

文章编号:1000-582X(2009)08-0904-06

# 空间网络的轴线模型分析

曾旭东,姜莉莉

(重庆大学建筑城规学院,重庆 400030)

**摘要:**针对城市空间网络不易言表的复杂特性,提出运用空间句法中的轴线模型分析机制,通过对城市空间网络的拓扑关系及其功能属性的量化与图解式的定性描述,挖掘城市空间网络的内在结构逻辑——组构,进一步阐明自下而上的内在规则与自上而下的强制规划设计,可以通过对城市空间网络整体性关联的研究搭建起沟通的桥梁,使城市设计者的设计成果在顺应城市空间发展的系统性与自组织性的同时,发挥正向的、积极的、高效的推动力。

**关键词:**城市空间网络;组构;轴线模型;城市设计

中图分类号:R318.18

文献标志码:A

## Analysis on axial model of the urban space system

ZENG Xu-dong, JIANG Li-li

(College of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

**Abstract:** On account of the inexpressibly complex features of the urban space network, the axial model analysis mechanism in space syntax is used to explore the inherent logic regularities of the urban space network-configuration. Through both quantitative and graphic qualitative descriptions of topological relations of urban space network and its functional attributes, the bottom-to-top inherent regularities and top-to-bottom mandatory planning is further presented as well. With these, a platform is built for the studies of the unity relation of urban space network, thus the design schemes of urban designers can input positive, active and highly effective impetus with following with the systematicness and self-organization of urban space development.

**Key words:** urban space network; configuration; axial model; urban design

二十世纪中叶,系统理论逐渐成为城市设计者解读城市空间网络内在逻辑规律的“新语言”。其中以数学、物理等学科为背景,建立系统的抽象模型成为研究城市空间发展、运作等的重要手段。如今在这方面卓有建树的,并已应用于实际项目中的就是“空间句法”<sup>[1]</sup>。空间句法以空间本体为研究基点,以数理与图论相结合的方式建立城市形态模型,量化分析以及定性描述城市空间网络的内部元素之间的一种关系法则——组构,并于分析中加入空间的

社会属性——“人”在空间中的行为规律,形成独特的研究城市形式与功能的理论与方法<sup>[2]</sup>。

### 1 城市空间的组构理论

城市空间网络是一个复杂的有机体,呈现连续性、不规则性、系统性、自组织性、整体性等多重特性,其具体表现为:非线性不平衡运动激发局部空间体根据区位择优等原则聚集成为一个整体系统,而整体空间结构的某些特性“突现”于这一过程之中,

收稿日期:2009-03-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70173047)

作者简介:曾旭东(1961-),男,重庆大学副教授,主要从事虚拟建筑研究,(Tel)13908391200。

同时又会制约各个局部空间体,原有的局部空间体的属性在聚集的过程中可能会发生变化,于是城市空间网络的动态演化,便往往伴随着城市功能的增殖或演替<sup>[3]</sup>。空间句法理论的创始人 Bill Hillier 同其研究伙伴提出了组构——城市空间系统内部逻辑的语言法则,通过描述整体性的空间关系界定局部空间或空间元素的本质属性,表征的是一种需要分析研究的对象,亦是一个现象化的概念。基于组构概念的提出,Hillier 等人通过建立数学模型量化分析空间网络的同时,运用拓扑几何原理与计算机技术将量化分析过程编辑生成可以符号化的模型技术,直观的展现空间形态的瞬时性效果,进一步挖掘空间形式与功能之间的互动关系<sup>[4]</sup>。

## 2 组构的涵义

Hillier 在其所著的《空间是机器》一书中,将组构定义为大于 2 元素的系统的整体复杂关联,其中任一组关联取决于与之相关的其它所有关系。可以根据图 1 来理解这个定义:图 1 中 *a* 显示的是只有 2 个元素的整体,元素之间的关系是非常正式的对称,是客观再现,并不以其它关系所决定。再看图 1 中的 *b*、*c* 同时增加了第三空间 *c*,前者可以从 *c* 处直接

