

黄洁, 熊美成, 王姣娥, 等. 多情景模拟下的跨境铁路运输时效研究——以中老铁路为例 [J]. 地理科学, 2024, 44(1): 91-98. [Huang Jie, Xiong Meicheng, Wang Jiaoe et al. Temporal efficiency of cross-border railways with multiple simulation scenarios: A case study of the China-Laos Railway. Scientia Geographica Sinica, 2024, 44(1): 91-98.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.20220571

多情景模拟下的跨境铁路运输时效研究 ——以中老铁路为例

黄洁^{1,2}, 熊美成^{1,2}, 王姣娥^{1,2}, 高阳^{1,2}, 李永玲¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所/中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

摘要: 跨境铁路运输是中国与周边国家陆路联通的重要环节。跨境铁路运输时效既受线路畅通情况、基础设施技术等级等“硬联通”因素的制约, 也受到海关条例、口岸畅通水平等“软联通”因素的影响。因此, 跨境铁路运输时效研究应充分考虑不同情景, 以期更科学地模拟运输时长的变化机理。本文以中老铁路(中国昆明-老挝万象, 简称中老铁路)为例, 在梳理中老铁路沿线地区社会经济概况及基础设施发展水平的基础上, 考虑不同运营速度、通关时间、铁轨换装、多式联运等因素, 构建了长途跨境运输时间的计算模型, 采用多情景模拟方法, 解析了中老铁路运的优势距离及客货运输时效变化。研究表明: ① 中老铁路有助于沿线跨境运输时间显著减少。相比公路运输, 客货运输时间优势均超过 20%; ② 通关时间是影响跨境铁路运输的关键要素之一, 占运输总时长的 20%~60%; ③ 铁海联运是中老铁路运输进一步提升运输效率的途径, 能有效缩短老挝至日本的总运输时间。

关键词: 跨境运输; 客货运组织; 中老铁路; 情景模拟; 运输时效

中图分类号: A000.0 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2024)01-0091-08

“一带一路”倡议背景下, 跨境铁路运输是中国与周边国家陆路联通、贸易畅通的关键环节, 但跨境铁路运输效率仍受轨距差异、通关复杂等因素制约^[1-3]。中老昆万铁路(中国昆明-老挝万象, 简称中老铁路)作为泛亚铁路中通道的重要组成部分, 能够促进昆明至新加坡泛亚东、中、西 3 个通道便捷联通。从物流通道建设层面, 中老铁路的运营将有效提升中国与东盟国家之间的物流运输效率, 进而提升中国与“一带一路”沿线国家的互联互通水平^[4], 有助于改善对外贸易的区域结构^[5]。但目前多数关于中老铁路的实证研究仍集中在工程建设方面, 对其跨境运输时效及制约因素的讨论尚少。2021 年底, 中老铁路已全线开通运营, 其运输时效对连通性的影响初见端倪, 亟需科学的模型估计与研究。

跨境运输是地缘政治学、经济地理学、交通地理学的经典议题^[6]。交通地理学中, 常采用可达性的方法对长距离铁路线路开展运输效率评估和系统绩效测度^[7]。铁路线路的空间效应研究可归纳为 2 类, 一是通过有无对比法^[8-9]、利用空间分析等相关技术方法^[10], 采用潜能模型、日常生活可达性、加权旅行时间或距离等指标^[11-13], 测度沿线城市可达性在铁路线路开通后的变化^[14-15]。二是在可达性测度的基础上采用引力模型^[16]、动态参数模型^[17]等模型, 分析铁路开通后对区域人口、社会经济发展的影响^[18]。研究结果显示, 铁路的开通有助于提高城市间或区域间的可达性水平, 并增加城市间社会经济联系^[19]。针对跨境铁路的空间效应, 部分研究运用可达性方法测度了沿线运输效率的提升^[10, 20]; 也有研究从区域差异、区域一体化等方面探讨了跨境铁路的运输

收稿日期: 2023-01-01; 修订日期: 2023-06-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42371177, 42201186)、中国科学院青年创新促进会项目 (2021049) 资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (42371177, 42201186), Youth Innovation Promotion Association of Chinese Academy of Sciences (2021049).]

作者简介: 黄洁(1988—), 女, 广西桂林人, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事时空大数据与交通地理研究。E-mail: huangjie@igsnr.ac.cn

通信作者: 王姣娥。E-mail: wangje@igsnr.ac.cn

经济成本、区域间经济联系、城市网络空间格局^[21-24]。

“一带一路”倡议提出以来,中老铁路吸引了不同领域学者的关注。学者们探讨了中老铁路的工程复杂性^[25]、选线定址^[26]、多式联运方案^[27]、对区域经济贸易的影响^[28-29]以及一带一路背景下交通经济带的发展^[30-31]。部分学者采用马尔科夫概率转移模型解析了铁路开通后城市间联系网络^[32],剖析了大规模跨区域建设对民生政治的影响^[33]等,但对中老铁路运输时效的变化还缺乏多情景视角下的模型模拟分析。鉴于此,本文将以中老铁路为例,依据跨境运输时间计算模型,与公路运输相比,剖析中老铁路建成后客货运的距离优势和时间优势。研究拟结合各情景下的模拟结果,探讨中老铁路客货运输时效的关键,以期丰富跨境铁路运输时效模拟方法,为跨境铁路运输提供科学建议。

