引文格式：王均瑶,陈文静,宋兆伟. TOD视角的长春市轨道交通站点分级研究[J]. 地理空间信息, 2026, 24(6):129-133. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.06.023

TOD视角的长春市轨道交通站点分级研究

王均瑶，陈文静，宋兆伟
（长春市规划编制研究中心，吉林 长春 130026）

摘　要：在TOD模式的引导下，以长春市已开通和正在建设的轨道交通站点为例，基于多源数据，采用数理统计、空间句法、GIS空间分析等方法对对轨道交通特征、公交接驳、开发强度、土地功能和站域环境进行量化评价，分析了长春市轨道交通站点综合开发利用现状；采用熵权法与神经网络相结合的方法计算指标权重，通过构建的分级评价体系对长春市轨道交通站点进行综合评价和分级分类，以期厘清轨道站点的衔接需求特征和功能定位，为站点区域的一体化规划设计提供思路，并为后续深化研究形成具有自身特色的TOD成效评价体系标准提供支撑。

关键词：TOD模式；轨道交通站点；评价指标体系；神经网络；分级分类
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）06-0129-05

Research on the Classification of Rail Transit Stations in Changchun City, Jilin Province, China from TOD Perspective

WANG Junyao, CHEN Wenjing, SONG Zhaowei
(Changchun Urban Planning and Research Center, Changchun 130026, China)

Abstract: Guided by transit-oriented development (TOD) mode, taking the rail transit stations that have been opened and are under construction in Changchun City, Jilin Province for example, based on multi-source data, we used mathematical statistics, space syntax, and GIS spatial analysis methods to quantitatively evaluate the characteristics of rail transit, bus connections, development intensity, land functions, and station area environment, and analyzed the current situation of comprehensive development and utilization of rail transit stations in Changchun City. At the same time, we proposed a scientific and reasonable classification system for rail transit in Changchun City, which using the entropy weight method and neural network to calculate the index weights. Through the constructed classification evaluation system, we carried out a comprehensive evaluation and classification of rail transit stations in Changchun City, aiming to clarify the connection demand characteristics and functional positioning of rail transit stations, so as to provide ideas for the integrated planning and design of station areas, and provide support for the subsequent in-depth research to form a TOD effectiveness evaluation system standard with its own characteristics.

Key words: TOD mode, rail transit station, evaluation index system, neural network, classification

随着城市建设不断推进，TOD模式在轨道线路规划中的应用愈发广泛。在TOD模式下，轨道站点与周边环境展现出更强的依存关系和整体性，其中站点分级研究是确保TOD模式有效实施的关键环节之一。科学评估不同等级轨道交通站点的功能定位、服务范围和服务能力有助于合理配置资源，提升整个TOD系统的运行效率；但当前对轨道交通站点的研究多集中在单一因素的影响上，缺乏对多个因素交互作用的深入探讨[1]。因此，基于TOD模式的内涵要义，从轨道交通特征、公交接驳、开发强度、土地功能和站域环境等多维度综合特征层面，构建了一套城市交通轨道站点的评价分级体系[2-6]，并以长春市在建和已建轨道交通站点为例，分析了长春市轨道交通站点综合开发利用现状，有助于深度剖析并明确轨道站点的衔接需求特性和功能定位，为站点区域实现一体化、科学化的规划设计提供具有价值的思路与方法[7-10]。

1　轨道交通站点分级体系评价方法

1.1　评价思路

借鉴相关研究[11-14]，本文首先从TOD视角出发，综合考虑轨道交通特征、公交接驳、开发强度、土地利用和站域环境等因素，建立综合性轨道交通站点分级评价指标体系；再利用空间句法、区域经济学、城市地理学、数理统计学等方法对评价指标进行量化与筛选；然后利用熵权法—BP神经网络法确定各评价元素的权重，并采用加权指数法评估评价体系；最后针

第一作者简介：王均瑶（1988—），硕士研究生，高级工程师，从事城市规划中的地理空间数据分析工作，E-mail：wangjunyao210@163.com。

对不同分级体系进行专项分级分类。

1.2 评价指标筛选原则与指标初筛

轨道交通站点分级评价指标因子的选取直接影响评价的准确性、合理性与可行性，因此本文从轨道交通特征、公共交通接驳、站域开发强度、土地功能和站域环境等角度出发，结合城市空间规划、交通网络层级和拓扑结构，通过定性与定量相结合的方法构建多维评价框架。指标选取遵循系统性、可比性与动态适应性原则，优先反映站点枢纽能级的客观量化指标，同时考虑城市发展阶段土地利用差异与交通模式特征。最终形成覆盖空间特性、高效换乘、客流效益、密集紧凑、服务效率、土地利用、功能混合、慢行设计和站域环境等维度的分级指标体系。

