

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2012.06.023

北京城市交通发展水平与宏观路网运行状态关系模型

杨忠伟^{1,2}, 翁剑成¹, 闫卫坡¹, 刘小明^{1,2}

(1. 交通工程北京市重点实验室(北京工业大学), 北京 100124; 2. 北京市交通委员会, 北京 100073)

摘要: 在对北京城市交通发展水平统计分析的基础上, 提出了城市交通发展水平指标选取的原则, 从社会发展、交通供给和交通需求3个方面构建了由16个指标组成的城市交通发展水平综合评价指标体系, 并提出了基于路网拥堵指数和骨干网高峰小时运行速度的宏观路网运行状态评价指标体系。通过对2003—2010年北京市实际数据的搜集和指标处理, 确定了关系模型的输入指标, 利用偏最小二乘法建立城市交通发展水平与路网运行状态关系模型, 并利用现有数据对模型进行验证, 验证结果表明: 模型精度在10%以内, 能较好地满足实际应用需求。关系模型能为北京市未来城市交通发展决策和交通发展战略提供重要支撑。

关键词: 交通工程; 城市交通发展水平; 路网运行状况; 偏最小二乘法; 拥堵指数; 北京

中图分类号: U491.1+3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2012)06-0133-05

Model of Relation between Urban Transportation Development and Macroscopic Road Network Operation in Beijing

YANG Zhongwei^{1,2}, WENG Jiancheng¹, YAN Weipo¹, LIU Xiaoming^{1,2}

(1. Beijing Key Lab of Traffic Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. Beijing Municipal Commission of Transport, Beijing 100073, China)

Abstract: Based on the statistical analysis of Beijing urban transportation development level, we put forward the principle for selecting the indicators of urban transportation development level, created the comprehensive evaluation index system for urban transportation development level consisting 16 indexes in the aspects of social development, transportation supply and transportation demand, and established the evaluation index system for macroscopic road network operation based on road network congestion index (CI) and arterial network's peak-hour travel speed. By gathering and processing the statistical data of Beijing during 2003 - 2010, we identified the input indexes for the relation model, established the relation model between urban transportation development level and road network operation by using partial least square (PLS) method, and the relation model was validated by the available data. The validation result shows that the model's precision is within 10%, which can meet the need of actual use. The model can support the decision-making for Beijing's future urban transportation development and transportation development strategy.

Key words: traffic engineering; urban transportation development level; road network operation; partial least square method; congestion index; Beijing

0 引言

近年来, 随着社会经济的快速发展, 北京市交

通形势日益严峻, 机动化交通需求的持续增长与道路空间资源短缺的矛盾不断加剧, 城市交通的供需平衡问题更加突出。截止2011年底, 北京市机动

收稿日期: 2012-01-18

基金项目: 北京工业大学基础研究基金(2011)

作者简介: 杨忠伟(1976-)男, 黑龙江齐齐哈尔人, 博士。(yangzhongwei@bjitw.gov.cn)

保有量已经超过 500×10^4 pcu, 机动车保有量增长状况进一步加剧。机动车快速增加和交通出行需求提升所导致的道路拥堵和出行时间增加, 成为影响社会经济快速发展需要面对的重点问题。单纯依靠道路基础设施的建设, 增加道路供给并不能彻底解决小汽车快速增长所带来的交通拥堵和环境污染等问题, 交通需求管理和调控政策作为一类全新的交通管理策略, 正日益成为国内外交通发展战略中的重要组成部分^[1]。如何从宏观层面确定合理的可持续发展模型和机动化水平, 掌握城市交通发展水平与宏观路网运行状况的关系和相互影响机理成为政府决策和宏观发展战略规划的重要途径。

目前的大部分研究都是以城市总体的发展状况为研究基础, 主要围绕着城市总体发展水平进行评价研究, 城市交通发展水平与交通运行状态之间的关系方面的研究尚不多见。利用他们之间的互动关系, 为城市发展合理规模的确定、发展战略的实施提供建议。因此, 本文拟通过构建城市交通发展水平综合评价指标体系及路网运行评价指标体系, 以科学地评价城市发展的整体水平和宏观的路网运行, 并通过其机理分析, 构建城市交通发展水平与路网运行状况间的关系模型, 以期制定与城市社会发展水平相适应的交通发展政策提供支撑。

