

考虑总成本的冷藏集装箱海铁联运运输路径优化

刘 璘¹, 朱小林^{2*}

(1. 上海海事大学 科学研究院, 上海 201306; 2. 上海海事大学 文理学院, 上海 201306)

摘 要: 为了打造高效、便捷的国际物流通道,同时提高消费者的生活水平,在“海运+冷藏班列+公路短驳”多式联运新业务模式下,文章提出了基于海铁联运的冷藏集装箱路径优化模型.文章以普通集装箱多式联运为基础,以包括制冷成本、运输成本、转运成本在内的总成本最小为目标函数建立模型.在算法上提出改进后的动态规划算法,把每个节点视为一段虚拟路径,通过算例分析得到在冷藏集装箱多式联运和普通集装箱多式联运两种情况下所得到的最优路径各不相同,冷藏集装箱在海铁联运的运输模式下,制冷成本虽然增加了,但总成本有所降低.研究冷藏集装箱海铁联运路径优化问题对决策者在选择运输路径时提供了可靠的参考依据.

关键词: 冷藏集装箱; 多式联运; 运输组合优化; 动态规划; 海铁联运

中图分类号: N945

文献标识码: A

随着人们的生活水平不断提高,对货物运输质量的要求也有所提高,尤其是食物方面,所以冷藏集装箱的多式联运越来越受到人们的关注.冷藏集装箱多式联运体系创新业务的开展促使国际物流通道进一步便捷且高效.

之前,冷藏集装箱货物运输通常会选择公路.由于公路运输难以满足急剧增长的冷藏集装箱运输在能耗、安全、服务等方面的要求,冷藏集装箱班列逐渐开通,促进了“一带一路”沿线国家的互联互通,打破了海运、铁路冷藏集装箱标准化统一以及更好的运输衔接问题.随着我国的近年来油价的上涨,交通压力的逐日上涨,大量的长距离跨海运输业务开始使用多式联运解决冷藏集装箱运输问题,这也是最近刚提出的创新业务之一.当前国际上公认的且最合适的冷链物流设备是冷藏集装箱,其适合机械化以及自动化的物流作业方式,并且冷藏集装箱设备可以适用于各种交通工具进行联运,减少了中转产生的装卸、搬运次数,从而提高了物流流通效率,满足了现代物流的需求.冷藏集装箱的最大优势是因冷藏集装箱的灵活性、便捷性实现了“门到门”服务,更多保障了食品的完好性,降低了冷藏货物在中转、运输过程的质量货损.

随着现代物流企业越来越关注低成本高效率的运输方式,多式联运是多种运输方式的组合协

调,旨在实现整个货物运输的效益优化.根据辽宁日报报道^[1],2016年3月,大连港创新冷藏集装箱多式联运,经过大致3个月的时间试运,相关温度指标、运输质量、运输时间限制等均达到国际的标准,说明冷藏集装箱运输将是现代物流发展的其中一种趋势;根据冷水联运暨多式联运现场推进会报道^[2],新时期冷藏集装箱铁水联运发展呈现出新的景象,在新型装备的研发应用上,冷藏集装箱多式联运作为创新业务之一,促进了国际物流通道的畅通性;孙金平,侯玉坤等^[3]在分析铁路冷藏集装箱发展前景中表明冷藏集装箱的灵活性、便捷性、以及“门到门”和“库到库”的运输,不仅给消费者提供了高效的服务,还更多地保障了食品的完好性;TANNER^[4]在冷藏运输中介绍全球食品运输发生了巨大变化主要是由于制冷,这开始于19世纪80年代的第一次从新西兰成功的冻货运输,且分别介绍了海陆空的冷藏集装箱运输;陈雷,林伯梁等^[5]研究了在碳排放政策下的多式联运路径优化,运用lingo实现求解,并验证了模型的合理性;ZHANG等^[6]把多式联运应用到生物燃料的供应链设计中,设计了多级整数规划模型,通过运用多式联运各种运输方式优点的结合,多式运输模型能够获得高效的成本,而冷藏集装箱运输产生的制冷成本会影响整个冷藏多式联运运输路径优化的结

收稿日期: 2017-01-23.

