

# 考虑环境影响的 公交专用道规划方案评价研究

吴孟庭<sup>1</sup> 李铁柱<sup>1</sup> 何 炜<sup>2</sup>

1. 东南大学, 交通学院, 南京 210096;

2. 许昌市规划设计院, 河南, 许昌 461000

**摘 要:** 本文将对照城市交通可持续发展的要求, 将燃油消耗和尾气排放作为环境评价指标纳入城市公交专用道规划方案的评价过程当中, 将 VISSIM 模型与 CMEM 模型整合成微观交通尾气模拟平台以输出决策过程所需要的交通和环境评价指标值。采用层次分析法确定各评价指标的权重, 并以各方案的灰色关联度作为评价准则, 建立了方案决策模型。以南京市太平北路为例, 分析对该路段设置路侧公交专用道和路中公交专用道对整个路段的交通和环境影响, 结果表明是否考虑规划对环境的影响所得到的结果不同。

**关键词:** 公交专用道; 尾气排放; CMEM; 交通仿真; 灰色关联度

中图分类号: U491.2'23.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2010)01-0082-08

## Scheme Evaluation of Bus Lane Planning

### Considering Environmental Impact

WU Meng-ting<sup>1</sup> LI Tie-zhu<sup>1</sup> HE Wei<sup>2</sup>

1. Transportation College, Southeast University,  
Nanjing 210096, China

2. Xuchang Planning and Design Institute, XUCHANG  
461000, Henan, China

收稿日期: 2009-03-26.

基金项目: 国家自然科学基金(50118041)。

作者简介: 吴孟庭(1985-), 女, 山东烟台人, 汉族, 东南大学交通学院交通运输规划与管理专业, 在读硕士生, 研究方向为交通环境。

**Abstract:** In order to meet the need of sustainable development in urban traffic, fuel consumptions and pollutant emissions were selected as environmental evaluation indexes in the evaluation process of bus lane planning. The microscopic traffic simulation model VISSIM and the modal emissions model CMEM were combined to output the traffic and environmental evaluation index values in decision. The planning decision model was established by using analytic hierarchy process (AHP) to determine the weights of the evaluating indicators and taking the degree of gray incidence as the evaluation criteria. Taking Taiping North road of Nanjing as an example, this paper analyzed the traffic and environmental influence of bus lanes which were set respectively on the lateral and central of the road. The result shows that it is very different whether the environmental influence is considered in planning or not.

**Key words:** Bus lane, exhaust emissions, CMEM, traffic simulation, gray correlation

## 0 引言

公交专用道是指在较宽的车道上,用交通标线或硬质分离的方法划出一条车道作为公交专用道,在特定的时段内,供公共汽车行驶而不允许其他车辆通行<sup>[1]</sup>。公交专用道可以采用多种形式来实施,在道路建设上,既可以在现有道路上实施也可以在专建道路上进行;在空间布局上,既可以在地面上,也可以高架,甚至是在地下;在与其他道路的关系上,可分为封闭和非封闭两种;在时间上,可分为高峰时间公交专用道、限定时间公交专用道和全天候公交专用道;在车辆行驶方向上,可分为顺向公交专用道、逆向公交专用道和可变向公交专用道;在设置位置上,可分为路侧公交专用道、路中公交专用道等<sup>[2]</sup>。

方案评价在交通管理规划中具有重要的作用,它对规划方案的调整、优化以及推荐方案的确定起着决定性作用。国内制定交通管理规划方案近期是以综合治理交通秩序,合理组织与渠化交通、缓解城市交通拥挤堵塞为重点,因此,目前主要是以能表征交通负荷和服务水平的  $V/C$  比、平均车速和交叉口延误等指标作为方案评价指标;而远期将逐渐以实现与城市社会经济发展水平相一致,建立一个安全畅通、环境污染小的城市交通系统为目标,故本文将对照城市交通可持续发展的要求,将资源优化利用和环境保护等相

关指标引入公交专用道规划方案的评价体系。

## 1 分析流程

### 1.1 建立模拟路网

根据实地调查得到的各项交通相关数据,利用常用的微观交通仿真软件 VISSIM 建立模拟路网。利用 VISSIM 模型进行交通模拟,需要两类数据:一类为静态数据,主要是路网结构参数,包括路段长度、宽度、坡度、车道数、车道宽度、停车线位置和转弯车道几何特征等,可以通过实地观察和测量得到;另一类为动态数据,主要包括:①路网入口处的交通量和各交叉口不同方向进口道的交通量、转向交通量;②公交线路和公交站点以及各路公交车的发车间隔;③各交叉口的优先规则和交通信号配时。以上数据均可通过交通调查得到。

