

小区开放对道路通行能力影响的综合评价模型

摘要：随着城市建设的发展，城市道路越来越宽，道路交通网络越来越复杂，人们出行的方式也更加丰富，从最初的步行，自行车，公交车，打车，到如今的私家车，地铁，高铁等。但是，出行方式的增多却并没有改善道路交通状况，道路通行拥堵问题日益凸显。因此，如何优化路网结构，提高路网的密度的问题亟待解决。由于城市道路的固定化，通过改善城市道路来缓解交通压力，收效甚微，而人们对开放小区的认识，为提高道路通行能力提供了一种有效的手段。研究小区开放对道路通行能力影响是一个既有理论意义又有实际价值的研究方向。

对于问题一，需要建立合理的指标体系来分析小区开放对周边道路通行能力的影响，通过指标的选取原则，我们选取了 5 个二级指标和 18 个三级指标，并根据指标的性质，将指标分为定性指标和定量指标。首先，我们对指标进行定性的分析，得到路网密度等指标对道路通行能力具有促进的作用，交叉口数量等指标起到抑制的作用；其次，我们对指标进行定量分析，利用熵权法对三级指标进行赋权，并利用简单加权平均算子对数据进行融合，从而建立小区开放对道路通行能力影响的定量评价模型。最后，综合定性和定量分析说明建立的指标体系能够有效地评价小区开放对周边道路通行能力的影响。

对于问题二，为了得到最优的车辆通行数学模型和小区开放对周边道路的影响程度。本文基于问题一构建小区开放对周边道路通行能力影响指数的最优化模型，同时考虑到小区开放会影响到路网的成本，我们从系统管理者和出行者两个角度提出了小区开放后的用户平衡（*UE*）模型和系统最优（*SO*）模型，基于这些模型，我们构建车辆通行的多目标优化模型，考虑到 *UE* 模型仅仅考虑静态条件下的网络流量配流问题，存在一定局限性，因此，我们构建基于 *UE* 模型的交通流量动态调整和均衡分布模型，最后给出了求解该模型详细的流程图。

对于问题三，小区内部道路结构，小区周边道路的结构，以及小区的车流量等都会对小区开放后的效果产生不同的影响，本题中，我们根据小区内部道路的结构将小区分为一字型、十字型和环型小区，根据小区周边的道路结构将小区分为网状、树状、环型和条状小区，同时考虑到不同时段小区附近的车流量也不同，对于不同的类型的小区，我们事先给定总的车流量，然后根据 *MSA* 算法得到每条路段上的车流量，最后根据问题二中的模型计算出道路通行能力综合评价指数。每天的早高峰时期，环形小区的综合指数最大，通行能力也最好，其次是十字形、一字形和封闭式小区，同理可得，环形小区的开放效果最为明显，其次为网状小区、树状小区和条状小区。

对于问题四，构建小区内道路设计和规划模型，将小区内的每条待建道路都看成 0-1 变量，即假设问题二中模型中的开放小区内道路都记为 0-1 变量，通过求解最优化模型，我们可以得到小区内修哪条路对提升道路通行能力的影响最大，最后，综合我们前面的研究成果，给城市规划和交通管理部门提供了关于小区开放对周边道路通行能力影响的详细的建议。

关键词：开放小区；指标体系；*UE* 模型；动态平衡；小区类型；道路设计

一、问题提出与分析

1.1 背景知识

1.1.1 总背景介绍

随着现代经济的发展，加速了城市建设，因此城市道路也越来越宽，同时人们出行的交通方式也更加丰富，从最初的步行，自行车，公交车，打车，到如今的私家车，地铁，轻轨，高铁等方式。但是，出行方式的增多却并没有改善道路交通状况，人们的出行越来越麻烦。高峰期的拥堵更是成为一大特色。因此，国务院发布相关文件，提出逐步开放住宅小区和单位大院，实现内部道路的公共化，从而解决交通路网布局问题，提高土地利用率。

目前国内的小区模式多为封闭型，小区的道路、绿化、休闲娱乐设施等相关规划独立于城市机构，仅为小区内居民服务，满足小区居民的需求。封闭的小区的大多以城市交通道路为边界，占据完整土地，设置围栏大门，内部无法穿越。小区的开放是指打破原有的城市道路交通网络，开放小区的内部道路，将小区的道路作为城市道路使用，使得车辆以及行人得以在小区内部通行，增加城市的道路数量，提高路网密度，以此改善交通状况。

1.1.2 问题的产生

由于我国的城市空间分布状况，小区占地面积过大，行业相对集中，小区的功能近满足内部居民的需求，同时城市道路交通状况并没有因为出行方式的逐渐多样化，而得到改善，为了改善我国道路交通网的稀疏情况，道路分布不均匀的情况，通过将传统的小区开放，使得小区的内部道路与原有的城市网络形成有机的整体。从而缓解道路的交通状况。通过查阅相关文献，我们发现，开放原有的封闭小区，在欧美国家已经有过尝试，但是考虑到经济文化等多种原因，这种缓解道路交通的方式不一定适合我国的现有情况，毕竟封闭式小区在中国已经存在多年，人们的生活方式大多已经习惯，而且开放封闭式小区，虽然能够改善道路交通状况，但也会引发一系列安保问题，所以我们需要做进一步相关分析实验，考虑多种因素。

1.1.3 已有的方案

通过查阅已有的文献，以及相关的报道，我们发现，许多西方欧美国家，关于开放封闭式小区对其周边道路通行能力的影响的研究已经进行多年，并且在许多城市都有进行试验，且取得不错的试验结果。在许多城市的居住区，实施街区式管理，将街区道路与城市道路连接为一个有机整体。在国内，为了改善道路交通拥堵状况，国家出台单双号限行制度，即单号日时，车牌号尾数为单号的私家车才可以出行，双号日时，车牌号尾数为双号的私家车可以出行。同时，政府也从其它方面采取措施，改善道路通行状况，提高相关税费，鼓励人们出行选择公共交通，同时加快出行工具如地铁等的发展。

1.2 要解决的问题

本文首先要求我们选取合理的指标，构建道路通行能力评价指标体系，其次从车辆通行方面，构建有关的数学模型，定量的分析开放封闭式小区对其周边道路通行能力的影响，其次构建不同的小区类型，分析小区开放前后对其周边道路以及车流量的影响，最后根据相关模型向城市规划及道路交通部门提供合理的建议。首先，我们对问题的总体情况进行了分析，具体过程如下图：

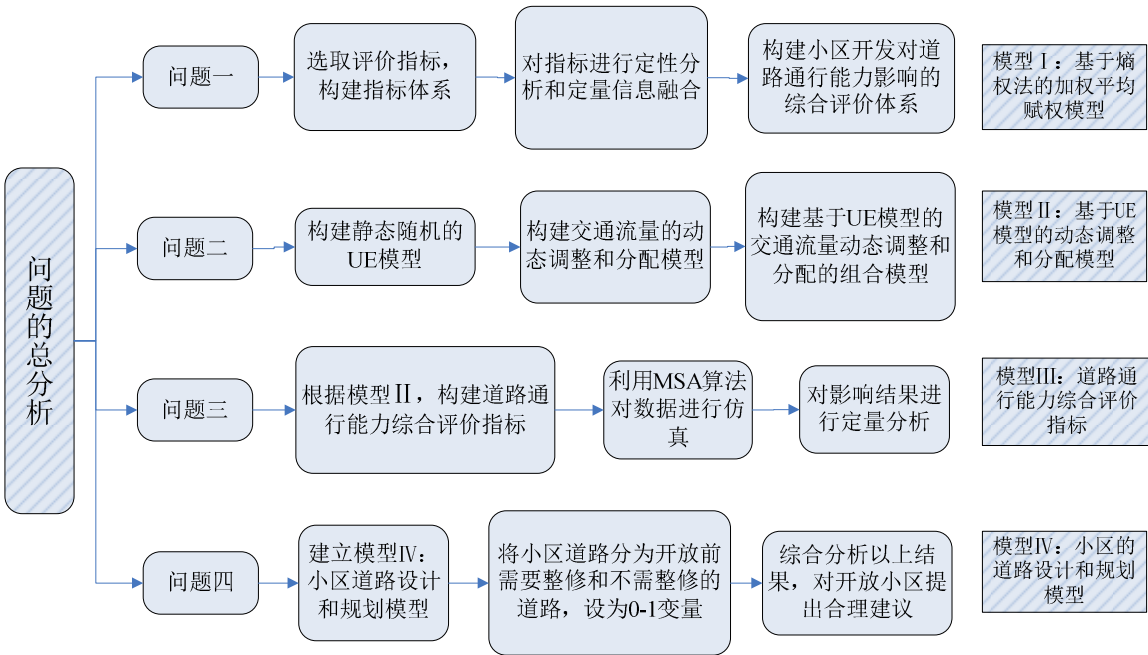


图 1 问题的总分析

本文需要解决以下问题：

首先，如何选取道路通行能力评价指标，并且有意识的针对不同时间同一区域或同一时间不同区域的道路交通情况进行分析，考虑多个影响因素, 从而建立多个评价指标，构建合理的多层次开放式小区对周边道路通行能力评价指标体系，评价开放式小区对其周边道路通行能力的影响。

其次，如何构建有关车辆通行的数学模型，结合问题一构建的道路通行能力指标体系，考虑出行成本及小区周边道路通行能力，从车辆通行方面定量的分析开放封闭式小区对周边道路通行的影响。

然后，根据问题二构建的数学模型，对小区进行不同的分类，部构建不同的小区，利用 *matlab* 软件模拟情景，得出不同类型的小区开放前后周边道路及车流量的变化。

最后，根据问题二构建的数学模型，加入相关道路变量，对于小区内部道路规划设计有很大的帮助，并且从多个方面分析小区开放是合理的，对道路交通有明显的改善效果。

二、模型假设

假设 1：假设道路使用者对每条道路道路阻抗均已知；

- 假设 2：假设道路状况只有畅通，正常，事故三种状况；
- 假设 3：出行者会遵循出行成本最小的原则来选择路径；
- 假设 4：每条路径上的流量会影响出行者选择该条道路出行成本。

