

开放式小区对道路通行能力影响的研究

摘要

随着道路交通用地和小区用地的矛盾越来越突出,国务院提出原则上不再建立封闭式小区的意见, 议论焦点为**能否优化小区周围的路网结构**。因为根据 *Braess悖论*, 当人为的为某一条网络路径添加支路时, 不但不能够优化路网的结构还可能会造成路途的堵塞。因此**如何合理的评价及建设小区网络路径就成为解决该问题的焦点**, 这对于人们出行、降低政府投入有重大意义。

对于**问题一**, 我们需要构建合理的指标体系去衡量不同小区内部不同形式的网络对于周围道路网络的影响, 由于衡量道路优劣的指标非常多, 所以从**时间成本、资金成本、道路通行能力**三个角度去构建道路评价体系, 并根据这三个角度选取对应的小型指标; 选取了**路网密度、交通流量、路网非直线系数**等共七项指标, 再进行**标准化**。构造基于 **AHP 和群决策排序向量算法、多元回归分析及 MSA 算子的小区道路分布模型**, 最后通过**专家群向量决策分析法**获得各个指标的权重, 根据权重进行加权平均, 获得的值与路网络的优秀程度呈正相关。即建构建评价道路优劣指标的评价体系。

对于**问题二**, 我们需要分析不同车辆对于不同道路的选择概率, 引入了 **BPR 路阻修正模型和 OD 量**的概念, 即对于每一个 OD 量, 每一辆车以一定**概率分布**进入新的路段。基于以上假设, 利用**动态分配理论**找到适合 OD 量的可行流, 再利用 **MSA 算子**计算出每一条道路路阻收敛时的车流量, 由每条道路的车流量, 结合道路的长度、宽度等设计指标计算出对于不同道路网络的综合评价指标指数, 从而构建了车辆的**流动模型**。

对于**问题三**, 根据问题二中构建的数学模型定量的分析各类型小区开放前后对道路通行的影响。由于交通通行数据难以收集完整, 所以不能采用普查的方法得到数据, 所以根据**查询和抽样调查**的方法获取道路交通数据。本文中按照**小区建筑结构、周边道路结构、周边道路车流量和小区面积**四个准则划分小区类型。依照问题二建立的数学模型和问题一的综合评价指标体系计算得到**各种类型小区的综合评价指标指数**, 比较开放前后综合评价指标指数大小分析开放小区是否

会对交通通行产生显著影响。基于上述分析，给出具有开放必要性的小区类型，为问题四给出合理化建议提供依据。

对于问题四，我们需要根据前述分析，给出合理化建议。结合前面已经建立的交通系统平衡模型与评价指标体系，构建一个**道路通行最优化模型**。其中目标函数是小区开放前后的**综合指标值增长量**，限制条件则包括了**道路成本和交通流平衡**等，最终解出方程，并尝试将结论推广到其它小区类型及道路类型，最终再结合求解结果给出合理化建议。

一、问题提出与分析

1.1 背景探究

随着当今中国城市的发展，越来越多的人使用私家车作为日常交通工具，再加上机动三轮车、电动车、公交车等常见的机动车，城市人均机动车保有量正在逐年升高，这对城市交通系统提出了巨大的挑战，尤其是在北京、上海、广州、深圳、重庆等发达大型城市，繁华路段的主干道上各类机动车大排长龙的画面相当常见。概括来说导致城市交通拥堵的因素主要有：

- (1) 机动车数量逐年增加；
- (2) 路网结构设计不合理，建设道路一味求大求宽而忽视了道路密度；
- (3) 停车设施机制不健全，存在乱停车占用车道的现象；

(4) 道路施工加剧了交通拥堵。据统计，道路施工造成的交通拥堵约占道路拥堵事件总数的 30% 左右。

都市交通拥堵不仅影响到了居民的日常工作、出行习惯，同时也在一定程度上阻碍了城市的经济与文化发展，而且造成了更多的碳排放，首都北京更是被许多人戏称为“首堵”。近年来各省市政府为了改善城市交通拥堵的问题出台了一些政策，如尾号限行、汽车限购、错时上下班、提高停车费等。同样是为了缓解都市交通拥堵，2016 年 2 月，国务院发布的《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》第十六条关于“推广街区制，原则上不再建设封闭住宅小区，已建成的住宅小区和单位大院要逐步开放”等意见，旨在通过推进开放式小区的建设增加路网密度，对总交通流量进行分流，缓解主干道的疏流压力，这引起了

社会各界的广泛关注和讨论。

文献[1] 解释了封闭式小区的定义：封闭型小区一般是指采用全封闭式管理模式，使小区的道路、绿化、公共设施等规划元素的使用独立于城市结构，自成体系、满足小区内部需求的小区结构。开放式小区是与封闭式小区相对的一个概念，即小区空间对外开放，内部有一条或多条道路与外部交通系统完全联结，从而打破了小区的封闭性，使其与城市交通系统有机结合起来。

封闭式小区对道路交通的主要限制在于，小区成为一个独立的空间，可以与外部交通相联系的出入口有限，小区内部多为断头路及树状结构（图??），终端具有封闭性，比如老上海典型的弄堂型结构，这使得外部交通系统的分流压力完全由主次干路和支路来承担。而开放式小区则打破了封闭式小区的这种界限，增加了支路网密度，利用小区内部支路、胡同、弄堂等“毛细血管”共同构成城市交通的微循环系统，从而有效分担了主干路、次干路及支路交通系统的承载压力。但是从另一个角度来说，交通系统中的微小支路增多了，进出小区的交叉路口处从微小支路汇集到主干路的车辆也会增多，从而影响主路的交通运行。另外，小区从封闭转为开放后，面对这种“我家大门常打开”的境况，许多城市居民也在担忧开放式小区的安全性和私密性。

面对这些争论，本文的主题就是选取一个小区交通系统作为研究对象，定量探讨小区开放化是否真的对周边交通运行情况有正面影响，进而将结论扩大到整个城市交通系统。这里的小区是广义的小区，即不止包括居民住宅小区，也包括学校，公园，办公写字楼等各类具有相对整体性的建筑区域。

1.2 要解决的问题

针对题目所提出的要求，本文主要关注以下问题：

首先，针对“请选取合适的评价指标体系，用以评价小区开放对周边道路通行的影响”问题，如何挑选出若干个有效的相关指标，作为道路通行情况的不同属性，采用可行的赋权方法为这些指标分别赋予权重，最后将这些指标加权汇总为一个综合指标，从而产生一个完整的评价指标体系，用以评价小区开放与否对周边道路通行情况产生的影响。

其次，如何尽量模拟真实交通环境，充分考虑各种影响道路通车情况的因素，

构建出具有普遍适用性的车辆通行的数学模型，模拟出小区开放与否对周边道路通行情况的影响。

进而，如何选取具有代表性的不同类型的小区，将其应用在已建立的数学模型上，从而定量分析不同类型小区开放与否对道路通行情况的影响。

最后，结合更多实际因素，探讨开放式小区如何建设小区内道路可以使得对周边道路交通系统的优化效果更好。

二、模型假设

假设 1：假设小区开放与否对周边路段行驶车辆总数没有影响；

假设 2：假设本文数据真实可靠；

假设 3：假设小区只作为通行路径，小区流入车辆等于流出车辆；

假设 4：假设每位司机理性。

三、模型符号说明

符号	符号含义
sum_c	通过某一路段的车辆总数
h_1	调查流量时的记录总时长
sum_l	行驶总距离
h_2	行程总时间
mj_l	一定范围内道路中心总长度
mj_s	一定范围地面总面积
m	系统实际高峰小时交通量
n	设计通行能力
λ_1	自行车干扰系数
T	路阻系数

x^n	MSA 算法中 n 次循环后各个路段分配的流量集合
d_1	交叉口平均延误时间

四、模型的建立与分析

4.1 问题一—综合评价指标体系的建立

4.1.1 问题一的解题思路

问题一要求选取合理的评价指标体系,用来评价小区开放对周边道路交通情况带来的影响,可以理解为构建一个评价体系用以评价该影响是否存在及其程度大小,因此本文第一题的基本思路如下图所示:

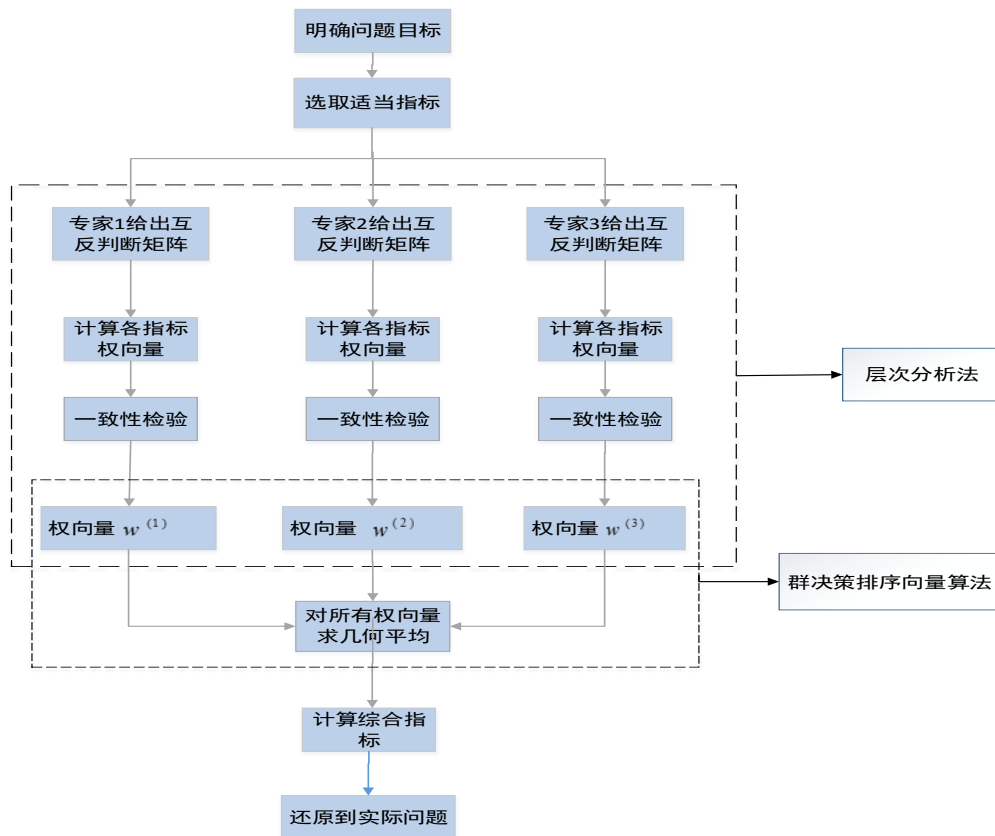


图 4-1 综合评价指标体系的构建流程图

4.1.2 评价指标的选取原则

评价小区开放对周边道路通行的影响过程中有很多不确定的因素，是一个非常复杂的问题，所以我们依照如下原则来选取科学合理的指标：

- (1) 简单性原则：尽量选取简单、可量化和规范化的指标；
- (2) 全面性原则：选取的指标要基本覆盖所有影响“开放小区对周边道路通行影响”的因素；
- (3) 科学性原则：所选择的指标都是合理严谨的；
- (4) 时效性原则：选取的指标在研究问题的最近时间段内对结论具有价值。