1 跨境运输时间模拟模型

1.1 长途跨境运输时间模拟的关键要素

跨境运输具有一定的特殊性,其运输效率由“硬联通”和“软联通”2个方面决定^[3]。其中,“硬联通”表示交通基础设施的物理链接;与境内短途运输类似,其运输时长主要由行驶时长组成,受运输方式、技术等级等因素影响。跨境运输多需经历2个或以上国家,属于长途运输,常因通关查验、装卸、站点停靠、休整等因素在中途多次停留,因此,行驶时长和停留时长均是长途跨境运输“硬联通”的重要部分。在“一带一路”倡议下,多数国际运输线路建设均顺利推进,沿线国家的硬联通水平得到显著提升;而“软联通”包括口岸畅通度、通关规则的互认水平、贸易联系强度等,为基础设施互联互通的关键内容,也是制约跨境运输效率的重要因素。

1.2 模型构建

由图1可知,长途跨境运输时长的模型包括行驶时长、停留时长和通关时长3部分。并且,跨境长途运输可能涉及多种运输方式,且同种运输方式在不同路段的运营速度等或存在差异,故按照运输方式的技术等级将全程划分为 n 个路段,每一路段的运输方式以 $mode$ (铁路 $train$,公路 car ,船运 $ship$)表示。基于此,跨境运输时间模拟模型如下:

$$T = \sum_{n=1}^N \frac{S_n^{mode}}{V_n^{mode}} + \sum_{n=1}^N f(stop_{n,mode}) + \sum_{m=1}^M pass_m^{mode} \quad (1)$$

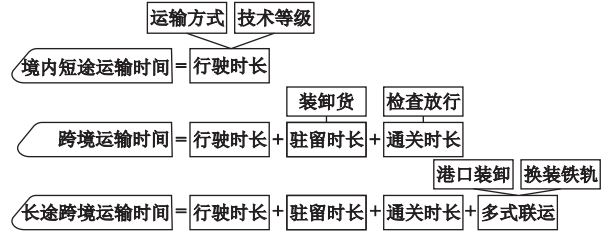


图1 运输时间模拟的关键要素

Fig.1 Key elements in transportation time simulation

$$f(stop_{n,mode}) = \begin{cases} \frac{S_n^{mode}}{s} \times stop_{mode}, & mode = car \\ j \times stop_{mode}, & mode = train \text{ 或 } mode = ship \end{cases} \quad (2)$$

式中, T 为运输总时间,由行驶总时长 $\sum_{n=1}^N \frac{S_n^{mode}}{V_n^{mode}}$ 、停留总时长 $\sum_{n=1}^N f(stop_{n,mode})$ 、通关总时长 $\sum_{m=1}^M pass_m^{mode}$ 总和组成, N 为运输路段数量, M 为运输途经关口数量之和。对路段 n 而言:①行驶时长为路段总长度 S_n^{mode} 与平均运营速度 V_n^{mode} 之比: S_n^{mode}/V_n^{mode} 。②停留时长 $f(stop_{n,mode})$ 与运输方式 $mode$ 有关,该值为路段 n 运输途中单次停留时长 $stop_{mode}$ 与停留次数的乘积。针对公路运输,因车辆停留次数通常随运输路程的增加而线性上升,两者之间存在正比例关系,故采用线性比例法模拟该时长。具体为设定标准路程长度 $s=300$ km,计算公路总长度 S_n^{mode} 与其比值得到停留次数 S_n^{mode}/s ,停留次数与单次停留时长 $stop_{mode}$ 之积为公路停留时长。针对铁路或海洋运输,单次装卸时长较固定,且该时长与沿途计划停靠的点位数目成正比,因此停留时长为装卸货物的站点或港口数目 j 与单次卸货时长 $stop_{mode}$ 之积。对关口 m 而言,通关时长为 $pass_m^{mode}$ 。当经公路通关时,该时长仅为安检时长(客运)或查验时长(货运);当经铁路通关时,若关口 m 两侧的铁路轨距存在差异,则在上述时长之外还需额外考虑换轨时长。整体来说,通关时长由通关次数和每次通关的运输方式决定,本文采取针对不同运输方式设定相应通关时长的方法。由于本研究主要讨论运输时效,故模型对运量大小、港站客货运能力、运输风险等不予考虑。

2 实证研究

老挝作为典型的“陆锁国”(即不拥有海岸线的国家),需要利用公路和铁路网与其他国家对接,提高经济外部活力,打破自然制约,实现经济快速增长^[34]。中老铁路是老挝的第一条铁路,也是首条以

中方为主投资建设、全线采用中国技术标准、与中国铁路网直接连通的跨国铁路。该铁路开通以后,老挝的陆路交通建设水平得以改善。此条铁路采用中老共同运营的模式,有助于形成两国之间高效率的客货运输通道,并依托海铁联运对中南半岛的客货运输时效产生一定影响。因此,本文选取中老铁路为长途跨境时间模拟的案例。