三、模型符号说明

α	处于拥挤状况的道路
β	不那么拥挤的道路
γ	在 (t_2, t_3) 时刻出现交通意外事故或极端天气的道路
Z	α, β, γ 分别为此类型道路的集合，且该区域所有道路上行驶的车辆总数为 N
$X_{RS}^{\alpha}(i)$	α 类型的路段上第 i 条路径的车流量
$X_{RS}^{\beta}(j)$	β 类型的路段上第 j 条路径的车流量
$X_{RS}^{\gamma}(k)$	γ 类型的路段上第 k 条路径的车流量
C	每条道路的负荷度定义为道路的通行量比上该道路的最大承载量
$F_{\alpha}(i)$	α 类型的第 i 道路上的负荷度
$h_1 < h = \frac{F_{\alpha}(i)}{F_{\beta}(j)} < h_2$	该种类型的某条路径上的车流量达到均衡
θ_1	车辆的行驶实际时间 T 与可以接受的最大行驶时间 T_{\max} 的差与车辆的行驶实际时间 T 的比值

四、模型的建立和求解及分析

4.1 问题一的模型的建立和求解

为了构建一个评价小区开放对周边道路通行能力影响的指标体系，我们选取了尽可能全面、合理的评价指标，并将指标分为定性和定量两类，对指标体系对周边道路通行能力进行了综合的分析。其中在定量分析部分，我们构建了基于熵权法赋权的加权平均数评价体系，对各指标的信息进行融合，最后得到了小区开放对周边道路通行能力的影响指数，具体分析过程如图 2 所示：

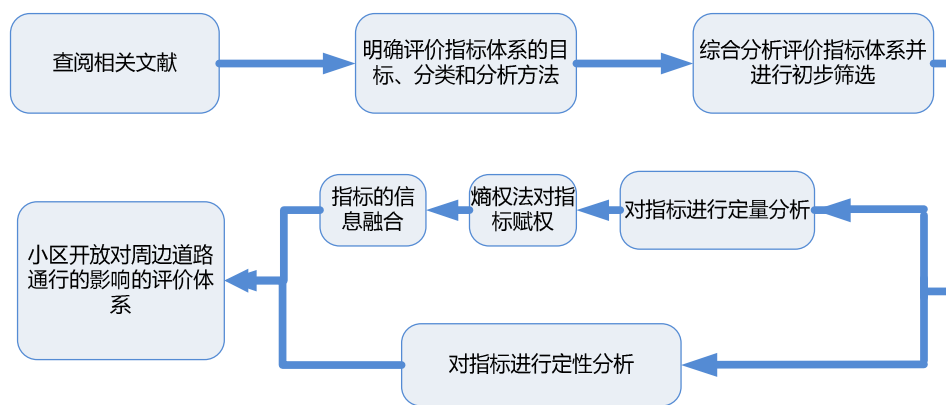


图 2. 道路通行能力评价模型构建的流程图

4.1.1 评价指标的选取原则

评价小区开放对其周边道路通行能力是一个既困难又复杂的问题，必须遵循一系列评价指标的选取原则，我们结合小区周围道路通行的通行情况和已有文献成果，合理地构建小区开放对道路通行能力影响的评价指标体系^[1]。因此，我们需要在如下原则的基础上选择科学、合理的指标。

(1) 完备性、客观及可操作性原则

评价指标体系作为一个完整体系，可以从不同的方面反映道路交通的通行能力，也可以反映整个道路交通系统的动态变化，保证评价结果的客观准确性，体现小区开放对其周边的道路通行能力的影响。评价指标体系的建立需要保证在实际的运用中能够体现其价值所在，所以选取的每个指标都必须具有可操作性，从而使得整个评价指标体系简明，易操作有实际应用功能。

(2) 科学可比性原则

评价指标体系必须建立在科学的基础上，道路通行能力评价指标的选取，要能够反映小区开放对其周边道路交通具体情况。同时还要保证，道路交通的各方面性能在同一时期不同的区域之间，同一区域不同的时间之间具有可比性。

(3) 映射原则

有时评价道路通行能力的某个目标时，很难找到直接反映该问题的指标，这时我们可以从目标实现所需要的某些现象进行相关的映射提炼，即哪些现象可以反映我们所需的指标的变化情况。

4.1.2 评价指标的选取

指标的选取是一个抽象具体事物和反复锤炼的逻辑思维判断过程。科学的评价体系需要尽量少的指标反映尽可能全面的信息。在评价道路通行能力时，路段位置、路网和路段情况，小区本身情况等都会影响到小区开放对周边道路的通行能力的影响，这就需要对复杂的指标进行精确的筛选。

根据指标的选取原则，构建的评价指标体系如图所示：

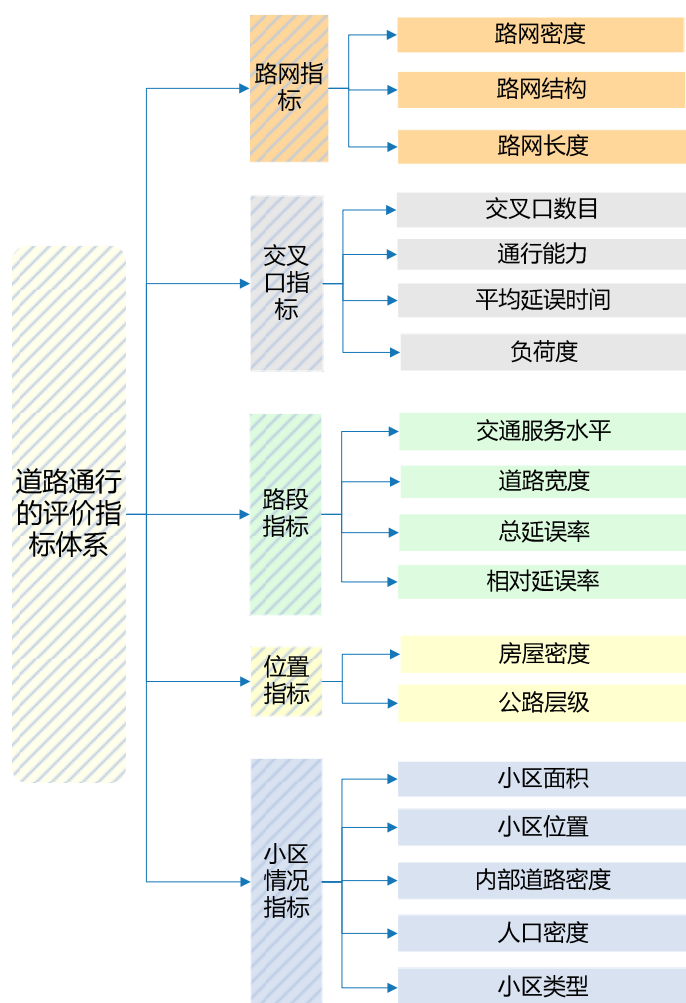


图 3. 道路通行能力评价指标体系

根据图 3，我们可以看出，为了构建合理的道路通行能力评价指标体系，我们选取了五个二级指标，分别为：路网指标，交叉路口指标，路段指标，位置指标，小区情况指标。为了更好的表示这五个指标对道路通行能力的影响，我们在每个二级指标的基础上又选取了一些三级指标。同时，下表给出了指标的计算公式和指标的含义。

表 2. 道路通行评价指标定义及量化

评价指标	指标公式	指标含义
路网密度 ρ_1	$\rho_1 = \frac{K}{S}$	用城市道路总数 K （单位：条）与城市总面积 S_0 （单位：平方千米）的比值表示城市道路的平均状况，单位：条/平方千米；
路网长度 L_1	无	城市道路的总长度 L_1 ，单位：千米；
路网结构 W	无	指城市道路的节点数 W ，即叉路口，单位：千个；
通行能力 P	无	交叉路口每小时通过的车（机动车或非机动车）数量 P ，单位：辆/每小时；

负荷度 Q	$Q = \frac{P}{P_{\max}}$	交叉路口每小时通过的车数量 P (单位: 辆/每小时) 与交叉口每小时车辆的最大容纳量 P_{\max} (单位: 辆/每小时) 的比值, 反映该路口的每小时的负荷度
平均延误时间 t_1	$t_1 = \frac{T}{M}$	每小时通过道路的车辆的总延误时间 T (单位: 小时) 与该叉路口每小时进入的车数量 M (单位: 辆/每小时) 的比值。
交通服务水平	无	交通服务水平衡量道路的通行能力, 按道路通行质量由低到高可以可以分为一~四级
道路宽度 W	无	道路两边相距的平均宽度
总延误率 t_2	$t_2 = \frac{T - T_{\max}}{S}$	车辆的行驶实际时间 T 与可以接受的最大行驶时间 T_{\max} 的差于该路径 S 的比值, 单位: 小时/千米
房屋密度 ρ_2	$\rho_2 = \frac{S_2}{S_3}$	该社区总房屋面积 S_2 与总土地面积 S_3 的比值;
公路层级 Y_1	无	分为一级公路 (连接重要政治, 经济中心, 通往重点矿区, 是国家的干线公路), 二级公路 (连接政治, 经济中心或大工矿区, 或运输繁忙的城郊公路), 三级公路 (沟通县及县以上城镇的一般干线公路), 四级公路 (沟通县, 乡, 村等的支线公路);
内部道路密度 ρ_3	$\rho_2 = \frac{S_4}{S_2}$	需要开放的小区内部道路总面积 S_4 (单位: 平方千米) 与该小区的总面积 S_2 (单位: 平方千米) 比值;
小区位置 Y_2	无	小区按照其所在地区的人口密度划分, 分为人口密集型小区, 人口适中型小区, 人口松散型小区
小区类型 Y_3	无	根据小区的服务性质进行分类, 分为私有住宅型小区和公有集体型小区;
小区人口密度 ρ_4	$\rho_4 = \frac{N}{S_2}$	需要开放的小区的总人口数 N 与该小区的总面积 S_2 的比值, 单位: 人/平方千米;

4.1.3 评价指标的分析处理

(a) 定性分析;

定性分析, 是指依据现实经验和主、客观分析方法, 对于某种事物的本质属性、发展趋势或多种事物之间的相关关系给予直观、概括性表述的一种分析方法。针对问题一, 影响道路交通通行能力的指标既包含一些可以量化的指标, 如负荷度、人口密度等, 也包含一些性质上的不可量化的指标, 如通行能力, 公路层级

