

文章编号: 1003-1421(2021)02-0016-07 中图分类号: U291.4 文献标识码: A  
DOI: 10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.2021.02.03

# 基于车流接续代价最小的编组站配流计划优化研究

## Optimization of Flow Distribution at Marshalling Station Based on the Minimum Cost of Traffic Flow Succession

许可<sup>1</sup>, 马海东<sup>2, 3</sup>, 赵鹏<sup>1</sup>, 马亚锋<sup>2</sup>, 任逸飞<sup>2</sup>  
XU Ke<sup>1</sup>, MA Haidong<sup>2, 3</sup>, ZHAO Peng<sup>1</sup>, MA Yafeng<sup>2</sup>, REN Yifei<sup>2</sup>

(1. 北京交通大学 交通运输学院, 北京 100044; 2. 华东交通大学 交通运输与物流学院, 江西 南昌 330006; 3. 中国铁路太原局集团有限公司 大同车务段, 山西 太原 030013)

(1. School of Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. School of Transportation and Logistics, East China Jiaotong University, Nanchang 330006, Jiangxi China; 3. Datong Depot of China Railway Taiyuan Bureau Group Co. LTD, Taiyuan 030013, Shanxi China)

**摘要:** 编组站是铁路运输系统的重要一环, 其作业效率直接影响铁路运输效率和经济效益。为了高效、经济地完成列车解编, 提高铁路运输的市场竞争力, 需要优化编组站配流。通过引入“惩罚系数”衡量到、发列车接续的代价, 将配流问题转化为运筹学的运输问题, 考虑编组站实际作业的不确定性和复杂性, 以车流接续总代价最小为目标函数, 建立编组站配流优化模型, 并设计算法进行求解, 得到优化的配流计划, 验证编组站配流优化模型和算法的有效性, 可以提高和优化编组站作业效率。

**关键词:** 编组站; 配流; 运输问题; 惩罚系数; 车站作业计划

**Abstract:** Marshalling station is an important part of the railway transportation system, so its operation efficiency will directly affect the railway transportation efficiency and economic benefits. In order to efficiently and economically complete train marshalling work and improve market competitiveness of railway transportation, it is necessary to optimize traffic flow distribution at marshalling station. In this paper, the Penalty Coefficient is introduced to measure the cost of train arrival and departure continuation. The distribution problem is transformed into the transportation problem of operational research. Considering the uncertainty and complexity of the operation at the marshalling station, taking the minimum total cost of the train continuation as the objective function, the optimization model of the marshalling station assignment is established, and the algorithm is designed to solve it. In this way, the optimized flow distribution plan is obtained finally, and the effectiveness of the optimization model and algorithm for traffic flow distribution at marshalling station is verified, which can improve and optimize the operation efficiency of the marshalling station.

**Keywords:** Marshalling Station; Flow Distribution; Transportation Problem; Penalty Coefficient; Station Operation Plan

## 0 引言

编组站是铁路网上车流集散和列车解编的基地,主要负责货物列车的解体和编组,是铁路运输系统的重要一环,其作业效率直接影响铁路运输效率和经济效益。据统计,铁路运输过程中,由于调车作业和集结等待时间较长,在站停留时间约占总运输时间的70%,而合理的编组站配流计划能够高效地组织货物列车的解编,大大减少在站作业和等待时间,有助于提高编组站解编效率、缩短车辆周转时间。编组站配流问题是在满足时间、设备、人员和车流接续约束情况下,确定列车解体顺序和编入出发列车的内容,即确定编组站的自编始发列车由哪些到达车流组成(到达列车、车辆数)。配流是编组站的核心环节,贯穿于整个编组站的作业计划。

