

文章编号: 0258-2724(2010)03-0486-07 DOI: 10.3969/j.issn.0258-2724.2010.03.029

## 技术站广义动态配流问题的局部邻域搜索算法

赵军, 彭其渊, 文超, 徐进

(西南交通大学交通运输学院, 四川 成都 610031)

**摘要:** 为了实现技术站阶段计划的计算机编制,研究了静态配流和列车解编方案调整的协同优化.在综合考虑优先排空和优先发送较近编组去向车流的编组要求、欠轴列车停运要求,以及到发列车时间和车流接续关系的基础上,以静态配流为主线,通过调整欠轴列车编组顺序以及与其相关到达列车的解体顺序构造邻域,设计了局部邻域搜索算法.该算法的主要思路是:每次搜索只考虑最早出发的欠轴列车;构造其邻域时保证不产生新的欠轴列车;通过邻域搜索后,该列欠轴列车如不能满轴就停运.算例表明,与既有方法相比,该算法能求出编组列车数、编组车辆数和中时的更好解.

**关键词:** 技术站;动态配流;局部邻域搜索;算法

**中图分类号:** U292.16 **文献标识码:** A

### Local Neighborhood Search Algorithm for Generalized Dynamic Wagon-Flow Allocation of Railway Technical Stations

ZHAO Jun, PENG Qiyuan, WEN Chao, XU Jin

(School of Traffic and Transportation, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** To realize computer-aided stage plan making for railway technical stations, the collaborative optimization problem of static wagon-flow allocation for train break-up and make-up sequence adjustment was studied. A local neighborhood search algorithm was designed, which meets the comprehensive requirements for train making-up, such as giving make-up priority to loaded wagon-flows for the nearest destination and the empty wagons, withdrawal of under-loaded trains, and the time and wagon-flow relationship between arrival and departure trains. In the algorithm, the main loop is to solve the static wagon-flow allocation problem, and the neighborhood is constructed by adjusting the make-up sequence of under-loaded trains and the break-up sequence of the arrival trains related to them. In each search loop, the algorithm only searches the earliest under-loaded departure train, its local neighborhood is so constructed that no new under-loaded train is produced, and that a train is withdrew if it is still under-loaded after the neighborhood search. A computational example demonstrated that the proposed algorithm could find a better solution in terms of the numbers of make-up trains and wagons, and average detention time of wagons in transit than the existing algorithms.

**Key words:** technical station; dynamic wagon-flow allocation; local neighborhood search; algorithm

阶段计划作为铁路技术站的具体工作计划,包括配流、调车机车运用和到发线运用3个子计划,其中配流环节是关键,它决定调车机车运用和到发

线运用计划的制定,同时,如果调车机车能力不满足要求、到发线冲突不能疏解,也需要重新调整配流,3个子计划相互交织在一起,迭代出较优的阶

收稿日期: 2009-09-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60776827)

作者简介: 赵军(1986-),男,博士研究生,研究方向为运输组织优化理论与方法,电话:028-87600757, E-mail: jun-zhao@home.swjtu.edu.cn

通讯作者: 彭其渊(1962-),男,教授,研究方向为运输组织优化理论与方法,电话:028-87600750, E-mail: qiyuan-peng@home.swjtu.edu.cn

设计计划,使阶段内更多的出发列车满足满轴、正点和不违编的要求.配流问题可分为静态配流问题和动态配流问题,其中静态配流问题研究列车解编方案确定条件下的配流优化;动态配流问题研究静态配流和列车解编方案调整的协同优化.广义配流问题是在原配流问题的基础上,考虑优先排空、优先发送较近编组去向车流的编组要求和车流不足情况下某些出发列车的停运要求,分别对应广义静态配流问题和广义动态配流问题.针对广义动态配流问题,文献[1-4]给出了基于初始配流→制定解体方案→制定编组方案→再配流的分层求解算法;文献[5-7]提出了初始可行编组方案→解体顺序集合→动态粗配流→制定解体方案→静态细配流的分层求解算法;文献[8]提出以列车配流为主线,通过构造局部邻域实现解体、编组方案协同优化的邻域搜索算法;文献[9-10]提出了列车解体方案和编组方案协调优化的分枝定界算法;文献[11-12]分别提出了基于列车解编顺序的混合遗传算法和自适应克隆选择算法;文献[13]提出了以先到先服务为原则的启发式算法,这些算法都没有考虑优先发送空车、优先编组较近编组去向车流的编组要求;分层求解算法、邻域搜索算法、分枝定界算法和启发式算法的执行效率均没有体现;混合遗传算法和自适应克隆选择算法的计算质量不高,收敛速度慢.文献[14]结合运输生产实际情况,在综合考虑特殊编组要求和停运要求的基础上,模拟车站调度员编制阶段计划时的思维过程,设计搜索算法解决了一台调机解体、一台调机编组作业方案(简称单解单编)下技术站的广义静态配流问题;初始列车解编顺序按照列车先到先解、先发先编原则制定,这在列车均衡到达和出发情况下完全适用,然而,由于各方面的原因,列车会在某时间段内密集到达或出发,甚至两种情况同时发生,这种情形下仍然按照初始列车解编顺序配流,可能会造成某些出发列车因其接续车流不足,从而欠轴、停运.如果存在出发列车欠轴,可通过调整列车解编顺序,或延长某些欠轴列车所需接续车流的集结时间,提高其满轴的可能性;文献[15]综合考虑调机能力限制和到发列车车流接续关系,分别设计了单解单编条件下技术站调整列车解编顺序的原则和方法.当然如果某出发列车实在不能满轴,必须将其停运.

