

技术计划课程设计说明书

何俊锋 2021113362 交运茅班

第一章 绪论

概述技术计划的作用及主要内容

铁路货物运输生产计划是为适应铁路运输市场需求、完成铁路运输生产任务而编制的铁路运输生产货运计划(简称货运计划)和铁路运输生产技术计划(简称技术计划)的总称。其中,技术计划是货车等运输设备的运用计划,是为了完成铁路运输生产货运计划而制定的机车车辆运用计划。

机车车辆的活动是形成运输生产活动动态性质的重要因素,它使得每一铁路局、站、段在不同的时刻有着不同的运输状态。为了对动态的运输生产过程进行控制,必须制定完善的运营指标体系,机车车辆运用指标是运用运营指标体系中的重要组成部分,技术计划就起到管理日常运输生产的作用。

机车车辆是铁路运输的活动设备(运输动力和工具),它是决定铁路输送能力的重要因素。主要由活动设备所决定的输送能力与主要由固定设备所决定的通过能力的综合实现,才能形成铁路的运输能力。在一定的固定设备条件下,铁路所能实现的运输能力将取决于活动设备的类型、数量及其分布,其主要反映在两个方面:为完成一定的运输任务,应拥有多少机车车辆;一定类型和数量的机车车辆能完成多少运输任务。运输生产计划解决的就是上述两个方面的问题。

技术计划主要包括以下几个内容:

①车辆运用数量指标计划

包括使用车数,卸空车数,货车工作量,重车车流表,空车调整及分界站交接空车数,分界站交接货车数和货物列车列数等内容。

②车辆运用质量指标计划

包括货车周转时间,管内工作车、移交车和空车周转时间,货车日车公里和货车日产量等内容。

③运用车保有量计划

④机车运用计划

包括机车运用数量指标,机车运用质量指标等内容。

第二章 使用车计划及重车车流表

第一节 计算 M 铁路局重车车流表

重车车流表根据使用车计划和外局交换的到达及通过重车车流资料编制,其列出了车站之间的车流交换量。M 铁路局的重车车流表见附录 1 表 1。

任何与外局相连通的铁路局的重车流均包括四个部分：自装自卸车流、自装交出车流、接入自卸车流及接运通过车辆，并可组成如下九个主要指标：

$$\begin{array}{ccccccc} u_{\text{自装自卸}} & + & u_{\text{自装交出}} & = & u_{\text{使}} \\ + & & + & & + \\ u_{\text{接入自卸}} & + & u_{\text{接运通过}} & = & u_{\text{接重}} \\ \parallel & & \parallel & & \parallel \\ u_{\text{卸空}} & + & u_{\text{交重}} & = & u \end{array}$$

由 M 铁路局重车车流表可以得到下列有关指标值：

$$\begin{aligned} u_{\text{自装自卸}} &= 968 \text{ (车)} & u_{\text{自装交出}} &= 493 \text{ (车)} & u_{\text{接入自卸}} &= 363 \text{ (车)} & u_{\text{接运通过}} &= 90 \text{ (车)} \\ u_{\text{使}} &= u_{\text{自装自卸}} + u_{\text{自装交出}} = 968 + 493 = 1461 \text{ (车)} \\ u_{\text{接重}} &= u_{\text{接入自卸}} + u_{\text{接运通过}} = 363 + 90 = 453 \text{ (车)} \\ u_{\text{卸空}} &= u_{\text{自装自卸}} + u_{\text{接入自卸}} = 968 + 363 = 1331 \text{ (车)} \\ u_{\text{交重}} &= u_{\text{自装交出}} + u_{\text{接运通过}} = 493 + 90 = 583 \text{ (车)} \\ u &= u_{\text{使}} + u_{\text{接重}} = u_{\text{卸空}} + u_{\text{交重}} = 453 + 1461 = 1331 + 583 = 1914 \text{ (车)} \end{aligned}$$

第二节 编制使用车去向计划表

根据货运计划批准的要车计划表，按发站、到站和车站汇总，然后计算出每支车流的日均车数，编制按车种别和去向别的使用车计划。本设计中不需要考虑车种别，使用车计划见附录 1 表 2。

第三节 编制外局交 M 局及通过 M 局重车计划表

铁路总公司对各局的使用车计划汇总后即产生了全路的重车流计划。各局间将自装交出资料进行交换，按到站和经由分界站通知有关的卸车局和通过局，以确定重车车流表的接入卸车和通过车流。由分界站 A 外的铁路局和分界站 F 外的铁路局交给 M 铁路局的车流资料见附录 1 表 3。

第三章 空车调整计划及车流图的编制

第一节 编制空车调整图

由于我国铁路货车是全路通用，没有固定的配属站，且空车走行公里为非生产走行，不产生运输产品，因而空车调整存在合理即优化的问题。一般应以空车走行公里最少为主要优化目标，为此，必须遵循一定的调整原则，通过采用空车调整图和科学的优化方法制定空车调整方案。

一 空车调整原则

空车调整的主要原则有：

- (1) 除特殊要求外，必须消灭同种空车在同一径路上的对流。
- (2) 空车由卸车地至装车地，一般应经由最短径路。
- (3) 在环状线路上，应根据空车走行公里最少的原则，制定空车调整方案。
- (4) 在保证货物和行车安全的条件下，可采取车种代用，以减少空车走行公里。

此外，在进行空车调整时，尚应考虑其他因素的限制，比如为保证重点物资、大宗货物(如煤炭)的装车需要，往往采取硬性调整措施，指定某些站必须向某站输送一定车种和数量的空车。此外，还有当车流的最短路径为通过能力紧张的区段时，车流可经由特定径路输送。

二 空车调整图编制方法

铁路总公司根据各铁路局的使用车计划和卸空车计划，计算各局车种别装卸差，并通过编制全路空车调整图来确定各局间分界站车种别空车交接车数。铁路局根据使用车计划、卸空车计划和总公司下达的局间分界站空车调整任务编制铁路局空车调整图。

