

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)04-0177-05

# 智能矿山露天矿自动卡车调度随机优化方法

郝跃<sup>1</sup>, 贺东东<sup>1</sup>, 白怡明<sup>2</sup>, 杨卓<sup>2</sup>

(1. 国能新疆准东能源有限责任公司, 新疆 乌鲁木齐 830000; 2. 中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110015)

**摘要:** 露天矿生产环境具有高度动态性与不确定性, 卡车调度往往在运量、运输时间、出车次数 3 个指标存在效率低下的问题。针对上述问题, 提出一种智能矿山露天矿自动卡车调度随机优化方法。针对调度问题做出假设, 在一定程度上降低问题的复杂性。围绕总运量最小、卡车出车次数最少、总运输时间最小化设置目标函数, 并结合约束条件, 建立露天矿自动卡车调度模型建立。结合遗传退火算法, 设定该算法的参数, 随机生成一个初始种群, 计算种群中每个调度方案的适应度值, 根据个体的适应度值, 选择策略从当前种群中选择调度方案进入下一代种群, 模拟退火操作, 迭代生成新的种群, 判断是否满足遗传算法的停止条件, 同时检查是否满足模拟退火算法的停止条件, 如果满足任何一个停止条件, 则算法结束, 返回种群中适应度最高的调度方案作为最优解, 完成卡车调度随机优化。测试结果表明, 应用所提方法后, 在运量、运输时间、出车次数 3 个指标上都表现更为出色, 说明该方法是一个综合性能较好的卡车调度方法。

**关键词:** 智能矿山; 露天矿; 卡车调度; 目标函数; GASA 算法; 优化

中图分类号: TP18

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)04-0177-05

## Stochastic optimization method of automatic truck scheduling in open-pit of intelligent mines

HAO Yue<sup>1</sup>, HE Dongdong<sup>1</sup>, BAI Yiming<sup>2</sup>, YANG Zhuo<sup>2</sup>

(1. State Energy Xinjiang Zhundong Energy Co., Ltd., Urumqi 830000, Xinjiang, China;

2. CCTEG Shenyang Engineering Company, Shenyang 110015, Liaoning, China)

**Abstract:** The production environment of open pit mine is highly dynamic and uncertain, and truck scheduling often has the problem of inefficiency in three indicators: traffic volume, transportation time and number of trips. In order to solve the above problems, a stochastic optimization method for automatic truck scheduling in intelligent open pit mines is proposed. Assumptions are made for the scheduling problem, which reduces the complexity of the problem to some extent. The objective function is set around the minimum of total traffic volume, the minimum number of truck trips and the minimum of total transportation time, and the automatic truck scheduling model of open pit mine is established in combination with constraints. Combined with genetic annealing algorithm, the parameters of the algorithm are set, an initial population is randomly generated, and the fitness value of each scheduling scheme in the population is calculated. According to the fitness value of the individual, the strategy is selected to select the scheduling scheme from the current population to enter the next generation population, simulated annealing operation is performed, and a new population is iteratively generated to judge whether the stopping conditions of the genetic algorithm are met, and at the same time, whether the stopping conditions of the simulated annealing algorithm are met is checked. If any stopping conditions are met, the algorithm ends and the scheduling scheme with the highest fitness in the population is returned. The test results show that the research method performs better in three indexes: traffic volume, transportation time and trip times, which shows that the method is a truck scheduling method with good comprehensive performance.

**Keywords:** intelligent mine; open pit mine; truck scheduling; objective function; GASA algorithm; optimization

矿山开采, 作为现代社会能源和资源供应的基石, 对于推动国家经济、工业发展以及满足人民生活需求具有举足轻重的地位。随着全球对能源和矿产资源需求的不断增长, 矿山开采的效率与安全性问题越发凸显其重要性。在露天矿开采的复杂环境中, 卡车调度不仅是物流运输的关键环节, 更是整个矿山运营体系中不可或缺的一部

