

# 基于区域协调发展战略的既有铁路增建二线 广域路径探索 ——以精伊霍铁路为例

郑猛<sup>1</sup>, 余世英<sup>2</sup>, 黄焕<sup>1</sup>, 苏新春<sup>3</sup>, 朱勒德孜·叶山<sup>3</sup>

(1. 武汉市规划研究院 [武汉市交通发展战略研究院], 湖北 武汉 430017; 2. 武汉市规划建设技术审查中心, 湖北 武汉 430017; 3. 博乐市自然资源局, 新疆维吾尔自治区 博乐 833499)

**摘要:** 既有铁路复线化是铁路建设发展的重要领域, 传统范式大多沿既有通道增建二线。研究提出一种基于区域协调发展战略的广域路径建模和比选方法, 并以精伊霍铁路为例进行实证。在剖析项目必要性、紧迫性及原方案局限性的基础上, 以广度优先搜索和“橡皮筋”算法构建广域路径选择模型和比选方案, 并从技术经济、工程实施、运营组织和综合效益4个维度共16项指标开展综合比较, 进而提出近期可实施的优化方案及建议。研究表明: 1)在存量优化背景下, 铁路建设项目稀缺性日益凸显, 基于区域协调发展战略的广域路径探索方法有助于改善单一工程视角的局限, 为铁路复线化实践提供新思路; 2)精伊霍铁路增建二线工程若采用博乐市至伊宁市直通线的推荐方案, 在技术经济性、存量资源综合利用、降本增效和区域发展引领等方面, 较原方案均具有显著优势和战略意义, 下一步应重点针对天山穿越段开展工程深化论证。

**关键词:** 轨道交通; 区域协调发展战略; 既有铁路增建二线; 方案比选; 广域路径; 精伊霍铁路

Exploration of Broad-Area Routing for Adding a Second Track to Existing Railways Under the Regional Coordinated Development Strategy: A Case Study of the Jinghe-Yining-Huoerguosi Railway

Zheng Meng<sup>1</sup>, She Shiyong<sup>2</sup>, Huang Huan<sup>1</sup>, Su Xinchun<sup>3</sup>, Zhuledezi·Ye Shan<sup>3</sup>

(1. Wuhan Planning and Research Institute [Wuhan Transportation Development Strategy Institute], Wuhan Hubei 430017, China; 2. Wuhan Planning and Construction Technical Review Center, Wuhan Hubei 430017, China; 3. Bole Natural Resources Bureau, Bole Xinjiang Uygur Autonomous Region 833499, China)

**Abstract:** Double-tracking existing railways is an important component of railway development. However, the traditional approach has largely involved constructing a second track along the existing corridor. This paper proposes a broad-area routing modeling and comparison method based on the regional coordinated development strategy and conducts an empirical analysis using the Jinghe-Yining-Huoerguosi Railway as a case study. After examining the project necessity, urgency, and limitations of the original plan, the paper employs a breadth-first search and a “rubber band” algorithm to develop a broad-area routing model and comparison schemes, and performs a comprehensive comparison using sixteen indicators in four dimensions: technical and economic performance, engineering implementation, operational organization, and overall benefits. The paper presents optimization plans and recommendations for near-term implementation. The study demonstrates that: (1) in the context of stock optimization, railway construction projects have become increasingly scarce, and a broad-area routing approach based on the regional coordinated development strategy helps address the limitation of a single-project perspective, offering new insights for double-tracking railways; (2) for the addition of a second track to the Jinghe-Yining-Huoerguosi Railway, adopting the recommended direct line from Bole to Yining would provide significant advantages and strategic values over the original plan in terms of technical and economic performance, integrated utilization of existing resources, cost reduction and efficiency enhancement, and support for regional development. Subsequent efforts should prioritize in-depth engineering demonstration of the Tianshan Mountain’s crossing section.

**Keywords:** rail transit; regional coordinated development strategy; double-tracking existing railways; scheme comparison; broad-area routing; Jinghe-Yining-Huoerguosi Railway

收稿日期: 2024-12-17

作者简介: 郑猛(1982—), 男, 河南信阳人, 硕士, 正高级工程师, 注册城乡规划师, 注册咨询工程师(投资), 城市群分院院长, 研究方向为区域发展战略、交通规划、交通大数据分析 with 交通模型等, 电子邮箱 zmfly@163.com。

引用格式: 郑猛, 余世英, 黄焕, 等. 基于区域协调发展战略的既有铁路增建二线广域路径探索: 以精伊霍铁路为例[J]. 城市交通, 2026, 24(2): 67-77.

Zheng Meng, She Shiying, Huang Huan, et al. Exploration of broad-area routing for adding a second track to existing railways under the regional coordinated development strategy: a case study of the Jinghe-Yining-Huerguosi railway[J]. Urban Transport of China, 2026, 24(2): 67-77.

### 1 研究背景

作为综合交通运输体系的骨干, 铁路是加快建设交通强国的先行领域和中国式现代化建设的重要支撑, 对区域经济社会发展有着重要的先导性、基础性、战略性和服务性功能<sup>[1]</sup>。十余年来, 中国铁路建设实现了跨越式发展, 营业里程从2008年7.9万 km 增至2023年15.9万 km; 铁路复线率也显著提升, 由34.7%增至60.3%<sup>[2-3]</sup>。根据《中长期铁路网规划》, 2016—2025年, 中国规划实施既有铁路扩能改造总规模达2万 km, 未来仍将持续增长。科学谋划既有铁路复线化工作, 不仅有助于铁路自身提速扩能、提质增效, 还能充分发挥增建工程的综合效益和乘数效应, 有效增强区域经济发展动能, 对引领区域经济社会协调发展具有重要的现实意义。

近年来, 中共中央、国务院先后印发《交通强国建设纲要》《国家综合立体交通网规划纲要》, 强调“以统筹融合为导向, 着力补短板、重衔接、优网络、提效能”“增强系统弹性”“形成区域交通协调发展新格局”<sup>[4-5]</sup>。中共中央、国务院《关于推进以县

城为重要载体的城镇化建设的意见》<sup>[6]</sup>进一步从“加强县城与周边大中城市互联互通”和“扩大干线铁路、高速公路、国省干线公路等覆盖面”的角度, 为新一轮交通基础设施建设与新型城镇化协调发展指明了方向。作为兰新铁路西出霍尔果斯口岸的国铁I级单线铁路, 精伊霍铁路不仅是新疆维吾尔自治区(以下简称“新疆”)伊犁哈萨克自治州(以下简称“伊犁”)现状唯一连通新疆博尔塔拉蒙古自治州(以下简称“博州”)及内地的铁路运输通道, 也是中国连通中亚、欧洲国际运输大通道的重要组成部分。随着中欧(中亚)班列需求激增以及区域旅游客运需求快速增长, 该铁路实施增建二线工程已迫在眉睫<sup>[7-8]</sup>。