三 M 局空车调整图

M 局分界站接入重车 453 车，交出重车 583 车，故一共需从 A 和 F 分界口接入 130 辆空车。经分析，空车调整方案可以转化为一个线性规划问题，问题的建模以及求解见附录 2。最终的空车调整图见附录 2 图 3。

第二节 编制 M 铁路局重空车流图

M 铁路局重空车流图根据重车车流表与空车调整图编制，主要内容为各站上下行的通过、始发及到达车流量。M 铁路局重空车流图见附录 2 图 4。

第三节 计算技术站中转重空车数

各技术站出发的中转车数 $\sum N_{技}$ 包括无调中转车数和有调中转车数。中转重车可由重车车流表查出，中转空车 $N_{技}^{空}$ 则可根据铁路局空车调整图按下式计算确定：

$$N_{技}^{空} = N_{到空} - N_{补空}$$

式中， $N_{到空}$ ——各方向到达技术站的空车数；

$N_{补空}$ ——各该站需补充的空车数。

各技术站的中转重空车数见附录 2 表 3。

第四节 计算重空车走行公里

重车走行公里，即运用货车在重状态下所走行的公里数。在数值上，它等于不同走行公里重车数与相应的走行公里数乘积之和。重车公里的计算可采用以下方法：

①按实际里程计算。根据重车车流表，从每支车流的装车站或接入站到卸车站或交出站，按实际里程计算其车辆公里，然后按自装自卸、接入自卸、自装交出及接运通过几部分分别汇总。各部分车

辆公里加总即为重车公里。

②按区段距离折半计算。为了简化计算，将在区段内产生和消失的车流，即到达区段内卸的、区段内装出的及区段内自装自卸的车流，按该区段的一半进行计算，通过区段的空车流按全区段里程计算，将各区段加总即得铁路局的空车公里数。

空车走行公里，即运用货场在空状态下所走行的公里数。在数值上，它等于不同走行公里空车数与相应的走行公里数乘积之和。根据空车调整图查定空车流，把到发于区段内各中间站的空车流按区段里程的一半计算，通过区段的空车流按全区段计算，将各区段加总即得铁路局的空车公里数。

M 铁路局的重空车走行公里见附录 2 表 4。

第四章 分界站货车出入计划及各区段列车列数计划

第一节 编制分界站货车出入计划

分界站交接货车数不仅是反映铁路局运输任务量的指标之一，而且在日常运输生产中，由于分界站交接车数往往不相等，因此，它又是形成运用车保有量变化的原因。分界站交接货车数根据重车车流表和空车调整图的车流资料确定，并分别列出交出、接入重车数和车种别空车数、重空车合计车数。

M 铁路局的分界站货车出入计划见附录 3 表 1。

第二节 编制各区段货物列车数计划

区段别的列车数根据区段重空车流量、机车牵引定数和列车计长，并参照实际的列车平均编成辆数确定。根据重空车流量，可按下式计算直通(区段)列车和摘挂列车数：

$$n = \frac{u_{\text{重}}}{m_{\text{重}}} + \frac{u_{\text{空}}}{m_{\text{空}}}$$

式中， n ——货物列车数

$u_{\text{重}}$ ——上行或下行重车流量

$u_{\text{空}}$ ——上行或下行空车流量

$m_{\text{重}}$ ——重列车编成辆数

$m_{\text{空}}$ ——空列车编成辆数

当空车流量较小，该区段空车不单独开行空车列车时，则应该按照空重混编条件计算列车数，即按下列公式计算：

$$n = \frac{u_{\text{重}} + u_{\text{空}}}{m_{\text{混}}}$$

式中， $m_{\text{混}}$ ——空重混编列车的平均编成辆数

M 局的区段列车计算表见附录 3 表 2。

第五章 货车运用指标及保有量计划

第一节 计算货车运用指标

1 货车周转时间

货车周转时间是指货车从第一次装车完了时起，至下一次装车完了时止，所平均消耗的时间，单位为“d”。一辆货车每完成一次周转，在其周转过程中完成了一个工作量，所以货车周转时间也可以定义为货车每完成一个工作量平均消耗的时间。货车周转时间一般采用车辆相关法和时间相关法两种方法计算，本设计采用时间相关法进行计算。

首先对货车周转时间各项因素进行确定。

1.1 车辆走行公里及货车周转距离

由 M 铁路局重、空车走行公里计算表可得下面一系列数据：

$$l_{\text{重}} = \frac{\sum NS_{\text{重}}}{u} = \frac{858799}{1461 + 453} = 448.7(\text{km})$$

$$\alpha = \frac{\sum NS_{\text{空}}}{\sum NS_{\text{重}}} = \frac{92273}{858799} = 0.107$$

$$l_{\text{移交}} = \frac{\sum NS_{\text{移交}}}{u_{\text{移交}}} = \frac{386860}{583} = 663.6(\text{km})$$

$$l = l_{\text{重}}(1 + \alpha) = 448.7 * (1 + 0.107) = 496.7(\text{km})$$

$$l_{\text{管内}} = \frac{\sum NS_{\text{管内}}}{u_{\text{卸空}}} = \frac{471939}{1331} = 354.6(\text{km})$$

$$l'_{\text{空}} = \frac{\sum NS_{\text{空}}}{u_{\text{空}}} = \frac{92273}{1461} = 63.2(\text{km})$$

1.2 技术站发出的中转车数和货场平均中转距离

技术站发出的中转车数可以由 M 铁路局中转车数表获得。货车平均中转距离根据货车走行公里和中转车数求得，即对于 M 铁路局有：

$$L_{\text{技}} = \frac{951072}{5688} = 167.21(\text{km})$$

1.3 各种管率及空态系数

管内装卸率

$$K_{\text{管}} = (u_{\text{使}} + u_{\text{卸空}})/u = (1461 + 1331)/(1461 + 453) = 1.46$$

