

# 城市轨道交通车站接驳范围的计算模型

武倩楠, 叶霞飞, 林小稳

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

**摘要:** 依据可达性一致原则,建立了基于广义出行费用的城市轨道交通车站接驳范围计算模型,并给出详细算法及案例分析.针对城市居民出行并非全部都以市中心为目的地这一现实情况,引入城市轨道交通可达点的概念并分别赋予权重,解决了既往研究中只取单一目的地的不足;根据车站周边每个交通小区的实际人口结构对出行时间价值进行细化处理;根据实际路网形态计算接驳距离,使之更加接近实际的走行距离;给出求取车站接驳范围的详细算法,并对算法优化进行讨论;最后,利用广东省某市的预测数据对模型进行计算验证.结果表明,接驳范围与车站周边的道路情况、出行分布以及竞争交通方式的服务水平相关,并不是简单的圆形区域.该模型可以为城市轨道交通已建或规划车站确定客流吸引范围提供计算方法,从而为客流预测及接驳交通设施衔接规划提供参考.

**关键词:** 城市轨道交通; 接驳范围; 广义出行费用; 可达性; 交通小区

**中图分类号:** U121

**文献标志码:** A

## Attraction Area Model for Urban Rail Transit Stations

WU Qiannan, YE Xiafei, LIN Xiaowen

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** A generalized-travel-cost-based model is established to obtain the attraction area of an urban rail transit station according to the uniform accessibility principle. The detailed algorithm as well as a case study is also presented. Based on the fact that city center is not the only destination to all trips, accessible points are used to describe all the possible destinations whose weights are determined by the trip distribution of the whole city. Trip time value is refined by the actual population structure in every traffic zone around the urban rail transit stations. Access distance calculated on the basis of the actual road network becomes more practical.

Therefore, a detailed algorithm is given and its method optimization is also discussed. At last, a case study based on the predicted passenger flow data of a city in Guangdong Province verifies the model. The results indicate that the attraction area of a station is related to the road network around, trip distribution and service levels of the competing traffic modes, not just a simple circular region. This model can provide a way to obtain the attraction area of an already-existing or a planning station, which is the foundation of passenger flow prediction and facility configuration of all the access modes.

**Key words:** urban rail transit; attraction area; generalized travel cost; accessibility; traffic zone

城市轨道交通只有在客流量足够大时,占地面积小、人均能耗低等优势才能得以体现.城市轨道交通的各种接驳交通方式在各自的接驳范围内为其集散客流,是保证客流来源的重要因素.但是现实中,城市轨道交通车站进出站客流量和车站周围的接驳交通停车设施规模往往严重不匹配,或是服务水平低下造成客流损失,或是能力富余造成用地浪费.车站规模也存在同样问题.

计算城市轨道交通车站的各种接驳交通方式的影响范围有助于解决上述问题,在接驳范围内可以更准确地预测接驳客流量,以此来确定各种接驳交通停车设施的规模;将各种接驳交通方式的接驳客流量累加起来就是城市轨道交通车站客流吸引量,可以为确定车站规模提供参考.另外,确定每种接驳交通方式的影响范围还有助于在各自的影响范围内完善相应的接驳条件,例如,在步行接驳范围内营造良好的步行环境,在自行车接驳范围内开辟专用自行车道等.

目前有关城市轨道交通车站接驳范围的定量计

收稿日期: 2013-07-20

基金项目: 上海市科委科技计划(1123120300)

第一作者: 武倩楠(1988—),女,博士生,主要研究方向为城市轨道交通规划. E-mail: qiannan813@126.com

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

算的研究较少,涉及此类问题时一般会取经验值<sup>[1]</sup>,并且已有的研究<sup>[2]</sup>也大多假设该区域为一个规则的圆形,只需求取半径就可以得到接驳范围,但现实当中的接驳范围是与城市轨道交通车站周边的实际路网情况、出行分布、竞争交通方式服务水平等因素密切相关的。另外,在可达性的处理上,大部分的研究<sup>[3]</sup>只选取市中心为终点,而居民出行并非全部都以市中心为目的,如何选取可达点来表现可达性也是一个需要解决的问题。