### 1.2 构建微观交通尾气模拟平台

本文采用微观仿真软件 VISSIM 和综合模式排放模型 CMEM 这两种已经被实验证实为有效的软件,通过两个模型之间输出文件和输入文件之间的衔接,构建能够进行微观交通尾气模拟分析的软件组合。此软件组合既能输出反映交通负荷和服务水平的各项指标,又能建立交通和尾气、油耗之间的定量评价关系,输出机动车尾气排放量和燃油消耗量。

1.3 现状路网模拟分析

在现状路网上实施现行的交通管理与控制措施，应用微观交通尾气模拟分析软件组合进行模拟，输出反映交通服务水平和影响交通大气环境的数据文件，对输出文件中的各项数据进行整理统计分析。

1.4 实施规划方案后的路网模拟分析

在现状路网上分别实施拟定的公交专用道规划方案，应用微观交通尾气模拟分析软件组合进行模拟，输出反映交通服务水平和影响交通大气环境的数据文件，对输出文件中的各项数据进行整理统计分析。

1.5 公交专用道规划方案决策

将现状以及实施各项公交专用道规划方案后所得到的各项目标数据进行比较分析，最后选出综合数据最优的方案。本文采用灰色关联分析法构建决策模型对公交专用道规划方案进行优选，其中各指标值的权重由层次分析法确定。

2 微观交通尾气模拟平台

至今为止，许多交通模型与各种统计方法相结合计算尾气排放，所得到的结果并不是很精确而且也无法反映动态交通流状况。因此，需要构建一个既能够

反映动态交通流状况又能够计算其尾气排放的模拟分析平台来分析和评价实际路网的车辆运行状况对环境的影响。本文采用 VISSIM 和 CMEM 这两种已经被实验所证实为有效的软件，通过两个模型之间的接口设计，构建微观交通尾气模拟分析平台，建立交通和尾气之间的定量评价关系。

2.1 模拟工具

微观交通模拟采用常用的德国 PTV 公司的 VISSIM 软件。VISSIM 的交通模型是一种微观的、基于时间步长和驾驶员行为的仿真模拟模型，能够模拟城市道路、高速公路等道路类型的交通运行状况，特别是可以模拟公交和混合交通。VISSIM 既可以在线生成可视化的交通运行状况，也可以离线输出各种统计数据，如：行程时间、排队长度等<sup>[3],[4]</sup>。

尾气排放和油耗的计算采用加州大学河边分校开发的 CMEM 模型，该模型基于发动机负载和污染物形成的物理化学原理，考虑各种行驶状态对排放的影响。CMEM 模型对尾气排放的计算是关于车辆运行模式的函数，它考虑单个车的运行模式，如加速、怠速等，从而计算车辆每一秒钟的 HC、CO 和 NO<sub>x</sub> 排放以及燃料消耗，因此，它是与微观交通模拟模型相结合，建立有效的模拟分析模型组合的理想选择。CMEM 的模型结构如图 2 所示<sup>[5]-[7]</sup>。