管内工作车装卸率

$$K'_{\text{管}} = (u_{\text{自装自卸}} + u_{\text{卸空}})/u_{\text{卸空}} = (968 + 1331)/1331 = 1.73$$

移交车管内装卸率

$$K''_{\text{管}} = u_{\text{自装自卸}}/u_{\text{移交}} = 493/583 = 0.85$$

空车管内装卸率

$$K'''_{\text{管}} = (u_{\text{使}} + u_{\text{卸空}})/(u_{\text{使}} + u_{\text{交空}}) = (1461 + 1331)/1461 = 1.91$$

1.4 货车周转时间的计算

当上述各项因素均确定后，结合货物列车旅速、中时、停时等指标，就可以计算出各种货车周转时间。本设计中，M铁路局的货物列车旅行速度 $v_{\text{旅}} = 28(\text{km/h})$ ，技术站货场平均中转停留时间 $t_{\text{中}} = 4.86(\text{h})$ ，一次货物作业平均停留时间 $t_{\text{货}} = 18(\text{h})$ ，空态系数 $\gamma = 0.4$ ，即可计算出各种货车周转时间。

货车车周转时间

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{1}{24} \left(\frac{l}{v_{\text{旅}}} + \frac{l}{L_{\text{技}}} t_{\text{中}} + K_{\text{管}} t_{\text{货}} \right) \\ &= \frac{1}{24} \left(\frac{496.7}{28} + \frac{496.7}{167.21} * 4.86 + 1.46 * 18 \right) \approx 2.44(\text{d})\end{aligned}$$

管内工作车周转时间

$$\begin{aligned}\theta_{\text{管}} &= \frac{1}{24} \left(\frac{l_{\text{管内}}}{v_{\text{旅}}} + \frac{l_{\text{管内}}}{L_{\text{技}}} t_{\text{中}} + K'_{\text{管}} t_{\text{货}} (1 - \gamma) \right) \\ &= \frac{1}{24} \left(\frac{354.6}{28} + \frac{354.6}{167.21} * 4.86 + 1.73 * 18 * (1 - 0.4) \right) \approx 1.74(\text{d})\end{aligned}$$

移交车周转时间

$$\begin{aligned}\theta_{\text{移交}} &= \frac{1}{24} \left(\frac{l_{\text{移交}}}{v_{\text{旅}}} + \frac{l_{\text{移交}}}{L_{\text{技}}} t_{\text{中}} + K''_{\text{管}} t_{\text{货}} (1 - \gamma) \right) \\ &= \frac{1}{24} \left(\frac{663.6}{28} + \frac{663.6}{167.21} * 4.86 + 0.85 * 18 * (1 - 0.4) \right) \approx 2.17(\text{d})\end{aligned}$$

空车周转时间

$$\begin{aligned}\theta_{\text{空}} &= \frac{1}{24} \left(\frac{l'_{\text{空}}}{v_{\text{旅}}} + \frac{l'_{\text{空}}}{L_{\text{技}}} t_{\text{中}} + K'''_{\text{管}} t_{\text{货}} \gamma \right) \\ &= \frac{1}{24} \left(\frac{63.2}{28} + \frac{63.2}{167.21} * 4.86 + 1.91 * 18 * 0.4 \right) \approx 0.74(\text{d})\end{aligned}$$

2 货车日车公里

货场日车公里 $S_{\text{车}}$ 是指每一运用车每日平均的走行公里数。货车日车公里可以根据货车周转时间和全周距进行计算，计算过程见下：

$$S_{\text{车}} = \frac{l}{\theta} = \frac{496.7}{2.44} = 203.57[\text{km}/(\text{d} \cdot \text{车})]$$

第二节 计算运用车保有量计划

为完成规定的运输任务，铁路总公司需要规定各铁路局应保有一定的运用车数，称其为运用车保

有量。运用车保有量的标准数 N 根据工作量 u 和货场周转时间 θ 确定, 即

$$N = u\theta(\text{车})$$

全路运用车分为重车和空车, 铁路局的运用车分为管内工作车、移交重车和空车三部分, 三种运用车保有量可分别按下列公式确定:

管内工作车保有量 $N_{\text{管内}}$

$$N_{\text{管内}} = u_{\text{卸空}} * \theta_{\text{管内}} = 1331 * 1.74 = 2316(\text{车})$$

移交车保有量 $N_{\text{移交}}$

$$N_{\text{移交}} = u_{\text{移交}} * \theta_{\text{移交}} = 583 * 2.17 = 1266(\text{车})$$

空保有量 $N_{\text{空}}$

$$N_{\text{空}} = u_{\text{空}} * \theta_{\text{空}} = 1461 * 0.74 = 1082(\text{车})$$

铁路局运用车保有量等于上述三部分运用车数之和, 即:

$$N = N_{\text{管内}} + N_{\text{移交}} + N_{\text{空}} = 4664(\text{车})$$

第六章 机车运用计划

第一节 机车运用数量指标

反映机车运用效率的数量指标有机车走行公里、机车牵引总重吨公里和机车供应台次等三项。

1 机车走行公里

机车走行公里 $\sum MS$ 是指机车运行的公里数。每一台机车运行一公里即为一机车公里。由于机车所担当的工作种别不同, 机车走行公里又可分为本务机车走行公里和辅助机车走行公里; 按机车运行中是否产生实际走行公里又可分为沿线走行公里和换算走行公里。机车走行公里计算表见附录 4 表 1。

2 总重吨公里

总重吨公里 $\sum QS_{\text{重}}$ 表示机车牵引货物列车所完成的工作量, 其值等于机车牵引总重和它的走行公里的乘积之和。设 M 铁路局货场平均标记载重为 60t, 货车平均静载重系数为 0.75, 货场平均自重为 20t, 则总重吨公里为:

$$\begin{aligned}\sum QS_{\text{总}} &= \sum NS_{\text{重}} * q_{\text{重}} + \sum NS_{\text{空}} * q_{\text{空}} \\ &= 858799 * 60 + 92273 * 20 = 53373400(t \cdot km)\end{aligned}$$

