

考虑换重条件的 重载直达车流组织研究

王文宪 柏伟 邓鹏

西南交通大学, 交通运输与物流学院, 成都 610031

摘要: 对于煤炭、矿产等大宗货物的装车地而言, 在车流组织方向上, 重载线路与非重载线路的交织共存使得装车地重载车流的组织形式更加多样, 其优化的方法也不同于一般的装车地直达优化。本文首先分析了车流从装车地编发的各种组合方案, 以及它们在重载运输系统中的费用消耗, 然后针对列车在重载线路端点换重的情况, 建立了装车地重载直达列车开行方案的 0-1 非线性规划模型。鉴于该模型变量多、规模庞大, 用传统数学方法难以求解, 本文设计了基于遗传算法的求解方法。结果表明, 该算法具有较好的寻优能力, 是解决装车地直达重载运输优化问题的有效算法。

关键词: 装车地; 重载车流; 端点换重; 遗传算法

中图分类号: N945.12; U296

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2013)01-0068-06

Study on Optimized Organization Scheme for Through Heavy Haul Trains Based on Changing-for-weight

WANG Wen-xian BAI Wei DENG-peng

School of Transportation and Logistics,

Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

Abstract: For the loading points the coal minerals and other bulk cargo, the coexisted heavy haul railway and common railway causes the diversity in organization scheme for through heavy haul trains, the optimization method is also different from the normal. First, this paper analyzed various combination programs compiled at the loading points, and their cost in the heavy haul transportation system. Then, established a 0-1 non-linear programming model based on the circumstance of endpoint-thang-for-weight. Considering the large scale of the model, and hard to solve by traditional

收稿日期: 2012-02-24.

作者简介: 王文宪(1986-), 男, 汉族, 湖北孝感市人, 西南交通大学博士, 研究方向为: 运输组织优化。

mathematical methods, this paper designed a solution method based on genetic algorithm. The result shows that this algorithm is an effective way to solve the problem with optimized organization scheme for through heavy haul trains from the loading points.

Key words : Loading points , heavy haul traffic , endpoint-for-weigh , genetic algorithm(GA)

0 引言

在装车地区,由一个或几个装车站利用自装货车直接编组、至少无改编通过第一编组站的列车组织方式,称为装车地直达运输。装车站利用自装车辆组织的直达列车,称为装车地直达列车。不同结构特点的车流组织开行装车地直达列车的效果优劣有别,对大股车流而言,组织开行装车地直达列车具有明显的优势,主要表现在节省作业时间、缓解改编能力、提高经济效益、降低运价等方面。

当装车地有大量不同去向的车流存在时,装车地直达运输车流组织优化是一个规模较为庞大的问题,国内许多专家学者对该问题进行了深入研究。吴汉琳^[1]采用直达列车组织方案树的方法,通过对装车区各支车流进行综合协调来组织直达列车,选择整体有利的方案。朱松年等^[2]提出的线性 0-1 规划综合优化模型及二次 0-1 规划综合优化模型,在既有的装车地车流优化模型及技术站车流优化模型基础上,进行了仔细的筛选、改造及移植。林柏梁等^[3]在充分分析组织始发列车的必要条件及参数选择基础上,构造了装车地编组计划的非线性 0-1 规划模型,更全面地描述了始发车流的各种组合开行方案。曹家明等^[4]在分析组织装车地直达列车的可能性、合理性及费用参数选择的基础上,构建了装车地直达列车开行方案非线性 0-1 规划模型,并将运输与库存成本纳入同一目标函数,以物流系统成本最优来确定货物列车开行方案。范振平等^[5]首次针对装车地重载车流直达化进行了研究,构建了一类解构造图来描述该问题,并采用蚁群算法来求解,取得了较好的效果。强丽霞^[6]在综合考虑装车地直达运输系统费用消耗的基础上,针对运输网络中存在径路选择和重载运输通道端点换重

