

可再生能源项目外源性风险评估研究

朱 玥

南京信息工程大学商学院, 江苏 南京

收稿日期: 2025年2月19日; 录用日期: 2025年2月28日; 发布日期: 2025年3月28日

摘 要

截止到2024年底, “一带一路”倡议提出已逾十年, 它根源于中国的愿望, 即通过加强国际合作, 促进沿线国家的互利共赢, 推动全球化进程。研究“一带一路”倡议下沿线国家中可再生能源的发展对经济增长的影响具有深远的意义。本文从政治风险、经济风险、社会风险和自然风险四个方面构建外源性风险评估指标体系。研究采用AHP-熵权法确定指标权重, 结合未确知测度理论构建了风险评估模型。以巴基斯坦乌子高水电站为案例, 运用本文所构建的风险评估模型, 评估其项目风险等级为“较高”, 实证证明了该模型具有较强的可靠性与实用性。本文构建了较为全面的风险评估指标体系, 丰富了可再生能源项目外源性风险评估的相关研究, 对促进相关项目的可持续发展具有现实意义。

关键词

可再生能源项目, 风险评估, AHP-熵权法组合权重, 未确知测度

Research on the Exogenous Risk Assessment of Renewable Energy Projects

Yue Zhu

School of Business, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing Jiangsu

Received: Feb. 19th, 2025; accepted: Feb. 28th, 2025; published: Mar. 28th, 2025

Abstract

By the end of 2024, the Belt and Road Initiative has been proposed for more than ten years. It is rooted in China's desire to promote mutual benefit and win-win results among countries along the route through strengthening international cooperation and promoting the process of globalization. It is of far-reaching significance to study the impact of the development of renewable energy on economic growth in countries along the Belt and Road. This article constructs an exogenous risk assessment index system from four aspects: political risk, economic risk, social risk, and natural risk. The study used the AHP-entropy weight method to determine the weight of indicators, and combined

with the unascertained measurement theory to construct a risk assessment model. Using the Wuzi Gao Hydropower Station in Pakistan as a case study, utilizing the risk assessment model constructed in this paper, the project's risk level is evaluated as "high", it is empirically demonstrated that the model exhibits strong reliability and practicality. This article constructs a comprehensive risk assessment index system, enriches the relevant research on exogenous risk assessment of renewable energy projects, and has practical significance for promoting the sustainable development of related projects.

Keywords

Renewable Energy Projects, Risk Assessment, AHP-Entropy Weight Method for Combined Weighting, Uncertainty Measure Theory

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2013 年, 中国提出“一带一路”倡议, 旨在加强倡议下沿线国家互联互通、经济合作和文化交流。该倡议在可再生能源领域取得积极进展, 通过合作投资推动太阳能、风能、水电等项目, 满足能源需求。面对传统能源局限性和环境问题, 全球能源转型浪潮兴起, 可再生能源成为减排、提高能源安全的关键。各国制定政策推动清洁能源发展, 为“一带一路”带来机遇, 使可再生能源项目在倡议中具有战略意义。但是, 由于“一带一路”倡议覆盖众多国家和地区, 所涉及的可再生能源项目通常规模庞大、复杂多样, 这也常常导致其在实际建设过程中风险因素多。

目前国内外对该项目的研究大多集中于机遇与风险方面。首先是机遇方面, 盛斌(2016)认为“一带一路”是中国为应对复杂国际政治经济形势而采取的战略, 是中国崛起的关键力量[1]。马振东(2016)认为该倡议标志着中国外交政策的重大战略调整, 对于优化国内经济结构、深化与周边国家的经贸联系、提升国际影响力具有重要意义[2]。其次是风险方面, 项目在实施的过程中也面临着很多风险。刘家国等(2019)认为中国在“海上丝路”沿线国家的投资分布不均, 投资强度与风险评级不匹配[3]。Jiahai Yuan 等(2018)认为投资面临多种潜在风险, 包括经济、金融、社会、政治、电力前景、资源和环境等方面[4]。