1 城市交通发展水平与路网运行状况的指标选取

1.1 指标选取原则

为了客观、全面地衡量城市交通发展水平, 使所建立的评价指标体系更具有科学性和实用性, 建立评价指标体系时应遵循如下原则^[2-3]:

(1) 科学性原则。为了保证所设计指标体系的科学性, 应当尽量减少信息的重叠和遗漏。

(2) 通用性原则。城市化发展水平评价指标体系的建立应具有通用性, 不同地域间要相互适应。

(3) 全面性原则。建立指标体系时应全面充分地考虑各个方面的因素, 使该指标体系能够合理反映区域城市化发展水平。

(4) 可操作性原则。评价指标体系的建立应便于实际应用, 指标一方面需要反映问题, 同时也要便于收集, 具有可实现性。

1.2 城市交通发展指标体系的构成

为了全面反映城市交通发展的内涵, 根据城市交通发展水平对交通的影响以及发展指标体系的选取原则, 构建城市交通发展水平指标体系应包含以下3个方面: 社会发展类指标、交通供给类指标、

交通需求类指标^[4-5]。这3个方面构成城市交通发展水平指标体系的一级指标。从系统论的角度看, 每一个方面都是构成城市交通发展水平这个目标系统的子系统。将上述一级指标再细分, 可以得到评价城市交通发展水平的二级指标。其中, 居民出行结构指数是指小汽车出行比例和公交车出行比例的比值与2类出行比例之和的乘积, 体现了小汽车与公交车的竞争关系, 同时考虑了2种出行方式在全出行中的占比。

综合以上因素, 研究建立了表1所列的城市交通发展水平评价指标体系。

表1 城市交通发展水平综合评价指标体系

Tab. 1 Urban transportation development level comprehensive evaluation index system

第1层	第2层	第3层
	一级指标	二级指标
	社会发展类指标	地区生产总值/($\times 10^8$ CNY) 人均可支配收入/CNY 人均生产总值/CNY 常住人口/万人
城市交通发展水平评价指标	供给类指标	公共交通运营线路长度/km 轨道交通运营长度/km 公共交通年末运营车辆/pcu 公共交通客运量/($\times 10^8$ 人·次) 公共交通运营线路条数 中心城区道路长度/km 中心城区快速路里程/km 中心城区主干路里程/km 中心城区道路面积/($\times 10^4$ m ²)
	需求类指标	机动车使用总量/($\times 10^4$ pcu) 出行率/[次·(人·日) ⁻¹] 居民出行结构指数

1.3 交通运行状态指标

综合考虑数据的完备性、指标的可度量性、路网运行描述的科学性等各方面因素, 本文结合北京的实际状况, 选取拥堵指数和骨干网高峰小时运行速度建立路网宏观运行状况的评价指标体系, 实现对北京市的路网宏观交通运行状态做出评价。指标选择的依据如下。

(1) 交通拥堵指数

道路网交通拥堵指数为路网畅通拥堵程度的综合评价指标, 其值的大小可以代表不同的交通运行状态和拥堵程度^[6]。北京市最近几年的应用实践表明, 拥堵指数指标在路网交通运行状态评价方面有良好的应用效果, 与实际观察以及感受到的交通运

行状态较为接近。因此,本文将道路网交通拥堵指数作为评价指标之一。

(2) 骨干路网高峰小时运行速度

考虑到骨干路网在城市交通网络中的重要作用,浮动车数据分析显示:北京市市区路网中总里程比例分别仅占5%和10%的城市快速路和城市主干道,出行里程比例明显高于其他等级,分别达到了25%和20%^[7]。另一方面,高峰时段为城市交通系统中出行最为集中的时间段,据《北京市第三次交通综合调查》(2005)数据显示:近半数的北京市居民出行发生在高峰时段,仅早高峰时段(7:00—9:00)出行量就占到了全天出行量的23.6%。因此,本文将骨干网高峰小时运行速度作为路网整体运行情况的另一个评价指标。

1.4 模型输入量的确定

由于各类指标间的相关性比较大,对最终模型将产生较大的影响。因此,需要根据指标意义及指标间的相关性,把同一类的指标进行整合,以达到减少指标数量,提高模型精度的目标。