的情况,建立了装车地直达运输组织方案优化模型,最后采用蚁群算法求解。

上述文献针对装车地直达车流的开行,都提出了很好的建议和措施。然而,对于煤炭产区、矿区等大宗货物的装车地而言,重载线路与非重载线路在车流组织方向上的交织共存,使得装车地重载车流的组织形式更加多样,其优化的方法也不同于一般的装车地直达优化。如果仅仅局限于在重载通道开行牵引定数高的重载直达列车,虽然可以充分发挥重载通道的运能,但可能会把一些长程的始发直达车流进行短程化切割,使得这些车流在途中增加不必要的改编和换重作业;如果按照长程始发直达车流途经线路的最小牵引定数编发非重载列车,虽然可以使车流无改编通过沿途各技术站,但是非重载列车走行重载通道会造成运输能力的损失。如何在最大限度地发挥重载通道的运输能力、满足重载通道牵引定数要求的同时,又要让一些长程始发直达车流尽可能多地纳入远程直达列车,是铁路车流组织中面临的一个理论和实践难题。

1 模型构造

车流运行径路既定的条件下,装车地直达列车开行方案是要解决货物从装车地运送到用户过程中,在哪些 O-D 间开行直达列车,在哪些技术站进行改编,其目标是使车流以直达列车和非直达列车两种组织方式输送,在装车地、技术站、卸车站及运输途中总的换算车小时成本最小。当重载线路与普通线路交织共存时,由于各区段的牵引定数不同,在组织重载运输时,就要考虑端点换重,装车地直达车流组织要在降低车流输送费用的同时,尽可能地保证重载运输线路的能力利用和运输均衡。

因此，构建装车地列车优化编组方案的数学表达式如下所示：

$$\min \sum (T^{\text{装}} + T^{\text{途中}} + T^{\text{卸}})$$

式中， $T^{\text{装}}$ 为车流在装车地的作业消耗； $T^{\text{途中}}$ 为车流在运行途中的作业消耗； $T^{\text{卸}}$ 为车流在卸车地的作业消耗。

1.1 模型假设及目标函数分析

对于重载列车来说，在技术站长时间等待小股车流的集结是非常不利的，因为在途中技术站进行改编作业消耗太大，且进行重载列车改编作业的技术站需要较高的设备要求，故本文假设重载列车只在装车地编发，不在途中技术站进行改编作业，只在车流对应的最终编组站进行解体作业，且重载线路上的每个技术站都可进行换重作业。

定义 0-1 决策变量如下： x_{st}^0 表示车流 N_{st} 是否编发到达前方编组站的列车，1 代表是，0 代表否； x_{st}^k 表示车流 N_{st} 是否编发 $s \rightarrow k$ 的非重载直达列车，1 代表是，0 代表否； \bar{x}_{st}^{-k} 表示车流 N_{st} 是否编发 $s \rightarrow k$ 的重载直达列车，1 代表是，0 代表否； x_{st} 表示车流 N_{st} 是否编发 $s \rightarrow t$ 的非重载直达列车，1 代表是，0 代表否； \bar{x}_{st} 表示车流 N_{st} 是否编发 $s \rightarrow t$ 的重载直达列车，1 代表是，0 代表否。

(1) 如果始发车流 N_{st} 为小股车流，一般在装车地组织摘挂或小运转列车送至前方第一编组站，然后组织普通直达列车发往卸车地，其在装卸区、途中技术站以及走行重载线路产生的换算车小时消耗为：

$$T_1 = N_{st}(\omega_{st}^{\text{ff}} + \sum_{i \in J(s,t)} t_i + \lambda_{st})x_{st}^0$$

式中， N_{st} 为从装车地 s 发往卸车地 t 的日均计划车流量，车； V 为全路技术站的集合； $V(s)$ 为与装车地 s 相邻的第一编组站； ω_{st}^{ff} 为车流组织非直达列车送往前方第一技术站时，在装卸车地的单位车小时消耗； $J(k,t)$ 为车流在 $k \rightarrow t$ 途中进行改编的技术站集合； t_i 为普通列车在途中技术站 i 进行改编作业的

