

Dynamic Urban Land Expansion in Tangxun Lake Basin Based on RS and GIS Technology

Fangkai Ma¹, Zhaobo Gao^{1*}, Chenxi Huang², Wen Hu²

¹Yangtze River Survey Planning and Design Research Co., Ltd., Wuhan Hubei

²Hunan Aerospace Yuanwang Science & Technology Co., Ltd., Changsha Hunan

Email: mafangkai@cjwsjy.com.cn, *gaozhaobo@cjwsjy.com.cn

Received: Oct. 10th, 2020; accepted: Nov. 25th, 2020; published: Dec. 22nd, 2020

Abstract

The Tangxun Lake basin in Wuhan was taken as the research area and remote sensing images with 1-meter spatial resolution were used as the main data source in this study. The urban land use information of the research area in 2002, 2006, 2010, 2015, and 2019 was extracted and indicators such as expansion intensity index, expansion dynamic degree, and landscape feature index and road network density were used for dynamic analysis of urban land expansion. Based on the analysis, the driving factors for urban land expansion were explored. The results showed that the urban land use has increased by 77.68 km² in Tangxun Lake basin during the past 17 years; the road network density increased from 0.67 to 4.11; the expansion intensity index and the urban expansion dynamics were 1.90 and 15.73%, respectively, which represent a rapid expansion type. The urban land landscape pattern index at each time point was calculated and the analysis revealed that the towns in Tangxun Lake basin were in the growth stage from 2002 to 2015 combining urban expansion index, urban expansion dynamics and road network density. The landscape pattern index changed less from 2015 to 2019, and the towns gradually entered the mature stage.

Keywords

Tangxun Lake Basin, Urban Land Expansion, Driving Factors, Expansion Features

基于RS和GIS技术的汤逊湖流域城镇用地扩张动态研究

马方凯¹, 高兆波^{1*}, 黄晨曦², 胡文²

¹长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉

²湖南航天远望科技有限公司, 湖南 长沙

Email: mafangkai@cjwsjy.com.cn, *gaozhaobo@cjwsjy.com.cn

作者简介: 马方凯, 男, 高级工程师, 博士, 研究方向为城市水生态环境。

*通讯作者。

收稿日期：2020年10月10日；录用日期：2020年11月25日；发布日期：2020年12月22日

摘要

以武汉市汤逊湖流域为研究区，以空间分辨率优于1 m的遥感影像为主要数据源，提取研究区2002、2006、2010、2015、2019年5个时期的城镇用地信息，采用扩张强度指数、扩张动态度、景观特征指数、路网密度等对城镇用地扩张进行动态分析，并据此探索城镇用地扩张的驱动因子，结果表明：汤逊湖流域近17年来城镇用地增加了77.68 km²，道路网密度由0.67增加到4.11，扩张强度指数与城镇扩张动态度分别为1.90与15.73%，属于快速扩张型，通过计算得到各时间点的城镇用地景观格局指数，结合城镇扩张指数、城镇扩张动态度以及道路网密度，分析得出2002~2015年汤逊湖流域城镇属于成长阶段，2015~2019年景观格局指数变化幅度较小，城镇逐渐走向成熟阶段。

关键词

汤逊湖流域，城镇用地扩张，驱动因素，扩张特征

Copyright © 2020 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

改革开放 40 年来，中国的经济实现飞速的增长，随着工业化进程不断推进，经济和产业的集聚，我国的城镇化水平不断提高，人口持续性往城市地区集聚，目前我国已成为全球城镇化的主动力，处于城市快速发展阶段。作为人类集中居住和生产的载体，城镇随经济、社会的发展，受到包括人口集聚、经济、交通发展等各种要素的影响[1]，而城镇数量增加，城镇规模逐渐扩大，城镇用地的空间扩展日益成为现在乃至将来土地利用变化的主要特征[2]，因此，定量化度量城镇扩张动态变化对于了解预测城镇发展是有必要的。

目前国内外对于城镇用地扩张动态分析的已经有了大量的相关研究，早期国外许多学者利用 TM、SPOT 等遥感数据，结合 GIS 技术，对城镇扩张进行了研究[3] [4]，国内利用 RS 和 GIS 进行城镇扩展研究相对较晚，但研究进展很快[5]，目前研究成果主要集中于城镇空间结构变化驱动力研究、城镇空间扩展规律及时空机制的研究、城镇空间扩展预测研究等[6] [7]，综合城镇空间扩展的国内外研究现状发现，研究尺度从单个城市(主要为省会城市)扩展到区域城市群，以宏观层面对大城市、城市群的扩展规律、特征、驱动力、时空机制等进行了研究，而对于微观尺度的城镇扩张研究仍存在很多不足。

