

# 基于区位势能和多源数据的城市 客运交通规划算法

郭 祎<sup>1,2</sup>, 魏书威<sup>3</sup>, 姜 涛<sup>4</sup>

(1. 西安交通大学人居环境与建筑工程学院, 西安 710049; 2. 河南科技大学土木建筑学院, 河南 洛阳 471000; 3. 西安建筑科技大学城市规划设计研究院, 西安 710000; 4. 西安建筑科技大学艺术学院, 西安 710055)

**摘要:** 针对部分城市客运交通布局不合理、规模不适当等情况造成的交通拥堵、资源浪费等问题, 提出基于区位势能和多源数据的城市客运交通规划算法。首先, 在原始数据层次、特征数据层次和交通理论层次融合中选取合适方式融合城市客运交通多源数据。然后, 基于交通分布概率模型和 Furness 模型构建交通分布预测模型, 引入区位势能, 预测交通分析小区之间的客运交通出行分布量。最后, 构建城市客运交通双层规划模型, 并采用改进后量子粒子群优化算法对其进行求解, 以实现城市客运交通规划。实验结果表明: 本文方法在各项评价指标中的得分均高于对比方法, 最高分值达到了 50.492 分。车辆拥挤度最高仅为 29%, 具有实用性。  
**关键词:** 交通运输系统工程; 区位势能; 多源数据融合; 城市客运; 交通规划; 量子粒子群优化算法

中图分类号: U292 文献标志码: A 文章编号: 1671-5497(2025)04-1328-08

DOI: 10.13229/j.cnki.jdxbgxb.20240313

## Urban passenger transport planning algorithm based on location potential energy and multi source data

GUO Yi<sup>1,2</sup>, WEI Shu-wei<sup>3</sup>, JIANG Tao<sup>4</sup>

(1. School of Human Settlements and Civil Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. School of Civil Engineering and Architecture, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471000, China; 3. Xi'an University of Architecture and Technology Urban Planning and Design Research Institute, Xi'an 710000, China; 4. School of Art, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** A research on urban passenger transportation planning algorithm based on location potential energy and multi-source data was proposed to address the problems of traffic congestion and resource waste caused by unreasonable layout and inappropriate scale of passenger transportation in some cities. Firstly, an appropriate method was selected to integrate urban passenger transportation multi-source data from the fusion of the original data level, feature data level, and transportation theory level. Then, based on the probability model of traffic distribution and the Furness model, a traffic distribution prediction model was

收稿日期: 2024-03-07.

基金项目: 国家自然科学基金项目(52078405); 2021年河南省哲学社会科学青年基金项目(2021CLS025).

作者简介: 郭祎(1988-), 男, 讲师, 博士研究生. 研究方向: 韧性城市, 空间规划. E-mail: 18638355566@163.com

通信作者: 姜涛(1976-), 男, 教授, 博士. 研究方向: 造型艺术, 文化传承. E-mail: jiangtao@xauat.edu.cn

constructed, introducing location potential energy to predict the distribution of passenger transportation trips between traffic analysis communities. Finally, a dual level planning model for urban passenger transportation was constructed, and an improved quantum particle swarm optimization algorithm was used to solve it, in order to achieve urban passenger transportation planning. The experimental results show that the proposed method has higher scores than the comparison method in various evaluation indicators, with the highest score reaching 50.492. The highest congestion rate of vehicles is only 29%, which is practical.

**Key words:** engineering of communications and transportation system; location potential energy; multi source data fusion; urban passenger transportation; transportation planning; quantum particle swarm optimization algorithm

## 0 引言

随着全球城市化进程的加速<sup>[1]</sup>,城市客运交通作为连接城市各个角落、服务亿万市民出行需求的重要纽带<sup>[2]</sup>,不仅关乎个体的便捷出行,更是城市社会经济发展的重要支撑。城市客运交通规划已成为城市发展的重要组成部分,在推动城市经济、社会和环境可持续发展中发挥着关键作用<sup>[3]</sup>。然而,传统交通规划方法通常受限于数据获取局限性和规划视角单一性,难以应对日益复杂的城市交通挑战。因此,探索基于先进技术手段的新型交通规划方法,成为当前城市规划领域的迫切需求。

