

# 基于环境空气容量的最大出行产生率

王晓宁, 吴志涛

(哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 150090 哈尔滨)

**摘要:** 为从环保角度控制区域土地开发强度,提出了基于环境空气容量的区域土地最大出行产生率确定方法. 将用A值法计算出的区域大气环境容量的一部分分担为区域环境空气容量,把由路网容量换算的车辆污染物排放量与区域环境空气容量作比较,通过调节路网流量使比值为1. 剔除过境交通后,利用OD反推理论和调节后的路网流量反推出各小区出行量,根据区域总出行量和可利用土地面积计算出区域土地最大出行产生率. 以深圳市某区域路网进行算例分析,结果表明:该方法能够确定环境空气容量约束下的区域土地最大出行产生率,在土地开发时考虑环境空气容量,有助于从根源上保护交通环境.

**关键词:** 最大出行产生率;环境空气容量;土地开发强度;路网容量;A值法;OD反推  
**中图分类号:** U491      **文献标志码:** A      **文章编号:** 0367-6234(2012)10-0061-05

## Maximum trip generation rate based on environmental air capacity

WANG Xiao-ning, WU Zhi-tao

(School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China)

**Abstract:** To control the regional land development intensity from the environmental protection point of view, proposed method for determining the regional maximum trip generation rate based on environmental air capacity. A part of regional atmospheric capacity calculated by A value method was shared for environmental air capacity. Road network capacity was equivalent conversion to vehicle pollutant emissions. Then adjusted the network traffic volume to let vehicle pollutant emissions was equal to environmental air capacity. After removed transit traffic, used OD matrix estimation theory and adjusted network traffic volume to estimate traffic trips of each traffic zone. According to total traffic trips and available land area, regional maximum trip generation rate was calculated out. A certain region was selected as a numerical example and the result shows that proposed method is effective. Considering environmental air capacity in land development, it helped to protect traffic environment from root cause.

**Key words:** maximum trip generation rate; environmental air capacity; land development intensity; road network capacity; A value method; OD matrix estimation

近年来,随着城市机动车保有量的增加,机动车排放的污染物在城市空气污染物总量中分担率越来越高,造成的空气污染日益受到关注. 城市区域环境空气质量受机动车出行量的影响,而出行

量又受区域土地开发强度的影响,所以影响空气污染的根源是土地开发强度. 区域土地开发强度存在极值,过量地开发会带来空气污染问题. 为控制土地开发强度,我国已广泛开展交通影响分析工作,但交通影响分析理论没有考虑建设项目建成后吸引的交通对所在区域造成的空气污染问题. 因此,从环境空气角度研究土地开发强度临界值,对控制区域空气污染具有重要的理论意义和实用价值.

收稿日期: 2011-05-20.

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(70803007);  
中国博士后科学基金特别资助项目(200902387).

作者简介: 王晓宁(1974—),女,副教授.

通信作者: 王晓宁, wxn1974@hit.edu.cn.

许多学者在道路设施受限条件下,利用交通环境容量控制交通需求方面开展了一系列研究.如赵童等<sup>[1]</sup>提出了基于“用地反馈”的交通影响分析思路并建立了基于重力模型的逆四阶段法用地反馈模型,该模型旨在探究区域路网剩余通行能力还能支持多大的土地开发量,没有考虑交通环境容量因素.刘志硕等<sup>[2]</sup>根据一个环境中污染物输入输出特征,建立了城市交通环境承载力的计量模型.杨忠振等<sup>[3]</sup>研究了路段的交通环境承载力,对每条路段的交通环境承载力进行求和得到1个区域的交通环境承载力,并选取了CO作为计算指标.两篇文献均从宏观角度研究了交通环境承载力(交通环境承载力最大可达到交通环境容量),着眼于整个城市,目的是确定城市机动车保有量大小,但没有考虑对区域土地开发强度的控制.李铁柱等<sup>[4-5]</sup>从微观角度研究了交通环境容量并建立了求解路段和区域交通环境容量模型,模型从限制路段交通量大小和控制机动车出行率角度为保护区域环境空气质量提供理论依据,不涉及土地利用.叶彭姚等<sup>[6]</sup>研究了城市交通效益与路网密度的关系,得出了存在一个最佳路网密度使交通效益最大的结论,但未求出此最佳密度值.可见,现有研究主要集中在确定交通环境容量的方法并用其控制交通需求上,交通环境容量对土地利用影响的研究偏少.因此,在区域一定的道路设施和保持一定环境空气质量的条件下,研究区域土地容许的最大出行产生率确定方法,可以控制交通对区域空气造成污染.本文在计算区域环境空气容量和把计算的路网容量换算成车辆污染物排放量后,以路网流量为媒介,通过调节路网流量大小,达到用区域环境空气容量约束路网容量的目的;根据OD反推理论模型和路网流量,反推出区域的出行产生量;根据区域可利用的土地面积计算单位土地面积容许产生的最大出行产生量.