综上所述，本文以武汉市汤逊湖流域为研究区，利用优于空间分辨率为 1 m 的遥感影像提取研究区 2002、2006、2010、2015、2019 年 5 个年份的城镇用地信息，采用扩张强度指数、扩张动态度、景观特征指数、路网密度等对城镇用扩张进行动态分析，并综合经济、人口等数据探索城镇用地扩张的驱动因子。

2. 研究区域概况与遥感数据源

汤逊湖流域位于武汉市东南部，跨江夏区、洪山区、东湖高新区，地理坐标介于 114°13'0.386"E~114°27'40.977"E、30°19'13.838"N~30°29'51.839"N 之间，总面积 240 平方公里，地理位置见图 1。汤逊湖周边地貌属于丘陵地段，经江汉平原向大别山低山丘陵过度地带，岗垄环抱，北部多山。地形属于残丘性河湖冲积平原，地势平坦低洼，气候属热带季风气候，常年雨量充沛，雨热同季，降水多集中在 6~8 月。

研究中使用的数据源为空间分辨率优于 1 m 的遥感影像数据, 包括 QuickBird、WordView-3 以及 GF2 数据, 为了更清晰地表征城镇建设用地, 影像尽量选择云量较少、质量较高的数据, 若出现影像缺失或云量较高的情况, 则选择前后两年内同区域的高质量影像, 数据源情况如表 1。影像的预处理过程主要包括: 大气校正、几何校正、图像配准、影像融合、镶嵌处理以及图像裁切等, 预处理过程决定了遥感影像产品的质量以及解译的精度。

