

综合运输网络上 多货类流量最短路分配

殷凤军¹ 叶茂² 过秀成¹ 孙华灿³

1. 东南大学, 交通学院, 南京 210096

2. 南京理工大学, 交通工程系, 南京 210094

3. 江苏省城市规划设计研究院, 南京 210096

摘要: 针对综合运输网络资源合理配置的需求, 分析了综合运输网络上影响路径选择行为的用户偏好体系, 并将其概括成客观类、主观类和调控类。在给出选择偏好在路径选择模型中的表达方法基础上, 阐述了采用改进的最短路加载方法进行多货类运输流量分配的思路和执行流程, 并面向可持续发展政策导向的运输网络规划, 引入“诱导参数”对处于合理路径集中的联合运输路径进行优先选择。最后通过算例分析了不同“诱导参数”对双货类网络流量分布的影响, 从政策调控的角度为综合运输网络宏观布局的评价模型提供理论参考。

关键词: 综合运输; 网络分配; 最短路; 偏好体系; 多货类

中图分类号: U116.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2014)01-0034-07

DOI: 10.3969/j.issn.1672-4747.2014.01.007

Shortest Path Distribution of Multi-class Cargo Flow on a Comprehensive Transport Network

YIN Feng-jun¹ YE Mao² GUO Xiu-cheng¹ SUN Hua-can³

1. School of Transportation,

Southeast University, Nanjing 210096, China

2. Automation College, Nanjing University of Science and Technology,

Nanjing 210094, China

3. Urban Planning and Design Institute of Jiangsu Province,

Nanjing 210096, China

收稿日期: 2013-03-31.

基金项目: 国家自然科学基金项目(51208256)。

作者简介: 殷凤军(1982-), 男, 汉族, 江苏南通人, 东南大学交通学院博士研究生, 研究方向: 交通运输规划与管理。

Abstract : Aiming at the network resources optimization demand in a coordination transportation system, the constitution of user preferences in freight transport route-making was divided into three classes: objectivity, subjectivity, and policy. Corresponding expressions were suggested in the route choice model. The frame of an improved shortest path loading method was proposed for assigning multi-commodity transportation flows in multimodal networks. Based on this model, a guiding parameter was employed for enhancing the priority of the combined transport routes oriented to sustainable transportation planning. An calculation example was given to show the influence of freight flow distribution in a double commodity network. That provides a modeling reference for evaluating the multimodal network from the perspectives of policy regulation.

Key word : Coordinated transportation, network assignment, shortest path, user preference, multi-commodities

0 引言

综合交通需求预测是运输网络规划的必需步骤,虽然近些年来基于活动链(activity-based)的需求预测模型^[1-2]受到了越来越多的关注,但这类模型在理论和方法上还不够成熟^[3],基础数据的收集积累和模型参数标定的速度也制约了它的实践应用。相比而言,经典的“四阶段法”因为有着成熟的模型和长久的实践经验积淀,依然具有较高的应用前景。为了弥补“四阶段法”模型的缺陷,进一步提高模型的指导价值,针对不同层次的规划需求对模型进行改进也是一种常见的应对策略。

在“四阶段法”中,运量分配是预测模型的核心内容。分配的过程就是通过模拟用户在综合运输网络上的运输方式和路径(包括转运)选择行为,将货运预测OD量加载到O点与D点之间的合理路径上。运量分配的结果是综合运输网络建设和布局优化的主要依据,也是关系建设项目序列和投资安排的重要环节。分配模型不同,网络流量分布的结果也会不同。在综合运输网络中,联合运输方式的介入直接导致了货运配流问题的复杂化^[4]。联合运输合理路径的选择、运输政策敏感性的表达是导致这种复杂性的两个重要方面。根据笔者所掌握的资料,大部分配流模型主要侧重于对运输用户行为的模拟^[5-8],是一种顺从市场行为的“适应性”建模思路,对规划的引导作用缺乏足够的重视。在物流振

兴规划的推动下,货物运输对环境的影响是无法规避的问题^[9],如何最大化包括环境、社会和经济效益在内的综合效益,需要发挥政策的指引和调控作用。

本文根据综合运输网络中用户主体的不同,引入“诱导参数”,将运输用户的效益最大化动机与运输政策导向进行耦合,基于经典的最短路分配法,尝试提供更具灵活性的运量加载方法,为面向网络规划的综合运输网络上货物流量分配模型开发提供理论参考。

