

北京市住宅用地开发压力与城市扩张预景 ——基于阻力面的分析

俞孔坚^{1,2}, 游 鸿², 许立言², 袁 弘³

(1. 北京大学建筑与景观设计学院, 北京 100871; 2. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871;

3. 北京土人景观与建筑规划设计研究院, 北京 100080)

摘要: 基于城市经济学的一般理论, 从市场机制下的供给方视角出发, 提出了预测大都市区住房建设区位选择的一个新模型, 并利用 2005~2009 年北京市新增住宅项目的抽样空间数据进行了实证研究, 进而应用阻力面模型模拟了北京市未来住宅建设用地开发压力和城市扩张的空间格局。研究表明: 北京市的新增住房用地区位选择总体上符合单中心同心圆的基本模型, 但正在逐渐向等级制特征下的多中心格局演化, 北部、西北部区县的中心城区以及南部新城、新开发区周边更有可能成为潜在的下一轮住宅建设核心区, 从而成为城市扩张的重点区域。

关键词: 城市扩张; 住宅用地; 最小累计阻力模型; 逻辑斯蒂回归; 北京

文章编号: 1000-0585(2012)07-1173-12

1 引言

区域空间结构的研究最早可以追溯到 Von Thuenen 的工作^[1], 而现代城市经济学的创立人之一 Alonso 首先建立了城市(大都市区)的标准区位模型^[2], 考虑一个坐落于无任何特征的一维平原(但很容易推广到二维)上的城市, 在单中心假设下, Alonso 指出, 根据通勤与地价的取舍选择, 均衡条件下城市土地利用模式将呈现同心圆状态。Mills 等^[3, 4]在稍后的研究中以住房代替土地, 从而建立了城市住房市场的类似模型。在这一模型中, 单中心城市的住宅价格将由 CBD 向外围衰减, 从二维平面上看, 则呈现一种同心圆结构。换言之, 城市住宅价格是由其区位决定的, 家庭选择住宅即意味着选择区位。

在考虑将上述基本模型扩展到真实的大都市区时, 需要放宽若干假设条件。除容易解决的一维空间假设外, 其主要问题有以下三点:

首先, 大都市区一般不是严格单中心的。在现实中普遍存在着多中心城市, 而且单中心的城市区域, 如北京市域, 往往也存在多级次中心。以房价而论, 次中心的房价虽不及城市中心, 但仍高于二者之间的“空白”地带, 其对整个城市住宅区位空间结构的影响是不可忽视的。Mills^[5]、Fujita 等^[6]建立了若干就业区位分散化的模型, 但离实际应用仍有距离。

收稿日期: 2011-07-21; 修订日期: 2011-11-15

基金项目: 本研究受到北京市国土局《北京市浅山区土地利用战略研究》以及《北京市浅山区土地利用战略规划》项目支持

作者简介: 俞孔坚(1963-), 男, 浙江金华人, 教授, 博士生导师, 研究方向为城市规划、景观设计学和景观生态学。E-mail: kjiyu@urban.pku.edu.cn

其次, Brueckner 指出^[7], 大都市区不可能坐落于理想的“匀质平原”上, 亦即外生的、各向同性的通勤成本也不可能存在于现实世界。事实上, Dixit 证明了城市通勤成本其实是内生的^[8], 但将运输生产函数纳入模型会带来高度的复杂性。

最后, 基本模型对特定区位的居住适宜性未加考虑, 如建设适宜性、环境特征、人口密度、公共服务质量等, 而国内外的一般经验和相关实证研究^[9, 10]均表明这些因素对居住选择的影响是不可忽略的。何况, 有些环境要素与区位选择的关系并非简单的因果关系。例如, 不同的城市区位条件会影响公共服务质量, 从而使得后者与区位选择将同时被决定。除非将这些外部效应内部化, 否则区位选择将被扭曲。然而, 内部化外部效应将大大增加模型的复杂性。

若在本模型的分析框架下考虑上述三个问题, 则模型本身会因纳入额外的内生变量而变得异常复杂, 模型的均衡条件将依赖于一束分布于二维空间上且彼此独立的相关属性, 其求解将涉及一系列极为复杂的偏微分方程。即使如此, Straszheim 也指出, 在很多情况下, 封闭的解析解往往是不可求出的, 从而只能依赖于数值近似方法求解^[11]。由此可见, 传统区位模型的分析方法很难应用于实际城市区域的住宅区位选择预测中。

本文设想逆向借鉴基本模型的建模思路, 即从住房生产者的供给而非消费者的需求角度出发, 提出一种实际的大都市区住房建设区位选择的预测方法。较之上述基本模型, 此方法在考虑诸多现实约束条件时具有简明、易操作的优点。本文并将以北京市为例应用此模型, 并检验其效果。

作为全国政治、文化中心和发展中的世界城市, 北京市在可预见的将来会继续保持经济的快速增长和人口的持续增加, 随之而来的住房建设需求带来了巨大的土地开发和城市扩张压力。城市无序蔓延的问题也随之产生, 如耕地减少、生态环境的破坏以及土地的低效利用等^[12]。以适当的方法研究郊区城市开发的压力、预测城市扩张的空间进程, 由此具有重要意义。

