

# 基于协同克里格的基准地价评估及空间结构分析

邓羽<sup>1,2</sup>, 刘盛和<sup>1</sup>, 姚峰峰<sup>1,2</sup>, 王海军<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;  
3. 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079)

**摘 要:**摘要:随着社会主义市场经济体制的不断完善,城市建设越发需要有章可循。城市土地的合理配置是城市发展的重要环节,其基础性工作之一——城市基准地价评估更是作用显著。在对传统地价评估方法和常规克里格方法进行总结及评析的基础上,提出了基于第二信息源的协同克里格方法,并对其预测结果和精度加以全面分析,最后详细解读了由该方法反映出的地价空间结构特征。实证研究表明:克里格方法与反距离加权法相比,在预测及校准误差方面有着明显的改善;协同克里格法在均方差精度指标上更显优越性。因此,协同克里格法更具实用性和科学性,可以广泛应用到各级城市地价评估工作中。

**关 键 词:**协同克里格;基准地价;空间结构;石狮子

## 1 引言

随着我国经济体制改革的不断推进,城市土地有偿使用制度的逐步完善,城市基准地价作为土地市场运作的重要信息和价值判断标准,反映了土地市场的整体格局和时空演变趋势,并且在土地资源合理配置、调整资源利用结构及效益最大化方面的作用日趋明显<sup>[1]</sup>。

目前基准地价评估以划分土地均质地域(或土地定级)为基础,以市场交易价格(或土地收益)为依据,采用对一定均质区域取地价样本数据算术平均数的方法,将样本数据取简单平均或面积加权平均作为该区域基准地价。该方法存在以下3方面的问题:①地价样本数据具有空间相关性,不满足传统算法的独立性假设;②地价样点的分布是不均衡的,丛聚或稀缺现象可能同时出现;③待估点的地价权重分配是等同的,不符合相近相似原理<sup>[2-3]</sup>。因此,传统方法在准确刻画城市地价分布格局和变化趋势方面显得力不从心。

克里格(Kriging)方法是建立在变异函数空间分析基础上,对有限区域内的区域化变量取值进行无偏最优估计的一种方法。Kriging 方法的优势在于以空间相关为基础,综合考虑要素的结构性与随机性,从而寻求空间现象的分布规律。Kriging 方法在空间数据挖掘中的突出优点逐步被学者们接受和

认识,目前已被广泛应用于地质、土壤、生态、水资源等领域,均取得了较好的效果<sup>[4-11]</sup>。

在地价评估研究中,陈浮等首次引入 Kriging 方法,并以常州市基准地价图式构建证明了方法的可行性。然而该文仅仅停留在方法借鉴层面,对方法的使用前提及评估精度没有做出详细的论证<sup>[12]</sup>。随后,吴宇哲等以杭州市中心城区住宅地价为例,利用地统计学中的空间局部内插 Kriging 技术,建立了住宅地价等值线图,并通过与市场价格的分析,证实了该方法的可靠性<sup>[2]</sup>。刘耀林等以武汉市住宅基准地价评估为例,并通过交叉检验进一步证实了方法的科学性<sup>[3]</sup>。

在前述研究的基础上,近年来国内对土地价格的空间估计研究如雨后春笋般大量涌现,主要是侧重对地价分布的空间结构分析。学者们普遍认为 Kriging 方法提高了地价评估精度,而且发现评估结果反映了城市空间结构。王霞等指出地价的极值点往往与城市 CBD 重叠<sup>[13-15]</sup>,张鸿辉等认为地价的各向异性与城市道路的分布关系密切<sup>[16]</sup>。当然,实证研究表明 Kriging 方法的评估精度与地价样点的分布及覆盖范围有关,从城市中心到边缘的评价精度呈下降趋势<sup>[17-18]</sup>。但是以上研究大都忽略了变量趋势的存在,对 Kriging 方法的研究甚少。

基于 kriging 方法的地价分布模式由地统计学入手,不涉及影响地价的具体因素,然而评估结果

收稿日期:2008-12; 修订日期:2009-03.

