文章编号：2097-5899(2026)04-0041-09　　**中图分类号**：U294.1　　**文献标识码**：A
DOI：10.16669/j.cnki.issn.2097-5899.202502110001
引用格式：张岩，樊笑棋，李叶俊. 朔黄铁路列车运行自动调整系统研究[J]. 铁路物流，2026，44(4)：41-49.
ZHANG Yan，FAN Xiaoqi，LI Yejun. Research on Automatic Adjustment System for Train Operation of Shuohuang Railway[J]. Railway Logistics，2026，44(4)：41-49.

朔黄铁路列车运行自动调整系统研究

张　岩[1,2]，樊笑棋[2]，李叶俊[1]

(1. 西南交通大学 交通运输与物流学院，四川 成都　610031；2. 国能朔黄铁路发展有限责任公司 科学技术委员会办公室，河北 肃宁　062350)

摘　要：朔黄铁路作为重要的煤炭运输通道，其高效、安全的列车运行对于保障能源供应和区域经济发展具有重要意义。然而，随着运输需求的不断增长，传统的列车调度方式已难以满足现代铁路运输的高效率和安全性要求。因此，基于朔黄铁路列车运行调整需求分析，提出朔黄铁路列车运行自动调整系统功能模块及技术方案，包括输入数据、冲突启动、冲突列车识别、冲突消解、调整结果展示及列车恢复运行模块。以在途列车成功扣停数和扣停列车成功恢复数最大为优化目标，考虑列车长度、股道占用、列车安全间距等因素建立扣车方案与发车方案优化模型实现系统开发，并在朔黄铁路调度一台进行试验。结果表明，在列车运行秩序发生紊乱时，系统能快速给出高质量的运行线冲突消解方案，为列车调度员提供决策支持，提升了调度决策的效率和质量。

关键词：朔黄铁路；列车运行；自动调整系统；智能调度；运输效率

0　引言

随着我国经济的快速发展，能源需求日益增长，铁路作为主要的能源运输方式之一，承担着巨大的运输任务[1]。朔黄铁路(神池南—黄骅港)作为我国西煤东运的第二大通道，其运输效率和安全性对保障国家能源安全和区域经济发展具有举足轻重的作用。由于列车运行过程中可能受人因失误、设备故障、极端天气等多种因素影响导致列车运行秩序紊乱、区间列车运行调整困难，列车调度工作中存在巨大挑战[2]。朔黄铁路万吨、2万吨级列车常态化开行，具有大载重、长编组、启动慢、制动距离长等特点，传统的铁路人工调度方式和运行调整策略难以满足朔黄铁路对高效率和高可靠性的要求。

提升列车运行调整的自动化与智能化程度成为解决上述问题的关键所在。本研究围绕朔黄铁路展开深入研究，着力构建列车运行自动调整系统，并对其系统结构及功能模块进行了研究与开发。实际应用表明，当列车运行秩序出现紊乱时，系统能迅速响应，快速给出高质量的运行线冲突消解方案，为列车调度员提供强有力的决策支持。

1　国内外铁路列车运行自动调整系统研究现状

现阶段铁路列车运行计划调整更多借助计算机辅助人工完成决策，调度行为多受现场调度员个人经验、能力及习惯影响，效率低下，容易出错。而频发的铁路突发事件和繁重的施工计划使人工调整模式在输出计划的可用性、一致性和优化率等方面难以达到最优。国内外学者主要从数学模型建模、模拟仿真及运行调整系统建设方面对铁路列车运行调整进行了研究。

铁路列车运行调整模型方面，现有研究主要以列

收稿日期：2025-02-11
通信作者：李叶俊(1995—)，男，湖北荆州人，西南交通大学交通运输与物流学院工程师。
基金项目：国家能源投资集团有限责任公司科技创新项目(GJNY-22-84)

车晚点时间最小、晚点列车数量最少、列车能耗最低、加线成功的列车数量最大等为目标建立模型，以遗传算法、迭代求解算法、贪心算法、蚁群算法、粒子群算法、人工鱼群算法、模拟退火算法、萤火虫算法等方法求解最优方案。周晓昭[3]运用改进的蚁群算法和萤火虫算法对列车运行调整晚点传播，以及其他干扰场景下的运行调整模型进行求解，实现了对复杂路网的列车运行调整。牛晋财等[4]将人工鱼群算法与模拟退火算法相结合，提高了列车运行调整问题模型的求解效率。赵子洪[5]提出了面向服务间隔时间的运行图优化模型，并设计基于遗传原理的综合优化算法对模型进行求解。毛万华等[6]以加线成功的列车数量最大为目标，考虑列车运行图区间运行时间、停站时间、安全间隔时间及原始列车调整程度等约束，建立列车运行图新增列车运行线整数规划模型并求解。赵乐等[7]采用模拟仿真的方式设计了一种适用于客货混跑、单双线混合的网状结构的列车运行图自动调整算法，并以神朔铁路(大柳塔东—神池南)某班的班计划自动调整结果为算例进行分析，但未考虑股道的优化运用以及冲突列车的调优问题。

