

跨境铁路项目全生命周期风险评价研究*

——基于ADPSO-AHP算法

王艳伟, 宫利利, 黄宜

(云南农业大学, 云南 昆明 650201)

摘要:以跨境铁路全生命周期风险为研究对象,进行风险识别与评价,并确定风险程度等级,为跨境基础设施的研究提供一定的参考和借鉴。首先根据文献研究法识别跨境铁路风险,从政治、经济、社会等多方面构建风险指标体系,然后采用自适应粒子群-层次分析法建立风险评价模型,最后以中老铁路全生命周期风险为例进行实证研究,探讨风险权重并给出相关建议。

关键词:跨境铁路; 风险指标; 自适应粒子群-层次分析法; 风险评价

中图分类号: U215.1; TU71 文献标识码: A 文章编号: 1002-851X(2022)12-0097-08

DOI: 10.14181/j.cnki.1002-851x.202212097

[引用本文] 王艳伟, 宫利利, 黄宜.跨境铁路项目全生命周期风险评价研究——基于ADPSO-AHP算法[J].建筑经济, 2022, 43(12): 97-104.

截至2022年3月,中国已经同149个国家和32个国际组织签署200余份共建“一带一路”

*基金项目: 国家自然科学基金“政府和社会资本合作项目韧性的形成机理、评价模型及提升路径研究”(72261035); 云南省省院省校教育合作人文社科项目“云南乡村振兴项目投融资模式创新研究”(SYSX202202); 云南省应用基础研究农业联合专项面上项目“基于熵的农村环境治理PPP项目风险演化机理、测度模型及控制系统研究”(202101BD070001-061)

作者简介: 王艳伟, 教授, 博士, 研究方向: 项目管理、项目融资。

黄宜(通讯作者), 高级统计师, 研究方向: 项目管理、可持续发展。

合作文件。“一带一路”的实施,推动了跨境铁路的高速发展,《中欧班列发展报告(2021)》显示,中欧班列作为跨境铁路的旗舰项目,已累计开行4.9万列,运输货物443.2万标箱,通达欧洲23个国家180个城市。跨境铁路的开通对于促进沿线国家经济发展具有重要意义,然而它在创造社会经济利益的同时,也面临着各种各样的风险。与一般跨境基础设施相比,跨境铁路项目周期长、涉及投资主体多、投资金额大,加上国家间的政治关系多变,使得跨境铁路项目面临的不确定性因素增多。因此,为了跨境铁路项目顺利实施并投入运营,首先应厘清跨境铁路项目全生命周期的风险,以便于进

一步进行风险管控,从而推动跨境铁路高质量发展。

跨境铁路沿线涉及国家众多,由于国别不同,国家制度、宗教信仰、社会风俗等有较大差异,风险评价工作更为繁琐,数据获取比较困难。对于跨境项目风险评价,学者们提出了不同角度的评价模型,例如,胡文发在分析跨境项目政治风险的基础上,提出了基于BP神经网络算法的风险评价模型;徐婷婷以跨境项目实施过程中可能面临的风险为研究内对象,运用Fuzzy-DEMATEL方法,分析风险因素之间错综复杂的内在联系;丁毛寄在文献识别的基础上确立了国际工程项目的核心风险,并以此确立以模糊综合评价为基础的风险评价模型;向鹏成等运用独立性权重法、变异系数法和CRITIC权重法对确定的“一带一路”沿线国家基础设施风险指标进行客观赋权,并基于风险相似度对评价结果进行分析;Dikmen I采用层次分析法来计算国际工程项目风险和进行机会评级,并进一步对国际工程项目风险进行排序。考虑到层次分析法在解决多层次复杂问题方面的便利性,本文将采用层次分析法。为了避免该方法在运用时容易出现的一致性检验不通过问题,本文采用自适应粒子群(Adaptive particle swarm, PSO)-层次分析法(AHP)对跨境铁路全生命周期风险权重进行计算。