本文在上述研究结果的基础上,通过调整欠轴列车编组顺序和其相关到达列车解体顺序构造邻域,设计单解单编下技术站广义动态配流问题的局

部邻域搜索算法,为解决这一问题提供了新途径.

## 1 确定相关到达列车

### 1.1 列车时间参数

为方便后面的讨论和算法设计,首先给出以下几个列车时间参数的计算方法,关于这些时间参数的详细说明参见文献[15].

#### (1) 列车解体最早结束时刻

在一台调机负责解体的情况下,同一时间只能解体一列列车,设 $N_{ND}$ 表示本阶段到达列车集合,按照到达时刻从前到后排序, $|N_{ND}| = n_{DD}$ , $i = 1, 2, \dots, n_{DD}$ ,根据阶段开始时刻、列车到达时刻、到达技术作业时间、解体作业时间和解体顺序,可确定列车解体最早结束时刻 $T_{EEJ,i}$ :

$$\left. \begin{aligned} T_{EEJ,J_1} &= \max \{ T_s, T_{DD,J_1} + t_{DD,J_1} \} + S_{J_1}, \\ T_{EEJ,J_k} &= \max \{ T_{EEJ,J_{k-1}}, T_{DD,J_k} + t_{DD,J_k} \} + S_{J_k}, \\ k &= 2, 3, \dots, n_{DD}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: $T_s$ 表示本阶段开始时刻,这里以调机开始作业时刻为阶段开始时刻; $T_{DD,i}$ 表示第 $i$ 列车到达时刻; $t_{DD,i}$ 表示第 $i$ 列车到达技术作业时间标准; $S_i$ 表示第 $i$ 列车的解体作业时间; $J$ 表示解体顺序数组; $J_k$ 表示第 $k$ 时段解体的到达列车编号,一列到达列车的解体过程对应一个时段 $k$ .

#### (2) 列车待解时间

如果阶段内列车密集到达,由于解体调机能力有限,部分到达列车需要等待解体,产生待解时间.列车待解时间:

$$\left. \begin{aligned} t_{DJ,i} &= T_{EEJ,i} - S_i - T_{DD,i} - t_{DD,i}, \\ i &= 1, 2, \dots, n_{DD}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

#### (3) 列车编组最晚开始时刻

在一台调机负责编组的情况下,同一时间只能编组一列列车, $N_{CF}$ 表示本阶段出发列车集合,按出发时刻从前到后排序, $|N_{CF}| = n_{CF}$ , $j = 1, 2, \dots, n_{CF}$ ,根据列车出发时刻、出发技术作业时间、编组作业时间和编组顺序,可确定列车编组最晚开始时刻 $T_{LSB,j}$ :

$$\left. \begin{aligned} T_{LSB,B_{n_{CF}}} &= T_{CF,B_{n_{CF}}} - t_{CF,B_{n_{CF}}} - C_{B_{n_{CF}}}, \\ T_{LSB,B_{k'}} &= \min \{ T_{LSB,B_{k'+1}} - C_{B_{k'}}, T_{CF,B_{k'}} - \\ & \quad t_{CF,B_{k'}} - C_{B_{k'}} \}, \\ k' &= (n_{CF} - 1), \dots, 2, 1, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中: $T_{CF,j}$ 表示第 $j$ 列车出发时刻; $C_j$ 表示第 $j$ 列车的编组作业时间; $t_{CF,j}$ 表示第 $j$ 列车出发技术作

业时间标准;  $B$  表示编组顺序数组;  $B_k$  表示第  $k'$  时段编组的出发列车编号, 一列出发列车的编组过程对应一个时段  $k'$ .