结合上述准则，本文构建了包含9个准则层，25个指标的轨道交通站点分级评价指标体系：①高效换乘（换乘站、出入口数量、出入口平均可达性、出入口平均穿行性、公交站点数量、公交线路数量、公交换乘平均距离）；②客流效益（早高峰出站客流量、早高峰进站客流量）；③服务效率（常住人口、就业岗位）；④密度紧凑（容积率、建筑密度）；⑤土地利用（土地利用混合度、土地利用均衡度）；⑥功能混合（POI总数及类别数、沿街商铺密度、功能混合度）；⑦空间特性（站间可达性、站域可达性、综合效率）；⑧慢性设计（路网密度、交叉口密度）；⑨公共空间（公园绿地面积占比、公园绿地面积占比）。

1.3 评价指标R型聚类分析

为防止指标覆盖不全，需综合考量各类要素，导致指标的重复与交叉，因此需筛选具有独立性、典型性的关键指标。R型聚类分析[11]通过对变量进行相关性划分，筛选出具有代表性的变量。在对评价指标进行最值法的无量纲化处理后，利用SPSS软件进行R型聚类处理。根据初步构建的指标体系对特征指标进行检测和筛选，为避免重复因子，进行两轮R型聚类分析，删除类间距离小于1.5的类。

1.4 评价指标权重的确立

本文采用熵权法[12]与BP神经网络[13]相结合的方法确定分级评价体系的指标权重。对于评价系统来说，评价指标的信息量大小代表了系统的有序程度，但样本数据会过度影响熵权法的权重分配，导致权重与实际重要性不符，识别结果可信度低。因此，本文借助复杂系统理论中的权重学习机制，通过神经网络的反向传播机制，计算输出层与隐含层节点值及其权重修正量，优化初始权重。

表1 站域特征指标及其权重

准则层	指标层	初始权重	最终权重
高效换乘	换乘站	0.089 5	0.081 1
	出入口数量	0.025 4	0.018 6
	出入口平均可达性（800 m半径）	0.012 5	0.018 0
	出入口平均可达性（3 000 m半径）	0.008 0	0.023 2
	出入口平均可达性（5 000 m半径）	0.007 2	0.036 2
	出入口平均可达性（n半径）	0.003 1	0.001 9
	出入口平均穿行性（800 m半径）	0.014 4	0.011 9
	出入口平均穿行性（3 000 m半径）	0.002 1	0.020 1
	出入口平均穿行性（n半径）	0.001 9	0.009 3
	公交站点数量	0.041 1	0.042 5
	公交换乘平均距离	0.099 1	0.111 6
客流效益	早高峰出站客流量	0.088 5	0.083 9
	早高峰进站客流量	0.078 7	0.068 7
服务效率	常住人口	0.031 9	0.028 5
	就业岗位	0.038 5	0.038 8
密度紧凑	容积率	0.030 3	0.027 3
土地利用	土地利用混合度	0.005 2	0.009 5
功能混合	POI总数	0.042 1	0.028 3
	POI类别数	0.005 0	0.008 9
	功能混合度	0.004 8	0.007 5
空间特性	站间可达性	0.013 0	0.008 0
	站域可达性	0.025 2	0.026 9
	综合效率	0.224 8	0.189 9
慢性设计	路网密度	0.011 6	0.017 7
公共空间	公园绿地面积占比	0.048 3	0.041 7
	地下空间个数	0.047 9	0.040 0

首先采用熵权法客观评估指标属性，运用Python编程计算得到初始权重；然后以初始权重为基础，通过BP神经网络的反向传播机制，对指标间潜在关联进行识别与正向推理，减少仅依赖信息熵导致的偏差，使权重更贴近实际状况，赋予指标在运算过程中的地理含义。各特征指标权重的最终修正结果见表1。