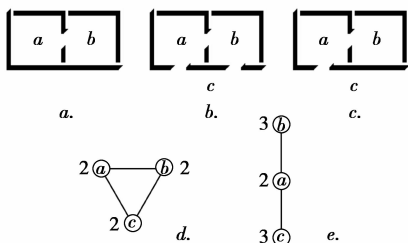


图 1 组构示意图

进入 *a*、*b* 空间,而后者从 *c* 处则要通过 *a* 空间才能到达 *b* 处。这种组构的差异性可以通过关系图解来描述见图 1 中的 *d*、*e*,前者显示了“浅性的”环状结构,即无论从哪点出发,都有一定的选择性,且可达性较高;后者显示了“深性的”线形结构,即从 *c* 到 *b* 必须经过 *a*,其可达性相对较低。图形旁边的数字则量化了这种关系,即表述的是从每个空间距离其它 2 个空间的总拓扑深度值<sup>[5]</sup>。总深度值的计算公式为

$$D_i = \sum_{d=1}^s d \times N_d,$$

其中  $d$  ( $d$  为整数,最小数值为 1,最大值为  $s$ ) 表示空间上一点到其他任一点的最短路径,最短路径的节点数为  $N_d$ 。深度值会根据  $d$  的取值大小代表不同

的空间属性:当步距离  $d$  逐渐增大时,深度值也逐渐增大,此阶段的深度值均为局部深度值(local depth);当  $d$  达到最大值  $s$  时,此时的深度值即为全局深度值(global depth)。在具体应用时,也常用平均深度值指标,即

$$\bar{D}_i = \frac{\sum_{d=1}^s d \times N_d}{m - 1}.$$

公式中  $m$  是考察空间网络的节点个数。

空间句法将对组构单元的解析扩展到城市空间网络的尺度上时,研究者发觉某些街道比其它街道更具可达性,这些街道具有成为目的地的更大潜力,而另一些街道将更多的作为网络中起点和目的地之间的通过路线,于是通过计算机模拟技术的运算,得出表述空间之间的连接状态与差异性的度量值。其中应用最普遍的度量值就是整合度(integration),一般用实际相对不对称值  $RRA_i$  的倒数表达,计算公式为

$$\begin{aligned} I_i &= \frac{1}{RRA_i} = \frac{E_m}{RA_i} \\ &= \frac{2\{M[\log_2\{[(m+2)/3]-1\}]+1\}}{(m-1)(m-2)} \\ &= \frac{2|\bar{D}_i-1|}{m-2} \\ &= \frac{m[\log_2\{[\frac{m+2}{3}]-1\}]+1}{(m-1)|\bar{D}_i-1|}, \end{aligned}$$

公式中  $m$  表示城市空间网络中单元空间的个数, $RA_i$  表示相对不对称值, $E_m$  为  $RRA_i$  在对  $RA_i$  进行标准化处理时的标准值( $i=1,2,\dots,m$ )。

整合度公式中运算得出的数值的大小表示空间在整个空间网络中的可达性的高低。数值越高,可达性越高,反之亦然。整合度表征的是到达人流量的程度。

空间句法还运用可理解度——系统中节点的整合度与连接度的关联度值,来量化描述空间的这种认知属性。其计算公式为

$$R^2 = \frac{[\sum(C_i - \bar{C})(I_i - \bar{I})]^2}{\sum(C_i - \bar{C})^2 \sum(I_i - \bar{I})^2}, C_i = \sum_l R_{il}.$$

公式中的  $C_i$  是选择度值,表示空间网络中与第  $i$  个单元空间相交的其他单元空间的数目。对应于轴线图,连通值则表示与指定街道  $i$  相交的其他街道的总数,可理解度的计算公式中的差值表示特定空间的度量值与所有空间度量值的平均值的相减关系<sup>[6]</sup>。当  $R^2 \geq 0.5$  时,整合度与连接度这 2 个变量的正比关系的比率越强,则两者的关联度越高,这意

意味着人们处于可达性越高的空间,所获得的视觉渗透广度越大,人们就越容易通过能够见到的空间局部结构特征,建立起对不能见到的整体空间的认知与理解,从而进行不同的活动、交流以及场所的塑造<sup>[7]</sup>。

当然在进行量化描述的同时,为了能直观且形象的表达空间的组构模式,空间句法运用人对空间的视觉体验所引发的行为模式的认知原理,以图论、拓扑学等为手段,将空间之间的复杂关联从系统中抽离出来,通过譬如轴线模型、视域模型等相关分析技术的运算,形成可读性很高的关系图解<sup>[8]</sup>。

### 3 轴线模型分析

系统理论认为,系统中各要素所具有的一种必然性的关系及其表现形式的综合导致了系统的整体规定性。空间句法正是系统地发掘空间的关系模式,为研究宏观的城市空间形态提供了一个支点:暗含某种组构模式的整体性的空间关联界定了局部的空间特征,而局部空间的变化又将会通过特定的空间组构传递到整个网络。而研究这种整体与局部之间的相互作用的最大意义在于——空间功能性的体现,即人在空间的流动、聚集与城市空间网络的一种内在的互动<sup>[9]</sup>。基于城市空间网络的这种特点,空