基金项目:国家自然科学基金项目(40571056,40871179);中科院研究生科技创新与社会实践资助专项。

作者简介:邓羽(1985-),男,湖北恩施人,硕士研究生。从事城市发展与土地利用研究。E-mail:rain00788@163.com

通讯作者:刘盛和(1967-),男,湖南衡阳人,博士,研究员。研究方向为城市发展与土地利用。E-mail:liush@igsnrr.ac.cn

与现实城市空间结构具有广泛的一致性。城市地价的主要影响因素是区位,地价分布格局决定于城市中心可达性。因此,可以利用城市空间结构这一辅助信息评估基准地价,弥补地价样点信息的不足及修正模型评估结果。事实上,基于第二信息源的协同克里格(Cokriging,简称 COK)方法已被运用于实践,如 Hevesi 等利用数字高程模型(DEM)辅助站点的降水信息,运用 COK 法获取了降水分布图<sup>[19-20]</sup>,Goovaerts 在此基础上对比了各种 Kriging 方法的评价结果,清晰地说明了 COK 的存在价值<sup>[21]</sup>。

本文尝试将基于城市空间结构的 COK 方法应用于城市基准地价评估中,该方法克服了城市地价样点数量及分布对评估质量的影响,以城市空间结构的视角去审视城市地价分布格局及形成机制。由于该方法所受限制性因素少,可以应用于各级各类城市的基准地价评估工作。

## 2 研究区及数据分析

### 2.1 研究区概况

石狮市地处福建省东南沿海,地处文化历史名城泉州与经济特区厦门之间,与台湾隔海相望,是有名的华侨之乡(图 1)。2007 年末石狮总人口 31.2 万,面积 160km<sup>2</sup>。石狮近 20 余年飞速发展,从边陲小镇一跃成为县域经济强区。随着城市化不断推进,城市土地利用类型转换加剧,土地交易案例丰富,石狮市主城区的土地市场发育比较成熟,因此,选择该区域作为城市地价空间结构的研究对象具有借鉴意义。