基金项目: 国家自然科学基金项目(11301334);上海市科委计划项目(14DZ2280200).

* 通讯联系人. E-mail: xlzhu@bdc.shmtu.edu.cn.

果; 缪小红, 周新年等^[7]研究了冷链物流配送路径优化问题, 目标函数为运输成本、惩罚成本、货损成本之间的总成本最小化, 最后运用 matlab 验证了模型的有效性; 韩骏, 徐奇等^[8]运用动态规划的优化模型研究了集装箱多式联运系统优化, 考虑了集装箱运输的费用、时间以及运输质量, 但没有考虑冷藏集装箱运输过程中产生的额外成本。

对于集装箱多式联运的优化问题, 国内外学者做了较多的研究, 目前多式联运研究主要在普通集装箱方面较多, 并作了定量以及定性的分析, 而冷藏集装箱的研究是在理论技术方面或者铁路冷藏集装箱运输方向的研究较多, 本文从定量的方向研究冷藏集装箱多式联运运输路径优化问题, 考虑了冷藏集装箱在运输过程中产生的相关成本(运输成本、中转成本、制冷成本等), 并通过算例分析比较, 得出文章提出的基于海铁联运冷藏集装箱路径优化模型的重要性。

与上述文献不同之处在于本文是在普通集装箱多式联运的基础上, 在海铁联运的环境下对冷藏集装箱多式联运进行系统优化, 降低整个冷藏集装箱运输过程的货损和能源消耗。为实现国际物流通道高效性和促进冷链产业成本的最优化的目标, 本文应用多式联运的方式, 合理结合各种运输模式的优势, 在满足消费者需求的基础上, 以冷藏集装箱在运输过程和中转过程中产生的相关成本(包括时间成本、惩罚成本、运输和中转过程中因消耗能源而产生的制冷成本等)构建了路径优化模型, 并根据多式联运的多阶段性运用了改进后的动态规划算法, 之前运用动态规划算法研究的多式联运是把两个节点之间的运输过程视为动态规划的一个阶段。本文首先通过广度优先研究算法找到所有可能的路径, 然后运用动态规划算法找到成本最低的运输系统, 把所找到的运输路径中每个城市相当于动态规划的一个阶段, 把两座城市节点之间的路径视为实际路径, 而把每个中转城市节点视为虚拟的路径, 同时也会产生相应的成本。最后通过 Matlab 优化软件验证该模型的合理性。

1 冷藏集装箱多式联运问题描述

随着经济全球化, 国际间的运输网络越来越复杂, 导致货物运输方式得到重大的变化。目前, 我国的运输方式有 5 种, 不同运输方式组合下会带来不一样经济效应。由于条件限制文章考虑的冷藏货物运输方式有 3 种, 在满足客户需求的情况下, 实现冷藏货物运输成本低且效率高。为了体现在多种运

输模式网络中不同运输方式组合带来的不同效果, 运用了运输网络拓扑图来解决冷藏集装箱多式联运运输路径优化问题, 如图 1 所示。

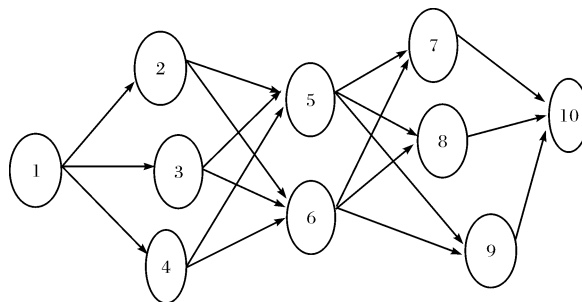


图 1 运输网络图

Fig. 1 Transportation network

假设一批货物由 O 点运到 D 点, 一条路上有 2 个中转点 M, 各点之间有 3 种运输方式可以选择, 从图 2 可以看出若要完成货物的运输可以有多种运输路径可以选择, 而每条路径都是由多种运输方式组合而成, 而文章的中心则是如何在规定的贸易时间内以最小的成本完成运输任务。

