

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2024.03.018

于士祥, 李乐梅, 杨琪瑶, 等. 促进时空可达的高校新校区步行路网优化——以重庆医科大学缙云校区为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(3): 201-210.

促进时空可达的高校新校区步行路网优化

——以重庆医科大学缙云校区为例

于士祥^{1,2}, 李乐梅³, 杨琪瑶³, 朱伯平⁴, 卢载铉²

1. 西南大学 园艺园林学院, 重庆 400715; 2. 韩国又石大学 造景建设工程系, 韩国 全州 565701;

3. 大连理工大学建筑与艺术学院, 辽宁 大连 116085; 4. 重庆医科大学 后勤处, 重庆 401331

摘要: 可达性是高校校园步行出行的基本要求。然而, 我国高校新校区既有步行路网存在局部空间可达水平偏低、近距离绕行等问题。本研究以重庆医科大学缙云校区为例, 采用空间句法理论下的线段模型和 ArcGIS 最优路径分析模型, 量化其步行时空可达水平; 结合步行空间实际使用水平, 提出校园步行路网的改善方案并评估方案的步行可达性。研究发现: ① 分级的步行路网可提升全局和局部空间可达性, 精细的道路设施设计可确保实际使用的可达性; ② 有序的游憩步道可增强空间感知的可达性; ③ 以吸引点为导向的步行捷径可改善时间可达性。

关键词: 新校区; 步行路网; 时空可达性; 空间句法; 线段模

型; ArcGIS 最优路径分析

中图分类号: TU984.18

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2024)03-0201-10

Optimizing Pedestrian Road Networks in New Campus of University toward Spatiotemporal Accessibility Improvements

——A Case Study of Jinyun Campus of Chongqing Medical University

YU Shixiang^{1,2}, LI Lemei³, YANG Qiyao³,
ZHU Boping⁴, LU Zaixuan²

1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Department of Landscape and Architecture, Woosuk University, Jeonju 565701, South Korea;

3. School of Architecture and Fine Art, Dalian University of Technology, Dalian Liaoning 116085, China;

4. Department of Logistics, Chongqing Medical University, Chongqing 401331, China

收稿日期: 2023-05-17

基金项目: 重庆市高等教育教学改革研究重点项目(212031); 西南大学教学改革重点项目(2020JY091); 西南大学基本科研业务费专项资金项目(XDJK2015C163)。

作者简介: 于士祥, 硕士, 讲师, 主要从事风景园林规划设计、环境行为研究。

Abstract: Accessibility is a fundamental requirement for walking through the campus of university. However, new university campus face issues of pedestrian road networks, such as limited local spatial accessibility and short-distance detours. Taking Jinyun Campus of Chongqing Medical University as an example, this paper quantified the spatiotemporal walking accessibility using the line segment model under the space syntax theory and the ArcGIS optimal path analysis model. By combining the modeling results with real-world usage of the walking spaces, this paper proposed the improved plan for the pedestrian road network on the campus and evaluated its walking accessibility. The research findings indicate that: ① The hierarchical pedestrian network can improve both global and local accessibility, and the fine design of road facilities can ensure the practical accessibility. ② Incorporating orderly recreational trails improves the accessibility of spatial perception. ③ Creating destination-oriented pedestrian shortcuts enhances the temporal accessibility.

Key words: new campus; pedestrian road network; spatiotemporal accessibility; space syntax; line segment model; ArcGIS optimal path analysis

1999 年后,随着高等教育的普及与师生人数的增长,不少高校相继建设了新校区。新校区规模较大,如重庆大学虎溪校区和四川农业大学成都校区等用地均超过 2.00 km^2 。校园规划时,常将校区划分为教学区、活动区和宿舍区等功能单一、相对独立的子区;子区之间通过车行道连接,步行道被视为车行体系的附属^[1]。这类以车为本的路网组织方式易造成局部功能区之间缺少直捷的步行道路,导致近距离步行绕行,无法较好地满足步行上课等具有出行时耗压力的步行活动需求^[2-3]。因此,面向时空可达的步行路网改善已成为高校新校区校园环境品质提升的重要议题之一。

空间句法在研究空间环境的逻辑结构和组织规律方面存在优势^[4-6]。基于该理论,利用轴线模型,张浩^[7]、车鑫等^[8]分别测度了武汉大学信息学部校园绿地、工学部教学楼的可达性;何志华等^[9]分析了南昌大学前湖校区教学楼的可达性及布局的合理性;利用线段模型,赵燕萍等^[10]分析了湖南工业大学校园中轴广场的空间可达性和活力程度。这些研究关注高校校园局部空间的可达性及局部路网改进,然而,未系统考虑师生步行出行的完整需求,未提出基于步行可达的校园整体路网优化策略。此外,空间句法平面化的空间可达性分析无法全面反映高校校园的设施布局与路网效能,有必要结合时间可达性展开系统探索。

本研究以重庆医科大学缙云校区(下文简称“重医缙云校区”)为例,利用空间句法理论下的线段模型(Depthmap 软件平台,版本:Depthmap-Beta 1.0)和 ArcGIS 软件平台(版本:ArcGIS 10.2)中的最优路径分析模型,量化重医缙云校区的步行时空可达水平;结合步行空间实际使用情况,提出校园步行路网的改善方案并评估改善方案的步行可达性,以期为其他高校新校区步行路网优化提供经验借鉴。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

