

基于分形理论的深圳市城市更新单元空间特征研究

于涛, 王飞

摘要: 城市更新是目前深圳市土地存量开发的主要手段, 城市更新单元快速增加背景下的空间特征研究, 对于科学统筹规划, 平衡各类用地具有重要借鉴参考意义。以深圳市已批 601 项城市更新单元计划为研究对象, 借助 GIS 软件, 采用分形理论中较为成熟的计盒维数法, 对更新单元的空间数据分期、分类提取, 并进行分形维数计算与评估。研究结果表明更新单元空间分布具有明显的分形特征; 2011 年以来, 更新单元分布维数增长迅速, 但仍然具有很大发展空间; 三大经营性用地中, 居住用地的集聚性明显小于商业用地和工业用地, 城市更新加剧了深圳市职住分离现象。在“强区放权”环境下, 从避免项目式更新, 动态监测空间数据, 合理配置用地空间等三方面提出建议, 为后续政策制定工作和城市更新资源合理配置奠定理论支持。

关键词: 分形理论, 分形维数, 城市更新, 更新单元

短短 30 年时间, 深圳的城市发展就由土地增量扩张转变为以城市更新为主的存量开发模式。2009 年底颁布施行的《深圳市城市更新办法》作为国内首部关于城市更新的政策规章, 首次提出了城市更新单元规划制度以及实行科学的计划管理机制^[1]。目前, 更新单元的理论研究主要集中于更新政策^{[2][3]}、土地政策、产业政策^[4]等主观要素; 更新单元空间特征的研究主要集中于对单个更新项目的方案演化过程和实施方案的时空比较^[5], 缺乏更高视野下的整体分析。更新单元的空间特征研究, 有助于为未来深圳城市更新的理论研究和实践探索提供客观依据, 促进城市空间结构优化和功能转型升级。

分形理论是由数学家曼德布罗特 (B. B. Mandelbrot) 在 1973 年提出^[6], 最初主要探索海岸线和山川等及其不规则自然形态的分布规律。现在分形理论已经广泛用于城乡规划领域的区域空间特征^{[7][8]}和城市空间形态研究^[9-13]。分形应用于城市研究的根本原因是城市形态没有特征尺度, 不能采用传统的测度如长度、面积、体积、规模等进行客观描述, 而分形可以将众多测量数据浓缩为一个简单的数值, 据此反映研究对象的空间特征^[14]。

1 研究对象

截止到 2016 年底, 深圳市已批更新单元计划共 601 项, 拟拆除重建用地面积 48.1 平方公里。深圳的城市更新取得了巨大成就, 提升了城市发展质量、拉动了经济增长、促进了产业转型、稳定了房地产市场供应。与此同时, 更新推进过程中也存在不足, 并带来一定的城市问题, 如更新单元各自为阵, 缺乏总体统筹和项目间的功能联动; 更新单元增加了交通压力, 加剧了通勤客流的潮汐性。高度建成、土地资源紧缺的背景下, 对更新单元的形态与调控布局, 是城市更新空间控制的核心内容。

