

自动驻车技术下重载列车运输组织优化研究



吴析橙¹, 王瀛帆^{1,*}, 王水明²

¹北京交通大学交通运输学院, 北京 100044

²上海全路通铁道装备有限公司, 上海 201315

摘要: 近年来我国重要的煤运通道朔黄铁路的运输能力趋于饱和, 通过运输组织优化提升运能是短期内实现扩能优化的重要途径。本文在阐述朔黄铁路运量现状的基础上, 运用时间序列法对 2030 年运量进行预测, 分析 4.5 亿吨运量目标下的技术条件。基于朔黄铁路近期应用的一种新型自动防溜装置, 围绕车站作业效率和列车运输组织两方面, 通过压缩货物在站作业时间、优化天窗影响区、天窗日实行区间停车模式, 对朔黄铁路运输组织现状进行优化。研究发现, 当 2 万吨列车开行比例达到 60% 以上, 朔黄铁路可实现年运量 4.5 亿吨的运量目标; 通过压缩天窗影响区, 全年可增开 197 列 2 万吨列车; 采用区间停车模式可增加约 69 万吨年运量。在此基础上, 提出分阶段的优化步骤, 为朔黄铁路扩能增效提供技术参考。

关键词: 朔黄铁路; 重载运输; 扩能优化; 运输组织; 自动驻车技术

DOI: [10.57237/j.se.2022.01.006](https://doi.org/10.57237/j.se.2022.01.006)

Research on the Traffic Organization of Heavy-haul Trains Based on Automatic Parking Technology

Wu Xicheng¹, Wang Yingzhi^{1,*}, Wang Shuiming²

¹School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

²Shanghai Trainslandtop Railway Equipment Co., Ltd, Shanghai 201315, China

Abstract: In recent years, the transportation capacity of Shuohuang Railway, an important coal transportation corridor in China, has become saturated. To exploit potentialities and raise efficiency, transportation organization optimization is the key way in the short term. Based on elaborating the present situation of traffic volume on the Shuozhou-Huanghua railway, the traffic volume of 2030 is predicted by the time series method, which is found that under the condition of existing equipment and transportation organization, the railroad capacity is not able to meet the transportation demand. This paper analyzes the technical conditions under the traffic volume target of 450 million tons and proposes the phased optimization steps of transportation organization on the Shuozhou-Huanghua railway from two aspects of station operation efficiency and train transportation organization based on a new type of automatic parking device. A series of optimization measures for capacity expansion and efficiency improvement are raised, such as dwell time compression of

基金项目: 国能朔黄铁路发展有限责任公司科技创新项目 (SHTL-2020-08);
中国国家铁路集团有限公司重点科研项目 (N2021X021).

*通信作者: 王瀛帆, 21114021@bjtu.edu.cn

收稿日期: 2022-09-13; 接受日期: 2022-10-17; 在线出版日期: 2023-01-05

<http://www.sciandeng.com>

cargo at the station, skylight influence area compression and interval parking mode on skylight day. It is found that when the proportion of 20,000 tons of trains reaches more than 60%, the Shuozhou-Huanghua railway can achieve the volume target of 450 million tons. The compression of the skylight influence area could add 197 additional trains of 20,000 tons every year. And the interval parking mode could increase the annual capacity by about 690,000 tons.

Keywords: Shuozhou-Huanghua Railway; Heavy-haul Transportation; Capacity Optimization; Transportation Organization; Automatic Parking Technology

1 引言

朔黄铁路是我国“西煤东运”的第二大通道，其全长 597.3km，西起山西省神池南站，东至北方煤炭下水重要港口黄骅港。朔黄铁路也是“三西”煤运北通道的重要组成部分，承担着华东、东南沿海地区能源供应的重要责任，主要外运国家能源集团所属的神朔线、准池线煤炭及部分“三西”地区的地方煤炭，是我国继大秦铁路之后第二条 I 级双线电气化重载铁路，在全国铁路路网中占有重要地位。自 2000 年开通至今，朔黄铁路年运量以千万级增长，截至 2021 年，年运量已达 3.6 亿吨。随着运输压力逐年攀升，线路运能趋于饱和，扩能势在必行。