#### (4) 列车待发时间

如果阶段内列车密集出发, 由于编组调机能力有限, 部分出发列车需要提前编组, 产生待发时间. 列车待发时间:

$$t_{DF,j} = T_{CF,j} - t_{CF,j} - T_{LSB,j} - C_j, \\ j = 1, 2, \dots, n_{CF}. \quad (4)$$

#### (5) 列车解体最晚结束时刻

根据配流结果, 第  $i$  列到达列车解体结束时刻不能晚于所有与之有车流接续关系的出发列车编组最晚开始时刻, 即解体最晚结束时刻  $T_{LEJ,i}$  (如果某到达列车没有为任何出发列车提供接续车流, 令其解体最晚结束时刻等于其解体最早结束时刻).

$$\left. \begin{aligned} T_{LEJ,i} &= \min_{j \in \{j \mid l_{ij} \neq 0 \text{ 或 } e_{ij} \neq 0\}} \{T_{LSB,j}\}, \\ i &\in \{i \mid l_{ij} \neq 0 \text{ 或 } e_{ij} \neq 0\}, \\ T_{LEJ,i} &= T_{EEJ,i}, \\ i &\in \{i \mid l_{ij} = 0 \text{ 和 } e_{ij} = 0\}, \\ i &= 1, 2, \dots, n_{DD}, \quad j = 1, 2, \dots, n_{CF}, \\ f &= 1, 2, \dots, F, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中:  $F$  表示车站按编组计划规定的编组去向集, 空车按车种定义去向组号;  $l_{ij}$  和  $e_{ij}$  分别表示根据某一静态配流方案, 出发列车  $j$  吸收的到达列车  $i$  中编组去向  $f$  的重车和空车数;  $M_j$  为第  $j$  列列车满轴标量, 当满轴时, 取为 1, 否则为 0.

#### (6) 列车编组最早开始时刻

根据配流结果, 第  $j$  列出发列车编组开始时刻不能早于所有与之有车流接续关系的到达列车的解体最早结束时刻, 即编组最早开始时刻  $T_{ESB,j}$  (如果某出发列车欠轴, 令其编组最早开始时刻等于其编组最晚开始时刻).

$$\left. \begin{aligned} T_{ESB,j} &= \max_{i \in \{i \mid l_{ij} \neq 0 \text{ 或 } e_{ij} \neq 0\}} \{T_{EEJ,i}\}, \\ j &\in \{j \mid M_j = 1\}, \\ T_{ESB,j} &= T_{LSB,j}, \quad j \in \{j \mid M_j = 0\}, \\ j &= 1, 2, \dots, n_{CF}, \\ i &= 1, 2, \dots, n_{DD}, \\ f &= 1, 2, \dots, F. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

### 1.2 相关到达列车

文献[5]在假设所有到达列车解体时间相等和出发列车编组顺序固定的前提下, 给出了每列出发列车解体特征的计算方法, 通过对解体特征矩阵

实行列变换, 可以确定每列出发列车在时间上可以与哪些到达列车接续上. 然而, 每列到达列车的解体时间标准不一定相同, 列车的编组顺序有时候也应该调整, 上述方法难以确定到发列车时间上的接续关系; 当然, 通过到达列车到达时间、到达技术作业时间和解体作业时间参数, 以及出发列车编组最早开始时刻参数, 每列出发列车的接续到达列车也不难确定. 设  $R_j$  表示第  $j$  列出发列车的相关到达列车集合, 则有以下的相关到达列车定义及计算方法.

**定义 1** 对某列出发列车, 若某列到达列车在到达技术站后立即进行到达技术作业和解体作业, 其解体作业完成时刻不晚于该列出发列车按照列车编组顺序推算的列车编组最晚开始时刻, 则称该列到达列车为该列出发列车的相关到达列车.

当车站解体能力不受限制时, 每列到达列车一到车站, 进行到达技术作业检查后, 便可以解体, 成为有效接续车流. 如果某列到达列车成为有效接续车流后, 其解体作业完成时刻不晚于某列出发列车的编组最晚开始时刻, 该列到达列车在时间上便可以与该列出发列车接续上, 也就是说该列到达列车可能为该列出发列车提供接续车流. 如果某列出发列车急需车流补轴, 可以提前解体其相关到达列车, 为其满轴提供条件, 当然也不是绝对有效, 能否使其满轴, 还需要看它们之间的车流是否能接续上, 也就是说该列到达列车的编组内容是否满足该列出发列车的编组去向要求.

