

非定点街景视频和深度学习支持下的城市绿道慢行活动时空分布及影响因素研究——以深圳大沙河绿道（大学城段）为例

江雨童¹，陈其言²，李小溪³，李沛文⁴

摘要：作为一种连续线性的绿色开放空间，城市绿道能为居民提供便捷、安全、休闲的慢行环境。然而对于绿道周边不同步行距离范围内的建成环境特征如何影响居民的慢行活动，目前研究缺乏深入的探讨。本文以深圳市大沙河绿道（大学城段）为例进行实证研究，使用非定点街景视频和深度学习技术采集并分析绿道的慢行活动和建成环境特征，揭示中微观尺度下绿道建成环境的不同要素对慢行活动时空分布的影响，并探讨“5Ds”理论在高密度城市绿道使用中的适用性。分析结果显示，绿道慢行活动存在一定的时间规律和地点偏好，“5Ds”的建成环境指标与绿道慢行活动存在关联，且在不同半径下呈现出不同的关联性：400m 内建筑容积率>全局整合度>400m 内公交车站数目>400m 局部选择度>400m 内设施混合度>绿视率，这表明城市尺度下慢行道路网络结构与绿道周边 400m 的建成环境对促进绿道慢行活动起到重要影响。未来在城市绿道的规划设计和优化中应当重视城市慢行网络的完善和绿道 5 分钟步行圈（400m）内的建成环境提升。

关键词：城市绿道；慢行活动；高密度建成环境；街景视频；深度学习

Keywords: Urban Greenway, Pedestrian Activities, High-density Built Environment, Street View Video, Deep Learning

资助项目情况：广东省基础与应用基础基金粤深联合基金（青年）（批准号：2023A1515110111）

¹ 江雨童，哈尔滨工业大学（深圳），硕士，研究助理

² 陈其言，哈尔滨工业大学（深圳），硕士，研究助理

³ 李小溪(✉)，哈尔滨工业大学（深圳），博士，助理教授、硕导，lixiaoxi@hit.edu.cn

⁴ 李沛文，哈尔滨工业大学(深圳)，博士(在读)

1 引言

城市绿道在深圳这个典型的高密度超大型城市中 [1]，对于促进生态、生活、生产空间融合，建设健康人居有着重要意义 [2, 3]。

如何通过绿道本身的设计和周边建成环境来提升绿道的使用，特别是慢行活动，是城市绿道规划和设计的一个重点。已有的研究中，有关建成环境的定量分析主要基于 Cervero 和 Ewing 在 2010 年提出的“5Ds”经典城市设计理论（包括设计、密度、多样性、公共交通距离和目的地可达性）[4]。研究发现“5Ds”中的单个或多个指标（如人口密度，可达性，土地利用和组合因素等）对绿道行为存在影响 [5, 6, 7, 8]。但这些研究通常基于某一固定半径展开，对于不同半径下建成环境特征与绿道行为间的关系缺乏考虑和比较，且对整体“5Ds”框架在绿道行为研究的适用性讨论不足。而量化空间形态学，包括了 Hillier 的空间句法理论（Space syntax）[9]和 Marcus 的场所句法理论（Place syntax）[10]，能够通过设置具体半径来测度周边一定距离范围内的建成环境特征，从而更精确的反映人在城市中的真实空间体验。

在对人的慢行活动和建成环境的数据收集和提取上，传统研究大多使用直接观察和实地访谈的方法，在数据收集和受访者选择上容易出现偏差 [11]。并且囿于人力和物力的限制，很难大范围大规模的收集数据对人的活动进行连续动态的研究 [12, 13]。新兴的开放数据如百度热力图目前使用比较广泛，但精度较低，难以精准描述街道上的人群分布。非定点视频拍摄和深度学习技术的结合，能够同时满足较大范围和较高精度下的数据采集和分析。深度学习技术能够识别街景图像中的行人活动和环境要素（如天空，绿化、行人、建筑等）[14, 15]，从而使在连续重复时间段内和大规模实证上提取人类对于绿道建成环境的感知数据成为可能。

本研究以深圳南山区大沙河生态长廊绿道的大学城区段为例来进行实证研究。大沙河生态绿道作为深圳市最大的滨水慢行系统，现已成为沿线居民的重要慢行活动场所。研究将基于“5Ds”经典城市设计理论以及量化形态学的方法建立对多个半径下的绿道建成环境特征的分析框架，并利用新兴城市数据和深度学习技术收集并提取绿道建成环境数据与居民慢行活动的时空特征，进而评估连续动态时间段内城市绿道建成特征对慢行活动行为的影响机制，从而为制定适宜的绿道设计方法，激发绿道的使用潜力提供依据。

2 研究框架

2.1 研究对象与数据收集

大沙河生态长廊绿道建成于 2021 年，位于高密度的城市建成区，从北侧长岭陂水库至入海口，全长 13.7km，贯穿整个南山区。大沙河绿道大学城区段作为本研究的研究对象，西起九祥岭湿地公园，东至深圳大学东南门。两岸有贯通的自行车道和漫步道，具备基础的慢行活动条件，沿线范围包括多个居民区、商业区、教育用地等城市主要功能区，在大沙河绿道中具有一定代表性（图 1）。

本研究的数据收集分为两部分：非定点街景数据采集和城市空间数据采集。非定点街景数据包括分时段采集绿道居民活动的街景视频和建成环境全景视频。使用电动滑板车携带 GoPro 相机，在工作日及周末的八个时段（07:00、09:00、11:00、13:00、15:00、17:00、19:00、21:00）进行拍摄，从人视角度观察和记录使用行为。城市空间数据包括绿道周边的道路、地块、

建筑和业态分布等，来源于高德地图开放平台的 POI 兴趣点数据和建筑数据，以及从开放街道地图（Open Street Map）获得的 城市路网矢量数据，以建立 1.2 公里（15 分钟步行）研究范围