4.1.3 评价指标的确定

按照上述原则，初步选取了交通流量、行程车速、饱和度、路网非直线系数、路网密度、道路拥堵指数（TCI）、交通运行指数、应急恢复时间和应急成本共 9 个指标用以从不同角度反映道路通行情况，其具体含义如表[4-2]所示。

表 4-1 通行情况评价指标

评价指标	计算公式	指标含义
交通流量 M_1	$M_1 = \text{sum}_c / h_1$	单位时间内，通过某一路段横截面的车辆数量
行程车速 M_2	$M_2 = \text{sum}_l / h_2$	行驶总距离与行驶总时间之比
饱和度 M_3	$M_3 = m / n$	一定范围内高峰时段实际单位时间内交通量与设计通行能力之比
路网非直线系数 M_4	$M_4 = \text{sum}_l / \text{sum}_d$	起点与终点之间实际行驶经过的道路长度与空间中两点间的直线长度之比
路网密度 M_5	$M_5 = mj_l / mj_s$	一定范围内道路中心总长度与整个范围的地面面积之比
道路拥堵指数 M_6	$M_6 = \sum_j TPI_j / \sum_{k=1}^N TPI_k$ ($TPI_j \geq 6$)	一定时间内道路系统处于中度拥堵和严重拥堵的比例之和

交通运行指数 M_7	见表 1 及表 2	以 15 分钟左右为记录时间间隔，通过行程车速和拥堵里程比例计算得到交通运行等级
应急恢复时间 M_8 (分钟)	无	道路发生事故后恢复正常需要的平均时间
应急成本 M_9 (元)	无	道路发生事故后恢复正常需要的平均成本

表 4-2 路段交通运行等级划分
(资料性表格)

运行等级	快速路	干路	次干路、支路
畅通	$V > 65$	$V > 40$	$V > 35$
基本畅通	$50 < V \leq 65$	$30 < V \leq 40$	$25 < V \leq 35$
轻度拥堵	$35 < V \leq 50$	$20 < V \leq 30$	$15 < V \leq 25$
中度拥堵	$20 < V \leq 35$	$15 < V \leq 20$	$10 < V \leq 15$
重度拥堵	$V \leq 20$	$V \leq 15$	$V \leq 10$

注：V 表示行程车速。

表 4-3 交通运行等级划分
(资料性表格)

交通运行指数 (TPI)	[0, 2]	(2, 4]	(4, 6]	(6, 8]	(8, 10]
运行等级	畅通	基本畅通	轻度拥堵	中度拥堵	重度拥堵

指标的选取原因：

评价指标	选取原因
交通流量 M_1 (veh/h)	直观反映道路通行能力以及道路的实时路况，当交通量超过某一数值时，则认为发生拥堵
行程车速 M_2	行驶总距离一定时，行程车速与行驶总时间成反比关系，行驶总时间包括无障碍行驶时间、路阻时间

(km/h)	和交叉路口延误时间。所以当道路拥堵时，路阻时间和交叉口延误时间增长，则行程车速降低。
饱和度 M_3	设计通行能力是固定的，则高峰时段实际单位时间内交通量越大道路越拥堵。一般在 0.5-0.7 比较合适。
路网非直线系数 M_4	起点与终点固定后，人类心理趋向是选择实际行驶道路长度最短的路径，而当道路拥堵时，人们则会绕路行驶，选择车流量较少的路径，则路网非直线系数增大。所以路网非直线系数越大道路越拥堵。
路网密度 M_5	路网密度可以衡量一定范围内的道路建设情况，其值在一定区间内变化，相比较而言，路网密度越大道路拥堵的可能性越小。
道路拥堵指数 M_6	根据道路通行情况概念性的把拥堵情况数字化，以 0-10 之间的数字表示道路通行。将道路通行指数大于等于六的数值除以与总的数值相比，则得出道路拥堵指数。道路拥堵的时间越长，拥堵状况越严重则道路拥堵指数越大。
交通运行指数 M_7	交通状况越拥堵行程车速越小，拥堵里程比例越大，则交通运行指数越大，得到拥堵等级越高。
应急恢复时间 M_8 (min)	交通通行不仅是正常运行时的状态来衡量，还要考虑出现紧急情况时的恢复能力，恢复能力越强、恢复时间越短，则交通拥堵的概率越小。
应急成本 M_9 (元)	应急成本越低，则交通通行能力越强。

4.1.4 构建评价指标体系

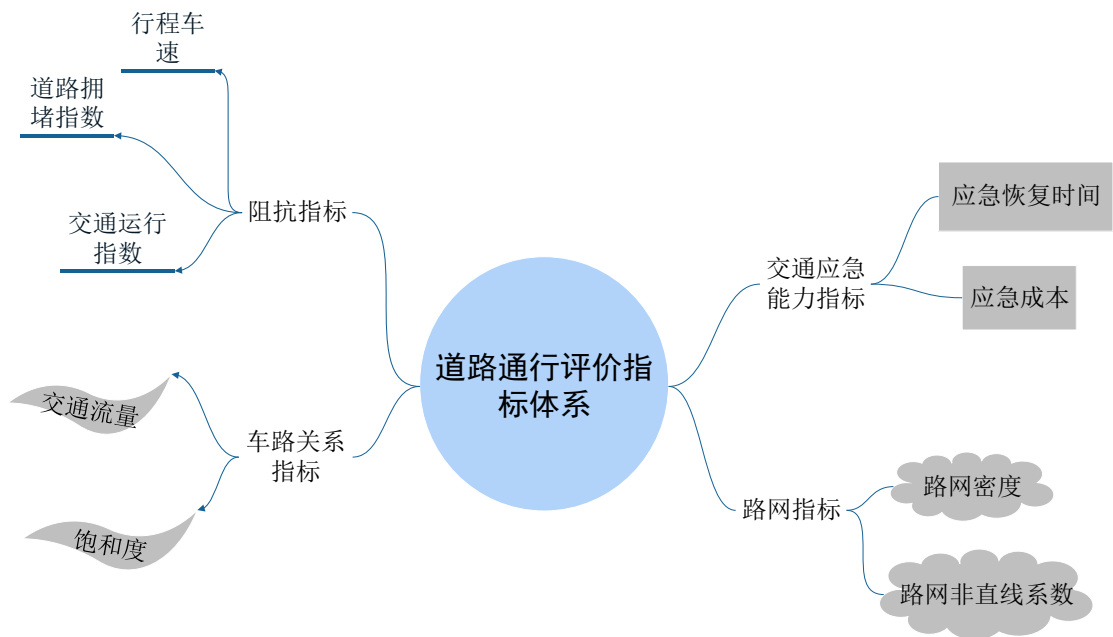


图 4-2. 道路通行评价指标体系层次图

考虑到上述指标中反映交通应急能力的两项指标更多地依赖于交通监管人员的效率及素质，与路况本身关系不大，因此在实际构建评价指标体系时不考虑这两项指标，而只考虑其它七项指标。

4.1.5 评价指标的标准化与赋权

本小节先对所有指标进行标准化处理，再结合群向量决策分析法和层次分析法对各指标分别赋予权重，最终得到一个由各指标加权汇总而成的综合评价指数，综合评价指数越大，说明道路通行情况越好，道路越畅通。

文献[2]介绍了层次分析法（AHP 法）的概念与一般步骤，再改进 AHP 方法，加入群决策排序向量算法。选取了上述 7 个指标后，由于各指标之间量度不一致，直接对它们进行衡量比较是不合理的，需要先对每个指标进行离差标准化，将原本大小不一的指标值一一映射到[0,1]区间，标准化的方法如下：

对于效益性指标 a_i ：

$$a_i' = \frac{a_i - a_i^{\min}}{a_i^{\max} - a_i^{\min}}, (i = 1, 2, \dots, k). \quad (1)$$

对于成本型指标 b_j :

$$b_j' = \frac{b_j^{\max} - b_j}{b_j^{\max} - b_j^{\min}}, (j = 1, 2, \dots, k). \quad (2)$$

按公式(1)、(2)将指标标准化后, 需要根据其重要程度为各个指标赋予权重, 考虑到层次分析法可以将主观判断与客观因素有效地结合, 反映的信息较为全面, 本文采用了层次分析法作为赋权方法, 并且结合群决策向量分析法更加地减少主观成分。如图 4-1 所示, 先由三名专家运用专业知识给出各自的互反判断矩阵 $A^{(1)}, A^{(2)}, A^{(3)}$:

$$A^{(1)} = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 7 & 8 & 3 & 1/3 & 1/4 \\ 1/3 & 1 & 2 & 3 & 2 & 1/5 & 1/6 \\ 1/7 & 1/2 & 1 & 2 & 1/3 & 1/5 & 1/7 \\ 1/8 & 1/3 & 1/2 & 1 & 1/3 & 1/7 & 1/8 \\ 1/3 & 1/2 & 3 & 3 & 1 & 1/4 & 1/5 \\ 3 & 5 & 5 & 7 & 4 & 1 & 1/2 \\ 4 & 6 & 7 & 8 & 5 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A^{(2)} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1/2 & 5 & 3 & 1/5 & 3 \\ 1/2 & 1 & 1/3 & 3 & 1 & 1/5 & 1/3 \\ 2 & 3 & 1 & 7 & 3 & 1/3 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1/7 & 1 & 1/3 & 1/7 & 1/2 \\ 1/3 & 1 & 1/3 & 3 & 1 & 1/6 & 2 \\ 5 & 5 & 3 & 7 & 6 & 1 & 7 \\ 1/3 & 3 & 1/5 & 2 & 1/2 & 1/7 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A^{(3)} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1/2 & 5 & 3 & 1/5 & 3 \\ 1/2 & 1 & 1/3 & 3 & 1 & 1/5 & 1/3 \\ 2 & 3 & 1 & 7 & 3 & 1/3 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1/7 & 1 & 1/3 & 1/7 & 1/2 \\ 1/3 & 1 & 1/3 & 3 & 1 & 1/6 & 2 \\ 5 & 5 & 3 & 7 & 6 & 1 & 7 \\ 1/3 & 3 & 1/5 & 2 & 1/2 & 1/7 & 1 \end{pmatrix}$$