尹传忠等<sup>[4]</sup>以最小化出行成本、出行时间和碳排放量为目标,构建城市客运交通多目标规划模型,并利用带精英策略的非支配排序遗传算法与理想点结合的混合算法求解模型,获取城市客运交通规划问题的 Pareto 最优解集,通过逼近理想解排序法选取其中的最优策略,实现城市客运交通规划。但在实际应用中,城市客运交通规划问题可能会受到许多不确定因素的影响,该方法缺乏动态适应性,影响因素变化可能会导致规划效果变差的问题。俞礼军等<sup>[5]</sup>基于城市客运交通网络构建全局双层多项式优化模型,上层模型负责优化网络性能,下层模型负责描述确定性用户均衡交通流模式,并采用 Fritz John 条件和乘子替换下层规划,转化双层模型为单层优化问题,通过矩半定规划方法求解单层问题,生成城市客运交通规划策略,但当城市客运交通网络规模较大时,矩半定规划方法的计算量会急剧增加,可能导致求解时间过长的问題,不利于实际应用。Zhou 等<sup>[6]</sup>考虑道路拥堵、速度限制等构建双目标城市客运交通网络双层规划模型,上层模型优化目标是提

升道路出行效率和降低车辆排放总成本,下层模型的基础为随机用户均衡理论,采用非支配排序遗传算法求解模型,实现城市客运交通规划,但非支配排序遗传算法在求解双层规划模型时存在收敛速度较慢和易陷入局部最优解等问题。

为了解决上述方法中存在的问题,提出基于区位优势能和多源数据的城市客运交通规划算法研究。通过整合原始数据层次、特征数据层次和交通理论层次等数据源,全面反映城市交通的实际情况,提高了规划的准确性和有效性。实验结果表明:本文方法评价指标的最高分值达到了 50.492 分。车辆拥挤度最高仅为 29%,表明经本文方法规划后城市客运交通能够提高交通效率、改善出行人员的出行体验,为城市可持续发展做出贡献。

## 1 客运交通出行分布量预测

### 1.1 城市客运交通多源数据融合

综合交通调查以及信息化背景下的海量数据,可将城市客运交通多源数据划分为抽样数据和信息化大数据两类,以城市客运交通出行特征为分析角度,在以下 3 个方面融合城市客运交通数据:

(1)原始数据层次融合。对来源不同的数据,在关联融合汇总时,针对不同多源原始数据的重合特征,可采取时间、空间或对象同步方法融合数据。

(2)特征数据层次融合。特征数据层次融合通过评估多源数据可靠性,依据可靠性程度分配融合权重和方式,对数据加权融合,如式(1)所示:

$$\begin{cases} Y = \sum_{i=1}^M W_i Y_i \\ W_i = \frac{RI_i}{\sum_{i=1}^M RI_i} \end{cases} \quad (1)$$

式中:Y为融合后的数据特征;Y<sub>i</sub>为数据源i中的

数据;  $W_i$  为对应权重;  $M$  为数据源总数;  $RI_i$  为数据源  $i$  可靠性指数。

(3) 交通理论层次融合。对无法直接通过特征数据层次融合方法提取特征参数的多源数据, 利用交通规划四阶段法融合单个或几个阶段的特征数据<sup>[7]</sup>。

后续预测和规划中使用的城市客运交通相关数据均为通过合适方法融合处理后的数据。

### 1.2 基于区位势能的城市客运交通生成与分布预测

采用  $m$  个交通分析小区作为评价对象, 人均 GDP、GDP 增长率、城镇化水平、城镇居民人均可支配收入、农民人均纯收入和车辆保有量作为评价指标, 构造评价矩阵  $Z = (z_{ij})_{m \times 6}$ , 其中,  $z_{ij}$  为第  $i$  个交通分析小区的评价指标  $j, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, 6$ 。

基于城市客运交通发生区位势能评价指标在交通分析小区中的差异系数, 选取信息熵作为分析方式<sup>[8]</sup>, 在熵值法前首先需要将评价指标正向化和无量纲化处理<sup>[9]</sup>, 然后计算标准化处理后第  $i$  个交通分析小区的评价指标  $j$  在全部交通分析小区中的占比  $\eta_{ij}$ 、熵值  $e_j$ 、差异性系数  $h_j$  以及权重  $\omega_j$ , 如式(2)所示:

$$\begin{cases} \eta_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^m z_{ij}} \\ e_j = -\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m \eta_{ij} \ln(\eta_{ij}) \\ h_j = 1 - e_j, \\ \omega_j = \frac{h_j}{\sum_{j=1}^6 h_j} \end{cases} \quad (2)$$

