

# 基于机器学习的轨道交通站域步行空间品质测度与优化

## ——以西安地铁2号线为例

姚洁<sup>1</sup> 姚雅洁<sup>1</sup> 陈安宁<sup>2</sup> 郭晨慧<sup>2</sup> 余洁<sup>2</sup> 梁天婧<sup>2</sup>

1. 西安长安大学工程设计研究院有限公司; 2. 长安大学建筑学院

**摘要:** 由于大中城市站域城市空间和配套设施的建设通常滞后于轨道交通建设, 导致轨道站域步行空间大都缺乏舒适性。本文以西安市地铁2号线龙首原、市图书馆和南稍门站点作为研究对象, 采用“街景识别——品质评价——空间优化”的研究框架, 研究轨道交通站域空间品质。基于街景图像数据, 通过机器学习算法DeepLabv3+提取街道空间要素。然后, 使用神经网络算法训练评价模型, 对站域空间品质进行测度。结合站域步行空间品质评价要素, 建立评价体系。最后, 从步行基础、空间秩序与环境安全三个方面提出步行空间优化建议。

**关键词:** 站域步行空间; 空间品质测度; 街景图像; 机器学习; 空间优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.14.043

### 引言

截至2020年底西安市共有158个轨道站点, 高覆盖率和便捷的轨道站点网络进一步支持出行者选择步行+轨道交通的方式出行, 然而许多站点因轨交站域步行空间缺乏活力, 无法使轨道交通价值最大化。因此提升站域空间活力对轨道交通站域空间具有重要意义。本文采取街景图像数据与图像分割技术对步行空间品质进行研究, 构建定量与定性相结合的综合评价体系, 在一定程度上消除主观评价的不客观性, 能合理的反映研究对象的站域步行空间品质。

### 一、研究设计

#### (一) 研究对象

本文选取西安市地铁2号线龙首原、市图书馆、南稍门三个轨道站点周边区域作为研究对象。样本站点均位于西安市建成区, 由于地铁2号线运营最早, 站点站域步行空间具有轨道交通导向开发的初级特征, 样本站点周边各类土地使用均衡, 空间结构具有一致性, 可以反映西安市轨道交通站域步行空间特征。综合相关文献轨交站点的步行影响域在5min或400m, 本研究结合站点周边居民步行至其目的地的距离、路线等信息, 统计分析各类目的地的空间分布特征, 为准确掌握站域步行空间变化, 本文选取800米作为研究站点的影响范围。

#### (二) 技术路线

本研究于2021年夏季对三个站点影响域的所有街道街景图片开展收集, 采样点平均间距约为50m, 一共选取1040个采样点, 每个采样拍摄前、后左、右视角的街景图像数据共4160张。

(1) 数据收集与处理——街景图像获取: 本文选

择人工收集站域空间图片数据: 在站域800米范围内, 使用三脚架高度固定161.4厘米, 每50米设立一个样本点, 每个样本点分别采集前、后、左、右四张图片, 共3000张。采集点分布如下图:

(2) 特征提取——大规模街景图像分析: 使用机器学习算法DeepLabv3+对街景图像中绿视率、天空可见度、建筑界面、道路机动化程度、步行空间、多样性等六个空间要素进行提取, 分析各空间要素的量化测度(图1)。