令

$$R_j = \{i \mid T_{LSB,j} \geq T_{DD,i} + t_{DD,i} + S_i, \\ i = 1, 2, \dots, n_{DD}\}, \\ j = 1, 2, \dots, n_{CF},$$

称集合  $R_j$  中元素为第  $j$  列出发列车的相关到达列车.

## 2 列车解编顺序的最大调整

### 2.1 欠轴列车编组顺序的最大调整

配流方案确定后, 如果某一出发列车欠轴, 通过调整其与后续出发列车的编组顺序, 可以延长其接续车流的集结时间. 与此同时, 不应该使其后续满轴出发列车因调整编组顺序而欠轴, 文献[9]提出了相邻列车编组顺序的定量调整方法, 并建议将其推广到跨列车编组顺序的调整, 但并没有对其进行定量研究. 文献[15]定量分析了对列车编组顺序做最大调整的方法. 当

$$\sum_{k'=1}^{k_1} C_{B_{\lambda+k'}} \leq t_{DF,j} < \sum_{k'=1}^{k_1+1} C_{B_{\lambda+k'}}$$

且

$$\begin{aligned} T_{LSB,j} &\geq T_{ESB,B_{\lambda+k'_2}}, \quad k'_2 = 1, \\ T_{LSB,j} + \sum_{k'=2}^{k_2} C_{B_{\lambda+(k'-1)}} &\geq T_{ESB,B_{\lambda+k'_2}}, \\ k'_2 &\in [2, k'_1] \end{aligned}$$

时( $\lambda$  为第  $j$  列欠轴出发列车在编组顺序数组  $B$  中的编组顺序),可对第  $j$  列欠轴出发列车的编组顺序做最大调整,即将编组顺序数组  $B$  中第  $j$  列欠轴出发列车的编组顺序调整为其后第  $k'_2$  列出发列车的编组顺序,并将编组顺序数组  $B$  中第  $\lambda + 1$  列至第  $\lambda + k'_2$  列出发列车的编组顺序依次提前一个列车单位.调整后第  $j$  列与其后  $k'_2$  列出发列车的编组最晚开始时刻为:

$$\left. \begin{aligned} T'_{LSB,j} &= T_{LSB,j} + \sum_{k'=1}^{k'_2} C_{B_{\lambda+k'}}, \\ T'_{LSB,B_{\lambda+k'_3}} &= T_{LSB,j}, \quad k'_3 = 1, \\ T'_{LSB,B_{\lambda+k'_3}} &= T_{LSB,j} + \sum_{k'=2}^{k'_3} C_{B_{\lambda+(k'-1)}}, \\ k'_3 &\in [2, k'_2], \quad k'_2 \in [1, k'_1], \\ k'_1 &\in [1, (n_{CF} - \lambda)], \\ \lambda &= 1, 2, \dots, (n_{CF} - 1). \end{aligned} \right\} (7)$$

### 2.2 欠轴列车相关到达列车解体顺序的最大调整

如果某欠轴出发列车不能调整编组顺序或调整编组顺序后不能满轴,还可以采用调整其相关到达列车解体顺序的方法,提高其满轴的可能性,同时不应该使得某些出发列车丢失接续车流,文献[15]定量分析了列车解体顺序的调整方法.当

$$\sum_{k=1}^{k_1} S_{\pi-k} \leq t_{DJ,i} < \sum_{k=1}^{k_1+1} S_{\pi-k},$$

且

$$\begin{aligned} T_{EEJ,i} &\leq T_{LEJ,J_{\pi-k_2}} (k_2 = 1), \\ T_{EEJ,i} - \sum_{k=2}^{k_2} S_{J_{\pi-(k-1)}} &\leq T_{LEJ,J_{\pi-k_2}}, \\ k_2 &\in [2, k_1] \end{aligned}$$

时( $\pi$  为第  $i$  列到达列车在解体顺序数组  $J$  中的解体顺序),可对第  $i$  列到达列车的解体顺序做最大调整,即将解体顺序数组  $J$  中第  $i$  列到达列车的解体顺序调整为其前第  $k_2$  列到达列车的解体顺序,并将解体顺序数组  $J$  中第  $\pi - 1$  列至第  $\pi - k_2$  列到达列车的解体顺序依次往后延迟一个列车单位.调整后第  $i$  列与其前第  $k_2$  列到达列车的解体最早结