在进行工程项目风险评估时, 国内外学者从不同维度进行考虑, 并采用了多种方法进行计量。Hongliang Zhang (2011)认为工程项目管理中的风险管理的过程应平衡客观风险分析与主观因素, 同时充分考虑各利益相关者的观点[5]。王达(2023)采用风险矩阵对项目进行单因素风险评估, 并通过 Borda 序值法和层次分析法确定风险指标的初始权重。接着利用 DEMATEL 方法得到指标间的相互影响权重, 计算出风险指标的综合权重[6]。Mican Camilo (2022)提出组合代表了项目和战略之间的桥梁。然而, 由于风险因素的具体化, 最终的结果可能不像预期的那样。因此, 文献承认项目组合风险评估是项目组合风险管理的一个要素, 是提供风险因素重要性信息的要素[7]。Nigam Mukesh Kumar (2021)提出了一种 MCDM 方法, 采用模糊 COPRAS (COPRAS-F)来确定风险标准的权重, 然后根据计算出的标准权重对风险因素进行优先排序[8]。

现有研究尚未见专门针对“一带一路”可再生能源项目的外源性风险评估系统性研究。本文细化研究对象, 结合可再生能源项目, 研究其外源性风险, 并构建评估模型。海外基础设施项目执行复杂, 信息不对称, 充满未确知因素。为解决工程中变量描述和赋值难题, 本文引入未确知测度理论, 该理论逻辑推理严格, 无信息损失, 在新项目评估、产业收益评价和投资风险评估中广泛应用, 效果良好。本文

结合可再生能源项目，对“一带一路”项目的外源性风险进行了研究，首先根据风险所属类型建立了外源性风险评价指标体系，再采用 AHP-熵权法结合未确知测度理论，分别从主观和客观上进行赋权并构建风险评估模型。以巴基斯坦乌子高水电站为案例，实证分析其外源性风险，从而探究“一带一路”可再生能源项目的外源性风险。

2. “一带一路”可再生能源项目外源性风险因素识别

2.1. 初始风险因素识别及评价指标体系的构建

为构建科学有效的风险评价指标体系，本文通过行业调研、咨询专家、参考文献，并运用 PEST 法，将“一带一路”项目外源性风险评价指标分为政治、经济、社会、自然 4 个一级指标，并筛选出 17 个高频二级指标，构建了如图 1 风险评价指标体系。

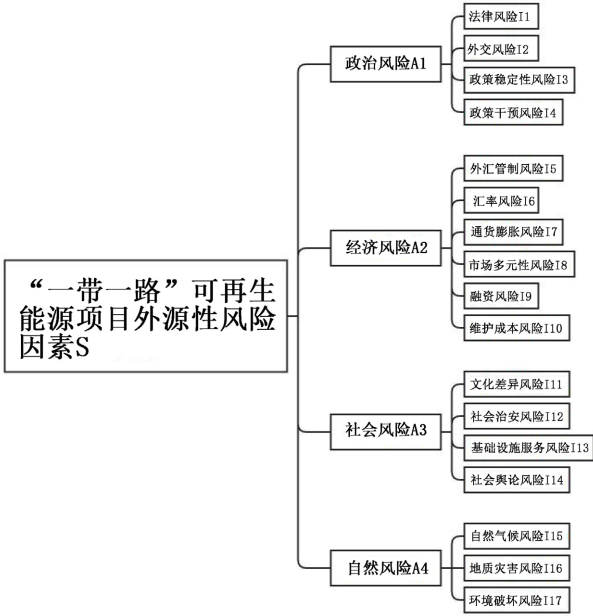


Figure 1. Exogenous risk evaluation index system of renewable energy projects
图 1. 可再生能源项目外源性风险评价指标体系

2.2. 二级风险指标含义说明

(1) 政治风险

政治风险涵盖了法律风险、外交风险、政治稳定性风险和政策干预风险等多个维度。法律风险主要体现在跨国项目中不同国家法律体系的不确定性和变化性，这可能导致合同执行、知识产权保护、劳工法规等方面的风险[9]。外交风险则关注项目所在国家与其他国家之间的关系如何影响项目，例如国际关系紧张、贸易战或制裁政策等都可能对项目实施产生不利影响。政治稳定性风险涉及项目所在国家的政治体制稳定程度及政治局势，政治动荡、政权更迭、示威抗议等不稳定因素都可能对项目造成负面影响。政策干预风险则关注政府政策变化对项目的影响，政府政策的不稳定性或不可预测性，以及政策变动对项目的利润水平、市场准入条件等方面的影响，都可能对项目产生重大影响。

