

小区开放对道路通行的影响

——CUMCM2016B

国防科学技术大学 吴孟达

小区开放对道路通行的影响

1. 题目及命题背景

2. 解题思路

3. 评阅综述

1. 题目及命题背景





题目：小区开放对道路通行的影响

2016年2月21日，国务院发布《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》，其中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，引起了广泛的关注和讨论。



除了开放小区可能引发的安保等问题外，议论的焦点之一是：开放小区能否达到优化路网结构，提高道路通行能力，改善交通状况的目的，以及改善效果如何。一种观点认为封闭式小区破坏了城市路网结构，堵塞了城市“毛细血管”，容易造成交通阻塞。小区开放后，路网密度提高，道路面积增加，通行能力自然会有提升。也有人认为这与小区面积、位置、外部及内部道路状况等诸多因素有关，不能一概而论。还有人认为小区开放后，虽然可通行道路增多了，相应地，小区周边主路上进出小区的交叉路口的车辆也会增多，也可能会影响主路的通行速度。



城市规划和交通管理部门希望你们建立数学模型，就小区开放对周边道路通行的影响进行研究，为科学决策提供定量依据，为此请你们尝试解决以下问题：

1. 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。
2. 请建立关于车辆通行的数学模型，用以研究小区开放对周边道路通行的影响。



3. 小区开放产生的效果，可能会与小区结构及周边道路结构、车流量有关，请选取或构建不同类型的小区，应用你们建立的模型，定量比较各类型小区开放前后对道路通行的影响。

4. 根据你们的研究结果，从交通通行的角度，向城市规划和交通管理部门提出你们关于小区开放的合理化建议。



命题背景

- 命题目的：通过建立数学模型，给出小区开放对道路通行影响的定量效果评价，为管理部门提供量化的决策依据。
- 本问题设置的四个子问题，有很强的内在逻辑关联性，其主题分别为：指标—建模—应用—建议，环环相扣。



命题背景

- 关于道路通行的数学模型已有很多，作为竞赛题目，本问题并非希望同学们建立一个完全自主提出的新的数学模型，这也不现实。能够合理地组合应用已有的交通数学模型，得出与本问题有关的有价值的结论，就是好模型。



2. 解题思路

第一问 指标体系

- 指标选择要素
 - 针对性：反映小区开放前后周边道路通行的变化。
 - 全局性：反映道路通行整体影响。
 - 可计算性：不是抽象的、描述性的概念，而是可定量计算的。
 - 广泛性：应包含主要要素，一般有三类：通行能力度量；安全性度量；脆弱性度量。



第一问 指标体系

- 典型评价指标

- 通行能力评价

单位时间通行流量，车辆通过时间，通行延误时间，流量饱和度，……

注意整体性指标



第一问 指标体系





第一问 指标体系

➤ 安全性评价

统计路口冲突次数，作为安全性评价指标。

文献[8]给出了无信号灯交通路口车辆小时冲突次数的理论估计：

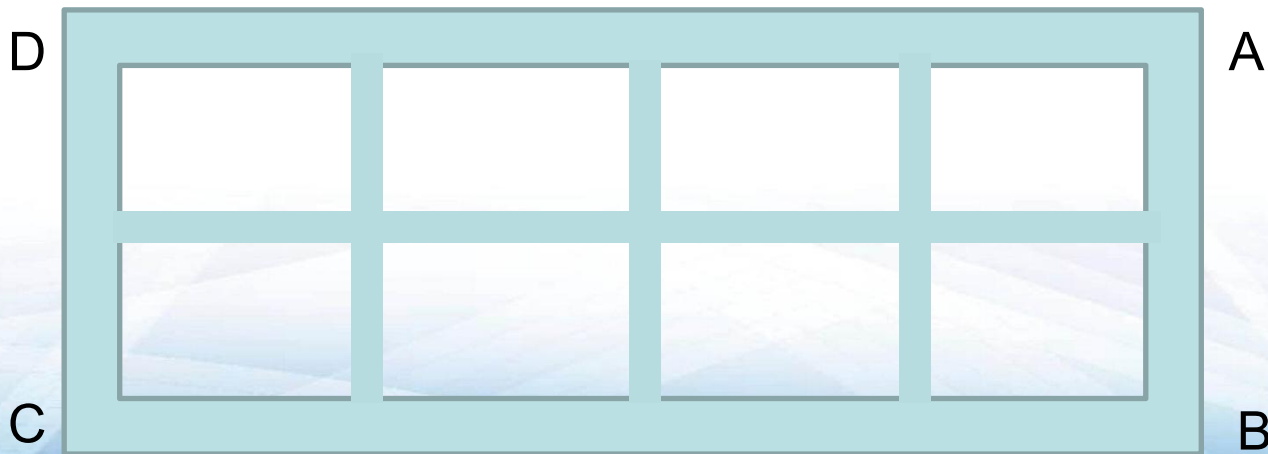
$$FN = 3600H_0(\lambda_1 e^{-\lambda_1 H_0})(\lambda_2 e^{-\lambda_2 H_0})$$

