

# 历史街道微观建成环境对游客步行停驻行为的影响

——以北京五道营胡同为例

## The Impact of Historical Street's Micro-Scale Built Environment on Visitor's Halting Behavior during Walking

Case Study of Wudaoying Hutong in Beijing

[张章] ZHANG Zhang<sup>1,2</sup>

[徐高峰] XU Gaofeng<sup>1</sup>

[李文越] LI Wenyue<sup>1</sup>

[龙瀛] LONG Ying<sup>1,3</sup>

[曹哲静] CAO Zhejing<sup>1</sup> (通讯作者)

### 作者单位

1 清华大学建筑学院 (北京, 100084)

2 清华大学生态规划与绿色建筑教育部重点实验室 (北京, 100084)

3 清华大学恒隆房地产研究中心 (北京, 100084)

### 收稿日期

2018/05/11

国家自然科学基金项目 (51678326)

### 摘要

以北京市五道营胡同为例, 构建涵盖街道与建筑尺度、临街过渡空间、沿街底层特征、建筑立面构成特征、建筑材质与色彩、商品陈设内容等方面的微观尺度建成环境要素体系。进一步通过识别建成环境特征, 解释微观建成环境要素组合对游客步行停驻行为的影响机制。据此对北京历史街区街道设计提出建议。

### 关键词

微观建成环境; 可步行性; 城市形态测度; 街道空间设计; 历史街区

### ABSTRACT

This paper probes into the micro-scale built environment of street in Beijing Wudaoying Hutong, covering the dimensions of street scale, transitional space between the street and buildings, floor space, façade of buildings, color and texture and contents of display. After identifying urban design features, the mechanism of impact of micro-scale built environment on halting behavior during walking is analyzed, which provides some implications on urban design guidelines of historical streets in Beijing.

### KEY WORDS

Micro-scale built environment; walkability; urban form measurement; street space design; historical district

好的公共空间可以促进活动的发生和吸引, 街道是承载城市交往与社会活动的重要线性公共空间。街道建成环境的品质影响着人们的活动与行为, 扬·盖尔 (Jan Gehl) 指出街道的尺度、长度、界面的多样性、高差和机动车流量对步行感受有不同程度的影响<sup>[1]</sup>; 建筑界面中的商店数量、边界透明性、街面单元、临街建筑的功能混合程度影响着街道空间活力<sup>[2]</sup>。

街道空间中常见的步行行为活动为交通性步行活动、休闲性步行活动、社会交往活动<sup>[3]</sup>。步行行为活动的类型、强度和模式反映了街道建成环境的空间品质和使用状况。目前街道建成环境对步行行为的影响研究方法主要包括3类(表1)<sup>[4-13]</sup>: 分类叙述法、主观偏好法、相关性分析法。分类叙述法基于环境行为学, 对不同类别的建成环境作定性描述, 对行为作观察记录, 形成分类叙述, 经典的研究方法为扬·盖尔提出的“公共空间公共生活”(public space public life)调查法<sup>[14]</sup>。主观偏好法通过问卷或访谈的方式调研人群对不同建成环境的偏好。相关性分析法对建成环境与步行行为建立定量描述, 并利用相关性分析、回归分析、离散选择模型探究二者相互影响的机制。其中对街道建成环境的定量描述方法可以分为主观感知和客观评价法两类<sup>[15]</sup>。主观感知如采用语义分析法<sup>[16]</sup>、在线众包评价法<sup>[17]</sup>、专家

打分法<sup>[18]</sup>、调研观察法<sup>[19]</sup>; 客观评价法多为建立步行指数, 早期的步行指数仅考虑设施可达性, 后期不少学者融合了空间品质的定量测度<sup>[20-24]</sup>, 并对步行指数大规模评价方法进行了改进<sup>[25]</sup>。对步行行为的定量描述包括针对步行集合的测度, 如街道截面步行流量、步行比例; 以及针对步行个体的测度, 如步行速度、步行连续性、交叉口方向选择、产生的社会交往与商业伴随行为等<sup>[26]</sup>。

相关性分析法具备精细量化的特征, 并且可直观反映建成环境与步行行为相关关系, 然而既有研究仍具备如下不足: 1) 建成环境要素研究多偏重土地利用与交通结构等宏观尺度, 龙瀛和叶宇指出精细化尺度下城市形态的测度与量化分析较为有限<sup>[27]</sup>; 2) 多揭示独立建成环境要素与步行行为间相关性, 侧重变量间的简单数理关系, 缺乏对现实中要素组合的联动性、复杂性、系统性解读<sup>[28]</sup>; 3) 国内研究多引用国外既有环境变量设计, 针对我国特色历史街区的本土研究较少。

## 1 研究方法 with 体系构建

结合既有研究进展与不足, 本文尝试以北京五道营胡同为例, 构建微观尺度下历史街道建成环境要素体系, 实时追踪行人的步行行为与引发该行为的建成环境场景, 并通过主成分分析、因子旋转、多元