使用 MATLAB 软件分别求出三个矩阵的最大特征值:

$$\lambda_{\max}^{(1)} = 0.0512133145301818$$

$$\lambda_{\max}^{(2)} = 0.0605594268161690$$

$$\lambda_{\max}^{(3)} = 0.0418707728029702$$

以及归一化的特征向量:

$$w^{(1)} = (0.1710, 0.0738, 0.0397, 0.0277, 0.0697, 0.2520, 0.3661)^T$$

$$w^{(2)} = (0.1371, 0.0661, 0.2087, 0.0313, 0.0740, 0.4126, 0.0702)^T$$

$$w^{(3)} = (0.1274, 0.0325, 0.0682, 0.0429, 0.2033, 0.3805, 0.1453)^T$$

其中 $w^{(1)}, w^{(2)}, w^{(3)}$ 即为根据三位专家给出的专业意见计算出的三组权向量。

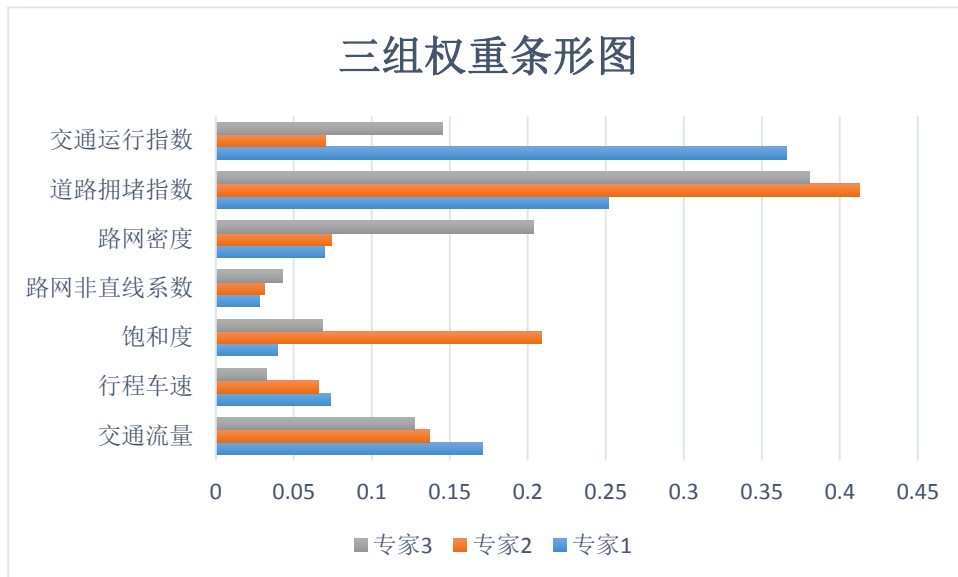


图 4-3-三组权重条形图

接下来,根据一致性指标(CI)的计算公式计算每个权向量的一致性指标值,根据一般习惯设置一致性比率阈值为 0.1,进行一致性检验:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - k}{k - 1} \quad (3)$$

其中 k 为专家判断矩阵的阶数,即指标的总个数。查随机一致性指标值表,可知 $k=7$ 时随机一致性指标值 $RI=1.36$ 。

将 $\lambda_{\max 1}, \lambda_{\max 2}, \lambda_{\max 3}$ 分别代入式 (3),得到三个一致性指标值 $CI(i), i=1,2,3$;

按照一致性比率 (CR) 公式:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

进而得到三个一致性比率值：

$$CR(1) = 0.0512$$

$$CR(2) = 0.0606$$

$$CR(3) = 0.0419$$

容易看出三个一致性比率值均小于阈值 0.1，所以三个权向量均通过了一致性检验。

按照群决策向量分析算法的要求，综合三位专家的意见得出综合评价结果。采取等权重的权向量平均法，对三个权向量 $w^{(1)}, w^{(2)}, w^{(3)}$ 进行几何平均，即：

$$\bar{w}_k = \prod_{i=1}^3 (w_k^{(i)})^{\frac{1}{3}}, k=1, 2, \dots, 7. \quad (5)$$

显然最终的权向量 $w = \bar{w}_k$ ，这是综合多位专家意见定量计算后的结果。

4.1.6 综合评价指数

经过 4.1.3 所述的赋权操作后，得到一个最终的权向量：

$$w = (0.1580, 0.0594, 0.0907, 0.0366, 0.1114, 0.3738, 0.1701)$$

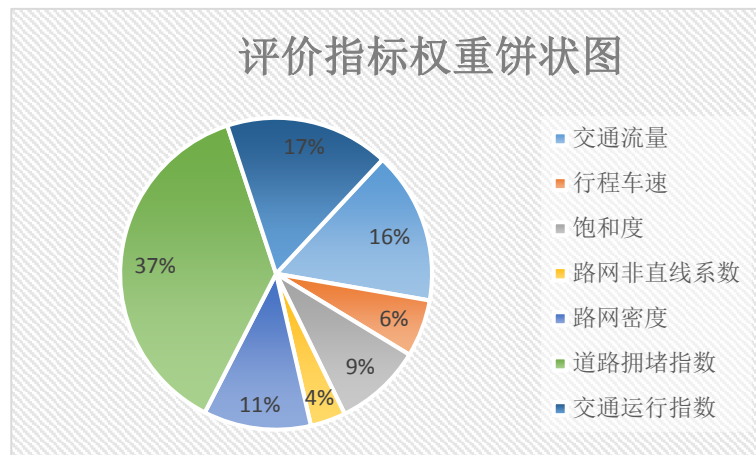


图 4-4-评价指标权重饼状图

则最终的综合指标值 M 为：

$$M = \sum_{k=1}^7 w_k \cdot M_k, (k = 1, 2, \dots, 7). \quad (6)$$

$$M \in (0, 1).$$

M 值越大, 说明道路通行情况越好, 即交通越顺畅。

4.2 问题二建立关于车辆通行的数学模型

4.2.1 问题二的建模思路

题目中问题要求建立关于车辆通行的数学模型, 用来研究小区开放对周边道路环境的影响。

首先, 本文从实际环境中选取易出现拥堵情况的、具有代表性的未开放小区及其周边环境类型, 根据路宽、路长和路况以及道路运行等级将实际环境抽象为数学模型; 然后, 设计虚拟变量求得任意两两位点之间的所有可达路径; 其次, 基于 MSA 算法平衡分配特定数量的车流量, 分别求解出小区开放前后道路通行的平衡状态; 最后, 利用问题一选取的评价指标体系分析小区开放对道路通行能力的影响。验证数学模型的合理性。

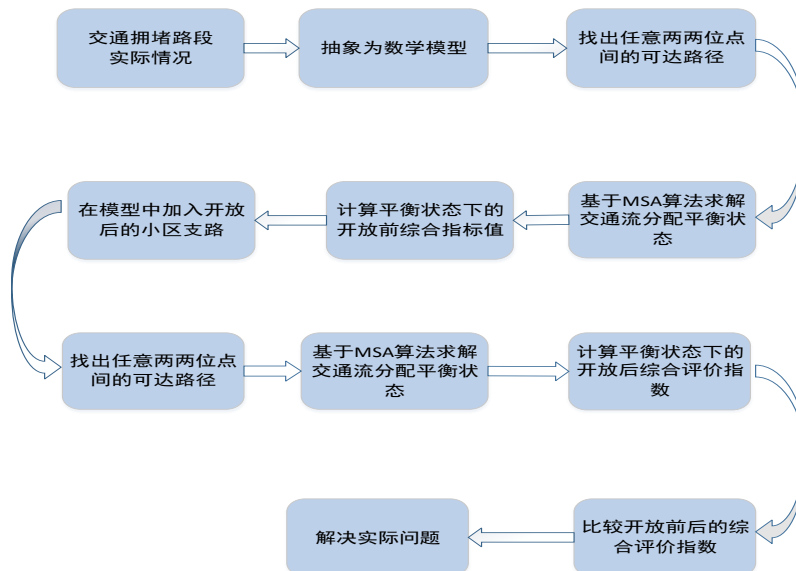


图 4-5 问题二流程图

4.2.2 问题二的模型建立

I. 将实际问题抽象化为数学模型

本文以合肥市为例，先在合肥市选取较为拥堵的、小区密集的路段：



图 4-6 合肥市中心路况图

然后将其密集的小区群看成一个小区整体，抽象为数学模型：

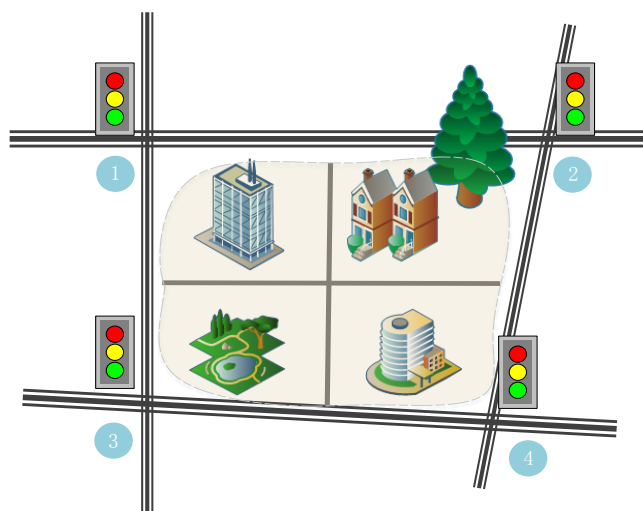


图 4-7 问题二数学模型图

II. 基于 MSA 算法的交通流量平衡分配

文献[3]中介绍了 MSA 算法并且给出了相关公式：

MSA 算法(连续平均算法)是一种将流量近似平衡分配的方法,基本思路是:将一定数量的 OD 量随机分配到每条道路上,不断调整各条道路上所分配的流量,最终到达一个接近于平衡的道路通行状态。每次循环中,根据上一次分配后的 OD 量在进行一次全有全无分配,得到每条道路上的附加流量;将每条道路上已分配的 OD 量和循环中得到的附加流量加权平均,得到此次循环结束后每条道路上的实际 OD 量;以此步骤循环,直到相邻两次循环得到的实际每条道路的 OD 量差值在一定误差允许范围内,则认为道路通行状态达到平衡。

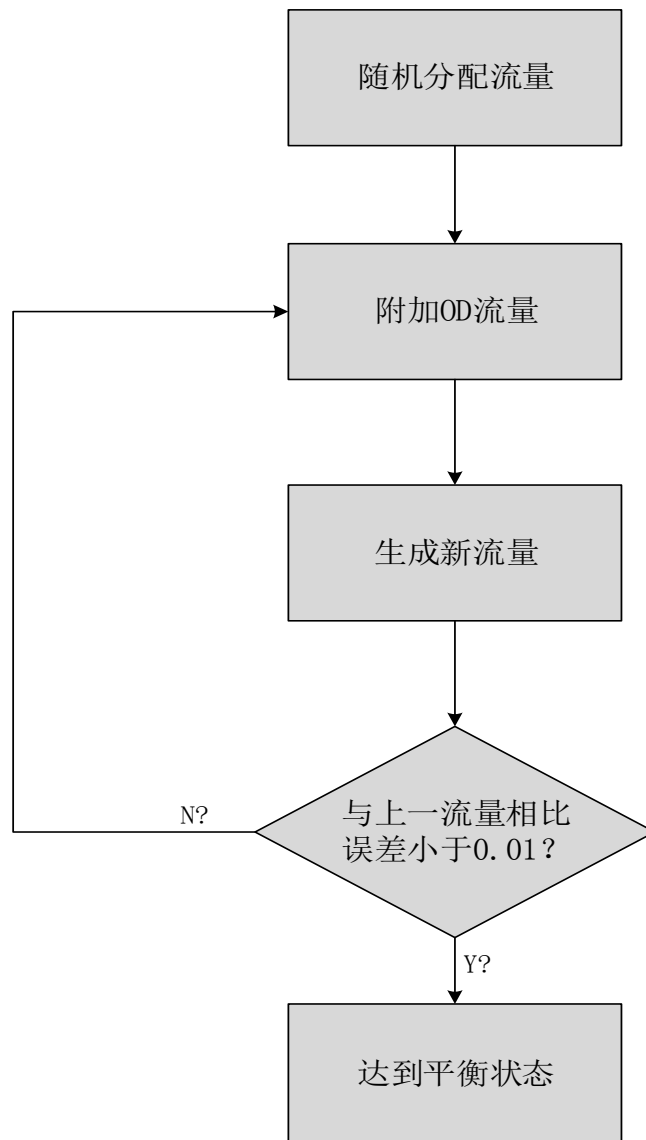


图 4-8 MSA 算法流程图

具体步骤:

Step1:获取合理的OD总量

OD量是指起点与终点之间的交通通行量，以下OD均指系统中任意两两位点之间交通通行量的总和。

假定构建的数学模型中 A、B 两条道路为快速车道，C、D 两条道路为主干路，根据《城市道路工程设计规范（CJJ-37-2012）》知快速车道和其他路段的平均设计通行能力如下：

表 4-4 基本路段一条车道的通行能力

车道类型	快速车道			其他等级道路				
设计速度 (km/h)	100	80	60	60	50	40	30	20
设计通行能力 (pcu/(km·ln))	2000	1750	1400	1400	1350	1300	1200	1100
平均设计通行能力 (pcu/(km·ln))	1766			1307				

Step2:赋权分配OD量

构造相对占道指数概念：以小汽车为基准，其他类型车辆相对于小汽车的占道倍数为相对占道指数。

根据合肥市中心的常规交通流量分别选取货车、小汽车、公交车、轻型载货车、非机动车辆的OD量，按照表? 计算得到各个路段的OD量。以每条主干路的面积与总道路面积之比为首次分配权重将OD总量分配到各个路段，得到各个路段初始的OD量：

$$x_i^0 = OD \times \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}, (i=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

式中 x_i^0 为第一次赋权分配后第*i*条路段的OD量； S_i 为第*i*条路段的面积。

表 4-5 以小汽车为基准的相对占道指数

车辆类型	货车	小汽车	公交车	轻型载货车	非机动车
相对占道指数	4	1	2	0.5	0.25

Step3: 向后逐步位移法选择可达路径

向后逐步位移法是基于虚拟变量和排列组合筛选可达路径的方法，首先构造0-1矩阵（两两位点之间有直接可达路径元素值则为1，间接可达路径元素值为0），以排列组合方式得到所有可能可达路径，最后向后逐步排除无效位点得到最终的可达路径。

给定任意一个起点与终点，引入虚拟变量筛选出所有的可达路径。

例如：

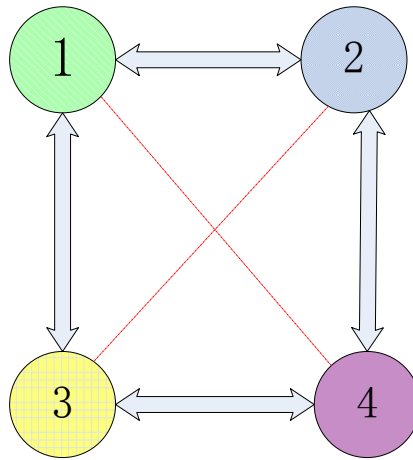


图 4-9 四点简化图-

（箭头为直接可达路径，虚线为间接可达路径）

以 1 为起点，4 为终点，筛选1→4之间所有的可达路径：

构造0-1矩阵：

$$q = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

将 1、4 之外的中间位点全排列，得到两条初始路径：

$$\begin{cases} 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \\ 1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \end{cases},$$

然后对每条路径的最后一个有效位点 x 与后一位点 y 相联系，在0-1矩阵中若 $q(x,y)$ 值为1，则保留 y 位点，若 $q(x,y)$ 值为零，则删除 y 位点，将 x 再与新的后一位点 y 判断。以向后逐步位移法则依次筛选，直到到达终点 4。经

过判断，两条初始路径均为可达路径。

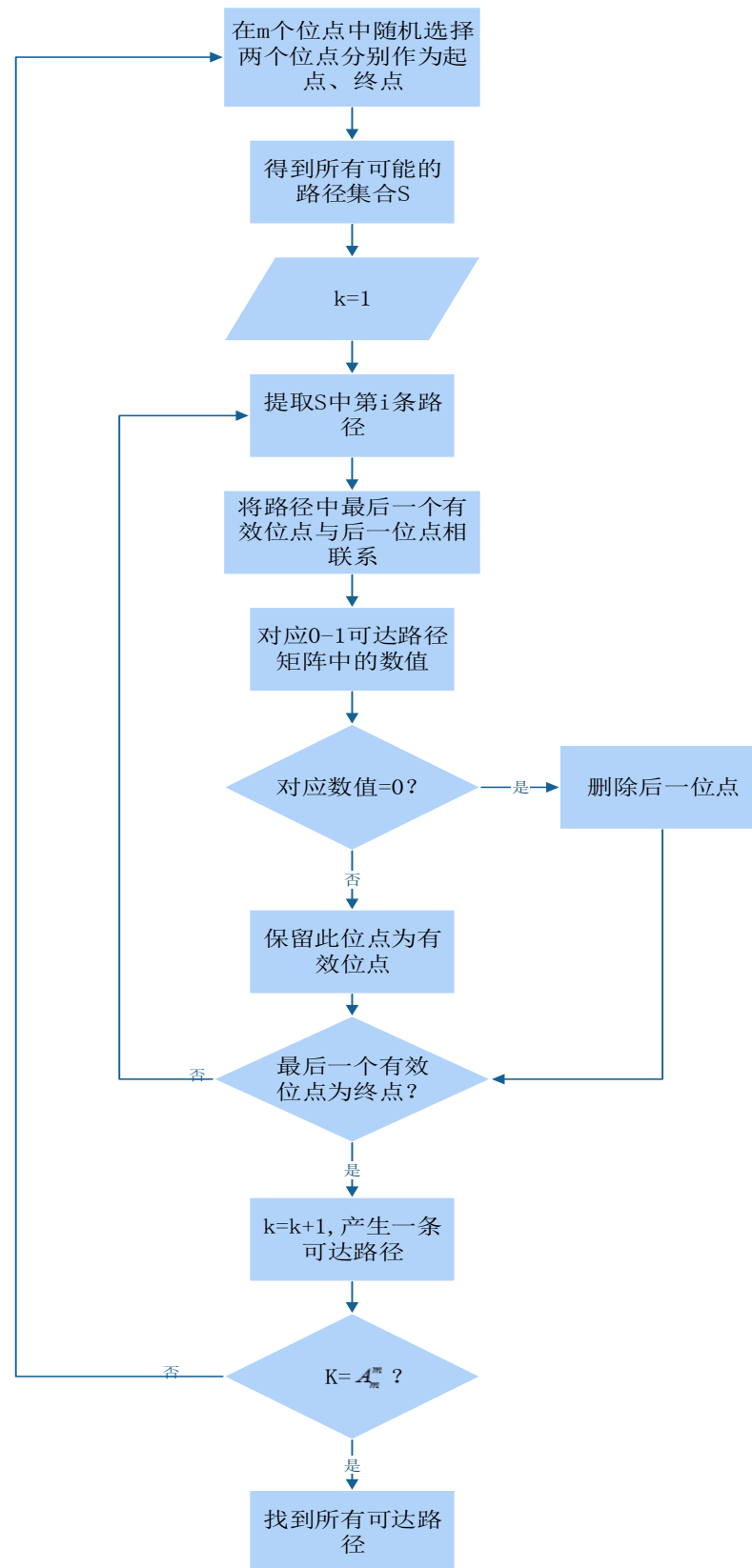


图 4-10 向后逐步位移法流程图

Step4: 基于改进的 BPR 函数计算路阻系数

根据文献[4], 本文采用交叉路口平均延误时间的计算方法, 表达式为:

$$d_1 = \frac{0.5T(1 - \frac{t_g}{T})}{1 - [\min(1, x) \cdot \frac{t_g}{T}]}$$
 (8)

式中: T 为红绿灯周期长度;

x 为饱和度 V/C , 指在理性条件下, 最大服务交通量与基本通行能力之比;

t_g 为可通行绿灯时间。

根据《城市道路工程设计规范 (CJJ-37-2012)》:

表 4-6 服务量与基本通行能力

车道类型	快速车道			其他等级道路				
设计速度	100	80	60	60	50	40	30	20
最大服务交通量	1520	1280	990	950	880	740	700	650
基本通行能力	2200	2100	1800	1800	1700	1650	1600	1400
平均最大服务交通量	1307			823				
平均基本通行能力	2067			1675				

改进前的 BPR 函数:

$$t_{ij} = a_{ij} + b_{ij}g_{ij}, (i, j = 1, 2, 3, 4)$$
 (9)

式中 t_{ij} 为从第 i 条道路到第 j 条道路的行程时间;

a_{ij} 为从第 i 条道路到第 j 条道路的无障碍通过时间;

b_{ij} 为从第 i 条道路到第 j 条道路的延误参数, $b_{ij} = \alpha(\frac{V_{ij}}{C_{ij}})^\beta a_{ij}$, 根据道路

公交车通行数量及其站点数等确定 $\alpha = 0.25, \beta = 4$;

g_{ij} 为从第 i 条道路到第 j 条道路的所有路径交通量之和。

改进后的 BPR 函数:

由于现实中的交通道路为双向车道，不仅受行人、非机动车、轻型载货车的影响，还受行人横流的影响，所以在本文中对 BPR 函数进行改进：

当自行车交通流量没有超过道路通行限制时，自行车干扰系数取 0.75，当自行车交通流量超过道路通行限制时，自行车干扰系数参照文献[4]计算得到：

表 4-7-行人干扰系数

行人干扰系数	无干扰	轻微干扰	一般干扰	中度干扰	重度干扰
λ	1	0.9	0.6	0.3	0

$$\lambda_1 = 0.75 - (b/B - D_2)/D_1$$

式中 λ_1 为自行车干扰系数；

b 为实际自行车交通量；

B 为非机动车道路自行车设计通行能力；

D_2 为非机动车道路宽度；

D_1 为道路总宽度。

综上分析，改进后的 BPR 函数模型为：

$$T = \begin{cases} a_{ij} + \alpha \left(\frac{V_{ij} \cdot \lambda_1}{\lambda C_{ij}} \right)^\beta \cdot g_{ij} + d_1, \lambda_1 \geq 1 \\ a_{ij} + \alpha \left(\frac{V_{ij}}{\lambda \cdot \lambda_1 \cdot C_{ij}} \right)^\beta \cdot g_{ij} + d_1, 0 \leq \lambda_1 < 1 \end{cases} \quad (10)$$

代入公式得到：

$$T = \begin{cases} a_{ij} + 0.25 \times \left(\frac{V_{ij} \cdot [0.75 - (b/B - D_2)/D_1]}{0.75 \times C_{ij}} \right)^4 \cdot g_{ij} + \frac{0.5T(1 - \frac{t_g}{T})}{1 - [\min(1, x) \cdot \frac{t_g}{T}]}, \lambda_1 \geq 1 \\ a_{ij} + 0.25 \times \left(\frac{V_{ij}}{0.75 \times [0.75 - (b/B - D_2)/D_1] \times C_{ij}} \right)^4 \cdot g_{ij} + \frac{0.5T(1 - \frac{t_g}{T})}{1 - [\min(1, x) \cdot \frac{t_g}{T}]}, 0 \leq \lambda_1 < 1 \end{cases}$$