内的城市数据库。

图 1 研究对象和研究范围示意图（图片来源：作者自绘）

2.2 分析框架

该部分首先对沙河绿道的慢行活动和建成环境分别进行测度，再探讨对绿道人群慢行活动与绿道建成环境的关联性，以明确大沙河绿道的活力影响机制（图 2）。

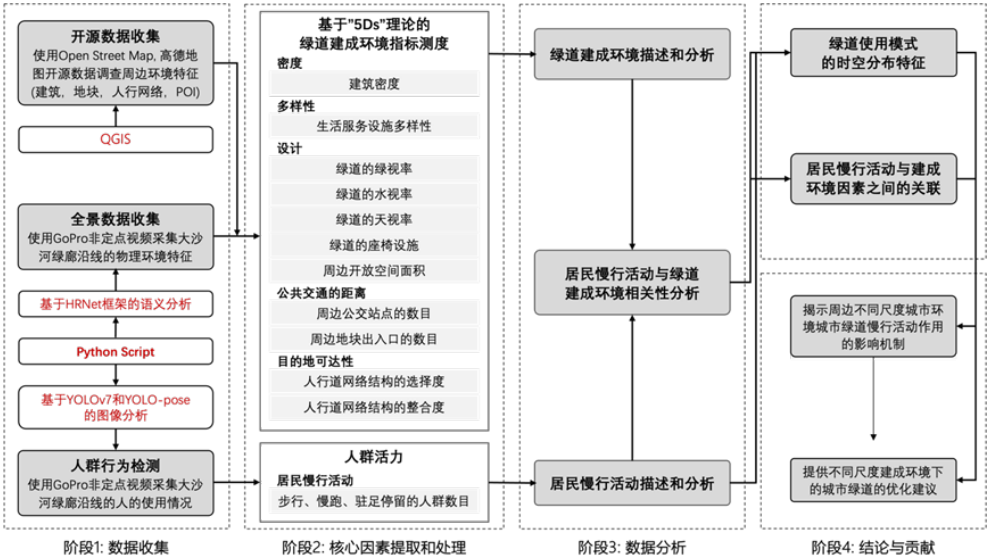


图2 研究框架（图片来源：作者自绘）

人群行为识别和慢行活动强度测度

人群活动数量和类型的识别是通过抽帧提取拍摄路径上每隔 20 米的街景图像（图 3）。采用深度学习模型中的卷积神经网络（CNN）的目标检测框架 YOLOv7[16]，提取街景图片中的行人总数。该技术允许在不同的尺度上检测目标，以适应不同大小和远近的目标对象。接着使用 YOLO-pose 姿态提取技术提取行人姿态，该方法对于复杂情况的多人姿态提取结果效果远超过传统的热力图分析法[17]。将步行、跑步、驻足停留这三类作为慢行活动（图 4），采样点上的慢性活动人数作为衡量绿道上慢行活动强度的指标。



图3 采样点示意图（图片来源：作者自绘）



图4 姿态计算算法与识别结果图示（图片来源：作者自摄）

YOLO-pose 技术，从街景图像中提取到了人体骨骼关节位置（如上肢对应的左右肩膀、手肘和下肢的左右髋骨、膝盖以及踝骨）和人体面部结构位置（鼻子和双眼），将不同的活动类型，归纳为：骑行、步行、跑步等姿态类别

建成环境指标框架构建及测度

基于“5Ds”框架，本研究选取了密度、多样性、设计、交通换乘距离、目的地可达性五种建成环境要素。其中设计是指绿道本身的特征，通过提取街景图片中的绿视率、天空率、水面、长椅等来表征。其他四个指标则是通过使用空间句法（Space syntax）和场所句法（Place syntax）来测度，以描绘绿道周边多个半径下的建成环境特征[18]。本研究主要应用了场所句法理论中的“可达吸引力”（AR, attraction reach）参数和“吸引力距离”（AD, attraction distance）参数来计算绿道周边不同半径下的可达密度，可达多样性，最近公交站和地铁站距离以及慢行道可达性。如图 5 所示，400 米、800 米、1200 米分别代表了距离绿道 5 分钟、10 分钟和 15 分钟的步行距离范围，图中以颜色深浅表达。

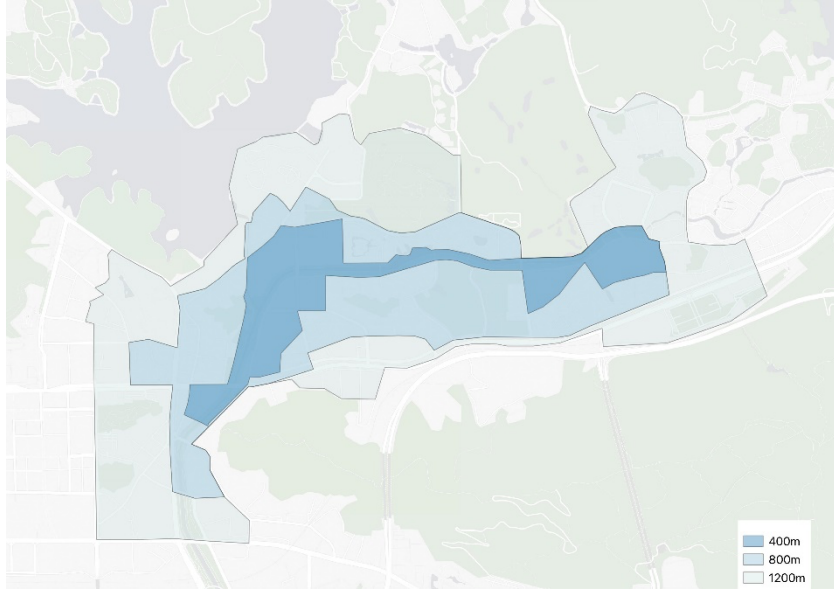


图 5 400 米，800 米，1200 米可达范围示意图 [18]（图片来源：作者自绘）

“可达吸引力”（AR）该参数描述和度量了某类目的地场所，在一定空间范围内具有的满足某种活动需求的可能性。目的地不仅可以是地点，还可以是地块，可以计算周边地块处在起始点可达范围内的功能或面积等数据。例如通过计算绿道周边地块的不同距离可达地块面积和建筑面积，可以得到绿道周边不同半径范围内的可达性密度。

