

南京市地铁站点合理吸引范围研究

杲旭升

东南大学

DOI: 10.12238/ems.v6i1.6902

[摘要] 地铁是城市公共交通系统的重要组成部分,随着城市的发展水平越来越高,对于地铁建设合理规模规划的研究也越发重要。划定城市中地铁站点吸引范围正是这一研究的基础,对优化地铁服务和指导线网建设具有积极意义。基于南京市地铁乘客的交通接驳方式调查,结合市内各区域地铁线网建设情况和对站点合理吸引范围的归纳分析,通过数据拟合的方式得出南京市内单个站点的平均吸引范围半径,并借助地理信息系统,用函数拟合的方式构建出全线网吸引范围与地铁站点建设规模之间的关系方程。为后续南京市地铁系统分担交通量占比与地铁建设规模之间关系的整定提供帮助和依据。

[关键词] 地铁站点;吸引范围;数据拟合

Research on Reasonable Attraction Range of Nanjing Metro Stations

Gao Xusheng

Southeast University

[Abstract] The subway is an important component of the urban public transportation system. With the increasing level of urban development, research on the reasonable scale planning of subway construction has become increasingly important. Defining the attraction range of subway stations in cities is the basis of this research, which has positive significance for optimizing subway services and guiding the construction of subway networks. Based on a survey of the transportation connection methods of subway passengers in Nanjing, combined with the construction of subway lines in various regions of the city and the inductive analysis of the reasonable attraction range of stations, the average attraction radius of a single station in Nanjing is obtained through data fitting. With the help of geographic information systems, a relationship equation between the attraction range of the entire network and the construction scale of subway stations is constructed through function fitting. To provide assistance and basis for the adjustment of the relationship between the proportion of traffic volume shared by the Nanjing subway system and the scale of subway construction in the future.

[Keywords] subway stations; Attraction range; data fitting

引言

地铁,是城市轨道交通线路制式的一种,是城市公共交通系统的重要组成部分。世界上第一条地铁线路于1860年修筑于英国伦敦,中国的第一条地铁在1953年作为“平战结合”的防御手段立项规划并最终于1971年正式运营。如今,地铁作为城市公共交通的重要组成部分,在确保公共交通的及性、减少交通污染和拥堵以及为城市再生和振兴提供机会方面发挥着越来越重要的作用,逐渐成为成为大众通勤出行的首选^[1]。地铁站点合理吸引范围大小的研究可以帮助规划者

按其需求估算整个地铁系统的合理建设范围,并对站点布局和合理规划轨道线网提供参考。据南京市统计局数据显示,2022年南京市地铁客运总量已达到76909万人次,较10年前增长近1倍。根据南京市《南京市城市总体规划(2018-2035)》中轨道交通规划篇,到2035年南京地铁线网规划共计27条线路,总长1030千米,其中城区干线17条线路,市域快线10条。目前南京地铁已开通运营线路共有12条,共208座车站(换乘站重复计算),地铁线路总长449千米。随着南京地铁运营里程和时间的增长,为量化南京市

地铁站点合理吸引范围以及构建出全线网吸引范围与地铁站点建设规模之间的关系方程这项工作的开展奠定了基础。

传统的轨道交通站点吸引范围研究往往通过交通调查,获取该站点乘客特性、接驳方式、路网密度、天气等方面的信息判定乘客的吸引范围,通常采用圆形区域表示,其半径往往为一个经验参数。如前苏联中央城市建设科学研究设计院在莫斯科、西柏林等地的交通调查中显示车站的合理步行吸引范围在 530-700m^[2]。杨京帅提出考虑到多种接驳方式的混合将合理吸引范围划分成合理步行区和合理交通区^[3],并提出:1、根据车站位于城市中不同的区域,其影响范围也不相同;2、乘客可接受接驳距离是通行到车站的实际距离而非车站到乘客出发点的直线距离。随着技术手段的进步对吸引范围的调查有了更多的途径。谭佩珊利用多源城市数据在 TOD 理念视角下分析影响深圳市不同类型地铁站点吸引范围差异的因素^[4];陈锋的研究基于成都市手机信令数据获取了轨道吸引客流的空间分布规律,定义并量化了轨道交通站点的综合影响范围、及其关键影响因素^[5];王淑伟提出站点潜在吸引范围的存在,并引入泰森多边形的构图在地理信息系统上对其进行标注^[6];Albandari Al-Harami 在卡塔尔的调查认为地铁站点周围的建设情况也会对地铁乘客的交通接驳方式产生影响^[7]。上述这些研究往往存在如下局限性:

(1) 早期的研究存在未考虑乘客接驳方式多样性、车站附近路网分布等外部因素或偏重理论建模缺少实际案例检验的问题,其准确性和适用性较差。

(2) 部分研究方法的原始数据获取难度较大,不易施行于基础设施建设不完善,缺乏相关信息获取渠道的地区。

(3) 往往止步于取得单个站点的合理吸引范围大小或描绘出整线路或系统的吸引范围示意图,没有进一步分析地铁系统的合理吸引范围与其建设水平之间的相关性。

本研究中针对地铁站点合理吸引范围的界定将综合考虑站点密度、接驳方式等外部因素。立足于南京市内各行政区实际情况对全线网的站点进行分类。通过对各类站点地铁乘客进行交通调查的方式获取其交通接驳方式以及接驳距离,结合市内车站附近路网特性并利用数学分布拟合得出各类站点的合理吸引范围大小。根据南京地铁各线路开通运营时间表和各车站的吸引范围半径,就可以在地理信息系统上画出各新线开通年代的南京地铁全线网合理吸引范围,得到历史上南京地铁站点建设情况和全线网吸引范围面积的 2 组参数表。将这 2 组参数进行多项式拟合即可得到南京市地铁站点建设规模与全线网合理吸引范围面积的关系函数。该关系函数的建立将有助于南京地铁未来站点建设方向的制定以及在特殊要求的视角下(如碳减排标准)估算南京地铁线网的合理建设规模。

1 合理吸引范围分析

轨道交通站点吸引范围大小主要由所在地线网密度、到

达车站接驳方式、车站附近路网特性等信息确立。

(1) 站点密度:地铁站点的吸引范围存在重叠效应。在城市中心区域,轨道交通体系建设成熟、线网密度高、其他竞品交通方式往往也发展到很高的水平。人们有出行需求时有更多的选择,即使选择乘坐地铁也往往可以选择到更多更近的站点,其平均吸引范围必然遭到削减。在线网密度低、可替代交通方式匮乏城郊地区,即使最近的地铁站距离出发点有相对长的距离,选择地铁出行可能仍是乘客广义出行费用最低的选择,其平均吸引范围相对城区会明显增大。

(2) 接驳方式:地铁乘客常见的接驳方式有步行、自行车、电动车、公交车等。轨道交通站点在规划时选址往往会选择靠近居民区、商业中心、景点等人流聚集区,步行必然成为一种到达车站的主要接驳方式。但步行受限于平均速度和人们心理可接受步行时间,当超过一定距离时乘客选择步行的比例会骤降,转为选择其他方式。轨道交通对以其他方式换乘者的吸引范围显然要大于步行进入系统的吸引范围,其排序为公交车>电动车>自行车>步行,有研究据此把合理吸引范围区分成合理步行区和合理交通区^[3]。其中在城市边缘区域因其站点密度低、慢行交通系统建立不发达等因素,选择长运距交通方式接驳的比例应高于中心区域。

(3) 车站附近路网特性:由于道路网结构、密度以及各方向出行比例等条件的差异,接驳距离一般都大于出发地至车站的直线距离。而通过交通调查得出的是车站不同接驳交通方式的接驳距离。因此在空间上存在接驳距离与车站吸引范围的折算关系。在轨道交通系统中,如地铁或轻轨,车站周围的道路网结构通常采用方格网规划布局或带有对角通道的方格网规划布局。方格网规划布局是指道路按照水平和垂直方向形成交叉的网格状布局,方便乘客在车站周围进行交通接驳。对角通道则是指在方格网中添加斜对角的道路连接,以提供更直接的路径选择。

当轨道站点覆盖率不足时,吸引范围之外的区域仍有大量的轨道交通出行需求。可以将这个区域称作该站点的潜在吸引范围,可在地理信息系统上使用泰森多边形构图进行标注,作为合理吸引范围的一种补充。