重医缙云校区位于重庆大学城西北部,由 9 个相对独立、面积较大的功能子区组成(图 1a)。根据师生日常学习和生活活动情况,步行的出行需求可分为功能性和休闲性两类。其中,前者的主要目的地包括学生宿舍区、教职工住宿区、教学区、行政办公区和附属医院,后者主要目的地包括中央景观区、山水林地区和运动区。

既有步行路网的组织模式为:1)在山水林地区以北,采用嵌套式“8 字型”环线(车行道两侧建人行道)串联各个子区(图 1b),形成校园步行交通的基本骨架。基于该骨架,教学区采用以景观大道为中心的“鱼骨状”步行专用路网(允许消防、救护等特殊车辆使用),学生宿舍区和行政办公区采用部分平行的人车混行路网。2)在山水林地区以南,教职工住宿区和附属医院采用人车混行路网(图 1c)。



图 1 功能分区与既有步行路网

1.2 研究方法

1.2.1 空间句法理论与线段模型

与轴线模型“可视即可达”的原理不同,线段模型考虑真实距离和道路偏转角度对行人的影响^[11]. 相关研究表明,在交通流量预测方面,线段模型与交通流的拟合度高^[12],适于检测道路网络中最佳到达性和穿越性交通路径. 因此,本研究采用空间句法理论下的线段模型,选取整合度(Integration)和拟合度(R^2)为分析指标^[13],基于 Depthmap 软件平台量化重医缙云校区既有步行路网的全局、局部空间可达性和空间感知可达性. 为减少线段数量对分析结果的影响,对整合度进行标准化处理,得到标准化角度整合度(Normalized Angular Integration,半径为 R).

全局空间可达性反映某一路段与整体路网所有路段间相互到达的难易程度,可用全局标准化角度整合度量. 局部空间可达性反映某一路段与局部范围内路段联系的紧密程度,可用局部标准化角度整合度量. 考虑到重医缙云校区校园面积和功能性出行的步行时速(5.00 km/h),计算 400 m,800 m 和 1 200 m 半径下的局部空间可达性. 空间感知可达性反映局部路网与整体路网的关联程度,可用局部标准化角度整合度和全局标准化角度整合度的拟合度量. 对于以上指标,其数值越高,意味着空间的可达性越高.

1.2.2 ArcGIS 最优路径分析模型

最优路径分析模型旨在找寻既有或规划道路网中两个节点之间成本最低的路径,其成本阻抗多为距离(可换算为时间)和费用^[14]. 本研究基于 ArcGIS 软件平台,将步行时耗(步行距离与速度的比值)设为阻抗,计算重医缙云校区校园内部功能性步行出行的吸引点与出发点之间的最短步行时长路径,分析步行的时间可达性.

1.3 研究数据

基于重医缙云校区现状平面图和实地调研数据,按道路中心线原则,在 AutoCAD 软件(版本:AutoCAD 2016)中绘制校园既有步行路网,分别另存为适合 Depthmap 和 ArcGIS 软件使用的 DXF, DWG 格式文件. 其中,DXF 格式文件导入 Depthmap 软件后,需先将步行路网转为轴线模型,再转为线段模型,然后利用节点数(Node Count)构建全局绿色验证模型,删除存在断点和脱离拓扑结构的线段,最终梳理出用于线段模型的步行路网数据^[13-14]. 重医缙云校区改造后步行路网亦采用上述方法获取.

2 重医缙云校区既有步行路网的可达水平解析

2.1 步行的空间可达性

2.1.1 全局空间可达性

重医缙云校区既有步行路网全局标准化角度整合度的最大值、最小值和平均值分别为 0.89,0.33,0.61. 最大值分布在枫渝路东段和学苑中路. 从教学区至其他功能子区,全局标准化角度整合度值下降.

其中, 低于平均值的路段占 53.08%, 表明校园内部步行可达水平偏低. 尤其在教职工住宿 A、B 区和附属医院, 其内部路段全局标准化角度整合度值过低, 步行到达其他功能子区十分不便(图 2).

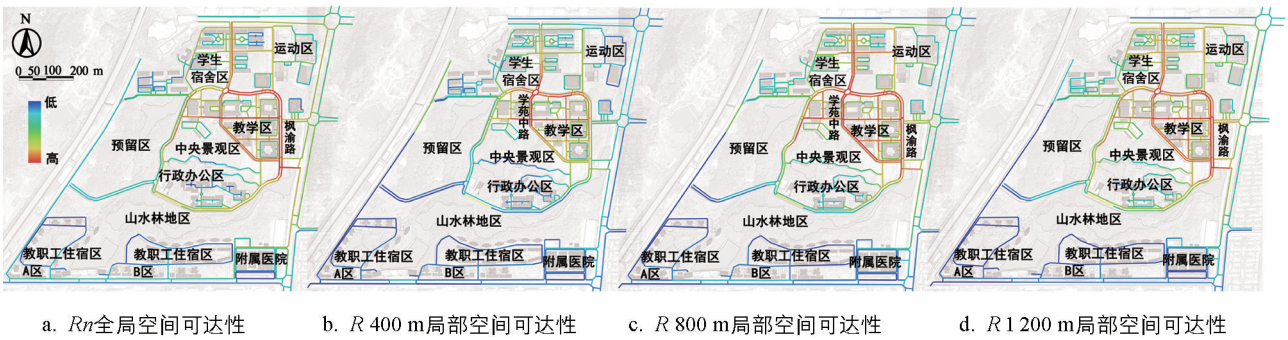


图 2 既有步行路网的全局与局部空间可达性

现场调查行人使用空间, 结果发现: 由于行道树种植池、路灯等设施的侵占, 使得嵌套式“8 字型”环线上的人行道有效宽度不足 1.20 m(图 3a), 造成行人不得不使用自行车道甚至机动车道, 这意味着该段道路的真实步行可达性未达到空间可达性的高值(0.89). 此外, 在枫渝路东段和学苑中路交叉口处(图 3b), 虽建设了人行横道但缺少精细化道路设施, 如未提供行人过自行车道、过机动车道的待行区, 造成人流与自行车、机动车交通流之间存在交互作用, 进而引发人车冲突. 这些缺少精细化设计的路口, 降低了步行路网的全局空间可达性.