## 1 区域环境空气容量计算

容量是指一定空间容纳某种物质的能力.环境空气容量是交通环境容量的组成部分,而交通环境容量是从环境容量衍生来的概念.环境学科认为交通环境容量是环境容量在交通排放源上的分担量,是环境容量的一部分.在环境学科中,环境容量定义为在一定区域内,考虑污染物的背景浓度,当污染物排放量和清除量相等时,该区域所容纳的污染物的量.从定义可知,环境容量是一段时间内区域环境容纳污染物总量的最大值,随时

间而变化.本文环境空气容量含义是在其他排放源一定的情况下,为保障人体和区域生态环境安全,区域环境在一段时间内最大能容纳道路交通排放的空气污染物总量.

区域环境空气容量的计算采用环境学科中的A值法<sup>[7]</sup>.A值法原理是将区域视为由1个或多个箱体组成,下垫面为底,混合层顶为箱盖,通过对区域的通风量、雨洗能力、混合层厚度、下垫面等条件综合分析得出浓度限值后,计算出1a内由大气的自净能力所能清除掉的大气污染物总量.把A值控制区分n个小区,每个小区面积为 $S_i$ ,则区域环境空气容量为

$$Q = \sum Q_i = \sum_{i=1}^n A(c_i - c_{bi}) \frac{S_i}{\sqrt{S}}, \quad (1)$$

$$Q_i = \eta Q. \quad (2)$$

式中: $Q$ 为区域环境容量, $10^4$  t/a; $Q_i$ 为*i*小区环境容量, $10^4$  t/a; $A$ 为该地区的容量系数, $10^4$  km<sup>2</sup>/a; $c_i$ 为*i*小区污染物年均浓度限值,mg/m<sup>3</sup>; $c_{bi}$ 为*i*小区污染物背景浓度,mg/m<sup>3</sup>; $S_i$ 为*i*小区面积,km<sup>2</sup>; $S$ 为小区面积总和,km<sup>2</sup>; $n$ 为小区数; $Q_i$ 为环境空气容量, $10^4$  t/a; $\eta$ 为交通排放的污染物占区域污染物总量的比例.

## 2 路网容量和污染物排放量计算

### 2.1 路网容量计算

土地开发需要足够的道路设施支持,大容量的道路网对应区域高的经济发展水平,适应区域大的交通需求.区域路网容量与土地开发强度密切相关,甚至前者对后者起着决定性的作用.路网容量含义:在气候条件良好的条件下,为保证路网服务水平不低于最低可接受水平,单位时间内路网最多能够容纳的车辆数.根据含义,路网容量由路段容量和交叉口容量两部分组成.图论中为研究方便,常将节点容量转换为弧容量而使节点容量为零,故借鉴此方法将交叉口容量等效转换为路段容量而使交叉口容量为零,假设交叉口容量分配到与之相连路段上的量与该路段容量间存在简单的比例关系,且比例都相等.

