

# 城市轨道交通沿线土地合理开发规模研究

王 治<sup>1</sup>, 叶霞飞<sup>1</sup>, 明瑞利<sup>2</sup>

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200092; 2. 中国地铁工程咨询有限责任公司, 北京 100037)

**摘要:** 通过分析目前城市轨道交通运营及其周边土地利用规划存在的问题, 揭示产生问题的根本原因是城市轨道交通规划与沿线土地利用规划脱节. 针对问题产生原因提出轨道交通沿线土地开发应以城市轨道交通线路运输能力作为控制土地开发强度上限的基本依据及以保证轨道交通项目财务平衡(在给定政府补贴额度的前提下)所需最小客流量作为控制土地开发强度下限的基本依据, 为合理确定城市轨道交通沿线土地开发规模提供了一种可行的控制方法.

**关键词:** 城市轨道交通; 土地利用; 合理; 开发规模

**中图分类号:** TU 984.1; U 121

**文献标识码:** A

## Reasonable Scale of Land Development Along Urban Rail Transit

WANG Zhi<sup>1</sup>, YE Xiafei<sup>1</sup>, MING Ruili<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. China Metro Engineering Consulting Corporation, Beijing 100037, China)

**Abstract:** An analysis of the current urban rail transit operation and its surrounding land-use planning reveals the fundamental cause of the dislocation between urban rail transit planning and land-use planning. A proposal is put forward that the maximum land development scale is subject to the transport capacity of urban rail transit line and the minimum should guarantee rail transit project financial balance on the premise of the given amount of government subsidies. The corresponding model founded on the basis of the proposed ideas is established and recomputed in a case study. The idea and model provide a feasible control method for determining the land-use scale along the urban rail transit lines.

**Key words:** urban rail transit; land-use; reasonable; development scale

中国城市轨道交通进入了一个快速发展期, 28 个城市的轨道交通近期建设规划获得了国务院的批复, 另有十几个城市正在进行轨道交通规划建设的前期工作. 但是, 目前已建成开通运营的轨道交通项目中, 存在一部分线路因沿线土地开发过度集中而引起运输能力不足的问题, 如北京轨道交通 5 号线<sup>[1]</sup>等; 另有一部分线路因沿线土地利用规划或实施进程与轨道交通不配套引起的线路能力未能充分利用, 从而导致轨道交通运营企业经营困难的问题, 如上海轨道交通 5 号线<sup>[2]</sup>和广州地铁 4 号线等.

国内外对轨道交通与沿线土地利用间关系展开了一定的研究工作, 主要包括: 城市轨道交通与城市土地利用布局的关系<sup>[3-4]</sup>; 城市轨道交通对沿线土地利用的影响范围研究<sup>[5-8]</sup>; 城市轨道交通建设对公共交通出行比例的影响<sup>[9-10]</sup>; 土地利用模式对居民出行方式选择的影响<sup>[11]</sup>; 沿线土地开发程度对轨道交通客流量的影响<sup>[12-14]</sup>; 城市轨道交通建设和沿线土地开发利用结合方法<sup>[15-17]</sup>等. 在开展相关理论研究工作的同时, 世界典型大城市在城市轨道交通与沿线土地开发利用结合方面进行了很多尝试, 也取得了不少成功经验, 如香港在整合地铁建设、房地产开发、城市规划方面, 通过在地铁沿线的高强度开发提高了土地利用效率, 同时也为轨道交通带来充足的客流, 保证了香港轨道交通项目的经济效益, 是香港地铁获得成功的主要因素<sup>[18]</sup>. 这些研究和实践缺乏轨道交通沿线合理开发规模确定方面的定量研究工作. 本文利用定量分析方法, 研究揭示城市轨道交通与沿线土地开发规模的相互关系, 提出操作性较强的能够指导城市轨道交通沿线土地合理开发规模的思路和方法.

收稿日期: 2010-01-31

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAG02B0202); 上海市科委科技计划项目(072112033)

第一作者: 王 治(1977—), 男, 讲师, 博士生, 主要研究方向为轨道交通规划与土地利用. E-mail: zhiwang@tongji.edu.cn

通讯作者: 叶霞飞(1961—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为轨道交通规划与设计. E-mail: yxf@tongji.edu.cn

## 1 城市轨道交通沿线土地开发的基本思路

当城市轨道交通建设项目确定后,其最大运能即确定下来.因此,通过反复调整轨道交通沿线土地的利用性质、开发强度,使其产生的客流与轨道交通运输能力相适应,是整合轨道交通建设与沿线土地开发的最终目的.城市轨道交通车站周围土地开发的基本思路如图1所示.

