

交通承载力与环境承载力的耦合协调度 ——基于城市群的实证分析

袁振洲, 邓娜, 闫欣欣

(北京交通大学 城市交通复杂系统理论与技术教育部重点实验室, 北京 100044)

摘要:为探讨交通承载力与环境承载力发展水平的协调程度,构建了反映交通承载力和环境承载力发展水平的指标体系,利用耦合协调度模型对2010—2014年中国五大国家级城市群中的10个典型城市的面板数据进行测算,并从时空维度进行二者耦合过程与演变趋势的分析.对比结果表明各城市群的交通和环境承载力综合评价价值因地域差异较大,2010—2014年升降不一,具有层级结构:除长江中游和珠三角的交通承载水平呈波动下降趋势外,成渝、长三角和环渤海呈波动上升;除环渤海的环境承载力水平呈持续上升外,其余城市群呈波动下降;交通承载力与环境承载力耦合互动效应明显,但各城市群的交通与环境承载力的协调等级较低,环渤海和长三角城市群的协调处于低度协调的耦合状态,其余城市群的协调处于中度协调.

关键词:交通承载力;耦合;指标体系;时空;城市群

中图分类号:U491 **文献标志码:**A

Coupling coordination between traffic carrying capacity and environment carrying capacity ——An empirical analysis of urban agglomerations in China

YUAN Zhenzhou, DENG Na, YAN Xinxin

(MOE Key Laboratory for Urban Transportation Complex Systems Theory and Technology,
Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: To discuss the coordination development of traffic carrying capacity (TCC) and environment carrying capacity (ECC), a coupling harmonious degree model and an index system are established. Applying coupling coordination model to 2010—2014 panel data of ten typical cities from five National Urban Agglomeration, this paper analyzes the coordination development of the traffic carrying capacity and environment carrying capacity on the prospect of space-time dimensions. It is found that the synthetical values of each urban agglomeration differs greatly because of regional differences, forming a hierarchy structure ranging rise and fall from 2010 to 2014. The level of TCC of Middle Reaches of the Yangtze River (MRYS) and Cheng-Yu Town Cluster (CYTC) is obviously higher than the other three, while the Bohai Ring megalopolis owned the lowest values. The level of ECC of Pearl River delta is the highest, and the second is MRYS, lastly

收稿日期:2016-09-02

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)(2012CB725403)

Foundation item: National Basic Research Program of China (973 Program) (2012CB725403)

第一作者:袁振洲(1966—),男,吉林舒兰人,教授,博士,博士生导师.研究方向为综合交通规划与管理. email: zzyuan@bjtu.edu.cn.

引用格式:袁振洲,邓娜,闫欣欣.交通承载力与环境承载力的耦合协调度[J].北京交通大学学报,2017,41(4):123-128.

YUAN Zhenzhou, DENG Na, YAN Xinxin. Coupling coordination between traffic carrying capacity and environment carrying capacity[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2017, 41(4): 123-128. (in Chinese)

the CYTC and Yangtze River delta. The coupling degrees of each urban agglomeration between traffic carrying capacity and environmental carrying capacity appear high yet the coordination degrees appear low, unfortunately, the coordination degrees of all five urban agglomerations are at low coordination coupling stage, tending to be undergoing serious inharmonious.

Keywords: traffic carrying capacity; coupling; index system; space-time; urban agglomeration

承载力已成为当前评价生态、资源、环境可持续发展等较为成熟的方法^[1-2]。随着交通需求日益剧增,交通承载力问题也备受关注。其研究现状特点如下:研究范围方面,多聚焦于单个城市^[3],近两年来开始城市群层面的探讨^[4];研究内容上,或者是测算方法研究^[5-7]、或是构建指标体系进行评价分析^[8]、或探讨一定的资源环境可支撑的最大交通规模^[9],或基于交通承载力研究土地综合承载力^[10];研究对象上,主要是城市路网^[11]、城市交通基础设施和城市机动车发展规模等,目前也逐渐展开了轨道交通方面的探讨^[12-13]。当前研究已取得一定成果,但尚有需完善之处:第一,多以独立的城市为研究对象,鲜有将城市群纳入同一个分析框架;第二,鲜有对交通承载力的时序变化和空间演化的定量研究;第三,多将交通承载力与环境承载力独立开来,鲜有研究二者在城市化过程中的交互耦合作用。