分<sup>[1]</sup>。卡车调度效率直接决定了矿石、废石等物料的运输速度和频率, 从而影响着整个矿山的生产进度和效率。具体而言, 高效的卡车调度能够确保矿石从开采点到加工厂的快速转运, 减少物料在途中的滞留时间, 提高矿山的开采和加工效率。同时, 合理的卡车调度还能降低运输过程中的能耗和成本, 减少不必要的资源浪费。基于此, 露天

收稿日期: 2024-05-23; 录用日期: 2024-06-27

基金项目: 辽宁省自然科学基金面上项目(2023-MS-342)

作者简介: 郝跃(1987—), 男, 工程师, 研究方向: 电气自动化。

引用本文: 郝跃, 贺东东, 白怡明, 等. 智能矿山露天矿自动卡车调度随机优化方法[J]. 自动化技术与应用, 2026, 45(4): 177-181. (HAO Yue, HE Dongdong, BAI Yiming, et al. Stochastic optimization method of automatic truck scheduling in open-pit of intelligent mines[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026, 45(4): 177-181.)

矿卡车调度成为研究的热点问题。

针对上述问题,国内外很多专家和学者都进行了相关研究。例如李在友等<sup>[2]</sup>以运输费用为目标函数,然后通过模拟被测群体的协作与寻优行为,逐渐找到最优的卡车运输调度方案,实现了对卡车运输调度的优化,露天矿无人驾驶卡车运输调度问题通常具有复杂的解空间结构。算法在搜索解空间时,可能会面临维数灾难等问题,导致搜索效率下降。Fu等<sup>[3]</sup>考虑了一组从生物数学模型导出的生物数学疲劳约束(biomechanical fatigue constraint, BFC)并开发了结合BFC调度算法和高阶谱(higher order spectrum, HOS)调度算法,并将其嵌入禁忌搜索启发式算法中,以解决组合车辆路径和调度问题。该算法性能受到参数设置的影响,不恰当的参数设置可能导致算法收敛速度过慢或陷入局部最优解。文家燕等<sup>[4]</sup>提出了GWO-NSGA-II混合算法,利用该算法求取了约束条件下的多目标函数,实现了卡车低碳运输调度。在动态环境中,当运输任务、车辆状态或环境条件发生变化时,算法需要快速重新优化调度方案,而这一点对于灰狼优化算法-非支配排序遗传算法(grey wolf optimization-non-dominated sorting genetic algorithm, GWO-NSGA-II)混合算法来说很难快速响应。王志文等<sup>[5]</sup>从采掘运输成本和矿石品位两个角度出发,构建了多目标调度模型,然后通过模拟自然选择和遗传学中的遗传机制来求解优化问题,即在遗传算法求解过程中,将生产调度问题转化为优化问题,找到一组满足约束条件且生产效益最大的调度方案。随着问题规模的增大,遗传算法的计算复杂度也会显著增加,可能导致算法无法在合理的时间内找到最优解。王素欣等<sup>[6]</sup>以车辆总行驶的路径最短为目标函数,将车辆调度问题转化为适合蚁群算法求解的形式,在解空间内随机生成一组初始解,这些解构成初始蚁群,重复执行蚂蚁移动、信息素更新和混合算法的操作,直至找到最优解。当面对一个全新的问题时,可能需要重新设计或调整模型,以适应问题的需求,因此其普适性就显得相对较差,导致算法在求解某些问题时可能无法得到满意的解或者求解效率较低。

露天矿的生产环境具有诸多不确定性因素,如天气变化、设备故障、矿石品质变化等,这些因素都会对卡车调度产生重大影响。传统的调度方法往往难以适应这些变化,导致运输效率低下、资源浪费和安全隐患等问题。为了解决这些问题,进行智能矿山露天矿自动卡车调度随机优化研究。通过该研究以期最大限度地提高运输效率、降低运营成本并保障安全生产。

## 1 卡车自动调度随机优化方法

智能矿山露天矿自动卡车调度随机优化研究旨在解决矿山车辆调度以及资源配置的随机性、复杂性、实时性等问题。通过结合智能优化算法和信息技术,实现对矿山车辆的高效调度和资源的优化配置<sup>[7]</sup>。研究主要分为三部分,即问题假设、露天矿自动卡车调度模型建立以及调

