

# 轨道交通地区用地与交通互动规划设计研究

于晓桦<sup>1</sup>, 谢 辉<sup>1,2</sup>, 唐子可<sup>1</sup>, 晏克非<sup>1</sup>

(1. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804; 2. 上海市城市综合交通规划研究所, 上海 200040)

**摘要:** 为实现土地开发利用与交通规划互动反馈, 提出了轨道交通车站地区土地利用与交通规划互动设计的两步骤分析方法: 首先, 依据土地利用指标确定轨道交通客流规模与分布; 其次, 根据轨道交通设施容量调整与优化土地利用规划。设计了基于 TransCAD 交通规划软件的实现流程, 通过长沙大河西先导区洋湖垸片区控规优化与交通网络构建的互动深化过程, 验证了互动规划模型的合理性和适应性。

**关键词:** 车站地区; 用地与交通; 互动规划; 仿真分析

**中图分类号:** U 491

**文献标识码:** A

## Interactive Planning and Design of Land Use and Transportation in Rail Transit Station Area

YU Xiaohua<sup>1</sup>, XIE Hui<sup>1,2</sup>, TANG Zike<sup>1</sup>, YAN Kefei<sup>1</sup>

(1. College of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Institute of Shanghai City Transportation Planning, Shanghai 20040, China)

**Abstract:** The paper presents a two-step interactive technology of station area land-use planning and transportation planning. Rail station passenger volume is first determined based on the land utilization; land-use planning is then adjusted according to the rail station capacity. The implementation procedure is proposed based on TransCAD. A case study of Big Hexi Pilot District in Changsha for regulatory optimization and traffic network construction validates the rationality and adaptability of the analysis model.

**Key words:** station area; land-use and transportation; interactive planning; simulation analysis

了大量人流活动, 给轨道交通提供了充足客源, 从而提高了轨道交通的利用率, 这是车站地区土地利用与轨道交通间相辅相成、协调发展的主要体现<sup>[1-3]</sup>。车站地区土地开发利用与交通规划互动设计, 有利于充分发挥轨道交通系统对调整城市空间结构、促进旧区改造和新区建设以及节约集约用地的作用, 成为近年来研究的热点和难点, 并在理论上获得一些研究成果。如 Marya Morris<sup>[2]</sup>, 郭丽娜<sup>[4]</sup>, 邹春福和杨励雅<sup>[5]</sup>等对土地利用规划与轨道交通协调发展进行了研究; Medda<sup>[6]</sup>, Ruth Steiner<sup>[3]</sup>和莫一魁<sup>[7]</sup>等对车站地区 TOD 开发模式进行了研究。

然而, 在实践上车站地区土地开发利用与交通规划仍然处于半脱节状态。土地开发利用和交通规划是分两个层次进行的, 在土地利用规划中很少考虑到轨道交通地区的交通供求关系。其原因是: 一方面是在控规阶段, 各类用地的平衡表(包括交通设施)缺乏量化的论证; 另一方面, 缺乏互动规划方法与技术手段来实现土地利用与交通互动规划设计, 规划者往往心有余而力不足。

本文从土地利用规划与交通规划的互动关系出发, 提出了车站地区土地开发利用与交通规划互动设计的两步骤分析方法: 首先, 依据车站地区土地开发利用指标确定轨道交通客流规模与分布; 其次, 根据轨道交通设施集散、换乘容量调整土地利用规划, 设计了基于 TransCAD 交通规划软件的实现流程。通过长沙大河西先导区洋湖垸片区控规优化与交通网络构建的互动深化过程, 验证了该分析方法的合理性和适应性。

## 1 研究问题互动特性分析

车站地区的土地利用规划和交通规划问题显现

轨道交通车站地区由于高可达性而导致高强度土地开发, 各种住宅和商业设施高密度集中, 改变了城市的布局; 而高密度的设施、高强度的开发, 吸引

收稿日期: 2010-01-20

基金项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划项目(2008AA11Z201)

第一作者: 于晓桦(1983—), 女, 博士生, 主要研究方向为交通运输规划与管理. E-mail: yuxiaohua\_522@126.com

通讯作者: 晏克非(1943—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为交通运输规划与管理. E-mail: yankf@tongji.edu.cn

互为因果的复杂关系。

影响车站地区交通功能的土地利用要素有用地功能结构、土地利用类型和土地利用强度等,它们对车站地区中交通源的分布、交通的供求状况、人们的出行习惯,以及对交通方式的选择都会产生极大的影响,从宏观上决定着交通系统的结构和基础。