汤逊湖流域行政区划图

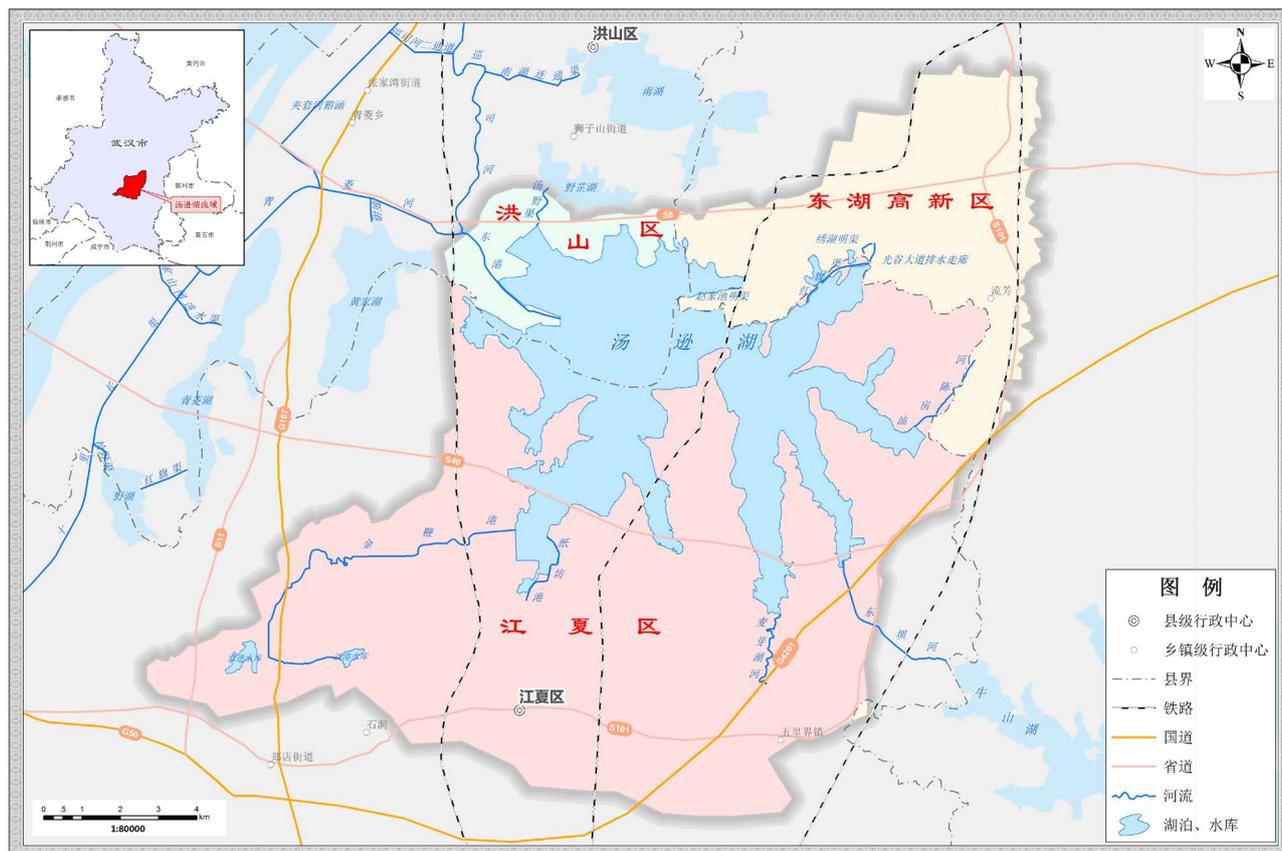


Figure 1. Tangxun Lake basin in the Wuhan metropolitans

图 1. 武汉市汤逊湖流域

Table 1. Satellite image data

表 1. 卫星影像数据详情表

年份	数据源	景数	分辨率(米)	含云量	影像质量
2002	QuickBird	3	0.61	<1%	好
2006	QuickBird	4	0.61	<1%	好
2010	QuickBird/WordView-3	3	0.61	无云	好
2015	GF2	2	0.8	<2%	好
2019	GF2	2	0.8	<3%	较好

3. 遥感影像信息提取

遥感图像的解译分类主要是根据图像像元所反映地物的光谱特征和空间特征进行分析, 将影像中的每一个

像元按照一定的算法或特定的规则划分为不同的类别，从而实现遥感图像的分类[8]。目前比较常用的遥感影像信息提取方法包括传统的目视解译、监督分类与非监督分类以及新型的人工神经网络、面向对象分类与遥感专家解译系统等。由于研究区范围较小，采用的影像分辨率较高，为提高影像信息提取精度，采用的是人机交互解译的方法。遥感影像信息提取流程如图 2，对研究区五个时相的城镇用地解译分类结果进行处理，使用 ArcGIS 软件出图后的结果如图 3。

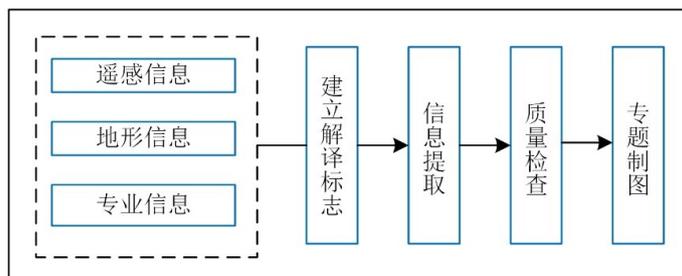


Figure 2. Flow chart of remote sensing image information extraction
图 2. 遥感影像信息提取流程图

