

城市群综合路网运输通道仿真识别与优化

吴 颖^{1,2}, 卢 毅¹, 黄中祥¹

(1. 长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004; 2. 湖南交通职业技术学院
物流管理学院, 湖南 长沙 410132)

摘 要:为了更客观地优化城市群区域综合运输通道的布局结构,以城市群综合路网作为研究对象,结合区域出行调查、节点城市人口、经济水平和交通基础设施固定资产投资等数据,采用动态系统理论、生产函数和启发函数,构建城市群综合路网的动态模型;确定运输通道识别要素和运输通道评价指标,通过蚁群算法模拟大批量运输者在综合路网中的智能选择行为,并对运输路段和节点进行负荷值分析。研究表明:对部分运输路段和运输节点通行能力的改善,均能改变综合路网运输通道的分布和数量;优化城市群综合路网运输通道的最佳方式,不是对超负荷运输通道上所有路段和节点通行能力进行扩展,而是要对区域综合路网中超负荷路段和相应节点的通行能力进行提升;研究对城市群区域综合运输通道规划和建设具有较高的指导意义。

关键词:交通工程;运输通道;综合路网;蚁群算法;运输路段;运输节点;选择行为;负荷值分析

中图分类号:U491;U411 **文献标志码:**A

Identification and optimization of transport corridors in comprehensive traffic network of urban agglomeration

WU Ying^{1,2}, LU Yi¹, HUANG Zhong-xiang¹

(1. School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410004, Hunan, China; 2. School of Logistics Management, Hunan Communication Polytechnic, Changsha 410132, Hunan, China)

Abstract: To optimize the layout structure of comprehensive transport corridors in urban agglomeration more objectively, this paper took comprehensive traffic network of urban agglomeration as study object, and used the dynamical system theory, production function and heuristic function to build the dynamic traffic network model of urban agglomeration. The recognition features and evaluation indexes of transport corridors were determined. The choice behavior of transport demand in traffic network was simulated by use of the ant colony algorithm. The load value analysis was carried out according to the transportation hub and road section. The results show that the layout and the number of transport corridors in the comprehensive traffic network can be changed by the improvement of traffic capacity of transportation hub and road section. The best way to optimize transport corridors in comprehensive traffic network of urban agglomeration is not improving the traffic capacity of the overload transport corridors in transportation hub and road section, but improving the traffic capacity of overload road section

and associated transportation hub in the comprehensive traffic network. It is believed that the careful study on identification and optimization of the transport corridors do have guiding significance for the transport corridors planning and construction in comprehensive traffic network of urban agglomeration. 5 tabs, 4 figs, 16 refs.

Key words: traffic engineering; transport corridor; comprehensive traffic network; ant colony algorithm; road section; transportation hub; choice behavior; load value analysis

0 引言

运输通道一般在交通运输投资集中的延伸地带内,运输需求大,交通流密集,各种不同的运输方式在此地带内互相补充,提供服务^[1-2]。城市群区域各城市经济发展水平不同,运输需求分布不均,因此合理利用和优化运输通道对提高综合运输能力,充分利用交通基础设施建设的有限资金,缓解城市群综合路网的运输紧张局面,具有重要的意义。

目前,有关运输通道研究取得了丰富的研究成果,主要有 2 个方面:一是运输通道模型构建,如 Bell 等提出的双层规划模型^[3],在此基础上,刘强提出了基于政府、运输企业、货主或旅客等不同利益实体之间的三层规划模型,对区域运输通道进行优化布局^[4];William 等根据非集计模型,提出基于拥挤收费的离散性运输通道网络模型^[5-7];胡文友等采用 LOGIT 模型构建了公路运输通道内的车辆出行路径选择模型^[8];白骅等基于运输通道货运量分担率构建了运输通道规划模型^[9]。二是通道布局优化,于世军等通过 SD-MOP 整合模型对运输通道结构配置进行优化,整合交通运输系统资源^[10];周静等通过建立灰色加权关联度,对运输通道进行优化布局^[11];姚鸣等对区域内节点的重要度分析,规划运输通道的走向和功能定位^[12];孙相军等利用改进的 LOGIT 模型结合定性分析,对运输通道内资源进行优化配置^[13];吴明等引入主成分分析法计算节点重要度,对综合运输通道进行合理布局^[14];张建旭等提炼 5 个定性评价指标,形成一套比较系统的运输通道优化评价方法^[15];孙正安等通过 OD 分布图识别、OD 矩阵识别和定性分析对区域内运输通道进行识别并优化^[16]。