本文采用主成分分析方法^[8],分别对3个方面指标进行综合整理。评价指标体系中社会发展类指标的地区生产总值、人均生产总值以及人均可支配收入3个经济方面的指标之间相关性较大,而且都反映经济发展水平,因此利用主成分分析的方法,把3个指标综合成一个经济指标,此时综合指标对初始指标的刻画程度为99%^[9]。在供给类指标中,公共交通运营线路长度、轨道交通运营长度、公共交通年末运营车辆、公共交通客运量、公共交通运营线路条数等5个指标都是反映公共交通发展水平,由于指标间相关性较大,可综合为同一个指标。但是在主成分分析中,单个指标的刻画程度仅为71%,尚不能用一个指标完全代替上述5个指标的所有信息。因此,采用公共交通承载能力I、公共交通承载能力II综合表征公共交通发展水平,此时指标对于初始指标的刻画程度达到94%。中心城区道路长度、中心城区快速路里程、中心城区主干路里程、中心城区道路面积都是表示道路网方面的指标,主成分分解结果表明,可以用道路网承载能力综合指标代替其分指标,此时指标对于初始指标的刻画程度达到90%。需求类指标各自之间相关性不高,表征城市发展不同方面的信息,因此,单独作为模型输入量。综上,模型包含了8个输入自变量,2个应变量,具体信息如表2所示。

表2 模型输入量及代码

Tab. 2 Input parameters and symbols for model

缩写代号	自变量 X	缩写代号	因变量 Y
X ₁	经济指标	Y ₁	骨干网高峰小时运行速度
X ₂	常住人口	Y ₂	交通拥堵指数
X ₃	公共交通承载能力 I		
X ₄	公共交通承载能力 II		
X ₅	道路网承载能力		
X ₆	机动车使用总量		
X ₇	出行率		
X ₈	居民出行结构指数		

2 关系模型构建

2.1 偏最小二乘方法

用多元回归方法可以建立运行状态与城发展水平之间的关系模型,但变量的选择和数据的获取比较困难。为解决样本量偏小以及可能存在的自变量相关性问题的,本文提出基于交通状态相关样本集的偏最小二乘建模方法,对路网运行状态的影响因素进行分析,以提高模型的准确性和实用性^[10-11]。

偏最小二乘回归(Partial Least Square, PLS)是一种多元统计数据分析方法,1983年由伍德(H. Wold)和阿巴诺(C. Albano)等人提出,集多元线性回归分析、典型相关分析和主成分分析的基本功能为一体^[12]。与传统多元线性回归模型相比,偏最小二乘回归具有以下特点:

(1) 能够在自变量存在多重相关性的条件下进行回归;

(2) 允许在样本点个数少于变量个数的条件下进行回归。

2.2 数据准备和处理

城市交通发展水平指标体系中的数据来源包括《北京市交通发展年报》和《北京统计年鉴》。鉴于北京市的城市发展水平增长迅速,2000年之前的交通状况与近些年的交通状况改变较大,交通运行和城市交通发展水平的相关样本数据与近年来交通发展具有较大的差异。因此,本文的样本数据搜集选取2003—2010年的各指标统计值作为模型构建的基础。

另一方面,由于统计样本数量较少,对模型精度有一定影响。为了增加样本数量,将2009、2010年数据进行处理。2009年以后北京市开始实施尾号限行政策,每3个月更改1次,全年可以分为4个周

期, 每个周期按不同尾号限行措施, 周一至周五分为 5 组不同数据。从交通特性来看, 周一与周五的交通特性与平时不尽相同, 除了受到交通限行政策和总体运行以外, 还混合了居民出行特性等其他因素的影响。为了减少不确定性影响因素的影响, 本文仅选取周二到周四的数据作为样本数据构建模型。

基于以上分析, 目前可利用数据的样本共 30 组。2003—2009 年城市交通发展水平数值以及 2010 年第 1 季度、第 2 季度的 24 组指标值作为模型输入量建立关系模型; 2010 年第 3 季度、第 4 季度的指标值作为模型验证值, 用于关系模型验证。

2.3 关系模型构建

以上述模型输入量为基础, 采用偏最小二乘法, 建立城市交通发展水平与路网运行状态之间的关系模型。骨干网高峰小时运行速度 (Y_1) 为例, 采用单因素 PLS 提取成分, 采用舍一交叉验证法, 对模型进行拟合, 具体结果如表 3 所示。

