

基于空间句法视角的民国以来北京老城街道网络演变

周麟¹, 田莉¹, 张臻², 李薇³

(1. 清华大学建筑学院, 北京 100084; 2. 新加坡国立大学生物力学研究所, 新加坡 117411;

3. 北京市规划和国土资源委员会海淀分局, 北京 100190)

摘要: 研究基于空间句法理论与方法, 结合不同时期的数字化历史地图, 从街道网络显型、“局部—整体”层级关系及运转效率等三方面探讨民国以来北京老城的街道网络演变进程。结果表明: ① 政权更替是其演变的水分岭。民国时期, 老城街道网络由封建隔离结构向现代通达结构转型, 环环相扣、中轴对称式的整合、穿行核心格局同时被打破。1949年中华人民共和国成立后, 街道网络的几何格网特征越发明显, “环形+大格网”式的核心运动骨架凸显, 不同街道段的可达性与穿行频率则逐渐趋同。② 老城各子区域的可达性层级关系在百余年来持续变化, 穿行频率层级关系则保持稳定, 与其他区域相比, 东城的可达性与穿行频率优势明显。③ 政权更替之际新结构的集中嵌入与随后规划建设的路径依赖使得老城全域的运转效率历经“下降→上升→下降→上升”的起伏演变过程。这一过程同样出现在东城、西城与外城, 但更强的几何格网特征促使前者的两次上升幅度较大, 运转效率也相对较高, 而皇城的运转效率则随小规模封闭系统的日益开放呈阶梯式下降。概括来讲, 研究不仅运用数字化手段系统梳理了北京老城的街道发展史, 为如何更好地保护古都风貌, 传承历史文脉提供了街道网络视角的逻辑支撑, 对于空间句法的理论算法体系也进行了一定拓展。

关键词: 空间句法; 北京老城; 街道网络演变; 街道网络显型; “局部—整体”层级关系; 运转效率

DOI: 10.11821/dlxb201808004

1 引言

众所周知, 北京老城作为中国政治文化的核心, 称得上是全世界保存最完好, 而且继续有传统、有活力的, 最特殊、最珍贵的艺术杰作^[1]。从元大都时期王城之制思想的秉承, 到明、清时期严整礼制格局的形成; 从民国时期西方现代规划思想的嫁接, 到1949年中华人民共和国成立以来保护与更新的争议性博弈, 北京老城历经800余年兴衰起伏, 在政治体制变迁、社会文化变革与人居需求变化中不断生长, 差异化城市记忆的叠合使其成为镌刻珍贵历史印记的有形地面遗存。

街道网络作为交通流、信息流与经济流的空间载体, 如血液系统般维系着城市功能的弥久历新。对于北京老城而言, 明清时期便已形成的棋盘式路网与街巷胡同格局早已享誉世界, 徐莘芳先生甚至将它视为现代城市中继续使用大面积古代城市街道的孤立^[2]。纵览老城古今, 民国的建立是其演化发育的转折点, 遵循传统礼制的街道网络系统随封

收稿日期: 2017-09-06; 修订日期: 2018-06-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(51222813, 51728802); 北京市社会科学基金项目(16GLB036) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.51222813, No.51728802; Beijing Social Science Fund Project, No.16GLB036]

作者简介: 周麟(1988-), 男, 河北保定人, 博士后, 助理研究员, 研究方向为空间句法、服务业时空格局。

E-mail: darkbluezl@163.com

通讯作者: 田莉(1973-), 女, 山西长治人, 教授, 博士生导师, 研究方向为土地利用规划。E-mail: litian262@126.com

1433-1448 页

建制度的终结踏上波澜起伏的百年之路。特别是1978年改革开放之后,诸多拥有悠久历史的街道为了迎合政治、经济与交通需求展开大规模改造与重建,这无疑推动了老城的现代化进程,但对传统文化的冲击却无法挽回。2000年以来,整体保护日渐成为老城规划建设“公约”,街道网络蕴含的历史、文化价值开始受人瞩目。连续两版北京城市总体规划也均明确规定,应全盘保护老城原有棋盘式路网骨架和街巷胡同格局,建构成体系的文化景观系统。因此,研究认为有必要对老城街道网络的过往今日,特别是民国以来的演变过程进行探讨,故尝试结合详细史料与历史地图,运用空间句法这一视街道网络为核心要素的分析技术,系统梳理老城的街道发展史,从街道网络视角为老城保护、更新决策的制定提供支撑。

2 文献述评

北京老城的街道网络演变在近年来受到一些地理学、城乡规划学及社会学等领域学者的关注。例如:王军、刘欣葵、Meyer结合历史档案、当事人口述等史料,以民国以来规划思想、实践活动及管理模式的变迁为切入点,定性归纳、还原老城街道网络的发展过程^[3-5];Shi、王亚男、王煦基于相同视角,专注于晚清到民国时期的研究^[6-8];郝田则将目光聚焦于老城中保留胡同地名但空间发生剧烈变化的胡同,并对其演变规律、机理进行讨论^[9];董明等和王静文等采用定量方法,分别对1949-2005年、1981-2003年的北京历史地图进行数字化,并从胡同数量、可达性等方面分析老城街道网络的演变过程^[10-11]。

概括来讲,既有文献多采用逻辑演绎、史料发掘等定性研究方法,少数定量研究则主要按照“看图说话”的方式归纳街道网络显型^①的演变规律,对于蕴藏在显型背后的某些隐型逻辑还有待发掘,且研究时段主要集中在1949年中华人民共和国成立后,对于民国时期街道网络的动荡演变缺乏必要的量化解读。

与此同时,随着复杂性网络科学在城市研究中的起势,一些学者开始从拓扑、联系的视角刻画老城街道网络的演变^[12-14],尤以空间句法学派为甚,其将街道网络视为由一系列相互依赖的街道段^②构成的复杂动态系统^[15],并认为这些街道段间的拓扑关系能够有效表征所在城市与区域的社会经济结构。相关研究可分为两类:①将老城的街道网络置于城市全景,探讨新老关系的变迁。例如:Psarra等指出城市蔓延致使底特律的高穿行度街道在1949年后由内城延伸的放射性干道向郊区高速公路网络迅速迁移,其扮演的角色也由微观经济容器向快速交通动脉转变^[16];Al-Sayed等发现曼哈顿与巴塞罗那老城的街道网络在城市尺度的可达性逐渐减弱,但在邻里尺度却一直保持显著的通达优势^[17]。②单独考论老城自身的演变模式。例如:Shen等论证了天津老城的街道网络对于现当代城市肌理的良好适应能力^[18];Jeong以平壤为研究对象,发现老城的高可达性街道随自上而下的规划而趋向轴线化,其承载的城市职能也由日本统治时期的商业、金融为主转向解放后的政治景观为主^[19];田金欢等刻画了昆明的整合中心由传统“寺—市—山”中轴线东迁至网格式主干道的过程^[20]。上述研究的方法、流程也较为一致,即:运用整合度、穿行度等经典句法参数描述老城街道网络显型的演变过程→对不同时期的参数统计值(如:均值、最大值等)进行对比→归纳、总结演变规律。