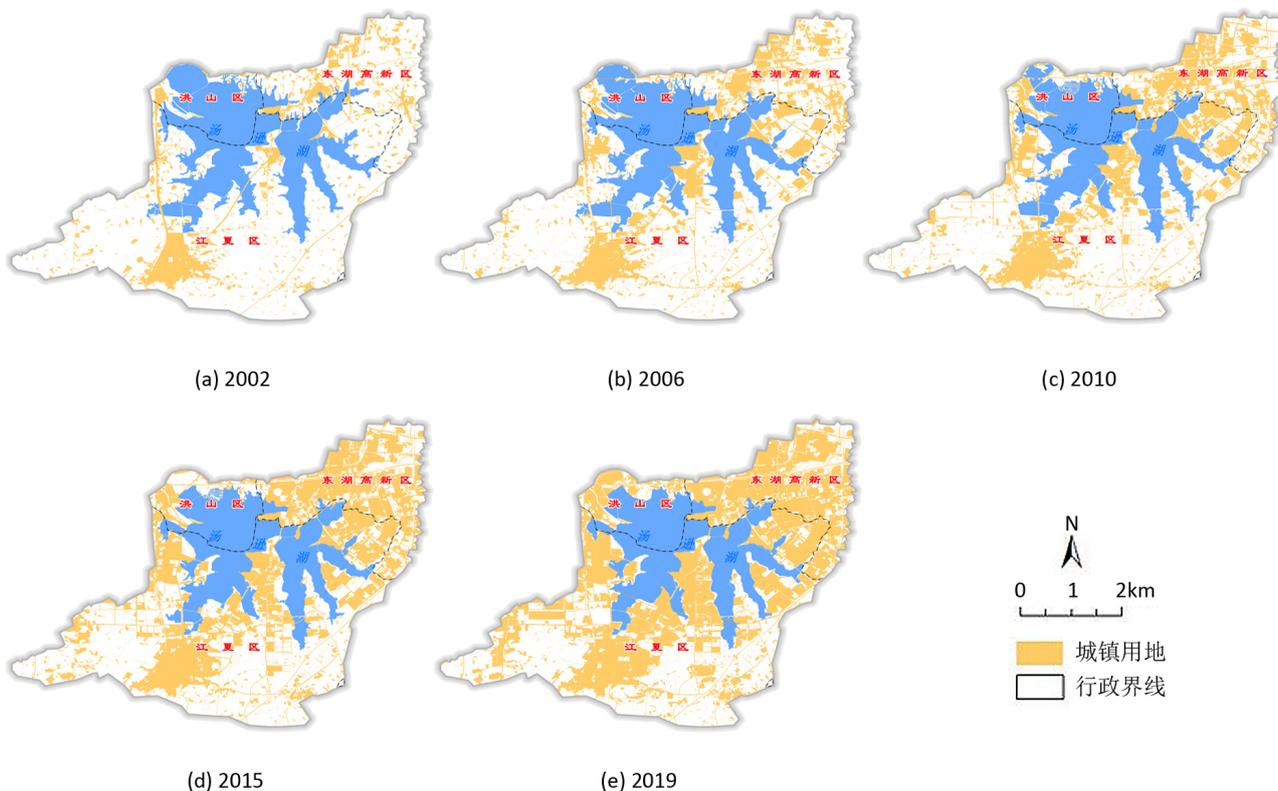


Figure 3. Urban land use in Tangxun Lake
图 3. 汤逊湖流域城镇用地图

4. 城镇用地扩张特征分析

对研究区五个时期城镇用地面积进行统计分析，其城镇用地面积由 2002 年的 29.5 km² 迅速增长到 2019 年的 106.73 km²，计算出汤逊湖流域从 2002~2019 年 4 个时段城镇用地面积的增长量，其中 2010~2015 年面积增长量最大，结果如下(图 4)。

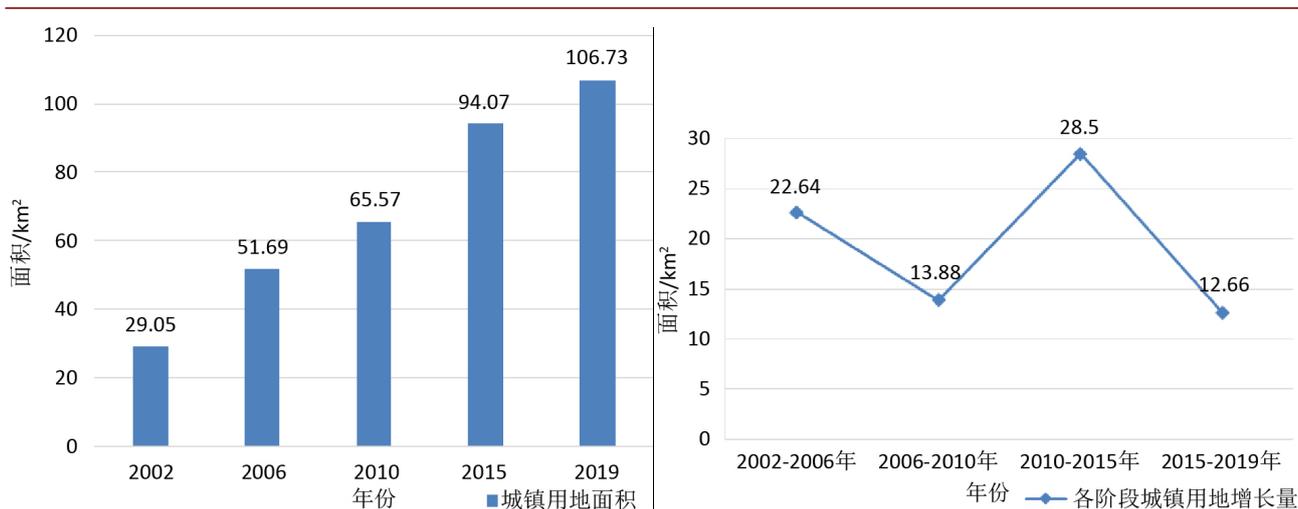


Figure 4. Statistical graph of urban land expansion from 2002 to 2019 (left: area, right: growth in various stages)
 图 4. 2002~2019 年各阶段城镇用地统计图(左: 面积, 右: 增长量)