从起始点 o 到目的地 a 的可达吸引力公式表达为：

$$AR(o) = \sum_{a \in A} (f(a)w(D(o, a)))$$

式中： a ：需要计算的目的地；

A ：在给定半径之内的可达的目的地的集合；

$f(a)$ ：与目的地相关的需要被加权统计的属性，如果没有属性需要被统计则 $f(a)=1$ （即只计算个数）；

$D(o, a)$ ：从起始点 o 到 a 的最短距离；

$w(x)$ ：距离衰减函数。

“吸引力距离”（AD）参数是从起始点序列中的每个起始点通过道路网格到目的地序列中距离最近的目的地的最短拓扑距离。该参数描述和度量了到达某类目的地场所的难易程度。

从起始点 o 到目的地 a 的吸引力距离公式表达为：

$$AR(o) = \min_{a \in A} (D(o, a))$$

式中： A ：在给定半径之内的可达的目的地的集合；

$D(o, a)$ ：从起始点 o 到 a 的最短距离。

目的地可达性（Street network accessibility）：本研究中，采用空间句法的线段角度模型，通过对绿道及周边慢行步道网络的建模来进行分析。采取整合度（integration）和选择度（choice）参数作为可达性的指标[19, 20, 21]。其中，整合度代表绿道段作为目的地的潜力，选择度代表绿道段作为穿行道路的潜力，具体公式参考表 1。

表 1 5Ds 建成环境指标体系建构

要素	指标	半径范围	说明
密度	周边地块容积率	400m	利用可达吸引力 (AR) 参数，计算一定半径可达范围内的建筑密度、容积率和开放空间率。其中开放空间率为地块的开放空间面积与建筑面积的比值。
	周边地块开放空间率	800m 1200m	
多样性	周边业态数量 (餐饮、购物、体育、科教文化、金融保险、医疗保健、风景名胜、生活服务 8 类)	400m 800m 1200m	利用可达吸引力 (AR) 参数，计算一定半径内的 8 类 POI 的总数。
			香农多样性指数计算绿道周边不同距离内的 POI 混合度指数。 具体计算公式为： $D_i = - \sum_{i=1}^R p_i \times \ln p_i$
	周边业态混合度		其中, p_i 表示第 i 种 POI 类型占总数的比例, R 是功能类别的总数, 多样性数值 D_i 越大, 代表业态混合度越高。
设计	绿视率		
	天空可视率	/	基于 CNN 的 HRNet 框架从街景图片的语义分割结果中天空、绿化和水面的占比，以及有无检测到长椅中得到。
	水面可视率		
交通换乘距离	长椅		
	最近公交站距离	/	利用吸引力距离 (AD) 参数，计算绿道上各点到最近的公交站点。
	周边公交站数目	400m 800m 1200m	利用可达吸引力 (AR) 参数，计算绿道在 400m, 800m 和 1200m 范围内公交站点。
目的地可达性	选择度	400m, 800m, 1200m, 全局尺度	基于绿道周边街道网络建里的线段角度模型 (angular segment map)，使用 DepthmapX 软件计算空间句法理论中的选择度 (Choice) 和整合度 (Integration) 参数，分别计算了全局环境、400 米、800 米、1200 米范围内的数值 [22]
			Choice: 路网中某段作为两个点之间最短路径的频次 Integration=NC/MD=NC/(TD/NC)=NC*NC/TD
	整合度		NC (Node Count): 节点数, 指从任意线段到达其他所有线段所遇到的线段数量之和 TD (Total Angular Depth): 全局角度深度, 指从某条线段到系统中所有其他线段的最短角度路径深度之和。 MD (Mean Depth): 平均深度, 指线段的最短角度路径角度之和除以角度交叉点 (而非线段数量) 的总数。

量化模型的构建

在上述分析基础上，以绿道上每个采样点的慢行活动强度为因变量，对应的 32 个建成环境要素为候选解释变量，通过多重共线性检验和双变量回归等统计方法筛选出对因变量影响最大的解释变量集，并进行回归分析建模。从而更有效的量化比较各个建成环境要素对绿道慢行活动强度的影响，尤其是不同尺度的城市环境对绿道活力的影响程度异同，对建成环境要素的精细化改善提出建议。

3 结果分析

3.1 慢行活动的时空分布特征

不同时间段下绿道慢行活动的分布如图 6 所示，人群数量在一天内随时间变化的波动较大，且呈现出一定的时序性和规律性。总的来说，不论是工作日还是周末，早上 7：00 以及晚上 17：00-21：00 均表现为一日内活动强度较高的时段，且人数峰值均出现在晚上 19 点附近。人们在工作日内更倾向于在晚上（17：00-21：00）活动，约占全天活动人数的 60.3%；而在周末，上午（7：00-11：00）和晚上（17：00-21：00）的活动人数占全天比例相则较为接近，分别为 41.2%和 43.9%，周末的活动人数（1836）略高于工作日（1563）。

进一步地，在工作日内，从早上 7：00 到 9：00，活动人群数目显著减少；从 17：00 开始，活动人群的数目显著增加；而在中午 13：00-15：00 点时段内，活动人数较少。这些变化可能是由于受到了建成环境之外的因素影响。周末活动强度的日内变化与工作日整体表现类似，但有两处不同。其中在工作日活动强度较低的上午 9：00，周末呈现出第二高的峰值（393），表明如果时间自由，人们在绿道上进行慢行活动的意愿依然很强。另一处不同出现在中午 13：00，周末的活动人数（221）远高于工作日内（40），表明即使中午天气炎热，但也会有一部分人选择在绿道中进行活动。