张宁等<sup>[4]</sup>针对步行接驳方式采用多项 Logit 模型计算城市轨道交通车站的吸引范围;王佳等<sup>[5]</sup>利用聚集效应理论建立道路公交客流吸引范围模型;杜彩军等<sup>[6]</sup>、杨京帅等<sup>[7]</sup>通过实际调查数据得出各种接驳方式的平均时耗,从而得到各种接驳方式的吸引范围,这类方法对已经调查的城市轨道交通车站来说是比较精确的,但由于对样本依赖性强,得到的是现状数据,用于预测是否合理还有待商榷,而且不同的地区出行习惯不同,需要逐个调查,工作量大,不能及时有效地为相关决策提供依据。

针对上述问题,本文从可达性一致原则出发,考虑到居民出行目的地比较分散,对既有研究中的单一终点模型思想进行了改进。在计算广义出行费用时根据车站周边的人口构成情况对出行时间做了细化处理。为使接驳距离更加符合实际的行走距离,给出规则路网情况下的接驳距离计算公式,并对不规则路网情况进行了探讨。给出求算城市轨道交通车站接驳范围的算法并进行讨论。最后,利用广东省某市的 OD(起讫点)预测数据对模型进行了计算验证。

## 1 可达性一致理论

在既有研究<sup>[8]</sup>中,可达性一致是指在城市轨道交通车站影响范围的边缘点,无论是否采用城市轨道交通,到达城市中心车站的可达性应该一样,如图1所示。可达性可以用广义出行费用来描述<sup>[9]</sup>,广义出行费用包括出行时间、票价、换乘惩罚等因素。

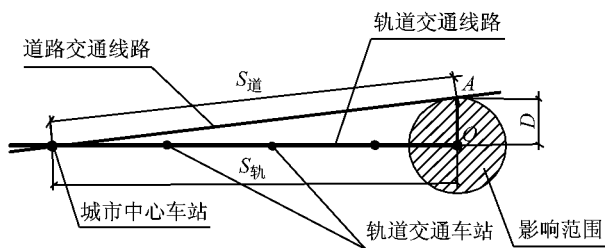


图1 城市轨道交通车站影响范围的计算示意图

Fig.1 Sketch map of attraction area calculation for urban rail transit stations

根据可达性一致可以得到如下公式:

$$C_R = C_B \quad (1)$$

式中: $C_R$  为基于某种接驳方式的城市轨道交通广义出行费用; $C_B$  为道路公交的广义出行费用。

## 2 城市轨道交通车站接驳范围计算模型

### 2.1 模型思想和假设

城市居民出行并非全部都以市中心为目的,借鉴可达性一致的思想,用城市轨道交通能够到达的地点来代替原有模型中的单一终点(市中心),称这些地点为城市轨道交通可达点。因为提高城市轨道交通可达性从根本上来说是提高到城市轨道交通网络中各个车站的可达性,而且在规划阶段,车站的设置一般是根据客流规模确定,能够覆盖城市中较为重要的客流集散点,包括市中心等,所以城市轨道交通可达点就取为城市轨道交通网络中所有的车站。

需要说明的是,城市轨道交通出行者以中长距离出行为主,与城市轨道交通有竞争性的交通方式包括道路公交和小汽车,相比于道路公交而言,小汽车具有速度上的优势且无需接驳,因此城市轨道交通以小汽车作为竞争方式的接驳范围要小于以道路公交作为竞争方式的接驳范围,而客流量的预测需要在两者中较大的范围内进行;另外,小汽车作为私人交通方式,其使用受到是否拥有的限制(即保有量有限,尚未能够全民使用),而道路公交与城市轨道交通都是城市公共交通,是按照城市居民出行需求进行规划布设的,其服务对象面向全市出行者,服务功能类似,更能够构成竞争性关系。所以在这里就只需要考虑在道路公交作为竞争性交通方式的条件下,城市轨道交通各种接驳交通方式的接驳范围。

模型的思想可以表述为:从城市轨道交通车站周边某处C点出发,采用某种接驳交通方式(步行、自行车、道路公交、出租车或者私人小汽车)到城市轨道交通车站O乘坐城市轨道交通去往各个城市轨道交通可达点 $A_i$ ,和采用步行去往各个城市轨道交通可达点最近的道路公交站点 $B_j$ 乘坐道路公交出行,当两者的广义出行费用加权平均值一致时,则该点C就是城市轨道交通车站的该种接驳交通方式的影响范围边界点,如图2所示。求算出所有这样的点,顺序连成的曲线即为城市轨道交通车站的该种接驳方式的影响范围边界。