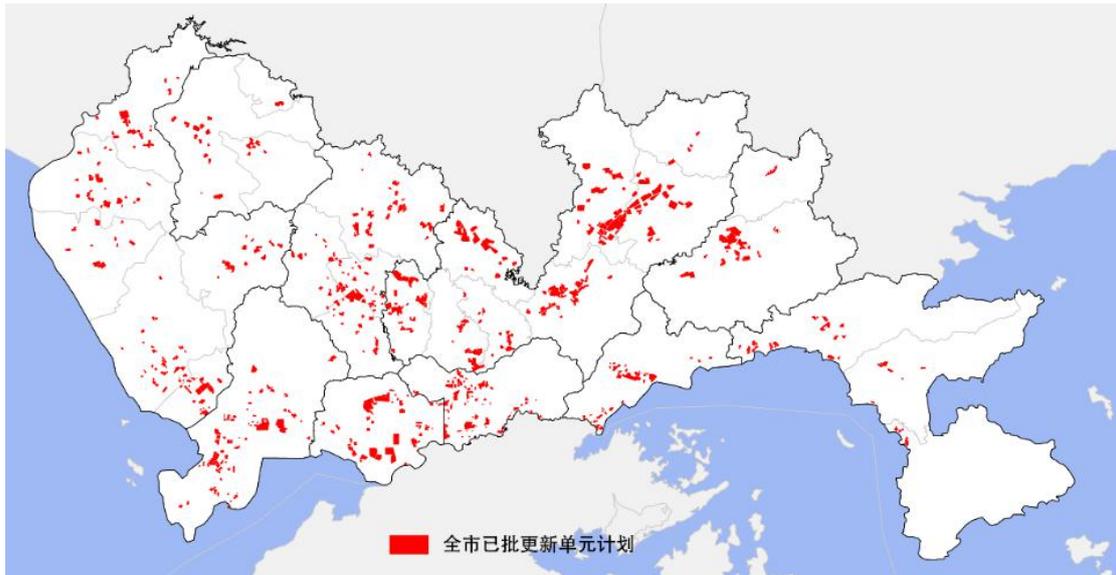


图 1：历年已列入计划项目空间分布 资料来源：作者自绘

按照深圳市城市更新实践的特点，综合现状用地性质和更新改造方向，将城市更新按改造类型划分为工改类、旧村改造类和旧城改造类等 3 大类型，其中工改类项目 337 项、旧村改造项目 215 项、旧城改造项目 49 项。按深圳市法定图则规划，更新改造后的主要用地性质又可细分为 7 小类（图 2），本文剔除更新改造后的移交给政府的公共管理与公共服务设施用地、交通设施用地及绿地与广场用地等，以可开发建设的工业、居住、商业三大类经营性用地为研究的对象^①。

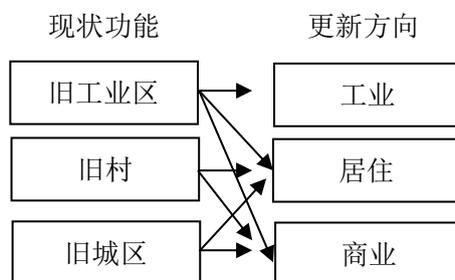


图 2：更新类型划分 资料来源：作者自绘

2 研究方法

分形是城市矛盾运动的成果，也为我们解决城市演化的各种矛盾提供思路^[15]。虽然现在深圳的城市更新项目分布是在“政府引导、市场运作”的理念下市场和公共利益博弈下选择的结果，是城市增值收益再分配、再平衡的手段，更多的是市场主体的主动作为，但是更新单元的整体空间特征却存在着人为因素难以影响的内在联系。分形体能够最为有效地利用地理空间^[16]，而城市更新作为城市结构优化的重要手段，从这个意义上可以想见，分形城市理论适用于城市更新领域，并能够为城市结构优化发挥重要作用。

2.1 分形理论、分形城市与分形维数

分形理论区别于传统的欧式几何，是一种全新的理论概念。1975 年数学家曼德布罗特

(B. B .Mandelbrot)发表的《分形：形态，机遇和维数》标志着分形几何学的诞生，曼德布罗特曾给出分形的定义：分形是局部与整体在某种意义下存在相似性的形状。

分形城市是分形理论的重要研究领域，所谓的分形城市（fractalcities）就是借助分形理论来分析城市空间与城市结构的研究领域。加拿大科学家凯叶（Kaye）在其《分维漫步》一书中就形象地描述了分形城市的思想^[17]：相同的城市结构如住宅、工商业、开放空间、空闲用地等在不同街道和层次上重现自己，这就是城市的自相似特征。

维数是几何学中重要的概念，而分形维数则是刻画分析对象的重要参考数据，大量实测结果表明，城市形态和结构具有分形特征，可以用分维对其刻画^[18]。

分形维数的计算方式：将一个整体 U 划分为 N 个大小和形态完全相同的小图形，每个图形的线段长度是原图形 r 倍。

$$D_0 = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln N(r)}{\ln(1/r)} \quad (1)$$

公式（1）中 D_0 就是 Hausdorff 分形维数，通常也简称为分维，分形维数是对分析对象分布状态、形状特点等空间特征的量化反映。目前分形维数的计算方法有计盒维数法、半径维数法、关联维数法、PSD 法、半方差法等，其中计盒维数法是较为成熟和应用广泛的计算方法。

2.2 计盒维数法

计盒维数主要反应各测量对象对空间的占据程度。该方法的计算过程是取边长为 r 的小盒子，把分形体覆盖起来，将覆盖了分形体的盒子数目记为 $N(r)$ ，然后缩小 r，所得 $N(r)$ 自然要随之增大，当 r 不断减小，盒子数也会随之增加，得出计盒维数 D_c ，即：

$$D_c = -\lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln N(r)}{\ln r} \quad (2)$$

以 2016 年已批更新单元计划的分布为例，将更新单元范围放入边长为 20KM 的盒子内，不断缩小盒子的大小(图 3)，统计各种尺度盒子的情况下，落入有更新单元范围的盒子数 N。在坐标轴上画出 $\ln N \sim \ln R$ 的双对数散点图(表 1)，并进行直线拟合(图 4)，则直线的斜率就是深圳市城市更新单元的维数值。