1 跨境铁路项目风险识别

跨境铁路工程项目的风险识别是研究风险评价关键的步骤,本文采用文献研究法全面识别跨境项目的风险。根据文献调查研究,

跨境工程项目的风险包括政治、经济、社会、环境、质量、管理等维度。具体而言,王妮等认为政治风险是进行跨境铁路项目时最突出的风险,政治风险主要与东道国内部的政治稳定性及国家之间的政治关系有关,部分铁路项目所处的环境经济落后、政治不稳定、治安复杂等给跨境铁路带来了更大的挑战;胡忆楠指出经济风险是经济原因造成的风险,应从经济政策变化、物价上涨、通货膨胀速度加快、金融风险、外汇汇率变化等方面来考虑一个国家的经济稳健性;由于跨境铁路涉及国家众多,杨超认为跨境基础设施尤其要注意对于不同国家文化的尊重和包容,社会风险主要表现在语言障碍、伦理习俗等方面,社会风险的冲突若进一步加剧,则可能会导致基础设施的投资失败;廖石云指出不同国家的地形地貌、气候条件造成的风险为环境风险,亦是影响跨境工程项目的重要因素;李健认为管理风险既是一般工程项目所面临的基本问题,同时在国际工程项目中也是非常重要的,境外铁路项目在建设期间如果工程环境较为复杂、人员素质参差不齐、管理不到位容易引起重大工程事故,影响跨境工程项目顺利实施;质量合格是工程项目验收合格的第一步,李健提出质量风险主要从质量缺陷、设备采购、施工操作及管理人员素质、施工工艺合理性等方面考虑。

因此,本文立足于跨境铁路的全生命周期视角,从政治、经济、社会、环境、质量、管理六个方面考虑,结合文献识别法,确定了跨境铁路风险评价指标体系,其27种风险及相关权重具体如表1所示。

表1 跨境铁路风险评价指标体系

目标层	准则层	指标层	选取依据	指标表征
跨境铁路风险评价指标体系 A	政治风险 B ₁ (0.35303)	腐败程度C ₁ (0.35831)	部分国家内由于腐败问题导致资源配置扭曲、社会发展成本增加等,降低了公共投资效率和基础设施质量	拥有公权者徇私枉法,获取私利,影响社会秩序
		政治关系风险C ₂ (0.28758)	国家关系的变化会对项目的建设带来致命影响	围绕国家公共权力而形成的一整套关系体系
		政府效能C ₃ (0.18391)	部分国家的政府没有专门的跨境设施管理机构,导致某些跨境项目出现“落地难”的问题	国家行政人员在行政管理活动中所发挥功能的程度及其产生效率、效益、效果的综合体现
		政府更迭C ₄ (0.11501)	国家新政府替代原政府,出现原有项目资金流短缺甚至断供,导致现有跨境项目无法继续开展	新政府人员替代原政府人员
		宗教紧张度C ₅ (0.05519)	部分国家存在政教合一现象,宗教问题可能会阻碍跨境项目的进程	宗教对国家政治安全的影响程度
	经济风险 B ₂ (0.25216)	融资风险C ₆ (0.31312)	工程项目融资困难,资金缺口较大导致跨境设施难以按计划进行	筹资活动中由于筹资规划而引起收益变动的风险
		债务水平C ₇ (0.24493)	部分国家外债规模膨胀并且结构不合理,影响了资金的周转与稳定,从而动摇跨境项目的稳定	国家的负债水平
		通货膨胀指数C ₈ (0.20042)	部分国家通货膨胀过于严重,导致经济不稳定,跨境项目被搁置	反映消费价格的上涨速度
		汇率波动C ₉ (0.17814)	部分国家汇率变动影响了国内就业、收入以及资源配置,致使跨境基础设施的资金减少甚至停供	货币对外价值的上下波动
		利率风险C ₁₀ (0.06333)	国家利率调整导致资金缺口,使得跨境基础设施资金链断裂而项目停止进行	市场利率变动的不确定性给跨境项目造成损失的可能性
	社会风险 B ₃ (0.20013)	失业率C ₁₁ (0.29946)	国家失业率过高,缺乏足够的劳动力,跨境设施无法正常开展	失业人口占劳动人口的比率
		犯罪指数C ₁₂ (0.33564)	国家犯罪指数过高,社会动荡不安,对工程项目威胁较大	刑事犯罪现象变动情况的比较指标
		语言障碍C ₁₃ (0.14807)	国家之间的语言差异,导致沟通不及时或出现误解,导致跨境项目的正常施工出现矛盾、纠纷问题	不同国家之间语言沟通存在的问题
		伦理习俗C ₁₄ (0.09716)	国家之间的伦理习俗不同,会对跨境项目的总体规划产生影响	不同国家相互交流时应遵循的道理和准则
		公众抵制C ₁₅ (0.11966)	国家公民意愿会对跨境项目在施工过程中造成一定的潜在危险	国家公民对国家某类行为或政策的抗拒