以上研究存在 2 方面的问题:(1)各种运输通道模型都是建立在已知的运输通道基础上,而真实情况下,很多区域的运输通道不是特别明显,需要进行定量或定性识别;对运输通道上的节点分析较少,无法体现运输通道与运输节点之间的相互作用和影响,因此,从运输路网和节点 2 个方面构建运输通道

的识别模型更加合理;(2)现有的评价和优化方法多是从宏观和定性的角度,对于运输通道系统的动态变化和运输者的微观选择行为不能进行有效反映,进而影响通道布局优化的效果和准确性。

为此,本文采用系统动态理论,分析路段和运输节点在识别运输通道的定量影响要素,并构建城市群综合路网运输通道动态识别模型和评价指标。通过蚁群算法刻画运输者的选择行为,模拟运输通道的动态变化,以期优化城市群综合路网运输通道,规划运输节点城市建设,提供科学依据。

1 城市群综合路网运输通道识别模型

1.1 识别运输通道的影响要素

均衡交通理论认为,在综合路网的运输通道利用者都知道网络的状态并试图选择最短路径时,路网会达到均衡状态。在考虑运输通道的交通量以及最大通行能力对运输时间影响的路网中,当路网达到均衡状态时,每组 OD 利用的各条运输路径的运输时间相等而且时间最短。在较短时间段内,上述路网是可能达到均衡状态的,此时各运输通道也是相对稳定的。但是,在较长时间段内,系统各要素的变化导致综合路网处于非均衡状态,从而使运输通道进行重新调整。最终识别出运输通道的量化指标是运输量,运输通道上的运输量是其他路段上的数倍,运输通道上的各路段的通行能力将得到充分利用。根据黄承锋等对运输通道的定性分析^[2],交通基础设施、运输工具和运输服务的活跃地区是各路段运输量的主要影响要素,那么将这些要素进行量化,就得到需要定量分析的识别运输通道影响要素:

(1)供给方面的影响要素,主要有:①路段设计和实际通行能力;②运输节点的通行能力和交通吸引程度;③运输工具升级对通行能力的提升。

(2)需求方面的影响要素,主要有:①人口和经济对运输需求的影响;②交通基础设施变化对需求的影响。

1.2 模型假设

(1)运输通道由公路和铁路 2 种运输方式构成,

暂不考虑其他运输方式。

(2) 运输路网由高速公路、一级公路、普速铁路和高速铁路构成,暂不考虑其他等级的公路和铁路。

(3) 节点城市之间交通基础设施距离等于各运输方式的交通基础设施距离的平均值。

(4) 节点城市内部的运输需求基本不适用节点间的交通基础设施,暂不作为路网中的运输需求。

(5) 只考虑货物运输,暂不考虑旅客运输。

1.3 供给模型

1.3.1 路网模型

路网是公路、铁路等交通基础设施以及由这些设施所连接的城市节点构成的网络。运输者所途经路线和节点是根据一定的概率来选择的,这个概率受到各节点城市的社会经济规模、运输中转基础设施的配套程度以及运输线路的距离和运输方式等因素的影响,而这些因素均在路网模型中体现出来。路网模型由节点城市模型和运输路线模型的集合构成,如

$$G = \{N, V\} \quad (1)$$

$$V = \{V_t, V_r\} \quad (2)$$

式中: G 表示路网; N 表示节点城市; V 表示路段。

① 节点城市模型

$$N = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_m\} \quad (3)$$

$$c_i = \alpha_1 p_i \epsilon^{-\frac{1}{\lambda_i}} + \alpha_2 p'_i \epsilon'^{-\frac{1}{\lambda'_i}} + \alpha_3 H_i \quad (4)$$

$$\epsilon = \begin{cases} 1 & (q_i \leq T_i) \\ \frac{q_i}{T_i} & (q_i > T_i) \end{cases}; \epsilon' = \begin{cases} 1 & (q'_i \leq T'_i) \\ \frac{q'_i}{T'_i} & (q'_i > T'_i) \end{cases} \quad (5)$$

$$\lambda_i = \frac{p_{\text{avg}}}{p_i}; \lambda'_i = \frac{p'_{\text{avg}}}{p'_i} \quad (6)$$