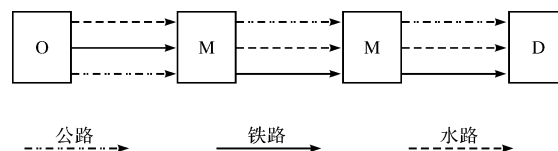


图 2 运输路径图

Fig. 2 Transportatin routes

1.1 问题假设

- 1) 冷藏集装箱在任何两个节点之间只能选择一种运输方式。
- 2) 冷藏集装箱在各节点有铁路、公路、水路 3 种运输方式可进行选择。
- 3) 各种运输方式的转换只发生在节点上, 除 O/D 外, 且在中转节点货物运输量不能分开由多种运输方式来完成运输。
- 4) 冷藏集装箱多式联运不仅要追求成本最小化, 同时也要追求时间最短, 所以存在一个指定时间确保运输任务在该时间内完成, 否则会导致企业的信誉度降低。
- 5) 冷藏集装箱运输在运输过程中存在货损, 如整个运输过程中内外温度差异变化, 在装卸过程集装箱内货物的位置移动等因素所致。
- 6) 考虑某些地区开通了“海运+冷藏集装箱

班列运输+公路短驳”冷藏集装箱多式联运业务。

1.2 冷藏集装箱多式联运成本分析

冷藏集装箱多式联运过程中产生了运输成本和货损成本,在中转点冷藏集装箱运输方式转变过程产生了中转成本和货损成本,同时在整个运输过程中产生了时间价值成本。而冷藏集装箱运输相对于普通集装箱运输会产生制冷成本。

1) 在途运输成本和货损成本

冷藏集装箱在多式联运过程中产生的成本 C_1 由 2 部分组成,分别是运输成本 A_1 和货损成本 B_1 。假设冷藏集装箱货损成本产生由时间的积累所致。则:

$$A_1 = \sum_i \sum_k x_{i_1, i_2}^k c_{i_1, i_2}^k, \quad (1)$$

$$B_1 = \sum_i \sum_k Q \theta_1 r t_{i_1, i_2}^k. \quad (2)$$

2) 中转成本和货损成本

冷藏集装箱在多式联运在中转点产生的成本 C_2 由两部分组成,分别为中转成本 A_2 和货损成本 B_2 ,同样的假设冷藏集装箱在中转过程中产生的货损成本由时间决定。则:

$$A_2 = \sum_i \sum_k \sum_l y_{i_1}^{kl} c_{i_1}^{kl}, \quad (3)$$

$$B_2 = \sum_i \sum_k \sum_l Q \theta_2 r a_{i_1}^{kl}. \quad (4)$$

3) 制冷成本

冷藏集装箱与普通集装箱主要区别在于冷藏

集装箱需要消耗额外的能源成本,冷藏集装箱在运输过程中产生的能耗成本主要是制冷剂成本,其取决于箱体的内外表面积、箱体内部温度,外界的温度、箱体裂化程度和热传率等相关因素,假设冷藏集装箱运输在整个运输过程中不允许拆箱,则。

$$C_4 = GP(t_{i_1, i_2}^k + a_{i_1}^{kl})Q^*, \quad (5)$$

$$G = (1 + \alpha) \times R \times S \times \Delta T, \quad (6)$$

其中, α 表示箱体裂化程度; R 为热传率, $S = \sqrt{S_n S_u}$ 为箱体的平均表面积, S_n 为箱体内表面积, S_u 为箱体外表面积, G 表示冷藏集装箱体热负荷, P 表示单位制冷成本, ΔT 为室内与室外温差。

4) 时间价值成本

在冷藏集装箱多式联运过程中,时间价值成本的影响因素主要有货物价值,集装箱的占用费,货物在转运期间的存储费用等。

$$T_{i_1, i_2}^k = \left(\frac{v_g \times m}{365} + v_c \right) \times \left(T_d + \frac{d_{i_1, i_2}}{24 v_k} \right), \quad (7)$$

其中, T_{i_1, i_2}^k 为运输模式 k 时集装箱的时间价值成本, m 为装载率, v_g 为运输货物的价值, v_c 为集装箱占用费, T_d 为货物转运期间的存储时间(以 1 d 为单位,取 1), d_{i_1, i_2} 为两个节点 i_1, i_2 之间的距离, v_k 为节点 i_1, i_2 之间的运输速度。

