

港口煤炭物流集疏运网络优化模型

刘文远^a, 肖 倩^b, 陈红梅^b

(燕山大学 a. 产业集团; b. 经济管理学院, 河北 秦皇岛 066004)

【摘要】 为提高码头装卸效率, 加快船舶周转, 通过对港口煤炭物流集疏运系统特点的分析, 阐述集疏运系统对港口物流效率发挥的重要作用, 认为港口物流集疏运系统不但直接影响港口吞吐量, 还间接影响港口的整个业务流程。结合煤炭集疏运流程特点, 提出建立时间最小化的综合平衡优化模型, 并认证模型的可行性。

【关键词】 港口; 物流; 集疏运系统; 节点时间控制; 优化模型

0 引言

港口集疏运系统是多种运输方式无缝衔接的运输服务系统, 对整个港口的效率起决定性作用。对港口而言, 高效的集疏运系统能够减少货物在港口的停留时间, 缓解由于大量货物滞港对码头堆场造成的堆存压力, 同时也可以不断加强港口与腹地之间的联系, 从而促进港口腹地的不断扩大, 提高港口的竞争力; 对船舶公司来讲, 高效的港口集疏运系统可以减少船舶在港等待时间, 提高船舶的利用率和船公司的运营效益, 从而也会吸引更多的船舶在港口挂靠; 对外贸商而言, 高效的港口集疏运服务系统可以提高货物运输的可靠性和安全性, 缩短货物的滞港时间, 加速贸易资金的周转。^[1] 因此, 对于港口集疏运系统的优化研究已经成为港口物流发展中的热点问题。

港口集疏运系统优化实质上是货物承运人的决策选择, 即如何选择路径、控制时间, 使运输成本最小化。

关于港口集疏运网络优化的研究, 一般多采用运筹学的方法, 如表上作业法、最短路线法及最小费用最大流法等, 以解决简单网络中的运输优化问题。在多货种、多方式的综合运输问题上, 多运用路径配流方法优化路径。^[2] 目前, 有关集疏运系统的时间优化研究并不多见, 一些研究运输问题的优化大多借助于计算机程

序辅助决策。

1 构建集疏运网络优化模型

港口集疏运系统的优化是增强港口空间通达性的关键环节, 如果港口达不到足够的空间通达程度, 将会在竞争中失去现有市场。

在对集疏运系统中的运输时间进行优化时, 关键是对节点时间的控制, 即对装卸时间和运输时间进行控制。

为逐步提高港口自身竞争力和在航运中的枢纽地位, 世界各大港口都不断采用新技术和工艺优化集疏运系统, 以最大限度地提高码头吞吐能力, 尽可能地缩短每艘船舶的装卸时间。

本文研究煤炭港口集疏运系统的优化, 所以模型以煤炭港业务流程为例, 即“集”的方式以铁路运输为主, “疏”的方式以海运为主。在此, 对时间优化模型(节点时间控制)进行具体分析。

1.1 第1个节点时间控制模型

在卸车环节中, 首先由铁路部门发来的列车进入港站, 办理好相关手续后, 进入翻车车间进行翻卸, 待翻卸完毕后牵走空车。

下面是第 1 个节点时间控制模型:

假设 $w_1 = 0$, 即到港的第 1 列车等待时间为 0; 第 1 列车到港的时刻 $a_1 = t_1$, 第 j 列车到港的时刻 $a_j = a_{j-1} + t_j (j = 2, 3, 4, \dots, n)$; t 为到港列车的时间间隔, $t \in [10, 250]$, 均匀分布。

$l_1 = a_1 + u_1$, l_1 为第 1 列车被牵走的时刻; u_1 为第 1 列车的翻卸时间; $u \in [45, 90]$, 均匀分布。

第 j 列车在港内的等待时间为

$$w_j = \begin{cases} 0, & a_j \geq l_{j-1} \\ l_{j-1} - a_j, & a_j < l_{j-1} \end{cases} (j = 2, 3, 4, \dots, n)$$