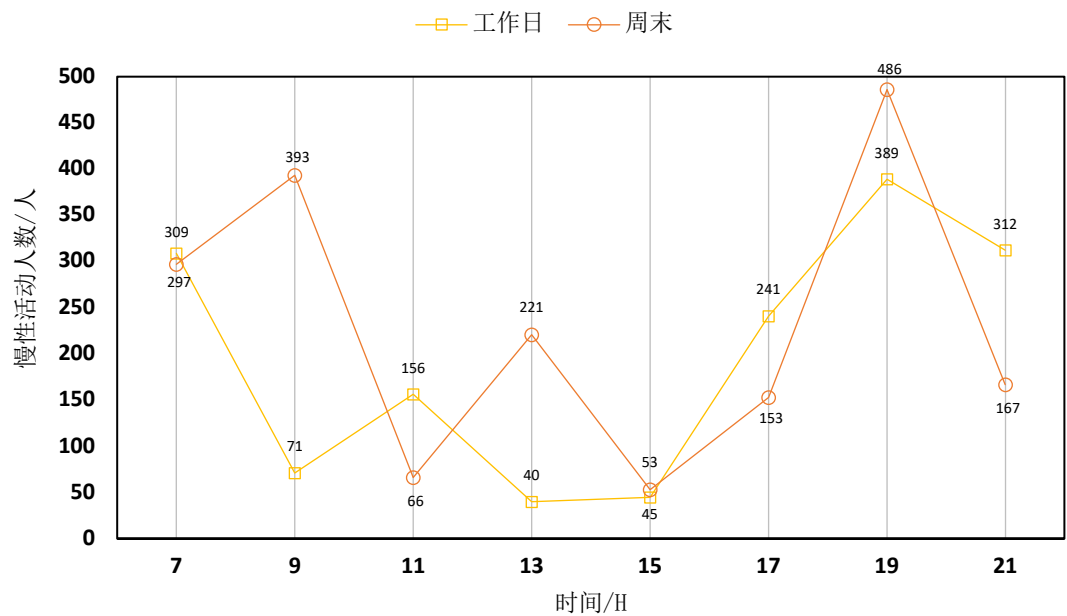


图 6 慢行活动人数在工作日和周末的日内变化（图片来源：作者自绘）
图中横坐标为一日内视频采样的时间，纵坐标为采样时间内绿道上慢行活动总人数

图 7 展示了绿道慢行活动的空间分布特征。整体上工作日和周末的空间分布特征类似，人们更青睐于靠近自然资源和公共设施，风景秀美的绿道部分，包括附近的九祥岭湿地公园，图书馆和大学城体育馆等。进一步分析日内的空间分布特征发现，工作日早晚的空间分布类似，

活动主要集中在靠近大学城体育馆和公园的绿道；周末早上更偏好西侧九祥岭公园附近的绿道，晚上的分布相对均匀。



图 7 慢行活动人数在工作日和周末的空间分布（图片来源：作者自绘）

3.2 城市绿道建成环境测度

通过提取语义分割模型检测到的天空、树木、水面、长椅四个元素在街景图像中的占比，研究生成了对应的空间分布特征（图 8）。

具体来说，天视率在绿道中的分布较均匀，在绿道的不同位置无明显差异，其均值为 30%。仅有 8.2% 的路段的天视率较低，主要集中在绿道中段的大学城图书馆附近，这是由于图书馆横跨大沙河南北两岸，存在桥下空间，在一定程度上遮挡了人们的视线。绿视率的分布特征与天视率类似，整体分布较均匀，其均值为 42.6%，最高超过 70%，约有 90% 的采样点的绿视率分布在 27.8%–62.5%，但绿视率在大学城图书馆附近较低。对于其余两个特征而言，水视率数值高的地方主要分布在大学城校园北侧绿道段，这里水面较为开阔，且运动步道直接靠近水面，人与水的关系更亲密。休憩长椅的存在则是呈现出偏匀质的沿固定距离分布的特征。

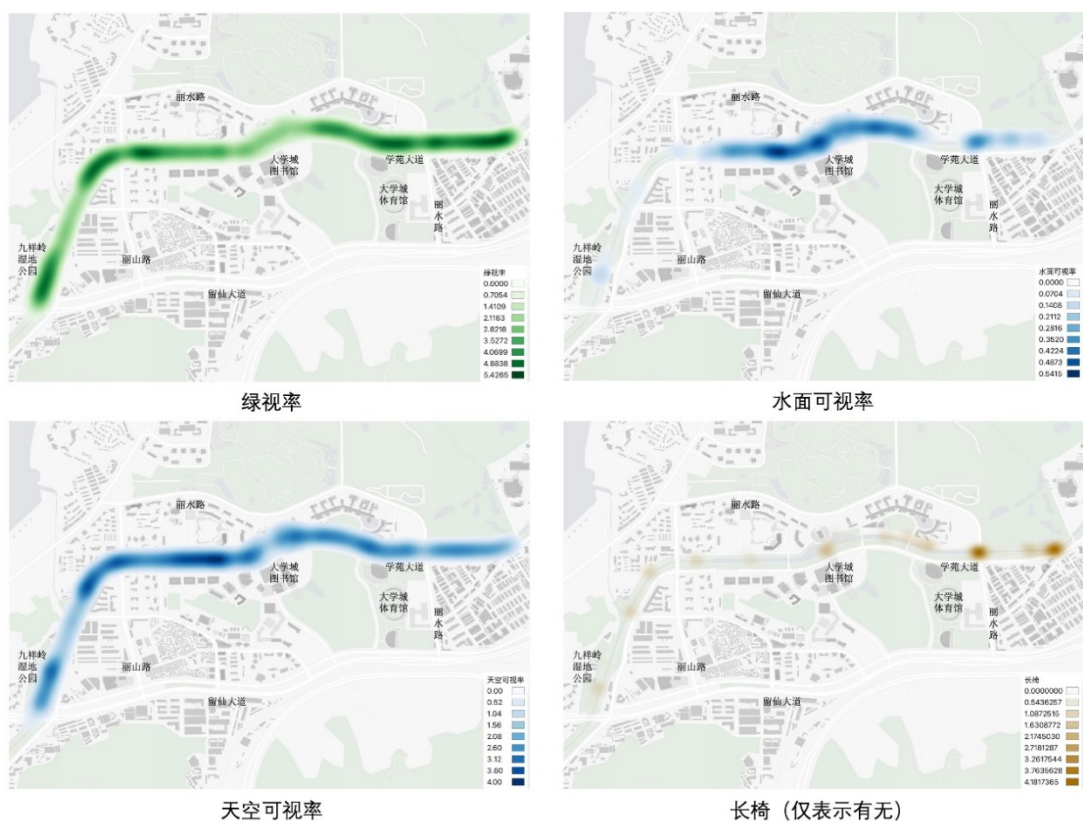


图 8 绿道建成特征的空间分布 (图片来源: 作者自绘)