最后构造城市客运交通发生区位势能综合评价价值  $R_i^g$ , 如式(3)所示:

$$R_i^g = \sum_{j=1}^6 \omega_j \eta_{ij} \quad (3)$$

城市客运交通吸引区位势能与交通发生区位势能计算类似, 同样采用  $m$  个交通分析小区作为评价对象, 第一、二、三产业比重、人口密度、城市人均道路面积、人均公共绿地面积、城镇人均住房面积作为评价指标, 构造评价矩阵  $X = (x_{ij})_{m \times 7}$ , 其中,  $x_{ij}$  为第  $i$  个交通分析小区的评价指标  $j, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, 7$ 。

标准化处理、占比、熵值、差异性系数以及权重计算均采用与交通发生区位势能相同的方式, 最终可得到城市客运交通吸引区位势能综合评价价值  $R_j^a$ , 如式(4)所示:

$$R_j^a = \sum_{k=1}^7 \omega_j \eta_{kj} \quad (4)$$

式中:  $\omega_j$  为评价指标  $j$  的权重;  $\eta_{ij}$  为第  $i$  个交通分析小区的评价指标  $j$  在全部交通分析小区中占比。

本文方法采用生成率法预测城市客运交通生成总量  $U$ , 如式(5)所示:

$$U = Q \cdot q \quad (5)$$

式中:  $Q$  为人口总数;  $q$  为出行原单位。

由于城市客运交通发生总量与通过上式计算得到的交通生成总量  $U$  相同, 因此, 仅需依据比例划分  $U$  至各个交通分析小区上即可得到各分析小区的出行发生量, 第  $i$  个交通分析小区的出行发生量  $P_i$  如下所示:

$$\begin{cases} P_i = W_i^g \cdot U \\ W_i^g = \frac{R_i^g}{\sum_{i=1}^m R_i^g} \end{cases} \quad (6)$$

式中:  $W_i^g$  为第  $i$  个交通分析小区的出行发生权重。

同理可得第  $i$  个交通分析小区的出行吸引量  $B_i$  如式(6)所示:

$$\begin{cases} B_i = W_j^a \cdot U \\ W_j^a = \frac{R_j^a}{\sum_{j=1}^m R_j^a} \end{cases} \quad (7)$$

预测得到出行发生量和吸引量后, 采用重力模型法进一步预测城市客运交通分布<sup>[10]</sup>, 在无约束重力模型中添加交通阻抗函数和相关参数, 构建城市客运交通分布预测重力模型如式(8)所示:

$$f_{il} = \epsilon P_i^a B_l^g g(c_{il}) \quad (8)$$

式中:  $f_{il}$  为第  $i$  个至第  $l$  个交通分析小区的交通分布量;  $B_l$  为  $l$  的交通吸引量;  $g(c_{il})$  为交通阻抗函数;  $c_{il}$  为第  $i$  个至第  $l$  个交通分析小区出行费用;  $\epsilon$ 、 $\mu$  和  $\kappa$  均为依据现状起讫点调查资料设定的参数, 可利用最小二乘法获取<sup>[11]</sup>。

为了修正重力模型误差, 简化计算过程, 本文方法将交通区位势能加入模型中, 构建优化的城市客运交通分布概率模型  $s_{il}$ , 如式(9)所示:

$$s_{il} = \frac{W_l^g W_l^a}{d_{il}} \quad (9)$$

式中:  $W_l^a$  为第  $l$  个交通分析小区的出行吸引权重;  $d_{il}$  为第  $i$  个和第  $l$  个交通分析小区之间的最短距离。

为了获取各个交通分析小区之间的起讫点分布量,本文方法引入 Furness 模型,如式(10)所示:

$$\begin{cases} f_{il}^0 = \frac{s_{il} P_i}{\sum_l s_{il}} \\ f_{il}^k = \frac{f_{il}^{k-1} B_l}{\sum_l f_{il}^{k-1}} \\ f_{il}^{k+1} = \frac{f_{il}^k P_i}{\sum_l f_{il}^k} \end{cases} \quad (10)$$

式中:  $k-1, k, k+1$  为连续 3 次迭代。

采用式(8)的城市客运交通分布概率模型能够得到各个交通分析小区之间的交通分布概率,基于该概率,通过 Furness 模型不断迭代计算能够进一步分析预测交通分析小区之间的客运交通出行分布量,为后续城市客运交通规划奠定数据基础。

## 2 城市客运交通规划算法

城市客运交通规划是一个复杂的决策问题,决策中涉及供给和需求两个主体,即决策部门和出行人员,两者相互作用且相互影响,为此,本文方法构建双层模型用于城市客运交通规划,上层模型规划主体为决策部门,下层模型规划主体为出行人员。