可见,国内外学者针对老城街道网络演变进行了较为深入的研究,但仍有些许欠缺。首先,老城是拼贴的,不同区域的街道网络可能拥有迥异的规划范式与城市记忆,

① 街道网络显型:泛指长度、密度、可达性等能够通过分层设色方式在地图上进行可视化的街道网络属性。

② 街道段:道路中心线两两交叉点之间的部分。

其演变路径因此存在差异吗?这在既有研究中多被忽略。相应的,各子区域与老城全域的“局部—整体”关系也就较少有人问津,而这对于理解不同区域的兴衰起伏至关重要。其次,运转效率在近年来已成为复杂性网络研究中的新焦点,并被视为评价网络结构优劣的重要属性,其核心论点在于高效率的网络结构可使任意两点之间的运动成本更少^[21-22],然而据笔者所知,尚未有学者从空间句法视角出发,提出街道网络运转效率的算法并予以运用。

在此基础上,后续研究将分为3个部分:①运用整合度、穿行度等经典句法参数探讨老城街道网络显型的演变过程。②提出空间句法理论下的“局部—整体”累积分布曲线绘制方法,并探讨老城各子区域“局部—整体”层级关系的演变过程。③提出空间句法理论下的运转效率算法,并探讨老城全域与各子区域运转效率的演变过程。

3 研究区域、方法与数据

3.1 研究区域

根据《北京城市总体规划(2016-2035年)》界定,北京老城特指明清北京护城河及遗址以内(今二环路以内)的城市建成区,面积约为62.5 km²,其街道网络在16世纪中叶便形成以轴为始、礼制为规、四重城垣、胡同纵横的严整格局。其中,皇城作为皇家建筑、园林及各类衙署的所在地,城内不许兵民通行,与内城仅靠四座城门联系。东、西城作为内城的两个部分,集聚了大量官僚、贵族住所与政府机构,以元大都时期规划为基础,基本延续了九经九纬、胡同纵横的街道网络,前者相对垂直、交错,后者则较为迂回。外城是普通民众及市井商业的聚集地,除东部少数街道按照胡同肌理布局外,其他均沿河道沟渠顺势修建(图1)。这一格局纵跨明清两代,直到1912年民国建立才被打破,进而来到本文关注的时间范畴。

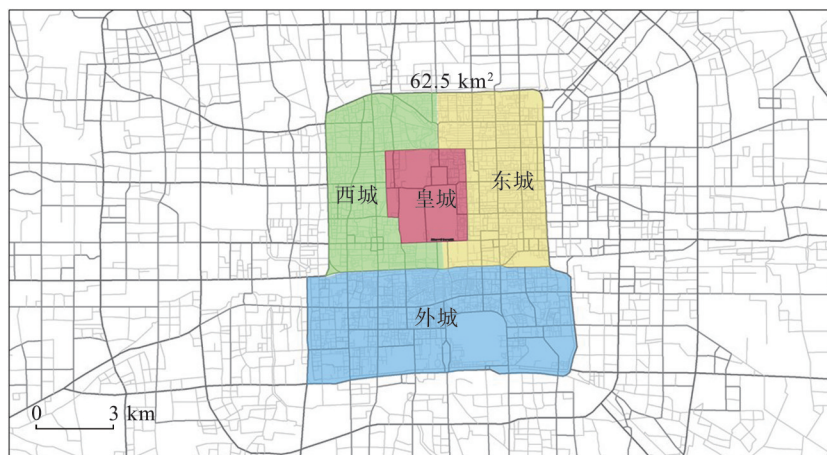


图1 北京老城及各子区域范围

Fig. 1 The scope of Beijing old city and its four subareas

3.2 研究阶段划分

通过梳理既往文献、史料及历史地图,笔者认为宜结合重要历史事件对老城发展阶段进行划分。首先,该方法得到学界广泛认可,例如:陈仲光等、Emanuele等及Barthelemy

在以福州三坊七巷、巴黎及米兰为案例地的研究中,均依据重要历史事件划分城市发展阶段,并认为某些承前启后的事件往往会带来规划建设的变革,进而影响街道网络的演化路径^[23-25]。其次,重要历史事件对于北京老城发展的推动作用已得到严谨论证。例如:王亚男、王煦指出在1912年民国建立伊始,朱启钤领衔的京都市政公所秉承西方现代规划理念,接连完成的正阳门改建、香厂新市区等项目对老城产生了重要影响^[7-8];刘欣葵则认为改革开放后,主要街道沿线商务服务机构的大量涌入以及二环路的修建引导老城规划建设重新进入快车道^[4]。在此基础上,研究以重要历史事件为切入点,将民国以来老城的发展分为5个阶段:

(1) 1912-1928年。辛亥革命推翻帝制后,袁世凯在北京建立北洋军阀政权,老城皇权至上的封建封闭结构开始解体。

(2) 1928-1949年。从国民政府迁都南京到抗日战争、国共内战先后爆发,老城发展命运多舛,不仅建设的财力、物力投入大幅削减,原有的规划计划也被彻底打乱。

(3) 1949-1976年。中华人民共和国成立后,老城进入了以宏大场所营造(如扩建天安门广场、兴建十大建筑)为主的发展活跃期。然而,这对传统城市风貌也造成了一定破坏,包括城墙、城门的拆除以及部分胡同的消失。

(4) 1976-1992年。随着文革的结束与改革开放的到来,中国进入新的历史阶段。老城建设也由政治力量驱动转向经济、文化力量驱动,保护与更新之间的矛盾进一步凸显。

(5) 1992年至今。《北京城市总体规划(1991-2010)》首次将北京定位于世界城市。老城由此迎来大规模、现代化的城市更新,并在保护与更新的博弈中逐渐繁荣、开放。

3.2 研究数据

依据上述发展阶段划分与可获取的历史地图精度等因素,研究以1912年、1928年、1949年、1976年、1992年与2016年等不同阶段衔接点的历史地图为基础,绘制空间句法线段图(图2),并将街道段视为分析的基本地理单元。同时,考虑到1949年中华人民共和国成立后,北京二环路外建设对于老城街道网络存在显著影响,研究将1976年、1992年与2016年的绘图与计算范围扩大至三环内,但分析时仅针对老城区。

3.3 研究方法

作为源自图论的城市学理论,空间句法旨在探讨空间的社会逻辑^[26],并广泛应用于城市扩张、服务经济格局、犯罪空间分布、历史街区改造等研究领域^[27-33],其核心论点在于不同区域的街道网络通过承载强度各异的人、车流运动而影响区域内的功能布局、土地收益及城市活力,并伴随持续性回馈与倍增效应^[34],正是这种以运动为媒介的出行经济机制决定了各区域的差异化演变路径。后续研究将主要依托4个句法参数进行分析,即:整合度、穿行度、“局部—整体”累积分布曲线以及运转效率。

3.3.1 整合度与穿行度 在空间句法语境中,每条街道段均具备两层含义:①出行的起、终点;②出行的必经之路^[34-36],由此衍生出两个经典句法参数:整合度(Integration)与穿行度(Choice)。前者用来衡量系统内任意街道段到其他街道段的远近程度,也可视为拓扑可达性;后者则用来衡量系统内任意街道段被其他两条街道段最短拓扑距离路径穿过的概率,也可视为穿行频率^[35]。研究应用Hillier等提出的标准化最小转角距离法^[37],综合考虑不同街道段间的拓扑连接与角度变化,通过标准化后的整合度(Normalized Angular Integration, NAIN)与穿行度(Normalized Angular Choice, NACH)对各时期北京老城的街道网络进行分析。公式如下:



图2 北京老城不同阶段空间句法线段图

Fig. 2 The segment maps in different periods in Beijing old city

$$NAIN = \frac{n^{1.2}}{\sum_{i=1}^n d(x, i)}, \quad x \neq i \quad (1)$$

$$NACH = \frac{\log \left(\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma(i, x, j)}{(n-1)(n-2)} + 1 \right)}{\log \left(\sum_{i=1}^n d(x, i) + 3 \right)}, \quad i \neq x \neq j \quad (2)$$

式中: n 为研究系统包含的街道段数量; $d(x, i)$ 为街道段 x 到 i 的最小转角距离, 相邻街道段的距离为 $2\theta/180^\circ$, 其中 θ 为相邻街道段的转角; $\sigma(i, x, j)$ 为街道段 i 途径 x 到 j 的最小转角距离, 当 i 到 j 不经过 x 时, $\sigma(i, x, j) = 0$; 当 i 到 j 经过 x 时, $\sigma(i, x, j) = l(i)l(j)$; 当 x 为 i 时, $\sigma(i, x, j) = l(i)l(j)/2$; 当 x 为 j 时, $\sigma(i, x, j) = l(i)l(x)/2$ 。 $l(i)$ 为街道段 i 的米制长度。

Hillier 等进一步按照整合度、穿行度的高低将不同街道段归为前景网络^③与背景网络^④, 并认为整合度、穿行度的平均值、最大值可以表征街道网络系统的某些结构性特征^[37]。其中, 整合度的平均值、最大值分别代表背景、前景网络的整体可达性, 数值越高, 则可达性越高。穿行度平均值代表不同区域背景网络间的结构连续性, 也可理解为整个系统几何格网的程度, 数值越高, 则区域间关联越密切, 系统也就更趋向几何格

③ 前景网络: 整合度或穿行度数值位居前 20% 的街道段, 承载着较多功能分布与经济活动。其中数值位居前 5% 的街道段为整合/穿行核心, 是城市政治、经济与文化的核心轴线。

④ 背景网络: 整合度或穿行度数值位居后 80% 的街道段, 主要作用在于为居民的日常生活与居住提供场所。

网;最大值则代表前景网络的突显性,数值越高,则突显性越强,承载大规模人、车流运动的能力也就越强。

3.3.2 “局部—整体”累积分布曲线 层级结构是空间句法理论关注的重点,无论整合、穿行核心还是前景、背景网络,均可视为不同层级的街道网络。那么考虑皇城、外城等子区域与老城全域的“局部—整体”层级关系,不同区域的各层级街道段与老城全域的相同层级街道段一一对应吗?例如:皇城前5%的整合、穿行核心是否均处于老城的整合、穿行核心中,还是说部分已滑落至前5%~10%的前景网络?东城前20%的前景网络是不是绝大多数已跻身老城全域的整合、穿行核心?再者,各子区域的层级关系在百余年来又分别经历怎样的演变过程?针对上述疑惑,研究提出“局部—整体”累积分布曲线^⑤的概念,以表征街道网络的“局部—整体”层级关系。设横轴为子区域以5%为阈值划分的层级,纵轴为老城全域以5%为阈值划分的层级。在均质分布状态下,各子区域的累积分布曲线应为一45°直线,但在真实世界中,主导功能、发展路径等要素的不同致使子区域之间必然存在差异,曲线随之出现波动。

3.3.3 运转效率 空间句法理论认为,虽然人们在出行过程中均试图“抄近路”,但事实上他们对于距离的认知更多是基于几何、拓扑视角,而非如计算效用函数般精准地计算距离,并通过大量实证分析论证其在出行过程中更偏好最小转角路径(图3)^[34-37]。那么最小转角路径与最短距离路径之间是否存在联系?研究尝试对其进行解答:设前者的距离为 p_A ,后者为 p_m ,考虑两种极端情况:①当出行目的地为相邻街道段时,则 p_A 与 p_m 重合。②当系统为绝对方格网、三角网及六边网等规则网络时,任意两条街道段间的 p_A 与 p_m 虽未必重合,但长度一定相同。然而在真实世界中,大多数出行是迂回的,绝对规则的街道网络也并不存在,对于任意两条街道段而言, p_A 与 p_m 未必重合,且 $p_A \geq p_m$ 。因此,研究提出单次出行效率 E_{od} 的概念,即:

$$E_{od} = \frac{p_m(i, j)}{p_A(i, j)} \quad i \neq j \quad (3)$$

式中: i 为单次出行的起始街道段; j 为到达街道段。假设交通流是均质的, E_{od} 越接近1,则单次出行成本越接近理想状态下的最优成本,出行效率也就越高。反之,若人们为了追求最小转角路径而去绕更远的路、花费更多的时间抵达目的地,则出行效率降低。



图3 最短距离路径与最小转角路径对比

Fig. 3 The comparison of the shortest path and the least angle path

⑤ 累积分布曲线:能完整描述一个实数随机变量 X 的概率分布的曲线。

基于此, 研究进一步针对街道网络系统提出运转效率 E_s 的概念, 即:

$$E_s = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \frac{p_m(i, j)}{p_d(i, j)} \quad (4)$$

同样假设均质交通流, E_s 越接近1, 任意两条街道段间的平均出行效率越高, 系统的运转效率也就越高。反之, 则任意一次出行的平均绕道距离越长, 系统的运转效率也就越低。

4 研究结果

本文将从街道网络显型、“局部—整体”层级关系及运转效率等三方面对民国以来北京老城街道网络的演变过程进行分析。

4.1 街道网络显型演变

4.1.1 整合度分析 首先, 对街道网络的整合结构演变进行分析(图4)。1912年民国成立伊始, 北京正值改朝换代之际, 明、清时期的街道网络基本传承。由1912年句法图可知, 皇城以绝对隔离的方式占据老城几何中心。内城出现两个可达性极强的方环, 分别为紧绕皇城的内环与由东、西单大街等贯穿东、西城的街道围合而成的外环。前门大街、宣武门大街等少数几条衔接内、外城的“桥梁”则扮演了外城整合核心的角色, 云集众多商业、文化场所。

