

文章编号:1005-0523(2009)05-0007-08

# 路企直通运输空车调配模型及算法研究

曲思源<sup>1,2</sup>, 徐行方<sup>1</sup>

(1. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804; 2. 上海铁路局调度所, 上海 200071)

**摘要:**路企直通运输这一新的运输组织模式使传统路网空车调配问题有了新的特征,在借鉴传统空车调配问题模型的基础上,统筹考虑卸空站、装车站、技术站的空车调配数量、路径和时机问题以及技术站始发空车专列的来源,建立基于整个运输过程费用最小化为目标的路企直通运输空车调配模型并分为技术站空车配流和路网空车调配两个问题求解,使得空车调整模型符合运输生产实际并具有普遍意义,以上海铁路局部分战略装车点配空为例加以验证,该模型的采用对路网上空车调整问题将起到很好的借鉴作用。

**关键词:**路企直通运输;空车调配;第一邻近技术站

**中图分类号:**U292.45

**文献标识码:**A

传统的铁路空车调配模型大多作为简单的运输问题处理,以便合理解决空车需求与供应之间不平衡问题,核心在于确定需求到供应节点间空车调配数、运输路径。通常以空车走行公里或运输费用最小化为目标构建模型获得路网供需节点间的空车最优分配方案。文献[1]表明简单运输模型已在全路技术计划管理信息系统中采用;文献[2]将运输问题启发式算法与经典算法比较,表明有关运输问题模型的算法日趋完善;文献[3]考虑到路网运输能力限制并采取迭代算法进行分步优化,使得模型进一步符合运输实际;文献[4]通过路网等边界条件的设定使得模型具有系统和严密性;文献[5~7]引入“时间窗”约束条件,使得空车调整向装车站的配空时机方向扩展。然而,传统的空车调配模型是在满足一定约束条件的确定性模型,涉及面较窄,忽视空车调整过程中基于技术站改编作业过程以及始发空车专列的空车来源等问题。文献[8]研究的技术站空车调配问题仅仅是一个特例,条件是卸车站产生的空车全部在技术站改编后重新分配。实际上路网空车调配既有卸车站发出的空车专列直达装车站,沿途经由有关技术站进行无调中转作业,还有部分空车随小运转或空重混编列车的方式到技术站进行改编后重新分配等复杂情况。文献[9]研究了编组站改编作业的简单配流问题,但实际上编组站编组列车有无调和有调中转两种方式,需要结合具体问题进一步分析。路企直通运输是铁路部门从扩大运力供应,缓解运输瓶颈制约出发提出的重大战略举措,其内容是通过技术改造使得本务机车在国铁与“厂、矿、港”企业接轨站之间直进直出以实现运输作业过程贯通和结合部无缝衔接的流程再造。这种新的货物运输组织方式已成为挖掘运输潜能、改善企业内部运输环境、优化大客户运输流程、实现物流运作方式、提高运输效率和效益的重要手段。在这种背景下,路企直通运输空车调配问题使得传统空车调配有了新的特征,也自然成为研究的重点。本文在前人学者研究的基础上,综合从路企直通运输有关卸车站、装车接轨站和技术站等的角度出发,将路企直通运输空车调配问题分为技术站空车配流和路网空车调配两个问题分别求解,构建基于整个运输过程费用最小的路企空车调整网络模型。

## 1 问题描述及分析

### 1.1 路企直通运输主要特征

路企直通运输装车站为战略装车点,具有以下主要特征:企业按照直通运输同一去向、同一到站提出

收稿日期:2009-08-02

基金来源:上海铁路局合理化建议和技术改进项目(200806)

作者简介:曲思源(1972-),男,黑龙江林口人,博士研究生,高级工程师,从事交通运输规划与管理研究。

请车申请,铁路调度部门严格按承认车审批程序优先安排,在运力安排上确保整列配车、整列始发,不存在车种代用现象,并有固定车底循环参与车辆周转;同时,受企业整列装车能力限制,每列配空专列平均编组辆数相同等。