(2) 经济风险

经济风险涵盖了外汇管制风险、汇率风险、通货膨胀风险、市场多元性风险、融资风险以及维护成本风险等多个方面的潜在风险。外汇管制风险主要指由于各国外汇管制政策差异所引发的资金转移限制

或延迟,可能对项目资金流动性和效率产生负面影响[10];汇率风险则涉及不同国家货币汇率波动导致资金价值波动的风险,影响项目利润和资金流动性;通货膨胀风险则关注项目所在国家通胀水平变化对项目成本及盈利性的潜在影响,通胀率上升可能导致项目成本上涨,影响经济收益和长期发展[11];市场多元性风险涉及项目所在国家市场多样性和复杂性对项目市场定位和运营的影响,不同市场环境下的需求、竞争和法规等因素可能影响项目市场表现和盈利能力;融资风险则关注项目资金来源和融资渠道可能受到的限制和不确定性,包括融资成本变动、融资条件变化以及融资来源可靠性等方面的风险,影响项目资金筹集和运营效率[12];维护成本风险则指项目运行和保养过程中所需成本波动对项目经济收益的影响,涉及人力、设备保养、能源使用等多个方面的开支,这些成本波动可能影响项目利润和长期可持续性。

(3) 社会风险

社会风险涵盖了文化差异风险、社会治安风险、基础设施服务风险和社会舆论风险等多个方面。文化差异风险主要体现在不同国家和地区的项目开展中,由于语言、习俗、价值观等方面的差异,可能会对项目团队的沟通合作、项目管理方式的选择以及市场营销策略的制定带来挑战[13]。社会治安风险则关注项目所在地可能存在的安全隐患和社会稳定问题,这些因素可能对项目的人员安全和资产安全构成威胁[14]。基础设施服务风险涉及项目实施过程中可能遇到的基础设施供应不足或不稳定的问题,包括能源供应、交通运输、通信网络等,这些不稳定因素可能会影响项目的正常运作和发展[15]。社会舆论风险则与项目实施时可能遭遇的公众舆论和声誉风险相关,包括媒体报道、社交媒体传播、公众反馈等,这些因素可能会影响项目的形象和声誉,甚至对项目的发展和运营产生影响。

(4) 自然风险

自然风险涵盖了自然气候风险、地质灾害风险和破坏环境风险等多个方面。自然气候风险主要指由气候变化引发的不可预知的自然灾害,如洪水、干旱、风暴等,这些灾害可能导致项目区域基础设施受损、生产活动中断甚至人员伤亡[16]。地质灾害风险则涉及地震、泥石流、滑坡等地质灾害对项目的潜在威胁,尤其是在“一带一路”倡议下沿线地区,由于跨越多种地质构造和地貌类型,地质灾害频发[17]。环境破坏风险则关注项目实施过程中可能对当地自然环境造成的破坏和污染,如一些大型基础设施建设项目可能涉及土地开垦、水资源利用、大量能源消耗等,这些活动可能对生态环境造成负面影响[18][19]。

3. “一带一路”可再生能源项目外源性风险评估模型构建

3.1. 基于 AHP-熵权法的组合赋权

3.1.1. 基于层次分析法的主观权重计算

鉴于可再生能源项目外源性风险指标体系的多指标和多层次特性,AHP的分层结构与该体系高度匹配,且计算简便、所需定量数据少,便于工程实施。因此,利用AHP确定水电站各指标的主观权重既符合实际,也有助于得出科学合理的评价结果。AHP获取项目外源性风险指标权重的步骤如下:

(1) 定性建立层次结构

利用层次分析法(AHP)确定项目风险指标体系,具体内容如下:

目标层:在本研究中是指水电站的安全性评价等级。

准则层:本文准则层包含政治风险、经济风险、社会风险和自然风险。

指标层:由准则层进一步细化而来,是评价水电站安全性的详细指标,本文指标层设置二级指标17个。

(2) 定量建立判断矩阵

在明确了指标体系的结构之后,还要确定安全性指标的权重大小。依据本文构建的风险指标体系,并请专家进行多轮不记名评分。

a_{ij} 为*i*与*j*的相对重要系数,依据既定的标度直接进行赋值,并将其填入判断矩阵*A*。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3-1)$$

根据判断矩阵的构造法则，显然可以得出以下性质：

$$\begin{cases} a_{ij} \geq 0 \text{ (专家打分均为正值)}, \text{ 其中 } i, j = 1, 2, \dots, n \\ a_{ii} = a_{jj} = 1 \text{ (同指标相比地位相同)} \\ a_{ij} = 1/a_{ji} = 1 \text{ (指标间的关系与地位是相对的)} \end{cases} \quad (3-2)$$