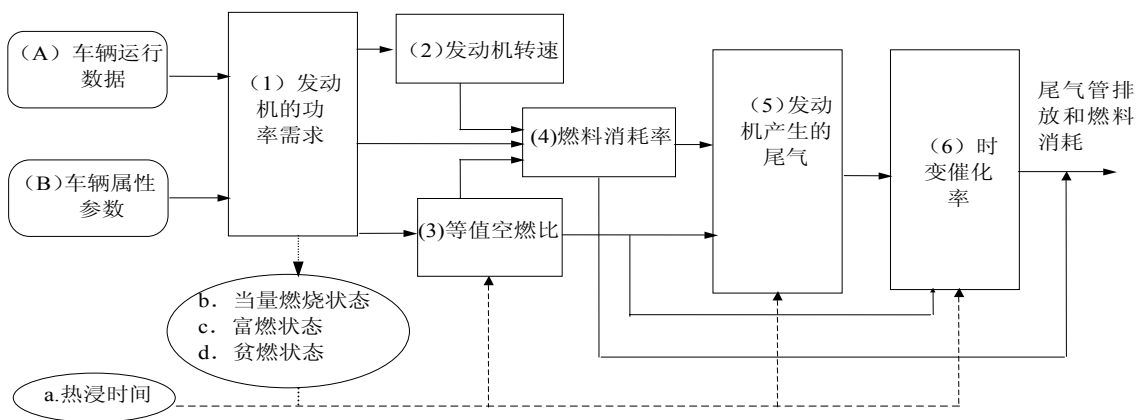


图 1 CMEM 模型结构

Fig.1 Model structure of CMEM

## 2.2 VISSIM 与 CMEM 模型的整合

假设路网中行驶的机动车皆为轻型车,应用 CMEM 模型中的 CMEMBatch.exe 程序就可以得到路网中所有机动车辆的污染物排放和燃油消耗量情况。这需要我们提供三种文件:车辆控制文件、行为文件和定义文件。

(1) 控制文件的内容主要包括车辆的各属性参数,如车型、车重、发动机转速、最大扭矩、最大功率等,这些可以通过调查获得。(2) 行为文件则完全依靠 VISSIM 仿真提供,主要包括车辆 ID、仿真时间、每秒的速度和加速度,VISSIM 将需要的车辆运行状况数据用数据库方式输出,经格式转化整理即可作为 CMEM 所必须的行为文件。(3) 定义文件包括车辆 ID、车型、热浸时间和环境湿度,这些可以通过 VISSIM 输出以及实地调查得到。

通过将 VISSIM 的输出文件与 CMEM 的输入文件相衔接也就实现了二者的整合。

## 3 灰色关联分析模型

本文的公交专用道规划方案决策采用灰色关联分析模型,通过定量地比较各方案对应的灰色关联度的大小来确定最优方案,其中,评价指标的权值由层次分析法确定。

灰色关联分析是对运行机制与物理原型不清晰或者根本缺乏物理原型的灰关系序列化、模式化,进而建立灰关联分析模型,使灰关系量化、序化、显化,能为复杂系统的建模提供重要的技术分析手段<sup>[8]</sup>。以往的系统分析的量化方法,大都是数理统计法,如回归分析、方差分析、主成分分析等,其中以回归分析使用最多。然而,回归分析要求大量样本量,要求样本有较好的分布规律,计算工作量大,可能出现量化结果与定性分析结果不符的现象,这说明回归分析有较大的局限性。关联分析法是按发展趋势作分析,因此对样本量的多少没有过分要求,也不需要典型的分布规律,计算量小,即使是十个以上变量序列的情况也可以用手算,且不致出现关联度的量化结果与定性

分析不一致的情况<sup>[9]</sup>。

灰色系统关联分析的主要步骤如下<sup>[10]</sup>:

(1) 确定比较数据列和参考数据列

在公交专用道规划方案的比较选择中,根据实施方案所要达到的目标,选择关键性的特征指标。例如,路段平均车速、交叉口平均延误、尾气污染排放及车辆燃油消耗等,以此作为技术经济指标的数据列,即比较数据列,表示为:

$$\{x_i(k)\} = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

式中(1)表示共有  $m$  个方案,共选择  $n$  个评价指标,其中  $x_i(k)$  ( $i=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, n$ ) 表示方案  $i$  的第  $k$  个指标值。

确定参考数据列的原则是它的各项元素均是从诸方案的技术经济指标数据列中选出的一个最佳值,由这些最佳值组成最优参考数据列:

$$\{x_0\} = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\} \quad (2)$$

确定最优者要根据具体指标来确定。如果某一指标取大值为好,最优值则取该指标在各方案原始值的最大值;如果取小值为好,最优值则取该指标在各方案原始值的最小值;若取均值为好,则取各指标的均值。

(2) 原始数据变换

由于各因素数据的物理意义不同,其数据量纲也不一定相同,数据大小的量级相差悬殊,在比较时难以获得正确结果,故对原始数据需要消除量纲并变换为可比较的数据序列。常用的主要有四种方法:初值化处理、均值化处理、区间值化处理、归一化处理。其中,最常用的是初值化处理和均值化处理方法。

初值化处理就是对一个数列的所有数据用它的第一个数去除,从而得到一个新数列的方法。这个新数列表明原始数列中不同时刻的值相对于第一时刻值的倍数。该数列有共同起点,无量纲,其数据值均大于 0。