铁路运行调整仿真与系统建设方面，主要包括专家系统和仿真系统。如日本新干线综合运行管理系统(COSMOS)、欧洲铁路运输管理系统(ERTMS)、欧洲列车控制系统(ETCS)、铁路运营管理应用系统(ROMA)等智能化列车运行或调度指挥仿真实验系统，这些系统主要实现了运行图编制、列车运行仿真、可视化、调度分析、晚点实时预测、冲突监测与分析、列车运行辅助决策等功能；日本三菱电气公司开发的列车运行专家系统(ESTRAC)利用启发式规则结合分支定界法，实现了较小规模路网的列车顺序调整[8]，此后还在此基础上开发了具有知识获取以及知识推理功能的优化系统[9]，该系统能够较好地利用调度员的经验和知识，模仿人工过程获取具体情况下的调整策略。

我国学者也针对专家系统和仿真系统在列车运行调整问题应用方面进行了系列研究。蔡柏根等[10]基于列车运行模拟系统开发了具有多层知识库和推理机制的列车调度专家系统，实现了根据运行模拟系统输入的不同信息自动完成调整策略。李鹏等[11]通过分析和拆分处理列车运行调整中的整体规则匹配空间，采用内部相互协同并行推理的方法分析列车运行调整过程的匹配空间，并基于对应的知识库构建了专家系统。邢科家等[12]基于业务流程管理技术，采用标准的业务流程执行语言和业务流程建模标注模型开发了列车运行计划自动调整系统。赵宏涛等[13]设计了含应用层、业务层和数据层3层架构的列车运行计划自动调整系统，构建了自动调整优化目标，提出以启发式算法自动实时输出目标最优的无冲突计划，并在中国铁路北京局集团有限公司京津城际台进行了试验。李智等[14]针对高速铁路智能CTC系统的列车运行自动调整进行研究，利用区间运行时间中的缓冲时间与图定停站时间的冗余追回列车晚点，同时还能正确处理接发车股道、动车组接续等问题，并生成无冲突的列车运行阶段计划供调度员下达。

以上关于铁路列车运行自动调整的研究多针对高速铁路，主要借助专家系统来实现列车运行的辅助调整，而针对重载铁路的研究相对较少。鉴于此，本研究在对朔黄铁路实际需求进行充分调研的基础上，构建了一套基于特定模型及算法的重载铁路列车运行自动调整系统，旨在为朔黄铁路列车运行计划调整提供科学、有效的辅助决策工具，助力列车运行效率与运行调整智能化的提升。

2　列车运行自动调整需求分析

列车运行自动调整是确保轨道交通系统高效、稳定运行的关键技术之一。在列车运行秩序发生紊乱，尤其是当前阶段计划中存在运行冲突时，这一技术显得尤为重要。列车调度员在面对这种情况时，需要迅速采取行动，调整阶段计划，以消解运行线冲突，确保列车能够按照预定的时间表运行。这一过程中，能够快速给出高质量的运行线冲突消解方案，对于列车调度员来说，是调整和优化运行计划的重要决策支持工具。

2.1　朔黄铁路运输组织基本情况

朔黄铁路是我国西煤东运的重要通道，全长约594 km，西起山西省神池南站，东至河北省黄骅港，途经多个枢纽站，包括肃宁北、西柏坡等关键节点。该线路采用自动闭塞方式，列车追踪间隔较短，但受限于站场规模、线路坡道、列车类型多样等因素，运行调整难度较大。

(1) 站场规模与接发车限制。神池南站作为朔黄铁路的起点站，承担大量空车集结与重车编组任务，但其到发线数量有限，尤其在车流高峰时易出现接不进车的现象。黄骅港站、天津港站、神港站作为卸车终端，受港口作业能力限制，车流不畅时易导致列车积压。部分中间站(如西柏坡站)到发线较短，难以适应长编组列车(如2万吨列车)的接发需求，影响运行调整灵活性。

（2）闭塞方式与追踪限制。朔黄铁路采用自动闭塞，理论上可实现最小追踪间隔6～8 min，但由于列车类型差异大，实际运行中需考虑不同列车的制动与加速性能，导致追踪间隔动态变化。

（3）列车类型多样性与运行匹配难度。朔黄铁路运行列车包括小列(5 000吨级)、万吨列、1.6万吨列、2万吨列，其长度、牵引质量、制动特性差异显著。例如，2万吨列车编组较长，部分站场到发线长度不足；同时，不同列车在大坡道区段(如12‰以上坡道)的运行速度受限，进一步增加调整难度。

2.2　朔黄铁路运行自动调整需求

基于朔黄铁路的复杂运输组织特点，列车运行自动调整需重点解决以下2类问题。

（1）车流不畅情形下的运行线调整。建立朔黄铁路港口(神港、天津港、黄骅港)和神池南站在车流不畅时的自动调整模型。例如西柏坡站接不进重车，神池南站接不进空车。该模型综合考虑到发线运用、列车总晚点时间、晚点传播、列车密度等因素，实现自动消解列车运行冲突。在车流恢复畅通后，给出列车恢复运行方案。