运输扩能一方面需要开展大规模建设，另一方面则是对既有运输资源的挖潜提效[1]。目前朔黄铁路扩能改造的研究包括局部区段改造[2]、车站布置[3, 4]、设备改造[5, 6]，这类改造对运能提升具有较为显著的优化效果，但通常建设周期较长且具有高投入和高成本性。在线路坡度和平纵状况不变的情况下，运输组织优化是短期内有效缓解运输能力和需求矛盾最现实的选择。

目前关于朔黄铁路运输组织优化的研究，主要集中于对部分重要车站的运输组织优化[7, 8]以及基于既有技术、设备对原有运输组织技术的改进[9, 10]。本文在该基础上，围绕朔黄铁路近期应用的一种新型自动防溜装置，从车站作业效率和列车运输组织两方面，探讨朔黄铁路运输能力提升途径，以期打破运输能力对朔黄铁路发展的限制，实现朔黄铁路 4.5 亿吨运量目标。

2 朔黄铁路运量现状与预测

自 2000 年开通运营至今，朔黄铁路年运量已达 3.6 亿吨。2021 年，朔黄铁路全年煤炭运量达 3.64 亿吨，同比增长 13.75%。在“公转铁”政策导向下，运量在短期内依然存在进一步上涨的趋势。根据朔黄铁路 2000-2021 年的煤炭运量，构建时间序列预测模型，运用 Levenberg-Marquardt 算法计算可知，2030 年朔黄铁

路煤炭运量将达到 5.18 亿吨。为满足运输需求的快速增长，朔黄铁路制定了近期 4.5 亿吨，远期 5 亿吨的运输目标。然而在现有设备设施和运输组织条件下，线路能力已得到充分利用，为适应 4.5 亿吨运量目标，有必要在新设备、新技术条件下对朔黄铁路进行扩能优化研究。

3 4.5 亿吨年运量目标下的技术条件

目前，朔黄铁路列车编组主要有 2 万吨列车、万吨列车和普通货物列车三种形式，编组方式如表 1 所示，其最小追踪间隔时间分别为 15min、12min、7min。根据国家能源集团 2021 年铁路列车运行图技术资料，朔黄铁路日均开行 2 万吨列车、万吨列车、普通列车的比例分别为 40%、40%和 20%。线路全年共 97 个天窗日，天窗时间为 4 小时，共计 388 小时，现将天窗时间分摊到全年中，则每日分摊的天窗时间为 63.8min，即 $T_{\text{天窗}} = 63.8 \text{ min}$ 。在不考虑其他限制因素的情况下，朔黄铁路的日线路通过能力计算公式如式 (1) 所示[11]。

$$N = \frac{T - T_{\text{天窗}}}{I} \quad (1)$$

式中， N 为不同种类列车每日开行数量，列； T 为该类列车每日运行时间，min； I 为列车追踪间隔时间，min。

则 $N_{2\text{万吨}} = 34$ 列， $N_{\text{万吨}} = 42$ 列， $N_{\text{普列}} = 32$ 列。

铁路输送能力计算公式如式 (2) 所示[12]。

$$G = \frac{365N\phi Q}{k \times 10^4} \quad (2)$$

式中， G 为年输送能力，万吨； ϕ 为列车净载质量系数，即列车净质量与总质量之比，一般取 0.70-0.80； Q 为货物列车牵引总质量，吨； k 为月间货运量波动

系数，一般取 1.0-1.3。

表 1 朔黄铁路货物列车编组情况

种类车型	C64 (辆)	C70 (辆)	C70E (辆)	C80 (辆)	KM98 (辆)	牵引总重 (吨)
2 万 t	—	—	—	216	—	21600
万 t	132	116	116	108	104	11600
普列	66	58	58	54	52	6000

根据实际情况，选取 $\phi_{2\text{万吨}} = 0.80$ ， $\phi_{\text{万吨}} = 0.78$ ， $\phi_{\text{普列}} = 0.74$ ， $k = 1.0$ [13]。则朔黄铁路年输送能力为： $G_{2\text{万吨}} \approx 2.14$ 亿吨， $G_{\text{万吨}} \approx 1.39$ 亿吨， $G_{\text{普列}} \approx 0.52$ 亿吨，则 $G_{\text{总}} \approx 4.05$ 亿吨。由上述推算可以看出，不考虑其他