等指标。针对已经确定的评价体系，我们首先试图从定性的角度分析，开放式小区对其周边城市道路交通状况的影响。具体反馈图 4 如下所示：

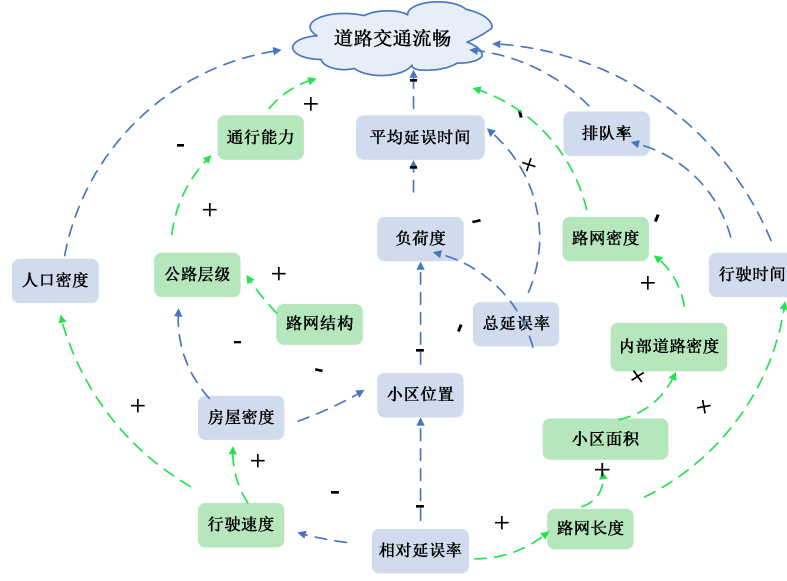


图 4. 道路通行能力评价指标体系定性分析图

根据图 4，每个指标和道路通行能力之间的关系可以分为正相关和负相关。其中，和道路交通流畅程度呈正相关的指标有：道路通行能力、公路层级、路网结构、行驶速度、路网密度、小区内部道路密度、小区面积和路网长度共 8 个正反馈指标；而根据考察和查阅文献，和交通流畅程度呈正相关的指标有：人口密度、房屋密度、平均延误时间、负荷度、小区位置、相对延误率、总延误率、排队率和行驶时间共 9 个负反馈指标。

其中，公路层级按连接区位的人口和重要性程度可以划分为一级公路，二级公路，三级公路，四级公路，公路层级越高，说明可流通的车辆越多，道路交通流畅程度越高；而小区位置则根据小区距离市中心或商圈的远近，人口越密集的位置，交通堵塞程度越高；负荷度表示交叉路口每小时通过的车数量 P （单位：辆/每小时）与交叉口每小时车辆的最大容纳量 P_{\max} （单位：辆/每小时）的比值，负荷度越高，说明道路或交叉路口的车辆数目越多，流通性越差。

（b）定量分析：

Step1. 数据的预处理

在上文构建的城市道路通行能力指标评价体系中，存在多个指标，而且这些指标的量纲不同的，并且有些指标为效应型指标，即指标越大越好，有些指标为成本型指标，即指标越小越好，所以在处理前必须对其进行一定预处理。

设 $r_i (i=1,2,\dots,n)$ 是效益型指标，则其归一化公式为：

$$r'_i = \frac{r_i - \min_i r_i}{\max_i r_i - \min_i r_i}, (i=1,2,\dots,n). \quad (1)$$

设 $e_j (j=1,2,\dots,m)$ 是成本指标，则其归一化公式为：

$$e'_j = \frac{\max_j e_j - e_j}{\max_j e_j - \min_j e_j}, (j=1,2,\dots,m). \quad (2)$$

根据表 2 对道路通行能力评价指标的定义,我们可以清楚地判断出每个指标的类型,其中属于成本型的指标有:平均延误时间 t_1 信号交叉口二次排队率 a_1 ,行驶时间 T ,房屋密度 ρ_2 ,人口密度 ρ_4 ,负荷度 Q ,总延误率 t_2 ,相对延误率 t_3 ,小区位置 Y_2 。上述成本型指标,我们可以采用公式(2)进行归一化。效应型指标有:路网密度 ρ_1 ,路网长度 L_1 ,路网结构 W ,通行能力 P ,行驶速度 V ,公路层级 Y_1 ,内部道路密度 ρ_3 ,小区面积 S_2 ,小区类型 Y_3 。对于上述效益型指标,我们利用公式(1)进行数据的预处理归一化处理。

Step2 利用熵权法确定各三级指标的权重系数

在信息理论基本原理中,信息是系统有序程度的一个度量熵,则是系统无序程度的一个度量,如果指标的信息熵越小,则其反映的信息量越大,反之,若指标的信息熵越大,则其反映的信息量越小。信息熵越大的指标在道路通行能力评价指标体系中,所起的作用越小,对应的权重应该越小。本文利用熵权法确定道路通行能力评价指标体系中的三级指标的权重系数。

(1) 设有 n 个指标, m 个时间段的观测值,指标值为 $r_{ij} (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n)$, 得到原始数据矩阵为:

$$R = (r_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix}.$$

(2) 利用 step1 中的公式(1),公式(2)将原始数据 R 进行归一化处理,得到标准化的指标矩阵为:

$$R' = (r'_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} r'_{11} & \cdots & r'_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r'_{m1} & \cdots & r'_{mn} \end{pmatrix}.$$

(3) 计算道路通行能力评价指标体系中指标的熵值,得到熵值 $X = (x_1, x_1, \dots, x_n)$.

$$x_j = -\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m r'_{ij} \ln(r'_{ij}), 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n. \quad (3)$$

(4) 计算道路通行能力评价指标体系中指标的权重系数 $W_1 = (w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1n})$.

$$w_{1j} = \frac{1 - x_j}{n - \sum_{j=1}^n x_j}, 1 \leq j \leq n. \quad (4)$$

Step3 基于熵权法的道路通行能力影响的指数模型

对于前文构建的道路通行能力评价指标体系中的二级指标，我们通过对五个二级指标进行赋权从而将路网指标，叉路口指标，道路指标，小区情况指标，位置指标综合，最终评价道路通行能力。这里我们为了方便计算，把五个二级指标的权重取相等的值。

设指标对应的权重系数 $W_2 = (w_{21}, w_{22}, \dots, w_{2k})$.

$$w_{2l} = \frac{1}{k}, 1 \leq l \leq k. \quad (5)$$

结合公式 (4) 公式 (5)，我们得到最终综合评价公式：

$$G = \sum_{j=1}^n \frac{\left[\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m r'_{ij} (\ln r'_{ij}) \right]^2 + \left[\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m r'_{ij} (\ln r'_{ij}) \right]}{k(n - \sum_{j=1}^n x_j)}. \quad (6)$$

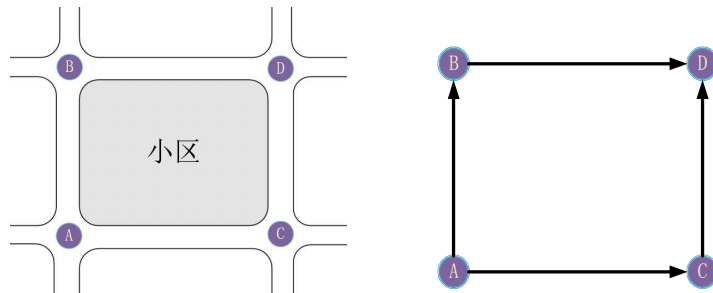
其中 r'_{ij} 表示归一化后的指标， k 表示二级指标的数量， m 表示观测值个数， n 表示三级指标个数， G 表示最终的评价指数。

4.1.4 模型的结果与分析

根据上述模型，我们可以通过定性和定量两个方面利用所提的评价指标体系对小区开放后周边道路通行能力的影响进行综合分析，定性分析主要是讨论哪些指标对道路通行能力具有积极的作用，哪些指标对道路通行能力具有消极的作用。而定量的分析，我们构建了基于熵权法的道路通行能力影响的指数模型，通过对定量指标的量化，将各指标信息进行融合，从而得到综合的评价指数，进而讨论小区开放对小区周边道路通行能力的影响。

4.2 问题二的模型的建立和求解

随着小区的开放，问题一中小区周边道路通行能力的评价指标也将发生改变（图 5），从图中我们可以看出，小区开放后路网的密度和交叉口数等指标都将发生变化，这将影响着小区周边的道路通行能力，为了能够评价小区开放对周边道路通行能力的影响，我们根据问题一构建了小区开放对周边道路通行能力影响指数的最优化模型，同时，我们考虑到小区开放可能会影响到出行的成本（这里我们主要考虑时间成本），从系统管理者和出行者两个角度考虑，使得出行的成本达到最小，构建最优化模型，由于这两个模型的约束条件都是建立在小区开放后路网结构达到平衡状态下的，因此，我们将两个单目标优化问题，转化为多目标优化问题进行求解，通过求解的结果我们可以得到最优的车辆通行数学模型和小区开放对周边道路的影响程度。



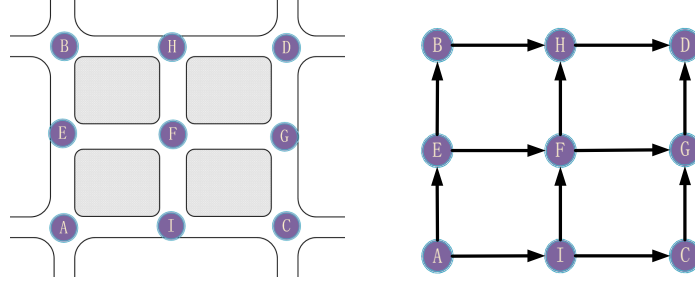


图 5. 小区开放前后路网变化图

4.2.1 道路通行能力指数最优模型

从问题一图（4）我们可以看出，小区开放将影响着周边道路的通行能力，因此，将问题一中的道路通行能力指数作为一个目标函数，即道路通行能力指数越大说明开放小区对周边道路通行能力的提高就越大，最优化模型可构建如下：

$$\max G = \max d_{ij} e_{ij} \cdot \sum_{j=1}^n \frac{1}{k} (w_{1j} \cdot f(b'_j, x_i^t)) = d_{ij} e_{ij} \cdot \sum_{j=1}^n \frac{\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m r_{ij}'' (\ln r_{ij}'') (1 + \frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m r_{ij}'' (\ln r_{ij}''))}{k(n - \sum_{j=1}^n f(b'_j, x_i^t))}$$

$$s.t. \begin{cases} x_i(t) - x_i(t-1) - \sum_{k \in J} a_{ki} \cdot y_{ki}(t-1) + \sum_{j \in J} a_{ij} \cdot y_{ij}(t-1) = 0, \\ \sum_{j \in J} a_{ij} \cdot y_{ij}(t) \leq x_i(t), \\ \sum_{k \in J} a_{ki} \cdot y_{ki}(t) \leq Q_i(t), \\ \sum_{j \in J} a_{ij} \cdot y_{ij}(t) \leq Q_i(t), \\ \rho'_1, L'_1, S'_2, \rho'_4, P', F', \rho'_3 \in (0, +\infty), \\ 0 \leq P' \leq P_{\max}, 0 \leq F' \leq 1, 0 \leq \rho'_3 \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