（2）天窗时的运行线调整。建立天窗时的自动调整模型。该模型综合考虑天窗施工期间车站或者区间的接触网停送电、封锁、限速要求，到发线运用，列车密度等因素，实现自动消解列车运行冲突。在天窗结束后，给出列车恢复运行方案。

3　列车运行自动调整系统技术方案设计

基于列车实际运行情况和线路需求，设计了一套智能化列车运行调整系统，实现对列车运行秩序的实时监控、自动化调整和优化调度功能。该系统通过模型算法和数据处理技术，能够快速响应车流不畅和天窗施工等突发情况，自动生成并执行列车运行调整方案，以确保列车运行的高效性和安全性。

3.1　系统功能描述

系统以提高列车运行效率，确保运营安全，优化资源分配为核心目标，通过精确的数据采集、实时的冲突检测、智能的调整方案生成和直观的结果展示，为调度员提供辅助决策工具。以朔黄铁路调度一台作为调整范围，并优先考虑单方向独立调整(即上/下行列车原则上不占用另一方向的股道)。尽管实际运行中，极端情况下(如断轨、咽喉道岔故障)可能需临时组织跨方向调整，但此类场景通常依赖人工干预。本模型聚焦于到发线拥堵、天窗施工限速等高频次、低复杂度的冲突场景，以快速生成可行解为首要目标。未来研究将进一步扩展模型，支持跨方向动态调整，以适应更复杂的应急需求。

（1）车流不畅情形下的运行线调整。下游的港口(神港、天津港、黄骅港)和上游的神池南站是朔黄铁路的集散中心，车流不畅时，例如港口接不进重车，神池南站接不进空车，系统能自动消解上下行的运行冲突，并展示列车运行恢复方案。

（2）天窗时的运行线调整。对于垂直天窗，系统能从西柏坡站开始平推天窗内的上行运行线，从神池南站开始平推天窗内的下行运行线，分别消解上下行的运行冲突。对于V型天窗，系统能消解上行或者下行的运行冲突。

3.2　软件系统设计

阶段计划自动调整软件系统包括数据层、业务层和应用层。其中：数据层通过朔黄铁路列车运行监控系统、车站信号系统和调度指挥系统接入列车数据、车站/区间基础数据、车站/区间状态数据和冲突时间/空间数据等；业务层包括算法引擎和核心业务模块，前者包括智能调度算法、优化算法库和规则引擎，后者包括输入数据管理服务、冲突启动服务、冲突识别服务、冲突消解服务、结果展示服务和恢复运行服务；应用层包括调度员操作界面、实时监控面板和运行图可视化。列车自动调整软件系统结构如图1所示。

（1）输入数据模块。该模块为系统的基础，负责收集和维护包括列车运行图、车次信息、到发时刻、股道分配、列车长度、追踪间隔时间等所有必要数据，为系统提供执行调整策略所需的详尽数据支持，用户可修改和保存所涉及的数据，数据模块信息如表1所示。

（2）冲突启动模块。该模块对列车运行状态进行监控，一旦检测到冲突或偏离计划，即触发调整流程，并在运行图上标识出冲突范围，为列车运行调整提供起点。系统对车流不畅和综合天窗2种调整情形进行标识，其中车流不畅在运行图上画出“冲突范围”，确定车流不畅的起止时间和线路区间；天窗时，在运行图上画出标识“区间综合天窗修”，确定天窗的时间范围和空间范围，并在属性设置中选择方向别。

（3）冲突列车识别模块。该模块进一步分析冲突情况，针对2种情形识别受影响的列车。①车流不畅情形下，例如神池南站通知某列车接进后就不再接车，冲突列车集合为：从某时开始，陆续到达神池南站的列车。②天窗时，冲突列车集合为：停车时刻(通过时