2 城市区域概况

本文研究城市南京为江苏省省会、特大城市。截至 2022 年,全市下辖 11 个区,总面积 6587.02 平方千米,建成区面积 868.28 平方千米,常住人口 949.11 万人,城镇人口 825.80 万人,城镇化率 87.01%。南京地铁已开通运营线路共有 12 条,共 208 座车站(换乘站重复计算),地铁线路总长 449 千米,构成覆盖南京全市 11 个市辖区及句容市的地铁网络。



图 1 南京市政区图

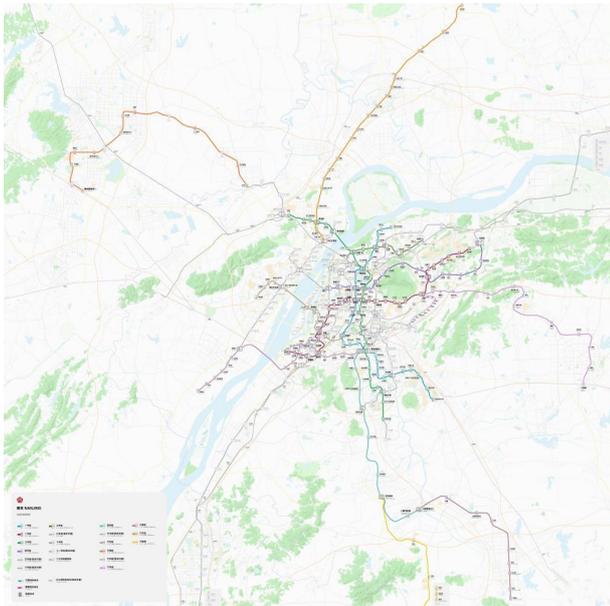


图 2 南京地铁线路图

其下 11 个区轨道交通规模基本情况如下表所示：

南京地铁在运营的车站中，宁句线黄梅至句容站并不在南京属下 11 个区内，故本研究中会将上述车站忽略。

从表 1 中的数据升序排名可以看出站点密度排名前 5 的区之间的数值差距并不大，自栖霞区以后站点密度的变化开始加剧。我们把表中数据作为划分南京市核心城区和边缘城区的依据，将排名前 6 的区域视为核心城区，地占全南京市面积的 11.97%；排名后 5 的区视为边缘城区。地处两种城区内的地铁站点吸引范围需要分开计算。

表 1 南京市各区现轨道交通运营规模

区名	占地面积 (km ²)	人口	车站数	站点密度 (km ² /站)
秦淮区	49.11	675653	14	3.51
建邺区	81.75	457341	17	4.81
鼓楼区	54.18	916969	11	4.93
玄武区	75.46	462089	13	5.80
雨花台区	132.39	334046	21	6.30
栖霞区	395.44	578912	28	14.12
浦口区	910.49	847732	23	39.59
江宁区	1563.33	1268250	32	48.85
溧水区	1063.67	455752	12	88.64
六合区	1471.00	946022	13	113.15
高淳区	790.22	450838	2	395.11

3 单站点平均合理吸引范围测算

测算思路为：首先获取地铁乘客的换乘接驳距离数据，因乘客对时间的敏感度大于对距离的敏感度，所以选择调查以不同方式到达站点的乘客的换乘时间，再根据不同交通方式的平均运行速度来计算换乘距离。然后将数据根据站点位置、换乘方式等信息分类，通过统计学方法求得站点平均合理步行区和合理交通区。

3.1 原始数据收集

本研究通过问卷调查获取乘客相关的原始数据。问卷在问卷星平台上制作，问题包括乘车站点位置，换乘接驳方式、接驳时间等信息。问卷发放地点为南京市各行政区内随机地铁站点出入口，调查对象为进站乘客。本调查进行时间为 2023 年 11 月下旬，共收回有效调查问卷 246 份，其中边缘城区地铁站点 94 份，核心城区地铁站点 152 份。2 种城区地铁各交通方式换乘占比如下表：

表 2 各换乘方式所占比例

		换乘方式				
		步行	自行车	电动车	公交车	其他
核心城区	人数	52	43	41	12	4
	所占比例	0.342	0.283	0.270	0.079	0.026
边缘城区	人数	27	28	23	13	3
	所占比例	0.287	0.298	0.245	0.138	0.032
总体	人数	79	71	64	25	7
	所占比例	0.321	0.289	0.260	0.102	0.028

