文章编号：2097-5899(2025)05-0027-10　　**中图分类号**：U292　　**文献标识码**：A
DOI：10.16669/j.cnki.issn.2097-5899.202409030001
引用格式：刘海涛，杨文浩，张巍，等. 铁路货运车流径路调整决策支持系统构建技术研究[J]. 铁路物流，2025，43(5)：27-36，42.
LIU Haitao，YANG Wenhao，ZHANG Wei，et al. Construction Technology of Decision Support System for Adjustment of Railway Freight Car Flow Routing[J]. Railway Logistics，2025，43(5)：27-36，42.

铁路货运车流径路调整决策支持系统构建技术研究

刘海涛[1]，杨文浩[2]，张　巍[1]，秦　胜[1]，游艳雯[1]

(1. 中国铁道科学研究院集团有限公司 运输及经济研究所，北京　100081；2. 中国国家铁路集团有限公司 货运部，北京　100844)

摘　要：铁路货运车流径路优化调整是深化铁路运输供给侧结构性改革，统筹优化路网能力利用，实现货运提质增效、增运增收的重要途径，长期以来都是铁路货运组织领域的热点问题。在深入分析新形势下车流径路精细化、高效率管理需求及辅助决策调整需求的基础上，提出铁路货运车流径路调整决策支持系统的总体结构，设计基础路网可视化查询、货流车流分布查询、车流径路查询与维护、车流径路调整辅助决策等功能模块，形成新建线路、市场需求变化、能力改造典型场景下车流径路调整决策关键技术，为构建数字化、智能化的车流径路优化调整平台、促进车流径路精细管理与科学决策提供技术支撑。

关键词：铁路货运；车流径路；优化调整；辅助决策；系统构建

0　引言

车流径路优化调整紧密关系到铁路货运经营效益、供需匹配及生产效率，对市场化货运产品设计、路网货运通道分工、平行线路能力利用、各经营主体间收入清算、货运生产力合理布局与装备运用等方面起决定性作用[1]。打造智能化、高效率的车流径路优化调整与决策平台是深化铁路货运供给侧结构性改革、建设现代化物流体系、推动铁路市场化运营的重要着力点，也是推动铁路货运有效提质与合理增量的重要基础。

针对车流径路优化调整问题的既有研究，偏向于考虑各类影响因素与关联业务，研究数学规划模型与求解算法，对车流径路系统研发应用的研究相对较少。舒文等[2]考虑铁路实际货运过程中产生的碳排放，对车流径路与列车编组计划综合优化问题进行研究；周明玺等[3]根据相同到站的车流经同一技术站改编后即合并的特点，构建考虑技术站编组去向的车流径路优化模型；赵伊楠等[4]针对铁路货运日常运输组织工作中的车流量波动特点，构建需求不确定的铁路车流径路优化模型；刘畅[5]考虑计费径路与车流径路间的联动关系，提出车流径路、计费径路联合优化模型；边利平[6]将点线扩能改造方案纳入决策变量，构建满足一定运输总量下的扩能改造方案与车流径路联合优化模型。在系统应用方面，既有车流径路系统主要包含路网展示、数据查询、径路生成等日常管理功能，车流径路优化侧重于区域间径路组合条件生成与指标测算，无法满足多目标、多因素、全局化、动态化车流径路调整决策需要。原有系统主要问题体现在：一是依赖于人工经验，智能化程度较低，难以做到全局性、系统性优化调整，不利于铁路统筹用好路网能力、实现整体效益最大化；二是对市场需求变化的及时响应程度不充分，对多样化、精细化市场需求的匹配度不高，不利

收稿日期：2024-09-03
基金项目：中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划课题(K2023X019)；中国铁道科学研究院集团有限公司科研项目(2023YJ164)

于动态优化货运产品供给、促进“黑货”和“白货”市场共同发展；三是与铁路95306、列车运行图编制、计划统计、综合调度等系统间数据、业务融合度不够，与市场营销、运输生产间的协同度不高，不利于完善运力资源市场化配置，以及铁路货运集约化、精益化发展。

上述问题在一定程度上限制了铁路运输组织方式变革、市场化法制化经营水平提升、货运向现代物流转型升级[7]，亟需把握铁路95306、列车运行图编制、综合调度等系统融合发展的有利条件，着力构建数字化、智能化、高效便捷的铁路货运车流径路调整决策支持系统(以下简称“车流径路调整系统”)，以技术创新推动运输组织管理变革，提升运输组织效率和市场经营收益，打造世界一流铁路货运服务体系。

1　系统建设需求分析

1.1　车流径路精细化管理需求

车流径路管理精细化程度是整个铁路车流组织管理质量的先决条件，贯穿货物列车编组计划、列车运行图及运力资源优化配置等业务领域[8]。随着铁路货运结构持续变化、路网能力逐步提升、市场竞争不断加强，目前依靠既有功能单一的基础路网、货流车流、运输能力及车流径路等分析工具，已经难以满足车流径路精细化管理需求，不利于路网整体运输效能的充分发挥。

（1）建立精细化的车流径路决策网络。建立覆盖线路、区段、区间、车站的基础路网拓扑模型，考虑货运经营、不同要素技术条件、能力利用等多维属性，形成车流径路基础网络、品类网络、分区网络及支点网络等多类型决策网络[9]。

（2）实现货流车流、运输能力信息的精细化查询分析。车流径路调整的主要原因仍是货运需求与运输能力不相匹配[10]，可通过提供基于时域、发/到局、发/到省(市)、发/到站、品类、流量范围等多维度的货流车流查询功能，以及运行图区间客货列车结构与能力利用信息查询功能，辅助决策者多维度、细粒度地推算不满足供需匹配原则的车流径路。