2 模型建立

模型参数设计如表 1 所示。

表 1 模型参数设计

Tab. 1 The design of model parameter

参数符号	参数含义	参数符号	参数含义
Z	表示不同运输模式组合下总的运输成本	Q	表示货物的总量
Q^*	表示整个运输过程中集装箱的数量	r	表示货物的单位成本
θ_1	表示货物在运输过程中货损的比例	θ_2	表示货物在转运过程中货损的比例
i	表示多式运输网络中城市节点的集合	L, k	表示运输模型的选择
t_{i_1, i_2}^k	表示在城市节点之间运输模式 k 下的运输时间	$a_{i_1}^{kl}$	表示在中转节点 i_1 处的中转时间
c_{i_1, i_2}^k	表示在运输模式 k 的情况下,节点 i_1, i_2 之间的运输成本	$c_{i_2}^{kl}$	表示在节点 i_2 时运输模式 k, l 转移时所产生的转运成本
T_{i_1, i_2}^k	表示在运输模式 k 下节点 i_1, i_2 之间产生的时间价值成本	T_d	表示在城市节点货物转运存储的时间
f_{i_1, i_2}^k	表示城市节点 i_1, i_2 之间运输模式 k 下的运输容量限制	q	表示货物的数量
$L_{n-1, n}^l$	表示节点 $n-1$ 和节点 n 之间运输过程中的制冷成本	M	表示足够大的惩罚系数
$Z_{n-1, n}^l$	表示节点 $n-1$ 和节点 n 之间运输过程中产生的惩罚成本	T	表示从出发地到目的地所允许的运输时间
v_{i_1, i_2}^l	表示节点 i_1, i_2 之间运输模式为 l 时的运输速度	$L_{i_1}^{kl}$	表示在转运点 i_1 转运过程的制冷成本
$x_{i_1, i_2}^k = 1$	在城市节点 i_1, i_2 之间选择运输模式 k	$x_{i_1, i_2}^k = 0$	在城市节点 i_1, i_2 之间选择其他运输模式
$y_{i_1}^{kl} = 1$	在城市 i_1 下选择运输模式 k 转为 l	$y_{i_1}^{kl} = 0$	运输模式不变
$u_{i_1}^{kl} = 1$	城市节点 i_1 的设施能够满足转运需求	$u_{i_1}^{kl} = 0$	其设施不能够满足转运需求
V_{i_1, i_2}^l	表示两节点之间产生的总成本(运输成本和货损成本之)	$V_{i_1}^{kl}$	表示节点产生的总成本(中转成本和货损成本)

其中目标函数为:

$$Z = \min A_1 + A_2 + B_1 + B_2 + C_4 + \sum_i \sum_k x_{i_1, i_2}^k T_{i_1, i_2}^k + \sum_i \sum_k \sum_l (u_{i_1}^{kl} - 1) M; \quad (8)$$

$$x_{i_0, i_1}^k + x_{i_1, i_2}^l \geq 2y_{i_1}^{kl} \quad \forall i, k, l, \quad (9)$$

$$\sum_k x_{i_1, i_2}^k = 1 \quad \forall i, \quad (10)$$

$$\sum_k \sum_l y_{i_1}^{kl} = 1 \quad \forall i, \quad (11)$$

$$\sum_i \sum_k \sum_l t_{i_1, i_2}^k x_{i_1, i_2}^k + \sum_i \sum_k \sum_l a_{i_1}^{kl} y_{i_1}^{kl} \leq T, \quad (12)$$

$$q \leq f_{i_1, i_2}^k \quad \forall i, k, l, \quad (13)$$

$$(i_1, i_2) = 1, \quad (14)$$

$$x_{i_1, i_2}^k, y_{i_1}^{kl} \in \{0, 1\} \quad \forall i, k, l, \quad (15)$$

$$i_1, i_2 \in i. \quad (16)$$

目标函数共由 5 个部分组成,第 1 部分是整个运输过程中所产生的运输成本(包括实际运输成本和运输过程中产生的货损成本);第 2 部分是在转运节点上产生的转运成本(包括实际转运成本和转运过程中产生的货损成本);第 3 部分是制冷成本;第 4 部分为时间价值成本;第 5 部分为惩罚成本。

