

# 交通可达性与土地利用互动关系研究

## ——以深圳市为例

唐一鸣<sup>1,2</sup>, 蔡凌雁<sup>3</sup>, 洪武扬<sup>4,5</sup>, 王丽妍<sup>3</sup>, 李飞雪<sup>1,2</sup>, 陈东<sup>1,2</sup>

(1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210023;

2. 江苏省地理信息技术重点实验室, 南京 210023; 3. 南京市测绘勘察研究院股份有限公司, 南京 210019;

4. 武汉大学 资源与环境科学学院, 武汉 430000; 5. 国土资源部 城市土地资源监测与仿真重点实验室, 广东 深圳 518034)

**摘要:** 围绕城市交通与土地利用的相互关系, 以交通可达性为切入点, 构建土地利用与城市交通协调评价指标体系, 运用超效率数据包络分析模型, 以城市化发展后期的深圳市为研究区, 探索了城市土地—交通综合系统的协调关系, 并量化分析了影响系统协调性的因素。结果表明: 深圳市道路网络呈现西密东疏、南密北疏的空间形态, 与城市土地开发强度和功能区划契合, 相应形成西高东低的区域可达性格局。街道尺度土地与交通技术效率具有空间分区特征, 城市核心区和西部滨海区技术效率相对较低, 外层城市中部、东部和东部滨海区技术效率值较高, 快速城市化发展带来的土地空间不足和人口承载压力对土地—交通综合系统协调性产生重要影响。研究结论可为促进城市土地空间资源集约高效利用和交通发展规划提供参考。

**关键词:** 土地利用; 交通可达性; 超效率 DEA; 协调性; 深圳市

**中图分类号:** U491.1; F301.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2018)03-0245-05

## Study on Interaction Between Traffic Accessibility and Land Use

### —A Case Study of Shenzhen

TANG Yiming<sup>1,2</sup>, CAI Lingyan<sup>3</sup>, HONG Wuyang<sup>4,5</sup>, WANG Liyan<sup>3</sup>, LI Feixue<sup>1,2</sup>, CHEN Dong<sup>1,2</sup>

(1. College of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210046, China;

2. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographic Information Science and Technology, Nanjing 210023,

China; 3. Nanjing Institute of Surveying, Mapping & Geotechnical Investigation, Co., Ltd., Nanjing 210019,

China; 4. School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430000, China; 5. Key Laboratory

of Urban Land Resources Monitoring and Simulation, Ministry of Land and Resources, Shenzhen, Guangdong 518034, China)

**Abstract:** Based on the interrelationship between urban traffic and land use, we constructed the coordinated evaluation index system with traffic accessibility as the breakthrough point, and used the super-efficiency data envelopment analysis model to study the late development of urbanization in Shenzhen to explore the coordination relationship between urban land and traffic system, and quantified the factors that affect the coordination of the system. The results show that: the road network in Shenzhen is more intensive in the west and south and consistent with land development intensity and urban functional zoning; along with the layout of road network, regional accessibility also presents the characteristic that the west is higher than the east; land and traffic technology efficiency has spatial zoning characteristics in street scale; the technical efficiency of core area and the western coastal area is relatively low, while that of the eastern and eastern coastal areas is higher. The lack of land space and the pressure of population carrying capacity caused by the rapid urbanization have the important impact on the coordination of land-transport integrated system. The conclusion of the study will provide a reference for promoting the intensive and efficient utilization of urban land space resources and the transport development plan.

收稿日期: 2017-06-05

修回日期: 2017-07-25

资助项目: 国土资源部城市土地资源监测与仿真重点实验室开放课题(KF-2015-01-045); 国家自然科学基金(41671386)

第一作者: 唐一鸣(1993—), 男, 重庆人, 硕士, 研究方向为城市扩张与 GIS。E-mail: 15195999tym@gmail.com

通信作者: 李飞雪(1983—), 女, 黑龙江齐齐哈尔人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事地理信息系统应用研究。E-mail: njulifeixue@163.com