编组站配流问题是一个复杂的问题,需要合理组织车站的人员、设备及车流按要求完成编组。许多学者对此进行研究,王慈光<sup>[1]</sup>将编组站配流看作资源分配问题,引入“代价”概念,把配流问题转化为求解代价最小的运输问题,并运用表上作业法求解。郭瑞等<sup>[2]</sup>针对采用“单推单溜”作业方式的编组站,以车辆在站停留时间最短和阶段出发列车数最多为目标,设计多目标、分阶段的配流问题推理算法。张正坤等<sup>[3]</sup>根据Petri网理论,在谓词/变迁(Pr/T)系统的基础上,引入时间参数,建立了编组站TPr/T\_系统模型,以保证列车按计划满轴出发为约束,利用反向推理思想设计算法求解。张英群等<sup>[4]</sup>研究调车场分类线运用优化调车作业,以出发列车连挂次数最少为目标,建立基于分类线运用的0-1整数规划配流模型。李晟东等<sup>[5]</sup>根据货物的运输时间要求差异,赋予货物列车不同的权重,以列车在站停留加权值最小为目标,建立基于运到期限的编组站配流优化模型,并设计模拟退火算法进行求解。薛锋等<sup>[6]</sup>考虑配流所需要的车流、调机、到发线等资源的可用性,以车辆在站停留时间最小为目标,建立基于资源可用性的编组站配流模型,并通过分层优化方法降低求解难度。赵永亮<sup>[7]</sup>研究利用编组站、货运站和海港组成的综合运输体系,使用三角模糊数量化运

输系统中技术作业执行时间的不确定性,构建技术作业执行时间目标函数,求解具有最小在站作业时间的最大可能载货量。

然而,既有研究存在以下问题:一是对编组站作业过程车流接续研究不够深入;二是建立符合实际作业的配流模型比较困难,有的模型为了提高求解效率,将模型进行了过度的简化,不能满足实际需要,而有的模型考虑的因素过多,导致求解困难。为此,将配流问题转化为运筹学的运输问题,以车流接续总代价最小作为目标函数,建立基于车流接续代价最小的编组站配流优化模型,并设计相应的求解算法,得到优化的配流计划方案,为编组站配流问题提供解决方案。

## 1 基于车流接续代价最小的编组站配流优化模型

### 1.1 编组站系统分析

根据编组站各项技术作业的层次性和相关性,将编组站系统划分为到达解体子系统和编组出发子系统2个子系统。在2个子系统的配合下,根据阶段列车到达计划和列车出发计划,合理地组织列车的解体编组工作,即配流计划。配流计划是编组站运输组织工作的核心,贯穿于编组站的日常工作<sup>[8]</sup>。编组站系统示意图如图1所示。

### 1.2 编组站配流优化模型

假设:①编组站站型为单向编组站,只有1套调车系统;②驼峰采用“单推单溜”方式作业,即只有当前列车解体作业完成后,下一列车的解体作业才能进行;③到达和出发列车的技术作业都按规定时间标准完成,并且没有待解、待编等非生产作业时间;④编组场、到发场等固定设备能力足够大。

在满足车流接续时间、到发车流总量、满轴等约束条件下,引入惩罚系数衡量配流的代价,设计车流总配流代价最小的配流方案<sup>[9]</sup>,其目标函数为

$$\min Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

式中: $Z$ 为车流总配流代价; $n$ 为到达列车总数(当 $i=0$ 时,表示现存车情况); $m$ 为出发列车总数;

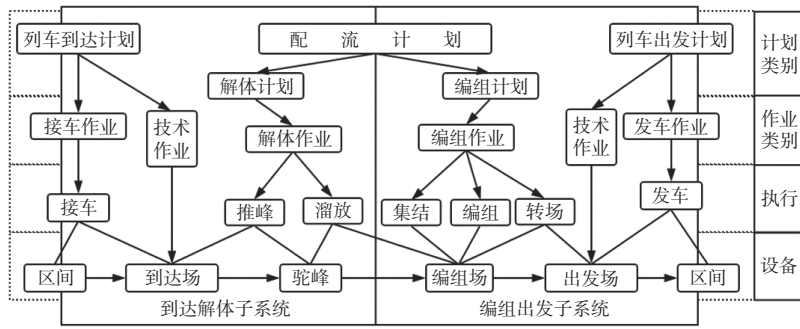


图1 编组站系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of marshalling station system