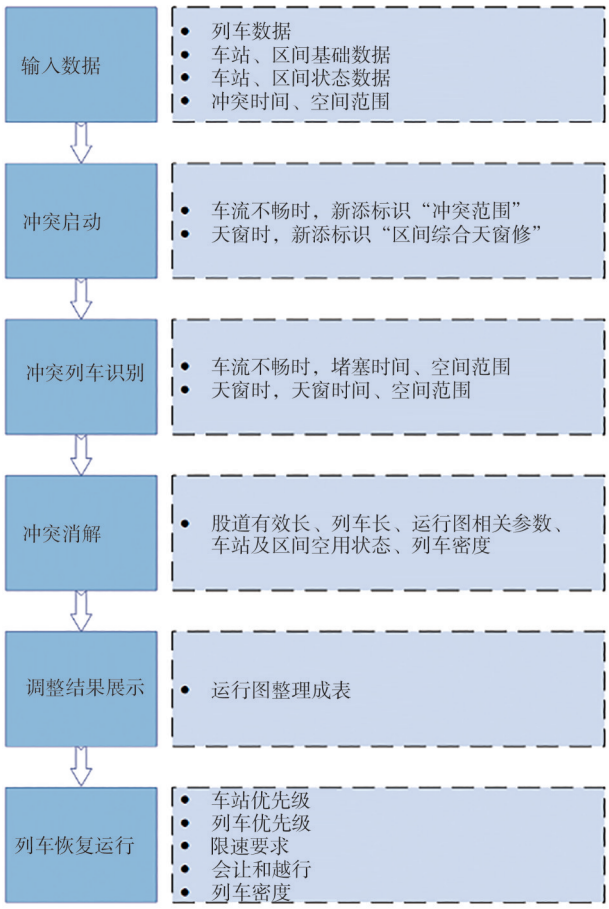


图1　列车自动调整软件系统结构

Fig.1　Structure diagram of automatic adjustment software system for train operation

刻＋停车附加时分＋2min冗余时间，以防止列车运行速度波动，作为参数)处于停电时间窗口内的列车以及计划通过封锁区段且运行时间与施工窗口重叠的列车等。

（4）冲突消解模块。该模块是解决问题的核心，集成了调度员的经验和先进的算法，对识别出的冲突列车进行建模和计算，自动生成冲突消解方案。针对识别出的冲突列车集合，集成列车调度员的日常调整经验，进行建模和计算，消解全部冲突。冲突消解考虑的因素包括：每个车站每条股道的有效长、每趟列车的长度、每趟列车类型(小列、万吨、1.6万吨、2万吨)的起停附加时分、每个车站每条股道当前的可用状态、每个区间当前的可用状态、列车密度。

（5）调整结果展示模块。该模块负责将调整方案以直观的方式展示给调度员。①运行图上直接展示调整后的方案，包括列车拦扣停结果以及恢复运行策略；②统计每个车站的拦扣停结果，以表格形式展示，包括车站、股道、车次和停站方式(压前、压后、正常)。

（6）列车恢复运行模块。冲突消解后，该模块根据冲突的当前状态，考虑车站之间的优先级、同一个车站内列车的优先级、限速要求、会让和越行、列车密度等因素，确定列车恢复运行的方案。

4　列车运行自动调整系统建模与实现

4.1　系统建模及算法

朔黄铁路列车运行自动调整系统是高效的决策支持工具，其核心通过前期预设优化模型与后期实时功能模块协同，流程化实现列车运行智能化管理与优化。其中优化模型在综合考虑列车优先级、股道有效长度、列车起停附加时间等多种因素的基础上，以最大化运行效率为目标，应用整数规划求解算法在非线性约束条件下自动生成列车运行调整方案，为实时决策提供算法支撑。各功能模块具体流程如下。

首先，数据采集模块实时收集列车、车站、线路各类实时信息，为后续分析、预警和决策提供基础数据；其次，冲突检测模块利用先进算法监控列车运行状态，发现潜在冲突或偏差立即预警；然后，系统结合已构建的优化模型，快速生成最优调整方案，运算时长控制在1 min以内，满足实时调度需求；随后，系统通过人机交互界面展示给调度员，呈现列车运行状

表1　数据模块信息

Tab.1　Information of data modules

数据名称	包含信息
运行图数据表	每条运行线的列车车次编号、在每个站的到发时刻、到发股道
每条运行线的列车信息表	车次编号、机车类型、车辆类型、编组、换长、列车类型(小列、万吨、1.6万吨、2万吨)
列车运行调整时间参数表	列车类型编号、每种列车类型的追踪间隔时间、起停附加时分、恢复运行的准备时间
车站信息表	车站编号、车站名称、车站股道编号、股道有效长、股道状态(例如施工维修、保留车、轨道车等占用)、道岔编号及状态、信号机编号及状态
区间信息表	区间名称、编号、长度、平均运行速度、当前状态(如施工维修)

态、偏差及调整建议，经调度员确认后，系统执行扣车、发车等方案；最后，冲突消解后，列车恢复运行模块评估列车当前状态，结合模型预设逻辑确定最优恢复方案，确保列车安全快速回归正常运行图，保障运营秩序平稳。

整个流程体现了朔黄铁路列车运行自动调整系统的高度自动化和智能化，为铁路运营提供了强有力的技术支持。具体算法总体流程如图2所示。

4.2　案例分析及现场应用

选取朔黄铁路调度一台所管辖区间，以天窗事件作为研究案例。

（1）股道占用冲突关系建模。建立数据库，记录每个车站的股道信息。包括：股道编号、长度、可用状态等。对于每个股道，系统分析列车占用后的连锁反应，即占用某一股道后，哪些股道将无法停车或发车。股道占用冲突关系表如表2所示。例如，在西柏坡站，股道9G被划分为2段(9G1和9G2)，当9G股道被万吨列车占用时，系统会自动更新9G1和9G2股道的状态为不可用；或当9G1股道被某小列占用时，9G2股道的状态更新为不可用，以避免列车冲突。这种实时更新确保了调度员在做出决策时，能够考虑到所有相关的股道状态。