表 3 模型拟合效果评估

Tab. 3 Evaluation on model fitting result

名称	成分	解释能力	累计解释能力	交叉有效性	临界值	累计交叉有效性
总体	1	0.384 237	0.384 237	0.291 744	0.05	0.291 744
	2	0.387 175	0.771 412	0.581 088	0.05	0.703 303
	3	0.068 109 1	0.839 521	0.198 988	0.05	0.762 342
	4	0.050 925 4	0.890 446	-0.057 365 2	0.05	0.748 709
	5	0.029 800 5	0.920 247	0.164 61	0.05	0.790 074
Y_1	1	0.384 237	0.384 237	0.291 744	0.05	0.291 744
	2	0.387 175	0.771 412	0.581 088	0.05	0.703 303
	3	0.068 109 1	0.839 521	0.198 988	0.05	0.762 342
	4	0.050 925 4	0.890 446	-0.057 365 2	0.05	0.748 709
	5	0.029 800 5	0.920 247	0.164 61	0.05	0.790 074

表 3 所示为模型拟合效果参数值, 从表 3 可以看出, 需提取 5 个 PLS 成分。模型对骨干网高峰小时运行速度的解释能力为 92.024 7%, 达到了较高的精度。

最后建立的城市交通发展水平与骨干网高峰小时运行速度的偏最小二乘模型:

$$Y_1 = 0.287\ 116X_1 + 0.294\ 963X_2 + 0.041\ 789\ 7X_3 + 0.002\ 599\ 95X_4 + 0.360\ 455X_5 - 1.399\ 07X_6 + 0.084\ 816\ 9X_7 - 0.197\ 884X_8. \quad (1)$$

同样的方法可以得到城市交通发展水平与交通拥堵指数偏最小二乘模型:

$$Y_2 = -0.567\ 97X_1 - 0.590\ 683X_2 - 0.083\ 527\ 2X_3 +$$

$$0.104\ 994X_4 - 0.537\ 277X_5 + 1.537\ 72X_6 + 0.195\ 329X_7 - 0.085\ 850\ 2X_8, \quad (2)$$

式中, Y_1 和 Y_2 分别为骨干网高峰小时运行速度指标和交通拥堵指数指标; $X_1 \sim X_8$ 为模型的 8 个自变量: 经济指标、常住人口、公共交通承载能力 I、公共交通承载能力 II、道路网承载能力、机动车使用总量、出行率和居民出行结构指数。

3 模型验证

为了检验所建模型的准确性, 能否满足预测精度, 需要对所建立的回归模型进行验证。研究以 2010 年第 3 季度、第 4 季度的指标值作为验证值, 代入到建立的拟合回归模型中。经计算得到的骨干网高峰小时运行速度与路网拥堵指数, 对比当时道路网实际运行状态, 其验证结果如表 4 所示。

表 4 城市交通发展水平与路网运行关系模型验证结果

Tab. 4 Validation result of model of relation between urban transportation development and road network operation

序号	骨干网高峰小时运行速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)			拥堵指数		
	实际值	拟合值	差值所占百分比/%	实际值	拟合值	差值所占百分比/%
1	23.2	22.71	2.11	5.70	5.72	0.37
2	22.9	22.18	3.16	5.80	5.99	3.32
3	23.6	22.99	2.57	5.40	5.58	3.29
4	21.7	21.24	2.10	6.70	6.35	5.24
5	21.9	21.61	1.33	6.40	6.16	3.70
6	21.5	21.04	2.12	6.90	6.45	6.52

从表 4 可以看出, 骨干网高峰小时运行速度模型拟合值与实际值大体相近, 最大绝对百分比误差为 3.16%, 这 6 组数据的平均绝对百分比误差为 2.23%, 可以认为所建立的回归模型能很好地预测骨干网高峰小时运行速度; 在拥堵指数验证值中, 最大相对误差达到了 6.52%, 属于可以接受的范围。其他几组数据的拟合值与实际值大体相近, 6 组数据的平均绝对百分比误差为 3.74%, 在可以接受的范围。

通过上面的验证结果, 可以看出, 通过偏最小二乘法建立的回归模型可以很好地反应城市交通发展水平与交通运行状况之间的关系, 可以在城市交通发展水平指标的基础上, 用于目标年路网运行状态的预测, 以及路网运行状态达到不同所需要得城市交通发展水平等。

