

城市多级道路交通运行水平一体化评价模型

邵敏华, 孙立军

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 针对城市不同等级道路交通运行水平评价中存在的指标不一、阈值多样问题, 将原有服务水平概念从设施供给水平和交通运行水平两个方面进行了重新阐释. 在这一概念指导下, 选用能够体现不同设施供给水平差异的速度比作为运行水平评价的客观指标, 并采用专家评分实验的方法建立了道路交通运行水平评分模型, 实现了快速路与地面道路交通运行状况评价的统一. 最后采用模糊集的概念建立了不同交通运行状态的隶属度函数, 给出了道路交通运行状态的分级阈值.

关键词: 交通运行水平; 服务水平; 速度比; 隶属度函数; 分级阈值

中图分类号: U 491.11

文献标识码: A

United Evaluation Model of Traffic Operation Level for Different Types of Urban Road

SHAO Minhua, SUN Lijun

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: New concept of road level of service (LOS) is proposed, which defines LOS into two parts: level of facility supply and level of traffic operation. Under the direction of this new concept, the ratio of travel speed to free flow speed (FFS) is selected as the evaluation index of traffic operation. Then, a test of traffic operation evaluation for urban expressway and streets, in which the experts are invited to grade different traffic operation level, is carried out. The result shows that, by introducing the FFS into the evaluation index to consider the difference of facilities, the evaluation methods of operation level for urban expressway and streets can be united. Finally, based on the concept of fuzzy set, the functions of degree of subordination is given for different level

of traffic operation with the threshold value for each level following.

Key words: level of traffic operation; level of service; ratio of travel speed to free flow speed; function of degree of subordination; threshold value for different levels

长期以来, 人们在进行交通运行评价分析时多采用服务水平(level of service, LOS)分级的方法. 美国通行能力手册(highway capacity manual, HCM 2000)中将服务水平定义为: 描述交通流内的运行条件及驾驶员与乘客对其感受的一种质量标准^[1]. 由于交通运行状况评价是进行交通管理相关决策的基础, 各国相关研究机构均在这一领域开展了大量的研究工作, 美国、加拿大、澳大利亚、日本、俄罗斯、德国等国家都陆续出版了自己的通行能力手册, 给出了各自的服务水平评价指标与方法. 在对公路和城市道路进行评价时, 均针对不同类型的设施选用了不同的评价指标, 因而对同一种设施的不同等级也选用了不同的服务水平分级阈值, 如表 1 所示(以 HCM 2000 为例).

Richard G. Dowling 研究指出, 现有 HCM 针对不同类型设施采用不同的服务水平评价指标, 甚至同种设施类型采用不同的阈值, 使得基于已有的交叉口、路段等设施合理得到系统服务水平的过程变得困难, 甚至不可能^[2]. 本研究针对这一问题, 在对道路交通服务水平评价机理进行剖析的基础上, 重新阐释道路交通服务水平概念, 并以此为指导, 建立能够适应城市多级道路的交通运行水平一体化评价模型, 为系统层面的多设施综合评价奠定基础.

收稿日期: 2009-07-09

基金项目: 上海市科委科研计划资助项目(210231202702)

作者简介: 邵敏华(1978—), 女, 讲师, 工学博士, 主要研究方向为交通工程. E-mail: minhuashao@163.com

表 1 HCM 2000 服务水平评价指标和分级标准^[1]
Tab.1 Indexes and threshold values of LOS in HCM2000

服务水平	密度/(pcu · km ⁻¹ · 线 ⁻¹)			高速公路总体 平均车速/(km · h ⁻¹)	双车道公路延误 时间百分比/%	城市干道平均行程车速/(km · h ⁻¹)		
	高速公路 基本段	汇入 分流区	多车道 公路			I 级	II 级	III 级
LOS A	<9	<6	<9	>100	<30	>55	>50	>40
LOS B	<17	<12	<16	>90	<45	>40	>35	>25
LOS C	<22	<17	<21	>80	<60	>30	>25	>20
LOS D	<26	<22	<24	>70	<75	>25	>20	>15
LOS E	<28	*	<26	>60	<90	>20	>15	>10

注：* LOS E 阈值表示饱和度为 1 时的密度。

1 道路交通服务水平评价机理与指标

交通服务水平评价的目的在于解读道路交通状况的形成机理、描述出行者对交通状况的感受和为

管理人员的决策提供参考. 本文对这一目的的实现机理进行剖析, 以便由此对交通服务水平概念进行重新阐释. 图 1 为道路交通服务水平评价过程示意图.