（3）实现车流径路精细化可视化分析。不仅要求车流径路的图形显示要清晰、完整、直观，径路数据的展示要丰富、详细、准确，还需要能够满足多种类径路的同屏可视化比较分析，以此为高质量辅助决策提供支撑。

1.2　车流径路高效率管理需求

提供统一规范的调整平台、快速响应径路生成与查询需求、完善底层业务模型库/方法库是提升车流径路管理效率的关键。但长期以来，车流径路受关联复杂度高、计算规模庞大、技术条件欠缺、数据来源不畅等因素影响[11]，管理手段单一，调整常常滞后于市场，难以适应新时代铁路高质量发展的要求。

（1）建立规范便捷的车流径路统一管理平台。中国国家铁路集团有限公司(以下简称“国铁集团”)对车流径路业务集中、统一管理，维护铁路货运路网、货流车流、车流径路等关键基础资料，国铁集团、铁路局集团公司相关部门在同一平台上查询、调整车流径路，完善车流径路调整过程的规范化流程，建立高效便捷的车流径路调整机制。

（2）满足车流径路高效率生成与查询需求。系统主要面向全路货运、运输、调度等部门工作人员提供车流径路查询服务，应用于计划编制、作业组织与成本核算等多个业务场景，因此，径路生成与检索需要遍历规模庞大的铁路货运路网，涉及的并发量和计算量较大[12]，需要提高多用户并发处理的车流径路生成查询效率。

（3）优化车流径路调整底层核心算法设计。车流径路调整属于超大规模的组合优化问题，随着车流量增加、路网规模扩大，优化难度逐步增加，典型建模理论方法适用性不强、求解效率不高。系统可通过划分出车流径路调整的典型场景，优化设计基于不同场景下的车流径路自动调整算法，压缩车流径路调整时间与工作量，提高整体调整效率。

1.3　车流径路调整自动化辅助决策需求

车流径路调整辅助决策要逐步向全局化、自动化、智能化迈进，满足支撑大规模路网条件下的车流径路多目标、多因素优化与调整决策需要。

（1）实现新线开通场景下车流径路辅助调整决策。建立新线建成后全路车流最短路格局变化分析、特定径路回归最短路的径路集合自动生成、新建线路吸引车流推算、新线吸引车流自动调整及人工调整等辅助决策功能。

（2）实现货运需求变化场景下车流径路辅助调整决策。建立需求结构调整后车流分布、强度变化可视化分析，路网能力瓶颈区间外溢车流识别、能力富余区间吸引车流识别，外溢车流自动疏解、吸引车流自动回归及径路人工调整等辅助决策功能。

（3）实现既有线路扩能改造场景下车流径路辅助

调整决策。建立扩能改造后路网能力变化对车流分布、强度的影响分析，扩能区段吸引车流自动推算，吸引车流自动调整及人工调整等辅助决策功能。

（4）实现车流径路调整方案综合评估。针对不同场景的车流径路调整方案，建立车流径路调整前后车流运距、路网能力、运输收入、运输效率等指标的变化分析功能。

2　系统方案设计

2.1　系统总体结构

按照国铁集团2023年信息化项目建设要求[13]，车流径路调整系统属于95306货运综合智慧服务平台的二级子系统，部署于国铁集团主数据中心，通过铁路综合信息内网，主要为国铁集团、铁路局集团公司及站段等各级货运部门提供基础路网查询，货流车流可视化查询，车流径路查询分析、编辑维护与调整决策工具，同时也为铁路运输、调度、统计等其他部门提供数据支撑。车流径路调整系统充分利用国铁集团大数据与人工智能平台、集成服务平台为底层支撑[14]，与铁路95306内部其他子系统，以及货物列车编组计划、列车运行图编制、计划统计、综合调度等相关外部系统实现数据共享。系统总体结构如图1所示。