结合开源城市数据, 使用场所句法理论 (Place Syntax) 计算了绿道周边不同半径下可达的容积率, 开放空间率, POI 数目, POI 多样性和公交车站数目, 如图 9 所示。

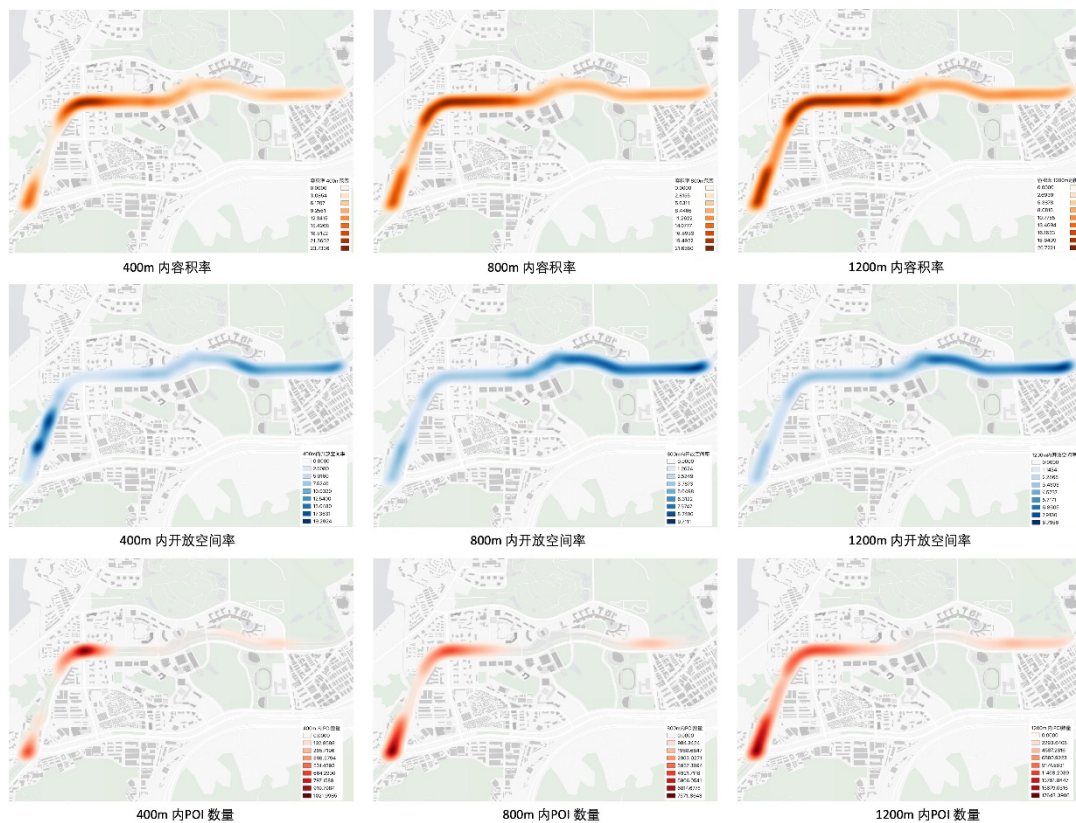


图 9 绿道周边建成环境特征 (密度、多样性、交通换乘距离) (图片来源: 作者自绘)