束时刻为:

$$\left. \begin{aligned} T'_{EEJ,i} &= T_{EEJ,i} - \sum_{k=1}^{k_2} S_{J_{\pi-k}}, \\ T'_{EEJ,J_{\pi-k_3}} &= T_{EEJ,i}, \quad k_3 = 1, \\ T'_{EEJ,J_{\pi-k_3}} &= T_{EEJ,i} - \sum_{k=2}^{k_3} S_{\pi-(k-1)}, \\ k_3 &\in [2, k_2], \\ k_2 &\in [1, k_1], \quad k_1 \in [1, \pi - 1], \\ \pi &= 2, 3, \dots, n_{DD}. \end{aligned} \right\} (8)$$

## 3 局部邻域搜索算法

算法流程如图 1 所示.

文献[14]以阶段内发出配流车辆数最多、车辆在站平均停留时间最短为目标,以列车解体开始时刻、车流分配、车流接续和列车编组开始时刻为约束条件,建立了该技术站广义动态配流问题的多目标非线性混合整数规划模型,现阶段没有该模型的精确算法.在铁路车站实际运输生产组织过程中,车站调度员通常按照到达列车先到先解、出发列车先发先编的原则编制阶段计划,当存在部分出发列车因欠轴不能开行时,对某列欠轴列车可采用晚编或早解与该欠轴列车有接续车流的到达列车,尽量使该列车满轴,若实在不能满轴时,该欠轴列车因车流不足必须停运.本文以静态配流为主线,利用调整列车解编顺序的方法构造邻域,设计局部邻域搜索算法解决单解单编条件下技术站的广义动态配流问题.设  $QZ$  表示欠轴出发列车编号数组,欠轴列车按其在编组顺序数组中的位置从左向右排列; $MZ$  表示出发列车满轴标量,满轴取为 1,否则为 0;编号数组  $LAB1$  和  $LAB2$  分别表示调整编组顺序和解体顺序成功标量,成功取为 1;否则为 0.算法描述如下:

**步骤 1** 输入调车场现在车数据、到达列车和出发列车车流数据.按列车先到先解、先发先编原则给列车解编顺序数组赋初值,转到步骤 2.

**步骤 2** 根据列车解编顺序数组,计算列车解体最早结束时刻和编组最晚开始时刻.利用文献[14]搜索算法进行广义静态配流,记录  $QZ$  数组,转到步骤 3.

**步骤 3** 判断  $QZ$  数组是否为空.若为空,转步骤 7;否则,令  $temp = QZ(1)$ ,转到步骤 4.

**步骤 4** 根据当前静态配流结果,计算列车编组最早开始时刻.对第  $temp$  列欠轴出发列车进行

编组顺序的最大调整,记录  $LAB1$ . 如果  $LAB1 = 1$ , 更新编组顺序数组和列车编组最晚开始时刻,重新进行广义静态配流,如果  $MZ(temp) = 1$ , 记录  $QZ$  数组,转到步骤 3; 否则,  $LAB1 = 0$ , 或  $LAB1 = 1$  且  $MZ(temp) = 0$ , 转到步骤 5.

