

基于视觉感知的街道步行品质测度与优化路径研究

——以西安老城区为例

郭冰玉，张 斌

【摘 要】当前，城市街道可步行性评价面临街道空间品质有效测度与精准识别的难题，同时如何确定大规模和高精度的可步行性优化测度因子，也是城市更新和管理走向数字化发展亟待解决的问题。鉴于此，以西安老城区为例，提出基于视觉感知的街道步行品质测度与更新区划方法框架。该方法框架聚焦街道视觉感知和空间生态的综合视角，将人群感知与空间使用状态相结合，构建街道步行空间品质测度体系。通过对关键指标进行优化测算，精准识别街道空间的复杂性，进而得出基于城市步行视觉感知的街道更新分级区划结果，以及局域改造的重点要素。研究成果可为城市更新提供有力依据，进而促进城市街道步行品质的提升。

【关键词】步行友好城市；街道视觉感知；多源大数据；城市更新；城市管理

【文章编号】1006-0022(2025)06-0068-09 **【中图分类号】**TU984、P901、TP391.4 **【文献标志码】**B

【引文格式】郭冰玉，张斌. 基于视觉感知的街道步行品质测度与优化路径研究：以西安老城区为例[J]. 规划师，2025(6): 68-76.

A Study on Street Walking Quality Measurement and Optimization Path Based on Visual Perception: Taking Xi'an Old City as an Example/GUO Bingyu, ZHANG Bin

[Abstract] At present, the evaluation of the walkability of urban streets is limited by the difficulty of effective measurement and accurate identification of street space quality, and the large-scale and high-precision walkability optimization measurement factors are also urgently needed for the digital development of urban renewal and management. In this study, taking Xi'an old city as an example, a methodological framework for measuring street walking quality and updating zoning is proposed based on visual perception. Focusing on the visual perception and spatial ecology of streets, the crowd perception and spatial use status are combined to construct a spatial quality measurement method for street walkability. Through the optimization of key indicators, the spatial complexity of streets is accurately identified, and the hierarchical zoning of street renewal and the key elements of local transformation are derived from the visual perception of urban walkability, which provides a strong basis for urban renewal and promotes the enhancement of the walkability of urban streets.

[Keywords] pedestrian-friendly city; street visual perception; multi-source big data; urban renewal; urban management

0 引 言

随着我国城市进入以人为本和高质量发展的重要转型期，城市更新已成为城市发展工作的核心内容。其中，通过城市更新区划对已建成城市空间进行分层级优化是国内外较为认同的手段。法国巴黎“协议开发区”、德国柏林与英国伦敦的更新区划定，以及我国台湾和深

圳地区的城市更新单元模式等相关案例，均取得了较高的效益。2023年12月31日，我国正式颁布了《城镇更新区划定技术导则》(T/UPSC 0014—2023)，为科学划定城镇更新区提供了普遍性、原则性和方向性的指导。相关学者在更新对象、更新路径、更新政策等方面开展了诸多探索，旨在识别城市发展的“不平衡”，回应城市空间发展的“不充分”。当前研究的主要问

【基金项目】 国家自然科学基金青年项目 (52008327)

【作者简介】 郭冰玉，西安建筑科技大学城乡规划学博士研究生。guobingyu@xauat.edu.cn

张 斌，通信作者，博士，西安建筑科技大学副教授、硕士生导师。zbing@xauat.edu.cn

题和挑战集中在更新对象的识别与划定方法两方面。在更新对象的识别方法上,通常采用定性描述与定量分析相结合的方式,通过直接筛选与多因子综合评估两种方法进行空间测度与识别^[1]。在更新区划定方法方面,主要基于实践需求,通过确立评价标准、建构评估指标体系,并运用多因子评价等评估方法对区域更新潜力进行评估,进而建立以“更新对象识别—更新对象评估—更新区域划分”为主线的城市更新空间分析方法^[2]。

城市街道的可步行性是城市更新过程中需考虑的关键因素之一^[3-4]。美国、英国、加拿大、澳大利亚等众多国家已实施的可步行性城市更新实践均表明,此类更新举措能够有效促进社区经济繁荣,对城市发展具有显著意义^[5]。随着《“健康中国2030”规划纲要》提出“把健康融入城乡规划、建设、治理的全过程”这一理念,可步行性城市更新在我国迎来了新的发展契机。当前,精细化识别空间需求、研判可步行性城市更新方案显得尤为必要^[6]。大量研究表明,从视觉感知角度开展空间更新、识别更新需求是最为有效的途径。视觉通过与环境产生连接,使人获得生理、心理、精神等多方面的体验,因此在感知空间时,视觉感知尤为直接和有效^[7]。目前,已有许多学者开展了基于视觉感知的街道步行空间品质测度与更新区划研究。已有研究主要从使用者的适应性和空间使用状态两方面展开分析。在使用者的适应性研究方面,从视觉感知评价角度出发,运用街景图像及深度学习探查街道视觉感知,研判空间要素的视觉关联,分析街道的安全性、步行舒适度、绿视率、整洁度等^[7];从视线感知分析角度出发,运用城市3D空间模型、OSM街道数据构建三维城市模型,模拟人群的视线感知,探测区域的可见性,分析街道的通透度^[8]。在空间使用状态研究方面,从

可达性角度出发,运用sDNA空间句法,基于空间轴线结构分析街道穿行度,判断人群的到达潜力^[9];从人群聚集度角度出发,基于百度热力图、腾讯Easy Go数据判断人口动态模式,分析街道空间活力和街道人流量^[10]。

然而,现有研究大多聚焦于街道空间品质的单一维度,或针对独立问题提出技术性解决方案,无法从整体综合视角应对街道空间复杂的关联性。随着大数据资源与数字化方法的不断发展,以及城市管理和决策对精准化的需求,高效、系统地梳理城市街道步行空间环境问题并指导精准施策显得十分必要。分析当前基于视觉感知的街道步行空间品质测度与更新区划研究,发现其面临以下挑战:①如何充分贴合街道空间人群感知特征进行测度;②如何实现连续、大规模、高精度的街道空间特征测度;③如何利用人群感知特征与街道空间特征构建场所品质评价模型,以实现大规模数据的快速、准确评价及应用。基于此,本研究在城市更新背景下,基于多源大数据,将“使用者的适应性”与“空间使用状态”进行多层次叠合分析,并以西安老城区为例进行实证分析。通过探究城市街道视觉感知下的步行更新潜力,分级开展更新区划,并分析局域改造的重点要素,以为城市可步行性更新提供方法支撑,助力数据驱动的城市更新及城市管理。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区域