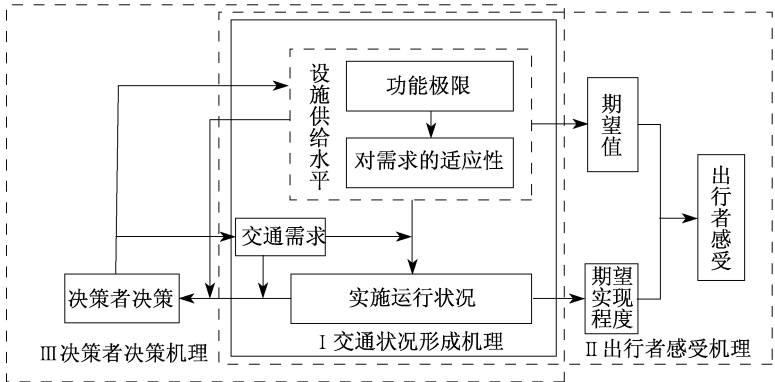


图 1 服务水平评价过程示意图
Fig.1 Process of LOS evaluation

1.1 交通状况的形成机理

道路交通状况从根本上来说是由交通设施的供给水平和交通需求(即交通负荷水平)共同决定的, 如图 1 中的模块 I 所示. 一定的道路建设规模和针对设施的交通控制策略决定了道路设施的功能极限, 进而决定了其对交通需求的适应能力, 这些构成了设施的属性. 而将一定的交通需求加载到设施上, 设施就会产生相应的反应, 从而表现出相应的交通运行状况.

1.2 出行者对交通状况的感受

出行者对不同设施的交通运行状况进行评价时, 似乎存在着“标准不一, 有失公正”的现象: 在城市地面道路上, 行程车速达到 25 km · h⁻¹ 会使出行者感觉十分畅通, 而如果在高架道路上达到同样的行程车速, 则不能让出行者满意. 正是由于这一原因, 各国通行能力手册中才会对不同等级的道路设施使用不同的服务水平分级阈值. 事实上, 这一现象

的出现是由人对事物进行评价的心理过程决定的. 通常人们评价事物好坏的依据包含两个方面: 对事物本身固有属性的评价, 即期望值; 对事物目前状态的评价, 是人们对期望实现程度的评价. 这一评价心理反映到交通运行状况评价上, 如图 1 中模块 II 所示: 设施供给水平构成了出行者对其固有属性的评价, 即期望值, 而实际运行状况则是出行者期望实现程度评价的依据. 上述看似不公正的评价结果, 正反映了评价的后一个方面.

1.3 决策参考

交通管理人员一方面希望能够通过评价结果了解目前交通运行的客观状况, 另一方面更希望能从评价结果中获得决策的辅助建议. 图 1 中模块 III 对管理者的决策过程进行了描述.

管理人员首先对道路交通运行状况进行评价, 当运行状况不佳时, 应当及时采取措施. 由上述交通状况形成的机理可知, 采取措施应从两方面着手: 改

善设施的供给状况和进行需求管理.采取哪种措施取决于对目前设施供给的评价,当设施供给水平不高时,进行设施建设和改善交通控制管理措施应当优先;反之,采用需求管理措施更为有效.

1.4 服务水平概念

从上述评价目的的实现过程分析可以看到,已有服务水平的概念定义仅描述为交通状况和出行者感受,未关注其辅助决策这一重要目标,更未能触及评价过程的实质.基于此建立的评价指标体系多将设施供给和运行状况两个层次混杂在一起.为解决这一问题,本文基于上述评价目的分析,对道路交通运输水平概念重新阐释.