### 2.2 数据来源及分析

本文数据来源于 2007 年石狮市基准地价应用方案编写时的相关工作成果,选用石狮市主城区商

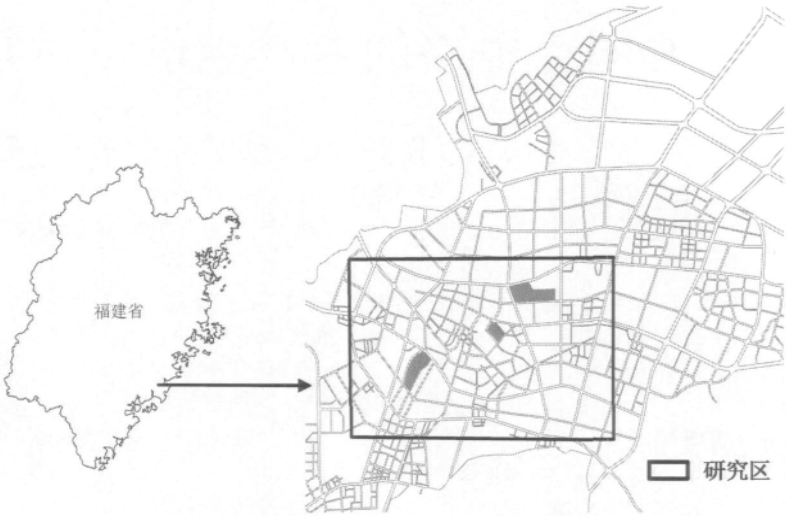


图 1 石狮市及研究区地理位置图  
Fig.1 Geographical position of the study area

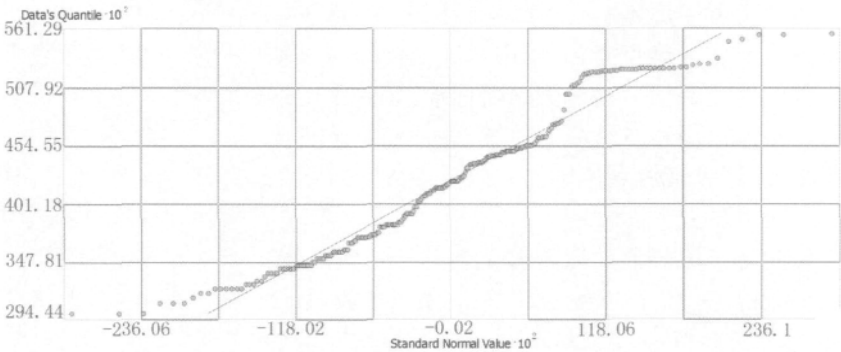


图 2 QQ 分析图  
Fig.2 QQ analysis graph

业地价样点 525 个,其中绝大部分位于道路两侧,表现为交通设施沿线建筑物的商业价值(价格),这与商业基准地价评估的核心内涵吻合。单位月租金是基准地价的重要度量方式和评价视角,采用其作为本次基准地价评估和空间结构分析的样点地价数据。运用 Natural Breaks 方法,将样点划分为 5 个档次,包括低价格样点占 38.67%、较低价格样点占 18.86%、中等价格样点占 23.62%、较高价格样点占 4.76%及高价格样点占 14.10%。对样点进行 QQPlot 图分析,发现经 Log 变换后的样本数据更加符合正态分布,有利于提高预测精度(图 2)。从趋势图中可以看到,样点存在较为明显的趋势,由此在进行克里格插值时需要拟合曲线来消除(图 3)。

城市地价样点的获取需要一定的成本。因此,没有必要通过大量样点采集来达到所需效果。当第一信息(样点地价)有限或者固定时,合理有效地选

择第二信息辅助插值成为提高预测精度的关键。辅助因子的遴选需要符合较易获取、与第一信息关联度强等特点。商业地价是商业地段价值的集中反映,与商业中心区的相对空间位置制约了样点地价的高低。基于以上考虑,本文拟采用城市内空间各点到商业中心区的欧氏距离作为辅助信息。商业中心区的确定需结合石狮市现状与规划情况,综合考察后选定为九二路与振兴路、灵秀路的相交区域,该区域拥有样点 35 个,其中较高价格和高价格的样点分别占样点总数的 37.14%和 62.86%。在 GIS

环境下,测度空间任意点与商业中心区的距离,并与样点地价做相关分析,两者呈明显的负相关,相关性为 51%(图 4)。

### 3 基本方法及效果分析

空间插值方法可分为两类,一类是确定性方法,另一类是地质统计学方法。确定性插值方法包括反距离加权法(IDW)、趋势面法等;地统计学插值方法包括普通克里格(OK)、简单克里格(SK)及协同克里格(COK)等。Kriging 是空间统计学的重要组成部分,它是以空间自相关性为基础,利用原始数据和半方差函数的结构性,对区域化变量的未知采样点进行无偏估值的插值方法。Kriging 方法的使用前提包括随机过程、正态分布及平稳性假设。区域化变量和半方差函数是 kriging 的主要理论基础<sup>[22]</sup>。为了直观展示协同克里格在地价确定中的优势,将采用 3 种方法对石狮市商业地价进行插值分析,并运用预测及校准误差的对比来衡量三者的精度。