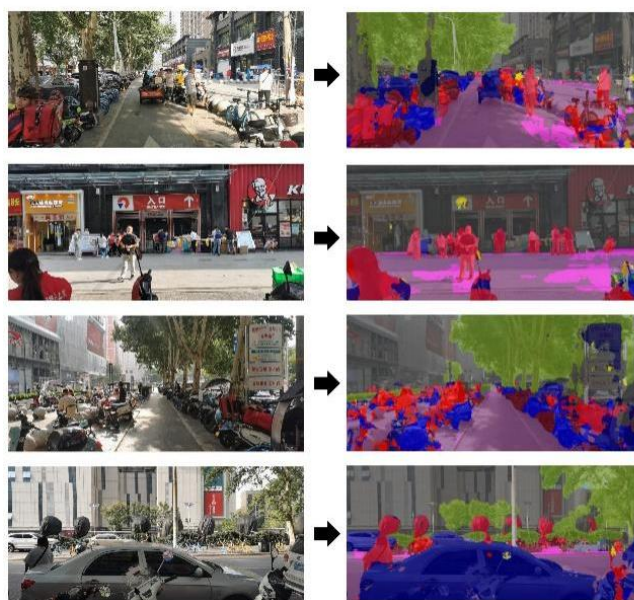


图1 语义分割结果(来源: 作者自绘)

(3) 品质评分——主观感知认同及客观物质评分: 主观感知认同是通过邀请专家对于样本图片进行主观感受打分, 客观物质评分是对机器学习成果进行计算, 进而获得空间品质得分。

(4) 空间评价——从街道步行的可能性、可达性、安全性、舒适性、愉悦性五个层级的感受出发, 建立站域步行空间品质评价体系。

(5) 设计指导——以可行性、可达性、安全性为主, 针对性讨论站域步行空间特征与改造潜力, 并提出优化策略。

### (三) 研究方法

#### 1. 指标选取及权重确定

##### (1) 指标选取

本研究选取9个一级指标和18个二级指标来评价站域步行空间品质, 如表1所示:

表1 站域空间步行环境评价指标

目标层	准则层	指标层	权重
可能性	路径连续	人行道连续	0.25
		行人出现率	0.06
可达性	路径可达	标识引导	0.03
		步行道密度	0.13
		交叉口数量	0.08
		出入口数量	0.04
	交通衔接	共享单车	0.03
		公交	0.03
安全性	社会安全	街道界面	0.12
	环境安全	照明设施	0.06
舒适性	街道空间	街道开敞度	0.05
		界面围合度	0.02
	环境舒适性	机动化程度	0.01
		空间绿视率	0.02
		景观设施	0.01
休息设施	0.01		
愉悦性	精神空间	空间意向	0.02
	人文活动	公共空间	0.04

(2) 权重确定

以层次分析法为理论指导，以1-9比例标度法为评判依据，获得各个层次指标因子进行两两比较的判断矩阵，以此确定各个评价指标权重。

2. 数据处理

在表1中，行人出现率、标识引导、步行道密度等8类二级指标可以通过机器学习判别。根据训练后的模型对输入的街景图像进行处理，得到各类要素的空间占比后即可进一步计算出量化指标。

二、评价结果

(一) 分项评价

(1) 可能性

市图书馆站步行空间可能性整体较高，分布呈现“一纵为主，三横为辅”态势，其中“一纵”指未央路全段，“三横”指凤城一路至三路。未央路全段人行道步行可能性良好；站域西侧的凤城二路西段步行可能性最低。

龙首原站的可能性在空间上为“中部高东西低”的分布趋势和分布特征。未央路与龙首北路交叉口区域可能性指数较高；龙首南路以西，生活气息浓厚，人行道占比高，可能性指数较高。

南稍门站步行空间可能性整体一般，东西向街道步行可能性高于南北向街道。其中，友谊西路、体育场北路等街道步行空间可能性最高。南北向步行可能性较高的街道为站域东南方向的永宁路。

(2) 可达性

市图书馆站步行空间可达性整体分布不均，高值和低值交错，呈现出道路交叉口可达性高，道路中段可达性低的分布态势。其中凤吉路整体可达性偏低。

龙首原站整体空间可达性不高，呈现“中间高、四周低”的分布特征，比如龙首原站附近因其地铁换乘站的属性以及靠近未央路与龙首北路十字路口成为站域范围内可达性最高的片区；未央路道路等级最高，街道宽度与横断面最宽，因此可达性最好。