表 2 数据可以看出除步行、自行车、电动车、公交车外选择其他接驳方式的乘客占比尽在 3%左右，可不做考虑。4 种换乘方式中公交车的选择人群较少，因为其乘坐地铁的

出行方式存在一定竞争替代关系。边缘城区与核心城区的数据相比，选择步行的人数略有降低，公交车换乘的人数比例增加，这可能与边缘城区站点密度低，有地铁出行需求的

乘客与车站相距较远的可能性增大，而核心城区的乘客往往有较近的地铁站点选择有关。同时边缘城区前往城中远距离、交通吸引量大的区域的可替代方式少，及时地铁站点距离出发点较远，乘坐地铁对他们来说可能仍是出行成本最佳的选择。

3.2 换乘接驳距离计算

过往研究中往往将合理吸引范围分为合理步行区和合理交通区 2 类^[3]，出行者步行去轨道交通车站的可接受区域称为合理步行区；出行者乘非快速交通去轨道交通车站的可接受区域称为合理交通区。因此，根据车站位置和换乘方式是否采用步行将样本数据分为核心城区步行区、核心城区交通区、边缘城区步行区、边缘城区交通区 4 组。归纳结果如下表：

表 3 4 组数据时间分布表

		时间						
		0-5min	5-10min	10-15min	15-20min	20-25min	25-30min	>30min
核心城区步行区	人数	10	18	16	4	4	0	0
	所占比例	0.192	0.346	0.308	0.077	0.077	0.000	0.000
核心城区交通区	人数	9	24	23	23	10	8	3
	所占比例	0.090	0.240	0.230	0.230	0.100	0.080	0.030
边缘城区步行区	人数	2	9	12	3	1	0	0
	所占比例	0.074	0.333	0.444	0.111	0.037	0.000	0.000
边缘城区交通区	人数	0	10	18	20	13	4	2
	所占比例	0.000	0.149	0.269	0.299	0.194	0.060	0.030

取步行、自行车、电动车和公交车的平均通行速度分别为 90m/min、200m/min、250m/min 和 300m/min^[6]，将 4 组数据中的换乘时间 t 转换为换乘距离 L。将 4 组换乘数据作为变量导入 MATLAB，用 jbstest 函数分别对 4 组数据进行检验，结果显示其均服从正态分布。用 MATLAB 拟合工具箱中的分布拟合功能，选择正态分布拟合模型对其进行分布拟合，得出其对应概率密度分布曲线和对应正态分布函数的 2 个重要参数 μ 和 σ ，如下所示：