本文以精伊霍铁路为例, 改变沿既有通道增建二线的传统思维范式, 提出“广域路径”选线方法。该方法的核心在于突破既有铁路走廊的空间制约, 在满足起讫点约束、总里程和行程时间等条件下, 将中途车站选择范围扩展至更大区域, 以统筹协调沿线城镇布局、激活存量资源、提升线网整体功能和客货运效益为目标, 实现铁路通道的宏观比选与优化(见图1)。在全面研判现状与规

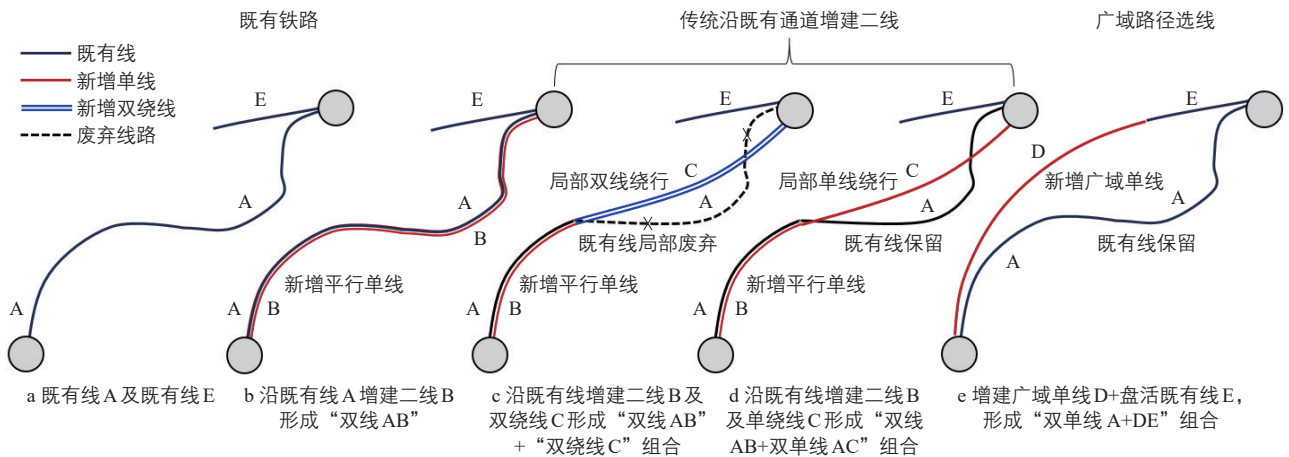


图1 精伊霍铁路广域路径选线与传统沿既有线增建二线比较

Fig.1 Comparison between broad-area route selection and traditional addition of a second track to the existing Jinghe-Yining-Huerguosi Railway

划、深入剖析优势与劣势的基础上，提出了既有铁路增建二线广域路径选择的情景分类与模型构建方法，建立了涵盖技术经济、工程实施、运营组织和综合效益4个方面共16项指标的评价体系，并通过多方案比选得出广域路径的优化解。最后，基于推荐方案提出区域铁路网络近期布局建议，为项目决策提供科学参考，并为中国其他类似地区的铁路扩能改造工作提供借鉴。

## 2 精伊霍铁路现状及规划研判

### 2.1 现状概况

精伊霍铁路为国铁I级客货共线单线铁

路。线路东起兰新铁路精河站，向南穿越北天山后进入伊犁，终至霍尔果斯口岸。该铁路于2004年11月开工修建，货运与客运服务分别于2009年和2010年陆续开通。线路全长286.2 km，共设车站21座，设计速度为120~140 km·h<sup>-1</sup>，局部区段限速100 km·h<sup>-1</sup>。精伊霍铁路与现状城镇体系布局关系见图2，该铁路可大致划分为东、西两段。

东段(精河县至伊宁市)以穿越北天山为主，线路长约211.6 km，占总里程的74%。该段沿线人烟稀少，地质地形复杂，具有桥隧相连、长隧道、高墩、大跨度等特点，冬季频发雪害。主要客流来源于精河县和尼勒克县。其中，精河县作为博州通往内地的门

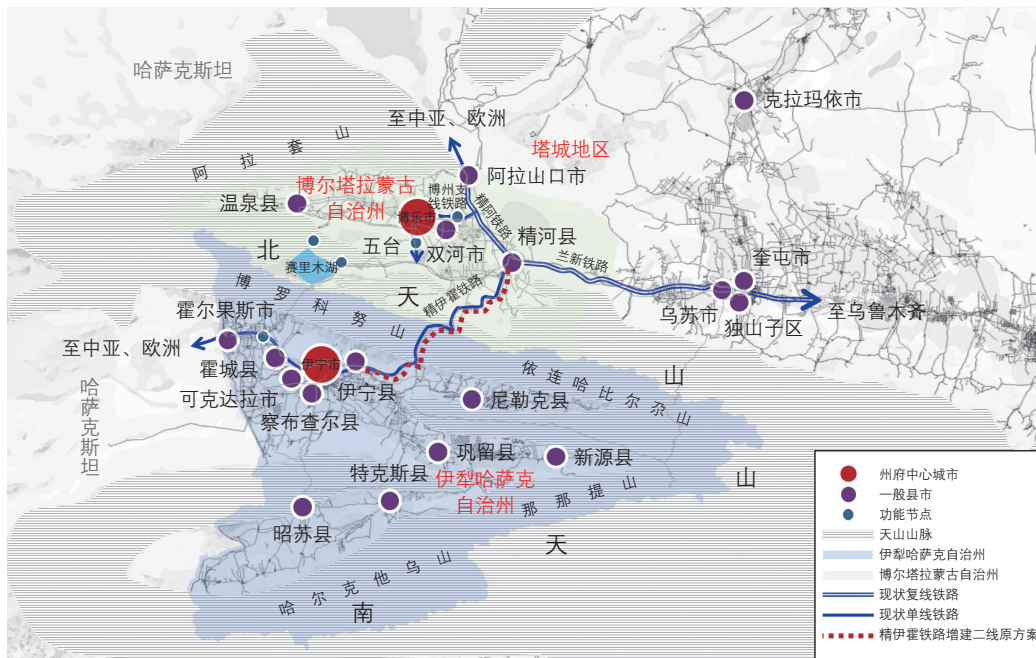


图2 精伊霍铁路与现状城镇体系布局关系

Fig.2 Relationship between the Jinghe-Yining-Huoguo Railway and the current urban system layout