场后,才能成为实际可用于编组的车流,因而在到发车流接续时还要考虑技术作业的时间<sup>[10]</sup>,具体约束如下。

$$T_{cj} - T_{di} \geq T_{dz} + T_{cz} + T_{jt}^i + T_{bz}^j \quad (6)$$

式中:  $T_{jt}^j$  为第  $i$  列到达列车解体时间。

(2) 到发车流总量约束可表示为

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = a_i \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = b_j \quad (8)$$

$p_{ij}$  为惩罚系数,表示第  $i$  列到达列车中的车流配入第  $j$  列出发列车的代价,  $p_{ij}$  越大表示配流方案越不合理;  $x_{ij}$  为第  $i$  列到达列车的车流配入第  $j$  列出发列车的车辆数。

编组站配流优化模型包含车流接续时间约束、到发车流总量约束、满轴约束及配流过程中的惩罚系数等约束条件,具体如下。

(1) 车流接续时间约束。到达列车在站最早解体时刻早于到达列车实际解体时刻,可表示为

$$T_{sj}^i \leq T_{sj}^i \quad (2)$$

式中:  $T_{sj}^i$  为第  $i$  列到达列车在站最早解体时刻;  $T_{sj}^i$  为第  $i$  列到达列车实际解体时刻。

出发列车实际编组时刻早于出发列车最晚编组时刻,可表示为

$$T_{sb}^j \leq T_{wb}^j \quad (3)$$

式中:  $T_{sb}^j$  为第  $j$  列出发列车实际编组时刻;  $T_{wb}^j$  为第  $j$  列出发列车最晚编组时刻。

第  $i$  列到达列车在站最早解体时刻等于列车到达时刻加上到达作业时间,可表示为

$$T_{sj}^i = T_{di} + T_{dz} \quad (4)$$

式中:  $T_{di}$  为到达时刻;  $T_{dz}$  为到达技术作业时间。

第  $j$  列出发列车最晚编组时刻等于出发时刻减去出发技术作业时间和编组技术作业时间,可表示为

$$T_{wb}^j = T_{cj} - T_{cz} - T_{bz}^j \quad (5)$$

式中:  $T_{cj}$  为出发时刻;  $T_{cz}$  为出发技术作业时间;  $T_{bz}^j$  为第  $j$  列出发列车编组技术作业时间。

配流中的可用车流除了本站作业车和转场车流等不需要进行到解技术作业直接是可用车流外,其他的车流在站需要经过到达、解体等作业进入调车

式中的:  $m$  为出发列车总数;  $n$  为到达列车总数;  $a_i$  为供应车流量,即到站车辆数;  $b_j$  为需求车流量,即出发车辆数。

(3) 满轴约束可表示为

$$(N_{bz}^j - r_j)(1 - q_j) \geq 0 \quad (9)$$

式中:  $N_{bz}^j$  为第  $j$  列出发列车计划编组的车辆数;  $r_j$  为第  $j$  列出发列车的满轴数;  $q_j$  第  $j$  列出发列车能否欠轴,用 0-1 函数表示,不可欠轴取 0,可以欠轴取 1。

(4) 配流过程中的惩罚系数的确定。

记  $U_{ij}$  表示编组去向是否相符,可以表示为

$$u_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{当到达列车 } i \text{ 不能配入出发列车 } j \text{ 时} \\ 1 & \text{当到达列车 } i \text{ 可以配入出发列车 } j \text{ 时} \end{cases}$$