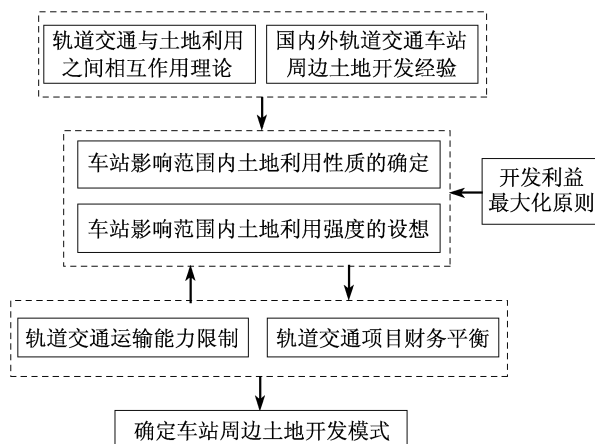


图1 城市轨道交通沿线土地开发思路示意图

Fig.1 Idea of land development along urban rail transit

(1) 进行车站周边土地综合开发,首先需要确定轨道交通车站周边土地开发的范围.轨道交通车站对周边土地的影响范围是有限的,据相关城市轨道交通对沿线房地产价格空间影响范围的理论结果<sup>[5-7]</sup>,可以计算得到各车站的影响范围,本文以此范围作为轨道交通车站周边土地的合理开发范围.

(2) 在轨道交通车站周边土地的合理开发范围确定后,参考国内外轨道交通车站周边土地开发的基本经验,以开发利益最大化为目标,确定轨道交通车站周边不同距离的土地利用性质.

(3) 以轨道交通沿线土地开发产生的客流需求不能超过轨道交通线路运输能力限制为依据,确定各车站周边区域总的开发规模上限值.具体判断标准为:高峰小时单向最大断面客流需求不能超过线路的运输能力.

(4) 依据各种开发类型产生的客流不能低于保证轨道交通项目财务平衡所需(在给定政府补贴额度的前提下)的最小客流量的思想,确定各车站周边区域总的开发规模下限值.

## 2 城市轨道交通沿线土地开发规模的确定方法

城市轨道交通与沿线土地开发之间存在着密切的互动关系,轨道交通客流是其沿线土地利用的函数,即轨道交通沿线土地利用的情况(包括用地性质、用地强度等指标)决定了轨道交通的客流量及时空分布形态,调整沿线土地利用以适应轨道交通运输能力的技术反馈过程,即为确定轨道交通沿线土地合理开发规模的方法和操作流程.轨道交通沿线土地合理开发规模的确定方法如图2所示.

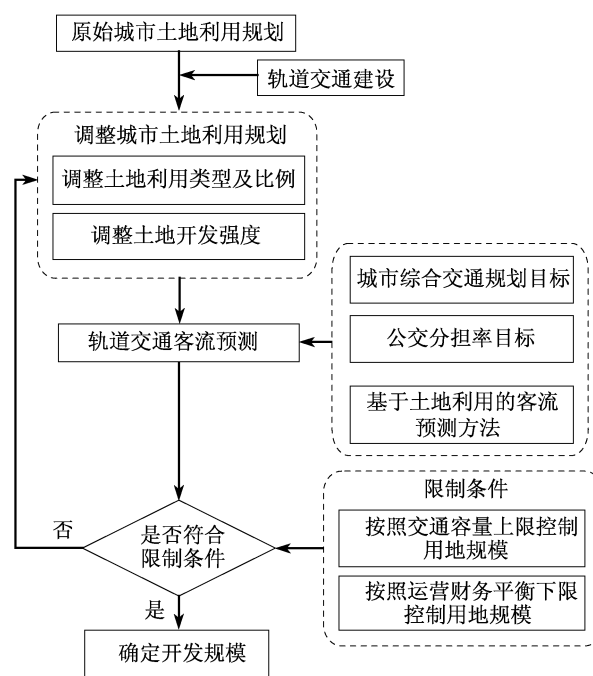


图2 城市轨道交通沿线土地开发合理规模的确定方法流程图

Fig.2 Flowchart of method to define the land development scale along urban rail transit

### 2.1 城市轨道交通沿线土地开发规模上限的确定方法

为了避免轨道交通沿线土地开发带来的客流与原通道客流叠加后的客运需求超过其线路运输能力,提出确定轨道交通沿线土地开发规模上限的基本思路为:各种土地开发类型和规模产生的客流需求不能超过轨道交通线路运输能力限制,并由此确定各车站周边区域总的开发规模上限值.