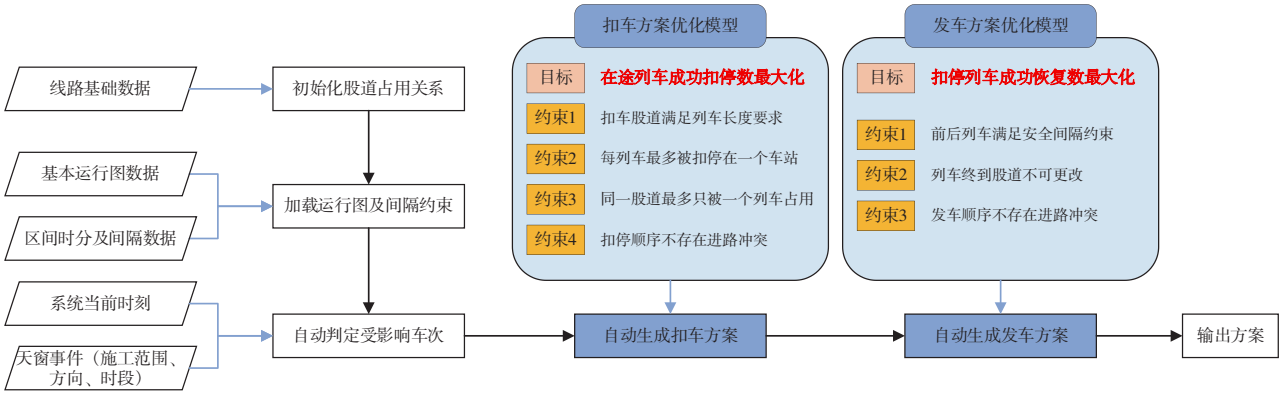


图2　算法总体流程

Fig.2　Overall flow of algorithm

表2　股道占用冲突关系

Tab.2　Conflict relationship of track occupation

车站名	股道编号	股道名	有效长/m	方向	占用后无法停车股道名	占用后无法发车股道名
西柏坡	6	4G	2 852	上行		
西柏坡	7	IIG	2 852	上行		
西柏坡	8	IG	2 946	下行		
西柏坡	9	3G	2 801	下行		
西柏坡	10	5G	2 823	下行	7G，7G1，7G2，9G，9G1，9G2，11G，11G1，11G2	
西柏坡	11	7G	1 876	下行		
西柏坡	12	9G	1 872	下行		
西柏坡	13	11G	1 882	下行	13G	
西柏坡	14	13G	1 093	下行		
西柏坡	15	IG1	1 147	下行	IG2，IG3	
西柏坡	16	IG2-3	1 799	下行		IG1
西柏坡	17	IIG1-2	1 800	上行		IIG3
西柏坡	18	IIG3	1 052	上行	IIG1，IIG2	
西柏坡	19	5G1	633	下行	5G2，5G3，7G，7G1，7G2，9G，9G1，9G2，11G，11G1，11G2，13G	

续表

车站名	股道编号	股道名	有效长/m	方向	占用后无法停车股道名	占用后无法发车股道名
西柏坡	20	5G2	924	下行	5G3	5G1
西柏坡	21	5G3	925	下行		5G1，5G2
西柏坡	22	7G1	902	下行	7G2	
西柏坡	23	7G2	899	下行		7G1
西柏坡	24	9G1	898	下行	9G2	
西柏坡	25	9G2	900	下行		9G1
西柏坡	26	11G1	898	下行	11G2，13G	
西柏坡	27	11G2	919	下行		11G1
古月	28	4G	1 078	上行		
古月	29	IIG	1 087	上行		
古月	30	IG	1 131	下行		
古月	31	3G	1 071	下行		
小觉	32	4G	2 809	上行		
小觉	33	IIG	2 806	上行		
小觉	34	IG	2 854	下行		
小觉	35	IIG1，IIG2	1 700	上行		IIG3
小觉	36	IIG3	1 106	上行	IIG1，IIG2	
小觉	37	IG1	1 054	下行	IG2，IG3	
小觉	38	IG2，IG3	1 800	下行		IG1
小觉	39	3G	2 819	下行		
猴刎	40	4G	1 060	上行		
猴刎	41	IIG	1 059	上行		
猴刎	42	IG	1 114	下行		

（2）追踪间隔约束建模。通过实时监控列车运行状态，根据运行图技术资料查定不同类型列车的最小安全间隔，确保列车之间的间隔满足该安全约束。追踪间隔约束列车自动调整运行图如图3所示。