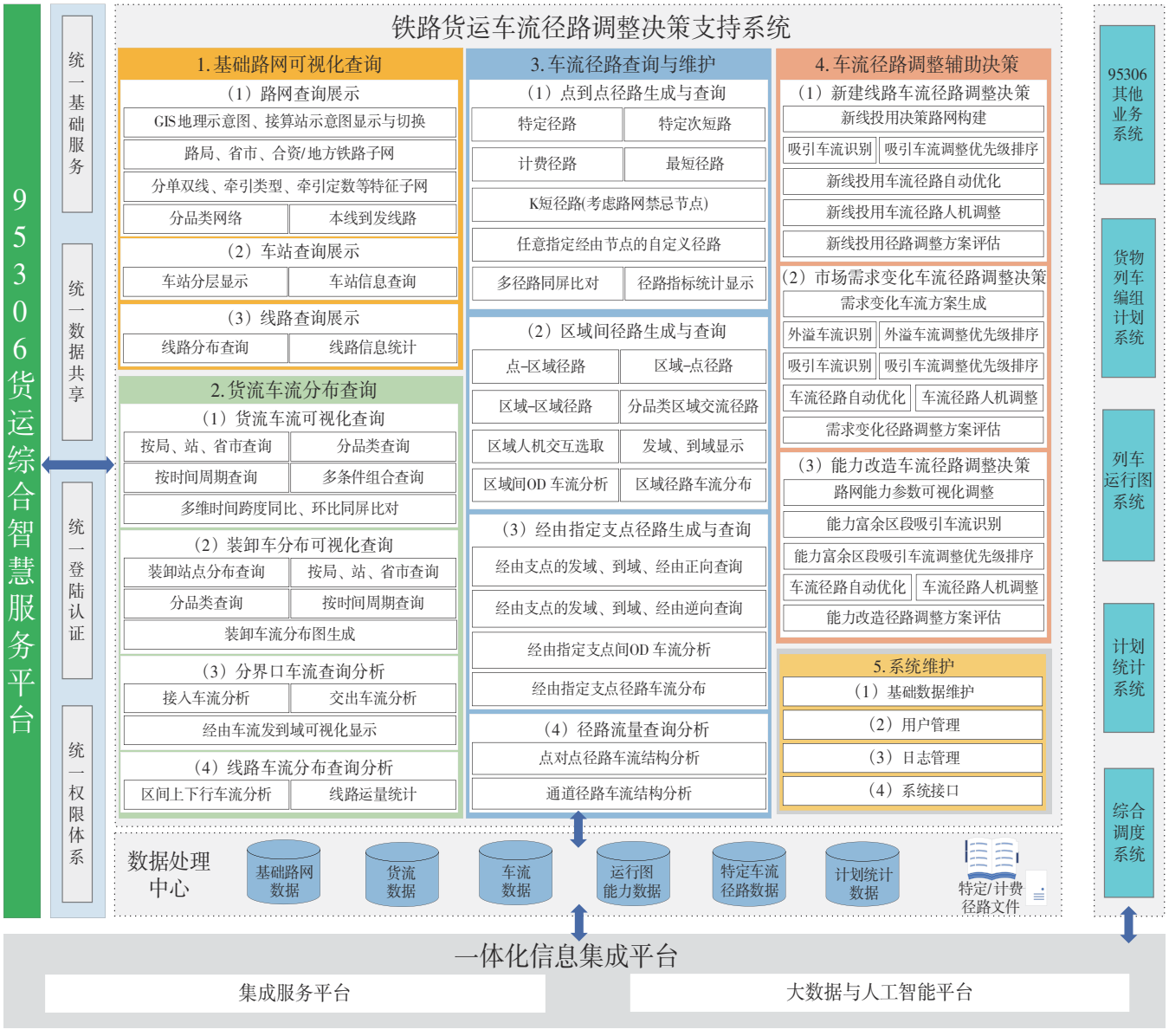


图1　系统总体结构

Fig.1　Overall structures of system

2.2　核心功能模块

车流径路调整系统集成管理基础路网、货运车流、运输能力、车流径路等结构化、非结构化多元数据，结合业务规则、模型、算法，实现货运部门车流径路日常管理，满足调整决策需求，具体包含4个核心功能模块：基础路网可视化查询、货流车流分布查询、车流径路查询与维护及车流径路调整辅助决策。

（1）基础路网可视化查询模块。该模块集中管理基础货运路网的车站、区间、线路等关键信息，提供可视化、便捷化的查询界面。主要从网络图类型(GIS网/接算站网)、货物品类、区域归属、线路技术特征、线路经营特性等维度对路网分布进行可视化显示，同时提供路网车站、线路的查询定位与信息展示功能。各铁路局集团公司货运路网分布如图2所示。

（2）货流车流分布查询模块。该模块集中管理原始货流数据及系统业务计算产生的车流数据，以丰富的数据图形化展示形式，显示货流车流的流量流向信息及统计分析结果，主要实现货流车流可视化查询、装卸车分布可视化查询、分界口车流查询分析、线路车流分布查询分析功能。货流车流可视化查询可从时域、区域(局、站、省市)、品类等维度查询货流车流数据，并以多种可视化方式展示可视化查询结果；装卸车分布可视化查询可实现装卸站点分布，分时域、区域(局、站、省市)、品类装卸车统计及装卸车流分布图生成等功能，中国铁路太原局集团有限公司煤炭装车热力图如图3所示，颜色越深表示车站煤炭装车量越大；分界口车流查询分析以接入/交出角度对经由分界口车流进行查询分析，并可视化显示经由分界口车流的发到域信息；线路车流分布查询分析可实现线路货运量、货物周转量、区间上下行车流量等数据的可视化查询。

（3）车流径路查询与维护模块。该模块满足车流径路自动生成、可视化查询、多维统计、分析比较等管理需求，主要实现点到点径路生成与查询、区域间径路生成与查询、经由指定支点径路生成与查询、径路流量查询分析功能。点到点径路生成与查询基于多种径路生成算法，实时计算生成路网任意OD间的特定径路、特定次短路、计费径路、最短径路、K短径路及自定义径路等多种类径路，并提供径路关键指标的统计分析；区域间径路生成与查询主要查询指定发域、到域间的车流径路集合，包括铁路局集团公司间、省市间车流径路查询及分品类的车流径路查询，可视化