**Keywords:** land use; traffic accessibility; super efficiency DEA; coordination; Shenzhen

城市土地利用与交通系统存在相互联系、相互制约的循环与反馈关系。土地利用是城市交通系统产生的根源,决定了城市交通的发生、吸引、分布与方式选择,从宏观上规定了城市交通的结构和基础;城市复杂的交通网络作为载体承担土地利用带来的交通流,交通系统的发展与完善影响土地利用强度与模式,交通系统所具有的水平将改变城市空间结构和规模<sup>[1-3]</sup>。城市交通与土地利用的协调是解决城市交通问题的重要前提,也是实现城市可持续发展的关键因素。作为我国快速城市化发展的典范,深圳市在地理区位条件和外向型工业主导发展的背景下,城市空间发展与交通的联系尤为突出<sup>[4]</sup>。当前深圳市已全面实现农村城市化,城市发展步入相对成熟的后期阶段,土地利用与交通综合系统协调性有待进一步分析。

目前,对城市交通与土地利用协调发展的研究通常在建立核心指标体系的基础上,采用各种数学模型对协调度进行评价,典型的理论与方法有协同学理论、主成分分析、数据包络分析、耦合度分析、距离协调度模型和模糊层次分析等<sup>[5-6]</sup>。其中,数据包络分析(Data Envelopment Analysis,简称 DEA)是评价复杂系统综合效率的有力工具,因评价指标不涉及权重和量纲等问题,在处理多输入—多输出的有效性评价方面具有绝对优势<sup>[7-8]</sup>。Roháčová V 设计了一个二阶段方法,运用投入导向的数据包络分析方法计算斯洛伐克东部城市车辆分配效率,以服务城市公共交通供需平衡<sup>[9]</sup>;罗铭等基于系统论的复合系统理论,将数据包络分析与模糊数学的隶属度概念结合构建交通—土地利用复合系统协调评价模型<sup>[10]</sup>。

本文以城市化后期的深圳市为例,运用改进的 DEA 模型,开展城市交通与土地利用协调评价研究。考虑到可达性指标对区域交通便捷程度的定量表达,构建评价指标体系时引入交通可达性。研究一方面是对深圳市交通便捷度的综合评价,另一方面为推进城市土地节约利用,城市交通发展规划和土地利用协调布局提供参考。

## 1 研究区与数据源

### 1.1 研究区概况

深圳市地处广东省南部,东临大亚湾和大鹏湾,西濒珠江口和伶仃洋,南边通过深圳河与香港相连,北部与东莞、惠州接壤。深圳市下辖 8 个行政区(福

田区、罗湖区、南山区、盐田区、宝安区、龙岗区、龙华区、坪山区)和 2 个新区(光明新区、大鹏新区),划分 55 个街道,土地总面积为 1 996.78 km<sup>2</sup>。2014 年,全市 GDP 16 001.98 亿元,常住人口 1 077.89 万人,建设用地约占土地总面积的 48%,建设用地处于“增长的极限”。建设用地中交通用地约占 10%,人均出行距离达 9 263 km,交通设施面临建设用地供给不足的刚性约束。目前,深圳市已初步构建“三轴两带多中心”组团式空间结构,城市发展重点逐步向原特区外转移,交通和土地利用发展格局面临重大调整。

### 1.2 数据预处理

研究收集了 2014 年深圳市土地利用现状数据、道路网络数据和经济社会数据。围绕土地利用与交通可达性协调评价的目标,提取反映土地利用情况的相关指标进行运算。已有道路网络数据包含 6 个等级,包括高速公路、快速路、主干道、次干道、支路和建议性支路。根据现状交通用地数据,对道路网络校正空间位置、删除冗余线段、延长未伸及点、融合伪节点等。

## 2 研究方法

### 2.1 空间句法模型

空间句法模型的本质是基于拓扑距离的网络通达性和关联性。基本思想是将空间内的联系关系抽象为连接图,再根据图论基本原理,对轴线的通达性进行拓扑分析,得出一系列的形态分析变量<sup>[11]</sup>。空间句法涉及两个关键问题,空间分割和句法测度。考虑道路网络的线性布局,采用轴线分割法中的线段模型,以道路中心线代替轴线建立模型建立拓扑关系。可达性句法测度则采用衡量空间离散程度的整体集成度指标:

$$I_{(n)} = \frac{1}{RRA_{(n)}} = \frac{n \left[ \log_2 \left( \frac{n+2}{3} - 1 \right) + 1 \right]}{(n-1) |\bar{D} - 1|} \quad (1)$$