第 n 列车被牵走的时间为

$$l_j = a_j + u_j + w_j$$

所以, 一列车从进入翻车车间到翻卸完毕牵走空车, 整个过程所需要的平均时间为

$$\bar{T}_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (a_j + u_j + w_j)$$

在集疏运第 1 个环节中, 如何使到港列车在港等待时间最短, 要缩短卸车时间, 涉及到一个如何提高卸车效率的问题。

$$\text{目标函数为 } \min T_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (a_j + u_j + w_j)$$

约束条件为

$$\text{s.t. } \begin{cases} a_j = a_{j-1} + t_j & (j = 2, 3, 4, \dots, n) \\ w_j = \begin{cases} 0, & a_j \geq l_{j-1} \\ l_{j-1} - a_j, & a_j < l_{j-1} \end{cases} & (j = 2, 3, 4, \dots, n) \\ u \geq 0 \\ t > 0 \end{cases}$$

根据上式, 结合实际数据反复模拟、重复计算, 可以找出时间最短的一次卸车活动, 随即分析该次卸车的各个具体细节, 从而提高卸车效率, 缩短到港列车的等待时间和停留时间, 使集疏运过程中的“集”时间达到优化。

1.2 第 2 个节点时间控制模型

在将到港煤炭通过皮带机传送到堆场的环节中, 涉及到皮带机的启动时间。在这个过程中, 皮带机是逆向启动的, 即由最后一段皮带开始启动, 逐渐向前接力式顺序启动, 皮带启动具有间隔时间。

假定 p_1 为第 n 段皮带开始启动的时刻, $p_1 = 0$; d_1 为第 n 段皮带完全启动的时刻; p_2 为第 $n-1$ 段皮带启动的时刻; \dots ; p_n 为第 1 段皮带启动的时刻; $p_2 = p_1 + d_1$; $p_3 = p_2 + d_2$; \dots ; $p_n = p_{n-1} + d_{n-1}$, $n > 1$; $d_i > p_i$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$; 运输煤炭的时间为 t' , 所以煤炭进入堆场所需要的时间为

$$T_2 = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n + t' =$$

$$\sum_{n=1}^n p_n + \sum_{i=1}^n d_i + t' \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

在这个环节中, 煤炭进入堆场的运输时间 t' 与煤炭的流量有关。另外, 如果皮带机按顺向启动, 将会节省时间和能源, 其中需要计算每段皮带之间的启动时间间隔。

由于从第 n 段皮带开始启动, 然后顺延, 以第 n 段皮带为例, 其从开始启动到完全启动需要的时间为 d_1 , 从完全启动到第 1 段皮带完全启动这段时间里, 第 n 段皮带一直处于空转状态, 皮带空转的时间为 $N_1 = p_n - d_1$

第 $n-1$ 段皮带空转的时间为 $N_2 = p_n - p_2$

第 $n-2$ 段皮带空转的时间为 $N_3 = p_n - d_3$

.....

第 n 段皮带空转的时间为 $N_{n-1} = p_n - d_{n-1}$

由此递推可知:

第 i 段皮带的空转时间为 $N_i = p_n - d_i$

则第 i 段皮带空转率为 $R_i = \frac{N_i}{p_n} = \frac{p_n - d_i}{p_n}$

从上式可以看出, 每一段皮带都有一定的空转时间, 最先开始启动的皮带空转时间最长, 最后启动的皮带没有空转时间。优化煤炭在港内的运输时间, 实质是提高皮带机工作效率, 减少皮带机空转时间。