对车站地区土地利用影响最大的交通性能指标包括可动性、可达性、出行时间等,它们对车站地区用地空间布局、土地利用开发强度所表现出来的能动作用越来越明显,会影响社会空间活动的选址,刺激新的土地开发。但随着车站地区的开发,乘客的增加,轨道交通超载和车站地区的交通拥挤度提高,逐渐对其服务质量有负面的影响,增加了乘客出行的成本,制约了土地的进一步开发。

因此,这种因果互动关系有着正、负两种效应。正效应可以促使车站地区土地利用与交通系统相互促进、协调发展;负效应将会导致其相互制约、功能紊乱。车站地区土地利用与交通系统互动成正效应有两个前提:一是用地功能结构、开发强度与车站地区的交通容量相协调;二是交通系统的结构与用地类型、功能结构相匹配。车站地区土地利用规划与交通规划互动关系的落实可以归结为其正效应互动关系两个前提的落实。

## 2 两步骤互动分析方法

### 2.1 互动分析技术程序

以实现车站地区土地利用与交通系统因果互动关系的正效应为基础,从用地和交通两个角度出发,建立两步骤的互动分析方法。

#### 2.1.1 根据土地利用规划确定轨道站点客流规模

(1) 车站地区的区位及类别的确定。

轨道交通车站地区区位之所以优越,主要是由轨道交通带来的交通可达性高和车站地区土地复合开发形成的聚集经济效应决定的。其土地使用产生的交通需求分布同样也是由车站的交通可达性和车站地区的复合开发决定。

车站地区的区位可通过式(1)确定

$$Z_i = W_1 x_i + W_2 H_i \quad (1)$$

式中: $Z_i$ 为地区*i*的区位度量; $x_i$ 为地区*i*的可达性度量; $H_i$ 为车站地区*i*的复合开发程度; $W_1$ 为可达性因子权重; $W_2$ 为复合开发程度因子权重。

交通可达性的定量描述,常用 Hansen 式表

达,即

$$x_i = \sum_j F_j f(c_{ij}) \quad (2)$$

式中: $F_j$ 为地区*j*的经济水平指标; $c_{ij}$ 为区域*i*到区域*j*的距离、时间和费用成本; $f(c_{ij}) = c_{ij}$ 的函数,一般为负指数形式。

车站地区的复合开发带来的是土地使用高密度和高强度,因此可以用土地开发的密度来表示车站地区的复合开发程度

$$H_i = E_i / S_i \quad (3)$$

式中: $H_i$ 为车站地区*i*的用地开发强度; $E_i$ 为车站地区*i*的当量工作岗位数; $S_i$ 为车站地区*i*的土地面积。

#### (2) 交通量的计算

土地利用所产生的交通量(集散、换乘)是由两部分交通量组成的:一部分是由车站地区土地开发的使用性质决定的交通量,称为绝对交通量;另一部分交通量则是由于土地利用所处的特定区位而引发的交通量,称为级差交通量。不同车站地区因区位不同所吸引的交通量是有差异的。

对于绝对交通量,根据各地的居民出行调查和典型用地吸引点调查数据,统计得到平均值计算。

对于级差交通量,根据轨道交通地区的区位条件,对不同车站地区的区位值进行排序。一般地,对于区位值处于30%以内的地区按照市级车站级差系数计算级差交通量;对于区位值处于30%~70%以内的地区按照区级车站级差系数计算级差交通量;对于区位值70%以外的地区按照社区级级差系数计算级差交通量。市级、区级、社区级车站地区的级差系数可以对已建车站或同类城市已建车站地区进行调查类比得到。

#### (3) 交通分布

对于车站地区的用地开发,可以使用重力模型分析出行分布,形式为

$$\begin{aligned} T_{ij} &= K_i K'_j P_i A_j f(R_{ij}) \\ \begin{cases} K_i = (\sum_j K'_j A_j f(R_{ij}))^{-1} & (i = 1, \dots, n) \\ K'_j = (\sum_i K_i P_i f(R_{ij}))^{-1} & (j = 1, \dots, n) \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

式中: $T_{ij}$ 为车站地区交通分区*i*和*j*间的出行量; $P_i$ 为车站地区交通分区*i*的出行产生量; $A_j$ 为车站地区交通分区*j*的出行吸引量; $K_i, K'_j$ 为出行产生量和出行吸引量的约束系数; $f(R_{ij})$ 为摩擦因子,选取复合函数形式,即

$$f(R_{ij}) = c \times (R_{ij})^b \times \exp(a \times R_{ij}) \quad (5)$$

式中,  $a$ 、 $b$  和  $c$  为系数.