记  $H_{ij}$  表示车流接续条件,可以表示为

$$H_{ij} =$$

$$\begin{cases} 0 & \text{当满足 } U_{ij} = 0 \text{ 或 } T_{cj} - T_{di} \leq T_{dz} + T_{cz} + T_{jt}^i + T_{bz}^j \text{ 时} \\ 1 & \text{当满足 } U_{ij} = 1 \text{ 且 } T_{cj} - T_{di} \geq T_{dz} + T_{cz} + T_{jt}^i + T_{bz}^j \text{ 时} \end{cases}$$

惩罚系数  $p_{ij}$  取值规则为:在解体顺序一定的条件下,当到发列车编组去向不同和车流接续时间不足时,表明无法配入,则  $p_{ij} = M_1$  ( $M_1$  表示一个充分大的数);当总车流量不相同情况下,虚设到达或出发列车,则将配入虚拟到达或出发列车的惩罚系数  $p_{ij} = M_2$  ( $M_2$  表示一个比  $\lambda_j$  大的数);不是以上情况,就令  $p_{ij}$  等于编入出发列车  $j$  的排序号  $\lambda_j$ 。

### 1.3 模型求解

编组站配流优化模型是针对列车解体顺序已定的静态配流模型,充分考虑了车流编组方向、接续时间、技术作业及满轴等约束,引入“惩罚系数”衡量到发列车接续的代价,其求解步骤如下。

(1) 判断总车流量是否守恒,设总供应量为

A, 总需求量为 B, 则

$$A = \sum_{i=1}^n a_i \tag{10}$$

$$B = \sum_{j=1}^m b_j \tag{11}$$

当  $A < B$  时, 虚设一个发点 (即出发列车), 供应量为  $a_{n+1} = B - A$ ; 当  $A > B$  时, 虚设一个收点 (即到达列车), 需求量为  $b_{m+1} = A - B$ 。

(2) 将阶段内有不同编组去向车流化为单组列车, 确定问题研究的总的到达车数  $n$  及供应车流量  $a_i$ , 出发车数  $m$  及需求车流量  $b_j$ 。

(3) 分析阶段内的全部出发列车, 包括虚设的出发列车和去向不同的出发列车, 将其按列车等级排序规则排序标号。

(4) 根据约束条件, 确定惩罚系数  $p_{ij}$ , 若  $U_{ij} = 0$  或  $H_{ij} = 0$ , 则  $p_{ij} = M_1$ ; 若  $U_{ij} = 1$  且  $H_{ij} = 1$ , 且  $j = m + 1$ , 则  $p_{ij} = M_2$ ; 否则  $p_{ij} = \lambda_j$ 。

(5) 根据已知资料编制求解配流资料平衡表, 将发点、收点、各供应、需求量及惩罚系数等填入表中, 对于复杂的配流问题用网络模型进行辅助说明。

(6) 根据配流资料平衡表设计 Matlab 程序利用计算机求解最优的配流方案。

## 2 算例分析

以编组站 K 为研究对象, 考虑实际编组中的编组去向约束、到发车流量不同、各项技术作业时间、满轴要求及车流接续时间等约束, 基于车流接续代价最小构建编组站配流优化模型, 运用建模求解思路进行算例分析, 并优化配流方案。

### 2.1 基础数据

现存车主要指已经完成了到解技术作业, 已经在调车场等待编组的车辆, 其到达时刻就是阶段开始时刻且不需要进行技术作业。假设 a, b, c, d 为原到达列车或出发列车车辆的去向, 编组站 K 一个阶段内车站现存车

情况为: 调车场集结有去向 a 方向的 15 辆及去向 c 方向的 25 辆。到达列车基本信息如表 1 所示, 出发列车基本信息如表 2 所示。

### 2.2 编组站配流优化模型构建及求解

根据以上车站现存车基本情况、到达列车基本信息表和出发列车基本信息表, 进行配流问题的转化。首先进行到发车流总量的判断, 到达车辆总数量 335 辆小于出发车辆总数量 345 辆, 因而应虚设一列到达列车供应车流使阶段内到发车总量相等。接着判断列车中是否有不同向的车组, 如果有不同向的车组, 则将到、发列车的多编组方向化为单编组方向, 表 1 和表 2 中有多种不同向的列车, 将其按方向化为单一方向的车组, 将每一车组视为一列到达列车  $dd_i (i = 0, 1, 2, \dots, n)$  或一列出发列车  $cf_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 。经过计算可得, 共有 13 列单组到达列车和 9 列单组出发列车。