1 算法原理

1.1 最短路分配法简介

作为确定型交通分配领域的经典算法,最短路分配法一直是网络分析问题中的一个热点。因为任何一种流量分配方法都以求解最短路径为基础^[10]。随着对网络分配研究的深入,这个模型被认为是最不切实际的。因为无论是否存在另外一条时间、成本相同或相近的路线,每个OD对的数量最终只能分配到一条路径上。同样,分配的时候没有考虑是否有足够的通行能力,即使已经出现严重的拥堵,流量的加载依然不受任何影响,因为路段的阻抗为一个固定值,它不会因路线的拥堵而变化。另外,使用这种分配方法分配得出的结果缺乏稳定性,对网络的几何结构和需求比较敏感,较小的结构变化也可能会导致分配的全新结果。尽管种种缺点已经

被公认，但离开了最短路分配算法，现有的很大部分交通分配算法都将失去依存的基础而无法实现。而且，最短路分配法在非拥挤网络或通行能力不受限制地区的网络分配中仍然有较好的表现，在很大程度上可以满足宏观网络规划决策的需求。

1.2 偏好影响因素分类

交通分配理论离不开路径选择行为，而路径选择偏好是路径选择无法回避的问题。微观经济理论认为，偏好是消费者选择的基础，是决定人们在多方案比选中做出最终决策的行为依据，由各种外部信息、决策者自身经验和心理变量相互作用而成。综合运输网络上的各种用户选择或引导货运路径的前提是对运载工具和运输设施特性的尊重，然后才是对自身需求的个性化满足。这种个性化既包括出于运输利益最大化的企业追求，也包含出于运输内外综合效益最大化的管理调控。因此，可以将综合运输网络上影响用户偏好体系的因素概括成以下三类。

(1) 客观类

客观类因素是指各种运输方式的技术经济特性。在各种方式优势范围内，“宜路则路、宜水则水、宜铁则铁、宜空则空”。在多种方式交叉的领域内，在充分发挥各种方式特长的前提下进行组合，实现运输资源的科学配置与合理利用。这种客观性在运量加载路径的选择中具体表现为：对于通过合理运输路径模型和算法生成的包含单方式和多方式联合运输路径的情况下，并不盲目的偏向任何一方，而是根据各种方式的合理运距^[11]来进行界定。譬如不在联合运输的合理运距内，直接放弃联合运输的路径。但在公路运输与联合运输重叠的竞争范围内，则赋予联合运输较高的优先权重，通过适当的折算将其纳入与公路运输竞争的范围之中，供不同的分配方法选用。

(2) 主观类

主观性因素与消费者理论中有关偏好的解释更为接近。对于综合运输网络上大部分货物运输企业用户而言，通常情况下，他们都具有相对稳定的运营网络。因此，在路径选择上也具有相对稳定性。

这种稳定性体现的正是西蒙的“最满意原则”，并非古典经济学中经济人的“最优原则”。只要依赖经验的路径选择原则在一定的运价制定环境下能够再维持一定的利润，此类用户一般会尽量维持现状。但是这种现状对整个运输系统的发展却未必是有利的。因为在物流管理中为了控制不合理运输比较推崇“直达运输”。在此理念指导下，公路运输的直达性优点会被主观放大，对综合运输体系的发展存在一定的负面影响。如在图1所示的交叉竞争范围，即联合运输经济运距下限至公路经济运距上限的范围内，对于运输方案的选择，公路运输在主观上占据了主导地位，这对选择通过联合运输发挥优势的其他运输方式而言是一种制约。因此，需要进行适当的引导。

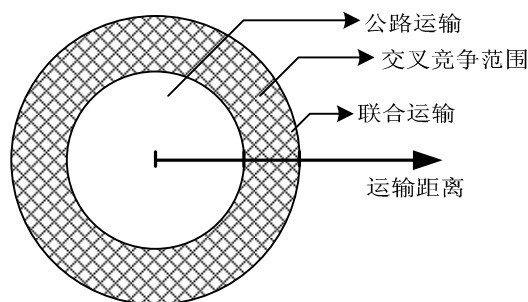


图1 合理运输半径

Fig.1 Reasonable transport radius

(3) 引导类

在我国交通设施总量不足，交通运输能力较紧张，各种运输方式交通网络尚不完善的情况下，各种运输方式的自我发展具有一定的合理性。经过较长时期以各自规模扩张为主的外延式增长后，交通运输的进一步发展，客观上要求回归到注重综合性、系统性和整体性的发展路径上来^[13]。但是，在过去的几十年里，尤其是近十年来，各种方式为了市场发展或争夺制定的一些运输法则已经被广大运输决策者接受，而且在长期的对比决策中已经形成了一定的经验依赖。发展方针的转变并不能骤然扭转在过去十几年间企业因经验或市场运作形成的运输决策思维惯性。为了可持续发展的战略需