### 2.1 上层模型

上层模型负责在投资范围、能源消耗和环境承载力等约束下最大化整个城市客运交通系统的社会效益,如式(11)所示:

$$\begin{aligned} \max z = & \sum_{s \in S} \sum_{i=1}^m h_s^i g_s^i D_s^i + \sum_n \sum_{s \in S} \sum_{i=1}^m \gamma_s^{in}(v_s^i) h_{s1}^i c_n D_s^i + \\ & \sum_{s \in S} \sum_{i=1}^m \phi h_s^i \xi_s^i D_s^i + \sum_{s \in S} \sum_{i=1}^m \alpha h_s^i t_s^i D_s^i - \sum_{j=1}^n P_j Q_j \end{aligned} \quad (11)$$

式中:  $h_s^i$  为未规划城市客运交通前第  $s$  个起讫点对之间第  $i$  种出行方式的初始分配客流量,即上文预测得到的出行分布量;  $S$  为起讫点对集合;  $m$  为出行方式总数;  $g_s^i$  为第  $s$  个起讫点对之间第  $i$  种出行方式均价;  $D_s^i$  为第  $s$  个起讫点对之间第  $i$  种出行方式距离;  $\gamma_s^{in}(v_s^i)$  为第  $s$  个起讫点对之间第  $i$  种出

行方式以速度  $v_s^i$  行驶时第  $n$  种污染物的排放量函数;  $h_{s1}^i$  为第  $s$  个起讫点对之间第  $i$  种出行方式的客流量,是后续下层规划模型计算所得;  $c_n$  为治理第  $n$  种污染物的单位费用;  $\phi$  为能源消耗经济转化系数;  $\xi_s^i$  为第  $i$  种出行方式单位能耗;  $\alpha$  为出行时间费用;  $t_s^i$  为第  $s$  个起讫点对之间第  $i$  种出行方式的出行时间;  $P_j$  为选取节点  $j$  作为交通枢纽时的固定投资费用;  $Q_j$  为 0-1 变量;  $Q_j = 1$  为选择节点  $j$  作为交通枢纽,  $Q = 0$  不选取节点  $j$ 。

### 2.2 下层模型

下层模型负责在出行人员角度选取广义费用最小化的出行方式,本文方法引入城市客运交通系统随机匹配流模型描述出行人员的交通选择过程,下层模型目标函数如式(12)所示:

$$\min F(h_s^i) = \frac{1}{\epsilon} \sum_s \sum_i h_s^i \ln h_s^i + \sum_{s \in S} \sum_{i=1}^m \int f(i) di \quad (12)$$

式中:  $F(h_s^i)$  为优化目标函数;  $\epsilon$  为非负校正系数;  $f(i)$  为第  $i$  种出行方式的广义费用函数。

双层规划问题通常较难获得全局最优解,为此,本文方法采用改进的量子粒子群优化算法求解城市客运交通双层规划模型<sup>[12]</sup>,首先依据下层模型分配结果规划上层模型中的交通枢纽布局,然后将布局反馈至下层模型重新分配客流量,在不断的迭代下,最终收敛于最优解处,即得到最优城市客运交通规划策略。

改进的量子粒子群优化算法以量子粒子群优化算法为基础,具体流程如图 1 所示。

结合指数分布和正态分布<sup>[13]</sup>,构建新的粒子更新方式,如式(13)所示:

$$\begin{cases} x_{kd}(t+1) = U_{kd}(t) + \theta_1(t) + \theta_2(t) \\ \theta_1(t) = \tau |n_d(t) - x_{kd}(t)| h \\ \theta_2(t) = \rho |U_{kd}(t) - x_{kd}(t)| \ln \frac{1}{r} \end{cases} \quad (13)$$

式中:  $x_{kd}(t)$  和  $x_{kd}(t+1)$  为第  $k$  个粒子更新前和更新后的位置;  $U_{kd}(t)$  为时段  $t$  第  $k$  个粒子局部吸引变量的第  $d$  分量;  $\theta_1(t)$  和  $\theta_2(t)$  为服从不同概率分布的随机序列;  $n_d(t)$  为全部粒子历史最优位置第  $d$  分量均值;  $h$  为标准正态分布随机数;  $r$  为 (0, 1) 内随机数;  $\tau$  和  $\rho$  为收缩-扩张因子,  $\tau$  的调节方式如式(14)所示:

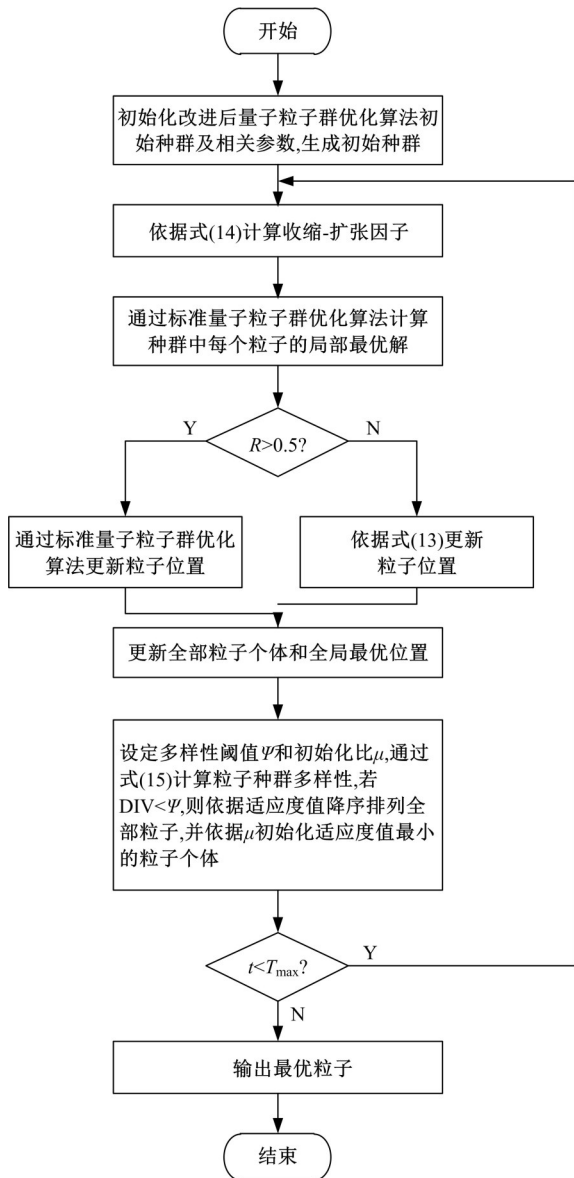


图 1 改进后的量子粒子群优化算法

Fig. 1 Improved quantum particle swarm optimization algorithm

$$\tau = (\tau_1 - \tau_2) \left( \frac{t}{T_{\max}} \right)^2 + (\tau_2 - \tau_1) \left( \frac{2t}{T_{\max}} \right) + \tau_1 \quad (14)$$

式中:  $\tau_1$  和  $\tau_2$  为初始收缩-扩张因子;  $t$  为当前迭代次数;  $T_{\max}$  为最大迭代次数。

为了提升种群丰富度,避免早熟问题,本文方法构建种群多样性函数 DIV,如式(15)所示:

$$DIV = \sum_{k=1}^K \frac{f_k - \bar{f}}{\zeta_g} \quad (15)$$

式中:  $K$  为粒子总数;  $f_k$  为粒子  $k$  适应度值;  $\bar{f}$  为群体适应度均值;  $\zeta_g$  为归一化因子。

