

引用格式: 吴雯, 吴仕海, 阎建忠, 张镜铨. 中国 15 条西部跨境铁路通道地缘风险的空间异质性与驱动机制[J]. 山地学报, 2025, 43(3): 362-377.

WU Wen, WU Shihai, YAN Jianzhong, ZHANG Yili. Spatial heterogeneity and driving mechanisms of geopolitical risks for 15 western cross-border railways of China [J]. Mountain Research, 2025, 43(3): 362-377.

# 中国 15 条西部跨境铁路通道地缘风险的空间异质性与驱动机制

吴雯<sup>1</sup>, 吴仕海<sup>2</sup>, 阎建忠<sup>1\*</sup>, 张镜铨<sup>3</sup>

(1. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400715; 2. 曲靖师范学院 地理与旅游学院, 云南 曲靖 600511;

3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100010)

**摘要:** 西部跨境铁路通道是深化中国与周边国家互联互通、践行“一带一路”倡议的战略支点, 但中泰、中越、中缅等跨境铁路项目建设频遭波折。既有跨境铁路风险研究多基于单一国家尺度宏观分析或局限于单一通道案例研究, 鲜有在栅格尺度上构建多要素耦合的地缘风险综合评估框架, 难以支撑精细化风险管控需求。本文以中亚、南亚和东南亚的非岛屿国家为研究对象, 从自然-政治-经济三个风险维度, 构建地缘风险综合评估指标体系(包含 13 个风险因子), 基于 5 km × 5 km 栅格单元建立精细化的微观风险评估单元, 采用综合指数法、GIS 空间分析和地理探测器等方法, 揭示 2022 年 15 条西部跨境铁路通道地缘风险的空间异质性与驱动机制。研究表明: (1) 研究区地缘风险呈中部高、南北低的分布特征, 很高风险区 ( $>0.52$ ) 集中于兴都库什—帕米尔构造带。(2) 风险等级呈现显著的空间异质性。低风险通道(高风险栅格占比  $<20%$ ) 包括中哈、中乌、中土、中印、中孟、中越、中泰和中柬通道; 高风险通道 ( $>20%$ ) 包括中阿、中巴、中尼和中缅通道。(3) 政治稳定性是驱动区域整体风险分异的首要因子 ( $q_{\text{区域}}=0.70$ ), 在通道尺度上仍保持主导解释力 ( $q_{\text{通道}}=0.69$ )。 (4) 自然风险对 13 条通道的空间分异具有普适性影响(单一通道影响因素的平均贡献度  $q=0.61$ ), 其中对中哈、中吉等 8 条通道的解释力超过 60%; 政治风险 ( $q=0.18$ ) 对中巴、中泰通道的影响最为突出 ( $q>0.70$ ), 经济风险 ( $q=0.05$ ) 则仅在中哈、中吉等 3 条通道表现出显著关联 ( $q<0.20$ )。建议优先推进地缘风险较低的跨境通道建设, 对高风险通道实施“一通道一策”风险防控。研究结果可为推动中国西部跨境铁路通道建设提供参考依据。

**关键词:** 跨境铁路通道; 地缘风险; 空间异质性; 驱动机制

**中图分类号:** F125.4; K901.4

**文献标志码:** A

西部跨境铁路是连接中国与西部周边国家的战略运输走廊, 是“一带一路”基础设施建设和地缘环境优化的重要组成部分。受多种因素影响, 中泰、中越、中缅等跨境铁路项目建设频遭波折<sup>[1-2]</sup>。科学辨识跨境铁路建设面临的地缘风险, 量化国际基础

设施合作的决策流程, 是推进“一带一路”基础设施互联互通进程中亟需破解的关键问题。

全球地缘政治经济格局正经历深刻变革, 传统地缘风险评估面临挑战<sup>[3]</sup>。一是既有研究在理论建构层面存在显著分歧。例如, 在定性研究方面, 尚

收稿日期(Received date): 2025-02-10; 改回日期(Accepted date): 2025-06-15

基金项目(Foundation item): 第二次青藏高原综合科学考察项目(2019QZKK0603)。[The Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Program (2019QZKK0603)]

作者简介(Biography): 吴雯(1999-), 女, 重庆人, 硕士研究生, 主要研究方向: 地缘安全与区域合作。[WU Wen (1999-), female, Chongqing, M. Sc. candidate, research on geopolitical security and regional cooperation] E-mail: wuwen\_24@163.com

\* 通讯作者(Corresponding author): 阎建忠(1972-), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向: 土地利用/覆被变化以及全球变化与区域响应。[YAN Jianzhong (1972-), male, Ph. D., professor, research on land use and land cover change, global change and regional response] E-mail: yanjzswu@126.com

未形成统一的地缘风险定义框架,早期文献常将地缘风险与政治风险概念混用<sup>[4]</sup>,过度聚焦地缘冲突性;在定量研究中,则引入大数据和空间分析方法来分析地缘风险。例如,基于“暴力冲突”“外交危机”“制度脆弱性”等关键词的语义分析建模<sup>[5-6]</sup>;二是构建综合评估指标体系,覆盖不同评估尺度(国际-区域-国家-项目<sup>[7-9]</sup>)和要素构成(政治-经济-社会-文化-生态<sup>[10,11-13]</sup>)。然而这类研究多以主权国家为基本分析单元,鲜少纳入地形地貌、气候水文等自然地理变量,评估量化模型难以刻画区域内部风险的空间异质性,亟需构建精细化评估框架以揭示微观尺度风险格局。

西部跨境铁路走廊的战略价值引发学界持续关注。既有成果已涵盖跨境铁路沿线的土地利用变化<sup>[14]</sup>、生态安全影响<sup>[15]</sup>、区域价值链连接<sup>[16]</sup>、跨境贸易投资<sup>[17]</sup>等多个方面;风险研究则聚焦中亚能源运输安全<sup>[18]</sup>、中巴经济走廊灾害韧性<sup>[19]</sup>及风险<sup>[20]</sup>、中尼通道冰川灾害<sup>[21]</sup>、中老铁路的景观生态风险<sup>[22]</sup>等对象场景,并从跨境通道时空演化<sup>[23]</sup>和地缘系统格局<sup>[24]</sup>层面展开理论阐释。

但既有研究存在三重局限。其一,宏观尺度评估难以解释国家内部风险差异,如中巴经济走廊项目在巴基斯坦整体风险评级较低背景下仍遭遇局部阻碍;其二,项目尺度研究多采用案例分析范式,缺乏跨尺度耦合的量化研究,且忽视自然地理要素的调节作用;其三,现有研究多聚焦单一通道或局部区

域,尚未形成对中国西部跨境铁路通道的系统性风险认知框架。

本文以中国西部跨境铁路通道为研究对象,从自然、经济、政治 3 个维度构建地缘风险综合评估指标体系,基于 5 km × 5 km 栅格单元建立精细化的微观风险评估单元,开展 2022 年中国西部跨境铁路通道地缘风险量化评估,运用地理探测器技术解析风险空间分异的主控因子,揭示跨境铁路建设滞缓的深层动因。研究成果构建整个西部通道网络的系统性风险图谱,可为优化跨境铁路建设布局提供科学决策支持。

## 1 地缘风险概念内涵与评估指标体系构建

### 1.1 地缘风险概念内涵

地缘政治风险,即地缘因素引发的国际政治风险<sup>[4]</sup>,常简称为“地缘风险”。当前,地缘风险的相关研究成果颇丰,但对地缘风险的概念界定仍未达成统一,表 1 列举了部分研究给出的定义。其中,Caldera 和 Iacoviello 对地缘风险的概念界定,以及建立的长期全球地缘政治风险指数(Geopolitical Risk Index, GPR),广泛应用于地缘风险与能源市场<sup>[25]</sup>、绿色债券<sup>[26]</sup>、生态环境<sup>[27]</sup>、旅游业<sup>[28]</sup>等方面的研究。总的来看,既有研究对地缘风险的定义强调冲突性和负面影响,表现出重政治、轻地理的特点,将地缘风险视作政治风险的组成部分。本文将地缘风

表 1 相关研究对地缘风险的定义

Tab. 1 Definitions of geopolitical risk in relevant research

来源	概念界定	侧重点
Bohl <sup>[29]</sup> 等	有可能破坏有利于人类福祉的政治-经济趋势。	破坏性和负面影响
熊琛然 <sup>[3]</sup> 等	由冲突和暴力行为或地缘行为体间权力竞争等引发的政治风险、全球或区域性经济与金融震荡等引发的经济风险以及突发或渐变自然灾难等引发的自然风险等 3 大风险共同作用形成的系统性影响的可能性。	突发性和负面影响
Caldera 和 Iacoviello <sup>[5]</sup>	与战争、恐怖主义以及国家和政治行为体之间的任何紧张局势有关的不利事件的威胁、行为和升级对国际关系与和平进程的影响。	冲突性和负面影响
郝笃刚 <sup>[30]</sup> 等	行为体间的地缘政治事件或态势,引发区域内地缘政治结构变化和不同行为体战略和态度的转变,导致对主体在政治、经济、安全等方面造成的不利影响;通常认为其内涵大于地缘政治风险,包括地缘政治、地缘经济、地缘文化等方面的风险。	变化和负面影响
Hu <sup>[31]</sup> 等	地缘政治主体之间基于地理位置、资源禀赋、经济结构、军事力量以及特定地理区域内的合作、竞争、对抗和遏制等因素的战略互动对以主权安全和军事安全为核心的国家安全的影响。	冲突性和负面影响

险定义为由一系列自然和非自然因素引发的,国家或非国家行为体之间在特定地理区域的互动对其内部各领域产生影响,可能导致区域乃至全球地缘局势变化,进而对参与互动的国家或非国家行为体造成负面影响的可能性。