式中: c_i 为节点货运需求吸引程度; q_i 为节点公铁转运的货运量; q'_i 为节点到达和发出的货运量; p_i 为节点城市的公铁转运成本,该变量主要影响因素是城市公铁货运基础设施建设以及运营管理的水平; p'_i 为节点城市的配送成本,该变量主要影响因素是城市配送基础设施和设备以及运营管理的水平; T_i 、 T'_i 分别为该节点城市公铁联运基础设施的设计货运中转量和城市配送系统的设计货运量; H_i 为节点城市经济规模和人口规模对货运需求吸引程度; λ_i 、 λ'_i 分别为节点城市公铁中转和城市配送的成本优势; p_{avg} 、 p'_{avg} 分别为城市群区域内公铁转运和城市配送的平均成本。

② 节点间线路模型

确定节点间是否存在高速公路 L_{sh} 、一级公路 L_{br} 、高速铁路 L_{rh} 和普速铁路 L_{gr} 等交通基础设施,

如果节点 i, j 之间存在交通基础设施,那么 l_{pij} 等于 1, 否则等于 0。

$$\begin{aligned} L^1 &= \begin{bmatrix} l_{11}^1 & \dots & l_{1p}^1 \\ \vdots & & \vdots \\ l_{p1}^1 & \dots & l_{pp}^1 \end{bmatrix} L^2 = \begin{bmatrix} l_{11}^2 & \dots & l_{1p}^2 \\ \vdots & & \vdots \\ l_{p1}^2 & \dots & l_{pp}^2 \end{bmatrix} \\ L^3 &= \begin{bmatrix} l_{11}^3 & \dots & l_{1p}^3 \\ \vdots & & \vdots \\ l_{p1}^3 & \dots & l_{pp}^3 \end{bmatrix} L^4 = \begin{bmatrix} l_{11}^4 & \dots & l_{1p}^4 \\ \vdots & & \vdots \\ l_{p1}^4 & \dots & l_{pp}^4 \end{bmatrix} \quad (7) \end{aligned}$$

建立各节点之间的距离矩阵 D , d_{ij} 表示节点 i, j 之间交通基础设施的平均长度

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1p} \\ \vdots & & \vdots \\ d_{p1} & \dots & d_{pp} \end{bmatrix} \quad (8)$$

1.3.2 通行能力模型

通行能力是指在理想的交通、控制和环境条件下,单位时间内路段 ij 的铁路或公路设计通过的最大货物运输量。

① 路段通行能力

$$M = M_c + M_r = \sum_{a=1}^2 C_a L^a N_a f_a + \sum_{a=3}^4 C_a L^a N_a f_a \quad (9)$$

式中: $\alpha = 1, 2, 3, 4$ 分别为高速公路、一级公路、普速铁路、高速铁路; M 为路段货物通行能力; M_c 为路段公路的货物通行能力; M_r 为路段铁路的货物通行能力; C_a 为路段的设计货物通行能力; N_a 为平均每辆(列)车运输的货物数量; f_a 为货物通行能力的修正系数。

高速铁路现为客运专线,但是将来不会局限于客运,货运是其发展趋势。成贵高铁设计已经考虑采用客货混跑的形式,对未来运输通道的优化也应把高铁货运的问题纳入研究范围。

② 实际通行能力对公路运输价格的影响

在实际的通行过程中从节点 i 到节点 j 的货运量 Q_{ij} 直接影响到公路运输速度和运输价格。参考连续交通流理论中连续流的特征描述,运输速度与运输量的关系为

$$U_c = \frac{\exp(\beta D / V_{ij})}{\exp(\beta D / V_{ij}) - \exp(\beta D / V_r + \gamma)} \quad (10)$$

$$V_{ij} = V_f (1 - \frac{U_c Q_{ij}}{M_c}) \quad (V_{ij} \geq 0) \quad (11)$$

式中: V_{ij} 为路段 ij 的公路运输实际通行速度; V_f 为公路最高限制速度; V_r 为铁路运行速度; U_c 为各路段运输量中公路运输所占比例, β, γ 为常数。

$$P_{ij} = \begin{cases} p_{ij} & U_c Q_{ij} < M_c \\ p_{ij} (1 + f_r \frac{U_c Q_{ij} - M_c}{M_c}) & U_c Q_{ij} \geq M_c \end{cases} \quad (12)$$

s. t. $P_{ij} \leq P_{ij\max}$

式中: P_{ij} 为公路运输价格; p_{ij} 为设计通行能力内的公路运输价格; f_r 为根据实际需求运输量超出基本通行能力的程度设置的修正系数; $P_{ij\max}$ 为路段 ij 的最高公路运输限价。