其中， J 表示路网中所有节点构成的集合， $x_i(t)$ 表示第 t 时刻第 i 个节点的车辆数， $Q_i(t)$ 表示在第 t 时刻流入或流出第 i 个节点的最大车辆数。 $\rho'_1, L'_1, S'_2, \rho'_4, P', F', \rho'_3$ 表示小区开放后一些指标发生了改变。

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, i, j \text{ 可连接} \\ 1, i, j \text{ 不可连接} \end{cases}, d_{ij} \text{ 表示内部结构不同的小区}, e_{ij} \text{ 表示周边道路不同的小区, 都为 0-1 变量。}$$

上述最优化模型主要说明随着不同类型小区的开放，对周边道路通行能力的影响是不同的，实际上影响不同主要体现在问题一种我们所建指标的变化不同，指标的变化导致了各个路段流量的变化，当小区开放后，路网系统会达到一种新的平衡状态，而在这种新的平衡状态下的指标值即能够使得各个不同类型小区的开放对周边道路通行能力影响指数达到最大，因此，我们构建了上述最优化模型。

4.2.2 路网成本最优模型

在实际问题中，我们往往不仅要求道路通行能力指数达到最优，我们还要求路网的成本达到最优。路网成本可以从系统管理者角度，即系统总成本最优，还可以从出行者的角度来看，即个体利益最优。本文从两个角度出发，考虑系统总成本和个体利益同时达到最优，即路网成本最优，构建如下优化模型。

(a) 用户平衡模型（UE 模型）

1952 年著名学者 Wardrop 提出交通网络平衡原理，其中 Wardrop 第一原理

即为UE（User Equilibrium）模型，用于表示道路网用户选择出行路线的一种准则。如今，广泛用于多种交通网络分派平衡。在UE模型中，所有被利用的道路出行时间相等并且等于最小出行时间，而未被利用的道路出行时间大于或者等于最小出行时间。UE模型可表示如下：

$$\begin{aligned} \min F_1(x) &= \sum_a d_{ij} \cdot e_{ij} \cdot \int_0^{x_a} t_a(\mu) d(\mu) \\ s.t. &\begin{cases} t_a = t_0 + [1 + \alpha(x_a/c_a)^\beta], \\ \sum_p h_p^{od} = H_{od}, \\ h_p^{od} \geq 0, \\ x_a = \sum_o \sum_d \sum_p h_p^{od} \cdot \varphi_{a,j}^{od}. \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

模型（8）主要考虑的是个体出行角度看，使得路网的时间成本达到最小。其中 t_0 是自由流行驶的速度，即一辆车在无干扰情况下行驶的速度； c_a 为路段的通行能力， x_a 为路段的流量， α, β 为参数，一般 $\alpha=0.15, \beta=4$ 。 $\varphi_{a,j}^{od}$ 为0-1变量，即路段 a 在 $o \rightarrow d$ 的路径 j 上取1，若不在则取0。

道路通行能力又称道路最大承载量，指单位时间内某条路径的某一截面可以通过的最大车辆数目。根据美国HCM的定义^[3]，当前道路通行能力可以划分为理论通行能力和实际通行能力。在理想情况下，道路的最大通行能力可以表示为，当标准型号的平均车头时距最小时，在某条道路上的连续行驶的车流的最大车辆数。用公式可以表示为：

$$C_{\text{理论}} = \frac{3600}{\Gamma_t} = \frac{3600}{l_t / \frac{v}{3.6}} = \frac{1000v}{l_t} (\text{辆/小时}). \quad (9)$$

其中， Γ_t 为最小车头时距； l_t 为最小车头间距； v 为行驶速度。

为了更加贴近现实的道路通行情况，我们选取问题一中合理的评价指标，构建道路通行能力修正系数 Ψ ，从而更加精确的定量道路的最大承载量。我们从问题一的评价指标中选取了交通服务水平，交叉口数量，公路层级和道路宽度四个关键影响因子，并通过各影响因子的修正系数对道路通行能力进行修正。

表 3. 车道宽度对道路通行能力影响修正指数

车道宽度（米）	2.75	3	3.25	3.75
修正指数 Ψ_1	0.78	0.89	0.96	1

表 4. 交叉口数量对道路通行能力影响修正指数

交叉口数目	2	3	4	5
影响系数 Ψ_2	0.89	0.83	0.79	0.68

表 5. 交通服务水平对道路通行能力影响修正指数

交通服务水平	一级	二级	三级	四级
影响系数 Ψ_3	1.33	0.97	0.88	0.76

表 6. 交通服务水平对道路通行能力影响修正指数

公路层级	一级公路	二级公路	三级公路	四级公路
影响系数 Ψ_4	1.05	0.93	0.78	0.69

由表（3-6）我们可以得到：

$$c'_a = \Psi(c_a) = c_a \cdot \Psi_1 \cdot \Psi_2 \cdot \Psi_3 \cdot \Psi_4. \quad (10)$$

本文考虑到小区开放会增加路网的密度，交叉口数量，道路服务水平等因素，可能会影响到路段的流量和道路的通行能力，因此，网络的流量将重新分配，流量演化到一个新的平衡状态，得到一个基于小区开放的 *UE* 模型。

$$\begin{aligned} \min F'_1(x) &= \sum_a d_{ij} \cdot e_{ij} \cdot \int_0^{x'_a} t'_a(\mu) d(\mu) \\ s.t. \left\{ \begin{aligned} &t'_a = t'_0 + [1 + \alpha(x'_a/c'_a)^\beta], \\ &\sum_p h_p^{od} = H_{od}, \\ &h_p^{od} \geq 0, \\ &x_a = \sum_o \sum_d \sum_p h_p^{od} \cdot \phi_{a,j}^{od}. \end{aligned} \right. \end{aligned} \quad (11)$$

其中，小区开放后的通行能力变为 c'_a ，我们可以对小区开放前的通行能力指标通过指标的变化进行修正，这样，我们可以得到小区开放后的新的平衡状态。

（b）系统最优模型（*SO* 模型）

如果说 *UE* 模型是从出行者的角度来看，在经过一定时间后，道路交通网达到平衡。那么 Wardrop 第二平衡定理，即 *SO*（System Optimization）模型，就是从道路交通整个体系的角度即系统管理者角度出发，对道路交通网平衡状况的一种描述。在 *SO* 模型中，通过构建优化模型，寻找道路交通的最短出行时间。*SO* 模型可构建如下：

$$\begin{aligned} \min F_2(x) &= \sum_a d_{ij} \cdot e_{ij} \cdot x_a \cdot t_a(x_a) \\ s.t. \left\{ \begin{aligned} &\sum_p h_p^{od} = H_{od}, \\ &h_p^{od} \geq 0, \\ &x_a = \sum_o \sum_d \sum_p h_p^{od} \cdot \phi_{a,j}^{od}. \end{aligned} \right. \end{aligned} \quad (12)$$

SO 模型和 *UE* 模型从形式上看比较类似，实际上，当 t_a 为常数时，*SO* 模型和 *UE* 模型等价，同理，我们考虑当小区开放时模型的变化情况，有：

$$\begin{aligned} \min F'_2(x) &= \sum_a d_{ij} \cdot e_{ij} \cdot x'_a \cdot t'_a(x'_a) \\ s.t. &\begin{cases} \sum_p h'_p{}^{od} = H'_{od}, \\ h'_p{}^{od} \geq 0, \\ x'_a = \sum_o \sum_d \sum_p h'_p{}^{od} \cdot \varphi'_{a,j}{}^{od}. \end{cases} \end{aligned} \quad (13)$$

即，随着小区的开放，系统将达到一个新的最优模型。我们从出行者的角度出发，综合考虑道路通行能力指数最优模型和 *UE* 模型，构建多目标优化模型如下：

$$\begin{aligned} \max F_3(x) &= \max \sigma \cdot G/G_{\max} + (1-\sigma) \cdot F'_1(x)/F'_1(x)_{\max} \\ s.t. &\begin{cases} x_i(t) - x_i(t-1) - \sum_{k \in J} a_{ki} \cdot y_{ki}(t-1) + \sum_{j \in J} a_{ij} \cdot y_{ij}(t-1) = 0, \\ \sum_{j \in J} a_{ij} \cdot y_{ij}(t) \leq x_i(t), \\ \sum_{k \in J} a_{ki} \cdot y_{ki}(t) \leq Q_i(t), \\ \sum_{j \in J} a_{ij} \cdot y_{ij}(t) \leq Q_i(t), \\ t'_a = t'_0 + [1 + \alpha(x'_a/c'_a)^\beta], \\ \sum_p h'_p{}^{od} = H_{od}, \end{cases} \end{aligned} \quad (14)$$

其中 σ 为态度参数， $\sigma \in [0,1]$ 。

4.2.3 基于 *UE* 模型的交通流量动态调整和均衡分布模型

UE 模型是在我们假设出行者都准确知道道路阻抗值并选择最小道路阻抗的道路下研究的，且其模型仅仅考虑静态条件下的网络流量配流问题。一方面模型的假设与事实不符，出行者不可能准确知道道路阻抗值；另一方面，该模型的在考虑面上存在一定局限性，现实中的交通配流是个动态问题，而该模型并未考虑交叉口等待时间、换道所需时间、道路事故、极端天气等其他因素。而交通流量动态调整和均衡分配模型虽然是从动态角度研究交通配流平衡，考虑到了一些 *UE* 模型没考虑的其他情况，与现实交通情况更加贴合，但该模型是从“类”的角度研究某几类的路径的配流问题，仅着重于路径流量的平衡，路段流量的平衡体现的并不直观，这较之 *UE* 模型又不够具体和准确。

现在我们将两种模型进行综合，在 *UE* 模型的基础上再加上交通流量动态调整和均衡分配模型中的平衡条件约束，从而对交通配流平衡问题进行更准确、更全面的研究，定义该模型为基于 *UE* 模型的交通流量动态调整和均衡分布模型。