3 机车供应台次

机车供应台次 $u_{\text{供应}}$ 表示一昼夜内全部机车在担当的牵引区段内的总周转次数。机车在牵引区段每往返一次, 作为供应一台次, 实行循环运转制的机车, 每经过机务段所在站一次, 即为供应一台次, 实行肩回运转制的机车, 每周转一次即完成牵引一对列车的任务, 亦即供应一台次。故每一区段的机

车供应台次可按下式计算：

$$u_{\text{供应}} = n + n_{\text{双}} (\text{台次})$$

式中 n ——列车对数

$n_{\text{双}}$ ——双机牵引的列车对数

本设计中，每个区段的机车运用都采用单肩回运转制，则每个牵引区段的机车供应台次见附录 4 表 2。

第二节 机车运用质量指标

机车运用质量指标包括机车全周转时间、机车日车公里、列车平均总重和机车日产量等。

1 机车全周转时间

机车全周转时间是指机车每周转一次所消耗的时间(非运用时间除外)，它包括纯运转时间、在中间站停留时间、本段和折返段停留时间以及本段和折返段所在站停留时间。机车全周转时间 $\theta_{\text{机}}$ 可按如下公式进行计算：

$$\theta_{\text{机}} = \frac{L}{v_{\text{机}}} + t_{\text{本}} + t_{\text{折}} (h)$$

其中 L ——机车周转距离，此设计中 $L = \frac{\sum MS}{u_{\text{供应}}} = \frac{24048}{88} = 273.27(km)$

$t_{\text{本}}$ ——机车在基本段及其所在站停留时间，此处取所有停留时间的平均值，即 1.83h；

$t_{\text{折}}$ ——机车在折返段及其所在站停留时间，此处取所有停留时间的平均值，即 1.63；

$v_{\text{机}}$ ——机车旅行速度，即机车牵引列车在区段内的平均走行速度。

代入数据后求的机车全周转时间的过程如下：

$$\begin{aligned} \theta_{\text{机}} &= \frac{L}{v_{\text{机}}} + t_{\text{本}} + t_{\text{折}} \\ &= \frac{273.27}{28} + 1.83 + 1.63 = 13.22(h) \end{aligned}$$

2 机车需要系数

机车需要系数 $K_{\text{需}}$ 是指在一个牵引区段内，每担当一对列车的牵引任务平均需要的机车台数，即平均一对列车所需要的运用机车台数。由于一台机车每周转一次即完成一对列车的牵引任务，故将以“h”为单位的全周转时间化为以“d”为单位的全周转时间，即为平均每完成一对列车的牵引任务所需要的机车台数。即：

$$K_{\text{需}} = \frac{\theta_{\text{机}}}{24} = \frac{13.22}{24} = 0.5508(\text{台/对})$$

各区段的机车需要台数可按下式进行计算：

$$M_{\text{货}} = \frac{(n + n_{\text{双}}) \theta_{\text{机}}}{24} = u_{\text{供应}} K_{\text{需}} = 88 * 0.5508 = 49(\text{台})$$

3 机车日车公里

机车日车公里 $S_{\text{机}}$ 是指全路、铁路局或机务段平均每台货运机车一天走行的公里数，其值可按下列公式计算：

$$S_{\text{机}} = \frac{\sum MS_{\text{沿}} - \sum MS_{\text{补}}}{M_{\text{货}}} = \frac{24048}{49} = 490.78(\text{km/d})$$

4 列车平均总重

列车平均总重 $Q_{\text{总}}$ 是指全路、铁路局或机务段平均每台本务机车牵引列车的总重量(包括货物重量和车辆自重)，即

$$Q_{\text{总}} = \frac{\sum QS_{\text{总}}}{\sum nL_{\text{本}}} = \frac{53373400}{23068} = 2313.74(\text{t/列})$$

5 机车日产量

机车日产量 $W_{\text{机}}$ 是平均每台货物机车每日生产的总重吨公里数，即

$$W_{\text{机}} = \frac{\sum QS_{\text{总}}}{M_{\text{货}}} = \frac{Q_{\text{总}} S_{\text{机}}}{1 + \beta_{\text{辅}}} (t \cdot \text{km/d})$$

$$\beta_{\text{辅}} = \frac{(\sum MS_{\text{单}} + \sum MS_{\text{双}})}{\sum nL_{\text{本}}}$$

本设计中，M铁路局的机车日产量 $W_{\text{机}}$ 和单机走行率 $\beta_{\text{辅}}$ 为：

$$W_{\text{机}} = \frac{\sum QS_{\text{总}}}{M_{\text{货}}} = \frac{Q_{\text{总}} S_{\text{机}}}{1 + \beta_{\text{辅}}} = \frac{53373400}{49} = 1089253.061(t \cdot \text{km/d})$$

$$\beta_{\text{辅}} = \frac{(\sum MS_{\text{单}} + \sum MS_{\text{双}})}{\sum nL_{\text{本}}} = \frac{980 + 0}{23068} = 0.042$$

第七章 总结

第一节 编制 M 铁路局技术计划主要指标汇总表

M 铁路局技术计划主要指标汇总表见附录 5 表 1。

第二节 自我评价

此课设为本学期三大课设中的最后一个，较前两个课设而言难度略有降低，但工作量仍然很大。总的来说，只需要知道每一个表中的每个数据的原理，做起来就会比较流畅，但大量的表格还是稍显繁琐，故需要大量重复计算的表格个人采用 python 进行求解，如重空车流表，空车调整图等。个人

而言，行车组织的三个课设是理论与实践的较好结合，是大学期间做过最有用的课设。课程老师认真负责，是本科期间难见到的有教师道德操守的良师。但我也清楚认识目前只算是入门了行车组织，期待以后能够在该方向继续深耕。