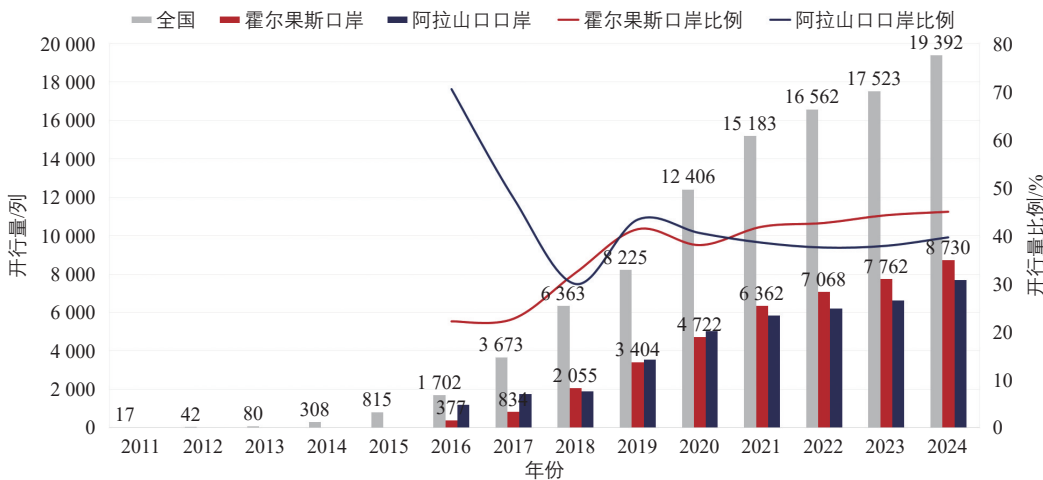


图3 中欧(中亚)班列年开行量增长趋势

Fig.3 Growth trend of annual departures of China-Europe (China-Central Asia) Express Railway

户，常住人口规模不足博州总人口的1/4，且距州府博乐市约100 km，客流吸引范围有限。尼勒克县县城距离火车站约50 km，旅客乘车极其不便。

西段(伊宁市至霍尔果斯市)全长74.6 km，穿越伊犁人口最密集、经济最活跃的走廊，是全线客货运的主要吸引源。其中，伊宁市是新疆第二大城市，城区人口规模仅次于乌鲁木齐，规划定位为新疆区域性中心城市；霍尔果斯口岸是新疆继阿拉山口之后的第二座中欧(中亚)班列综合性陆路口岸，2023年累计开行班列7 762列<sup>[7]</sup>，开通班列线路85条，覆盖境外18个国家、46个城市和地区。霍尔果斯与阿拉山口口岸班列开行量占中国中欧(中亚)班列开行总量的82%，并持续快速增长(见图3)。该区域重点建设“两伊两霍”城镇组群(伊宁市、伊宁县、霍尔果斯市、霍城县)，旨在将其打造成为丝绸之路经济带核心区向西开放的重要增长极。

## 2.2 发展需求研判

1) 铁路运能已基本饱和，未来需求旺盛，扩能改造势在必行。

2024年精伊霍铁路日均通行中欧(中亚)货运班列超过22列、客运班列6~8列。其中，霍尔果斯市至伊宁市段平图能力26.5对·d<sup>-1</sup>，能力利用率达95.2%；伊宁市至精河县段平图能力31.4对·d<sup>-1</sup>，能力利用率高达98.7%<sup>[8-9]</sup>，运能已基本饱和。根据预测，2045年伊宁市至精河县段客运需求将达到22列·d<sup>-1</sup>(见表1)，中欧(中亚)班列开行需求将达到20 799列，约为现状的2.7倍。因此，对既有铁路实施扩能改造已迫在眉睫。

2) 境内外铁路运能匹配复杂，需提升国际运输通道的稳定性与韧性。

阿拉山口和霍尔果斯两大口岸地理位置

邻近，且各有优势。李雨鸿<sup>[9]</sup>研究指出，中欧班列经由阿拉山口出境比经由霍尔果斯出境运输距离缩短486 km，而中亚班列经由霍尔果斯出境运输距离则可缩短365 km。从境外路网匹配性来看，哈萨克斯坦境内铁路以单线宽轨和内燃牵引为主，其中阿拉山口径阿克斗卡至莫因特区段全长833 km，而霍尔果斯至阿拉木图仅剩160 km区段为单线铁路，改造实施的可能性更大。目前，兰新铁路精河县至阿拉山口段增建二线工程已于2024年12月完工。加快推进精伊霍铁路增建二线，将有助于全面提升中国面向“一带一路”沿线国家的铁路运输灵活应对能力，增强国际铁路大通道的系统稳定性和韧性。

3) 新疆文旅产业快速增长，运输结构亟待优化，亟须强化铁路支撑和保障。

据统计，新疆2023年接待游客2.65亿人次，2024年达3.02亿人次，同比增长14%；旅游消费额分别达到约2 967亿元和3 595亿元，同比增长21%。博州和伊犁作为新疆旅游资源最为富集的区域之一，拥有赛里木湖、那拉提、喀拉峻等众多热门景区。其中，赛里木湖游客量从2019年230万人次增至2024年639万人次，已成为新疆最热门的旅游目的地之一。然而，从运输结构看，超过75%的游客选择自驾出行，铁路网络连通率低、运能不足和限速区段多，已成为制约北疆文旅高质量发展的关键瓶颈。

4) 区域经济一体化进程加速，铁路亟须以线带面提升网络化与规模化效应。

博州与伊犁作为北疆城市带的重要组成部分，虽仅一山之隔，但两州首府博乐市与伊宁市之间至今缺乏直达铁路线，通过铁路换乘或驾车时耗均超过3 h。根据《新疆维吾尔自治区国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》和《中

表1 精伊霍铁路通道客货运量预测

Tab.1 Passenger and freight volume forecast along the Jinghe-Yining-Huoerguosi Railway Corridor

区段	2025年				2030年				2035年				2045年			
	货运量/万t		客运量/万人次	旅客列车对数/(对·d <sup>-1</sup> )	货运量/万t		客运量/万人次	旅客列车对数/(对·d <sup>-1</sup> )	货运量/万t		客运量/万人次	旅客列车对数/(对·d <sup>-1</sup> )	货运量/万t		客运量/万人次	旅客列车对数/(对·d <sup>-1</sup> )
	上行	下行			上行	下行			上行	下行			上行	下行		
精河县—伊宁市	484	612	280	14	504	711	315	15	624	810	357	17	804	1 005	462	22
伊宁市—霍尔果斯市	200	414	45	3	270	520	64	4	310	620	94	6	420	750	102	7
霍尔果斯出境段	152	425			210	540	8	1	260	650	12	1	370	800	15	1

资料来源：文献[9]。

期铁路网规划》，伊宁市至阿克苏市铁路已启动前期研究，并规划预留至巴伦台镇铁路；博州向北规划预留阿拉山口市至塔城地区铁路，向西规划至赛里木湖风景名胜区铁路。在博乐市与伊宁市之间构建新的铁路运输直通道将是极为关键的一环，对实现天山南北铁路网络的有机衔接、加快形成连通中心城市和多口岸的铁路运输格局、助力区域经济社会一体化发展将起到强有力支撑作用。