当路网容量最大时,理论上区域土地开发量也达到最大值.路网容量受路网结构影响,其大小客观表现为路网流量大小.先从区域路网容量的角度探究土地最大出行产生率,后用交通环境容量约束条件进行修正.研究的关键是路网容量最大时路网上车辆污染物排放量的确定.路网流量在此的含义为路网中每条路段的交通量.基于此,

可建立路网流量与路网容量之间的关系模型。根据所采用的流量不同, 路网容量分为基本容量和实际容量, 前者采用路段的基本通行能力计算, 后者采用路段实际调查所得的流量计算。

路网实际最大容量的确定是根据路网基本容量和实际容量计算路网服务水平(饱和度), 以最低可接受服务水平为目标调节路网流量使实际容量最大。若计算的服务水平高于最低可接受水平, 则增大路网流量(实际上是每条路段流量)使路网服务水平等于最低可接受水平; 反之, 则减小路网流量(实际上是每条路段流量)使路网服务水平等于最低可接受水平。

根据文献[8]可求得区域路网基本容量和实际容量, 但求得的路网容量与本文路网容量含义有出入。因此, 为便于研究, 引入如下模型。模型分为两部分, 前一部分为单位时间内路段的通行能力, 后半部分为路段上的车辆数。根据格林希尔治线性模型有

$$C_j = \sum_i k_i(v_i + L_i) = \sum_i \left[ C_{ji} + (1 + 2\alpha) \frac{2C_{ji} \cdot L_i}{v_i} \right], \quad (3)$$

$$C_s = \sum_i k_i(v_i + L_i) = \sum_i \left[ q_i + (1 + 2\alpha) \frac{q_i \cdot L_i}{v_i} \right]. \quad (4)$$

式中:  $C_j$  为路网基本容量, pcu/h;  $C_{ji}$  为路段  $i$  基本通行能力, pcu/h;  $k_i$  为路段  $i$  交通流密度, pcu/m;  $L_i$  为路段  $i$  长度, m;  $v_i$  为路段  $i$  自由流速度, m/s;  $C_s$  为路网实际容量, pcu/h;  $v_i$  为路段  $i$  平均车速, m/s;  $q_i$  为路段  $i$  流量, pcu/h;  $\alpha$  为交叉口容量分配到与之相连各路段的比例。

式(3)、(4)用于计算路网服务水平, 当区域道路因用地紧张等因素而无法拓宽以增大基本路网容量时, 就不能只考虑交通环境容量, 而应同时考虑路网实际容量和交通环境容量并取两者中的较小值以确定路段流量  $q_i$ 。

## 2.2 污染物排放量计算

为在一定区域环境空气质量条件下控制土地开发强度, 需增加区域环境空气容量约束条件。为便于研究需统一计量单位, 把路网容量等效换算为路网上车辆污染物排放量。在调节路网流量使路网实际容量最大后, 计算此时路网上车辆在一定时间段内污染物排放总量。车辆污染物排放量包括在路段运行过程中的排放量和经过交叉口的排放量两部分。因影响因素复杂, 车辆经过交叉口的排放量目前还没有成熟的确定方法。考虑到车辆经过交叉口的排放量与相连路段流量有关, 故

假设这两者为正比关系且比例都相等。

利用单车污染物排放因子法进行计算, 即

$$M = 17 \sum_{k=1}^n \lambda_k E_k q_k. \quad (5)$$

式中:  $M$  为 1 d 内单位长度的道路上各种类型机动车污染物总的排放强度, g/km;  $\lambda_k$  为  $k$  型机动车污染物排放因子车速修正系数;  $E_k$  为  $k$  型机动车污染物的单车排放因子,  $g \cdot km^{-1} \cdot veh^{-1}$ ;  $q_k$  为  $k$  型机动车交通量, veh/h,  $k = 1, 2, 3$  分别表示小型车、中型车和大型车。

因城市交通不是 24 h 交通, 假设城市交通时间为 6:00 时至 23:00 时, 则

$$Q_r = \sum_{j=1}^n (1 + 2\beta) M L_j \times 365 \times 10^{-6}. \quad (6)$$

式中:  $Q_r$  为 1 a 内路网上运行的所有车辆排放的污染物总量, t/a;  $L_j$  为  $j$  路段长度, km;  $\beta$  为车辆经过交叉口的排放量与经过相连路段的排放量的比值;  $n$  为路段总数。