目前, 国内外对于城市扩张的研究大致可分为三个方面: 扩张度量研究、扩张机制研究、以及扩张影响研究。随着大量城市向外扩张现象的发生, 出现了对于基于都市区统计数据 and 简单指标系统的度量研究, 从单变量指标, 如人口密度^[13]到复合指标体系, 如 Galster^[14]提出了包含密度、连通性、集中性、集聚程度、核心度、土地利用等八个维度的城市蔓延指标体系; 随着遥感、GIS 等技术的迅速发展, 利用遥感卫星数据和 GIS 系统的集成, 构建因子和指标体系对城市扩展的时空特征、与城市形态的关系进行描述性的研究越来越普遍, 国内研究者就大量采用了这一套技术路线, 如蒋芳等^[15]对于北京市城市蔓延的测度研究, 即采用了基于遥感和 GIS 地理空间指标系统分析的综合方法。在城市扩张的机制研究方面, 国内外学者都作出了较深入的理论探讨和实证研究。从简单的相关性分析^[16, 17], 到较复杂的以统计和线性回归模型为主的自上而下的数学模型方法^[18~20], 发展到近年来应用复杂性模型, 如神经网络、灰色系统和元胞自动机 (Cellular Automaton, CA)、多智能模型 (ABM) 等对城市扩张机制的模拟和解释^[21~26]。张宁等利用遥感数据与技术, 利用突变点方法获取北京市多个年份城市边缘区范围, 从扩展总量、扩展类型、扩展方向、扩展区域以及扩展强度等方面分析城市边缘区空间扩展特征, 探讨扩展驱动机制。是近来对北京市城市扩张进行的比较全面的研究^[27]。在城市扩张带来的影响研究中, 国外学者依然延续了度量和机制研究中的构建指标体系的思路, 希望利用前人搭建的基本框架和指标体系, 实际地估计城市蔓延对于城市、社区和种族群体的负

面影响,从而形成对于城市蔓延的影响后果的研究^[28~30],而国内在这方面的研究则重点关注城市扩张对生态环境的影响,如吴晓青等就对沈阳市的城市扩张和土地利用进行了多情景模拟,并重点利用景观生态学的方法对不同远景条件下城市扩张的影响进行了评价^[31]。

本文拟在对城市空间结构的基本模型及城市扩张的实际进程充分理解的基础上,从上述市场化城市区位基本模型的三个问题出发,引入景观生态学中的阻力面方法,构建新的大都市区土地开发压力和空间扩张模型,以便在市场机制背景下探求对城市扩张过程进行解释、预测的有效方法。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究思路与主要数学模型

城市住宅区位的基本模型是从住房需求的角度而建立的,不难从完全对称的供给角度对其进行等价表述:由于房价将以现有城镇中心为起点向四周衰减,新增的住宅建设项目应当尽量接近现有的城镇中心从而获得尽可能高的利润,只要中心区位的收益溢价大于其同时带来的成本上升即可。虽然具体的成本收益估算难以进行,但若假定大都市区中现有居住中心的区位是理性选择的结果(在研究的时空范围足够大时,这一假定可认为是成立的),亦即能够获得合意的利润,新的住房开发项目接近这些中心区位以便最大化其收益就是合理的推论。对现实的经验研究也支持这一推论,例如,城市中的居住“板块”现象即为此机理的反映^[32]。

这一逆向思路为研究具体城市区域中的住房区位选择提供了新的方法,即关注供给方(地产开发商)的选择,从现有的居住中心出发,根据空间衰减规律,即可对未来住房建设的区位选择进行预测。由于城市中的住宅区位和房价一般容易获取,这一研究路径可行。

在此建模思路下,上述基本模型中未予全面考虑的几个问题便可以得到简明的解决。综上所述,主要有三方面的问题:(1)理论中城市的单中心与实际中多中心的问题;(2)理论中城市坐落于匀质平原与现实并非如此的问题;(3)理论中对区位本身居住适宜性未加考虑的问题。

首先,关于基本模型的单中心假定。事实上,Muth^[4]已经证明,在多中心情况下,基本模型的分析方式仍然适用,亦即不同城市中心周围的土地利用模式和住房价格同样服从圈层衰减规律,模型由此可推广到更一般的多中心区域。在实际研究中,如前所述,若假定城市区域中现有的居住区位是理性选择的结果,其集聚情况就可以反映多中心城市(例如北京)中不同等级的城市中心。

其次,基本模型对地理空间的基本假设是均质平原,由此自然导出同心圆结构。而现实的地表空间是非均质的,空间各向异性明显存在。为解决这一问题,可将开发商沿房价上升梯度竞争住宅建设区位(或将其看作家庭沿房价下降梯度选择住宅区位)看作一个克服空间阻力的过程,从而可以引入最小累计阻力(Minimum Cumulative Resistance, MCR)模型来模拟空间阻力的作用。该模型考虑三个方面的因素,即源、距离和介面(或称阻力面)特征。基本公式为^[33~35]:

$$MCR = f_{\min} \sum_{j=n}^{i=m} D_{ij} \times R_i \quad (1)$$

其中, f 是一个未知的正函数, 反映空间中任一点的最小阻力与其到所有源的距离和介面特征的正相关关系。 D_{ij} 是行为主体从源 j 到空间某一点所穿越的某景观的介面 i 空间距离; R_i 是介面 i 对某行为主体运动的阻力。尽管函数 f 通常是未知的, 但 $(D_{ij} \times R_i)$ 之最小累积值可以被认为是行为主体从源出发克服介面阻力到达空间某一点的代价。因此, 阻力面反映了行为主体在空间中运动的潜在可能性及趋势。