1912-1928年, 皇城的可达性随城墙打通得到一定提升, 并有南北长街、池子大街等几条街道跻身前景网络。扩建天安门广场、外长安街等建设活动致使内城的双重方环

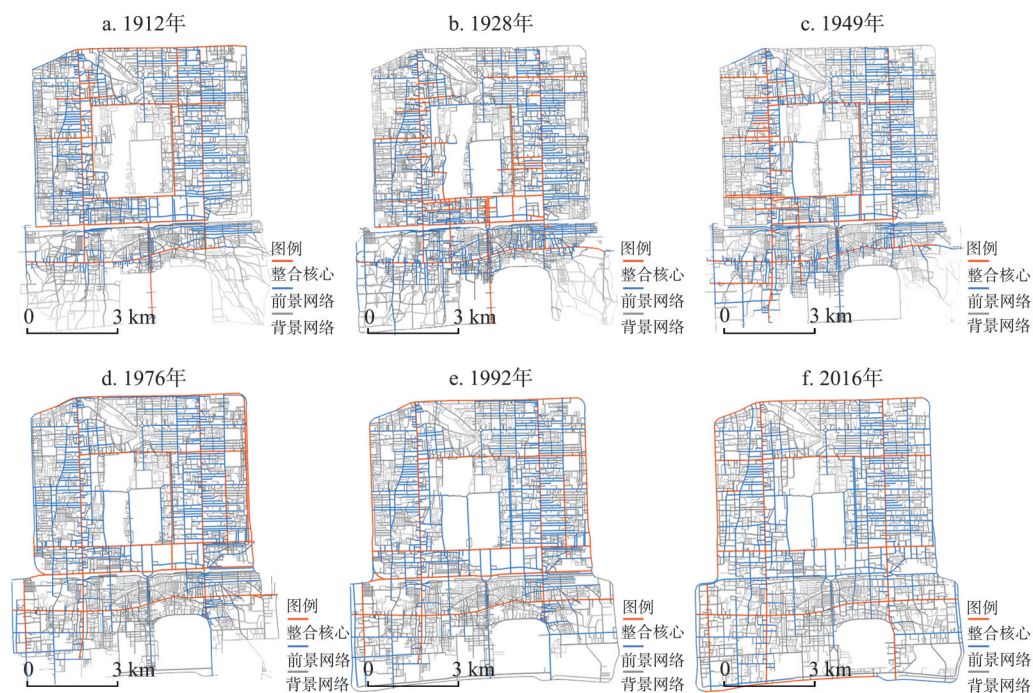


图4 北京老城整合度分析结果

Fig. 4 The analysis result of NAIN in Beijing old city

被“凹”型整合核心结构取代,若干高可达性街道段在东、西单大街与长安街及其沿线汇聚。外城则在上一时期的基础上又涌现出由新华街与香厂新市区构成的高球杆式前景网络结构。前者作为联通内外城的第4条“桥梁”,迅速承载了重要的社会经济职能,北京市第一家照相馆、中国最早的高等师范学校、北京电话总局等机构均分布于此。后者作为第一次按照西方现代规划思想营建的街区,由地势低洼、环境杂差的荒地摇身一变成成为北京的金融、商业中心,不仅重塑了城市的经济景观,也在很大程度上推动了外城的发展。

1928-1949年,原本中轴对称的整合核心出现明显西偏,这显然得益于第一条贯通老城南北的长街的诞生,其由西单大街、宣武门外大街等构成,不仅拥有最高的整合度,诸多与之相连道路的可达性也得到大幅提升,相应的,西城在彼时发展速度明显加快,西单更是成为最繁华的商业中心之一。

1949年中华人民共和国成立后,老城开始进入政治引领的新阶段。1949-1976年,贯穿东西的长安街一跃成为可达性最高的道路,其沿线遍布中央行政机构与国家形象工程,并扮演着国庆阅兵与群众游行的场所,是名副其实的新中轴线,凸显了政治力量对于仪式型空间的塑造能力。同时,整合核心的非均衡格局依旧存在,但倾斜方向却与上一时期相反,内城东的交错长街系统构成新的整合核心集聚区,这应与长安街的贯通以及东北二环外更为通达、完善的网络结构的“拉扯”有关。

1976-1992年,街道网络显型的最大变化莫过于南二环的从无到有,然而由1992年句法图可知,其包含的大多数街道段均处于背景网络,这与环路的初衷相差甚远。相比而言,上一时期便已贯通的北二环则拥有极高的可达性。从更大尺度解释,北二环与长安街以北的前景网络形成了良好共生关系,由此引发了整合度的倍增效应。反观长安街以南,不仅整体可达性较低,与南二环关联的街道段也多为背景网络,这也就引发了整合度的倍减效应。

1992-2016年,大规模改造式更新的持续进行致使老城街道段数量由10925条锐减至9670条,整合结构也出现较大调整。首先,南二环的可达性随长安街以南街道网络的致密、完善提升显著,并与北二环有机衔接。其次,二环路整体与若干贯穿老城的长街共同构成了“环形+大格网”式整合核心,较以往更为简洁、舒展,彰显了“大马路”在现代城市中的重要位置,沿线不仅包含天安门广场、中南海等国家权力中心;故宫、天坛等世界文化遗产;还包含金融街、王府井等金融商业中心。同时,东单大街及其串联的若干纵横胡同形成的规则格网结构作为元大都时期的遗留,仍保持显著的通达优势,并在市井文化的基础上,逐步向创意文化街区转型。相比而言,其他区域的许多传统胡同、小巷可达性大幅降低,且在现实生活中也出现明显衰退。

4.1.2 穿行度分析 对街道网络的穿行结构演变展开分析(图5)。对比不同时期句法图可知,穿行度的前景网络在1912-1949年间越发均质,大多数街区均存在“必经之路”以减少居民出行过程中的绕道距离。同时,与整合核心演变相似,以皇城为中心,环环相扣式的穿行核心也经历了中轴对称结构消失的过程,但其突破点并非以西单大街为轴的鱼骨状结构,而是由东单大街、鼓楼大街等重要商业通道构成的规则格网结构。

1949年中华人民共和国成立后,由二环路、贯穿老城的长街及其相接的若干街道段构成的老城穿行骨架逐渐凸显,而大多数胡同、小巷对于出行选择的重要程度则出现持续下降,到了2016年,三段式的穿行结构基本稳定,即:“环形+大格网”式穿行核心、接轨穿行核心的致密格网式前景网络以及以传统小尺度街道为主的背景网络。究其原因:二环路与纵横长街构成的“环形+大格网”式回路作为连接老城内外的枢纽,串联了

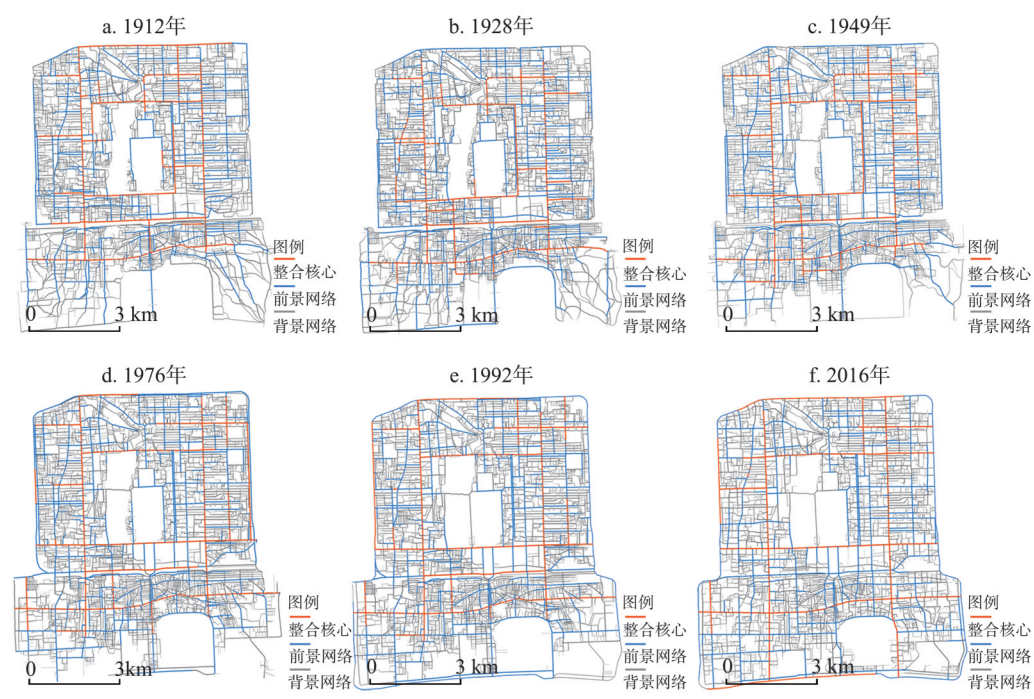


图5 北京老城穿行度分析结果

Fig. 5 The analysis result of NACH in Beijing old city

大量主、次、支路，并承担着极其重要的通勤职能，故拥有最高的穿行频率。相比而言，地块优先、封闭内向的改造式更新致使一些原本通畅的胡同系统被强行隔断，且越发迂回，穿行频率也降至冰点。