由路网条件和路网服务水平可以推算区域的出行产生率值, 但该值可能对区域的环境空气质量不利或者没有充分利用区域大气环境资源。因此, 用式(6)计算得一定服务水平条件下路网中车辆污染物排放总量后, 用区域环境空气容量对其进行修正, 以求得环境空气容量约束下的最大容许出行产生率。

## 3 区域土地最大出行产生率计算

在计算当路网容量最大时路网中车辆 1 a 内污染物排放总量后, 增加区域环境空气容量这一约束条件。若  $Q_r/Q_c < 1$ , 则表示区域土地开发量不足, 需增大路网基本容量, 进而可以使路网实际容量增大, 最终表现为增大路网流量, 调节措施: 给予每条路段流量一个增长系数(快、主、次、支不同), 使比较双方恰好相等; 若  $Q_r/Q_c > 1$ , 则表示区域土地开发过量, 调节措施: 给予每条路段流量一个降低系数(快、主、次、支不同), 使比较双方恰好相等; 若  $Q_r/Q_c = 1$ , 表示区域土地开发适当。

路网流量不都对区域土地开发有贡献, 过境交通的存在不仅占用区域道路资源, 而且限制区域土地开发量。与区域相关的交通量中, 只有起点或终点在区域内部的出行, 才被认为对区域土地开发有贡献。因此, 路网流量中需先剔除过境交通量, 再根据 OD 反推理论用剩余交通量信息反推各交通小区的出行产生量。区域土地最大出行产生率计算流程见图 1。

为得到最大出行产生率, 需获取区域总出行

量数据. 通过环境空气容量约束求得路网中每条路段流量后, 根据路网几何和流量信息, 利用 **OD** 反推理论, 就能反推得各交通小区间的出行分布量. 从研究内容看, 无需求得小区间的出行分布量, 而只需求得各小区的出行产生量或吸引量. 由于在 **OD** 矩阵中小区出行产生量与出行吸引量相平衡, 所以思路是先通过非结构化 **OD** 反推方法反推得小区间的出行分布量, 再求得各小区的出行产生量 (**OD** 矩阵中每行的和). 若依据此思路, 则需解决无先验 **OD** 矩阵的问题和反推模型的选择问题. 借鉴文献 [9] 中的先验 **OD** 矩阵构造方法, 即先任意给定 **OD** 矩阵并用全有全无方法进行分配, 得到出行分配率后, 根据 **OD** 反推模型反推出先验 **OD** 矩阵, 再按有先验 **OD** 矩阵的情况进行反推.

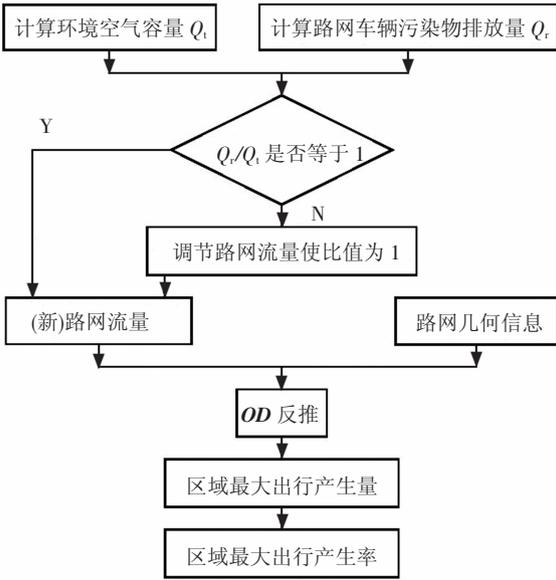


图1 区域土地最大出行产生率计算流程图

在求得各小区出行产生量后, 把各小区的出行产生量进行求和得到区域总出行产生量. 然后除以区域可利用的土地面积, 得区域土地最大出行产生率, 即区域土地利用最大容许开发强度.

$$[\lambda] = \frac{O}{\omega S} \quad (7)$$

式中:  $[\lambda]$  为区域土地利用最大出行产生率,  $\text{pcu}/\text{m}^2$ ;  $O$  为区域最大出行产生量,  $\text{pcu}$ ;  $\omega$  为区域可利用土地面积占区域总面积的比例;  $S$  为区域面积,  $\text{m}^2$ .