1.4 需求模型

借鉴柯布-道格拉斯生产函数, 人口、经济水平和交通基础设施固定投资推导出运输需求的函数

$$S_{ij} = E_{ij} K_{ij}^{\theta_1} B_{ij}^{\theta_2} \quad (13)$$

式中: S_{ij} 为城市 i 至 j 的运输需求; B_{ij} 、 K_{ij} 为城市 i 和 j 之间交通基础设施的固定投资和人口; θ_1 、 θ_2 为参数, θ_1 、 θ_2 分别为人口的交通需求弹性系数、交通基础设施固定投资的交通需求弹性系数

$$\theta_1 = \frac{\partial S_{ij}}{\partial K_{ij}} \quad \theta_2 = \frac{\partial S_{ij}}{\partial B_{ij}} \quad (14)$$

当 $\theta_1 + \theta_2 > 1$, 表示人口、城市间交通基础设施, 对运输需求的规模报酬递增; 当 $\theta_1 + \theta_2 < 1$, 表示人口、城市间交通基础设施, 对运输需求的规模报酬递减; 当 $\theta_1 + \theta_2 = 1$, 表示人口、城市间交通基础设施增长与运输需求同步。

根据统计数据的偏相关性分析, 经济水平分别与经济总量、市场化程度、经济结构、最终消费率、城市化率的相关关系显著。因此城市 i 和 j 的经济水平 E 由两市经济总量 Z_1 (GDP)、市场化程度 Z_2 (非国有经济在工业总产值中的比重)、经济结构 Z_3 (第三产业占比)、最终消费率 Z_4 (一定时期内居民和社会消费占 GDP 的比重)、城市化率 Z_5 的线性组合表示, 其中 γ_c 为参数

$$E_{ij} = \sum_{c=1}^5 \gamma_c Z_c \quad (15)$$

1.5 城市群综合路网运输通道评价

对城市群综合路网的运输通道进行优化, 就必须对运输通道的合理性进行评价, 本文将路段和运输节点的负荷情况作为主要评价指标, 分别用 I_{EV_1} 和 I_{EV_2} 表示

$$I_{EV_1} = \frac{Q_{ij}}{\sum_{a=1}^4 M_{aij}} \quad (16)$$

当 I_{EV_1} 等于或接近于 1 时, 则表示该路段通行能力得到充分利用; 当 I_{EV_1} 大于 1 时, 则表示该路段处于超负荷状态; 当 I_{EV_1} 接近于 0 时, 表示该路段利用率不高。

$$I_{EV_2} = \frac{q_i + q_i'}{T_i + T_i'} \quad (17)$$

当 I_{EV_2} 等于或接近于 1 时, 则表示节点城市的货运基础设施得到充分利用; 当 I_{EV_2} 大于 1 时, 则表示该节点货运基础设施处于超负荷状态; 当 I_{EV_2} 接近于 0 时, 表示该节点货运基础设施利用率不高。运输通道优化的目标就是使运输通道中各路段的运输负荷和节点城市货运基础设施的负荷均趋近于 1。

2 蚁群算法

蚁群算法具有分布优化和潜在并行性的特点, 能较好地模拟大批量不同目的地运输者在区域的不同位置寻找最优路径这样的集体智能行为; 同时通过信息素水平的更新, 模拟运输过程中运输者对识别运输通道定量影响要素的感知, 并通过概率型的全局搜索方式模拟运输者对运输路径的选择。通过该方法能全面准确地识别城市群运输通道, 并模拟系统各要素变化对运输通道的影响。

2.1 初始化

R 表示以运输车辆为单位的 OD 需求矩阵; a 表示循环迭代的次数。设初始循环次数为 $a = 0$, 最大循环次数为 N 。节点城市间的初始信息素水平为 δ_0 。