其中 λ_1, λ_2 分别为主干道和小区道路上的车流量（辆/秒）， H_0 是小区道路和主干道车辆先后到达统计截面的时间间隔阈值。

第一问 指标体系

➤ 脆弱性评价

路网结构度量指标，可以按照车道数计算堵塞概率的变化。





第二问 建立车辆通行的数学模型

该问题的困难之处在于没有小区开放后的直接数据可供使用，因此，建立小区开放前后车辆行驶的仿真模型是评价小区开放带来的影响的有效手段。好的仿真模型应该重点考虑以下几个方面：

- 小区周边道路（含小区道路）的流量分配；
- 无信号灯控制交叉路口的通行模型；
- 周边道路和小区道路上车辆的最大行驶速度的区别。



第二问 建立车辆通行的数学模型

● 小区周边道路（含小区道路）流量分配

小区周边道路（含小区内部道路）车流量的分配，考察以下几种流量分配方案：

(1) 均匀分配：将进入讨论的小区周边道路区域的车辆按车道数均匀分配到该区域的每一条路径中。



第二问 建立车辆通行的数学模型

● 小区周边道路（含小区道路）流量分配

(2) 随机均衡分配：流量分配不事先确定，在仿真中，车辆在每一个路口根据一定概率随机选择下一条道路，此概率与路径长短或行驶时间长短有关。



第二问 建立车辆通行的数学模型

● 小区周边道路（含小区道路）流量分配

(3) **Wardrop**均衡：当道路的使用者确切知道网络的交通状态并试图选择最短路径时，网络将会达到均衡状态。此时，每个**OD**对各条被使用的路径具有相等而且最小的行驶时间，没有被使用的路径的行驶时间大于或等于最小行驶时间。数学上可表示为：



$$\min Z(X) = \sum_a x_a t(x_a)$$

满足：

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \sum_{a \in R_k^{rs}} f_k^{rs} = x_a \quad f_k^{rs} \geq 0$$

其中 x_a 为分配在道路 a 上的交通流量， $t(x_a)$ 为道路 a 上的通行时间， f_k^{rs} 为从入口 r 到出口 s 中的第 k 条路径 R_k^{rs} 上的流量， q_{rs} 为从入口 r 到出口 s 的总流量。若采用仿真模型，可使用时间步长法近似计算，每一时间步长内的车流量近似认为是不变的，每次分配选择通行时间最小的路径进行分配。



第二问 建立车辆通行的数学模型

(4) Logit 函数分配：由于出行者对交通网络的总体出行状况一般缺乏充分的了解，因此出行者对每一条路径都有一个“理解阻抗值”，它与真实阻抗值之间存在一定的误差，在误差服从Weibull分布的假设下，路径流量可按照如下 Logit 函数来分配：

$$q_l^m = q^m \cdot \frac{\exp(-\theta T_l^m)}{\sum_{r \in R} \exp(-\theta T_r^m)}$$

其中： m 是路口， R 是道路数量， q 是流量， T 是阻抗， θ 是参数。



第二问 建立车辆通行的数学模型

● 小区周边道路（含小区道路）流量分配

另外，关于车流量在不同道路上的最优分配，不少参赛队建立了一个等效模型——电路等效模型，这是一种有趣的构想，有兴趣的读者可参阅今年竞赛的优秀论文集（《工程数学学报》，2016，增刊）。



第二问 建立车辆通行的数学模型

● 交叉路口的通行模型

➤ 有信号灯控制路口的时间延误

经验模型 ([3]) :

$$RT = \frac{0.5T \left(1 - \frac{t_{\text{E}}}{T}\right)}{1 - \left(\min(1, x) \frac{t_{\text{E}}}{T}\right)}$$

➤ 无信号灯控制路口的时间延误

排队论模型 ([4]) :

$$RT = \frac{\left(\rho + \frac{\rho^2 + q_0^2 \frac{1}{q^2}}{2(1-\rho)}\right)}{q}$$