（3）天窗事件导入＋受影响车次判别。系统能够导入天窗事件的信息，包括事件的开始和结束时间、影响的区间等。系统分析这些事件对列车运行的影响，并自动判别出哪些车次需要扣停或调整。天窗事件导入列车自动调整运行图如图4所示，红色线为未受影响车次，黑色线为受影响车次。在天窗施工期间，系统会识别出所有经过施工区间的列车，并自动生成扣停或绕行方案。例如，如果施工影响到了西柏坡站的上行线路，系统会提前通知相关列车减速或停车，以避免冲突。

（4）扣停方案自动生成。系统综合考虑股道占用、追踪间隔和天窗事件等因素，自动生成扣停方案。这些方案旨在最小化对整体运行计划的影响，同时确保列车运行的安全和效率。该方案采用“启发式＋精确”相结合的求解思路，实现自动生成扣停方案的计算时间小于1 s。扣停方案列车自动调整运行图如图5所示，假设西柏坡站的下行线路因故障需要紧急维修，系统会立即计算出受影响的列车，通过调整某些列车的发车时间、改变运行路线或在其他车站临时停车生成扣停方案。

（5）发车方案自动生成。系统综合考虑股道占用、追踪间隔和发车顺序等因素，自动生成发车方案。这些方案旨在实现扣停列车成功恢复最大化，确保列车运行计划影响最小化。发车方案列车自动生成运行图如图6所示，西柏坡站的下行线路因故障紧急维修扣停

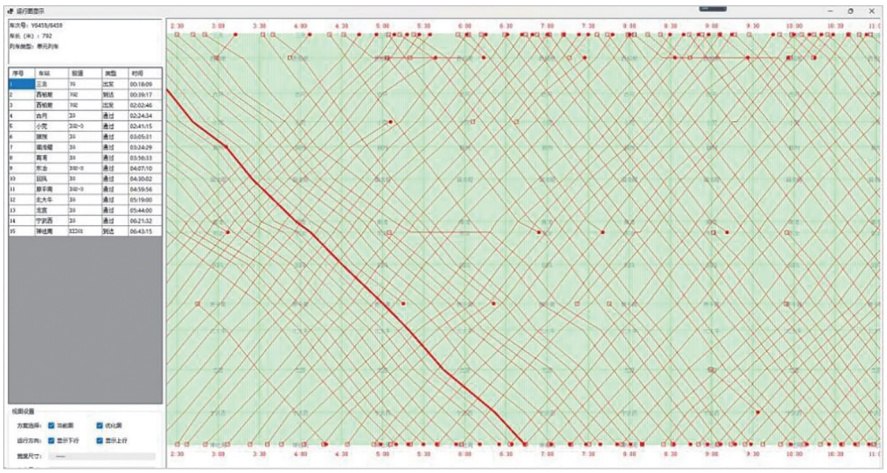


图3　追踪间隔约束列车自动调整运行图

Fig.3　Automatically adjusted train working diagram constrained by tracking interval