以西安明城墙域内的老城区(城市中心区段)作为案例研究区域,该区域占地11.07 km²,是西安历史文化名城保护核心区。在有限的面积内,集中了城市政治、经济、文化、商贸、旅游中心等诸多功能。然而,老城区道路偏窄,城墙内外出入口道路较少,且区域内西半

部分严重缺乏南北向贯通道路,导致交通混杂、路网通行能力低下等问题。作为西安旅游核心区,老城区内部景点集中连片分布,吸引大量游客以步行方式涌现。在此背景下,挖掘城市街道步行空间品质的影响机制,进行分级区划以逐步提高街道空间的可步行性,显得十分紧迫。

1.2 数据来源

本研究使用的西安老城区道路及建成环境空间设置数据来源于Open Street Map、遥感影像卫星图与百度地图,街景及城市热力数据通过百度地图开放平台的官方API获取。

2 研究框架与方法

2.1 研究框架

本研究提出了一个基于视觉感知的街道步行品质测度与更新区划方法框架(图1)。识别测度方法聚焦研究对象的空间属性,以实现系统、全面评估为目标,对既有研究和实践中的评价因子进行细化、重组和补充,构建了基于2类评价维度、4项分析要素的测度识别系统。经研判,街道步行性更新区划所涉及的核心影响因素为街道视觉感知与街道空间生态两方面,分别对街道空间品质、街道空间特征进行识别,进而凝练改造潜力。具体而言:在街道视觉感知维度,测度视觉感知评价、视线感知区域2项要素,以有效提炼空间感知需求,促进以人为本的更新工作;在街道空间生态维度,测度空间可达性、人群聚集度2项要素,以建构街道空间结构、识别空间秩序,进而形成贴合空间本体需求的更新方案。从以人为本与空间秩序的角度凝练改造潜力,最终生成既能满足使用者的需求,又符合空间使用度的街道步行品质优化策略。

2.2 研究方法

本研究综合人群感知特征与街道空间特征,构建了街道步行品质测度模型。在此基础上,基于空间的有效识别划定更新区,并针对性地分析局域改造重点要素,以确保其发挥良好的作用效能。通过构建“更新对象识别—更新需求评估—更新重点分析”三层路径,实现基于视觉感知的街道步行品质测度与更新区划。实现路径的搭建策略如下:①基础数据分析。在街道视觉感知维度,借助街景图像对街道空间品质进行视觉感知评价,并验证评价结果的可靠性。同时,利用研究区建成环境空间设置数据,分析街道的视线感知区域。在街道空间生态维度,运用sDNA进行分析,研判街道可达性与视觉感知的改造潜力,以及基于多时段百度热力图判断街道区域的人流量,进而进行街道空间活力分析。②更新区划。基于以上两个维度的4项分析结果,运用AHP层次分析法进行综合评价及加权计算,因地制宜匹配评价标准,按需研判因子权重。经过充分验证后,得出研究区街道视觉感知的更新区划。③局域改造重点要素分析。对街道视觉感知要素评价结果进行空间关系建模,以此获取街道局域改造重点,进一步指导区划更新。

2.2.1 街道空间品质视觉感知评价

使用机器学习随机森林算法对西安老城区的街景图像进行打分,以分析获取街道空间品质视觉感知评价结果。具体工作流程如下。

(1)Open Street Map(OSM)数据处理。

收集研究区的 OSM 街道网络数据,并进行数据清洗,共获得研究区 1531 条街道数据,在 ArcGIS 软件中每间隔 50 m 创建一个街景收集点,同时确保每段街道内部至少有 1 个街景点。最终,创建拟采样点共计 1531 个。

(2) 百度街景图像获取及处理。

百度街景借助空间全景摄影技术采

集街道的全视角环境信息,凭借其较高的分辨率、覆盖密度以及相对开放的 API 获取接口,在学界得到了广泛应用。本研究使用平台授权 AK 码,获取了上述 1531 个拟采样点的街景图像。在采集过程中,充分模拟人眼视角下城市空间的真实图景,将水平方向范围(fov)设置为 90°,垂直视角(pitch)设置为 20°。在每个采样点,分别从水平视角(heading)0°、90°、180°、270°这 4 个方向抓取图片,下载尺寸为 600×400 像素的图片。之后,针对拟采样点进行数据清洗,筛选并剔除无效的街景点位。最终,在 1483 个有效采样点中,获取到 5932 张可供识别的有效街景图像。通过拼合各采样点 4 个

视角的街景图像,确保每个街景点都能完整表征城市街道的感知情况。

(3) 图像语义分割及数据处理。

使用图像语义分割模型 MIT ADE20K 对街景图像进行语义分割。MIT ADE20K 是由麻省理工学院计算机视觉团队发布的用于语义分割及场景解析的训练和评估平台^[11]。本研究采用该模型,挖掘居民空间品质感知与视觉元素之间的关系。通过 150 个语义类别提取图像特征,识别和分割图像中的对象实例,为图像像素预测类标签,并计算出各类别的占比,最终生成要素分割特征的 CSV 文件。