要, 政府必须从运输政策、运输管理控制等方面进行调控。譬如在非单一运输方式的经济运距内, 给联合运输方案提供利税上的优惠, 诱导用户选择联合运输方案。体现在路径选择模型中则可以表述为: 当出现多条运输路径, 对在多方式联合运输经济运距内路径的费用给予适当的折减。将折减后的联合运输路径与单方式路径再进行费用比较, 选择最小的路径作为最佳路径。

1.3 偏好体系表达

根据以上分析, 若以“并行标号法”^[14]作为综合运输网络上合理路径筛选的一种算法, 则还须辅以以下参数:

\bar{R} : 运输方式的经济运输半径, $\bar{R} > 0$ 。该参数与运输方式 l 相关, 同时也与货类 k 和运输任务性质有关。在网络分配中, 可以将该参数假设成只与运输方式有关的常数。为了简化研究, 突出联合运输的重点, 本文只考虑狭义联合运输 (含两种或两种以上运输方式) 的经济半径, 即 \bar{R}_l , 其下限设为 η_l 。

ρ : 狭义联合运输方案的偏好系数, 简称“偏好参数”(下同), $\rho > 0$ 。在网络上用户非“完全理性经济人”的情况下, 路径选择模型要考虑更大的兼容性, 能够包容各种用户的选择偏好。 $\rho \rightarrow \infty$ 表示, 不采用多方式联合运输的方式; $\rho \in (1, \infty)$ 时, 表示在公路运输和联合运输中, 用户偏好于公路运输; $\rho = 1$ 时, 表示由用户严格按照网络计算费用自由选择, 在两者态度上保持中立; 而当 $\rho \in (0, 1)$ 时, 则在同等费用下, 用户偏好于联合运输。但是, 这通常是上层管理者的偏好, 并不能反映实际网络上用户的意愿。

假如综合运输网络模型中的网络图上的弧线费用能非常真实地反映运输方式成本 (包括内部成本和外部成本)^[15], 那么路径之间的比较可以忽略转换次数, 直接比较累计费用就可以实现。然而目前对运输外部成本的量化还存在较大的困难, 方式转换对运输者而言即使不一定产生实际效益损失, 但是可能会产生更多的不确定性, 即风险成本。因

此, 他们对于转运的态度是能避就避, 这也是物流运输中倡导“直达运输”的另一种解释。从管理者的角度而言, 只要累计费用相同, 有转换和没转换的路径实际上对货主运输需求的满足没有太多影响, 适当次数的转换是值得鼓励的。由于货运需求时空分布的广泛性和动态性, 政府不可能为每一对货运 OD 都建立起直达的运输设施。就如同城市公交出行鼓励换乘一样, 在运输工具集装化的趋势下, 适度的转换可以充分发挥有限资源的利用效率, 促进其他运输方式的发展, 从而带动与之相关的产业和沿线资源的开发。从整个运输系统的正常运行和发展全局看, 需要通过折衷的方法来协调管理者和货运企业之间的偏好冲突, 既能反映网络上普通用户的决策认知又能体现管理者的立场, 使未来区域范围内中长距离运输方案的选择行为逐渐向联合运输过渡, 促进各种运输方式的和谐发展。因此, 不妨将 ρ 视作是对路径运输广义费用的一个补充, 联合运输路径的运输总费用需要再乘以 ρ 才能得到该路径与单方式运输路径费用的可比值。

令:

$$\rho = f(g, \kappa) \quad (1)$$

式中, κ 为规划诱导系数, $\kappa \in (0, 1)$; $f(g)$ 为与转换次数 g 相关的单调增函数。在用户允许的最大转换次数范围内, $f(g)$ 随着 g 的增大而增大。式 (2) 是式 (1) 的一种形式:

$$f(g, \kappa) = \kappa \times \left(1 + \alpha \times \left(\frac{g}{g_0} \right)^\beta \right) \quad (2)$$