4.1.3 相关参数分析 为了更为客观地阐述老城街道网络显型的演变过程，反映不同时期整合、穿行结构的相关句法参数被记录（表1）。

就整合度而言，1949年中华人民共和国的成立是其参数变化的转折点。1912-1949年，整合度的最大值与平均值分别由1.64、1.02增至1.91、1.17，前景、背景网络的整体可达性均随西方现代规划思想的引入与内、外、皇城关联关系的破冰增幅显著，老城街道网络结构日趋整合、通达。中华人民共和国成立后，两者进一步提升，但演变路径出现分叉，最大值在1975年、1992年与2016年稳定在2.05~2.07，前景网络的可达性随二环路与贯穿老城长街的逐步完善而趋向稳定；平均值则在1992-2016年间由1.29升至1.36，背景网络的可达性随现代城市肌理的大规模植入出现显著提升。

穿行度参数的变化同样具备两段式特征。1912-1949年，穿行度的最大值、平均值分别出现持续上升与下降，前景网络的突显性与承载人、车流的能力不断增强，这也迎合了民国时期快速增长的交通需求与经济活动需求。随后，两者变化开始转向，前者持续

表1 不同时期相关句法参数演变

Tab. 1 The evolution of some relevant syntax parameters						
年份	街道段数量(条)	整合度最大值	整合度平均值	穿行度最大值	穿行度平均值	整合/穿行结构R ²
1912	10427	1.64	1.02	1.58	0.88	0.33
1928	14341	1.69	1.07	1.60	0.87	0.31
1949	13178	1.91	1.17	1.62	0.87	0.37
1976	11660	2.07	1.29	1.60	0.89	0.44
1992	10925	2.06	1.29	1.59	0.90	0.47
2016	9670	2.05	1.36	1.57	0.91	0.50

下降,后者则截然相反,并在2016年分别达到百余年来的谷值与峰值。由此可知,老城街道网络的几何格网特征在1949年后逐渐鲜明,区域间的穿行联系也越来越密切。

值得注意的是,无论“环形+大格网”式整合、穿行核心的明晰,还是诸多胡同、小巷的冷清迂回,整合、穿行结构变得越来越相似。为此,研究以单一街道段为基本单元,对不同时期的整合、穿行结构进行OLS回归,结果表明:两者的 R^2 在1928年后开始持续上升,并在2016年达到0.50。显然,自上而下的政府主导型规划塑造了日益稳固的出行秩序,不同街道段的可达性与交通承载力逐渐趋同,大多数整合、穿行核心与前景网络的功能更为复合,并涌现出交道口大街、王府井大街等独具特色的“明星”街道,但也在一定程度上导致部分以胡同、小巷为主的区域出现空间隔离。

4.1.4 小结 综上所述,政权更替将北京老城街道网络的演变进程分为两部分,民国时期(1912-1949年),内、外、皇城的关联、若干长街的贯通以及香厂新市区的落成等一系列规划变革有效推动了老城街道网络由皇权、礼制主导的封建隔离结构向经济、交通主导的现代开放结构转变,环环相扣、中轴对称式的整合、穿行核心格局同时被打破。1949年中华人民共和国成立以后,在政治需求、规划引导与城市扩张的联合推动下,老城的几何格网特征越发明显,二环路与贯穿老城的长街逐渐构成兼具高可达性与高穿行频率的闭合、完整回路,不仅承载了最为重要的首都核心职能,还扮演着城市通勤要道的角色,是名副其实的出行运动骨架,不同区域的传统胡同、小巷则呈现迥异的兴衰演变路径。同时,随着老城出行秩序的日益稳固,不同街道段的可达性与穿行频率逐渐趋同。

4.2 “局部—整体”层级关系演变

由上文可知,不同区域的街道网络演变存在较大差异,那么其“局部—整体”层级关系有何不同?基于皇城、东城、西城与外城的整合度、穿行度“局部—整体”累积分布曲线可知(图6、图7),不同区域整合度曲线的波动均要比穿行度曲线剧烈得多,这表明各区域的可达性层级关系随时间推移不断变化,穿行频率关系则保持稳定。

进一步比较各区域“局部—整体”层级关系(图6)。就整合度而言,有两点值得关注:①不同时期东、西城的整合度层级关系曲线均具备凹性,两者的整体可达性要高于老城平均水平,尤其是前者,累积速度明显快于其他3个区域,其走势在历经1912-1928年的迅速下降与1928-1976年的缓慢上升后趋向稳定,并有28%~30%的街道段位于老城前景网络之中,较累积速度最慢的外城高出近一倍,展现了技高一筹的可达能力。②皇城相对动荡的曲线变迁及凸性的持续减弱彰显了其从封闭走向开放的过程。具体来说:封闭、内向的特性致使其在1912年仅有1.66%的街道段位于老城前景网络,近90%的街道段则位于老城后50%的背景网络,随着内、外、皇城的联通,上述两个比值分别变为10%、70%上下。1949年以后,皇城逐步对外开放,可达性也在持续升高,整合核心、前景网络占比在2016年已达到5.01%、19.86%,后50%的背景网络占比则降至62.40%。

就穿行度而言,上述两点同样存在,但由于穿行度曲线自身的稳定性,东城、皇城表现出来的“通达”与“质变”特征相对较弱(图7)。

4.3 运转效率演变

最后,对街道网络结构的运转效率演变展开讨论(表2)。就老城全域而言,运转效率历经“下降→上升→下降→上升”的起伏过程。其中,两次下降均出现在新政权建立初期。1912-1928年,老城的封闭隔离结构被打破,可达性显著提升,但运转效率却由0.81降至0.72。1949-1976年,老城街道网络结构再次出现剧变,且越发趋向几何格网,但运转效率却由0.76降至0.67。本文认为其原因实际上是一样的,即:新结构的嵌入。