约束是确保运输的连续性;约束表示城市节点 i_1, i_2 之间的货物运输只能用一种运输模式;约束表示在城市 i_1 只能使用一种运输模式;约束表示在指定时间内必须完成运输任务;约束表示货物量不能超过节点 i_1, i_2 之间运输模式下的运输容量;约束表示两个城市节点之间没有转运城市;约束指决策变量 $x_{i_1, i_2}^k, y_{i_1}^{kl}$ 为 0 ~ 1 变量。

3 算法设计

将上述问题转化成阶级性的网络问题来解决,首先通过广度优先研究算法找到所有可能的路径,然后针对一条路径运用动态规划算法找到成本最低的运输路径,把两个节点之间的路径视为实际路径,把每个中转节点视为虚拟的路径,该虚拟路径也会产生相应的成本。把找到的所有可能路径中的每个节点视为动态规划的一个阶级,因此,如果该路径有个节点,就有个阶级。

在寻找最优路径过程中,由于在节点处存在转运成本,所以假设每个城市节点(除起始节点)为一段虚拟路程,这段路程产生的成本为转运总成本和制冷成本,从而获得一个更大的网络拓扑结构图,然后运用动态规划算法解决最短路径问题。

算法设计如下:

1) 对于城市 n ,总成本为 $f_n = 0$,总时间 $T_n = 0$;

2) 对于城市 $n-1$,总运输成本可以表示为:

$$f_{n-1}(k, l) = V_{n-1, n}^l + V_{n-1}^{kl} + L_{n-1}^{kl} + L_{n-1, n}^l + T_{n-1, n}^l + Z_{n-1, n}^l;$$

3) 总的时间 2 表示为: $T_{n-1} = \frac{d_{n-1, n}^l}{v_{n-1, n}^l} + T_n$;

4) 从城市到城市,总成本可以表示为:

$$f_n(k, l) = V_{i_1, i_2}^l + V_{i_1}^{kl} + T_{i_1, i_2}^l + L_{i_1}^{kl} + L_{i_1, i_2}^l + Z_{i_1, i_2}^l + f_{i_2};$$

5) 总时间表示为:

$$T_{i_1} = \frac{d_{i_1, i_2}^l}{v_{i_1, i_2}^l} + T_d + T_{i_2};$$

6) 从城市到城市,总运输成本表示为:

$$f_1(s) = V_{1, 2}^k + f_2 + L_{1, 2}^k + Z_{1, 2}^k;$$

7) 总时间表示为:

$$T_1 = \frac{d_{1, 2}^k}{v_{1, 2}^k} + T_2.$$

通过运算,可以选择最好的运输模式。在模型中时间因素具有重要的作用,便于在指定的时间内选择总成本最低的运输模式。

4 算例分析

假设发货人有 20 箱标准的集装箱,其铁路运费之发到基价为 149.5 元/箱,运行基价为 0.6 603 元/箱公里;水路运输运行价为 950 元/箱;公路运费之运行基价为 6 元/(箱·公里)。货物运输规定的时间期限为 4 d,货物价值为 400 000 元,每个集装箱占用的费用 36.5 元/d。货物需要从哈尔滨运输到成都(如图 3 所示),经过北京,天津,大连,济南,上海,郑州,武汉,西安,重庆等地区。总共可走路径超过 10 种选择。通过 Matlab 进行求解,可以找到最优路径为:哈尔滨—长春—通辽市—大连—上海—武汉—重庆—成都,最优的多式运输模式组合为:铁路—铁路—铁路—水路—铁路—铁路—铁路,总成本为 164 832.03 元,其中制冷成本为 92 343.82 元,总时间为 70 h。

从表 2~表 6 可以看出从哈尔滨到成都冷藏集装箱多式联运和普通集装箱多式联运所走路径各不相同,普通集装箱运输方式都是铁路,而冷藏集装箱运输方式是海铁联运,这说明制冷成本的存在将会影响运输路径的选择;同时也可以看出在冷藏集装箱考虑海铁联运时比不考虑海铁联运制冷成本虽然提高了 10 657.56 元,但总成本却降低

了 7%.

