

文章编号:1006-7736(2013)03-0091-04

内陆集装箱多式联运枢纽配置

王清斌,靳志宏,张爽,曹荻

(大连海事大学 交通运输管理学院,辽宁 大连 116026)

摘要:根据集装箱内陆转运枢纽配置的影响因素,运用聚类分析方法确定备选节点,以总成本最小为目标建立集装箱货流分配模型.按重要度对备选节点进行排序,并将其逐一配置到网络中,求解模型,确定内陆集装箱枢纽的最佳配置方案.实例验证表明,该方案可以为内陆集装箱多式联运枢纽配置规划建设提供决策参考.

关键词:内陆;集装箱多式联运;枢纽配置;聚类分析;线性规划

中图分类号:F511.4

文献标志码:A

Multimodal transport hub configuration of inland container

WANG Qing-bin, JIN Zhi-hong,
ZHANG Shuang, CAO Di

(Transportation Management College, Dalian Maritime
University, Dalian 116026, China)

Abstract: This paper establishes a container freight distribution model with the object of minimizing the total costs, and determines the optimal allocation solution of the inland container hubs by allocating the optional nodes of container hubs to the network one by one in order according to their importances, while these nodes are allocated into the network one by one. The best configuration scheme for inland container is determined by solving the model. Example shows that the proposed scheme can provide decision-making reference for inland container multimodal transportation hubs allocation planning and construction.

Key words: inland container; container multimodal transportation; hubs allocation; clustering analysis; linear programming

0 引言

内陆集装箱枢纽对完善网络结构、提高内陆城市至港口的集装箱运输效率起着不可忽视的作用,

其数量与位置决定了集疏运网络的结构,并影响集装箱运输在网络中的运作水平与成本.因此,合理配置集装箱枢纽对提高运输网络效率、降低集装箱运输成本起着至关重要的作用.

有关运输网络的枢纽配置和货流合理分配问题,国内外专家学者已经做了较为广泛和深入的研究.文献[1]建立了考虑集装箱中转成本的递次求近法程序解决集装箱枢纽选址问题;文献[2]研究单分配不完全枢纽网络的设计问题,建立了模型;文献[3]根据修正的节点处公路运输站场需求指数,采用循环比较法得出公路运输站场的建设序列;文献[4]考虑了枢纽操作能力限制,建立了混合整数规划模型;文献[5]建立了具有较少变量的混合整数线性规划模型,应用并行蚁群算法对模型进行求解;文献[6]建立了多分配轴辐式快递网络枢纽选址与分配优化模型;文献[7]建立一种多式联运网络的最优分配模型,从定量角度分析多式联运系统的合理组织.本文以集装箱流在内陆多式联运网络中合理分配为前提,根据内陆区域网络中不同节点的经济、交通等发展水平和在网络中优化货流分配的作用来配置集装箱多式联运网络枢纽.

1 问题描述

集装箱内陆运输网络由港口、内陆集装箱枢纽及货运需求城市三类节点和运输路径组成.进口集装箱可以从港口直接流向需求城市,也可以经由集装箱枢纽进行分拨配送至需求城市,而集装箱枢纽本身也是集装箱运输的需求节点.在网络中,港口与枢纽、枢纽与城市间均有集装箱流产生,而需求城市之间没有集装箱流.本文研究在合理分配集装箱货流情况下,以网络中集装箱运输总成本最低为目标,

收稿日期:2013-02-26.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71072081;71172108);辽宁省教育厅项目(L2010064).

作者简介:王清斌(1970-),男,副教授,E-mail: wangqingbin70@126.com

确定合理的集装箱枢纽的数量和位置。

2 集装箱枢纽配置过程

首先,以集装箱枢纽配置的各种影响因素为指标对内陆集装箱运输网络内节点进行聚类分析,确定集装箱枢纽备选城市;然后,运用灰色关联度原理计算备选枢纽节点城市的重要度并根据重要度进行排序.以总成本最低为目标建立货流分配优化模型,按枢纽备选城市重要度先后次序依次代入模型,根据模型计算的总成本最低确定集装箱枢纽最终的配置方案。