度模型求解。

### 1.1 问题假设

在智能矿山露天矿自动卡车调度随机优化研究中,为了简化和聚焦问题,需要设定一些基本的问题假设<sup>[8]</sup>。以下是针对露天矿自动卡车调度模型建立前做的一些假设。

1) 假设矿山的基础设施(如道路、桥梁、破碎站等)在调度周期内保持相对稳定,不会出现大规模的损坏或变更。

2) 假设所有参与调度的卡车在性能上是一致的,即它们的载重能力、速度、耗油量等参数相同或相近。

3) 假设在同一开采区域内的矿石品位是均匀的,即不需要考虑矿石品位的差异对调度的影响。

4) 在短期调度计划中,假设天气条件(如雨雪、风雾等)对卡车调度的影响是有限的或可预测的。

5) 假设矿山内的道路状况(如坡度、平整度、湿滑程度等)在一段时间内具有一定的变化规律,这些规律可以被模型所捕获并用于优化调度决策。

6) 假设矿石的装载和卸载作业时间是可控的,并且可以在一定程度上进行预测。

7) 在调度周期内,假设矿山对矿石的需求是稳定的,不需要考虑需求波动对调度的影响。

8) 假设在运输时间内,卡车不会发生故障问题,降低故障对调度的影响。

这些假设有助于构建更准确的模型,并在一定程度上降低问题的复杂性<sup>[9]</sup>。

### 1.2 露天矿自动卡车调度模型建立

在露天矿自动卡车调度中,调度模型的建立是至关重要的,因为直接关系到最终求解的可行性和有效性。一个合理的调度模型能够准确反映矿山生产的实际情况,为卡车调度提供科学、合理的指导<sup>[10]</sup>。露天矿自动卡车调度模型由两部分组成,即目标函数和约束条件。下面进行具体分析。

在露天矿自动卡车调度优化中,目标函数是用于量化评估不同调度方案优劣的数学表达式<sup>[11]</sup>。这些目标函数通常基于矿山的特定需求和约束条件来定义,并旨在优化诸如运量、运输时间、出车次数等关键性能指标。

#### 1) 总运量最小

目标函数旨在最小化卡车的总运输距离乘以运输量(以吨为单位)。这有助于降低运输成本和提高运输效率。目标函数公式为

$$A = \min \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K a_k B_{mn} p_{kmn} \quad (1)$$

式中,  $a_k$  表示第  $k$  辆卡车的载重能力;  $B_{mn}$  表示从装载点  $m$  到卸载点  $n$  的距离;  $p_{kmn}$  表示第  $k$  辆卡车从装载点  $m$  到卸载点  $n$  的运输次数;  $N$ 、 $M$  表示卸载点、装载点数量;  $K$  表示卡车的总数。

#### 2) 卡车出车次数最少

在露天矿自动卡车调度优化中,如果目标是使卡车的出车次数最少,目标函数需要设计成最小化所有卡车的总出车次数<sup>[12-13]</sup>。由于出车次数通常与运输任务的分配紧

密相关,需要确保每个运输任务都能被有效地分配给卡车,同时尽量减少不必要的出车。

$$A_2 = \min \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (\hat{T}_{mn} u_{mn} + \tilde{T}_{mn} u_{mn}) + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (\hat{T}_{mn} v_{mn} + T_{mn} v_{mn}) \right\} \quad (2)$$

式中,  $\hat{T}_{mn}$ 、 $\tilde{T}_{mn}$  表示卡车满载时从装载点  $m$  到卸载点  $n$  的运行时间、卸车时间;  $\hat{T}_{mn}$ 、 $T_{mn}$  表示卡车从卸载点  $n$  到装载点  $m$  的空载运行时间、装车时间;  $u_{mn}$ 、 $v_{mn}$  表示满载车、空车流量。

### 3) 总运输时间最小化

目标是最小化所有卡车完成运输任务所需的总时间,以提高整体运输效率<sup>[14]</sup>。

$$A_3 = \min \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K t_{kmn} x_{kmn} \quad (3)$$