间句法将现实空间符号化为轴线,通过最长且最少的线覆盖整个空间网络,运用量化分析与关系图解来反映空间布局中的可视性与通达性,并进一步预测人车流的情况(如图 2 所示)。那么在进行应用之前,有必要了解轴线分析技术的运作机制:

1) 选定分析要素。根据时间的变迁、空间的尺度、研究对象的侧重点等方面进行确定,之后将选定要素的线条图输入 AUTO-CADRUAN 软件中,根据轴线的绘制规则进行描绘,如图 2 所示的轴线图<sup>[10]</sup>。2) 轴线图解分析。将绘制的轴线导入相关的空间句法分析软件,针对轴线分析的软件有 Mindwork、Axwomen、Depthmap 等。给出的实例均是基于 Mindwork 软件的分析成果,进行城市空间网络的分析与建构(如图 3 所示),由高到低的空间整合用从深到浅的颜色表示。3) 量化分析。对于空间的定量描述主要应用于城市地理、城市交通等专业,在相关的技术软件上可以直接调出数据进行解读,而无需进行繁重的公式计算,如表 1 所示显示的是图 2 轴线图中各个轴线的连接度值、控制值、拓扑深度值、快速选择度值,整体与局部整合度值,当然不同的整合度值对应不同的关系图解。通过轴线分析技术给出的信息将进一步指导设计人员对于城市空间网络的分析与再造<sup>[11]</sup>。

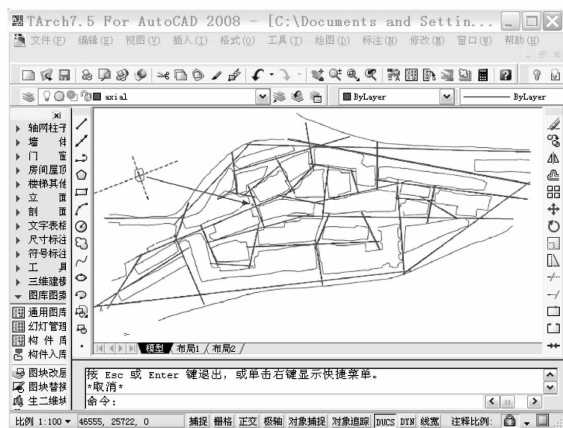


图 2 轴线图绘制举例

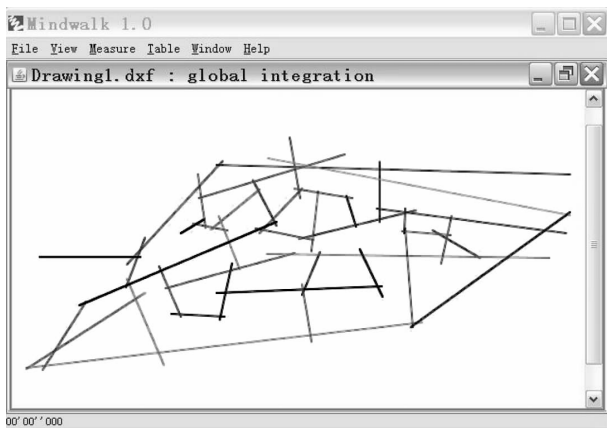


图 3 Mindwork 软件整合度分析示意

表 1 Mindwork 软件分析的数据显示

线的标号	选择度	控制值	深度值	快捷选择度值	全局整合度值	局部整合度值
0	5	1.1	3	0.104 1	1.525 9	1.886 1
1	5	1.05	2	0.094 6	1.566 6	1.884 0
2	5	1.05	3	0.152 9	1.780 2	1.937 3
3	5	0.959 5	3	0.199 9	1.991 4	2.201 5
4	5	1.2	3	0.133 3	1.546 0	1.936 3
5	4	0.766 7	3	0.085 7	1.450 5	1.781 3