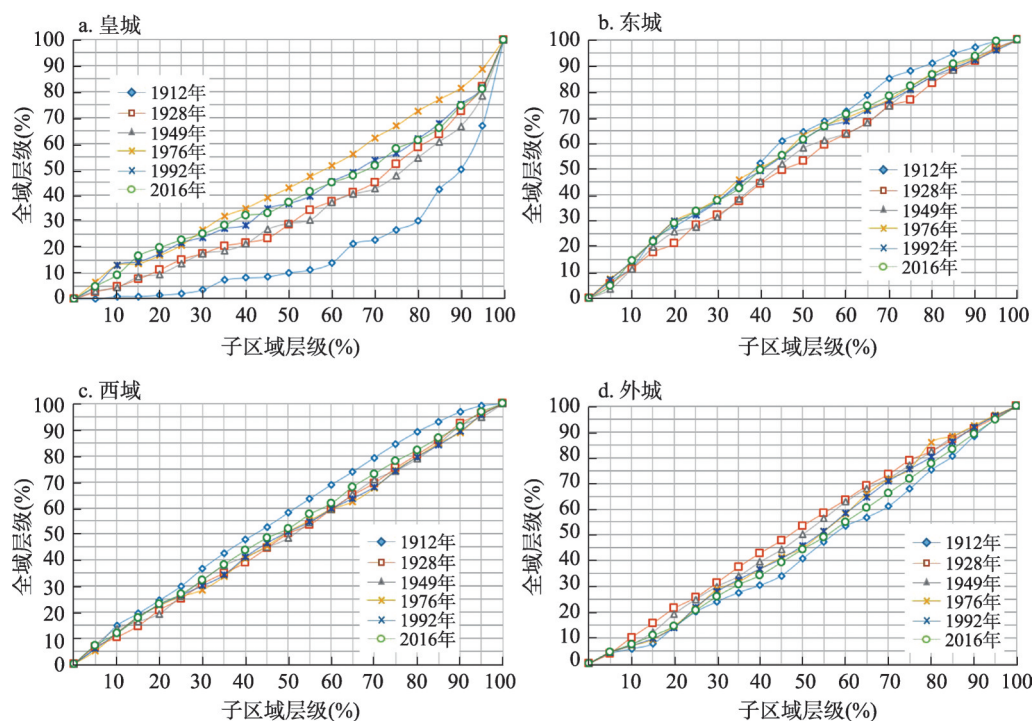


图6 整合度“局部—整体”层级关系曲线

Fig. 6 The part-whole hierarchical relation of NAIN

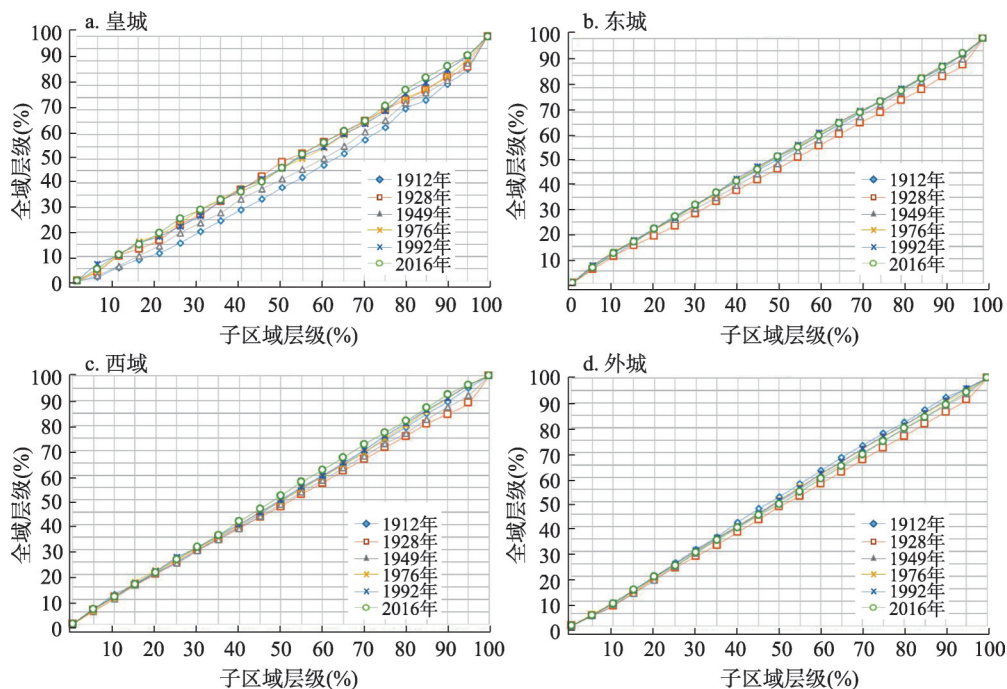


图7 穿行度“局部—整体”层级关系曲线

Fig. 7 The part-whole hierarchical relation of NACH

两次政权更替不单重构了老城的社会经济结构，执政者对于城市规划的执念也掀起老城大刀阔斧式的扩容与更新，目的性极强的新结构在短时间内嵌入较为稳定的旧结构，这虽然使得老城的整体可达性得到提升，但新旧秩序的相互磨合不可避免地重构了街道段之间的拓扑关系，进而干扰了整个系统的正常运转，运转效率随之下降。

再将目光转向两次上升期，即：1928-1949 年与 1976-2016 年。由上文可知，两次新结构嵌入后，老城随即展开一系列规划建设活动，然而无论长街的联通、环路的修建还是局部地块的更新，均具备一个共同特征，即：较强的路径依赖性。这些活动并未打破新旧结构冲突、融合形成的街道网络秩序，而是在此基础上的延续性调整，效率至上的固有原则敦促规划决策者通过大量地观察与实践理解街道网络，包括人、车流会更加青睐哪类路径，既有结构有哪些低效之地等，并针对性地予以优化，如果将优化主体换为街道网络本身，上述过程即可理解为老城内部的自适应与修复过程，由此引发运转效率的提升。

不同区域的运转效率演变则存在明显差异（表2）。其中，东、西、外城同样经历了“下降→上升→下降→上升”的起伏过程，但前者上升幅度同比较大，且效率值较高，并于2016年增至0.87。后两者上升幅度较小，最终落脚于0.71、0.74。皇城则有些特立独行，其运转效率在1912年高达0.93，随后呈阶梯式下降，并于1949年后稳定在0.81左右。究其原因，街道网络的几何格网特征是其中的关键环节。由运转效率算法可知，系统越接近规则网络，运转效率值越高，若将系统限定为城市，规则网络即可理解为几何格网。各子区域中，东城街道网络大多垂直、交错，几何格网特征更强，人、车流出行的绕道可能性降低，不同时期的运转效率也就相对较高。同时，这种强几何格网特征赋予东城更好的韧性，即：在新结构嵌入后，能够迅速优化自身结构，恢复、提升运转效率。反观西城、外城，其均有部分街道顺应水势、沟渠修建，几何格网特征相对较弱，虽历经多次改造，但并未大幅触及此类迂回肌理，不同时期的运转效率因此略逊于东城，而持续的弱几何格网特征也降低了两区域的韧性，两次上升幅度由此较为平缓。皇城则相对特殊，1912年民国成立之前，其作为一个小规模封闭系统，在长时间的演化发育中调整、优化自身结构，进而拥有接近理想状态的运转效率。随着系统的不断开放，这一稳定高效结构逐步解体，以迎合现当代城市发展诉求，运转效率由此迅速下降。

5 结论与讨论

5.1 结论

研究基于空间句法理论与方法，结合详细史料与历史地图，对民国以来北京老城的街道网络演变展开讨论。主要结论如下：

政权更替将老城街道网络的演变进程分成两部分：民国时期，老城街道网络由皇权、礼制主导的封建隔离结构向经济、交通主导的现代通达结构转变，环环相扣、中轴对称式的整合、穿行核心格局同时被打破。中华人民共和国成立后，在政治需求、规划引导与城市扩张的联合推动下，街道网络的几何格网特征越发明显，二环路与贯穿老城

表2 北京老城全域及各子区域运转效率演变
Tab. 2 The evolution of operation efficiency in Beijing old city and its subareas

年份	1912	1928	1949	1976	1992	2016
全域	0.81	0.72	0.76	0.67	0.72	0.78
东城	0.77	0.73	0.83	0.71	0.84	0.87
西城	0.74	0.72	0.75	0.71	0.73	0.74
皇城	0.93	0.87	0.88	0.82	0.81	0.82
外城	0.71	0.68	0.72	0.66	0.69	0.71