### 1.2 装车接轨站空车来源

卸车站发出的空车,主要有三种组织方式:一是整列组织到达装车接轨站,途中需在部分技术站进行无调中转作业;二是随小运转列车方式组织空车整列(未达到平均编组辆数)到达第一邻近技术站(根据编组计划规定空车方向经过的第一个技术站并且不能越过需要在该站进行解编作业,以下简称技术站)进行补轴作业后重新始发到达装车接轨站,原整列空车为无调中转;三是部分空车随空重混编列车方式组织到达技术站集结改编后由技术站始发直达空车专列到达装车接轨站。显见,技术站始发的空车专列要按照始发时刻要求组织空车流参与路企直通运输配空。

### 1.3 配空时机分析

铁路部门为确保到达装车接轨站的时机问题,更强调运输服务质量和配空效率,配空时机往往是送空和取重相结合的方式。因而,时间窗约束是空车调配问题中重要的约束条件之一,是空车调整过程必须考虑的重点,空车调整到位早或晚都要付出一定的惩罚费用,即:早到重车未装完,会造成路企接轨站能力紧张,使其产生一定的空车积压费用;晚到一方面影响出重效率,另一方面还要产生企业装车延误损失费,当空车到达时间恰在积压费用和延误损失费分界线时间窗内时才符合路企双赢准则,双方均会感到满意。

## 2 模型构建

### 2.1 模型假设

所讨论的路网结构是一个封闭的系统,不存在空车对流现象,卸车站和装车接轨站空车流供需平衡,空车调配运输前任务已经确定,运输过程中保持静态稳定,空车专列平均编组辆数相同,技术站承担的空车无调和有调中转小时费用均相同,且配空专列途中经由进行无调中转的技术站停留时间相同。

### 2.2 相关参数定义

设  $S$ 、 $C$ 、 $R$  分别为卸车站、技术站和装车接轨站的集合,且  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ ,  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$ ,  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ ; 多个卸车站发出的空车数分别为  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ ; 多个装车接轨站需要的空车数分别为  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ 。

因技术站参与空车中转,故路企直通运输空车调配为扩大化的运输问题。设  $U = (S, D) = \{u_1, u_2, \dots, u_{m+q}\}$ , 其中  $u_1 = s_1, \dots, u_{m+1} = c_1, \dots, u_{m+q} = c_q$ ; 同理  $V = (R, C) = \{v_1, v_2, \dots, v_{n+q}\}$ , 其中  $v_1 = r_1, \dots, v_{n+1} = c_1, \dots, v_{n+q} = c_q$ ; 定义路网结构  $G = (U, V, E)$ ,  $U$ 、 $V$  是网络中节点集合,  $E$  是边集,  $n_{ij}$  为  $u \rightarrow v$  的空车调整量; 显见,当  $i = m+1, \dots, m+q$  和  $j = n+1, \dots, n$  时,  $n_{ij} = 0$ , 即技术站间不存在空车调整量;  $L$  是路网所有路段的集合,  $l$  是任意路段,  $l \in L$ , 相应路段的流量和容量分别为  $f_l$  和  $l_l$ ;  $P$  为  $u \rightarrow v$  ( $u = 1, \dots, m+q$ ;  $v = 1, \dots, n+q$ ) 所有路径集合,  $\rho$  为  $u \rightarrow v$  ( $u = 1, \dots, m$ ;  $n = n+1, n+q$ ) 间所有路径集合;  $M$  为空车专列平均编组辆数; 为确保运输资源充分利用,规定卸车站随小运转方式到达技术站进行无调中转的空车专列必须大于一定辆数  $N$  方准开行;  $Z$  为非负整数。同时为简化模型和求解方便,假设卸车站发出到第一相邻技术站只提供一列或是无调或是有调而且该站解编能力满足需要。

另外,设  $t_u^k$ 、 $t_{uw}^k$ 、 $t_w^k$  分别为  $u \rightarrow v$  空车直达列车经路径  $k$  运输的始发、运行和终到时刻,  $k \in \rho$ ;  $t_1^k$ 、 $t_1^k d_{uw}^k$ 、 $t_{1w}^k$ 、 $t_1^k$ 、 $t_f$  分别为  $u \rightarrow v$  改编空车列车经路径  $\lambda$  运输的始发时刻、运行时间、技术作业时间标准以及始发空车专列的始发时刻和发车作业时间,  $\lambda \in \rho$ 。