由图 4 可以看出， $\ln N \sim \ln R$ 存在着明显的线性关系，相关系数平方 R^2 为 0.99。分形位数的显著性检验是最终结果可信度的主要参考，一般取 0.05 的显著水平(即 95%置信度)^[14]，因此本文的分维计算结果置信度检测以 95%为门槛。

从几何意义上来看，城市更新单元平面分布的维数肯定在 0 到 2 之间，当维数值接近 0 时，表明更新单元的聚集特征较为明显；当维数接近 2 时，表明更新单元呈散布状态，聚集特征相对不明显。

表 1：2016 年深圳市城市更新单元分布 $\ln N \sim \ln R$ 统计资料来源：作者自绘

盒子边长(KM)	20	10	5	2.5	1.25
盒子数	8	18	72	167	355

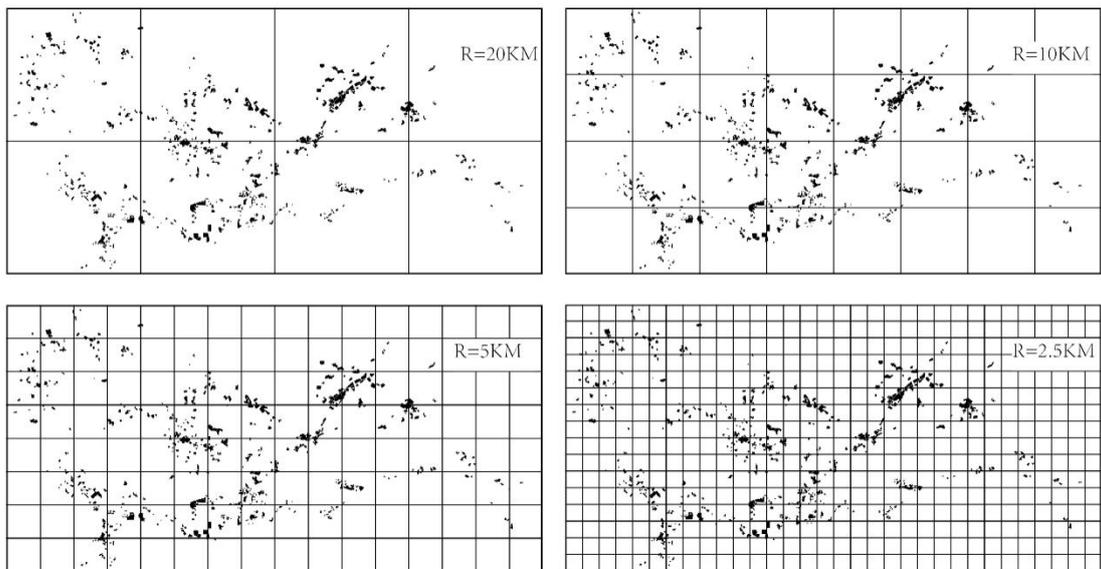


图 3：计盒维数法计算过程 资料来源：作者自绘

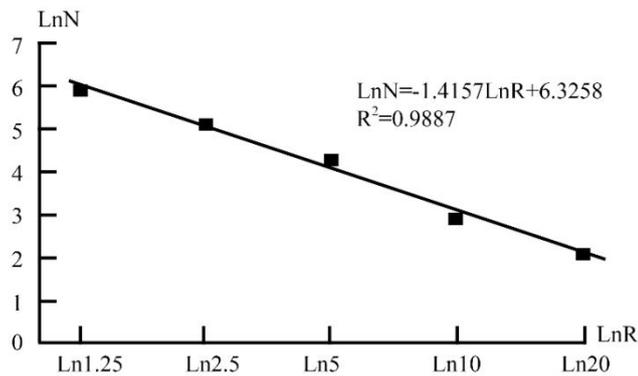


图 4：2016 年深圳市城市更新单元分布双对数散点图 资料来源：作者自绘

3 城市更新单元空间数据提取与量化分析

分形城市实践中，普遍从宏观着眼，以微观入手^[19]。本文首先测算整体区域的宏观结构与演变，再从深圳市各类型更新单元分布特点出发，找出更新单元的结构模式，依此来衡量规划的微观与宏观两方面的合理性和均衡性。

3.1 深圳市城市更新单元总体布局特点

2011 年到 2016 年的 6 年是深圳市城市更新发展最快的时期，已批更新单元计划由 2011 年前的 235 项迅速增长到 2016 年的 601 项(图 5)，涨幅超过一倍。2016 年底“强区放权[®]”政策的施行，区委、区政府成为各区更新单元的领导主体，随着审批程序的进一步缩短，可以预见，2016 年后更新单元数量增速将会进一步加快。