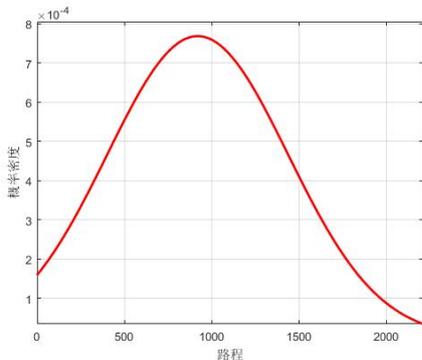


图 3 核心城区步行区换乘距离概率密度分布图

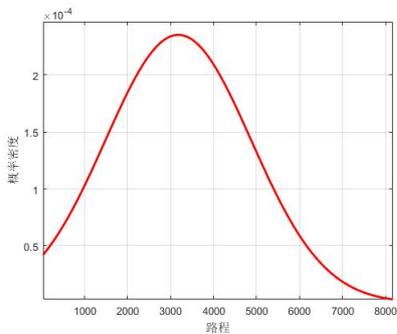


图 4 核心城区交通区换乘距离概率密度分布图

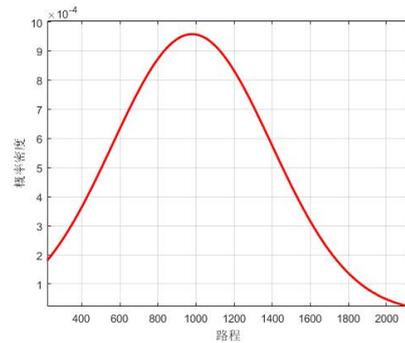


图 5 边缘城区步行区换乘距离概率密度分布图

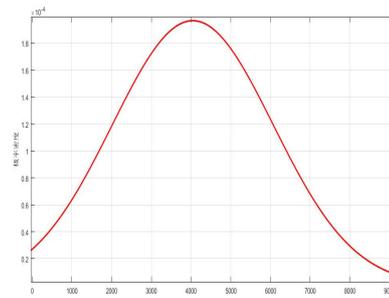


图 6 边缘城区交通区换乘距离概率密度分布图

4 组数据均取其对应分布的数学期望为有效值，正态分布的数学期望即为其函数中参数 μ ，所以各组的合理换乘距离 $L = \mu$ 。但由于道路网络密度以及各方向出行比例等条件的差异换乘距离一般都大于出发地至车站的直线距离，调查数据拟合得出的是车站不同接驳交通方式的接运距离，因此在空间上存在换乘距离与车站吸引范围的折算关系。观察南京市各地铁站点周边道路网可以看出其道路网基本呈方格状，则其换乘距离 L 和吸引范围边界实际距离 R 之间几何关系如下图所示，可归纳为 $R = \frac{\sqrt{2}}{2} L$ 。

表 4 换乘距离正态分布函数表

	μ	σ	公式
核心城区步行区	918.472	518.971	$p = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 518.971} e^{-\frac{(L-918.472)^2}{2 \times 518.971^2}}$
核心城区交通区	3432.76	1849.87	$p = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 1849.87} e^{-\frac{(L-3432.76)^2}{2 \times 1849.87^2}}$
边缘城区步行区	979.189	416.544	$p = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 416.544} e^{-\frac{(L-979.189)^2}{2 \times 416.544^2}}$
边缘城区交通区	4042.02	2027.49	$p = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 2027.49} e^{-\frac{(L-4042.02)^2}{2 \times 2027.49^2}}$

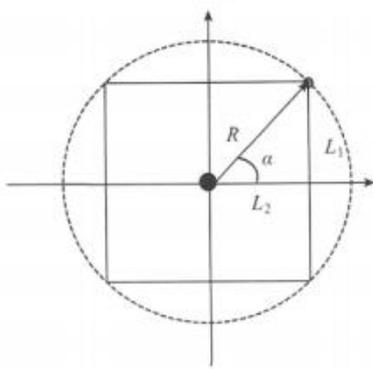


图 7 换乘距离与吸引范围几何关系示意图

经折算并取整以方便工程使用后, 各区域吸引范围半径如下:

$$R_{\text{核心城区步行区}} \approx 650m$$

$$R_{\text{核心城区交通区}} \approx 2430m$$

$$R_{\text{边缘城区步行区}} \approx 690m$$

$$R_{\text{边缘城区交通区}} \approx 2860m$$

从上文材料中可以看出:

1、车站的合理步行距离有一普遍的上限值, 且与车站在城市中的布局关系不大, 主要原因来自人们内心的一种共性的心理预期^[3]。从本调查的数据样本可以看出采用步行方式换乘的乘客其换乘时间分布在 20 分钟以下, 一旦超过 20 分钟其分布密度呈现出断崖式的下降, 说明当步行时间预期高过某一阈值后人们往往会放弃步行转而选择其他的交通方式出行, 也体现为核心城区和边缘城区的合理步行区覆盖范围大致相当。

2、交通区作为步行区之外较远距离吸引范围的补充, 其范围可以视为改地铁站点的合理吸引范围。核心城区相较边缘城区交通区覆盖范围明显减小, 这与边缘城区乘客有更多的比例采用适用于长运距的交通方式和换乘时间更

长有关。说明在边缘城区的地铁站点建设密度有很大提升空间。

4 全线网方程拟合

依据上文测算得出的各种区域合理吸引范围半径, 若在实际地图上以每个地铁站点为圆心, 将其各自的合理吸引范围画出来会发现有许多重合部分, 如下图为南京地铁 1 号线部分站点合理吸引范围重合情况。南京地铁官网对外公布的数据显示, 在核心城区线路的站间距往往在 1-2km 之间, 最短站间距不足 800m, 在重合区间的人们往往会选择距离更近或换乘次数少的车站通行。这也说明地铁整体合理吸引范围面积与地铁建设规模之间的关系不能用简单地总面积等于各类型车站平均合理吸引范围面积乘车站数量的加和来表示。因此本研究将进一步通过线性拟合来描述两者的关系。