南稍门站步行空间可达性整体较高，靠近地铁站点和道路交叉口的区域数值明显，道路中间段可达性低。在800米服务半径范围内，草坡路与振兴路整体可达性偏低。

(3) 安全性

市图书馆站域内步行空间安全性整体偏低，以市图书馆站点为界，分布呈南高北低的态势。距离地铁站与道路交叉口越近，步行空间安全性越高，站域范围内9个道路交叉口的安全性高于道路中段。未央路南段街道界面开放程度较高，照明设施良好，安全性最高。凤翔路与凤吉路街道两侧多为山墙与围栏，街道界面相对封闭，且照明设施较差，因此安全性最低。

龙首原站的街道空间安全性整体较好，街道中的开敞界面较多，有60%的街道安全度高于平均值；其中未央路与龙首北路交通流量大，两侧商业活力度较高，整体安全性最高；东侧因靠近大明宫遗址，道路通达性较差，活力不足，故西侧的文景路至文景南路段较东侧的龙首东路安全性高。

南稍门站站域范围内步行空间安全性整体较高，呈现距离站点越远，越靠近道路交叉口，安全性越高的特征。南稍门站附近分布有中贸广场、地矿大厦等高层建筑，视线可达性受到阻挡，且人流、车流量大，存在机动车和非机动车的干扰，步行空间安全性一般。其他道路，如文艺南路、朱雀大街、长安北路等均为城市主要道路，道路等级高，照明设施良好，路面平整，因此安全性较高。

(4) 舒适性

市图书馆站域内步行空间舒适性整体分布均匀，以市图书馆地铁站为核心向外逐渐降低的趋势。凤城二路与未央路的舒适性高于其他道路，其中凤二路东段的舒适性较高，未央路全段的舒适性较为均衡，距离地铁站较远的凤三路西段与凤一路东段的步行空间舒适性较低。

龙首原站域内步行空间舒适性整体偏低。未央路东侧道路的舒适性整体高于未央路西侧。在龙首原地铁站附近，呈现出以地铁站为核心向外逐渐降低的趋势。麟德路东段与龙首东路北段由于靠近大明宫遗址公园入口，舒适性高于其他道路，未央路全段的舒适性较为均衡，距离地铁站较远的龙首南路与永祥路因环境设施较少，步行空间舒适性较低。

南稍门站域内西侧和南侧的步行空间舒适性整体高于东侧和北侧，呈现出“西南高、东北低”的分布特征。其中友谊西路、朱雀大街北端和体育馆北路的舒适性较高，而友谊东路和南郭路的舒适性较低。

(5) 愉悦性

市图书馆站域内步行空间愉悦性整体偏低，大致呈

中部高两侧低的态势分布。具体表现为站域范围内公共空间较少,街道整体空间意向较差,其中凤城二路与开元路交叉口的愉悦性较高,未央路呈现出南段愉悦性高于北段,由于凤城一路整段与开元路北段缺乏公共空间,且街道空间意向混乱,因此愉悦性在站域范围内最低。

龙首原站域内步行空间愉悦性很低。具体表现为站域范围内公共空间较少,街道整体空间意向较差。其中未央路南段靠近龙首原地铁站的路段公共空间设置较多,空间愉悦性最高。红庙坡路与未央路交叉口的愉悦性较高。其余路段由于缺乏公共空间,且街道空间意向混乱,因此愉悦性都偏低。

南稍门站域内步行空间愉悦性整体偏低,其中长安北路南段、友谊西路、朱雀大街北端和体育馆北路因其具公共空间,且街道经过改造后空间意向较好,街道愉悦性较高;文艺北路、文艺南路、永宁路、草场坡、围墙巷和振兴路缺乏公共空间,街道空间意向较差,因此街道的愉悦性在站域范围内最低。

#### (6) 综合评价

市图书馆站域内的空间品质较高且全段平均分布,凤城二路西段的步行空间品质较不稳定,靠近未央路一侧的空间品质高于西侧,其余道路步行空间品质数值变化较小,品质较稳定。

龙首原站域内步行空间品质整体程度适中,但分布不均。在龙首原地铁站附近,呈现出以地铁站为核心向外逐渐降低的趋势。未央路西侧道路步行空间品质高于未央路东侧,具体表现为西侧道路可能性与安全性高于东侧道路。特别是麟德路与龙首东路由于受到大明宫遗址公园的阻断,向东的交通受限,发展较差。

