

运输通道货运量分担率的目标规划模型

白 骅¹, 朱 彤²

(1. 长安大学 建筑学院, 陕西 西安 710061; 2. 长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064)

摘 要:从系统角度出发,分析了综合运输通道内各类运输方式的经济技术特征;考虑了运输货物类型的多样性,运输方式与货物的运输相容性,以运输成本最小化和运输需求满意度最大化为目标,运输需求满意度采用最大化最小需求满意度方法,使得运输量与运输需求量比值最小的满意度最大化,以货物与运输方式的相容性为约束建立了 1 个多目标 0-1 混合整数线性规划模型;并设计了求解该模型的算法,通过 1 个算例对模型进行了数值演算以表明模型和算法的可行性。研究表明:考虑货物与运输方式的相容性约束,能实现各类运输方式的最大运输能力约束以及最小运量要求,使约束模型的约束条件简化;运用数学优化软件 Lingol1.0 对求解算法编程,分别对运输成本和需求满意度的单目标优化问题进行计算,在短时间内能找到最优解,而对多目标优化问题计算可得到有效解。

关键词:交通工程;交通规划;综合运输通道;运量分担;多目标模型

中图分类号:U491

文献标志码:A

Objective programming model for freight traffic-split rate in comprehensive transportation corridor

BAI Hua¹, ZHU Tong²

(1. School of Architecture, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China;

2. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: From the aspect of system, the economic characteristics of each type of transportation in comprehensive transportation corridor were analyzed. With the consideration of the diversity of the types of the cargo and the transportation-cargo compatibility, a multi-objective 0-1 mixed integer linear programming model was set up, which was to minimize the total cost and maximize the satisfaction of transport. This model was solved by the algorithm, and then, an example was given for numerical calculus to illustrate the feasibility of the model and algorithm. The results show that with consideration of the compatibility of cargo and transportation mode, the maximum transportation capacities of various modes as well as the minimum volume requirements can be realized, so that the constraints in the model are simplified; using mathematical optimization software Lingol1.0 for programming algorithm, the single objective optimization and transportation cost and demand satisfaction can be solved to find out the optimal solution in the shortest possible time, and the multi-objective optimization problem can be solved effectively. 5 tabs, 10 refs.

Key words: traffic engineering; traffic planning; comprehensive transportation corridor; freight traffic-split; multi-objective model

0 引言

交通运输通道,是由高度发达的多种交通方式构成的交通运输干线,连接多个客货流生成地而形成的廊道状地域经济空间系统^[1-2]。它在一定的地域中连接着主要的交通源,承载着共同方向交通流。运输通道结构指通道内不同交通运输方式资源在整个通道系统中的比例构成,在运输生产过程中的功能构成,及它们之间的相互联系和相互制约的关系。通过结构配置调整着通道中各运输方式分担的运量,以适应不同的货运需求。在既有的研究文献中,文献[3]基于综合运输通道内用户出行需求和供应特点,从用户效应出发对综合运输通道结构进行了界定;文献[4]提出用最大熵原理构建客运结构配置模型;文献[5]运用城市交通分配网络均衡思想,提出基于网络的区域运输通道多交通模式分配模型;文献[6]则首先提出了综合运输通道组合运能的定义及综合运输通道组合运能多目标决策模型优化模型,从运输效率、运输质量和服务水平 3 个优化目标入手,给出了 7 项评价指标,为综合运输资源的优化配置提供了理论依据和实践指导;文献[7]采用动态交通分配的思想,构建出基于网络均衡的客流分配模型以克服静态的、基于多元 Logit 随机效用的选择概率模型的不足,对运输通道内各种运输方式分担的运量进行更为客观的研究。由此可见,现有的研究成果大多集中于研究运输通道的客流量分担模型和算法,而货物运输相较于旅客运输具有更强的计划性。为了满足不同货主的需求,在一个运输通道内往往平行分布着多种运输方式,他们同时为货主提供运输服务,存在较强的运输竞争关系,因此对于运输通道内的货物运量分担率的研究具有现实意义,而目前有关综合交通运输通道货运量分配问题的研究很少^[8-10]。同时,既有的有关运量分配的模型都只是考虑了成本最小化这一单目标,但是在货运市场中,运输需求满意度也是影响货物运量分担率的重要因素之一。因此建立货物运输分担率模型时,应该在考虑运输成本的同时增加运输需求满意度这 1 个优化目标。为此,本文采用多目标规划方法,对综合运输通道的运输能力分配进行综合分析考虑。