式中: $I_{(n)}$ 为全局集成度; $RRA_{(n)}$ 为实际相对不对称值, $\bar{D}$ 为局部平均深度值,指空间中任意一街道到其他街道最短步数的平均值。句法测度基于 Axwom-an 6.0 软件<sup>[12]</sup>计算得到。

### 2.2 超效率 DEA 模型

DEA 由 Charnes 和 Cooper 等人于 1978 年提出,以相对效率概念为基础,评价具有相同类型的多投入、多产出的决策单元是否技术有效<sup>[13]</sup>。当多个决策单元同时有效时,DEA 模型不能对其进行区分。

基于此,Anderson 等提出了超效率 DEA 模型<sup>[14]</sup>,计算时将评价决策单元排除在参考决策单元集合之外,能够对有效单元进行进一步排序,弥补了传统 DEA 模型的不足。超效率 DEA 模型数学原理如下:

假设研究有  $n$  个决策单元,每个决策单元均有  $m$  种输入和  $s$  种输出,输入和输出向量分别用  $X_j$  和  $Y_j$  表示。构造  $C^2R$  模型如下:

$$\begin{cases} \min \theta \\ \text{s. t. } \sum_{k=1}^n X_{i,k} \lambda_k + S_i^- = \theta X_0 & i=1,2,\cdots,m \\ \sum_{k=1}^n Y_{j,k} \lambda_k - S_j^+ = Y_0 & j=1,2,\cdots,s; k=1,2,\cdots,n \\ \lambda_j > 0, S_i^- > 0, S_k^+ \geq 0 \end{cases}$$

(2)

式中: $\theta$  为决策单元投入相对于产出的相对效率; $S_i^-$  为输入项的松弛变量; $S_j^+$  为输出项的松弛变量; $\lambda$  为  $n$  个决策单元的组合系数。

当  $\theta < 1$  时,则决策单元为非 DEA 有效;若  $\theta = 1, S_i^- + S_j^+ > 0$ ,则决策单元为弱 DEA 有效;若  $\theta = 1, S_i^- + S_j^+ = 0$ ,则实现 DEA 有效,达到最佳生产前沿面。

DEA 评价方法的主要步骤包括评价目标确定、决策单元选择、输入输出指标确定、模型建立与求解、评价分析等,模型计算在 Matlab 上实现<sup>[15]</sup>。围绕城市土地利用与交通可达性耦合评价的目标,选取表征城市土地利用特点和交通可达程度的指标,构建 DEA 评价的指标体系(表 1)。

表 1 评价指标体系

类别	指标层	指标说明	量化公式
土地利用	人口密度 $X_1$	区域土地的开发强度和节约利用程度	$\frac{\text{常住人口数}}{\text{土地总面积}}$
	土地利用强度 $X_2$	土地利用的开发程度,用容积率表示	$\frac{\text{总建筑面积}}{\text{建筑用地面积}}$
	土地利用混合度 <sup>[16]</sup>	区域土地利用功能类型	$-\sum_{k=1}^k P_{k,i} \ln(P_{k,i})$
	$X_3$	的丰富程度	$\frac{1}{\ln(k,i)}$
道路交通	路网密度 $Y_1$	城市道路设施在区域的服务水平	$\frac{\text{道路长度}}{\text{土地总面积}}$
	道路可达性 $Y_2$	反映区域交通效率和区位可达性	集成度

3 结果与分析

3.1 道路可达性评价

以全局集聚度作为可达性表征,根据数值统计特征进行 GIS 自然间断点分类(附图 12)。集聚度较高的道路通达性越好,与其他道路的空间联系越紧密,越容易实现和其他空间的互动,为前景网络。集聚度

较低的道路通达性水平稍差,是城市交通的背景网络。整体上来看,2014 年深圳市道路网络呈现北疏南密、东疏西密的发散性空间形态,以及从城市中心向城市周围逐渐减弱的趋势,与城市功能分区相对一致,交通布局结构合理。集聚度较高的道路大多是城市主干道,包括滨河大道、宝安大道、深南大道、南光高速、梅观高速等,从城市中心延伸到周边地区。这些高度集聚的交通道路不仅是城市中心地带和周边各个地区联系的纽带,也是城市内部人类活动的活跃地带。

