济青高铁项目是我国首条以地方政府为主导的高铁项目, 也是我国第一个高铁 PPP 项目。济青高铁联通山东省内济南、青岛两大核心城市, 中途经过章丘、淄博、青州、潍坊等省内经济强市, 线路全长为 307.83 km, 是太青(太原—青岛)客专的重要组成部分。济青高铁项目的建设融资构成为铁路总公司占比 20%, 民间社会资本为 20%, 其它(外资、省属资金)资本为 60%^[6], 项目于 2015 年开工建设, 计划 2019 年初建成通车。

3.1 基于灰色关联分析的 PPP 高铁项目风险综合评价

3.1.1 风险指标权重计算

首先邀请专家按照图 1 所示的高铁 PPP 项目风险评价体系对济青高铁 PPP 项目的 5 个一级评价指标进行重要度比较, 确定每个指标的重要度, 用 1~9 标度法构建判断矩阵 $A-B$, 并确定指标权重。构成的判断矩阵如表 1 所示。

表 1 判断矩阵 $A-B$
Tab.1 Judgment matrix $A-B$

A	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
B_1	1	1/5	1/4	1/3	3
B_2	5	1	1	2	9
B_3	4	1	1	2	7
B_4	3	1/2	1/2	1	5
B_5	1/3	1/9	1/7	1/5	1

经计算, 5 个一级指标权重分别为 $W=(0.083, 0.372, 0.319, 0.189, 0.037)$, $\lambda_{\max}=5.055$, 经检验, $CR<0.1$, 故判断矩阵 $A-B$ 满足一致性。

根据相同方法建立 5 个一级指标下的二级指标判断矩阵并计算权重值, 进行一致性检验。具体建立的判断矩阵见表 2~表 6。

表 2 判断矩阵 B_1
Tab.2 Judgment matrix B_1

B_1	B_{11}	B_{12}	W_1
B_{11}	1	2	0.677
B_{12}	1/2	1	0.333

表 3 判断矩阵 B_2
Tab.3 Judgment matrix B_2

B_2	B_{21}	B_{22}	B_{23}	B_{24}	W_2
B_{21}	1	3	1/3	1/2	0.175
B_{22}	1/3	1	1/4	1/4	0.081
B_{23}	3	4	1	2	0.455
B_{24}	2	4	1/2	1	0.289

表 4 判断矩阵 B_3
Tab.4 Judgment matrix B_3

B_3	B_{31}	B_{32}	B_{33}	B_{34}	W_3
B_{31}	1	5	5	3	0.572
B_{32}	1/5	1	1	1/2	0.109
B_{33}	1/5	1	1	1/2	0.109
B_{34}	1/3	2	2	1	0.209

表 5 判断矩阵 B_4
Tab.5 Judgment matrix B_4

B_4	B_{41}	B_{42}	B_{43}	W_4
B_{41}	1	2	3	0.163
B_{42}	1/2	1	2	0.539
B_{43}	1/3	1/2	1	0.297

表 6 判断矩阵 B_5
Tab.6 Judgment matrix B_5

B_5	B_{51}	B_{52}	B_{53}	W_5
B_{51}	1	1/2	1	0.207
B_{52}	1	1	2	0.475
B_{53}	1/2	1/3	1	0.315

经计算,上述判断矩阵均满足一致性要求,整理后得评价体系的综合指标权重如表 7 所示。

3.1.2 基于灰色关联的综合评价

邀请专家对济青高铁 PPP 项目风险按照 50~60,60~70,70~80,80~90,90~100 五个分数段进行评价并打分,五个分数段分别对应济青高铁 PPP 项目各风险的风险水平,为方便计算,将各分数段分别转换成标准数值如表 8 所示。

将所得的初始数据按照式(3)进行无量纲化处理,然后计算得到 Δ_{ik} ,可知 $\Delta_{\max}=1, \Delta_{\min}=0$ 。取 $\rho=0.5$,由式(5)计算可以得到关联系数见表 9,再综合上文计算得到的指标综合权重通过式(7)计算得到灰色关联度 $\gamma_{0k}=(0.348\ 2, 0.424\ 1, 0.543\ 7, 0.719\ 3, 0.895\ 9)$ 。

3.1.3 结果分析

由得到的一级指标权重可知,在高铁 PPP 项目中,建设期风险、经济风险最大,其次为运营期风险,而环境社会风险最小,与实际项目情况相符。

由 $\gamma_{06} > \gamma_{05} > \gamma_{04} > \gamma_{03} > \gamma_{02} > \gamma_{01}$,根据灰色关联分析可知,关联度 γ_{0k} 越大,则风险控制水平就接近相应等级,由此可以得到济青高铁 PPP 项目的风险水平达到了优的等级,与项目实际情况相吻合。根据式(8)计算得到: $D(k)=(0.110\ 8, 0.055\ 2, 0.065\ 1, 0.090\ 3, 0.169\ 3, 0.107\ 5, 0.182\ 5, 0.069\ 6, 0.069\ 6, 0.667, 0.030\ 8, 0.101\ 9, 0.056\ 1, 0.023\ 1, 0.035\ 2, 0.023\ 4)$ 。将 $D(k)$ 值从大到小排序可知, $D(B_{31}) > D(B_{23}) > D(B_{11}) > D(B_{24}) > D$