确定轨道交通沿线土地开发规模上限的基本模型可通过式(1)~(3)表示,如

$$r_{sta} = \left( \sum_{j=1}^m x_{1j} y_{1j} z_j, \sum_{j=1}^m x_{2j} y_{2j} z_j \cdots \right)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} y_{ij} z_j \cdots \sum_{j=1}^m x_{nj} y_{nj} z_j \Big)^T \quad (1)$$

其中:  $r_{sta}$  为全线各车站进、出站客流矩阵(人次);  $x_{ij}$  为第  $i$  个车站第  $j$  种用地的用地规模( $m^2$ ),  $i=1, 2, \dots, n$ ;  $y_{ij}$  为第  $i$  个车站第  $j$  种用地的开发强度(即容积率),  $i=1, 2, \dots, n$ ;  $z_j$  为第  $j$  种用地单位建筑面积产生的客流量(人次  $\cdot m^{-2}$ ); 它受到多种因素的影响, 其中最重要的是用地性质和区位条件。

利用车站进出站客流及客流时空分布特点, 建立客流分布模型

$$D = f(r_{sta}) \quad (2)$$

并推算出各断面高峰小时单向客流量  $r_{seci}$  (人次),  $i=1, 2, \dots, n$ .

以高峰小时单向高断面客流量不超过线路运输能力为控制条件, 确定开发规模的上限, 限制条件为

$$r_g = r_{seci}(\max) \leq r_{secL} \quad (3)$$

其中:  $r_g$  为线路单向高峰小时高断面客流量(万人);  $r_{secL}$  为线路运输能力(万人)。

不同的土地利用规划致使轨道交通线路的每个区间都可能是高峰高断面, 这与客流时空分布、客流规模有密切关系, 沿线不同车站周边土地开发强度的变化与调整会引起各个断面客流量的变化, 高峰高断面的位置可能是不固定的。

## 2.2 城市轨道交通沿线土地开发规模下限的确定方法

轨道交通是一种大运量的交通方式, 并且投资巨大, 建成后一旦客流不足, 将造成巨大的投资浪费, 轨道交通运营公司也将面临巨额亏损。因此, 需要对轨道交通沿线土地开发强度的下限进行控制, 避免造成客流不足的局面, 保证轨道交通运输效率的充分发挥。确定轨道交通沿线土地开发规模下限的基本思路是: 基于轨道交通投资与运营效率角度, 各种土地开发类型产生的客流不能低于保证轨道交通项目财务平衡(在给定政策补贴额度的前提下)的最小客流量。确定各车站周边区域总开发规模下限值的基本模型见式(4), 即

$$f(r_r) + R_c(r_g) + R_s + R_t = f_\beta(r_r) + C_c(r_g) + C_{yy}(r_g) + C_j + C_s + C_{dx} \quad (4)$$

其中:  $f(r_r)$  为运营收益函数, 主要计算依据为日客流量, 及其他收入如广告、站内店铺出租等商业收入比例折算, 以简化模型;  $R_c(r_g)$  为车辆残值及余值函数(万元);  $R_s$  为设备残值及余值(万元);  $R_t$  为土建工程残值(万元);  $f_\beta(r_r)$  为税费函数(万元);  $C_c(r_g)$  为车辆购置费函数(万元);  $C_{yy}(r_g)$  为运营费函数

(万元);  $C_j$  为建设成本, 主要指土建工程建设成本、前期费、预备费及其他工程成本(万元), 全部成本按照建设期为4年, 每年投入25%计算;  $C_s$  为设备成本, 指历次设备购置费、设备更新费用(万元);  $C_{dx}$  为大修费用(万元)。

式(4)中各成本与收益分项计算方法如式(5)~(13)所示, 为

$$f(r_r) = 365 r_r p_p (1 + \alpha) (P/A_I, N) \quad (5)$$

$$R_c(r_g) = \frac{2r_g l}{DV} Y F c_{dj} \left[ (\beta_c + \beta_c^w) / (1 + I)^N + \sum_{j=1}^{n_{gz}^s - 1} \beta_c / (1 + I)^{jL_c} \right] \quad (6)$$

$$R_s = c_s^d l \left[ (\beta_s + \beta_s^w) / (1 + I)^N + \sum_{j=1}^{n_{gz}^s - 1} \beta_s / (1 + I)^{jL_s} \right] \quad (7)$$