当所构建的比较矩阵符合这一性质时，便可以被定义为正互反矩阵。

(3) 计算各指标权重

构建判断矩阵之后，再依据专家打分来计算各指标的重要性系数(权重)。通过层次分析法(AHP)来确定项目风险指标的权重，即确定最大特征值 $\lambda_{\max}$ 及其对应的特征向量 $Q = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ 的过程。

$$AQ = \lambda_{\max} Q \quad (3-3)$$

目前三种方式求得，包括幂法、方根法、和积法。本文所使用的方法是和积法。

最后求得 A 的 $\lambda_{\max}$:

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(AQ)_i}{Q_i}}{n}$$

(4) 一致性判断

所得结果要符合客观情况，即一致性，需满足条件：

$$a_{ij}a_{jk} = a_{ik}, \forall i, j, k = 1, 2, \dots, n \quad (3-4)$$

其中 n 为判断矩阵 A 的阶数。工程实际中完全满足判断矩阵极少存在，其中元素都或多或少具有一定的不一致性。当不一致性在一定的范围内时才能客观的反应实际情况，反之则与事实相悖。因此需要进行一定的科学方法检验 A 是否具有实际意义。一致性的检验过程为：

① 计算一致性指标

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3-5)$$

② 查阅平均随机一致性指标表格，找出对应于判断矩阵 A 阶数 n 的 RI 值，见表 1：

Table 1. Table of random consistency indicators
表 1. 随机一致性指标表格

矩阵阶数 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

③ 计算一致性比例 CR

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3-6)$$

若求解结果满足一下条件

$$\begin{cases} CR < 0.1 \\ \lambda_{\max} = n, CI = 0 \end{cases} \quad (3-7)$$

如果任一条件得到满足，这表明所构建的判断矩阵具有实际的客观基础。如果不满足，那么必须对

A 中的 a_{ij} 进行调整, 以确保其符合实际情况且满足一致性的要求。

3.1.2. 基于熵权法的客观权重计算

熵权法计算权重的过程如下: 以本文研究为例, 假设评价外源性风险的专家有 n 个人, 其组织形象的评价指标有 m 个, 每个指标数值用 $q(i=1, \dots, m; j=1, \dots, n)$ 表示, 可取得多对判断矩阵, 矩阵记为

$$Q' = \begin{bmatrix} q'_{11} & \cdots & q'_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q'_{m1} & \cdots & q'_{mn} \end{bmatrix} \quad (3-8)$$

式中, q_{ij} 是第 j 个评价对象在第 i 个评价等级上的评分值。因其中 q_{ij} 、 $\min |q_{ij}|$ 和 $\max |q_{ij}|$ 三个数据都会对 q_j 的影响最终结果, 需要先标准化数据, 记为 $Q = (q_{ij})_{\max} (i=1, \dots, m; j=1, \dots, n)$, 并且 q_{ij} 计算公式如下:

$$q_{ij} = \frac{q_{ij} - \min |q_{ij}|}{\max |q_{ij}| - \min |q_{ij}|} \quad (3-9)$$

对统计数据进行标准化后就可以计算各指标的信息熵。第 i 个指标的熵 H_i 可定义为:

$$H_i = -k \sum_{j=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \quad (3-10)$$

式中, $f_{ij} = \frac{q_{ij}}{\sum_{j=1}^m q_{ij}}$, $k = \frac{1}{\ln n}$ (假定: 当 $f_{ij} = 0$ 时, $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$)。

再指标熵值确定后就可以根据下式来确定第 i 个指标的熵权 w_i :

$$w_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (3-11)$$

3.1.3. 基于 AHP-熵权法的组合赋权

为确保评价的准确性, 须同时将主观和客观因素纳入考虑范围。处理完数据后, 可确定每个指标的主、客观权重。本文对以下公式:

$$\lambda_i = \frac{w_i \theta_i}{\sum_{i=1}^m w_i \theta_i}, i=1, 2, \dots, m \quad (3-12)$$