为实现可持续发展,既要满足城市系统的交通需求,又需要符合资源环境的客观约束。本文作者在对前人成果总结和借鉴的基础上,结合交通承载力的理论内涵和特征,将交通承载力分解为公共交通承载力、城市交通承载力、区域交通承载力,借助物理学耦合模型,构建时空序列下的“交通承载力与环境承载力(Traffic carrying capacity and Environment carrying capacity, TE)”的动态耦合协调模型,定量分析了2010—2014年五大城市群的交通承载力与环境承载力的耦合过程与演变趋势。其中,公共交通承载力体现了城市公共交通服务能力和水平;城市交通承载力体现了市域范围内交通运行状态;区域交通承载力反映了城市对外客货运交通运行的基本情况^[14]。由此,将研究范围由城市扩展到城市群,研究对象由单一要素到复合体系,通过对耦合机制和时空协调发展问题进行实证研究,发现五大国家级城市群交通与环境的协调发展水平。

1 耦合机制与时空协调性

我们认为,交通承载力指交通系统在公共交通服务能力、区域交通资源和城市交通基础设施及环境约束下,正常发挥功能的支撑能力;环境承载力指某一区域在某一时期、某种环境状态下,环境对人类

正常活动提供的支撑能力。由于承载力的测算涉及因素较多,难以准确计算,故本文所研究的承载力并不在于定量描述交通和环境系统能够维持的交通运输工具或交通运输能力,而在于反映交通与环境承载系统承载能力的耦合机制与时空协调特性。因此,本文考虑的交通和环境承载力都不是传统意义上的绝对承载力,而是从根本的供需关系入手,选择一定时空内的历史数据进行比较和发现变化趋势,进而获取相对意义上的交通承载力的客观评判。

耦合源于物理学,决定了系统演变的特征与规律。系统耦合是通过各子系统及其要素交互作用和相互影响,促进系统从无序走向有序的过程。我们将交通与环境两个承载系统通过各自的耦合元素彼此产生影响的程度定义为交通-环境(TE)耦合度。耦合度是描述系统或要素彼此相互作用影响的程度。其耦合作用表现在交通承载力依赖环境承载力和环境承载力约束交通承载力两方面。环境承载力是人类经济开发活动的基础,交通活动过程中的交通建设、交通设计及交通运营管理都依赖于良好的环境。环境的结构、功能是交通活动发生的约束条件,交通活动不得使环境的自我调节功能受到影响。将交通承载力子系统与环境承载力子系统作为两个相互耦合的系统,以一定时间序列的相关指标,定量测量两子系统的耦合关系和协调度,可以反映两者的协调发展状况。

协调指系统内各要素之间良性关联的和谐一致程度,以协调度来度量,表征系统由无序走向有序的趋势。城市化进程中,交通承载力与环境承载力的发展过程由相互促进、制约又独立的许多子过程组成,只有彼此配合协调并形成一种合力,定义为交通-环境(TE)协调度,协调度越高,经济发展越顺利,可持续发展才越易实现。因此,二者以时空为参照系,在发展政策、阶段、速度和目标上有机配合,形成良性互动的合力系统,可实现二者的协调发展与经济的又好又快发展。

耦合度主要反映系统内各要素之间相互作用程度的强弱,不分利弊;而协调度则表示相互作用中良性耦合程度的大小,体现了协调状况好坏程度,即是高度协调的耦合还是低度协调的耦合。故以耦合度