线性回归等数理模型，系统解释微观建成环境要素组合模式对步行行为的影响机制，从而识别重要的历史街道空间要素及其组合。

### 1.1 研究对象

北京二环范围内的老城肌理在鱼骨状的胡同基础上逐渐发展，形成了以30片历史保护街区为核心的传统街区风貌与城市形态。早期的胡同主要作为线性空间的生活性街道和通过性场所；随着北京历史街区的更新与开发，消费文化与商业店铺逐渐渗透，历史街道具备文化展示和商业消费的双重功能与特征，形成了多元交融的城市公共空间，典型的如南锣鼓巷、什刹海、五道营片区等。《北京旧城25片历史文化保护区保护规划》<sup>[29]</sup>提出建设控制区的更新需要考虑用地性质、建筑高度、体量、建筑形式和色彩、容积率、绿地率等与传统风貌的协调。历史街道的转型是否能促进富有活力的公共空间，丰富街道使用者的日常体验与生活需要；哪些微观建成环境要素更引人关注，如何影响历史街道中人们的步行行为，具有越来越重要的研究意义<sup>[30-31]</sup>。

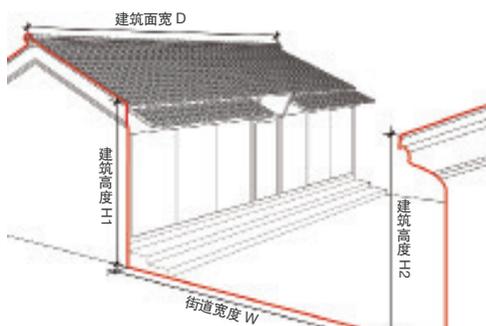
五道营胡同位于北京老城，东起雍和宫，西至安定门，全长532m，宽6m左右。五道营胡同经过长期有机更新，既具备历史文化特色，又具备商业消费场所带来的丰富视觉感知要素。中式传统与西式现代建筑风格荟萃，微观建成环境要素丰富且特征鲜明。胡同内行人以游客为主，含少量居民、服务业从业人员。休闲性步行是胡同内主要活动。

### 1.2 微观建成环境指标体系

微观尺度建成环境对步行行为的影响，多通过对步行者的“沿途的视觉吸引”<sup>[32]</sup>“视觉兴趣与刺激”<sup>[33]</sup>产生作用。扬·盖尔指出，在慢速步行条件下，人的视域将进一步向下偏移约10°左右，因而街道空间、建筑物底层将是步行者重点关注的建成环境<sup>[34]</sup>。克里斯托弗·亚历山大(Christopher Alexander)认为空间的尺度、空间的关系(包括空间的过渡、渗透与延伸)、空间的边界是人所感知周边环境的主要特质<sup>[35]</sup>。基于上述步行者

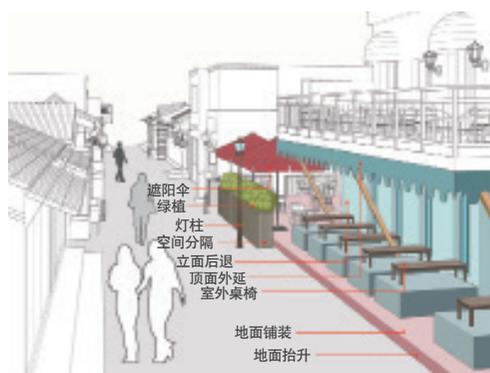
表1 街道建成环境对步行行为影响主要研究方法

研究方法	典型实例
分类叙述法	通过参数化方法及结合主观分析，研究天津小白楼建成环境因素，及其对人流量及路径选择的影响 <sup>[4]</sup> 。
	结合快照法与量化比较，研究上海中心区3个轨道交通站点区域中公共空间供应和微观品质对城市活力的影响 <sup>[5]</sup> 。
主观偏好法	利用叙述性偏好法和离散选择模型构建老年人休闲步行环境评价指标体系，并以上海鞍山新城为例，评价步行环境的老年友好程度 <sup>[6]</sup> 。
	针对美国若干城市的社区采用面向青年的社区环境可步行性测量(NEWS-Y)问卷调查法，分析了青年对于环境的感知及出行活动的关联 <sup>[7]</sup> 。
相关性分析法	以上海市延吉社区为例，从设施重要性、步行可达性等维度调查不同步行能力老年人对服务设施的需求特征 <sup>[8]</sup> 。
	以上海市南京西路为例，通过建立线性回归模型，分析了商业街道底层建筑界面特征对街道活动的影响 <sup>[9]</sup> 。
	以上海淮海路为例，通过建立多元逻辑回归分析模型，分析了沿街建筑底层界面的形态特征对街道活动的影响 <sup>[10]</sup> 。
	利用空间句法软件对北京街区空间分布特征进行步行通达性的量化，研究其对街区空间活力与交往的影响 <sup>[11]</sup> 。
	通过多层线性/泊松回归探讨建成环境步行指数与社区周步行频率、周步行时间的关系 <sup>[12]</sup> 。
	通过多层线性/逻辑回归模型分析了瑞典街区居住密度、街道连通性、土地混合利用率与步行时间的关系 <sup>[13]</sup> 。



街道高宽比  $E=1/2 \times (H_1+H_2)/W$

1 街道与建筑尺度



2 临街过渡空间



3 沿街底层特征



4 建筑立面构成特征

视域感知范围与重点，结合五道营历史街区风貌特征，建立三级指标体系。一级指标的选取，包括了街道与建筑尺度、临街过渡空间、沿街底层特征、建筑立面构成特征、建筑材质与色彩、商品陈设内容等6个主要方

面，涵盖从街道空间，到街道与建筑过渡空间，再到建筑外界面，甚至渗透到建筑内部的水平方向上由近及远的建成环境要素，也涵盖了垂直方向上从步行者标准视线内向非标准视线延伸的建成环境要素，基本在三维