的长街逐渐构成“环形+大格网”式的运动骨架,不同街道段的可达性与穿行频率逐渐趋同。同时,东单大街及其串联胡同构成的规则格网结构作为元大都时期的遗留,自始至终保持着较高的可达性与穿行频率,凸显了中国传统营城思想对现代城市发展的适应与契合。

就“局部—整体”层级关系而言,不同区域的整合度层级关系在百余年来持续变化,穿行度层级关系则相对稳定。其中,东城街道网络在各个时期均展现了技高一筹的可达性与穿行频率,皇城整合度、穿行度层级关系曲线的剧烈波动则展现了其从封闭走向开放的过程。

就运转效率而言,政权更替之际新结构的嵌入与后续规划建设的路径依赖使得老城街道网络的运转效率历经“下降→上升→下降→上升”的起伏过程。这一过程同样出现在东、西、外城,但更强的几何格网特征促使前者的两次上升幅度较大,且在不同时期均拥有较高的运转效率。同时,随着小规模封闭系统的开放,皇城的运转效率在百余年来呈阶梯式下降。

5.2 讨论

在空间句法语境中,街道网络不再仅是人、车流运动的载体,更是社会经济要素的容器^[9],这在本文中得到进一步验证。无论长安街由封闭肃穆的“天街”跃迁为集政治、经济及文化景观为一体的“神州第一街”,还是东、西单大街与前门大街百余年来持续繁荣;无论香厂新市区的昙花一现,还是部分传统小尺度街巷的日渐萧条;无论政权更替之际街道网络结构与社会经济结构的同步性剧变,还是后续演化发育的路径依赖,对于北京老城而言,不同时期的街道网络结构与社会经济结构彼此依存、互利共生。基于这种关系,研究尝试为老城日后的发展提出两点建议:①建议从历史、演化的视角对老城整体编制街道设计导则,摸底每一条街道的记忆与价值,充分考虑通达能力与功能业态的变迁,萃取关键要素,形成“一街一策”式的设计指引,建构彰显北京历史与未来的文化景观体系。②香厂新市区、鲜鱼口、阜成门内等历史文化片区历经兴衰,现阶段均面临迫切的“重生”需求,建议在制定规划策略时重点参考其街道网络结构与演变过程,寻找兴衰原因,预判潜在发展方向,进而思考如何通过自身或周边街道网络的微调,提升片区的可达性及穿行频率,从街道网络视角为社会经济的“重生”提供依据及可操作的方法。

综上所述,研究对民国以来北京老城街道网络演变进行了详细的定量审视,不仅弥补了既有文献的缺失,为梳理老城发展史提供了新的视角,还为老城构建了横跨百年的街道网络数据库。同时,细化到每一条街道的数字化句法地图确保研究涵盖街道、片区、子区域与老城全域等不同尺度,系统刻画街道网络结构的此消彼长,而针对“局部—整体”层级关系、运转效率等隐型属性的探讨则有效揭示了街道网络显型下的某些结构性特征及其蕴含的社会经济逻辑。可以说,研究为如何更好地保护古都风貌,传承历史文脉提供了街道网络视角的逻辑支撑,也有助于规划人员更为理性地剖析老城、制定规划、模拟实施效果,具有一定的理论与现实意义,但仍有几点不足:首先,多尺度是空间句法应用研究的重要环节,诸多学者在计算整合度、穿行度时均偏好设置不同分析半径,但本文仅针对全局尺度(即计算半径 $=+\infty$)进行讨论,在后续研究中应增加邻里尺度的探讨(即计算半径 $=800\text{ m}$ 或 1600 m),并对比全局尺度与邻里尺度演变进程的差异。其次,运转效率作为笔者提出的新算法,虽具备一定的创新性,但在应用上还略显稚嫩,例如:与其他城市相比,北京老城的运转效率处于何种水平?怎样能够提升效率?运转效率与实际交通流的关系如何?因而在后续研究中仍需要更为深入的讨论。

参考文献(References)

- [1] Liang Sicheng. Beijing: A masterpiece of urban planning. *New Observation*, 1951, 2(4): 7-8. [梁思成. 北京: 都市计划的无比杰作. *新观察*, 1951, 2(4): 7-8.]
- [2] Xu Pingfang. The planning and preservation of the streets in the old city of Beijing. *Journal of Beijing Union University (Humanities and Social Sciences)*, 2008, 6(1): 23-27. [徐苹芳. 论北京旧城的街道规划及其保护. *北京联合大学学报 (人文社会科学版)*, 2008, 6(1): 23-27.]
- [3] Wang Jun. *City's Diary*. Shanghai: SDX Joint Publishing Company, 2003. [王军. 城记. 上海: 生活·读书·新知三联书店, 2003.]
- [4] Liu Xinkui. *Urban Planning and Management of Beijing City under the Capital System: 600 Years as the Capital of Feudalism and 60 Years as the Capital of P. R. C.* Beijing: China Architecture & Building Press, 2009. [刘欣葵. 首都体制下的北京规划建设管理: 封建帝都600年与新中国首都60年. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.]
- [5] Meyer M. *The Last Days of old Beijing: Life in the Vanishing Backstreets of a City Transformed*. London: Bloomsbury Press, 2010.
- [6] Shi M. From imperial gardens to public parks: The transformation of urban space in early twentieth-century Beijing. *Modern China*, 1998, 24(3): 219-254.
- [7] Wang Yanan. *Research on the Urban Planning and Construction in Beijing from 1900 to 1949*. Nanjing: Southeast University Press, 2008. [王亚男. 1900-1949年北京的城市规划与建设研究. 南京: 东南大学出版社, 2008.]
- [8] Wang Xu. *Old City Renewal: The Municipal Construction of Beijing in the Republican Period (1928-1937)*. Beijing: People's Publishing House, 2014. [王煦. 旧都新造: 民国时期北平市政建设研究(1928-1937). 北京: 人民出版社, 2014.]
- [9] Hao Tian. Changes of street remaining the hotong placenames in the old city of Beijing [D]. Beijing: Tsinghua University, 2015. [郝田. 北京旧城保留胡同地名的街道空间变迁研究[D]. 北京: 清华大学, 2015.]
- [10] Dong Ming, Chen Pinxiang. Research on actuality and transaction of Beijing Imperial City bystreet based on GIS technique. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2007, 34(5): 34-37. [董明, 陈品祥. 基于GIS技术的北京旧城胡同现状与历史变迁研究. *测绘通报*, 2007, 34(5): 34-37.]
- [11] Wang Jingwen, Mao Qizhi, Dang Anrong. An evolution model of Beijing: A discussion on the evolution of urban spatial and fuctional patterns based on space syntax. *Urban Planning Forum*, 2008(3): 82-88. [王静文, 毛其智, 党安荣. 北京城市的演变模型: 基于句法的城市空间与功能模式演进的探讨. *城市规划学刊*, 2008(3): 82-88.]
- [12] Jiang B, Claramunt C. Topological analysis of urban street networks. *Environment and Planning B: Planning and design*, 2004, 31(1): 151-162.
- [13] Porta S, Crucitti P, Latora V. The network analysis of urban streets: A dual approach. *Physica A Statistical Mechanics & Its Applications*, 2006, 369(2): 853-866.
- [14] Louf R, Barthélemy M. A typology of street patterns. *Journal of the Royal Society Interface*, 2014, 101(11): 19-35.
- [15] Tao Wei, Chen Hongye, Lin Jieyong. Spatial form and spatial cognition of traditional village in syntactical view: A case study of Xiaozhou Village, Guangzhou. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(2): 209-218. [陶伟, 陈红叶, 林杰勇. 句法视角下广州传统村落空间形态及认知研究. *地理学报*, 2013, 68(2): 209-218.]
- [16] Psarra S, Kickert C, Pluviano A. Paradigm lost: Industrial and post-industrial Detroit: An analysis of the street network and its social and economic dimensions from 1796 to the present. *Urban Design International*, 2013, 18(4): 257-281.
- [17] Al-Sayed K, Penn A. On the nature of urban dependencies: How Manhattan and Barcelona reinforced a natural organisation despite planning intentionality. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2016, 43(6): 975-996.
- [18] Shen Y, Karimi K. Understanding the roles of urban configuration on spatial heterogeneity and submarket regionalisation of house price pattern in a mix-scale hedonic model. *The 10th International Space Syntax Symposium*. London, UK, 2015.
- [19] Jeong S K, Lee T H, Ban Y U. Characteristics of spatial configurations in Pyongyang, North Korea. *Habitat International*, 2015, 47(1): 148-157.
- [20] Tian Jinhuan, Zhou Xin, Li Zhiying, et al. Research on spatial structure evolution of Kunming based on space syntax. *City Planning Review*, 2016, 40(4): 41-49. [田金欢, 周昕, 李志英, 等. 昆明城市空间结构发展的句法研究. *城市规划*, 2016, 40(4): 41-49.]
- [21] Barthélemy M. Spatial networks. *Physics Reports*, 2011, 499(1-3): 1-101.