$$R_t = c_t^d l \beta_t / (1 + I)^N \quad (8)$$

$$f_\beta(r_r) = 365 r_r p_p (1 + \alpha) \beta (P/A_I, N) \quad (9)$$

$$C_c(r_g) = \frac{2r_l}{DV} Y F c_{dj} \left[ (1 - \alpha_b) + \sum_{j=2}^{n_{gz}^c} (P/F_I, (j-1)L_c) \right] \quad (10)$$

$$C_{yy}(r_g) = 0.073 l B c_{cgl} \left[ \frac{r_g}{BD} Y (2 + 4h_{cg}) + H_p \right] (P/A_I, N) (1 + I) \quad (11)$$

$$C_j = c_j^d l (1 - \alpha_b) \quad (12)$$

$$C_s = c_s^d l \left[ (1 - \alpha_b) + \sum_{j=2}^{n_{gz}^s} (P/F_I, (j-1)L_s) \right] \quad (13)$$

式中:  $r_r$  为线路日客流量(万人),  $r_r = \sum r_{sta} / 2$ ;  $p_p$  为平均程距对应的票价(元);  $\alpha$  为其他收入占票款收入比例;  $(P/A_I, N)$  为等额支付系列现值系数;  $I$  为社会基准贴现率(%);  $N$  为轨道交通项目周期(年);  $r_g$  为高峰小时单向高断面客流量(人次);  $l$  为线路长度(km);  $D$  为列车定员(人  $\cdot$  辆 $^{-1}$ );  $V$  为列车旅行速度(km  $\cdot$  h $^{-1}$ );  $Y$  为运能储备系数;  $F$  为检修与备用车辆系数;  $c_{dj}$  为车辆单价(万元  $\cdot$  辆 $^{-1}$ );  $\beta_c$  为车辆寿命期末残值率;  $\beta_c^w$  为项目期末车辆未被使用的余值率;  $n_{gz}^c$  为项目寿命期内车辆购置次数;  $L_c$  为车辆寿命(年);  $c_s^d$  为设备费单价(万元  $\cdot$  km $^{-1}$ );  $\beta_s$ : 设备残值率;  $\beta_s^w$ : 项目期末设备未被使用的余值率;  $n_{gz}^s$ : 项目寿命期内设备购置次数;  $L_s$  为设备寿命(年);  $c_t^d$  为土建费单价(万元  $\cdot$  km $^{-1}$ );  $\beta_t$  为土建残值率;  $\beta$  为税金比例;  $\alpha_b$  为政府补贴系数;  $c_{cgl}$  为运

营费单价(元·车辆<sup>-1</sup>·km<sup>-1</sup>); $h_{cg}$ 为次高峰系数, $H_p$ 为日平峰发车对数.

### 3 城市轨道交通沿线土地开发规模下限确定的案例研究

设想的线路及车站周边区域土地条件如下:线路长度、平均站间距为已知,线路敷设方式为全地下,线路功能是以承担市区和郊区的通勤交通功能为主;车站周边土地开发范围已知且全部作为居住用地开发,其工作岗位全部在市区.

为从本质上说明所提出模型的可行性,基于以下假设条件建立了案例轨道交通线路的日客流量下限模型和车站周边土地开发容积率下限模型.

(1) 在计算期内,轨道交通各年度客流量均与远期年客流量相同,在轨道交通建设与周边土地开发同步进行的情况下,该假设的情况也是可以实现,如北京轨道交通5号线.

(2) 轨道交通各车站周边土地开发范围为圆形,且各站开发规模、性质等完全一致,因此客流特征也基本一致,则高峰小时单向高断面客流量为日客流量、高峰小时系数的函数,如式(14)所示,即

$$r_g = 10^4 r_r Q / 2 \quad (14)$$

式中, $Q$ 为高峰小时系数.