1.5 轨道交通站点综合评价

在确定评价指标及其权重的基础上，本文对评价体系进行整合，得到轨道交通站点分级评价的综合指标。本文利用加权指数法进行分级评价的综合测度[14]。

2 实证研究

2.1 研究对象

随着《长春市城市轨道交通第三期建设规划（2019—2024年）》的建设，长春市进入轨道交通建设高峰时期，第三期建设总里程约为118 km。本文选取2024年长春市中心城区已开通的轨道交通1号、2号、3号、4号、6号和8号线，正在建设的轨道交通5号线、7号线、空港新城线以及1号线南延长线、2号线东延长线、3号线东部延长线、4号线南部延长线上所有沿线站点，站域范围设定为站点周边800 m服务圈层。

2.2　数据来源

本文采用的长春市土地利用数据和总规数据、长春市中心城区道路网数据、长春市轨道交通线路和轨道交通站点数据及其出入口数据、长春市地下空间数据等通过与相关单位进行沟通交流获取；长春市公交线路和公交站点数据、长春市POI数据通过网络爬取获得；轨道刷卡数据和手机信令数据从与相关单位的合作平台下载。

2.3　分指标的轨道交通站点综合开发利用评价

本文从轨道交通特征、公共交通接驳、站域开发强度、土地功能和站域环境等角度对长春市轨道交通站点的综合开发利用情况进行评价。

2.3.1　轨道交通特征与公共交通接驳

1）地铁站点出入口布局通过各轨交站点的站点出入口数量与布局情况来衡量。出入口布局采用空间句法的标准化角度整合度（NAIN）和标准化角度选择度[15]评估出入口所在位置的可达性与穿行性。结果表明，地上轨道交通的出入口数量较少，在建线路与换乘站的出入口较多；各线路的可达性均值和穿行性均值相差不大，但部分站点所在位置拥有较强的可达性和穿行性。

2）常规公交接驳情况通过站域范围内公交站数量和轨交站点换乘公交距离来衡量。换乘距离是指轨交站点出入口到其站域范围内所有公交站点的步行距离平均值。结果表明，常规公交车站集中在以人民广场—长春站为核心的周边区域，站域范围内拥有较多公交站，基本能在800 m内进行换乘。

3）轨道交通流量。以2019年一周内工作日早高峰6：30—8：30轨道刷卡数据为例，统计已开通站点进站与出站的总客流量，结果表明总体上进站量与出站量空间趋势恰好相反，早高峰进站客流量较多的站点多分布于城市外围，出站客流量较多的站点均分布于核心城区。

4）轨道换乘情况。根据《长春远景轨道交通网路》的规划情况，换乘站为45个，其中已开通站点为29个。29个已开通站点中9个站点作为换乘站使用，其他站点仅作为普通站使用。

2.3.2　站域开发强度与土地功能

1）开发强度通过站域范围内平均容积率和平均建筑密度衡量。结果表明，城市核心区容积率普遍较高，且平均建筑密度也呈由中心区向外衰减的趋势；但有些边缘站的站域容积率和建筑密度是相反的。

2）服务人口。以2019年手机信令数据识别的居住人口和就业人口数据为轨交站点的服务人口，结果表明1号、2号和5号线的大部分站点覆盖的居住人口和就业人口均为最优，便于居民就近就业。3号线的大部分站点覆盖的居住人口与就业人口存在失衡现象，空间职住分离情况较明显。

3）用地功能通过站域范围内土地利用混合度来衡量。结果表明，穿过中心区域的站点土地利用混合度高于城市外围站点。土地利用混合度是指特定区域内多种性质土地利用的总体情况，通常采用熵指数来衡量[16]，计算公式为：

$$A_i=-\sum_{i=1}^{n}a_{ij}\times\ln a_{ij} \tag{1}$$

式中，a_{ij}为j站域范围内地类i的比例；n为站域范围内各地类总数。

4）商业业态通过站域范围内POI总数及其类别、沿街商铺密度和功能混合度来衡量。从站域范围业态数量及其种类来看，人民广场周边站点是业态明显集中的区域，外围业态分布较稀疏，但整体站点的类型较均衡，仅部分边缘站业态种类较单一；沿街商铺密度高值区以核心区为主，在商业集中区域都有明显的高值区；站域功能混合度整体差别不大，分布较均匀，核心区域未形成较明显的功能混合高值区，最高值出现在净月潭沿线站点内。沿街商铺密度为站域内距道路中心线25 m道路两侧商业性质POI数量（包括零售、餐饮、生活服务等）与站域内路网长度的比值，可反映街道两侧商业繁荣程度[17]。功能混合度可衡量站域功能分布的均匀性，一般通过混合熵指数衡量，计算公式为：

$$H_i=-\frac{\sum_{k=1}^{n_i}\left[\frac{b_{ik}}{\sum_{k=1}^{n_i}b_{ik}}\times\ln\left(\frac{b_{ik}}{\sum_{k=1}^{n_i}b_{ik}}\right)\right]}{\ln(n_i)} \tag{2}$$