在住房区位选择的例子中, 住房虽然不可移动, 但由于从新区位到现有居住中心的通勤代价可被看作克服空间阻力的过程, 从而适用于 MCR 模型。模型中的源即为现有的居住中心的位置, 阻力介面则包括了多方面的阻力来源, 主要有自然地理因素 (如地形高程、坡度等) 和社会经济要素 (如人口密度等)。

最后, 基本模型另一方面的缺陷在于未考虑特定区位上的居住、建设等适宜性对住房开发的影响。为使模型简化起见, 不妨将综合了居住适宜性和建设适宜性的住宅开发阻力测度为 0~1 之间连续变化的量, 从而可以采用二元逻辑斯蒂回归 (Logistic Regression Model, LRM) 方法来评价基地本身的适宜性。逻辑斯蒂回归模型是统计学家在试图解决传统多元线性回归取值区间和曲线关联等问题的基础上, 由 Cox 引入人口学领域的 Logit 变换构建的模型^[36]。其基本表达式为:

$$P = \frac{\exp(\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_m x_m)}{1 + \exp(\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_m x_m)} \quad (2)$$

其中, P 为 0/1 二值化的因变量, 在此可概率化的表征居住适宜性; 自变量 x_1, x_2, \cdots, x_m 表示影响居住适宜性的因子, 参数 α 为常数, 与参数 $\beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_m$ 同为待求的回归系数。

综上所述, 以现有居住中心的分布反映城镇中心 (即房价衰减中心) 的位置, 以 LRM 对住宅开发阻力进行多因素影响下的修正, 并以 MCR 模型反映实际空间的不均衡性, 从而建立实用性的大都市区住宅建设区位选择模型。

2.2 数据来源与技术路线

根据上述研究思路与数学模型, 建立研究的技术路线。首先, 通过对影响住宅开发区位选择过程的社会经济、自然环境两方面的变量筛选, 以 GIS 空间分析与空间处理技术为支撑, 构建住宅开发建设阻力面 LRM 模型的自变量集, 以现状住宅区位 (假设为理性选择的住宅开发阻力极小区位) 为二值化因变量, 通过 Logistic 回归给出住宅开发的预测阻力值, 构成具备空间各向异性、充分体现居住、建设适宜性差异的空间阻力面。继而以北京市 2005~2009 年间的新建项目为住宅建设理性选择的“源”, 通过 MCR 分析得到住宅区位选择的预测模型, 如图 1 所示。

关于住宅建设适宜性的影响因素, 根据住宅选择区位理论和城市扩展模拟相关研究成果, 如黎夏等作为国内较早进行城市扩张地理模拟的学者, 一般将中心地因素、交通道路因素、自然地形要素作为影响城市扩张过程的基本要素类型^[37], 而后续的研究又在黎夏等研究基础上, 对模型的因子体系进行了拓展, 引入了与研究城市或区域密切相关的特定要素^[38~40], 如匡文慧在对京津唐都市圈进行城市增长模拟时, 就新加入了与区域特征相关的到海岸线距离这一要素, 另外还将交通要素进行了细分, 分为国道、高速公路和铁路, 从而使模型的解释力和预测能力得到了增强^[41]。本文将影响因子分为社会经济因素与自然环境因素两类。其中, 自然环境因素主要包括对住宅建设适宜性产生直接影响的地形坡度和水文两个因素, 社会经济因素则包括城镇化要素、交通可达性因素、人口因素和

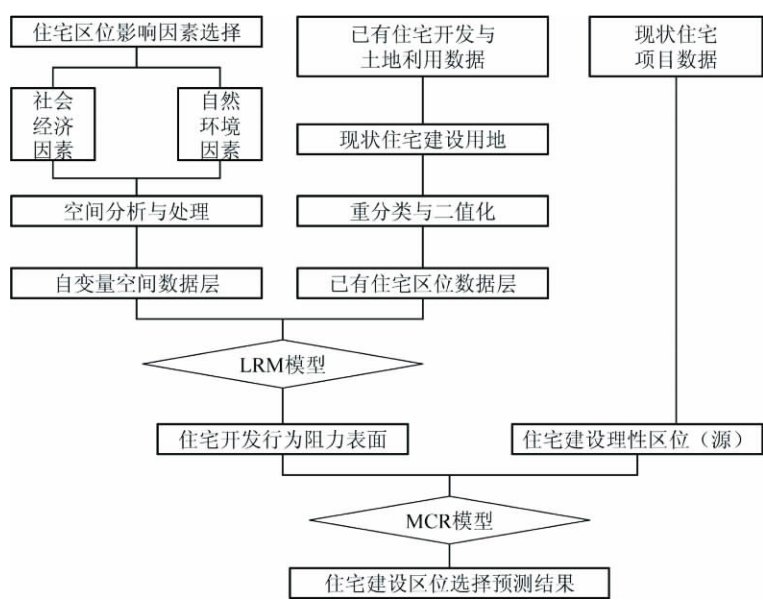


图1 研究技术路线

Fig. 1 Outline of the study

土地开发因素四组指标。参考相关研究成果，考虑到各级城镇中心和交通道路空间分布的特点，本文对住宅建设适宜性的评价因子进行了细分，并对因子共线性进行了检验，剔除了与城镇化要素各级城镇中心指标共线性较强的机场、火车站等指标，最终确定引入模型的指标如表1所示。