Step5: 基于路阻系数更新权重重新分配 OD 量

以上步骤中计算出来的各个路段路阻系数为新的权重，将原有的 OD 量按照更新后的权重重新分配，得到 y^1 ，将 y^1 与上一次分配的各个路段的交通流量加权平均，得到实际交通流量 x^1 。

$$x^1 = (1-\gamma)y^1 + \gamma \cdot x^0$$

式中 $\gamma_k = \frac{c_1}{c_2 + k}$ ， γ_k 为第 k 次的权重系数；

k 为循环次数；

c_1 、 c_2 均大于零。

Step6: 以连续两次实际分配流量标准差之差恒定交通通行平衡状态

重复步骤二至步骤五，直到达到系统交通通行状态平衡。按照如下公式计算系统交通流量的标准差，与上一次分配的系统交通流量的标准差相比较，如果差值小于误差允许范围 ε ，则认为系统交通通行状态达到平衡。标准差公式如下：

$$\sigma = \sqrt{(x_1^n - \bar{x}^n)^2 + (x_2^n - \bar{x}^n)^2 + (x_3^n - \bar{x}^n)^2 + (x_4^n - \bar{x}^n)^2} \quad (11)$$

其中 $\bar{x}^n = \frac{x_1^n + x_2^n + x_3^n + x_4^n}{4}$

Step7: 根据上述评价指标体系求解出小区开放前平衡状态的综合评价指数。

由平衡状态计算得出交通流量、行程车速、饱和度、路网非直线系数、路网密度、道路拥挤指数和交通运行指数的数值，根据指标体系的权重得到综合评价指数。

Step8: 开放小区后再次求得交通通行状态的综合评价指数

本文中设计小区开放十字道路来缓解交通流量，如图：。

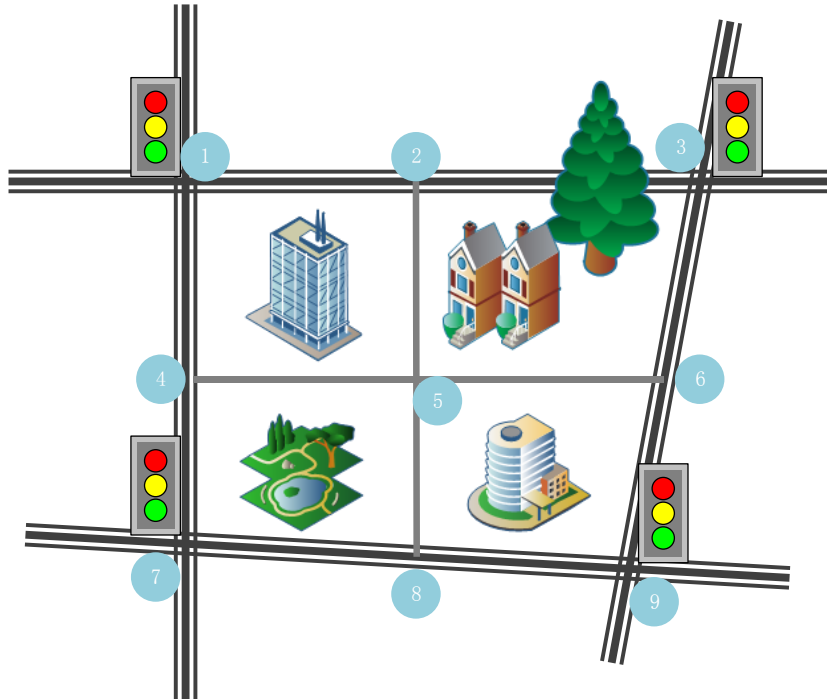


图 4-11 开放小区后模型图

按照概率分布的规律首次分配 OD 总量。先将与步骤一中的 OD 总量按照权重分配到原系统的四条主干道，得到各个主干路段的 OD 量，主干道路上的车辆以一定概率随机进入小区内部十字道路，以四条主干路的路阻系数为权重，将各个路段的 OD 量分流进入小区内部开放道路，得到各个路段的初始 OD 量。

筛选任意两两位点之间的可达路径，例如：

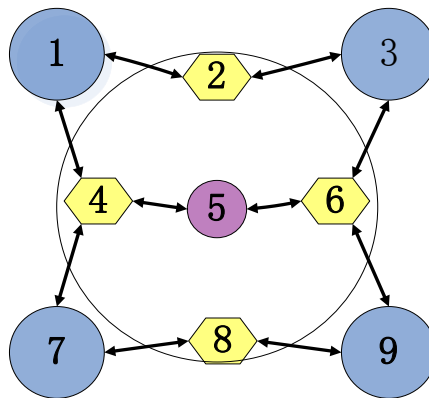


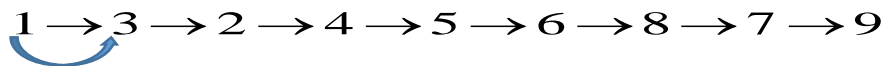
图 4-12 九点简化图

构造 0-1 矩阵：

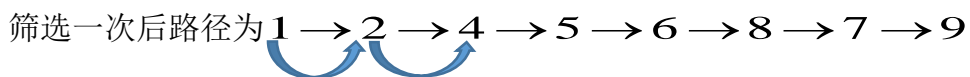
$$q = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

假设以 1 为起点，以 9 为终点，筛选所有的可达路径：

将中间位点 2、3、4、5、6、7、8 排列组合得到 A_7^7 种组合，任意选取其中一条路线，



$q(1,3)=0$ ，所以去除 3 这个位点，则最后一个有效位点仍为 1



$q(1,2)=1$ ， $q(2,4)=0$ ，所以保留 2 位点，去除 4 位点，最后一个有效位点为 2

以此规律筛选，直到最后一个有效位点为终点 9 时停止。得到最终可达路径



重复此方法筛选出所有的可达路径。

然后同上述步骤四至步骤七，计算得到开放小区后交通通行平衡状态综合评价指数，将小区开放前后的综合评价指数比较，指数越大说明交通通行状态越畅通。

4.2.3 论证模型的合理性

本节将附录二中的实际数据代入已建立的模型中，比较小区开放前后交通通行的综合评价指数，如果小区开放后的综合评价指数显著增大，则模型合理。

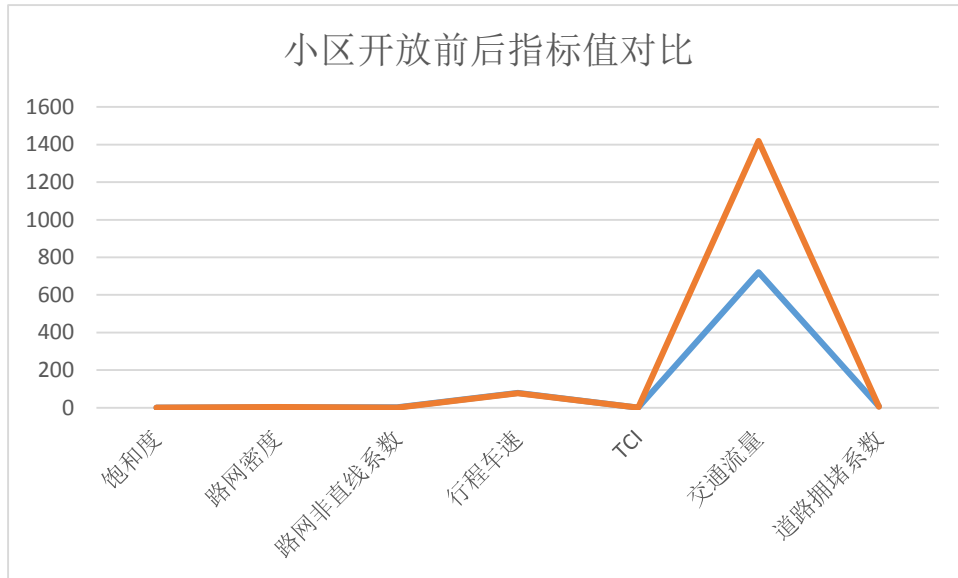


图 4-13 小区开放前后指标值对比图

根据图 4-13 分析可得问题二中的模型建立合理。

4.3 问题三定量评价小区开放对周边道路的影响

4.3.1 问题三的分析思路

问题三要求选择不同类型的小区，运用问题二中已建立的模型定量比较小区开放与否对周边道路交通的影响，因此本节主要考虑在以小区建筑布局、周边道路结构、周边道路行车流量等为分类标准的情况下，分别针对不同类型的小区，量化评估小区开放前后道路交通系统通畅程度的变化。

先设置小区类型为封闭式小区，将这些参数代入 4.2 所建立的交通流量平衡模型，计算出交通平衡状态下小区周边道路交通系统的车辆分布情况，然后结合问题一中已构建的用以评价道路通行状态的综合评价指标体系，计算出综合评价指数。

再假定小区为开放式小区，此时交通系统参数发生变动，再将这些已知参数代入前述模型，重复上述步骤，计算出小区开放后的综合评价指数。

最后，比较开放前后的两个综合评价指数，采用假设检验方法检验两个数值之间是否存在显著差异，即小区开放前后对道路通行是否有影响，以及该影响是正面的还是负面的。

4.3.2 根据不同标准划分小区类型

I. 根据小区建筑结构划分小区类型

小区建筑结构复杂，在实际中，一个小区的建筑类型大部分是混合型的，在本文中，将小区类型单一化。

(1) . 块状式布局小区

如图：



图 4-14 块状式布局小区

块状式布局小区是比较传统的小区类型，小区内部按照一定比例将小区整齐的划分为块状区域，以其开放后最大承受能力为准则，在块状式布局小区内部选择建设“#”字道路为研究模型。

(2) . 中轴线布局小区

如图：



图 4-15 中轴线布局小区

中轴线布局小区的中间轴线一般是线性的道路，已经较为接近交通道路的规范，开放中间轴线道路和垂直中轴线的横向道路就可以将小区分割为较为封闭的四部分，并且能很大程度连接小区内部交通和外部交通。所以选择建设“十”字型开放道路为研究模型。

(3) . 中心式布局小区

如图：



图 4-16 中心式布局小区

中心式布局小区一般以小区标志性建筑为中心，建筑物围合在中心建筑周围，中心建筑物周围道路较为宽敞，而其他楼群处楼间距较小，所以选择建设“一”字型开放道路为研究模型。