配流网络模型图如图 2 所示。输入层共有 13 列单组到达列车, 输出层共有 9 列单组出发列车,

表 1 到达列车基本信息表  
Tab.1 Information sheet of arrival train

序号	到达车次	到达时刻 $T_{di}$	到达作业时间 $T_{dz} / \text{min}$	解体作业时间 $T_{ji}^i / \text{min}$	编组内容 / 辆	编组辆数 / 辆	列车种类
1	2402	7:10	10	10	a/40	40	直达列车
2	2411	7:40	10	10	b/25, c/15	40	直通列车
3	2618	8:10	12	12	d/50	50	直达列车
4	2661	8:50	15	15	a/10, d/35	45	摘挂列车
5	2419	9:20	10	10	c/40	40	直达列车
6	2448	9:40	8	8	b/35	35	区段列车
7	2674	10:10	12	12	a/15, b/30	45	直通列车

表 2 出发列车基本信息表  
Tab.2 Information sheet of departure train

序号	出发车次	出发时刻 $T_{cj}$	编组作业时间 $T_{bz}^j / \text{min}$	出发作业时间 $T_{cc} / \text{min}$	编组内容 / 辆	满轴数 / 辆	列车种类
1	2546	9:50	13	10	a/40	40	直达列车
2	2598	10:40	17	15	d/45	45	直达列车
3	2519	11:20	13	10	b/40	40	区段列车
4	2846	11:50	15	12	c/55	55	直通列车
5	2835	12:10	13	10	a/40	40	区段列车
6	2571	12:40	13	10	d/40	40	直达列车
7	2874	13:20	11	8	c/25, d/10	35	摘挂列车
8	2863	13:50	17	15	b/50	50	直通列车

其中  $dd_0$  和  $dd_1$  是阶段开始时车站现存车,  $dd_{12}$  是虚拟的到达列车, 可以编入任意一列出发列车中。

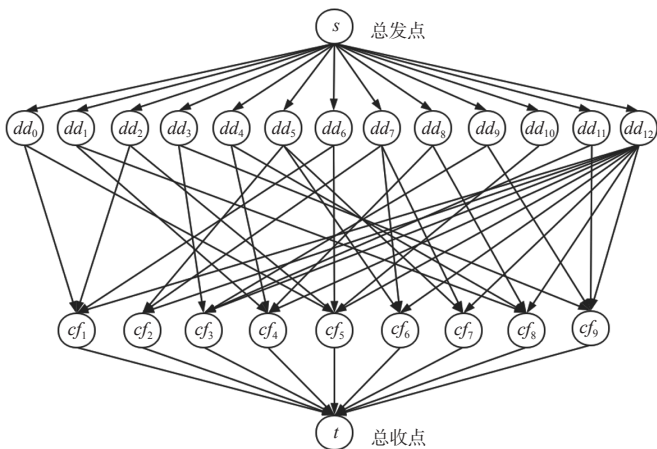


图2 配流网络模型图

Fig.2 Distribution network model

图2直观地表示了车流的接续关系, 然后编组站配流优化模型求解步骤3对出发列车的排序规则进行计算, 对单组出发列车  $cf_j$  按照列车种类、去向多少及出发时刻进行等级排序, 令各列车等级序号对应为  $\lambda_j$ , 作出出发列车排序表如表3所示。