Python 文件及课设内容见：https://github.com/SWJTUHJF/traffic_organization

附录 1

表 1 M 铁路局重车车流表

自\往	A-B	B	B-C	C	C-G	G	G-H	C-D	D	D-E	E	E-F	F	H	H-I	I	I-J	J	H-K	K	K-R	R	K-L	L	局计	分界站		交出计	总计
	A	F																							A	F			
A-B	5	4	3	1	1	1	1	2	2					2				1				4	1	2	30	48	2	50	80
B	5		1			1	1	1	1	1				4			1	2						17	23	1	24	41	
B-C	9	3	7	1		2	2	1	2					4	2		4	1	1	2		4	1	1	47	12	11	23	70
C		1	1			1			1					3		3	1	2						1	14	4	1	5	19
C-G	4	31	4	3		3	5	2	4	3				1	5	2	4	4	6	20		7	4	5	120	19	4	23	143
G		1	2	1	1		3		3	1				5	2	2	3		1					10	35	4	5	9	44
G-H		1	1			7		1						9										19	18	7	25	44	
C-D	3	4	5	1		2	2	1						3	1	1	8	5	3				1	1	41	5	4	9	50
D			1	1		2	1	1		3		1						1		1				11	2	3	5	16	
D-E			1															1	1					3	2		2	5	
E	3	2	11		1	1	2	3		3				3	2		3	5	2	3			2		46			0	46
E-F										2		3	1											6	2	3	5	11	
F							1																3	4	3	1	4	8	
H	1	3	1	1		2			1	1						1	1	7	2					2	23	29	6	35	58
H-I	3	2	5											38	6	4	15	2			3	1	8	1	88	14		14	102
I			1				4							2										1	8	5		5	13
I-J					2	1	3		1					4	1		2	2	2			2		5	25	40	11	51	76
J			1	2	1	2								2			2		1	2				2	15	14	3	17	32
H-K		3	2	4	4	1	1	2	3	2		1	1	1			5	1	3			1		7	42	21	10	31	73
K		2				1		1	2					3		1	2								12			0	12
K-R														1							1			2	4	3	1	4	8
R		1	2	1		3	1	1	2	1				4	1	2	5	5	8				9	46	92	43	38	81	173
K-L			1		1		2							2	1	1	5		4		1	4		10	32	3	1	4	36
L	1	3	2	8		3	9		1					11	1	1	1	3	3	1	1	185			234	54	13	67	301
局计	34	61	52	24	14	27	42	16	24	17	0	5	2	102	23	18	69	36	34	29	5	209	26	99	968	368	125	493	1461
分界站	A	13	39	12	6	2	3	65		3		5		27		20	11	9	2		2	18		12	249		50	50	299
	F	6	5	3	1	2	1	10		1	2			5		1	12	5	12		3	11		34	114	40		40	154
接入计	19	44	15	7	4	4	75	0	3	1	7	0	0	32	0	21	23	14	14	0	5	29	0	46	363	40	50	90	453
总计	53	105	67	31	18	31	117	16	27	18	7	5	2	134	23	39	92	50	48	29	10	238	26	145	1331	408	175	583	1914

表 2 M 铁路局使用车去向计划表

自\往	A-B	B	B-C	C	C-G	G	G-H	C-D	D	D-E	E	E-F	F	H	H-I	I	I-J	J	H-K	K	K-R	R	K-L	L	局计	分界站		外局计	总计
																										A	F		
A-B	5	4	3	1	1	1	1	2	2					2				1				4	1	2	30	48	2	50	80
B	5		1			1	1		1	1				4			1	2						17	23	1	24	41	
B-C	9	3	7	1		2	2	1	2					4	2		4	1	1	2		4	1	1	47	12	11	23	70
C		1	1			1			1					3		3	1	2						1	14	4	1	5	19
C-G	4	31	4	3	3	3	5	2	4	3				1	5	2	4	4	6	20		7	4	5	120	19	4	23	143
G		1	2	1	1		3		3	1				5	2	2	3		1					10	35	4	5	9	44
G-H		1	1			7		1						9										19	18	7	25	44	
C-D	3	4	5	1		2	2	2	1					3	1	1	8	5	3				1	1	41	5	4	9	50
D			1	1		2	1	1		3		1								1				11	2	3	5	16	
D-E			1															1	1					3	2		2	5	
E	3	2	11		1	1	2	3		3				3	2		3	5	2	3			2		46			0	46
E-F										2		3	1											6	2	3	5	11	
F							1																3	4	3	1	4	8	
H	1	3	1	1		2			1	1						1	1	7	2					2	23	29	6	35	58
H-I	3	2	5											38	6	4	15	2			3	1	8	1	88	14		14	102
I			1				4							2										1	8	5		5	13
I-J					2	1	3		1					4	1		2	2	2			2		5	25	40	11	51	76
J			1	2	1	2								2			2		1	2			2	15	14	3	17	32	
H-K		3	2	4	4	1	1	2	3	2		1	1	1			5	1		3		1		7	42	21	10	31	73
K		2				1		1	2					3		1	2							12				0	12
K-R														1								1		2	4	3	1	4	8
R		1	2	1		3	1	1	2	1				4	1	2	5	5	8				9	46	92	43	38	81	173
K-L			1		1		2							2	1	1	5		4		1	4		10	32	3	1	4	36
L	1	3	2	8		3	9		1					11	1	1	1	3	3	1	1	185			234	54	13	67	301
局计	34	61	52	24	14	27	42	16	24	17	0	5	2	102	23	18	69	36	34	29	5	209	26	99	968	368	125	493	1461

表 3 外局交 M 局及通过 M 局重车计划表

到站	A-B	B	B-C	C	C-G	G	G-H	C-D	D	D-E	E	E-F	F	H	H-I	I	I-J	J	H-K	K	K-R	R	K-L	L	局计	分界站		外局计	总计
																										A	F		
A分界站	13	39	12	6	2	3	65		3		5			27		20	11	9	2		2	18		12	249		50	50	299
E分界站	6	5	3	1	2	1	10			1	2			5		1	12	5	12		3	11		34	114	40		40	154
合计	19	44	15	7	4	4	75	0	3	1	7	0	0	32	0	21	23	14	14	0	5	29	0	46	363	40	50	90	453