单位车辆作业时间； l_{ij} 为非重载列车欠轴运行在重载区段的长度； λ_{ij} 为由于未充分利用重载通道能力而造成的单位车辆费用损失。

(2) 如果始发车流 N_{st} 组织开行至前方技术站 k 解体的直达非重载列车，其在装卸区、途中技术站以及走行重载线路产生的换算车小时消耗为：

$$T_2 = \sum_{k \in V/V(s)} N_{st}(\omega_{st}^{\text{ff}} + \sum_{i \in J(k,t)} t_i + \lambda_{sk})x_{st}^k$$

式中， $V/V(s)$ 为 $s \rightarrow t$ 的途中除了第一编组站外的技术站集合； ω_{st}^{ff} 为车流组织从装车地至途中技术站解体的非重载直达列车时，在装卸车地的单位车小时消耗。

(3) 如果始发车流 N_{st} 组织开行至前方技术站 k 解体的直达重载列车，其在装卸区产生的换算车小时消耗为：

$$T_3 = \sum_{k \in V/V(s)} N_{st}(\bar{\omega}_{st}^{\text{ff}} + \sum_{i \in Q(t)} \bar{t}_i)x_{st}^{-k}$$

式中， $\bar{\omega}_{st}^{\text{ff}}$ 为车流组织开行从装车地至途中技术站解体的重载直达列车时，在装卸车地的单位车小时消耗； $Q(t)$ 为与卸车地 t 相邻的技术站集合； \bar{t}_i 为重载列车在途中技术站 i 进行解体作业的单位车辆作业时间。

(4) 如果始发车流 N_{st} 组织直接由装车地开行至卸车地的直达非重载列车，其在装卸区以及走行重载线路产生的换算车小时消耗为：

$$T_4 = N_{st}(\omega_{st}^{\text{zz}} + \lambda_{st})x_{st}$$

式中， ω_{st}^{zz} 为车流组织装车地到卸车地的非重载直达列车时，在装卸车地的单位车小时消耗。

(5) 如果始发车流 N_{st} 组织直接由装车地开行至卸车地的直达重载列车，其在装卸区以及途中换重站产生的换算车小时消耗为：

$$T_5 = N_{st}(\bar{\omega}_{st}^{\text{zz}} + \sum_{i \in P} t_i^h)x_{st}^{\bar{h}}$$

式中， $\bar{\omega}_{st}^{\text{zz}}$ 为车流组织装车地到卸车地的重载直达列车时，在装卸车地的单位车小时消耗； P 为重载

线路上的技术站点集合； t_i^h 为车流在途中技术站 i 换重的单位车辆作业时间。

综合以上分析，将所有车流组织形式的费用消耗统一考虑，以车流 N_{st} 从装车地到卸车地过程中的总车小时消耗最少为目标，可得下式：

$$\min T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5$$

1.2 约束条件分析

1.2.1 装卸能力约束

若装车地要组织至卸车地的直达重载列车或者非重载列车，必须满足装卸地的装卸条件限制。 m_{st} 为车流 N_{st} 从装车地发往卸车地的容许密集装车数，则

$$m_{st} = \min\{m_{st}^L, m_{st}^U\}$$

式中， m_{st}^L 为车流 N_{st} 的容许密集装车数； m_{st}^U 为车流 N_{st} 的容许密集卸车数。

此处的密集装卸指的是连续送装、送卸的过程，既不因货运量不足而停装，也不因场库容量不足而停卸。

当装车地 s 编开至某个技术站 k 的非重载直达列车时，该直达去向所吸引的各支车流的允许密集装车数要满足必要条件：

$$\bar{m}_{st} I\left(\sum_{k \in V^-(k,t)} x_{st}^k\right) - \sum_{k \in V^-(k,t)} m_{st} x_{st}^k = 0$$