表3 出发列车排序表

Tab.3 Sorting list of departure train

出发车次	列车种类	编组情况	出发时刻	收点序数	出发列车排序号 $\lambda_j$
2546	直达列车	a/40	9:50	$cf_1$	1
2598	直达列车	d/45	10:40	$cf_2$	2
2571	直达列车	d/40	12:40	$cf_6$	3
2846	直通列车	c/55	11:50	$cf_4$	4
2863	直通列车	b/50	13:50	$cf_9$	5
2519	区段列车	b/40	11:20	$cf_3$	6
2835	区段列车	a/40	12:10	$cf_5$	7
2874	摘挂列车	d/10	13:20	$cf_7$	8
		c/25		$cf_8$	9

编组站配流优化模型求解步骤4进行车流接续惩罚系数的计算, 根据公式(2)至公式(11)及表3中数据, 计算惩罚系数  $p_{ij}$ , 如果  $U_{ij} = 0$  或  $H_{ij} = 0$ , 则  $p_{ij} = M_1$ ; 如果  $U_{ij} = 1$ ,  $H_{ij} = 1$ , 且  $j = m + 1$ , 则  $p_{ij} = M_2$ ; 否则  $p_{ij} = \lambda_j$ 。如果  $dd_1$  和  $cf_1$  编组去向不同, 则  $U_{11} = 0$ , 此时  $p_{11} = M_1$ ;  $U_{101} = 1$  表示  $dd_{10}$  和  $cf_1$  编组去向相同, 但是接续时间不满足  $U_{ij} = 0$ , 此时  $p_{101} = M_1$ , 依次按规则进行计算。

为了计算的方便, 可以把  $M_1$  和  $M_2$  进行合适的赋值(不会对结果造成影响)。在计算单组出发列车排序中  $\lambda_j$  最大为9, 因而可令  $M_1 = 100$ , 其惩罚系数值已经远大于其他  $\lambda_j$ , 表示不可接续; 相应令  $M_2 = 50$ , 表示惩罚系数较大, 尽量避免接续。

根据各约束条件确定各系数, 然后将惩罚系数、各到发列车和对应车辆数代入, 得到配流资料平衡表如表4所示。

根据编组站配流优化模型求解步骤, 设计 Matlab 算法程序进行最优配流方案的求解, 可以极大地提高配流准确性和效率。在 Matlab 2016b 环境下运行程序, 得到配流矩阵  $A$ 。配流矩阵中标有 NaN 的是非基变量, 标有数字的是基变量, 也就是求解出的具体配流方案。

$$A =$$

15	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	15	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
25	NaN	NaN	NaN	15	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	25
NaN	NaN	NaN	15	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	45	NaN	NaN	NaN	5	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	10	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
0	NaN	NaN	NaN	NaN	35	NaN	NaN	NaN	NaN
0	NaN	NaN	15	NaN	NaN	NaN	25	NaN	NaN
NaN	NaN	10	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	25
0	NaN	NaN	NaN	15	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	30	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	10	NaN	NaN	NaN

根据 Matlab 程序运行求解出的配流方案矩阵, 将相对应的数值填入配流资料平衡表中, 可以得到在满足约束条件下最优的编组站配流方案如表5所示。根据表5进一步优化, 得到优化后的配流方案表如表6所示。

### 3 结束语

编组站是铁路部门运输生产的基本单位, 配流问题是编组站的核心, 提高编组站配流水平, 能够支撑铁路运输组织、服务水平和经营效率效益进一步提升, 对于保障节支降耗、提质增效具有显著成果。基于车流接续代价最小的编组站配流优化研究, 充分考虑编组站实际作业的不确定性和复杂