式中, g_0 为用户定义的运输方式的最大转换次数。

若取 $\kappa = 0.8$, $\alpha = 0.2$, $\beta = 4$, 对于标号为 (30, 0, *) 和 (34, 2, *) 的两条运输路径, 前者没有方式转换, 是一种单方式运输路径。若 $\bar{R}_l \in [31, \infty)$, 则系统建议选择单方式运输方案为最佳; 若 $\bar{R}_l \in [28, \infty)$, 且用户接受的最大转换次数上限为 4, 则利用式 (2) 对狭义联合运输路径方案进行偏好折算后得到新的标号值 ($34 \times 0.81 = 27.54$, 2, *), $27.54 < 30$, 此时系统将推荐用户选择联合运输路径。

若用户对运输方式转换次数不太敏感,则联合运输路径偏好参数可以直接用规划诱导参数替代。本文主要面向网络规划,为理解方便,在下文的网络运量分配中,联合运输路径的“偏好参数”将采用“诱导参数”。

1.4 加载方法

最短路分配法的核心是全有全无加载技术。在全有全无分配模型中,OD对之间的货运量全部分配到起讫点之间的最短路上。但是常规的最短路径不一定是合理的,因此,对传统模型的改进之一,就是改变最短路径的算法,用“合理最短”的路径替代“最短”路径。“合理最短”包含了企业主的诉求,也包含了发展政策的引导。在以公路运输为轴心的综合运输网络中,“并行标号法”^[14]求解得出的联合运输合理路径通常不止一条,因此,用于货运量加载的路径方案并不绝对。在模型开发中,必须要加入识别模块,以实现运输方式合理运距的判断。如果只有一条合理路径,则直接在该路径上加载运量;否则,需要根据定义的诱导参数去选择可供运量加载的广义联合运输路径。

根据这一思路,在构建综合运输网络时,权矩阵至少需要两个:运输广义费用和运输距离。为了简化研究,着重突出多货类配流的重点,不妨假设联合运输方式的经济运距足够小,即所有按数学方法搜索到的狭义联合运输路径都可以通过偏好系数修正后参与最短路径的比选。

2 算法流程

利用最短路分配方法进行区域货运网络的流量分配步骤如下(见图2):

第一步:预处理。预处理的内容主要包括:

- (1) 构建综合运输网络,包括网络邻接目录表和权矩阵;
- (2) 获取统一单位的分货类货运流量分离矩阵;
- (3) 分析各种货类的路径特征并转化为相应的合理性约束;
- (4) 设定偏好参数。