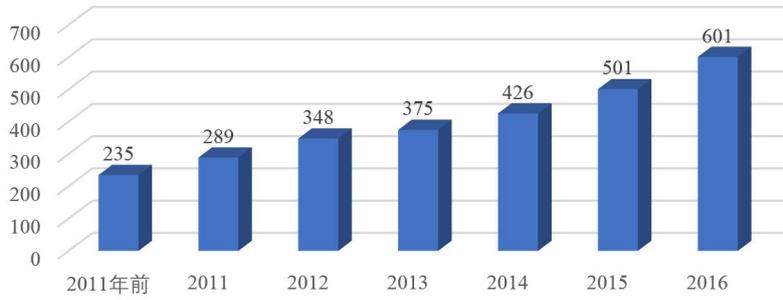


图 5：深圳市历年更新单元计划数量变化趋势 资料来源：作者自绘

以截止到 2016 年底的 601 个城市更新单元平面数据为基础，在 ArcGIS 中提取从 2011 年开始的城市更新单元矢量分布图(图 6)，并通过计盒维数法进行分维计算与统计(表 2)。

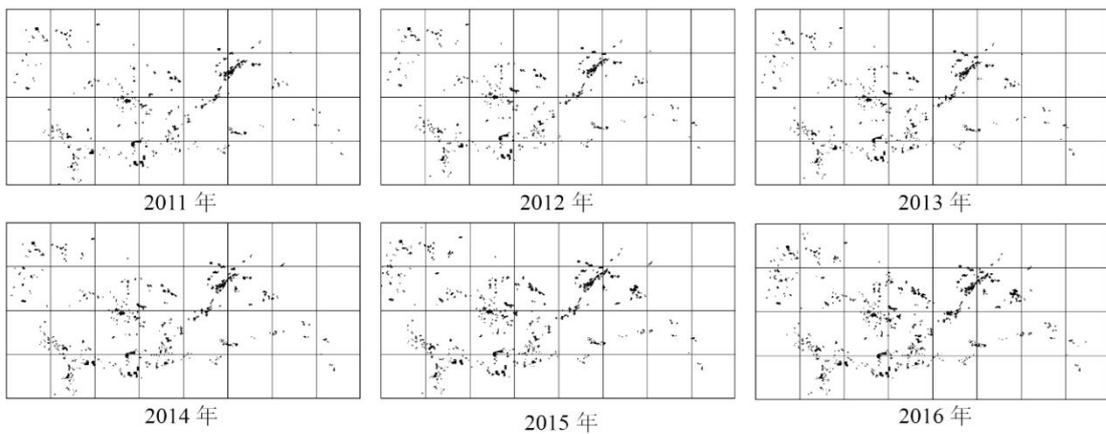


图 6：城市更新单元分布历年变化 资料来源：作者自绘

表 2：城市更新单元分维值历年变化 资料来源：作者自绘

年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016
分形维数	1.320	1.345	1.357	1.367	1.394	1.416

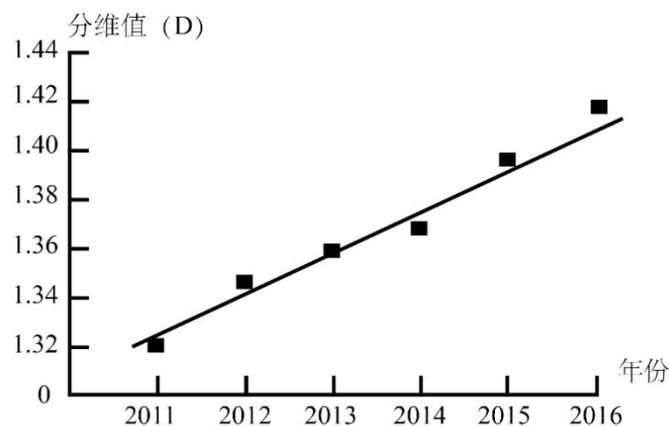


图 7：深圳市更新单元分维历年变化图 资料来源：作者自绘

2011 年到 2016 年间，深圳市城市更新单元的分布的分维值由 1.320 迅速上升到

1.416(图7),随着数量的增加,更新单元由零星分布逐渐向组团面状演变趋势十分明晰。可以预见,随着城市更新单元用地规模的不断扩大,城市更新对深圳市城市结构的影响会进一步深化。而根据英国科学家巴迪(Batty M)等学者的模拟分析,城市形态的分维值 $D=1.7$ 附近比较理想,理论上的维数则为 1.701 ± 0.025 ^[20],根据分维包容原理^[21],各类用地的分维值是城市总体分维的基础。城市更新作为深圳市城市用地重塑的重要手段,更新单元的分维值也直接影响城市的整体分维,2016年1.416的城市更新单元分维距1.7的理想分维仍然具有很大的发展空间,深圳市城市更新事业前景广阔。