式中， $I(x)$ 为阶跃函数，其定义为：

$$I(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

\bar{m}_{st} 为 $s-t$ 去向普通直达列车的平均编成辆数。

当装车地 s 编开至某个技术站 k 的重载直达列车时，该直达去向所吸引的各支车流的允许密集装车数要满足必要条件：

$$\bar{m}_{st}^{\text{重}} I\left(\sum_{k \in V^-(k,t)} x_{st}^{-k}\right) - \sum_{k \in V^-(k,t)} m_{st}^{\text{重}} x_{st}^{-k} = 0$$

1.2.2 车流组织的唯一性约束

对于车流 N_{st} ，有 5 种车流组织方法将其送达

目的地，无论按照哪种车流组织方案开出，其开行方式只有一种，即开行方案有唯一性：

$$I_{st} x_{st} + I_{st}^{\text{重}} \bar{x}_{st} + \sum_{k \in V^-(k,t)} x_{st}^k + \sum_{k \in V^-(k,t)} \bar{x}_{st}^{-k} + x_{st}^0 = 1$$

式中，符号 I_{st} 定义为

$$I_{st} = \begin{cases} 1 & \text{若 } N_{st} \text{ 为普通直达} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

$$I_{st}^{\text{重}} = \begin{cases} 1 & \text{若 } N_{st} \text{ 为重载直达} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

I_{st} 的作用是使满足条件（此处指日均计划车流能够满足单独组织直达列车的情况）的车流开行直达卸车地列车，同时防止小车流编发开行直达卸车地的列车。

1.3 模型的建立和线性化处理

综上所述，以装车地车流在整个运输中的总车小时消耗最小为目标，建立装车地重载车流组织优化模型如下：

$$\begin{aligned} \min T &= T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 \\ \text{s.t. } &\bar{m}_{st} I\left(\sum_{k \in V^-(k,t)} x_{st}^k\right) - \sum_{k \in V^-(k,t)} m_{st} x_{st}^k = 0 \\ &\bar{m}_{st}^{\text{重}} I\left(\sum_{k \in V^-(k,t)} \bar{x}_{st}^{-k}\right) - \sum_{k \in V^-(k,t)} m_{st}^{\text{重}} \bar{x}_{st}^{-k} = 0 \\ &I_{st} x_{st} + I_{st}^{\text{重}} \bar{x}_{st} + \sum_{k \in V^-(k,t)} x_{st}^k + \sum_{k \in V^-(k,t)} \bar{x}_{st}^{-k} + x_{st}^0 = 1 \\ &x_{st}^0, x_{st}^k, \bar{x}_{st}^{-k}, x_{st}, \bar{x}_{st} \in \{0, 1\} \end{aligned}$$

2 模型求解

从模型可以看出，针对装车地的每一支车流的可能组织形式，都要设置一个 0-1 自变量，而且随着车流去向增多和路网结构复杂性的增强，自变量的数量会过于庞大，使求解非常困难。现代智能算法的研究和发展，给问题的求解带来了契机。其中，在求解大规模优化问题中体现出强大优势的遗传算法，具有可行解表示广泛、并行计算能力强、方便计算机实现的特点，被广泛地应用在各个研究领域^[7]。本文尝试运用遗传算法来求解模型。

运用 Matlab 中遗传算法工具箱编写程序的步骤为：

Step1 自变量初始化：作为遗传算法的表现形式，装车地重载直达车流组织优化问题的解可用 0-1 变量集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 表示，这里称其为初始串结构数据，全部车流的所有组织方式作为一个初始串结构。

Step2 初始群体的生成：随机产生 NIND 个初始串结构数据，每个串结构数据称为一个个体，NIND 个个体构成一个种群 Chrom。以此作为初始点开始迭代。

Step3 适应度值评价：检测适应度函数表明个体或解得优劣性。对于装车地重载直达车流组织问题，设置其目标函数为个体适应函数。

Step4 选择：选择的目的是为了从当前群体中选出优良的个体，使它们有机会作为父代为下一代繁殖子孙。这里运用随机遍历抽样 sus，将适应度值最高的 NIND*90% 个体复制给新的种群 SelCh。