### 4 算例分析

选取深圳市某区域路网进行算例分析, 具体

见图 2 和图 3. 图 2 中数据是路段长度, 图 3 中数据是路段双向流量. 该区域内共有 94 条路段, 区域面积为  $1.57 \text{ km}^2$ , 划分为 6 个交通小区, 各小区面积见表 1.

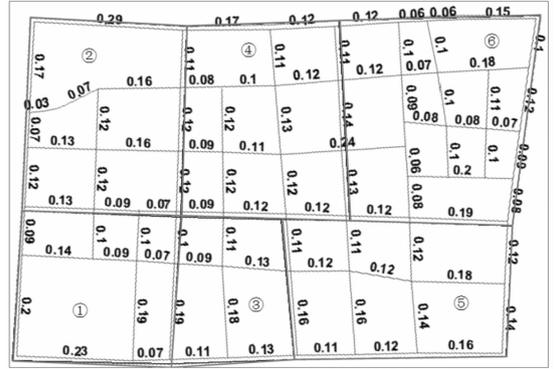


图2 区域分区及路段长度 (km)

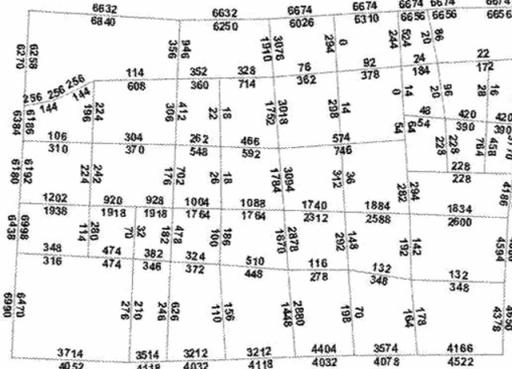


图3 区域路网流量 (veh · h<sup>-1</sup>)

环境空气容量计算. 依据国家标准, 大气容量测算指标为  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$  和  $\text{PM}_{10}$  3 项. 机动车排放的污染物主要有  $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{HC}$  和  $\text{PM}$  (颗粒物). 考虑简化计算量和所选污染物的代表性, 选取  $\text{NO}_x$  作为环境空气容量的测算指标. 假设污染控制目标为国家二级标准 (空气中  $\text{NO}_x$  质量浓度为  $0.08 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) 并忽略背景浓度值,  $A$  值取  $3.64 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$ ,  $\eta$  取 0.7. 根据式 (1)、(2), 可求得该区域环境容量和环境空气容量分别为  $3.66 \times 10^3$ 、 $2.56 \times 10^3 \text{ t}/\text{a}$ .

表1 各交通小区环境容量计算结果

小区编号	小区面积/ $\text{km}^2$	小区环境容量/ $(10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1})$
1	0.276	0.064
2	0.213	0.050
3	0.338	0.079
4	0.219	0.051
5	0.239	0.056
6	0.285	0.066

路网容量到车辆污染物排放量的换算. 假设路网中每条路段的小、中、大 3 种车型数量的比例

为 0.8:0.15:0.05; 单车排放因子参考文献[10]的研究成果, 具体见表 2;  $\alpha = 0.2, \beta = 0.2$ . 车辆折算系数采用高速公路基本路段的折算值, 即小型车为 1.0, 中型车为 1.5, 大型车为 2.0.