#### (4) 出行方式划分

对于车站地区的居民出行方式划分, 可以采用比较成熟的 Logit 模型, 即

$$P_k^m = \frac{\exp(-U_k^m)}{\sum_{\delta} \exp(-U_{\delta}^m)} \quad (6)$$

式中:  $P_k^m$  为车站地区  $i$  小区和  $j$  小区之间目的  $m$  出行总量中选择方式  $k$  出行的概率;  $k$  为出行方式, 小汽车、公交、自行车、步行、轨道交通;  $U_k^m$  为车站地区  $i$  小区和  $j$  小区之间目的  $m$  出行方式  $k$  的效用函数(出行费用 + 出行时间).

### 2.1.2 根据轨道站点容量调整土地利用规划

#### (1) 车站地区轨道站点容量的计算

车站地区轨道站点容量由轨道车站的容量和车站地区局域交通网络容量决定. 其中关于轨道交通车站局域地区交通容量的计算, 已有很多文献叙述, 根据“短板理论”, 轨道车站容量为轨道车站客流规模与经过该地区轨道交通线路最大运输能力之间最小值. 轨道交通线路最大运输能力计算如下<sup>[8]</sup>

$$C_l = N_l M_l P_l c_l \quad (7)$$

式中:  $C_l$ ,  $N_l$ ,  $M_l$ ,  $P_l$  和  $c_l$  分别为轨道交通线路  $l$  的最大运输能力, 每列车车辆数, 每列车定员数, 高峰发散系数和线路通过能力. 其中线路通过能力为 1 h 通过的最大列车数, 计算公式为:  $c_l = 3600/t_{\text{间}}$ ,  $t_{\text{间}}$  为最小列车间隔时间.

#### (2) 容量限制下的土地利用规划

以土地利用效益最大化为目标, 考虑土地利用所产生的客流量在总量、空间和时间上与轨道交通容量的相协调的土地利用规划优化模型. 可用遗传算法求解, 得到各车站合理的用地结构和平均容积率<sup>[9]</sup>.

#### (3) 综合效益最大化的土地利用规划

考虑到轨道交通乘坐率和土地开发经济效益的综合效益最大化为目标, 考虑到用地结构、开发强度、环境污染、社会公平的约束条件的土地利用规划模型, 可用遗传算法求解, 得到各地块的用地类型、面积、与轨道车站的步行距离及各类用地的容积率<sup>[7]</sup>.

### 2.2 仿真分析流程及其实现

车站地区土地利用规划和交通规划互动的仿真技术可借助交通规划软件(如 TransCAD)来实现.

#### (1) 构建仿真分析平台

根据现状交通调查(包括现状交通流量和典型吸引点的交通特性等调查), 以及土地利用的规划, 对车站影响区进行交通分区区划、车站及其车站地区接驳网络进行编辑、数据库文件进行编辑等, 构建基于 TransCAD 的仿真分析平台.

#### (2) 第一步骤的实现——轨道交通客流规模

根据影响车站地区的土地利用要素: 功能结构、土地利用类型和土地利用强度等, 建立以土地利用要素为自变量的交通需求函数, 采用四阶段法, 对车站地区进行交通需求分析、交通出行分布分析以及出行方式选择分析.

#### (3) 仿真评估及其结果分析

借助于交通规划的模型与方案, 利用交通规划软件, 得出方案的仿真结果, 一般选择运行效率、服务水平、车站容量等指标进行评估.

#### (4) 第二步骤的实现——调整与优化土地利用规划

通过 TransCAD 仿真分析, 分层次分析车站容量及车站地区接驳交通网络系统容量, 调整与优化土地利用规划. 可借助 MATLAB 语言, 编辑遗传算法求解第二步骤的土地利用规划优化模型, 得出优化调整后的土地利用参数指标.

#### (5) 修正仿真分析平台

根据上述仿真结果的分析, 反馈至仿真分析平台, 更新 TransCAD 分析平台和相关数据库文件, 再次进行仿真分析评估.

#### (6) 输出结果

车站地区土地利用规划与交通规划的各参数指标满足误差要求时, 即得到仿真分析的最终结果, 结束循环, 输出保存车站地区土地利用与交通规划设计导则.