附录 2

空车调整方案问题的建模与求解

①问题分析

该规划的目标在于求出所有相邻两个站之间的空车运送量，以达到总的空车走行距离最短。我们可以将所有站视为一个点 $s_i(i = 1, 2, \dots, 24)$ ，由已知资料可得一共有 24 个点。两个相邻点之间会有空车运送，可能是上行运送也有可能是下行运送，设每相邻两个点之间存在两条对向弧分别代表上下行，弧的 f 标号表示该弧的空

车流量, 上行弧的 f 标号 $x_j(j = 1, 2, \dots, 25)$ 表示该弧连接的两个站之间存在上行空车运送流 x_j 辆, 下行弧的权重 $y_j(j = 1, 2, \dots, 25)$ 表示该弧连接的两个站之间存在下行空车运送流 y_j 辆。

两个点之间的距离可以由设计附图 1 得到。求解只需要知道相邻两个点的距离即可, 此设计将两个点间的距离用 d 标号表示, 即两个点之间的弧(下文用“弧”代指两点间的“一对弧”)的 d 标号 $dist_j$ 为两个点之间的距离。对每个弧进行编号, 以向量的形式存储每个特定弧的 d 标号值。dist 向量如下:

表 1 dist 向量

弧编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
距离	0	70	70	75	75	77	77	85	85	105	105	65	65	60	60	90	90	60	60	55	55	40	40	40	40

每个站存在对应的装卸差, s_i 站对应的装卸差为 $loss_i(i = 1, 2, \dots, 24)$ 。

点与弧之间的连接关系采用邻接表来存储, 邻接表用 A 来表示, 元素 a_i 表示 s_i 站与弧 a_i 相连, 见下表:

表 2 邻接表

站名	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24
邻接弧	1,2	2,3	3,4	4,5	5,6	6,7	7,8,12	8,9	9,10	10,11	12,13	13,14	14,15	16	16,17	17,18	18,19	15,19,20	20,21	21,22,24	22,23	23	23,25	25

以下图为例进行说明。点 s_1 与点 s_2 对应 F 和 E-F, 二者之间的弧编号为 2, 两站间上行方向运送空车 55 辆, 下行方向无空车运送, 即 $x_2=55, y_2 = 0$ 。查 dist 表可得, 编号为 2 的弧对应的区段长度为 70。 s_1 站的 $loss_1$ 为-6, s_2 站的 $loss_2$ 为-6。 s_1 站与弧 1、2 相连,

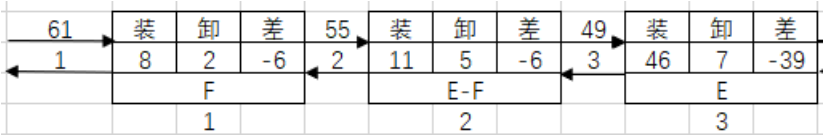


图 1 举例说明参数含义

②问题的建模

决策变量为 x_j 和 y_j , 表示两个站间的上下行空车运送数。

求解目标为空车走行公里最短, 对应下面这一目标函数:

$$F(x) = \sum_j dist_j * (x_j + y_j)$$

即对每一区段的空车运送数与区段长度之积求和后要得到最小值。

约束条件为每一站的空车数结余为 0, 即

$$loss_i + \sum_{j \in a_i} f_j - \sum_{k \in a_i} f_k = 0$$

式中, f_j 表示到达 s_i 站的空车数, f_k 表示由 s_i 站发出的空车数。以表 1 中的站 F 即 s_1 为例, 弧 1 向站 F 发出了 61 辆空车, 站 F 向弧 2 发出了 55 辆空车, 即 $\sum_{j \in a_i} f_j$ 为 61, $\sum_{k \in a_i} f_k$ 为 55。