表2 微观建成环境要素指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标评价方法	一级指标	二级指标	三级指标	指标评价方法	一级指标	二级指标	三级指标	指标评价方法	
街道与建筑尺度	街道尺度	宽度	地形图数据提取	建筑立面构成特征	中式建筑要素	筒瓦坡屋顶	无/有	建筑材料与色彩	建筑色彩	色彩纯粹性	无/有	
		高宽比	两侧建筑高度均值/街道宽度			中式木门	无/有			色彩多样性	无/有	
	建筑尺度	面宽	地形图数据提取			中式木窗	无/有			自身色彩对比	弱/强	
高度		3.5m × 建筑层数	石鼓/石柱/石狮/石敢当			无/有	环境色彩对比			弱/强		
临街过渡空间特征	过渡空间感知度	地面铺装	过渡空间与街道地面铺装区分否/是明显			灯笼	无/有			RGB平均值	电子影像数据提取	
		地面抬升	过渡空间与街道地面高差否/是显著			雕花	无/有			RGB标准偏差	电子影像数据提取	
		空间分隔	否/是通过护栏、矮墙、花池等分隔过渡空间与街道			彩绘	无/有			明度平均值	电子影像数据提取	
		立面后退	建筑底层否/是立面后退, 扩充过渡空间			门钉/门环	无/有			明度标准偏差	电子影像数据提取	
		顶面外延	过渡空间上方否/是设有遮阳顶棚等			通高门窗	门窗上下沿否/是与楼板/地面齐平			建筑材质	玻璃材质	不含/含
	街道家具	灯柱	无/有			平直檐口	建筑立面与屋顶面平直交接否/是				砖材质	不含/含
		长椅	无/有	不可开启窗扇	无/有	木材材质	不含/含					
		餐桌	无/有	无高差出入口	建筑内外部无高差、台阶或门槛否/是	混凝土材质	不含/含					
		遮阳伞	无/有	光滑建筑表皮	否/是	金属材料	不含/含					
		绿植	无/有	简洁立面线脚	否/是	石材	不含/含					
沿街底层特征	渗透性	纵深底面	底层开口否/是向内部延伸, 如开敞院落	现代建筑要素	屋面露台	无/有	商品陈设内容	-	艺术品		无/有	
		纵向交叉道路	底层否/是为与五道营胡同垂直巷道入口			阳台			无/有		服饰	无/有
	透明度	普通窗	无/有		其他建筑细部构成	店铺招牌			无/有		食物	无/有
		商业橱窗	无/有						食物		无/有	
		凸窗	无/有		商品陈设内容	-			动物	无/有		
		落地窗	无/有						动物	无/有		
		玻璃门	无/有						植物	无/有		
	曲折度	平直底层立面	底层立面垂直投影否/是为直线									
		曲折底层立面	底层立面无/有明显折角、凸出或凹进									

指标评价赋值方式: 选择型指标为“无/否/弱/不含”, 赋值=0; 选择型指标为“有/是/强/含”, 赋值=1; 代表有、是、强、含有; 绝对数值型指标, 赋值=绝对值

空间尺度上建立了步行者在可直观感知到的微观建成环境的集成(图1~4)。

进一步细化次级指标, 构建微观建成环境要素指标体系, 如表2所示。

### 1.3 步行停驻行为测度

扬·盖尔在《交往与空间》中指出:“自发性停留活动, 包括商业、社交活动才是城市活力的首要来源”<sup>[1]</sup>, 并通过完善建成环境设计促进行人的停留活动。本文以五道营胡同游客自发性慢行停留(即步行停驻行为)来测度其步行行为, 并分为观望与驻足两类。观望是指步行者在步行过程中, 被视线范围内街道环境、建筑外部元素或建筑立面展示的室内空间及物品吸引而引发的观看活动。

驻足则是被建成环境要素吸引产生兴趣而停留, 并进一步接近观察、接触、问询或拍照的活动。

细化观望与驻足变量指标, 根据停驻强度进行赋分(分值越高则强度越大), 构建游客停驻行为表征指标体系(表3)。

## 2 数据采集与处理

选取2016年12月两个温度适宜、天气晴好、空气清新的工作日(2016年12月7-8日), 由4名调查员开展调研。首先全景拍摄五道营胡同南北两侧立面(图5), 并将立面划分为144个相对独立的建筑单元<sup>[1]</sup>。其次调查员交替从五道营胡同东西两端出

发, 以游客为调研对象进行追踪直至胡同另一端截止, 期间用手机户外线路记录软件“六只脚”拍摄记录引起调研对象观望或驻足的微观建成环境场景及地理位置<sup>[2]</sup>。如所追踪的游客未走完胡同全程, 或仅快速通过未与周边建成环境有效互动, 则不再视作有效调

表3 五道营胡同游客停驻行为表征指标体系

类别特征	改变视线方向, 不改变步行方向, 不停留	改变视线方向与步行方向, 接近环境要素并停留	
停驻行为指标类别	观望	驻足(接触问询)	驻足(拍照留念)
停驻强度评分	1	2	3