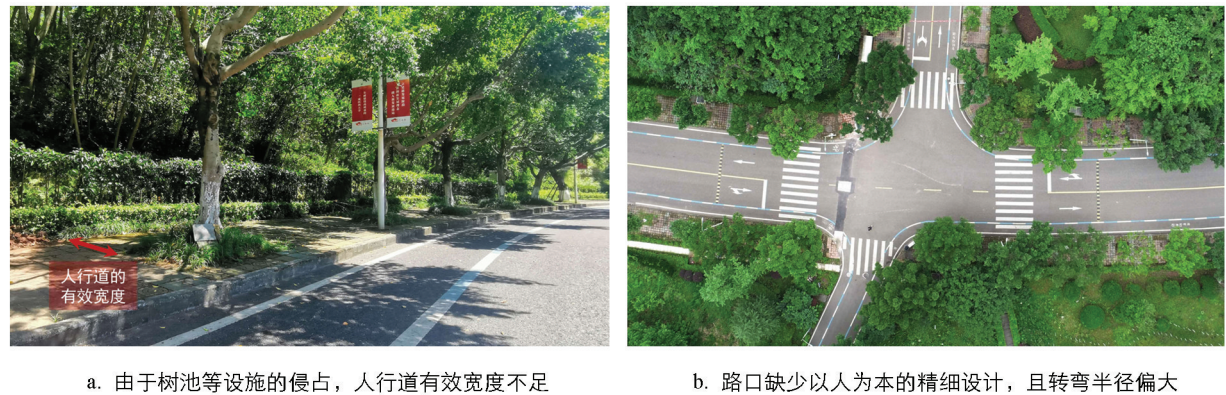


图 3 路段和路口步行设施现状

2.1.2 局部空间可达性

在 400 m, 800 m 和 1 200 m 半径下, 局部标准化角度整合度的最大值分别为 1.72, 1.77, 1.78, 最小值分别为 0.34, 0.36, 0.35, 平均值分别为 0.98, 1.01, 1.12. 虽然这些值大于全局标准化角度整合度的相应值, 但局部和全局空间可达性的分布特征具有相似性. 此外, 在 400 m, 800 m 和 1 200 m 半径范围下, 低于平均值的路段占比亦接近 50.00%, 表明局部空间视角下的步行可达水平也有待提升(图 2b,c,d).

2.1.3 空间感知可达性

x 和 y 分别表示全局、局部标准化角度整合度. 二者的拟合度 R^2 值可校验步行路网的空间感知可达水平: R^2 值大于 0.70 表示可通过局部步行路网获取整体路网的信息, 位于 0.5~0.7 表示步行路网的空间感知可达水平一般, 小于 0.5 则表示步行路网的空间感知可达水平较差^[13]. 在 400 m, 800 m 和 1 200 m 半径下, R^2 值分别为 0.24, 0.44, 0.49, 均小于 0.50(图 4), 表明重医缙云校区既有步行路网的空间感知可达性较差, 无法通过局部空间步行路网感知校园整体步行路网. 此外, 分析各功能子区的空间感知可达性结果(表 1)发现教学区、教职工住宿(A、B 区)和附属医院的 R^2 值较高, 中央景观区和行政办公区的 R^2 值较低. 这表明路网组织的秩序性对空间感知有明显的影响.