4 结论

本文通过对城市交通发展水平的影响因素分析和数据分析,提出了城市交通发展水平和宏观路网运行状态的评价指标体系,并采用偏最小二乘方法,建立了城市交通发展水平与交通运行状况之间关系模型,并利用实际的统计数据对模型进行了验证。结果表明模型的精度在10%以内,具有较高的精度。通过此关系模型,可以在设定的宏观路网运行状态目标条件下,需要城市在供给及需求方面所达到的规模,如机动车规模、出行结构等不同指标的具体目标。该模型为交通管理和政府决策部门制定科学合理的城市发展目标,提供了重要的技术支持,也为其他城市发展提供了良好的建议。

参考文献:

References:

- [1] 任福田,刘小明,荣建. 交通工程学 [M]. 北京:人民交通出版社,2003: 62-65.
REN Futian, LIU Xiaoming, RONG Jian. Traffic Engineering [M]. Beijing: China Communications Press, 2003: 62-65.
- [2] 岳立,饶斌. 城市发展水平综合评价指标体系的设计及评估方法 [J]. 统计与决策, 2009 (11): 157-161.
YUE Li, RAO Bin. Design and Evaluation Method of Comprehensive Evaluation Indicators for Urban Development Level [J]. Statistics and Decision, 2009 (11): 157-161.
- [3] 吴艳霞,张道宏. 城市发展水平的综合评价及实证分析 [J]. 城市与管理研究, 2005 (8): 66-69.
WU Yanxia, ZHANG Daohong. Comprehensive Evaluation and Empirical Analysis on Urbanization Level [J]. Research on Economics and Management, 2005 (8): 66-69.
- [4] 于春全,郭敏,梁玉庆. 关于建立城市道路交通运行状况宏观评价系统的研究 [J]. 道路交通与安全, 2007, 7 (1): 1-6.
YU Chunquan, GUO Min, LIANG Yuqing. Study on Construction of the Macro-evaluation System of Urban Traffic Status and Service Level [J]. Road Traffic and Safety, 2007, 7 (1): 1-6.
- [5] 方锡邦,于景飞,夏邦金. 城市交通系统发展水平评价体系及方法研究 [J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2005, 28 (3): 238-241.
FANG Xibang, YU Jingfei, XIA Bangjin. Study of Evaluation Method and System of the Development Level of Urban Traffic System [J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science Edition, 2005, 28 (3): 238-241.
- [6] LU Jia, CAO Li. Congestion Evaluation from Traffic Flow Information Based on Fuzzy Logic [C] // The 6th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. Beijing: IEEE, 2003.
- [7] 翁剑成,周翔,翟雅娟,等. 浮动车数据在城市宏观交通特性研究中的应用 [J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2008, 32 (5): 806-809.
WENG Jiancheng, ZHOU Xiang, ZHAI Yaqiao, et al. Applications of Floating Car Data in Urban Macroscopic Traffic Character Study [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering Edition, 2008, 32 (5): 806-809.
- [8] 吴明,王莹莹,冯琪. 基于主成分分析的综合运输通道布局模型研究 [J]. 公路交通科技, 2011, 28 (1): 154-158.
WU Ming, WANG Yingying, FENG Qi. Research on Comprehensive Transportation Channel Layout Model Based on Main Component Analysis [J]. Journal of Highway And Transportation Research and Development, 2011, 28 (1): 154-158.
- [9] 朱建平,殷瑞飞. SPSS在统计分析中的应用 [M]. 北京:清华大学出版社,2007.
ZHU Jianping, YIN Ruifei. The Application of SPSS in Statistical Analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007.
- [10] 鲁庆华,任康乐,周凤玺. 基于偏最小二乘法实现非线性回归分析 [J]. 甘肃科技, 2005, 21 (11): 146-150.
LU Qinghua, REN Kangle, ZHOU Fengxi. Realizing Nonlinear Regression Analysis Using the Partial Least Square Method [J]. Gansu Science and Technology, 2005, 21 (11): 146-150.
- [11] 戚浩平,张利,王伟,等. 基于偏最小二乘回归法的城市土地利用与交通发生量关系模型研究 [J]. 公路交通科技, 2011, 28 (3): 138-142.
QI Haoping, ZHANG Li, WANG Wei, et al. Research on Model of Relationship between Urban Land-use and Traffic Volume Based on Partial Least Squares Regression [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28 (3): 138-142.
- [12] 王惠文,吴载斌,孟浩. 偏最小二乘回归的线性与非线性方法 [M]. 北京:国防工业出版社,2006.
WANG Huiwen, WU Zaibin, MENG Hao. The Linear and Nonlinear PLS Methods [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006.