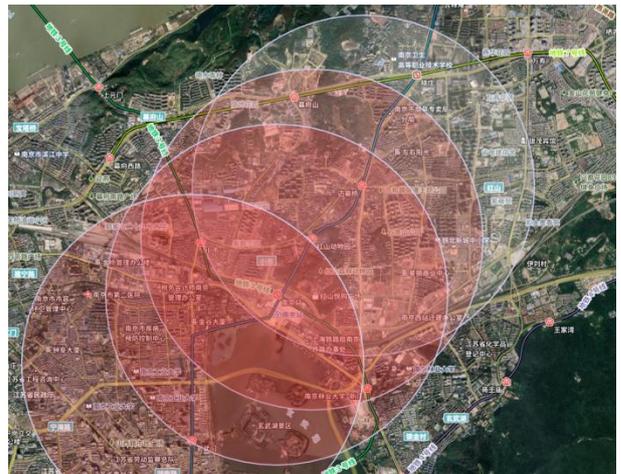


图 8 1 号线车站吸引范围重合示意

依照以往公布的南京地铁各线路开通运营时间表, 以各新线开通运营时间为节点, 将各节点分布在核心城区和边缘城区的站点数量统计出来, 记作 a、b。在地理信息系统上也按照各节点在运营的车站将其合理吸引范围画出, 将他们合并成一个多边形并计算面积 S。这样即可得出一系列总相宜范围面积 S 和 2 种城区站点数量 a、b 的变量组。

表 5 参数统计

年代	核心区 车站数 a	边缘城区 车站数 b	吸引范围面积 S/km ²	备注
2005	16	0	113.24	迈皋桥-奥体中心开通
2010	44	11	360.34	2号线、天隆寺-中国药科大学开通
2014	47	45	820.67	雨山路-梦都大街、机场线 S1、宁天线 S8 开通
2015	60	57	912.53	3号线开通
2017	85	69	1210.81	4号线、宁和线 S3、宁高线 S9 开通
2018	85	81	1356.31	宁溧线 S7
2021	89	88	1453.13	2号线南延、宁句线 S6 开通
2022	102	90	1508.85	1号线北延、7号线北段开通

用 MATLAB 对数据进行处理, 将 S 作为因变量, a、b 作为自变量导入 MATLAB, 使用拟合工具箱中曲线拟合功能, 方程形式为多项式。拟合过程发现当自变量次数提高后方程中非常数项系数存在为负数的情况, 这与现实常识不符, 所以设定自变量的最大系数均为 1, 得出的方程为:

$$S = 58.943 + 3.794a + 11.902b$$

从拟合的方程可以看出预计新建边缘城区车站增加的影响范围要大于核心区, 这说明仅从扩大吸引范围角度边缘城区的地铁站点建设水平有更大的提升价值。

5 结语

本文通过交通调查和数学分析的方法界定了南京市核心城区和边缘城区的合理步行区和合理交通区的半径大小。并按照南京地铁建设时间表拟合了南京市地铁系统合理吸引范围与其站点建设规模之间的关系方程。该结论可以为研究南京市地铁交通方式交通量分担率与地铁建设规模之间的关系打下基础, 据此可以根据各类需要, 如城市交通碳减排和经济性要求, 推算线网合理建设规模, 更好地提高线网服务水平。也可以为南京地铁后续站点的发展规划提供建议。

参考文献:

- [1]Yuerong Zhang, Stephen Marshalla, Ed Manleyb. Network criticality and the node- place- design model : Classifying metro station areas in Greater London [J]. Journal of Transport Geography, 2019, 79: 102485.
- [2](苏)克·埃·亚历山大, 恩·阿·鲁德涅娃.城市快速轨道交通.钱治国等译.中国城市规划设计研究院交通所, 1990
- [3]杨京帅.张殿业.城市轨道交通车站合理吸引范围研究[J].中国铁路, 2008 (3)
- [4]谭佩珊, 麦可, 张亚涛, 等.利用源城市数据划定地铁站点吸引范围[J].地球信息科学学报, 2021, 23 (4): 593-603.
- [5]安居.基于手机数据的轨道交通站点吸引范围研究——以成都市为例[J].交通工程. 2022, 22 (06)
- [6]王淑伟.北京市轨道站点吸引范围研究[J].交通运输系统工程与信息. 2013, 13 (03)
- [7]Albandari Al-Harami, Raffaello Furlan.Qatar national MUSEUM-Transit oriented development : The masterplan for the urban regeneration of a 'green TOD'[J]. Journal of Urban Management, 2020, 9 (1): 115-136.