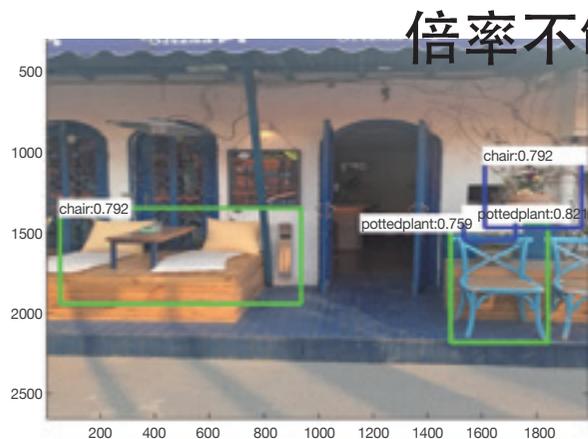


5 五道营胡同南北立面部分影图片段

研究对象。调研时段为 10:00—17:00, 共记录 51 位有效调研对象的步行轨迹, 拍摄 677 张微观建成环境照片。

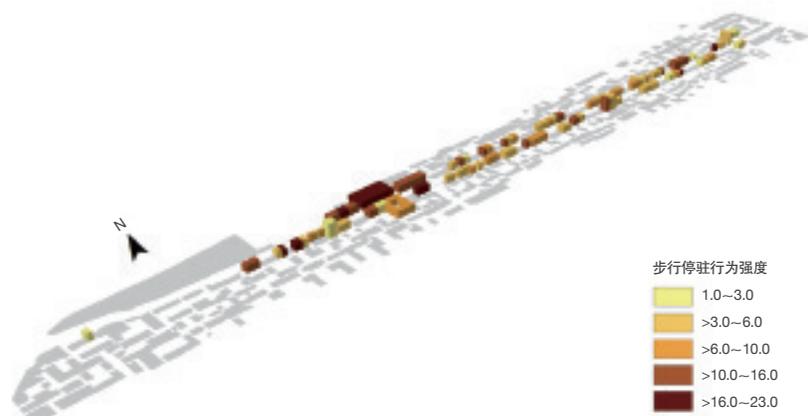
其次, 采用目标识别 (object detection) 算法 Faster R-CNN, 通过机器学习识别 677 张调研对象观望或驻足场景记录影像中包含的微观建成环境要素, 并进行要素框选、要素类别标注与可置信度评分<sup>[36]</sup> (图 6)。Faster R-CNN 算法是基于深层卷积网络的系列目标识别算法中的重要分支, 使用“区域生成网络” (region proposal network) 代替早期 R-CNN、Fast R-CNN 等算法的“选择性搜索” (selective search) 提取候选区域, 将目标识别的 4 个主要步骤 (生成候选区域、提取特征、归类、精确调整位置) 统一到卷积

神经网络中, 提升了识别效率与精度。本文采用公开测试模型, 识别场景记录影像中长椅、餐桌、绿植 (街道家具)、植物 (商品陈设内容)、动物等 5 类微观建成环境要素。该模型在 MS COCO + PASCAL VOC 2007 + PASCAL VOC 2012 基准数据集验证中, 对长椅、餐桌、盆栽植物、猫、狗的识别精度分别达到 63.6%、70.8%、53.6%、88.9%、85.9%<sup>[37]</sup>。机器学习的结果经过人工校核, 此外未能包含在机器学习模型识别目标中的其余 57 类微观建成环境要素 (表 2), 也由人工完成识别, 最终共获取 41974 条要素属性信息, 并按地理位置分配至 144 个建筑立面单元。统计各单元获得的微观建成环境要素累加赋值 (赋值算法见表 2), 并得到描



6 采用 Faster R-CNN 算法自动识别微观建成环境要素示例

倍率不够



7 五道营胡同建筑单元引发步行停驻行为强度分布

述性统计数据如表 4 所示<sup>3)</sup>。

以建成环境要素组合取代独立要素, 可以更加清晰识别作为历史街道多元微观建成环境与游客停驻行为的关系, 以及建成环境要素间的系统性与联动作用。为此采用“统计产品与服务解决方案” (statistical product service solutions, SPSS) 软件, 对微观建成环境要素累加赋值进行主成分分析。通过 SPSS 软件相关性检验剔除与其他变量相关程度不高的微观建成环境变量, 再通过人工选择剔除对建成环境要素组合有干扰的变量, 得到如下 14 个变量: 凸窗、商业橱窗、落地窗、玻璃门、地面铺装、立面后退、地面抬升、中式木门、灯笼、通高门窗、色彩多样性、色彩纯粹性、玻璃材质、混凝土材质。KMO 值达到 0.739, 相伴概率为 0.000, 检验通过。各变量解释总方差详见表 5, 据此确定 5 个特征值大于 1 的成分作为主成分表征大部分信息, 累计贡献度达到 75.639%。进一步通过因子旋转 (表 6), 判断 4 个主成分的代表含义, 以提炼微观建成环境要素组合模式。

统计各建筑单元引发游客停驻行为的强度 (强度赋值标准参见表 3; 结果如图 7 所示), 作为因变量; 以建成环境要素 4 个旋转主成分作为自变量, 构建多元线性回归方程  $Y=b_0+b_1X_1+b_2X_2+b_3X_3+b_4X_4$ , 确定各旋转主成分 (即微观建成环境要素组合) 对游客步行停驻强度的影响贡献率。回归结果如表 7 所示, 4 个自变量均通过显著性检验 ( $P \leq 0.05$ )。由  $Y=b_0+0.706X_1+0.347X_2+0.239X_3+0.12X_4$  (标准系数) 可知主成分 1 至主成分 4