(4) 街道视觉感知评价打分。

首先对图像语义分割结果进行处理,

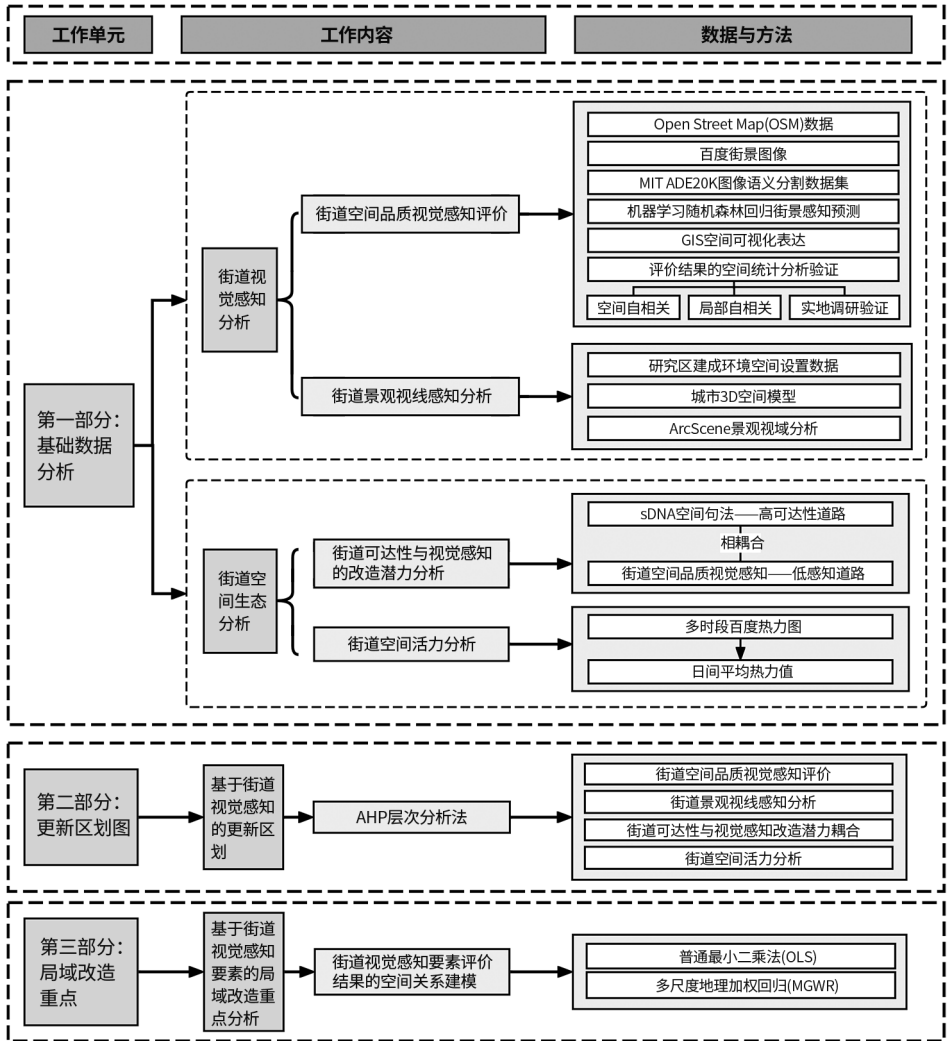


图1 基于视觉感知的街道步行品质测度与更新区划方法框架

剔除空间影响趋向于零的语义类别后, 剩余 20 类有效数据。其次, 对 1483 个采样点的街景图片进行 15% 的典型抽样, 共抽取 222 张图片。邀请 10 名了解研究区域历史和文化背景的专业人士作为志愿者, 对样本进行打分。在实验开始前, 组织志愿者对研究区进行实地调研, 通过现场观察来探究街道空间在实际建成环境中的视觉感知, 以此减少二维街景照片对空间环境真实感受造成的偏差。志愿者的年龄为 20~50 岁, 其中: 20~30 岁的有 4 人; 31~40 岁的有 4 人; 41~50 岁的有 2 人。男女比例约为 1:1。实验时, 集中召集志愿者通过大屏幕放映图片进行阅览, 志愿者分别对 1483 张图片逐一打分, 分值设定为 1~6 分。由于志愿者最终的打分结果差异性较小, 取平均值作为样本的最终感知得分。

在 PyCharm 中构建机器学习随机森林模型, 基于志愿者打分结果与 MIT ADE20K 的街景图像分割数据, 对其余街景图片进行预测打分。其中将 70% 的志愿者感知评分数据用于训练随机森林模型, 另外 30% 的数据作为模型验证的测试数据。针对图像语义分割得出的 20 项有效类别结果, 提取其中各视觉要素的面积占比, 并将其与志愿者打分结果进行拟合, 以此开展机器学习。通过回归分析观察各对象的标准化系数, 比较每个对象对特定感知属性的贡献程度。最终, 构建了一个预测准确度达到 81.25% 的机器学习模型。利用该模型对其余街景图像进行感知打分, 从而获取到全部 1483 张街景图像的感知分数。

(5) 街道视觉感知评价结果的空间统计分析验证。

在 ArcGIS 中创建研究区网格, 将 1483 个街景点的视觉感知评价分数投射到空间中, 进行统计分析以验证其合理性。具体分析与地理位置相关的数据间的空间依赖、空间关联或空间自相关与

局部自相关。建立街景点空间位置与视觉感知评价结果的统计关系, 分析街道视觉感知评价的空间分布规律, 并通过实地探查验证统计分析结果中的聚类及异常值区域, 以确保评价结果的可靠性。

使用 ArcGIS 进行空间统计, 运用 Global Moran's I 工具进行空间自相关分析, 通过计算莫兰指数、Z 得分和 P 值, 对视觉感知评价结果的显著分布性进行评估。评估结果显示, 数据的 P 值为 0.000 000, Z 得分为 18.319 252, 预期指数为 -0.000 675。P 值 < 0.05, 表明结果可信; Z 得分为正数且大于预期指数, 说明数据非随机分布的概率为 99%。因此, 可以拒绝零假设, 结果表明数据呈现高值聚类, 即高感知得分区域呈聚集状态分布。

在确保空间存在全局自相关之后, 进行局部自相关分析, 以判断空间中局部与整体之间的自相关关系。将 Global Moran's I 分解到空间各个部分, 通过 Z 检验形成 LISA 聚集图。该图能够反映研究区域及其邻域变量的空间聚集或分异的具体位置, 进而揭示对全局关联影响较大的区域。最终, 计算得出具有统计显著性的高值 (HH) 聚类、低值 (LL) 聚类、高值主要由低值围绕的异常值 (HL) 以及低值主要由高值围绕的异常值 (LH)。针对这些显著性结果, 在研究区进行实地探查, 以此验证街道视觉感知评价结果在空间判断方面的可靠性。

2.2.2 街道景观视线感知分析

对西安老城区的街道景观视域展开分析, 判断人群在步行过程中对街道周边环境的可视性, 以此研判区域的更新改造潜力。运用西安老城区建成环境的空间设置数据, 在 ArcScene 软件中构建老城区的完整空间三维模型。在模型中, 于 1.5m 高度处沿街道路网模拟绘制人在街道中行走时密集的观览视点, 分析行人视线下的空间视域可见性。最终结