该模型根据实际交通配流的情况，综合静态和动态两个研究模型来研究交通配流平衡问题，更加准确、具体、全面，更贴合实际。

$$\begin{aligned}
\max F'_3(x) &= \max \sigma \cdot G/G_{\max} + (1-\sigma) \cdot F'_1(x)/F'_1(x)_{\max} \\
s.t. \quad & \begin{cases} \frac{\partial x_{od}^{(\alpha)}(i)}{\partial t} = x_{od}^{(\alpha)}(i)(a_2 - b_{11}x_{od}^{(\alpha)}(i) + b_{22}x_{od}^{(\gamma)}(k)(t - (t_3 - t_2))), \\ \frac{\partial x_{od}^{(\beta)}(k)}{\partial t} = x_{od}^{(\beta)}(k)(a_1 + b_{11}x_{od}^{(\alpha)}(i) + b_{12}x_{od}^{(\gamma)}(k)(t - (t_2 - t_1))), \\ \frac{\partial x_{od}^{(\gamma)}(k)}{\partial t} = a_3x_{od}^{(\gamma)}(k) & t \notin (t_1, t_3), \\ \frac{\partial x_{od}^{(\gamma)}(k)}{\partial t} = a_4x_{od}^{(\gamma)}(k) & t \in (t_1, t_2), \\ \frac{\partial x_{od}^{(\gamma)}(k)}{\partial t} = 0 & t \in (t_2, t_3), \\ h_1 < h = \frac{F_\alpha(i)}{F_\beta(j)} < h_2, \\ |x_a(n) - x_a(n-1)| < h_3. \end{cases} \quad (15)
\end{aligned}$$

4.2.4 模型的求解与分析

总体算法思路是先让交通网络流量分配在 UE 模型下达到的静态平衡，再在此条件下，利用交通流量动态调整和均衡分配模型，让交通网络流量分配达到动态平衡，从而实现交通流量分配的动态、静态双重平衡。

(1) 静态平衡

对于 UE 模型，理论上是沿目标函数最小值方向进行 n 次迭代、搜索，得到局部最优解，当 n 足够大时，即可认为得到的是全局最优解，但这种方法计算量很大，且很难实现。这里我们采用二次加权平均法（MSA 算法），每循环一次，就对已分配到各路段上的交通流量 $x_a(n)$ 进行一次随机分配，并且可以得到一组道路附加的交通流量 $y_a(n)$ ，按加权平均法可以计算出 $x_a(n+1)$ ，如此循环。当满足对任意路段前后两次的交通流量分配小于一个设定的阈值后，即可跳出循环，达到交通流量静态分配平衡。

(2) 动态平衡

在现实交通网络中，即便在 UE 模型下达到静态分配平衡后，交通网络在其他因素影响下也未必真正地达到配流平衡，我们再利用动态调整和均衡分配模型对原有的平衡进行一次动态调整，考虑静态流量分配平衡下包括的如在途的流量变化的比例、路径的容量等一系列指标，根据当前的交通量，在路径中的交叉路口等待时间 Δ_{xom} 、换道所用时间 Δ_{comm} 以及路段行驶时间 Δ_{lom} 等因素来确定的动态模型的指标体系。通过对指标体系里的指标赋予与实际意义相匹配的权重，再建立一个相应的判决体系，来决定各道路上的交通流向，每次循环都根据路况，重新给流量变化的速率、转移比例指标赋值，直到满足动态平衡的判决条件，跳出循环，交通网络达到动态配流平衡，从而实现动态、静态双重平衡。

算法的流程图如下：

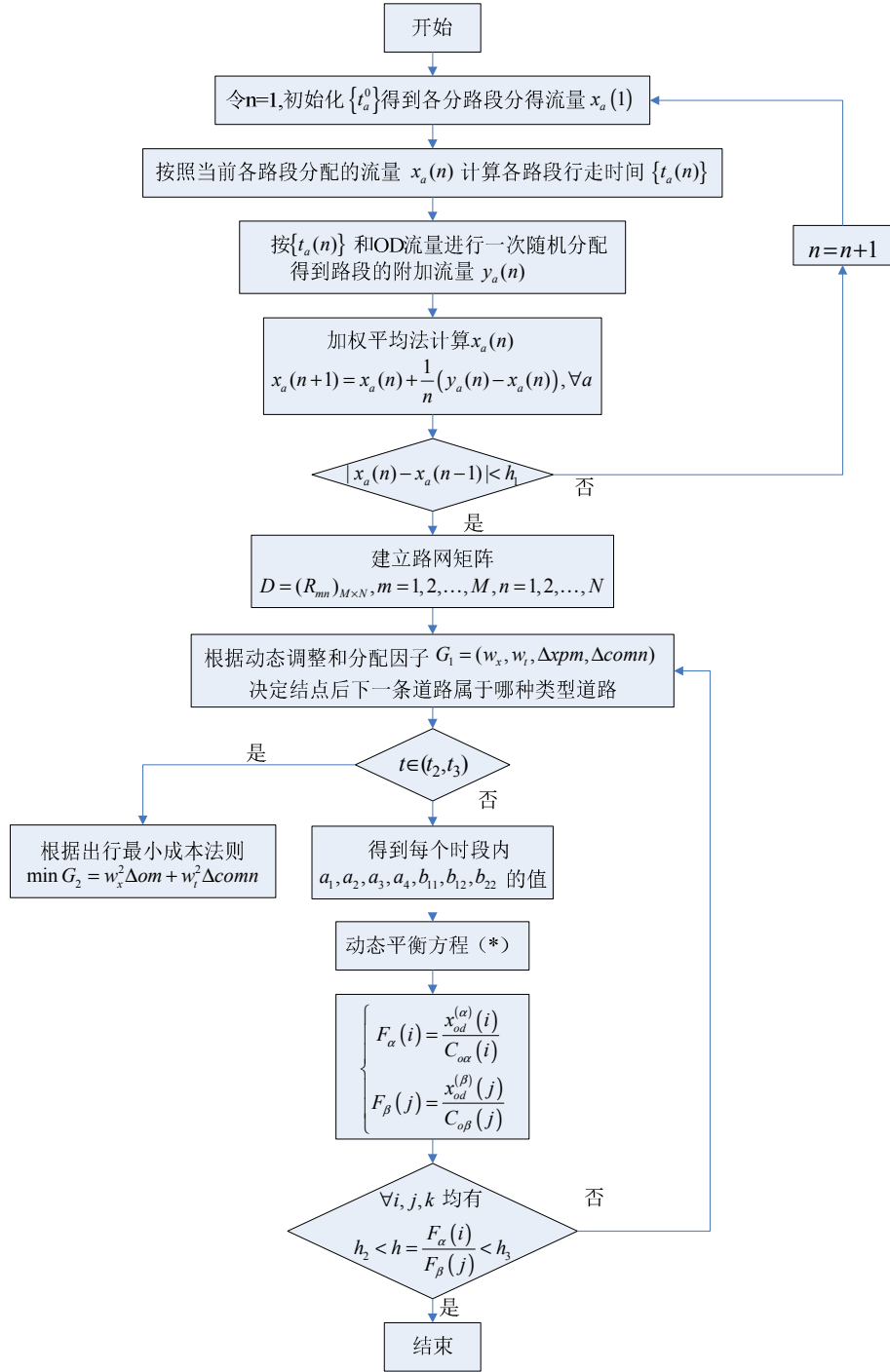


图 5. 基于 UE 模型的交通流量动态调整和均衡分布模型算法流程图

根据中国道路服务水平分类表，我们先将从起点 o 到终点 d 的 N 条路径分成三类： α 类（一级服务水平）、 β 类（二级服务水平和三级服务水平）和 γ 类（四级服务水平）。此外，我们还考虑到恶劣天气和交通事故对交通配流的影响，我们把有恶劣天气发生或者有交通事故发生的路径优先归为 γ 类。

表 7 中国道路服务水平分类基本模型分类

服务水平	V/C	道路状况	道路类型
一级	<0.4	车流稳定，基本无延误或少量延误	α 类
二级	0.4~0.6	稳定车流，有一定延误，但可以接受	β 类
三级	0.6~0.75	接近不稳定车流，有较大延误，但能忍受	
四级	0.75~0.9	不稳定车流，交通拥挤甚至堵塞，延误很大，无法接受	γ 类

路径中的交叉路口等待时间 Δ_{xom} 、换道所用时间 Δ_{comm} 以及路段行驶时间 Δ_{tom} 分别赋予权重 w_x, w_c 和 w_t 。因此，影响到流量的调整和分配因素的速度的因素主要有：(1) $w_x^2 \Delta_{xom}$ (2) $w_t^2 \Delta_{tom}$ (3) $w_t^2 \Delta_{tom}$

通常认为，通行过程中所花费的成本较高，因此一般赋予 w_t 较大的权重。并且，我们在使用这些因子时充分考虑了其可行性和安全性，即充分考虑路径和道路的最大承载量后，我们确定了影响路径选择和流量动态分配的因子 G_1 ：

$$G_1 = w_t^2 \Delta_{tom}. \quad (16)$$

交通流量的动态调整和分配取决于一些因子，而这些因子会受到于一些恶劣天气和道路突发情况影响。为此，我们又定义了一个应对这些情况的再调整因子 G_2 ：

$$G_2 = w_x^2 \Delta_{xom} + w_r^2. \quad (17)$$

权重计算公式如下：

$$\begin{cases} w_x = \frac{S_{ou}}{C_x} \\ w_t = \frac{l}{l_0} w_m = \frac{l}{l_0} \frac{v}{C_m} \end{cases} \quad (18)$$

在时间段上，我们分成 $(0, t_1), (t_1, t_2), (t_2, t_3), (t_3, t_4)$ ，其中 (t_2, t_3) 时间段为 γ 类道路上出现恶劣天气或交通事故情况，此时流量的分配遵循最小成本原则。