### 2.3 模型构建

从路企直通运输空车调配的整个过程分析,产生的运输费用包括:

(1)  $u$  始发整列空车专列到达路企直通运输装车接轨站消耗的运输费用包括运行产生的费用和途中

需在部分技术站进行无调中转技术作业产生中转费用,表示如下

$$F_1 = \sum_{u=1}^{m+q} \sum_{v=1}^n \sum_k^p (c_{uv} + \sigma h_0 e_0) n_{uv} \delta_{uv}^k \quad (1)$$

式中:  $c_{uv}$  表示  $u \rightarrow v$  运行产生的单位车小时运输费用;  $\sigma, h_0, e_0$  表示  $u \rightarrow v$  运行中经由无调中转技术作业的技术站次数和平均一次作业时间以及车小时费用。并且,当  $uv$  间空车直达列车经过  $p$  中第  $k$  条路径时,  $\delta_{uv}^k = 1$  否则为 0。

(2)  $u$  始发空车专列到达路企直通装车接轨站不在时间窗内相应产生的惩罚费用,设定  $e_r, d_r$  分别为  $r$  站空车积压费和延误损失费的分界线时间,显见空车到达时间介于  $[e_r, d_r]$  时不会产生惩罚费用;  $\alpha_r, \beta_r$  分别表示单位空车积压和延误损失费,即有

$$F_2 = \sum_{u=1}^{m+q} \sum_{v=1}^n \sum_k^p [\alpha_j \max(e_j - t_{uv}^k, 0) + \beta_j \max(t_{uv}^k - l_j, 0)] \quad (2)$$

(3) 为满足  $u(u = m + 1, \dots, m + q)$  站始发空车专列要求,要根据  $u \rightarrow v$  间到达列车时刻寻找满足无调和有调作业后接续始发空车时刻的要求组织空车配流,即有

$$F_3 = \sum_{u=1}^{m+q} \sum_{v=n+1}^{n+q} \sum_{\lambda}^p (c_{uv} + e_0 h_0) n_{uv} \delta_{uv}^{\lambda} \quad \text{当 } N \leq n_{uv} < M \text{ 时} \quad (3)$$

$$F_3 = \sum_{u=1}^{m+q} \sum_{v=n+1}^{n+q} \sum_{\lambda}^p (c_{uv} + e_1 h_1) n_{uv} \delta_{uv}^{\lambda} \quad \text{当 } n_{uv} < N \text{ 时} \quad (4)$$

当  $uv$  改编列车时经过  $p$  中第  $\lambda$  条路径时,  $\delta_{uv}^{\lambda} = 1$  否则为 0。

式(3)中隐含到达  $v$  的整列空车不可分解进行无调中转原则,  $c_{uv}$  分别表示  $u \rightarrow v$  两种方式列车组织运行产生的单位车小时运输费用;  $h_1, e_1$  分别表示有调中转的一次的停留时间以及有调中转单位车小时费用。

综上,建立路企直通运输空车调配模型如下

$$\min Z_1 = F_1 + F_2 \quad (5)$$

$$\min Z_2 = F_3 \quad (6)$$

s. t.

$$\sum_{u=1}^{m+q} n_{uv} = a_u \quad u = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

$$\sum_{u=1}^{m+q} n_{uv} = b_v \quad v = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$\sum_{u=1}^m a_u = \sum_{v=1}^n b_v = zM \quad (9)$$

$$\sum_{u=1}^m n_{uv} = \sum_{v=1}^n n_{m+i,v} = z'M \quad i = 1, 2, \dots, q \quad (10)$$

$$n_{uv'} = b_{uv'} = z_u M \quad u = 1, 2, \dots, m + q; \forall v' v' = (v_1, \dots, v_n) \quad (11)$$