续表

线的标号	选择度	控制值	深度值	快捷选择度值	全局整合度值	局部整合度值
6	5	1.1	2	0.107 7	1.566 6	1.884
7	4	1.2	3	0.084 5	1.249 9	1.749 5
8	4	1.2	2	0.101 1	1.382 3	1.728 9
9	2	0.5	2	0.048 2	1.129 7	1.303 5
10	4	1.125	1	0.102 3	1.546	1.836 3
11	8	2.116 7	0	0.270 1	2.061 3	2.381
12	4	0.858 3	1	0.074 4	1.506 3	1.936 3
13	5	1.075	1	0.092 2	1.609 5	2.040 3
14	4	1.233 3	2	0.076 1	1.320 2	1.67
15	3	0.666 7	2	0.054 7	1.277 1	1.559 8
16	6	1.866 7	2	0.135	1.546	1.941 6
17	3	0.616 7	3	0.069 6	1.211 3	1.606 4
18	4	0.759 5	3	0.090 4	1.587 7	1.941 6
19	6	1.7	2	0.159 4	1.702 8	1.931
20	3	0.625	1	0.082 1	1.587 7	1.755 5
21	2	0.416 7	3	0.048 2	1.119	1.402 8
22	3	0.75	2	0.048 2	1.305 5	1.451 6
23	4	0.875	1	0.089 8	1.702 8	1.888 1
24	3	0.875	1	0.135	1.566 6	1.716 5
25	2	0.666 7	2	0.058 9	1.108 4	1.170 8
26	3	1	3	0.066 6	1.140 7	1.466 6
27	4	1.059 5	2	0.157 6	1.587 7	1.884
28	7	2.116 7	3	0.217 7	1.702 8	2.098 6
29	3	0.642 9	4	0.048 2	1.211 3	1.539 6
30	4	0.926 2	4	0.070 2	1.366 2	1.725 7
31	4	1.166 7	4	0.070 8	1.236 8	1.551 7
32	4	0.825	1	0.117 2	1.609 5	1.931 1
33	3	0.75	2	0.057 1	1.291 1	1.5
34	4	1.333 3	2	0.089 2	1.291 1	1.551 7
35	4	0.958 3	1	0.136 2	1.702 8	1.888 1
36	2	0.5	3	0.048 2	1.004 2	1.176 9
37	2	0.392 9	4	0.058 3	1.140 7	1.466 6
38	4	1.5	4	0.063 7	1.068 1	1.466 6
39	3	0.726 2	4	0.061 9	1.223 9	1.604 3
40	3	0.75	3	0.072 6	1.249 9	1.604 3

#### 4 轴线模型分析技术的应用

空间句法认为人车流是城市空间模式塑造的本质要素,在大多数城市中,空间网络结构本身在很大程度上决定了人车流量密度的变化。研究对象根植于城市空间网络较大尺度的背景体系中,以发掘特定空间组织的特征,发展状态以及场所塑造上的特质<sup>[12]</sup>。

空间句法通过对空间关联的抽象化描述,将自下而上所涌现的城市空间系统的内在逻辑,通过不同尺度的界面的分析渗入到城市设计过程之中,使城市空间形态的自然演化与人为策划形成积极的双重互动。在某城水岸的城市设计中,设计者作了如下尝试:对规划区域的分析始于将其置于整体城市空间系统之中,通过轴线的绘制规则,建构特定区域的轴线模型,最后展现如图 4 显示的表征城市整体结构形态的全局整合度图解<sup>[13]</sup>,呈现明显的从边缘向中心汇聚的模式,整合度核心区域恰恰就是城市经济中心,位于中心延展地带的便是待规划区域、(圆环所示区域),区位优势明显。为使区域空间特征更为明晰,设计人员截取由河流连接的两大组团作为分析对象(见图 5、图 6),设计者发现万宝咀大桥的建立使空间涌现新的能量流,且能量流之间构成循环系统。也就是说,街区空间的功能特性重新得到整合,活力增强。代表这种变化的呈现新颜色

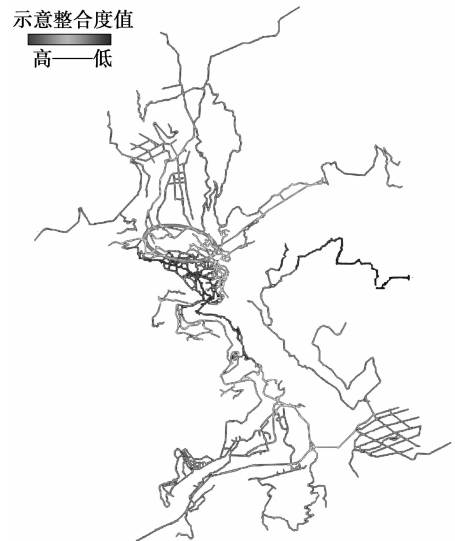


图 4 2003 年某城整体整合度( $R=n$ )图示

的轴线为下一步的功能单元的分配与空间结构“接口”的找寻提供有利参照。同时可以将这一区域的前后变化比较大的路段的快捷选择度(fast choice)、整体整合度(global integration)、局部整合度(local integration)等数值进行综合比较(见表 2、表 3),数值客观地呈现出整体空间网络的能量变化,尤以路段 c、d、e 变化最为明显。至此根据对大范围空间框架的分析,引导进一步的空间结构与功能组织的细