2.1 线路简介

中老铁路连接中国昆明和老挝万象,北起中国云南昆明,经普洱、西双版纳等抵达中国磨憨铁路口岸,再由老挝磨丁铁路口岸经老挝著名旅游胜地琅勃拉邦等地区至首都万象(图2)。该铁路于2021年12月3日全线建成,全长1035 km,为电气化客货混运铁路。其中昆明至玉溪段总长约106 km,设计时速为200 km/h;玉溪至磨憨(中国边境口岸)段、磨丁(老挝边境口岸)至万象段设计时速均为160 km/h,总长分别为507 km和422 km^①。总体上,中老铁路沿线地势北高南低、地势起伏大,对运营速度有一定限制,故在情景模拟时采用的时速将低于设计时速,且货运时速低于客运。

2.2 情景设计

基于长途跨境运输时间的模拟模型,本文针对不同运输方式和客货运差异、海铁联运等进行情景模拟。由于中老铁路开通之前,沿线运输多依赖公路运输,因此情景1对比了公路运输距离和时长,采用有无对比法探讨了中老铁路的运输优势。情景2依托泛亚铁路网络,考虑换轨影响,进一步解析中老铁路货运组织的影响。针对客运组织,情景3考虑了旅客不同通关时间和站点停靠的影响。针对货运组织,情景4~6分别探讨了行驶时长优势、通关时间影响、货运班列组织方案、及与中国西南主要城市的联系。情景7从海铁联运的视角出发,考虑换轨、通关时间、海运线路等要素,探讨长距离运输的多式联运优势。情景模拟的具体参数设定如表1所示。综合考虑铁路设计时速和货运班列运输时速,中老铁路客运模拟运行速度为140 km/h,货运为80 km/h,其余铁路路段的货运时长运用运输距离和货运平均运营速度计算。对于公路运输总时

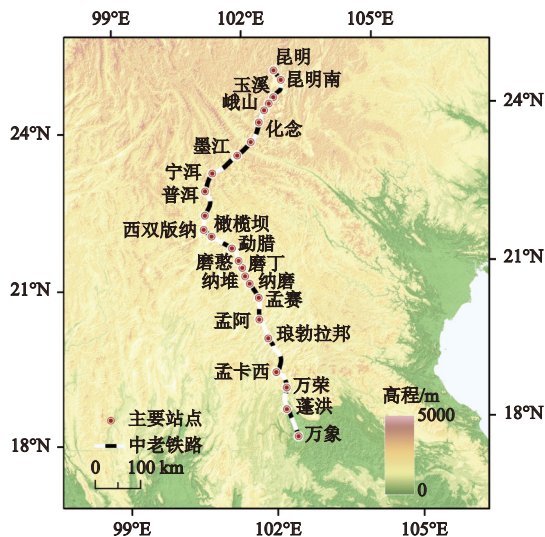


图2 中老铁路沿线主要站点

Fig.2 Main stations along the China-Laos Railway

间,本文调用了在线地图路径规划工具^②以考虑真实路况的影响,同时设置进出口客货运通关时间10 min。海运的行驶时长模拟参考美国总统航运有限责任公司(APL)^③已有线路及运输时间。铁路客运通关时间受排队人数、旅客对于通关流程的熟悉程度、安检人员数量与放行标准等影响,本文参考相关资料^④设置4种参数,出口安检为10 min,进口安检则分别为0.50 h、1.00 h和2.00 h;货运通关时间则依据云南海关公布的2022年云南省口岸平均通关时间(进口7.93 h,出口0.15 h)设置4种参数,出口安检为20 min,进口安检则分别为3.00 h、5.00 h和7.00 h。换轨时间设置为1.00 h。

3 模拟结果

针对基础设施“硬联通”情景,首先依托情景1和2对比中老铁路与现有公路运输距离和时间,并依照泛亚铁路规划剖析长途铁路运输相较于公路运输的时效优势。其次,考虑中老铁路“软联通”的关键要素,运用情景3的模拟结果讨论客运组织的联通性;然后针对普通货运与集装箱班列的不同组织模式,依据情景4~6解析货运组织的联通性。最后依托情景7探讨以老挝为中心的海铁联运方案。

① <http://finance.people.com.cn/n1/2021/1202/c1004-32297764.html> [2023-08-15]。

② <https://www.openstreetmap.org/directions> [2022-04-01]

③ <https://www.apl.com/products-services/line-services/flyer/JHTCNC> [2022-04-01]

④ <http://yn.yunnan.cn/system/2023/03/22/032515708.shtml> [2023-04-22], https://www.gov.cn/yaowen/2023-04/13/content_5751281.htm [2023-04-22], https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202307/content_6894259.htm [2023-08-15]

表 1 中老铁路跨境运输时间模拟情景

Table 1 Simulation scenarios of cross-border transportation time for the China-Laos Railway