从“车源” S_{ou} 预期分别分配给三种车道的比例如下：

$$a_1 = \frac{x_{od}^{(\beta)}(j)_1 + x_{od}^{(\beta)}(j)_2 + \cdots + x_{od}^{(\beta)}(j)_{n-1} - x_{od}^{(\beta)}(j)_n}{x_{od}^{(\beta)}(j)}. \quad (19)$$

$$a_2 = \frac{x_{od}^{(\alpha)}(i)_1 + x_{od}^{(\alpha)}(i)_2 + \cdots + x_{od}^{(\alpha)}(i)_{n-1} - x_{od}^{(\alpha)}(i)_n}{x_{od}^{(\alpha)}}. \quad (20)$$

$$a_3 = \frac{x_{od}^{(\gamma)}(i)_1 + x_{od}^{(\gamma)}(i)_2 + \cdots + x_{od}^{(\gamma)}(i)_{n-1} - x_{od}^{(\gamma)}(i)_n}{x_{od}^{(\gamma)}}. \quad (21)$$

根据本模型的道路分类情况可以知道： α 类道路上的车道会转移到比其道路状况良好的 β 类道路上； γ 类道路上的车道会转移到比其道路状况良好的 α, β 类道路上。其转移车流量的比例分别可表示为：

$$b_{11} = \frac{(x_{od}^{(\beta)}(j)_1 + x_{od}^{(\beta)}(j)_2 + \cdots x_{od}^{(\beta)}(j)_{n-1})^2}{lx_{od}^{(\alpha)}(i)x_{od}^{(\beta)}(j)(x_{od}^{(\alpha)}(i)_1 + x_{od}^{(\alpha)}(i)_2 + \cdots x_{od}^{(\alpha)}(i)_{n-1})}. \quad (22)$$

$$b_{22} = \begin{cases} \frac{w_x^2 \Delta_{xom\beta} + w_{t\beta}^2 \Delta_{comn\beta}}{w_x^2 \Delta_{xom\alpha} + w_{t\alpha}^2 \Delta_{comn\alpha} + w_x^2 \Delta_{xom\beta} + w_{t\beta}^2 \Delta_{comn\beta}}, t \in (t_1, t_3) \\ 0, t \notin (t_1, t_3) \end{cases}. \quad (23)$$

$$b_{12} = \begin{cases} \frac{w_x^2 \Delta_{xom\alpha} + w_{t\alpha}^2 \Delta_{comn\alpha}}{w_x^2 \Delta_{xom\alpha} + w_{t\alpha}^2 \Delta_{comn\alpha} + w_x^2 \Delta_{xom\beta} + w_{t\beta}^2 \Delta_{comn\beta}}, t \in (t_1, t_3) \\ 0, t \notin (t_1, t_3) \end{cases}. \quad (24)$$

当 γ 类道路上出现恶劣天气或交通事故情况时， γ 类道路上车流量的下降比例可表示为：

$$a_4 = \frac{-x_{od}^{(\gamma)}(i)_n}{x_{od}^{(\gamma)}}. \quad (25)$$

于是，得到三种类型路径 i 、 j 和 k 的车流量变化率方程组：

$$\begin{cases} \frac{\partial x_{od}^{(\alpha)}(i)}{\partial t} = x_{od}^{(\alpha)}(i)(a_2 - b_{11}x_{od}^{(\alpha)}(i) + b_{22}x_{od}^{(\gamma)}(k)(t - (t_3 - t_2))) \\ \frac{\partial x_{od}^{(\beta)}(k)}{\partial t} = x_{od}^{(\beta)}(k)(a_1 + b_{11}x_{od}^{(\alpha)}(i) + b_{12}x_{od}^{(\gamma)}(k)(t - (t_2 - t_1))) \\ \frac{\partial x_{od}^{(\gamma)}(k)}{\partial t} = \begin{cases} a_3 x_{od}^{(\gamma)}(k) & t \notin (t_1, t_3) \\ a_4 x_{od}^{(\gamma)}(k) & t \in (t_1, t_2) \\ 0 & t \in (t_2, t_3) \end{cases} \end{cases}. \quad (26)$$

从而得到 α 类、 β 类的第 i 、 j 的道路负荷指标：

$$\begin{cases} F_{\alpha}(i) = \frac{x_{od}^{(\alpha)}}{C_{r\alpha}(i)} \\ F_{\beta}(i) = \frac{x_{od}^{(\beta)}}{C_{r\beta}(j)} \end{cases}. \quad (27)$$

如果对任意一组 i 、 j 和 k ，都有 $h = \frac{F_{\alpha}(i)}{F_{\beta}(j)} = 1$ ，我们定义这种情况为交通配流动

态平衡。因为这些道路上的交通量没一个时刻都都处于动态的变化之中，因此，我们允许一个确定误差作为安全性的边缘值。最后，我们定义：当 h 处于 0.82

和 1.22 之间时^[4]，道路的交通量处于均衡。

4.3 问题三的模型的建立和求解

4.3.1 对小区类型的分类

问题三要求我们选取或构建不同类型的小区，利用问题二中的模型定量衡量道路通行能力的改变。我们从问题一的指标体系中选取小区内部和外部道路情况、人口密度等指标作为评价标准，从内部道路结构将小区划分为一字型、十字型和环型小区。具体结构如下图所示：

(1) 按小区内部道路划分

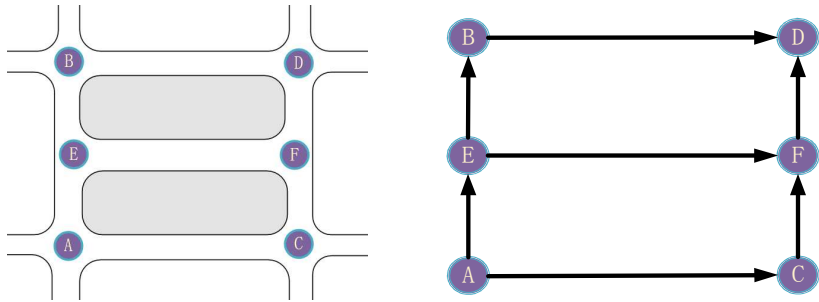


图 6. 一字型小区内部道路通行情况示意图

从图 6 中可以看出一字型小区即小区内部的道路只有一条，开放小区相当于在路网中增加了两个节点。

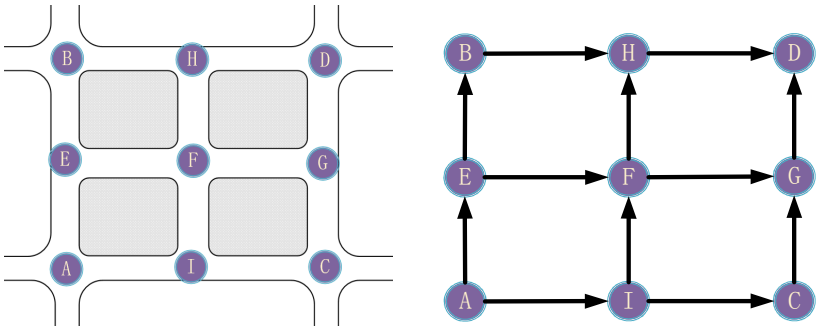


图 7. 十字形小区内部道路通行情况示意图

从图 7 中可以看出十字型小区即小区内部的道路有相互垂直的两条，开放小区相当于在路网中增加了五个节点。

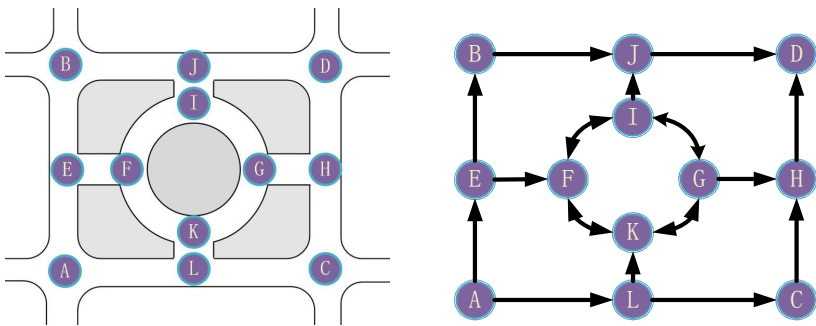


图 8 环型小区内部道路通行情况示意图

从图 8 中可以看出环型小区即小区内部的道路是一个圆形的，开放小区相当于在路网中增加了八个节点。

由上图（6-8）所示，比较三类小区的内部道路结构发现，内部道路环形的小区拥有最密集的路网密度和多向性的道路结构；因此，在仅考虑内部道路的开放对周边道路通行能力的影响作用下，开放环形小区对道路交通的影响效果最为

显著；十字形小区的影响效果次之，一字形小区的影响效果最次。

(2) 按小区周边道路结构和车流量进行划分

由于车流量因素往往和小区所在位置、小区周边道路层级、小区周边道路结构和密度等因素密切相关，难以孤立量化其影响效果。因此，我们这里采用小区周边道路结构和车流量作为影响因素，构建出路网分布分别为网状、树状、环形和线形的四种小区类型。具体的小区周边道路结构和车流量状况见下图 9，其中，箭头的粗细代表车流量的可视化效果。

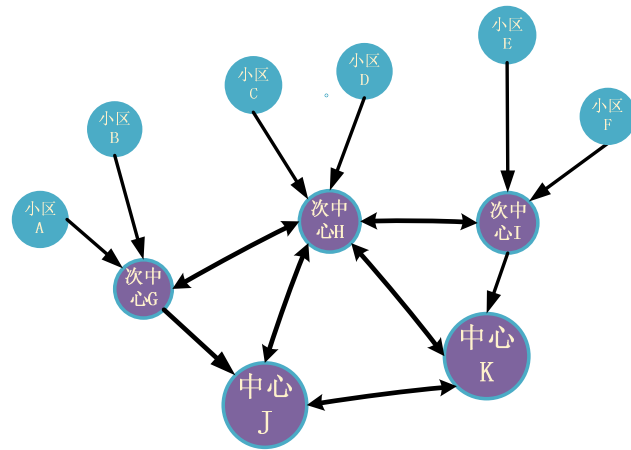


图 9.1 周边网状道路结构示意图

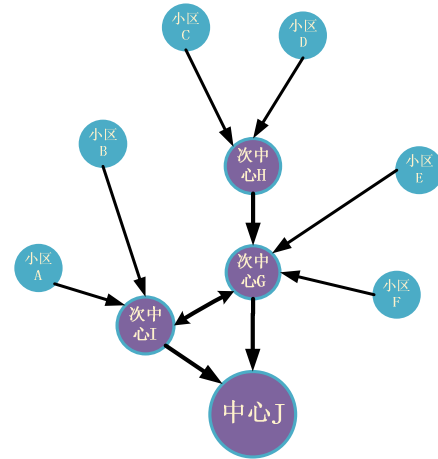


图 9.2 周边树状道路结构示意图

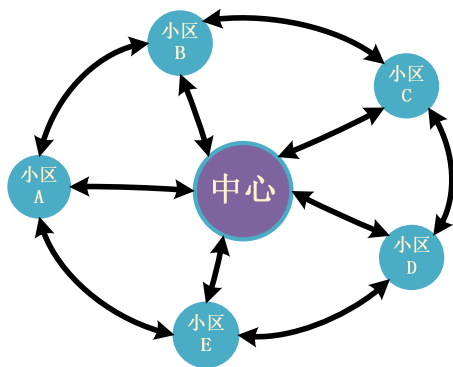


图 9.3 周边环形路网结构示意图

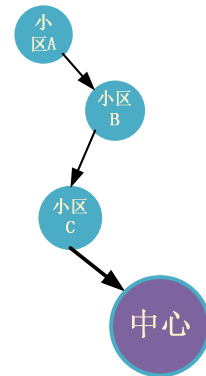


图 9.4 小区周边网状路网结构示意图

由图 9 所示，对于环形小区，由于小区之间、小区和社会活动聚集中心（简称中心、次中心）的关联十分密切，周边的车流量也最大。因此，环形小区的开放可以起到汇集周边分支道路的作用，从而对周边道路交通状况的改善起到明显的改善。对于位于网状和树状周边路网结构的小区，由于其本身位于城市较为核心的地段、车流量较大，周围交通复杂程度也较高，因此，其开放对周边通行能力的影响也比较显著。