图2　各铁路局集团公司货运路网分布

Fig.2　Freight network distribution of each railway group company

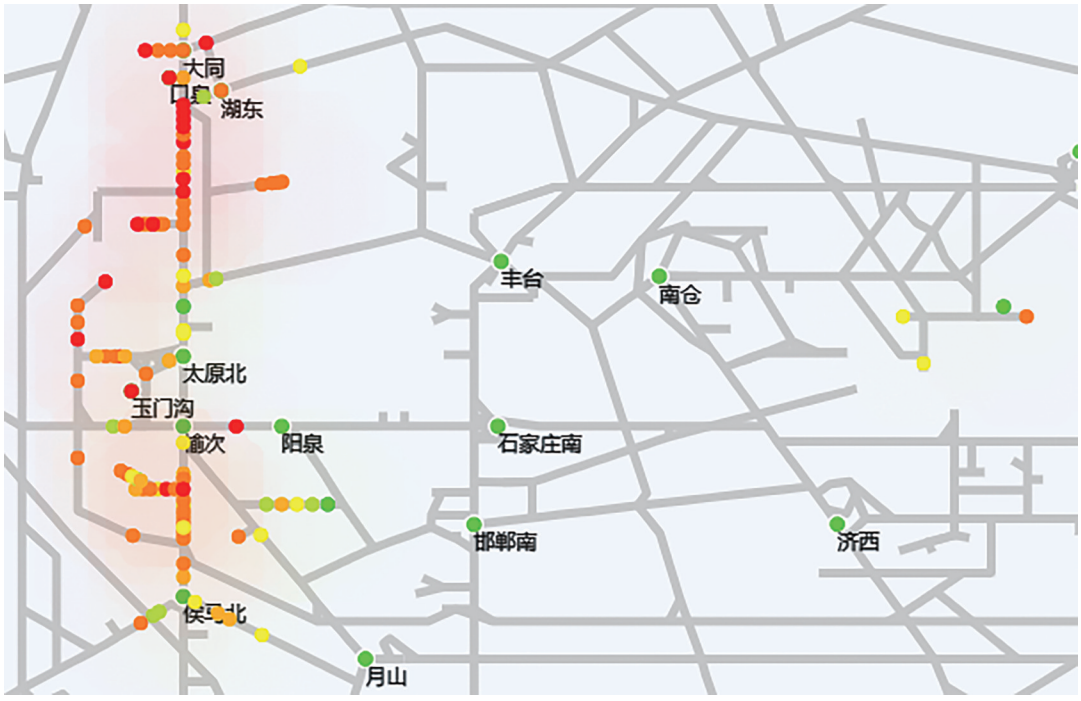


图3　中国铁路太原局集团有限公司煤炭装车热力图

Fig.3　Heat map of coal loading of China Railway Taiyuan Group

显示区域车流径路在路网上的分布，为点—区域、区域—点、区域—区域及分品类区域径路的分析提供可视化手段；经由指定支点径路生成与查询，主要查询任意两支点间的经由径路，以及经由该支点径路的发域、到域站点分布，统计经由支点径路的车流信息，郑州北—徐州北间支点径路查询结果如图4所示。径路流量查询主要是对经由指定车流径路(点到点径路或区域径路)的车流结构进行分析。



图4　郑州北—徐州北间支点径路查询结果

Fig. 4　Search results of fulcrum path between Zhengzhoubei Station to Xuzhoubei Station

（4）车流径路调整辅助决策模块。该模块服务国铁集团及铁路局集团公司货运部门对货运供需形势变化条件下的车流径路调整决策需要，提供新建线路、市场需求变化及能力改造等典型场景下的车流径路调整决策功能。新建线路场景下车流径路调整决策是根据路网新线布局情况，重新生成纳入新线后的车流径路决策(计算)路网，自动生成并对比全网OD间最短径路集，识别新线吸引车流集合，针对新线吸引车流实现径路的自动优化与人工调整，并对车流径路调整方案的关键性指标及网流适应性做出评价；市场需求变化和能力改造场景下，车流径路调整决策主要针对货运需求变化方案或能力变化方案，动态计算路网能力利用变化情况，自动识别计算能力瓶颈区段外溢车流与能力富余区段吸引车流，针对区段外溢车流与吸引车流实现径路的自动优化与人工调整，并对车流径路调整方案做出评价，疆煤外运增量场景下车流径路调整结果如图5所示。

3　系统构建关键技术研究

车流径路调整的影响因素较多，通常情况下，当铁路货运网络结构、既有线运输能力或运输需求发生变化时，均会引起通道内点线车流结构的变化，进而需要对车流径路进行及时的调整与优化。因此，车流径路调整系统以“决策场景方案生成—影响车流识别—车流径路自动/人工调整—调整方案综合评估”为基本技术路线，构建新建线路、市场需求变化、能力改造典型场景下车流径路调整决策关键技术。

3.1　新建线路车流径路调整决策技术

近年来，铁路以“联网、补网、强链”为重点，高质量推进铁路规划建设，和若(和田—若羌)、格库(格尔木—库尔勒)、酒额(酒泉—额济纳)、伊阿(伊敏—阿尔山)、大瑞(大理—瑞丽)、中老铁路(昆明—万象)等顺利建成通车，新线的开通会直接引发本线、跨线及相关平行线路的车流径路调整问题。针对路网新线开通场景，车流径路调整决策的基本流程如下。

步骤1：获取新建线路方案，纳入新建线路、区间、车站等路网技术资料，生成新建线路车流径路决策(计算)路网，并计算决策路网的最短径路矩阵。

步骤2：将指定OD车流按最短路分配至新建线路计算路网区间上，根据配流结果识别新线吸引车流，并按照里程、费用、运量、时效、货物周转量、品类等多维因素对吸引车流的调整优先级进行排序(支持人工确定吸引车流及调整优先级)。

步骤3：根据路网区间能力利用情况和K短径路计算模型，生成吸引车流的备选径路，按优先级顺序和备选径路自动调整吸引车流的运行径路(支持人工调整修正)，并动态更新路网能力利用情况。

步骤4：对新线投用径路调整方案进行评估，统计分析车流径路调整后，路网区间、分界口、编组站分方向的车流量变化情况，以及调整车流的运距与运费、各承运主体收入、线路区间能力利用等指标的变化。