第二步:取货类 k 流量OD对中的任意一对 w_k ,设 q_{w_k} 为这一OD对之间的货运需求量。利用合理最短路算法求解 w_k 之间的合理最短路径集。

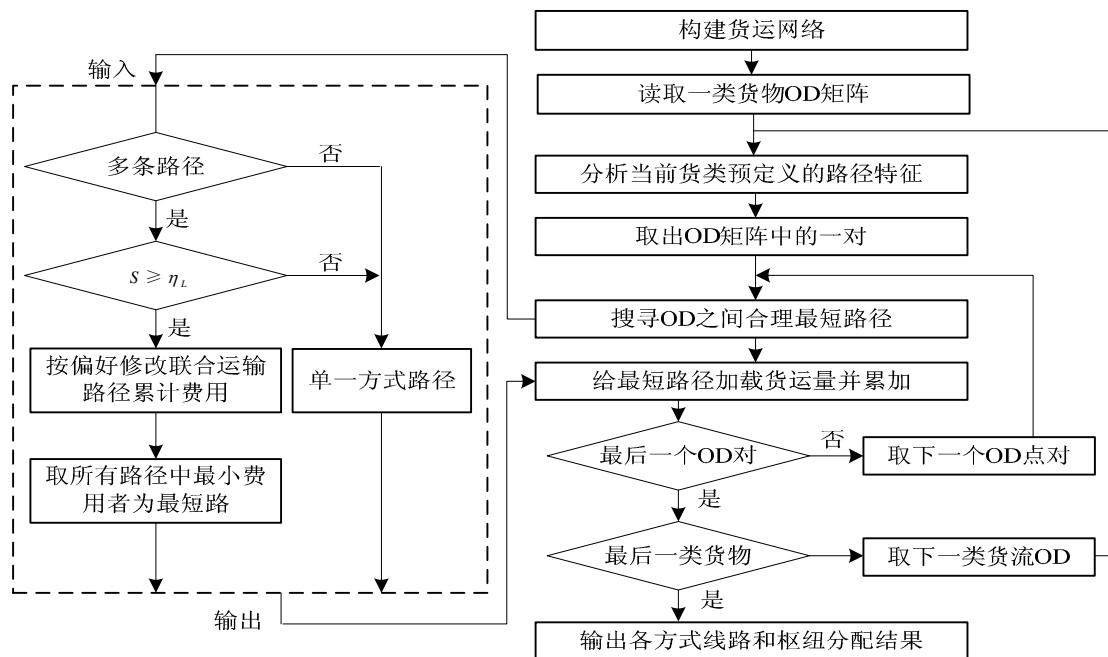


图2 多货类货流最短路分配流程

Fig.2 The shortest path distribution process of multi-class cargo flow

第三步：若存在多条联合运输路径，则将累计运输距离 S 在 $[\eta_L, \infty)$ 区间内的联合运输路径按照设定的偏好方程式进行折算（配流简化研究中， $\eta_L = 0$ ），然后将它们与单方式运输路径组合。从该组合中选择费用最佳的路径作为最短路径，将 q_{w_k} 加载到组成最短路径的所有路段上。

第四步：重复第 2 步，直至所有货类的所有 OD 对的交通需求都分配完毕。

第五步：每条路段上的货流量， $f_{a \in A} = \sum_k \sum_{w_k} \delta_a^{w_k} \cdot q_{w_k}$ ，若路段 a 在 w_k 之间的最短路径上 $\delta_a^{w_k} = 1$ ；否则为 $\delta_a^{w_k} = 0$ 。

第六步：输出分配结果。

3 算例分析

下面以一示例来说明算法执行过程和效果。

在图 3 所示的网络中，有两种货类 A 和 B，与货类相关的邻接目录表如表 1 所示。弧线上的数据表示单位标准重的货物的零流广义运输费用。根据合理路径的定义^[14]，两种货类的路径合理性约束均显性只有一个： $\{m_1, m_2, m_3\}$ ，即允许的最大转换次数为 2。另外，还存在一个隐性约束： $\{m_4\}$ 。从 v_1 到 v_7 的货类 A 和 B 的运量需求量分别为 100 单位和 200 单位，试将它们用最短路分配法分配到网络上。

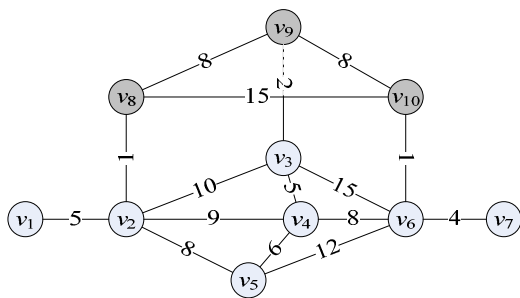


图 3 示例分配网络及阻抗

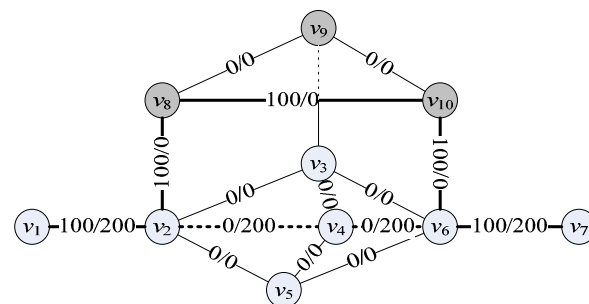
Fig.3 Sample of distribution network and impedance

表 1 示例邻接目录表

Tab.1 Adjacency table of contents of the example

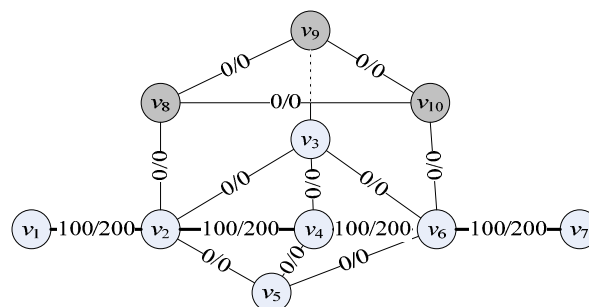
ID	节点	所属类	转运节点		邻接节点	
			货类 A	货类 B	方式一	方式二
1001	1	1	0	0	2	
1002	2	1	1	1	1, 3, 4, 5	8
1003	3	1	0	1	2, 4, 6	9
1004	4	1	0	0	2, 3, 5, 6	
1005	5	1	0	0	2, 4, 6	
1006	6	1	1	0	3, 4, 5, 7	10
1007	7	1	0	0	6	
1008	8	2	0	0	2	9, 10
1009	9	2	0	0	3	8, 10
1010	10	2	0	0	6	8, 9