探明交通承载力和环境承载力之间相互作用的强度;以协调度反映交通承载子系统与环境承载子系统内各要素良性关联的和谐一致程度。

2 模型及指标体系构建

2.1 模型构建

为消除指标测度量级或指标量纲的不同而造成的影响,需对指标进行无量纲处理^[15]。方法如下

$$u_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}, \text{承压指标} \\ \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}, \text{压力指标} \end{cases} \quad (1)$$

式中: x_{ij} 为第 i 个研究对象的第 j 个指标; u_{ij} 为对应的 x_{ij} 无量纲处理后的结果; $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$; m 和 n 分别是样本数和指标个数。

为避免主观因素的影响,利用熵值赋权法来确定各指标权重。

指标比重变换公式如下

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (2)$$

计算第 j 个指标的熵值为

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, k = 1/\ln m \quad (3)$$

若 $p_{ij} = 0$, 则用 0.00001 代替计算, $0 \leq e_j \leq 1$ 。

计算第 j 个指标的熵权为

$$\omega_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (4)$$

一般采用几何平均法和线性加权法来反映子系统中各指标对系统的贡献程度,公式如下

$$U_{i=1,2} = \sum_{j=1}^n \omega_j u_{ij}, \sum_{j=1}^n \omega_j = 1 \quad (5)$$

式中: U_1, U_2 分别是交通承载力和环境承载力的综合评价价值。

借鉴物理学的耦合系统模型并参照相关文献,构建交通—环境耦合度模型,如下

$$C = 2 \sqrt{\frac{U_1 U_2}{U_1 + U_2}} \quad (6)$$

式中: $0 < C \leq 1$ 。根据研究需要,将耦合度分为低度耦合 $C \in (0, 0.4]$; 中度耦合 $C \in (0.4, 0.5]$; 高度耦合 $C \in (0.5, 0.8]$; 极度耦合 $C \in (0.8, 1]$ 。

由于耦合度模型难以反映各系统本身的发展水平,如当各系统水平都较低时,也存在各系统协调度较高的结果,而这种协调度与各系统水平均较高时的协调度有本质的区别。因此构建了可以客观反映

协调发展水平的协调度模型如下

$$D = CT \quad (7)$$

$$T = aU_1 + bU_2 \quad (8)$$

式中: D 为协调度; C 为耦合度; T 为综合协调指数,反映二者的整体协同效应;由于影响环境承载力的不仅是交通活动,而是多种活动综合作用的结果,因此将 a 和 b 分别赋值 0.4 和 0.6。根据研究需要,将协调度分为低度协调的耦合 $D \in (0, 0.3]$; 中度协调的耦合 $D \in (0.3, 0.5]$; 高度协调的耦合 $D \in (0.5, 0.8]$; 极度协调的耦合 $D \in (0.8, 1]$ 。

2.2 指标体系构建

科学构建指标体系是耦合协调机制分析的基础(本文的指标体系如表 1 所示)。目前应用最广泛的指标结构是联合国经济合作开发署(Organization of Economic Co-operation and Development, OECD)建立的压力—状态—响应模型(Pressure-State-Response, PSR),其表达的因果关系是:人类活动对环境形成一定压力,导致环境状态发生变化。故社会做出响应,直接作用于压力,以恢复环境质量或防止环境恶化。

表 1 系统指标体系

Tab.1 Indication system

子系统	目标层	准则	指标层	性质
交通承载子系统	公共 交通 承载力	响应	每万人拥有公共汽车量(辆)	承压型
		状态	公共汽(电)车日均客运量(万人次)	压力型
		响应	轨道交通运营线路里程(km)	承压型
		状态	轨道交通日均客运量(万人次)	压力型
	城市 交通 承载力	响应	道路网密度(km/km ²)	承压型
		响应	人均城市道路面积(m ²)	承压型
		状态	私人汽车拥有量(万辆)	压力型
		响应	公路通车里程(km)	承压型
		响应	铁路运营里程(km)	承压型
		状态	民用航空客运量(万人)	压力型
环境承载子系统	环境 承载力	状态	客运量总计(万人)	压力型
		状态	货运量总计(万人)	压力型
		状态	旅客周转量(亿人·km)	压力型
		状态	货物周转量(亿 t·km)	压力型
		响应	一般工业固体废物综合利用率(%)	承压型
		响应	污水处理厂集中处理率(%)	承压型
		响应	生活垃圾无害化处理率(%)	承压型
		响应	建成区绿化覆盖率(%)	承压型
环境承载子系统	环境 承载力	响应	空气质量优良率(%)	承压型
		状态	道路交通噪声等效声级(dB(A))	压力型
		状态	氮氧化物排放量(万 t)	压力型
		状态	二氧化硫排放量(万 t)	压力型
		状态	烟(粉)尘(万 t)	压力型