情景	行驶速度	停留时长	通关时长	路段数量	模拟情景
1	$V_1^{train}=140$ km/h	0	0	$n=1$	铁路对比公路, 无停靠
2	$V_1^{train}=80$ km/h	0	$pass_1^{car}=10$ min $pass_1^{train}=1.00$ h; 8.00 h	$n=3$	通关过程纳入换轨的影响 无换轨时, 通关时间为0或7.00 h, 换轨时间为1.00 h
3	$V_1^{train}=140$ km/h	$f(stop_{n,train})$	$pass_1^{car}=10$ min $pass_1^{train}=0.50$ h; 1.00 h; 2.00 h	$n=1; 2$	铁路客运站停靠时间对进口的影响
4	$V_1^{train}=80$ km/h	0	$pass_1^{car}=10$ min $pass_1^{train}=20$ min	$n=1; 2$	出口货运运输时间模拟
5	$V_1^{train}=80$ km/h	0	$pass_1^{car}=10$ min $pass_1^{train}=3.00$ h; 5.00 h; 7.00 h	$n=1; 2$	进口货运通关时间的影响
6	$V_1^{train}=80$ km/h	$f(stop_{1,train})$	$pass_1^{train}=7.00$ h	$n=1; 2$	考虑货运班列组织方案
7	$V_1^{train}=80$ km/h	0	$pass_1^{train}=1.00$ h; 8.00 h	$n=3$	考虑海铁联运方案, 通关时间为0或7.00 h, 换轨时间为1.00 h

注: V_1^{train} , 铁路行驶速度; $stop_{n,train}$, 停留时长; $pass_1^{car}$, 汽车通关时长; $pass_1^{train}$, 火车通关时长。

3.1 设施联通比较: 铁路对比公路

相对于公路, 中老铁路在距离和时间上均具有一定优势, 且在老挝境内优势更为显著。① 中国昆明至老挝万象的铁路运输距离比公路运输距离缩短 152 km, 运输距离优势为 13%; 磨憨至万象的铁路运输距离比公路缩短 188 km, 运输距离优势提升 31%。② 同公路运输相比, 铁路运输在行驶时长上也具有优势, 能有效减少运输时间(表 2)。在不考虑通关时间的情景下, 其运输时间优势至少保持 44%, 且万象至磨憨段的时间优势最为显著, 达 67%。③ 泛亚铁路东南亚段是中老铁路未来提升区域连通性的主要设施网络。依据情景 2, 在考虑换轨 1.00 h 的影响下, 沿中老铁路并联网泛亚铁路, 从昆明经老挝至曼谷、金边和经越南至金边的时间均在 20~30 h, 即中、老、越、泰的货物运输直达时间可压缩至 1 d 左右, 比公路运输节省至少 8 h。

3.2 客运组织联通性

截至 2022 年 5 月, 中老铁路共 24 个站点办理客运业务。依据客运时刻表^①, 昆明-磨憨直达客运时长为 4.75 h, 磨丁-万象直达客运时长为 2.52 h, 即昆明-万象不考虑通关最快 7.00 h 可达(表 2)。

依据中国铁路 12306 网站^②及老挝铁路售票信息表反映的客运方案, 情景 3 模拟中设定客运组织方案为: 沿途 2 个重点停靠站点(西双版纳、琅勃拉邦)停留时间为 15 min, 13 个次重点停靠站点(昆明南、玉溪、化念、墨江、宁洱、普洱、橄榄坝、勐腊、

表 2 中老铁路、公路主要交通线路的运输距离和时间

Table 2 Transportation time and travel distance for major Original-Destinations along the China-Laos Railway (railway vs. road)

	公路运输 距离/km	铁路运输 距离/km	公路运输 时间/h	铁路运输 时间/h
昆明-磨憨	665	613	7.85	4.38
磨憨-万象	610	422	9.05	3.01
昆明-万象	1 187	1 035	17.27	7.39

磨憨、磨丁、孟赛、万荣、蓬洪)停留时间为 5 min, 其余站点不停留。该方案模拟了中老客运列车开通跨国班列的情况, 结果显示: ① 按照 140 km/h 时速直达运营, 昆明到万象客运时间为 7.39 h, 与上述运输时长接近; 未来若提速 20%, 昆明到万象直达时间可缩短至 6.16 h。② 以人口、经济和旅游业等方面具有优势的城市作为主要停靠站点, 考虑 0.50~2.00 h 跨境安检通关时间(表 3), 将比直达运营的时间增加约 20%, 但仍比公路客运更具时间优势。③ 沿线停靠 15 个站点的客运组织方案具备一定的运营灵活性。考虑中老运营的列车组织方案和旅客过境的安检时间(磨憨-磨丁口岸通关), 昆明至万象最短可在 9.40 h 完成全线旅客运送, 最长的运送时间也在 11.00 h 之内。该方案可实现铁路客运组织“朝发夕至”的标准^[35]。

3.3 货运组织联通性: 普通货运与中老国际班列

中老铁路的货运组织可以采用 2 种模式。① 普通散杂货运输。采用此模式时, 对进口而言, 中老铁

① <https://www.12306.cn/> [2022-03-30]