1 模型建立

1.1 运输通道内各种运输方式特征分析

运输通道内存在多种运输方式,他们共同为货主提供货运服务,因此运输通道内的各个运输方式之间存在着较为激烈的竞争关系,主要体现在不同运输方式所承担的货物运输分担率的大小。某一运

输方式的竞争力越强,则在同一个运输通道内承担的货运市场份额越大,因此本文分析归纳了运输通道内各种运输方式的特征,并在此基础上建立运输通道货运量分担率模型。

综合运输通道中平行分布的运输方式主要包括公路运输、铁路运输、水路运输、航空运输和管道运输 5 种方式。由于运输通道服务地区的自然条件、经济社会发展水平和区域空间结构等方面的差异,其构成也有所不同。本文从自然地理条件、运输能力、技术特征和经济特征 4 个方面对各类运输方式进行具体分析。

1.1.1 自然地理条件

公路运输主要依靠完善的公路网络系统,着重于骨架干线高速化,次干线快速化,支线密集化;铁路运输主要依靠铁路路网系统,着重于干线和通道,从而拥有与地理空间和大运量流向相适应的较完善的框架网络布局;水路运输主要利用现有的江、河、海自然条件和结合水资源的综合开发利用;航空运输主要依靠枢纽机场、干线机场、支线机场,构成层次合理的机场布局;管道运输主要是依靠与油气资源开发地、进口点至加工地、消费地相适应的具有较好调配功能的输送管道网。

1.1.2 运输能力

公路的运输能力较小,适应性强,适合短途、零担运输;铁路的运输能力大,运输连续性强,适合运距较长的大宗货物、散件杂货等运输;水路的运输能力大,连续性差,适合于中长途大宗货物运输、海运和国际货物运输;航空的运输能力小,适合中长途贵重货物、保险货物运输;管道的运输能力大、连续输送,适合长期稳定的流体、气体和浆化固体货物运输。

1.1.3 技术特征

公路运输可在途中节点配货,也可直达,形式较为灵活,适合中短途运输,近距离运输时运送速度较快;铁路运输除两站及以上零担火车会在途中进行货物装卸外,其他货车均不在途中进行货物装卸,仅在部分技术站进行相关技术作业,远距离运输时运送速度较快;水运、航空和管道运输均为点对点运输,其中水运受地理条件影响较大,航空运输在远距离运输时速度最快。

1.1.4 经济特征

公路运输有较高的可变成本和较低的固定成本,但是其固定成本略高于水运;铁路运输的运输成本当运量较小、运距较短时较高,当运量较大、运距较长时较低;水路运输有较高的可变成本和较低的固定成本,由于装卸作业成本占总成本的比例较大,

因此运距短时成本较高,运距长时成本则较低;航空运输有较低的可变成本和较高的固定成本,其固定设施成本和移动设备成本均较高;管道运输与铁路运输和航空运输类似,固定成本较高,可变成本较低,规模经济效益较明显。

1.2 影响因素分析

运输通道内不同的运输方式具有各自的优势,但是运输方式的经济性、迅速性、安全性和便利性之间存在着制约关系,因此在多种运输方式共存的情况下,必须根据不同货物的特点选择合理的运输方式,以达到运输成本最小的目的。此外在市场经济体制下,满足货物运输需求提高其满意度是各种运输方式所必备的条件,因此在建立运输通道货运分担率模型的时候,需要考虑以上 2 种因素。

本文所建立的多目标规划模型以运输成本最小化和运输需求满意度最大化为优化目标,考虑了运输货物类型的多样性,货物与运输方式的相容性,各类运输方式的运能限制以及最小运量要求,确定各种运输方式在综合运输通道中的运量分配,以适应货运需求。

运输成本包括各种运输方式运输各类货物的成本。运输需求满意度采用最大化最小需求满意度方法,使得运输量与运输需求量比值最小的满意度最大化。约束条件主要为货物与运输方式的相容性约束,各类运输方式的最大运输能力约束以及最小运量要求。