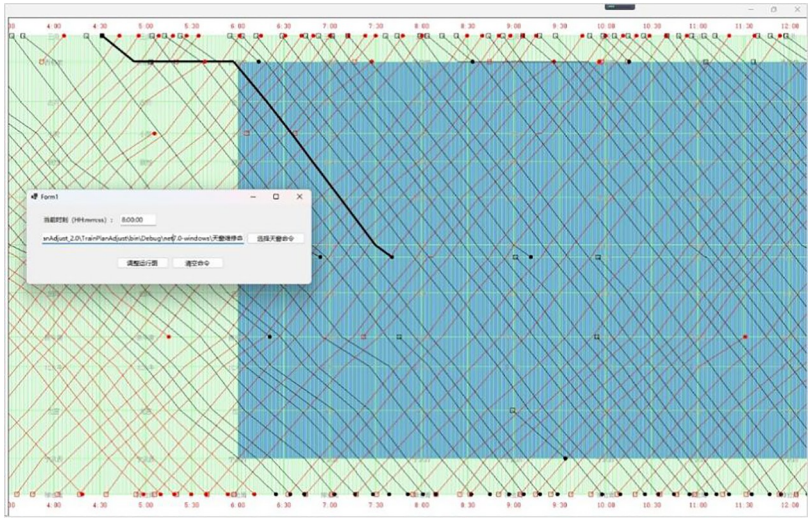


图4　天窗事件导入列车自动调整运行图

Fig.4　Automatically adjusted train working diagram imported with skylight event

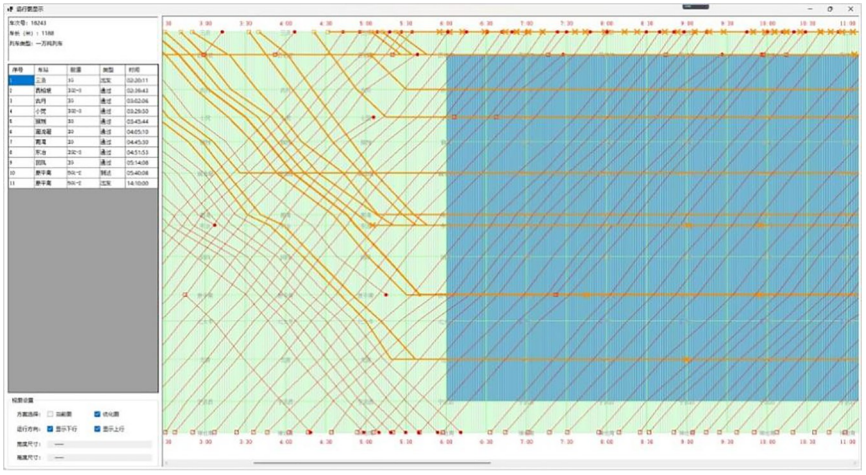


图5　扣停方案列车自动调整运行图

Fig.5　Automatically adjusted train working diagram for stopping scheme

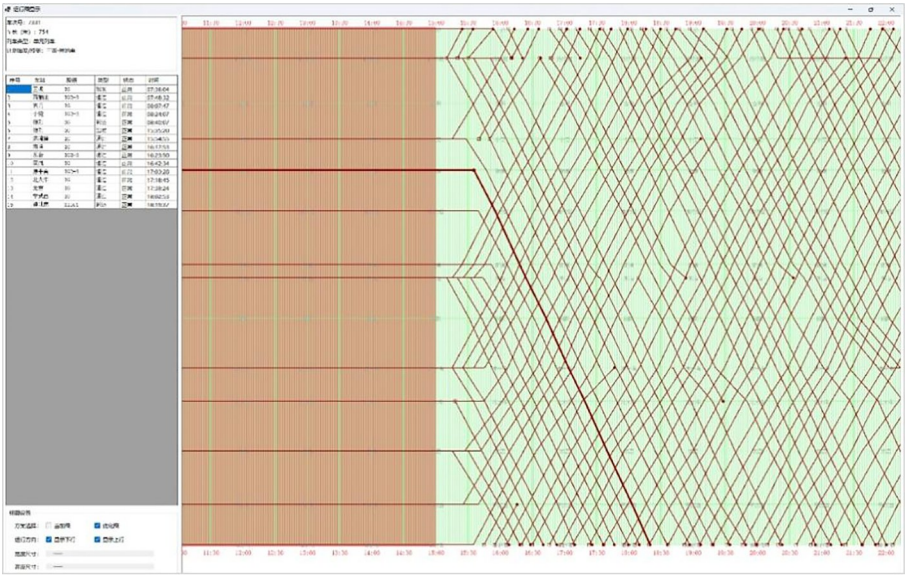


图6　发车方案列车自动生成运行图

Fig.6　Automatically generated train working diagram for departure scheme

列车，通过考虑列车等级调整列车的发车时间、改变运行路线等方式自动恢复列车运行方案，系统优先选择对列车影响最小的方案，并实时更新调度信息。

5　结束语

结合朔黄铁路列车运行场景，开发了一套基于最优化理论的列车运行自动调整系统，该系统能够在各种复杂情况下快速响应，有效解决列车运行中的冲突问题。系统通过实时数据采集、智能冲突检测、优化模型构建和高效算法求解，实现了对列车运行的精细化管理。通过人机交互界面，调度员能够直观地监控列车运行状态，接收系统建议，并进行必要的手动调整，提高了调度决策效率和准确性。系统的设计充分考虑了铁路运营的实际情况，通过非线性约束条件下的整数规划求解算法，确保了方案的可行性和运算的高效率。随着技术的不断进步，未来的研究将致力于进一步提高系统的智能化水平，包括机器学习算法的引入，以实现更加精准的预测和调整。同时加强系统在不同铁路网络环境下的适应性研究，探索跨线路、跨区域的调度策略，以实现更广泛的应用。

参考文献：

[1] 刘文杰. 国家能源集团产业一体化运营模式下铁路运输能力提升研究[J]. 铁道货运，2023，41(9)：27-33.
LIU Wenjie. Research on Improvement of Railway Transportation Capacity under Industrial Integration Operation Mode in China Energy Investment[J]. Railway Freight Transport，2023，41(9)：27-33.

[2] 赵广富. 提高临哈铁路货运能力对策研究[J]. 铁道货运，2024，42(5)：1-5，11.
ZHAO Guangfu. Countermeasures to Improve Freight Capacity of Linhe-Hami Railway Line[J]. Railway Freight Transport，2024，42(5)：1-5，11.

[3] 周晓昭. 复杂高速铁路路网下的列车运行智能调整策略与方法研究[D]. 北京：中国铁道科学研究院，2018.

[4] 牛晋财，李茂青，张雁鹏. 基于人工鱼群算法的列车运行调整方法研究[J]. 计算机工程与应用，2019，55(7)：259-264，270.
NIU Jincai，LI Maoqing，ZHANG Yanpeng. Train Operation Adjustment Based on Artificial Fish Swarm Algorithm[J]. Computer Engineering and Applications，2019，55(7)：259-264，270.