采用 TransCAD 软件进行车站地区的土地利用规划与交通规划互动的仿真分析技术实现, 主要流程如图 1 所示.

## 3 实例分析<sup>[10]</sup>

以长沙市大河西先导区洋湖垸城市规划设计为例, 如图 2 所示. 洋湖垸位于国务院最近批准的“长株潭城市群两型社会建设综合配套改革试验区”长沙市大河西先导区起步区范围内, 临江靠山, 由长沙市南二、三环线围抱, 区位优势十分明显. 洋湖垸片总部经济区面积约 100 hm<sup>2</sup> (边长 1 km 的正方形), 根据规划, 轨道 5 号线在总部经济区和南部居住区

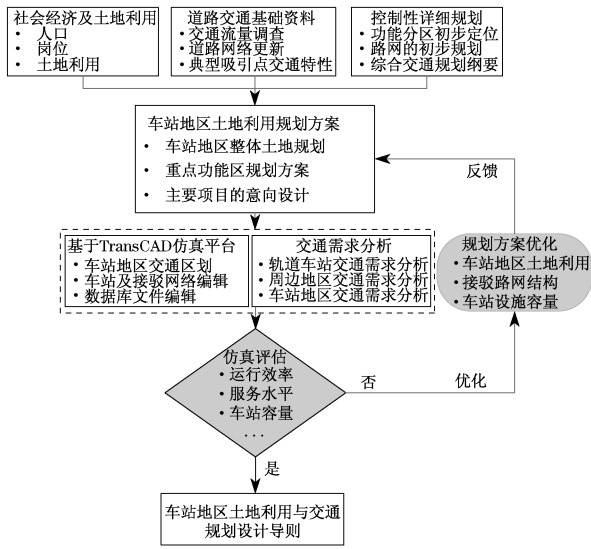


图1 互动仿真流程图

Fig.1 Interactive simulation flow

经过并设站,总部经济区和南部居住区将充分利用轨道交通的建设进行综合开发.本文根据规划,运用交通规划软件 TransCAD 及互动分析方法,分析总部经济区的土地利用和交通规划互动优化结果,验证车站地区土地利用规划与交通规划互动的分析方法的合理性和适应性.

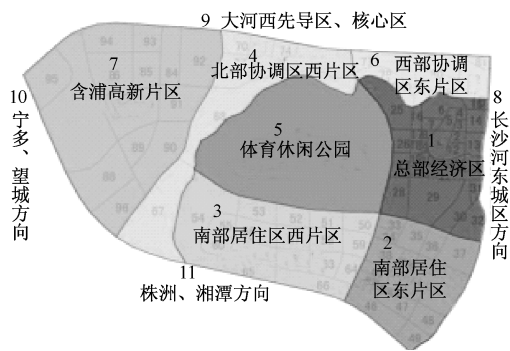


图2 洋湖垸分区示意图

Fig.2 The Yang Huyuan Period schematic

### 3.1 根据土地利用规划确定轨道站点的客流规模

#### 3.1.1 区位计算

根据土地利用规划,计算得到总部经济区轨道交通区位条件为10%为市级轨道交通;南部居住区轨道交通区位84.5%,为社区级轨道交通.

#### 3.1.2 交通量计算

根据土地利用规划参数,利用构建仿真分析平台计算得到两车站地区的交通发生吸引量.表1和表2为上海轨道3号线沿线市级、区级、社区级车站的居民出行发生率级差系数和不同用地性质的出行吸引率级差系数.表3为各居住和就业岗位以及

交通发生量和交通吸引量仿真分析结果.

表1 居民出行发生级差系数

Tab.1 The differential coefficient of residents travel

车站级别	居家工作出行	居家其他出行	非居家出行
市级	0.901	1.615	4.588
区级	0.963	1.307	1.272
社区级	1.074	0.908	0.931

表2 不同用地出行吸引级差系数

Tab.2 The differential coefficient of various land traffic

车站级别	商业金融	行政办公	文化娱乐
市级	1.08	0.93	0.76
区级	1.17	1.12	2.11
社区级	0.66	1.08	1.36

表3 交通特征量仿真结果

Tab.3 Simulation results of traffic characteristics

轨道交通地区	居住人口/人	就业岗位/人	交通发生量/人次·h <sup>-1</sup>	交通吸引量/人次·h <sup>-1</sup>
总部经济区	27 259	45 001	17 784	60 702
南部居住区	52 370	19 156	30 269	23 482

### 3.1.3 交通分布

图3为车站地区交通分布仿真分析结果图,总部经济区和南部居住区均与河东中心城区和北部的交通联系较强.