1.3 第 3 个节点时间控制模型

在集疏运过程中, 最后 1 个环节为取料装船作业。在这个环节中, 需要考虑如何提高装船效率。

假设第 1 艘船到达港口的时刻为 b_1 , 则第 k 艘船到港的时刻为 $b_k = b_{k-1} + t'_k$, $k = 2, 3, 4, \dots, n$, t' 为到港船舶的时间间隔, $t' \in [0, 450]$; $d_1 = b_1 + v_1$, d_1 为第 1 艘船的离港时刻, v_1 为第 1 艘船的装船时刻; 第 1 艘到港船只在港等待时间为 $t'_1 = 0$, 则第 k 艘船在港内的等待时间为

$$w'_k = \begin{cases} 0, & b_k \geq d_{k-1} \\ d_{k-1} - b_k, & b_k < d_{k-1} \end{cases} (j = 2, 3, 4, \dots, n)$$

需要说明的是, 到港船舶的等待时间包括两个部分, 即靠泊等待时间和开工等待时间。在本文中, 不作详细划分和考量。

第 k 艘船离港的时间为 $d_k = b_k + w'_k + v_k$

所以, 整个装船过程所需要的平均时间为

$$\bar{T}_3 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n d_k = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (b_k + w'_k + v_k)$$

目标函数为

$$\min T_3 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n d_k = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (b_k + w'_k + v_k)$$

约束条件为

$$\text{s.t.} \begin{cases} w'_k = \begin{cases} 0, & b_k \geq d_{k-1} \\ d_{k-1} - b_k, & b_k < d_{k-1} \end{cases} \quad (k = 2, 3, 4, \dots, n) \\ v_k \geq 0 \\ t'_k > 0 \\ b_k = b_{k-1} + t'_k \quad (k = 2, 3, 4, \dots, n) \end{cases}$$

在集疏运过程中“疏”环节上的时间优化,主要体现在装船时间的优化上,如何在港的煤炭输出船舶等待和停留时间最短,实际上就是提高装船效率。

上述3个节点时间控制模型的作用是通过实证数据反映港口集疏运过程中亟需解决的问题。

2 秦皇岛港实证数据分析

基于秦皇岛港煤炭物流集疏运的作业时间数据,采用上述节点时间优化模型进行论证,考量节点时间控制对整个集疏运过程的影响。

2.1 煤炭集疏运流程简介

秦皇岛港集疏运网络系统以港站、堆场为节点,由港内各条从翻车车间至堆场以及从堆场至泊位的线路构成。在秦皇岛港煤炭集疏运系统中,主要的集疏设施有公路、铁路和堆场等,主要的集疏运方式有铁路、船载。

(1)“集”——煤炭进入堆场。秦皇岛港的煤炭集运方式主要以铁路运输为主。铁路部门根据要车计划向秦皇岛港发车,同时向港口传递列车相关信息。列车进入港口后,由港站办理相关手续,卸车班根据《昼夜卸车计划》进行翻车,然后由皮带机将煤炭运至堆场,由堆料机将煤炭堆放在相关煤种的垛位上。

(2)“疏”——堆场煤炭运离港口。秦皇岛港的煤炭疏散方式主要以船载为主。到港船舶与港站联系,港口根据船舶配载通知单,由取料机将堆场的煤炭堆放在皮带机上,由皮带机运至码头附近,装船机将煤炭堆存到船舱内。

2.2 集疏运环节数据

为验证3个节点时间控制模型的实用性,选择居于国内煤炭年吞吐量首位的秦皇岛港进行数据采集。

(1)卸车时间数据。采集2008年1月1日至2008年10月13日的卸车时间数据,通过对大量样本数据的统计分析,得出表1。

表1 煤炭卸车时间(2008-01-01—2008-10-13)

| 到港列车 | 到港时刻 | 等待时间/min | 翻卸时间/min | 牵空车时刻 | 整个过程所需时间/min |
|------|-------|----------|----------|-------|--------------|
| 第1列 | 06:05 | 135 | 30 | 09:00 | 165 |
| 第2列 | 07:40 | 130 | 85 | 11:25 | 215 |
| 第3列 | 09:50 | 350 | 55 | 16:50 | 405 |
| 第4列 | 10:40 | 85 | 120 | 14:25 | 205 |
| 第5列 | 13:10 | 50 | 85 | 22:35 | 135 |