4.1. 城镇用地扩张强度指数

城镇扩张强度指数(Urbanization intensive index, *UII*)指某一地区在城镇扩张过程中城镇用地的扩张面积与该地区土地总面积的百分比, 即某一地区在面积标准化下城镇用地面积的年平均增长速率[9], 城镇扩张强度指数能够反映城镇用地面积扩张的速率, 通过城镇面积的变化可直观地体现出城镇扩张演变的强弱趋势。*UII* 指数越高, 城镇扩张越快。*UII* 的计算公式如下:

$$UII = \frac{S_b - S_a}{A} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: *UII* 为扩张强度指数, S_b 、 S_a 分别表示在时间点 b 、 a 时城镇用地的面积(km²), A 表示研究区总面积, T 表示间隔时长。本研究参考的 *UII* 划分标准为: 0~0.28 为缓慢扩张, 0.28~0.59 为低速扩张, 0.59~1.05 为中速扩张, 1.05~1.92 为快速扩张, 大于 1.92 为高速扩张[10], 根据 *UII* 计算公式以及参考的划分标准计算得到结果如表 2。

Table 2. Expansion intensity index from 2002 to 2019
 表 2. 2002~2019 年各时间段扩张强度指数

时期	扩张面积/Km ²	扩张强度(Km ² /年)	扩张类型
2002~2006 年	22.64	2.36	高速扩张型
2006~2010 年	13.88	1.45	快速扩张型
2010~2015 年	28.50	2.38	高速扩张型
2015~2019 年	12.66	1.32	快速扩张型
2002~2019 年	77.68	1.90	快速扩张型

从表 2 可以看出, 汤逊湖流域从 2002~2019 年城镇用地各时间段一直处于高、快速扩张类型, 综合分析 2002~2019 年城镇用地扩张, 其为快速扩张型, 而扩张强度在 2010~2015 年达到顶峰后呈下降趋势。近年来, 随着工业化进程的不断推进以及国家经济的快速发展, 武汉市的社会经济发展也加快了脚步, 汤逊湖流域作为武汉市快速发展的典型例子, 在近二十年城镇用地实现了飞速扩张, 其中工矿企业用地的增加也带动了地区经济的发展以及人口的增加, 而地区经济的发展以及人口的增加促使了城镇用地的扩张, 以此形成了正反馈机制。

4.2. 城镇用地扩张动态分析

扩张动态度是指在某一特定时间段内研究区的某一土地利用类型的在数量上的动态变化状况[11], 可用来描述土地利用变化的速度[12], 计算公式如下:

$$K = \frac{S_b - S_a}{S_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: K 表示城镇用地扩张动态度, S_b 、 S_a 表示研究区研究末期与研究初期城镇用地面积, T 表示时间间隔。本研究参考的扩张动态度划分标准为: 高速扩张型(>20%); 快速扩张型(14%~20%); 中速扩张型(8%~14%); 缓慢扩张型(<8%) [13], 根据参考划分标准以及计算公式计算得到各时间段城镇用地扩张动态度, 如表 3。

Table 3. Expansion dynamics in various time periods from 2002 to 2019

表 3. 2002~2019 各时间段扩张动态度

时期	扩张面积/Km ²	年均变化率(%)	扩张类型
2002~2006 年	22.64	19.48%	快速扩张型
2006~2010 年	13.88	6.71%	缓慢扩张型
2010~2015 年	28.50	8.69%	中速扩张型
2015~2019 年	12.66	3.36%	缓慢扩张型
2002~2019 年	77.68	15.73%	快速扩张型

根据表 3, 2002~2019 年城镇用地年均变化率为 15.73%, 各时间段年均变化率在 2002~2006 年达到峰值后降低, 综合来看 2002~2019 年城镇用地扩张属于快速扩张型。建设初期, 由于的经济快速发展以及人口增加, 相应的基础配套设施、房地产业、工矿企业等其他建设得到一定程度的提高, 对城镇用地的需求增加, 这一时期呈快速扩张趋势, 而后扩张年均变化率降低。

4.3. 景观格局指数

景观格局(Landscape Pattern)是指景观组成单元类型、异质性、多样性及其空间分布规律, 是大小和形状不一的景观嵌块体在景观空间上按照一定的规律组成的景观格局[14] [15], 影响景观格局的变化因素多种, 包括人为及自然等。通过利用景观格局空间特征指数, 可以分析该区域空间变异特征以及各种生态过程在该区域作用的结果。为了探究城镇用地扩张过程中出现的空间现象, 本文采用的景观格局指数有: ①景观斑块个数(NP) ②景观斑块面积(CA) ③斑块密度(PD) ④平均斑块面积(AREA_MN) ⑤聚合度指数(AI) ⑥连接度指数(COHESION), 如表 4。