对游客步行停驻行为强度的相对贡献率分别为 50.0%、24.6%、16.9%、8.5%，其影响贡献率依次降低。

### 3 基于现实建成环境的解析

#### 3.1 商业空间的界面透明度是吸引游客停驻的首要因素

旋转成分矩阵成分 1 中，以商业橱窗、凸窗、落地窗、通高门窗、玻璃门为代表的开放式商业界面要素体现出主体性，大大增强了沿街底层立面的透明度，改善了胡同传统建筑界面较为封闭的局限性，吸引游客的停留驻足。玻璃材质与色彩纯粹性的高荷载亦从总体观感层面体现了界面透明属性。故将成分 1 归纳为“界面透明度”，回归分析结果表明其为五道营胡同游客步行停驻行为的首要影响因素。典型建筑单元如图 8 所示，通过现代感十足的金属边框、通高落地窗营造出较浓的商业氛围，增加了沿街底层界面的透明度和渗透性。

#### 3.2 街道与建筑之间的过渡空间，是承载街道驻留活动的重要容器

旋转成分矩阵成分 2 中，地面抬升、建筑立面后退、地面区分铺装有较大荷载。通过底层建筑立面后退产生灰空间，通过街道与建筑界面之间的高差与铺装区分，都强化了街道与建筑过渡空间的感知度。界定明确的过渡空间配以多样化的街道家具布置，成为游客在街道观望、驻留的主要场所。故将成分 2 归纳为过渡空间，回归分析结果表明其为游客步行停驻行为的第二大影响要素。典型的街道与建筑过渡空间如图 9 所示，综合运用了底层建筑后退、地面抬升、地面铺装变化、设置遮阳顶棚与休闲桌椅、绿植等方式，拉近与步行者距离。

#### 3.3 中西建筑风格对比，融合丰富多样的建筑色彩，吸引游客观望驻足

旋转成分矩阵成分 3 中，混凝土材质、中式木门均有较大荷载；而中式木门是传统中式建筑要素的典型代表，混凝土材质建筑立面多见于现代建筑，显现出中西建筑风格的对比，色彩多样性的高荷载进一步佐证了风格的糅杂。成分 3 所体现的微观建成环境

表 4 微观建成环境要素累加赋值的描述性统计

微观建成环境要素	最小值	最大值	平均值	标准差	微观建成环境要素	最小值	最大值	平均值	标准差
街道宽度	5.14	12.82	6.62	1.08	通高门窗	0	12	0.97	2.17
街道高宽比	0	1.28	0.50	0.23	平直檐口	0	14	0.26	1.37
建筑面宽	0.81	48.43	6.53	6.87	不可开启窗扇	0	15	1.99	3.54
建筑高度	0	7	3.20	1.31	无高差出入口	0	7	0.10	0.77
地面铺装	0	16	1.30	2.53	光滑建筑表皮	0	9	0.37	1.26
地面抬升	0	16	1.81	2.89	简洁立面线脚	0	14	0.39	1.51
空间分隔	0	8	0.50	1.48	露台	0	15	0.19	1.40
立面后退	0	16	1.59	2.77	阳台	0	3	0.06	0.34
顶面外延	0	16	1.03	2.51	店铺招牌	0	19	2.49	3.26
灯柱	0	3	0.05	0.32	色彩纯粹性	0	21	2.44	3.70
长椅	0	15	0.63	2.09	色彩多样性	0	15	1.15	2.67
餐桌	0	15	0.23	1.44	自身色彩对比	0	16	1.04	2.18
遮阳伞	0	3	0.02	0.25	环境色彩对比	0	12	0.65	1.86
绿植	0	13	1.14	2.08	RGB 平均值	67.28	163.54	111.71	14.52
纵深底面	0	8	0.40	1.10	RGB 标准偏差	33.95	92.22	62.35	9.51
纵向交叉道路	0	3	0.06	0.36	明度平均值	68.68	164.58	112.90	14.60
普通窗	0	16	1.14	2.52	明度标准偏差	32.63	91.74	61.17	9.88
商业橱窗	0	20	2.56	4.02	玻璃材质	0	17	2.03	3.44
凸窗	0	14	1.23	2.87	砖材质	0	21	1.99	2.92
落地窗	0	16	1.82	3.37	木材质	0	15	0.94	2.34
玻璃门	0	18	2.90	3.67	混凝土材质	0	12	0.12	1.03
平直底层立面	0	16	2.64	3.24	金属材质	0	20	0.42	2.06
曲折底层立面	0	20	1.51	3.20	石材	0	9	0.08	0.76
筒瓦坡屋顶	0	11	1.04	2.01	涂料材质	0	16	0.80	2.23
中式木门	0	11	0.92	2.00	材质对比度	0	20	1.61	3.08
中式木窗	0	11	0.38	1.50	材质多样性	0	44	6.38	6.93
石鼓 / 石柱 / 石狮 / 石敢当	0	10	0.59	1.67	艺术品	0	16	0.84	2.15
灯笼	0	12	0.33	1.48	服饰	0	9	0.56	1.52
雕花	0	12	0.42	1.45	食品	0	11	0.29	1.34
彩绘	0	8	0.31	1.05	动物	0	10	0.09	0.84
门钉门环	0	11	0.17	1.05	植物	0	14	0.83	2.20
有效的样本数		144							