(3) 计算关联系数

如果令经过原始数据变换得到的最优序列为  $y_0$ ,

比较序列为  $y_i (i=1,2,\dots,m)$ ，则称：

$$\xi_{0i}(k) = \frac{\min_i \min_k |y_0(k) - y_i(k)| + \rho \max_i \max_k |y_0(k) - y_i(k)|}{|y_0(k) - y_i(k)| + \rho \max_i \max_k |y_0(k) - y_i(k)|} \quad (3)$$

为曲线  $y_0$  与  $y_i$  在第  $k$  点的相对关联系数。

式中， $\rho$  为分辨系数，用来提高关联系数之间差异的显著性，一般取  $\rho = 0.5$  为宜。

(4) 计算关联度

设各指标的重要性是有差别的，按重要性大小赋予其相应的权重值  $w(k) (k=1,2,\dots,n)$  且  $\sum_{k=1}^n w(k) = 1 (w(k) \geq 0)$ ，则关联度的数学模型为：

$$r_{0i} = \sum_{k=1}^n w(k) \xi_{0i}(k) \quad (4)$$

在灰色关联度分析中，关键是比较各个比较序列对同一参考序列的关联度大小，因此应将关联度按大小顺序排列，关联度最大者表示该比较序列对参考序列的相关性最强，其对应的方案最优。

表1 太平北路路段特性和单向分车型晚高峰小时交通量

Tab.1 Characteristics and evening peak hour traffic volumes in a direction of Taiping North road

全长/m	机动车道数	每车道宽/m	中央分隔	公交停靠站	由北向南单向晚高峰小时交通量/veh	
928	双向六车道	3.0	护栏	四个直线式停靠站	93 (公交车)	745 (小客车)

4.2 模型整合与参数标定

由于南京市限制货运机动车白天(6时至23时)在此路段上行驶，故研究路段在白天不存在货车交通流，同时考虑到非机动车不产生燃油消耗和尾气排放，因此选取两种典型车型(即小客车和公交车)作为VISSIM模型中定义的车辆类型。

本文将模拟路段所有机动车的燃油消耗和尾气排放，因此应用CMEM模型中的CMEMBatch.exe程序。通过实地调查统计发现该路段小客车的技术类型主要对应CEME模型中的第4类至第7类车型，其中第6类车所占比例最大，因此将小客车对应为CMEM中定义的车辆类型6。另外，由于CMEM中

4 实例分析

4.1 选取研究对象并提出假设的公交专用道规划方案

根据规划，到2010年南京市将在太平北路、北京东路等城区主干道上开辟公交专用道，因此研究选取的实际路段为东南大学附近南北向的太平北路(北京东路—珠江路)路段。实例中提出两个公交专用道规划方案：方案一为对该路段设置路侧公交专用道；方案二为对该路段设置路中式公交专用道。

实地调查的路段各项交通相关数据主要包括：道路的基本特性(路段长度、中央分隔、进口道划分、车道数和车道宽度等)、交通管理与控制措施(转向限制和信号配时等)、公交线路及站点设置、公交车发车间隔及上下车客流量和分车型的交通流量以及各车型的车速分布等。结合以上调查数据利用VISSIM软件建立模拟路段。

现状路段交通特性和由北向南方向(北京东路—珠江路方向)单向分车型晚高峰小时交通流量如表1所示。

没有定义公交车，因此根据车辆质量和发动机类型，将公共汽车对应为CMEM中定义的车辆类型40，见表2。

表2 VISSIM模型和CMEM模型之间的车型映射

Tab.2 Vehicle type corresponding relation between VISSIM model and CMEM model

车型分类	对应VISSIM定义的车辆	对应CMEM定义的车辆	车辆主要技术参数
小客车	100	6	三元催化器，电喷，总行驶里程 $< 8 \times 10^4 \text{km}$ ，低功率质量比
公交车	300	40	柴油发动机，轻型卡车(总质量 $> 4000 \text{kg}$ )