但是更新单元分维值并不能无限制增长,巴迪同时也指出分维值达到1.8以后,城市结构的调整就尤为必要。

3.2 规划用地性质分析

各种类型项目的分维值是整体城市更新单元分维的组成部分,在分维快速增长阶段对更新单元内部结构分析与调整在城市发展中起基础性作用。

土地利用的分形结构是更新单元组织模式的重要内容。在ArcGIS中将更新单元范围与法定图则叠加,并提取更新单元中的商业、工业、居住三种经营性用地(图8),以此进行计盒维数计算。

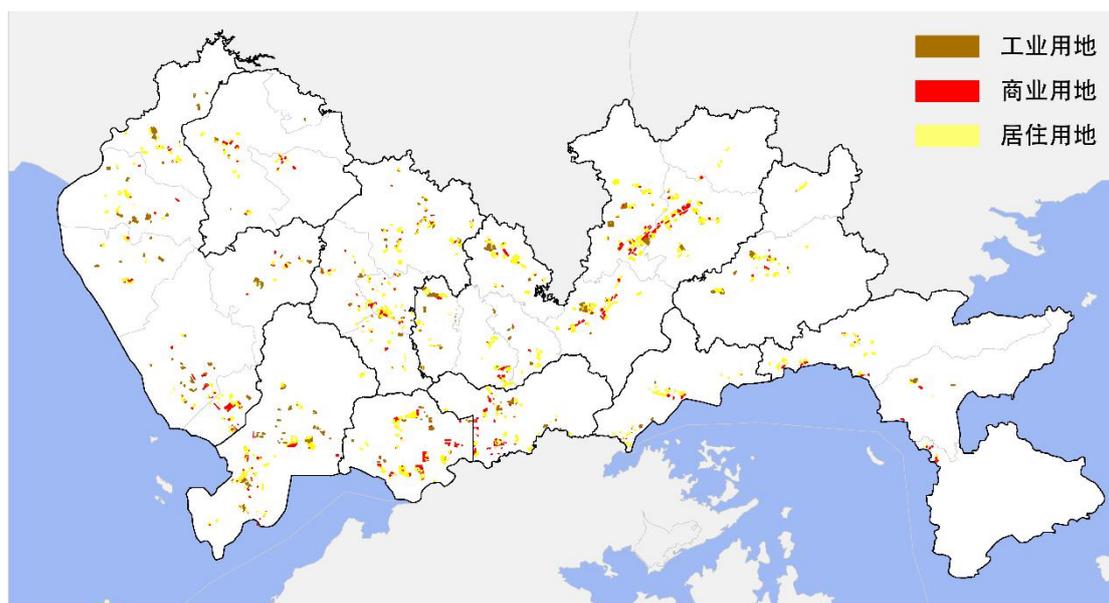


图8: 深圳市城市更新单元三大用地分布 资料来源: 作者自绘

表3: 深圳市城市更新单元三大用地的 $R \sim N(R)$ 资料来源: 作者自绘

用地性质	$R \sim N(R)$					分维值 (D)
	1.25	2.5	5	10	20	
工业用地	229	85	48	20	8	1.177
商业用地	238	91	45	20	7	1.171
居住用地	194	131	54	23	8	1.236