果显示, 可见性高的区域具有较大的优化潜力。针对这些区域的周边环境进行有针对性的更新, 能够更有效地提升街道步行空间品质的视觉感知效果。

2.2.3 街道可达性与视觉感知的改造潜力分析

基于 ArcGIS 平台, 运用 sDNA 工具对西安老城区的街道步行可达性进行分析。可达性基于街道空间结构来衡量一个空间吸引到达交通的潜力, 也就是对人类活动的吸引力。研究表明, 我国一、二线城市居民的平均步行活动半径约为 500m, 并且 500m 通常被认为是人群步行的舒适距离^[12]。因此, 本研究将 500m 设定为可达性分析半径。最终, 将分析结果中可达性在前 20% 的道路与街道空间品质视觉感知得分为 1~2 分的道路进行耦合分析, 得出高可达性但感知较差的街道, 这类街区具有较高的改造潜力。

2.2.4 街道空间活力分析

基于百度热力图研判街道区域的人流量, 进而分析西安老城区街道的空间活力。百度热力图通过手机基站获取总数过亿的庞大用户群的活动地理位置数据, 这些数据能够有效说明城市人口分布、交通出行等基本情况。

西安老城区的人群出行活动代表时段为 7:00—22:00。本研究通过百度地图开放 API 端口, 在 2024 年 7 月 24 日, 每隔 1h 获取 1 次数据, 最终获取到 7:00—22:00 时段内的 16 张研究区百度热力图。随后, 使用 ArcGIS 计算生成“街道平均热力图”, 以此分析街道空间活力, 为街道空间生态研究提供数据支撑。

2.2.5 基于街道视觉感知的更新区划

在街道更新区划分析中, 针对以上 2 个维度的 4 项分析结果, 运用 AHP 层次分析法建立综合评价体系。该体系构建为三层次结构模型, 邀请城市规划、风景园林、大数据管理、人文地理等领

域从事科研与管理工作的 7 位专家,对各级指标进行打分。专家们使用 1~9 标度进行两两比较,衡量各层级之间指标的重要性,进而得出各指标的权重(表 1)。随后,在 yaahp 软件中对各专家的评价结果判断矩阵进行一致性检验。对于通过检验的打分权重值,进行算术平均处理,最终得到各指标的权重值。通过这一系列操作,确保专家评价结果和判断矩阵满足可信度要求。

通过数据标准化方法对因子评价取值进行无量纲化处理,设定评价范围为 0~10,数值越大,表明该区域对于更新的需求越迫切。接着,将研究区空间单元中各因子的标准化评分取值与权重相乘并累加,得出全部单元空间的综合评价值。计算公式如下:

$$K=\sum_{i=1}^n x^i a^i \tag{1}$$

式中:K 代表每个评价单元的综合分值;
i 代表第 i 个评价因子;
 x^i 代表第 i 个因子的取值;
 a^i 代表第 i 个因子的权重。

对于计算得出的综合评价值,采用分位数法进行分类与可视化处理。依据街道视觉感知情况,将更新区划分为紧迫更新区、必要更新区、重要更新区、一般更新区 4 种类型。这一划分结果能够为城市开展街道步行空间品质视觉感知提升工作提供指导。

2.2.6 基于街道视觉感知要素的局域改造重点分析

对街道视觉感知评价结果的空间关系进行建模,分析显著空间异质性中重点视觉要素的异质分布情况,以此辅助判断局域更新改造的重点。对街道视觉感知评价结果进行普通最小二乘法(OLS)分析,在此过程中,选取街道视觉感知评分结果中排名前 10 位的重点要素,针对这些要素对应的空间分布及占比数据进行回归分析,以检验是否存在异质性的视觉要素。普通最小二乘法(OLS)遵

循线性回归的基本假设,通过 K 值判断解释变量在空间中是否平稳。若 K 值显著,则表明解释变量呈非平稳状态,此时可进一步利用局部回归模型进行深入探索。在针对西安老城区的回归分析中,结果显示 id2 要素的 VIF 大于 7.5,表明该要素存在共线性问题。同时,id33、id13 这 2 项要素的 P 值不显著,意味着这 2 项要素的回归结果可信性较差。剔除上述 3 项要素后,剩余的 7 项要素被认定为存在异质性的要素,后续将针对这些要素进一步开展空间回归分析。

使用 MGWR 软件,对筛选出的 7 项有效显著性视觉要素进行多尺度地理加权回归分析,基于空间变化关系建模,解释变量的局部空间关系与空间异质性。在分析过程中,引入研究区全部 1 483 个采样点的地理坐标数据,设定 7 项有效显著性视觉要素占比数据作为自变量 x,采样点对应的感知得分作为因变量 y。对相关数据进行多尺度地理加权回归分析,并进一步开展筛选工作,从 MGWR

回归结果中提取具有空间异质性分布特性的各项视觉要素(即回归系数绝对值大于对应 T 值绝对值的显著性数据),并进行 ArcGIS 空间可视化表达。在可视化结果中,系数绝对值越大的 id 类要素,在该区域对空间视觉感知产生的影响越大。其中,系数大于 0 的要素对空间视觉感知起到正向影响,系数小于 0 的要素则起到负向影响。基于这一结果,可进一步判断研究区局域更新改造的重点。在此部分研究中,由于因变量和解释变量属于空间数据,在进行普通最小二乘法(OLS)计算时,空间中存在聚类或离散关系的数值可能存在少量误差项。此时,可结合空间自相关结果,关联判断并验证度量相关空间联系程度,以确保分析结果的准确性和可靠性。

3 西安老城区街道步行品质测度结果

本研究运用多源大数据分析视觉感

表 1 基于街道视觉感知的更新区划——AHP 指标权重一览

一级因子	权重	二级因子	权重	分级标准	标准化取值域
街道视觉感知	0.500	街道空间品质视觉感知	0.375	1 分	10
				2 分	7
				3~4 分	4
				5~6 分	1
		街道景观视线感知	0.125	极高可见性	10
				高可见性	7
				中可见性	4
				低可见性	1
				不可见	0
街道空间生态	0.500	街道可达性与视觉感知的改造潜力	0.250	相距< 50 m	10
				相距 50~100 m	7
				相距 100~200 m	4
				相距 200~500 m	1
				相距> 500 m	0
		街道空间活力	0.250	极高热力值	10
				高热力值	7
				中热力值	4
				低热力值	1