2.1 集装箱枢纽备选城市确定

采用聚类分析中的 K-mean 聚类方法确定枢纽备选城市.从 n 个对象集 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 中随机选择 k 个对象 c_1, c_2, \dots, c_k 作为初始聚类中心;计算每个对象到各聚类中心的距离,如果 $\|x_i - c_j\| < \|x_i - c_m\|, m = 1, 2, \dots, k; j \in K; i = 1, 2, \dots, n$, 且 $j \neq m$, 则将 x_i 划分到集合 C_j 中;计算每个对象集合中所有对象的平均值: $\bar{x}_1 = \frac{1}{n_i} \sum_{x \in C_i} x, i = 1, 2, \dots, k$, 其中 n_i 为集合 C_i 中对象个数,令 $c_i = \bar{x}_1, i = 1, 2, \dots, k$; 计算准则函数: $E = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_j} \|x - \bar{x}_1\|^2$, 重复该过程直到 E 不再发生明显变化。

2.2 集装箱枢纽备选城市重要度分析

采用灰色系统关联度原理计算备选集装箱枢纽城市的重要度。

(1) 确定最优指标集 B

构造矩阵 B , 其中 x_j^* 为第 j 个指标的最优值, $j = 1, 2, \dots, n, x_{ij}$ 表示第 j 个指标在第 i 个城市的原始数值。

$$B = \begin{bmatrix} x_1^* & x_2^* & \cdots & x_n^* \\ x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

(2) 指标值的规范化处理,将矩阵 B 转换成

$$c_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad C = \begin{bmatrix} c_1^* & c_2^* & \cdots & c_n^* \\ c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & c_{mn} \end{bmatrix}$$

$$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

(3) 节点城市重要度计算

以 $[c_1^*, c_2^*, \dots, c_n^*]$ 作为参考序列, 将 $[c_{i1}, c_{i2},$

$\dots, c_{in}]$ 作为比较序列, 分别求得第 i 个节点的第 j 个指标与所有城市中第 j 个指标最优指标的关联系数和第 j 个因素指标的权重, 即

$$\xi_i^{(j)} = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{i0}(j) + \rho \Delta_{\max}}, \varphi_i^{(j)} = \frac{\xi_i^{(j)}}{\sum_{j=1}^n \xi_i^{(j)}}$$

其中: $\Delta_{\min} = \min_i \min_j |c_i^{(j)} - c_0^{(j)}|, \Delta_{\max} = \max_i \max_j |c_i^{(j)} - c_0^{(j)}|, \Delta_{i0}(j) = |c_i^{(j)} - c_0^{(j)}|, c_i^{(j)} = c_{ij}, c_0^{(k)} = c_j^*$ 。

定义节点城市重要度:

$$Z_i = \frac{\left(\sum_{j=1}^n \varphi_i^{(j)} \frac{x_{ij}}{x_j} \right)}{\sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^n \varphi_i^{(j)} \frac{x_{ij}}{x_j} \right)} \times 100\%$$

2.3 内陆集装箱网络货流合理化分配模型

集装箱运输网络中有 m 个港口 $P_i (i = 1, 2, \dots, m)$, 有 n 个城市 $B_j (j = 1, 2, \dots, n)$, 有 q 个备选集装箱枢纽 $H_k (k = 1, 2, \dots, q)$. 一部分集装箱货物在港口与城市之间直接进行运输, 另一部分集装箱货物经由中转站运送至目的地。

$$\begin{aligned} \min F = & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} Q_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^q c_{ik} Q_{ik} + \\ & \sum_{k=1}^q \sum_{k=1}^q c_{kk} Q_{kk} + \sum_{k=1}^q \sum_{j=1}^n c_{kj} Q_{kj} + \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} Q_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_k T_k \end{aligned}$$

s. t.

$$\sum_{j=1}^n Q_{ij} + \sum_{k=1}^q Q_{ik} \leq Q_i, i = 1, 2, \dots, m \quad (1.1)$$

$$\sum_{i=1}^m Q_{ij} + \sum_{k=1}^q Q_{kj} \geq Q_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (1.2)$$

$$Q_k + \sum_{j=1}^n Q_{kj} + \sum_{k=1}^q Q_{kk} = \sum_{i=1}^m Q_{ik} +$$

$$\sum_{k=1}^q Q_{kk} = T_k, k = 1, 2, \dots, q \quad (1.3)$$

$$Q_k \leq T_k \leq R_k, k = 1, 2, \dots, q \quad (1.4)$$

$$Q_{ik} \leq L_{ik}; Q_{kk} \leq L_{kk}; Q_{ij} \leq L_{ij}; Q_{kj} \leq L_{kj} \quad (1.5)$$