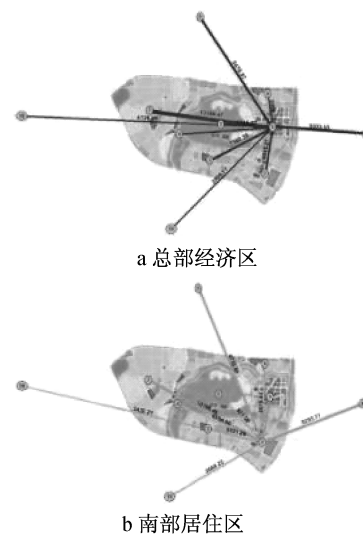


图3 交通分布特征仿真结果示意图

Fig.3 Traffic distribution simulation results

### 3.1.4 出行方式选择

表 4 为车站地区出行方式选择分析结果,总部经济轨道车站的由于商业金融等用地较多,慢行交通比例较小,机动化比例较大,轨道交通的比例也较大.

表 4 出行方式选择仿真分析结果

Tab.4 Simulation results of travel mode choices

出行方式	高峰小时出行次数/万人次			
	总部经济 区轨道站	比例/%	南部居住 区轨道站	比例/%
全方式	30.40	100	30.40	100
慢行交通	9.12	30	12.16	40
小汽车	6.08	20	5.47	18
公交车	10.64	35	9.12	30
轨道	4.56	15	3.65	12

### 3.2 根据轨道站点容量调整土地利用规划

#### 3.2.1 车站地区轨道站点容量的计算

根据长沙市轨道交通线网规划报告,轨道交通 5 号线采用 B 型车辆,6 节编组式,高峰最小发车间隔为 90 s. 取高峰发散系数为 0.7. 得到线路最大运输能力为  $67\ 200\ \text{人} \cdot \text{h}^{-1}$ . 因此,车站地区站点容量为第一步骤计算的轨道车站客流规模.

3.2.2 通过遗传算法求解第二步模型,并反馈至仿真平台,得到车站地区土地利用与开发结果和车站地区的道路网络如下:

#### (1) 车站地区土地利用与开发

总部经济车站地区以市级车站定位进行复合式开发,以商业金融用地类型为主,配合居住和公共设施,南部居住车站地区以社区级车站定位进行复合式开发,以居住和公共设施为主,配合适当的商业金融用地. 仿真分析结果如图 4 所示.

#### (2) 车站地区接驳交通网络

总部经济车站地区和南部居住区车站地区的主、次、支路网络密度均达到国家标准. 相比而言,总

表 5 接驳网络指标仿真分析结果

Tab.5 Simulation results of connecting traffic network indexes

功能分区	接驳道路长度/km					接驳路网密度/( $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$ )				
	快速路	主干道	次干道	支路	总长	快速路	主干道	次干道	支路	总密度
总部经济区	0	5.21	4.91	8.51	18.58	0.00	2.30	2.19	3.80	8.29
南居住地区	1.39	4.31	4.59	6.99	17.29	0.70	2.17	2.31	3.51	8.68
国家标准						0.4~0.5	0.8~1.2	1.2~1.4	3.0~4.0	5.1~7.0

#### (3) 仿真效果分析

从仿真结果看出,经过多次反馈互动仿真分析

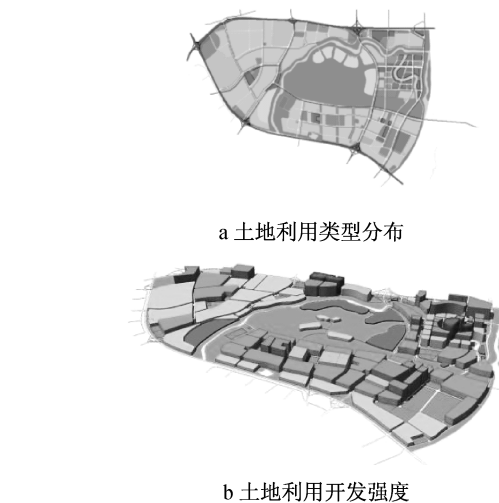


图 4 土地利用规划仿真结果

Fig.4 Simulation results of land use planning

部经济区以商业金融用地为主,在轨道交通和常规公交分担的比例相对较大,在支路网密度上较南部居住区高. 因南部居住区临近南三环快速路,因此,南部居住区含有快速路网络为其服务,这也是该地区小汽车比例较总部经济区高的一个原因. 仿真分析结果如图 5 和表 5 所示.