[5] 赵子洪. 面向服务间隔时间的列车运行图优化方法研究[J]. 铁道运输与经济，2019，41(7)：33-39.
ZHAO Zihong. A Research on Train Diagram Optimization Method Oriented to Service Interval Time[J]. Railway Transport and Economy，2019，41(7)：33-39.

[6] 毛万华，陈亚茹. 高速铁路列车运行图新增列车运行线优化方法研究[J]. 铁道运输与经济，2021，43(11)：1-6，26.
MAO Wanhua，CHEN Yaru. Research on Optimization Method of Newly-Added Train Paths Based on Train Running Diagram of High Speed Railways[J]. Railway Transport and Economy，2021，43(11)：1-6，26.

[7] 赵　乐，关　达. 基于资源池的铁路列车运行图自动调整算法研究[J]. 铁道运输与经济，2022，44(S1)：71-76，84.
ZHAO Le，GUAN Da. Automatic Adjustment Algorithm of Railway Train Working Diagram Based on Resource Pool[J]. Railway Transport and Economy，2022，44(S1)：71-76，84.

[8] ARAYA S F K. ESTRAC-Ⅱ：An Expert System for Train Traffic Control in Disturbed Situations[C]. European Conference on

Artificial Intelligence. Amsterdam: North-Holland, 1985：23−32.

[9] KOMAYA K，FUKUDA T. ESTRAC-Ⅲ： An Expert System for Train Traffic Control in Disturbed Situations[J]. IFAC Proceeding Volumes，1990，23(2)：147−153.

[10] 蔡柏根，王菊贞. 基于模拟的列车调度专家系统的研究[J]. 铁道学报，1992，14(3)：31−41.
CAI Baigen，WANG Juzhen. A Study on the Expert System for Train Dispatching Based on Simulation[J]. Journal of the China Railway Society，1992，14(3)：31−41.

[11] 李　鹏，张一军. 内部协同式列车运行调整专家系统的研究[J]. 中国铁道科学，1998，19(3)：1−9.
LI Peng，ZHANG Yijun. Study on Internal Coordinating Expert System for Train Traffic Regulation[J]. China Railway Science，1998，19(3)：1−9.

[12] 邢科家，刘皓玮. 基于BPM的列车运行计划自动调整系统[J]. 中国铁道科学，2009，30(1)：114−117.
XING Kejia，LIU Haowei. Automatic Adjustment System of Train Operation Plan Based on BPM[J]. China Railway Science，2009，30(1)：114−117.

[13] 赵宏涛，许　伟，陈　峰，等. 高速铁路列车运行计划自动调整系统研究[J]. 铁道运输与经济，2019，41(2)：59−64.
ZHAO Hongtao，XU Wei，CHEN Feng，et al. Automatic Adjustment System for Train Operation Plan of High Speed Railway[J]. Railway Transport and Economy，2019，41(2)：59−64.

[14] 李　智，张　涛，许　伟，等. 高速铁路智能CTC系统列车运行自动调整研究[J]. 交通信息与安全，2020，38(6)：122−128，144.
LI Zhi，ZHANG Tao，XU Wei，et al. Automatic Train Rescheduling of Intelligent CTC System for High Speed Railway[J]. Journal of Transport Information and Safety，2020，38(6)：122−128，144.

（责任编辑：汪沁萱）

Research on Automatic Adjustment System for Train Operation of Shuohuang Railway

ZHANG Yan[1,2]，FAN Xiaoqi[2]，LI Yejun[1]

(1. School of Transportation and Logistics，Southwest Jiaotong University，Chengdu 610031，Sichuan，China；2. Science and Technology Committee Office，Guoneng Shuohuang Railway Development Co.，Ltd.，Suning 062350，Hebei，China)

Abstract: As the Shuohuang Railway is an important coal transportation corridor, its efficient and safe train operation is of great significance for ensuring energy supply and regional economic development. However, with the continuous growth of transportation demand, traditional train dispatching methods can hardly meet the high efficiency and safety requirements of modern railway transportation. Therefore, based on the demand analysis for train operation adjustment of the Shuohuang Railway, this paper proposed the functional modules and technical schemes of the automatic train operation adjustment system for the Shuohuang Railway, including modules of input data, conflict initiation, conflict train identification, conflict resolution, adjustment result display, and train recovery operation. With the optimization goal of maximizing the number of successfully stopped en-route trains and the number of successfully recovered stopped trains, an optimization model for the stopping scheme and departure scheme was established considering factors such as train length, track occupancy, and train's safe spacing to realize system development, and a test was conducted at the dispatching desk 1 of the Shuohuang Railway. The results show that when the train operation order is disordered, the system can quickly provide high-quality conflict resolution schemes for train paths, offering decision support for train dispatchers and improving the efficiency and quality of dispatching decisions.

Keywords: Shuohuang Railway; Train Operation; Automatic Adjustment System; Intelligent Dispatching; Transportation Efficiency