式中,  $t_{kmn}$  表示运输时间;  $x_{kmn}$  表示决策变量,表示第  $k$  辆卡车是否从装载点  $m$  移动到卸载点  $n$ 。

结合下述约束条件,构成露天矿自动卡车调度模型,由式(4)和式(5)组成。

$$A = \min \{ A_1 + A_2 + A_3 \} \quad (4)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K C_{kmn} \leq a_k, C_{kmn} > 0 \\ \sum_{k=1}^K x_{kmn} \geq 1 \\ x_{kmn} \in \{0, 1\} \\ \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K a_k x_{kmn} - D_n \leq 0 \\ \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K a_k p_{kmn} \leq E_m \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $C_{kmn}$  表示运载的矿石量;  $D_n$  表示最大卸载能力;  $E_m$  代表装载点  $m$  运出的矿石量。

式(5)中分别表示装载能力约束、任务完成约束、二进制变量约束、卸载点最大卸载量约束、卸载点的总容量约束。约束条件是对决策变量的限制,作用是限制决策变量的取值范围,从而缩小了搜索空间,使得优化算法能够更高效地找到最优解<sup>[15]</sup>。

### 1.3 露天矿自动卡车调度模型求解

一旦定义了目标函数和约束条件,接下来在这一章节中使用优化算法来求解这个问题,得到露天矿自动卡车调度方案<sup>[16]</sup>。采用遗传退火算法进行求解,遗传退火模拟算法(simulated annealing simulation algorithm, GASA)结合了两种算法的特点,其中遗传算法擅长全局搜索,能够在解空间中快速找到多个潜在的优质解。但是,由于其搜索的随机性,可能在接近最优解的区域时陷入局部最优;模拟退火算法则更擅长局部搜索,能够在给定区域内细致地搜索最优解。遗传退火算法结合了二者的优点,既能够全局搜索以找到多个潜在解,又能够利用模拟退火算法在局部区域内进行精细搜索,从而提高找到全局最优解的概率。利用遗传退火算法求取最优解流程如下。