图 9（续）

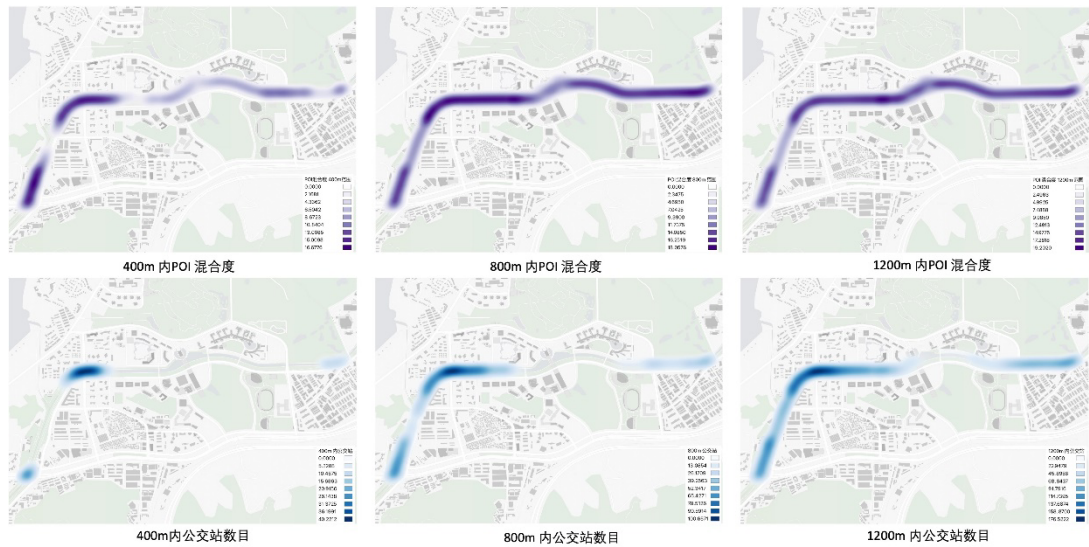


图 9 绿道周边建成环境特征（密度、多样性、交通换乘距离）（图片来源：作者自绘）

使用空间句法理论（Space Syntax）计算的绿道周边不同半径下慢行道可达性如图 10 所示。

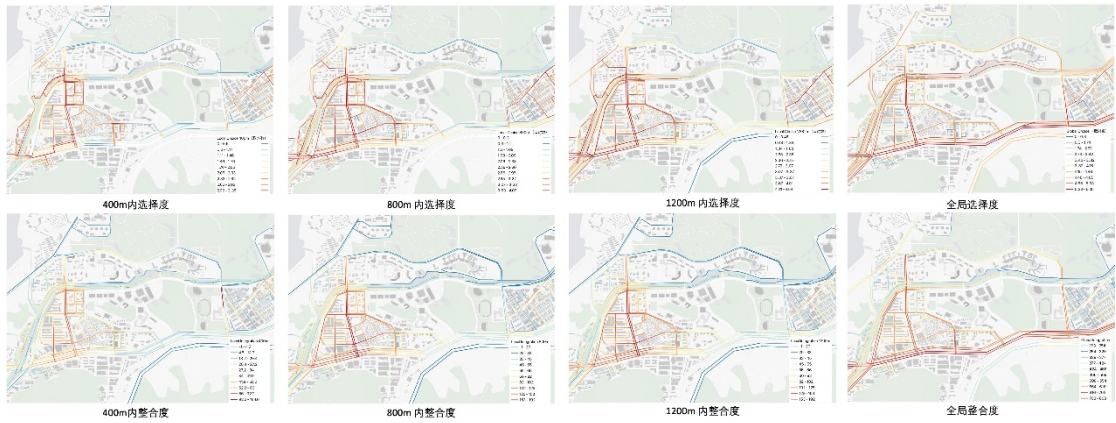


图 10 绿道周边建成环境特征（目的地可达性）（图片来源：作者自绘）

3.3 慢行活动的时空分布与绿道环境特征之间的关联

本小节重点对慢行活动人群的空间分布以及特定的城市绿道建成环境数据展开统计分析，以探讨绿道建成环境因素在多大程度上影响慢行活动。

首先使用普通最小二乘回归模型（OLS）对收集的数据进行测试，慢行活动人数被设置为因变量。初始模型中存在若干 $VIF > 10$ 的自变量，显示出严重的多重共线性[23]。通过对自变量之间进行双变量分析以及对不同变量组合的迭代测试，从 32 个自变量里删除了 14 个自变量。最终，包含绿视率，天视率在內的 4 个绿道特征以及 14 个特定半径下的“5Ds”建成环境衡量指标被确立为模型的自变量集，用于测试与慢行活动人数之间的关系。所有的自变量均包含在表 2 中。

表 2 模型自变量集

筛选后的自变量集
天视率，水视率，绿视率，长椅（是否存在），400m 可达范围内公交车站数目，最近的公交车站的距离，400m 可达范围内开放空间比率，400m 可达范围内生活服务设施混合度，400m 可达范围内容积率，400m 半径的局部选择度，400m 半径的局部整合度，800m 可达范围内生活服务设施数目，800m 可达范围内生活服务设施混合度，1200m 可达范围内开放空间比率，1200m 可达范围内生活服务设施混合度，1200m 半径的局部选择度，全局选择度，全局整合度。

通过对消除多重共线性后的自变量集使用 OLS 模型进行拟合后分析发现, Jarque-Bera 统计量显著 ($p<0.01$), 表明模型的残差并非正态分布, 说明使用 OLS 拟合可能并非最佳的选择. 通过对因变量进行空间自相关的检验 (如表 3), 全局莫兰指数 (Global Moran' s I) 的 $z>2.58$, 且 $p<0.01$, 可以认为慢行活动人数在 99% 的概率下存在显著的空间自相关性, 且呈现出空间聚集的特征。此外根据拉格朗日乘子的检验, 空间滞后模型 (SLM) 相比空间误差模型 (SEM) 更适合解释空间依赖性。因此后续研究选取空间滞后模型 (SLM) 展开多元回归分析。

表 3 全局莫兰指数 (Global Morans I) 结果

全局莫兰指数	
莫兰指数	0.500011
预期指数	-0.003049
方差	0.001325
z 值	13.819069
p 值	0.000000

多元回归的结果 (表 4) 显示, SLM 模型具有比 OLS 模型更高的 R^2 , 说明 SLM 模型的解释力更好, 这在很大程度上归因于空间滞后系数 ρ ($p<0.01$), 证实了考虑空间自相关性对提高模型精确度的重要性。此外, ρ 的系数 (0.335) 还表明模型的空间滞后效应显著, 提示慢行活动人数与邻近区域内的慢行活动人数之间存在着显著正相关关系, 这种空间依赖性可能是因为邻近之间的区域往往具有相似的环境特征或相互影响。

表 4 空间滞后模型 (SLM) 结果
SLM 模型系数表

变量	系数	标准差	z 值	p 值
附有空间权重的因变量	0.335162**	0.048483	6.913040	0.000000
截距	-1.506260	9.193550	-0.163839	0.869860
天视率	-4.08097	2.425670	-1.682410	0.092490
水视率	10.377200	9.092670	1.141270	0.253760
绿视率	-4.59907**	1.923500	-2.391000	0.016800
长椅 (是否存在)	-0.466388	0.636018	-0.733293	0.463380
400m 可达范围内公交车站数目	0.87426**	0.343569	2.544640	0.010940
最近的公交车站的距离	-0.001609	0.001333	-1.207180	0.227360
400m 可达范围内开放空间比率	-0.285875	0.635706	-0.449697	0.652930
400m 可达范围内生活服务设施混合度	1.04603**	0.505942	2.067480	0.038690
400m 可达范围内容积率	-4.68743**	1.059720	-4.423290	0.000010
400m 半径的局部选择度	-0.00737176**	0.003163	-2.330820	0.019760
400m 半径的局部整合度	-0.002642	0.034925	-0.075658	0.939690
800m 可达范围内生活服务设施数目	-0.000137	0.002877	-0.047707	0.961950
800m 可达范围内生活服务设施混合度	3.15638	1.865190	1.692250	0.090600
1200m 可达范围内开放空间比率	0.057142	2.510240	0.022764	0.981840
1200m 可达范围内生活服务设施混合度	1.771650	3.849280	0.460254	0.645330
1200m 半径的局部选择度	0.000274	0.000234	1.173680	0.240520
全局选择度	-0.000008	0.000009	-0.917804	0.358720
全局整合度	0.0233861**	0.003840	6.090870	0.000000