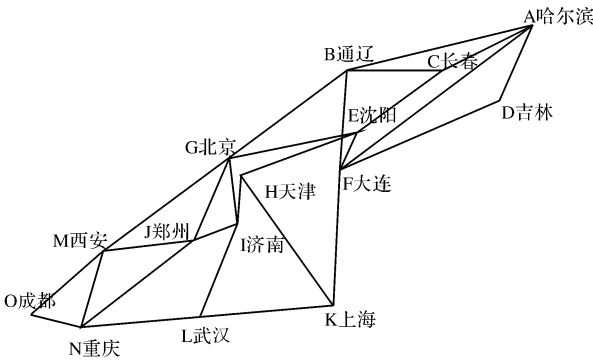


图 3 算例拓扑结构图

Fig. 3 The topology graph of structure for the case study

表 2 不同运输模式之间的距离

Tab. 2 The distance with different modes of transportation

城市	公路/km	铁路/km	水路/km
哈尔滨—通辽市	501.7	514.8	—
哈尔滨—长春	264.7	249.2	—
哈尔滨—大连	972.5	872.5	—
哈尔滨—吉林	359.6	330.1	—
长春—通辽市	257.1	267.5	—
长春—沈阳	313.8	281.5	—
通辽市—北京	709.2	665.4	—
通辽市—大连	711.4	817.3	—
吉林—大连	720.8	477.7	—
沈阳—北京	688.3	703	—
沈阳—天津	663.7	666	—
沈阳—大连	390.0	383	—
大连—上海	2 000.0	2 238	1 068.9
北京—西安	19 000.0	1199	—
北京—郑州	724.0	689.0	—
北京—济南	426.8	406.0	—
天津—上海	1 920.0	1 196.0	1 296.4
天津—济南	325.3	284.0	—
济南—武汉	842.6	936.0	—
济南—郑州	439.5	668.0	—
上海—武汉	833.9	807.0	1 125
武汉—重庆	888.2	876.0	888.2
郑州—西安	479.4	505.0	—
郑州—重庆	1 153.7	1 361.0	—
西安—成都	711.1	842.0	—
重庆—成都	314.3	313.0	—

表 3 每种运输模式的平均速度

Tab. 3 The average speed of different modes of transport

	公路	铁路	水路
速度/(km·h ⁻¹)	100	80	37

表 4 不同运输模式之间的转运时间

Tab. 4 The transfer time between transport modes

	公路	铁路	水路
公路/h	0	3	3
铁路/h	7	0	7
水路/h	18	18	0

表 5 各种运输模式的转运成本

Tab. 5 The transshipment cost between transport modes

	公路	铁路	水路
转运成本/元	100	170	250

表 6 算例结果

Tab. 6 Result of case study

	路径	运输方式	制冷成本	总成本
普通集装箱	A—C—E—	铁—铁—铁	0	56 434.75
	G—M—O	—铁—铁		
冷藏集装箱 海铁联运	A—C—B—F	铁—铁—铁	92 343.82	164 832.03
	—K—L—N—	水—铁—		
	—O	铁—铁		
冷藏箱不考 虑海铁联运	A—C—B—F	铁—铁—铁	81 686.26	176 489.59
	—K—L—N—	铁—铁—		
	—O	铁—铁		

5 总结

1) 国内外学者对普通集装箱多式联运路径优化的问题研究较多,冷藏集装箱多式联运体系作为创新业务之一,却没有一篇文章对冷藏集装箱多式联运路径优化问题进行研究,文章提出了基于海铁联运冷藏集装箱运输路径优化模型,并通过算例分析对冷藏集装箱和普通集装箱的最优运输组合模式以及路径进行比较,体现出文章提出的冷藏集装箱海铁联运路径优化模型的重要性.