2.2 选择

运输需求在节点选择下一步运输路线是按照某一概率分布的随机选择。节点 i 与周边未访问的 $J(i)$ 个节点相连接, 则运输需求在节点 i 选择节点 r 的概率可以表示为

$$U_{ir} = \frac{\theta_{ir}^{\text{dis}} (\eta_{ir}^{\text{dis}})^{\alpha} + \theta_{ir}^{\text{time}} (\eta_{ir}^{\text{time}})^{\beta} + \theta_{ir}^{\text{pri}} (\eta_{ir}^{\text{pri}})^{\gamma} + \theta_{ir}^{\text{city}} (\eta_{ir}^{\text{city}})^{\delta}}{\sum_{j=1}^{J(i)} (\theta_{ij}^{\text{dis}} (\eta_{ij}^{\text{dis}})^{\alpha} + \theta_{ij}^{\text{time}} (\eta_{ij}^{\text{time}})^{\beta} + \theta_{ij}^{\text{pri}} (\eta_{ij}^{\text{pri}})^{\gamma} + \theta_{ij}^{\text{city}} (\eta_{ij}^{\text{city}})^{\delta})} \quad (r \in J(i)) \quad (18)$$

式中: θ_{ij}^{dis} 、 $\theta_{ij}^{\text{time}}$ 、 θ_{ij}^{pri} 、 $\theta_{ij}^{\text{city}}$ 分别为节点 i 到节点 j 之间运输距离、运输时间、运输价格和运输吸引程度的信息素水平; α 、 β 、 γ 、 δ 分别为信息素水平对运输距离、运输时间、运输价格和运输吸引程度的相对重要程度的参数。

在每一个节点做选择的同时, 还必须满足流量守恒的原则

$$\sum_{z(i)} Q_{ri} = \sum_{z(i)} Q_{ir} + Q_i \quad (19)$$

式中: Q_{ir} 为从节点 i 出发前往节点 r 的运输流量; Q_i 为目的地是 i 节点的运输流量; $z(i)$ 为与节点 i 相连接的所有节点的集合。

当需求在节点城市 i 选择下一个节点应满足

$$r = \begin{cases} \arg \max_{b \in J(i)} U_{ib} & q \leq q_0 \\ U_{ir} & q > q_0 \end{cases} \quad (20)$$

式中: r 为下一个节点; q 为 0 到 1 之间的一个随机数, q_0 为 0 到 1 之间的常数。

2.3 信息素的局部更新

对于运输需求从节点城市*i*到节点城市*j*并经过路段*ij*时,运输距离、时间、价格和吸引程度的信息素水平更新公式为

$$\theta_{ij}^x = (1 - \rho)\theta_{ij}^x + \rho\Delta\theta_{ij}^x \quad (x = \text{dis, time, pri, city}) \quad (21)$$

$$\Delta\theta_{ij}^{\text{dis}} = \left(n \frac{d_{ij\max}}{d_{ij\max}}\right)^{-1} \quad (22)$$

$$\Delta\theta_{ij}^{\text{time}} = \left(n \frac{t_{ij\min}}{t_{ij\max}}\right)^{-1} \quad (23)$$

$$\Delta\theta_{ij}^{\text{pri}} = \left(n \frac{P_{ij\min}}{P_{ij\max}}\right)^{-1} \quad (24)$$

$$\Delta\theta_{ij}^{\text{city}} = \left(n \frac{(c_{\max} - c_j)_{\min}}{c_{\max}}\right)^{-1} \quad (c_j < c_{\max}) \quad (25)$$

式中: $d_{ij\max}$ 、 $d_{ij\min}$ 分别为与节点*i*相连节点中的最长运距和最短运距; $t_{ij\max}$ 、 $t_{ij\min}$ 分别为与节点*i*相连节点中的最长运输时间和最短运输时间; $P_{ij\max}$ 、 $P_{ij\min}$ 分别为与节点*i*相连节点中的最高单位运输价格和最短单位运输价格; c_{\max} 为全区域内对交通流量最大的吸引程度; c_j 为与节点*i*相连节点的交通流量吸引程度参数; n 指节点的数目; ρ ($0 < \rho < 1$)表示信息素衰退的参数。重复以上的步骤,直至全部运输需求完成各自的运输路径为止。

2.4 信息素的全局更新

当全部运输需求都完成了各自的运输路径,便需要对全局的信息素水平进行更新。具体更新按照公式为

$$\theta_{ij}^x = (1 - \omega)\theta_{ij}^x + \omega\Delta\theta_{ij}^x \quad (x = \text{dis, time, pri, city}) \quad (26)$$

$$\Delta\theta_{ij}^{\text{dis}} = \left(\frac{L_{\min}}{L_{\max}}\right)^{-1} \quad (27)$$

$$\Delta\theta_{ij}^{\text{time}} = \left(\frac{T_{\min}}{T_{\max}}\right)^{-1} \quad (28)$$

$$\Delta\theta_{ij}^{\text{pri}} = \left(\frac{Pr_{\min}}{Pr_{\max}}\right)^{-1} \quad (29)$$