跨境铁路通道是跨越多个国家和地区陆地领土、需要高投入的大型交通基础设施项目,跨境铁路通道建设深刻影响着区域要素流动方向,甚至重塑沿线国家和地区的地缘格局<sup>[32]</sup>。因此,跨境通道地缘风险,是基于跨境通道建设受援国领土的,在跨境通道建设全过程中,因跨境通道所在区域的自然和非自然因素互动带来的地缘局势变化,可能导致项目施工中断、投资预算增加、双边关系紧张,甚至工程合作被取消,从而给参与跨境通道合作建设的国家或非国家行为体造成不利影响。需要指明的是,本文旨在探究中国在周边国家开展跨境通道合作时面临的地缘风险,中国是跨境通道地缘风险的主要承担者。

## 1.2 地缘风险综合评估指标体系构建

本文基于 Wu<sup>[33]</sup>等构建的地缘风险评估指标体系,从自然、政治和经济 3 个维度选取指标。参考已有研究<sup>[31,34-35]</sup>,考虑邻国存在气候灾害威胁<sup>[36]</sup>、政

治局势动荡<sup>[37]</sup>、大国博弈激烈<sup>[24]</sup>、经济对外依赖<sup>[38]</sup>和交通基础设施落后<sup>[39]</sup>等特点,在二级指标中分别补充了长期气候风险、政治稳定性、大国干预、外债占 GDP 比重和路网密度指标。最后,本文确定了跨境铁路通道地缘风险综合评估指标体系(表 2)。

## 2 研究区概况与研究方法

### 2.1 研究区概况

本文以中亚、南亚和东南亚的 16 个非岛屿国家为研究区,范围横跨 50°~110°E, 5°~55°N,包括哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦和土库曼斯坦、印度、巴基斯坦、尼泊尔、孟加拉国、不丹和阿富汗,以及缅甸、泰国、老挝、越南和柬埔寨。此外,将中国西部跨境铁路通道根据连接地区,划分为中亚通道、南亚通道和东南亚通道。其中,因不丹未与中国建立正式外交关系,故没有将中国—不丹通道纳入西部跨境铁路通道范围(表 3)。

### 2.2 研究方法

预先使用 ArcGIS 10.7 将非栅格数据栅格化,

表 2 地缘风险综合评估指标权重

Tab.2 Comprehensive assessment index weight of geopolitical risk

准则层	指标层	意义	属性	熵值法	因子分析	组合赋权法
自然风险 (0.3331)	地形起伏度( $N_1$ )	反映地形地貌对风险的影响	+	0.1037	0.1154	0.1109
	滑坡风险( $N_2$ )	反映山体滑坡灾害对风险的影响	+	0.1474	0.0999	0.1182
	长期气候风险( $N_3$ )	反映暴雨、洪涝、热浪等气候灾害对风险的影响	+	0.0350	0.1471	0.1040
政治风险 (0.4323)	大国干预( $P_1$ )	反映双边关系和域外势力干预对风险的影响	-	0.0134	0.0019	0.0064
	政治稳定性( $P_2$ )	反映国家政治环境和政府治理水平对风险的影响	-	0.0621	0.1468	0.1142
	腐败指数( $P_3$ )	反映公共部门腐败程度对风险的影响	+	0.0019	0.0567	0.0356
	领土争端( $P_4$ )	反映国家间因边界和领土争议引发的风险	+	0.3605	0.1007	0.2005
	跨界水资源争端( $P_5$ )	反映跨界水资源开发与利用引发的风险	+	0.0469	0.0192	0.0298
	武装冲突风险( $P_6$ )	反映民族宗教矛盾等导致的武装冲突引发的风险	+	0.0081	0.0692	0.0457
经济风险 (0.2346)	经济自由度( $E_1$ )	反映市场开放程度对风险的影响	-	0.0844	0.0928	0.0896
	外债占 GDP 比重( $E_2$ )	反映国家或地区经济对外依赖程度对风险的影响	+	0.0240	0.0971	0.0690
	夜间灯光指数( $E_3$ )	反映经济发展水平对风险的影响	-	0.0001	0.0059	0.0037
	路网密度( $E_4$ )	反映交通基础设施完善程度对风险的影响	-	0.1127	0.0472	0.0724

注:指标属性根据指标数据结构区分正负向,“+”代表该指标原始数据是正向的,即指标数值越大,地缘风险越高;“-”代表该指标原始数据是负向的,即指标数值越大,地缘风险越低。

表 3 西部跨境铁路通道基本情况

Tab. 3 Basic information of western cross-border railways (WCBRs)

主干通道	西部跨境铁路通道	关键站点	通道状态	是否存在中间国
中亚通道	中国—哈萨克斯坦	①新疆阿拉山口—多斯特克 ②新疆霍尔果斯—阿拉木图 ③新疆塔城—阿亚古兹	①②运行, ③在建, 宽轨	否
	中国—吉尔吉斯斯坦	新疆喀什—吐尔尕特	计划 2025 年 7 月动工	否
	中国—乌兹别克斯坦	贾拉拉巴德—安集延	计划 2025 年 7 月动工	是
	中国—土库曼斯坦	塔什干—阿什哈巴德	规划	是
南亚通道	中国—塔吉克斯坦	安集延—杜尚别	规划	是
	中国—阿富汗	新疆喀什—喀布尔	规划	否
	中国—巴基斯坦	①木尔坦—海得拉巴—卡拉奇 ②白沙瓦—木尔坦 ③新疆喀什—白沙瓦	分阶段融资, 计划先建设①	否
	中国—尼泊尔	西藏吉隆—加德满都	规划	否
	中国—印度	加德满都—新德里	规划	是
东南亚通道	中国—孟加拉国	内比都—达卡	规划	是
	中国—缅甸	云南昆明—仰光	暂停	否
	中国—老挝	云南昆明—万象	运行, 标准轨距	否
	中国—越南	①老街—河内—海防 ②谅山—河内 ③芒街—下龙—海防	①计划 2027 年 7 月开工, ②③规划	否
	中国—泰国	①呵叻—曼谷 ②廊开—呵叻	①在建, ②规划	是
	中国—柬埔寨	波贝—金边—西哈努克市	规划	是

注:通道状态获取的时间截至 2024 年 12 月底。

并将所有栅格数据投影转换为 Mercator 投影,再重采样为 5 km × 5 km 栅格。

### 2.2.1 随机森林模型

滑坡事件和武装冲突事件是直接表征自然风险和政治风险的地缘风险事件,但地缘风险事件需要转化为地缘风险因素后,再进行风险估计。本文基于 Python,在 VS Code 中通过调用随机森林模型,对滑坡事件和武装冲突事件进行地缘风险因素转化,方法原理和操作参见相关研究<sup>[40]</sup>。选择海拔、坡度、地形起伏度、年平均降水、年平均气温和土地覆被<sup>[41]</sup>作为滑坡风险的自变量,选取海拔、坡度、年平均降水、年平均气温、多重灾害指数、夜间灯光、路网密度、到主要通航河距离、到主要通航湖距离、种族分布和人口密度<sup>[42]</sup>作为武装冲突风险的自变量。通过袋装法分别得到约 195 000 个样本,设置测试集和训练集比例为 7:3。模型效果由曲线下面积检验,Area

Under Curve (AUC) 值分别为 0.9785 和 0.8667,表示模型效果较好。

### 2.2.2 指标标准化

由于不同的评估指标量纲不同,且本文选取的指标存在正负向含义。根据相关文献<sup>[43]</sup>,采用极值归一化方法将原始数据  $x_{ij}$  标准化,使标准化后的  $x_{ij}$  取值为 [0, 1],具体见图 1 公式,其中,  $i$  为指标索引,  $j$  为栅格索引。

### 2.2.3 指标赋权方法

为尽可能减少主观性带来的误差,本文参考相关文献,采用熵值法<sup>[44]</sup>、因子分析<sup>[45]</sup>和组合赋权方法<sup>[33]</sup>测算评估指标综合权重,指标赋权结果均通过 SPSS 27.0 计算获得,具体公式如图 1 所示。