将道路网络全局集聚度通过反距离权重插值(Inverse Distance Weighted,简称 IDW)获取市域交通可达性空间分情况。IDW 插值方法以插值点与样本点间的距离作为权重进行加权平均,根据空间自相关性原理,离插值点越近,其权重越大<sup>[17]</sup>,表达式为

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^n z_i / d_i^r}{\sum_{i=1}^n 1 / d_i^r}$$

(3)

式中: $Z_o$  为插值点 O 的估计值; $z_i$  为样本点  $i$  的值; $d_i$  为样本点  $i$  与点 O 的距离; $n$  为参与计算的样本点数目; $r$  为指定的权重幂数,常选用幂数  $r=2$ 。IDW 插值方法在可达性相关的研究中已有应用<sup>[18]</sup>,通过 ArcGIS 10.2 提供的空间插值工具实现。

图 1 区域可达性分布图中,颜色越深集聚度值越高,区位便携程度越高,全市可达性较好的区域分布与市内主要交通线路有较强的一致性。福田区、罗湖区、南山区、宝安中心区等城市建成区的连绵区域是深圳市空间可达性水平最高的地带,区内道路网络密集,交通较为便捷。如福田区由滨河大道、红荔大道、彩田路、新洲路四条城市主干道共同围合而成,其空间可达性指标最高。对于坪山新区和大鹏新区,其区域面积大,城市建设发展时间短,区内道路网络稀疏,加之地势相对起伏差异大,在空间上表现出较差的区位可达性。

3.2 土地利用与交通可达性协调评价

2014 年,深圳市 55 个街道土地利用与交通可达性 SE-DEA 技术效率情况见附图 13。全市技术效率值分布在 0.48 至 2.31 之间,平均值达 0.81。图 2 显示,街道技术效率频率呈现正态分布,85%左右的单元 SE-DEA 技术效率值分布在 0.5~1.0 之间,技术效率低值和高值单元相对较少。全市实现 DEA 有效的单元有 7 个,主要集中在城市东部地区和东部滨海区,如南澳街道、大鹏街道和坪山街道等,其中坑梓等 3 个街道为弱 DEA 有效。SE-DEA 技术效率相对较低的区域主要集中在西部滨海区、城市核心区及