表3 中老铁路主要交通线路的进口客运时间对比

Table 3 Passenger travel time for major original-destinations along the China-Laos Railway

	中途停 靠站点 数量	铁路客运/h (进口通 关0.5 h)	铁路客运/h (进口通 关1.00 h)	铁路客运/h (进口通 关2.00 h)
万象-昆明(进口)	15	9.39	9.89	10.89
万象-玉溪(进口)	13	8.64	9.14	10.14
万象-磨憨(进口)	5	5.01	5.51	6.51

路货运相较公路运输将具备时间优势(情景4)。而对出口货物运输而言,中老铁路的运营可将铁路货运时间缩短至公路的75%左右,即时间优势约为25%(情景5);当提速20%时,时间优势可增加至37%。如果货运量大导致票货交接、货物征税、卫生检疫、边防检疫等时间增加^[36],中老铁路的进口货运将不具备时效优势。例如,当进口通关时间增加至7.00 h,万象至昆明的进口运输时间为19.94 h,比公路运输多2.74 h;万象至磨憨的进口运输时间为12.28 h,比公路运输多3.29 h(表4)。^② 货运班列。自2021年12月铁路开通,中老国际班列已逐步开行。截至2023年9月,共有云南、广东、四川、江苏等25个省(区、市)开通了中老国际班列^①。依据沿线社会经济发展水平、主要产业及货运量等,情景6设定万荣、琅勃拉邦、纳堆定点开设班列,琅勃拉邦停留时间设定为1.0 d,万荣和纳堆分别为0.5 d,其余货运站点暂不考虑。当通关时间为3.00 h,该货运班列组织方案能够确保万象至中国西南主要城市的货运时间均在4 d以内,分别为:昆明(2.5 d)、贵阳(2.9 d)、重庆(3.1 d)、成都(3.2 d)。模拟结果与现行货运班列结果接近。

综上,通关时长是进一步提升铁路运输经济效益的关键要素之一。中老铁路开通前,两国的货物运输主要依赖公路。依据模拟结果,若不考虑2种运输方式的通关时长差异,铁路运输优势明显。若

未来能够精简通关手续并缩短货运装卸时间,可进一步提升货运班列的运输效率。

3.4 以老挝为中心的多路径海铁联运情景

海铁联运是指依赖铁路集装箱班列、集装箱码头、海运船舶等完成的长距离货物运输^[36]。作为“陆锁国”,老挝的部分长距离跨国货运长期依赖泰国的出海口;以与日本贸易往来为例,运送线路为万象-曼谷-横滨港。依据情景7,中老铁路开通运营后,海铁联运线路可以由老挝万象出发,以铁路运输方式到达昆明,然后选择防城港或深圳港中转,再到达横滨港。模拟结果显示,万象-昆明-防城港-横滨港的海铁联运线路能够缩短运输时间5.2 d,而万象-昆明-深圳港-横滨港的海铁联运线路能够缩短运输时间6.5 d(图3)。因此,中老铁路的开通运营将给予老挝更多的出海口选择,也有助于防城港、深圳港等港口的建设与发展。

4 结论

本文基于跨境运输的特殊性,解析了长途跨境运输时效的影响因素,从“硬联通”和“软联通”的双重视角构建了长途跨境运输时间模拟模型;以中老铁路为例,设计了陆路运输比较优势、客货运组织、海铁联运等多情景模拟;为多路段、多方式、多视角的跨境运输时效研究提供理论模型和实证研究。

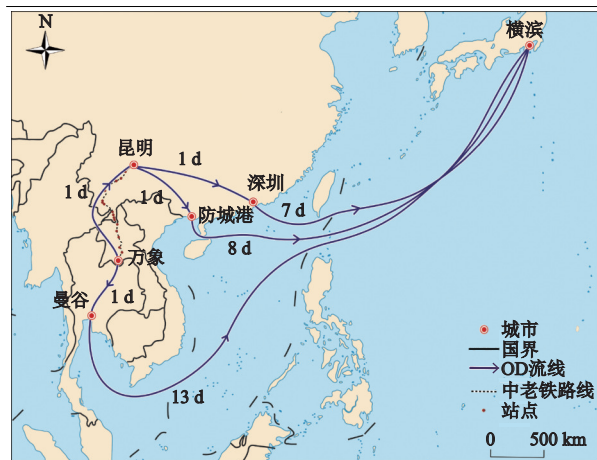
结果表明:①中老铁路建设的“硬联通”效果显著。相比于公路运输,客货运不含通关的直达时间优势均超过20%,且该优势在老挝境内最为显著,能有效提升老挝境内的陆路运输效率。②通关时间是影响跨境铁路运输效率的关键要素之一,也是提升“软联通”的重点。中老铁路通关时间可占运输总时长60%以上,“一关两检”模式成为制约通关效率提升的因素之一。③铁海联运是中老铁路运输进一步提升运输时效的有效途径,且可依托中老铁路和中国境内铁路线,开辟至中国深圳港/防城港

表4 中老铁路、公路进出口货运直达运输时间对比/h

Table 4 Comparison of freight transportation time along the China-Laos Railway (railway vs. road)