新建线路场景下车流径路调整决策流程如图6所示。

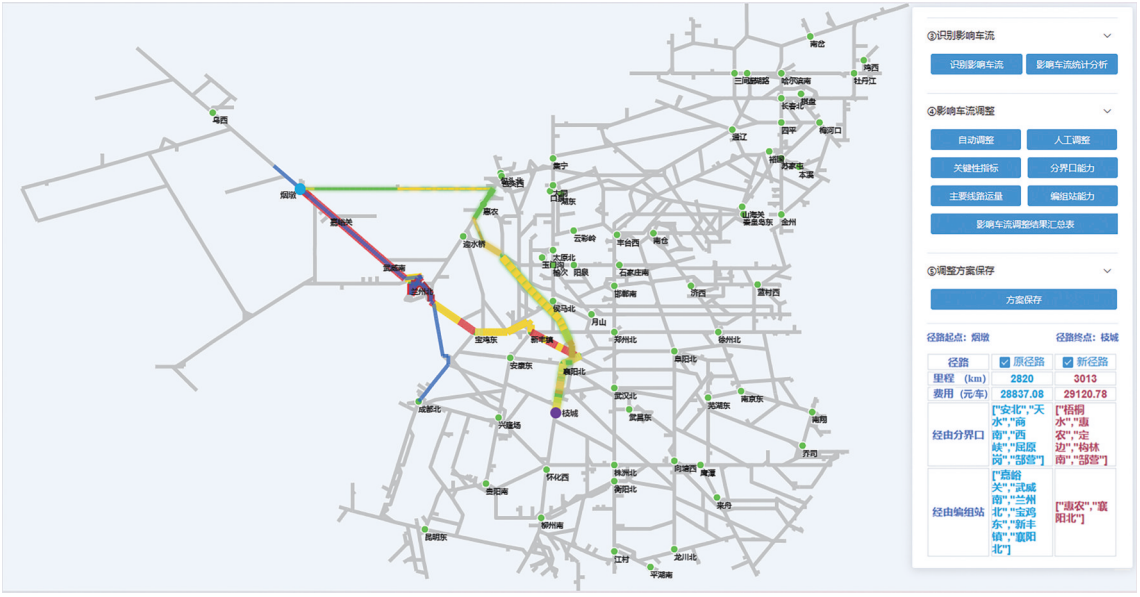


图5　疆煤外运增量场景下车流径路调整结果

Fig.5　Results of car flow routing adjustment in incremental scenario of Xinjiang coal transportation