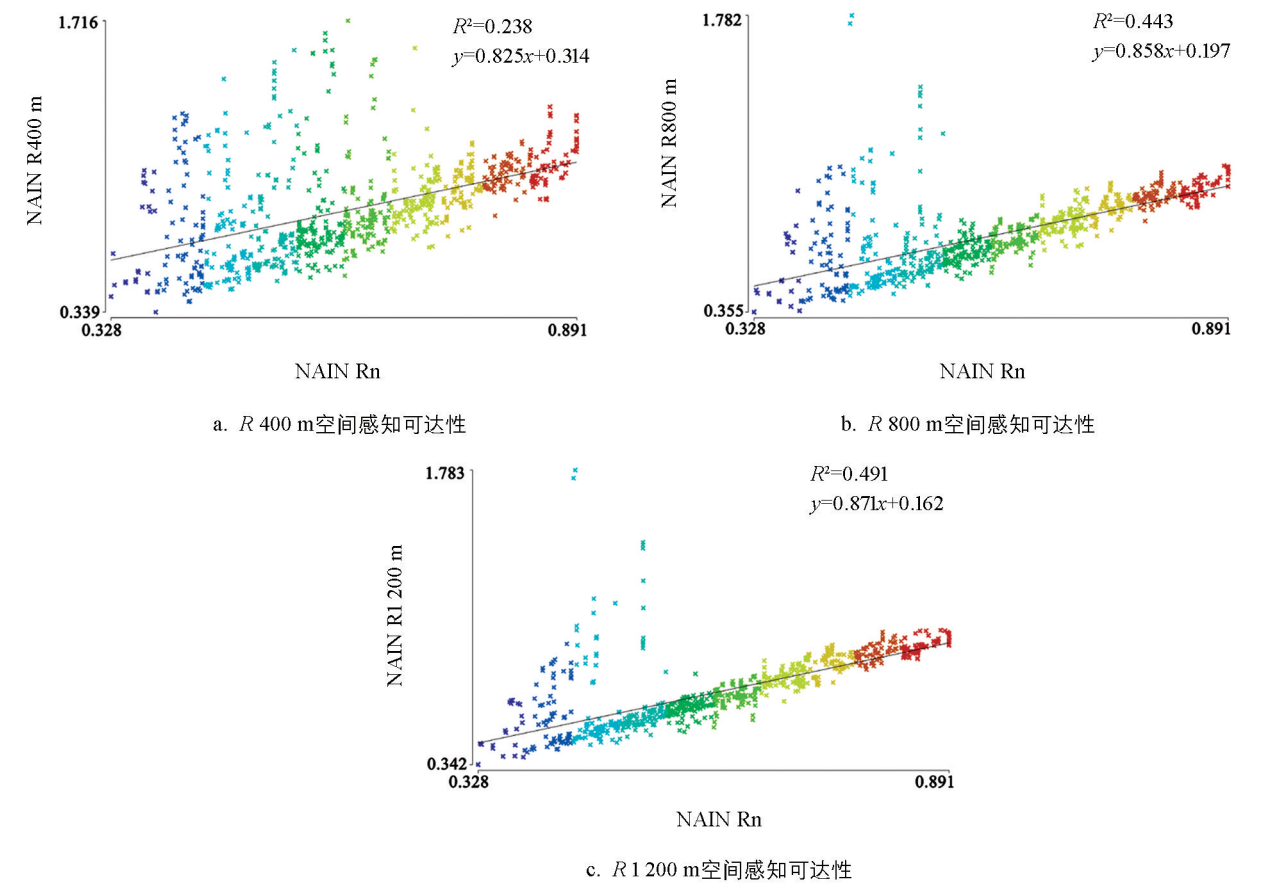


图 4 既有步行路网的空间感知可达性

表 1 各功能子区内部既有步行路网的空间感知可达性

功能区	R=400 m		R=800 m		R=1 200 m	
	R ² 值	空间感知可达性	R ² 值	空间感知可达性	R ² 值	空间感知可达性
学生宿舍区	0.44	较低	0.58	一般	0.62	一般
教学区	0.67	一般	0.76	较高	0.78	较高
行政办公区	0.25	较低	0.39	较低	0.41	较低
中央景观区	0.31	较低	0.40	较低	0.43	较低
运动区	0.40	较低	0.48	较低	0.52	一般
教职工住宿 A 区	0.61	一般	0.72	较高	0.78	较高
教职工住宿 B 区	0.60	一般	0.70	较高	0.78	较高
附属医院	0.64	一般	0.74	较高	0.78	较高

2.2 步行的时间可达性

根据 ArcGIS 最优路径分析模型, 得到重医缙云校区校园步行出行的步行时间与绕行系数(表 2)。在功能性步行出行中, 仅学生宿舍区、行政办公区—教学区的步行时间小于 10.00 min; 学生宿舍区—附属医院, 教职工住宿区—教学区、行政办公区的平均步行时长为 24.00 min。其中, 教职工住宿 A 区—行政办公区的步行时间超过 30.00 min, 绕行系数高达 4.31, 步行的时间可达性极低。虽然游憩性步行出行对步行时间更为包容, 但教职工住宿区—中央景观区、运动区的平均步行时间高达 26.00 min, 两端步行时间占步行总时长的比重过高。此外, 重医缙云校区既有步行路网被山水林地区分割为独立的南北两部分, 学生宿舍区、教学区—附属医院, 教职工住宿区—教学区、行政办公区、中央景观区和运动区, 需绕道校园外的城市主干路, 舒适性不足且存在安全隐患(图 5)。

表 2 现状步行时间可达性与绕行系数

	步行路径	步行时间/min	步行距离/m	绕行系数
功能性步行出行	学生宿舍区—教学区	6.57	548.12	1.05
	学生宿舍区—附属医院	18.67	1 555.03	1.45
	行政办公区—教学区	8.29	691.21	1.23
	行政办公区—附属医院	14.98	1 248.07	2.10
	教学区—附属医院	12.59	1 049.14	1.55
	教职工住宿区 A 区—教学区	29.67	2 472.16	2.41
	教职工住宿区 A 区—行政办公区	31.78	2 648.32	3.53
	教职工住宿区 A 区—附属医院	17.67	1 427.13	1.40
	教职工住宿区 B 区—教学区	23.12	1 926.07	2.56
	教职工住宿区 B 区—行政办公区	25.01	2 084.31	4.31
	教职工住宿区 B 区—附属医院	10.56	880.42	1.82
游憩性步行出行	学生宿舍区—中央景观区	9.42	785.21	1.28
	学生宿舍区—运动区	5.46	455.03	1.02
	教职工住宿区 A 区—中央景观区	27.92	2 326.11	2.33
	教职工住宿区 A 区—运动区	31.28	2 606.15	1.78
	教职工住宿区 B 区—中央景观区	22.65	1 887.26	2.56
	教职工住宿区 B 区—运动区	25.27	2 105.32	1.75