LRM和MCR模型分析所需的数据分为基础地理要素空间数据、社会经济属性数据和住宅项目抽样数据三大类。空间数据来自北京市国土局提供的2007年北京市土地利用的GIS空间栅格数据和北京市20m分辨率DEM数字高程数据，经过ArcGIS Desktop平台进行空间分析和地理处理，得到现状住宅建设用地分布数据、地形坡度数据、水体分布数据以及到各中心地和各级道路网距离数据。社会经济属性数据主要通过北京市国土局提供的2006年北京市村级行政单元统计数据，通过空间插值，得到拟合的全北京市全覆盖人口密度

数据层。最后，利用ArcGIS的空间采样工具，对上述各数据层进行随机空间抽样，共获得262570个空间样本，将样本值导入到SPSS 16.0中进行进一步的统计分析和模型检验。住宅项目抽样数据方面，通过中国地产网（<http://www.dichan.com>）房地产项目数据

表1 住宅建设适宜性评价指标体系		
Tab. 1 Indices of housing development suitability		
一级指标	二级指标	最终指标
社会经济因素	城镇化因素	距市级中心距离 X_1
		距区县中心距离 X_2
		距乡镇中心距离 X_3
	交通可达性因素	距高速公路距离 X_4
		距一级公路距离 X_5
		距二级公路距离 X_6
		距三级公路距离 X_7
	人口因素	人口密度 X_8
	土地开发因素	土地建设强度 X_9
		土地出让价格 X_{10}
自然环境因素		地形坡度
		是否为水面

库，整理得到 2005~2009 年北京市各区县新增住宅项目的抽样数据，经汇总得到 1015 个住宅项目样本，包括项目名称、住宅类型、建筑面积、用地面积和楼面平均价格。经检验，以标准方差椭圆衡量的 1015 个住宅项目空间分布趋势与同期北京市建设用地一致，因此可以认为该住宅项目数据为空间随机抽样数据；从样本数量上看，1015 个项目约占同期总住宅开发项目总数的 10%。该数据主要用于作为 MCR 模型的“源”，即作为目前住宅市场充分竞争条件下得到的“理性”建设区位。同时，采用 ArcGIS 密度分析工具，以住宅项目建设容积率为权重，对住宅项目进行加权密度分析，用以模拟全市土地开发强度因子层。而住宅项目的出让地价进行空间差值，得到拟合的全市的土地价格因子层。

3 基于 LRM 的住宅开发阻力面模拟

3.1 LRM 回归过程与阻力面模拟结果

以二值化的现状住宅用地（是=1，否=0）为因变量，以上述社会经济影响因子为自变量，利用 SPSS16.0 统计软件平台的 LRM 工具，进行逐步 Logistic 回归，最终回归结果如表 2 所示。

表 2 LRM 回归结果

Tah 2 LRM summary

自变量名	自变量含义	回归系数 B	标准差	Wald 值	显著度	exp (B) (优势比)
Dist __City (X ₁)	距离全市中心距离	-1. 640	0. 073	501. 624	0. 000	0. 194
Dist __County (X ₂)	距离区县中心距离	-1. 110	0. 055	412. 856	0. 000	0. 330
Dist __Town (X ₃)	距离乡镇中心距离	-3. 284	0. 072	2. 096E3	0. 000	0. 037
Dist __r0 (X ₄)	距离高速公路距离	-2. 313	0. 064	1. 314E3	0. 000	0. 099
Dist __r1 (X ₅)	距离一级公路距离	0. 513	0. 035	218. 862	0. 000	1. 671
Dist __r2 (X ₆)	距离二级公路距离	-2. 269	0. 074	952. 327	0. 000	0. 103
Dist __r3 (X ₇)	距离三级公路距离	-1. 647	0. 056	874. 616	0. 000	0. 193
Pop __den (X ₈)	人口密度	24. 274	1. 047	537. 067	0. 000	3. 483E10
Land __I (X ₉)	土地建设强度	3. 289	0. 080	1. 699E3	0. 000	26. 826
Land __P (X ₁₀)	土地出让价格	4. 061	0. 148	748. 080	0. 000	58. 024
Constant	常数项	0. 719	0. 024	862. 476	0. 000	2. 052

如上表所示，模拟结果显示没有自变量被剔除，所有自变量进入最终模型，且皆在 0. 001 的显著度水平上显著。

利用 ArcGIS 的栅格计算功能，根据 LRM 回归最终模型，对居住适宜性进行空间可视化。由于自然环境因素对于住宅区位选择主要起到刚性的限制性影响，所以主要用其对居住适宜性阻力面进行修正。最终的北京市住宅开发适宜性估计值分布如图 2 所示。

3.2 模型检验

模型检验包括自变量检验和拟合优度检验两部分。由于 SPSS 逐步 Logistic 回归过程已经包含了对与各自变量的 Wald 检验，所以最终模型中的自变量回归系数皆已通过检验。

对于模型的拟合优度，选择 ROC 曲线检验法。ROC 曲线即受试者工作特征曲线 (Receiver Operating Characteristic Curve，或译作接受者操作特征曲线)，是一种广泛应用的数据统计方法，在对 Logistic 回归模型拟合效果进行判断时，ROC 曲线以下面积占单位正方形比例越大，模型预测效果越好。对因变量估计值和样本值计算 ROC 曲线，如