Table 4. The meaning and formula of the landscape pattern index feature to be adopted

表 4. 拟采用的景观格局指数特征含义及公式

景观格局指数	指数意义	公式
景观斑块个数(NP)	某斑块类型中所有斑块数量总和, 描述景观异质性	$NP = n$
景观斑块面积(CA)	某斑块类型中所有斑块面积总和(hm ²)	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} (1/10000)$
斑块密度(PD)	单位面积上的斑块数量	$PD = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100\%)$
平均斑块面积(AREA_MN)	某一景观类型斑块平均面积, 衡量景观破碎程度	$AREA_MN = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n}$
聚合度指数(AI)	某个类型景观的聚集程度, 值越大, 聚集度越高	$AI = \left[\sum_{i=1}^m \left(\frac{g_{ii}}{\max \rightarrow g_{ii}} \right) P_i \right] \times 100$
连接度指数(COHESION)	描述斑块的物理连接线, 斑块的聚集度越高, 指数越大	$COHESION = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m P_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m P_{ij} * a_{ij}} \right) / (1 - 1/TA)$

计算各时间景观格局指数，如表 5。

Table 5. Landscape pattern index from 2002 to 2019
表 5. 2002~2019 年景观格局指数

时期	NP	CA(hm ²)	PD	AREA_MN	AI	COHESION
2002 年	1466	2905.06	50.46	1.98	99.03	99.978
2006 年	1204	5168.85	23.29	4.29	99.15	99.992
2010 年	897	6557.39	13.68	7.31	99.24	99.997
2015 年	696	9406.86	7.40	13.52	99.39	99.999
2019 年	743	10673.00	6.96	14.36	99.43	99.999

由表 5 可知，斑块数量、斑块密度逐渐减小，斑块面积、平均斑块面积、聚合度指数、连接度指数逐渐增大，在研究内，斑块的集聚程度增大，城镇用地的小斑块数量减少，城镇用地斑块不断融合吞并，城镇用地景观连通性增加，城镇用地空间格局逐步紧凑型，从而形成聚集性斑块。其中 2002~2015 年斑块数量、斑块密度急剧下降，城镇用地面积、平均斑块面积急剧上升，斑块的聚合度指数和连接度指数较大幅度增加，在这一期间，城镇用地扩张迅速，城镇用地紧凑度增加，城镇属于成长阶段，2015~2019 年景观格局指数变化幅度较小，城镇用地逐渐趋向完整、集聚的趋势，空间格局也越来越紧凑，形成成熟的城镇建成区。

4.4. 道路网密度分析

道路网密度是指在一定区域内道路网总里程与该区域面积的比值，是评价某一地区交通状况、衡量城市道路建设水平的重要指标[16]，道路网密度可反映规划用地单位面积内所拥有的道路长度的指标[17]，道路网密度越大，可达性越好，交通更便捷。计算公式如下：

$$D = \frac{L}{A} \quad (3)$$

式中： D 表示研究区域道路网密度(Km/Km²)， L 表示研究区道路长度(Km)， A 表示研究区面积。计算得到各年份的道路网密度，如表 6。

Table 6. Road network density from 2002 to 2019
表 6. 2002~2019 年道路网密度

时期	道路长度/Km	道路网密度(Km/Km ²)
2002 年	161.85	0.67
2006 年	490.51	2.04
2010 年	679.20	2.83
2015 年	825.32	3.44
2019 年	986.89	4.11

从表 6 看出，从 2002~2019 年，随着城镇用地的扩张，道路网密度不断增加，道路网更密集，道路网络更复杂，具有良好的空间渗透性，可达性较高，便捷程度更高，集聚人流更多；在城市环线和绕城高速附近，各道路与对外交通拥有较多的道路节点，被到访机会较高，对人流产生更强的吸引力，促使商业集聚以及区域经济发展。

5. 研究区域城镇用地扩张因素分析

城镇扩张的本质是为了满足人类发展的需求,不断进行土地资源类型和数量上的调整过程[18],城镇扩张的同时能够促进经济发展以及农业人口向非农业人口的转化以及人口的增长,进而促使城市化进程。影响城镇扩张驱动机制的形成因素有多种,包括自然地理环境、人口、经济以及交通等。