$(B_{42}) > D(B_{22})$ 。由此可以得到对在高铁 PPP 项目影响效果较大的关键风险因素依次为建设质量风险、利率风险、法律法规风险、通货膨胀风险、运营管理风险、税收风险。

表 7 评价指标综合权重表
Tab.7 Comprehensive weight of evaluation index

总层	分目标层	方案层及代号	权重	综合权重
高铁 PPP 项目 风险 评价 体系 A	政治法律风险 B_1 (0.083)	法律法规风险 B_{11}	0.667	0.055 4
		政治冲突 B_{12}	0.333	0.027 6
	经济风险 B_2 (0.372)	汇率风险 B_{21}	0.175	0.065 1
		税收风险 B_{22}	0.081	0.030 1
		利率风险 B_{23}	0.455	0.169 3
	建设期风险 B_3 (0.319)	通货膨胀风险 B_{24}	0.289	0.107 5
		建设质量风险 B_{31}	0.572	0.182 5
		工程变更风险 B_{32}	0.109	0.034 8
		工程延期风险 B_{33}	0.109	0.034 8
	运营期风险 B_4 (0.189)	预算超支风险 B_{34}	0.209	0.066 7
		运营费用超支风险 B_{41}	0.163	0.030 8
		运营管理风险 B_{42}	0.539	0.101 9
	环境社会风险 B_5 (0.037)	市场效益风险 B_{43}	0.297	0.056 1
		不可抗力因素 B_{51}	0.207	0.007 7
		产业政策因素 B_{52}	0.475	0.017 6
		政府干预风险 B_{53}	0.315	0.011 7

表 8 评级等级得分与标准数值表
Tab.8 Rating scale and standard scale

等级	差	较差	中	良	优
得分	50~60	60~70	70~80	80~90	90~100
标准数值	1	2	3	4	5

3.2 风险应对措施

在高铁 PPP 项目中,针对不同的风险类型,采取不同的预防与应对方法,同时应当根据具体项目中的不同行为主体,明确其责任和承担的风险类型和程度,制定具体的风险防范控制措施,尽最大努力降低风险发生的可能性甚至达到规避风险的效果,使高铁 PPP 项目能够落地实施并正常运营。具体措施如下:

1) 建设质量风险和工程延期风险等项目建设期风险主要由建设施工单位承担。作为项目建设过程中的直接参与方,高铁项目的承建单位应是大型施工企业,应拥有高质量的施工队伍,同时采用高质量的技术,运用先进的管理经验,坚持高标准、高质量建设来规避建设质量方面的风险;还可制定一定的奖惩措施,对于工程质量好、能够及时完工的项目给予一定经济奖励,反之,对于达不到要求的则根据项目实际情况进行不同程度的惩罚。

2) 由于经济风险复杂且多变,由政府、金融机构和相关私营单位共同承担相应的经济风险。对于利率风险,在项目向金融机构进行融资或贷款时可以在合同中约定一个固定的利率,或者采取一个双方都能接受的利率变化水平进行利率确定。同时在利率风险意识、控制机制和体系等方面进行增强,政府也可以提供一定的补贴来减少私营部门的风险损失。在通货膨胀方面,可根据不同的通货膨胀指数,与政府部门协商或

表 9 关联系数计算表
Tab.9 Correlation coefficient

指标	ξ_{0i}	ξ_{0i}	ξ_{0i}	ξ_{0i}	ξ_{0i}
B_{11}	0.400	0.500	0.667	1.000	0.667
B_{12}	0.400	0.500	0.667	1.000	0.667
B_{21}	0.333	0.400	0.500	0.667	1.000
B_{22}	0.500	0.667	1.000	0.667	0.500
B_{23}	0.333	0.400	0.500	0.667	1.000
B_{24}	0.333	0.400	0.500	0.667	1.000
B_{31}	0.333	0.400	0.500	0.667	1.000
B_{32}	0.400	0.500	0.667	1.000	0.667
B_{33}	0.400	0.500	0.667	1.000	0.667
B_{34}	0.400	0.500	0.667	1.000	0.667
B_{41}	0.333	0.400	0.500	0.667	1.000
B_{42}	0.333	0.400	0.500	0.667	1.000
B_{43}	0.333	0.400	0.500	0.667	1.000
B_{51}	0.500	0.667	1.000	0.667	0.500
B_{52}	0.400	0.500	0.667	1.000	0.667
B_{53}	0.400	0.500	0.667	1.000	0.667