限制条件，朔黄铁路在现有设备和运输组织条件下，年线路通过能力最高可达 4.05 亿吨，以目前的发车密度和列车牵引定数尚不能满足 4.5 亿吨的运量目标。

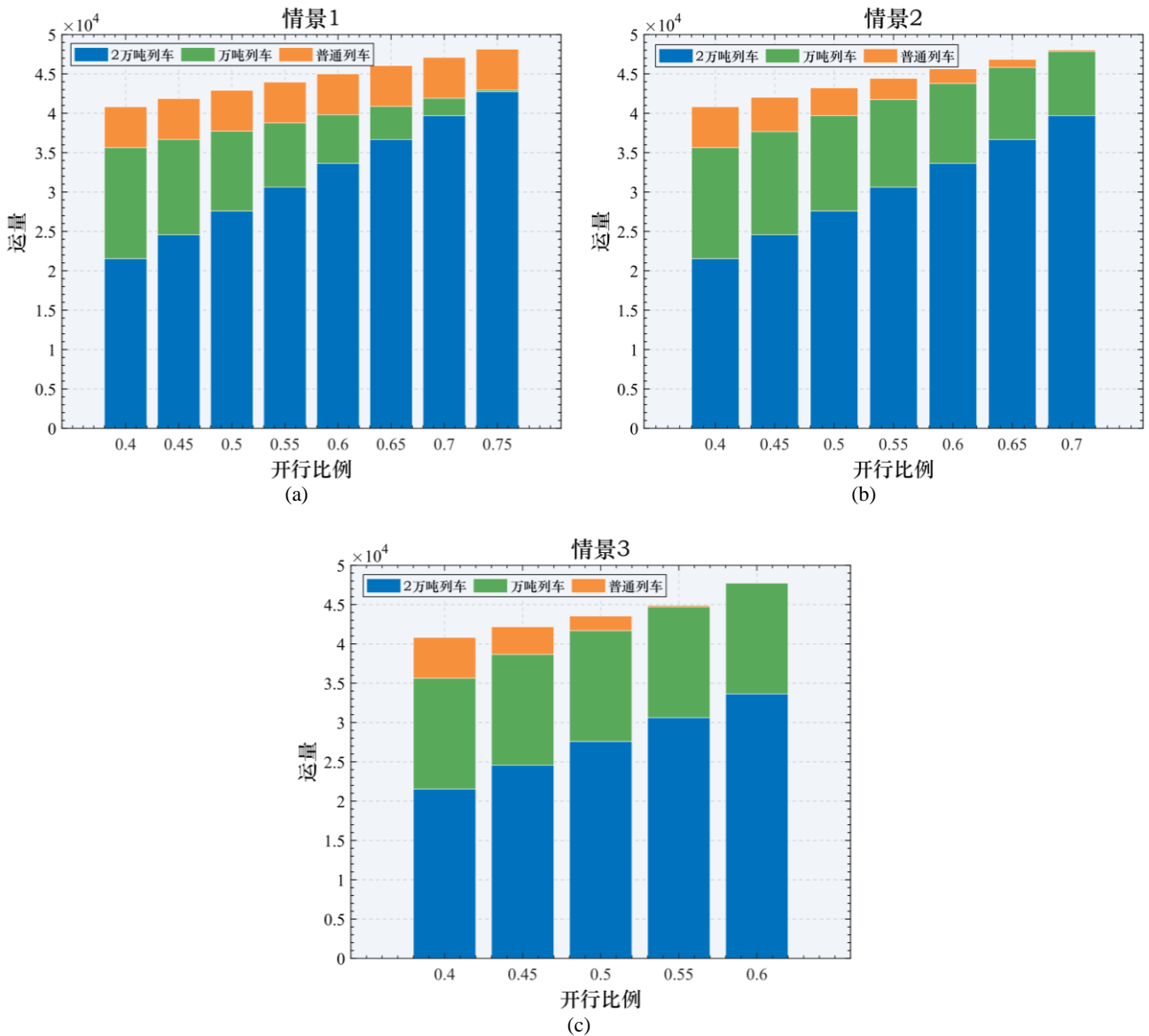


图 1 列车开行比例场景分析

按此技术标准，若全开行 2 万吨列车，要达到 5 亿吨的运量目标，需进一步提高 2 万吨列车的开行比例。本文以 5% 为间隔增加 2 万吨列车的开行比例，分析增开 2 万吨列车对运量的影响情况。假设情景 1：2 万吨列车开行比例每提高 5%，万吨列车开行比例降低 5%；假设情景 2：2 万吨列车开行比例每提高 5%，普通列车开行比例降低 5%；假设情景 3：2 万吨列车开行比例每提高 5%，万吨列车和普通列车开行比例各减少 2.5%，测算结果如图 1 所示。由图 1 可知，当 2 万吨列车开行比例上升至 60% 时，运量可达 4.5 亿吨。

4 自动驻车技术下的运输组织优化途径

为提升防溜自动化水平，朔黄铁路在现有重载铁路上推广应用一种新型自动驻车器[14]，将自动驻车器安装在车辆上，利用列车管风压为信号来控制车辆自动驻车器的动作，可实现自动防溜和自动解除的功能。现场实验证明：该设备的运用不仅可替代车站传统的人工防溜措施，平均一列车可节约 10-15min 防溜作业时间，而且突破了传统防溜工具在线路防溜的局限性，能够在任意≤12‰坡度的线路上实现全时空安全停放。

本节基于新型自动驻车技术，从车站作业效率和列车运输组织两方面，探讨朔黄铁路运输组织优化途径。

4.1 提高车站作业效率

4.1.1 车站作业优化环节