知与空间生态的多项要素(图2~图4),以锚定区域空间品质现状,清晰识别可步行性优化需求。基于此凝练空间提升骨架,对研究区开展更新区划。同时,探查区域间显著视觉感知要素的空间分异特性,分析局域改造重点,为实际应用提供要素提升参考。

3.1 街道视觉感知分析

在街道空间品质视觉感知评价中,将1483个街景点的评分结果通过ArcGIS软件进行空间赋值,并进行可视化。一般来说,视觉感知评分越低的区域,其更新改造的需求也就越高。

同时,对街道空间品质视觉感知评价结果进行空间统计分析验证。通过空间自相关分析确认空间存在聚集型后,进一步对数据进行局部自相关分析,探究感知结果的分布规律。计算得出具有统计显著性的高低值及异常值聚类,通过实地探访,对照聚类及异常值区域来验证分析结果。经过实地探访发现,高值(HH)聚类区的视觉感知普遍较好,这些区域多为公园、广场、政商办公区、旅游景点等,如广仁寺、瓮城文化广场、革命公园等环境优美的景观点邻近区域。不过,其中涉及钟楼环岛公路的区域出现了异常值(LH),这表明环岛公路对空间环境感知存在负面干扰。此外,许多高值(HH)聚类区域处于视野较为开阔的道路节点上,如东大街与南新街交口、西安火车站南广场、五路口、东新街交叉路口;低值(LL)聚类区则存在连片视觉感知较差的问题,这类区域多为空间拥挤的老旧小区与棚户区所在地,如香米园老旧小区、解放门老旧小区等。在中西部,存在连片的低值(LL)聚类区,包括北院门、大皮院、小皮院区域,这些区域内“老破小”建筑密集分布,周边环境杂乱。但这些区域外围分散着回民街、莲湖公园等旅游区,其环境整治相对较好,因此在这

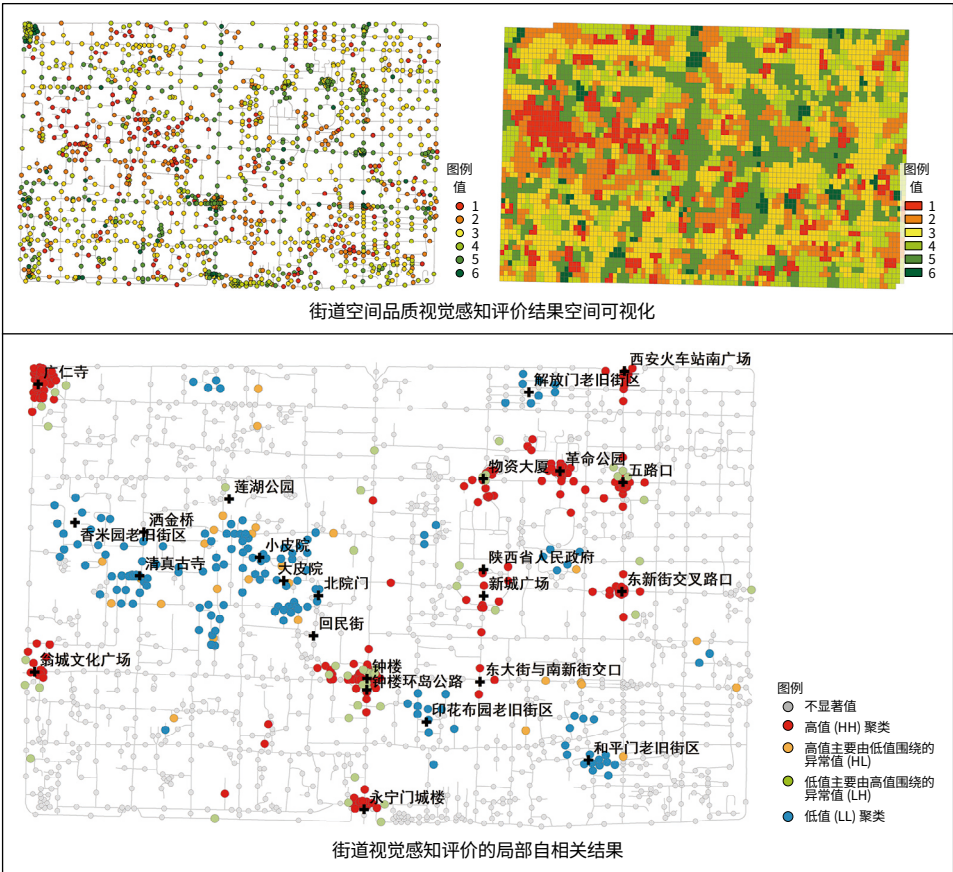


图2 研究区街道空间品质感知评价与局部自相关结果

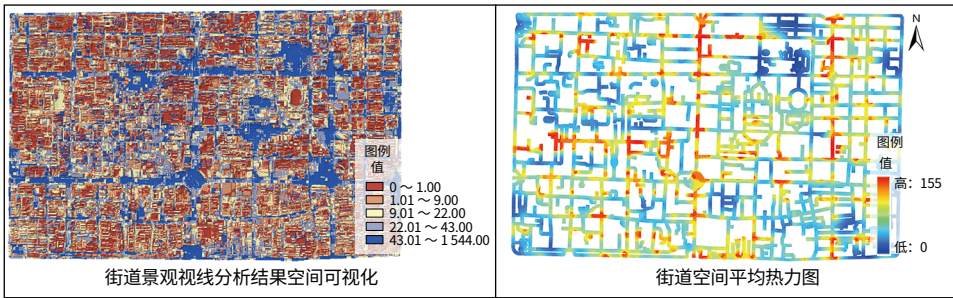


图3 研究区街道景观视线感知与百度热力分析

些区域周边出现了异常值(HL)聚类。经过实地走访调研,验证局部自相关分析与实际情况具有极高的一致性。

进一步开展街道景观视线感知分析,在ArcScene软件中构建西安老城区的3D空间模型,以分析道路空间的视域情况,并进行可视化。在分析过程中,采用分位数法对视域进行分类,从而判断不同区域的可见程度。一般来说,可见程度较高的区域往往具有更大的更新改造潜力。

3.2 街道空间生态分析

在街道可达性与视觉感知的改造潜力分析中,对街道中的高可达路段与低感知路段进行耦合,生成高改造潜力路段。在此判定逻辑下,距离耦合路段越近的区域,其改造需求越高。在街道空间活力分析中,使用西安老城区多时段的百度热力图,基于人群聚集量计算日间平均热力值。日间平均热力值越高的区域,其改造潜力越大。