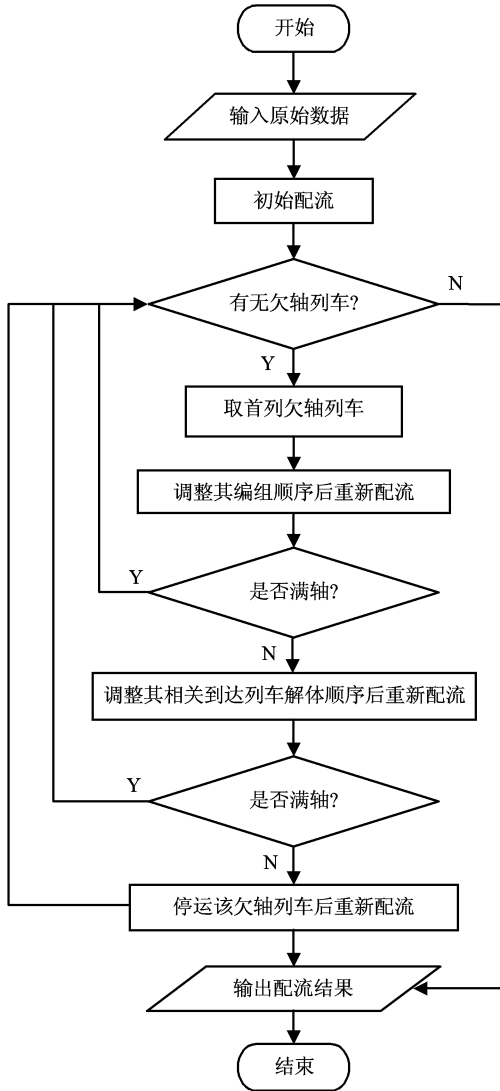


图1 局部邻域搜索算法的流程  
Fig.1 Flowchart of local neighborhood search algorithm

**步骤5** 根据当前静态配流结果,计算列车解体最晚结束时刻. 依次对第  $temp$  列欠轴出发列车的相关到达列车中到达时刻最早的列车进行解体顺序的最大调整,记录  $LAB2$ . 如果  $LAB2 = 1$ , 更新解体顺序数组和列车解体最早结束时刻,重新进行广义静态配流,如果  $MZ(temp) = 1$ , 记录  $QZ$  数组,转到步骤 3; 否则,  $LAB2 = 0$ , 或  $LAB2 = 1$  且  $MZ(temp) = 0$ , 转到步骤 6.

**步骤6** 令第  $temp$  列欠轴出发列车停运,重新计算列车解体最早结束时刻和编组最晚开始时刻,

并进行广义静态配流,记录  $QZ$  数组,转到步骤 3.

**步骤7** 根据当前列车解编顺序数组,按文献[14]方法计算到达列车解体最早开始时刻、解体最早结束时刻和待解时间;计算出发列车编组最晚开始时刻、编组最晚结束时刻和待解时间;输出列车解体方案、配流方案和列车编组方案,算法结束.

一列欠轴列车或通过调整其编组顺序后满轴;或通过调整其相关到达列车解体顺序后满轴;或者停运,所以,本文的局部邻域搜索算法必然收敛. 每次只考虑欠轴数组  $QZ$  里第一列欠轴列车,是因为当某列欠轴列车停运后,其吸收的部分接续车流也许能跟后续欠轴列车接续上,促使后续欠轴列车满轴.

### 4 算例

对文献[8]中案例进行广义动态配流. 该案例中没有空车编组去向,但编组时应优先发送较近编组去向车辆,重车编成长度为 35 辆,设定编组调机在右手边作业,利用 matlab7.0 编程,在 Core Duo&1.66GHz、RAM&2G 计算机上运行,得到优化结果. 列车解体顺序为

(1, 2, 3, 4, 6, 5, 7, 8, 9, 12, 11, 10),

列车编组顺序为

(2, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11),

本文的配流方案见表 1, 第 12 列出发列车由于其接续车流不足而停运.

表1 配流方案  
Tab.1 Wagon-flow allocation plan

| 出发车次  | 编组内容   | 辆数 | 满轴 |
|-------|--|----|----|
| 22301 | 22201/3/30, 22201/4/5                                  | 35 | 1  |
| 22202 | 22302/1/30, 22302/2/5                                  | 35 | 1  |
| 22204 | 32302/1/17, 32302/2/18                                 | 35 | 1  |
| 22303 | 22203/3/21, 22203/4/11, 32302/4/3                      | 35 | 1  |
| 22101 | 22205/5/19, 22201/5/5, 22302/5/2, 22205/6/7, 22203/6/2 | 35 | 1  |
| 22206 | 22304/1/20, 22304/2/15                                 | 35 | 1  |
| 22305 | 22207/3/18, 22205/3/10, 22203/3/3, 22207/4/4           | 35 | 1  |
| 46003 | 22306/6/14, 22207/6/10                                 | 24 | 1  |
| 41006 | 32304/2/13, 22306/2/5                                  | 18 | 1  |
| 46005 | 22211/4/19, 32304/4/10                                 | 29 | 1  |
| 22210 | 22308/1/8, 32304/1/12, 22306/1/15                      | 35 | 1  |

注:22201/3/30 代表到达列车车次/编组去向/辆数.