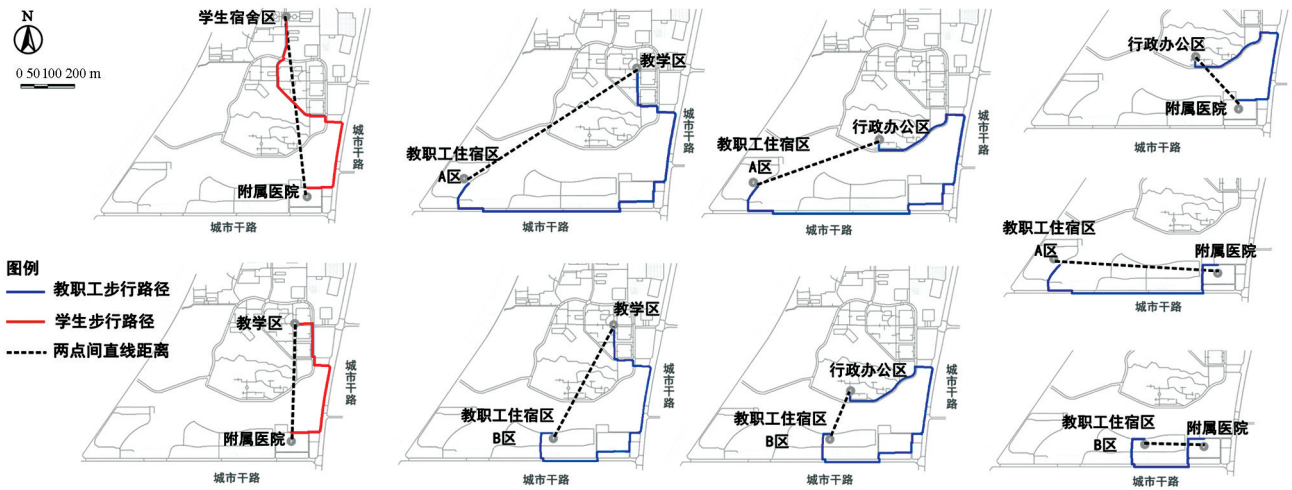


图 5 功能性步行绕行分析

3 重医缙云校区面向时空可达的步行路网优化

基于以上分析，提出重医缙云校区步行路网改善方案，并检验其可达水平。

3.1 营造全局和局部空间可达的分级步行路网

3.1.1 精细路网等级体系

图 6 为重医缙云校区校园路网改善方案。为提升全局、局部空间可达性，消除人车冲突带来的安全隐患，改善方案重新组织了车行交通。在山水林地区以北，嵌套式“8 字型”车行环路细化为 3 个等级的车行道路：1) 沿枫渝路规划双向行驶车行环路(图 6a 红色实线)，服务日常车行交通，结合功能子区内的建筑

布局与可利用空间,在环线两侧规划机动车停车场,确保日常车行交通不进入功能子区;2)在人流高度集聚的学生宿舍区与教学区,规划单向行驶车行管控环路(图6a粉色实线),非必要情况下,禁止除垃圾清运、物资运输、救护和消防等特殊车辆外的机动车通行;3)原有穿越中心景观区的车行道优化为紧急车行道(图6a绿色实线),仅允许救护和消防等车辆通行。在山水林地区以南,教职工住宿区与附属医院内车行路网不变,但车行速度不得超过7.00 km/h。

结合车行路网组织,改善方案将学生宿舍区和教学区优化为步行区,允许日常非人流高峰时段垃圾清运、生活品运输等特殊车辆通行,及救护、消防等紧急车辆进入;规划了4类步行道路网,包括人行道、人车混行道(步行优先)、健身步道和景观步道(图6b)。