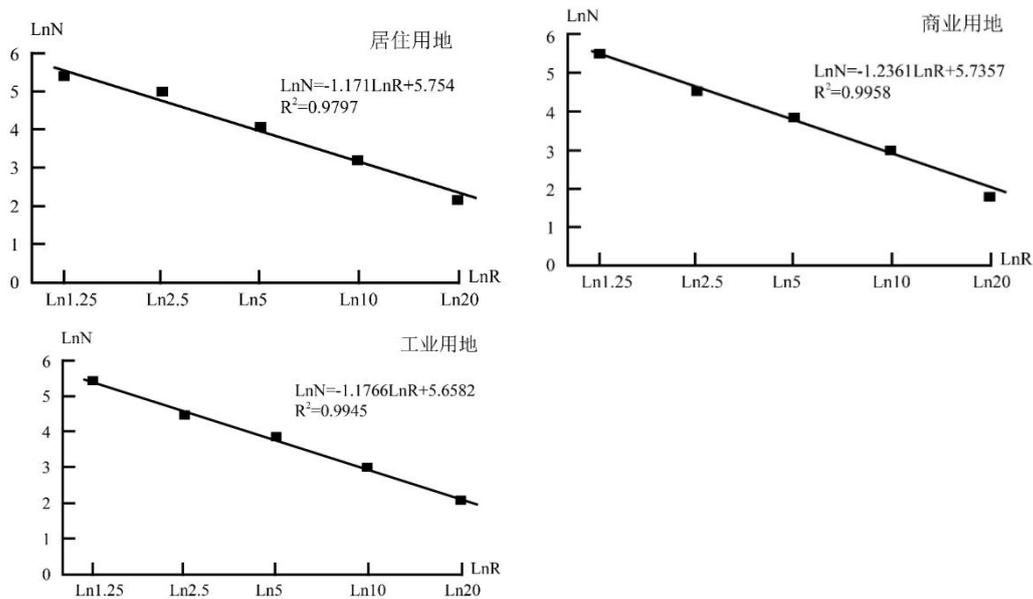


图 9：深圳市城市更新单元三大用地的 $R^N(R)$ 对数关系 资料来源：作者自绘

通过计算，得出各用地类型的分维值(图 9)，其中工业用地 1.177，居住用地 1.236，商业用地 1.171。基于实测表明，深圳市城市更新单元三大用地的维数具有如下变化规律：商业用地的分维 < 工业用地的分维 < 居住用地的分维。工业用地与商业用地维数更接近于 0；而居住用地分维值明显大于前两者，聚集特征没有商业和工业用地明显。

深圳市城市更新实践研究表明，现状旧工业区的更新改造主要分布在宝安、龙岗、龙华等原特区外，旧村和旧城等更新项目主要分布在福田、罗湖、南山等原特区内（图 10），现实更新改造过程中，由于是市场主导，深圳城市更新已批更新单元计划改造方向主要是居

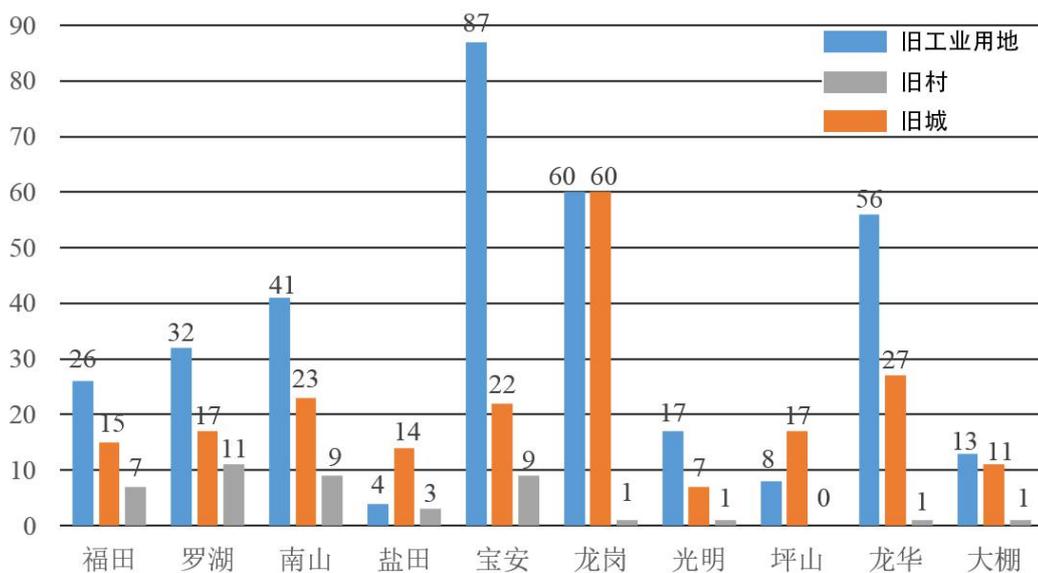


图 10：各区现状三大更新类型对比图 资料来源：作者自绘

住，占比达 44%（图 11）。现状旧工业区更新后的规划功能主要也为居住和商业，二者占比达到 53%（图 12），旧村和旧城几乎没有改造为工业和研发的可能。这造成了大量产业空间被居住和商业功能置换，面临产业空间被冲击、产业空心化的风险，此外原特区外分布大量的旧工业区改居住和商业，造成了工业用地与居住、商业用地距离进一步增加，加剧了职住分离，给道路通勤造成压力，增加了城市的营商成本，不利于城市的创新驱动和产业转型升