卸车过程所需要的平均时间可通过下式得出:

$$\bar{T}_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (a_j + u_j + w_j)$$

将表1中的数据代入式中,可得出 $\bar{T}_1 = 227 \text{ min}$ 。

从表1中数据亦可得出,列车到港后的平均等待时间为150 min。

对于连续时间内的卸车时间数据的分析,可以使用求平均数的小程序,通过计算机进行随机模拟,得出平均卸车时间和等待时间,从而清晰地看出等待时间与总卸车时间之间的关系(见图1)。

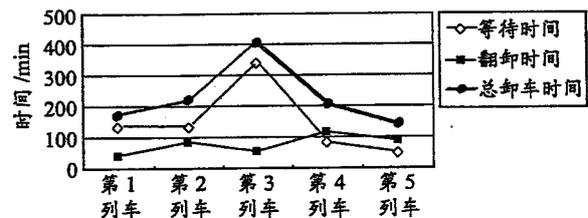


图1 等待时间与总卸车时间的关系

如图1所示,在到港列车进行翻卸的整个过程中,影响整个作业流程所需时间的最重要因素为等待时间。在整个卸车作业环节中,卸车效率对等待时间起着至关重要的作用,以某日进港的第1列车为例,如果第1列车的卸车效率得到提高,那么第2列车在港站的等待时间就会相应减少,在卸车环节消耗的时间(总卸车时间)也会缩短。

(2)秦皇岛港的皮带机启动时间数据。采集2008年1月1日至2008年10月13日的皮带机的启动时间数据,通过对大量样本数据的统计分析,得出表2。

表2 皮带机启动时间(2008-01-01—2008-10-13)

| 皮带名称 | 开始启动时刻 | 完全启动时刻 | 空转时间/min | 总启动时间/min |
|------|--------|--------|----------|-----------|
| 第6段 | 7:36 | 7:41 | 29 | 34 |
| 第5段 | 7:41 | 7:46 | 24 | 29 |
| 第4段 | 7:46 | 7:52 | 18 | 24 |
| 第3段 | 7:52 | 8:01 | 9 | 18 |
| 第2段 | 8:01 | 8:10 | 5 | 14 |
| 第1段 | 8:10 | 8:15 | 5 | 5 |

由表2中各段皮带的空转时间可以得出某一段皮带空转率: $R_i = \frac{N_i}{p_n} = \frac{p_n - d_i}{p_n}$, 将表2中数据依次代入式中, 得出各段皮带空转率: $R_6 = 85.29\%$, $R_5 = 82.76\%$, $R_4 = 75\%$, $R_3 = 50\%$, $R_2 = 35.71\%$, $R_1 = 1$ 。

对于连续时间内皮带机空转时间数据的分析, 可以通过计算机程序进行, 得出每段皮带的空转率。

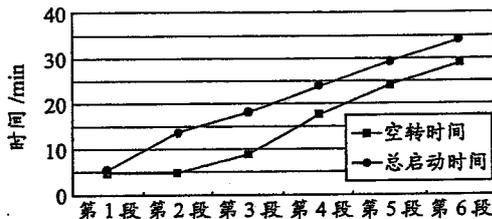


图2 皮带机空转与总启动时间

由图2所示, 除第1段皮带外, 每段皮带都有一定的空转时间。在实际业务流程中, 皮带空转在很大程度上影响港口的集疏运, 也是对能源、设备的一种浪费。减少皮带空转和启动时间, 可缩短集疏运时间。