道路的服务水平包含设施供给水平和设施运行水平两个方面,是衡量驾驶员或乘客对设施功能的期望值和其实现程度的质量标准,是交通管理人员进行决策的依据.其中,设施供给水平定义为对设施的建设水平和管理措施的评价,包括设施所能提供的最大服务能力和其对交通需求的适应能力,是设施本身的固有属性.根据道路设施的特点,并考虑评价指标的简单、独立原则,最大服务能力可用面向交通出行个体的最短行程时间(或最大车速)和面向交通出行群体的最大服务出行量来表征,而设施对交通需求的适应能力可用设施的运行水平随交通需求增加而衰减的规律来表征.在信息完全透明的情况下,认为设施为交通出行个体提供的最短出行时间(或最大行程速度)即反映了出行者对设施服务的期望值.设施运行水平定义为衡量设施在一定交通需求下实际运行状况的一种测度,它应当能够反映设施的交通流状态和出行者期望的实现程度.根据设施供给水平的定义,它具体可用设施在一定交通需求下所提供的出行时间(或行程车速)与其所能提供的最短出行时间(或最大行程车速)的差异来表征.

本文在这一概念指导下,对道路交通运行水平评价指标与方法进行探讨,对设施供给水平不作论述,相关供给水平指标的获取可参见文献[3-5].

1.5 道路交通运行水平评价指标选取

基于上述设施运行水平定义,道路交通运行水平评价宜采用主客观指标相结合的方法,客观指标用于反映道路的交通流状态,主观指标用于反映出行者的真实感受.根据出行者对道路交通运行状况的感受机理分析,客观指标宜选取能够表征出行者期望实现程度的相对指标,即在已有绝对指标(如密度、速度等)中引入反映出行者期望值的设施供给指

标,以期建立主客观指标的合理对应关系.同时,设施供给指标的引入使得不同设施间的差异在运行水平评价指标中得以反映,这为实现不同等级道路间交通运行水平评价指标和方法的一致性提供了可能.

现有面向城市道路的评价多采用密度、速度等出行者在道路上可以直接感受到的指标.由于在一定的交通流—密度—速度模型下,密度、速度可实现转化.本文在已有指标基础上,引入道路自由流车速这一供给指标,选用速度比作为道路交通运行水平评价的客观指标,选用运行水平评分作为评价的主观指标.研究采用专家评分的方法,建立了主客观指标的对应关系,并给出了运行水平评价分级阈值.

2 道路交通运行水平评分模型的建立

研究以城市快速路和地面道路评价为对象,采用现场调查、专家评分的办法对上海市进行了运行水平评分实验,并就评价指标的一致性展开讨论.

2.1 评分表格设计

评分实验的目的在于对出行者对交通状况的感受提供一个测度.根据人们先定性、后定量的评价习惯,评分时要求评分人先确定自己的感觉属于哪一范围,再给出相应的评分.本评分采用百分制,评价等级用畅通、较畅通、拥挤、阻塞描述.评分表格如图2所示.

路名: _____ 评分人: _____ 性别: _____
职业: _____ 年龄: _____

分数

100
80
60
30
0

畅通
较畅通
拥挤
阻塞

说明:
1) 100分为车辆独自行驶,驾驶员完全不用考虑其他车辆,在一定的交通控制措施下按自身意愿自由驾驶; 0分为车辆静止,无法行驶.
2) 4种状态对应交通状况的满意程度: 非常满意、基本满意、不满意和很不满意.

图 2 交通运行水平评分实验表格

Fig.2 Mark table for the evaluation test of level of traffic operation

2.2 调查过程简述

专家评分调查要求专家坐在同一车辆内,车辆在目标道路上跟车行驶,专家根据对每次行程的感受,各自独立进行评分.调查准备工作遵循以下原则:①调查者的代表性——调查者应在年龄、职业、性别、驾龄等方面具有代表性;②目标道路的代表性——被调查道路应涵盖多种设施情况,以检验评

价指标的设施一致性;③交通状况的代表性——调查时间的选择应包括高峰、平峰,交通状况可以出现从畅通到阻塞等各种情况。

根据上述原则,本次调查每次邀请专家 8 人,专家在车辆每完成一次单程行驶后对其评分.车上同时安排 1 人记录行程时间.选择道路的基本情况如表 2 和 3 所示.调查时段选择上午 7:00~11:00,期间道路上的交通状态包含高峰和平峰两种情况。

表 2 和表 3 所列调查道路在道路等级上涵盖了城市快速路、主干路和次干路 3 个类别(由于支路多以社区服务功能为主,以交通功能为辅,故本次调查没有选择这一等级的城市道路),在设施条件上涵盖

了机动车专用、机非划线分隔、机非物理分隔 3 种形式,所选道路具有良好的代表性。

表 2 调查的快速路路段基本情况

Tab.2 Information of investigated expressway

路名	方向	起点	终点	车道数	长度/m
南北高架	西侧	汶水路上	广中路下	3	651
南北高架	东侧	内环进	徐家汇下	3	633
内环高架	外圈	共和新路内环出	沪太路上	2	1 353

注:本次调查共调查南北高架西侧主线路段 11 段,南北高架东侧主线路段 13 段,内环高架外侧主线路段 15 段.由于篇幅限制,这里仅列出其中 3 段.