#### 3.1 IDW 法

反距离加权法是依据相近相似原理,从已知预测未知的插值方法。它以估测点和样本点间的距离

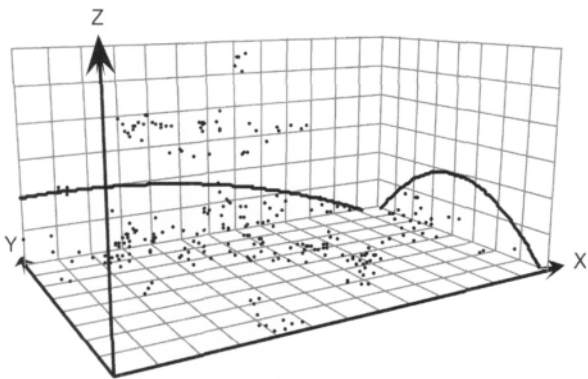


图 3 趋势分析图  
Fig.3 Trend analysis graph

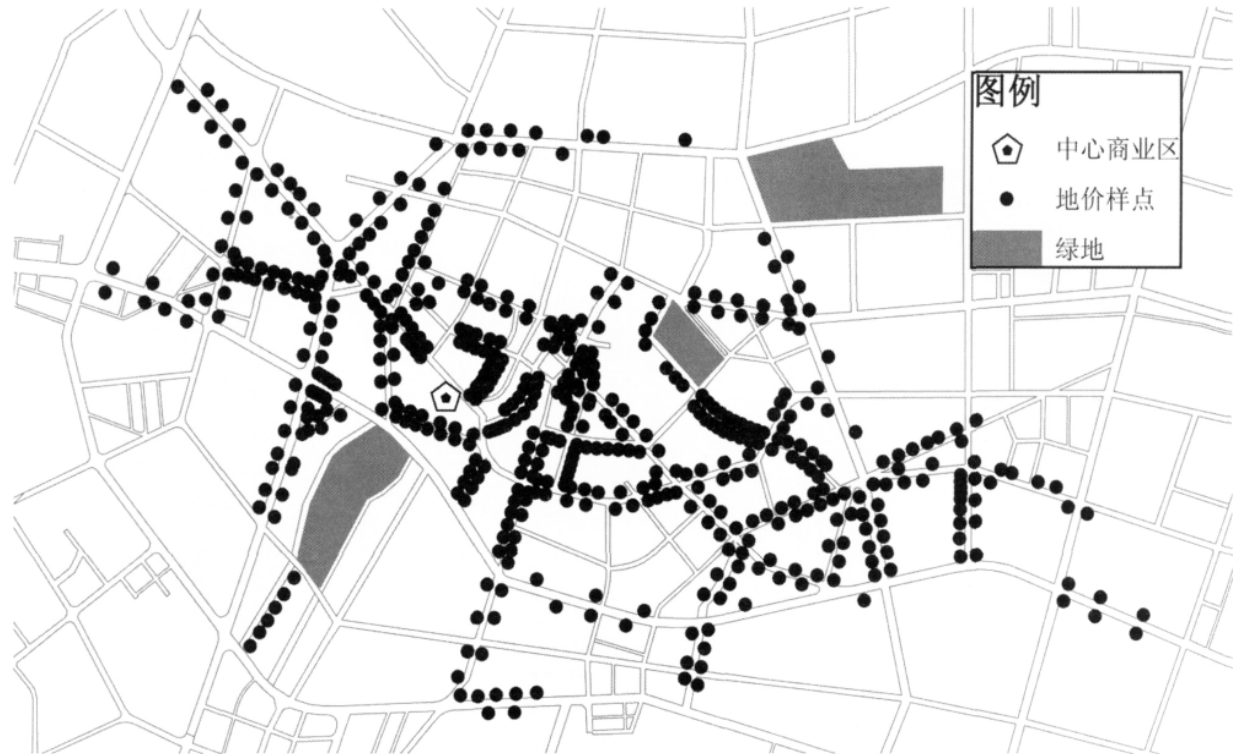


图 4 石狮市商业样点分布图  
Fig.4 Distribution of land price



为权重进行加权平均,离估测点越近则赋予的权重越大。计算公式如下:

$$\hat{z}(x_j)=\sum_{i=1}^n\frac{d_{ij}^{-r}}{\sum_{i=1}^nd_{ij}^{-r}}\cdot Z(x_i)i$$

式中: $x_i$  为样本点, $x_j$  为待估点, $d_{ij}$  为估测点和样本点间的距离,权系数一般取负指数形式如  $d_{ij}^{-r}$ 。应用该方法的预测结果如图 5a 所示。

3.2 OK 法

设  $Z(x)$  为一非平稳区域化变量,且有: $E[Z(x)]=m$  式中: $m$  为未知常数。设  $Z(x)$  的普通克里格估计量为  $Z^*$ 。

$$Z^*=\sum_{\alpha=1}^n\lambda_{\alpha}Z(X_{\alpha})$$

式中: $\lambda_{\alpha}(\alpha=1,2,\cdots,n)$  应在无偏性和最优性(估计方

差极小)的条件下来确定<sup>[5]</sup>。应用该方法的预测结果如图 5b 所示。

3.3 COK 法

COK 法是多元地统计学中最基本的研究方法。设在某一研究区内有一组协同区域化变量,它可以由  $k$  个在统计学中及空间上互相关的随机函数  $\{Z_k(x),k=1,2,\cdots,K\}$  的集合来表征,在二阶平稳假设下,其期望为: $E[Z_k(x)]=m_k\forall x$  互变异函数为:

$$\gamma_{k'k}(h)=\frac{1}{2}E\{[z_{k'}(x+h)-z_{k'}(x)][z_k(x+h)-z_k(x)]\}$$

设  $k_0$  为  $k=1,2,\cdots,K$  个区域化变量中某一要估计的主要变量,则待估域  $V$  上主要变量  $Z_{k_0}(x)$  的平均值  $Z_{V_{k_0}}$  的 COK 估计值  $Z_{V_{k_0}}^*$  是: $Z_{V_{k_0}}^*=\sum_{k=1}^K\sum_{a_k=1}^{n_k}\lambda_{a_k}z_{a_k}$