### 2.3 规划方案剖析

精伊霍铁路增建二线工程早在2017年就已启动预可行性研究工作<sup>[7]</sup>，并被纳入新疆“十四五”规划。根据前期研究成果(以下简称“原方案”)，霍尔果斯市至伊宁市段拟维持单线运营，通过增开4处会让站满足远期客货运需求；伊宁市至精河县段则计划沿既有线增建二线，增建工程总长205 km。总体来看，沿既有线并行增建二线具有工程地质条件清晰、施工风险低、利于运营及防灾救援等优势，但亦存在工程投资大、工期长、仅实现扩能、提速效果有限等不足。原方案中完全并行既有线增建二线86.5 km，双绕段7.9 km，合计只占伊宁市—精河县段总长的46%；其余路段为单线绕行增建二线，总长110.6 km，占54%。因而一半以上路段为脱离既有线重新布设，为进一步优化线路布局提供了新的可能。从区域协调发展的战略视角看，原方案主要存在以下4个方面局限。

#### 1) 缺乏区域协调发展统筹。

受历史时期技术、施工条件和投资制约，原线路偏离了博州城镇密集区域，伊宁市与博乐市两大中心城市之间至今无铁路直达，未能发挥促进天山北坡经济带一体化发展的基础支撑作用，伊宁市作为新疆区域性中心城市的功能发挥亦受阻。在当前宏观经济环境下，乌霍高铁(乌鲁木齐—霍尔果斯高铁)建设时机及方案仍存在较大不确定性<sup>[10]</sup>，区域新建铁路的机会较少。作为连通伊犁和博州的唯一铁路干线，若依当前方案建设，将错失改善区域铁路网络布局缺陷、提升中心城市之间直通性的宝贵机遇。

#### 2) 缺乏增量空间效益。

既有线沿途穿越天山山脉，精河县以西至布列开站段约150 km人迹罕至，增建二线难以扩大客流覆盖范围，对支撑区域城镇

化发展的空间增益不足，投资性价比不高。

#### 3) 线路条件差，运输效率提升空间有限。

现状伊宁市至精河县段非直线系数1.35。原方案增建二线虽局部截弯取直，但总长度仅缩短8 km。伊宁市至乌鲁木齐市最短运行时间为5 h 20 min，如此改造后时效性仍然较差。此外，受地形和线路条件限制，占全长61%的敖包站至布列开站段最高运行速度仅为120 km·h<sup>-1</sup>，无法实现全线160 km·h<sup>-1</sup>的提速目标。

#### 4) 工程投资规模较大。

项目估算总投资达150.15亿元，工期4年。由于与在建G577国道存在空间交叉，工程实施协调难度大。为提升客流效益，原方案中曾考虑单线局部绕行至尼勒克县城，初步测算需新增里程26.7 km，工程投资将增加22.44亿元，线路整体效益难以显著提升。

## 3 既有铁路增建二线广域路径探索

### 3.1 相关研究回顾

中国学者在既有铁路增建二线的工程实践和研究领域已积累了丰富经验。从研究脉络来看，相关研究正逐步从早期单一的工程化思维和局部方案比选，转向更大空间范围及地上地下协同等多维度的综合方案比选，但仍缺乏系统性的广域路径选择理论和方法。既有研究主要聚焦于以下两方面。

#### 1) 在工程设计层面注重协调解决线路并行相关问题。

冯荣林<sup>[11]</sup>研究了既有铁路增建二线高边坡坚石路堑的加宽爆破方案。黄云<sup>[12]</sup>论证了软土地区增建二线合理线间距的设置。把奉全<sup>[13]</sup>、李志鹏<sup>[14]</sup>、党永权<sup>[15]</sup>等学者分别从既有线左右侧选线、曲线半径比选及引入既有车站方案等角度展开研究，提出增建线路宜基本与既有铁路并行。在3种速度目标值比选的基础上，伊平非<sup>[16]</sup>分析了新建单线铁路与既有线局部分离运营和双绕并行运营两种模式，提出在满足运输要求的前提下可采取分段方式确定技术标准及运输组织模式。王昊<sup>[17]</sup>则重点研究了精阿铁路增建二线中的车站改扩建方案。

#### 2) 在局部地段开展线路方案比选，探索更优路径。

以南防线马皇至防城港北段增建二线为例，咸志文<sup>[18]</sup>对沿既有线增建二线、双线绕

行和单线绕行3种典型方案在局部路段进行了比选,拓展了研究思路。在达万铁路扩能改造工程麻柳镇至万州西段方案研究中,伍华光<sup>[19]</sup>提出了新建单线与既有铁路形成双通道的比选思路,分析了线路覆盖以及区域路网协调性等问题,较传统研究有所深化,但仍缺乏系统量化分析,最终的推荐方案仍为沿既有线路增建二线。在平湖南至盐田港铁路线路改建方案研究中,张江涛<sup>[20]</sup>比较了地下单线绕行与双线绕行两种方案,强调工程实施需与城市发展规划及土地资源开发相协调,以实现铁路运输效益与城市协同发展的双赢目标。

### 3.2 广域路径选择情景分类

为系统构建既有铁路增建二线的广域路径选择方法体系,首先应对增建情景进行合理分类,以实现精准施策。本文基于中国既有铁路增建二线的工程实例,将其归纳为3种类型。

- 1) 情景1:既有线路较为顺直,与沿线城镇体系的空间布局协调良好,铁路走廊用地已得到有效控制和预留,既有线路本身即为最优路径。
- 2) 情景2:受早期工程技术条件或投资限制等因素影响,局部线路存在曲折。通过重新选线可显著提升客流效益、节约工程投资、提高运营速度,或有助于盘活其他存量铁路资源,从而提升铁路网络整体运营效率。
- 3) 情景3:区域城镇体系日趋完善,但重要中心城市之间缺乏铁路联系,原铁路路网覆盖存在不足。借助本工程的实施,具备改善和优化区域交通格局的可能性。

针对情形1,既有铁路增建二线宜沿既有线路并行布设,仅需重点协调工程实施、场站改造及运营组织等问题,无须开展广域路径比选。中国已实施的多数项目属于此类,如兰新铁路精阿段增建二线工程等。对于情景2和3,则有必要开展系统性的广域路径比选分析。

### 3.3 广域路径选择模型构建

近年来,智能算法已逐步应用于铁路工程规划设计领域,主要包括变分法、网络优化法、动态规划法、遗传算法和深度强化学习等<sup>[21]</sup>。其中,网络优化法作为路径规划的典型方法,涉及广度优先搜索(Breadth-First Search, BFS)、深度优先搜索(Depth-First Search, DFS)和Dijkstra算法等。广度优先搜索是一种基于图结构的逐层扩展算法,其核心优势在于能够在无权图中快速求解最短路径。