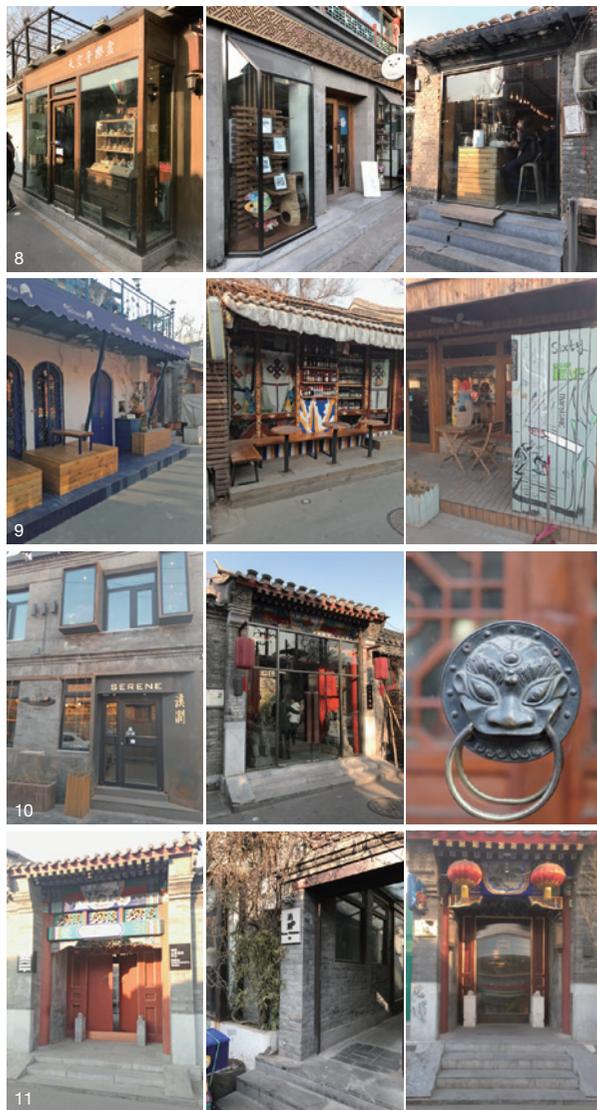
表 5 微观建成环境因子解释总方差

成分	初始特征值			成分	提取平方和载入		
	合计	方差的 %	累积 %		合计	方差的 %	累积 %
1	5.287	37.762	37.762	1	5.287	37.762	37.762
2	2.189	15.633	53.394	2	2.189	15.633	53.394
3	1.891	13.505	66.900	3	1.891	13.505	66.900
4	1.223	8.739	75.639	4	1.223	8.739	75.639
成分	旋转平方和载入			成分	旋转平方和载入		
	合计	方差的 %	累积 %		合计	方差的 %	累积 %
1	4.632	33.082	33.082	1	4.632	33.082	33.082
2	2.576	18.403	51.486	2	2.576	18.403	51.486
3	2.066	14.756	66.242	3	2.066	14.756	66.242
4	1.316	9.397	75.639	4	1.316	9.397	75.639

表 6 微观建成环境因子旋转成分矩阵

微观环境要素	成分			
	1	2	3	4
	界面透明度	过渡空间	中西风格对比	传统中式元素
落地窗	0.897	0.072	0.103	0.169
商业橱窗	0.893	0.101	0.019	-0.189
玻璃材质	0.858	0.101	0.194	0.092
色彩纯粹性	0.817	0.115	-0.335	-0.017
玻璃门	0.779	0.273	0.185	0.207
凸窗	0.746	0.088	0.235	0.102
通高门窗	0.570	0.017	0.376	-0.320
地面抬升	0.142	0.913	0.133	0.176
立面后退	0.105	0.907	0.107	-0.014
地面铺装	0.166	0.857	-0.085	-0.168
混凝土材质	0.226	-0.126	0.783	-0.293
色彩多样性	0.090	0.210	0.734	0.161
中式木门	0.025	0.062	0.686	0.375
灯笼	0.143	-0.036	0.124	0.880

提取方法：主成分。旋转法：具有 Kaiser 标准化的正交旋转法。旋转在 5 次迭代后收敛。



8 高界面透明度商业建筑单元  
9 典型街道与建筑过渡空间  
10 典型中西风格对比的建筑单元(或立面局部)  
11 典型中式建筑单元

表 7 多元线性回归结果统计

因变量	Y(游客步行停驻行为强度)	系数				t	Sig.
		非标准化系数		标准系数	Beta		
		B	SE				
常量	$b_0$	5.694	0.235		24.281	0.000	
自变量	$X_1$ (主成分 1)	3.521	0.235	0.706	14.963	0.000	
	$X_2$ (主成分 2)	1.731	0.235	0.347	7.357	0.000	
	$X_3$ (主成分 3)	1.19	0.235	0.239	5.058	0.000	
	$X_4$ (主成分 4)	0.598	0.235	0.12	2.54	0.012	
模型汇总							
R	$R^2$	调整 $R^2$	$R^2$ 更改	F 更改	Sig. F 更改	df	
0.831	0.69	0.682	0.69	77.515	0.000	4	