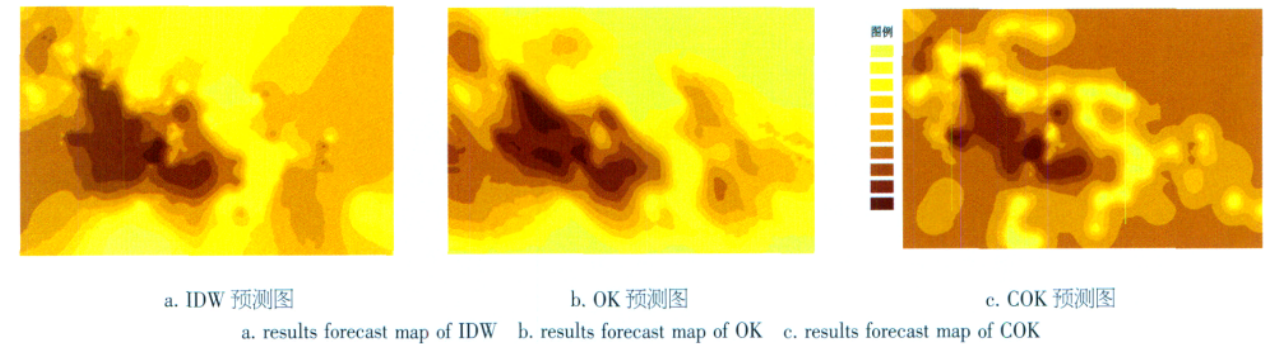


图 5 预测结果对比图

Fig.5 Comparison of different forecast maps

式中: $k_0$  是诸区域化变量  $k(k=1,2,\cdots,K)$  中某一待定的需要研究的主变量, $z_{a_k}(a_k=1,2,\cdots,n_k)$  是估计邻域内定义于支撑  $\{v_{a_k}\}$  上的有效数据, $\lambda_{a_k}$  是对应于每一支撑  $v_{a_k}$  的权系数<sup>[5]</sup>。应用该方法的预测结果见图 5c。

3.4 模型优劣评价

表 1 是 3 种插值方法的误差比较。从中可以发现,克里格方法与反距离加权法相比,在预测精度方面有着明显的提升:比之 IDW 方法,OK、COK 的预测误差平均值(Mean)分别减少了 71%、44%,均方根值(RMS)分别减少了 7%、11%。克里格的校准误差减少幅度不大,但都有效改进了插值精度。若将 OK 法和 COK 法的效果进行比较,对 RMS 指标而言,COK 比 OK 更具有优越性,而在 Mean 指标上,两者相差不大。

表 1 各种插值方法的误差比较表

Tab.1 Comparison of errors with different interpolation algorithm

误差类型 方法类型	预测误差		校准误差	
	Mean	Root-Mean-Square	Mean	Root-Mean-Square
IDW	1.347	29.24	4.963	24.56
OK	0.3896	27.07	4.263	23.05
COK	0.5537	25.91	4.243	22.42

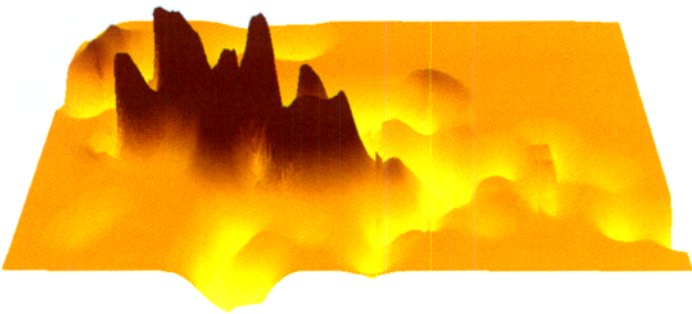


图 6 地价三维图

Fig.6 3D graph of land price

## 4 石狮市商业地价空间结构评析

通过以上分析可以看出,顾及中心商业区的COK方法在商业地价空间结构的模拟中具有更好的效果。以此为基础评析石狮市商业地价空间结构,发现以下特点:

(1)中心商业区极化效应明显,对边缘辐射能力不强。如图6所示,商业地价的极大值出现在中心区两侧,即是九二路与振兴路、灵秀路的交叉处。沿中心区向四周发展,地价呈现急剧下降的趋势,由于“灯下黑”从而形成了漏斗状地价凹陷,而且该种效应存在较普遍。

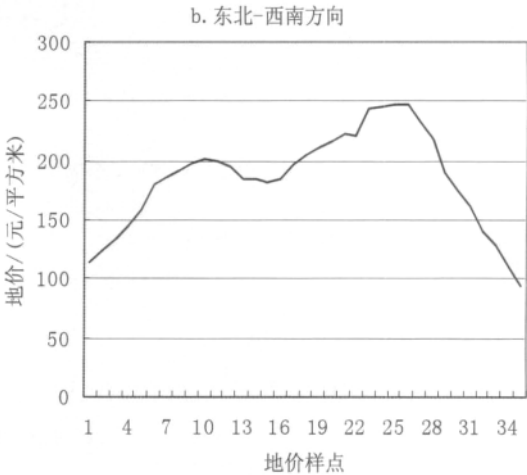
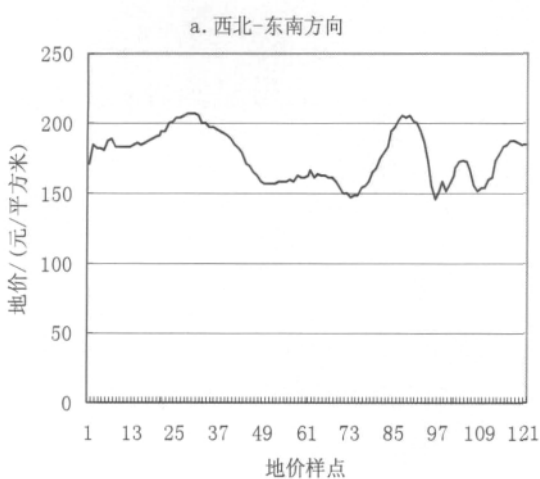


图7 地价剖面分析图  
Fig.7 Cross-section analysis of land price

## 5 结语

城市基准地价评估是城市土地资源合理配置,城市持续、健康、高效发展的前提条件。传统的城市基准地价评估方法在准确刻画城市地价分布格局和变化趋势方面捉襟见肘,常规克里格方法已经在城市基准地价评估中广泛采用,然而其评估精度易受城市地价样点数量及分布影响。因此,本文提出了基于第二信息源的协同克里格方法进行基准地价评估,并以福建省石狮市为例加以验证。采用城市内空间各点到商业中心区的欧氏距离作为辅助信息,运用协同克里格方法对主城区基准地价进行评估,并与反距离加权法、普通克里格法的预测及校准结果相比较,结果发现:克里格方法与反距离加权法相比,在预测及校准误差方面有着明显的改善;协同克里格法比普通克里格在均方根精度指标上更显优越性,而两者在误差平均值指标上的相差

(2)西北—东南,东北—西南走向的自相关性明显,且前者的变程距离更长。应用半方差函数对商业样点进行变异分析,发现商业地价空间分布极不规则,各个方向存在一定的各项异性结构特征,且在西北—东南,东北—西南方向的空间自相关性较强。值得注意的是,此种趋势与该市的主要道路走向一致。为了进一步分析特定方向的地价变异特点,采用剖面图的方式进行分析(图7)。可以看出,在西北—东南方向上出现了多个极大值,且地价起伏较大,但总保持在较高的价格。东北—西南方向的地价由中心向边缘持续降低,且极差值较大。

程度不大。在此基础上,运用各种GIS分析方法对基准地价的空间结构特征进行评析,并总结出以下特点:中心商业区极化效应明显,对边缘辐射能力不强;基准地价在西北—东南、东北—西南走向的自相关性明显,前者地价在高水平上波动,后者由中心向边缘的衰减趋势明显。与其他方法相比,协同克里格法在基准地价评估中更具科学性和可信性,为进一步提高预测方法的精度,选择合适的辅助信息源并采用客观、准确的表达方式是以后工作的研究重点。