#### (1) 因子分析

利用载荷系数  $r$  和特征根  $\lambda$  计算线性组合系数,通过线性组合系数和方差解释率  $P_{var}$  可以计算

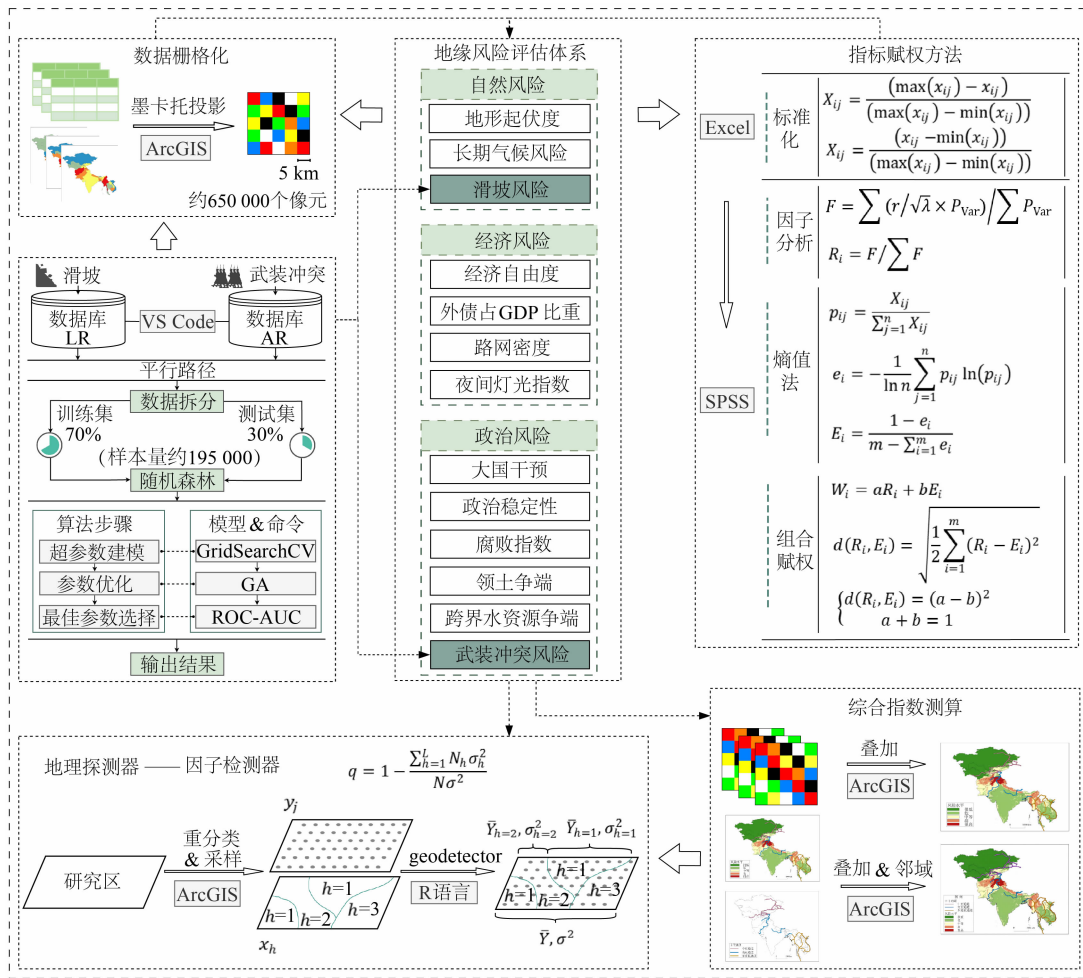


图1 研究方法步骤概述

Fig. 1 Overview of research methods and steps

出综合得分系数,得到每一指标的因子得分  $F$ ,归一化后即各指标的权重  $R_i$ 。

(2)熵值法

利用熵值  $e_i$  来判断某个指标的离散程度,离散程度越大,该指标对综合评价的影响越大。因此,通过计算信息熵来确定每个指标的权重  $E_i$ 。其中,  $m$  为指标数量,  $n$  为栅格数量,  $p_{ij}$  为第  $i$  项指标下第  $j$  个栅格占该指标的比重。

(3)组合赋权法

考虑到因子分析和熵值法的特性,引入距离函数  $d(R_i, E_i)$ ,得到综合权重  $W_i$ 。其中,  $a$  和  $b$  是两种权重的分配系数。

2.2.4 地缘风险综合指数测算

运用地图代数工具,将标准化后的指标栅格数据乘以综合权重再求和,得到地缘风险综合指数。采用自然断点法进行分类,由低到高分为很低、低、

中等、高和很高五类,并生成区域地缘风险空间分布图。沿着矢量化的通道线要素,制作双侧各 5 km 的缓冲区,并将其叠加到区域地缘风险空间分布图上,通过面积制表工具,汇总获得跨境通道地缘风险在不同风险水平上的占比,从而获得跨境铁路通道地缘风险分布。需注意的是,本文仅关注中国在不同受援国建设跨境铁路的地缘风险,并未估算风险传导引起的地缘风险增加的部分,这可能导致评估结果整体被偏低估计。

2.2.5 地理探测器

采用王劲峰和徐成东<sup>[46]</sup>开发的地理探测器,揭示影响变量间空间分异的驱动力。本文选择基于 R 语言的地理探测器包,调用因子检测器和交互探测器识别地缘风险空间分异的驱动因素及其交互作用。通过因子解释力  $q$  来识别各自变量对地缘风险空间分异的相对重要性,  $q$  取值为  $[0, 1]$ , 值越大说

明自变量对地缘风险空间分异的解释程度越大。其中,  $h$  为变量  $Y$  或因因子  $X$  的分类数量, 是  $[0, L]$  中的整数;  $y_j$  为栅格  $j$  在变量  $Y$  上的数值,  $x_h$  为因子  $X$  在分类  $h$  的取值;  $N_h$  和  $N$ ,  $\sigma_h^2$  和  $\sigma^2$ , 分别为分类  $h$  和全区的栅格数量和  $Y$  值方差。地缘风险综合评估的研究方法和步骤概述如图 1 所示。

### 2.3 数据来源

“一带一路”倡议提出的十年里, 中国在海外基础设施建设方面取得了丰硕成果, 但与周边国家的跨境铁路合作项目面临地缘风险挑战。基于数据的可获得性和时效性, 选取 2022 年度数据进行量化分析, 数据获取时点为 2023 年 10 月 27 日, 数据来源如表 4 所示。已建成的铁路数据由 Open Street Map (OSM, <https://www.openstreetmap.org/>) 提供, 规划线路信息来自“中国一带一路网”(<https://www.yidaiyilu.gov.cn/>)、中国政府网(<https://www.gov.cn/>)、第三届“一带一路”国际合作高峰论坛

(<http://www.beltandroadforum.org/>), 再通过 Google Earth 矢量化获得。

## 3 结果分析

### 3.1 西部跨境铁路通道地缘风险

#### 3.1.1 地缘风险综合评估

西部跨境铁路通道地缘风险综合评估结果的空间分布如图 2 所示。综合地缘风险呈中部高、南北低的分布态势, 地缘风险很高的区域大多沿边界分布, 很低的区域主要分布在哈萨克斯坦、土库曼斯坦、乌兹别克斯坦境内的大部分区域以及越南南部的部分地区。

自然风险分布与综合风险相似, 总体呈中部高、南北低分布(图 2a), 风险很高的区域主要集中在兴

表 4 研究数据来源

Tab. 4 Sources of research data

类别	指标	数据格式	数据来源
自然环境要素	地形起伏度	90 m × 90 m	由数字高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 先计算坡度再计算起伏度得到, DEM 数据来源于美国地质调查局, <a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a> 。
	滑坡风险	1 km × 1 km	根据 NASA 提供的全球网格化滑坡清单, 通过随机森林模型得到滑坡风险, 滑坡事件数据包含 2015—2018 年全球范围发生的滑坡记录, <a href="https://gpm.nasa.gov/landslides/projects.html">https://gpm.nasa.gov/landslides/projects.html</a> 。
	长期气候风险	表格	2000—2019 年长期气候风险指数, 德国观察 (GERMANWATCH), 因土库曼斯坦与乌兹别克斯坦的长期气候风险指数相当, 土库曼斯坦的长期气候风险指数用乌兹别克斯坦的数值填充。
政治要素	政治稳定性	表格	2023 年脆弱国家指数, 美国和平基金会, <a href="https://fragilestatesindex.org/global-data/">https://fragilestatesindex.org/global-data/</a> 。
	腐败指数	表格	2022 年清廉指数, 透明国际反腐败中心, <a href="https://transparency.am/en/cpi/2022">https://transparency.am/en/cpi/2022</a> 。
	领土争端	矢量	截至 2023 年存在领土争端的区域, 中国与印度、不丹, 印度与尼泊尔的边界领土争端来自 Wu <sup>[33]</sup> 等, 塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦和乌兹别克斯坦的飞地矢量来源于 OSM。
经济要素	跨界水资源争端	矢量	跨界水域评估方案, 选择河流域评估方案中以 2010 年为基准的水政治紧张局势来表征研究区跨界水资源争端风险, <a href="http://twap-rivers.org/">http://twap-rivers.org/</a> 。
	武装冲突风险	矢量	武装冲突地点和事件数据项目, 包括政治暴力和抗议事件, 也包括了恐怖主义组织制造的恐怖袭击事件, 筛选研究区 2022 年武装冲突事件数据, 通过随机森林模型得到武装冲突风险。
	大国干预	表格	与中国的外交关系得分 <sup>[35]</sup> 基础上, 对存在美国驻军以及非政府组织 (Non-Governmental Organizations, NGO) 经济援助的情况分别扣 1 分, 得分越高受到大国干预的影响越小。NGO 对外援助贷款来自美国国际开发署和美国国务院; 1776—2021 年美国海外军事基地名单 <sup>[47]</sup> 。
经济要素	经济自由度	表格	2022 经济自由度, 《华尔街日报》及美国传统基金会, <a href="https://www.heritage.org/index/">https://www.heritage.org/index/</a> 。
	夜间灯光指数	700 m × 700 m	全球夜间灯光指数数据 (2000—2022), 哈佛大学, <a href="https://dataverse.harvard.edu/">https://dataverse.harvard.edu/</a> 。
	路网密度	5 km × 5 km	利用 OSM 提供的路网数据, 通过 GIS 计算单位网格的路网里程获得, 单位为 km/km <sup>2</sup> 。
	外债占 GDP 比重	表格	受援国 2022 年外债存量与 GDP 的比值, 世界银行, <a href="https://data.worldbank.org/">https://data.worldbank.org/</a> 。