环境风险 B ₄ (0.08977)	气候影响C ₁₆ (0.46412)	各国气候差异会对跨境项目实施造成不可避免的损失	气候及其变化对人类生活、生产和社会活动环境所造成的影响
	地理位置偏远C ₁₇ (0.17573)	跨境项目由于地理位置偏远而耗费的人力、物力、财力发生变化	跨境项目设立在山区、农村等偏远地方
	地质条件差C ₁₈ (0.17020)	项目位置不同,地质条件不同,所投入的资金情况也不同	地质松软、沙态化严重或者地下水源丰富、纯石头结构所带来的施工困难
	不可抗力风险C ₁₉ (0.18986)	项目除常见风险外,还会有一些不可抗力因素带来的经济压力	战争、自然灾害等不可抗力风险
质量风险 B ₅ (0.06160)	质量缺陷C ₂₀ (0.31359)	质量缺陷是跨境项目进行验收时的重点问题	未满足与预期或规定用途有关的要求
	设备采购C ₂₁ (0.25675)	设备采购作为跨境项目准备工作,对后续工作至关重要	生产所用的机器设备和所耗费的原材料采购
	施工操作及管理 人员素质C ₂₂ (0.28242)	施工操作人员素质对跨境项目的顺利开展起着关键作用	施工及管理人员的工作态度与工作能力
	施工工艺合理性 C ₂₃ (0.14544)	施工工艺的合理性影响工程质量	施工流程和步骤符合施工的基本条件,保证施工的正常进行
管理风险 B ₆ (0.04288)	施工安全风险 C ₂₄ (0.43142)	施工安全是跨境项目的首要问题	施工时发生事故的概率
	管理技术缺乏 C ₂₅ (0.29043)	管理是否得当直接影响跨境工程质量、进度、成本	管理人员缺乏管理能力
	成本超支C ₂₆ (0.20217)	成本超支会对跨境工程项目整个资金流造成重要影响	实际成本与原定成本有差距,导致成本目标的偏离
	监管风险C ₂₇ (0.07597)	跨境项目监管不力,则会影响项目的进度或者质量	项目监督人员对项目质量、进度等的监管

2 跨境铁路项目风险评价

ADPSO-AHP法将PSO与传统AHP方法结合,通过目标函数将两者关联起来,从而更精确求得影响因素的权重。本文首先利用AHP法构建风险影响因素的判断矩阵,将风险影响因素的权重看作粒子不同维度的坐标值,粒子在不断迭代的过程中,增加了全局最优的概率,通过粒子不断地迭代,ADPSO算法在满足目标函数一致性的要求下,输出的权重即为最优权重。具体计算步骤如下:

(1) 目标函数的确定:以一级指标对应的判断矩阵为例,设B层各要素的单层排序值为 w_k , $k=1\sim n$,若判断矩阵具有一致性,则以判断矩阵 $A_K = (a_{ij})_{n \times n}$,若 A_K 满足 $a_{ij} = w_i/w_j$ ($i, j=1\sim n$),则说明 A_K 具有完全一致性,于是有:

$$\sum_{i=1}^n \left| \sum_{k=1}^n (a_{ik} \times w_k) - nw_i \right| = 0 \quad (1)$$

$$\min F(W) = \sum_{i=1}^n \left| \sum_{k=1}^n (a_{ik} \times w_k) - nw_i \right| / n \quad (2)$$