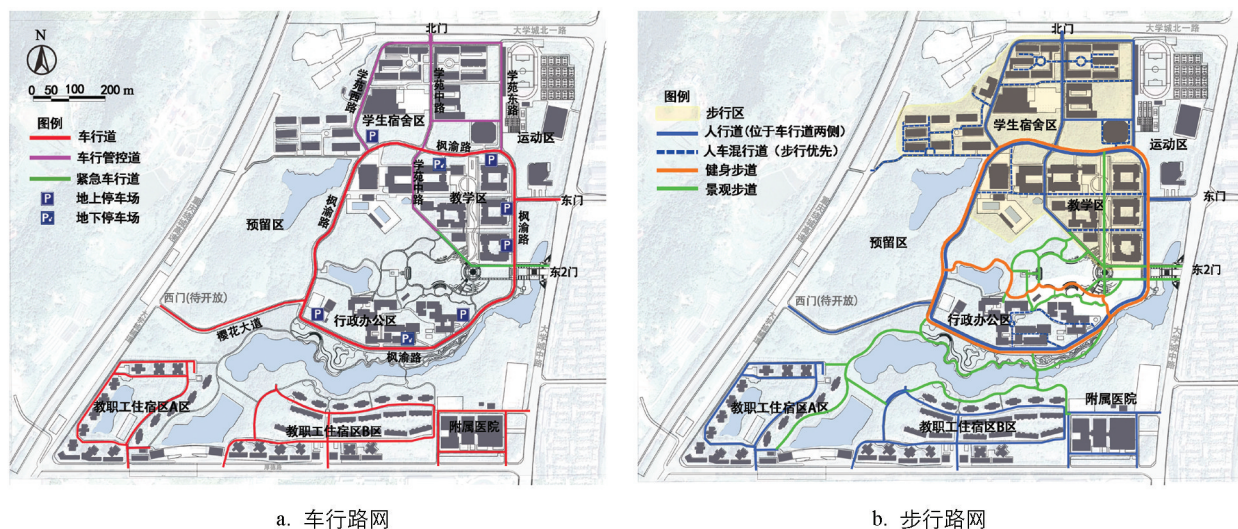


图6 改善后的校园路网

改善后步行路网的全局标准化角度整合度最大值、最小值和平均值分别为1.21, 0.54, 0.78, 高于平均值的路段占比为68.48%(增幅达45.95%),步行可达水平大幅提升(图7a)。各功能子区的局部可达性亦大幅提升。如图7b,c,d所示,400 m, 800 m和1 200 m半径下,局部标准化角度整合度:1)最大值分别为1.95, 1.98, 1.99, 均位于教学区。路网改善后,教学区在保持外围路段高水平可达的基础上,中心“鱼骨状”步行专用道也达到了可步行性的最大值,这意味着教学区内部及教学区与中央景观区、行政办公区之间的步行出行更加便捷;2)平均值分别为1.25, 1.31, 1.33。其中,学生宿舍区、中央景观区、行政办公区及运动区内70.00%以上的路段均大于平均值,步行可达水平由一般提升至较高。山水林地区、教职工住宿区B区内60.00%的路段接近于平均值,步行可达性大幅改善;3)最小值分别为0.63, 0.66, 0.65, 位于教职工住宿A区和附属医院,尽管这两个功能子区的步行可达性低于其他子区,但相比改造前,其可达水平已翻了一番。

3.1.2 优化道路设施设计

为提高实际使用过程中步行路网的空间可达性,改善方案精细了路段和路口道路设施。针对人行道被其他设施侵占的问题,改善方案通过借道外侧绿化空间,将被侵占的人行道拆分为设施带和人行道,保障实际可用的步行空间。如图8a所示,改造后,枫渝路和学苑东、中、西路人行道宽1.80~2.40 m,设施带宽0.90~1.20 m,配置行道树种植池、路灯和垃圾箱等设施。

以交叉口为主的校园人车冲突易发点,如枫渝路与其沿线机动车道、步行道的交叉路口,改善方案通过增设转角保护安全岛和中央安全岛,设计抬升路口并搭配前置停止线,最小化右转机动车与直行行人的冲突,减小步行过自行车道和步行过机动车道的冲突^[15],提高行人过车行道的可达性(图8b,c)。