	公路货运 直达	铁路货运 直达	铁路货运(进口通关 3.00 h, 出口通关0.12 h)	铁路货运(进口通关 5.00 h, 出口通关0.12 h)	铁路运输(进口通关 7.00 h, 出口通关0.12 h)
昆明-万象(出口)	17.43	12.94	13.06	13.06	13.06
万象-昆明(进口)	17.20	12.94	15.94	17.94	19.94
万象-磨憨(进口)	8.99	5.28	8.28	10.28	12.28

① <http://www.people.com.cn/n1/2023/0907/c32306-40072680.html> [2023-09-15]



图中数值为运输时间; 基于审图号 GS(2021)5443
标准底图制作, 界线无修改

图3 老挝视角下的海铁联运线路示意

Fig.3 Illustration of rail-sea intermodal routes for Laos

的新线路, 为“陆锁国”老挝找到新的出海口。总体而言, 中老铁路的开通运营有效地提升了老挝陆路交通运输水平, 并能加强中国西南地区与中南半岛的交通联系。未来一方面可依托新的通关技术进一步打破时效制约。另一方面可借鉴中欧班列的客运组织方案, 使中国运输模式走出去, 构建更为稳健的泛亚铁路运输体系。

本文仍存在一定局限。例如仅考虑了运输时间对运输模式、线路选择和时效的影响, 未对其他运输成本展开分析。在联网泛亚铁路及海铁联运的路径模拟中, 缺乏对地缘政治背景的考虑; 在客货运班列的情景设计上仅讨论了可行性最高的方案, 对未来沿线经济发展引致的中老国际班列方案变化缺乏考虑。未来研究中, 应融入地缘政治、沿线贸易、货源地分布等情景开展更为全面的模拟。

参考文献(References):

- [1] 李佳峰. “一带一路”战略下中欧班列优化对策研究[J]. 铁道运输与经济, 2016, 38(5): 41-45. [Li Jiafeng. Study on countermeasures of optimizing China-Europe block trains under “the Belt and Road” strategy. Railway Transport and Economy, 2016, 38(5): 41-45.]
- [2] 国家发展改革委一带一路建设促进中心. 高质量共建“一带一路”成绩斐然[N]. 人民日报, 2022-01-25(014). [National Development and Reform Commission Belt and Road Construction Promotion Center. Remarkable achievements have been made in high-quality co-construction of the ‘Belt and Road’. People’s Daily, 2022-01-25(014).]
- [3] European Bank for Reconstruction and Development. Sustain-

able transport connections between Europe and Central Asia[EB/OL]. [2023-10-30]. <https://www.ebrd.com/news/publications/special-reports/sustainable-transport-connections-between-europe-and-central-asia.html>.

- [4] 陶楠. “一带一路”倡议下中老铁路国际联运通道物流发展探讨[J]. 铁道货运, 2017, 35(10): 20-24. [Tao Qiang. Tentative study on the development of logistics on the China-Laos international railway corridor. Railway Freight Transport, 2017, 35(10): 20-24.]
- [5] 许娇, 陈坤铭, 杨书菲, 等. “一带一路”交通基础设施建设的国际经贸效应[J]. 亚太经济, 2016(3): 3-11. [Xu Jiao, Chen Kunming, Yang Shufei et al. The impact of economic corridor transportation infrastructure under “the belt and road initiative” based on GTAP model. Asia-Pacific Economic Review, 2016(3): 3-11.]
- [6] Rowedder S. Railroading land-linked Laos: China’s regional profits, Laos’ domestic costs?[J]. *Eurasian Geography and Economics*, 2020, 61(2): 152-161.
- [7] Wu H, Levinson D. Unifying access[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2020, 83: 102355.
- [8] 施德浩, 于涛, 王磊. 高铁开通对县级单元产业结构的影响——以长三角地区为例[J]. 地理科学, 2022, 42(11): 1912-1922. [Shi Dehao, Yu Tao, Wang Lei. The impact of high-speed railway on the industrial structure of county-level units: Taking the Yangtze River Delta as an example. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(11): 1912-1922.]
- [9] 潘雯, 鞠爽, 刘青, 等. 高铁网络化下云南省区域旅游交通格局及客源市场演变[J]. 地理科学, 2022, 42(12): 2141-2149. [Pan Wen, Ju Shuang, Liu Qing et al. Evolution of regional tourism traffic pattern and tourist source-market under high-speed rail network of Yunnan Province, China. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(12): 2141-2149.]
- [10] 李彦, 屠年松. 交通可达性、边界效应与中国跨境贸易发展——基于沿边地区的空间计量分析[J]. 财贸经济, 2020, 41(4): 144-161. [Li Yan, Tu Niansong. Transportation accessibility, boundary effect and cross-border trade development in China. *Finance & Trade Economics*, 2020, 41(4): 144-161.]
- [11] 姜博, 初楠臣, 黎赞, 等. 高铁可达性与土地价值: 文献述评与展望[J]. 经济地理, 2019, 39(7): 9-13+21. [Jiang Bo, Chu Nanchen, Li Yun et al. Accessibility of high-speed railway and land value: Literature review and prospect. *Economic Geography*, 2019, 39(7): 9-13+21.]
- [12] 李保超, 王朝辉, 李龙, 等. 高速铁路对区域内部旅游可达性影响——以皖南国际文化旅游示范区为例[J]. 经济地理, 2016, 36(9): 182-191. [Li Baochao, Wang Chaohui, Li Long et al. The influence of high-speed railways on accessibility of tourism in the region: A case study of Southern Anhui International Cultural Tourism Destination. *Economic Geography*, 2016, 36(9): 182-191.]
- [13] Liu Z, Zhu A X, Zhang W et al. An improved potential-based approach to measuring the daily accessibility of HSR[J]. *Trans-*