(3) 装船时间数据。采集2008年1月1日至2008年10月13日的装船时间数据, 通过对大量样本数据的统计分析, 得出表3。

表3 煤炭装船时间(2008-01-01—2008-10-13)

| 到港船舶 | 到港时刻 2008-10-10 —2008-10-11 | 等待时间/min | 装船时间/min | 离港时刻 2008-10-13 | 总装船时间/min |
|------|-----------------------------------|----------|----------|--------------------|-----------|
| 第1艘 | 17:10 | 3 370 | 470 | 14:15 | 3 840 |
| 第2艘 | 23:00 | 2 730 | 825 | 11:15 | 3 555 |
| 第3艘 | 22:30 | 3 090 | 480 | 20:00 | 3 570 |
| 第4艘 | 05:05 | 3 355 | 250 | 17:10 | 3 605 |
| 第5艘 | 19:45 | 2 595 | 330 | 19:50 | 2 925 |

装船过程的平均时间可通过下式得出: $\bar{T}_3 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n d_k = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (b_k + w_k + v_k)$, 将表3中的数据代入式中, 得出平均装船时间 $\bar{T}_3 = 3 499 \text{ min}$ 。

从表3还可以求出, 船舶在港平均等待时间为3 028 min。

对于连续时间内装船时间的数据分析, 可以使用求平均数的小程序, 利用计算机进行随机模拟, 得出平均装船时间和船舶在港等待时间。

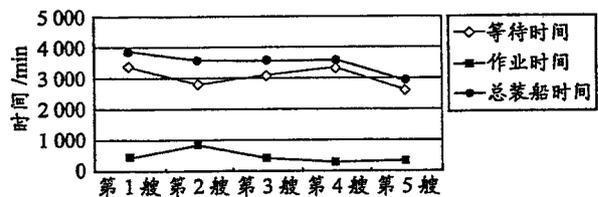


图3 船舶平均装船时间和在港等待时间

如图3所示, 船舶在港进行装船过程中, 影响整个作业流程所需时间的最重要因素为在港等待时间。在卸车作业环节中, 装船效率对等待时间起着至关重要的作用。以某日进港的第1艘船为例, 如果第1艘船舶的装船效率得到提高, 那么第2艘船舶在港站的等待时间就会相应减少, 在装船环节消耗的时间(总装船时间)也会缩短。

3 结 语

通过对港口煤炭物流集疏运系统特点的分析, 阐述集疏运系统对港口物流效率发挥的重要作用, 并将视角放在集疏运系统的时间优化问题上, 结合煤炭集疏运的特征, 建立相应的节点时间控制模型。时间优化模型分析整个集疏运过程的3个节点, 即卸车、皮带机和装船等3个节点, 通过对秦皇岛港煤炭物流集疏运环节的数据分析, 论证模型的可行性。

参考文献:

- [1] 董洁霜. 港口集疏运系统优化模型[J]. 上海理工大学学报, 2007, 29(5): 30-31.
- [2] 方然. 港口腹地集装箱运输系统网络优化配流模型[J]. 水运管理, 2003, 25(7): 16-18.

(上接第22页) 规避过度价格竞争, 并塑造各港口在特定领域内的核心竞争力。港口物流企业应根据实际情况, 选择具有自身特色和发挥自身优势的物流增值策略, 形成各自的主打货源、优势货种和相对稳定的客户群, 这是在市场环境中保持并扩大优势的决定性力量。

参考文献:

- [1] 李南. 港口民营化改革理论与政策[M]. 北京: 中国经济出版社, 2008.

- [2] 刘文志. 中国港口价格规制改革的原理与设想[J]. 价格理论与实践, 2007: 32-33.
- [3] 李晶. 港口间价格竞争的效率分析[J]. 水运管理, 2003, 24: 16-17.
- [4] 封学军, 严以新. 港口物流企业在价格战中的策略选择[J]. 交通运输工程学报, 2005: 113-116.
- [5] 李南, 李文兴. 港口的区域垄断和竞争: 圆周模型[J]. 中国航海, 2007: 93-96.
- [6] 李南. 环渤海地区煤炭输出港之竞争与发展[J]. 中国港口, 2004: 19-20.