按照论文提出的最短路分配方法，对示例网络和运输需求的分配结果见图 4。



$X/Y = \text{货类 A 流量} / \text{货类 B 流量}$

a 联合运输诱导参数 $\rho = 0.9$ 时的流量分布



$X/Y = \text{货类 A 流量} / \text{货类 B 流量}$

b 联合运输诱导参数 $\rho = 1$ 时的流量分布

图 4 最短路分配结果

Fig.4 The results of the shortest path distribution

由图 4a 和 b 对比可知，诱导参数对于流量的分布有很大的影响，尤其是在单方式运输方案与联合运输方式竞争比较激烈的情况下。示例中从 v_1 到

v_7 存在两条路径, 分别为狭义联合运输路径和单方式运输路径。为了突出说明诱导参数的作用, 两者的路径被设计成相等权重。

由于各种货类在生成需求矩阵时都已经折算成标准重, 因此, 通过对不同货类分配流量的直接累加, 可以获得综合运输网络中任意两个节点之间某方式运输路线理论上的承担运量, 也即与之对应的运输配备能力, 从而为评价现状或规划方案的合理性提供决策依据。

4 结束语

联合运输是提高运输系统综合效益的必然趋

势, 也是振兴我国物流业的核心举措之一。联合运输的发展依赖于综合运输网络基础设施的合理规划和布局。在现有网络规划理论中, 运输流量的分配主要强调对理性用户选择行为的模仿和遵从, 忽略了不同运输政策对用户路径选择行为的导向作用。在“非完全理性人”的认知前提下, 笔者认为网络上用户的选择行为是可以进行诱导和培养的。因此, 综合运输通道资源也可以按照诱导后的流量分布进行预先配置。本文提出的“诱导参数”可以作为现实中管理部门各种导向政策的综合函数进行深化研究。界定各种运输方式以及不同联合运输形式的合理运距, 也有待足够的统计资料和数据支撑。

参考文献

- [1] Fellendorf M., Haupt Th., Heidel U., et.al. PTV VISION: Activity-based demand forecasting in daily practice, Activity-Based Approaches To Travel Analysis[M]. Oxford: Elsevier, 1997: 55-71.
- [2] 隽志才, 李志瑶, 宗芳. 基于活动链的出行需求预测方法综述[J]. 公路交通科技, 2005, 22(6): 108-113.
- [3] 陈必壮, 沈云樟, 王忠强, 等. 上海市轨道交通客流预测理论方法研究[J]. 城市交通, 2009, 7(1): 13-19.
- [4] Zhang Kuilin, Nai Rahul, Mahmassani Hani S, et.al. Application and validation of dynamic freight simulation - assignment model to large-scale intermodal rail network: Pan-european case[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2008: 9-20.
- [5] Friesz T.L., Gottfried J.A., Morlok E.K. A sequential shipper - carrier network model for predicting freight flows [J]. Transportation Science, 1986, 20(2): 80-91.
- [6] Guelat J., Florian M., Crainic B. C. A multimode multiproduct network assignment model for strategic planning of freight flows[J]. Transportation Science, 1990, 24 (1): 25-39.
- [7] 韩印, 袁鹏程. 多用户多方式混合随机交通平衡分配模型[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8 (1): 97-101.
- [8] 杨龙海, 安实, 毛科俊. 基于非线性双层规划的货运网络分配模型[J]. 公路交通科技, 2007, 24 (12): 109-112, 126.
- [9] 袁子丹. 一个不容忽视对环境影响的产业——物流业[J]. 物流工程与管理, 2010, 32 (3): 20-21.
- [10] 卢照, 帅军. 并行最短路径搜索算法的设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46 (3): 69-71.
- [11] LU Zhao, SHI Jun. Design and implementation of parallel shortest path search algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(3):69-71.
- [12] 杨铭, 秦华容. 公路货运平均运距分析与实证研究[J]. 物流技术, 2009, 28 (6): 22-24, 49.
- [13] 郑红友. 现代物流中不合理运输分析[J]. 中国储运, 2006 (3): 115-116.
- [14] 国家发展和改革委员会. 综合交通网中长期发展规划[R]. 2007.
- [15] 孙华灿, 李旭宏, 陈大伟, 于世军. 综合运输网络中合理路径优化模型[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2008, 38 (5): 873-877.
- [16] Milan Janic. Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2007, 12(1): 33-44.

(中文编辑: 刘娉婷)