基于上述步骤,通过改进量子粒子群优化算

法求解城市客运交通双层规划模型的主要流程,如图 2 所示。

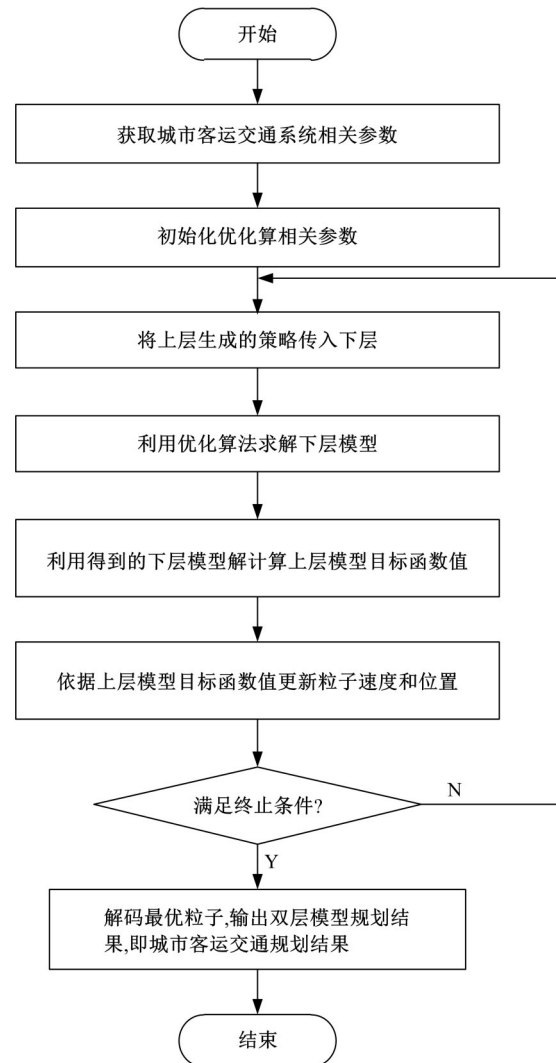


图 2 双层规划模型求解主要流程

Fig. 2 Main process of solving bilevel programming model

### 3 实验与结果

#### 3.1 实验环境

为了验证基于区位势能和多源数据的城市客运交通规划算法研究的整体有效性,需要对其进行测试。

实验利用 TransCAD 模拟某城市的公路客运交通布局网络,并依据交通分析小区划分原则将该区位划分为 38 个分析小区,如图 3 所示。

基于图 3 的公路客运交通布局网络,分别通过本文方法、文献[5]方法和文献[6]方法规划城市客运交通,实验环境和本文方法改进后的量子粒子群优化算法相关参数如表 1 所示。

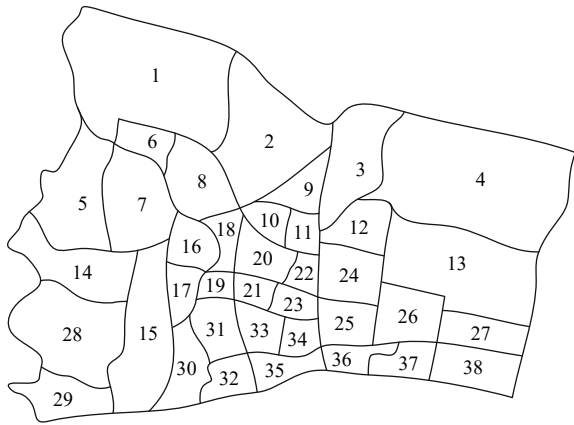


图 3 城市客运交通分析小区划分

Fig. 3 Analysis of urban passenger transport and community division

表 1 实验环境参数

Table 1 Experimental environment parameters

实验环境	算法	参数	数值
硬件部分		处理器	Intel Core i5-2450M CPU @ 2.50 GHz
		RAM	8 GB
		GPU	Nvidia GeForce RTX 3080
		操作系统	Windows10 64bit
		模拟环境	Matlab 2021b
软件部分	改进的	粒子群数目	50
	量子粒	粒子维度	5
	子群优	最大迭代次数	100
	化算法	收缩-扩张因子最大值	1.0
		收缩-扩张因子最小值	0.5

3.2 实验指标

采用协调性指标得分、可达性指标得分和换乘度指标得分进行评价,协调性指标得分衡量的是城市客运交通枢纽与邻接区域内交通客流量的集散效率,以及不同服务区域内土地利用功能在空间中的用地效率、业态多元化等;可达性指标得分衡量的是邻接区域内整体道路网络可达性,主要考虑因素有网络直径及平均长度、介数、度和度的分布、聚类系数、节点紧密度等;换乘度指标得分衡量的是城市客运交通枢纽和邻接区域关键枢纽集散与周边交通设施整体客流的换乘效率,主要考虑因素有人均换乘设施面积、运能匹配度、周边设施的换乘便捷度等。

车辆拥挤度通常可以用车辆密度、车道宽度、速度等参数来表达。表达式如下:

$$V_c = C / (W \times V) \times 100\% \quad (16)$$

式中:  $C$  为车辆数量;  $W$  为车道宽度;  $V$  为车速。通过监测和分析车辆拥挤度,可以评估交通规划

算法的运行性能。

较高的车辆拥挤度代表交通拥堵严重,表明交通规划算法性能较差;反之则说明交通畅通,交通规划算法性能较优。

3.3 实验结果

选用本文方法、文献[5]方法和文献[6]方法进行规划后的城市客运交通性能测试。在量化各项指标得分时,采用层次分析法为各因素赋予权重,经过计算,定义协调性指标得分的满分为 23.48 分,可达性指标得分的满分为 18.94 分,换乘度指标得分的满分为 63.89 分,得分越高,则对应方法在该项指标上的表现越优异,各项指标测试结果如表 2 所示。