决定城镇扩张的因子主要是经济、人口等。随着社会主义市场经济体系的建立,全国经济表现出向上的趋势,城市化进程不断加快。从 21 世纪起,武汉市产业结构不断优化,改革力度增强,经济实现了快速发展。武汉市地区生产总值从 2002 年的 1492.72 亿元上升到 2019 年的 16,223.21 亿元,比 2002 年增加了 11 倍,如图 5 所示。

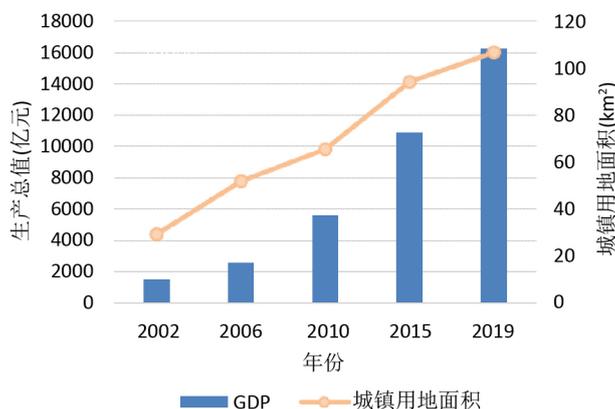


Figure 5. Urban land area and Wuhan's GDP in Tangxun Lake Basin from 2002 to 2019

图 5. 2002~2019 年汤逊湖流域城镇用地面积与武汉市生产总值图

从图可以看出,武汉市 GDP 增长与汤逊湖流域城镇用地扩张呈正相关,伴随着经济的发展,第二、三产业占比增加,大量的工矿企业在汤逊湖流域集聚,产业集聚促使城镇用地扩张。经济增长的同时人口不断增加,而人口增长对土地的需求是土地的本质需求,城镇用地是人类生活、工作、学习所依赖的场所,从图 6 可以看出自 2002 年起武汉市人口数量呈连续不断增长的趋势,常住人口数量从 2002 年的 823.70 万人增长至 2019 年的 1108.10 万人。

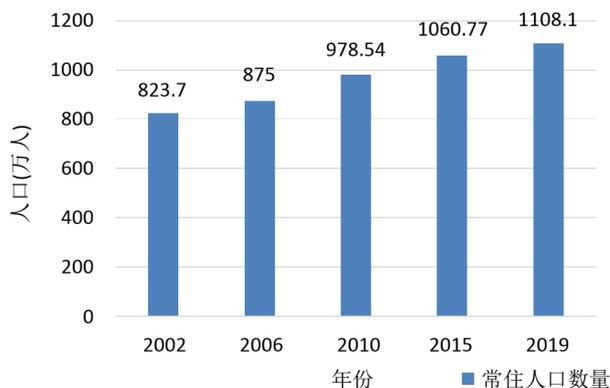


Figure 6. The number of permanent residents in Wuhan from 2002 to 2019

图 6. 2002~2019 年武汉市常住人口数量图

人类的生存活动需要占据一定的空间,人口的增长与城镇用地的变化存在一定的显著关系,随着城市化进

程的加快, 农业人口向非农业人口转化的速度加快, 从而促使房地产业的快速发展, 进一步加快城镇用地面积的扩张。

6. 结论与展望

本文以 2002、2006、2010、2015、2019 年五个时相的遥感影像为基础, 结合遥感与地理信息技术, 通过对遥感影像数据的处理以及城镇用地的信息提取, 研究了汤逊湖流域近 17 年来城镇用地扩张的动态性。研究表明, RS 与 GIS 技术是研究城镇用地动态变化的有效手段; 2002~2019 年, 汤逊湖流域城镇用地增加了 77.68 km², 道路网密度由 0.67 增加到 4.11, 扩张强度指数与城镇扩张动态度分别为 1.90 与 15.73%, 属于快速扩张型, 并计算得到各时间点的城镇用地景观格局指数, 结合城镇扩张指数、城镇扩张动态度以及道路网密度, 分析得出 2002~2015 年汤逊湖流域城镇用地快速扩张, 城镇用地紧凑度增加, 城镇属于成长阶段, 2015~2019 年景观格局指数变化幅度较小, 城镇用地逐渐趋向完整、集聚的趋势, 空间格局也越来越紧凑, 城镇逐渐走向成熟阶段; 对汤逊湖流域城镇用地扩张的驱动因素进行综合分析, 2019 年武汉市的生产总值是 2002 年 11 倍, 常住人口数量增加至 1108.1 万人, 经济的发展与人口增长促进了城镇用地扩张。