车站作业流程基本框架如图 2 所示[15]，从整个车站作业过程来看，装卸车作业是车站作业的重要环节。依据车站防溜作业规范，装卸作业时间超过 240min 的车站，需进行双防溜作业。目前朔黄铁路全线 34 个车站中，有 7 个装车站和 14 个卸车站需要按规定进行防溜。当前朔黄铁路沿线车站的主要装卸方式为：装车时，由调车机车取送待装车列至货场作业点进行对位，对位完成后，作业人员拧紧手闸，方可将车头摘下，放置铁鞋防溜后，开始装车；卸车时，调车员设置手闸防溜后，进行脱钩作业摘下机车，放置铁鞋，货场人员开始卸车。车辆卸空取车前，调车员需走到车列尾部，机车连挂后方可撤除防溜。在此过程中，由于人力防溜的工作流程较为繁琐，作业人员走行时间较长，从而延长货物在站作业时间，制约全线车站作业效率。

4.1.2 优化效果

通过实地调研，每列车的防溜作业、撤销防溜作业时间各需要 10-15min，总作业时间 20-30min。应用自动驻车器即可节省防溜作业时间。以神池南站为例，取最小值 20min 作业时间进行计算，当前神池南站的取车时间为 63min，安装自动驻车器后，每装 3 列车的时间即可多取 1 列车，从而加速货车周转，实现全线运输能力的提升。

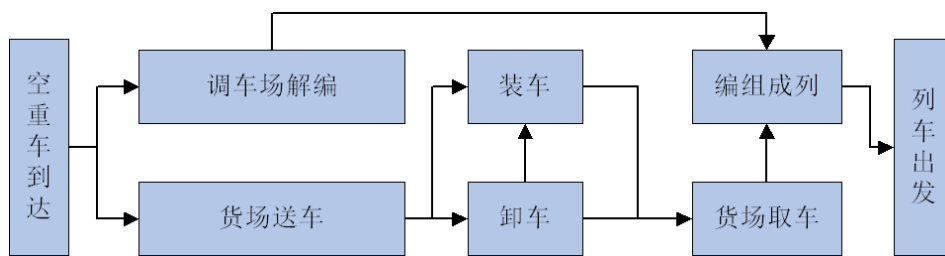


图 2 车站作业流程框架

4.2 列车运输组织优化

4.2.1 优化对象

压缩列车追踪间隔是列车运输组织优化的重点内容。目前朔黄铁路满足 2 万吨列车停靠条件的车站仅 10 个，分别为神池南、原平南、东冶、小觉、西柏坡、定州西、肃宁北、沧州西、黄骅南、黄骅港，各车站