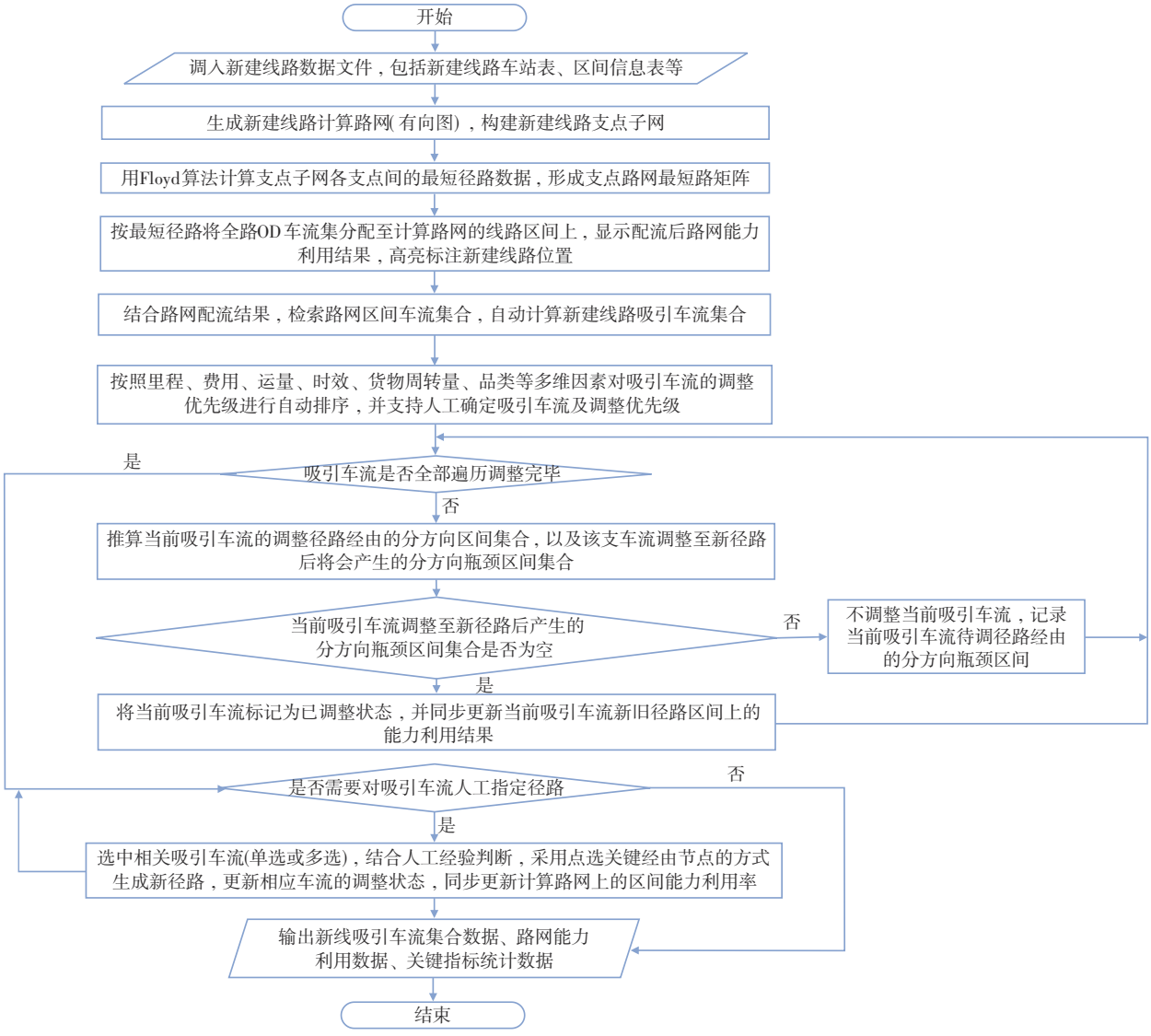


图6　新建线路场景下车流径路调整决策流程

Fig.6　Decision process of car flow routing adjustment in scenario of new lines

3.2　市场需求变化车流径路调整决策技术

在国家“碳达峰、碳中和”及调整运输结构的战略部署下，铁路以内陆大型厂矿企业、物流园区和沿海沿江港口的煤、矿石等大宗散货及集装箱多式联运为重点，主动承接公路转移运量，深化铁路货运供给侧结构性改革，形成特定区域、特定通道、特定品类货物的集中运输，需要持续优化车流径路以促进货运增量增收。针对市场需求变化场景，车流径路调整决策的基本流程如下。

步骤1：以人机交互方式模拟生成路网OD需求变化方案，对有变化的OD运量需求重新按多径路进行路网配流，更新路网区间能力利用结果。

步骤2：计算需求变化方案影响的路网能力富余区间与能力瓶颈区间，识别能力富余区间可吸引的最短径路车流集合及能力瓶颈区间需要迂回调整的外溢车流集合，并按照相关指标进行车流调整优先级排序(支持人工确定吸引、外溢车流及调整优先级)。

步骤3：根据路网区间能力利用情况和K短径路计算模型，生成能力瓶颈区间外溢车流及能力富余区间吸引车流的备选径路，按优先级顺序和备选径路依次自动调整能力富余区间吸引车流、能力瓶颈区间外溢车流的运行径路(支持人工调整修正)，并动态更新路网能力利用情况。

步骤4：从点线车流结构、运输能力、运费运距等方面对市场需求变化径路调整方案进行综合评估。

市场需求变化场景下车流径路调整决策流程如图7所示。

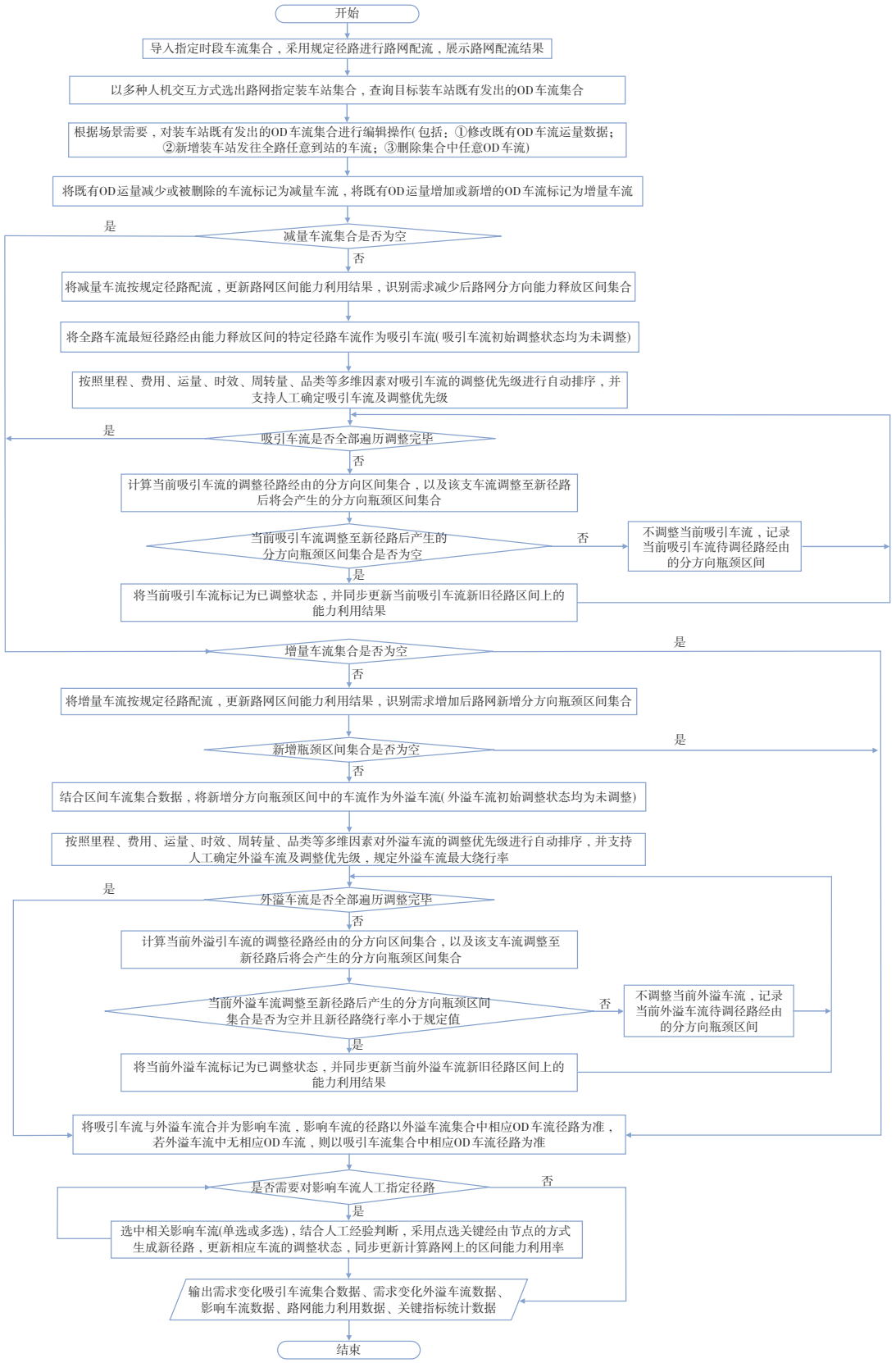


图7　市场需求变化场景下车流径路调整决策流程

Fig.7　Decision process of car flow routing adjustment in scenario of market demand changes