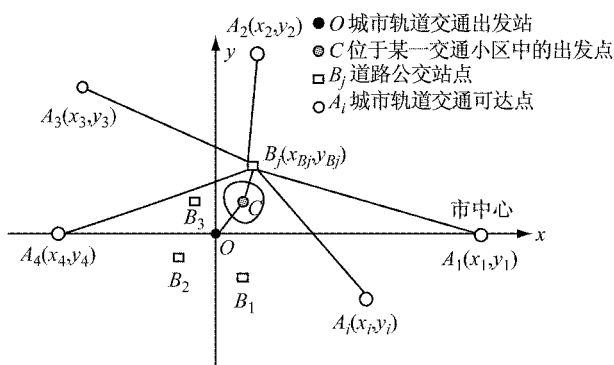


图 2 城市轨道交通车站某种接驳交通方式影响范围计算示意图

Fig.2 Sketch map of a certain access mode attraction area calculation for urban rail transit stations

在计算广义出行费用加权平均值时,需要确定到每一个城市轨道交通可达点  $A_i$  的广义出行费用的权重,该权重可以利用全市交通小区 OD 分布数据来计算.首先确定研究对象车站周边的交通小区,共  $K$  个,再分别计算各个城市轨道交通可达点  $A_i$  对于这些交通小区的权重,即每个交通小区到各个城市轨道交通可达点  $A_i$  所在的交通小区之间的出行发生量占这个交通小区到所有城市轨道交通可达点所在的交通小区总出行发生量的百分比,计算公式如下:

$$w_{ki} = \frac{q_{ki}}{\sum_{i=1}^I q_{ki}} \quad (2)$$

式中:  $w_{ki}$  为第  $i$  个城市轨道交通可达点  $A_i$  对第  $k$  个交通小区的权重;  $q_{ki}$  为第  $k$  个交通小区到第  $i$  个城市轨道交通可达点  $A_i$  所在的交通小区的出行发生量;  $I$  为城市轨道交通可达点的个数.

模型建立之前有以下两点假设:

(1) 城市中各个重要客流集散点附近都设有城市轨道交通车站.

(2) 每个道路公交站点都有去往各个城市轨道交通可达点的线路.

## 2.2 出行时间折算

利用广义出行费用描述可达性,需要将出行时间转化成时间价值,而时间价值的精确与否会直接影响到结果的精度.各类人群的时间价值是不同的,应该区别对待;相比于在车时间,相同时长的换乘时间会让出行者觉得更长<sup>[10]</sup>,因此需将换乘时间乘以一个换乘惩罚系数,具体如表 1 所示.

表 1 中,人口结构是研究对象车站周边每个交通小区的实际人口年龄结构,对于第  $k$  个交通小区,时间价值  $d_k = a_{k1}d_1 + a_{k2}d_2 + a_{k3}d_3$ ;  $d_1, d_2, d_3$  可以

综合反映年龄特点及有无收入对于交通方式选择的影响,具体取值参考每座城市的平均工资和平均退休金来确定.

表 1 第  $k$  个交通小区的人口结构及不同人群的参数

Tab.1 Population structure of traffic zone  $k$  and parameters of different crowds

人口结构	人口比例/%	$w_{ki}$				时间价值/ (元·h <sup>-1</sup> )	换乘 惩罚
		$A_1$	$A_2$	...	$A_i$		
上学(20岁以下)	$a_{k1}$					$d_1$	
上班(20~60岁)	$a_{k2}$	$w_{k1}$	$w_{k2}$	...	$w_{ki}$	$d_2$	$e$
退休(60岁以上)	$a_{k3}$					$d_3$	

## 2.3 接驳距离计算

接驳距离是影响交通方式选择的重要因素,这是因为接驳不仅需要考虑自身能够使用的接驳交通工具,还需要花费额外的时间和体力,所以接驳距离的精确与否直接关系到接驳范围计算的精确度.这里以研究对象车站为原点建立直角坐标系,通过路网形态来构建接驳距离的计算公式.