进行改进, 得到两种改进后的计算公式, 其一为

$$\lambda_i = \frac{w_i + \theta_i}{\sum_{i=1}^m (w_i + \theta_i)} \quad (3-13)$$

$$\text{由} \quad \sum_{i=1}^m (w_i + \theta_i) = \sum_{i=1}^m w_i + \sum_{i=1}^m \theta_i = 2 \quad (3-14)$$

$$\text{可得} \quad \lambda_i = \frac{w_i + \theta_i}{2} \quad (3-15)$$

其二为 $\lambda_i = \delta w_i + (1 - \delta) \theta_i, 0 \leq \delta \leq 1$ 。其中, w_i 、 θ_i 分别为第 i 个指标的客观、主观权重, λ_i 为第 i 个指标的综合权重。

当 $\delta = 0.5$ 时两个公式作用相同, 表明主客观权重具有相等的重要性。在实际项目管理中, 这种做法被广泛采用, 本研究遵循这一方法得到综合权重值为

$$\lambda_i = 0.5w_i + 0.5\theta_i \quad (3-16)$$

3.2. 基于未知测度理论的风险评价模型

3.2.1. 单指标测度函数

为了解决可再生能源项目中不同变量的描述和赋值难题, 本文引入了未知测度理论, 该理论能有效处理定性指标的刻画问题。鉴于项目复杂性, 需要对各影响因素进行量化赋值, 未知测度理论可以对外源性风险指标进行有效赋值。首先, 依据各成熟度等级的特定属性, 在相应的评价分值区间内设置 n 个分点 $(a_1, a_2, \dots, a_n)$, 构建单指标测度函数表达式, 当 $x < a_1$ 或 $x > a_n$ 时, $V(x)=1$ 。

$$V_q(x) = \begin{cases} \frac{a_{q+1}-x}{a_{q+1}-a_q} (a_q < x \leq a_{q+1}) \\ 0 (x > a_{q+1}) \end{cases} \quad (3-17)$$

$$V_{q+1}(x) = \begin{cases} \frac{x-a_q}{a_{q+1}-a_q} (a_q < x \leq a_{q+1}) \\ 0 (x \leq a_q) \end{cases} \quad (3-18)$$

式中: $V_q(x)$ 和 $V_{q+1}(x)$ 均为单指标测度函数值; q 为评价等级; $a_q (q=1, 2, \dots, n)$ 为分值区间插入点。

3.2.2. 多指标未知测度矩阵

计算各指标综合得分 b_i , 并将其带入式(3.17)和式(3.18), 建立多指标未知测度矩阵 B 。

$$b_i = \sum_{n=1}^5 \gamma_{in} a_n \quad (3-19)$$

$$B = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \cdots & \phi_{1n} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \cdots & \phi_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{m1} & \phi_{m2} & \cdots & \phi_{mn} \end{bmatrix} \quad (3-20)$$

式中: ϕ_{ij} 为第 i 个指标处于第 j 个风险等级的程度。

3.2.3. 多指标综合测度计算

以综合权重向量 $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m)$ 和多指标未知测度矩阵 B 为计算依据, 可得指标体系的综合未知测度向量 σ 。

$$\sigma = \varepsilon \cdot B = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n) \quad (3-21)$$

3.2.4. 风险等级评估

为评估可再生能源项目外源性风险等级, 将可再生能源项目的风险等级分别记为 $C = (c_1, c_2, c_3, c_4, c_5) =$ (低, 较低, 一般, 较高, 极高), 其中 $c_1 < c_2 < c_3 < c_4 < c_5$ 。设定 λ 为置信度, 将综合未知测度向量 σ 自 σ_1 开始累加, 当累加值首次高于 λ 时所处等级记为可再生能源项目外源性风险等级 c_{l_0} , (其中置信度 $\lambda > 0.7$), 置信度识别准则如式(3-22)。

$$l_0 = \min \left\{ l \mid \sum_{j=1}^l \sigma_j \geq \lambda, l=1, 2, 3, 4, 5 \right\} \quad (3-22)$$