③问题的求解

本设计采用 Python 中的 Pulp 模块进行求解, Python 版本为 3.9, Pulp 版本为 2.8.0。部分求解内容见下。

F分界站向M局运送61.0辆空车

区间2向[上行]方向运送空车55辆空车, 该区间长度为70, 当前总空车走行距离为3850.0

区间3向[上行]方向运送空车49辆空车, 该区间长度为70, 当前总空车走行距离为7280.0

区间4向[上行]方向运送空车10辆空车, 该区间长度为75, 当前总空车走行距离为8030.0

区间5向[上行]方向运送空车23辆空车, 该区间长度为75, 当前总空车走行距离为9755.0

区间6向[上行]方向运送空车34辆空车, 该区间长度为77, 当前总空车走行距离为12373.0

图 2 部分求解结果

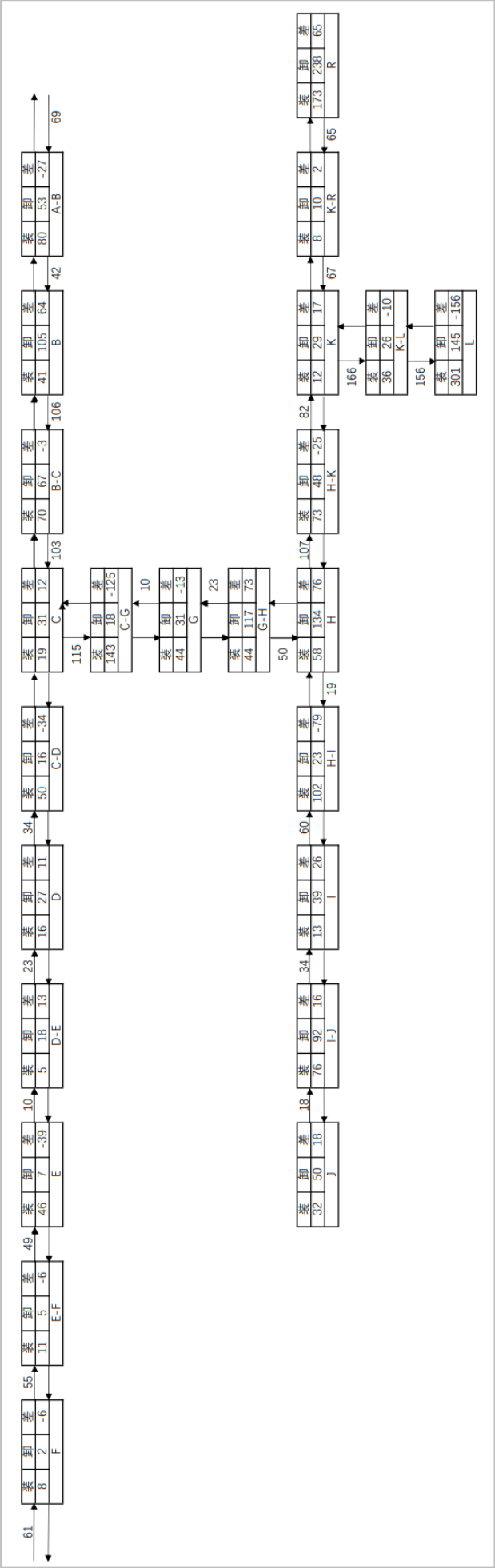


图 3 空车调整图

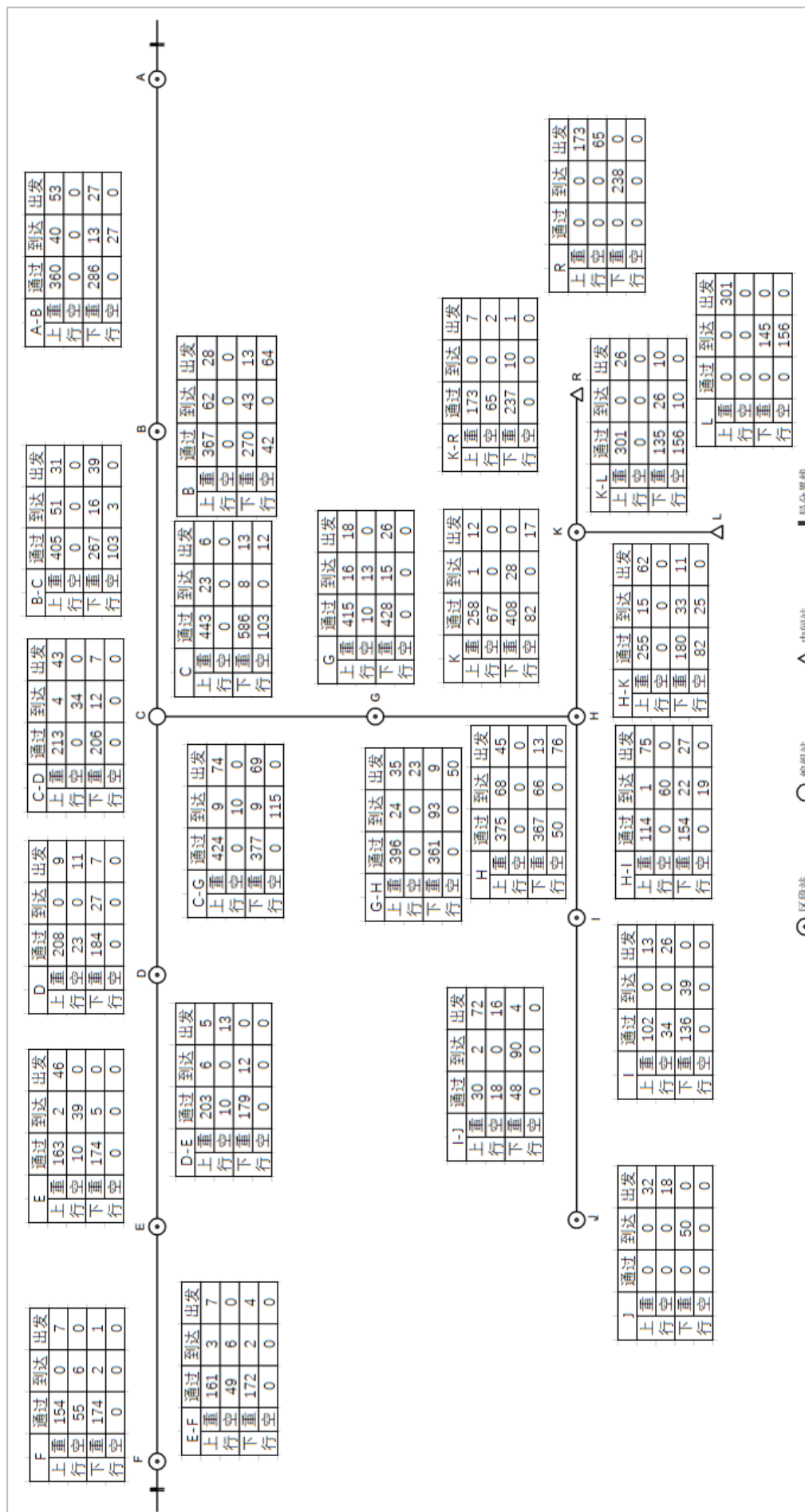


图 4 M 铁路局重空车流图

表 3 技术站重空车数表

技术站	重车	空车	合计
B	637	42	679
C	1029	103	1132
D	392	23	415
E	337	10	347
F	328	55	383
G	843	10	853
H	742	50	792
I	238	34	272
J	0	0	0
K	666	149	815
合计	5212	476	5688