表 3 调查的地面道路基本情况

Tab.3 Information of investigated urban streets

路名	范围	道路等级	交叉口 间距/m	周期长/s	绿信比	机非分隔	路段车道 数(单向)	交叉口进口 道车道数	有无非 机动车
淮海中路	黄陂南路—襄阳北路	主干路	236	134.63	0.51	无	2	2\3 ¹⁾	无
国定路	四平路—政民路	次干路	443	113.17	0.48	绿化	2	2\3 ¹⁾	有
平凉路	通北路—齐齐哈尔路	次干路	219	70.08	0.56	划线	2\1 ¹⁾	2	有

1)表示包含路段(或交叉口进口道)车道数有 2 种,左边数字为多数情况.

2.3 评分模型的建立

2.3.1 快速路评价结果分析

对调查数据进行整理分析,计算上述每个路段每次行程的行程车速,在交通流—密度—速度线性模型下,将其转化为密度比 β ,其计算公式如下:

$$\beta = 1 - v/v_f \tag{1}$$

式中: v 为一定需求下的实际行程车速; v_f 为自由流车速,其获取方法可参见文献[4-5]。

在采用 3σ 原则剔除异常数据点后,对不同密度比下专家评分进行计算,统计分析结果如图 3 所示。

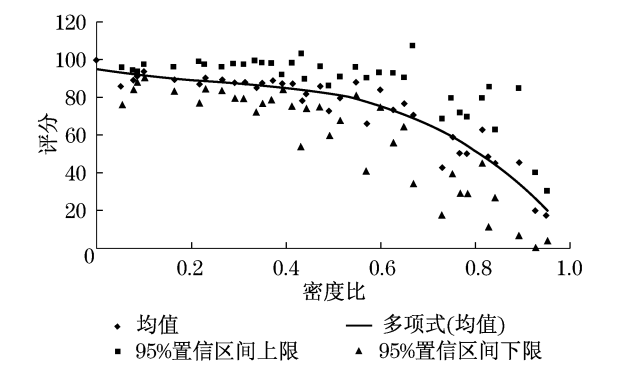


图 3 快速路交通运行水平评分曲线

Fig.3 Grade curve for level of traffic operation of expressway

可以发现,在密度比 ≤ 0.5 时,评分随密度比增

加下降缓慢.这表明:在需求达到通行能力之前,评分人对交通状况的容忍度一直很高。

基于这一分析,给出快速路交通状况评分函数为

$$\left. \begin{aligned} f(\beta) &= -149.14\beta^3 + 102.56\beta^2 - \\ &\quad 40.739\beta + 94.512 \\ R^2 &= 0.9117 \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

其中, $f(\beta)$ 为交通运行水平评分。

2.3.2 地面道路评价结果分析

数据处理方法同前,统计分析结果如图 4 所示。

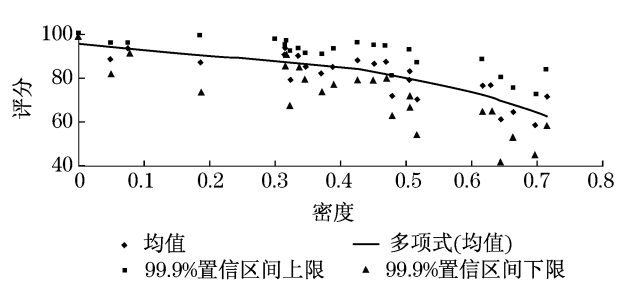


图 4 地面道路交通运行水平评分曲线

Fig.4 Grade curve for level of traffic operation of urban streets

与快速路类似,图 4 中,在密度比 ≤ 0.5 时,出行者评分随密度比增加下降速度亦较缓慢.给出地面道路交通运行状况评分函数为

$$f(\beta) = - 121.58\beta^3 + 76.307\beta^2 - 39.251\beta + 95.769$$
$$R^2 = 0.749\ 1$$

(3)

2.3.3 快速路与地面道路运行水平评分一致性分析

按式(2)和式(3)分别计算一定密度比下城市快速路和地面道路交通运行水平评分,并进行对比,结果如表 4 所示.