将实际调查所得相关数据的平均值写入 CMEM 模型所需的控制文件和定义文件中, 见表 3。利用 VISSIM 对所研究路段进行模拟的车辆运行状况数据

用数据库方式输出, 然后把车辆运行工况数据转换成 CMEM 模型计算油耗和排放所需要的车辆行为文件。

表 3 CMEM 模型中部分默认参数的修正

Tab.3 Modification of some default parameters in CMEM model

参数 (单位)	意义	车型 6	车型 40
Mass(kg)	车辆总质量	1 250	9 000
Ed(L)	发动机排量	1.8	3.0
Nm(r/min)	发动机最大扭矩时的转速	4 000	1 500
Qm(ft.lb)	发动机最大扭矩	120	420
Np(r/min)	发动机最大功率时的转速	6 000	2 500
Zmax(hp)	发动机最大功率	110	180
ng(gears)	齿轮数	4	5
Tsoak(min)	车辆热浸时间	150	150
SH(grains/lb)	环境湿度	80	80

4.3 确定评价指标并输出指标值

本文除了考虑各方案对路段交通流及服务水平的影 响外, 还从可持续发展的角度出发, 考虑方案对环境的影响。因此分别选取路段公交车的平均行驶速度  $v_1$  (km/h)、平均延误  $v_2$  (s/veh)、平均停车次数  $v_3$  (/veh)和小客车的平均行驶速度  $v_4$  (km/h)、平均延误  $v_5$  (s/veh)、平均停车次数  $v_6$  (/veh)作为交通评价指标; 整体路段公交车的平均 HC、CO 和  $NO_x$  排放因子和平均燃油消耗率  $v_7 \sim v_{10}$  (g/km)以及小客车的平均 HC、CO 和  $NO_x$  排放因子和平均燃油消耗率  $v_{11} \sim v_{14}$  (g/km)作为环境评价指标。以上所有评价指标值均由上文构建的微观交通尾气模拟平台输出, 经整理汇总得到, 见表 4 和表 5。对太平北路进行公交专用道规划后, 使得有的交通环境指标得到改善, 但是有些随之恶化, 因此需要进行综合评选。

表 4 交通评价指标值

Tab.4 Index values of traffic evaluation

交通评价指标	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$
现状	15.2	59.2	1.09	22.7	47.9	1.26
方案一	16.2	55.4	1.03	22.4	50.1	1.26
方案二	16.7	54.8	0.72	18.2	88.3	2.96

表 5 环境评价指标值

Tab.5 Environmental evaluation index values

环境评价指标	现状	方案一	方案二
$v_7$	0.707 2	0.664 3	0.649 2
$v_8$	1.321 0	1.255 8	1.239 0
$v_9$	9.611 3	9.328 6	9.405 8
$v_{10}$	93.701 0	88.725 4	89.190 8
$v_{11}$	2.320 7	2.262 6	2.327 5
$v_{12}$	20.163 8	19.901 5	20.326 5
$v_{13}$	0.734 1	0.716 8	0.744 8
$v_{14}$	80.717 5	80.617 1	97.456 9

4.4 计算结果

按照前面给出的计算方法, 将表 4 和表 5 中的原始数据进行初值化处理, 然后将变换处理后的数据代入公式(3)中 (取  $\rho = 0.5$ ), 可以计算出各个方案对应的各项指标的关联系数, 见表 6。

运用层次分析法, 设各方案对交通产生的影响与对环境产生的影响同等重要; 采用 1~9 标度法构造判断矩阵, 为了减少单个专家的主观性, 本文采用 Delphi 法由多个专家确定判断矩阵。最后, 对判断矩阵进行一致性检验通过, 结果见表 7。

表6 各项指标对应的灰色关联系数

Tab.6 The gray relation coefficients of each index

关联系数	现状	方案一	方案二
v <sub>1</sub>	1	0.827	0.762
v <sub>2</sub>	0.794	0.966	1
v <sub>3</sub>	0.458	0.502	1
v <sub>4</sub>	0.592	0.608	1
v <sub>5</sub>	1	0.920	0.386
v <sub>6</sub>	1	1	0.333
v <sub>7</sub>	0.778	0.930	1
v <sub>8</sub>	0.822	0.957	1
v <sub>9</sub>	0.907	1	0.973
v <sub>10</sub>	0.844	1	0.983
v <sub>11</sub>	0.920	1	0.911
v <sub>12</sub>	0.957	1	0.932
v <sub>13</sub>	0.925	1	0.884
v <sub>14</sub>	0.996	1	0.624