Step5 交叉：交叉操作可以得到新一代个体，新个体组合了父辈个体的特性，对每一个个体，以某个概率 (XOVR=0.7) 交换它们之间的部分染色体。采用多点交叉 xovmp 对新种群 SelCh 进行交叉操作，交叉概率为 XOVR，然后将进行了交叉重组操作的种群复制给种群 SelCh。

Step6 变异：变异是指对种群中得每一个个体，以某一概率 ($P_m=0.7/NIND$) 改变某一个或某一些基因座上的基因值为其他的等位基因。此方法的好处在于前期容易产生多样性个体，防止出现未成熟过早收敛，而后期较小的变异概率又不会破坏本已接近最优解的个体。以概率 P_m 对种群 SelCh 进行变异操作，并将变异后的种群返回给 SelCh。

Step7 重插入：计算 SelCh 中个体的适应度值，并赋值给 ObjVSel；基于适应度将子种群 SelCh 插入种群 Chrom，将 Chrom 中所有比 SelCh 中适应度低的个体替代，得到一个新的种群，将新的适应度值返回给 ObjV，将新的种群返回给 Chrom，代计数器 gen 加 1。

Step8：判断遗传代数是否大于给定的值，是则停止计算，否则返回 Step4。

3 实例分析

为验证模型算法的有效性，这里用图 1 所示的简化路网为计算实例进行分析。图中标号 1 至 6 为技术站，7 至 12 为卸车站，其中 1 至 5 技术站都在重载线路上且具备解体重载列车的能力。由于模型规模过于庞大，这里不再重述。

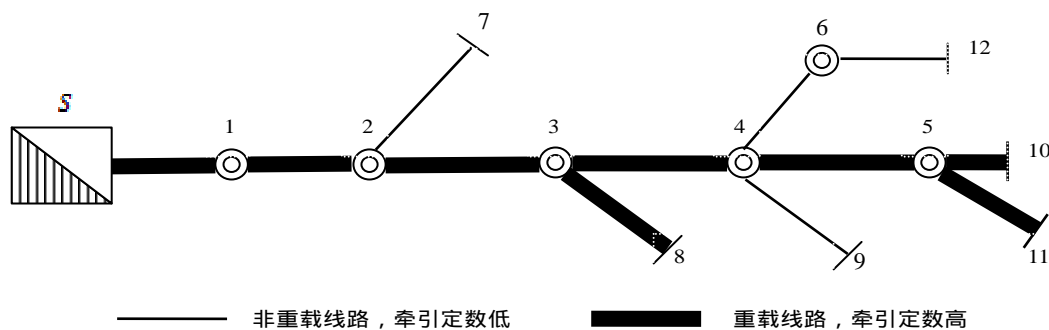


图 1 简化的铁路网示意

Fig.1 Simplified schematic diagram of a railway network

本例中设始发车流量为 $N_7 = 45$ 、 $N_8 = 20$ 、 $N_9 = 32$ 、 $N_{10} = 120$ 、 $N_{11} = 150$ 、 $N_{12} = 18$ ；装卸地费用

参数为 $\omega_{st}^{ff} = 10$ 、 $\omega_{st}^{sf} = 15$ 、 $\omega_{st}^{zz} = 18$ 、 $\bar{\omega}_{st}^{ff} = 8$ 、 $\bar{\omega}_{st}^{zz} = 12$ ；改编作业消耗参数为 $t_2 = 2$ 、 $\bar{t}_2 = 3$ ， $t_3 = 4$ 、 $\bar{t}_3 = 5$ ，