**步骤1** 设定遗传算法的参数,如种群大小、交叉概率、变异概率等。设定模拟退火算法的参数,如初始温度、降温策略、终止温度等。

**步骤2** 随机生成一个初始种群,每个个体表示问题的一个潜在解(露天矿自动卡车调度候选方案)。

**步骤3** 按照下述公式计算种群中每个调度方案的适应度值。

$$\text{Fit}(t) = \frac{1}{1 - A} \quad (6)$$

式中,  $\text{Fit}(t)$  表示第  $t$  个调度候选方案。

**步骤4** 遗传操作,生成新的种群。

选择。根据个体的适应度值,使用锦标赛选择策略从当前种群中选择调度方案进入下一代种群。

$$R(t) = \frac{\text{Fit}(t)}{\sum_{t=1}^n \text{Fit}(t)} \quad (7)$$

式中,  $R(t)$  表示调度方案  $t$  个被选择的概率。

交叉。随机选择两个调度方案进行交叉操作,生成新的调度方案。

变异。对种群中的调度方案进行随机变异操作,引入新的基因组合。

**步骤5** 模拟退火操作。

1) 对新种群中的每个调度候选方案进行模拟退火操作。

2) 对每个调度候选方案进行小规模的随机扰动,生成一个邻域解。

3) 计算邻域解的适应度值,并与原调度候选方案进行比较。

4) 如果邻域解的适应度值更优,则接受邻域解作为新的调度方案。

5) 如果邻域解的适应度值较差,但满足 Metropolis 准则(即以一定概率接受较差的解),则也可能接受邻域解。

6) 重复模拟退火操作,直到满足终止条件(如达到最大扰动次数、温度降至终止温度等)。

**步骤6** 重复执行步骤4和5操作,迭代生成新的种群。随着迭代的进行,模拟退火算法的参数(如温度)逐渐降低,使得算法逐渐从全局搜索过渡到局部搜索。

**步骤7** 判断停止条件。检查是否满足遗传算法的停止条件(如达到最大迭代次数、种群适应度值趋于稳定等),同时检查是否满足模拟退火算法的停止条件(如温度降至终止温度)。如果满足任何一个停止条件,则算法结束。

**步骤8** 算法结束后,返回种群中适应度最高的调度方案作为最优解。

经过上述过程,完成智能矿山露天矿自动卡车调度随机优化研究。

## 2 算例分析

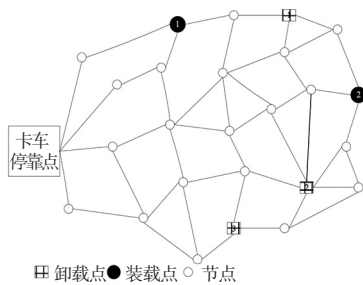
### 2.1 研究区概况

以某智能矿山露天矿为例,进行卡车调度方法测试。

图 1 为该露天矿道路网。该智能矿山露天矿卡车调度基本参数如下表 1 所示。



(a) 实景照片



(b) 道路简化图

图 1 露天矿道路网

Fig. 1 Road network of open pit mine

表 1 智能矿山露天矿卡车调度基本参数

Tab. 1 Basic parameters of truck scheduling in open pit mine of intelligent mine

参数	数值
矿区面积/km <sup>2</sup>	2.51
卡车单次载重/吨	30
卡车数量/辆	5
卸载点数量/个	3
卸载点 1 最大卸载能力/万吨	0.32
卸载点 2 最大卸载能力/万吨	0.52
卸载点 3 最大卸载能力/万吨	0.27
装载点数量/个	2
装载点 1 总矿石量/万吨	0.51
装载点 2 总矿石量/万吨	0.78

该露天矿拥有丰富的矿产资源,矿山采用机械开采方式,具有大规模、高效率的开采特点。露天矿的主要作业区域包括爆破、采装、运输、排土等,其中运输环节是矿山生产的重要组成部分。为了提高运输效率、降低运输成本,该矿山卡车车型为矿用自卸卡车 MT5500B,引入了自动卡车调度方法,提高运输质量。

### 2.2 算法参数设置

设置的遗传退火算法参数如表 2 所示。

表 2 算法参数表

Tab. 2 Algorithm parameter table

参数名称	数值
种群规模	100
染色体长度	20
交叉概率	0.8
变异概率	0.1
最大迭代数	500
初始温度	20 ℃
终止温度	0.01 ℃
Markov 链长	20
温度更新函数	0.95
重组概率对	(0.8, 0.1)
终止条件	10

### 2.3 露天矿自动卡车调度方案

利用 GASA 算法求解露天矿自动卡车调度模型,得到调度方案如图 2 所示。

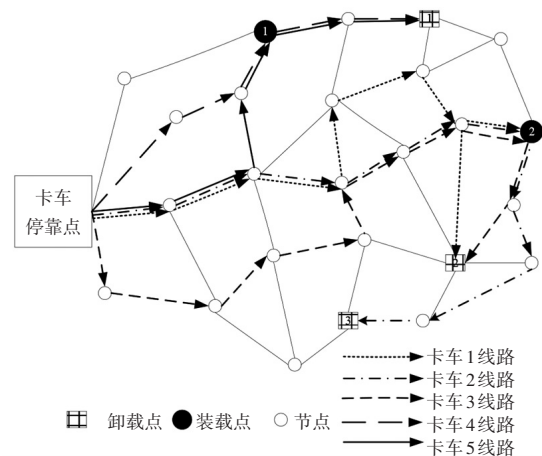


图 2 露天矿自动卡车调度方案

Fig. 2 Automatic truck scheduling scheme for open pit mine

在图 2 调度方案中,卡车 1 和 3 从装载点 2 装载矿石,分别途经 6 和 9 个节点,最终运输到卸载点 2;卡车 2 从装载点 2 装载矿石,途经 8 个节点,最终运输到卸载点 3;卡车 4 和 5 从装载点 1 装载矿石,分别途经 3 和 4 个节点,最终运输到卸载点 1。