$$n_{u'v} = a_{u'r_1} + a_{u'r_2} \text{ 且 } a_{u'r_1} = z_{u'} M \text{ 和 } a_{u'r_2} \geq 0$$

$$r_1 = 1, 2, \dots, n; r_2 = n + 1, n + 2, \dots, n + q; \forall u' u' = (u_1, \dots, u_m) \quad (12)$$

$$\sum_{r_2=n+1}^{n+q} x_{r_2} = 1, x_{r_2} \text{ 为 } 0-1 \text{ 变量, 若 } x_{r_2} = 1 \text{ 则 } a_{u'r_2} > 0, \text{ 否则 } a_{u'r_2} = 0 \quad (13)$$

$$f_l \leq f_L \quad \forall l \in L \quad (14)$$

$$n_{u_0 v_0} = b_{u_0 v_0} = z_0 M \quad u_0 \in u', v_0 \in v \quad (15)$$

$$t_{uv}^k + t_{uv}^k = t_{uv}^k = 1, 2, \dots, m + q; \forall v, k \quad (16)$$

$$t_{1uv}^k + t_1 d_{uv}^k \leq t_{1uv}^k - t_f, u = 1, \dots, m; v = n + 1, \dots, n + q; \forall \lambda \quad (17)$$

$$n_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m + q; j = 1, 2, \dots, n + q \quad (18)$$

$$n_{ij} = 0 \quad i = m + 1, \dots, m + q; j = n + 1, \dots, n + q \quad (19)$$

$$\delta_{uv}^k, \delta_{uv}^{\lambda} \in \{0, 1\} \quad (20)$$

$$\forall u \in U, \forall v \in V, \forall k \in p, \forall \lambda \in \rho \quad (21)$$

$$z_0, \dots, m+q, z', z, z_u, z_u' \in Z \quad (22)$$

目标函数中,(5)表示路网空车配空运输费用最小化;(6)表示技术站空车配流运输费用最小化。

限制条件中,(7)、(8)、(9)表示供需平衡;(10)表示出入技术站空车平衡;(11)表示每个装车接轨站需求空车辆;(12)表示卸车站提供的空车去向分为两部分,一部分到达装车接轨站,一部分到达技术站进行改编作业并分为无调和有调两种方式;(13)表示任一卸车站到达技术站改编两种方式中只能任选其一;(14)表示路段能力限制;(15)表示卸车站固定车底循环的限制;(16)表示卸车站和技术站始发空专到达装车站时刻;(17)表示改编空车到达技术作业经过技术作业、发车作业后的时刻满足始发直达空车专列出发时间要求;(18)、(19)表示决策变量;(20)表示空车走向路径0-1变量;(21)表示变量所属集合;(22)表示所设参数取非负整数。

### 3 模型求解

模型可分为技术站空车配流问题和路网路企直通空车调配两个问题分别求解。先根据路企直通运输接轨站配空计划,确定卸车站和技术站组织空车直达列数,在实际运输中首先确定技术站的空车配流问题然后再组织路网空车调配。

**Step1** 规定空车流方向,标号一般原则为:卸车站与装车接轨站或技术站节点相邻时,由卸车站指向装车接轨站或技术站;两个卸车站、技术站或装车接轨站节点相邻时,可先不确定方向,最后检查分配方案后灵活调整以符合运输调整实际。

**Step2** 按照节点空车流方向计算卸车站到装车接轨站和相邻技术站间的最短距离,当路网上的节点数量较多时,可以通过最短路径(Dijkstra 或 flody 等)算法求得。若存在路权相等的情况可任选其一,求得路网中供需节点间最短路径为初始路径。

**Step3** 根据装车接轨站需求确定卸车站、技术站始发空专列数和始发时刻,根据技术站始发空车专列时刻确定空车供应的卸车站,按技术站作业无调和有调消耗运输费用最小为目标建立运输问题求解,在求解过程中确保无调中转空车不改编分解。求解依据是:卸车站到达技术站运行费用是定值,变化的是如何将空车流配空组成满足技术站始发时刻需要以确保总停留时间产生的运输费用最小。