$$Q_{ij}, Q_{ik}, Q_{kk}, Q_{kj}, T_k \geq 0, i = 1, 2, \dots, m,$$

$$j = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, q \quad (1.6)$$

其中: $c_{ij}, c_{ik}, c_{kj}, c_{kk}$ 分别为港口与城市间、港口与枢纽间、枢纽与城市间和不同枢纽间单位集装箱运输成本; $Q_{ij}, Q_{ik}, Q_{kj}, Q_{kk}$ 为与之对应的各类节点间的货运量, Q_i 为港口 i 产生的集装箱货物总量; Q_j, Q_k 分别为城市与枢纽的集装箱货运量; T_k 为经过集装箱枢纽 k 的货运总量; F_k 为集装箱枢纽 k 单位集装箱货物转运的操作费用; R_k 为集装箱枢纽 k 的操作能力; $L_{ij}, L_{kj}, L_{ik}, L_{kk}$ 分别为各类节点间路径的通过能力。

式(1.1)为港口的操作能力约束;式(1.2)为满足城市的需求量约束;式(1.3)表示从集装箱枢纽的进货量等于出货量;式(1.4)表示集装箱枢纽的操作能力约束;式(1.5)为道路容量限制;式(1.6)为非负约束.

3 案例分析

以东北地区内陆集装箱运输网络为研究对象,其中,营口和大连为主要集装箱枢纽港,内陆集装箱运输需求城市主要为东北地区26个地级市.首先,

对这些城市进行聚类分析,选择备选枢纽城市,按其重要度进行分析和排序,逐次将备选城市作为枢纽依次加入到网络中,并运用货流分配模型求得总成本最小时的枢纽配置方案.

3.1 聚类分析

根据地理位置、经济发展状况、交通基础设施等因素选择东北地区主要内陆城市为候选内陆集装箱枢纽城市.聚类分析指标及其取值如表1所示(数据出自中国城市统计年鉴2009年).

表1 各指标的统计数据
Tab.1 The statistical data of index

序号	候选集装箱 枢纽城市	集装箱生成量 /TEU	货运总量 /万元	进出口 贸易总额 /亿美元	地区生产 总值/万元	地区生产 总值增 长率/%	流动资产 合计/万元	社会消费品 零售额/万元
1	沈阳	246 941	15 164	65.7	38 604 745	16.31	24 971 705	17 785 858
2	阜新	15 820	4 181	1.14	2 339 120	13.3	1 586 704	1 265 703
3	铁岭	20 636	8 330	5.14	5 363 280	20	2 498 470	1 932 235
4	鞍山	142 852	13 627	25.9	17 304 740	17.2	10 225 159	4 359 517
5	长春	236 624	9 692	85.5	25 618 985	16.5	12 402 314	10 893 752
6	四平	47 569	4 425	1.46	6 585 947	19.3	1 858 206	2 425 159
7	通化	57 975	2 818	6.82	4 473 262	22.1	3 088 595	2 078 088
8	吉林	150 579	6 489	7.66	13 000 938	20.7	5 036 300	5 787 669
9	松原	31 756	2 950	0.77	8 067 183	22	2 210 339	2 759 752
10	哈尔滨	186 273	9 350	36.9	28 681 851	13.2	15 853 604	15 078 539
11	齐齐哈尔	37 254	8 188	6.79	6 905 169	10.2	3 232 851	3 069 814
12	牡丹江	24 836	4 102	52.4	6 292 848	19.4	1 311 476	2 386 171

按照剩余4~5个可供选择的备选城市,表1备选集装箱枢纽数量大致可分为3类,通过spss软件中的k-means方法聚类分析,结果如表2所示.

表2 最终的聚类中心
Tab.2 Final clustering center

检验变量	聚类		
	1	2	3
集装箱生成量 /TEU	246941.00	188583.00	48303.13
货运总量 /万元	15164.00	10889.67	5185.38
进出口贸易额 /亿美元	65.70	49.43	10.27
地区生产总值 /万元	38604745.00	23868525.33	6628468.38
地区生产总值增长率 /%	16.31	15.63	18.38
流动资产合计 /万元	24971705.00	12827025.67	2602867.63
社会消费品零售额 /万元	17785858.00	10110602.67	2713073.88

从表2可以看出,备选集装箱枢纽分类为:(1)沈阳;(2)鞍山、长春、哈尔滨;(3)阜新、铁岭、通化、吉林、四平、松原、齐齐哈尔、牡丹江.综合枢纽选择因素,考虑到集装箱运输网络枢纽数量不宜过多,选择沈阳、鞍山、长春、哈尔滨为备选集装箱枢纽.