对于处于条状道路周围的小区，如处于高速公路周边的小区，其路网结构简单、车流量较大、路网密度较低，其开放仅仅起到分流车流量的作用。并且，由于道路的数量较少，密度较低。最终，起始点的车流量都将汇总于为数不多的主干道上，而进出小区的交叉口极易造成主干道的拥挤和排队，可能会对通行能力产生负面影响。

4.3.2 基于问题二的模型对道路通行能力影响效果的定量求解和分析

根据问题二的模型，我们构造道路通行能力指数和系统成本的道路通行能力

综合评价指数，用于将道路通行能力进行定量分析，从而得到开放不同类型的小区对周边道路通行的定量影响。在问题三求解中，我们通过 *MATLAB*，利用 *MSA* 算法进行模拟，从而得到车流量的有关数据并代入模型求解。求解结果可视化如下：

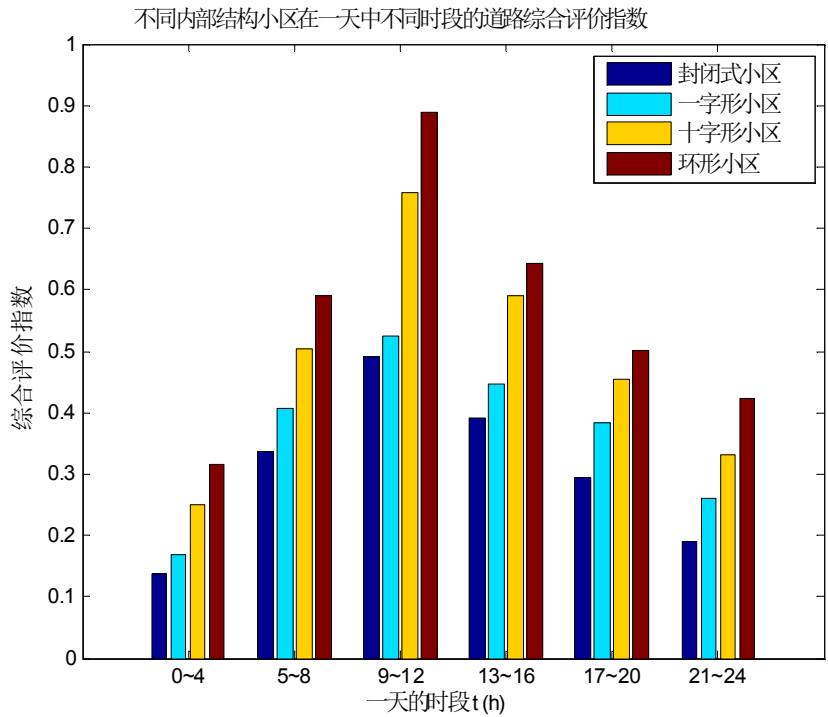


图 10.1 不同内部结构小区不同时段的道路通行能力综合评价指数

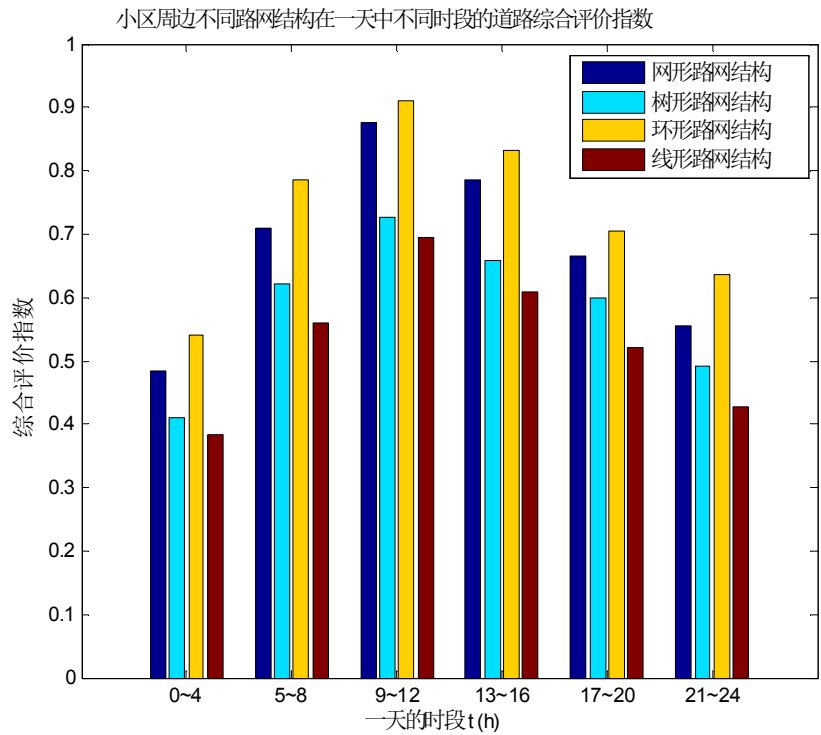


图 10.2 小区周边结构在不同时段的道路通行能力综合评价指数

由图可知,在一天中的各个时段,道路交通能力综合评价指数在小区开放前后均有明显的变化。根据图 10.1 的结果可知,在每天的早高峰时期,早上 8 点之前,封闭式小区的综合指数最小,通行能力也最差,其次是一字形、十字形和环形小区;此种趋势在其他时段也非常明显。利用拟合的数据求解,我们对各个时段的不同类型的开放小区与封闭小区的综合指数进行对比。得出结论:以一天为考察期限,开放小区后环形小区的通行能力提高约 38.34%;十字形小区通行能力提高 27.58%;一字形小区通行能力提高约 19.32%。类似由图 10.2,环形小区的开放效果最为明显,其次为网状小区、树形小区和条形小区。

4.4 问题四的模型的建立和分析

4.4.1 小区内道路设计和规划模型的建立

在问题二模型的基础上,我们考虑到小区开放的影响,但是将小区内的道路看成多个 0-1 变量,则问题二的目标函数变为如下:

$$\max F'_3(x) = \max \sum_p X_p \cdot \sigma \cdot G / G_{\max} + \sum_p X_p \cdot (1 - \sigma) \cdot F'_1(x) / F'_1(x)_{\max} \quad (28)$$

其中 $X_p = \begin{cases} 1, & \text{小区内修第 } p \text{ 条路,} \\ 0, & \text{小区内不修第 } p \text{ 条路.} \end{cases}$ 模型中的约束条件没有发生变化,这样通过求

解模型我们就能够科学的规划小区内的道路到底需不需要开通,哪条路需要开通。

4.4.2 小区开放的合理化定义

随着经济的飞速发展,路越修越宽,尽管出行方式也在逐步多样化,但道路交通状况依旧不理想。因此,寻找有效的改善道路交通状况的方法,一直都是人们关注的问题。本文通过建立道路通行能力评价指标体系和基于 UE 模型的交通流量动态调整和均衡分布模型,对道路交通能力进行定性和定量的分析,得出一些重要结论,因此,我们决定从交通通行的角度,对城市规划和交通管理部门提供如下关于小区开放的合理化建议。

1. 增建信号并使其灯智能化

在问题一中我们选取了交叉路口指标,我们发现,路口的信号灯严重影响附近的道路交通能力,特别当处于上下班高峰期时,由于信号灯周期的红灯时间过长,绿灯时间段,导致二次排队率时间过长,造成一定的交通堵塞,所以建议交通管理部门,能够引进先进的软件,更新现有的交叉路口的信号灯控制设备。开放小区,其实无形之中增加了叉路口,建设信号灯,并使其智能化,可以根据叉路口实际交通流量以及相关时间等因素,进行自动实时调控信号灯的周期长短,尽可能的最大限度提高道路通行能力。

2. 增加路网密度

现今经济的飞速发展促进了城市建设,但相关部门对于建设次支路网的关注度不够,更对多的是建设主干车道,导致一个城市的“毛细血管”不够丰富,严重影响道路交通能力。考虑到重新建设道路,会耗费大量的人力物力和财力,所以建议国家有关部门,充分利用已有的道路,如大力支持和鼓励开放封闭式小区,使得小区的道路可以与原有的道路交通网络紧密结合,形成一个有机整体,更好的发挥作用。

3. 有选择的开放封闭式小区

如今的小区根据有无停车场可以分为两类,对于有停车场的小区,建议开放

小区，因为现如今人均拥有车辆数正在逐年上升，对于有停车场的小区，在小区人均车辆数相同的情况下，其小区内部道路上停有的车辆比没有停车场的道路出来个占有率要低。所以，更推荐开放有停车场的小区，对于改善道路交通状况更有帮助。从我们模型中还可发现，小区的位置对道路通行能力的影响关系很大，即车流量大的小区，开放后对道路通行能力影响大于车流量小的小区开放的影响。