4. 实证分析

4.1. 项目概况

乌子高水电站, 作为中巴经济走廊(CPEC)的关键项目, 位于巴基斯坦卡拉科兰山脉的乌子高河谷,

目的是为巴基斯坦提供清洁能源，增强其电力自给能力。该项目不仅是中巴能源合作的亮点，还在政治、经济、自然等多个层面产生了广泛影响[20]。

4.2. 指标权重确定

4.2.1. 基于 AHP 的主观权重确定

(1) 构造判断矩阵

本研究借助专家法确定指标权重，确定各指标的相对重要性。在 2024 年 3~5 月期间，通过邮件、电话以及实地访谈的方式，对来自于中国的战略研究院、社会科学院研究中心、复旦大学及全球治理研究院、国家发改委对外经济研究所等部门与高校的相关工作人员与教授进行咨询，通过指标对比的方式，构造出判断矩阵。各判断矩阵的数值如下表 2 所示：

Table 2. First-level indicators
表 2. 一级指标

四大风险	政治风险	经济风险	社会风险	自然风险
政治风险	1	1/2	2	4
经济风险	4	1	3	6
社会风险	1/2	1/3	1	1
自然风险	1/4	1/6	1	1

Table 3. The subjective weights of the AHP
表 3. AHP 主观权重

一级指标	一级权重(%)	二级指标	二级权重(%)	AHP 权重(%)
政治风险	23.395	外交风险	13.339	3.1
		法律风险	29.392	6.9
		政策干预风险	47.901	11.2
		政治稳定性风险	9.368	2.2
经济风险	54.819	融资风险	10.309	5.7
		通货膨胀风险	27.143	14.8
		汇率风险	37.025	20.3
		外汇管制风险	10.194	5.6
		维护成本风险	8.993	4.9
		市场多元性风险	6.336	3.5
社会风险	12.591	文化差异风险	12.812	1.6
		社会治安风险	24.062	3.0
		社会舆论风险	29.063	3.7
		基础设施服务风险	34.062	4.3
自然风险	9.123	自然气候风险	34.595	3.2
		地质灾害风险	11.03	1
		环境破坏风险	54.375	5

(2) 权重计算

根据所得各判断矩求取权重向量并进行一致性检验，若 $CR < 0.1$ ，则符合要求，然后输出结果；如果不满足，则重新构建矩阵直到通过检验，各级指标权重见表 3。

(3) 一致性检验

根据式(3-5)、式(3-6)、式(3-7)，求取 CR 数值如表 4 所示。

Table 4. Agreement proportion

表 4. 一致性比例

判断矩阵	四大风险	政治风险	经济风险	社会风险	自然风险
CR	0.069	0.031	0.028	0.100	0.051

根据表 4 可知，所有判断矩阵均满足一致性。

4.2.2. 基于熵权法的客观权重确定

为保证指标权重的客观性，本文搜集巴基斯坦政治、经济、社会、自然方面的信息¹，利用熵权法确定指标客观权重。通过咨询上述相关专家以及教授以调查问卷的形式对各风险进行评分(见表 5)，采用 1~9 打分法并规定 1~6 分为重要程度低，6~7 为重要程度中等，8~9 为重要程度高。

Table 5. Objective weights of first-level indicators

表 5. 一级指标客观权重

险指标	专家 A	专家 B	专家 C	专家 D	专家 E
政治风险	9	7	8	7	8
经济风险	9	8	8	7	9
社会风险	7	9	6	6	8
自然风险	8	4	6	5	7

根据式(3-11)计算各指标熵权法客观权重如表 6 所示：

Table 6. Objective weights of entropy weight method

表 6. 熵权法客观权重

一级指标	一级权重(%)	二级指标	二级权重(%)	熵权法权重(%)
政治风险	32.05	外交风险	18.481	5.9
		法律风险	31.953	10.2
		政策干预风险	31.953	10.2
		政治稳定性风险	17.614	5.7
经济风险	15.744	融资风险	15.78	2.5
		通货膨胀风险	12.763	2
		汇率风险	23.288	3.7
		外汇管制风险	15.04	2.4
		维护成本风险	18.09	2.8
		市场多元性风险	15.04	2.4

¹数据来源：巴基斯坦统计年鉴。

续表

社会风险	33.654	文化差异风险	25.789	8.7
		社会治安风险	33.199	11.2
		社会舆论风险	19.571	6.6
		基础设施服务风险	21.441	7.2
自然风险	18.552	自然气候风险	32.926	6.1
		地质灾害风险	32.926	6.1
		环境破坏风险	34.147	6.3