(4) . 紧凑式布局小区

紧凑式布局小区面积相对小，布局紧凑集约，楼间距较小，若开放小区存在可能导致小区内部拥堵严重的隐患，所以不适合开放以缓解交通通行状况。

II. 根据周边道路结构划分小区类型

(1) . 四路环绕型小区

如图：

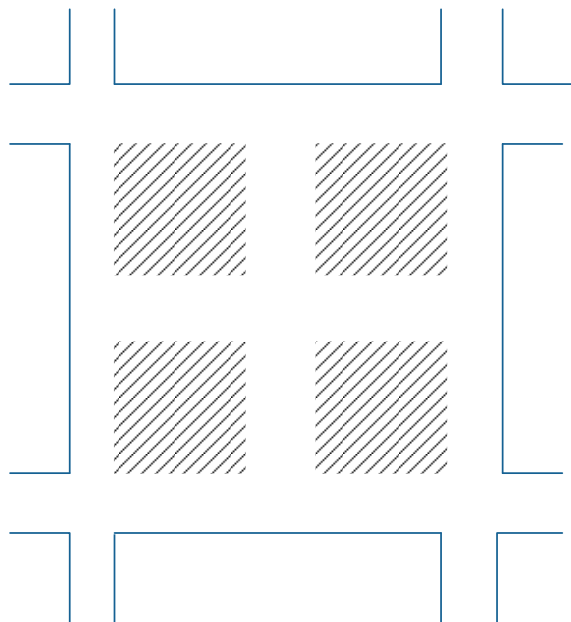


图 4-17. 四路环绕型小区的路网结构

四路环绕型小区处于四条交通干道中间，开放此类型小区更好的连接交通干道的车流量，所以选择开放“十”字型道路为研究模型。

(2) . 三路环绕型小区

如图：

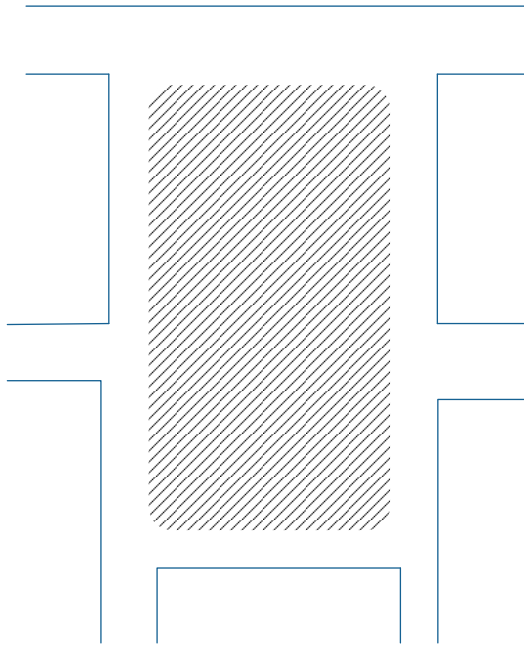


图 4-18 三路环绕型小区

三路环绕型小区位于两个丁字路口的中间，但是两边道路之间只有一条直接连接道路，开放小区可以增加道路连接，为主横向道路分流。所以选择横向“一”字型道路为研究模型。

(3) .放射状道路环绕型小区

如图：



图 4-19 放射状道路环绕型小区

III. 根据周边道路车流量划分小区类型

以四路环绕型小区为基本模型，研究周边道路的车流量，若车流量较小，则小区周边道路不易发生拥堵情况，开放小区反而会造成安全隐患和破坏路网

结构的后果，所以周边道路不易发生拥堵情况的小区不适合开放。所以选择周边道路车流量较大的小区为研究模型。

IV. 根据小区面积划分小区类型

小区面积较小的小区，小区内部道路狭窄，人口相对密度较大，而且假设开放也不会较大的改善周边交通通行能力。所以选择小区面积较大的小区为研究模型。

4.3.3 数据的收集与整理

I. 查询和抽样调查法获得数据

通过查询法获取本文数学模型实际地区的道路长度、道路宽度、道路容量、快速车道和主干路限速、单向非机动车道路宽度、单向机动车道路宽度、红绿灯周期长度和可通行绿灯时间。用抽样调查的方法在一天中的各个时段随机抽取一个小时调查得到自行车实际流量的数值，求取加权平均值得到各个路段的实际自行车流量。权重如下：