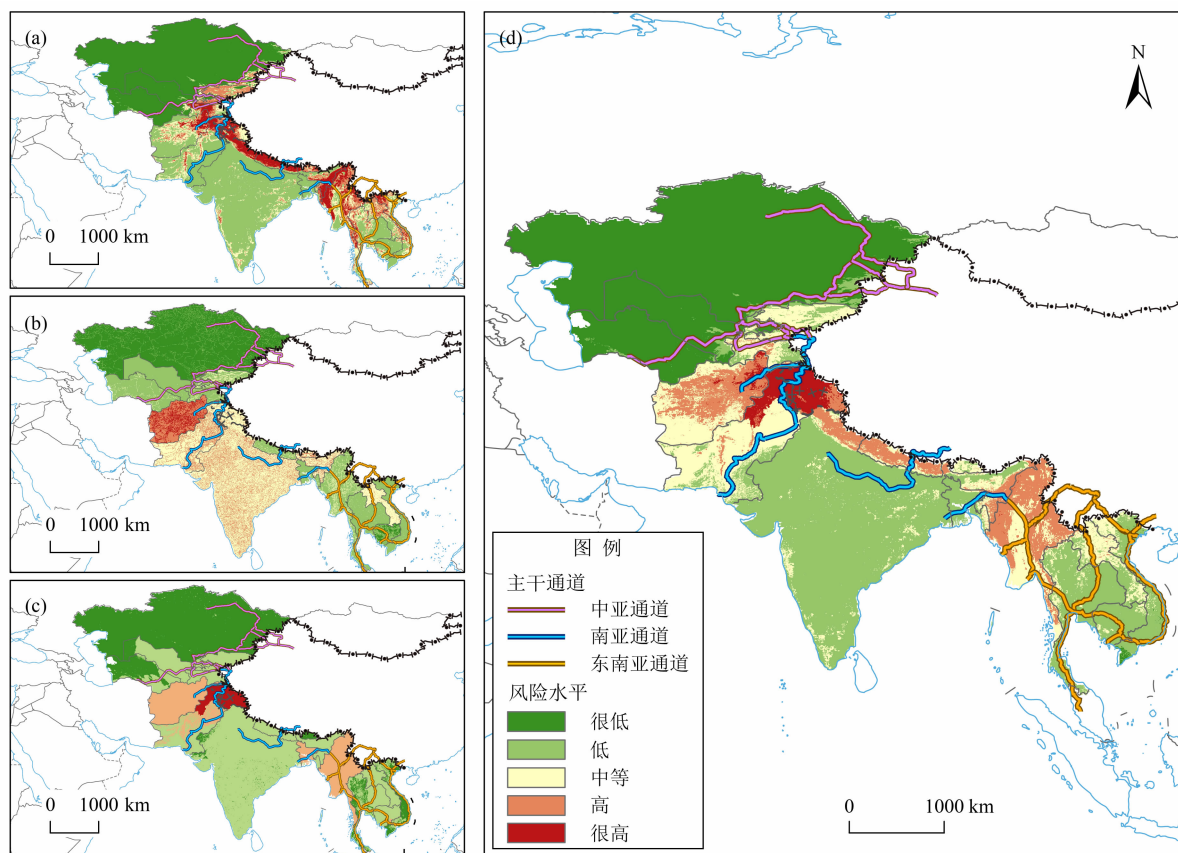


图2 2022年西部跨境铁路通道地缘风险的空间分布:

(a) 自然风险; (b) 经济风险; (c) 政治风险; (d) 综合风险

Fig. 2 Spatial distribution of geopolitical risks along WCBRs in 2022:

(a) natural risk; (b) economic risk; (c) political risk; (d) geopolitical risk

(审图号:GS(2016)1665号)

都库什—帕米尔构造带。阿富汗经济风险总体较高,巴基斯坦、印度、不丹和老挝境内也存在部分经济风险比较高的区域(图2b)。政治风险很高的区域集中在克什米尔地区和巴基斯坦的开伯尔—普什图赫瓦省,阿富汗、孟加拉国和缅甸的政治风险在较高水平(图2c)。综合风险的空间分布(图2d)显示,地缘风险较高的区域主要分布在边境地区。从通道沿线的地缘风险空间分布来看,跨境铁路通道在自然、经济和政治三个方面的风险分布差异较大,导致综合风险呈现出明显的空间异质性。Wu<sup>[41]</sup>等在评估喜马拉雅地区地缘风险时,发现喜马拉雅山脉南坡地缘风险较高,而不丹的地缘风险类型为低风险,而本文得出不丹地缘风险以中等风险为主,这可能是本文考虑了外债占GDP比重等指标,不丹与印度的特殊关系使不丹在经济方面严重依赖印度的援助,导致不丹的经济风险较高,促使不丹地缘风险

处于中等水平。

### 3.1.2 西部跨境铁路通道地缘风险的分布特征

为进一步探析西部跨境铁路通道地缘风险的分布特征,按照跨境通道分别汇总综合地缘风险,获得15条跨境通道在不同地缘风险水平的占比(表5)。不同跨境通道的地缘风险分布具有异质性。中亚通道面临的地缘风险整体以低和很低风险为主,南亚通道面临的地缘风险主要为中等偏高水平地缘风险,东南亚通道则以中等偏低水平的地缘风险为主。在中亚通道中,一方面,不存在地缘风险很高的路段,并且中哈通道、中乌通道和中土通道的很低风险水平路段的占比最大;另一方面,中吉通道和中塔通道以中等地缘风险为主,并伴随着小部分高风险水平路段。在南亚通道中,中阿通道、中巴通道、中尼通道和中印通道存在高和很高地缘风险的路段,其中地缘风险很高的路段在中阿通道和中巴通道占比

表 5 跨境通道在 5 类地缘风险水平中占比  
Tab. 5 Proportion of WCBRs in 5 types of geopolitical risk levels

通道	很低	低	中等	高	很高
中国—哈萨克斯坦	0.9803	0.0197	0.0000	0.0000	0.0000
中国—吉尔吉斯斯坦	0.0205	0.2455	0.7315	0.0026	0.0000
中国—乌兹别克斯坦	0.8129	0.1858	0.0013	0.0000	0.0000
中国—土库曼斯坦	0.9685	0.0315	0.0000	0.0000	0.0000
中国—塔吉克斯坦	0.0088	0.1681	0.6578	0.1652	0.0000
中国—阿富汗	0.0000	0.0027	0.0294	0.8048	0.1631
中国—巴基斯坦	0.0000	0.0085	0.6900	0.0062	0.2953
中国—印度	0.0000	0.8829	0.0431	0.0740	0.0000
中国—尼泊尔	0.0000	0.1134	0.4433	0.4433	0.0000
中国—孟加拉国	0.0000	0.9841	0.0159	0.0000	0.0000
中国—缅甸	0.0000	0.0000	0.6508	0.3480	0.0012
中国—老挝	0.0000	0.2275	0.7619	0.0106	0.0000
中国—越南	0.0259	0.9581	0.0160	0.0000	0.0000
中国—泰国	0.0000	0.9691	0.0295	0.0013	0.0000
中国—柬埔寨	0.0000	0.9906	0.0094	0.0000	0.0000

超过 10%。在东南亚通道中,地缘风险很高的路段仅出现在中缅通道,并且中缅通道还分布有较大比重的高地缘风险路段。中越通道、中泰通道和中柬通道以低地缘风险类型为主,而中老通道大部分路段为中等地缘风险水平。

中国社会科学院发布的《中国海外投资国家风险评级报告(2023)》<sup>[48]</sup>显示,越南、哈萨克斯坦和老挝风险低,评级结果排在前列,塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦、孟加拉国、印度和巴基斯坦评级处于中等偏下水平,而缅甸处于靠后的评级结果,意味着风险较高,本文得出了相似的结果。不同之处在于,《中国海外投资国家风险评级报告(2023)》是以国家为评价单元,而本文是基于栅格像元的分析。尽管中巴通道的地缘风险类型在中等水平中的占比最高,但在巴基斯坦北部还分布着地缘风险很高的区域,中巴通道在很高地缘风险类型上的占比居于首位。中塔通道在本研究结果中属于中等偏高的地缘风险水平,主要是中塔通道在跨境段存在很高的自然风险导致的。中老通道地缘风险在中等风险类型出现最多,尽管老挝的政治风险较低,但因为中老通道沿线多为自然风险较高的区域,并且老挝整体的经济风险为中等水平,综合来看中老通道地缘风险并

不低。

### 3.2 西部跨境铁路通道地缘风险空间分异的驱动机制

为进一步探究地缘风险空间分异的驱动机制,引入空间统计模型地理探测器,将综合地缘风险作为被解释变量,3 个准则层和 13 个指标层的指标作为解释变量,利用因子检测器和交互探测器识别变量中影响地缘风险空间分异的关键因素以及变量间的交互作用,为提出针对性的跨境铁路通道建设意见提供支撑。

#### 3.2.1 地缘风险空间分异的全局影响因素分析

为从整体上分析和把握影响地缘风险空间分异的关键因素,对区域地缘风险空间分异、跨境通道地缘风险空间分异两个部分的影响因素进行了探测,结果如图 3a 和图 3b 所示。

图 3 中对角线处为因子探测的结果,对角线以下为交互探测作用,13 个自变量均通过 1% 的显著性水平检验。从区域地缘风险空间分异和通道地缘风险空间分异的因子探测结果来看,政治稳定性是共同的关键影响因素,这与已有研究结论一致<sup>[31]</sup>。对比两组因子检测结果发现,通道地缘风险空间分异的影响因素在领土争端、经济自由度和外债占