**Step4** 综合考虑卸车站和技术站始发整列空车数量和时刻以及技术站作业能力以及路段通过能力限制,并注意固定车底循环的供需节点要求,确定供需空车流平衡表,按照供应站始发时刻(某一供应站有若干列数时依次排列),建立供应数量 and 装车接轨站需求列数(某一接轨站需要若干列数时依次排列),从而建立运输费用消耗矩阵。

**Step5** 利用 LINGO8.0 软件求解,参见文献[10],按照运输问题或指派问题编程,求得运输过程中卸车站和技术站共同组织到接轨站运输费用最小的空车调整方案,并根据运输生产的实际情况核查结果的正确性。

### 4 实例研究

铁道部实施“一主两翼”战略措施后,上海铁路局空车调配主要在二通道进行,一通道能力主要保客运,现模拟局管内淮南、淮北矿区目前共有8个路企直通战略装车点配空实际。假设某日配空涉及18个卸车站和6个技术站完成,其路网结构示意图如图1所示,两个通道空车方向  $s_1 \rightarrow c_1 \rightarrow r_1 \rightarrow r_2 \rightarrow r_4$  和  $c_2 \rightarrow c_3 \rightarrow c_4 \rightarrow r_4$ ,配空关键是青町、坡里、青龙山、濉溪等站配空数量和径路问题,常遇到阜阳北编组站改编能力紧张,只承担空车无调中转作业,不进行空车改编作业,且  $s_6$ 、 $s_5$  和  $c_3$  间路段能力紧张,不允许组织空车运行,路段能力受限; $s_3$  空车方向为  $c_1$ ,  $s_6$  向空车方向为  $c_2$ ;  $s_{11}$ 、 $s_{10}$ 、 $s_9$ 、 $s_8$  整列空专经  $c_3$  时无调中转,  $s_5$  经  $c_1$  时无调中转,有空车无调中转作业的技术站时间为1h,无调中转2元/h,有调中转5元/h;固定车底循环列车有4列,分别为马鞍山—潘集、裕溪口—颍上各2列,且  $M=52$  辆,  $N \geq 35$  辆,  $t_f=35$  min。其它有关技术参数见表1~6。