在出行行为建模领域,基于出行链和活动链的建模方法也日趋成熟。在一个出行链或活动链中,往往存在一个或多个中途停留点。为量化分析新增停留点与原路径之间的空间偏移程度,通常采用“橡皮筋”算法进行建模<sup>[22]</sup>,该方法也为既有铁路增建二线广域路径计算提供了重要启发。其基本原理如下:对于出行起点*i*和终点*j*,潜在的中途停留点*q*相当于广域路径选择中所有可能的中途车站,令其集合为*Q*( $q \in Q$ )。中途停留点*q*( $q \in Q$ )产生的阻抗  $IMP(ijq) = [IMP(iq) + IMP(qj)] - IMP(ij)$ 。在确定中途停留点时,模型假设每一位出行者均以最小化出行综合费用为目标。

本文将广度优先搜索和“橡皮筋”算法引入既有铁路增建二线方案的比选过程中。首先,构造区域城镇及铁路网络的拓扑结构。以精伊霍铁路为例(见图4),拓扑结构以城市为节点,城市间的铁路连接为边,以实际距离作为边的权重。其中,霍尔果斯市和精河县作为精伊霍铁路的起终点,分别设为节点A和B。博乐市作为州府,且目前与伊宁市无直通铁路,设定为必要中途点C;温泉县作为尚未开通铁路的县市,设定为次级中途点D;赛里木湖风景名胜区等功能节点作为一般性节点。既有铁路用实线表示,并区分单线与复线类型。然后,在图中节点A与节点B之间,基于广度优先搜索找出所有可连通路径。最后,利用“橡皮筋”算法

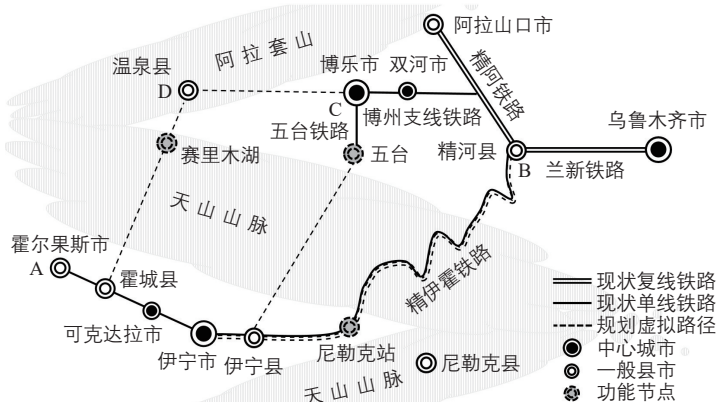


图4 精伊霍铁路增建二线广域路径探索拓扑结构  
Fig.4 Broad-area routing topology for adding a second track to the Jinghe-Yining-Huoguoersi Railway

计算各路径的阻抗，以量化不同路径之间的差异。

#### 4 精伊霍铁路增建二线方案比选

##### 4.1 总体架构

穿越天山是本线路最重要的控制性工程，首先需确定穿越天山新增通道方案。为相对准确地度量各路径长度并确保方案基本可行，本文应用了开源先进对地观测卫星(Advanced Land Observing Satellite, ALOS)高精度数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)数据。在综合考虑工程与投资规模、生态环境影响、矿产压覆等因素基础上，结合国土空间规划数据平台辅助工程选线，最终筛选出两种通道可能性。1)全新选线，居于天山中段，途经博州三台森林公园，直接连通博乐市、伊宁县和伊宁市，方案从两侧

峡谷切入，穿越山体段距离最短；2)寻求与在建G219国道共走廊布设，位于赛里木湖西北侧，沿线工程条件与地质状况较为明确。

然后，以控制性通道为基础进行广域路径搜索。为排除无效路径，作如下假设：1)基准方案为原方案，精河县至霍尔果斯市段全长292 km，增建二线长度205 km；2)原方案受工程制约存在局部限速，新增比选路径摆脱既有线约束，旅行速度按提升10%计。在总运行时间不增加的前提下，比选路径总里程需控制在321 km以内(即里程增幅不超过10%)。最后，基于上述假设，规划设计出两个比选方案(见图5)，各方案主要技术经济指标见表2。

1) 方案一：自精河站出发，沿既有精伊铁路、博州支线铁路及在建五台铁路专用线，从五台站南延，于三台森林公园设站后穿越天山进入伊宁市，向西汇入精伊霍铁路

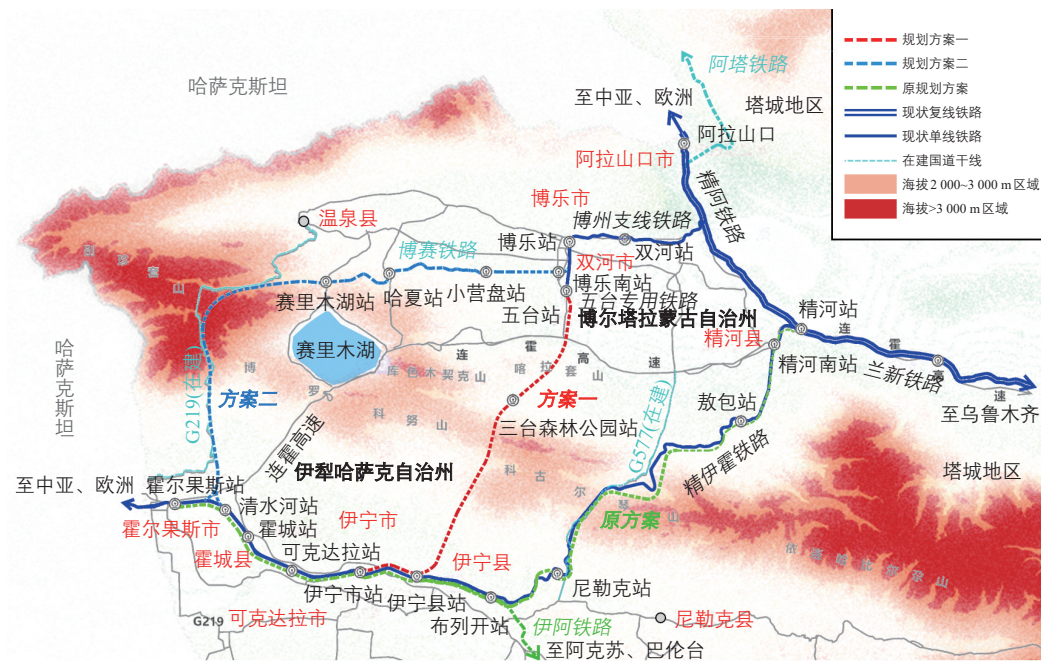


图5 精伊霍铁路增建二线方案比选

Fig.5 Comparison of alternative plans for adding a second track to the Jinghe-Yining-Huoguoqi Railway