文献[8]的配流方案有误;文献[10]没有考虑出发列车不能欠轴开行的规定,仍然编组第12列出发列车;文献[11]忽视了摘挂列车可以欠轴开行,不合理地停运摘挂列车;文献[12]的求解质量可以进一步提高,本文的列车解体方案和编组方案分别见表2和表3。

表2 列车解体方案  
Tab.2 Train break-up plan

| 到达车次  | 到达顺序 | 解体顺序 | 解体开始时刻 | 解体结束时刻 | 待解时间/min |
|-------|------|------|--------|--------|----------|
| 22302 | 1    | 1    | 9:30   | 9:45   | 0        |
| 22201 | 2    | 2    | 9:45   | 10:00  | 5        |
| 32302 | 3    | 3    | 10:00  | 10:15  | 0        |
| 22203 | 4    | 4    | 10:15  | 10:30  | 3        |
| 22304 | 5    | 6    | 10:45  | 11:00  | 25       |
| 22205 | 6    | 5    | 10:30  | 10:45  | 2        |
| 22207 | 7    | 7    | 11:00  | 11:15  | 5        |
| 22306 | 8    | 8    | 11:15  | 11:30  | 15       |
| 32304 | 9    | 9    | 11:30  | 11:45  | 16       |
| 22209 | 10   | 12   | 12:15  | 12:30  | 55       |
| 22308 | 11   | 11   | 12:00  | 12:15  | 30       |
| 22211 | 12   | 10   | 11:45  | 12:00  | 0        |

表3 列车编组方案  
Tab.3 Train make-up plan

| 出发车次  | 出发顺序 | 编组顺序 | 编组开始时刻 | 编组结束时刻 | 待发时间/min |
|-------|------|------|--------|--------|----------|
| 22301 | 1    | 2    | 10:10  | 10:25  | 5        |
| 22202 | 2    | 1    | 9:55   | 10:10  | 30       |
| 22204 | 3    | 3    | 10:25  | 10:40  | 25       |
| 22303 | 4    | 4    | 10:40  | 10:55  | 18       |
| 22101 | 5    | 5    | 10:55  | 11:10  | 10       |
| 22206 | 6    | 6    | 11:10  | 11:25  | 20       |
| 22305 | 7    | 7    | 11:25  | 11:40  | 20       |
| 46003 | 8    | 8    | 11:40  | 11:55  | 15       |
| 41006 | 9    | 9    | 11:55  | 12:10  | 15       |
| 46005 | 10   | 10   | 12:10  | 12:25  | 5        |
| 22210 | 11   | 11   | 12:25  | 12:40  | 0        |

以阶段内编组列车数  $L_1$  (正向指标,越大越好)、编组车辆数  $L_2$  (正向指标)、中时  $L_3$  (负向指标,越小越好)和计算时间  $L_4$  (负向指标)为指标,对局部邻域搜索算法(local neighborhood search algorithm, LNSA)、混合遗传算法(hybrid genetic algorithm, HGA)和自适应克隆选择算法(adaptive clonal selection algorithm, ACSA)计算该算例的质量和效率进行了比较(表4)。

从表4可见,LNSA和ACSA在各项指标上都

优于HGA。LNSA与ACSA相比,多编组8辆车,中时缩短了0.17h,并且只需要不到50s的计算时间,与ACSA需要3min的计算时间相比,更能适应技术站智能快速配流的要求。

表4 算法比较

Tab.4 Comparison of algorithms

| 算法   | $L_1$ /列 | $L_2$ /辆 | $L_3$ /h | $L_4$ /s | 出处     |
|------|----------|----------|----------|----------|--------|
| HGA  | 9        | 315      | 4.156    | 600      | 文献[11] |
| ACSA | 10       | 343      | 3.620    | 180      | 文献[15] |
| LNSA | 11       | 351      | 3.450    | 50       | 本文     |

## 5 结论

算例分析表明:局部邻域搜索算法能很好的解决单解单编下技术站的广义动态配流问题,配流方法模拟车站调度员编制阶段计划时的思维过程,体现了优先排空、优先发送较近编组去向车流的编组要求;通过调整欠轴列车编组顺序和其相关到达列车解体顺序构造新的邻域,提高欠轴列车满轴可能性的同时,保证调整过程不会产生新的欠轴列车;经过邻域搜索后,一列欠轴列车或满轴,或停运,算法必定收敛;另外,该算法还具有计算速度快的优越性。

## 参考文献:

- [1] 何世伟. 铁路编组站阶段计划优化模型的研究[J]. 铁道运输与经济,1996,18(4): 87-90.  
HW Shiwe. Study on optimal model of stage plan for railway marshalling station[J]. Railway Transport and Economy, 1996, 18(4): 87-90.
- [2] 何世伟,宋瑞,朱松年. 编组站阶段计划解编作业优化模型及算法[J]. 铁道学报,1997,19(3): 1-8.  
HE Shiwe, SONG rui, ZHU Songnian. Optimal model and algorithm on stage plan of sorting and marshalling operation for marshalling station [J]. Journal of the China Railway Society, 1997, 19(3): 1-8.
- [3] 何世伟,宋瑞,朱松年. 铁路编组站阶段计划编制的模型及其算法研究[J]. 系统工程理论与实践,1997,17(2): 88-94.  
HE Shiwe, SONG Rui, ZHU Songnian. Study on model and algorithm of stage plan for railway marshalling station [J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 1997, 17(2): 88-94.
- [4] 袁庆达,杜文,黎青松. 区段站阶段计划的优化模型和算法[J]. 西南交通大学学报,2000,35(3): 250-254.  
YUAN Qingda, DU Wen, LI Qingsong. Optimal model