将更新的全局信息素水平作为 $a + 1$ 次循环的节点城市间初始信息素水平。

2.5 循环结束

根据上一步生成的信息素水平,继续选择操作开始 $a + 1$ 次循环的模拟,直至各路段的交通量趋于稳定状态或者循环次数 $a = N$ 为止。

3 算例分析

以 CN 城市群为例,基于 CN 各主要城市的 OD 分布,结合 CN 城市群交通基础设施和社会经济等资料,识别在此状态下城市群的运输通道网络;在此基础上根据未来各城市经济发展和城市之间交通基础设施的新增和改造,模拟其运输通道网络的变化。

3.1 现有状态下运输通道网络的识别

根据 CN 各城市之间已有的等级公路、普通铁路和高速铁路构成的交通基础设施网络如图 1 所示。

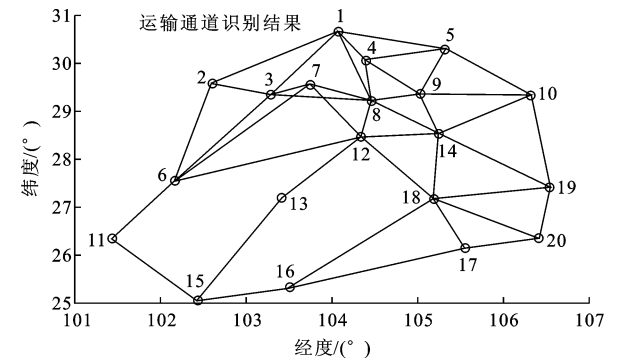


图 1 综合路网

Fig. 1 Integrated highway network

同时得到区域各路段通行能力矩阵 D 和各城市对交通流的初始吸引程度 c 。该区域城市之间货运 OD 分布如表 1 所示。

表 1 区域城市群各城市 OD

Tab. 1 OD of every city in regional city group

OD	1	2	3	4	5	6	...	20	发生
1	1 000	86	126	156	126	100	...	566	5 155
2	106	62	36	30	30	60	...	20	803
3	162	46	136	52	36	30	...	20	948
4	163	38	50	162	68	20	...	30	1 037
5	169	36	46	62	126	36	...	36	1 056
6	100	66	30	30	20	100	...	20	729
...
20	526	30	62	66	80	50	...	800	4 168
吸引	5 438	718	1 091	1 156	1 100	772	...	3 682	32 461

单位:百 pcu/d

设置全局和局部信息素衰退参数分别为 0.01 和 0.001,迭代次数 $a = 200$ 次,通过蚁群算法计算得到区域各路段的货运负荷情况以及该区域运输通道网络如下页图 2 所示。

因此该区域在当前条件下,运输通道识别如下页表 2 所示。

根据表 2 可知,目前状态下运输需求达到平衡

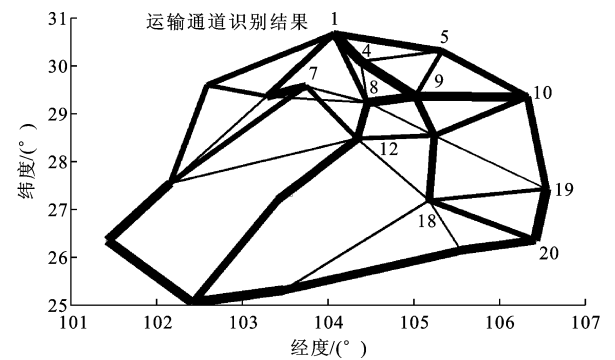


图 2 优化前识别出的综合路网运输通道

Fig. 2 Identified transport corridors in comprehensive traffic network before optimization

表 2 优化前运输通道数据

Tab. 2 Data of transport corridors before optimization

运输通道	平均负荷(EV 值)	通道平均运输量/pcu
1-4-9-10	0.952 18	5 371.0
6-11-15-16-17-20-19	0.924 59	5 640.0
9-8-12-13-15	0.985 00	4 787.0
1-2-6-7-3-1	0.874 81	3 973.4
7-12-14-10	1.103 45	2 979.3
1-5-10	1.040 67	4 523.5