SLM 模型诊断表

	数值	p 值
R ²	0.615957	/
Log Likelihood	-894.621	/
Lag coeff. (Rho)	0.335162	/
Breusch-Pagan Test	23.4159	0.17511
Likelihood Ratio Test	40.7682	0.000000**

表 4 还揭示了在整个案例中与慢行活动人数有显著关系的自变量，包括绿视率（-4.599），400m 可达范围内公交车站数目（0.874），400m 可达范围内生活服务设施混合度（1.046），400m 可达范围内容积率（-4.687），400m 半径的局部选择度（-0.007）和全局整合度（0.023）共 6 个变量，分别对应了“5Ds”建成环境理论框架中的五种指标：设计、距离公共交通的距离、多样性、密度、可达性。具体而言，全局整合度，400m 可达范围内的公交车站数目和生活服务设施的混合度对于城市生态绿道上的慢行活动的人群数目显示出显著且正面的影响；而绿视率、400m 可达范围内的建筑密度和 400m 半径的局部选择度，对于慢行活动的人群数目显示出显著且负面的影响。

进一步地，为了比较绿道不同建成环境要素对慢行活动人数的影响程度强弱，研究使用标准差标准化（Z-score）方法对拟合中涉及到的变量进行处理，使用标准化后的数据进行多元回归的结果如表 5 所示。

表 5 数据标准化后的空间滞后模型（SLM）结果

标准化后的 SLM 模型系数表				
变量	系数	标准差	z 值	p 值
附有空间权重的因变量	0.335162	0.048483	6.913040	0.000000
截距	-0.001002	0.034114	-0.029382	0.976560
绿视率	-0.101109	0.042287	-2.391000	0.016800
400m 可达范围内公交车站数目	0.181017	0.071137	2.544640	0.010940
400m 可达范围内生活服务设施混合度	0.103195	0.049913	2.067480	0.038690
400m 可达范围内容积率	-0.480877	0.108715	-4.423290	0.000010
400m 半径的局部选择度	-0.132529	0.056895	-2.330820	0.019760
全局整合度	0.36876	0.063498	6.090870	0.000000

对表 5 各项自变量的系数和 p 值进行分析，发现 400m 可达范围内的建筑容积率和全局空间整合度对因变量具有较大程度的影响。其中容积率的系数为-0.480877（ $p < 0.01$ ），这可能是周边 400m 范围内的高密度环境通过影响景观性或视野的开阔程度而降低了绿道中的慢行活动舒适性，而在靠近如九祥岭公园等附近建筑容积率较低的绿道部分，慢行活动的人数则较多。全局道路整合度的系数 0.36876（ $p < 0.01$ ）表明在城市尺度上的更高的空间连通性能为绿道带来更多人流。此外，400m 可达范围内的公交车站数目和生活服务设施的多样性也对绿道中慢行活动人数显示出正向影响，说明了 400m 内的公共交通便利性和生活服务设施多样程度对增加人流量的积极作用。然而，400m 半径的局部选择度对慢行活动人数显示出负面影响，这与选择度越高意味着人们穿行的可能性越高相悖，这可能与绿道功能和人们活动目的有关，人们在绿道上进行慢行活动的目的主要是休闲娱乐，并非通过绿道的连接前往下一个目的地，因此选择度越好的地方活动人数不一定越多。绿视率与慢行活动人数之间也呈负相关关系，这可能是由于绿视

率高的地方，其他环境条件的吸引不足（对比图 7 和图 8 发现，绿视率最高的地方并非人最多的地方）；也可能因为慢行活动人群对环境有自己的偏好，绿视率高的地方不一定更适合慢行活动，该发现与已有研究中的发现相吻合，即人们对于绿视率的感知存在阈值，并不是绿视率越高，慢行活动就越容易发生[24]。

4 讨论与结论

研究将“5Ds”城市经典设计理论尝试应用于城市绿道评估，结合新城市数据和深度学习技术，分别收集在 5 分钟，10 分钟，15 分钟不同步行可达范围内的各项建成环境指标和绿道自身设计特征，旨在讨论作为高密度城市公共空间的绿道建成环境与绿道中进行慢行活动的人数之间的关系。研究表明，在大沙河绿道这类城市绿道中，“5Ds”测度指标中的密度、多样性、设计、交通换乘距离、目的地可达性均与绿道慢行活动人数存在一定程度的关联，且这种关联与具体的研究半径有关。这些指标的影响程度由高到低依次为：400m 内建筑容积率>全局整合度>400m 内公交车站数目>400m 内局部选择度>400m 内设施混合度>绿视率。结论进一步证明了“5Ds”经典城市设计理论对于绿道上慢行活动强度评价分析的适用性。

整体而言，绿道周边的建成环境特征对于绿道使用的影响远远大于绿道本身的设计特征，周边的建成环境特征对绿道使用有重要影响。从回归模型中各项指标对应的系数来看，建筑容积率对于绿道使用的影响最强，体现出人们对于开阔城市空间的喜好。同时，绿道的使用会受到城市范围道路的显著影响。全局整合度与慢行活动人数之间的正相关关系表明，城市尺度下道路网络的建设和完善能够促进更多的居民使用，从而激发绿道的使用活力。此外，绿道周边的公交车站数目和设施混合度也直接影响着绿道使用，建成环境需要有限满足人们对便捷的路网和公共交通的需求。研究同时发现，绿视率与人数之间存在较低程度的负向联系，这可能提示着人们倾向在绿道中较为开阔的场所进行慢行活动。而天视率、水视率等其他设计特征不显著，可能是由于在案例中的分布较为均匀导致人们的感知差异较小。