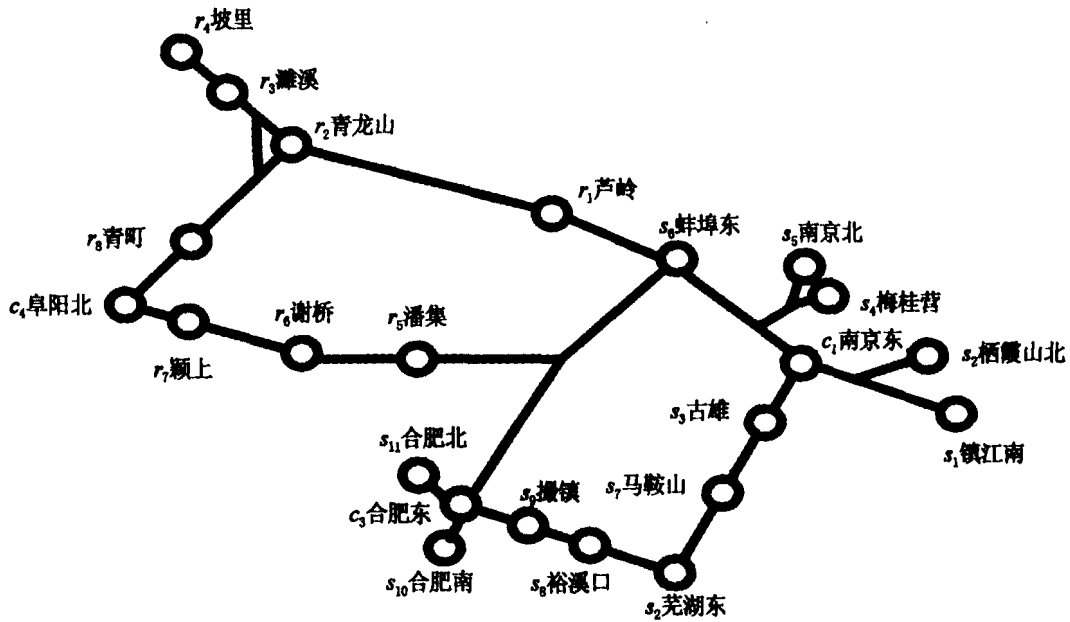


图 1 路网结构示意图

表 1 接轨站需求空专列数

接轨站	装车/列
$r_1$	3
$r_2$	1
$r_3$	2
$r_4$	1
$r_5$	3
$r_6$	2
$r_7$	2
$r_8$	3
合计	17

表 2 卸车站和技术站始发空专列数和时刻

供应站	列数	出发时刻
$c_1$	2	00:00;00:30
$s_3$	1	01:30
$s_4$	1	02:00
$s_5$	1	02:00
$s_6$	1	05:00
$s_7$	2	02:00;04:00
$s_8$	2	02:30;03:00
$s_9$	1	01:00
$c_3$	3	02:00;03:00;04:00
$s_{10}$	2	00:00;01:00
$s_{11}$	1	05:00

表 3 卸车和技术站始发空专到达装车接轨站运输费用(元/车,分子)和时间(小时,分母)

	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_4$	$r_5$	$r_6$	$r_7$	$r_8$
$c_1$	15/4.5	22/7.5	23/8.5	23.5/9.5	-	-	-	22/11
$s_3$	14/4	21/7	22/8	23/9	-	-	-	23/10
$s_4$	13/3.5	20/6.5	21/7.5	22/8	-	-	-	24/10
$s_5$	17/6.5	24/9.5	25/10.5	25.5/11.5	-	-	-	24/12
$s_6$	9/3	14/6	15/7	15.5/8	-	-	-	20/9
$s_7$	-	19/10	19.5/10.5	20/11	14/7	15.5/8	16/8.5	16/12
$s_8$	-	15/11	14/12	14/12.5	13/5	13.5/5.5	13/6	14/9
$s_9$	-	14/10	13.5/11	13.5/11.5	13/4	13/4.5	13/5	13.5/8
$c_3$	-	13/8.5	12.5/9.5	12.5/10	12/3	12/3.5	12.5/4	13/7
$s_{10}$	-	13.5/9	12.5/10	12.5/11	12.5/3.5	12/4	12.5/5	13/8
$s_{11}$	-	13.5/9	12.5/10	12.5/11	12/3.5	12/4	12.5/5	13/8

注：“-”表示两点间无连通路径。

表4 卸车站到技术站空车运输费用和时间

s	c <sub>1</sub>	s	c <sub>3</sub>
s <sub>1</sub>	15/1.5	s <sub>8</sub>	16/2
s <sub>2</sub>	16/1	s <sub>9</sub>	15/1
s <sub>3</sub>	15/1	s <sub>10</sub>	14/0.5
		s <sub>11</sub>	14/0.5

注:表内数值单位同表3

表5 卸车站到技术站空车供应和到达时刻

s	无调/辆	有调/辆	到达时刻
s <sub>1</sub>		27	20:00
s <sub>2</sub>	35		21:30
s <sub>3</sub>		42	22:00
s <sub>8</sub>	36		23:30
s <sub>9</sub>		22	00:00
s <sub>9</sub>		23	00:30
s <sub>10</sub>	40		00:30
s <sub>11</sub>	35		01:00
合计	146	112	

表6 接轨站空车需求时间窗(h)和空车积压、延误损失费用(元/车)

	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>4</sub>	r <sub>5</sub>	r <sub>6</sub>	r <sub>7</sub>	r <sub>8</sub>
最早时间	06:00	05:00	06:00	07:00	08:00	10:00	07:00	06:00
最晚时间	08:00	07:00	08:00	09:00	10:00	12:00	09:00	08:00
积压费	2	3	3	2	3	2	3	2
延误费	5	5	6	5	6	5	5	5