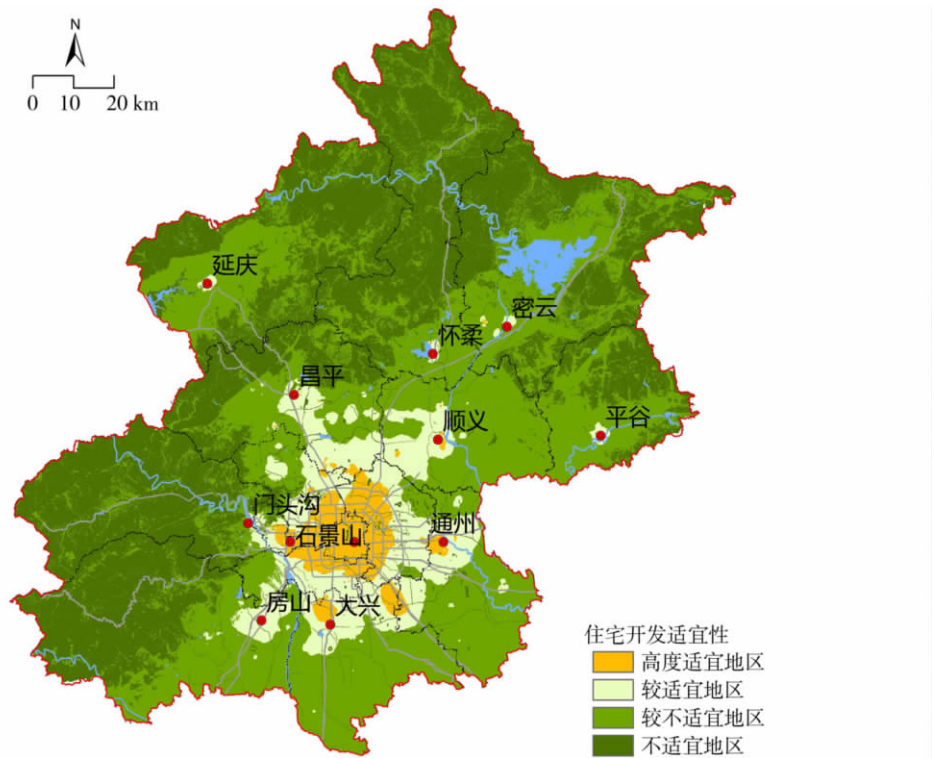


图 2 北京市域住宅开发适宜性评价

Fig. 2 Housing development suitability of Beijing municipality

表 3 LRM 回归结果 ROC 检验

Tah. 3 ROC test of LRM result

ROC 曲线下面积	标准差	显著度水平	0.95 置信度区间	
			Lower Bound	Upper Bound
0.863	0.001	0.000	0.862	0.865

表 3、图 3 所示。ROC 曲线以下面积为 0.863，在 0.001 显著度水平上拒绝了预测模型无效的原假设。因此，可以此判定该 LRM 模型具有一定的预测意义，能够有效估计全市的住宅建设阻力值。

3.3 对 LRM 模型的分析与解释

从表 1 的模型估计结果中不难看出，总体上各级中心地、道路网、人口密集地区以及现状的土地开发强度、价格都对住宅开发的区位选择起到促进作用。距离各级中心地和道路越近、人口密度越大、土地价格和开发强度越高的地区成为住宅开发区位的概率越高。这显然符合城市住宅开发区位选择的普遍逻辑。但各因子对于住宅区位选择的影响程度不尽相同。

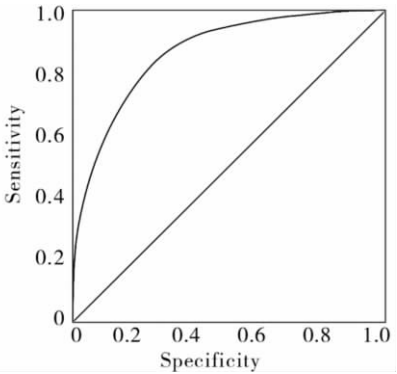


图 3 ROC 检验图

Fig. 3 ROC chart of LRM result

在各级中心地中，乡镇中心的回归系数绝对值最大，远高于全市中心和区县中心，表明北京市住宅供给逐渐从中心城区向外围各发达乡镇和新城扩散。这意味着从中心城区向郊区的发展以乡镇尺度的自下而上城镇化为当前的主导趋势。

交通可达性因素中，高速公路和二三级道路（省道和地方性道路）对城市发展起积极作用，而一级道路（国道）对住宅区位的选择甚至起到负面作用，这可能与国道与较大的坡度等不利于住宅建设的自然地理要素相关性较强有关。而高速公路、二三级公路则相反。为了证实这一点，对 262570 个样本点的坡度、和到各级交通道路距离进行相关性分析，结果如下表所示。

从表 4 可以看出，到国道的距离与其他等级的道路相关性很低，基本可以排除因子共线性问题，但国道与坡度呈现微弱的正相关，相关性水平大大低于其他等级道路。说明国道两侧坡度较低、适于建设的区域受到坡度因素制约，范围有限。因此可以认为，与坡度等自然地理要素潜在的共线性削弱了国道对住宅建设的正面作用。

表 4 各级交通道路与坡度的相关性分析
Tah 4 Correlations between roads and slope

相关系数	坡度	到高速公路距离	到三级道路距离	到二级道路距离	到国道距离
坡度	1				
到高速公路距离	0.469	1			
到三级道路距离	0.285	0.115	1		
到二级道路距离	0.308	0.261	0.044	1	
到国道距离	0.029	0.144	-0.04	-0.107	1

人口密度对住宅开发阻力有显著降低作用。原因显而易见，人口密集地区，对住宅需求量更大，更为丰富的劳动力市场和相对较高的平均工资收入使开发商能够从高收入、低通勤成本的优势中获得更高的收益。且人口密度较高的地区往往基础设施和其他建设条件较好，有利于降低住宅开发的建设成本。具体而言，北京市人口密度对于住宅区位选择的促进作用，主要来自于中心城区极高的相对人口密度与住宅区位之间的正相关关系。