表 2 不同方法各项指标得分检测结果

Table 2 Score detection results of various indicators using different methods

评级指标	本文方法	文献[5]方法	文献[6]方法
协调性指标得分	17.965	12.841	14.058
可达性指标得分	12.634	8.942	7.541
换乘度指标得分	50.492	32.713	44.713

由表 2 可以看出,本文方法在各项评价指标中的得分均高于文献[5]方法和文献[6]方法,最高分值达到了 50.492 分。说明经本文方法规划后城市客运交通能够有效整合不同类型客运交通资源、提高交通效率、改善出行人员的出行体验,既能够满足出行人员的出行需求,又能够为城市可持续发展做出贡献。

为了检验本文方法改进后量子粒子群优化算法的优势,将其与标准粒子群优化算法和量子粒子群优化算法加以对比,检验 3 种方法在求解城市客运交通双层规划模型中的性能,结果如图 4 所示。

由图 4 可以看出,当 3 种方法收敛到近似的最

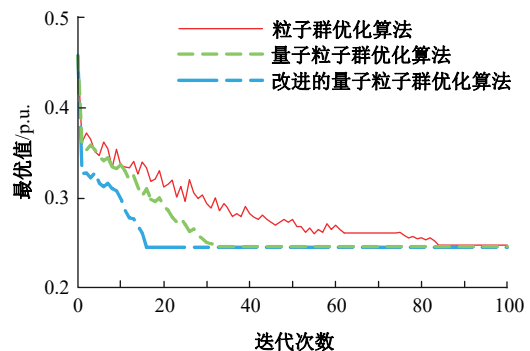


图 4 不同方法在双层规划模型求解中的性能对比

Fig. 4 Performance comparison of different methods in solving bilevel programming models

优值时,标准粒子群算法达到收敛的速度最慢,且在迭代至第 62~74 次时出现早熟问题,最终在第 84 代达到收敛,量子粒子群优化算法次之,在迭代至第 33 次时达到收敛,本文方法改进的量子粒子群优化算法在双层规划模型求解中表现出最为优异的性能,仅迭代 16 次即达到收敛,因为本文方法结合指数分布与正态分布改进量子粒子群优化算法,且在其中加入种群多样性函数,既避免了算法提前收敛陷入早熟的问题,又提高了收敛效率,更适合用于城市客运交通双层规划模型求解之中。

3 种方法的车辆拥挤度对比结果如图 5 所示。

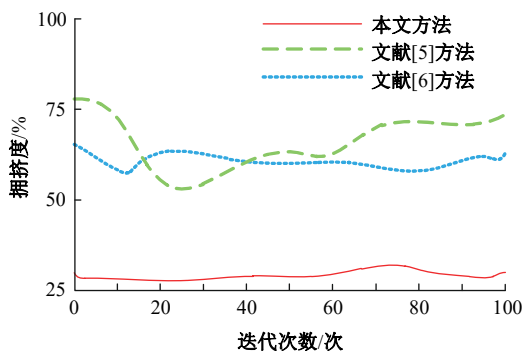


图 5 不同方法应用后的车辆拥挤度对比

Fig. 5 Comparison of vehicle congestion levels after application of different methods

根据图 5 可以看出,本文方法的车辆拥挤度均低于文献[5]方法和文献[6]方法,最高仅为 29%。说明经过本文方法规划后城市客运交通能够有效减少车辆拥挤现象,提高交通效率。

## 4 结束语

城市客运交通大数据不但来源广泛、类型多样,而且蕴含丰富的时空信息,能够为交通规划提供全新的视角和可能。特别是区位优势概念的引入,使城市客运交通需求和结构分析更加宏观,为更加科学、合理地规划城市客运交通提供有力支持。为了解决目前存在的协调性指标、可达性指标和换乘度指标得分较低的问题,提出基于区位优势和多源数据的城市客运交通规划算法研究,融合城市客运交通多源数据后构建交通分布预测模型,用于预测客运交通出行分布量,建立客运交通双层规划模型,并采用改进后的量子粒子群优化算法求解,实现城市客运交通规划。该方法能够有效提升协调性指标得分、可达性指标得分和换乘度指标得分,为城市可持续发展奠定坚实的