$t_1 = t_4 = t_5 = t_6 = 3$ 、 $\bar{t}_4 = \bar{t}_5 = \bar{t}_6 = 4$ ；换重作业消耗参数为 $t_i^h = 3$ ， $i=2,3,4,5$ ；列车平均编成辆数 $\bar{m}_{st} = 40$ 、 $\bar{m}_{st}^{\text{重}} = 60$ ；各个区段重载里程为 $l_{s1} = 55\text{km}$ 、 $l_{12} = 42\text{km}$ 、 $l_{23} = 70\text{km}$ 、 $l_{34} = 63\text{km}$ 、 $l_{45} = 78\text{km}$ 、 $l_{38} = 30\text{km}$ 、 $l_{5,10} = 28\text{km}$ 、 $l_{5,11} = 34\text{km}$ 。普通货车经过重载通道所产生的单位里程费用损失为 $\lambda = 0.15$ 车小时/km。

按照以上描述的遗传算法步骤，通过计算机追踪算法性能，得到如下结果：变量 x_7 、 x_8^0 、 x_9^4 、 \bar{x}_{10} 、 \bar{x}_{11} 、 \bar{x}_{12}^4 的值为 1，其余变量的值为 0，如图 2 所示。

如此，具体的车流组织方案为： N_7 在装车地组织直达非重载列车， N_8 送至第一编组站作为技术车

流， N_9 组织直达技术站 4 的直达非重载列车， N_{10} 和 N_{11} 在装车地组织直达重载列车， N_{12} 在组织到达技术站 4 的直达重载列车。

4 结 论

本文分析了在重载线路与非重载线路交织共存条件下，装车地车流组织优化模型的建模过程。针对模型规模庞大、难以用普通数学方法求解的困难，设计求解该 NP 问题的遗传算法。此外，如何更加准确地获得各技术站改编、换重车小时消耗以及确定普通列车走行重载线路的消耗系数，是装车地车流组织研究中值得研究的问题。

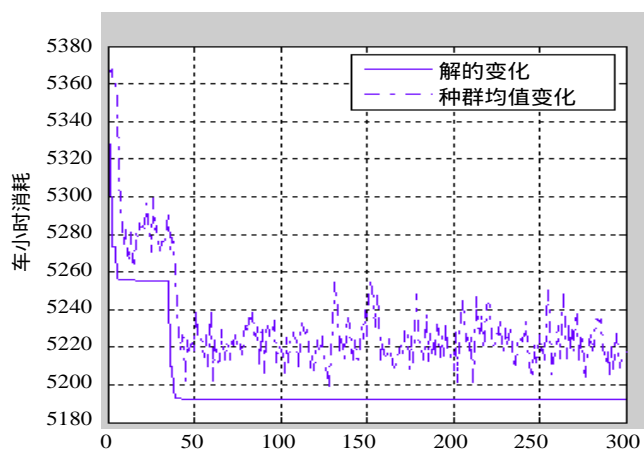


图 2 遗传算法求解结果示意

Fig.2 Result by genetic algorithm

参考文献

- [1] 吴汉琳. 装车地直达列车组织方案的研究[J]. 铁道学报, 1987, 9(4): 17-26.
- [2] 朱松年, 曹家明, 赵强, 杜文. 车流组织综合优化[J]. 铁道学报, 1993, 15(3): 59-69.
- [3] 林柏梁, 朱松年, 史德耀, 何世伟. 装车地直达列车编组计划的优化模型[J]. 中国铁道科学, 1995, 16(2): 108-114.
- [4] 曹家明, 林柏梁, 严贺祥. 装车地直达列车开行方案优化模型[J]. 铁道学报, 2006, 28(4): 6-11.
- [5] 范振平, 乐逸祥, 范登科, 林柏梁. 基于蚁群算法的装车地直达重载运输优化模型求解算法研究[J]. 物流技术, 2007, 26(8): 110-114.
- [6] 强丽霞. 基于端点换重的装车地直达车流组织优化模型与算法研究[J]. 中国铁道科学, 2009, 31(6): 91-96.
- [7] 雷英杰. Matlab 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.

(中文编辑: 刘娉婷)