最后，土地价格和强度对城市发展起推动作用。高强度开发和高地价带来更高土地开发利润，吸引土地开发的投资，从而加速了周边地区的住宅建设进程。

4 基于 MCR 模型的住房建设区位选择

假设现状房地产楼盘所在区位为理性选择的结果，由于 MCR 模型的目的在于对近期城市区域住房建设的区位进行预测，而不同时期住房选择的决策机制在不断变化，因此，理想情况是选择近期完成的住房项目作为 MCR 模型的“源”，以保证住房区位选择逻辑的前后一致性。本研究以 2005~2009 年 5 年间全北京市新建住宅项目区位为“源”，以 LRM 适宜性数据为“阻力面”，利用 ArcGIS 的最小费用距离（Cost Distance）空间分析工具，对北京市住房建设区位的选择趋势进行预测。

将空间分析计算所得的累积阻力面的栅格阻力数据按照降序排列，作出住宅建设累计阻力频率分布图。参考阻力栅格的频率分布直方图，选择频率分布曲线的突变点，如图 4 所示，将全市分为五类区域，分别为住宅开发的极高压力区、高压力区、中压力区、低压

力区和极低压力区。相应地，每类区域的住宅开发累积阻力依次增大。因此，未来各地区的住宅开发行为将以现有住宅项目为中心，沿着这一累积阻力由小到大的空间路径向外围拓展。各区域的空间分布如图 5 所示。

(1) 极高压力区。

指住宅开发的累积阻力很小，未来发生高密度住房建设行为概率极大的地区。主要分布在四环以内的中心城区、石景山区东部、海淀区东南部

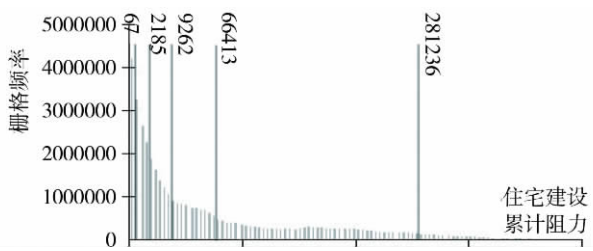


图 4 住宅建设累积阻力频率分布直方图与突变点选择

Fig. 4 Histograms of cumulative resistance of housing development and breakpoints

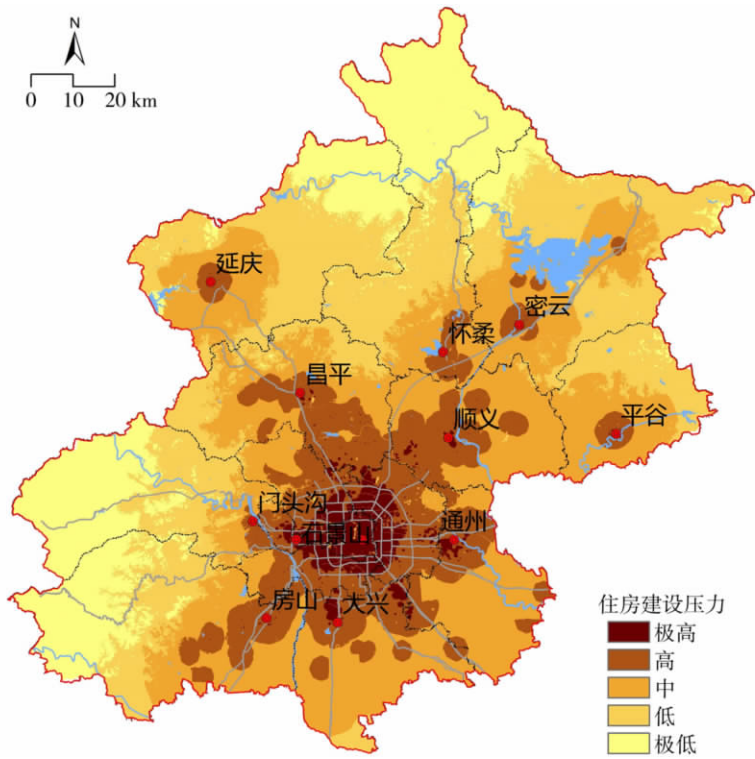


图 5 北京市域住房建设压力

Fig. 5 Housing development pressure of Beijing municipality

与南部、朝阳区西部与西北部、丰台区南三环与南四环之间的地区、通州区中心城区附近、亦庄经济技术开发区、大兴中心城区附近、昌平区南部的回龙观地区以及区中心昌平科技园附近、顺义中心城区的核心部分。上述地区中，除了四环以内的中心城区以外，近郊区县中呈现出“北集中、南分散”的格局，其中北部的海淀区、朝阳区的极高压力区域分布高度集中在四环和五环之间靠近中心城区，以高技术产业园区、高端金融服务业、高等教育院校和近郊大型零售业为核心的地区内，且已连绵成片，有以内城为核心集聚发展的趋势。而南部的大兴、通州区的区县核心区以及两者之间的亦庄开发区，则并不与中心城

区直接相邻,而是分散地以区县中心地和位于便捷交通要道出口的开发区和核心,相对独立的发展。而东部、东南部这几个地区住宅项目的快速发展,也使得北京城市区域居住空间结构原先的单中心结构被逐渐打破,成为未来“多核心、紧凑发展”格局的动力源泉。