式中，n_i为站点i的业态类型数量；b_{ik}为站点i中k类业态数量。

2.3.3　站域环境

1）街道网络特性通过路网密度和交叉口密度来衡量。路网密度为站域内路网长度与站域面积的比值。交叉口密度为站域内交叉口数量与站域面积的比值。结果表明，各站点站域内道路密度与交叉口密度的分析结果类似，在中心区段站点的路网和交叉口密度偏高，其他区域路网密度适中，各站点之间差异不大。

2）综合效率通过空间句法的综合效率来衡量，相当于将小尺度和大尺度的空间效率整合到同一地块

上，可以更直观地反映该地块的经济性和发展潜力。通过长春市空间句法线段模型建立城市街格模型，并结合空间句法中全局尺度和步行尺度选择度计算地块综合效率。结果表明，1号、2号线覆盖的大部分地块均呈现良好态势，其他线路的空间效率态势基本相同。

3）公共空间通过公共空间、地下空间的数量和面积占比来衡量。公共空间分布以4号线周边区域为主导，大部分轨道交通800 m覆盖范围内公共空间较少；地下空间仅在1号、2号和5号线的中心区段地下为连片开发状态。

2.4 站点综合评价结果

各站点的综合评价得分见表2。综合所有站点来看，前十名的站点评分均在0.34分以上，分数值反映了该站点的综合性，即这些站点更具有综合开发TOD模式的潜力，经过实地调研，结合长春市现状及规划目标，基本符合城市发展规律；后十名的站点评分均在0.07分以下，且大部分位于城市边缘或在建站点，不适宜采取高密度的综合开发模式，可按照一般居住类站点进行开发，主要优化其站点周边的环境品质和步行、车行环境。

表2 长春市轨交站点综合评价前二十和后二十排名情况

排名	站点名称	所属线路	现状类型	最终结果	排名	站点名称	所属线路	现状类型	最终结果
1	长春站南广场	3号线	运行	0.418 943	153	紫衫路	3号线	运行	0.071 117
2	人民广场	1号线	运行	0.417 201	154	长春师范	8号线	运行	0.070 184
3	卫星广场	1号线	运行	0.395 248	155	长春工大	8号线	运行	0.070 096
4	吉林大路	2号线	运行	0.384 261	156	省交通学院	8号线	运行	0.069 874
5	长春站北广场	4号线	运行	0.377 22	157	九台南站	空港新城线	在建	0.069 567
6	解放大路	2号线	运行	0.375 938	158	滑雪场	3号线	运行	0.069 244
7	文化广场	2号线	运行	0.369 833	159	赵家岗东	2号线	在建	0.068 689
8	会展大街	7号线	在建	0.367 062	160	赵家岗西	2号线	在建	0.067 174
9	市政府	1号线	运行	0.346 941	161	建兰街	空港新城线	在建	0.066 047
10	人民广场	5号线	在建	0.345 323	162	赵家岗	2号线	在建	0.065 766
11	东环城路	2号线	运行	0.310 953	163	吴家店	4号线	在建	0.064 5
12	硅谷大街	3号线	运行	0.310 553	164	天普路	4号线	在建	0.064 363
13	景阳广场	2号线	运行	0.308 521	165	小城子街	8号线	运行	0.063 147
14	东大桥	4号线	运行	0.301 294	166	毛家沟	3号线	在建	0.062 609
15	南亚泰大街	3号线	运行	0.300 038	167	永春北	1号线	在建	0.060 919
16	工农广场	2号线	运行	0.299 919	168	东湖镇	空港新城线	在建	0.060 177
17	临河街	3号线	运行	0.297 736	169	东五里屯	4号线	在建	0.055 684
18	北亚泰大街	4号线	运行	0.290 955	170	前十里堡	4号线	在建	0.053 454
19	北环路	1号线	运行	0.290 667	171	龙嘉机场	空港新城线	在建	0.050 266
20	胜利公园	1号线	运行	0.290 115	172	莲花山北	空港新城线	在建	0.047 464
21	硅谷广场	5号线	在建	0.283 967	173	义和村北	1号线	在建	0.04525