- portation Research Part A: Policy and Practice, 2021, 150: 271-284.
- [14] Wang J J, Xu J, He J. Spatial impacts of high-speed railways in China: A total-travel-time approach[J]. *Environment and Planning A*, 2013, 45(9): 2261-2280.
- [15] 王慧, 张梅青. 高铁对京津冀地区可达性及经济联系的影响[J]. 地理科学, 2021, 41(9): 1615-1624. [Wang Hui, Zhang Meiqing. Impact of high-speed rail on accessibility and economic relations in Beijing-Tianjin-Hebei Region. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(9): 1615-1624.]
- [16] 孟德友, 陆玉麒. 高速铁路对河南沿线城市可达性及经济联系的影响[J]. 地理科学, 2011, 31(5): 537-543. [Meng Deyou, Lu Yuqi. Impact of high-speed railway on accessibility and economic linkage of cities along the railway in Henan Province, China. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(5): 537-543.]
- [17] 覃成林, 杨晴晴. 高速铁路对生产性服务业空间格局变迁的影响[J]. 经济地理, 2017, 37(2): 90-97. [Qin Chenglin, Yang Qingqing. The effect of HSR on the spatial pattern dynamics of producer service. *Economic Geography*, 2017, 37(2): 90-97.]
- [18] Chen C L, Hall P. The impacts of high-speed trains on British economic geography: A study of the UK's Inter City 125/225 and its effects[J]. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(4): 689-704.
- [19] 钟业喜, 黄洁, 文玉钊. 高铁对中国城市可达性格局的影响分析[J]. 地理科学, 2015, 35(4): 387-395. [Zhong Yexi, Huang Jie, Wen Yuzhao. Impact of high-speed railway on spatial pattern of Chinese cities' accessibility. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(4): 387-395.]
- [20] 李杰梅, 吴浩, 刘陈, 等. 边境城市跨境可达性对口岸经济的影响机理[J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19(2): 30-36+59. [Li Jiemei, Wu Hao, Liu Chen et al. The impact mechanism of cross-border traffic accessibility on port economy of border cities. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2019, 19(2): 30-36+59.]
- [21] Wang J, Jiao J, Ma L. An organizational model and border port hinterlands for the China-Europe Railway Express[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, 28(9): 1275-1287.
- [22] 董艳华, 荣朝和. 欧盟铁路改革的方向与进程[J]. 铁道学报, 2004(4): 120-125. [Dong Yanhua, Rong Chaohe. Orientation and process of EU railway reform. *Journal of the China Railway Society*, 2004(4): 120-125.]
- [23] Lin Z. Research on the South China cross-border railway lines connecting with Trans-Asia railway[J]. *Academic Journal of Humanities & Social Sciences*, 2020, 3(4): 13 - 17.
- [24] 薛风旋, 杨春. 香港-深圳跨境城市经济区之形成[J]. 地理学报, 1997(S1): 16-27. [Xue Fengxuan, Yang Chun. The transborder economic region of Hong Kong-Shenzhen. *Acta Geographica Sinica*, 1997(S1): 16-27.]
- [25] 洪开荣. 近2年我国隧道及地下工程发展与思考(2017—2018年)[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(5): 710-723. [Hong Kairong. Development and thinking of tunnels and underground engineering in China in recent 2 years (from 2017 to 2018). *Tunnel Construction*, 2019, 39(5): 710-723.]
- [26] 易思蓉, 聂良涛. 基于虚拟地理环境的铁路数字化选线设计系统[J]. 西南交通大学学报, 2016, 51(2): 373-380. [Yi Sirong, Nie Liangtao. Digital railway location system based on virtual geographic environment. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2016, 51(2): 373-380.]
- [27] 刘柏盛. 中老铁路运输通道发展对策研究[J]. 铁道运输与经济, 2017, 39(8): 20-24+47. [Liu Baisheng. Study on countermeasures of developing China-Laos Railway transport corridor. *Railway Transport and Economy*, 2017, 39(8): 20-24+47.]
- [28] Kyophilavong P, Wong M C S, Souksavath S et al. Impacts of trade liberalization with China and Chinese FDI on Laos: Evidence from the CGE model[J]. *Journal of Chinese Economic and Business Studies*, 2017, 15(3): 215-228.
- [29] 刘卫东, 宋周莺, 刘志高, 等. “一带一路”建设研究进展[J]. 地理学报, 2018, 73(4): 620-636. [Liu Weidong, Song Zhouying, Liu Zhigao et al. Progress in research on the Belt and Road Initiative. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 620-636.]
- [30] 马颖忆, 陆玉麒, 柯文前, 等. 泛亚高铁建设对中国西南边疆地区与中南半岛空间联系的影响[J]. 地理研究, 2015, 34(5): 825-837. [Ma Yingyi, Lu Yulin, Ke Wenqian et al. The influence of Pan-Asia high-speed railway construction on spatial relation between Southwest China's frontier area and Indo-China Peninsula. *Geographical Research*, 2015, 34(5): 825-837.]
- [31] 陆梦秋, 陈娱, 陆玉麒. “一带一路”倡议下中国陆海运输的空间竞合格局[J]. 地理研究, 2018, 37(2): 404-418. [Lu Mengqiu, Chen Yu, Lu Yuqi. The competition and cooperation spatial pattern between railway transport and shipping in China under the Belt and Road Initiative. *Geographical Research*, 2018, 37(2): 404-418.]
- [32] 张喆, 王晓梦, 姜雨皓, 等. 中老泰铁路建设对云南省及沿线国家空间联系格局的影响——基于城市流网络的分析[J]. 世界地理研究, 2019, 28(3): 43-53. [Zhang Zhe, Wang Xiaomeng, Jiang Yuhao et al. The influence of China-Laos-Thailand Railway construction on spatial relation between cities along the route—Based on city flow network analysis. *World Regional Studies*, 2019, 28(3): 43-53.]
- [33] Lindberg J, Biddulph R. China's belt and road initiative: The need for livelihood-inclusive stories[J]. *Geoforum*, 2021, 121: 138-141.
- [34] Liang Y, Li S, Zeng J et al. Examining the impact of multidimensional accessibility on regional poverty in Laos[J]. *Applied Geography*, 2022, 148: 102789.
- [35] 张莉, 赵英杰, 陆玉麒, 等. 中国铁路客运流联结的城市时间可达性[J]. 地理科学, 2020, 40(3): 354-363. [Zhang Li, Zhao Yingjie, Lu Yuqi et al. Urban time accessibility of railway passenger traffic flow in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(3): 354-363.]
- [36] 曾玮. 国际集装箱班列运输组织问题研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2020. [Zeng Wei. On organization and operations of international container transport. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.]