综上所述,考虑到各种运输方式所具有的特征,结合综合运输通道内的货物需求可以进一步建立运输通道货运量分担率的目标规划模型。

1.3 符号说明

A 为综合运输通道内各种运输货物的集合;
 B 为综合运输通道内各种运输方式的集合;
 d_i 为综合运输通道中货物 i 的运输需求, $i \in A$;
 Q_{ij} 表示在综合运输通道内运输方式 i 运输货物 j 的最大运输能力, $i \in B, j \in A$;

q_{ij} 表示在综合运输通道内运输方式 i 运输货物 j 的最小运输要求, $i \in B, j \in A$;

s_{ij} 表示在综合运输通道内,运输方式 i 与货物 j 满足运输相容性, $j \in A, i \in B, s_{ij} = 1$ 表示相容; $s_{ij} = 0$ 表示不相容;

c_{ij} 表示在综合运输通道内由运输方式 i 运输货物 j 的单位运输成本, $i \in B, j \in A$;

x_{ij} 表示在综合运输通道内由运输方式 i 运输货物 j 的运输量, $i \in B, j \in A$;

p_{ij} 为运输属性变量, $p_{ij} = 1$ 表示货物 j 由运输

方式 i 在综合运输通道内进行运输, $j \in A, i \in B$; $p_{ij} = 0$ 表示不进行运输。

M 为一个无穷大的正整数。

1.4 多目标线性规划模型

(1) 目标函数式(1)

以运输成本 z_1 最小化为目标建立的函数为

$$\min(z_1) = \sum_{i \in B} \sum_{j \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

(2) 目标函数式(2)

以运输需求满意度 z_2 最大化为目标建立的函数为

$$\max(z_2) = \min \left\{ \frac{\sum_{i \in B} x_{ij}}{d_j} \mid j \in A \right\} \quad (2)$$

(3) 约束条件

各种运输方式的最大运输能力约束

$$s. t. x_{ij} \leq s_{ij} Q_{ij}, \forall i \in B, \forall j \in A \quad (3)$$

各种运输方式的最小运输量要求

$$x_{ij} \geq s_{ij} q_{ij}, \forall i \in B, \forall j \in A \quad (4)$$

运输方式与货物的运输相容性约束

$$x_{ij} \leq M s_{ij}, \forall i \in B, \forall j \in A \quad (5)$$

综合运输通道内只能运输的各类货物的运量小于其运输需求

$$\sum_{i \in B} x_{ij} \leq d_j, \forall j \in A \quad (6)$$

0-1 离散决策变量与连续决策变量之间的逻辑关系为

$$x_{ij} \leq M p_{ij}, \forall i \in B, \forall j \in A \quad (7)$$

每种货物都至少由一种运输方式运输

$$\sum_{i \in B} \sum_{j \in A} p_{ij} \geq 1 \quad (8)$$

0-1 离散决策变量的定义域

$$p_{ij} = \{0, 1\}, \forall i \in B, \forall j \in A \quad (9)$$

连续决策变量的定义域

$$x_{ij} \geq 0, \forall i \in B, \forall j \in A \quad (10)$$

2 求解算法

2.1 求解思路

本文涉及运输成本最小化和运输需求满意度最大化是一个典型的多目标规划问题,为了找出一个能够同时满足所有优化目标的解,需要选取合适的多目标优化算法。目前已有的多目标优化问题研究中,通常采用多目标优化方法将多目标优化问题转化为单目标优化问题进行求解。

2.2 算法求解

本文所建立的模型为 1 个多目标 0-1 混合整数线性规划模型,包括最小化运输成本和最大化运输需求满意度的 2 个优化目标,0-1 离散决策变量和连续决策变量。运输成本和运输需求满意度 2 个子

目标的度量单位不同,且子目标的优先等级具有模糊性。因此可以先求解每 1 个子目标对应的单目标优化问题,得到最优解,进而利用目标规划方法将该多目标优化问题转化为单目标优化问题,最后求得多目标优化问题的有效解。

其具体求解算法步骤如下。

(1)令 \mathbf{X} 代表决策变量向量; $Z(\mathbf{X})$ 代表多目标优化问题的目标函数; $z_1(\mathbf{X})$ 和 $z_2(\mathbf{X})$ 分别代表运输成本和运输需求满意度 2 个子目标函数; R 代表模型的可行域。