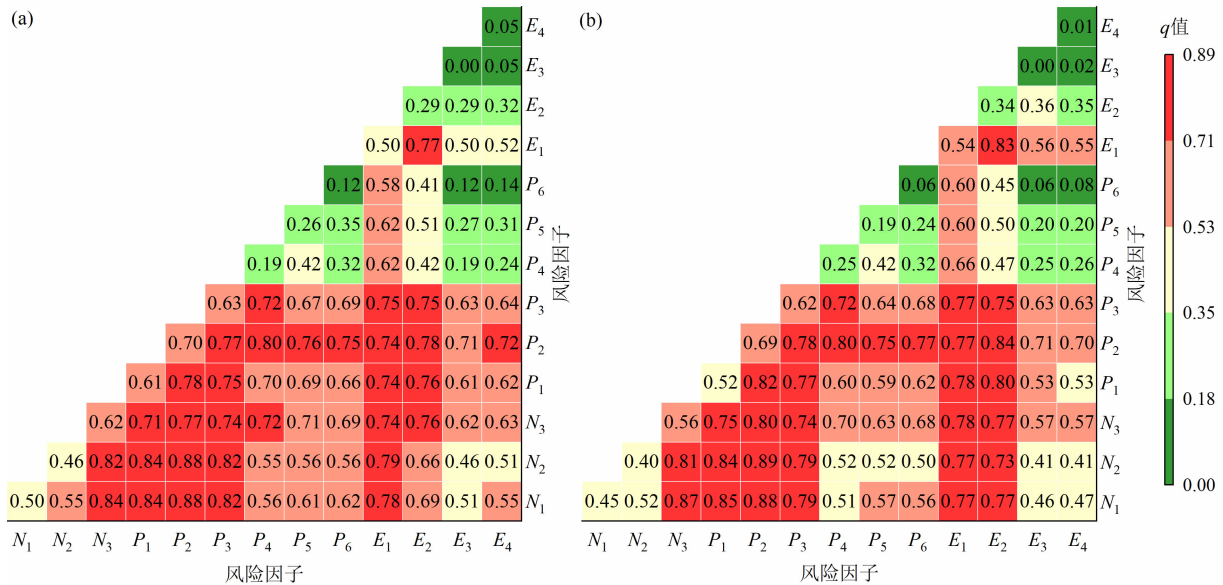


图3 地缘风险空间分异的全局影响因素探测:(a)区域地缘风险交互探测;(b)通道地缘风险交互探测

Fig. 3 Exploration of driving factors on spatial heterogeneity of overall geopolitical risk:

(a) interaction detector for geopolitical risk in the region; (b) interaction detector for geopolitical risk in WCBRs

GDP 比重这 3 个变量上显著增加,其他变量则略有下降。其中,自然风险因素中,长期气候风险贡献度最大,并极大增强了政治和经济因素对地缘风险空间分异的影响。气候变化导致国家之间和国家内部的资源竞争,加剧社会不平等和地缘政治冲突<sup>[49]</sup>。随着国家气候脆弱性加剧,气候变化与地缘政治风险的联系更加紧密,这要求政府和企业在开展跨境铁路合作时,采取有效措施缓解气候变化带来的风险挑战。政治风险因素中,政治稳定性影响最大。当前,周边政治冲突事件频发,如俄乌冲突、巴基斯坦恐怖袭击和缅甸内战,长期的政治紧张局势对本国乃至周边国家的社会经济发展产生广泛影响<sup>[25]</sup>。周边国家民主改革进展曲折,政党斗争导致的政权更迭屡见不鲜<sup>[50]</sup>。经济风险因素中,经济自由度的贡献度最大。经济全球化背景下,国家间的经济发展相互依赖增强,跨境铁路通道在此机遇下得以获得更大的发展空间。为避免被边缘化,周边国家也需要融入区域一体化进程<sup>[51]</sup>。

在交互探测结果中,任意两因子间的交互作用均为增强作用。具体而言,自然因素与政治因素的交互中,地形起伏度、滑坡风险和长期气候风险与大国干预和政治稳定性的交互,进一步扩大了政治因素对地缘风险空间分异的影响。自然因素极易成为受援国推迟进度和域外势力干预通道建设的抓手,

政局不稳的国家在抵御自然因素带来的地缘风险时,缺乏对灾害的应急处置能力<sup>[52]</sup>,这就为大国干预提供了契机。政治因素与经济因素的交互中,大国干预和政治稳定性、经济自由度和外债占 GDP 比重的交互作用互相促进,尤其是经济自由度极大地增强了政治因素对地缘风险空间分异的贡献。当一国出现政局动荡时,其经济必然受到影响,出现经济政策不连续、财政负担加重、经济发展萎靡等问题,而经济因素恶化也会反过来影响政治发展,这些状况都可能给通道建设推进带来阻力<sup>[37]</sup>。自然因素与经济因素的交互中,地形起伏度和滑坡风险、经济自由度和外债占 GDP 比重的相互作用,对通道地缘风险空间分异的影响明显增加,这意味着在通道层面,自然因素会影响到受援国经济状况,从而加剧经济因素对通道地缘风险空间分异的影响。部分西部跨通铁路通道需要翻越连绵起伏的兴都库什山脉和喜马拉雅山脉,跨境通道建设经过路段的地势越崎岖,发生滑坡事件的可能性越大,就越需要投入更多的技术和资金<sup>[53]</sup>,这对周边国家而言,需要更多的外部援助和贷款。

### 3.2.2 跨境通道地缘风险空间分异的关键风险因子识别

对全局跨境通道地缘风险进行分割,对比自然风险、政治风险和经济风险对跨境通道地缘风险空

间分异的贡献度,识别影响单个跨境通道地缘风险空间分异的关键风险因子,因子检测结果见表 6。

自然风险是西部跨境铁路通道地缘风险空间分异的关键风险因子,平均贡献度为 0.61,由高至低为南亚通道、中亚通道、东南亚通道。其中,自然风险在中哈通道、中吉通道、中乌通道、中塔通道、中土通道、中阿通道、中印通道、中尼通道、中缅通道、中老通道和中越通道的地缘风险空间分异中占据主导地位。自然风险是跨境通道地缘风险空间分异的关键风险因子,这一结果反映出自然地理环境对跨境通道的重要影响。在唐代以前,丝绸之路绕开了被誉为“世界屋脊”的青藏高原,或许就是因为它位于高寒地区,自然环境对人类生存具有挑战性,陆路通行被普遍认为很危险<sup>[54]</sup>。直到唐代吐蕃时期,南北穿行的民族沿着喜马拉雅断裂峡谷形成的通道,充当起跨喜马拉雅地区经贸文化交流的使者,实现喜马拉雅山脉南坡和北坡的直接沟通<sup>[55]</sup>。

政治风险是西部跨境铁路通道地缘风险空间分异的重要风险因子,平均贡献度为 0.18,由高至低为南亚通道、东南亚通道、中亚通道。政治风险是中

巴通道和中泰通道的地缘风险空间分异的关键风险因子,对中巴通道地缘风险空间分异的影响作用最大。中巴通道地缘风险空间分异同时受到较高的自然风险和政治风险驱动,原因有二:其一,巴基斯坦北部的巴控克什米尔地区位于喜马拉雅山脉西段与喀喇昆仑山脉交会处,地形起伏大,冰湖溃堤等自然灾害频发<sup>[19]</sup>,跨境通道建设面临很高的自然风险挑战;其二,巴基斯坦和印度在克什米尔地区的领土争端<sup>[56]</sup>、中巴通道沿线屡次突发恐怖袭击事件<sup>[57]</sup>等导致中巴通道政治风险较高。中国视巴基斯坦为全天候战略合作伙伴,但中巴通道作为“一带一路”最早提出建设的跨境通道之一,其实施进程缓慢且波折。当前对中巴通道地缘风险的量化研究,仅用国别数据对中巴通道地缘风险进行分析,在项目尺度上对地缘风险的认识不够全面细致,导致中巴通道地缘风险被低估。尤其是在中巴通道跨境段的巴控克什米尔地区,中巴通道地缘风险同时汇集了很高的自然风险和政治风险,成为中巴通道连接的阻碍。

经济风险贡献度较低,是西部跨境铁路通道地缘风险空间分异的一般风险因子。经济风险的平均

表 6 跨境通道地缘风险空间分异的因子作用探测

Tab. 6 Factor effect detection on spatial heterogeneity of geopolitical risk in WCBRs

西部跨境铁路通道	自然风险	政治风险	经济风险	贡献排序(由大到小)
中国—哈萨克斯坦	0.6075 ***	0.0061	0.0103 ***	自然风险、经济风险、政治风险
中国—吉尔吉斯斯坦	0.7908 ***	0.1946 ***	0.1876 ***	自然风险、政治风险、经济风险
中国—乌兹别克斯坦	0.7396 ***	0.0110	0.0080	自然风险、政治风险、经济风险
中国—塔吉克斯坦	0.5969 ***	0.0024	0.0794	自然风险、经济风险、政治风险
中国—土库曼斯坦	0.3263 ***	0.0042	0.0122	自然风险、经济风险、政治风险
中国—阿富汗	0.2339 ***	0.1362	0.0771	自然风险、政治风险、经济风险
中国—巴基斯坦	0.9265 ***	0.9830 ***	0.0479 ***	政治风险、自然风险、经济风险
中国—印度	0.9726 ***	0.1496 ***	0.0040	自然风险、政治风险、经济风险
中国—尼泊尔	0.7196 ***	0.2597 **	0.0958	自然风险、政治风险、经济风险
中国—孟加拉国	0.5935	0.0009	0.0338	自然风险、经济风险、政治风险
中国—缅甸	0.7905 ***	0.0987 ***	0.0284	自然风险、政治风险、经济风险
中国—老挝	0.6624 ***	0.0343	0.0394	自然风险、经济风险、政治风险
中国—泰国	0.4963 ***	0.7468 ***	0.0181	政治风险、自然风险、经济风险
中国—越南	0.3831 ***	0.0408 ***	0.1469	自然风险、经济风险、政治风险
中国—柬埔寨	0.2658	0.0337	0.0029	自然风险、政治风险、经济风险