3.3 街道更新区划与局域改造重点要素分析

依据 AHP 层次分析法对西安老城区上述 2 个维度的 4 项空间数据指标综合评价结果按权重叠加，使用标准化取值域计算权重叠加得出空间单元的综合评价价值。据此将街道步行视觉感知更新区划分为紧迫更新区、必要更新区、重要更新区、一般更新区 4 种类型 (图 5)。在实际应用中依据更新紧迫等级，进行更新工作的分批或分级制定，分重点、有层次地进行城市步行环境提升。

在局域改造重点分析中，对西安老城区街道视觉感知评价结果进行空间关系建模。将普通最小二乘法 (OLS) 分析判定的 7 项存在异质性的重点要素进行多尺度地理加权回归 (MGWR)，并对具有空间异质性分布特性的显著性数据进行空间可视化 (图 6)。结果显示，存在异质性的 7 项对空间感知结果影响较大的重点要素分别为“id7 道路”“id5 树”“id3 天空”“id12 人行道”“id1 墙”“id44 招牌、标志”“id18 植物”。要素的异质性绝对值越大，表明其对空间视觉感知起到的影响也就越大。其中：系数大于 0 时，要素起到正向影响；系数小于 0 时，要素起到负向影响。回归结果显示，“id1 墙”“id44 招牌、标志”对空间起到负向影响，其余 5 项要素均起到正向影响。在实际应用中，可基于该数据分析研究区局域更新改造的重点，在对应区域依据系数绝对值，并结合实际情况，合理增加起到正向影响的要素，或减少起到负向影响的要素，从而有效提升街道视觉感知品质。