### 2.4 调度方案优化效果

在相同测试条件下,利用 3 种文献方法进行卡车调度。模拟运行求解得到的调度方案,然后对比总运量、运输总时间、出车总次数,然后绘制成箱线图,结果如图 3~5 所示。从图 3~5 可以看出,所研究方法在 3 个指标上都表现出色(箱子位置较低、箱子长度较短、中位数较小),说明与 3 种文献方法相比,该方法是一个综合性能较好的卡车调度方法。

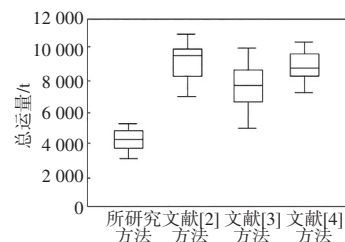


图 3 总运量对比箱线图

Fig. 3 Comparison box diagram of total traffic volume

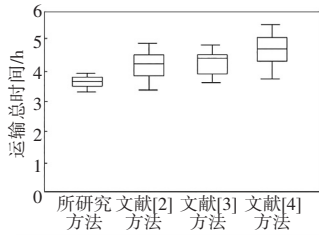


图4 运输总时间对比箱线图

Fig. 4 Comparison box diagram of total transportation time

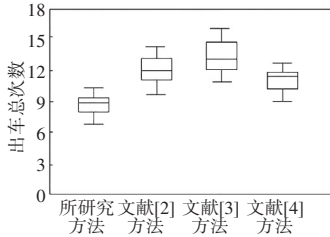


图5 出车总次数对比箱线图

Fig. 5 Comparison box diagram of total number of trips

### 3 结论

露天矿作为矿业开采的主要形式之一,其采运系统占据了矿山生产流程中的关键位置。因此,优化卡车调度对于提高露天矿山的整体生产效率和经济效益具有重要意义。在研究过程中,建立了考虑多种目标的卡车调度模型,并设计了遗传退火算法进行求解。最后,通过模拟实验和对比分析,发现所提出的方法提高运量、运输效率、降低运输时间等方面表现出色。这些研究成果不仅为智能矿山的建设提供了有力的技术支持,也为其他相关领域的随机优化研究提供了有益的参考。

(上接第172页)

力支持。因此,探讨基于规则模式的科技情报关键信息自动抽取算法,该算法通过利用挖掘出来的规则,自动、高效地从海量文本中抽取关键信息,最后通过实际案例来展示算法的应用效果。未来,随着科技情报的快速增长和变化,将继续对算法进行改进和优化,使算法能够快速地适应新的数据和需求变化。

### 参考文献

[1] 吴泊心, 仲国强, 马成龙. 基于深度学习的视觉文档信息抽取研究综述[J]. 中文信息学报, 2023, 37(12):1-16.  
 [2] DELLANZO A, COTIK V, LOZANO BARRIGA D Y, et al. Digital surveillance in latin american diseases outbreaks; information extraction from a novel spanish corpus[J]. BMC Bioinformatics, 2022, 23(1):1-22.  
 [3] 陈勇, 邢欣, 张锦文. 面向文书的情报关键信息抽取算法[J]. 火力与指挥控制, 2023, 48(1):142-148, 157.  
 [4] 赵玉媛, 王斌, 张泽丹, 等. 融入结构先验知识的隐私信息抽取算法[J]. 信息安全研究, 2024, 10(2):139-147.  
 [5] 许鑫, 马文政, 张浩, 等. 基于融合对抗训练的农作物品种信息抽取方法[J]. 农业机械学报, 2023, 54(12):272-279, 337.  
 [6] 李响轩, 李萌, 陆建, 等. 基于多任务迁移学习的交通警情信息自