表 4-8-抽样调查权重表

时间段	[0, 5]	[5, 9]	[9, 12]	[12, 16]	[16, 19]	[19, 24]
权重	0.1	0.3	0.1	0.2	0.2	0.1

II. 整理数据

- (1) .将收集得到的数据按照综合评价指标体系分类；
- (2) .根据问题二的模型和表格指标公式?? 计算得到各个指标的数值和交通通行能力的综合评价指数。

4.3.4 根据评价指标体系定量分析

根据假设的开放路径按照问题二的模型计算得到附录? 的数据，分别绘制不同标准下开放小区前后的指标值的折线图，如下所示：

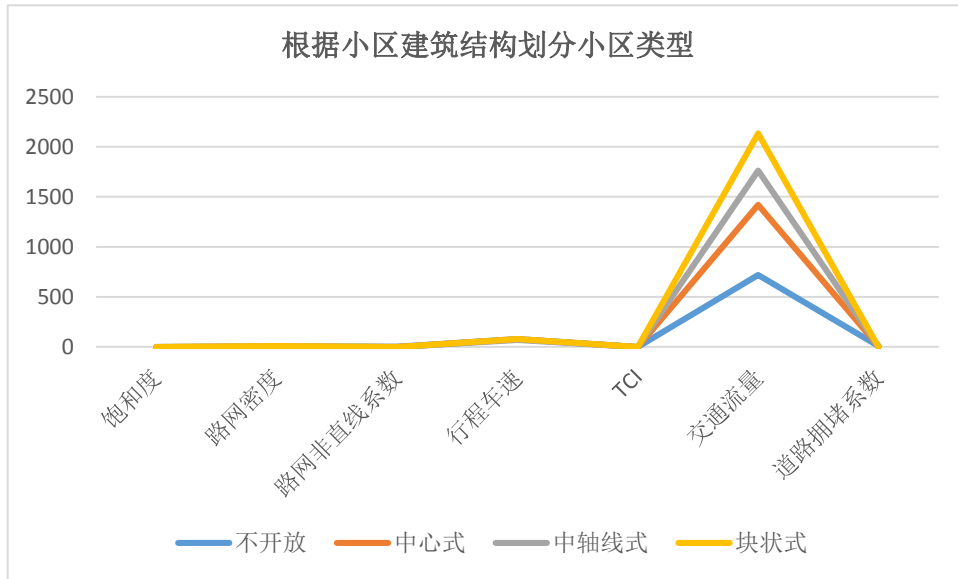


图 4-20-根据小区建筑结构划分小区类型的不同指标值

由图 4-20 分析，块状式布局小区的指标值比其他类型小区的指标值合理，根据问题一建立的综合指标评价体系得块状式布局小区开放后对周边道路交通通行的影响显著增大。

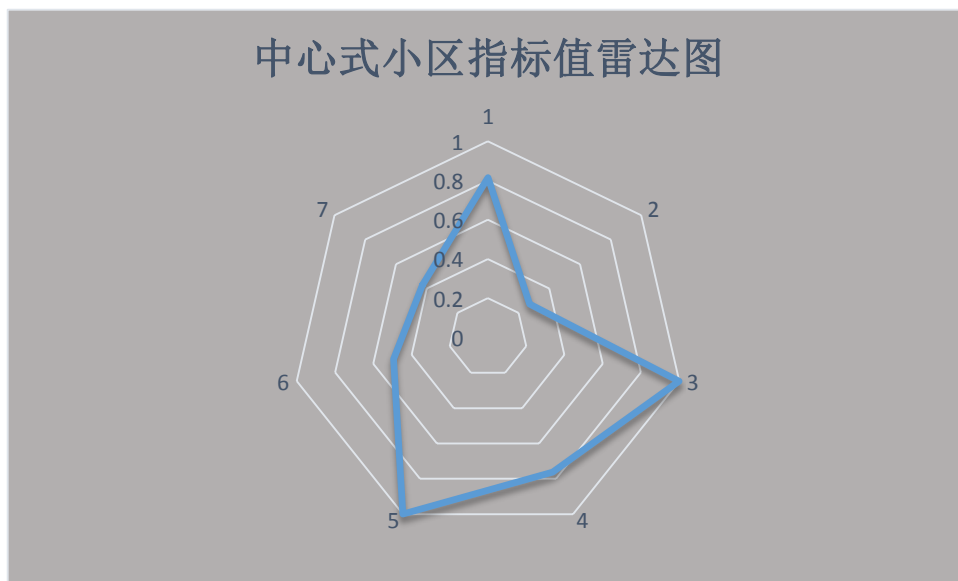


图 4-21 中心式小区指标值雷达图

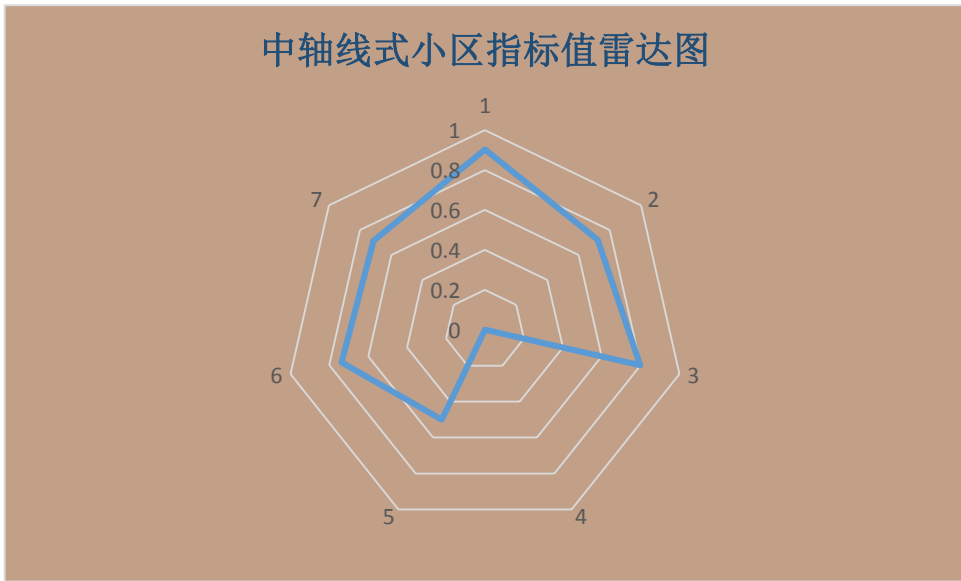


图 4-22 中轴线式小区指标值雷达图

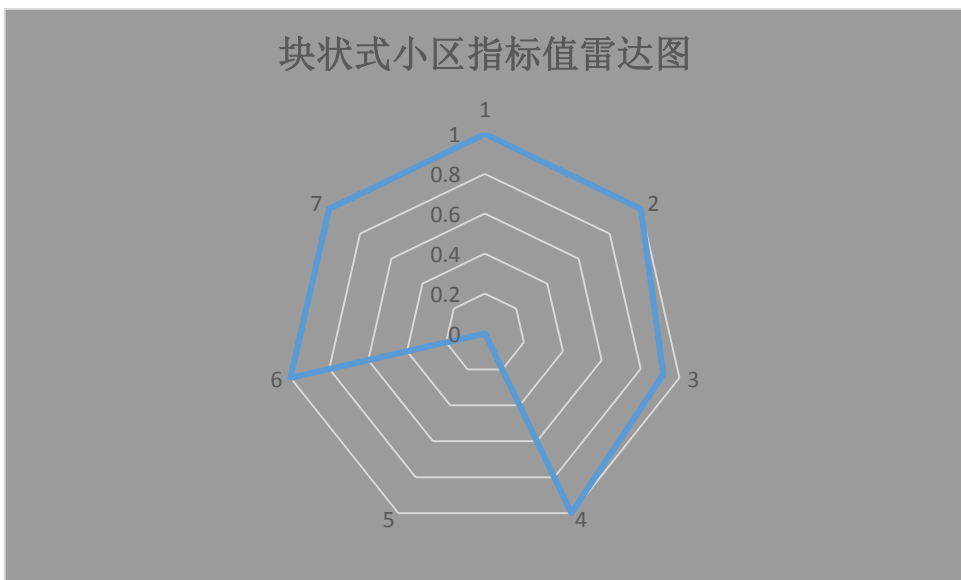


图 4-23 块状式小区指标值雷达图

根据上述三个雷达图，分析得到各个指标的大致分布状况。

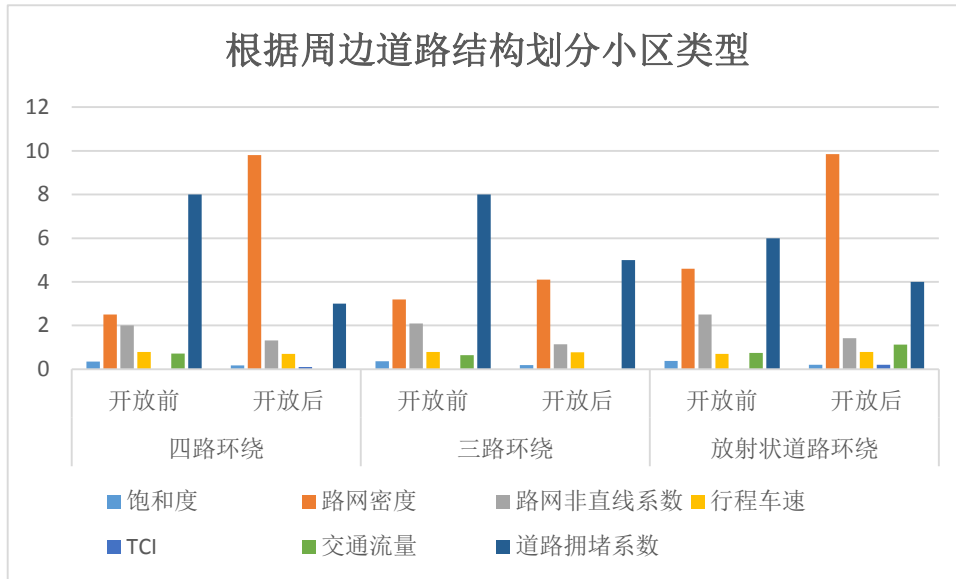


图 4-24-根据周边道路结构划分小区类型的不同指标值

由图 4-24 分析，四路环绕型小区的指标值比其他类型小区的指标值合理，根据问题一建立的综合指标评价体系得四路环绕型小区开放后对周边道路交通通行的影响显著增大。

4.3.5 确定具有必要的开放小区类型

综上所述，按照综合标准来衡量处于四路环绕地区的块状式布局小区最具开放价值，即开放此类型小区后对周边道路通行的影响最显著。其次，处于四路环绕地区的中轴线式布局小区仅次于同位置的块状式小区，同样具有较高的开放价值。

4.4 问题四的模型建立与求解

4.4.1 问题四以交通通行状态最优为目标建立优化模型

本小节综合了前面所构建的综合评价指标体系、小区交通系统模型、以及开放不同类型小区引起的道路通行情况的变化，利用这些已知信息建立了一个道路通行最优化模型，研究如何建设道路可以在控制总成本的前提下使得道路通行质量优化效果最显著，并计算给出了最优解和最优值。

为了给出合理可行的建议，首先构建一个道路通行最优化模型，其目标是在

满足限定条件的情况下寻求道路通行状态的最优化,结合前面构建的评价指标体系,也就是综合指标值最大化。根据 4.3 的分析结果,选取四路环绕型小区(图 4-17)作为优化对象,假定要在图中小区内部水平方向、竖直方向各修建一条道路。

下面给出该道路通行最优化模型的方程:

目标函数:

$$\max M' = \Delta M \quad (12)$$

约束条件:

$$\begin{cases} \mu l_1 x_1 + \mu l_2 x_2 \leq c \\ a_{ij} + 0.25 \times \left(\frac{V_{ij} \cdot [0.75 - (b/B - D_2)/D_1]}{0.75 \times C_{ij}} \right)^4 \cdot g_{ij} + \frac{0.5T(1 - \frac{t_g}{T})}{1 - [\min(1, x) \cdot \frac{t_g}{T}]}, \lambda_1 \geq 1 \\ a_{ij} + 0.25 \times \left(\frac{V_{ij}}{0.75 \times [0.75 - (b/B - D_2)/D_1] \times C_{ij}} \right)^4 \cdot g_{ij} + \frac{0.5T(1 - \frac{t_g}{T})}{1 - [\min(1, x) \cdot \frac{t_g}{T}]}, 0 \leq \lambda_1 < 1 \\ 0 \leq x_1 < 2, 0 \leq x_2 < 3 \end{cases}$$

其中 ΔM 是小区开放前后道路通行综合指标的变化值,目标函数即为求 ΔM 的最大值。 x_1 为图中水平方向待修建道路的宽度, x_2 为图中竖直方向待修建道路的宽度,也就是本优化模型的解释变量,单位均为千米 (km); 参数 μ 为修建小区内道路的单位成本,其单位是万元/平方米 (万元/ m^2),本模型中将其设置为 0.5; l_1 为图中水平方向待修建道路的长度, l_2 为图中竖直方向待修建道路的长度,单位均为千米 (km); c 为预算金额,即总成本最高限制值,其单位是万元,在本模型中将其设置为 2000。

限制条件中第一行是成本控制函数,用以控制总成本不超过预算;第二、三行是平衡状态函数,用以使交通流系统达到平衡。

用 MATLAB 软件对上述最优化模型进行求解,分别得到最优值 $\max M'$ 和最优解 $(x_1, x_2)^T$:

$$\max M' = 0.159$$
$$(x_1, x_2)^T = (9.274, 17.693)^T$$

4.4.2 建议

前面 4.4.1 所构建的最优化模型可以扩大化到更多情况。例如其它结构类型的小区，也可以简化抽象为这种四路环绕型小区进而进行求解；小区内建设的道路可以不只是横竖两条，可以是每个方向两条甚至更多条，可以将之等效为将原先一条道路的宽度扩展到两倍或多倍。

(1) 根据 Braess 悖论，城市规划者有意识的添加捷径可能但反而会导致道路阻塞，因此应当谨慎的处理小区的开放问题

(2) 应当处理好封闭小区开放的路口多少的问题，因为城市道路每新增一个路口都会造成 BPR 路阻函数的增加，从而影响到主干道路的车流量分配，可能会增加平均出行时间。

(3) 应当合理的规划自行车道与机动车道的比例，过高的自行车道占有比例会影响到机动车道的平均行驶速度。

(4) 根据街区道路的多少和通行的早晚高峰动态地设置交通灯的周期和有效绿灯的时间有利于减小路阻函数。

(5) 城市规划和交通管理部门在制定城市交通系统结构时，应考虑到小区本身的性质，应用合适的交通优化分配模型，有针对性地制定交通政策，而不应针对不同类型的小区一概而论。

五、模型评价

5.1 模型的优点

分别建立了基于层次分析法和群决策的综合评价指标体系、基于 MSA 算法的交通流量平衡分配模型、向后逐步位移法选择可达路径模型、基于改进的 BPR 函数计算路阻系数模型。

基于 MSA 算法的交通流量平衡分配模型主要解决固定交通流量的情况下，交通流量在各个路段平衡分配的问题。向后逐步位移法选择可达路径模型主要解决数学模型中任意两两位点的所有的直接可达路径。

基于改进的 BPR 函数计算路阻系数模型主要计算各个路段的路阻系数，由于原 BPR 函数未考虑行人、非机动车、轻型载货车的影响，所以改进 BPR 函数，加入更多的影响因素，使模型更实际化、合理化。

5.2 模型不完善点

由于时间的限制，本文只研究了系统中只有一个小区的模型，未考虑多个小区同时开放的情况，并且模型中简单化了小区周边道路结构，具有局限性。

模型中未考虑人口密度、小区中户主车辆总数等衡量不同小区之间的指标。

参考文献

- [1] 李军, 何炼. 住区的封闭与开放——解读“中央花园”与“风华天城”住宅小区[J]. 新建筑, 2007(1):93-96.
- [2] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5):148-153.
- [3] 李向朋. 城市交通拥堵对策——封闭型小区交通开放研究[D]. 长沙理工大学, 2014.
- [4] 任福田, 刘晓明, 宋建. 交通工程学[M].北京: 人民交通出版社. 2008 (08), 169-170
- [5] 孙超. 城市道路交通状态评价分析研究[D]. 华南理工大学, 2010.
- [6] 葛长飞. 城市道路交通网络性能评价研究[D]. 西安工业大学, 2010.
- [7] 许良. 基于可靠性分析的城市道路交通网络设计问题研究[D]. 北京交通大学, 2006.
- [8] 黎茂盛. 平衡交通流的若干问题研究[D]. 中南大学, 2004.
- [9] 刘剑锋. 基于换乘的城市轨道交通网络流量分配建模及其实证研究[D]. 北京交通大学, 2012.

附录

附录一：三位专家基于七个指标的互反判断矩阵

专家 1	交通流量	行程车速	饱和度	路网非直线系数	路网密度	道路拥堵指数 (TCI)	交通运行指数
交通流量	1.0000	2.0000	0.5000	5.0000	3.0000	0.2000	3.0000
行程车速	0.5000	1.0000	0.3333	3.0000	1.0000	0.2000	0.3333
饱和度	2.0000	3.0000	1.0000	7.0000	3.0000	0.3333	5.0000
路网非直线系数	0.2000	0.3333	0.1429	1.0000	0.3333	0.1429	0.5000
路网密度	0.3333	1.0000	0.3333	3.0000	1.0000	0.1667	2.0000
道路拥堵指数 (TCI)	5.0000	5.0000	3.0000	7.0000	6.0000	1.0000	7.0000
交通运行指数	0.3333	3.0000	0.2000	2.0000	0.5000	0.1429	1.0000
专家 2	交通流量	行程车速	饱和度	路网非直线系数	路网密度	道路拥堵指数 (TCI)	交通运行指数
交通流量	1	3	7	8	3	0.3333	0.25
行程车速	0.3333	1	2	3	2	0.2	0.1667
饱和度	0.1429	0.5	1	2	0.3333	0.2	0.1429
路网非直线系数	0.125	0.3333	0.5	1	0.3333	0.1429	0.125
路网密度	0.3333	0.5	3	3	1	0.25	0.2
道路拥堵指数 (TCI)	3	5	5	7	4	1	0.5
交通运行指数	4	6	7	8	5	2	1
专家 3	交通流量	行程车速	饱和度	路网非直线系数	路网密度	道路拥堵指数 (TCI)	交通运行指数
交通流量	1	5	3	4	0.5	0.25	0.5
行程车速	0.2	1	0.3333	0.5	0.2	0.1429	0.25
饱和度	0.3333	3	1	2	0.3333	0.2	0.3333
路网非直线系数	0.25	2	0.5	1	0.2	0.1429	0.25
路网密度	2	5	3	5	1	0.5	2
道路拥堵指数 (TCI)	4	7	7	7	2	1	4
交通运行指数	2	4	3	4	0.5	0.25	1