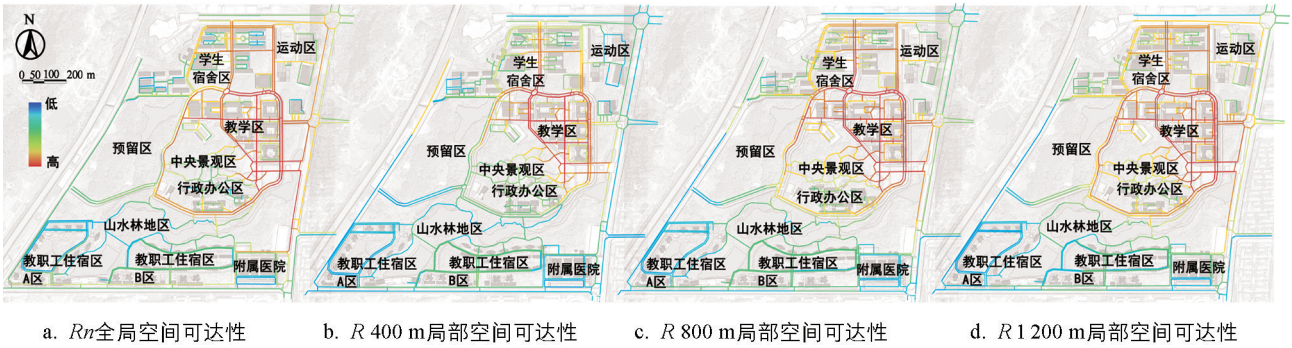


图 7 改善后步行路网的全局与局部空间可达性

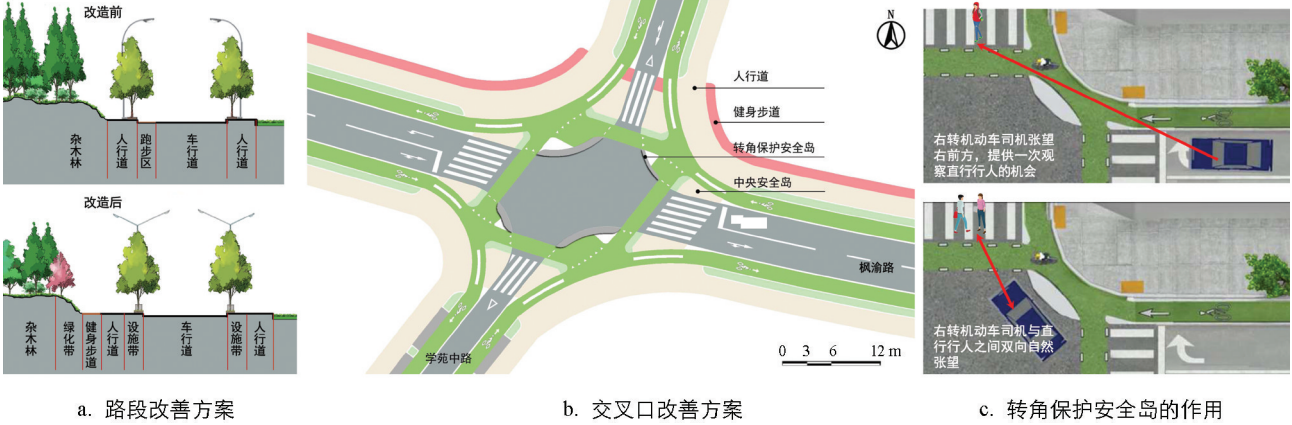


图 8 枫渝路路段和交叉口改善

3.2 规划围绕空间感知可达的有序游憩性步道

3.2.1 打造有序嵌套的游憩环线

为提高空间感知可达性,在山水林地区规划无障碍滨水步道(图 9 蓝线),在中央景观区规划面向秩序的中央环路(图 9 绿线),利用枫渝路人行道外侧充裕的树林空间规划林下健身环路(图 9 红线),形成有序嵌套的游憩环线.改造后,游憩环线 400 m,800 m 和 1 200 m 半径下的全局与局部标准化角度整合度的拟合度值分别为 0.54,0.67,0.69,空间感知可达水平高于改造前相应路段的相应值.

3.2.2 打造面向秩序的中央环路

针对空间感知可达水平较低的中央景观区,改善方案打造了面向秩序的林下步行环路,串联主入口广场、蓝花楹大道、中心广场、大草坪和毛主席雕像等核心序列场景,从而强化入口中轴线并营造气势磅礴的秩序性观景体验(图 9 绿线).改造后,400 m,800 m 和 1 200 m 半径下,其全局与局部标准化角度整合度的拟合度值分别为 0.50,0.65,0.68,表明改造方案有效地将中央景观区的空间感知可达从较低提升至中等水平.

3.3 构建时间可达下吸引点为导向的步行捷径

针对出发点和吸引点之间缺少直捷的校内步道,改善方案打通了瓶颈路段,消除了局部功能区之间步行绕行且需借道城市主干路的现象,有效提高了步行的时间可达性.

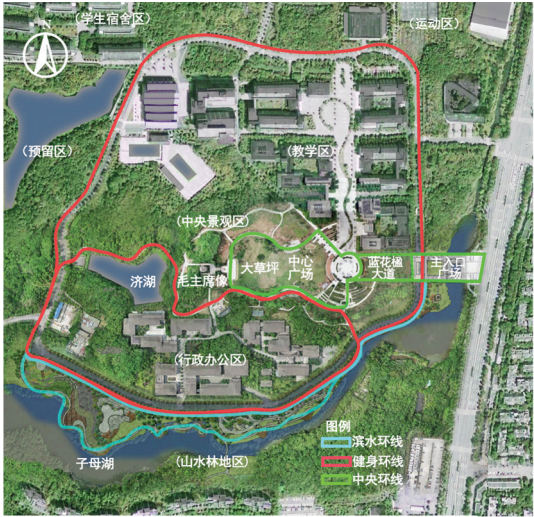


图 9 游憩步道

3.3.1 增设贯通南北的步行捷径

规划学生宿舍区—教学区、行政办公区—教职工住宿区、附属医院之间的步行捷径,见图10a。改造后,在学生宿舍区、教学区和附属医院之间,尽管缩短的步行距离有限(约100 m),但无需绕道城市主干路。教职工宿舍A区与教学区、行政办公区的平均步行距离分别为1462.25 m,919.13 m,步行时间分别比改造前节约12.12 min,20.75 min;教职工宿舍B区与教学区、行政办公区的平均步行距离分别为997.31 m,498.24 m,步行时间分别比改造前节约11.15 min,19.03 min。

3.3.2 增设南区东西向步行捷径

规划教职工宿舍A区—教职工宿舍B区—附属医院之间的步行捷径,见图10b。改造后,教职工可利用校内步道往返住宿区与附属医院,且B区最东侧楼栋的教职工步行至附属医院的距离大幅缩短。