从某地  $(x, y)$  出发到城市轨道交通车站和道路公交站点的接驳距离  $l_1, l_2$  分别表示为

$$\begin{cases} l_1 = F(x, y) \\ l_2 = G(x, y) \end{cases} \quad (3)$$

公式(3)中的函数形式取决于研究对象车站周边的路网情况,例如,如果路网形态是规则的方格网状,则

$$\begin{cases} l_1 = |x| + |y| \\ l_2 = |x - x_{B_j}| + |y - y_{B_j}| \end{cases} \quad (4)$$

如果路网形态是规则的放射状,则

$$\begin{cases} l_1 = \sqrt{x^2 + y^2} \\ l_2 = \sqrt{(x - x_{B_j})^2 + (y - y_{B_j})^2} \end{cases} \quad (5)$$

如果路网形态较复杂,为使接驳距离与出发点  $(x, y)$  能够有明确的对应关系以方便找出接驳范围边界点,需要将交通小区根据路网形态继续细分成若干个子小区(可以细分到居民小区),直至可以用含有  $x, y$  的函数式来表达接驳距离为止,如图 3 所示.此时,出发点  $(x, y)$  为子小区的形心,即子小区内到其他各点的平均距离最短的点<sup>[11]</sup>.不同形状的子小区可以将其近似成多边形,然后按照几何知识中多边形形心的求取方法进行确定.

首先利用软件 Transcad 加载城市轨道交通车站附近的路网,  $(x_r, y_r)$  为第  $k$  个交通小区中的第  $h$  个子小区  $Z_{kh}$  中搜索出的离城市轨道交通车站  $O$  最近的道路节点(可以是道路交叉点),  $(x_{bj}, y_{bj})$  为  $Z_{kh}$  中搜索出的离第  $j$  个道路公交站点  $B_j$  最近的道路节点,利用 Transcad 可以计算出  $(x_r, y_r)$  与  $(0, 0)$  之



$$\sum_{i=1}^I w_{ik} \left\{ \left[ c_{ri} + (a_{k1}d_1 + a_{k2}d_2 + a_{k3}d_3) \left( \frac{s_{ri}}{v_r} + e_{ri}t_{hri} \right) \right] - \min_{1 \leq j \leq J} \left[ c_{bij} + (a_{k1}d_1 + a_{k2}d_2 + a_{k3}d_3) \left( \frac{s_{bij}}{v_b} + e_{bij}t_{hbij} \right) \right] \right\} \quad (8)$$

从第  $k$  个交通小区中的第  $h$  个子小区  $Z_{kh}$  中  $(x, y)$  出发, 分别采用城市轨道交通和道路公交这两种交通方式去往各个城市轨道交通可达点的广义出行费用加权平均值之差  $\Delta C$  近似为零时(具体操作时可以设定一个可容忍的误差值), 则说明乘坐城市轨道交通与乘坐道路公交的广义出行费用相当, 此点可以作为城市轨道交通车站基于某种接驳交通方式的影响范围边界点, 计算出一系列这样的边界点后连成的曲线就是城市轨道交通车站的该种接驳交通方式的影响范围边界。依照此方法计算出的最大接驳范围可以作为城市轨道交通车站的客流吸引范围, 为确定车站客流吸引量和车站规模提供参考。

### 3 城市轨道交通车站接驳范围计算方法

#### 3.1 接驳范围计算方法

基于广义出行费用的城市轨道交通车站接驳范围计算模型建立之后, 针对某一具体车站, 求算接驳范围的步骤包括加载车站周边路网和道路公交站点等信息, 计算城市轨道交通可达点权重, 计算广义出行费用, 比较城市轨道交通与道路公交的广义出行费用。图 4 给出在复杂路网情况下的城市轨道交通车站接驳范围计算算法流程。