将各项成本、收入的具体计算公式代入式(4)并合并同类项后,对计算模型进行标定,其中主要参数为:计算周期50年,其他收入占票款收入的20%;税率3.41%;社会折现率6%;政府补贴系数70%;运能储备系数15%;检修与备用车辆系数25%;满载率100%;设备寿命均按照15年计算,残值率5%.建设成本利用上海市轨道交通2号线(全地下线路)的建设费用数据,土建费用34 455.9万元·km<sup>-1</sup>,设备费12 247.1万元·km<sup>-1</sup>,此外大修费用按照20 000万元计算,标定后得到日客流量下限计算公式,即.

$$r_r = \frac{22\,893.3l + 614.7lc_y^d + 20\,000}{6\,668.3p_p - 3\,500.7Qlc_c^d/DV - 30\,858Qlc_y^d/D} \quad (15)$$

在获得日客流量下限计算模型的基础上,可依据土地利用与轨道交通客流之间的关系建立车站周边土地开发容积率的下限模型,但由于目前缺乏可靠的基于土地开发的轨道交通客流预测方法,因此参照交通影响分析中诱增客流的计算方法,推导出

轨道交通线路日客流量与车站周边土地开发容积率的关系

$$F_{ar} = r_r / \pi r_k^2 f_r (n - 1) P \quad (16)$$

其中: $F_{ar}$ 为建筑容积率; $r_k$ 为轨道交通周边土地开发半径(m); $f_r$ 为客流发生率(人次·m<sup>-2</sup>); $n$ 为轨道交通沿线车站数; $P$ 为轨道交通分担率.

将式(15)代入式(16),得到轨道交通车站周边土地开发容积率下限模型,参见式(17).

$$F_{ar} = (22\,893.3l + 614.7lc_y^d + 20\,000) / \{ (6\,668.3p_p - 3\,500.7Qlc_c^d/DV - 30\,858Qlc_y^d/D) / [\pi r_k^2 f_r (n - 1) P] \} \quad (17)$$

假设线路全长 $l$ 为10 km,平均站间距为1 km,高峰小时系数 $Q$ 按照30%计算,线路运营采用A型车,运营费单价 $c_y^d$ 按照25元·车辆<sup>-1</sup>·km<sup>-1</sup>,平均票价 $p_p$ 为3.4元,A型车单价 $c_c^d$ 为1 000万元·辆<sup>-1</sup>,A型车定员 $D$ 为310人,旅行速度 $V$ 为35 km·h<sup>-1</sup>,车站周边土地开发半径 $r_k$ 为500 m,客流发生率 $f_r$ 取0.044 4人次·m<sup>-2</sup>,轨道交通分担率 $P$ 取0.8,利用式(16)和式(17)分别计算得到案例轨道交通线路日客流量下限值和车站周边土地开发容积率下限值如下:

(1) 案例线路日客流量下限值为28.28万人次·d<sup>-1</sup>(对应的高峰小时单向高断面客流为4.19万人次·h<sup>-1</sup>,线路负荷强度为2.828万人次·km<sup>-1</sup>),若轨道交通按照最小发车间隔为2 min计算,按照A型车6节编组计算单方向运输能力为5.58万人次,则高峰小时运能利用率为75.1%.

(2) 案例线路车站周边土地开发容积率下限应达到1.01,即根据案例中的基本假设条件,在沿线各车站周边开发客流全部由轨道交通承担的前提下,车站周边开发容积率达到1.01即可满足政策补贴额度为70%前提下的轨道交通运营企业的财务平衡.

案例计算结果表明,轨道交通沿线土地开发规模下限计算模型是可行的;虽然轨道交通各个车站周边土地的开发模式不同,会对单向高峰小时最大断面客流量的位置及数值产生影响,但由于本模型是基于线路日客流总量建立的,且沿线土地开发规模下限不受单向高峰小时最大断面客流量限制,因此案例计算中的假设条件不会影响其有效性.

### 4 结论与展望

针对城市轨道交通沿线土地合理开发规模问题

开展了基础理论研究工作,主要研究成果归纳如下:

(1) 以城市轨道交通线路运输能力作为控制土地开发强度上限的基本依据,建立了城市轨道交通沿线土地开发规模上限的理论模型.

(2) 以保证轨道交通项目财务平衡(在给定政府补贴额度的前提下)所需的最小客流量作为控制土地开发强度下限的基本依据,建立了确定城市轨道交通沿线土地开发规模下限的理论模型.

(3) 以一条理想化的案例线路为对象,对所建立的确定城市轨道交通沿线土地开发规模下限的理论模型进行了案例实证研究,研究结果表明所建立的理论模型是合理、可行的.

(4) 应用确定城市轨道交通车站周边土地开发规模上下限理论模型,可将城市轨道交通规划和土地利用规划有机结合,从而为解决城市轨道交通项目经营困难的问题,提供了一种合理的思路和可操作性较强的控制方法.

由于单向高峰小时最大断面客流量是控制沿线土地开发规模上限的主要因素,提出的轨道交通沿线土地开发规模上限计算模型,需要轨道交通客流预测模型的支撑才能实用.因此,后续研究需要针对“基于土地利用的城市轨道交通客流预测和客流分布模型”和“反映开发容积率与日客流、高峰断面客流关系的二元函数模型”等问题展开更加深入地研究.