3.3　能力改造车流径路调整决策技术

目前，铁路营业里程由1978年的5.2万km增长到了2023年的15.9万km以上，增长205.8%，复线率和电气化率分别达到60.3%和75.2%，集通线(贲红—哲里木)增二线电化改造、沈山线(沈阳—山海关)自闭改造、宁芜铁路(南京东—火龙岗)电化改造、渝怀线(井口—怀化)增二线改造、黎湛线(黎塘—湛江)电化改造等能力补强工程顺利完工，铁路逐渐由过去运能严重不足的瓶颈制约型运输，发展为运能紧张基本缓解的逐步适应型运输，为车流径路的优化调整创造了有利条件。针对既有线路扩能改造场景，车流径路调整决策的基本流程如下。

步骤1：根据路网能力改造情况调整相关线路区间的能力参数指标，重新计算各线路区间的能力利用结果。

步骤2：分析路网能力变化对车流分布、强度的影响，自动识别线路扩能后能力富余区间吸引车流，并根据指定规则对吸引车流的调整优先级进行排序。

步骤3：根据路网区间能力利用情况和K短径路计算模型，生成能力富余区间吸引车流的备选径路，按优先级顺序和备选径路依次自动调整能力富余区间吸引车流的运行径路(支持人工调整修正)，并动态更新路网能力利用情况。

步骤4：对能力改造径路调整方案进行综合评估。

能力改造场景下车流径路调整决策流程如图8所示。

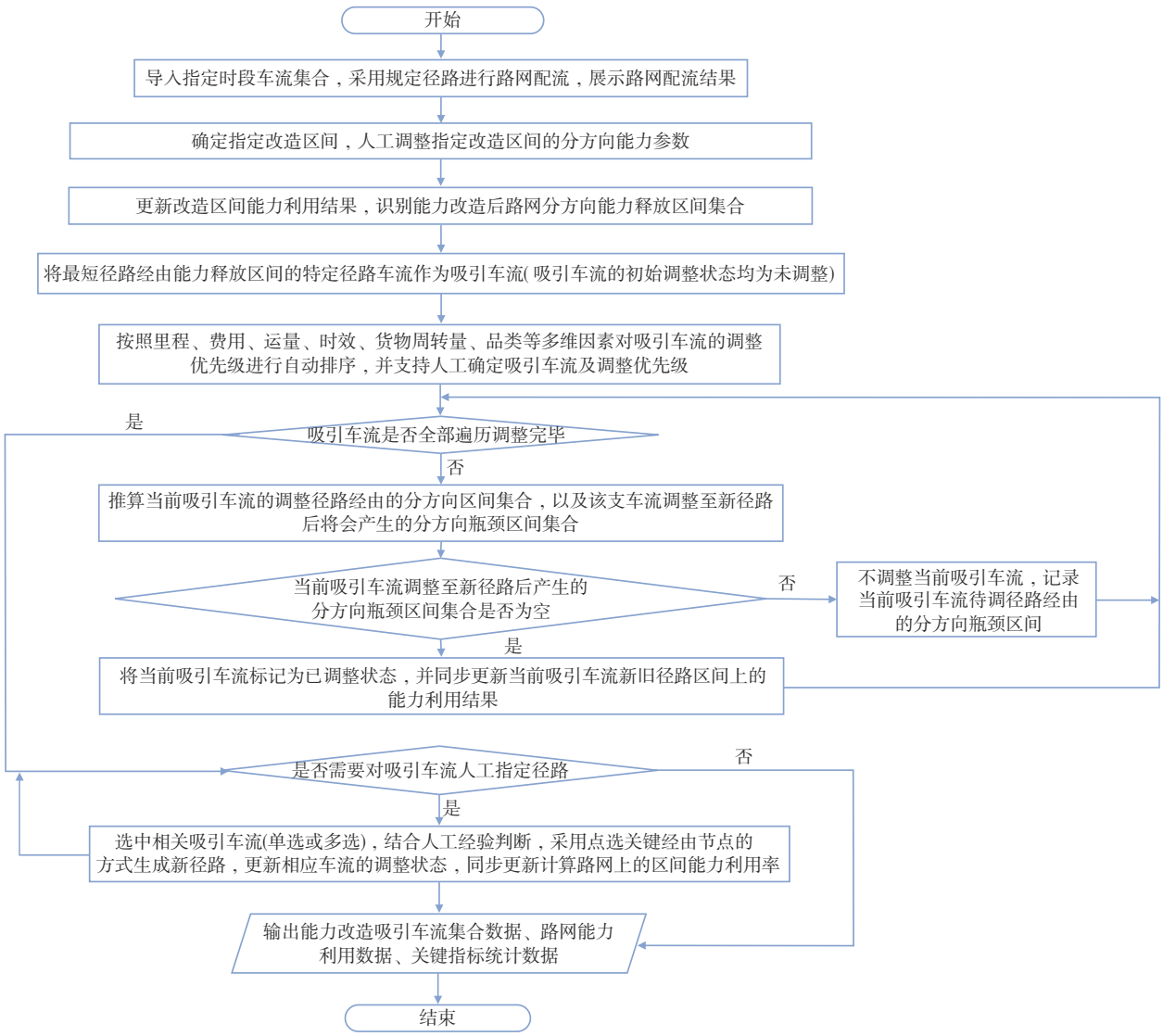


图8　能力改造场景下车流径路调整决策流程

Fig.8　Decision process of car flow routing adjustment in scenario of capacity transformation