第二问 建立车辆通行的数学模型

无信号小区路口的仿真，有一定难度，不少参赛队采用了一些简化估计的方法，例如使用下面的交叉路口通行效率折算系数表：

车速 V (km/h)	交叉口之间距离 (m)					
	100	200	300	400	500	600
20	0.45	0.62	0.71	0.76	0.80	0.83
30	0.31	0.48	0.58	0.65	0.70	0.73
40	0.23	0.38	0.48	0.55	0.60	0.64
50	0.18	0.30	0.39	0.46	0.52	0.56



第二问 建立车辆通行的数学模型

● 仿真模型

可使用元胞自动机模型中描述交通运行的N-S模型（[7]）刻画车辆在道路上的行驶, 但需要作较多的简化处理, 例如: 不考虑变道与超车, 不考虑车辆不同, 不考虑行人与非机动车, 路口处流量分配可成批处理, 冲突延误时间固定等等, 此种情形下有一句忠告:

如果你面临两种抉择: 一个精致的但得不出有价值的结论的模型, 一个粗糙的却能够得到有价值的大体结论的模型, 选择后者。



第三问 定量比较各类小区的开放效果

不同类型的小区开放对周边道路通行的影响是不一样的。要求基于第二问的模型和第一问的评价指标研究小区开放是否有效，并进而得到一般性的结论或规律。重点讨论以下两个问题：