其周边区域,而城市中部地区、东部地区和东部滨海区技术效率值高于上述两个区域。

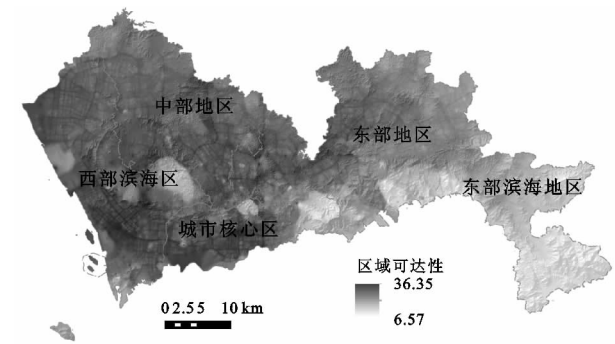


图 1 深圳市区域可达性

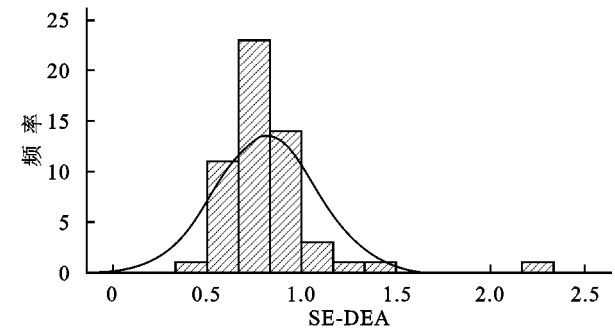


图 2 SE-DEA 频率分布

根据 SE-DEA 技术效率值,选取 4 个典型街道进行具体分析,投入—产出指标投影值见表 2。位于东部滨海分区的大鹏街道 SE-DEA 技术效率值达 1.15,且投入和产出松弛变量均为 0,其土地利用与交通可达性水平实现相对均衡协调发展。大鹏街道区域土地面积大,生态用地居多,区域发展侧重生态保护。其土地开发强度和人口密度均较低(图 3),区域通达程度也不高,但在区域内部两者发展水平相契合,实现了 DEA 技术有效。南山区桃源街道技术效率值为 0.92,其人口密度投入存在剩余,区域路网密度产出不足。桃源街道紧邻福田区,作为城市核心区的周边区域,具有一定的人口吸引力,其人口承载过剩与路网建设不足是土地利用与交通可达性未实现 DEA 有效的主要原因。位于罗湖区的翠竹街道是城市核心区土地利用与交通可达性特征的典型代表。尽管区域道路设施建设完善,可达性水平良好,但在城市核心区的环境下,土地空间资源有限,人口众多,人口承载量与道路可达性水平不平衡,其 SE-DEA 技术效率为 0.78。在 4 个案例单元中,布吉街道技术效率值最低,为 0.57。在城市中部地区,并紧邻罗湖区,布吉街道同样具有较大的人口规模,人口投入过程剩是技术效率低值的主要因素。

通过输入输出的指标变化,研究单项指标对系统协调性的影响程度,探究决策单元无效的原因。分析

某项指标时,将其从指标体系中去除,计算剩余指标体系的技术效率值  $\theta'$ ,统计各个单元原技术效率  $\theta$  与  $\theta'$  的差值占  $\theta$  的比例,其累加值定量描述了该项指标在系统中的影响性<sup>[19]</sup>。

表 2 技术效率投影分析

地区	$\theta$	投入剩余 $X_1$	产出不足 $X_2$
大鹏街道	1.15	0	0
桃源街道	0.92	0.17	0
翠竹街道	0.78	1.95	0
布吉街道	0.57	0.42	0

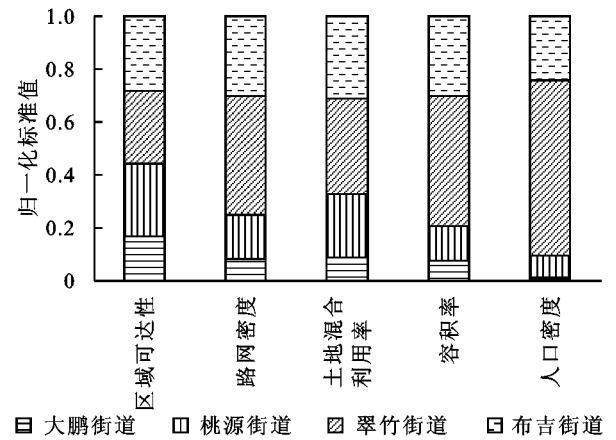


图 3 投入产出指标情况

指标累计影响统计分析结果见表 3。土地利用投入中,土地混合利用率  $X_3$  累计值最大,为 11.19,人口密度  $X_1$  累计值最小,为 0.93。这表明,在现有评价体系内,土地混合利用率偏低是制约深圳市土地利用与交通可达性协调发展的首要因素。而人口密度则偏高,在土地—交通综合系统中是主要的冗余因素。在交通可达性产出指标中, $Y_1$  累计值最大,即土地利用投入情况对路网密度影响较之可达性要大。

表 3 指标累计影响

参数	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_1$	$Y_2$
累积量	0.93	4.63	11.19	12.57	5.82

## 4 结论与讨论

城市化发展后期,在土地资源紧约束下,深圳市土地利用变化与城市交通具有密切的联系。本文采用超效率 DEA 评价方法,以交通可达性为切入点,结合街道尺度土地开发强度、人口密度、土地混合利用度、路网密度和交通可达性,探讨 2014 年深圳市土地利用与交通综合系统协调发展情况。

研究表明,2014 年深圳市道路网络为西密东疏的分散性空间形态,与城市开发时限和功能分区相呼应。福田、罗湖和南山等城市中心地区城市建设相对完善,路网密布,道路集聚度较大,区域可达性水平较

好。城市中部地区作为中心城区功能延展区域,承担部分生产和生活职能,区域交通可达性条件也相对具有优势。其次到城市东部地区,尽管道路建设程度也较好,但在整个城市范围内地理区位优势不明显。而东部滨海区,受地形起伏影响较大,形成城市重要的生态保护区,土地开发程度低,交通可达性为全区最低水平。