(2)为了统一运输成本最小化和运输需求满意度最大化 2 个优化目标,将运输需求满意度最大化子目标函数 $z_2(\mathbf{X})$ 改写为最小化形式,即 $z_2(\mathbf{X})' = \frac{1}{z_2(\mathbf{X})}$ 。

(3)求解子目标对应的单目标优化问题 $\{z_i(\mathbf{X}) | \mathbf{X} \in R\}$,得到最优目标函数值 $z_i^*, i=1,2$ 。

(4)引入正、负偏差变量 d_i^+ 和 d_i^- ,将子目标转化为约束条件 $z_i(\mathbf{X}) - d_i^+ + d_i^- = z_i^*, i=1,2$ 。

(5)构造量纲一系数 λ_i ,消除 2 个子目标函数的量纲。这里采用百分比量纲一方法^[5],即 $\lambda_i = \frac{100}{z_i^*}, i=1,2$ 。

(6)构造目标规划模型为

$$\min(z) = \sum_{i=1}^2 \lambda_i (d_i^+ + d_i^-)$$

s. t.
$$\begin{cases} z_i(\mathbf{X}) - d_i^+ + d_i^- = z_i^*, i=1,2 \\ \mathbf{X} \in R \end{cases}$$

(7)求解上述目标规划模型。可采用各商业优化软件求解,如 GAMS 和 LINGO 等。

(8)输出运量分配方案。

3 算例分析

3.1 问题描述

假设该运输通道中有 3 类运输货物和 5 种运输方式,货物分别以 A_1 、 A_2 和 A_3 表示,运输方式分别以 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 和 B_5 表示。各类货物的运费见表 1;各类货物的运输需求见表 2;各种运输方式的运能限制见表 3。

表 1 运费

Tab. 1 Transportation cost

货物	运输方式				
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
A_1	20	40	35	25	
A_2	30		35	30	35
A_3	30	35		30	40

注:“空白”表示货物与运输方式不满足运输相容性。

表 2 货运量需求

Tab. 2 Freight demand

货物	货运量需求
A_1	18
A_2	15
A_3	10

表 3 各种运输方式的运能限制

Tab. 3 Transportation capacity constraints of various modes of transportation

货物	运输方式				
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
A_1	3	4	3	5.0	
A_2	5		4	2.0	3
A_3	1	3		2.5	4

注:“空白”表示货物与运输方式不满足运输相容性。

3.2 算例求解

本文运用数学优化软件 Lingol1.0 编程,分别对运输成本和需求满意度的单目标优化问题进行计算,在短时间内便可找到最优解。而对多目标优化问题计算可得到有效解,计算结果见表 4。再根据本文设计的基于目标规划的多目标优化问题求解算法可以得到综合运输通道货运量分配问题的折中解,见下页表 5。

表 4 各种运输方式的最小运量要求

Tab. 4 Minimum transportation demands of various modes of transportation

货物	运输方式				
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
A_1	2 000	2 000	1 500	3 000	
A_2	3 000		2 500	1 000	2 000
A_3	1 000	2 000		2 000	2 000

注:“空白”表示货物与运输方式不满足运输相容性。

4 结 语

(1)在既有研究基础上,考虑了运输货物类型的多样性,货物与运输方式的相容性,将运输方式的最小运量要求和运能限制纳入约束条件,建立了综合运输通道货运量分配问题的多目标优化模型。采用了百分比量纲一方法消除了成本和需求满意度的量纲,并设计了基于目标规划的求解算法。

(2)通过算例表明了本文模型与算法的有效性,对于中小型规模的实际问题,可借助常规数学优化软件直接求解,且能在最短时间内找到最优解,提高算法的效率。

(3)本文只涉及了确定情形下的优化研究,而实际生产中面对的往往是未知情形,如何从优化的角度严格描述不确定现象,同时针对大规模的问题设计有效的算法将是需要深入探讨的问题。