表2 精伊霍铁路增建二线方案技术经济指标比较

Tab.2 Comparison of technical and economic indicators across alternative plans for adding a second track to the Jinghe-Yining-Huoguoqi Railway

类别	增建工程起止点	增建里程/km	新增估算投资/亿元	伊宁市—精河县距离/km	霍尔果斯市—精河县距离/km	伊宁市—博乐市距离/km	天山穿越段长度(海拔2000m以上)/km
原方案(东通道)	伊宁市—精河县	205	150.2	205	292	306(无直达)	7.7(与既有精伊霍铁路共走廊)
方案一(中通道)	伊宁市—博乐五台站	123	90.1	237	310	139	10.0(新开辟通道)
方案二(西通道)	博乐市—霍尔果斯市	200	146.5	349	306	251	19.0(与在建G219国道共走廊)

主线。增建线路约 123 km，较原方案缩短 82 km，总里程约 310 km。

2) 方案二：起始段与方案一相同，接入五台铁路专用线后自中途西出，依次设博乐南站、哈夏站、赛里木湖站，然后穿越天山抵达霍尔果斯市，局部与在建 G219 国道平行。增建里程约 200 km，较原方案缩短 5 km，总里程约 306 km。

#### 4.2 综合比较

为科学、客观地评价各方案特性，本文从技术经济、工程实施、运营组织和综合效益 4 个方面构建了包含 16 项指标的评价体系(见表 3)。

1) 在技术经济方面，方案一的新建里程较原方案缩短 40%，工程投资额减少约 60 亿元，工期缩短 1 年半，并满足全线达到设计车速(以下简称“达速”)160 km·h<sup>-1</sup>的运行要求，展现出显著的技术经济优势。

2) 在工程实施方面，关键控制性工程

为天山穿越段。目前，区域内在建的 G577 和 G219 国道已接近完工；作为世界最长的高速公路隧道，乌尉高速天山胜利隧道(全长 22.13 km)已于 2024 年底实现双向贯通。经测算，3 个方案天山穿越段长度(海拔 2 000 m 以上)分别为：原方案 7.7 km、方案一 10.0 km、方案二 19.0 km。从施工难度和风险角度分析，方案二虽与 G219 国道共走廊，但穿越段最长，工程实施难度相对较大；方案一与原方案较为接近，总体风险可控。

3) 在运营组织灵活性方面，原方案仅能采用客货混行模式。方案一新线路穿越博乐城镇密集区，可侧重客运功能，在整合既有博乐—乌鲁木齐、伊宁—乌鲁木齐分散铁路班次资源后，沿途车站的客运服务频次和时效将显著提升，精河站异站换乘的局面亦将根本改观；而现状铁路则可专用于中欧(中亚)班列及货物运输，新旧通道实现客货分离，有助于大幅提升整体运输效率。在运

表 3 精伊霍铁路增建二线方案指标对比

Tab.3 Comparison of indicators across alternative plans for adding a second track to the Jinghe-Yining-Huoerguosi Railway

类别	指标	原方案	方案一	方案二
技术经济	总长度/km	292	310(+6.2%)	306(+4.8%)
	增建二线长度/km	205	123(-40%)	200(-2.4%)
	投资估算/亿元	150.2	90.1(-60.1)	146.5(-3.7)
	工期/a	4.0	2.5(-1.5)	4.0
	运输效率	全线达速 160 km·h <sup>-1</sup> ，局部限速 120 km·h <sup>-1</sup> (长 125.6 km)	全线达速 160 km·h <sup>-1</sup>	全线达速 160 km·h <sup>-1</sup>
	运能提升/%	100	100(精阿段为复线)	100(精阿段为复线)
工程实施	天山穿越段是否与既有(在建)工程共线	是(精伊霍铁路原线、G577 国道在建)	否	是(G219 国道在建)
	天山穿越段长度(海拔 2 000 m 以上)/km	7.7	10.0	19.0
运营组织	运营组织灵活性	客货混行	客货分离	客货混行
	运营组织可靠性	双单线(局部双线 94 km，占伊宁市—精河县段总长 46%，占全程 32.2%)	双单线(局部双线 48 km，占伊宁市—精河县段总长 20%，占全程 15.5%)	双单线(局部双线 48 km，占全程 15.7%)
	综合运输网络韧性	天山穿越段铁路、G577 国道布局在一个通道，风险集中	铁路穿越天山形成双通道格局，网络均衡性好	铁路穿越天山形成双通道格局，网络均衡性好
综合效益	客流需求及覆盖人口		沿线串联城市增加博乐市和双河市，涵盖常住人口增加 30 万人以上	沿线串联城市增加博乐市、双河市和温泉县，涵盖常住人口增加 35 万人以上
	助力文旅产业发展(增加核心旅游景区覆盖)		途经三台森林公园，辐射赛里木湖景区(经由萨尔巴斯套)	途经赛里木湖及温泉县小温泉、哈夏林场、孟克沟等景区
	盘活利用既有有线长度/km		114	106
	天山北坡中心城市直达性(博乐市—伊宁市)	换乘(3 h 以上)	直达(139 km，1 h 内)	直达(251 km，2 h 内)
自治区中心城市一体化(伊宁市—乌鲁木齐市)	617 km，约 4.8 h	649 km，约 4.5 h	761 km，约 5.3 h	

营组织可靠性方面，方案一双线里程约48 km，原方案约94 km，双线里程相对于全线里程占比均不足35%，无显著差异。从综合运输网络韧性角度看，方案一新增天山中段穿越通道，与既有线构成穿越天山双铁路通道格局，相比原方案的通道集中布局，在应对恶劣天气等突发风险时更具有韧性和灵活性。

4) 在综合效益方面，方案一和方案二覆盖常住人口均新增超过30万人，并对促进旅游发展具有积极作用。其中，方案二有助于完善边境线铁路布局、巩固国防，对赛里木湖以及温泉县旅游发展的支撑作用尤为突出。方案一的独特优势在于实现了博乐市与伊宁市两座州府城市之间的铁路直达，将行程时间由3 h缩短至1 h以内，有效克服了山体阻隔障碍、显著提升了运输可靠性。该方案对重塑区域地缘经济格局、促进天山南北城市间跨区域融合、构建区域统一大市场、支撑北疆城市群发展以及培育伊宁-博乐都市圈等方面，均具有重要的战略意义。这些优势均为原方案所不具备，也正是当前区域铁路网络亟须弥补的结构性短板。从盘活存量资源的角度看，目前博州铁路支线每日仅开行5列客运列车，运能利用率偏低，精阿铁路也存在较大富余运能。方案一能够最大限度激活上述114 km既有铁路资源，有效改善博州铁路末端式运营的不利现状。