交通基础。

## 参考文献:

- [1] 谭江迪, 郑有旭. 城市边缘区再认知:全球城市化理论和后郊区化理论视角[J]. 城市发展研究, 2022, 29(1): 74-81.  
Tan Jiang-di, Zheng You-xu. Reconsidering the peri-urban: perspectives of planetary urbanisation and postsuburbia[J]. Urban Development Studies, 2022, 29(1): 74-81.
- [2] 朱顺应, 廖凌云, 吴景安, 等. 城市客运交通工具碳排放效率差异——以襄阳市为例[J]. 交通运输系统工程与信息, 2022, 22(4): 158-166.  
Zhu Shun-ying, Liao Ling-yun, Wu Jing-an, et al. Urban passenger transportation mode carbon emission efficiency difference: a case study of Xiangyang City [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2022, 22(4): 158-166.
- [3] 于松伟, 刘巍, 仲莹莹. 基于复杂巨系统理论的城市轨道交通可持续发展综合评价[J]. 都市快轨交通, 2023, 36(5): 1-10.  
Yu Song-wei, Liu Wei, Zhong Ying-ying. Comprehensive evaluation of sustainable development of urban rail transit based on open complex giant system theory[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2023, 36(5): 1-10.
- [4] 尹传忠, 彭海红, 陶学宗, 等. 基于改进 NSGA-II 的多式联运协同优化[J]. 上海海事大学学报, 2023, 44(4): 39-44, 116.  
Yin Chuan-zhong, Peng Hai-hong, Tao Xue-zong, et al. Collaborative optimization of multimodal transport based on improved NSGA-II [J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2023, 44(4): 39-44, 116.
- [5] 俞礼军, 陈睿. 连续交通网络设计的全局双层多项式优化模型[J]. 交通运输工程学报, 2022, 22(2): 259-267.  
Yu Li-jun, Chen Rui. Global bilevel polynomial optimization model for continuous traffic network design [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2022, 22(2): 259-267.
- [6] Zhou Z, Yang M, Sun F, et al. A continuous transportation network design problem with the consideration of road congestion charging[J]. Sustainability, 2021, 13(13):No. 7008.
- [7] 孙玉杰, 苏凯. 基于交通四阶段理论的核电厂交通组织研究[J]. 武汉大学学报:工学版, 2021, 54(增刊 1): 34-39.

- Sun Yu-jie, Su Kai. Research on the traffic organization of nuclear power plants based on four-stage transportation theory[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2021, 54 (Sup. 1): 34-39.
- [8] 张朝龙, 赵筛筛, 何怡刚. 基于信息熵与 PSO-LSTM 的锂电池组健康状态估计方法[J]. 机械工程学报, 2022, 58(10): 180-190.
- Zhang Chao-long, Zhao Shai-shai, He Yi-gang. State-of-health estimate for lithium-ion battery using information entropy and PSO-LSTM[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2022, 58 (10): 180-190.
- [9] 冷雪敏, 许傲然, 谷彩连, 等. 基于无量纲化处理的直接试验回路两参数 TRV 计算方法研究[J]. 南京理工大学学报, 2023, 47(2): 271-276.
- Leng Xue-min, Xu Ao-ran, Gu Cai-lian, et al. Research on two parameter TRV calculation method of direct test circuit based on non-dimensional processing [J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2023, 47 (2): 271-276.
- [10] 周皓, 刘文博. 中国省际流动人口流入地宏观选择机制的稳定性——兼论重力模型的理论扩展与实证检验[J]. 人口学刊, 2023, 45(2): 80-98.
- Zhou Hao, Liu Wen-bo. The stability of macro-selection mechanism of destination of interprovincial floating population in China—theoretical extension and empirical test of gravity model[J]. Population Journal, 2023, 45(2): 80-98.
- [11] 卢昀伟, 张慧, 任彬彬, 等. 基于宜居性的城市轨道交通布局规划优化研究[J]. 计算机仿真, 2021, 38(1): 125-128, 171.
- Lu Yun-wei, Zhang Hui, Ren Bin-bin, et al. Optimization of urban rail transit layout planning based on livability[J]. Computer Simulation, 2021, 38(1): 125-128, 171.
- [12] 崔奥, 黄金娥, 黄祥兵, 等. 基于量子粒子群算法的船舶机舱布局方法[J]. 舰船科学技术, 2022, 44(18): 51-56.
- Cui Ao, Huang Jin-e, Huang Xiang-bing, et al. A method of ship engine room layout based on quantum particle swarm algorithm[J]. Ship Science and Technology, 2022, 44(18): 51-56.
- [13] 王蓉华, 顾蓓青, 刘金梅, 等. 两个正态分布变异系数差与商的近似置信区间[J]. 统计与决策, 2022, 38(1): 38-42.
- Wang Rong-hua, Gu Bei-qing, Liu Jin-mei, et al. Approximate confidence interval for the difference and quotient of variation coefficients of two normal distributions[J]. Statistics & Decision, 2022, 38(1): 38-42.