要素组合，带来了丰富多样、视觉冲击感强的步行环境，易激发步行者观望驻足。故将成分 3 归纳为“中西风格对比”，回归分析结果表明其为游客步行停驻行为的第三大影响要素。典型建筑单元如青灰砖墙与金属玻璃橱窗相映衬的溪润酒吧、融合开放景观门厅增强视觉渗透感和吸引力的七十三号四合院、运用现代玻璃金属材质演绎传统中式建筑要素“门环”的餐厅等(图 10)。

### 3.4 中式建筑元素在历史文化街巷中引发游客停驻

旋转成分矩阵成分 4 中，灯笼、中式木门等传统中式建筑要素作为正向高荷载，而

负向荷载通高门窗、混凝土材质为现代建筑特征，因而将成分 4 归纳为“传统中式元素”，回归分析结果表明，传统中式建筑元素与游客步行停驻行为显著相关。典型如中式建筑单元包括传统院落入口要素一应俱全的北京人文艺术中心；绿植掩映下青砖灰瓦的胡同院落“汤厨”餐厅；大红灯笼高高挂起的五道营胡同 10 号院等(图 11)。

## 4 总结与讨论

本文以北京五道营胡同为例，构建了北京历史街区精细的微观建成环境指标，并在传统建成环境定性研究基础上进行突破，运

用定量分析手段，基于步行停驻行为影响，更加精确地描摹了历史街区引起人们关注的微观建成环境空间组合要素，研究表明：提升商业空间界面透明度、强化街道与建筑过渡空间、促进中西建筑风格对比、传统中式建成环境要素的组合，是促成游客步行停驻行为的重要影响因素。

本文在研究尺度上实现了微观尺度精细化研究，弥补了常规宏观中观尺度研究的空白；在研究对象上深化了建成环境城市设计要素研究的中国历史街区案例，并由要素单体研究转为要素组合研究，更加重视研究对象的现实意义；在研究方法上，结合新技术

和新方法，提出了利用定量分析解释微观建成环境要素的新框架。本文仅初步尝试采用机器学习方法识别5类微观建成环境要素，但随着未来机器学习模型识别精度与广度的提升，为自动识别更多种类建成环境要素、提升研究效率提供可行性。

本文研究结论也可作为北京历史街区设计导则提出启示：针对街道空间设计，注重街道与两侧建筑过渡空间，采用建筑底层立面后退、过渡空间地面抬升并辅以独立铺装、过渡空间上空覆盖遮阳顶棚、布置街道家具等手法强化过渡空间感知度与亲和力，利用过渡空间的积极边界效应丰富街道步行活动，促进富有活力的公共空间形成；针对现代风格建筑，注重其与商业展示功能的有机结合，通过设置落地窗、大面积商业橱窗、凸窗，增强沿街底层立面透明度，改善传统中式建筑展示界面有限的局限性，促进步行者对建成环境的视觉交流；针对传统中式风格建筑，突出中式门窗、灯笼、彩绘雕花等中式建筑构成要素，充分展示传统文化特色；针对传统与现代风格相融合建筑，保持二者鲜明对比与协调统一，以有节制的视觉冲突效果，引发步行者关注停留。▲

“清华大学（建筑学院）—旭辉控股（集团）有限公司可持续住区联合研究中心”对本文提供课题经费支持。清华大学航天航空学院博士后芦维宁对本文5类微观建成环境要素识别中机器学习算法实现给予了技术支持。>

#### 注释

- 1) 由于胡同立面的复杂性，此处“建筑”为统称概念，既包含了完整建筑，也包含了微观建成环境特征相对明确且独立的街道或建筑组成部分，如连续封闭的围墙、院落大门、与五道营胡同纵向相交的巷道等。
- 2) 由“六只脚”软件生成场景及地理位置记录。
- 3) 街道与建筑尺度、建筑色彩类别下部分微观建成环境要素赋值为绝对值，则以绝对值取代累积值进行描述性统计。

#### 参考文献

- [1] 扬·盖尔·交往与空间[M]. 何人可，译. 北京：中国建筑工业出版社，2002.
- [2] 扬·盖尔·人性化的城市[M]. 欧阳文，徐哲文译. 北京：中国建筑工业出版社，2010.