站间距如图 3 所示。朔黄铁路维修天窗采用垂直天窗，天窗期内全线断电，列车不能继续运行。为保证行车安全，列车须于天窗开设前在就近车站停车等待，待天窗结束后方可继续运行。这意味着天窗期内 2 万吨列车的列车追踪距离将扩大为相邻 2 万吨列车停靠站的站间距，造成运能损失。

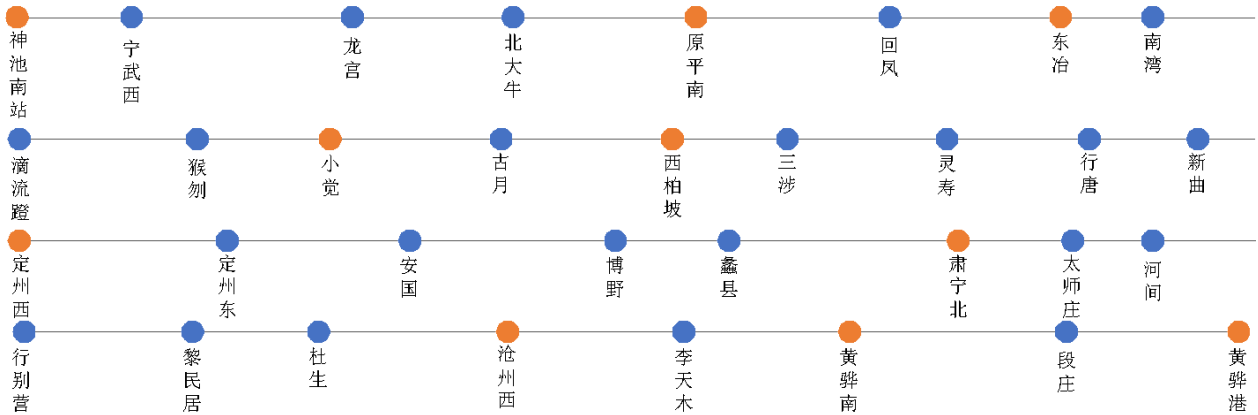


图3 车站站间距

4.2.2 优化策略

一是压缩天窗影响区，通过应用自动驻车器缩短天窗期内的辅助作业时间，运输企业可以利用节省的时间在原天窗影响区内增开列车；二是天窗期内开设区间停车模式，允许列车停放在距离天窗最近的区间停车标处，而不是距离天窗最近的车站，能有效缩短天窗对列车运行的影响距离。目前天窗日区间停车模式已成功应用于大秦铁路且取得良好成效，但大秦铁路的区间停车仍以人工防溜为主，存在额外的成本和时间消耗。而自动驻车器的应用为朔黄铁路实行区间停车模式提供了重要的技术条件。

4.2.3 优化效果

经现场测试，运用自动驻车器后，天窗影响区预计可缩短 20-30min，可在原开行方案基础上增开 2 列 2 万吨列车，朔黄铁路全年共 97 个天窗日，预计通过压缩天窗影响区，全年可增开 197 列 2 万吨列车；采用区间停车预计可以增开 3.5 列 2 万吨列车和 0.25 列普通列车，每个天窗日最高可提升 71250 吨运量，年运量增加 6911250 吨。

5 朔黄铁路重载列车运输组织优化步骤

1) 第一阶段。基于新型自动驻车器，通过优化车站防溜作业流程，压缩货车周转时间，平均每列车在站作业时间减少 20-30min；优化天窗影响区，增加 2 万吨列车开行密度，自动驻车技术下每个天窗日可增开 2 列 2 万吨列车，年运