显然,式(1)左端的值越小,判断矩阵 A_K 的一致性程度就越高,式(1)成立时, A_K 具有

完全一致性。本文把风险影响因素 w_i 当作自变量, 以判断矩阵的一致性作为粒子的优劣标准, 因此风险因素权重问题转化为求目标函数值最小的问题。

(2) 粒子维度的确定: 根据 PSO 的特点, 每个粒子维度的坐标值为判断矩阵各影响因素的权重值, 因此粒子的维度等于判断矩阵中影响因素的个数, 即为权重 w_i 的个数。

(3) 确定惯性权重 ω 、学习因子 c_1 、 c_2 、粒子个数与粒子的位置和速度。粒子个数越多, 计算结果越平滑, 根据设定的目标函数最优解迭代获得粒子的个体最优值与群体最优值。

(4) 计算更新后粒子的适应度, 并选取粒子自身的最优位置与全局最优位置。

(5) 将所求的模型最优值带入目标函数, 求出判断矩阵所对应的一致性比率值, 若其满足一致性要求, 则输出结果, 如不符合, 则继续迭代。

计算过程和伪代码不再累述。

3 实例分析

3.1 项目概况

中老铁路是连接中国昆明与老挝万象的一条铁路, 桥梁居多, 建设难度较大, 总长 1035 公里, 是泛亚铁路线的重要组成部分, 它作为“一带一路”标志性工程, 全线于 2021 年 2 月 3 日开通运营, 对构建中老命运共同体提供有力支撑。本文以中老铁路为例, 以建立的跨境铁路风险评价体系为基础, 利用 ADPSO-AHP 方法对中老铁路进行风险评价验证。

3.2 风险指标权重的计算

本文采用层次分析法的 1-9 标度法, 来获取识别出的 27 个风险指标的重要性, 将问卷

发送给跨境工程项目经验丰富的 8 名专家, 其中跨境基础设施建设从业 15 年以上 (5 人)、国际项目工程师 (3 人), 邀请他们对指标层风险因素的重要性进行打分, 专家打分结果如下所示。

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 17/7 & 11/4 & 8/3 & 4 & 25/9 \\ 7/17 & 1 & 17/7 & 19/5 & 23/7 & 2 \\ 4/11 & 7/17 & 1 & 4 & 9/2 & 13/4 \\ 3/8 & 5/19 & 1/4 & 1 & 2 & 17/9 \\ 1/4 & 7/23 & 2/9 & 1/2 & 1 & 3/2 \\ 9/25 & 1/2 & 1/3 & 9/17 & 2/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 12/5 & 13/7 & 5/2 & 2 \\ 5/12 & 1 & 19/7 & 20/7 & 16/5 \\ 7/13 & 7/19 & 1 & 23/9 & 23/9 \\ 2/5 & 7/20 & 9/23 & 1 & 8/3 \\ 1/2 & 5/16 & 9/23 & 3/8 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4/3 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 2 & 5/3 & 2 \\ 3/4 & 1/2 & 1 & 5/3 & 12/5 \\ 1/2 & 3/5 & 3/5 & 1 & 37/8 \\ 1/2 & 1/2 & 5/12 & 8/37 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 1 & 9/5 & 17/9 & 2 & 1 \\ 5/9 & 1 & 11/4 & 32/7 & 19/7 \\ 9/17 & 4/11 & 1 & 9/4 & 7/9 \\ 1/2 & 7/32 & 4/9 & 1 & 5/6 \\ 1 & 7/19 & 9/7 & 6/5 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_4 = \begin{bmatrix} 1 & 10/3 & 17/7 & 2 \\ 3/10 & 1 & 7/5 & 7/9 \\ 7/17 & 5/7 & 1 & 1 \\ 1/2 & 9/7 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_5 = \begin{bmatrix} 1 & 8/5 & 4/3 & 1 \\ 5/8 & 1 & 4/3 & 4/3 \\ 3/4 & 3/4 & 1 & 3 \\ 1 & 3/4 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_6 = \begin{bmatrix} 1 & 22/9 & 17/9 & 8/3 \\ 9/22 & 1 & 7/3 & 3 \\ 9/17 & 3/7 & 1 & 10/3 \\ 3/8 & 1/3 & 3/10 & 1 \end{bmatrix}$$