4.2.3. 基于 AHP-熵权法的组合权重确定

由公式(3-15)计算组合权重结果如表 7 所示：

Table 7. Combined weights

表 7. 组合权重

风险指标	AHP 主观权重(%)	熵权法客观权重(%)	组合权重(%)
外交风险	3.1	5.9	4.5
法律风险	6.9	10.2	8.6
政策干预风险	11.2	10.2	10.6
政治稳定性风险	2.2	5.7	4.0
融资风险	5.7	2.5	4.1
通货膨胀风险	14.8	2.0	8.4
汇率风险	20.3	3.7	12.0
外汇管制风险	5.6	2.4	4.0
维护成本风险	4.9	2.8	3.9
市场多元性风险	3.5	2.4	3.0
文化差异风险	1.6	8.7	5.2
社会治安风险	3.0	1.2	7.0
社会舆论风险	3.7	6.6	5.2
基础设施服务风险	4.3	7.2	5.7
自然气候风险	3.2	6.1	4.6
地质灾害风险	1	6.1	3.5
环境破坏风险	5	6.3	5.7

4.3. 基于未确知测度的风险等级评估

笔者邀请了上述相关领域的专家和教授对各个风险指标进行独立评分，最终采用 5 位专家评分的平均值作为每个指标的风险评估值。

分数对应的风险等级，见表 8。

Table 8. Risk level
表 8. 风险等级

分数	(0, 60]	(60, 70]	(70, 80]	(80, 90]	(90, 100]
风险等级	低	较低	一般	较高	极高

(1) 建立未确知测度矩阵

根据各风险因素打分表，并参考相关文献[21][22]，确定区间插入点分别为 60，65，75，85，90，带入式(3-17)和(3-18)可构建出如图 2 的测度函数，以 5 位专家对各风险因素风险评价值的平均值作为风险指标值，将各指标值得分依次带入单未确知测度函数，构建出多指标未确知测度矩阵 B 。

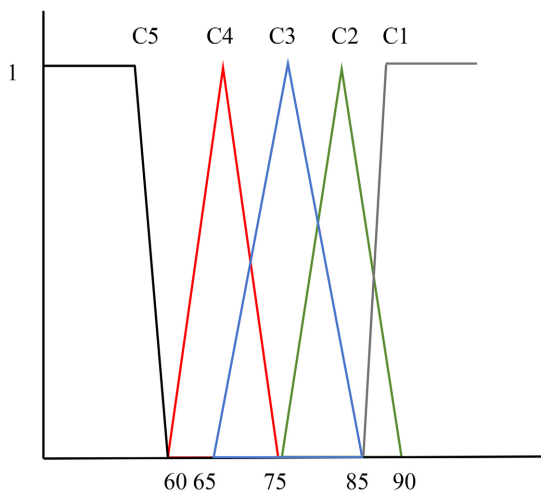


Figure 2. Unconfirmed measure function diagram
图 2. 未确知测度函数图

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.2 & 0.8 & 0 \\ 0.52 & 0.48 & 0 & 0 & 0 \\ 0.68 & 0.32 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.8 \\ 0 & 0 & 0 & 0.84 & 0.16 \\ 0 & 0.02 & 0.98 & 0 & 0 \\ 0.44 & 0.56 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.56 & 0.44 \\ 0 & 0 & 0 & 0.72 & 0.28 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0.28 & 0.72 & 0 & 0 \\ 0 & 0.62 & 0.38 & 0 & 0 \\ 0 & 0.88 & 0.12 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.7 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.56 & 0.44 & 0 \\ 0.28 & 0.72 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(2) 项目风险等级

由各二级指标权重向量 ε 与多指标未知测度矩阵 B ，可计算出综合未知测度向量 $\sigma = (0.186, 0.155, 0.156, 0.345, 0.185)$ ，取置信度 $\lambda = 0.7$ ，利用置信度识别准则式(3-22)，可判断出该项目的风险等级处于 c_4 等级，即风险较高。

$$l_0 = \min \{l | 0.186 + 0.155 + 0.156 + 0.345 = 0.842 > 0.7\} = 4$$

5. 结论与展望

5.1. 结论

本文构建了一个全面的风险评估指标体系，涵盖政治、经济、社会 and 自然四个维度，并结合 AHP-熵权法与未知测度理论，提高了风险评估的准确性和客观性。通过乌子高水电站的实证分析，验证了模型的可靠性和实用性，为“一带一路”可再生能源项目的风险管理提供了新的视角和方法。