表 4 配流资料平衡表

Tab.4 Balance sheet of distribution data

车次到发情况	2546号 $cf_1 \rightarrow a$	2598号 $cf_2 \rightarrow d$	2519号 $cf_3 \rightarrow b$	2846号 $cf_4 \rightarrow c$	2835号 $cf_5 \rightarrow a$	2571号 $cf_6 \rightarrow d$	2874号 $cf_7 \rightarrow d$	2874号 $cf_8 \rightarrow c$	2863号 $cf_9 \rightarrow b$	到达 车辆数
现存车 $dd_0 \rightarrow a$	1	100	100	100	7	100	100	100	100	15
现存车 $dd_1 \rightarrow c$	100	100	100	4	100	100	100	9	100	25
2402号 $dd_2 \rightarrow a$	1	100	100	100	7	100	100	100	100	40
2411号 $dd_3 \rightarrow b$	100	100	6	100	100	100	100	100	5	25
2411号 $dd_4 \rightarrow c$	100	100	100	4	100	100	100	9	100	15
2618号 $dd_5 \rightarrow d$	100	2	100	100	100	3	8	100	100	50
2661号 $dd_6 \rightarrow a$	1	100	100	100	7	100	100	100	100	10
2661号 $dd_7 \rightarrow d$	100	2	100	100	100	3	8	100	100	35
2419号 $dd_8 \rightarrow c$	100	100	100	4	100	100	100	9	100	40
2448号 $dd_9 \rightarrow b$	100	100	6	100	100	100	100	100	5	35
2674号 $dd_{10} \rightarrow a$	100	100	100	100	7	100	100	100	100	15
2674号 $dd_{11} \rightarrow b$	100	100	6	100	100	100	100	100	5	30
虚设到达车 $dd_{12}$ 无方向	50	50	50	50	50	50	50	50	50	10
出发车辆数	40	45	40	55	40	40	10	25	50	345

注：车次号  $cf_j \rightarrow a$  表示出发车次中收点序数为  $cf_j$  的车辆去向为 a 方向；车次号  $dd_i \rightarrow a$  表示到达车次中发点序数为  $dd_i$  的车辆去向为 a 方向。

表 5 配流方案表

Tab.5 Flow distribution scheme

车次到发情况	2546号 $cf_1 \rightarrow a$	2598号 $cf_2 \rightarrow d$	2519号 $cf_3 \rightarrow b$	2846号 $cf_4 \rightarrow c$	2835号 $cf_5 \rightarrow a$	2571号 $cf_6 \rightarrow d$	2874号 $cf_7 \rightarrow d$	2874号 $cf_8 \rightarrow c$	2863号 $cf_9 \rightarrow b$	到达 车辆数
现存车 $dd_0 \rightarrow a$	15									15
现存车 $dd_1 \rightarrow c$	25			25						25
2402号 $dd_2 \rightarrow a$					15					40
2411号 $dd_3 \rightarrow b$									25	25
2411号 $dd_4 \rightarrow c$				15						15
2618号 $dd_5 \rightarrow d$		45				5				50
2661号 $dd_6 \rightarrow a$					10					10
2661号 $dd_7 \rightarrow d$						35				35
2419号 $dd_8 \rightarrow c$				15				25		40
2448号 $dd_9 \rightarrow b$			10						25	35
2674号 $dd_{10} \rightarrow a$					15					15
2674号 $dd_{11} \rightarrow b$			30							30
虚设到达车 $dd_{12}$ 无方向							10			10
出发车辆数	40	45	40	55	40	40	10	25	50	345

性，对编组站配流问题进行研究，最终得到更为优化的可行配流计划方案，为优化编组站配流问题做了有力支撑，在对优化车站作业提高工作效率，促进车站高效地完成运输任务，更大程度地发挥编组站列车中转基地的作用，更好地提高铁路货物运输的效率和竞争力。

参考文献：

- [1] 王慈光. 运输模型及优化[M]. 成都：西南交通大学出版社，2010.
- [2] 郭 瑞，郭 进，苏跃斌. 编组站配流问题中多阶段优化算法的启发式规则[J]. 铁道学报，2017，39(6)：1-9.