表2 ADPSO-AHP模型与AHP法判断矩阵计算结果对比

求解模型	判断矩阵	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	一致性指标函数值
AHP	A_1	0.33335	0.23609	0.19826	0.09298	0.06668	0.07263	0.08200
	B_1	0.32591	0.27740	0.18621	0.12410	0.08637		0.09000
	B_2	0.29453	0.23167	0.19504	0.18620	0.09255		0.08600
	B_3	0.27204	0.32784	0.14100	0.09480	0.16433		0.06800
	B_4	0.45680	0.17438	0.17050	0.19832			0.02000
	B_5	0.29804	0.24345	0.27850	0.18001			0.09200
	B_6	0.40533	0.28299	0.21178	0.09990			0.09500
ADPSO-AHP	A_1	0.35303	0.25216	0.20013	0.08977	0.06160	0.04288	0.07010
	B_1	0.35831	0.28758	0.18391	0.11501	0.05519		0.06100
	B_2	0.31310	0.24493	0.20042	0.17814	0.06333		0.05830
	B_3	0.29946	0.33564	0.14807	0.09716	0.11966		0.03090
	B_4	0.46412	0.17573	0.17020	0.18986			0.01270
	B_5	0.31539	0.25675	0.28242	0.14544			0.05210
	B_6	0.43142	0.29043	0.20217	0.07597			0.02720

根据ADPSO算法流程,构建判断矩阵之后,本文选取了50个粒子,以一级指标对应的矩阵A为例,一级指标里有6个风险因素,在MATLAB软件里生成50个6维粒子,粒子的大小在 $[0, 1]$ 之间,粒子的速度变化在 $[-0.1, 0.1]$ 之间。然后使用SPSS软件对矩阵进行层次分析法(AHP)数据分析,得到的结果和ADPSO-AHP的结果进行对比,如表2所示。

3.3 评价结果分析

(1) ADPSO-AHP模型在权重范围 $(0, 1)$ 区间内不断进行迭代快速达到全局化最优,目标函数的一致性指标值均小于0.1,符合一致性要求;目标函数一致性的函数值ADPSO-AHP

<AHP,由此可得由ADPSO-AHP模型得出的权重比AHP方法得出的权重更加准确,进一步验证了ADPSO-AHP方法的精确性。

(2) 以表1中一级指标为例,其风险权重排序为政治风险>经济风险>社会风险>环境风险>质量风险>管理风险。因此中老跨境铁路项目最需要考虑的是政治风险,权重约为35%,在政治风险中,权重较大的为腐败风险和政治关系风险,跨境铁路涉及国家众多,东道国内部的清廉指数以及国家间的政治关系在跨境铁路中起着关键作用。例如在中老铁路项目中,中国与老挝签订了《廉洁承诺书》,承诺中老双方共同遵守廉洁准则,打造“一带一

路”廉洁建设示范工程。在进行跨境铁路国家间的合作时,应从以下几个方面重点把控:1)加强对东道国政府环境的了解,关注东道国的清廉指数变化;2)建立完善的政治风险评估机制;3)企业要建立境外投资保障制度;4)投资时加强与当地企业的联系,了解东道国的政治风险。

中老跨境铁路项目中经济风险权重为25%,在经济风险中,融资风险和债务水平较为重要,在进行跨境铁路基础设施合作时,由于国家间的经济情况不同,仅仅由政府拨款是远远不够的,要加强与企业间的合作,增加企业的投资,拓宽融资渠道,保证资金能够及时到位。例如中方在中老铁路项目中投资占比相对较大,中老两国合资成立的中老铁路有限公司投资总额约为23.65亿美元,中方占有股份约为70%。如果项目建设过程中或者在后期运行中出现问题,中方就会承受绝大多数的损失。在中老铁路项目中,项目资金方面对中方依赖较重,在融资时,中方采取融资渠道多元化的方式,从而分散融资风险,同时也利用本国自身经济优势,合理化降低风险。

各国的失业率、风俗习惯、文化差异等差别较大,社会风险(20%)事件的发生会阻碍跨境项目的工程进度,同时在各不同文化的冲击下,社会风险的矛盾进一步扩大,当冲突进一步加剧时,社会风险事件造成的影响会直接导致项目的失败。各国合作方要建立文化交流沟通机制,增强对合作国的文化认同感,避免因社会风险造成项目的失败,中老铁路的开通对当地的经济产生了积极影响,但受地理位置