约定,适当调整高铁定价或延长交付运营期限来降低风险。对于税率和税率上涨等风险,政府用出台相对完整的法律体系来降低税收风险,向企业保证固定汇率来降低汇率风险。

3) 运营期存在的风险则主要由项目运营部门承担,应当采取更先进的技术来规避运营期间的风险,聘请高水平、具有丰富经验的管理人员,提高管理人员的效率,增强管理人员的组织协调能力。同时采用先进的机械设备对高铁设施进行维护和保养。对于运营期间的收益问题,应提前做好客流预测,同时根据高铁线路沿线经济发展水平,预测经济效益。

4) 政府部门为法律法规方面风险主要承担主体。法律变更带来的风险主要是成本上升等,应给私营部门和其他参与方一定的监督政府的职能,以提高政府应对风险的积极性和能力,对于法律变更带来的风险也可以采取风险转移方式将法律政策风险转移到各方可接受的程度。

5) 由政府 and 私营企业共同承担环境社会风险。其中不可抗力风险是不可能被规避的,只能等风险发生后通过投保或其他方式将损失降到最低,产业政策等风险可以通过政府部门对私营企业的补偿来降低风险的影响程度。

4 结语

高铁 PPP 项目风险是多方面、系统性的,风险虽然不能完全规避,但可以通过分析高铁 PPP 项目中的风险因素,采取适当的措施降低或者转移高铁 PPP 项目所面临的风险。采用层次分析法确定了各风险因素的影响程度,找出了重要的风险因素,基于灰色关联分析建立了高铁 PPP 项目风险评价模型,对项目的风险控制能力做出正确的评价,找出了影响高铁 PPP 项目的关键影响因素,并针对性的提出了应对风险的对策建议,该评价体适用于高铁 PPP 项目实用性强,可以为高铁 PPP 项目进行风险评估、制定风险对策提供参考。

同时,本文也存在一些问题,第一是风险因素多种多样,不能详尽列举所有风险因素,使评价体系可能存在一定差别;第二是随着我国经济社会的发展,风险也会发生变化,相关风险的应对方式也会发生改进;因此该模型的相关评价指标需要根据实际情况和社会发展进行完善补充。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于印发《中长期铁路网规划》的通知 发改基础[2016] 1536号[A]. 北京: 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2016.
- [2] 万冬君, 王要武, 姚兵. 基础设施 PPP 融资模式及其在小城镇的应用研究[J]. 土木工程学报, 2006(6): 115-119.
- [3] 鲁庆成, 任润堂. PPP 融资模式在我国铁路融资中的应用研究[J]. 铁道工程学报, 2007(9): 98-101.
- [4] 陈柳钦. 公共基础设施 PPP 融资模式研究[J]. 南方金融, 2008(12): 21-24.
- [5] 赵斌, 帅斌. 基于 PPP 模式城际铁路项目风险分担模型[J]. 华东交通大学学报, 2017, 34(5): 65-71.
- [6] 李利娜. 高速公路建设 PPP 融资模式探讨[J]. 改革与战略, 2015, 31(3): 53-55.
- [7] 李素英, 杨娉. PPP 模式下基础设施项目融资风险研究——以 RC 县市政基础设施建设为例[J]. 经济研究参考, 2016(33): 15-19.
- [8] 徐玉萍, 唐青, 付来美, 等. 高速铁路建设对长三角经济区城市化发展的影响研究[J]. 华东交通大学学报, 2017, 34(6): 124-132.
- [9] 卢春房. 中国高速铁路的技术特点[J]. 科技导报, 2015, 33(18): 13-19.
- [10] 卢春房. 中国高速铁路工程质量管理创新与实践[J]. 中国铁道科学, 2015, 36(1): 1-10.
- [11] 李祥妹, 刘亚洲, 曹丽萍. 高速铁路建设对人口流动空间的影响研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(6): 140-147.
- [12] 邢会强. PPP 模式中的政府定位[J]. 法学, 2015(11): 17-23.
- [13] 王俊豪, 金暄暄. PPP 模式下政府和民营企业的契约关系及其治理——以中国城市基础设施 PPP 为例[J]. 经济与管理研究, 2016, 37(3): 62-68.
- [14] 邓聚龙. 灰色系统综述[J]. 世界科学, 1983(7): 1-5.
- [15] 东亚斌, 段志善. 灰色关联度分辨系数的一种新的确定方法[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2008(4): 589-592.
- [16] 褚卫强. 济青高铁融资模式研究[J]. 中外企业家, 2016(22): 64-65.

Risk Assessment of High-Speed Rail PPP Projects Based on Grey Relational Analysis

Zhang Xubin, Dong E

(School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: With the increasing application of PPP financing mode in high-speed rail construction, the risk problem is becoming more and more prominent. In order to evaluate the risk of high-speed railway PPP project reasonably in China, a comprehensive risk evaluation system of high-speed railway PPP project was established in this study. The weight of each evaluation index was calculated with AHP, and the risk evaluation model of high-speed railway PPP project was set up based on grey correlational analysis. The key risk factors were determined by the grey correlation degree ranking. Finally, the evaluation model was applied in Jinan-Qinghai high-speed railway project. The application results show that the model is reasonable and effective.

Key words: PPP; high-speed rail; risk assessment; GRA