GUO Rui, GUO Jin, SU Yuebin. Heuristic Rules of

表6 优化后的配流方案表  
Tab.6 Optimized distribution scheme

出发车次	单组出发车次	出发时刻	运算配流方案	实际配流方案(车次/辆数)
2546	$cf_1$	9:50	$dd_0/15, dd_2/25$	站内现存车 /15, 2402/25
2598	$cf_2$	10:40	$dd_3/45$	2618/45
2519	$cf_3$	11:20	$dd_9/10, dd_{11}/30$	2448/10, 2674/30
2846	$cf_4$	11:50	$dd_1/25, dd_4/15, dd_8/15$	站内现存车 /25, 2411/15, 2419/15
2835	$cf_5$	12:10	$dd_2/15, dd_5/10, dd_{10}/15$	2402/15, 2618/10, 2674/15
2571	$cf_6$	12:40	$dd_5/5, dd_7/35$	2618/5, 2661/35
2874	$cf_7$	13:20	$dd_{12}/10$	虚拟到达不配入, 2419/25
	$cf_8$		$dd_8/25$	
2863	$cf_9$	13:50	$dd_3/25, dd_9/25$	2441/25, 2448/25

- Multistage Optimization Algorithm for Wagon-flow Allocation in Marshaling Station[J]. Journal of The China Railway Society, 2017, 39(6): 1-9.
- [3] 张正坤, 朱昌锋. 基于 TPr/T\_系统的编组站配流研究[J]. 计算机工程与应用, 2017, 53(21): 219-224.  
ZHANG Zhengkun, ZHU Changfeng. Research on Wagon-flow Allocation for Marshaling Yard Based on TPr/T\_ System[J]. Computer Engineering and Applications, 2017, 53(21): 219-224.
- [4] 张英群, 宋 瑞, 黎浩东. 基于阶段配流计划的编组站分类线运用优化研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2016, 16(3): 120-125.  
ZHANG Yingqun, SONG Rui, LI Haodong. Optimization of Classification Track Assignment Based on the Railcar Connection Plan in Hump Yard[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2016, 16(3): 120-125.
- [5] 李晟东, 徐长安, 吕红霞, 等. 基于货物运到期限的编组站动态配流优化研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2018, 18(5): 164-169.  
LI Shengdong, XU Changan, LYU Hongxia. Dynamic Wagon-flow Allocation Based on Freight Delivery Time Frame in Marshaling Station[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2018, 18(5): 164-169.
- [6] 薛 锋, 赵 蕾, 杨丽蓉. 基于资源可用度的编组站配流模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2018, 18(5): 170-177.  
XUE Feng, ZHAO Lei, YANG Lirong. Wagon-flow Allocating Model in Marshaling Station Based on Resource Availability[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2018, 18(5): 170-177.
- [7] 赵永亮. 铁路编组站作业效率影响因素与对策[J]. 铁道运输与经济, 2019, 41(S1): 54-58, 77.  
ZHAO Yongliang. A Study on the Influencing Factors and Countermeasures of Operation Efficiency of Railway Marshalling Yard[J]. Railway Transport and Economy, 2019, 41(S1): 54-58, 77.
- [8] LUSBY R M, LARSEN J, BULL S. A Survey on Robustness in Railway Planning[J]. European Journal of Operational Research, 2018, 266(1): 1-15.
- [9] 周心怡, 寇玮华. 基于多品种流网络的双向编组站配流问题[J]. 综合运输, 2019, 41(9): 97-102.  
ZHOU Xinyi, KOU Weihua. Problem of Bidirectional Marshaling Station Assignment Based on Multicommodity Network[J]. China Transportation Review, 2019, 41(9): 97-102.
- [10] 周 林. 武汉北编组站中时延长的原因分析及对策研究[J]. 铁道货运, 2016, 34(4): 32-36.  
ZHOU Lin. Study on Reason Analysis of Transit Time Extension in Wuhan North Marshaling Station and Its Countermeasures[J]. Railway Freight Transport, 2016, 34(4): 32-36.

收稿日期: 2020-10-14

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFB1201402); 河北省高等学校科学研究项目(QN2020523); 国家自然科学基金青年基金(52002127); 教育部人文社科青年基金(19YJC630121)

责任编辑: 王 静