进一步分析 PSR 模型,压力指标表征了生态环境受到破坏、资源和经济发展等受到的压力;响应指标反映采取的各种响应措施,表征城市的供应能力;

而状态指标反映了区域环境质量与自然资源及经济发展现状,是压力和响应指标共同作用的表现.根据研究需要,将 PSR 模型中的压力类和状态类指标归结为压力型指标,与承载能力呈一定的负相关关系,即压力越大,制约性越强,越不利于承载力的提高;将响应类指标定义为承压型指标,与承载能力呈一定的正相关关系,即供应越多,承压能力越强,越利于承载力的增强^[16].本文根据五大国家级城市群的区位优势,利用频度统计法,同时考虑指标数据的可获得性和可操作性,选取承载力针对性显著并且统计年鉴中有可靠数据来源的指标,共计 23 项,即 $n = 1, 2, \dots, 23$. 样本数 m 取值为 $[1, 10]$, 见表 1.

3 实证分析

3.1 数据来源与权重确定

3.1.1 数据来源

选择京津冀(北京、天津)、长三角(上海、南京)、

长江中游(武汉、长沙)、成渝(成都、重庆)、珠三角(广州、深圳)五大国家级城市群中的 10 个典型城市作为研究对象,这些城市经济发达,人口众多,资源环境压力较大,具有城市群交通承载力水平的可代表性.本文所有 2010—2014 年数据源于 2011—2015 年《中国城市统计年鉴》,各省 2011—2015 年统计年鉴,各城市 2011—2015 年统计年鉴及其 2010—2014 年国民经济和社会发展统计公报和环境质量公报等文献.

3.1.2 权重计算

首先对原始数据进行无量纲化处理,再根据前述熵值赋权法,确定各年、各城市各指标的权重 w_j .

根据前述式(5)~式(8),得到 2010—2014 年以典型城市为代表的五大国家级城市群交通承载力和环境承载力综合评价价值及其耦合度和协调度,分别如表 2 和表 3 所示.各城市群综合评价价值图和耦合协调时序图如图 1 所示.

表 2 各城市群交通承载力和环境承载力的综合评价价值

Tab.2 Synthetic appraisal values of TCC and ECC for each urban agglomeration

年份	环渤海		长三角		珠三角		长江中游		成渝	
	U_1	U_2	U_1	U_2	U_1	U_2	U_1	U_2	U_1	U_2
2010	0.263	0.255	0.292	0.220	0.318	0.324	0.394	0.281	0.346	0.245
2011	0.267	0.259	0.306	0.209	0.310	0.327	0.402	0.274	0.351	0.239
2012	0.267	0.265	0.289	0.245	0.297	0.306	0.421	0.286	0.360	0.223
2013	0.266	0.270	0.285	0.234	0.299	0.319	0.417	0.273	0.326	0.216
2014	0.275	0.271	0.316	0.203	0.271	0.284	0.409	0.253	0.376	0.207