- 小区分类

小区的分类依据应该着眼于小区开放效果的不同。影响小区开放效果的因素主要包括小区的大小及内部道路结构、小区周边道路结构及流量分布等。



第三问 定量比较各类小区的开放效果

● 探索规律

探索影响小区开放效果的重要因素或一般性结论，主要包括：

- 小区周边道路流量对小区开放效果的影响；
- 小区结构和大小对小区开放效果的影响；
- 路口通行规则对小区开放效果的影响。



第四问 给管理部门的合理化建议

根据第三问对小区开放一般性结论的探索，向管理部门提出小区开放的合理化建议。合理化建议的基础应该是来自于模型的量化计算结果。

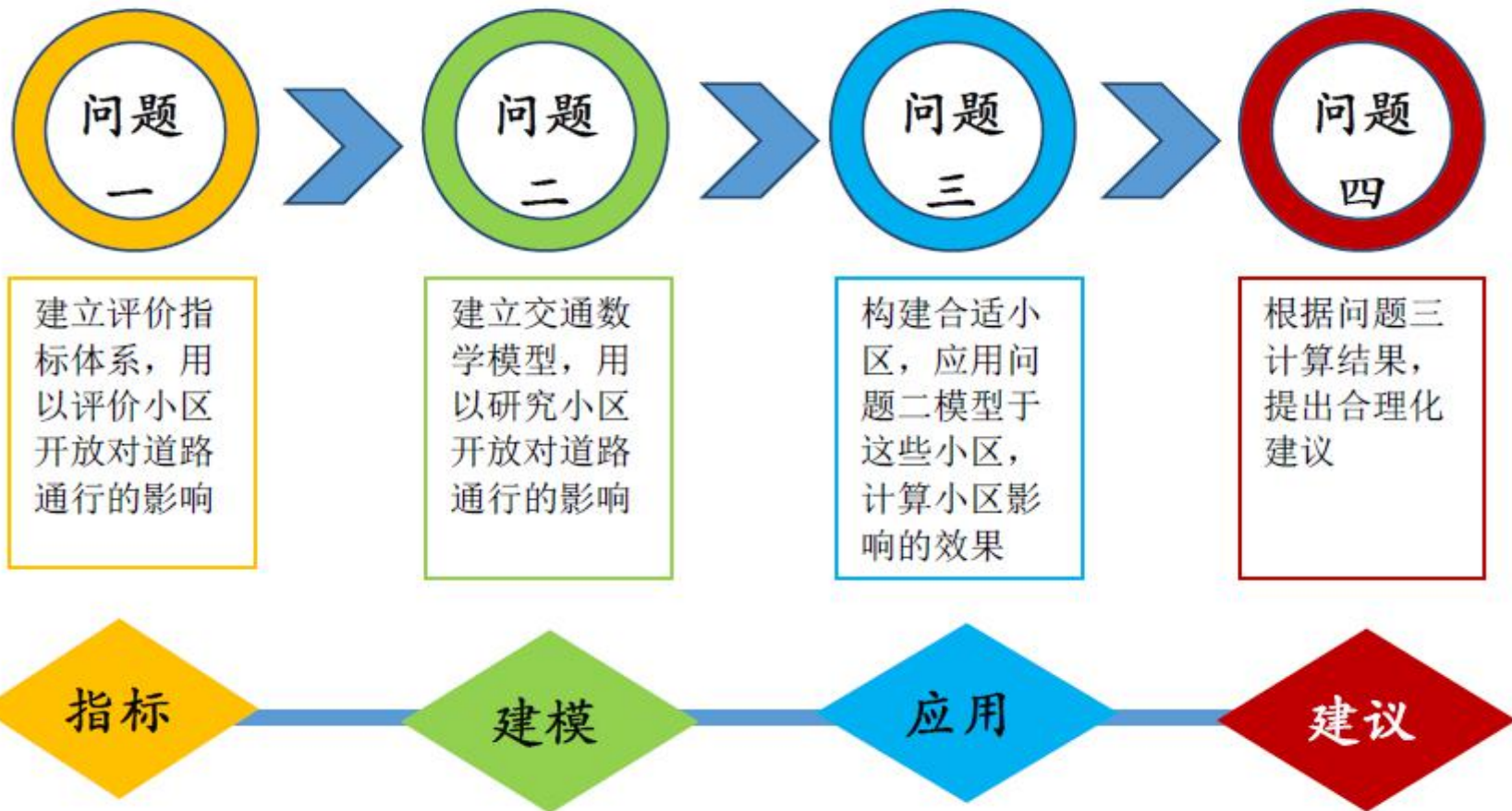


3. 评阅综述

3.1 问题特性

本题竞赛论文最为普遍的共性问题是对问题本身的特性理解不到位，体现在以下三个方面：

(1) 一致性：在命题背景中已经提到，本问题设置的四个子问题，有很强的内在逻辑关联性，如图：





3. 评阅综述

而本次竞赛中，有相当部分的论文将四个子问题割裂了开来，分别建立模型讨论之，明显背离了题目的本意，反映出建模者对题目的理解流于肤浅，问题意识欠缺。

对问题理解不深不透，创新无从谈起！



3. 评阅综述

(2) 联动性：由于整体仿真计算复杂度较高，不少队采用分路段、分路口讨论的局部仿真模型，思路是可行的，但是，各个局部路段或路口的交通状况是互相关联的，由此得到的局部区域效果不能说明小区开放的整体效果。如何通过合理简化，得到整体影响的效果，是本问题的一个难点。



3. 评阅综述

(3) 针对性: 不少参赛论文建立的模型，就是一般的交通模型，与小区开放与否无关，放到高速公路上可用，放到城市交通上也可用，这样的模型，对本问题自然没有价值，从而自然也得不到好的评价。本问题建模最重要的针对性因素是道路（含小区内部道路）流量均衡分配，无信号控制交叉路口的通行规则及延误，以及小区内部车辆行驶规则。



3. 评阅综述

3.2 审题能力

审题能力，可称之为眼力，或者说是把握建模方向的能力，也是建模能力的组成部分。本次竞赛，暴露了不少参赛同学把握建模方向能力不足的短处，例如：

- 第一问按题意仅需给出评价指标及其计算公式即可，不少参赛论文的第一问，指标、模型、求解俱全，将前三问要做的事都做了，严重背离了题目的本意；



3. 评阅综述

- 许多参赛论文第一问引入了一大堆指标，都是度量道路通行能力的指标，而与小区开放紧密相关的安全性与脆弱性指标，却看不到，是对问题建模目标理解上的偏差，应当注意到题目是“小区开放对道路通行的影响”，而不是“小区开放对道路通行能力的影响”。另外，这些道路通行能力度量指标，一般都具有很强的正相关性，取有代表性的1、2个即可。