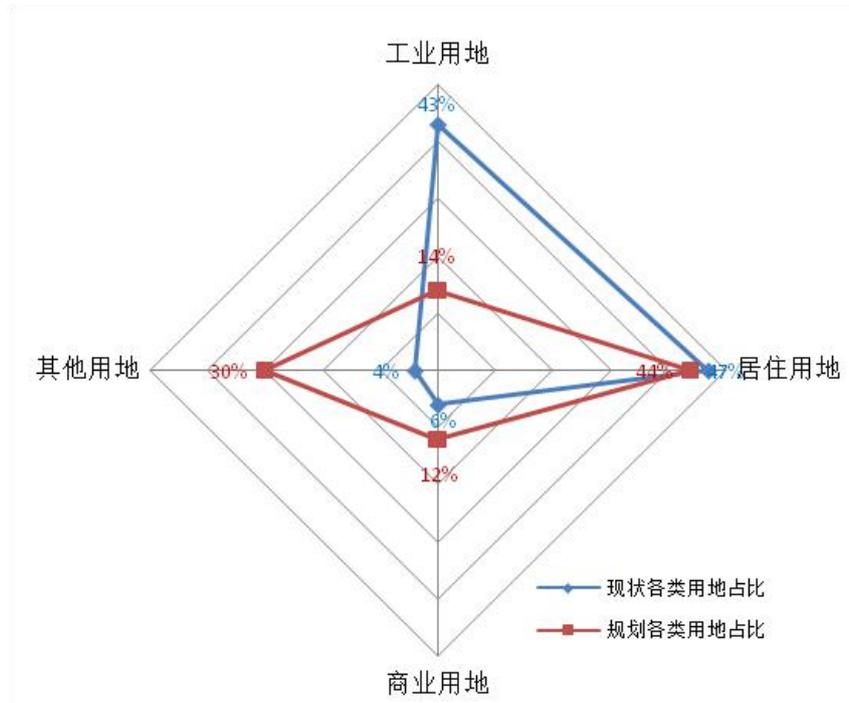


图 11: 2016 年底已批更新单元计划各类用地对比 资料来源: 作者自绘

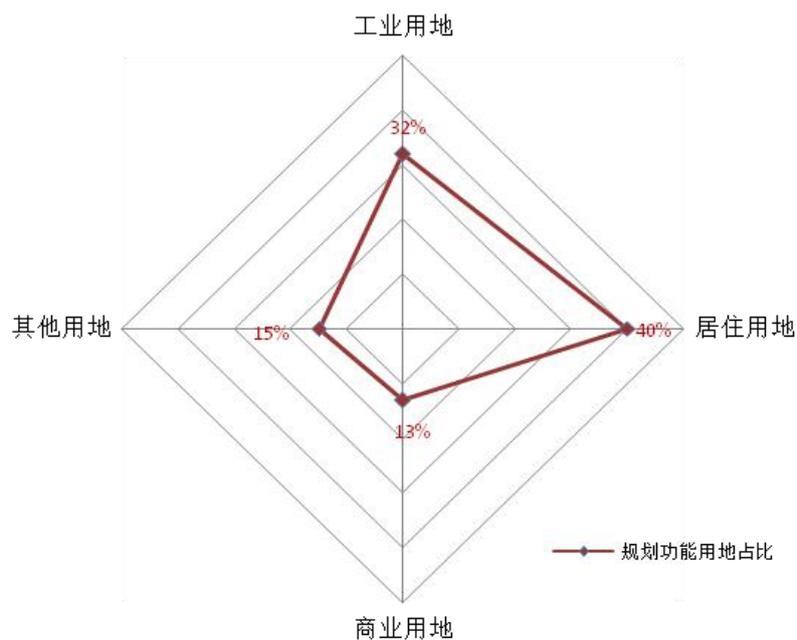


图 12: 现状工业用地规划各类用地对比 资料来源: 作者自绘

级。未来城市更新实践中，如何平衡更新项目改造后的三大用地的分布，还需要折中性的政策指导与条例控制。

4 结语

分维计算与统计表明城市更新的空间具有明显的分形特征，分维值可以作为更新单元空间系统优化的定量判断依据，并能通过空间分布和用地性质的宏观控制，使更新单元系统朝理想方向发展。历年更新单元的分维变化揭示着深圳市城市更新实践处在快速增长阶段，但是 1.416 的分维值与 1.7 的最佳水平还有较大差距，怎样评估更新单元动态发展中的特征变化并提供对应的处理措施，分形理论还有很大的应用空间。

基于对深圳城市更新单元空间形态与发展特征的分形分析，为保证城市更新单元的布局与功能的进一步优化，在当前“强区放权”的大环境下，市和区的更新主管部门在配置城市更新资源时应在以下几个方面做好引导：

(1) “强区放权”后，各区要更加注重更新单元的联动发展，立足城市发展的需要和城市结构演变的基本规律，统筹规划，避免项目式更新，减少更新项目的合成谬误^[22]。