部整合(如图 7)<sup>[14]</sup>。

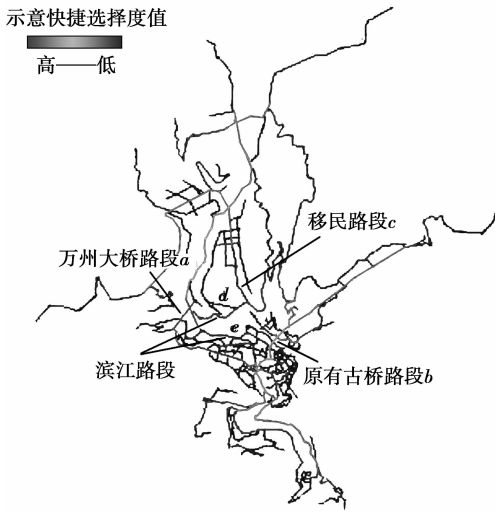


图 5 2003 年某城区域快捷选择度示意图

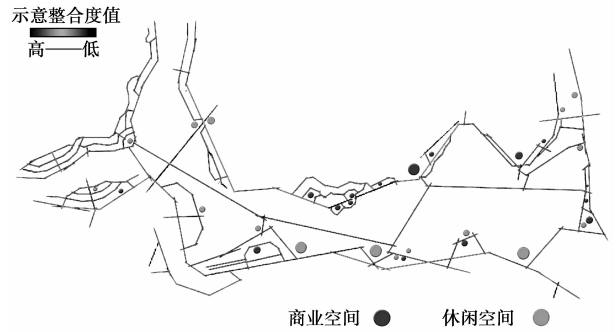


图 7 某城设计区域功能分配示意图

对于空间句法的这种桥梁作用, Hillier 这样写到, 不同半径的空间整合度之间的互动界面是实现城市功能的空间手段, 它形成了较小规模人流与较大规模人流之间的一个紧密联系。因此, 它是产生(穿行人流)局部效应的关键, 是城市整体人流为局部区域创造利益的途径。实现这个目标的空间技巧就是维持一定数量的空间互动界面: 在建筑入口与其他所有不同尺度的空间之间; 较小的城市空间和更大尺度的城市之间(通过凸空间和线性空间之间的关系来体现), 以及不同尺度的线性空间结构之间, 特别是部分和整体之间<sup>[15]</sup>。这段话清晰的阐明了空间句法的可操作性, 城市设计者可以借助不同尺度的分析模型发掘、定义、描述设计区域自下而上所涌现的本质特征, 之后自上而下的建立局部空间与整体空间系统的持续并有张力的有效关联, 使设计成果可以激发场所活力, 提高区域街区的功能潜力。

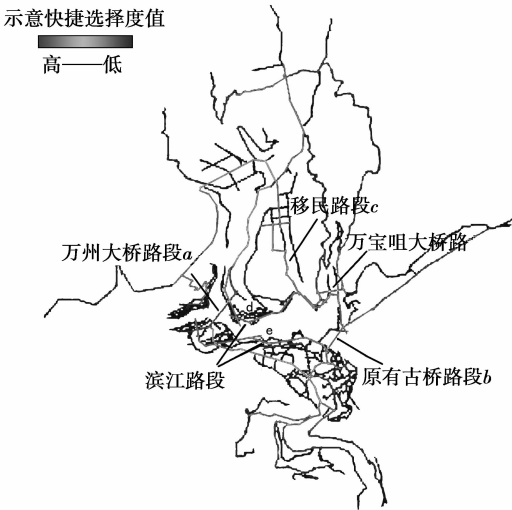


图 6 2020 年某城区域快捷选择度示意图

表 2 现状中各个路段的快捷选择度, 整体与局部整合度数值区间

道路 变量	道路 a	道路 b	道路 c	道路 d	道路 e
快捷选择度值	0.318 8~0.399 3	0.046 4~0.197 7	0.002 4~0.055 3	0.029 3~0.023 4	0.014 7~0.022
全局整合度值	0.282 5~0.329 1	0.330 6~0.348 7	0.280 1~0.321 8	0.282 7~0.317 9	0.218 5~0.273 4
局部整合度值	1.308 9~1.463 5	1.437 8~1.851 8	1.020 8~2.027	1.219 6~1.559 8	0.862~1.603 7