注:\*\*\*和\*\*分别代表1%和5%的显著水平。

贡献度为 0.05,由高至低为中亚通道、南亚通道、东南亚通道,贡献度差异小且大多不显著,经济风险对通道地缘风险空间分异的影响作用仅在中哈通道、中吉通道和中巴通道显著。这是由于西部跨境铁路通道建设的受援国均属于发展中国家,经济发展水平相当,经济风险的空间分布差异远不及自然风险和政治风险。其中,中吉通道自然风险贡献度较高的同时,政治风险和经济风险的贡献度也比较高。这一方面与吉尔吉斯斯坦境内崎岖地形有关,另一方面受到吉尔吉斯斯坦国内政局稳定性差、腐败问题严重等影响<sup>[58]</sup>,中吉通道在应对自然风险的过程中,需要时刻警惕经济风险和政治风险。

## 4 结论与政策建议

### 4.1 结论

跨境铁路建设作为“一带一路”倡议的优先建设领域,在受援国政局不稳、经济欠发达以及自然环境恶劣等因素驱动下,面临较大的地缘风险,大多数跨境铁路多年谈判仍未开工。当前研究主要以国别数据为测量单位对单一通道或局部地区地缘风险开展量化评估,难以识别地缘风险在国家内部的分布特征。本文构建了自然-政治-经济的综合评估指标体系,从栅格尺度评估了中国西部跨境铁路通道的地缘风险,明晰了西部跨境铁路通道地缘风险的空间分布,识别了地缘风险空间分异的关键影响因素,主要结论如下。

(1)区域地缘风险整体呈中部高、南北低态势,地缘风险很高的区域主要集中在边疆地区,很低的区域大多分布在哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦和土库曼斯坦。从风险因子的贡献度来看,政治因素是区域地缘风险空间分异的关键影响因素,自然因素的贡献度略低于政治因素,经济因素的贡献度最小。地缘风险空间分异的全局影响因素探测结果表明,政治稳定性是关键影响因素。交互探测结果显示,任意两因素间的交互作用均为增强作用,自然因素、政治因素和经济因素相互交织增强了对区域和通道地缘风险空间分异的影响作用。

(2)跨境通道地缘风险具有空间异质性。中亚通道的地缘风险以低和很低风险为主,中哈通道、中乌通道和中土通道的地缘风险很低,中吉通道和中塔通道的风险属于中等偏高水平。南亚通道的地缘

风险以高风险为主,中阿通道、中巴通道、中尼通道的地缘风险较高,中印通道和中孟通道风险较低。东南亚通道的风险整体为中等偏低风险,中缅通道是东南亚通道中唯一存在很高地缘风险类型的跨境通道,且以中等偏高风险为主,中老通道的地缘风险为中等风险,中越通道、中柬通道和中泰通道的地缘风险较低。地缘风险空间分异的因子贡献度显示,自然风险是单个跨境通道地缘风险空间分异的关键风险因子,政治风险是重要风险因子,经济风险为一般风险因子。具体来看,中哈、中吉、中乌、中土、中塔、中阿、中印、中尼、中缅、中老和中越通道地缘风险空间分异中,自然风险的贡献度最大,而政治风险贡献度最大的通道为中巴和中泰通道。

需要说明的是,受评估指标的数据可获得性和连续性影响,研究数据仍存在部分以国家为单位的基础数据,一定程度上平滑了地缘风险空间分布差异。此外,地缘风险是动态变化的,其变化过程中还具有风险传导性。在未来的研究中,应该在获取长时序、高精度数据基础上,考虑风险传导的影响,进而开展精细化的地缘风险时空格局分析,从而更加精确的把握跨境通道地缘风险演变规律。

### 4.2 政策建议

面对日益复杂的地缘环境,为促进中国西部跨境铁路通道的有序建设和发展,根据跨境通道地缘风险水平和空间分异的关键风险因子,建议先易后难,将降低和预防风险结合,审慎推进中国西部跨境铁路通道建设。其中,这里提出的“先易后难”中,“易”对应中等及以下地缘风险类型,“难”则对应高、很高类型地缘风险。接下来,从地缘风险水平和风险因素两个方面提出具体的政策建议。

(1)从西部跨境铁路主干通道地缘风险来看,建议集中力量建设中亚和东南亚方向的跨境铁路通道,放缓南亚方向的通道合作。从单一跨境通道来看,对于地缘风险较低的通道可以优先加快推进,如中哈通道、中乌通道、中土通道、中越通道和中泰通道。事实上,目前正在运营的中哈铁路和中老铁路恰恰是地缘风险不高的区域。目前正在落实的中越铁路、中泰铁路,也是地缘风险不高的区域,而对于中阿通道、中巴通道、中尼通道这几条地缘风险比较高的通道则建议审慎推进。此外,地缘风险很高的区域集中分布在边疆地区,建议在开展跨境通道建设时重点关注边疆地区和跨境段铁路通道建设的地

缘风险。

(2) 由于影响跨境通道地缘风险空间分异的关键风险因子不同, 建议采取不同降低风险的措施。自然风险为关键风险因子的通道, 建议与受援国协商进行技术升级或是变更为自然风险更低的路线, 如中尼通道。全球气候变暖增加了自然灾害对人类活动的影响, 建议建设“绿色”跨境铁路通道, 减少环境污染, 积极应对气候变化, 展现大国责任。政治风险为关键风险因子的通道, 如中巴通道、中泰通道, 建议增加高层互访, 定期检查并公开项目进度和资金使用情况。随着中国周边政治局势和矛盾冲突愈演愈烈, 跨境铁路通道建设推进过程面临的不确定性增加, 受援国国内政治稳定是跨境通道能够顺利推进的前提保障, 必要时可派遣安保团队保障跨境铁路安全建设。通过加强双边政治互信、构建多渠道沟通平台, 建立国际合作透明度和问责制, 在确保安全与稳定的前提下开展合作。经济全球化使得国家间经济相互依赖, 由于中国周边国家整体经济发展水平低、潜力大, 需积极加强同周边国家的经济合作, 深耕周边, 带动区域经济一体化发展。此外, 建议持续关注受援国的经济状况, 并对地缘风险较低的国家及时提供援助, 以免受援国政治化经济风险导致通道建设中断。

(3) 在预防策略方面, 首先是在正式合作前做好充分的调研评估工作, 多方面了解受援国详细情况, 包括政府效能、法治保障、经济发展水平和社会矛盾等基本信息。其次, 需要在国际合作协议中明确风险和责任, 界定权利和责任义务, 避免政权更迭等导致非正常违约和受援国单方面中止合作等问题。再次, 建议与受援国开展多领域合作, 与多国开展多路线的跨境铁路合作, 从而分散地缘风险。然后, 需要同受援国政府和地方社区构建良好的互动关系, 建立多元协商对话渠道, 分享中国文化、中国经验, 逐步增强周边国家和人民对中国的认同感。最后, 建议建立专业的地缘风险管理团队, 加强地缘风险理论和应用研究, 系统评估和模拟预测周边国家地缘风险。同周边国家的跨境通道建设是一个曲折反复的过程, 需要保持战略定力, 渐进式推进西部跨境铁路通道建设。

## 参考文献 (References)

- [1] PIPPA E. China's Belt and Road Initiative: Ten years on [EB/OL]. London: Council on Geostrategy, 2023. 05. (2023-05-11) [2024-04-30]. <https://www.geostrategy.org/research/chinas-belt-and-road-initiative-ten-years-on/>.
- [2] CUSTER S, DREHER A, ELSTON T, et al. Tracking Chinese development finance: An application of AidData's TUFF 3.0 methodology [EB/OL]. Williamsburg, VA: AidData, William & Mary, 2023. 11. (2023-11-06) [2024-05-22]. <https://www.aiddata.org/publications/aiddata-tuff-methodology-version-3-0>.
- [3] 熊琛然, 王礼茂, 屈秋实, 等. 地缘政治风险研究进展与展望 [J]. 地理科学进展, 2020, 39(4): 695 - 706. [XIONG Chenran, WANG Limao, QU Qiushi, et al. Progress and prospect of geopolitical risk research [J]. Progress in Geography, 2020, 39(4): 695 - 706] DOI: 10.18306/dlkxjz.2020.04.016
- [4] 张晓通, 许子豪. “一带一路”海外重大项目的地缘政治风险与应对——概念与理论构建 [J]. 国际展望, 2020, 12(3): 80 - 96. [ZHANG Xiaotong, XU Zihao. BRI projects' geopolitical risks: Concepts and theorization [J]. Global Review, 2020, 12(3): 80 - 96] DOI: 10.13851/j.cnki.gjzw.202003005
- [5] CALDARA D, IACOVIELLE M. Measuring geopolitical risk [J]. American Economic Review, 2022, 112(4): 1194 - 1225. DOI: 10.1257/aer.20191823
- [6] MOHAMED N A, BENELALLAM I, RAHMANI Y. Monitoring African geopolitics: A multilingual sentiment and public attention framework [J]. Applied Intelligence, 2025, 55(2): 89. DOI: 10.1007/s10489-024-05905-0
- [7] 洪菊花, 骆华松, 梁茂林, 等. “一带一路”重大项目地缘风险研究 [J]. 人文地理, 2018, 33(1): 130 - 136. [HONG Juhua, LUO Huasong, LIANG Maolin, et al. Study on the geopolitical risks of major projects of 'the Belt and Road Initiative' [J]. Human Geography, 2018, 33(1): 130 - 136] DOI: 10.13959/j.issn.1003-2398.2018.01.017
- [8] HU Zhiding, LU Dadao. Re-interpretation of the classical geopolitical theories in a critical geopolitical perspective [J]. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(12): 1769 - 1784. DOI: 10.1007/s11442-016-1357-1
- [9] 申玉坤, 骆华松, 洪菊花, 等. 基于“一带一路”的拉丁美洲地缘风险空间分异格局及驱动因素 [J]. 热带地理, 2021, 41(6): 1222 - 1235. [SHEN Yukun, LUO Huasong, HONG Juhua, et al. Spatial differentiation pattern and driving factors of geo-risk in Latin America based on the "Belt and Road" Initiative [J]. Tropical Geography, 2021, 41(6): 1222 - 1235] DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.003399
- [10] 胡芳, 李誉博. “一带一路”沿线国家地缘政治风险评估及影响因素 [J]. 热带地理, 2023, 43(6): 1160 - 1171. [HU Fang, LI Yubo. Geopolitical risk assessment and influencing factors of countries participating in the Belt and Road Initiative [J]. Tropical Geography, 2023, 43(6): 1160 - 1171] DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.003686
- [11] 葛旭瑞, 李灿松, 胡平平, 等. 湄公河流域国家地缘政治风险