### 参考文献

[1] 祁欣月, 张健, 姜涵. 面向航班高峰期的机场地勤车辆多阶段优化调度方法[J]. 交通信息与安全, 2023, 41(6):71-81.  
 [2] 李在友, 孙艳斌, 王晓光, 等. 基于改进被囊群算法的露天矿无人驾驶卡车运输调度[J]. 工矿自动化, 2022, 48(6):87-94, 127.  
 [3] FU Jiawei, MA Liang. Long-Haul vehicle routing and scheduling with biomathematical fatigue constraints[J]. Transportation Science, 2022, 56(2):404-435.  
 [4] 文家燕, 闻海潮, 程洋, 等. 基于GWO-NSGA-II混合算法的露天矿低碳运输调度[J]. 工矿自动化, 2023, 49(2):94-101.  
 [5] 王志文, 巩旭鹏, 孙洪涛, 等. 改进遗传算法及其在矿山生产调度中的应用[J]. 兰州理工大学学报, 2022, 48(1):78-84.  
 [6] 王素欣, 熊珺恺, 王雷震, 等. 多需求点间车辆调度模型及优化算法混合求解研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2023, 50(8):194-204.  
 [7] 崔明勇, 吕静, 薛思嘉, 等. 考虑电动汽车优先级需求的两阶段优化调度策略[J]. 电工电能新技术, 2024, 43(4):20-28.  
 [8] 付兵, 马新源, 田婉琪, 等. 面向虚拟编组的城市轨道交通运行优化调度方法[J]. 铁道运输与经济, 2024, 46(1):124-132.  
 [9] 罗明, 罗博雅, 冯昊, 等. 基于亨利气体溶解度优化算法的电动汽车二阶段优化调度方法[J]. 智慧电力, 2023, 51(9):46-51.  
 [10] 柴获, 何瑞春, 贾晓燕, 等. 基于相异路径的危险品运输车辆调度[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(9):181-188.  
 [11] 鲁芳, 黄彬, 闫蕾朵. 客货邮融合下乡客运车辆调度双层优化方法[J]. 工业工程, 2023, 26(4):96-103, 123.  
 [12] 宋翠颖, 王鹤玲, 田泽尚, 等. 需求响应式公交车辆调度模型和算法研究综述[J]. 北京交通大学学报, 2023, 47(4):31-44.  
 [13] 张冠萍. 基于数学表达式和文档关键词的英文文献检索模型设计[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(12):107-109, 129.  
 [14] 宋修广, 郭鑫铭, 闫方, 等. 公路应急救援车辆智能调度技术[J]. 山东大学学报(工学版), 2023, 53(4):1-17.  
 [15] 范晓东. 基于改进极限学习机的数据智能化分析算法设计[J]. 电子设计工程, 2024, 32(5):37-40, 45.  
 [16] 白水全, 王磊. 基于自调整模糊分析的煤矿通风量调节方法[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(2):167-171.

动处理方法[J]. 中国公路学报, 2022, 35(9):1-12.  
 [7] 王腾阳, 赵小丹, 胡林. 基于词性标注规则的马铃薯文献信息抽取方法[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(27):11562-11569.  
 [8] 张皓然, 张涛, 万书芹, 等. 基于FPGA的语音预处理系统[J]. 电子设计工程, 2023, 31(14):182-186.  
 [9] 王明达, 张榜, 吴志生, 等. 基于强化学习的城镇燃气事故信息抽取方法[J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(3):39-45.  
 [10] 翁洋, 向迪, 郭晓冬, 等. 基于深度条件依赖网络的裁判文书信息抽取[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2022, 61(6):1021-1029.  
 [11] 周俊, 郑彭元, 袁立存, 等. 基于改进CASREL的水稻施肥知识图谱信息抽取研究[J]. 农业机械学报, 2022, 53(11):314-322.  
 [12] 梁建军, 雷咸锐, 吴斌, 等. 基于规则模式的瓦斯爆炸事故信息抽取技术[J]. 煤矿安全, 2023, 54(2):239-245.  
 [13] 王剑, 彭雨琦, 赵宇斐, 等. 基于深度学习的社交网络舆情信息抽取方法综述[J]. 计算机科学, 2022, 49(8):279-293.  
 [14] 王小戈, 李凯, 王潇. 基于行为画像数据挖掘的异常流量监测技术[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(1):80-83, 109.  
 [15] 张鹏翔. 多维字符特征表示的铁路设备事故信息抽取方法[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(6):109-114.  
 [16] 苏永亮, 周洪伟, 崔厚坤, 等. 基于数据挖掘的输变电野外勘测数据识别及存储方法[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(11):120-123, 204.