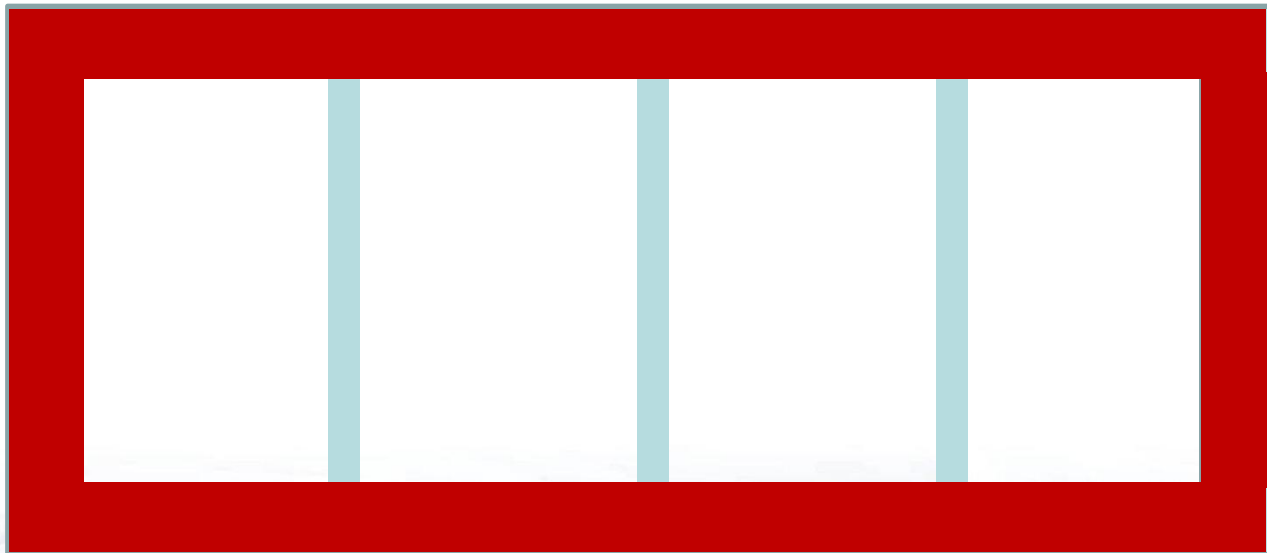
3. 评阅综述

- 大部分参赛论文第三问以小区内部道路结构，作为划分小区类型的唯一依据，对小区分类讨论的目的没有理解到位。事实上，小区分类是为了研究分析小区开放对周边道路通行的不同影响，换句话说，小区应按照对道路通行的不同影响效果加以分类，小区内部道路结构只是影响通行效果的一个因素，而且并非主要因素，小区大小、周边交通流量分布等因素也许更值得关注。



3. 评阅综述

举个例子：



同一个小区，不同的OD分布，结论不相同！



3. 评阅综述

- 普遍未对以下一般规律进行研究，也是境界不高的表现：
 - 小区周边道路流量对小区开放效果的影响；
 - 小区结构和大小对小区开放效果的影响；
 - 路口通行规则对小区开放效果的影响。

把握建模方向的能力（眼力），是建模能力（=眼力+脑力+手力）一个方面，通常题目越贴近实际，对眼力的要求越高。



3. 评阅综述

3.3 问题与方法

如何处理问题与方法的关系，是建模指导观念的体现。正确的观念应是：**问题是主角，方法是配角**。从近年来的竞赛论文来看，许多参赛论文更偏向于对建模方法高、新、深的追求，而往往忽视了对问题的本质因素的深入发掘，其表现为对各种“时髦方法”的滥用，而对问题的研究却不深不透，这是一种“方法焦虑症”症状，是本末倒置的表现，很不利于创新思维习惯的发展与形成。



3. 评阅综述

3.3 问题与方法

在本次竞赛中，同样存在此类问题，例如，说到评价，层次分析法、主成分方法、模糊综合评价方法频频出现；说到计算，模拟退火、遗传算法纷纷上马，不管这些方法对解决此问题是否合适与必要。而关于小区开放对周边道路通行影响的关键因素之一——无信号控制交叉路口的通行规则及其通行效果，却鲜有论文做出深入的研究与分析。



3. 评阅综述

对于精致无意义的模型，与粗糙有意义的模型之间的选择，多数参赛队倾向于选择前者。这也是“方法 > 问题”建模指导思想的一种体现。



参考文献

- [1] 李向鹏, 城市交通拥堵对策-封闭型小区交通开放研究[D], 长沙理工大学硕士学位论文, 2014年.
- [2] 郑远, 杜豫川, 孙立军, 美国联邦公路局路阻函数探讨[J], 2007, 3(1): 24-26.
- [3] 任福田, 刘晓明, 宋建, 交通工程学[M], 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [4] Webster, F. V., Traffic Signal Settings[R], Road Research Laboratory Technical Paper No. 39, HMSO, London, 1958.
- [5] 张邦礼, 刘一武, 曹长修等, 无信号灯交叉路口延误模型及仿真研究, 重庆大学学报, 1993, 16(6): 79-86



参考文献

- [6] 邵春福. 交通规划原理[M], 北京: 中国铁道出版社, 2004.
- [7] Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic[J], Journal of Physics I France, 1992, 2(12): 2221-2229.
- [8] 张树升, 张晓燕, 无信号交叉口冲突和延误的研究[J], 西安公路学院学报, 1989, 7(3): 61-68.
- [9] 姜虹、高自友, 用遗传算法解决拥挤条件下的公共交通随机用户平衡配流模型[J]. 公路交通科技, 2000(2): 37-41.

谢谢！