表 3 各城市群耦合与协调程度

Tab.3 Coupling degree and coordination degree for each urban agglomeration

年份	环渤海			长三角			珠三角			长江中游			成渝		
	C	D	耦合/协调	C	D	耦合/协调	C	D	耦合/协调	C	D	耦合/协调	C	D	耦合/协调
2010	0.720	0.186	高度/低度	0.708	0.176	高度/低度	0.801	0.257	极度/低度	0.810	0.264	极度/低度	0.757	0.216	高度/低度
2011	0.725	0.190	高度/低度	0.705	0.175	高度/低度	0.798	0.256	极度/低度	0.807	0.262	极度/低度	0.754	0.214	高度/低度
2012	0.729	0.194	高度/低度	0.728	0.191	高度/低度	0.776	0.235	高度/低度	0.826	0.281	高度/低度	0.742	0.206	高度/低度
2013	0.732	0.196	高度/低度	0.717	0.182	高度/低度	0.786	0.245	高度/低度	0.812	0.268	高度/低度	0.722	0.188	高度/低度
2014	0.739	0.201	高度/低度	0.703	0.174	高度/低度	0.745	0.208	高度/低度	0.791	0.250	高度/低度	0.731	0.201	高度/低度

3.2 交通与环境承载力水平时序演化

根据表 2 和图 1(a)各城市群的交通承载力综合评价价值 (U_1) 显示,各城市群总体差异较大,表现出层级结构:除长江中游和珠三角的交通承载水平呈波动下降趋势外,其他城市群五年内的交通承载水平呈波动上升趋势,其中,成渝、长三角和环渤海在 2013 年后上升速率显著提高.可见,尽管各城市都着力推进城市结构与布局、用地规划的调整及交通体系的协调发展,还是有城市群的交通承载力水平处于下降趋势.各城市群的交通承载能力相差较大,长江中游和成渝城市群的交通承载力水平显著高于其余 3 个城市群,尤其是环渤海城市群的交通

承载力水平相对最低.

由表 2 和图 1(b)所示,从各城市群的环境承载力综合评价价值 (U_2) 来看,各城市群总体差异明显,除了环渤海外,其余城市群的环境承载力水平呈下降趋势.因此,在交通发展的迫切需求下,环境问题依然处于严峻态势.其中,各城市群的环境承载能力相比,珠三角和长江中游的环境承载力相对较高,环渤海居中,长三角和成渝相对最低.

由图 1 可知,环渤海的交通承载力持续小幅递增,环境承载力也持续增加,交通与环境基本上同时管理;长三角交通承载力波动上升,环境承载力波动下降,不稳定,因此在环境治理方面还需加强;珠三

角的交通和环境承载力均波动下降,需采取提高交通和环境承载能力的措施;长江中游的交通承载力波动上升,且稳居前列,但环境承载力有波动下降,应及时加强环境管理;随着如成都等城市轨道交通的兴起,成渝城市群的交通承载力波动上升,稳居第二位,但是环境承载力堪忧,在交通承载子系统完善的同时,不应忽略环境承载系统的修复和保护。

3.3 耦合与协调的时序分析

由表 3 和图 1(c)和图 1(d)可知,二者的耦合和协调存在明显的地域差异.交通和环境承载力基本呈现出高度耦合,最小值为 0.703.五年中,环渤海、长三角和成渝城市群的交通承载力和环境承载力维持高度耦合状态,而珠三角和长江中游城市群在 2012 年后由极度转为高度耦合并保持此状态.高度耦合表明了各城市群系统内部的交通与环境承载力之间很强的交互作用,相互影响明显.图 1(c)表明长江中游城市群交通环境承载力的耦合度最高,环渤

海的偏低,长三角城市群的最低,但仅环渤海的耦合度值逐年递增,且持续增加,其余城市群逐年波动下降.说明环渤海城市群内部的交通和环境相互作用正在加强,其他城市群则处于不稳定状态,京津冀协同发展的不断推进也将继续加强这种相互作用。

交通承载力和环境承载力之间呈现的低度协调表明二者相互协调程度不足,相互促进作用很弱,即良性关联的和谐一致程度很低,最大值仅为 0.281.5 个城市群均处于低度协调的耦合.图 1(d)表明,在低度协调下,仅环渤海的协调度逐年增加,其他城市群的协调度均有所下降,珠三角城市群下降的最严重.由此需要注意的是:各城市群在注意环保建设和严格执行环保政策的前提下,大力提高城市交通系统的交通承载力,同时加大生态环境保护力度,完善联防联控机制,以促进交通承载力与环境承载力的协调发展,进而形成交通承载力与环境承载力之间的高度协调或者极度协调的耦合状态。