#### 参考文献:

- [1] 安栓庄,王波,李晓霞.北京地铁 5 号线运营对轨道交通客流预测的启示[J].都市快轨交通,2008(2):14.  
AN Shuanshuang, WANG Bo, LI Xiaoxia. Inspiration for rail transit passenger flow forecast from the operation of Beijing subway Line 5[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2008(2):14.
- [2] 徐道飏.上海轨道交通 5 号线运营状况中间评估及对策措施[R].上海.上海市交通工程学会徐道飏工作室,2005.  
XU Daofang. The operation assessment and countermeasure of Shanghai urban rail transit Line 5[R]. Shanghai: XU Daofang Studio Shanghai Institute of Traffic Engineering, 2005.
- [3] 刘卫.广州市轨道交通与土地利用关系研究[D].广州:华南理工大学,2001.  
LIU Wei. Study on the relationship between rail transit and urban land use of Guangzhou[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2001.
- [4] 王治,叶霞飞.国内外典型城市基于轨道交通的“交通引导发展”模式研究[J].城市轨道交通研究,2009(5):1.  
WANG Zhi, YE Xiafei. On transit oriented development model in world cities[J]. Urban Mass Transit, 2009(5):1.
- [5] 蔡蔚,胡志晖,叶霞飞.城市轨道交通开发利益作用机理与影响范围研究[J].铁道学报,2006(4):27.  
CAI Wei, HU Zhihui, YE Xiafei. The study of action principle and influence circle on urban rail transit development benefit [J]. Journal of the China Railway Society, 2006(4):27.
- [6] 张小松,胡志晖,叶霞飞.城市轨道交通开发利益影响范围研究[J].同济大学学报:自然科学版,2005(8):1118.  
ZHANG Xiaosong, HU Zhihui, YE Xiafei. Study of Impact of urban rail transit development on surrounding areas[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2005(8):1118.
- [7] 江永,叶霞飞,王治.上海轨道交通 1 号线对沿线房地产价格的影响范围研究[J].城市轨道交通研究,2007(2):28.  
JIANG Yong, YE Xiafei, WANG Zhi. Impact area of Shanghai rail transit Line 1 on development benefits [J]. Urban Mass Transit, 2007(2):28.
- [8] 松橋啓介.公共交通機関の停留所立地が徒歩圏人口に与える影響に関する研究[C]//日本都市計画学術研究論文集,盛岡:土木計画学研究発表会,2002:353-356.
- [9] R Balcomb, R Mackett. The demand of public transport: a practical guide[R]. Transport Research Laboratory, 2004.
- [10] Karen Antion, Gordon Aoyagi, Ronald L. Barnes, et al. Transit-oriented development in the United States: experiences, challenges, and prospects[R]. Washington: Transit Cooperative Research Program, 2004.
- [11] Jonathan Levine, Aseem Inam, Richard Werbel, et al. Land use and transportation alternatives: constraint or expansion of household choice? [R]. San Jose: Mineta Transportation Institute, 1991.
- [12] 贺艳.城市轨道交通沿线土地利用对其客流的影响[D].北京:北京交通大学,2007.  
HE Yan. Influence of land use along urban rail transit to the passenger volume [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2007.
- [13] Michael Kuby, Anthony Barranda, Christopher Upchurch. Factors influencing light-rail station boardings in the United States[J]. Transportation Research Part A, 2004, 38(3):223.
- [14] 韩晓岚.上海市公共交通基础设施用地模式创新研究[D].上海:上海交通大学,2003.  
HAN Xiaolan. Research on land innovation model of public transit infrastructure in Shanghai[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2003.
- [15] 刘金玲.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,2004.  
LIU Jinling. Coordinated development between urban rail transit and land use [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2004.
- [16] 郑明远.广州地铁 1 号线沿线物业开发[J].城市轨道交通研究,2005(5):50.  
ZHENG Mingyuan. Joint development along Guangzhou metro Line 1[J]. Urban Mass Transit, 2005(5):50.
- [17] LEE Inkeun. Experiences in Seoul subway development[C]//The International Tunnelling Association 30th General Assembly, Singapore: [s. n.], 2004:1-24.
- [18] Corinne Tiry. Hong Kong's future is guided by transit infrastructure [J]. Japan Railway Transport Review, 2003 (2):28.