综上所述，方案一相较于原方案，在投资成本、建设周期、运输效率及运营组织灵活性等方面均具有显著优势。该方案实现了伊宁市与博乐市之间1 h铁路直达，有效串联伊犁河谷与博尔塔拉河谷，涵盖常住人口约350万人，占新疆总人口的13.5%，以最低成本实现了铁路网络效益的最大化，切实发挥了降本增效与骨干引领作用，对支撑新疆打造“一带一路”核心区和对外开放桥头堡战略具有重要的意义。方案二中博乐市区至赛里木湖段对进一步巩固赛里木湖在新疆文旅发展中的龙头地位、促进“博-温-赛”（博乐市-温泉县-赛里木湖）文旅康养金三角一体化发展、构筑边境铁路网络亦具有特殊价值。因此，本文将其与方案一进行组合，最终形成区域铁路近期网络布局推荐方案(见图6)。

## 5 结论与启示

本文以精伊霍铁路增建二线为例展开研究，主要得出以下结论和启示：

1) 基于区域协调发展战略的广域路径探索具有重要现实意义。随着中国城镇化进入下半场，区域性交通基础设施建设投资趋缓，项目资源稀缺性日益凸显。在此背景下，前期研究和工程决策亟须从满足单一化功能需求转向与区域协调发展战略相统筹，

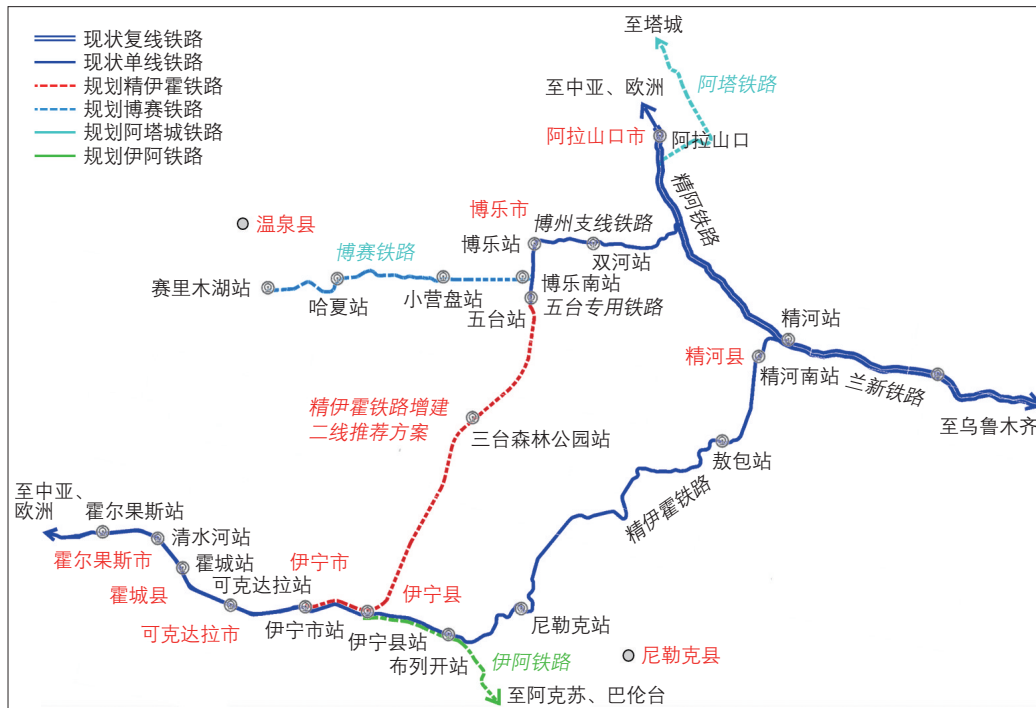


图6 精伊霍铁路增建二线及伊犁—博州铁路网络总体布局推荐方案

Fig.6 Recommended plan for adding a second track to the Jinghe-Yining-Huoerguosi Railway and the overall layout of the Yili-Bortala railway network

从通道能力增强转向区域网络整体功能优化提升,从单线工程思维跃升为系统化、网络化的综合思维。正如2024年12月中央经济工作会议所强调,必须统筹好“培育新动能和更新旧动能”“做优增量和盘活存量”“提升质量和做大总量”之间的关系。原方案存在的局限性,进一步印证了开展广域路径优化的必要性。

2) 系统构建了基于区域协调发展战略的广域路径选择情形分类与方法体系。在局部线路曲折、重新选线可显著提升客流效益、节约投资、盘活存量铁路资源、能够显著增强中心城市间铁路连通性等情形下,均应开展广域路径方案比选。建议以区域城镇体系和国土空间布局为本底,以原方案为基准,在满足必要时空约束条件下,通过广度优先搜索和“橡皮筋”算法寻求更优解,秉承“先立后破”原则拟定区域铁路总体布局。这种渐进式网络优化方法,对当前存量优化背景下的区域公路网改扩建、城市轨道交通网补强等工程也具有一定借鉴价值。

3) 精伊霍铁路增建二线推荐方案采用博乐市至伊宁市直通线,在技术经济指标、存量资源综合利用、降本增效和区域引领作用等方面较原方案具有显著优势和战略意义,有力支撑了北疆城市带一体化发展格局。孙中山先生在《建国方略》中曾明确提出伊犁铁路规划设想,指出“此后建都,谋本部则武昌,谋藩服则西安,谋大洲则伊犁,视其规摹远近而已”,这一前瞻性论述印证了伊犁河谷的地缘战略价值。推荐方案充分利用既有精阿铁路、博州支线铁路及五台专用线铁路,南延穿越天山至伊宁市,工程投资较原方案节约40%,工期缩短一年半,覆盖常住人口新增超30万人,盘活存量铁路里程114 km。该方案不仅提升了运营组织灵活性与综合运输网络韧性,更实现了伊宁市与博乐市两大区域核心城市间1 h铁路直达,可作为“十五五”规划及下一阶段工程可行性研究和初步设计的重要参考。

4) 跨天山通道是精伊霍铁路增建二线的关键控制性工程。在工程技术日益成熟的背景下,铁路等重大工程投资应超越传统工程视角,立足于全局开展战略性通道资源比选。在建G577国道沿袭既有精伊霍铁路通道,虽加强了天山南北联系,但未能满足伊宁市与博乐市两座中心城市间的直通性需求,这一教训值得总结。本文所提推荐方案

对后续乌霍高铁博乐设站研究、博乐市与伊宁市间快速路网直通线布局等亦具有启发和借鉴意义。下一步应重点围绕跨天山通道开展专题研究,加强工程地质勘探,深化可行性论证,为项目决策、通道预留和未来城镇化发展方向研判提供更加充分的依据。