的情况形成了 6 条运输通道,其中有 2 条运输通道平均负荷值均大于 1,表示这 2 条通道处于超负荷状态,即为需要优化的运输通道。通过计算得到的各路段负荷,其中超负荷路段中,EV 值最高的前 10 条路段如表 3 所示,即为目前运输网络中最需要改进路段。同时这些运输路段所经过的部分节点城市的货运基础设施均处于超负荷状态,其中:节点 8 的负荷为 1.47、节点 12 的负荷为 1.35、节点 18 的负荷为 1.62,因此这些节点城市的货运基础设施需要提升。

表 3 优化前超负荷路段数据

Tab. 3 Data of overload sections before optimization

超负荷路段	1-8	3-8	4-8	7-8	4-5
路段负荷(EV)	1.75	1.31	1.38	1.36	1.38
路段运输量/pcu	2 625	1 567	1 655	1 627	2 063
超负荷路段	6-12	12-18	16-18	17-18	18-20
路段负荷(EV)	1.19	1.16	1.09	1.07	1.78
路段运输量/pcu	1 427	1 389	1 637	1 599	2 675

3.2 运输通道网络的模拟优化

在人口和经济水平不发生改变的情况下,对综合路网运输通道进行以下优化,表 3 中超负荷路段的公路运输和铁路运输通行能力均提高 1 倍,8、12、18 这 3 个超负荷节点城市的公铁转运成本以及城市配送成本降低 30%,同时公铁联运基础设施的

设计货运中转量和城市配送系统的设计货运量均提高 1 倍。根据需求模型,计算优化后运输需求的变化情况。再通过蚁群算法进行模拟,得到结果如图 3 所示。

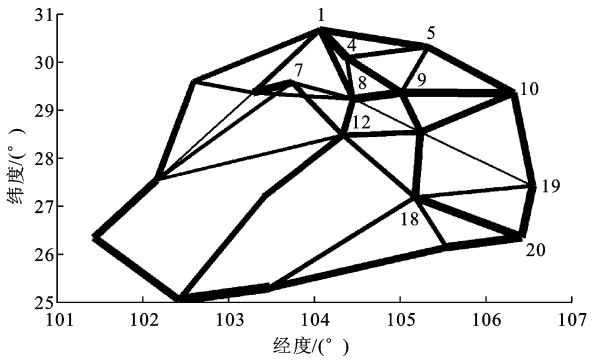


图 3 优化后再次识别综合路网运输通道

Fig. 3 Identified transport corridors in comprehensive traffic network after optimization

根据计算得到的运输通道和超负荷路段的具体数据如表 4、表 5 所示。

表 4 优化后运输通道数据

Tab. 4 Data of transport corridors after optimization

运输通道	平均负荷(EV 值)	通道平均运输量/pcu
1-4-9-14-18-20	0.970 42	4 310.2
1-5-10-19-20	0.747 19	4 125.3
1-8-9-10	1.090 58	4 458.7
8-12-13-15	0.870 82	4 206.0
1-3-7-12-14-10	0.879 43	4 048.6
1-2-6-11-15-16-17-20	0.880 34	4 770.1

表 5 优化后超负荷路段数据

Tab. 5 Data of overload sections after optimization

超负荷路段	3-6	4-8	4-5	14-19	2-3
路段负荷(EV)	1.13	1.1	1.11	1.12	1.09
路段运输量/pcu	1 351	2 642	3 007	1 346	2 938
超负荷路段	3-8	5-9	7-8	17-18	0
路段负荷(EV)	1.03	1.07	1.06	1.01	0
路段运输量/pcu	2 479	2 880	2 545	2 728	0

优化前与优化后超负荷路段的 EV 值对比,如下页图 4 所示。

节点城市货运基础设施优化模拟的结果是:节点 8 负荷为 1.02、节点 12 负荷为 1.01、节点 18 负荷为 0.96,3 个节点均处在新产生的运输通道上。从优化模拟的结果可以看出,新生产的运输通道的整体负荷值明显降低,其中超负荷的通道只有 1 条,且超负荷值处于较低水平。从超负荷路段的对比可知,优化后超负荷路段减少了 1 条,整体超负荷值比优化前明显降低。因此认为优化后的运输通道和运