2) 文章运用了广度优先研究算法、动态规划算法、运输网络拓扑结构图、求最短路、Matlab 编程等方法建立该模型并求之. 之前研究多式联运运用的动态规划算法是把两节点之间视为动态规划的一个阶级,而本文首先通过广度优先研究算法找到所有可能的路径,从选择的路径中针对一条路径进行分析,视每个节点相当于动态规划的一个阶级,找到成本最低的运输系统. 在网络节点较多时,考虑到广度优先算法过程中会出现指数爆炸的现

象,所以建议运用智能算法求解。

3) 通过算例结果分析得出,冷藏集装箱和普通集装箱最优运输路径以及运输模式各不同。冷藏集装箱在海铁联运的运输模式下制冷成本提高了,但是总成本降低了。

参考文献:

- [1] 冯 伟, 许 辉. 创新发展新引擎, 跨境班列热驱动——铁水联运暨多式联运现场推进会侧记[J]. 中国港口, 2016(6): 7-10.
- [2] 王继富. 大连港创新多式联运布局“一带一路”[N]. 辽宁日报, 2016-6-11(1).
- [3] 孙金平, 侯玉坤, 等. 铁路冷藏集装箱冷链运输组织及流程优化设计[J]. 货运组织, 2012, 11: 23-28.
- [4] TANNE D. Refrigerated Transport[M/OL]//JAYABALAN R, MALBAŠA R V, SMTHISHKUMAR M. Reference Module in Food Science. Amsterdam: Elsevier, 2016.
- [5] 陈 雷, 林柏梁, 等. 基于碳减排政策的多式联运运输方式选择优化模型[J]. 北京交通大学学报, 2015, 39(3): 70-75.
- [6] ZHANG F L, JOHNSON D M, WANG J J. Integrating multimodal transport into forest-delivered biofuel supply chain design [J]. Rene Energ, 2016, 93: 58-67.
- [7] 缪小红, 周新年, 林 森, 等. 第3方冷链物流配送路径优化研究[J]. 运筹与管理, 2011, 20(4): 32-38.
- [8] 韩 骏, 徐 奇, 靳志宏. 动态规划的集装箱多式联运系统运输方式组合优化[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2010, 34(4): 661-664.
- [9] 潘茜茜, 干宏程. 考虑碳排放的冷链物流配送路径优化研究[J]. 数学的实践和认识, 2016, 46(2): 63-68.
- [10] 邵晓娴. 基于海铁联运的厦门港物流新模式探讨[J]. 大连海事大学学报, 2016, 15(1): 46-54.
- [11] 汤 宁, 杨静蕾. 国内外海铁联运扶持政策对比研究[J]. 港口经济, 2016(4): 21-24.
- [12] WANG Y, YEO G T. A study on international multimodal transport networks from Korea to Central Asia: focus on secondhand vehicles[J]. The Asian Journal of Shipping & Logistics, 2016, 32 (1) : 41-47.
- [13] 程天伦, 彭其渊. 冷藏集装箱长途运输加油站点方案研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2016, 13(6): 1212-1221.
- [14] 韩增霞. 集装箱多式联运路径及运输方式选择研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2011.
- [15] 郑 飞. 动态规划法在服装运输车辆路径优化中的应用研究[J]. 物流科技, 2016, 39 (2): 78-82.

Optimizing the sea-railway combined transportation route of refrigerated containers based on total cost

LIU Lin¹, ZHU Xiaolin²

(1. Academy of sciences, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306;

2. School of arts and sciences, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306)

Abstract: In order to create an efficient and convenient international logistics channel, and to meet the consumer's living standards at the same time, in the realization of "maritime+refrigerated trains+highway short split" new multimodal transport mode, this paper presents an optimization model of multimodal transportation path for refrigerated containers. Based on the multimodal transport of ordinary container, the optimization model is established by minimizing the cost composed of refrigeration cost, transportation cost and transshipment cost as the objective function. The dynamic programming algorithm is proposed, and each city node is regarded as a virtual path. Through calculation, the optimal path of the two models is different by solving the multimodal transport of refrigerated containers and the multimodal transport of ordinary containers. Under the mode of sea-railway combined transport of refrigerated containers, while refrigeration cost is increasing, but the total cost is decreasing. And the necessity of studying multimodal transport of refrigerated containers and the problem of sea-rail transport is obtained for transport managers.

Key words: refrigerated container multimodal transport combined optimization dynamic programming sea-rail transport