4. 利用本文构建的模型进行小区道路规划

问题一二中分辨针对现有的道路交通状况，构建评价体系，建立合适的数学模型。对于城市规划部门，我们可以在设计小区内部道路时，将规划中的道路引入数学模型，可以找出最合适的小区道路设计方案。我们引入 0-1 变量，对于每一条设计中的小区道路，若该条道路对于小区开放后改善道路交通有必要，则对应为 1，若可有可无，则为 0。因此，我们可以寻找最为合适的小区内部道路设计方案。

5. 建立城市的多核心发展模式

通过查阅相关文献和报道，我们不难发现，许多交通状况比较严重的城市，它的核心大多只有一个，人们想要休闲娱乐购物，必须到市中心，这是造成道路交通阻塞的原因之一。现在的小区建设越来越一体化，一个新的小区的建成，会包含许多休闲娱乐购物医院学校等相关设施，所以开放小区，可以使小区的这些设施能够更加充分的利用起来，改善道路交通能力的同时也能提高设施的利用率。

6. 加强交通管理力度

有时造成道路交通堵塞的原因，还因为许多人未能遵守道路交通法则，造成道路交通无法有秩序的进行。所以建议交通管理部门能够加大交通管理的力度，同时加强相关法制的宣传与教育，增强人们的道路交通观念。遵守道路交通法则，对于改善道路交通状况有很大帮助。

综上，开放小区不仅能优化道路交通网，提高道路通行能力，而且还能根据小区内部道路设计模型，在小区规划建设中，提供有效的办法，设计出合适的道路，从多个方面均可以说明小区开放是合理化的，所以建议开放封闭式小区。

五、误差分析

1. 问题一中选取的道路通行能力指标仅仅是从路网结构指标，交叉路口指标，路段指标，小区内部情况指标，位置指标这五个方面考虑，是不够全面的，并且在运用加权平均法确定系数时，对于每个指标的权重系数都一样，这是存在误差的。
2. 问题二中出行者对恶劣天气情况或交通事故的发生的察觉时间存在一定去误差，即未考虑到人的反应时间的影响。
3. 问题三中对评价道路通行综合指数时没有考虑小区内部结构和外围交通路网结构的交互影响。

六、参考文献

- [1]陈华友，周礼刚，刘金培.数学模型与数学建模，北京：科学出版社，2014 年 1 月第一版
[2]祝付玲 交通拥堵评价体系[D] 南京：东南大学 2006.
[3]刘美娇 混合交通网络流量均衡分配模型及算法[D] 长沙：中南大学 2007

[4] Zhaoning Zhang , Zhongzhou Hao , Zheng Gao, A dynamic adjustment and distribution method of air traffic flow enroute[J] [Journal of Air Transport Management](#) 2015:15-20

附录:

%%熵权法%%

```
function shangquanfa(x)
```

```
    a=min(x);
```

```
    b=max(x);
```

```
    [m,n]=size(x);
```

```
    p=1/log(m);
```

```
    Dir=ones(n,1);
```

%标准化指标

```
    A=x;
```

```
    for i=1:m
```

```
        for j=1:n
```

```
            if Dir(j)==1
```

```
                x(i,j)=(x(i,j)-a(j))/(b(j)-a(j)); %高优指标处理
```

```
            else
```

```
                x(i,j)=(b(j)-x(i,j))/(b(j)-a(j)); %低优指标处理
```

```
            end
```

```
        end
```

```
    end
```

```
    T=sum(x);
```

%计算标准化矩阵的每一列的和，计算第 i 个待选方案第 j 个指标的值所占的概率

```
    for i=1:m
```

```
        for j=1:n
```

```
            p(i,j)=x(i,j)/T(j);
```

```
        end
```

```
    end
```

%指标归一化

```
    for i=1:m
```

```
        for j=1:n
```

```
            if p(i,j)==0
```

```
                z(i,j)=0;
```

```
            else
```

```
                z(i,j)=log(p(i,j));
```

```
            end
```

```
        end
```

```
    end
```

```
    e=zeros(1,n);
```

```
    for i=1:m
```

```
        for j=1:n
```

```
            e(j)=e(j)+p(i,j)*z(i,j)*(-p);
```

```

        end
    end

    T=sum(e);
    for i=1:n
        g(i)=(1-e(i))/(n-T);
    end

    for i=1:n
        w(i)=g(i)/sum(g); %计算权重
    end

    G=zeros(1,m);

    %计算综合得分
    for i=1:m
        for j=1:n
            G(i)=G(i)+w(j)*A(i,j);
        end
    end

    % t=[1:m];
    % plot(t,s,'b*-');
    G

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%MSA 主函数%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    clc;clear all;close all;
    Node=xlsread('Node.xls')
    %Node.xls 里面存放的是节点的数据格式为 node_id,lat,long,初始数量, 自己增加的固定车流量,
    %比如 1,38.1,22.5,0,10
    %边的编号要从 1, 2, 3 开始编号, 一直下去
    Edge=xlsread('Edge.xls')

    %Edge.xls 里面存放的是边的链接数据, 格式为 node_id,node_id,lim_num
    %这里的边是有向边, 所以边 ij 和边 ji 是两个不一样的边
    [Node_num,~]=size(Node);
    Node_info=[Node,zeros(Node_num,1)]; %[lat,long,当前车流, 自己增加的固定车流量, 下一刻车流变化]

    [Edge_num,~]=size(Edge);
    Edge_info=cell(Node_num,1);
    %Flow 的每个元胞里面包含了对应点的邻点, 容纳上限, 当前车流量。
    for i=1:Edge_num
        n1=find(Node(:,1)==Edge(i,1));%流出的 node_id
        n2=find(Node(:,1)==Edge(i,2));%流入的 node_id
        temp=[n2,Edge(i,3),0,0, 0]; %[邻点, 容纳上限, 此刻车流,选择概率, 下一刻车流]
    end

```

```

if isempty(Edge_info{n1,1})
    Edge_info{n1,1}=temp;
else
    Edge_info{n1,1}=[Edge_info{n1,1};temp];
end
end

item=500 %设置迭代次数
n=0;
while n < item
    Pic(Node_info,Edge_info)
    [Node_info_new,Edge_info_new]=trans(Node_info,Edge_info);
    Node_info_new=Node_info;
    Edge_info_new=Edge_info_new;
    n=n+1;
End

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%拥堵评估函数%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function value=ValueEdge(FlowEdge)
%计算边的拥堵评估值，值越大越拥堵,已完成
    value=FlowEdge(3)/FlowEdge(2)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%期望分配函数%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function Flow_new=PrabNearEdge(Flow_i)
%计算从 i 点分配到每条边的比例，已完成
    [m,n]=size(Flow_i);
    value=zeros(m,1);
    for i = 1:m
        Flow_i(i,4)=1-ValueEdge(Flow_i(i,:));
    end
    s=sum(Flow_i(:,4));
    if s>0
        Flow_i(:,4)=Flow_i(:,4)/s;
    else
        Flow_i(:,4)=1/m;
    end
    Flow_new=Flow_i;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%实际分配函数%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function Flow_i_new=RealNearEdge(Flow_i,Node_i)
%计算实际从 i 点分配到各个邻边的流量,已完成
    Flow_i_new=PrabNearEdge(Flow_i);
    [m,n]=size(Flow_i);
    for i = 1:m
        Flow_i(i,5)=Node_i(3)*Flow_i(i,4);
        if Flow_i(i,5)>Flow_i(i,2)

```

```

        Flow_i(i,5)=Flow_i(i,2);
    end
    Flow_i_new=Flow_i;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%更新数据函数%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function [Node_info_new,Edge_info_new]=trans(Node_info,Edge_info)
%更新每点所有邻边的流量,和每个点的流量,已完成
[m,~]=size(Edge_info)
Edge_info_new=Edge_info
for i=1:m
    [n,~]=size(Edge_info{i,1})
    for j=1:n
        Node_info(Edge_info{i,1}(j,1),5)=Edge_info{i,1}(j,3)
    end
end
Node_info(:,5)= Node_info(:,5)+Node_info(:,4)

for i=1:n
    if ~isempty(Edge_info{i,1})
        Edge_info_new{i,1}=RealNearEdge(Edge_info{i,1},Node_info(i,:));
        Edge_info_new{i,1}(:,3)=Edge_info_new{i,1}(:,5);
    end
end

[Node_n,~]=size(Node_info)
for i= 1: Node_n
    if Node_info(i,3)<0
        Node_info(i,3)=0
    end
end
Node_info_new=Node_info
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%画图函数%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function Pic(Node_info,Edge_info)
%做图
[m,~]=size(Edge_info);
[mm,~]=size(Node_info);
for i=1:m
    [n,~]=size(Edge_info{i,1});
    for j=1:n
        y=[Node_info(i,1),Node_info(j,1)]
        x=[Node_info(i,2),Node_info(j,2)]
        v=ceil(ValueEdge(Edge_info{i,1}(j,:))*5);

```

```

v=ValueEdge(Edge_info{i,1}(j,:))*5
if v<1
    v=1
end
v=round(v)
c=['g','c','b','y','r'];
plot(x,y,c(v),'LineWidth',2)
hold on
end

End

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%小区内部结构对道路负荷度的影响%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clc;clear all;close all;
F1=[0.3144 0.5896 0.8878 0.6421 0.5001 0.4221
    0.2508 0.5045 0.7589 0.5896 0.4545 0.3312
    0.1689 0.4065 0.5256 0.4474 0.3825 0.2603
    0.1378 0.3368 0.4896 0.3921 0.2934 0.1886]';
bar(F1)
title('不同内部结构小区不同时段道路通行能力指数'),xlabel('一天的时段 t'),ylabel('道路通行能力指数');
set(gca,'XTickLabel',{'0~4','5~8','9~12','13~16','17~20','21~24'});
legend('封闭式小区','一字形小区','十字形小区','环形小区');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%小区周边路网结构对道路负荷度的影响%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clc;clear all;close all;
F2=[0.4103    0.6218    0.7278    0.6582    0.6004    0.4917
    0.4832    0.7090    0.8754    0.7847    0.6645    0.5548
    0.3826    0.5598    0.6957    0.6090    0.5211    0.4279
    0.5398    0.7847    0.9101    0.8315    0.7051    0.6357]';
bar(F2)
title('小区周边不同路网结构在不同时段道路通行能力指数'),xlabel('一天的时段 t'),ylabel('道路通行能力指数');
set(gca,'XTickLabel',{'0~4','5~8','9~12','13~16','17~20','21~24'});
legend('网形路网结构','树形路网结构','环形路网结构','线形路网结构');

```