Temporal efficiency of cross-border railways with multiple simulation scenarios: A case study of the China-Laos Railway

Huang Jie^{1,2}, Xiong Meicheng^{1,2}, Wang Jiaoe^{1,2}, Gao Yang^{1,2}, Li Yongling¹

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research/Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*; 2. *College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Cross-border railway transportation is an important link between China and its neighboring countries. The organization of cross-border railway transportation is not only restricted by the “hard connectivity” factors such as the railway track connection and the technical level of infrastructure but also affected by the “soft connectivity” factors such as customs regulations. Therefore, the study on its organization should fully consider various scenarios to better simulate the process of cross-border railway transportation and improve the accuracy of transportation duration estimation. Taking the China-Laos Railway (Kunming, China to Vientiane, Laos) as an example, this paper analyzes the socio-economic background and infrastructure development level along the China-Laos Railway and builds a calculation model of long-distance cross-border transportation time including parameters of railway operating speed, customs clearance time, rail transshipment, and multimodal transport temporal cost. The model splits the China-Laos Railway into sections according to different technical levels and borders, and transportation modes. To study the between-mode difference, the paper compares the transportation distance and time between railway and road modes. Moreover, the simulation extends the study in the Trans-Asian Railway Network. To investigate the passenger travel efficiency, we design 15 stops along the railway to simulate the China-Laos passenger train schedule so that we can study how the train improves the connectivity between cities in Laos and Southwest China. In the study of freight efficiency, we compare the general cargo mode and the international freight train mode. In addition, we design rail-sea intermodal transportation scenarios for Laos to compare the long-distance transportation duration at different ports in Thailand and China. In brief, this paper analyzes the distance advantage and passenger and freight transport efficiency of the China-Laos Railway. The study shows that: 1) the China-Laos Railway helps to significantly reduce the cross-border transportation duration along the line. Compared with road transportation, the time advantage of passenger and freight transportation is more than 20%. 2) Customs clearance time is one of the key factors affecting cross-border railway transportation duration. The clearance time of the China-Laos Railway transportation accounts for 20% to 60% of the total transportation duration. 3) Rail-sea intermodal transport is an effective way to further improve the efficiency of transportation organization for the China-Laos Railway transportation, which can effectively shorten the total transportation duration from Laos to Japan. The paper offers a solid case study for cross-border transportation study from the perspectives of multiple modes and scenario simulation. Still, this paper has some limitations as we have not consider the railway capacity, the monetary cost of cross-border railway transportation, and geopolitics within the Trans-Asian Railway Network.

Key words: cross-border transportation; passenger and freight organization; the China-Laos Railway; scenario simulation; transportation efficiency