4.1 技术站空车配流方案

(1) 南京东站始发2列空专配流问题,见表7。

表7 南京东站始发空专空车来源结构表

始发列车	1(00:00)	2(00:30)	到达空车辆数/车	1(00:00)	2(00:30)
s <sub>2</sub> (20:00)	20	22.5	27	10	17
s <sub>2</sub> (21:30)	5	6	35*		35
s <sub>3</sub> (22:00)	10	12.5	42*	42	
编组空车辆数	52	52	104	52	52

注:表中右侧为最优解,\*表示无调中转空车不可分解;左侧数据表示消耗的中转运输费用(元/车)。

Z<sub>11</sub> = 1 212.5 元。

(2) 合肥东站始发3列空专配流问题,见表8。

表8 合肥东站始发空专空车来源结构表

始发列车	1(02:00)	2(03:00)	3(04:00)	到达空车辆数/车	1(02:00)	2(03:00)	3(04:00)
s <sub>8</sub> (23:30)	5	7	9	36*		36	
s <sub>9</sub> (00:00)	10	15	20	22		16	6
s <sub>9</sub> (00:30)	7.5	12.5	17.5	23	17		6
s <sub>10</sub> (00:30)	3	5	7	40*			40
s <sub>11</sub> (01:00)	2	4	6	35*	35		
编组空车辆数	52	52	52	156	52	52	52

注:表中数值单位同表7。

Z<sub>12</sub> = 1 194.5 元。

另外,卸车站到两个技术站运行产生的运输费用可计算有:Z<sub>1</sub> = 4 104.5 元。所以合计改编空车最小运输费用为 6 511.5 元。

4.2 路网整列空车调配方案

在卸车站、技术站和装车接轨站之间,纵行按照卸车站和技术站列车始发时刻、横行按照装车接轨站需求列数顺序建立运输费用消耗矩阵(17×17),见表9。

表 9 卸车站和技术站始发到达装车站的空专运输费用消耗矩阵表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	70.5	70.5	68.5	165	195.5	195.5	195.5	-	-	-	-	-	-	-	257	257	257
2	70.5	70.5	68.5	165	195.5	195.5	195.5	-	-	-	-	-	-	-	257	257	257
3	60	60	58	147	176	176	176	-	-	-	-	-	-	-	240	240	240
4	50.5	50.5	48.5	130	157.5	157.5	157.5	-	-	-	-	-	-	-	250	250	250
5	112.5	112.5	112.5	237.5	273.5	272	272	-	-	-	-	-	-	-	310	310	310
6	33	33	31	84	105	105	105	-	-	-	-	-	-	-	185	185	185
7	-	-	-	204	217.75	216.25	216.25	103	103	103	130	130	138	138	216	216	216
8	-	-	-	204	217.75	216.25	216.25	103	103	103	130	130	138	138	216	216	216
9	-	-	-	182	188	185	185	74	74	74	83.25	83.25	81	81	133	133	133
10	-	-	-	182	188	185	185	74	74	74	83.25	83.25	81	81	133	133	133
11	-	-	-	152	162.5	160.5	160.5	64	64	64	69.5	69.5	71	71	108	108	110
12	-	-	-	115	123.75	123.25	123.25	51	51	51	55	55	59	59	93	93	93
13	-	-	-	115	123.75	123.25	123.25	51	51	51	55	55	59	59	93	93	93
14	-	-	-	115	123.75	123.25	123.25	51	51	51	55	55	59	59	93	93	93
15	-	-	-	130.5	135	134	134	59.25	59.25	59.25	62	62	70.5	70.5	108	108	108
16	-	-	-	130.5	135	134	134	59.25	59.25	59.25	62	62	70.5	70.5	108	108	108
17	-	-	-	130.5	135	134	134	57.5	57.5	57.5	62	62	70.5	70.5	108	108	108