(2) 高压力区。

指住宅开发累积阻力较小,未来出现普遍或大规模住宅开发可能性较大的地区。从上图可以看出,高压力区明显以极高压力区为核心向外扩展,以中心城区为核心、以大型交通线为轴带,兼具同心圆和轴带发展的形态特征。显然,对于这一地区的住宅开发起主要推动作用的是中心城区密集的人口和经济活动所产生的规模经济和扩散效应,以及大型交通走廊的影响。主要分布在海淀区中北部的山前地区、朝阳区中东部的绝大部分、通州区北部核心区周围、石景山区大部 and 门头沟区东部永定河山前冲积平原地带、昌平中心城区附近、小汤山、沙河水库附近和南部的回龙观、天通苑等地区、顺义中心城区附近及其与朝阳区相邻的西部地区、怀柔中心城区、红螺寺、雁栖、怀北镇一带、密云县中心城区、密云水库南岸溪翁庄镇、水库东北的太师屯镇、平谷县中心城区、延庆县中心城区、房山区沿京石高速公路两侧、大兴区沿京开高速公路两侧和沿京津塘高速公路两侧等地区。

(3) 中压力区。

指住宅开发累积阻力中等,短期内可能仅进行小规模、低密度住宅开发的地区。这些地区人口密度较和交通可达性较低,但自然地形限制不大,小规模建设阻力不大但居住适宜性较低、开发预期利润较低。包括北部坡度 25° 以下的低山和山前平原地区、延庆盆地、以及房山区东部、大兴区南部、通州区南部广大人口密度较低、远离主要交通干道的地区。

(4) 低压力区。

指住宅开发累积阻力较大,短期内不可能进行住宅开发的地区,中长期可能在自然禀赋较好的地区出现与旅游业相关的高级住宅和宾馆开发建设。主要是分布在北部和西北部中山和低山沟谷、滨湖平原地区。

(5) 极低压力区。

指自然条件对住宅开发构成刚性约束、长期进行住宅开发建设的可能性极低、一般作为禁止建设区的地区。主要分布在延庆、怀柔以北的和门头沟、房山西部的深山区。

5 结论

通过 LRM 模拟住宅建设适宜性阻力面模型,并基于 MCR 模型对北京城市区域住房建设的区位选择进行预测分析,可以得到如下结论:

(1) 自然环境因素和社会经济因素同时影响住宅建设的行为和决策。除坡度和水体对住宅建设起到刚性约束外,各级中心地、大型交通设施、人口密度和土地开发强度、价格以不同的程度灵活地影响住宅建设的区位选择过程。其中人口密度作为刺激住房需求的关键因素,对住房建设行为起到最显著的推动作用。而次级中心地(乡镇)、高速公路、高强度开发、高价格的土地也对住宅建设起到推动作用。

(2) 北京市的住房建设区位选择总体上符合单中心同心圆的基本模型,但无论是现状还是预测模型分析结果都显示,向心集聚与分散城镇化的趋势并存,单中心住宅建设格局逐渐被郊区新城建设、大型交通设施和新兴产业园区的辐射带动作用所打破,逐渐向一个等级制特征下的多中心格局演化。而 MCR 实证分析的结果显示,北部、西北部区县的

中心城区、以及南部卫星城、新产业区周边更有可能成为新的居住核心。

(3) 全市按照住宅建设的累积阻力从低到高的差异可以分为五个地区,依次为极高压区、高压区、中压区、低压区和极低压区。压力越高,未来住宅建设的阻力越小,城市扩张压力越大。住宅建设行为的空间过程从现有住宅项目的区位出发,沿着累积阻力由低到高的路径拓展。低阻力地区,人口、交通、中心地和土地开发等社会经济因素影响更明显,相反,高阻力地区的自然环境特征则成为限制住房建设和城市扩张的主导因素。

致谢:本研究受到北京市国土局《北京市浅山区土地利用战略研究》以及《北京市浅山区土地利用战略规划》项目的支持。感谢时任北京市国土局张维副局长、规划中心陶志红主任,以及其他项目参与人员的支持和帮助。

参考文献:

- [1] Von Thunen J H, Schumacher-Zachlin H. Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und National ? konomie. Wiegant, Hempel & Parey, 1875. 19~219.
- [2] Alonso W. Location and Land Use. Cambridge: Harvard University Press, 1964. 76~100.
- [3] Mills E. An aggregate model of resource allocation in a metropolitan area. American Economic Review, 1967, 57: 197~210.
- [4] Muth R. Cities and Housing. Chicago: University of Chicago Press, 1969. 35~57.
- [5] Mills E. Studies in the Structure of the Urban Economy. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1972. 98~108.
- [6] Fujita M, Ogawa H. Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations. Regional Science and Urban Economics, 1982, 18: 161~196.
- [7] Brueckner J. Handbooks of Regional and Urban Economics. Ed. Mills, E. ELSEVIER, 1998, 20: 821~846.
- [8] Dixit A. The optimum factory town. Bell Journal of Economics, 1973, 4: 637~651.
- [9] Ridker R G, Henning J A. The determinants of residential property values with special reference to air pollution. The Review of Economics and Statistics, 1967, 49(2): 246~257.
- [10] 温海珍. 城市住宅的特征价格: 理论与实证研究. 北京: 经济科学出版社, 2005.
- [11] Straszheim M. Handbooks of Regional and Urban Economics. Ed. Mills, E. ELSEVIER, 1998, 2: 717~758.
- [12] 张晓青. 西方城市蔓延和理性增长研究综述. 城市发展研究, 2006, (2): 34~38.
- [13] USA Today's sprawl index. USA Today, 2001, 22(2).
- [14] George G, Royce H, et al. Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept. Housing Policy Debate, 2001, 12: 685.
- [15] 蒋芳, 刘盛和, 袁弘. 北京城市蔓延的测度与分析. 地理学报, 2007, (6): 649~658.
- [16] Edward G, Matthew K, Chenchuan Chu. Job Sprawl: Employment Location in U. S. Metropolitan Areas. Washington, D C: The Brookings Institution, 2001.
- [17] William F, Rolf P, Mai N, Alicia H. Who Sprawls Most? How Growth Patterns Differ Across the U. S. Washington, D. C.: The Brookings Institution, 2001.
- [18] 黎夏, 叶嘉安. 利用遥感监测和分析珠江三角洲的城市扩张过程——以东莞市为例. 地理研究, 1997, (4): 56~62.
- [19] 章剑龙, 吕成文. 安徽省城市扩展及驱动力分析. 安徽师范大学学报: 自然科学版, 2007, (6): 708~711.
- [20] 蒋博, 徐梦洁. 城市扩张的驱动因素分析——以南京市为例. 经济研究导刊, 2009, (2): 136~137.
- [21] 刘勇, 吴次芳, 岳文泽, 等. 基于 SLEUTH 模型的杭州市城市扩展研究. 自然资源学报, 2008, (5): 797~807.
- [22] 罗名海. 利用 CA 模型进行城市空间增长动力的研究——以武汉市主城空间增长过程分析为例. 武汉大学学报: 信息科学版, 2005, (1): 51~55.
- [23] 刘耀林, 刘艳芳, 明冬萍. 基于灰色局势决策规则的元胞自动机城市扩展模型. 武汉大学学报: 信息科学版, 2004, (1): 7~13.

- [24] 詹云军,黄解军,吴艳艳. 基于神经网络与元胞自动机的城市扩展模拟. 武汉理工大学学报,2009,(1):86~903.
- [25] 王良健,师迎春,林目轩. BP神经网络结合小波处理在城市扩张预测中的应用——以长沙市区为例. 中国土地科学,2008,(1):39~47.
- [26] 王伟武,金建伟,肖作鹏,等. 近18年来杭州城市用地扩展特征及其驱动机制. 地理研究,2009,(3):685~695.
- [27] 张宁,方琳娜,周杰,等. 北京城市边缘区空间扩展特征及驱动机制. 地理研究,2010,(3):471~480.
- [28] R Wassmer. Urban sprawl in a U. S. metropolitan area: Ways to measure and comparison of the Sacramento area to similar metropolitan areas in California and the U. S. Lincoln Institute of Land Policy Working Paper,2001.
- [29] Matthew K. Does urban reduce the black/white housing consumption gap. Housing Policy Debate,2001,12:77~86.
- [30] Reid E, Rolf P, Don Ch. Measuring urban sprawl and its impacts. <http://www.smartgrowthamerica.org/sprawindex/sprawindex.html>
- [31] 吴晓青,胡远满,贺红士,等. 沈阳市城市扩展与土地利用变化多情景模拟. 地理研究,2009,(5):1264~1275.
- [32] 刘芳. “板块”现象解析. 城市规划学刊,2006,(6):68~72.
- [33] Yu K-J. Security patterns in landscape planning with a case study in South China. Doctoral Thesis, Graduate School of Design, Harvard University, MA. USA, 1995.
- [34] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局. 生态学报,1999,(1):8~15.
- [35] Cox R. The Analysis of Binary Data. London: Methuen, 1970.
- [36] 黎夏,叶嘉安,刘小平,等. 地理模拟系统:元胞自动机与多智能体. 北京:科学出版社,2007. 89~100.
- [37] 谭菊,甘庆喜. 基于可控邻域作用元胞自动机模型的城市扩张模拟. 安徽农业科学,2010,(22):12166~12169.
- [38] 乔纪纲,何晋强. 基于分区域的元胞自动机及城市扩张模拟. 地理与地理信息科学, 2009,(3):67~70.
- [39] 冯晓刚,李锐,莫宏伟. 基于RS和GIS的城市扩展及驱动力研究——以西安市为例. 遥感技术与应用,2010,(2):202~208.
- [40] 匡文慧. 区域尺度城市增长时空动态模型及其在京津唐都市圈应用(英文). Journal of Geographical Sciences, 2011,(2):317~330.

A Minimum Cumulative Resistance (MCR) analysis approach

YU Kong-jian^{1,2}, YOU Hong², XU Li-yan², YUAN Hong³

(1. College of Architecture and Landscape Architecture, Peking University, Beijing 100871, China;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: This paper proposed a new model of housing development location choice of metropolises based on classic urban economics theory. From the perspective of suppliers, the model took the current housing development projects as sources and the housing construction suitability as resistance surface, and simulated the future housing development pressure through Minimum Cumulative Resistance (MCR) analysis. The paper also conducted an empirical study using housing development data of Beijing municipality from 2005 to 2009. Results show that the spatial pattern of housing development in Beijing is evolving from a monocentric structure to a polycentric and hierarchical one. The preferred location of next round of housing development includes the center town of northern and northwestern districts, new towns in the southern city, and regions around economic development areas. These locations are therefore remarked to have a relatively high urban sprawl pressure

Key words: urban expansion; housing development; Minimum Cumulative Resistance; Logistic regression model; Beijing