参考文献:

References:

- [1] 国家铁路局. 关于印发《“十四五”铁路科技创新规划》的通知(国铁科发法〔2021〕45号)[A/OL]. (2021-12-14)[2024-11-20]. [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-12/24/content\\_5664357.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-12/24/content_5664357.htm).
- [2] 北京周报. 中国铁路的主要指标[EB/OL]. (2009-05-25)[2024-11-20]. [http://www.beijingreview.com.cn/2009news/jingji/liaowang/2009-05/25/content\\_199509.htm](http://www.beijingreview.com.cn/2009news/jingji/liaowang/2009-05/25/content_199509.htm).
- [3] 中华人民共和国交通运输部. 2023年交通运输行业发展统计公报[EB/OL]. (2024-06-18)[2024-11-20]. [https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202406/content\\_6957901.htm](https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202406/content_6957901.htm).
- [4] 中共中央, 国务院. 交通强国建设纲要[EB/OL]. (2019-09-19)[2024-11-20]. [http://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content\\_5431432.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content_5431432.htm).
- [5] 中共中央, 国务院. 国家综合立体交通网规划纲要[EB/OL]. (2021-02-24)[2024-11-20]. [https://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content\\_5588654.htm](https://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content_5588654.htm).
- [6] 中共中央, 国务院. 关于推进以县城为重要载体的城镇化建设的意见[EB/OL]. (2022-05-06)[2024-11-20]. [https://www.gov.cn/zhengce/2022-05/06/content\\_5688895.htm](https://www.gov.cn/zhengce/2022-05/06/content_5688895.htm).
- [7] 中国新闻网. 2023年新疆霍尔果斯口岸开行中欧(中亚)班列7762列 再创历史新高[EB/OL]. (2024-01-05)[2024-11-20]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1787245317551436575&wfr=spider&for=pc>.
- [8] 方华. 精霍铁路精河—伊宁段扩能改造方案研究[J]. 铁道运输与经济, 2018, 40(3): 79-84.  
Fang Hua. A research on the capacity expansion plan of Jinghe-Yining section of Jinghe-Khorgas railway[J]. Railway Transport and Economy, 2018, 40(3): 79-84.
- [9] 李雨鸿. 中哈口岸后方铁路通道扩能综合研究[J]. 铁道运输与经济, 2022, 44(8): 14-21.

- Li Yuhong. Comprehensive study on the capacity expansion of railway passages behind China-Kazakhstan Ports[J]. Railway Transport and Economy, 2022, 44(8): 14-21.
- [10] 郑猛, 余世英, 黄焕, 等. 新疆绿洲经济区跨区域融合与都市圈交通战略研究: 以伊犁和博州为例[J]. 交通与港航, 2024, 11(6): 55-63.
- Zheng Meng, She Shiyong, Huang Huan, et al. Xinjiang Oasis Economic Zone and metropolitan region transportation development strategy: a case study of Ili and Bozhou[J]. Communication & Shipping, 2024, 11(6): 55-63.
- [11] 冯荣林. 电气化铁路增建第二线高边坡竖石路堑加宽爆破方案[J]. 铁道建筑, 2000(7): 9-11.
- Feng Ronglin. Blasting scheme for widening high rock cuttings in the second line addition of electrified railways[J]. Railway Engineering, 2000(7): 9-11.
- [12] 黄云. 萧甬铁路软土地区增建第二线线路方案的回顾与思考[J]. 铁道工程学报, 2000(4): 78-80.
- Huang Yun. Review and thought on route scheme of added second railway line in soft soil region along Xiaoshan-Ningbo railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2000(4): 78-80.
- [13] 把奉全. 既有铁路增建二线线路方案的比选研究[J]. 甘肃科技, 2007(2): 106-108.
- Ba Fengquan. Study on comparison of route schemes for adding a second line to existing railways[J]. Gansu Science and Technology, 2007(2): 106-108.
- [14] 李志鹏. 赤大白铁路巴彦段增建二线线路方案研究[J]. 铁道建筑技术, 2014(8): 57-59.
- Li Zhipeng. Research on the second line construction project of Chifeng-Dabanbaiyinhua Railway Bayan section[J]. Railway Construction Technology, 2014(8): 57-59.
- [15] 党永权. 南防铁路增建二线引入茅岭站线路方案研究[J]. 居舍, 2020(10): 191.
- Dang Yongquan. Study on the scheme of introducing the second line of Nanning-Fangchenggang Railway into Maoling Station[J]. Jushe, 2020(10): 191.
- [16] 伊平非. 集通铁路扩能改造局部线路方案研究[J]. 中国铁路, 2014(1): 34-38.
- Yi Pingfei. Study on the route scheme for partial line upgrading of Jitong Railway expansion project[J]. China Railway, 2014(1): 34-38.
- [17] 王昊. 精阿铁路增建二线引入阿拉山口站改扩建方案研究[J]. 铁道货运, 2022, 40(3): 6-14.
- Wang Hao. Study on reconstruction and expansion plan of introducing second line of Jinghe-Alashankou Railway to Alashankou Railway Station[J]. Railway Freight Transport, 2022, 40(3): 6-14.
- [18] 戚志文. 既有铁路增建第二线线路方案的比选研究[J]. 大众标准化, 2022(6): 45-47.
- Xian Zhiwen. Study on comparison of route schemes for adding a second line to existing railways[J]. Popular Standardization, 2022(6): 45-47.
- [19] 伍华光. 达万铁路扩能改造工程麻柳镇至万州西段方案研究[J]. 大众标准化, 2022(15): 114-116.
- Wu Huaguang. Study on the upgrading and reconstruction scheme from Malingshen to Wanzhouxi section of Dazhou-Wanzhou Railway[J]. Popular Standardization, 2022(15): 114-116.
- [20] 张江涛. 平湖南至盐田港铁路线路改建方案研究[J]. 铁道工程学报, 2024, 41(2): 11-15.
- Zhang Jiangtao. Research on the reconstruction plan of Pinghu South-Yantian Port Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2024, 41(2): 11-15.
- [21] 祖家伟, 王明生, 吕希奎. 基于深度强化学习的铁路线路方案生成方法研究[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(3): 21-24.
- Zu Jiawei, Wang Mingsheng, Lyu Xikui. Research on the generation method of railway line scheme based on deep reinforcement learning[J]. Techniques of Automation and Applications, 2025, 44(3): 21-24.
- [22] 余世英, 郑猛, 向燕陵, 等. 基于集计出行链的城市交通模型架构研究[J]. 城市交通, 2021, 19(6): 91-101.
- She Shiyong, Zheng Meng, Xiang Yanling, et al. Aggregate tour-based model framework of urban transportation[J]. Urban Transport of China, 2021, 19(6): 91-101.