### 参考文献

[1] 彭建超, 吴群. 国内外城市地价时空演变研究进展. 资源科学, 2008, 20(1): 65-69.  
[2] 吴宇哲, 吴次芳. 基于Kriging技术的城市基准地价评估研究. 经济地理, 2001, 21(5): 584-588.  
[3] 刘耀林, 傅佩红. Kriging空间分析法及其在地价评估中的应用. 武汉大学学报(信息科学版), 2004, 29(6): 471-

474.
- [4] 曾怀恩, 黄声享. 基于 Kriging 方法的空间数据插值研究. 测绘工程,2007,16(5):6–10.

[5] 侯景儒,黄竟先. 地质统计学的理论与方法. 北京:地质出版社,1990.

[6] 邢红星,琚太忠,林建阳. 普通克里格法在矿产储量计算中的应用. 地质与勘探,1997,33(4):46–50.

[7] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶,等. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征:变异函数与 Kriging 插值分析. 地理学报,2000,55(5):555–566.

[8] 孟键, 马小明. Kriging 空间分析法及其在城市大气污染中的应用. 数学的实践与认识,2002,32(2):309–312.

[9] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 科学出版社, 1999.

[10] 葛剑平,郭海燕,仲莉娜. 地统计学在生态学中的应用:基本理论和方法. 东北林业大学学报,1999,23(2):88–94.

[11] 陈亚新,徐英,史海滨,等. 条件模拟原理和技术进展及在水资源系统中的应用. 水科学进展,2002,13(2):246–251.

[12] 陈浮,李满春,周寅康,等. 城市地价空间分布图式的地统计学分析. 南京大学报(自然科学), 1999, 35(6) : 719–723.

[13] 王霞,朱道林. 基于 Kriging 方法和 GIS 技术的地价时空格局研究. 重庆建筑大学学报, 2007,29(1):102–105.

[14] 梅志雄, 黎夏. 基于地统计分析的房价空间分布差异研究. 华南师范大学学报, 2007,4:121–123.

[15] 施建刚, 李俊明. 数字地价模型建立过程中的插值方法研究: 以上海内环线地区为例. 土木工程学报,2007,40(1):91–93.

[16] 张鸿辉,曾永年,吴林,等. 南京市地价空间结构的演变. 资源科学,2008,30(4):592–595.

[17] 李玲,谷树忠,胡克林. 都市地价空间分析方法及其应用: 以北京市为例. 资源科学, 2003, 25 (4) : 85–92.

[18] 汪应宏,张绍良,郭达志,等. 城市地价与房租的空间变异分析:以蚌埠市为例. 中国矿业大学学报, 2005, 34 (5) : 673–678.

[19] Hevesi J A, Flint A L, Istok J D. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I:Structural analysis. J. Appl. Meteor,1992a,31, 661–676.

[20] Hevesi J A, Flint A L, Istok J D. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part II:Isohyetal maps. J. Appl. Meteor. 31, 1992b, 677–688.

[21] Goovaerts. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. Journal of Hydrology,2000,114 : 113–129.

[22] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程. 北京: 科学出版社,2006.

# Standard Land Price Appraisal and Space Structure Analysis Based on Co-Kriging

DENG Yu<sup>1,2</sup>, LIU Shenghe<sup>1</sup>, YAO Fengfeng<sup>1,2</sup>, WANG Haijun<sup>3</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;  
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;  
3. School of Resources and Environment Science, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** With the perfection of socialism market economic system, the urban construction needs more rules to follow. Rational allocation of urban land is an important part of urban development, and urban land price appraisal is significant. On the basis of assessment towards traditional assessment methods and conventional Kriging methods, this paper puts forward co-Kriging method with second message source, analyzes the forecast results comprehensively and interprets the structural characteristics of the land space reflected by this method. The case study has shown that Kriging has improved significantly in prediction and validation errors compared with IDW; co-Kriging method is even more accurate in the RMS. Therefore, the method has a relative strong scientificness and practicability and can be widely applied to all levels of city land in the assessment.

**Key words:** cokriging; standard land price; spatial structure; Shishi