表 4 快速路与地面道路交通运行水平评分结果对比
Tab.4 Grade results for level of traffic operation of expressway and urban streets

密度比	运行水平评分计算值		式(2)-式(3)
	快速路式(2)	地面道路式(3)	
0	94.51	95.77	-1.26
0.1	91.31	92.49	-1.17
0.2	89.27	90.00	-0.72
0.3	87.49	87.58	-0.08
0.4	85.08	84.50	0.58
0.5	81.14	80.02	1.12
0.6	74.78	73.43	1.35
0.7	65.09	63.98	1.11
0.8	51.20	50.96	0.24
0.9	32.20	33.62	-1.42
1.0	7.19	11.25	-4.05

可见,快速路与地面道路运行水平评分间具有良好的一致性.这表明,由于引入了表征设施自身供给水平的自由流车速指标,基于速度比的运行水平评分指标可以实现对城市快速路与地面道路运行水平评价的统一.

因此,将快速路与地面道路评分结果作为同一个总体进行分析,最终给出面向城市多级道路的评分曲线如图 5 所示.

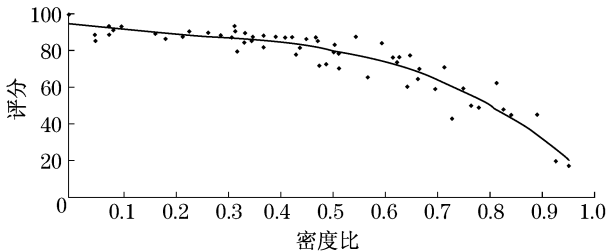


图 5 城市多级道路交通运行水平评分曲线
Fig.5 Integrated grade curve for level of traffic operation

城市道路交通运行状况评分函数为

$$f(\beta) = - 144.07\beta^3 + 99.433\beta^2 - 42.66\beta + 95.146$$
$$R^2 = 0.892\ 7$$

(4)

3 道路交通运行状态判别

由于交通运行状态的划分具有模糊数学中描述的著名的“秃头悖论”现象,本研究引用模糊集的概念,采用隶属度函数来建立评分与交通运行状态的映射关系.隶属度函数的确定是客观事物本质属性在人脑中的反映,既有客观标准,也有主观因素,应力求准确真实.确定隶属度函数的方法很多,如统计试验、加权平均、理论概括、综合评价、实践经验等.根据交通状态判别问题特征,本研究采用基于专家调查的统计试验法确定隶属度函数.

3.1 交通状态判别的隶属度函数

本研究将交通运行状态分为畅通、较畅通、拥挤、阻塞等 4 种.为减少专家在调查过程中因对交通状态不确定而造成的犹豫时间,在调查过程中增加了 3 种可选状态:不确定 1,对应畅通和较畅通间的中间状态;不确定 2,对应较畅通和拥挤间的中间状态;不确定 3,对应拥挤和阻塞间的中间状态.

定义畅通、较畅通、拥挤、阻塞 4 种状态对应的隶属度函数为:某一评分属于这一状态的概率.设 $A \in \{\text{畅通,较畅通,拥挤,阻塞}\}$ 为交通状态, $\mu_A \in [0,1]$ 为状态 A 的隶属度函数, p 为交通状态评分, $f_A(p)$ 为评分 p 属于状态 A 的概率,则有

$$\mu_A = f_A(p)$$

(5)

显然, $f_A(p) \in [0,1]$. 由于本次调查增加了 3 种可选状态,在进行上述 3 种状态隶属度函数计算时,需要将评分 p 属于这 3 种状态的概率均摊入相邻状态中.

按照这一方法,对调查数据进行整理,结果如图 6 所示.