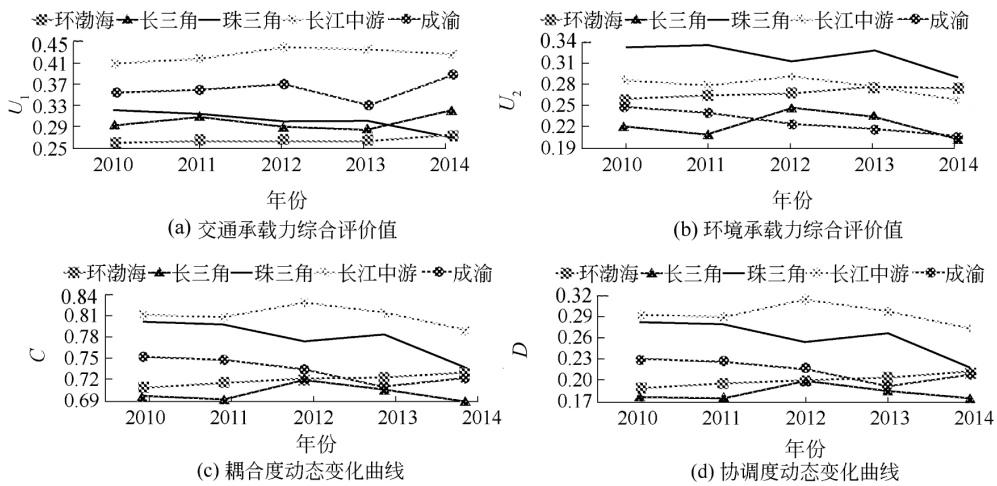


图 1 各城市群综合评价图与耦合协调时序图

Fig.1 Line chart for synthetic appraisal values and trends of coupling

4 结语

1) 各城市群的交通和环境承载力综合评价因地域差异较大,升降不一,具有层级结构.对比各城市群的综合评价,可以有的放矢地制定政策和施行对策,保证在环境承载力不受影响的情况下,提升交通承载能力。

2) 交通承载力与环境承载力协调度的高低不代表绝对水平的高低,而揭示了二者的协调发展程度,可用于判别城市群的交通与环境承载力的相对态势.通过对 2010—2014 年五大城市群的分析,发现了交通与环境承载力之间存在明显的耦合发展特征,各系统内要素互相作用,彼此影响,但就这五年

的数据发现,各城市群的交通与环境承载力并未达到协调发展,良性的耦合程度低,有待加强。

3) 本文列举的典型城市基本反映了各城市群交通和环境承载力情况的最佳水平,而各城市群的交通承载力的提升更需要依靠各自非中心城市的支持.交通与环境承载力的协调发展是一个长期的、渐进的过程.通过轨道交通建设,形成合理的轨道交通体系,使城市中以轨道交通为主导的公共交通成为交通的主要载体,提升交通承载力.另外,在环境改善上,改善区域的能源结构、产业结构、交通结构和生活方式,提升城市群整体的环境承载能力,也利于交通承载力的提升。

参考文献(References):