4 街道可步行性优化路径

在整体更新改造中基于街道更新区划确定更新紧迫性，分批分级制定更新目标。结合局域改造重点要素分析空间

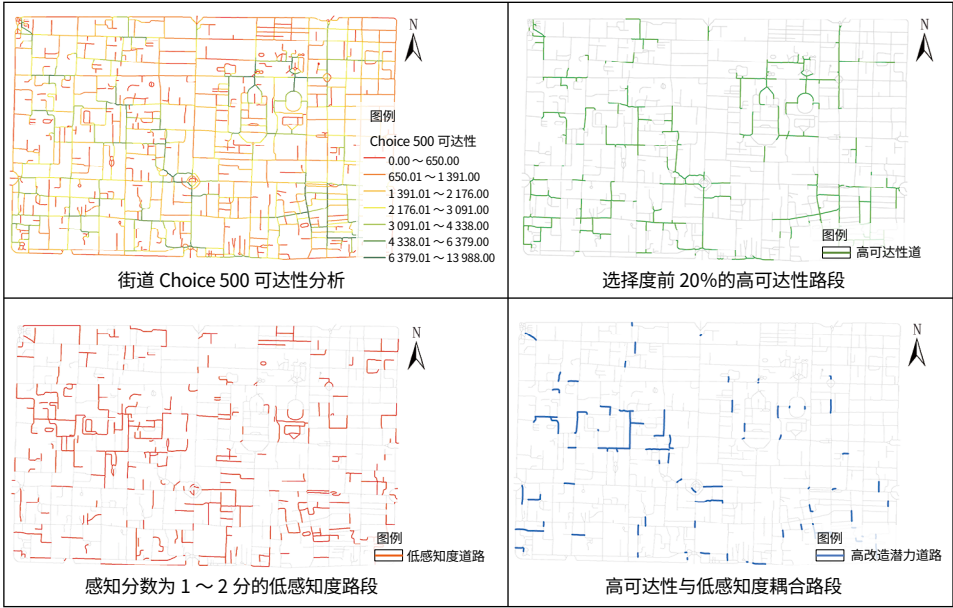


图 4 研究区街道可达性与视觉感知的改造潜力空间可视化

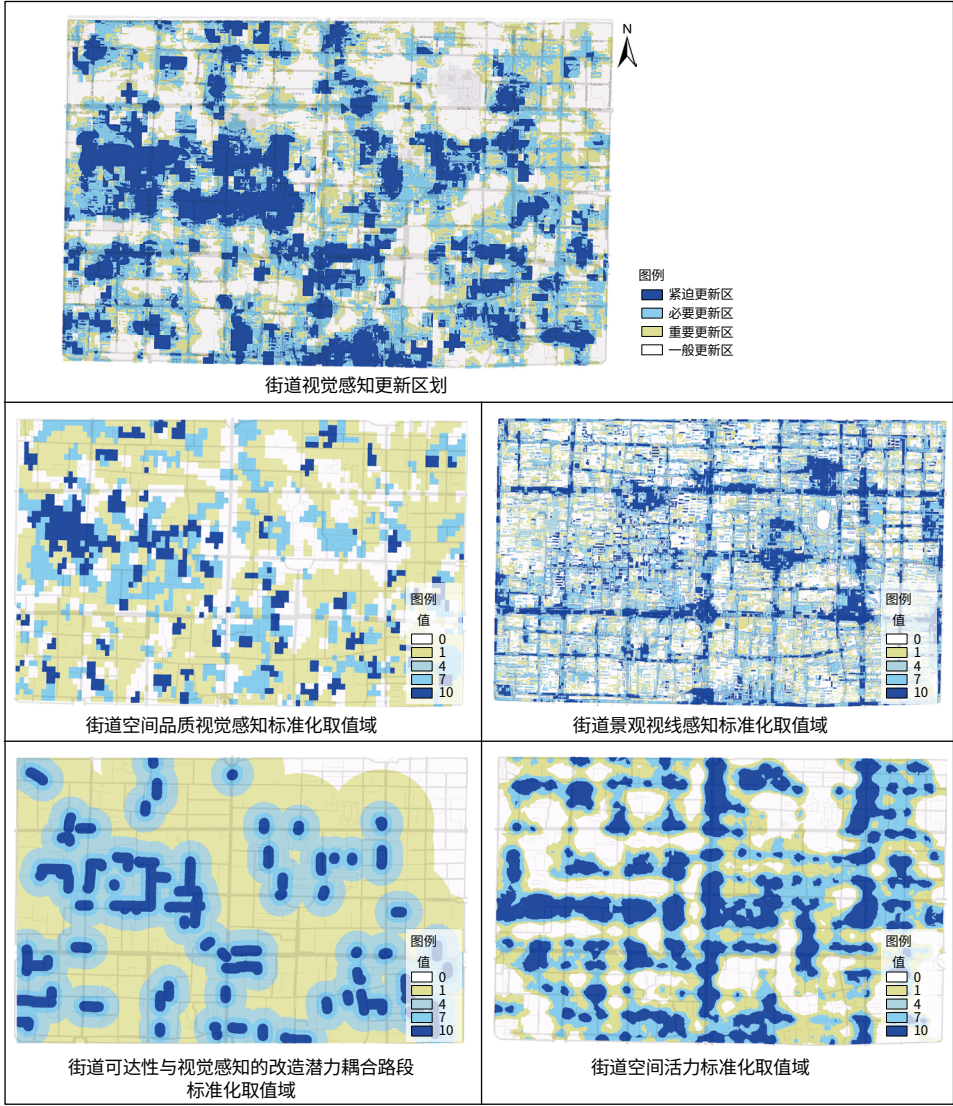


图 5 基于街道视觉感知的更新区划与各指标要素标准化取值域

需求,组织街巷周边环境,适配空间结构,以实现空间的可持续性。

在案例研究区的更新中,一级区覆盖了大量老旧街区,包含重要旅游景点。该区域的空间品质较低,改造效益较高,是最迫切需要更新的区域。“id7 道路”“id12 人行道”“id5 树”“id1 墙”“id3 天空”这几项要素的提升有助于环境改善。具体而言:可对道路及人行道进行梳理整治,提升其连通性;增加树木种植,改善绿化环境;拆并或整修老旧社区的围墙;精简空间要素,提高视野开阔性。二级区多涉及棚户区和历史街区外围,以及多处主干交通网周边区域。该区域人群较为密集,人流量大,提升需求较高。“id3 天空”“id7 道路”“id12 人行道”“id1 墙”这几项因素对区域的影响度较高,可通过优化街道道次分配、提升连通性、开阔周边视野等进行改善。三级区多零散分布于一级区、二级区周边的串联街巷空间,同样具有重要的提升价值。可根据需求美化社区围墙、梳理人行道,以增强空间秩序感。四级区现状条件较为良好,为继续保证其空间环境优势,可综合考量局域改造重点要素的显著分异特征,进行一定程度的优化。基于此,提出以下规划优化路径。

4.1 “分级管控—要素靶向”的差异更新路径

一是核心历史街区风貌协调。针对钟楼、回坊等视觉感知复杂度高但文化意象突出的区域,以“微改造、精提升”为原则,优先修复传统建筑立面肌理,优化沿街招牌高度与色彩协调性,并植入文化标识系统,以降低视觉信息过载对步行体验的干扰。二是商业功能主导区活力提升。针对东大街、南大街等高人流但步行舒适度低的街道,通过拓宽人行道、增设树池休憩设施、优化夜间灯光层次,强化视觉通透性与空间可达

性。同时,结合空间活力分析结果,在商业密集段增设口袋广场,缓解步行拥堵。三是居住生活区品质优化。针对三学街、湘子庙街等以居住功能为主但设施老化的街道,进行需求响应型设施布局,依据空间使用热力数据,补充社区生活服务设施,整治占道停车问题,通过垂直绿化与围墙透绿提升街道生态感知品质。

4.2 “视觉锚点—生态网络”协同优化路径

一是构建视觉锚点系统。基于街道视觉感知分析中识别出的地标建筑、历史节点(如城墙、钟楼),划定视觉通廊控制区,限制新建建筑高度与体量,确保关键文化意象的视觉可达性;在视觉单调路段增设公共艺术装置或景观节点,以提升步行的趣味性。二是串联生态感