#### 3.2 算法优化讨论

由上述算法得到的黑色实点就是城市轨道交通车站基于某种接驳交通方式的影响范围边界点, 将这些点顺序连成的曲线就是城市轨道交通车站的接驳范围边界。另外需要说明的是, 图 4 给出的是在复杂路网情况下的城市轨道交通车站接驳范围计算算法流程, 是将交通小区继续细分成子小区, 通过一系列离散的出发点来计算接驳范围的边界, 当子小区划分的非常小时, 出发点的数量会非常庞大, 而且有很多计算并不必要。为了节省计算工作量, 可以预先按照已有的同类城市关于接驳范围的调查数据(可以参考文献[6-7])大致勾画出不同区位的城市轨道交通车站的接驳范围, 以该范围边界附近的子小区作为搜索的起始位置。

当路网形态较为规则时, 可以采用公式(4), (5)

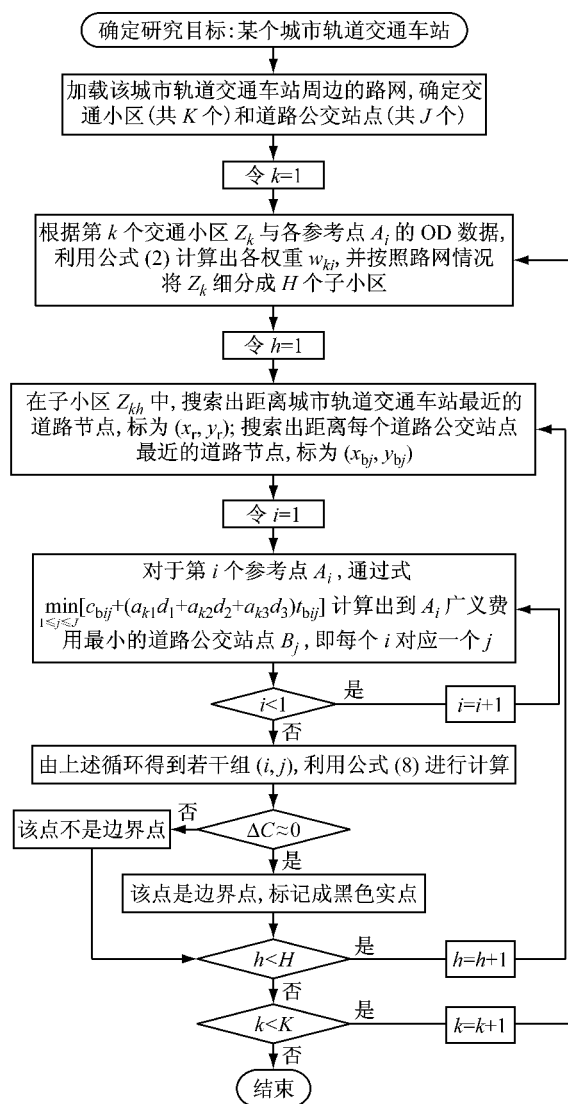


图 4 城市轨道交通车站接驳范围的算法流程

Fig. 4 Algorithm flowchart of attraction area calculation of urban rail transit stations

来计算接驳距离。由公式(8)得到的解集是一组关于  $x, y$  的函数, 该组函数所对应的曲线围合成的区域的交集就是城市轨道交通车站的接驳范围。

### 4 城市轨道交通车站接驳范围案例分析

为了验证上述计算模型的可靠性, 这里以广东省某市轨道交通一号线景新路站为例进行计算, 限于篇幅, 仅考虑步行接驳影响范围, 其他接驳交通方式的影响范围同理可得。

该市远景年(2050 年)轨道交通线网备选方案由 6 条线路构成, 总长度为 167.23 km, 车站 105 座, 换乘站为 12 座<sup>[12]</sup>。景新路车站位于轨道交通一号线上, 是中间站。

各参数设定如下:

城市轨道交通根据远景规划方案取实际线路长度,道路公交根据GIS数据取最短路径距离;城市轨道交通平均旅行速度取  $35 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ,道路公交平均旅行速度取  $15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ,步行速度取  $4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ;城市轨道交通换乘一次的换乘时间(包括换乘惩罚)设定为  $6 \text{ min}$ ,等车时间为  $2 \text{ min}$ ,道路公交等车时间为  $3 \text{ min}$ ;城市轨道交通票价参考上海市的定价方式,  $0 \sim 6 \text{ km}$  3元,然后每  $10 \text{ km}$  增加1元,道路公交票价统一为2元;时间价值通过预测得到2050年该市的人均时间价值为  $28.96 \text{ 元}$ ;城市轨道交通可达点的权重通过2050年全市交通小区的全目的全方式OD预测数据<sup>[13]</sup>,根据公式(2)计算得到。