4　结束语

车流径路调整系统的建设实施将显著提升铁路车流径路管理的信息化水平，有助于提升铁路货运组织与市场货流融合度，促进路网新增运能的高效利用，落实降低社会物流成本要求，提升铁路货运市场运输份额。在未来研究中，可以运输全链条融合发展、信息技术融合赋能为导向，充分利用国铁集团主数据中心平台优势，研究车流径路、编组计划、列车运行图一体化调整技术，促进车流径路与路网列车结构协同优化，建立车流径路与市场需求匹配的货物列车开行方案自动生成技术，更好地服务适应市场需求的货运产品设计。

参考文献：

[1] 杨文浩，张　巍，秦　胜，等. 铁路货运车流径路优化调整实践[J]. 铁道货运，2021，39(11)：7-11.
YANG Wenhao，ZHANG Wei，QIN Sheng，et al. Optimization and Adjustment Practice of Railway Freight Car Flow Path[J]. Railway Freight Transport，2021，39(11)：7-11.

[2] 舒　文，汤银英，胡广红. 考虑碳排放的车流径路与列车编组计划综合优化[J]. 铁道运输与经济，2024，46(12)：88-99.
SHU Wen，TANG Yinying，HU Guanghong. Comprehensive Optimization of Train Flow Route and Marshalling Plan Considering Carbon Emission[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(12)：88-99.

[3] 周明玺，郑平标，秦　胜. 考虑技术站编组去向的车流径路优化研究[J]. 铁道运输与经济，2024，46(3)：17-28，64.
ZHOU Mingxi，ZHENG Pingbiao，QIN Sheng. Traffic Routing Optimization Considering Train Destinations of Technical Stations[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(3)：17-28，64.

[4] 赵伊楠，林柏梁. 需求不确定的铁路车流径路优化模型[J]. 中国铁道科学，2024，45(1)：190-202.
ZHAO Yinan，LIN Boliang. Optimization Model of Railway Wagon Flow Path with Uncertain Demand[J]. China Railway Science，2024，45(1)：190-202.

[5] 刘　畅. 铁路货车车流径路、货物计费径路联合优化模型[J]. 铁道学报，2023，45(12)：26-36.
LIU Chang. Joint Optimization Model for Railway Car Flow Path and Freight Charging Path[J]. Journal of the China Railway Society，2023，45(12)：26-36.

[6] 边利平. 国家能源集团铁路网扩能改造方案与车流径路联合优化模型[J]. 铁道运输与经济，2022，44(13)：148-156.
BIAN Liping. Joint Optimization Model for Network Capacity Expansion Revamping Scheme and Car Flow Routing of China Energy[J]. Railway Transport and Economy，2022，44(13)：148-156.

[7] 杨文浩，邓桂星，张　锐，等. 车流径路辅助决策系统优化与实践[J]. 铁道货运，2021，39(7)：1-8.
YANG Wenhao，DENG Guixing，ZHANG Rui，et al. Optimization and Practice of Decision Supporting System for Car Flow Routing[J]. Railway Freight Transport，2021，39(7)：1-8.

[8] 龚　帆，李世彪. 承运清算对运输组织的影响分析及对策思考[J]. 铁道运输与经济，2018，40(11)：38-43，76.
GONG Fan，LI Shibiao. An Analysis on the Impact of Transport Liquidation on Transport Organization and Countermeasures[J]. Railway Transport and Economy，2018，40(11)：38-43，76.

[9] 段嘉伟，陈秋文，孙　佩. 铁路货运最短车流径路算法与实现[J]. 中国铁路，2022(2)：164-170.
DUAN Jiawei，CHEN Qiuwen，SUN Pei. Algorithm and Implementation of the Shortest Car Flow Routing for Railway Freight[J]. China Railway，2022(2)：164-170.

[10] 何世伟，刘明玮，冯　骁，等. 考虑路网点线能力协调的铁路车流径路优化模型[J]. 北京交通大学学报，2021，45(1)：1-7.
HE Shiwei，LIU Mingwei，FENG Xiao，et al. Optimizing Model for Car Routing Considering Point-Line Capacity Coordination in Railway Network[J]. Journal of Beijing Jiaotong University，2021，45(1)：1-7.

[11] 刘海涛，张　巍，秦　胜. 基于多品类多车种的铁路网重空车流径路联合优化研究[J]. 铁道运输与经济，2022，44(4)：1-7.
LIU Haitao，ZHANG Wei，QIN Sheng. Research on Joint Optimization of Loaded-Empty Car Flow Routing in Railway Network Based on Multiple Freight Categories and Multiple Wagon Types[J]. Railway Transport and Economy，2022，44(4)：1-7.

[12] 张　锐，邓桂星，李世春，等. 基于Dijkstra算法铁路运输径路的研究[J]. 铁路计算机应用，2019，28(10)：12-15.
ZHANG Rui，DENG Guixing，LI Shichun，et al. Railway Transportation Route Based on Dijkstra Algorithm[J]. Railway Computer Application，2019，28(10)：12-15.

[13] 中国国家铁路集团有限公司. 国铁集团关于印发2023年信息化项目建设计划的通知[A]. 北京：中国国家铁路集团有限公司，2023.

[14] 王道奇. 铁路货物列车编组计划数字化编制系统构建研究[J]. 铁道运输与经济，2024，46(7)：87-96.
WANG Daoqi. Research on the Construction of Digital Compilation System for the Railway Freight Train Marshalling Plan[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(7)：87-96.

（责任编辑：李丹丹）

（下转第42页）