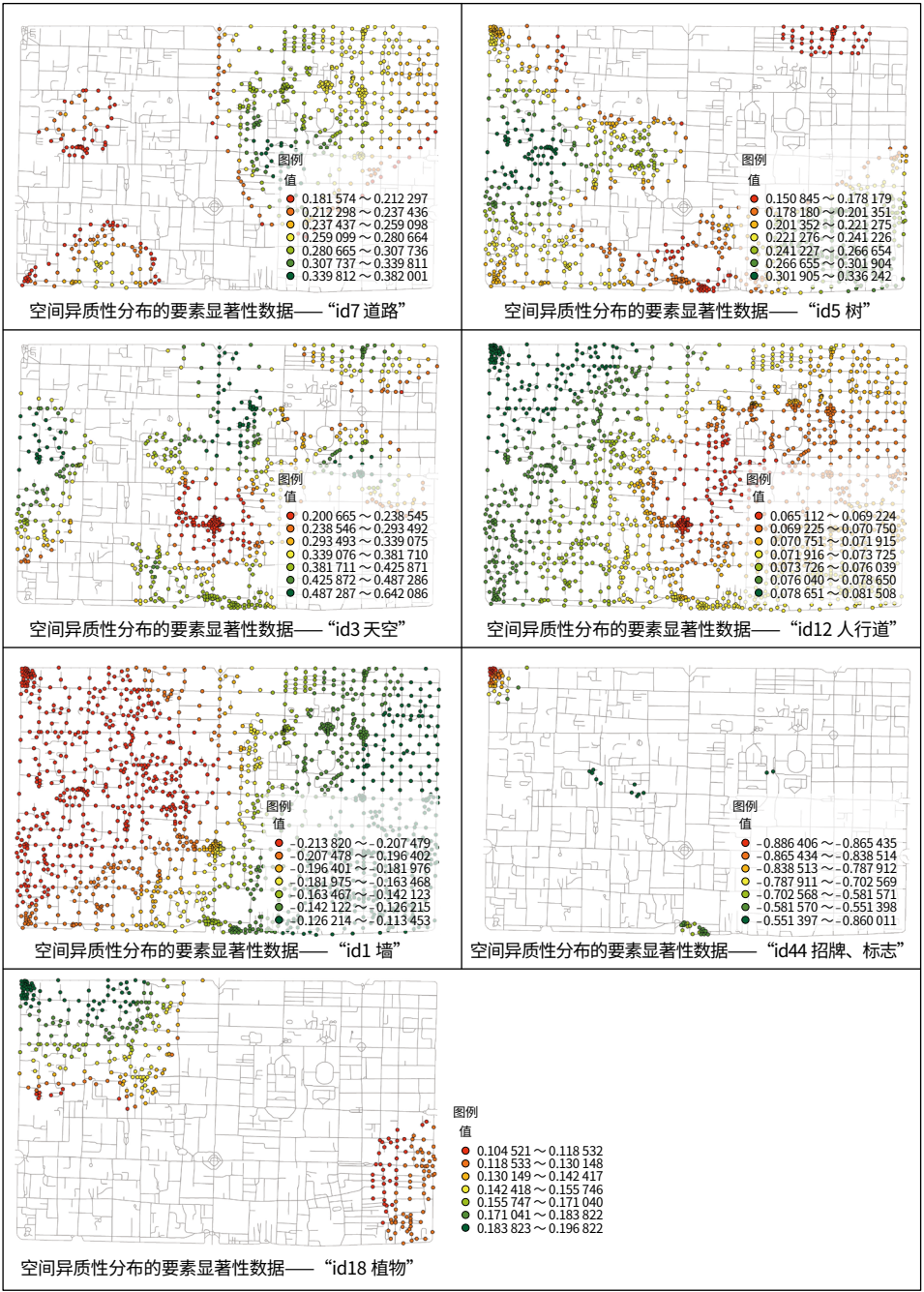


图6 7项有效显著性视觉要素的多尺度地理加权回归结果

知廊道。依托研究识别的“绿视率”低值区域(如北大街、西华门),构建“城墙风道+街巷绿链”复合系统,对于居住密集型老旧街道,鼓励推行“拆墙透绿”,优先在街道连续界面植入绿化模块,结合行道树补植等,以提升热环境舒适度与视觉生态性。

4.3 “数据赋能—动态反馈”的智慧治理路径

一是搭建多源数据监测平台,整合街景图像语义分割数据、街道热力人流密度等多维信息,建立街道步行品质动态评价机制,识别区域问题。二是构建更新效果量化反馈机制,针对改造试点街道,通过对比改造前后街景图像绿视率、视觉复杂度、行人停留时长等指标,形成“设计—实施—评估”闭环,优化后续更新方案。

5 结束语

在新型城市高质量发展背景下,大数据及数字化方法的引入为开展大规模、高精度的街道步行优化工作提供了更多可能。面向健康城市人居环境需求,本研究提出了一个基于视觉感知的街道步行品质测度与更新区划方法框架,并以西安老城区为例进行了实证分析。与传统的城市更新方法相比,本研究提出的方法框架具有较高的实操性。

本研究从区域层面指明了总体优化方向,为空间单元个体提供了优化思路。通过街景图像机器学习、图像语义分割、城市3D空间建模、空间统计、空间句法、百度热力数据等多源大数据,精准识别出提升步行空间品质所涉及的街道视觉感知和街道空间生态2个维度。进而,通过将人群感知与空间使用状态相结合,量化了“街道空间品质视觉感知”“街道景观视线感知”“街道可达性与视觉

感知的改造潜力”“街道空间活力”4项空间品质测度因子。最终,在精准识别的基础上,得出研究区的更新区划图及局域改造重点要素。

本研究探讨了两个问题:一是如何针对步行友好城市的街道空间环境质量进行精准区划;二是在进一步局域改造和街道空间品质提升中如何把握重点要素。同时,本研究在两方面实现了创新贡献:一方面,有效整合并融合了针对视觉环境提升以创建步行友好城市的研究方法,弥补了单一要素方案在综合实践应用中的不足,探索出一种可靠的指导街道步行空间优化的理论与实践方法;另一方面,量化了与视觉步行性相关的2个维度、4种要素的数据,为科学判断街道步行空间视觉提升的紧迫度提供了有效途径。

然而,本研究仍存在一定的局限性,研究使用图像分割技术判定的街道建成环境变量并非包罗万象。必须承认,影响街道视觉感知的变量很多,如不同时间段的街道视觉感知差异等,但受到数据量化和数据收集的限制,这些变量难以纳入研究范畴。在未来的研究中,可以纳入更充分的环境变量或分析因子,以开展更全面的探索。

【参考文献】

- [1] 阳建强. 城市更新理论与方法[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
- [2] 许雪琳, 马毅, 朱郑炜, 等. 厦门市滨海空间更新潜力评估及更新策略研究[J]. 规划师, 2022(2): 121-126.
- [3] 陈虹, 叶晟之, 慕容卓一. 数字增强下的城市步行空间设计与优化方法: 以广州火车站片区详细规划为例[J]. 规划师, 2024(10): 128-134.
- [4] 张伊博, 卓晴, 王璨. 高密度城市步行适宜性研究: 以香港岛地铁站沿线区域为例[J]. 规划师, 2024(增刊1): 109-116.
- [5] 葛天阳, 后文君, 阳建强. 步行优先的城

市中心区空间结构及更新路径: 英国百年更新实践研究[J]. 城市规划, 2023(7): 51-63.

- [6] 葛天阳, 后文君, 阳建强. 基于价值特征的城市中心区步行系统建构[J]. 中国园林, 2023(12): 88-93.
- [7] LI Y, YABUKI N, FUKUDA T. Measuring visual walkability perception using panoramic street view images, virtual reality, and deep learning[J]. Sustainable Cities and Society, 2022, 86: 104140.
- [8] ZHANG H, NIJHUIS S, NEWTON C. Advanced digital methods for analysing and optimising accessibility and visibility of water for designing sustainable healthy urban environments[J]. Sustainable Cities and Society, 2023, 98: 104804.
- [9] YE Y, RICHARDS D, LU Y, et al. Measuring daily accessed street greenery: a human-scale approach for informing better urban planning practices[J]. Landscape and Urban Planning, 2019, 191: 103434.
- [10] WU C, YE Y, GAO F, et al. Using street view images to examine the association between human perceptions of locale and urban vitality in Shenzhen, China[J]. Sustainable Cities and Society, 2023, 88: 104291.
- [11] ZHOU B, ZHAO H, PUIG X, et al. Scene parsing through ade20k dataset[C]// Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2017.
- [12] LYU Y, FORSYTH A. Attitudes, perceptions, and walking behavior in a Chinese city[J]. Journal of Transport & Health, 2021, 21: 101047.

【收稿日期】2024-11-22;

【修回日期】2025-02-22