等多种因素的影响,沿线国家失业人数增多、盗窃、毒品犯罪等活动时有发生,影响了部分国家正常的社会秩序。为此,中老铁路加强了沿线地区的警务合作,进而有助于维护中老铁路沿线的和谐。

中老跨境铁路项目中环境风险权重为9%,在项目实施过程中,地理位置偏远、气候影响等会严重阻碍项目的施工进度。例如中老铁路部分施工地环境极其恶劣,加大了施工难度,老挝雨季漫长,造成塌方不断,拖延项目进程,为此中老铁路项目的施工方不断修改施工组织计划,从而保证项目顺利进行。

由于跨境铁路项目的特殊性,项目内部风险如质量风险(6%)、管理风险(4%)相比较于政治风险、经济风险占比重较小,主要由于项目本身条件所决定,可控因素较多,如老挝境内各种技术资料存在难以收集的问题,基本项目上没有可以借鉴的技术资料,加大了工程设计的难度,因此在中老铁路项目中建设单位投入了巨大的人力、物力到实地勘察中,为设计提供了翔实的现场数据和资料。同时在技术方案确定上经过了充分地必选论证,妥善处理中国标准与当地通用标准的关系。上述跨境工程项目中遇到的问题可以在项目内解决,从而降低跨境铁路的风险,提高跨境项目的成功率。

4 结 语

本文以跨境铁路风险为研究对象,通过风险识别得到较为全面的跨境基础设施风险清单,并采用ADPSO-AHP算法模型对跨境铁路风险因素进行了权重优化计算,然后将层次分

析法(AHP)和ADPSO-AHP算法的计算结果进行对比,最后以中老铁路为例,根据不同风险给出相应的对策,希望能为跨境基础设施的建设提供有价值的参考。▲

参考文献

- [1] 胡文发.基于BP算法的国际工程项目政治风险评估模型[J].重庆建筑大学学报, 2006(4): 98-100+105.
- [2] 徐婷婷.基于Fuzzy-DEMATEL方法的国际工程项目风险研究[J].项目管理技术, 2021(11): 78-84.
- [3] 丁毛寄.国际工程施工总承包商风险管理研究[D].天津:天津大学, 2017.
- [4] 向鹏成,张菲,盛亚慧.“一带一路”沿线国家基础设施投资社会风险评估研究[J].工业技术经济, 2022(3): 3-11.
- [5] Dikmen I, Birgonul M T. An analytic hierarchy process based model for risk and opportunity assessment of international construction projects[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2006(1): 58-68.
- [6] 王妮.我国海外基础设施投资项目风险防范研究——基于中美贸易摩擦背景[J].价格月刊, 2019(12): 76-80.
- [7] 胡忆楠,丁一兵,王铁山.“一带一路”沿线国家PPP项目风险识别及应对[J].国际经济合作, 2019(3): 132-140.
- [8] 杨超.建筑企业参与“一带一路”沿线基础设施建设的风险与应对[J].建筑经济, 2020(S1): 13-16.
- [9] 廖石云,肖彦,刘章胜.“一带一路”基础设施PPP项目面临的风险与对策[J].建筑经济, 2019(11): 9-13.
- [10] 李健.G集团中俄国际建筑工程项目风险管理研究[D].大连:大连理工大学, 2014.

Study on Life Cycle Risk Assessment of Cross-border Railway Projects: Based on ADPSO-AHP Algorithm

WANG Yanwei, GONG Lili, HUANG Yi

(Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: This paper takes the whole life cycle risk of cross-border railway as the research object, carries on the risk identification and evaluation, and then determines the degree of risk, which provides some reference for the research of cross-border infrastructure. Firstly, identifies the risk of cross-border railway according to the literature research method, and constructs the risk index system from the aspects of politics, economy and society. Then, establishes the risk evaluation model by the adaptive particle swarm optimization-analytic hierarchy process. Finally, takes the life cycle risk of China-Laos railway as an example for empirical research, discusses the risk weight and gives relevant suggestions.

Keywords: cross-border railway; risk index; adaptive particle swarm optimization-analytic hierarchy process; risk evaluation