3.2 备选集装箱枢纽城市的重要度计算

根据前述方法计算备选城市的重要度(表3),其排序为:沈阳、长春、哈尔滨、鞍山.

表3 备选城市重要度

Tab.3 Importance of candidate city				
候选集装箱枢纽	沈阳	鞍山	长春	哈尔滨
重要度	0.333334	0.148551	0.267294	0.250821

3.3 东北地区内陆集装箱枢纽配置方案

依备选城市顺序,逐步增加集装箱枢纽配置数量,代入货流分配模型,分别计算不同配置方案下的最小总成本.根据最小总成本变化情况,选择最佳集装箱枢纽配置方案.运用Lingo8.0编程求解,结果如下:

(1) $q=0$ 时,即运输网络中无集装箱运输枢纽,在集装箱货流合理分配下的最小运输总成本为4.8167亿元;

(2) $q=1$ 时,即运输网络中以沈阳为唯一的集装箱运输枢纽,在集装箱货流合理分配下的最小运输总成本为4.2596亿元;

(3) $q=2$ 时,即以沈阳、长春作为集装箱运输枢

组,在集装箱货流合理分配下的最小运输总成本为 3.9663 亿元;

(4) $q=3$ 时,即以沈阳、长春、哈尔滨作为集装箱运输枢纽,在集装箱货流合理分配下的最小运输总成本为 3.7279 亿元;

(5) $q=4$ 时,即以沈阳、长春、哈尔滨和鞍山作为集装箱运输枢纽,在集装箱货流合理分配下的最小运输总成本为 3.7312 亿元.

计算结果表明,内陆集装箱集疏运网络中不包含集装箱运输枢纽均采用直达运输时($q=0$),运输成本最高,说明在集装箱内陆集疏运网络中有必要规划建设转运枢纽;随着转运枢纽数量的增加,在集装箱货流合理分配下的最小运输总成本逐渐下降,内陆集装箱集疏运网络结构逐渐趋于合理化,但总成本下降幅度逐渐减小,符合经济学中的边际效应递减规律;但枢纽数量过多(如 $q=4$),增加了集装箱运输中转次数,导致作业成本增加,另外,受到节点作业能力限制等原因,尽管采用货流合理分配的原则,也会导致总运输成本上升.因此,配置沈阳、长春和哈尔滨三个枢纽是更合理的方案.

4 结 论

本文研究在内陆集装箱货流优化分配情况下,不同枢纽配置方案对成本的影响,并以东北地区为例进行实例验证.结果与实际情况相符,证明方法可靠、有效.

参考文献(References):

- [1] LIMBOURG S, JOURQUIN B. Optimal rail-road container terminal locations on the European network[J]. Transportation Research Part E, 2009, 45:551-563.
- [2] ALUMUR S A, KARA B Y, KARASAN O E. The design of single allocation incomplete hub networks[J]. Transportation Research Part B, 2009, 43: 936-951.
- [3] 周伟,姚志刚,王元庆,等. 基于节点重要度的公路运输站场建设序列[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2006, 26(2): 69-72.
ZHOU Wei, YAO Zhi-gang, WANG Yuan-qing, et al. Optimizing items order of highway transport terminals based on analyzing importance of nodes[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(2): 69-72. (in Chinese)
- [4] CORREIA I, NICKEL S, GAMA F S. Single-assignment hub location problems with multiple capacity levels[J]. Transportation Research Part B, 2010, 44:1047-1066.
- [5] 崔小燕,李旭宏,毛海军,等. 受限单分配枢纽选址问题的并行蚁群算法[J]. 交通运输工程学报. 2011, 11(3):74-81.
CUI Xiao-yan, LI Xu-hong, MAO Hai-jun, et al. Parallel ant colony optimization of location problem for limited single allocation hub[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2011, 11(3):74-81. (in Chinese)
- [6] 倪玲霖,史峰. 多分配快速轴辐网络的枢纽选址与分配优化方法[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(2):441-448.
NI Ling-lin, SHI Feng. Hub location and allocation optimization of multiple allocation hub-and-spoke express networks[J]. Systems Engineering-Theory&Practice, 2012, 32(2): 441-448. (in Chinese)
- [7] 张建勇,郭耀煌. 一种多式联运网络的最优分配模式研究[J]. 铁道学报, 2012, 34(9):114-116.
ZHANG Jian-yong, GUO Yao-huang. A multimode transportation network assignment model[J]. Journal of the China Railway Society, 2012, 34(9):114-116. (in Chinese)