2.5 基于不同分级体系的站点分级分类结果

1）基于空间层级网络的分级系统。根据城市整体交通网络的轨道交通网络通达度及其网络叠加特性，将站点分为城市核心级、城市中心级、区域中心级和社区中心级（图1）。城市核心级站点位于城市中心商务区或新兴核心地带，是地铁线路的交汇枢纽，具备极高的通达性和密集的站点布局。站点周边街道网络体系完备，高等级网络连接性强，低等级网络中心地位突出。城市中心级站点位于城市副中心或主干发展带，属核心区域辐射圈，周边商业活动频繁。其街道系统兼具高连通性与次级中心特征，但相较于核心站点，区位优势稍显不足。区域中心级站点作为分区核心节点，主要服务于中等规模的城市商圈，其街道系统在中观层面具备良好的连通性，同时表现出显著的低等级网络聚集特征。社区中心级站点作为城市边缘发展带或核心区的小型节点，主要承担居住功能，其街道网络连通性有限，但基础网络仍保持一定核心地位。

2）基于主导功能的站点分类体系。根据站域范围内土地利用与建筑特征，同时考虑其所处的城市核心功能，选择站域范围内的居住用地比例、商服用地比例、公共用地比例、交通仓储工业用地比例、站点影响区内人口数量和是否换乘站作为输入指标，采用聚类分析法对长春市轨道交通站点进行功能分类，包括商务服务型、公共服务型、居住型以及产业型4种类型（图2）。商业服务型站点主要分布于城市繁华地带或规划了大规模商业用地的区域，其等级多为城市核心或中心级别。该类站点以商业办公为主要发展方向，强调土地功能的复合化利用，旨在打造多功能城市空间，增强区域活力；多采用商娱办公一体化的综合体模式，人口聚集度高，早晚通勤时段人流骤增特征明显。公共服务型站点通常布局于城市中心区外围，其用地结构呈现多元特征，以公共事务功能为主导，科教用地占比突出，同时融入教学场所、文化娱乐场地及开放式绿地等公共活动空间。居住型站点多为区域中心和社区中心级站点，分布均衡，以高密度人口为特征，站域内主要进行住宅开发。产业型站点分布于城市指定区域，如工业区、经济开发区等，以工业、物流为主，居住为辅。