表 3 规划中各个路段的快捷选择度, 整体与局部整合度数值区间

道路 变量	道路 a	道路 b	道路 c	道路 d	道路 e
快捷选择度值	0.351 8~0.442 2	0.299 2~0.362 3	0.037 4~0.164 6	0.073 7~0.168	0.132~0.142 7
全局整合度值	0.371 8~0.382	0.331~0.348 9	0.322 1~0.338 5	0.292 4~0.327 7	0.233 8~0.281 3
局部整合度值	1.790 9~2.063 5	1.489 7~2.063 5	1.755 5~2.032 7	1.224 1~1.618 8	0.879 1~1.624 9

## 5 结 语

城市空间网络是一个复杂而有机的系统,而空间句法以组构为分析视角,来解读城市空间系统的形态、演变规律,同时空间句法还发现空间的组构模式暗合了人与城市空间互动的行为规律,使对城市的干预与推动能基于对城市的更为内在的、整体性的理解。只有对城市更为深入的理解,才能使作为城市空间发展的“原始推动力”更可能的产生正面效应。

### 参考文献:

- [1] HILLIER B. Environment and planning B: planning and design[J]. Space Syntax, 1976:147-185.
- [2] 杨滔. 空间句法:从图论的角度看中微观城市形态[J]. 国外城市规划, 2006(11):48-52.  
YANG TAO. Space syntax: Meso-and micro-urban morphology under the view of graph theory[J]. Urban Planning International, 2006(11):48-52.
- [3] 曾国屏. 论系统的自组织演化[J]. 系统辩证学学报, 1998(1):13-17.  
ZENG GUO-PING. On the process of system self-organization [J]. Journal of Systemic Dialectics, 1998(1):13-17.
- [4] HILLIER B, HANSON J. The social logic of space[M]. UK: Cambridge University Press, 1996.
- [5] HILLIER B. Space is the machine [M]. UK: Cambridge University Press, 1996.
- [6] 李江, 段杰. 基于 GIS 和空间句法的城市空间形态多尺度描述[J]. 华中师范大学学报:自然科学版, 2004(3):583.  
LI JIANG, DUAN JIE. Multi-scale representation of urban spatial morphology based on GIS and spatial syntax[J]. Journal of Central China Normal University: Natural Science Edition, 2004(3):583.
- [7] HILLIER B, PENN A, BANISTER D. Configurational model of urban movement networks [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1998:59-84.
- [8] 李江, 郭庆胜. 基于句法分析的城市空间形态定量研究[J]. 武汉大学学报:工学版, 2003(2):69-73.  
LI JIANG, GUO QING-SHENG. Quantitative research of urban spatial morphology based on syntactic analysis[J]. Journal of Wuhan University: Hydraulic and Electric Engineering, 2003(2):69-73.
- [9] 杨滔. 城市空间之复杂效应[J]. 世界建筑, 2007(8):92-95.  
YANG TAO. The complexity of urban space [J]. World Architecture, 2007(8):92-95.
- [10] TURNER A, PENN A, HILLIER B. An algorithmic definition of the axial map [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2005:425-444.
- [11] 陈戈, 齐永阳, 陈勇, 等. 面向城市仿真的 VRGIS 平台设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2009(2):457-464.  
CHEN GE, QI YONG-YANG, CHEN YONG. Design and implementation of urban imulation oriented [J]. VRGIS, 2009(2):457-464.
- [12] 希列尔 B, 杨滔. 场所艺术与空间科学[J]. 世界建筑, 2005(11):24-34.  
HILLIER BILL, YANG TAO. The art of place and the science of space[J]. World architecture. 2005(11):24-34.
- [13] HILLIER B, PENN A, BANISTER D. Configurational model of urban movement networks [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1998:59-84.
- [14] 曾旭东, 姜莉莉. 基于自组织理论的城市空间系统的重构[J]. 新建筑, 2008(4):48-51.  
ZENG XU-DONG, JIANG LI-LI. Reconstruction of urban space system based on Self-organization Theory [J]. New Architecture, 2008(4):48-51.
- [15] HILLIER B. Cities as movement economies [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1996(1):56.

(编辑 侯 湘)