其次，研究发现建成环境指标对绿道的影响会受到研究半径的影响，绿道周边 400m 范围内的建成环境测度指标意义重大。对于密度、多样性、交通换乘距离、目的地可达性而言，步行 5min 范围内的指标均与绿道使用呈现显著关系，而 10min（800m）和 15min（1200m）范围内不显著，表明了绿道的规划应该更加注重周边 5min 步行范围的建成环境的营造。

此外，人们对于慢行活动地点的选择同样值得关注。空间热点显示出人们更加青睐于靠近自然资源和公共设施风景秀美的绿道部分。而人群的空间分布在不同时间下并未显示出显著的差别。结果显示，当前全时间段的绿道北岸和中午时间的绿道依然存在一定的使用潜力，这也为进一步提升大沙河绿道的使用提示了方向。

值得注意的是，尽管上文讨论了研究的结果含义及影响，但研究依然存在一定的局限性，需要进一步探索。研究发现人们对慢行活动的选择存在明显的时间规律，且这种规律在工作日和周末存在差异，未来的研究将致力于分析工作日和周末的不同时段，进一步讨论城市绿道的建成环境对于慢行活动人数的影响。

参考文献

- [1] 周楠. 一个超大城市的困扰和突围——“高位过坎”看深圳[EB/OL]. 中国政府网, 2016. Available at: https://www.gov.cn/xinwen/2016-05/10/content_5071886.htm [Accessed 31 May 2024]
- [2] CHEN, Y., GU, W., LIU, T., et al. Increasing the Use of Urban Greenways in Developing Countries: A Case Study on Wutong Greenway in Shenzhen, China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2017. 14(6):554. <https://doi.org/10.3390/ijerph14060554>
- [3] CHI, W., & LIN, G. The Use of Community Greenways: A Case Study on A Linear Greenway Space in High Dense Residential Areas, Guangzhou[J]. *Land*, 2019. 8(12):188. <https://doi.org/10.3390/land8120188>
- [4] EWING, R., & CERVERO, R. Travel and the Built Environment[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2010. 76(3):265-294. <https://doi.org/10.1080/01944361003766766>
- [5] AKPINAR, A. Factors influencing the use of urban greenways: A case study of Aydın, Turkey[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016. 16:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.02.004>
- [6] LARSON, L. R., KEITH, S. J., FERNANDEZ, M., et al. Ecosystem services and urban greenways: What's the public's perspective?[J]. *Ecosystem Services*, 2016. 22:111-116. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.10.004>
- [7] 杨春侠, 吕承哲. 基于 GWR 模型的滨水区慢行活力影响因子研究——以上海市黄浦江沿岸典型滨水区为例[J]. *西部人居环境学刊*, 2022. 37:55-62.
- [8] 高原, 刘堃. 深圳市绿道对多样慢行活动的支持与规划策略[J]. *规划师*, 2019. 35:39-45.
- [9] HILLIER, B., HANSON, J. The social logic of space[M]. New York: Cambridge University Press, 1984.
- [10] STÄHLE, A., MARCUS, L., KARLSTRÖM, A. Place Syntax: Geographic accessibility with axial lines in GIS[C]. In *Fifth international space syntax symposium*, Delft, 2005:131-144.
- [11] COHEN, D. A., HAN, B., NAGEL, C. J., et al. The First National Study of Neighborhood Parks[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2016. 51(4):419-426. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2016.03.021>
- [12] 朱战强, 黄存忠, 柳林, 等. “绿道——邻里”视角下建成环境对城市绿道使用的影响——以广州为例[J]. *热带地理*, 2019, 39(02):247-253. DOI:10.13284/j.cnki.rddl.003116.
- [13] 陈宇琳, 郑舒文, 李雪滢. 城市边缘区滨水绿道的使用模式与需求研究——以北京清河海淀段为例[J]. *世界建筑*, 2022(02):34-41. DOI:10.16414/j.wa.2022.02.015.
- [14] 何宛余, 李春, 聂广洋, 等. 深度学习在城市感知的应用可能——基于卷积神经网络的图像判别分析[J]. *国际城市规划*, 2019. (1):8-17.
- [15] ZHANG, Y., JIN, Z., KUMARI, R., et al. Measuring the physical profile and use of Park Connector Network in Singapore using deep learning and big data analytics[A]. 2018:5972.
- [16] WANG, C-Y., BOCHKOVSKIY, A., LIAO, H-Y. M. YOLOv7: Trainable Bag-of-Freebies Sets New State-of-the-Art for Real-Time Object Detectors[A]. 2023:7464-7475.
- [17] Applied Sciences | Free Full-Text | Human Pose Estimation Based on Lightweight Multi-Scale Coordinate Attention[EB/OL]. /2023-09-04. <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/6/3614>.
- [18] STAVROULAKI, G., BERGHAUSER P. M., FITGER, M. PSTDocumentation v.3.2.5 231128. 10.13140/RG.2.2.32984.67845. [EB]2023. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.32984.67845>.
- [19] HILLIER, B. Cities as Movement Economies[J]. *Urban Design*, 1996. 1(1):41-41.
- [20] HILLIER, B., IIDA, S. Network and Psychological Effects in Urban Movement, in *Spatial Information Theory*. A. Cohn and D. Mark, Editors. 2005[M]. Springer Berlin. p.475-490.
- [21] HILLIER, B., YANG, T., TURNER, A. Normalising least angle choice in Depthmap-and how it opens up new perspectives on the global and local analysis of city space[J]. *Journal of Space Syntax*, 2012. 3(2):155-193.
- [22] 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. (01):32-55. DOI:10.16513/j.urbandesign.2016.01.005
- [23] DORMANN, C. F., ELITH, J., BACHER, S., et al. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance[J]. *Ecography*, 2013. 36(1):27-46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>
- [24] 郑凌予, 杨淑梅, 伍夏. 基于空间感知的社区绿色暴露指数对活动行为影响研究[J]. *中国园林*, 2023, 38(1):92.