根据实地勘察结果,研究对象景新路站周边路网呈现比较规则的方格网状,因此接驳距离的计算采用公式(4)。

根据《城市公共汽车客运服务》(GB/T22484—2008)中对“平均站距”的规定:“常规公共汽车市区站距宜为  $300 \sim 500 \text{ m}$ ,郊区站距宜为  $500 \sim 1000 \text{ m}$ 。”景新路站位于该市外环路附近,因此假设2050年该车站附近的道路公交站点分布如图5所示。

通过公式(8)计算得到的步行接驳影响范围如图5所示(阴影部分)。

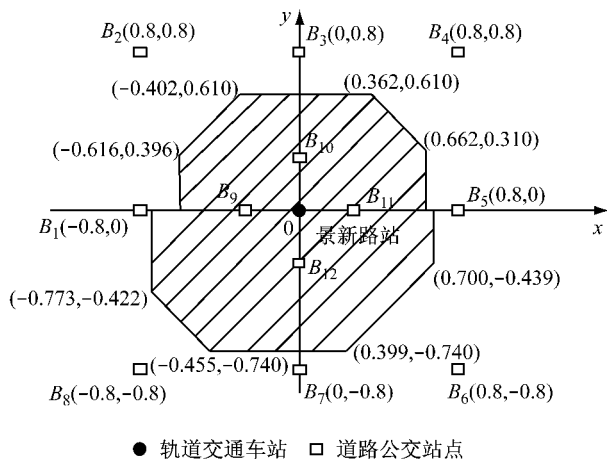


图5 广东省某市轨道交通一号线景新路站步行接驳影响范围示意图(单位:km)

Fig.5 Sketch map of walking attraction area of Jingxin Road Station in a city of Guangdong Province (unit: km)

案例计算结果表明,基于广义出行费用的城市轨道交通车站接驳范围计算模型是可行的,接驳范围与车站周边的道路情况、出行分布以及竞争交通方式的服务水平相关,并非简单的圆形区域。该步行接驳范围可以作为城市轨道交通车站的步行客流预

测范围,在该范围内应该优先为步行者营造良好的步行环境。

## 5 结论

本文从可达性一致原则出发,通过引入城市轨道交通可达点,细化出行时间,根据路网形态计算接驳距离,提出了一套确定城市轨道交通车站接驳范围的计算模型和算法,并以广东省某市轨道交通一号线景新路站为例进行计算验证,主要结论如下:

(1) 针对城市居民出行并非全部都以市中心为目的这一现实情况,引入城市轨道交通可达点的概念,建立基于广义出行费用一致的接驳范围计算模型,并提出利用全市交通小区OD分布数据来计算各个城市轨道交通可达点的出行权重。

(2) 根据城市轨道交通车站周边每个交通小区人口年龄构成情况,对时间价值计算进行细化处理。

(3) 给出规则路网情况下的接驳距离计算公式,并对不规则路网情况进行探讨,使接驳距离更加符合实际的行走距离。

(4) 利用广东省某市轨道交通规划线网和OD预测数据对模型进行计算验证,计算结果表明,接驳范围与车站周边的道路情况、出行分布以及竞争交通方式的服务水平相关,并非简单的圆形区域。

该模型和算法可以为城市轨道交通已建或规划车站确定客流吸引范围提供计算方法,并为城市轨道交通车站客流吸引量和各种接驳交通方式客流量的预测、车站规模的确定以及接驳交通设施的衔接规划提供参考。

## 参考文献:

- [1] 甘勇华.城市轨道交通与其他交通方式衔接规划[J].华中科技大学学报:城市科学版,2006(S2):112.  
GAN Yonghua. Guangzhou integration planning of urban rail transport and other transport modes[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, 2006(S2): 112.
- [2] Pagliara F, Papa E. Urban rail systems investments: an analysis of the impacts on property values and residents' location [J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(2): 200.
- [3] 秦观明.城市轨道交通接驳方式选择及客流吸引范围研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.  
QIN Guanming. Research on the access mode selection and passenger flow attracting range of urban rail transit [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010.