5.2. 未来展望

首先，未来仍需探索研究模型在不同文化和政治背景下的适用性，进行必要的本地化调整；其次对“一带一路”可再生能源项目进行长期跟踪，研究风险因素的演变和项目风险管理的效果；最后探索更多适应当地市场的融资模式，以及扩大对小型和微型可再生能源项目的支持力度，以增强项目的抗风险能力和韧性。通过这些研究方向，可以进一步提升风险评估模型的准确性和实用性，为可再生能源项目的稳定发展提供更有力的支持。

参考文献

- [1] 盛斌, 黎峰. “一带一路”倡议的国际政治经济分析[J]. 南开学报(哲学社会科学版), 2016(1): 52-64.
- [2] 马振东. “人大能源指数”开启对“一带一路”国家投资风险评估[J]. 中国国情国力, 2016(3): 81.
- [3] 刘家国, 郭雨南, 崔进. 21 世纪海上丝绸之路沿线国家投资风险研究[J]. 中国石油大学学报(社会科学版), 2019, 35(5): 15-26.
- [4] Yuan, J., Zeng, Y., Guo, X., Ai, Y. and Xiong, M. (2018) Electric Power Investment Risk Assessment for Belt and Road Initiative Nations. *Sustainability*, **10**, Article No. 3119. <https://doi.org/10.3390/su10093119>
- [5] Zhang, H. (2011) Two Schools of Risk Analysis: A Review of Past Research on Project Risk. *Project Management Journal*, **42**, 5-18. <https://doi.org/10.1002/pmj.20250>
- [6] 王达, 毕可为. 公路工程项目社会稳定风险评估模型[J]. 市政技术, 2023, 41(5): 90-95+111.
- [7] Mican, C., Fernandes, G. and Araújo, M. (2022) A Method for Project Portfolio Risk Assessment Considering Risk Interdependencies—A Network Perspective. *Procedia Computer Science*, **196**, 948-955. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.096>
- [8] Nigam, M.K., Avikal, S. and Ram, M. (2021) Risk Assessment in ERP Project by COPRAS Method under Fuzzy Environment. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, **28**, Article ID: 2140006. <https://doi.org/10.1142/s0218539321400064>
- [9] 舒亚辉. “一带一路”背景下海外建筑项目财务风险研究——以塞内加尔 A 项目为例[J]. 国际商务财会, 2023(21): 9-14+22.
- [10] 李永奎, 盛昭瀚, 丁荣贵, 等. 基于复杂系统思维的国际重大项目治理: “一带一路”视域下的创新思考[J]. 中国软科学, 2023(11): 12-22.
- [11] 熊泽. “一带一路”PPP 项目审计风险识别研究[J]. 市场周刊, 2023, 36(10): 124-128.
- [12] 李军. JX 公司赞比亚项目风险管理研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 江西财经大学, 2023.
- [13] 孙丹阳. 基于 ISM 和 Multi-Agent 仿真模拟的涉外 EPC 项目设计变更风险管理[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 江西科技师范大学, 2023.
- [14] 李林卿, 吕敏, 刘艳华, 等. 基于 BWM-WASPAS 的“一带一路”沿线基础设施投资风险评估[J/OL]. 综合运输: 1-

-
10. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1197.u.20230328.1424.006.html>, 2024-02-28.
- [15] 刘佳. W 公司苏丹农业投资项目风险管理研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东财经大学, 2024.
- [16] 张淼臣. S 电建公司沙特地区国际工程项目风险管理研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2024.
- [17] 吴西. 四川 KF 集团的海外项目风险管理研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2024.
- [18] 王昱睿. 东道国风险对中国“一带一路”项目投资的影响研究[D]: [博士学位论文]. 大连: 东北财经大学, 2023.
- [19] 黄煜东. 国际工程 CH 公路改建项目风险评价研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京工业大学, 2022.
- [20] 陈洁, 魏海蕊. “一带一路”背景下海外工程项目重大件物流风险评价研究[J]. 物流工程与管理, 2022, 44(8): 6-9.
- [21] 赵洪帝, 刘敬贤, 刘奕, 等. 基于改进未确知测度模型的内河客船夜航风险评价[J]. 交通信息与安全, 2018, 36(1): 28-34.
- [22] 李丹阳, 赵云胜, 史小棒, 等. 基于改进未确知测度法的光伏发电项目应急能力成熟度评估模型研究[J]. 工程管理学报, 2017, 31(5): 117-122.