表 2 各种车型在不同速度下的单车排放因子

车速/(km·h <sup>-1</sup> )	排放因子/(g·km <sup>-1</sup> ·veh <sup>-1</sup> )		
	小型车	中型车	大型车
20	4.74	7.24	13.53
40	4.12	6.62	11.77
60	4.09	6.59	11.94

根据式(4)~(6), 可计算得该区域 1 a 内路网上运行的所有车辆排放的污染物总量为  $2.23 \times 10^3$  t.

最大出行产生率的计算. 当  $Q_r/Q_l < 1$ , 由计算结果可知, 该区域土地开发量不足, 应采取增大路网流量措施. 调节路网流量, 使  $Q_r/Q_l$  的比值为 1, 再剔除过境交通后(假设过境交通的比例为 50%), 采用 TransCAD 软件进行 OD 反推. 为简化计算, 假设各种等级的道路交通量调节系数相等, 调节系数  $Q_r/Q_l = 1.15$ . 反推后小区 1~6 的出行产生量分别为 3 873、407、1 957、8 263、13 044、7 778 pcu, 出行总量为 25 322 pcu.

若假设该区域可利用土地面积占区域总面积的比例  $\omega = 0.9$ , 根据式(7), 求得区域土地利用最大出行产生率  $[\lambda] = 0.025$  pcu/m<sup>2</sup>.

由上述分析可知, 该算例只考虑了境内出行中的区间出行, 没有考虑区内出行和起点或讫点在境外的出行. 由于区域面积较小且各小区用地性质较为单一, 使区内出行对最大出行产生率的影较小, 可以接受. 对于起点或讫点在境外的出行, 算例假设该出行量较小, 忽略不计.

## 5 结 论

1) 以区域交通环境容量为约束条件, 选取了 NO<sub>x</sub> 作为测算评价指标, 综合考虑了路网容量和服务水平, 提出了区域土地最大容许出行产生率的确定方法, 从控制机动车排放的角度为衡量区域土地是否开发过量提供了一个评判标准.

2) 通过环境空气容量和路网容量的比较, 可以根据  $Q_r/Q_l$  的计算结果, 依据格林希尔治线性模型评价现状和改善后的路网的服务水平, 为分析路网设施改善效果提供理论依据.

3) 依据最大出行产生率值, 对容积率一定的建设项目可依据此方法确定合理规模; 对于组合型建设项目, 可进一步采用线性优化的方法得到最佳组合方式, 使区域土地开发的效益最大, 为建设项目的合理选址和规模确定提供依据.

4) 分析了环境空气容量对土地开发强度的制约, 而土地开发强度还受停车设施、交通组织方式、轨道交通和区域其他资源等因素制约, 这些有待于进一步研究.

## 参考文献:

- [1] 赵童, 徐慰慈. 交通影响分析中逆四阶段用地反馈模型探讨[J]. 同济大学学报, 2001, 29(11): 1267 - 1271.
- [2] 刘志硕, 申金升, 张智文, 等. 基于交通环境承载力的城市交通容量的确定方法及应用[J]. 中国公路学报, 2004, 17(1): 71 - 73.
- [3] 杨忠振, 苗国强, 冯涛. 环境承载力约束条件下城市最大乘用车保有量预测[J]. 中国公路学报, 2006, 19(6): 93 - 96.
- [4] 李铁柱, 朱志高, 田新现. 城市道路路段环境交通容量[J]. 东南大学学报, 2008, 38(2): 310 - 312.
- [5] 李铁柱, 林锦山, 吴孟庭, 等. 城市环境交通容量空间分析方法[J]. 东南大学学报, 2009, 39(6): 1275 - 1277.
- [6] 叶彭姚, 陈小鸿. 基于交通效率的城市最佳路网密度研究[J]. 中国公路学报, 2008, 21(4): 95 - 97.
- [7] 杨宁宁. 城市区域大气环境容量测算研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [8] 陈乃志, 胡佳. 路网容量法在城市用地与交通规划宏观分析中的应用[J]. 规划师, 2007(10): 32 - 34.
- [9] 马广英. OD 矩阵反推策略及其在交通仿真系统中的应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [10] 王晓宁. 道路立体交叉交通污染分析与评价研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.

(编辑 魏希柱)