3）长春轨道交通站点综合分级分类。从轨道交通站点的节点—场所双重特性出发，本文整合了空间层级网络分级体系与功能主导型站点分类方法，对长

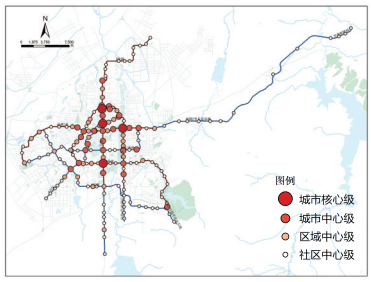


图1　长春市轨道交通站点空间层次分级
审图号：吉S(2022)018

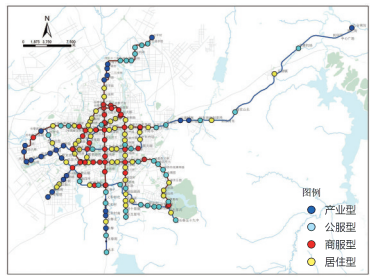


图2　长春市轨道交通站点功能分级
审图号：吉S(2022)018

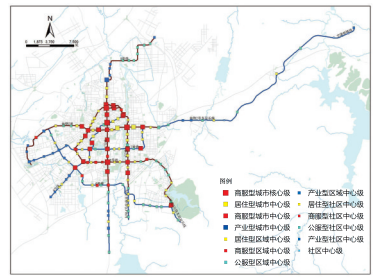


图3　长春市轨道交通站点综合分类
审图号：吉S(2022)018

春市轨道交通站点开展综合性分级分类研究。结果表明（图3），长春市轨道交通网络以区域中心级和社区中心级站点为主，仅有少量城市核心级站点，这些站点集中分布在1号线长春站至卫星广场的核心区段。根据《长春市总体规划（2011—2020年）》（2017年修订）提出的“双心、两翼、多组团”城市结构，现状轨交站点的分级分类结果布局与长春市的空间发展结构相契合。“双心”是指在人民大街轴线的南端建设城市新中心，与人民广场地区的原城市中心区形成一南一北双心结构；“两翼”是指城市发展的西南、东北的两个主要方向，均以产业和生活职能为主。基于空间层级网络的分级结果与“双心”的空间结构基本吻合，而基于主导功能的站点级分类结果基本与“两翼”的空间发展相互印证。

3　结　语

基于TOD理论框架，本文运用多维数据整合技术设计了一套完善的评估体系模型，通过引入BP神经网络优化指标权重，确保了评估过程的客观性与精确度，为研究结论的可信度提供了有力支撑。分析结果证实了该体系模型的有效性，以期能为轨道交通站点站域综合评价或其他规划评价提供一种新方法。本文的研究对象是已建和在建站点的分级评价，若该工作可在规划阶段提前开展，则可作为TOD模式开发的重要参考因素；同时提出站域优化相关策略，并落实到不同层面的规划控制导则体系中，从而更好地为TOD模式开发规划和设计提供参考。

参考文献

[1] Chen Z, Wu T, Gao L, et al. Comparative Analysis of Transit-oriented Development (TOD) Types in the Metropolitan Region Along the Middle Reaches of the Yangtze River[J]. Sustainability, 2024, 16(22):9884

[2] Vale D S. Transit-oriented Development, Integration of Land Use and Transport, and Pedestrian Accessibility: Combining Node-place Model with Pedestrian Shed Ratio to Evaluate and Classify Station Areas in Lisbon[J]. Journal of Geography, 2015, 45:70-80

[3] 徐涛. 基于溢价效应的城市轨道交通站点地区空间规划和发展模式研究[D]. 武汉:武汉大学, 2016

[4] 高富丽, 王成芳. 广州主城区轨交站域活力时空分异与分类优化探讨[J]. 地理空间信息, 2024, 22(6):61-65

[5] 徐姗, 员鑫淼, 邓羽. 北京城市功能空间演进的结构模式与聚合规律[J]. 地理学报, 2023, 78(8):2092-2104

[6] 陈炜良. 城市轨道交通沿线地区TOD特征评价体系研究:以武汉市为例[D]. 武汉:武汉理工大学, 2021

[7] 袁发涛, 陈通箭, 魏剑波. 基于AFC数据的轨道站点分类研究[J]. 交通工程, 2021, 21(1):48-52

[8] 王焕栋, 马红伟. 基于站点兴趣点的城市轨道交通站点分类方法[J]. 交通与运输, 2020, 36(4):33-37

[9] 王武言, 刘嘉宸, 余亦冬. 基于土地使用和人口的西安市轨道交通站点分类研究[J]. 人民公交, 2020, 38(8):29-33

[10] 郑伟, 周盛世, 厉小云. 基于TOD模式的地下综合体效能评价研究[J]. 湖南城市学院学报(自然科学版), 2024, 33(3):50-56

[11] 王寿超, 李杰, 王菊, 等. R型聚类与模糊聚类分析在源解析中的应用[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(29):17757-17759

[12] 程启月. 评测指标权重确定的结构熵权法[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(7):1225-1228

[13] 马锐. 人工神经网络原理[M]. 北京:机械工业出版社, 2010

[14] 王鑫, 王鲜, 郝业, 等. 基于加权信息量法与综合指数法的西安市蒋村街道地质灾害易发性评价对比[J]. 世界地质, 2023, 42(2):399-408

[15] 金达·赛义德, 特纳·阿拉斯代尔, 比尔·希利尔, 等. 线段分析以及高级轴线与线段分析:选自《空间句法方法:教学指南》第5、6章[J]. 城市设计, 2016, 2(1):32-55

[16] 李俊芳, 姚敏峰, 季峰, 等. 土地利用混合度对轨道交通车站客流的影响[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2016, 44(9):1415-1423

[17] 郭泽坤. 基于多源数据的商业街区中街道空间品质量化评价研究:以郑州市二七广场商业街区为例[D]. 兰州:兰州理工大学, 2023