(2) 城市更新快速发展阶段要更加注重对更新单元空间数据的动态监测和实时评估，并及时出台对应政策，使城市更新始终沿着优化深圳市城市空间结构和功能的方向发展。

(3) 更新单元计划审批时就要着手解决职住分离现象，需特别注重各类用地的空间分配，适当增加原特区外的工业用地与商业用地配比，并相应地在原特区内增加居住用地和配套宿舍的比例，以减少通勤距离，减轻交通压力。同时还要注重对产业空间的保障以及对城市公共服务设施和基础设施的评估，保障城市安全。

注释

①详见《深圳市城市更新办法实施细则》第十二条：城市更新单元内可供无偿移交给政府，用于建设城市基础设施、公共服务设施或者城市公共利益项目等的独立用地应当大于 3000 平方米且不小于拆除范围用地面积的 15%。

②详见《深圳市人民政府办公厅关于贯彻落实〈深圳市人民政府关于施行城市更新工作改革的决定〉的实施意见》第三节：关于市规划国土委职权的调整。原市规划国土委行使的城市更新项目的行政审批、行政确认、行政服务、行政处罚、行政检查等职权，除地名许可、测绘查丈、房地产预售、房地产权登记、档案管理事项外，调整至各区行使。

参考文献

- [1] 缪春胜.深圳三十多年城市更新回顾及其下一阶段思考[A].中国城市规划学会,2014:14.
- [2] 刘昕.城市更新单元制度探索与实践—以深圳特色的城市更新年度计划编制为例[J].规划师,2010(11):66-69.
- [3] 刘贵文,易志勇,魏骊臻,胡鑫瑜.基于政策工具视角的城市更新政策研究:以深圳为例[J].城市发展研究,2017,24(03):47-53.

- [4] 刘芳,张宇. 深圳市城市更新制度解析——基于产权重构和利益共享视角[J]. 城市发展研究,2015,22(02):25-30.
- [5] 杨晓春,潘星婷,余磊.深圳城市更新中空间控制的实效性—岗厦启示[J].城市建筑,2016 (16):60-64.
- [6] B.B.Mandelbrot.The Fractal geometry of nature[M].New York:W.H.Freeman,1983.
- [7] 刘承良,熊剑平,张红. 武汉都市圈城镇体系空间分形与组织[J]. 城市发展研究,2015,22(02):25-30.
- [8] Arlinghaus S L, Arlinghaus W C. The Fractal Theory of Central Place Geometry: a Diophantine Analysis of Fractal Generators for Arbitrary Loschian Numbers[J].Geographical Analysis,1989(21):103-121.
- [9] 陈彦光,刘继生.城市形态分维测算和分析的若干问题[J].人文地理, 2007 (3):98-103.
- [10] 张静,丘蕾.城市分形特征及其应用[J].规划师,2002(5):72-75.
- [11] 秦静,方创琳,王洋,等.基于三维计盒法的城市空间形态分维计算和分析[J].地理研究, 2015 (1):85-96.
- [12] 姜世国,周一星.北京城市形态的分形集聚特征及其实践意义[J].地理研究, 2006(2):204-212.
- [13] 吴左宾,刘业鹏.紧凑理念下的米脂城市空间增长边界划定[J].规划师,2017(3):144-148.
- [14] 陈彦光.城市形态的分维估算与分形判定[J].地理科学进展,2017(5):529-539.
- [15] 陈彦光.分形城市与城市规划[J].城市规划,2005(2):33-51.
- [16] 林鸿溢,李映雪.分形论—奇异性探索[M].北京:北京理工大学出版社,1992.
- [17] Kaye B H.A Random Walk through Fractal Dimensions[M].New York:VCH Publishers,1989.
- [18] Benguigui L,Czamanski D,Marinov M,Portugali Y. When and Where is a City Fractal[J]? Environment and Planning:Planning and Design,2000,27:507-519.
- [19] 陈彦光.自组织与自组织城市[J].城市规划,2003,27(10):17-22.
- [20] Batty M,Longley P A.Fractal Cities:A Geometry of Form and Function [M]. London: Academic Press,Harcourt Brace & Company,Publishers,1994.
- [21] 陈彦光,刘明华.城市土地利用结构的熵值定律[J].人文地理,2001,16(4):20-24.
- [22] 王飞,许玥,于涛等.分形视角下的深圳城市更新土地移交空间研究[C].中国城市规划年会论文集:2018.

作者简介

于涛, 规划师, 深圳鼎鸿发展顾问有限公司

王飞, 规划师, 深圳鼎鸿发展顾问有限公司