表 5 各种运输方式的运量分配结果

Tab. 5 Transportation volume allocations of various modes of transponion

目标	成本/元	需求满意度	运量分配
成本最小化	765 000	0.047 0	(1,1,2 000)、(1,2,2 000)、(1,3,1 500)、(1,4,3 000) (2,1,3 000)、(2,3,2 500)、(2,4,1 000)、(2,5,2 000) (3,1,1 000)、(3,2,2 000)、(3,4,2 000)、(3,5,2 000)
需求满意度最大化	11 947 080	0.833 3	(1,1,30 000)、(1,2,40 000)、(1,3,30 000)、(1,4,50 000) (2,1,50 000)、(2,3,40 000)、(2,4,20 000)、(2,5,30 000) (3,1,10 000)、(3,2,30 000)、(3,4,25 000)、(3,5,19 927)
多目标优化问题	2 947 560	0.249 9	(1,1,29 999)、(1,2,2 000)、(1,3,1 500)、(1,4,11 500) (2,1,31 999)、(2,3,2 500)、(2,4,1 000)、(2,5,2 000) (3,1,1 000)、(3,2,2 000)、(3,4,20 005)、(3,5,2 000)

注:(1,2,2 000)表示通道 1,运输方式 2,运输货物的运量为 2 000 t。

参考文献:

References:

[1] 何宇强,毛保华,陈团生,等. 高速客运专线客流分担率模型及其应用研究[J]. 铁道学报,2006,28(3):18-21.
HE Yu-qiang, MAO Bao-hua, CHEN Tuan-sheng, et al. The mode share model of the high-speed passenger railway line and its application[J]. Journal of the China Railway Society,2006,28(3):18-21. (in Chinese)

[2] 中国公路学报编辑部. 中国公路交通学术研究综述 2012[J]. 中国公路学报,2012,25(3):2-50.
Editorial Department of China Journal of Highway and Transport. An academic research summary on China highway and transport;2012[J]. China Journal of Highway and Transport, 2012, 25 (3): 2-50. (in Chinese)

[3] 李德刚,罗 霞. 基于用户的综合运输通道结构配置[J]. 西南交通大学学报,2005,40(2):249-253.
LI De-gang, LUO Xia. User-based structure configuration of comprehensive transportation corridor[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2005, 40 (2):249-253. (in Chinese)

[4] 邱玉琢,陈森发. 综合运输通道客运结构配置的随机饱和熵模型[J]. 交通运输工程学报,2007,7(2):104-108.
QIU Yu-zhuo, CHEN Sen-fa. Stochastic saturation entropy model of passenger transportation structure configuration for comprehensive transportation corridor[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2007,7(2):104-108. (in Chinese)

[5] 李友好,刘晓佳,施其洲. 基于网络的运输通道客运流量分配模型[J]. 交通运输工程与信息学报,2005,3(2):57-62.
LI You-hao, LIU Xiao-jia, SHI Qi-zhou. Trip Assignment model for transportation corridor based on network equilibrium[J]. Journal of Transportation Engineering and Information,2005,3(2):57-62. (in Chinese)

[6] 李艳红,袁振洲,陈静云,等. 基于多目标决策的综合运输通道组合运能优化[J]. 吉林大学学报:工学版,2009,39(6):1480-1485.
LI Yan-hong , YUAN Zhen-zhou, CHEN Jing-yun, et al. Combined capacity optimization of comprehensive transportation corridor based on multi-objective decision making[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2009, 39(6):1480-1485. (in Chinese)

[7] 刘晓佳,李友好,施其洲. 运输通道结构配置中的客流量分配模型及算法[J]. 同济大学学报:自然科学版,2007,35(7):924-928.
LIU Xiao-jia, LI You-hao, SHI Qi-zhou. Model and algorithm research on solving passenger flow allocation in transport corridor[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2007, 35 (7): 924-928. (in Chinese)

[8] 马波涛,张于心,赵翠霞. 运用 Logit 模型对高速客流分担率的估计[J]. 北京交通大学学报,2003,27(2):66-69.
MA Bo-tao, ZHANG Yu-xin, ZHAO Cui-xia. Estimation of the distributing rates of high speed passenger flows with the Logit model[J]. Journal of Northern Jiaotong University, 2003, 27 (2): 66-69. (in Chinese)

[9] Fosgerau M. Investigating the distribution of the value of travel time savings [J]. Transportation Research: Part B, 2006, 40(8):688-707.

[10] Li J, Lu W H. Full truckload vehicle routing problem with profits[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1(2):146-152.