南稍门站步行空间品质整体水平相当,差距不明显,其中长安北路的空间品质数值变化较大,品质较不稳定,靠近南稍门地铁口的路段空间品质数值较高;友谊东路和永宁路的步行空间品质数值变化较小,品质较稳定。

### 三、优化策略

#### (一) 搭建可行的步行环境基础

在前期调查中对步行活动可能性的研究从人行道的通畅度和连接性两方面出发,调查发现站域现阶段面临人行道空间阻塞和过街联系不足的问题,从空间实体构成上削弱了步行系统的完整性。

(1) 站点核心影响区集聚了站点周边主要的商业服务设施、商务办公等高产价值的用地性质,对步行环境的要求较高,应加强空间的整体割裂问题的解决。

(2) 次级影响区通常街道尺度较小,在街道步行联系上具备空间基础优势,但在空间管理上存在不足,导致步行系统完善度不高,空间占用等现象,对日常生活和通勤造成不便。

(3) 边缘地区应积极优化同公共交通节点的步行联系,如通过公共交通信息提示等方式提升公共交通引导性。

#### (二) 建立可达的步行空间秩序

水平步行空间包括步行通行空间、建筑前空间、设施带空间、交通换乘空间、过街空间。通过对道路红线内外空间进行一体化设计,协调步行空间的自然分隔形成功能分区对不同功能的空间进行设计。步行空间垂直系统构建是解决步行连续性需求和干道导致空间阻隔矛盾的有效方式,将连续步行需求流线与机动车流线通过空间分层的方式进行分离。根据站域步行环境建设实际条件,完善地面、地上和地下步行空间的组合,并在不同开发层面建立有效的空间连接。

将站域所有的活动及空间实体作为一个整体系统,不同的交通方式只是其中的一个组成部分,步行系统则是建立彼此之间的高效性和可达性联系重要媒介,为适应轨道站域核心枢纽化发展趋势,需要对不同交通方式的步行流线进行整合和协同设计。

#### (三) 提升站域步行环境安全性

由于人对未知的环境会产生不安全的认知,因此通过有序的步行分离设施设计,将人车通行空间进行时间和空间和分离,将有效缓解站域人车矛盾。空间设施安全性设计应保障特殊人群的需求。如对婴儿车、轮椅、行李和障碍人士等特殊使用需求群体,将步行环境的无障碍设施精细化设计作为步行环境营造的一项重要内容。除此之外街道照明、街道设施的可辨识度对行人也影响着对空间的安全认知,因此步行环境的营造应结合空间的可视性和夜间的空间照明程度进行提升,增加空间的社会安全性。

### 四、结语

通过对站域步行空间五类构成要素分析和评价,分析轨道交通站域步行空间环境特征与现状问题,将人性化需求与站域步行空间相结合,提出合理有效的整治策略如下:

(1) 及时监管并维护步行空间完善度,避免空间占用等现象。

(2) 完善垂直交通衔接,并在不同开发层面建立有效空间连接。

(3) 以高等级道路为骨架组织站域步行空间。

本研究的亮点在于采用人工采集街景图像的方式进行机器学习,避免了传统做法中车行道上采集的百度地图街景与实际步行者视点不一致的问题。但与此同时,人工采集存在一定的误差。另一方面,受制于机器学习算法与街景数据分辨率的限制,部分关键要素的识别不够精准,会在一定程度上造成品质评价的误差和局限。

### 参考文献

[1]陈泳,何宁.轨道交通站地区宜步行环境及影响因素分析——上海市12个生活住区的实证研究[J].城市规划学刊,2012(06):96-104.

[2]吴亮,陆伟,于辉,顾宗超.轨交枢纽站域步行系统发展的模式、逻辑与机制——基于三个亚洲案例的比较研究[J].国际城市规划,2020,35(01):88-95.