- [22] Huang W, Chen S, Wang W. Navigation in spatial networks: A survey. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2014, 393(1): 132-154.
- [23] Chen Zhongguang, Xu Jianggang, Jiang Haibing. Multi-scale spatial analysis of historic district based on syntax: Taking three lanes and seven alleys in Fuzhou as an example. *City Planning Review*, 2009, 33(8): 92-96. [陈仲光, 徐建刚, 蒋海兵. 基于空间句法的历史街区多尺度空间分析研究: 以福州三坊七巷历史街区为例. *城市规划*, 2009, 33(8): 92-96.]
- [24] Emanuele S, Vincenzo N, Vito L, et al. Elementary processes governing the evolution of road networks. *Scientific Reports*, 2012, 2(1): 296.
- [25] Barthélemy M. From paths to blocks: New measures for street patterns. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2017, 44(2): 256-271.
- [26] Hillier B, Hanson J. *The Social Logic of Space*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1984.
- [27] Wang Haijun, Xia Chang, Zhang Anqi, et al. Space syntax expand intensity index and its applications to quantitative analysis of urban expansion. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(8): 1302-1314. [王海军, 夏畅, 张安琪, 等. 基于空间句法的扩张强度指数及其在城镇扩展分析中的应用. *地理学报*, 2016, 71(8): 1302-1314.]
- [28] Chen Mengyuan, Xu Jiangang. The characteristics of imagery hot space: A case study of Nanjing. *Geographical Research*, 2014, 33(12): 2286-2298. [陈梦远, 徐建刚. 城市意象热点空间特征分析: 以南京为例. *地理研究*, 2014, 33(12): 2286-2298.]
- [29] Omer I, Goldblatt R. Spatial patterns of retail activity and street network structure in new and traditional Israeli cities. *Urban Geography*, 2016, 37(4): 629-649.
- [30] Scoppa M D, Peponis J. Distributed attraction: The effects of street network connectivity upon the distribution of retail frontage in the city of Buenos Aires. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2015, 42(2): 354-378.
- [31] Yang Tao, Sheng Qiang, Liu Ning. The voids may become useful: An application of space syntax in commercial building design. *World Architecture*, 2015, 36(4): 118-122, 137. [杨滔, 盛强, 刘宁. 无之以为用: 论空间句法在商业建筑设计中的应用. *世界建筑*, 2015, 36(4): 118-122, 137.]
- [32] Zheng Wensheng, Zhuo Rongrong, Luo Jing, et al. The distribution environment of robbery, snatch and theft crime based on space syntax: A case study of the central area of Wuhan. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(10): 1710-1720. [郑文升, 卓蓉蓉, 罗静, 等. 基于空间句法的武汉城区“两抢一盗”犯罪分布环境. *地理学报*, 2016, 71(10): 1710-1720.]
- [33] Thilagam N L, Banerjee U K. The morphological characteristics of medieval temple towns of Tamilnadu. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2016, 43(1): 7-33.
- [34] Hillier B. *Space is the Machine: A Configurational Theory of Architecture*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996.
- [35] Turner A. From axial to road-centre lines: A new representation for space syntax and a new model of route choice for transport network analysis. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2007(3): 539-555.
- [36] Shen Tiyan, Zhou Lin, Wang Liwei, et al. Research on the traffic network point of services location choice: A case study of Beijing central city. *Progress in Geography*, 2015, 34(8): 947-956. [沈体雁, 周麟, 王利伟, 等. 服务业区位选择的交通网络指向研究: 以北京城市中心区为例. *地理科学进展*, 2015, 34(8): 947-956.]
- [37] Hillier B, Yang T, Turner A. Normalising least angle choice in Depthmap and how it opens new perspectives on the global and local analysis of city space. *Journal of Space Syntax*, 2012, 3(2): 155-193.

The street networks evolution in Beijing old city since the establishment of the Republic of China: A syntactical view

ZHOU Lin¹, TIAN Li¹, ZHANG Zhen², LI Wei³

(1. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Mechanobiology Institute, National University of Singapore, Singapore 117411, Singapore; 3. Beijing Haidian Municipal Commission for City Planning and Land Resources Management, Beijing 100190, China)

Abstract: By using space syntax techniques with digital historical maps in different times, this study tries to reveal the evolution process of Beijing old city's street network since the establishment of the Republic of China in the 1910s from three aspects, which are phenotype of street networks, part-whole hierarchical relation and operation efficiency. The results show that: first, the vicissitudes of dynasties divide evolution process into two parts. In the Republican Period, the street network transformed from feudal isolation structure to modern connective structure. The axisymmetric hook-ups NAIN and NACH cores patterns were broken up together. After the founding of New China in 1949, the geometry grid features of old city's street network became obvious, and the ring and big grid movement skeleton system sprang up gradually. Meanwhile, the accessibility and through frequency of different street segments became more and more similar. Second, the accessibility hierarchical relationship in each sub-area of the old city was in a constant change, however, the through frequency relationship stabilized for more than 100 years. Compared with other sub-areas, the east city had obvious spatial advantages of accessibility and through frequency. Third, two insertions of new structure and the path dependence of subsequent plan made the operation efficiency of street network experienced rise and fall. This process also emerged in east city, west city and outer city, and the stronger geometry grid feature urged east city to have a higher rising range and operation efficiency. Moreover, the imperial city's operation efficiency experienced a descent stage because of its opening wider to the outside world. In summary, this research completely organizes the phylogeny of Beijing old city's street network, provides the logical support from the street network perspective to protect the capital's traditional and inherit historical context, and expands the theoretical algorithm system of space syntax.

Keywords: space syntax; Beijing old city; street networks evolution; phenotype of street networks; part-whole hierarchical relation; operation efficiency