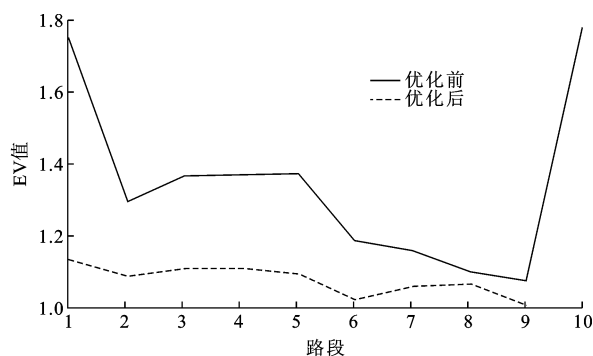


图4 优化前与优化后超负荷路段 EV 值对比

Fig. 4 Comparison of EV values before and after optimization

输网络整体运行状态更加均衡,运输效率明显提高,证明此运输网络优化的效果较好。

4 结 语

(1)从运输路段和运输节点 2 个方面分析影响综合路网中运输者选择行为的要素,建立综合路网运输通道动态识别模型和评价指标,探讨路段和节点对运输通道的作用机制。研究表明:运输路段和运输节点通行能力的变化,均能改变综合路网运输通道的分布和数量,但是盲目地改善运输路段和运输节点,可能破坏现有平衡,增加运输通道负荷,影响运输网络的效率。

(2)使用蚁群算法对模型进行仿真模拟,提高运输通道和超负荷路段定量识别的速度。利用运输通道评价指标 EV 值,可以判断综合路网运输通道的效率,当出现超负荷的运输通道时,需要从整个综合路网的路段和节点进行分析,而不能对超负荷运输通道上所有路段和节点的通行能力进行扩展,因为并不是运输通道上所有的路段和节点均处于超负荷状态。只有将综合路网中超负荷路段和相关节点通行能力进行提升,才能降低运输通道负荷,提升综合路网效率。

(3)案例应用分析表明,通过城市群综合路网运输通道识别模型和优化评价指标,能够迅速识别运输通道,仅需要对城市群区域中 5.26% 的路段以及 15% 的运输节点的通行能力进行改善,便可以使区域内运输通道的平均负荷降低 7.5%,超负荷路段减少 10%,比对运输通道上所有路段和节点进行改善更加有效,具有较好的应用价值。

(4)在运输方式比较少见的情况下,通过路段和节点分析优化,能够充分发挥运输通道效率降低建设成本,同时提升综合运输网络节点城市的区位优势并为其交通发展战略定位提供决策依据。随着铁路、水路、航空等运输方式的发展,运输通道内各种

运输方式之间的竞争和平衡,将成为运输者选择行为和运输通道优化的重要影响因素,这是今后研究的重点。

参考文献:

References:

- [1] 张文尝. 运输通道系统分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2001, 5(2): 134-139.
ZHANG Wen-chang. Transport corridor systematic analysis[J]. Communication and Transportation Systems Engineering and Information, 2001, 5(2): 134-139. (in Chinese)
- [2] 黄承锋, 宾雪峰. 试论运输通道的概念[J]. 重庆交通大学学报: 社会科学版, 2001, 1(4): 49-52.
HUANG Cheng-feng, BIN Xue-feng. Definition of transport corridor[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Social Science Edition, 2001, 1(4): 49-52. (in Chinese)
- [3] Liao F X, Arentze T, Timmermans H. Multi-state supernetworks: recent progress and prospects[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1(1): 13-27.
- [4] 刘 强, 陆化普, 王庆云. 区域运输通道布局优化三层规划模型[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2010, 50(6): 815-819.
LIU Qiang, LU Hua-pu, WANG Qing-yun. Tri-level programming model for optimization of regional transportation corridor layout[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2010, 50(6): 815-819. (in Chinese)
- [5] William H K LAM, Zhang N, LO H P. An optimal network design tool for additional cross links[C]// ICTTS. Proceedings of ICTTS'98. Beijing: ICTTS, 1998: 652-661.
- [6] Chen M, Alfa A S. A network design algorithm using a stochastic incremental traffic assignment approach [J]. Transportation Science, 1991, 25(3): 215-224.
- [7] Chen H K, Hsueh C F. A model and a algorithm for the dynamic user-optimal route choice problem[J]. Transportation Research Board, 1998, 32(1): 219-234.
- [8] 胡文友, 李旭宏. 公路运输通道内的车辆出行路径选择模型及应用研究[J]. 公路交通科技, 2003, 20(1): 125-128.
HU Wen-you, LI Xu-hong. Research on model of selecting travel route of vehicle within highway transport corridors[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2003, 20(1): 125-128. (in Chinese)
- [9] 白 骅, 朱 彤. 运输通道货运量分担率的目标规划