- [3] 鲁斐栋，谭少华. 建成环境对体力活动的影响研究：进展与思考[J]. 国际城市规划，2015，30(2):62-70.
- [4] 刘亚南，何捷. 地铁站周边建成环境对步行行为影响机制探究——以天津小白楼为例[C]//中国城市交通规划年会论文集. 北京：中国城市规划学会城市交通规划学术委员会，2016.
- [5] 徐磊青，刘念，卢济威. 公共空间密度、系数与微观品质对城市活力的影响——上海轨交站域的显微观察[J]. 新建筑，2015(4):21-26.
- [6] 刘珺，王德，王昊阳. 上海市老年人休闲步行环境评价研究——基于步行行为偏好的实证案例[J]. 上海城市规划，2017(1):43-49.
- [7] ROSENBERG D, DING D, SALLIS J F, et al. Neighborhood Environment Walkability Scale for Youth (NEWS-Y): Reliability and Relationship with Physical Activity[J]. Preventive Medicine, 2009, 49(2):213-218.
- [8] 李敏，胡刚钰，黄建中. 上海市老年人社区服务设施需求特征研究——基于步行能力差异的视角[J]. 上海城市规划，2017(1):25-31.
- [9] 徐磊青，康琦. 商业街的空间与界面特征对步行者停留活动的影响——以上海市南京西路为例[J]. 城市规划学刊，2014(3):104-111.
- [10] 陈泳，赵杏花. 基于步行者视角的街道底层界面研究——以上海市淮海路为例[J]. 城市规划，2014，38(6):24-31.
- [11] 刘星，盛强，杨振盛. 步行通达性对街区空间活力与交往的影响[J]. 上海城市规划，2017(1):56-61.
- [12] OWEN N, CERIN E, LESLIE E, et al. Neighborhood Walkability and the Walking Behavior of Australian Adults[J]. American Journal of Preventive Medicine, 2007, 33(5):387-395.
- [13] SUNDQUIST K, ERIKSSON U, KAWAKAMI N, et al. Neighborhood Walkability, Physical Activity, and Walking Behavior: the Swedish Neighborhood and Physical Activity (SNAP) Study[J]. Social Science & Medicine, 2011, 72(8):1266-73.
- [14] 杨·盖尔，拉尔斯·吉姆松. 公共空间·公共生活[M]. 汤羽扬，王兵，威军，译. 北京：中国建筑工业出版社，2003.
- [15] 黄建中，胡刚钰. 城市建成环境的步行性测度方法比较与思考[J]. 西部人居环境学刊，2016,31(1):43-47.
- [16] OSGOOD C E. Semantic Differential Technique in the Comparative Study of Cultures[J]. American Anthropologist, 1964, 66(3):171-200.
- [17] Walkability Asia[EB/OL]. <https://walkabilityasia.org>[2017-10-26].
- [18] 何晓龙，陈庆果，庄洁. 影响体力活动的建成环境定性、定量指标体系[J]. 体育与科学，2014(1):52-58.
- [19] 徐磊青，施婧. 步行活动品质与建成环境——以上海三条商业街为例[J]. 上海城市规划，2017(1):17-24.
- [20] 卢银桃，王德. 美国步行性测度研究进展及其启示[J]. 国际城市规划，2012，27(1):10-15.
- [21] FRANK L D, SCHMID T L, SALLIS J F, et al. Linking Objectively Measured Physical Activity with Objectively Measured Urban Form: Findings from SMARTRAQ[J]. American

Journal of Preventive Medicine, 2005, 28(2):117-125.

- [22] FRANK L D, SALLIS J F, CONWAY T L, et al. Many Pathways from Land Use to Health: Associations between Neighborhood Walkability and Active Transportation, Body Mass Index, and Air Quality[J]. Journal of the American Planning Association, 2006, 72(1):75-87.
- [23] MILLINGTON C, WARD T C, ROWE D, et al. Development of the Scottish Walkability Assessment Tool (SWAT)[J]. Health & Place, 2009, 15(2):474-481.
- [24] LWIN K K, MURAYAMA Y. Modelling of Urban Green Space Walkability: Eco-Friendly Walk Score Calculator[J]. Computers Environment & Urban Systems, 2011, 35(5):408-420.
- [25] 周垠，龙瀛. 街道步行指数的大规模评价——方法改进及其成都应用[J]. 上海城市规划，2017(1):88-93.
- [26] 丁娟，徐磊青，汤众. 地下公共空间的群集流动规律研究——以上海市徐家汇地铁商城为例[J]. 建筑科学，2008，24(9):74-78.
- [27] 龙瀛，叶宇. 人本尺度城市形态：测度、效应评估及规划设计响应[J]. 南方建筑，2016(5):41-47.
- [28] 于一凡，胡玉婷. 社区建成环境健康影响的国际研究进展——基于体力活动研究视角的文献综述和思考[J]. 建筑学报，2017(2):33-38.
- [29] 北京市规划委员会. 北京旧城25片历史文化保护区保护规划[M]. 北京：北京燕山出版社，2002.
- [30] 李诗卉，杨卓，梁潇，等. 东四历史街区：基于多时相街景图片的街道空间品质测度[J]. 北京规划建设，2016(6):39-48.
- [31] 甘心悦，余天唯，龙瀛. 街道建成环境中的城市非正规性：基于北京老城街景图片的人工打分与机器学习相结合的识别探索[J]. 时代建筑，2018(1):48-54.
- [32] SOUTHWORTH M. Designing the Walkable City[J]. Journal of Urban Planning & Development, 2005, 131(4):246-257.
- [33] ZACHARIAS J. The Pedestrian Itinerary - Purposes, Environmental Factors and Path Decisions[M]// TIMMERMANS H. Pedestrian Behavior: Models, Data Collection and Applications. Bingley, West Yorkshire: Emerald Group Publishing Limited, 2009.
- [34] GEHL J. Life Between Buildings: Using Public Space[M]. trans. by KOCH J. Washington, D.C.: Island Press, 2011.
- [35] 陈洁. 浅析亚历山大《建筑模式语言》中的空间研究[D]. 北京：清华大学，2007.
- [36] REN S Q. ShaoqingRen/faster\_rcnn[EB/OL]. (2015-09-18)[2019-02-27]. [https://github.com/ShaoqingRen/faster\\_rcnn](https://github.com/ShaoqingRen/faster_rcnn).
- [37] REN S Q, HE K, GIRSHICK R, et al. Faster R-CNN: towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks[C]// International Conference on Neural Information Processing Systems. Cambridge, MA: MIT Press, 2015.

#### 图表来源

图表均为作者拍摄、绘制