附录二：四路环绕型小区开放前参数值

道路限速矩阵 Km/h	1	2	3	4
1	0	100	100	0
2	100	0	0	60
3	100	0	0	60
4	0	60	60	0

容载量 Veh/h		1	2	3	4
	1	0	600	600	0
	2	600	0	0	280
	3	600	280	0	280
	4	0	280	280	0
道路长度 Km		1	2	3	4
	1	0	3	3	0
	2	3	0	0	2
	3	3	0	0	2
	4	0	2	2	0
q_bike 自行车流量		1	2	3	4
	1	0	75	42	0
	2	69	0	0	102
	3	56	0	0	103
	4	0	103	126	0
Q_bike 设计自行车流量		1	2	3	4
	1	0	100	100	0
	2	100	0	0	200
	3	100	0	0	200
	4	0	200 200	0	
W1 自行车道宽度		1	2	3	4
	1	0	3	3	0
	2	3	0	0	4
	3	3	0	0	4
	4	0	4	4	0
W2 机动车道宽度		1	2	3	4
	1	0	23	23	0
	2	23	0	0	15
	3	23	0	0	15
	4	0	15	15	0
T 信号灯周期		1	2	3	4
	1	0	90	90	0
	2	90	0	0	60
	3	90	0	0	60
	4	0	60	60	0

tg 绿灯时间	1	2	3	4
1	0	36	36	0
2	36	0	0	23
3	36	0	0	23
4	0	23	23	0
两点间位移	1	2	3	4
1	0	3	3	3.6
2	3	0	3.6	2
3	3	3.6	0	2
4	3.6	2	2	0
平衡车辆分布	1	2	3	4
1	0	116	117	0
2	117	0	0	145
3	116	1	0	145
4	0	145	145	0

附录三：层次分析法的 matlab 程序

```

clear all;
A{1}=[1.0000  3.0000  7.0000  8.0000  3.0000  0.3333  0.2500;
0.3333  1.0000  2.0000  3.0000  2.0000  0.2000  0.1667;
0.1429  0.5000  1.0000  2.0000  0.3333  0.2000  0.1429;
0.1250  0.3333  0.5000  1.0000  0.3333  0.1429  0.1250;
0.3333  0.5000  3.0000  3.0000  1.0000  0.2500  0.2000;
3.0000  5.0000  5.0000  7.0000  4.0000  1.0000  0.5000;
4.0000  6.0000  7.0000  8.0000  5.0000  2.0000  1.0000;
];
A{2}=[1.0000  2.0000  0.5000  5.0000  3.0000  0.2000  3.0000;
0.5000  1.0000  0.3333  3.0000  1.0000  0.2000  0.3333;
2.0000  3.0000  1.0000  7.0000  3.0000  0.3333  5.0000;
0.2000  0.3333  0.1429  1.0000  0.3333  0.1429  0.5000;
0.3333  1.0000  0.3333  3.0000  1.0000  0.1667  2.0000;
5.0000  5.0000  3.0000  7.0000  6.0000  1.0000  7.0000;
0.3333  3.0000  0.2000  2.0000  0.5000  0.1429  1.0000;
];
A{3}=[1.0000  5.0000  3.0000  4.0000  0.5000  0.2500  0.5000;
0.2000  1.0000  0.3333  0.5000  0.2000  0.1429  0.2500;
0.3333  3.0000  1.0000  2.0000  0.3333  0.2000  0.3333;
0.2500  2.0000  0.5000  1.0000  0.2000  0.1429  0.2500;
2.0000  5.0000  3.0000  5.0000  1.0000  0.5000  2.0000;
4.0000  7.0000  7.0000  7.0000  2.0000  1.0000  4.0000;
2.0000  4.0000  3.0000  4.0000  0.5000  0.2500  1.0000;
]; %定义三个专家判断矩阵

```

```

L=[1/3,1/3,1/3]; %每个专家所占的权重
for count=1:3 %计算归一矩阵
    tmp=sum(A{count}); %对 A 中的矩阵按列求和
    for j=1:7
        B{count}(:,j)=A{count}(:,j)/tmp(1,j); %B 中的第 j 列元素等于 A 中的
第 j 列元素除以每一列的和
    end
end
w1=zeros(7,3);
for count=1:3
    w1(:,count)=sum(B{count},2); %w1 的某一列等于 B 按行求和
end
w2=zeros(7,3);
for count=1:3
    sumw1=sum(w1); %对 w1 按列求和
    w2(:,count)=w1(:,count)/sumw1(1,count); %w2 的每一列等于 w1 的某一列除
以某一列的和
end
for count=1:3
    la=eig(A{count});
    CRa(1,count)=(max(la)-7)/(7-1)/1.36; %用来判断自己构造的矩阵
是否符合要求
end
w_f=w2(:,1).^L(1,1).* w2(:,2).^L(1,2).* w2(:,3).^L(1,3); %获得几何平
均权向量,
w_f=w_f/sum(w_f);
label={'交通流量','行程车速','饱和度','路网非直线系数','路网密度','交通拥堵指
数','交通运行指数'};%输入标签
baifenbi=num2str(w_f*100,'%1.2f');%计算百分比
baifenbi=[repmat(blanks(2),length(w_f),1),baifenbi,repmat('%',length(
w_f),1)];
baifenbi=cellstr(baifenbi);
Label=strcat(label,baifenbi');
pie(w_f,Label)
colormap([1,0,0 %第一个是红的
0,1,0 %第二个是绿的
0,0,1 %第三个是蓝的
0,0,0 %第四个是黑的
0,0,0.04
0,0.2,0.9
0.8,0.5,0.6])

```

附录四：MSA 模型的 matlab 程序

```
function Car=MSA(Capacity,OD,alpha,q_bike,Q_bike,W1,W2,T,tg)
```

```

%输入
%Capacity 每一条道路得车到容量
%OD 2*1矩阵, 起点终点
% alpha 在ij路段自由行走时间矩阵
%q_bike 实测自行车的车流量
%Q_bike 非机动车辆每米自行车的设计通行能力
% w1 单向非机动车道宽度
% w2 单向机动车道宽度
%T 信号灯周期长度 s
%tg 有效绿灯时间

%输出
%Car 街区每一条街道车辆分布矩阵
Capacity_x=zeros(size(Capacity,1));
[row,col]=find(Capacity>0);
for i=1:size(row,1)
Capacity_x(row(i),col(i))=1; %转换成01矩阵
end
Path_OD=lujing_search(Capacity_x,OD); %找到起始点和终点的路径矩阵
Block_car=zeros(size(Capacity)); %初始化每一条街道的车辆分
布状况
Capacity_row=[]; %将记录两两街区的初始
化为空矩阵
Capacity_col=[];
for count=1:size(Path_OD,1) %根据路径矩阵求出每一条路径
初始权向量按照每条道路的车子容纳量
pathod=Path_OD(count,:); %找到第count条路径
[row,col]=find(pathod>0);
for i=1:size(col,2)-1
Capacity_row(1+size(Capacity_row,1),1)=pathod(1,i); %找到
街区的行与列向量
Capacity_col(1+size(Capacity_col,1),1)=pathod(1,i+1);
end
end
x_y1=[Capacity_row,Capacity_col];
x_y2=[Capacity_row,Capacity_col];
x_y=intersect(x_y1,x_y2,'rows'); %找出路径
sum_Capacity_path=0;
for i=1:size(x_y,1) %求出所有可行路
径承载量之和
sum_Capacity_path=Capacity(x_y(i,1),x_y(i,2))+
sum_Capacity_path;
end
N=0.5*sum_Capacity_path;
for i=1:size(x_y,1)

```



```

        Block_car(x_y(i,1),x_y(i,2))=
round((Capacity(x_y(i,1),x_y(i,2))/sum_Capicity_path*N)); %计算出刚开始
时每条街道的车辆分布状况
    end
    tmpBlock_car=zeros(size(Block_car,1)); %使每一条道路的初始量为
零
    n=0;
    eps_car=100;
    tmpeps=0;
    while abs(eps_car)>0.01
        n=n+1;
        a_xishu=2/(2+n);
        b=baohe(Block_car,Capicity);
        if n==1

f=zeros(size(Block_car));
                                %初始时假设车流量为零
        else
            f=abs(Block_car-
tmpBlock_car)/0.5; %每半个小时计算一次
车流量
        end
        Car_t=BPR_t(alpha,f,b); %计算出每条路径的路阻
        Car_t(Car_t==0)=inf;

Car_t_weight=1./Car_t;
    %对所有时间求倒数，由于路阻是越低越好的

tmpBlock_car=Car_t_weight/sum(sum(Car_t_weight)); %
求出每一条道路路阻的权重
        tmpBlock_car=round(tmpBlock_car*N); %根据路阻
求出了每一条道路含有的车子数量
        Block_car=round((1-a_xishu)*Block_car+a_xishu*
tmpBlock_car); %重新算出每一条道路的车辆分布状况
        eps_car=sum(abs(std(Block_car(x_y(:,1),x_y(:,2))))-
std(tmpBlock_car(x_y(:,1),x_y(:,2)))));
        if abs(eps_car-tmpeps)<5
            break
        end
        tmpeps= eps_car
    end
    Car{1}=Block_car;
    Car{2}=Car_t;
end

```

附录五：改进的 BPR 函数计算路阻系数的 MATLAB 程序

```
function t=BPR_t(alpha,f,b)
    % 输入
    %获得 Block 规定方向时确定分布
    % alpha 在 ij 路段自由行走时间矩阵
    %f      交通流量
    %q_bike 实测自行车的车流量
    %Q_bike 非机动车辆每米自行车的设计通行能力
    % W1    单向非机动车宽度
    % W2    单向机动车宽度
    %T      信号周期长度 s
    %tg     有效绿灯时间
    %b      饱和度
    %输出
    %t      阻抗矩阵
    beta=0.15*b.^4.*alpha;
    t=alpha+beta.*f;
    x1=0.8-(q_bike./Q_bike+0.5-W2)./W1;           %自行车对机动
    车的干扰系数
    x=ones(size(b,1));
    d=0.5*T.*(1-tg./T)./(1-min(x,b).*(tg./T));   %计算
    延迟时间
    [row,col]=find(x1<=1);
    for i=1:size(row,1)
        t(row(i),col(i))=alpha(row(i),col(i))+beta(row(i),col(i))*(1/(x*x1(ro
        w(i),col(i))))).^4*f(row(i),col(i))+d(row(i),col(i));
    end
    [row,col]=find(x1>1);
    for i=1:size(row,1)
        t(row(i),col(i))=alpha(row(i),col(i))+beta(row(i),col(i))*(x1(row(i),
        col(i))/(x(row(i),col(i))))).^4.*f(row(i),col(i))+d(row(i),col(i));
    end
    [row,col]=find(Block==0);
    for i=1:size(row,1)
        t(row(i),col(i))=inf;
    end
end
```