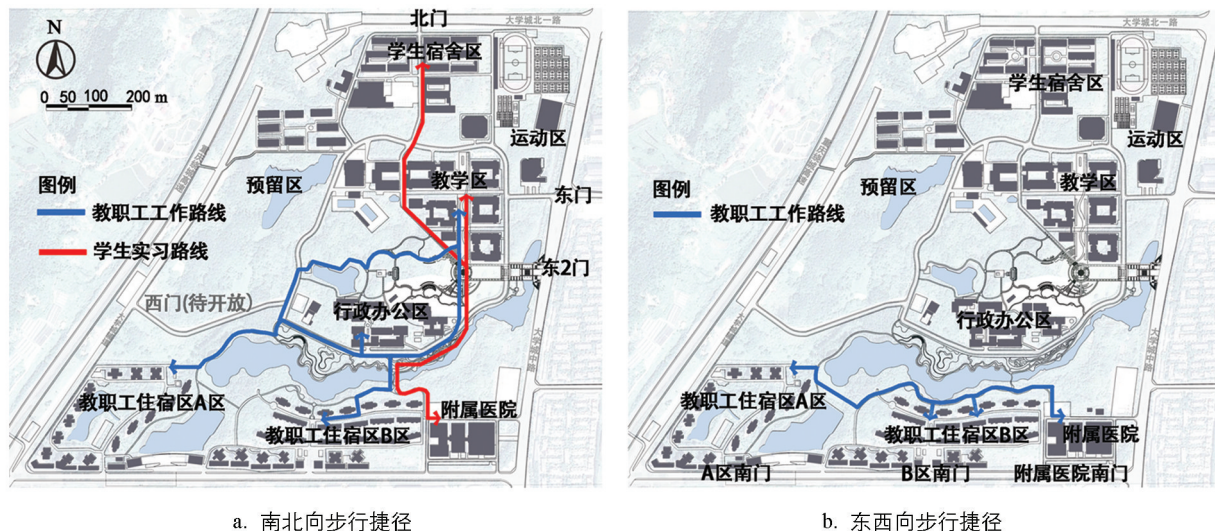


图10 吸引点与出发点间的步行捷径

4 结论与展望

空间与时间可达是高校校园步行出行的基本要求。本研究以重医缙云校区为例,利用线段模型和最优路径分析模型,量化重医缙云校区的步行时空可达水平,提出校园步行路网改善方案并评估改善方案的步行可达性。结果表明,精细化步行路网等级体系可有效提升全局和局部空间的步行可达性,搭配精细化的道路设施设计,可确保实际使用过程中的步行空间可达性与拓扑空间可达性的高值相匹配;打造有序的游憩步道可提升空间感知可达性;构建吸引点为导向的步行捷径可有效改善步行的时间可达性。

重医缙云校区既有步行路网时空可达水平欠佳,是我国诸多高校新校区步行路网面临问题的缩影^[1,16];前者步行路网优化的分析思路和研究结论,可为诸多高校校园路网的更新改善提供经验借鉴^[17-19]。值得强调的是,分级的校园步行路网等级体系、精细的路段和路口设施设计、有序的游憩步道、搭配吸引点为导向的步行捷径,有助于完善校园内师生的步行路权,提高步行的时间与空间可达水平。这些优化策略虽没有太多深奥的道理,没有高端的施工技术,但其核心是人本思想下对高校师生步行出行需求的积极与有效的关注,是对校园细之事、易之事的不断提升改进^[20]。

此外,高校新校区往往以大学城的方式开发,步行时空可达性不高的问题同样存在于多个新校区组成的大学城区。若能在新校区校园步行路网优化的基础上,将其经验推广至大学城区,将有助于形成时空可达的大学城区一体化步行路网体系。

参考文献:

- [1] 罗国力, 曾旭东. 基于空间句法与人流模拟的校园路网修补更新探究 [J]. 建筑技艺, 2020(S2): 84-87.
- [2] 杜娅薇, 齐鹏, 叶青. 基于主成分分析法的高校校园步行环境评价 [J]. 西部人居环境学刊, 2020, 35(4): 97-103.
- [3] 郭卫宏, 伍睿龙. 基于数据量化分析工具的校园步行系统优化策略 [J]. 中外建筑, 2023(1): 72-80.
- [4] 段进, BILL H. 空间研究 14-空间句法在中国 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2016.
- [5] 杨琪瑶, 张建林. 基于空间句法的狮子林主假山神秘性分析 [J]. 中国园林, 2018, 34(4): 129-133.
- [6] YUNITSYNA A, SHTEPANI E. Investigating the Socio-Spatial Relations of the Built Environment Using the Space Syntax Analysis-a Case Study of Tirana City [J]. Cities, 2023, 133: 104147.
- [7] 张浩. 基于空间句法的校园绿地活动空间的可达性分析: 以武汉大学信息学部校园为例 [J]. 南方建筑, 2015(1): 114-118.
- [8] 车鑫, 程世丹. 基于空间句法的教学空间可达性探究: 以武汉大学工学部为例 [J]. 华中建筑, 2020, 38(8): 85-90.
- [9] 何志华, 黄子越, 周韬. 基于空间句法的高校教学空间可达性研究: 以南昌大学前湖校区为例 [J]. 建筑与文化, 2023(3): 31-33.
- [10] 赵燕萍, 李晟, 廖海洋. 基于空间句法的大学生校园户外交往空间活力研究: 以湖南工业大学为例 [J]. 中外建筑, 2021(5): 97-102.
- [11] 杨滔. 空间的价值: 空间句法的反思 [J]. 建筑师, 2018(5): 49-54.
- [12] 比尔·希列尔, 盛强. 空间句法的发展现状与未来 [J]. 建筑学报, 2014(8): 60-65.
- [13] 深圳大学建筑研究所. 空间句法简明教程 [M]. 深圳: 深圳大学, 2014.
- [14] 牛强. 城市规划 GIS 技术应用指南 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [15] 杨琪瑶. 面向出行品质提升的城市路网优化策略研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2021.
- [16] 张洁芦, 周珍琦, 徐振. 基于需求特征的大学生设施布局适宜性评价研究: 以南京市部分高校为例 [J]. 现代城市研究, 2020, 35(4): 43-51.
- [17] LUNDBERG B, WEBER J. Non-Motorized Transport and University Populations: an Analysis of Connectivity and Network Perceptions [J]. Journal of Transport Geography, 2014, 39: 165-178.
- [18] 刘畅, 梅洪元. 寒地大学校园步行环境的优化设计策略研究 [J]. 建筑学报, 2019(S1): 123-128.
- [19] 穆特, 劳燕青. 基于空间句法的浙江大学海宁国际校区步行捷径系统评价研究 [J]. 建筑与文化, 2022(11): 10-12.
- [20] 蔡军, 宋振昂, 杨琪瑶. 交通个体与出行品质视角下的路网规划思考 [J]. 城市环境设计, 2022(1): 265-270.

责任编辑 王新娟