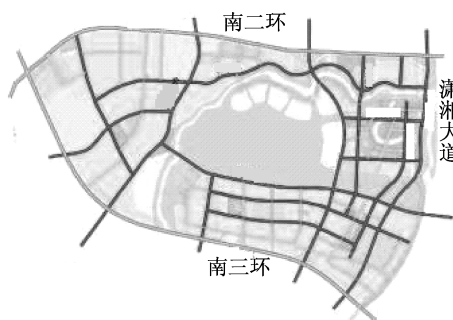


图 5 接驳网络仿真结果示意图

Fig.5 Simulation results of connecting traffic networks

后,两车站地区的土地利用规划与交通规划达到最终结果,根据仿真结果图 6 和表 6 显示,两车站地区

的土地利用与交通功能协调性较好。



图6 流量仿真分析结果

Fig.6 The flow simulation analysis results

## 4 结语

提出了车站地区土地利用与交通规划互动反馈的两步骤仿真分析技术:首先,依据车站地区土地开发利用确定轨道交通客流规模;其次,根据轨道交通容量调整土地利用规划(包括功能、布局、强度).表征了轨道交通车站地区的土地利用与交通系统构建的互动关系.并结合国务院2007年批准的“长株潭城市群两型社会建设综合配套改革试验区”的规划实际案例——长沙大河西先导区洋湖垸片区控规优化与交通网络构建的互动深化过程,实践应用了土地利用规划与交通规划互动的两步骤分析技术,验证了该互动分析技术的合理性和适应性.该成果规划操作性较强,具有一定的创新性与示范性.

表6 交通评估指标仿真分析结果

Tab.6 Simulation results of traffic assessment indexes

车站地区	平均速度/(km·h <sup>-1</sup> )	饱和度	服务水平	车小时/h	车公里/km	单位面积车公里/km
总部经济区	31.45	0.36	A	756.91	26 176	11 531
南部居住区	31.97	0.25	A	455.95	17 756	8 923

## 参考文献:

- [1] Marya Morris. Creating transit supportive land use regulations [M]. Chicago: American Planning Association, 1996.
- [2] Ruth Steiner. Linking transportation and land use a peer exchange[R]. [S. L.] Transportation Research Board, [2005 - 07 - 12] <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec100.pdf>.
- [3] 晏克非,于晓桦.基于SID开发高铁枢纽车站建设条件及其影响[J], 2010,25(7):13.  
YAN Kefei, YU Xiaohua. The construction conditions and their effects of station of high-speed rail hub based on SID [J]. Modern Urban Research, 2010, 25(7): 13.
- [4] 郭丽娜.城市轨道交通与土地利用协调发展的研究[D].北京:北京交通大学交通运输学院,2006.  
GUO Lina. Study on cooperative development of urban rail transport and land use [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2006.
- [5] 杨励雅,邹春福,聂伟,等.基于TOD模式的城市交通与土地利用协调关系评价[J].北京交通大学学报,2007,31(6):6.  
YANG Liya, ZHAO Chunfu, NIE Wei, et al. Evaluation on relationship between urban transportation and land use based on TOD [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2007, 31(6): 6.
- [6] Medda, Nijkamp, Rieteld, et al. Urban land use for transport systems and city shapes [J]. Geographical Analysis, 2003, 35(1): 46.
- [7] 莫一魁,邓军,王京元.城市轨道交通站点地区TOD规划模型及应用[J].土木建筑与环境工程,2009,31(4):116.  
MO Yikui, DENG Jun, WANG Jingyuan. A land use model for urban rail station area planning based on TOD strategy [J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2009, 31(4): 116.
- [8] 毛保华.城市轨道交通系统运营管理[M].北京:人民交通出版社,2006.  
MAO Baohua. Operations and management for urban rail transit [M]. Beijing: China Communications Press, 2006.
- [9] Li Y, Guo H L, Li H, et al. Transit-oriented land planning model considering sustainability of mass rail transit [J]. Journal of Urban Planning and Development, 2010, 9: 243.
- [10] 同济大学交通运输工程学院.长沙大河西先导区土地利用规划调整与优化——交通规划专题[R].上海:同济大学交通运输工程学院,2009.  
College of Transportation Engineering of Tongji University. The land use adjust planning and optimization of Great River pilot in Changsha——transport planning project[R]. Shanghai: Tongji University College of Transportation Engineering, 2009.