- 评估与影响研究[J]. 地理与地理信息科学, 2022, **38**(6): 52 - 59. [ GE Xurui, LI Cansong, HU Pingping, et al. Geopolitical risk assessment and impact of Mekong River Basin countries [J]. Geography and Geo-Information Science, 2022, **38**(6): 52 - 59 ] DOI: 10.3969/j.issn.1672-0504.2022.06.008
- [12] SWEIDAN O D. The geopolitical risk effect on the US renewable energy deployment [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, **293**: 126189. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126189
- [13] LI Hua, ALI M S E, AYUB B, et al. Analysing the impact of geopolitical risk and economic policy uncertainty on the environmental sustainability: Evidence from BRICS countries [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023, **31**: 46148 - 46162. DOI: 10.1007/s11356-023-26553-w
- [14] XIAO Chiwei, WANG Yi, YAN Mingyan, et al. Impact of cross-border transportation corridors on changes of land use and landscape pattern: A case study of the China-Laos railway [J]. Landscape and Urban Planning, 2024, **241**: 104924. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2023.104924
- [15] JIN Yuan, LI Ainong, BIAN Jinhu, et al. Spatiotemporal analysis of ecological vulnerability along Bangladesh-China-India-Myanmar economic corridor through a grid level prototype model [J]. Ecological Indicators, 2021, **120**: 106933. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106933
- [16] POMFRET R. The Eurasian Land Bridge: Linking regional value chains along the New Silk Road [J]. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 2019, **12**(1): 45 - 56. DOI: 10.1093/cjres/rsy030
- [17] CHEN Xiaoyang, LIN Chuanhao. Geographic connectivity and cross-border investment: The Belts, Roads and Skies [J]. Journal of Development Economics, 2020, **146**: 102469. DOI: 10.1016/j.jdeveco.2020.102469
- [18] ZHOU Qing, HE Ze, YANG Yu. Energy geopolitics in Central Asia: China's involvement and responses [J]. Journal of Geographical Sciences, 2020, **30**(11): 1871 - 1895. DOI: 10.1007/s11442-020-1816-6
- [19] 朱颖彦, 李朝月, 杨志全, 等. 中巴喀喇昆仑公路冰湖溃决灾害[J]. 山地学报, 2021, **39**(4): 524 - 538. [ ZHU Yingyan, LI Chaoyue, YANG Zhiqian, et al. Glacier lake outburst flood (GLOF) along China-Pakistan International Karakoram Highway (KKH) [J]. Mountain Research, 2021, **39**(4): 524 - 538 ] DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000617
- [20] 杨文武, 涂晶. 中巴经济走廊建设的地缘风险评价研究[J]. 南亚研究季刊, 2018(1): 76 - 85. [ YANG Wenwu, TU Jing. Evaluating geo-strategic risks on CPEC [J]. South Asian Studies Quarterly, 2018(1): 76 - 85 ] DOI: 10.13252/j.cnki.sasq.2018.01.011
- [21] 钟妍, 刘巧, 廖海军, 等. 中喜马拉雅山中一尼通道沿线冰川/冰湖变化及其相关灾害初步调查[J]. 山地学报, 2020, **38**(2): 314 - 327. [ ZHONG Yan, LIU Qiao, LIAO Haijun, et al. Glaciers and glacial lakes status and their related geo-hazards along three main China-Nepal Corridors [J]. Mountain Research, 2020, **38**(2): 314 - 327 ] DOI: 10.10689/j.cnki.1008-2786.000512
- [22] BAI Haonan, WENG Lingfei. Ecological security pattern construction and zoning along the China-Laos Railway based on the potential-connectedness-resilience framework [J]. Ecological Indicators, 2023, **146**: 109773. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109773
- [23] WU Shihai, YAN Jiangzhong, ZHANG Yili, et al. Evolutionary process and development implications of traditional trade routes in the Himalayan region [J]. Journal of Geographical Sciences, 2022, **32**(9): 1847 - 1865. DOI: 10.1007/s11442-022-2026-1
- [24] 王成金, 李绪茂, 陈沛然, 等. 基于轨距的亚欧大陆铁路地缘系统格局及形成机理[J]. 地理学报, 2020, **75**(8): 1725 - 1741. [ WANG Chengjin, LI Xumao, CHEN Peiran, et al. Spatial pattern of railway geo-system and development mechanism from the view of gauge: A case study of Eurasia [J]. Acta Geographica Sinica, 2020, **75**(8): 1725 - 1741 ] DOI: 10.11821/dlxb202008012
- [25] ZHANG Qi, HU Yi, JIAO Jianbin, et al. The impact of Russia-Ukraine war on crude oil prices: An EMC framework [J]. Humanities & Social Sciences Communications, 2024, **11**(1): 8 - 12. DOI: 10.1057/s41599-023-02526-9
- [26] IZZELDIN M, MURADOGLU Y G, PAPPAS V, et al. The impact of the Russian-Ukrainian war on global financial markets [J]. International Review of Financial Analysis, 2023, **87**: 102598. DOI: 10.1016/j.irfa.2023.102598
- [27] BASHIR M F, SHAHBAZ M, MALIK M N, et al. Energy transition, natural resource consumption and environmental degradation: The role of geopolitical risk in sustainable development [J]. Resources Policy, 2023, **85**: 103985. DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.103985
- [28] PAPAGIANNI E, EVGENIDIS A, TSAGKANOS A, et al. Tourism demand in the face of geopolitical risk: Insights from a cross-country analysis [J]. Journal of Travel Research, 2023, **63**(8): 2094 - 2119. DOI: 10.1177/00472875231206539
- [29] BOHL D K, HANNA T L, MAPES B R, et al. Understanding and forecasting geopolitical risk and benefits [R]. Denver, USA: University of Denver, 2017: 7.
- [30] 郗笃刚, 刘建忠, 周桥, 等. “一带一路”建设在印度洋地区面临的地缘风险分析[J]. 世界地理研究, 2018, **27**(6): 14 - 23. [ XI Dugang, LIU Jianzhong, ZHOU Qiao, et al. Geopolitical risks for the One Belt and One Road construction in Indian Ocean Region [J]. World Regional Studies, 2018, **27**(6): 14 - 23 ] DOI: 10.3969/j.issn.1004-9479.2018.06.002
- [31] HU Wei, SHAN Yue, DENG Yun, et al. Geopolitical risk evolution and obstacle factors of countries along the Belt and Road and its types classification [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2023, **20**(2): 1618.