表 4 重空车走行公里计算表

区段	区段公里	车辆行程	重车走行公里								空车走行公里		总计
			管内工作车		移交车				计	合计	车流	车公里	
					A分界站		B分界站						
					车流	车公里	车流	车公里					
A-B	210	半段	78	8190	48	5040	2	210	5250	13440	27	2835	16275
		全段	236	49560	360	75600	50	10500	86100	135660	42	8820	144480
B-C	170	半段	107	9095	12	1020	11	935	1955	11050	3	255	11305
		全段	294	49980	325	55250	53	9010	64260	114240	103	17510	131750
C-D	154	半段	55	4235	5	385	4	308	693	4928	34	2618	7546
		全段	206	31724	49	7546	164	25256	32802	64526	0	0	64526
D-E	150	半段	21	1575	2	150	0	0	150	1725	13	975	2700
		全段	166	24900	45	6750	171	25650	32400	57300	10	1500	58800
E-F	140	半段	8	560	2	140	3	210	350	910	6	420	1330
		全段	119	16660	43	6020	171	23940	29960	46620	49	6860	53480
C-G	130	半段	135	8775	19	1235	4	260	1495	10270	125	8125	18395
		全段	458	59540	248	32240	95	12350	44590	104130	0	0	104130
G-H	120	半段	136	8160	18	1080	7	420	1500	9660	73	4380	14040
		全段	448	53760	226	27120	83	9960	37080	90840	0	0	90840
H-I	120	半段	105	6300	14	840	0	0	840	7140	79	4740	11880
		全段	195	23400	59	7080	14	1680	8760	32160	0	0	32160
I-J	180	半段	115	10350	40	3600	11	990	4590	14940	16	1440	16380
		全段	61	10980	14	2520	3	540	3060	14040	18	3240	17280
H-K	110	半段	87	4785	21	1155	10	550	1705	6490	25	1375	7865
		全段	279	30690	103	11330	53	5830	17160	47850	82	9020	56870
K-R	80	半段	14	560	3	120	1	40	160	720	2	80	800
		全段	329	26320	43	3440	38	3040	6480	32800	65	5200	38000
K-L	80	半段	58	2320	3	120	1	40	160	2480	10	400	2880
		全段	369	29520	54	4320	13	1040	5360	34880	156	12480	47360
路局计			471939		-	254101	-	132759	386860	858799	-	92273	951072

附录 3

表 1 M 铁路局分界站货车出入计划表

出入车 分界站	交出				接入			
	列数	合计	重车	空车	列数	合计	重车	空车
M局	12	583	583	0	12	583	453	130
A	8	408	408	0	8	368	299	69
F	4	175	175	0	4	215	154	61

表 2 M 铁路局各区段货物列车数计划表

方向 行车量 区段	上行										下行									
	车流				列车编成			列数			车流				列车编成			列数		
	通过		摘挂		重车	空车	摘挂	通过	摘挂	合计	通过		摘挂		重车	空车	摘挂	通过	摘挂	合计
	重	空	重	空							重	空	重	空						
A-B	360	0	-40 +53	0	50	65	60	8	1	9	286	42	-13 +27	-27	50	65	60	7	1	8
B-C	405	0	-51 +31	0	50	65	60	9	1	10	267	103	-16 +39	-3	50	65	60	8	1	9
C-D	213	0	-4 +43	-34	50	65	60	5	1	6	206	0	-12 +7	0	50	65	60	5	1	6
D-E	203	10	-6 +5	13	50	65	60	5	1	6	179	0	-12 +0	0	50	65	60	4	1	5
E-F	161	49	-3 +7	-6	50	65	60	5	1	6	172	0	-2 +4	0	50	65	60	4	1	5
C-G	424	0	-9 +74	-10	50	65	60	9	2	11	377	0	-9 +69	-115	50	65	60	8	3	11
G-H	396	0	-24 +35	23	50	65	60	8	1	9	361	0	-93 +9	50	50	65	60	8	2	10
H-I	114	0	-1 +75	-60	50	65	60	3	2	5	154	0	-22 +27	-19	50	65	60	4	1	5
I-J	30	18	-2 +72	16	50	65	60	1	2	3	48	0	-90 +4	0	50	65	60	1	2	3
H-K	255	0	-15 +62	0	50	65	60	6	2	8	180	82	-33 +11	-25	50	65	60	6	1	7
K-R	173	65	-0 +7	2	50	65	60	5	1	6	237	0	-10 +1	0	50	65	60	5	1	6
K-L	301	0	-0 +26	0	50	65	60	7	1	8	135	156	-26 +10	-10	50	65	60	6	1	7

附录 4

表 1 机车走行公里计算表

区段	区段距离 (km)	上行列车数	下行列车数	本务机车走行公里 (km)	单机走行公里 (km)	合计 (km)
A-B	210	9	8	3570	210	3780
B-C	170	10	9	3230	170	3400
C-D	154	6	6	1848	0	1848
D-E	150	6	5	1650	150	1800
E-F	140	6	5	1540	140	1680
C-G	130	11	11	2860	0	2860
G-H	120	9	10	2280	120	2400
H-I	120	5	5	1200	0	1200
I-J	180	3	3	1080	0	1080
H-K	110	8	7	1650	110	1760
K-R	80	6	6	960	0	960
K-L	80	8	7	1200	80	1280
总计	1644	87	82	23068	980	24048

表 2 M 铁路局各区段的机车供应台次

区段	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F	C-G	G-H	H-I	I-J	H-K	K-R	K-L	总计
u供应	9	10	6	6	6	11	10	5	3	8	6	8	88

附录 5

表 1 M 铁路局技术计划主要指标汇总表

指标分类		技术指标内容	指标值
车辆运用指标		工作量	1914(车)
		全周转时间	2.44(d)
		运用车数	4664(车)
		货车全周转距离	496.7(km)
		空车走行率	0.107
		货场平均中转距离	167.21(km)
		管内装卸率	1.46
		货车日车公里	203.57[km/(d·车)]
机车运用指标	数量指标	机车走行公里	24048(km)
		总重吨公里	53373400(t·km)
		机车供应台次	88(台)
	质量指标	机车全周转时间	13.22(h)
		机车需要系数	0.5508(台/对)
		机车需要台次	49(台)
		机车日车公里	490.78(km/d)
		列车平均总重	2313.74(t/列)
		机车日产量	1089253.061(t·km/d)
		单机走行率	0.042