- [1] 雷勋平, 邱广华. 基于熵权 TOPSIS 模型的区域资源环境承载力评价实证研究[J]. 环境科学学报, 2016, 36(1):314-323.
LEI Xunping, QIU Guanghua. Empirical study about the carrying capacity evaluation of regional resources and environment based on entropy-weight TOPSIS model [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, 36(1):314-323. (in Chinese)
- [2] 李强, 刘剑锋, 李小波, 等. 京津冀土地承载力空间分异特征及协同提升机制研究[J]. 地理与地理信息科学, 2016, 32(1):105-111.
LI Qiang, LIU Jianfeng, LI Xiaobo, et al. Study on spatial differentiation characteristic and collaboration enhancement mechanism of land carrying capacity in Beijing-Tianjin-Hebei[J]. Geography and Geo-Information Science, 2016, 32(1):105-111. (in Chinese)
- [3] 李荣, 吴建军. 北京市交通承载力预测研究[J]. 山东科学, 2013, 26(2):98-104.
LI Rong, WU Jianjun. Prediction of Beijing traffic carrying capacity[J]. Shandong Science, 2013, 26(2):98-104. (in Chinese)
- [4] 齐喆, 张贵祥. 城市群综合交通承载力研究——以京津冀为例[J]. 生态经济, 2016, 32(4):57-62
QI Zhe, ZHANG Guixiang. Research on comprehensive carrying capacity of transportation: taking Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration as an example[J]. Ecological Economy, 2016, 32(4):57-62. (in Chinese)
- [5] 彭虎海. 考虑城市路网承载力水平的机动车保有量控制规模研究[D]. 西安: 西安交通大学, 2011.
PENG Huhai. Motor vehicle quantities control scale research based on urban road network capacity level[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 2011. (in Chinese)
- [6] ARASAN V T, ARKATKAR S S. Derivation of capacity standards for intercity roads carrying heterogeneous traffic using computer simulation [J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2006, 16(1):218-229.
- [7] MALAVASI G, MOLKOVÁ T, RICCI S, et al. A synthetic approach to the evaluation of the carrying capacity of complex railway nodes[J]. Journal of Rail Transport Planning & Management, 2014, 4(1/2):28-42.
- [8] 张梦心. 特大城市交通基础设施承载力研究——以北京市为例[D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2014.
ZHANG Mengxin. Research on the carrying capacity of transportation infrastructure of megacities: a case study of Beijing[D]. Beijing: Capital University of Economics and Business, 2014. (in Chinese)
- [9] 王乾. 基于交通环境承载力的城市机动车发展规模研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
WANG Qian. Study of urban vehicle amount development based on traffic environmental capability [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009. (in Chinese)
- [10] 孙钰, 李新刚, 姚晓东. 天津市辖区土地综合承载力研究[J]. 城市发展研究, 2012, 9(19):106-113.
SUN Yu, LI Xingang, YAO Xiaodong. The research of Tianjin urban land comprehensive carrying capacity[J]. Urban Studies, 2012, 9(19):106-113. (in Chinese)
- [11] XUAN Y, GAYAH V, CASSIDY M, et al. Presignal used to increase bus- and car-carrying capacity at intersections[J]. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2012, 2315: 191-196.
- [12] 李晓龙, 韩静茹. 城市轨道交通线路承载力影响因素的量化分析——以上海市为例[J]. 世界科技研究与发展, 2016, 38(1):76-80.
LI Xiaolong, HAN Jingru. Quantitative analysis on influencing factors of load capacity of urban rail transit: taking Shanghai as an example[J]. World Sci-Tech R & D, 2016, 38(1):76-80. (in Chinese)
- [13] ZHANG M. Bus versus rail: meta-analysis of cost characteristics, carrying capacities, and land use impacts [J]. Journal of the Transportation Research Board, 2010:87-95.
- [14] 齐喆, 张贵祥. 北京市交通综合承载力评价与提升策略[J]. 生态经济, 2016, 32(1):82-85.
QI Zhe, ZHANG Guixiang. Research on evaluation and development strategy of comprehensive traffic carrying capacity in Beijing [J]. Ecological Economy, 2016, 32(1):82-85.
- [15] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006:70-73.
GUO Yajun. Comprehensive evaluation theory, method and application[M]. Beijing: Science Press, 2006:70-73. (in Chinese)
- [16] 高红丽. 成渝城市群城市综合承载力评价研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011.
GAO Hongli. A research on city's comprehensive carrying capacity of Cheng-Yu town cluster [D]. Chongqing: Southwest University, 2011. (in Chinese)