- DOI: 10.3390/ijerph20021618
- [32] 肖方昕, 张晓通. 中国在非洲铁路建设的地缘政治风险及应对[J]. 国际关系研究, 2020(3): 39–67. [XIAO Fangxin, ZHANG Xiaotong. The geopolitical risks and solutions for China's railway construction in Africa [J]. Journal of International Relations, 2020(3): 39–67]
- [33] WU Shihai, ZHANG Yili, YAN Jianzhong. Comprehensive assessment of geopolitical risk in the Himalayan Region based on the grid scale [J]. Sustainability, 2022, **14**(15): 9743. DOI: 10.3390/su14159743
- [34] 林刚, 丁方宇, 付晶莹, 等. 南亚地缘环境风险等级的智能判别与分析[J]. 科技导报, 2018, **36**(3): 70–74. [LIN Gang, DING Fangyu, FU Jingying, et al. Intelligent recognition of risk levels of geopolitical system for South Asia [J]. Science & Technology Review, 2018, **36**(3): 70–74] DOI: 10.3981/j.issn.1000-7857
- [35] ZHAO Laijun, LIU Jieyu, LI Deqiang, et al. China's green energy investment risks in countries along the Belt and Road [J]. Journal of Cleaner Production, 2022, **380**: 134938. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.134938
- [36] PALIN E J, OSLAKOVIC I S, GAVIN K, et al. Implications of climate change for railway infrastructure [J]. Wiley Interdisciplinary Reviews-Climate Change, 2021, **12**(5): 1–41. DOI: 10.1002/wcc.728
- [37] 李晨阳, 孟姿君, 罗圣荣. “一带一路”框架下的中缅经济走廊建设: 主要内容、面临挑战与推进路径[J]. 南亚研究, 2019(4): 112–133. [LI Chenyang, MENG Zijun, LUO Shengrong. The construction of the China-Myanmar Economic Corridor under the Belt and Road Initiative: Core contents, challenges and paths forward [J]. South Asian Studies, 2019(4): 112–133] DOI: 10.16608/j.cnki.nyj.2019.04.06
- [38] TAREK B A, AHMED Z. Governance and public debt accumulation: Quantitative analysis in MENA countries [J]. Economic Analysis and Policy, 2017, **56**: 1–13. DOI: 10.1016/j.eap.2017.06.004
- [39] MCGOWRAN P. Geopolitical assemblages and disasters-in-the-making in Kalimpong, India [J]. Political Geography, 2024, **108**: 103008. DOI: 10.1016/j.polgeo.2023.103008
- [40] SCHONLAU M, ZOU Yuyan. The random forest algorithm for statistical learning [J]. The Stata Journal: Promoting Communications on Statistics and Stata, 2020, **20**(1): 3–29. DOI: 10.1177/1536867X20909688
- [41] SUN Deliang, WEN Haijia, WANG Danzhou, et al. A random forest model of landslide susceptibility mapping based on hyperparameter optimization using Bayes algorithm [J]. Geomorphology, 2020, **362**: 107201. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107201
- [42] HAO Mengmeng, FU Jingying, JIANG Dong, et al. Simulating the linkages between economy and armed conflict in India with a long short-term memory algorithm [J]. Risk Analysis, 2020, **40**(6): 1139–1150. DOI: 10.1111/risa.13470
- [43] XING Chen, YAO Leihua, WANG Yingdong, et al. Suitability evaluation of the lining form based on combination weighting-set pair analysis [J]. Applied Sciences, 2022, **12**(10): 4896. DOI: 10.3390/app12104896
- [44] 崔丹, 卜晓燕, 徐祯, 等. 中国资源型城市高质量发展综合评估及影响机理[J]. 地理学报, 2021, **76**(10): 2489–2503. [CUI Dan, BU Xiaoyan, XU Zhen, et al. Comprehensive evaluation and impact mechanism of high-quality development of China's resource-based cities [J]. Acta Geographica Sinica, 2021, **76**(10): 2489–2503] DOI: 10.11821/dlxb202110011
- [45] 李冠廷, 王启文, 高继军, 等. 流域生态恢复潜力评估不同赋权方法适用情景分析[J]. 环境工程学报, 2023, **17**(10): 3159–3168. [LI Guanting, WANG Qiwen, GAO Jijun, et al. Scenario analysis of different weighting methods for ecological restoration potential evaluation of watershed [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2023, **17**(10): 3159–3168] DOI: 10.12030/j.cjee.202306074
- [46] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, **72**(1): 116–134. [WANG Jingfeng, XU Chengdong. Geodetector: Principle and prospective [J]. Acta Geographica Sinica, 2017, **72**(1): 116–134] DOI: 10.11821/dlxb201701010
- [47] DAVID V. Lists of U. S. military bases abroad, 1776–2021 [DB/OL]. Washington, D. C.: American University, 2021-07-05. (2023-08-04) [2024-07-11]. <http://hdl.handle.net/1961/auislandora:94927>.
- [48] 中国社会科学院国家全球战略智库国家风险评级项目组, 中国社会科学院世界经济与政治研究所国际投资研究室. 中国海外投资国家风险评级报告(2023) [R]. 北京: 中国社会科学出版社, 2023: 22–26. [National Risk Rating Project Group of the National Global Strategy Think Tank of the Chinese Academy of Social Sciences, International Investment Research Room of Institute of World Economics and Politics of Chinese Academy of Social Sciences. Report of country-risk rating of overseas investment from China (CROIC-IWEP) (2023) [R]. Beijing: China Social Science Press, 2023: 22–26]
- [49] ALAM A, BANNA H, ALAM A W, et al. Climate change and geopolitical conflicts: The role of ESG readiness [J]. Journal of Environmental Management, 2024, **353**: 120284. DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.120284
- [50] LEIVA D. BRI and railways in Latin America: How important are domestic politics? [J]. Asian Education and Development Studies, 2020, **10**(3): 386–398. DOI: 10.1108/AEDS-08-2019-0127
- [51] LEE Chiehuan, LEE Chienchiang, LIEN D. Income inequality, globalization, and country risk: A cross-country analysis [J]. Technological and Economic Development of Economy, 2020, **26**(2): 379–404. DOI: 10.3846/tede.2019.11414

- [52] TANGNEY P, NETTLE C, CLARKE B, et al. Climate security in the Indo-Pacific: A systematic review of governance challenges for enhancing regional climate resilience [J]. *Climatic Change*, 2021, **167**(3-4): 40. DOI: 10.1007/s10584-021-03197-8
- [53] 胡仕胜. 联通喜马拉雅 对接“一带一路”——对建设中尼印经济走廊的思考[J]. *印度洋经济体研究*, 2017(2): 1-40. [HU Shisheng. Making Himalayan interconnected, connecting the “OBOR” Initiative: Reflections on the construction of the Economic Corridor among China, Nepal and India [J]. *Indian Ocean Economic and Political Review*, 2017(2): 1-40] DOI: 10.16717/j.cnki.53-1227/f.2017.02.001
- [54] HUO Wei. On the “Plateau Silk Road” jointly created by ancient people of various ethnic groups on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *China and Asia*, 2023, **5**(1): 50-78. DOI: 10.1163/2589465X-05010003
- [55] 张云. 吐蕃丝绸之路[M]. 南京: 江苏人民出版社, 2017: 200. [ZHANG Yun. *The Tubo Silk Road* [M]. Nanjing: Jiangsu People's Publishing House, 2017: 200]
- [56] HUSSAIN M, JAMALI A B. Geo-political dynamic of the China-Pakistan Economic Corridor: A new great game in South Asia [J]. *Chinese Political Science Review*, 2019, **4**(3): 303-326. DOI: 10.1007/s41111-019-00128-y
- [57] 刘乐. 中巴经济走廊十年建设成效: 分化评价与问题剖析[J]. *南亚研究*, 2023(4): 1-24. [LIU Le. Appraising the first decade of progress towards constructing the China-Pakistan Economic Corridor: Different perspectives and an assessment of challenges [J]. *South Asian Studies*, 2023(4): 1-24] DOI: 10.16608/j.cnki.nyyjj.2023.04.01
- [58] 郝新鸿, 柯文. “丝绸之路经济带”中的铁路政治——对中亚乌铁路的技术社会学分析[J]. *科学学研究*, 2016, **34**(7): 977-984. [HAO Xinhong, KE Wen. The railway politics in the silk road economic belt: An analysis on the China-Kyrgyzstan-Uzbekistan railway from sociology of technology [J]. *Studies in Science of Science*, 2016, **34**(7): 977-984] DOI: 10.16192/j.cnki.1003-2053.2016.07.003

## Spatial Heterogeneity and Driving Mechanisms of Geopolitical Risks for 15 Western Cross-Border Railways of China

WU Wen<sup>1</sup>, WU Shihai<sup>2</sup>, YAN Jianzhong<sup>1\*</sup>, ZHANG Yili<sup>3</sup>

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. School of Geography and Tourism, Qujing Normal University, Qujing 600511, Yunnan, China;

3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100010, China)

**Abstract:** The corridors of western cross-border railways serve as strategic pivots for enhancing China's connectivity with neighboring countries and advancing the Belt and Road Initiative (B&R). However, projects such as China-Thailand, China-Vietnam, and China-Myanmar railway face recurrent construction setbacks. Common knowledge on geopolitical risk of cross-border railway mostly was acquired by single-nation macro-analysis or single corridor case studies, limiting precision in risk governance; therefore, it is quite necessary to build a fine-scale geopolitical risk assessment framework integrating multi-dimensional drivers.

In this study, it established a comprehensive geopolitical risk evaluation system via natural-political-economic dimensions (13 risk indicators included) for China's western cross-border railway corridors through nations in Central, South, and Southeast Asia. A refined risk assessment micro-unit was built on a 5 km × 5 km grid, and the spatial heterogeneity and driving mechanism of the geopolitical risk of the 15 western cross-border railroad corridors in 2022 were revealed by using the comprehensive index method, GIS spatial analysis and Geo-detectors.

(1) The geopolitical risks for the corridors of China's western cross-border railways exhibited a pattern of high-central, low-peripheral distribution: A north/south decreasing gradient with a central very high-risk cluster (risk index >0.52) concentrated in the Hindu Kush-Pamir tectonic zone.

(2) Significant spatial heterogeneity existed in risk levels: Low-risk corridors (high-risk grid proportion < 20%) included China-Kazakhstan, China-Uzbekistan, China-Turkmenistan, China-India, China-Bangladesh, China-Vietnam, China-Thailand, and China-Cambodia routes; high-risk corridors (high-risk grid proportion > 20%) comprised China-Afghanistan, China-Pakistan, China-Nepal, and China-Myanmar corridors.

(3) Political stability was the primary driver for regional risk differentiation ( $q_{\text{region}} = 0.70$ ), maintaining dominant explanatory power at corridor scale ( $q_{\text{corridor}} = 0.69$ ).

(4) Natural risks universally influenced spatial variations over 13 corridors (average  $q = 0.61$ ), exceeding 60% explanatory power for 8 corridors including China-Kazakhstan and China-Kyrgyzstan routes. Political risks ( $q = 0.18$ ) most significantly impacted China-Pakistan and China-Thailand corridors ( $q > 0.70$ ), while economic risks ( $q = 0.05$ ) showed limited relevance only to China-Kazakhstan, China-Kyrgyzstan, and China-Pakistan corridors ( $q < 0.20$ ). The study recommends prioritizing low-risk corridor construction and implementing “one corridor, one policy” risk mitigation strategies for high-risk routes.

These findings provide actionable insights for optimizing China’s western cross-border railway network development.

**Key words:** cross-border railway corridor; geopolitical risk; spatial heterogeneity; driving mechanism

(责任编辑 李 嵘)