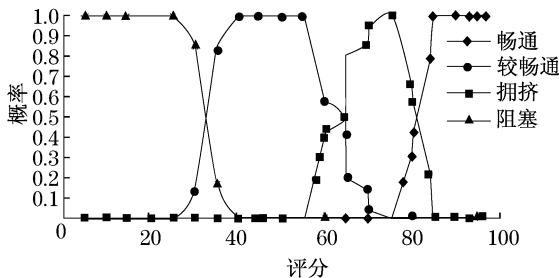


图 6 城市道路运行水平分级阈值分析
Fig.6 Analysis of threshold values for different levels of traffic operation

基于图 6,回归得到畅通、较畅通、拥挤和阻塞 4 种状态的隶属度函数为

$$u_f = \begin{cases} 0, & p < 75.4 \\ 0.099\,4\,p - 7.495\,8, & 75.4 \leq p < 85.5 \\ 1, & p \geq 85.5 \end{cases} \tag{6}$$

$$u_{fl} = \begin{cases} 0, & p < 56.8 \\ -0.004\,1\,p^2 + 0.573\,6\,p - 19.349, & 56.8 \leq p < 83.1 \\ 0, & p \geq 83.1 \end{cases} \tag{7}$$

$$u_c = \begin{cases} 0, & p < 25.7 \\ 0.073\,6\,p - 1.892\,9, & 25.7 \leq p < 39.3 \\ 1, & 39.3 \leq p < 52.2 \\ -0.049\,4\,p + 3.578\,7, & 52.2 \leq p < 72.4 \\ 0, & p \geq 72.4 \end{cases} \tag{8}$$

$$u_j = \begin{cases} 1, & p < 25.7 \\ -0.073\,6\,p + 2.892\,9, & 25.7 \leq p < 39.3 \\ 0, & p \geq 39.3 \end{cases} \tag{9}$$

式中： u_f 、 u_{fl} 、 u_c 和 u_j 分别为畅通、较畅通、拥挤和阻塞状态下的隶属度函数。

3.2 交通状态分级阈值的确定

在实际应用(如进行交通状态发布)中,仍需要确定精确的分级阈值.根据上述分析结果,取相邻状态隶属度函数的相交点作为交通状态的分级阈值,可给出表 5 所示分级结果.

表 5 交通状态分级阈值表
Tab.5 Threshold values for different levels of traffic operation

状态	评分范围
畅通	[80.5,100]
较畅通	[62.5,80.5)
拥挤	[32,62.5)
阻塞	[0,32)

4 结语

研究针对目前城市道路运行水平评价中存在的

指标不一、阈值多样及由此而生的系统层面多设施综合评价困难的问题,首先从已有的服务水平概念及其评价目的出发,解析设施运行机理、交通出行者感受和交通管理者决策过程,将服务水平分为设施供给水平和交通运行水平两个方面,重新阐述了服务水平的概念.在这一概念指导下,研究将自由流车速指标引入道路交通运行水平评价中,选用速度比作为运行水平评价的客观指标,并采用专家评分实验的方法分别给出了基于速度比的城市快速路和地面道路运行水平评分模型.调查数据分析表明:引入了表征设施自身供给水平的自由流车速指标后,基于速度比的运行水平评分指标可以实现对城市快速路与地面道路运行水平评价的统一.研究继而给出了快速路与地面道路统一的评分曲线.而后,采用模糊集的概念对交通运行状态划分标准进行分析,将交通运行状态分为畅通、较畅通、拥挤、阻塞等 4 个等级,给出了各状态的隶属度函数,并从实用角度出发,给出了道路交通运行状态的分级阈值.

参考文献:

[1] Transportation Research Board. Highway capacity manual[R]. Washington D C:National Research Council,2000.

[2] Dowling R G. Extension of the level of service concept to transportation systems [R]. Washington D C: Transportation Research Board,1998.

[3] 邵敏华,孙立军.城市道路等效通行能力概念的提出及理论解释[J]. 同济大学学报:自然科学版,2008,36(3):310.
SHAO Minhua, SUN Lijun. Equivalent capacity of urban street and its theoretic explanation[J]. Journal of Tongji University: Natural Sience,2008,36(3):310.

[4] 邵敏华,汪洋,涂辉招,等.城市快速路交通评价方法研究[J]. 山东交通学院学报,2005,13(4):15.
SHAO Minhua, WANG Yang, TU Huizhao, et al. The urban expressway evaluation based on the equivalent capacity [J]. Journal of Shandong Jiaotong University,2005,13(4): 310.

[5] 邵敏华.网络交通评价方法、指标体系及影响因素研究[D]. 上海:同济大学交通运输工程学院,2006.
SHAO Minhua. Research on the evaluation method, index system and influence factors of urban traffic network [D]. Shanghai: Tongji University. College of Transportation Engineering,2006.