通过运输问题或指派问题求解得出最佳配空方案,见表 10。

表 10 卸车站和技术站始发到达装车站的空专最优调配表

	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>4</sub>	r <sub>5</sub>	r <sub>6</sub>	r <sub>7</sub>	r <sub>8</sub>	合计
c <sub>1</sub>	2								2
b <sub>3</sub>		1							1
b <sub>4</sub>			1						1
b <sub>5</sub>	1								1
b <sub>6</sub>				1					1
b <sub>7</sub>					2				2
b <sub>8</sub>							2		2
b <sub>9</sub>								1	1
c <sub>3</sub>			1					2	3
b <sub>10</sub>						2			2
b <sub>11</sub>					1				1
合计	3	1	2	1	3	2	2	3	17

最优方案运输费用 Z = 84 643 元。

算例表明,该模型能够很好的解决空车调整实际并克服经验决策,使得配空更科学、合理,在压缩运输成本、增运节支方面起到很好的效果,可用于编制高质量的路企直通空车调配计划。

### 5 结束语

铁路空车调整是一个复杂的、受多种不确定因素影响的多目标优化问题,涉及到车流组织和调度指挥等各个运输组织环节。路企直通运输由于受排空、产量等因素影响,需要结合矿点的设备、产量和空车来源等情况影响需要提高接轨站直通运输兑现率,可以采取编组重点规定车次和时刻的空专直列车方式进行组织,当遇某矿点产量不好等情况不能按规定的接轨站配空时,应及时将空车调整到其他接轨站。所以,路企直通运输空车调配模型需要进一步研究各种干扰因素的波动和随机性等机会约束的影响。

**参考文献:**

- [1] 刘洪涛. 技术计划空车调整的数学模型[J]. 铁路计算机应用, 2005, 14(7): 21 - 23.
- [2] 杜艳平, 尹晓峰, 刘春煌. 采用蚁群算法求解铁路空车调整问题[J]. 中国铁道科学, 2006, 27(4): 119 - 122.
- [3] 林柏梁, 乔国会. 基于线路能力约束下的铁路空车调配迭代算法[J]. 中国铁道科学, 2008, 29(1): 93 - 96.
- [4] 闫海峰, 谭云江, 朱健梅. 铁路空车调整蚁群算法的研究[J]. 铁道运输与经济, 2006, 28(8): 31 - 34.
- [5] 张得志, 谢如鹤, 黄孝章. 铁路集装箱空箱调度模型及求解算法[J]. 中国铁道科学, 2003, 24(6): 125 - 131.
- [6] 陈 昱, 张 喜. 带时间窗空车调整问题的遗传算法研究[J]. 铁路计算机应用, 2007, 16(2): 4 - 7.
- [7] 王利华, 张占军. 铁路空车调整综合优化模型[J]. 铁道运输与经济, 2005, 27(8): 69 - 71.
- [8] 张金阁, 程学庆. 带有技术站改编的空车调整研究[J]. 铁道运营技术, 2007, 13(4): 12 - 14.
- [9] 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(1): 1 - 5.
- [10] 谢金星, 薛 毅. 优化建模与 LINDO/LINGO 软件[M]. 清华大学出版社, 2005, 7: 269 - 280.

## A Study on the Model of Empty Wagon Distribution Based on Straight Transportation between Railway and Enterprises

QU Si-yuan<sup>1,2</sup>, XU Xing-fang<sup>1</sup>

(1. School of Traffic and Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Dispatch' s Office, Shanghai Railway Bureau, Shanghai 200071, China)

**Abstract:** As a new organization, the model of empty wagon distribution based on straight transportation between railway and enterprises takes on new characteristics compared with traditional model. By analyzing the traditional modal of empty wagon distribution, taking into account the amount distribution, flowroute, occasion of distribution in unloading station, loading station and technical station and source of departing empty wagon of technical station, the paper presents a model of empty wagon for the purpose of minimizing expenditure in the whole transportation. It also provides solutions to the empty wagon distribution of technical station and railway network. Therefore, it is significant to make model of empty wagon distribution conform to the practical transportation. The paper takes an example some strategic empty wagon distribution in Shanghai Railway Bureau to prove that adopting this model will have a good reference to empty wagon distribution in railway network.

**Key words:** straight transportation in between railway and enterprises; empty wagon distribution; first adjacent technical station

(责任编辑:王全金)