数据包络分析探讨了城市土地利用与交通可达性的协调关系,各街道表现出协调性差异,SE-DEA技术效率值分布具有一定的空间分区特征。整体来看,城市核心区和西部滨海区技术效率值相对要低,人口承载量偏高是影响协调性主要的因素。海港发展的优势和毗邻香港的区位条件产生了重要的发展吸引力,大量人口集聚。尽管区域可达性条件良好,但过高的人口密度仍然超出了可达性发展水平。而城市中部、东部和东部滨海区城市建设滞后于原特区内,且拥有较大的土地空间资源,交通与土地配置相对均衡,整体 SE-DEA 技术效率值高于城市核心区和西部滨海区,实现 DEA 有效的单元,如南澳街道、大鹏街道、坪山街道等均位于这些地区。

快速城市化发展引导城市基础设施建设更加完善,但同时也伴随着土地供给不足和人口承载压力。城市化发展后期,空间资源限制加大,土地利用模式将从早期的粗放式增长转变为以存量优化为主的内涵提升。在此背景下,建设与土地利用相协调的城市交通体系对城市可持续发展具有重要的意义。近年来,深圳市逐渐探索了地上、地下空间的土地立体化利用模式,相应形成立体化交通体系。立体化土地利用模式将有效提高土地和交通承载力,提升公共交通系统服务水平,缓解城市交通拥挤问题,是土地资源紧约束基本国情下城市发展的有效手段。

#### 参考文献:

- [1] 杨励雅,邵春福,刘智丽,等.城市交通与土地利用互动机理研究[J].城市交通,2006,4(4):21-25.
- [2] 郑猛.城市土地使用与交通协调发展[J].现代城市研究,2010(1):26-29.
- [3] 冯四清.城市交通与土地利用互动关系定性研究[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2004,27(4):406-409.
- [4] 张勇强.城市空间发展自组织研究:深圳为例[D].南京:东南大学,2003.
- [5] 李京涛,周生路,吴绍华.道路交通网络与城市土地利用时空耦合关系:以南京市为例[J].长江流域资源与环境,2014,1(23):18-25.
- [6] 侯雪.基于 TOD 理念的轨道交通站点周边土地利用评价及优化模型[D].北京:北京交通大学,2012.
- [7] Fancello G, Uccheddu B, Fadda P. Data envelopment analysis(D. E. A.)for urban road system performance assessment[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2014,111:780-789.
- [8] 张静.城市土地利用与城市交通协调关系研究[D].北京:中国地质大学(北京),2014.
- [9] Roháčková V. A DEA based approach for optimization of urban public transport system[J]. Central European Journal of Operations Research, 2015,23(1):215-233.
- [10] 罗铭,陈艳艳,刘小明.交通—土地利用复合系统协调度模型研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2008,32(4):585-588.
- [11] 白永平,吴常艳,陈博文.基于陆路交通网的空间通达性分析:以兰州:西宁城市区域为例[J].山地学报,2013,31(2):129-139.
- [12] Jiang B, Claramunt C. Integration of space syntax into GIS: new perspectives for urban morphology [J]. Transactions in GIS, 2002,6(3):295-309.
- [13] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units [J]. European Journal of Operational Research, 2007,2(6):429-444.
- [14] Andersen P, Petersen N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis[J]. Management Science, 1993,39(10):1261-1264.
- [15] 刘展,屈聪. MATLAB在超效率 DEA 模型中的应用[J].经济研究导刊,2014(3):86-87.
- [16] Ruben M, Antonio P. Determinants of distance traveled with a focus on the elderly: A multilevel analysis in the Hamilton CMA, Canada[J]. Journal of Transport Geography, 2009,17(1):65-76.
- [17] 汤国安. ArcGIS地理信息系统空间分析试验教程[M].北京:科学出版社,2012.
- [18] 岳邦佳,林爱文,孙铖.基于公共交通系统的城市公园绿地可达性分析:以武汉市中心城区为例[J].测绘与空间地理信息,2016(12):60-63.
- [19] 孟晓,孔群喜,汪丽娟.新型工业化视角下“双三角”都市圈的工业能源效率差异:基于超效率 DEA 方法的实证研究[J].资源科学,2013,35(6):1202-1210.