表7 各项指标对应的权重系数

Tab.7 Weight coefficients of each index

指标	权重系数	车型	权重系数	指标	权重系数
交通指标	0.5	公交车	0.75	v <sub>1</sub>	0.333 33
				v <sub>2</sub>	0.333 33
				v <sub>3</sub>	0.333 33
		小客车		v <sub>4</sub>	0.333 33
				v <sub>5</sub>	0.333 33
				v <sub>6</sub>	0.333 33
环境指标	0.5	公交车	0.133 68	v <sub>7</sub>	0.209 04
				v <sub>8</sub>	0.209 04
				v <sub>9</sub>	0.209 04
				v <sub>10</sub>	0.372 88
		小客车		v <sub>11</sub>	0.209 04
				v <sub>12</sub>	0.209 04
				v <sub>13</sub>	0.209 04
				v <sub>14</sub>	0.372 88

将上文求出的关联系数及权重系数带入公式(4)中,可计算出现状、规划方案一和方案二的关联度,

参考文献

[1] 杨小光. 城市道路交通设计指南[M]. 北京:人民交通出版社,2003.

见表8。

表8 灰色关联分析结果

Tab.8 Gray relation analysis results with and without considering environmental impact

灰色关联度	不考虑环境影响	考虑环境影响
现状	0.779 13	0.860 32
方案一	0.784 64	0.890 75*
方案二	0.833 68*	0.830 73

由表8可以看出,在不考虑环境影响的条件下,方案二(设置路中公交专用道)为最优方案,主要原因可能是路中专用道的设置能够较明显地减少公交车的延误和停车次数;而如果考虑环境的影响,则方案一(设置路侧公交专用道)为最优方案,主要原因可能是设置路中公交专用道会增加行人过街交通量,从而较大幅度地增加小车的停车次数,导致排放和油耗的增加。

5 结论

本文从可持续发展的角度出发,将公交专用道规划方案造成的环境影响纳入方案的决策过程当中,构建微观交通尾气模拟平台,通过仿真的手段输出各个评价指标值,并将规划方案评价系统视为灰色系统,以加权灰色关联度作为评判方案优劣的准则,为城市公交专用道规划方案的决策提供了一条思路。另外,文中采用国外模型构建微观交通尾气模拟平台,其内部的参数设定不一定适用于我国的机动车和道路,因而本文得到的模拟数据也必定与实际调查值有所出入,但是其变化趋势应是符合实际的。在今后的研究中可以通过大量的调查和实验对以上模型中的参数进行修正,使之更符合中国国情。

[2] 周玉民. 公交专用道的应用和发展前景[J]. 城市交通, 2000,14(6): 45-47.

参考文献

- [1] 邵长桥, 杜晓辉, 李光芹. 信号交叉口排队离散车头时距统计分析[J]. 公路交通科技, 2003, (8): 76-79.
- [2] 杨晓光, 庄 斌, 李克平. 信号交叉口饱和流率和启动延误的影响分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2006, 34(6): 738-743.
- [3] 李克平, 盖松雪. 信号控制交叉口周期时长对饱和流量的影响研究[J]. 城市道桥与防洪, 2007, (9): 6-8.
- [4] 钱大琳, 蒋海峰, 黄 迪, 赵春龙, 杨露. 信号交叉口混合交通流干扰影响及其计算方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2006, (6): 75-78.
- [5] 任福田, 刘小明, 荣建. 交通工程学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [6] 贾洪飞, 隗志才, 魏丽英. 饱和流率的部分影响因素修正系数的标定[J]. 吉林工业大学学报(自然科学版), 2004, 30 (2): 99-102.

(中文编辑: 刘娉婷)

上接第 88 页

- [3] 辟途威交通科技(上海)有限公司. VISSIM 4.0 用户手册[M]. 上海: 辟途威交通科技(上海)有限公司.
- [4] Wiedemann R. Modeling of RTI-elements on multi-lane roads [C]. Proceedings of the Drive Conference, Advanced Telematics in Road Transport. Brussels, Belg, 1991.
- [5] Barth Matthew etc. Comprehensive modal emissions model (CMEM) user's guide, (Version 2.0) [Z]. University of California, Riverside, 2000.
- [6] Noland, Robert B. Quddus Mohammed A. Flow improvements and vehicle emissions: Effects of trip generation and emission control technology [J]. Transportation Research Part D, 2006, 11: 1-14.
- [7] 马因韬. 机动车排放模型的应用及其适用性比较[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2008, 3 (44): 311-313.
- [8] 肖新平, 宋中民, 李 峰. 灰技术基础及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [9] 袁嘉组. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [10] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990.

(中文编辑: 刘娉婷)