- and algorithm on stage plan for section station [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2000, 35(3): 250-254.
- [5] 王慈光. 编组站列车解体方案的计数方法[J]. 铁道学报, 2000, 22(6): 1-7.  
WANG Ciguang. The count method of train sorting schemes in marshalling stations [J]. Journal of the China Railway Society, 2000, 22(6): 1-7.
- [6] 王慈光. 用表上作业法求解编组站配流问题的研究[J]. 铁道学报, 2002, 24(4): 1-5.  
WANG Ciguang. Study on wagon-flow allocating problem in a marshalling station by using calculating method on-table [J]. Journal of the China Railway Society, 2002, 24(4): 1-5.
- [7] 王慈光. 编组站动态配流模型与算法研究[J]. 铁道学报, 2004, 26(1): 1-6.  
WANG Ciguang. Research on the model and algorithm of dynamic wagon-flow allocating in a marshalling station [J]. Journal of the China Railway Society, 2004, 26(1): 1-6.
- [8] 王明慧, 赵强. 编组站智能调度系统阶段计划优化模型及算法研究[J]. 铁道学报, 2005, 27(6): 1-9.  
WANG Minghui, ZHAO Qiang. Optimal model and algorithm of stage plan of intelligent dispatching system for Marshalling stations [J]. Journal of the China Railway Society, 2005, 27(6): 1-9.
- [9] 薛锋, 王慈光. 编组站列车编组顺序的调整方法[J]. 铁道学报, 2007, 29(4): 1-5.  
XUE Feng, WANG Ciguang. The adjustment method for train classification sequence in marshalling station [J]. Journal of the China Railway Society, 2007, 29(4): 1-5.
- [10] 薛锋, 王慈光, 罗建, 等. 编组站列车解体方案与编组方案的协调优化研究[J]. 铁道学报, 2008, 30(2): 1-6.  
XUE Feng, WANG Ciguang, LUO Jian, et al. Study on coordination optimization of train sorting and classifying schemes in marshalling station [J]. Journal of the China Railway Society, 2008, 30(2): 1-6.
- [11] 王正彬, 杜文, 吴柏青, 等. 基于解编顺序的阶段计划车流推算模型及算法[J]. 西南交通大学学报, 2008, 43(1): 91-95.  
WANG Zhengbin, DU Wen, WU Baiqing, et al. Model and algorithm for estimation of wagon flow of stage operating plan based on break-up and make-up sequences [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2008, 43(1): 91-95.
- [12] 申永生, 何世伟, 王保华, 等. 免疫算法求解编组站阶段计划配流问题研究[J]. 铁道学报, 2009, 31(4): 1-6.  
SHEN Yongsheng, HE Shiwei, WANG Baohua, et al. Study on allocation of wagon-flow in phase plan by using immune algorithm [J]. Journal of the China Railway Society, 2009, 31(4): 1-6.
- [13] 王世东, 郑力, 张智海, 等. 编组站阶段计划自动编制的数学模型及算法[J]. 中国铁道科学, 2008, 29(2): 120-125.  
WANG Shidong, ZHENG Li, ZHANG Zhihai, et al. Mathematical model and algorithm for automatically programming the stage plan of marshalling station [J]. China Railway Science, 2008, 29(2): 120-125.
- [14] 彭其渊, 赵军, 韩雪松. 技术站广义配流的模型与算法[J]. 中国铁道科学, 2010, 31(2): 108-114.  
PENG Qiyuan, ZHAO Jun, HAN Xuesong. Model and algorithm for railway technical station's generalized wagon-flow allocation problem [J]. China Railway Science, 2010, 31(2): 108-114.
- [15] 彭其渊, 赵军. 技术站列车解编顺序的调整方法[J]. 西南交通大学学报, 2009, 44(3): 385-391.  
PENG Qiyuan, ZHAO Jun. Adjustment method for train break-up and make-up sequence in railway technical station [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2009, 44(3): 385-391.

(中文编辑: 秦萍玲 英文编辑: 刘斌)