量预计增加 0.03 亿吨。

- 2) 第二阶段。在坡度 $\leq 12\%$ 的区间内铺画区间停车标，天窗期内采用区间停车模式，列车可越过车站，在天窗附近的区间停车标处停车，实现以最小追踪间隔进行发车，压缩原有列车发车时间范围，并在空白时间段增开列车，年运量预计增加 0.069 亿吨。
- 3) 第三阶段。优化车流结构，增加适用编开 2 万吨列车的 C80 车体。为实现 4.5 亿吨运量目标，2 万吨列车开行比例至少达到 60% 以上，因此，还应在现有 C80 车体的基础上还应购入 C80 车体 $(66-34) \times 216 = 6912$ (辆)。
- 4) 第四阶段。自动驻车技术下的车站扩能改造。根据朔黄铁路 4.5 亿吨运量的目标和持续发展的需要，开行 3 万吨重载列车势在必行，将神池南、行别营、段庄的改造为 3 万吨停靠站，以满足开行 3 万吨重载列车的组合和分解；为满足 2 万吨车站站间距要求，将龙宫、灵寿、安国改造为 2 万吨停靠站。

6 结论

为满足运输需求的快速增长，本文对朔黄铁路运量现状及发展趋势进行分析，测算 4.5 亿运量目标下的技术条件，并基于新型自动驻车器，从车站作业和列车运输组织两个方面，提出朔黄铁路短期扩能增效的分阶段组织优化步骤，研究结果表明：

- 1) 当 2 万吨列车开行比例达到 60% 以上，朔黄铁路可实现年运量 4.5 亿吨的运量目标；
- 2) 自动驻车器的应用能有效压缩货车在站作业时间，降低人力成本，以实现全线降本增效；

- 3) 自动驻车器为天窗日列车运输组织优化提供技术条件，通过压缩天窗影响区，全年可增开 197 列 2 万吨列车；区间停车模式预计可增加约 69 万吨年运量。

随着铁路技术、设备的不断革新，运输组织方式也需要不断优化。在运输组织方面，通过新型的防溜装置，实现线路的安全高效运输，为铁路货物运输向自动化、智能化方向发展提供参考。

参考文献

- [1] 丁辉. 神华铁路 30 吨轴重重载运输组织及相关问题研究 [D]. 兰州交通大学, 2016.
- [2] 尚培培. 朔黄重载铁路局部区段扩能改造方案研究 [J]. 铁道建筑, 2022, 62 (02): 158-162.
- [3] 尚培培. 朔黄铁路扩能改造工程小觉站站改施工过渡方案技术分析及施工探讨 [J]. 铁道勘察, 2015, 41 (05): 77-81.
- [4] 陈彦明, 冯伟, 宋鹏超. 朔黄铁路轩岗煤电专用线方案设计 [J]. 工程机械与维修, 2021 (05): 216-219.
- [5] 王秋燕. 朔黄铁路三显示改四显示通过能力变化分析 [J]. 中国铁路, 2020 (07): 116-120.
- [6] 何占元, 张艳辉. 朔黄铁路重载无线闭塞中心系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (04): 6-12+18.
- [7] 何宇强. 大幅增量条件下朔黄铁路运输组织优化研究 [J]. 铁道货运, 2017, 35 (05): 20-24.
- [8] 杨泓. 神池南站运输组织优化关键技术研究 [D]. 西南交通大学, 2016.
- [9] 康亚鹏. 朔黄铁路 2 万吨列车开行方案研究 [D]. 石家庄铁道大学, 2017.
- [10] 徐磊. 朔黄铁路重载列车组织方案研究 [J]. 铁道货运, 2017, 35 (01): 10-15.
- [11] 王春毅. 朔黄铁路 5 亿 t 运输组织方案研讨 [J]. 中国铁路, 2017 (12): 78-83.
- [12] 杨浩. 铁路运输组织学 (第四版) [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.
- [13] 王春毅. 朔黄铁路量化开行 2 万 t 重载列车运输组织研究 [J]. 中国铁路, 2018 (07): 48-52.
- [14] 王登师. 浅析 C80 车辆自动防溜装置 [J]. 内燃机与配件, 2021 (14): 57-58.
- [15] 李博. 基于协同理论的麻城站运输组织优化研究 [D]. 中国铁道科学研究院, 2021.