本文虽然从多个角度分析了汤逊湖城镇用地扩张动态性, 但是本文对于景观格局指数的研究仅限于城镇用地单一单元, 并没有分析汤逊湖流域的总体景观格局以及景观格局演变, 总体景观格局以及景观格局的演变分析有利于研究汤逊湖流域生态环境变化。由于缺乏汤逊湖流域的人口、经济、产业变化数据, 只能选取整个武汉市的经济、人口数据研究城镇用地扩张的驱动因素, 在一定程度上, 仍存在局限性。后期将结合景观格局演变、景观扩张指数以及多尺度的梯度分析城镇用地扩张特征的时空差异性。

参考文献

- [1] PAYTAN, A., ROBERTS, K., WATSON, S., et al. Internal loading of phosphate in Lake Erie Central Basin. *Science of the Total Environment*, 2017, 579: 1356-1365. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.133>
- [2] 万义良, 金瑞, 唐建波, 金美含. 东莞市城镇扩张景观格局变化特征[J]. *经济地理*, 2019, 39(03): 84-92.
WAN Yiliang, JIN Rui, TANG Jianbo and JIN Meihan. Spatial heterogeneity of urban expansion structure based on spatial clustering method in Dongguan City. *Economic Geography*, 2019, 39(3): 84-92. (in Chinese)
- [3] YIN, Z.-Y., STEWART, D. J., BULLARD, S. and MACLACHLAN, J. T. Changes in urban built-up surface and population distribution patterns during 1986-1999: A case study of Cairo, Egypt. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2005, 29(5): 595-616. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2005.01.008>
- [4] KARATHANASSI, V., IOSSIFIDIS, Ch. and ROKOS, D. A texture-based classification method for classifying built areas according to their density. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(9): 1807-1823. <https://doi.org/10.1080/014311600209751>
- [5] 孔雪松, 刘艳芳, 常旭. 基于 GIS 的城镇用地空间演化与景观特征分析[J]. *经济地理*, 2012, 32(4): 67-71.
KONG Xuesong, LIU Yanfang and CHANG Xu. Study on spatial evolution and landscape feature of town expansion based on GIS. *Economic Geography*, 2012, 32(4): 67-71. (in Chinese)
- [6] 邹鹏飞. 基于 RS 和 GIS 的城镇化扩展时空特征及驱动力分析[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2016.
ZOU Pengfei. Analysis on spatial-temporal characteristics and driving force about urban expansion on RS and GIS. Beijing: China University of Geoscience, 2016. (in Chinese)
- [7] 吕园. 区域城镇化空间格局、过程及其响应[D]: [博士学位论文]. 西安: 西北大学, 2014.
LV Yuan. The spatial pattern, process and response of regional urbanization. Xi'an: Northwest University, 2014. (in Chinese)
- [8] 姜博, 王媛, 魏超, 盖晓, 乔磊. 城市土地利用扩展的驱动因素与空间扩展模式研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2014, 28(7): 1-6.
JIANG Bo, WANG Yuan, WEI Chao, GE Xiao and QIAO Lei. Research on city land use expansion driving factors and spatial expansion mode. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2014, 28(7): 1-6. (in Chinese)
- [9] 邓书斌. ENVI 遥感图像处理方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014.
DENG Shubin. ENVI remote sensing image processing method. Beijing: Higher Education Press, 2014. (in Chinese)
- [10] 樊勇, 朱曦, 张圣笛, 何宗宜, 杨刚. 基于多源遥感数据的淮河流域城镇扩张研究[J]. *农业机械学报*, 2016, 47(11):

- 252-261.
FAN Yong, ZHU Xi, ZHANG Shengdi, HE Zongyi and YANG Gang. Urban expansion of Huaihe River basin based on multi-source remote sensing data. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(11): 252-261. (in Chinese)
- [11] 刘盛和, 吴传钧, 沈洪泉. 基于 GIS 的北京城市土地利用扩展模式[J]. *地理学报*, 2000(4): 407-416.
LIU Shenghe, WU Chuanjun and SHEN Hongquan. A GIS based model of urban land use growth in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2000(4): 407-416. (in Chinese)
- [12] 胡长慧. 开封城市用地扩张时空特征及驱动力分析[D]: [硕士学位论文]. 开封: 河南大学, 2014.
HU Changhui. Analysis on the spatial and temporal characteristics and driving forces of Kaifeng urban land expansion. Kaifeng: Heinan University, 2014. (in Chinese)
- [13] 王磊, 赵国庆, 郝敬锋. 基于 RS 的城市扩张监测与分析[J]. *地理空间信息*, 2015, 13(2): 147-149.
WANG Lei, ZHAO Guoqing and HAO Jingfeng. RS-based urban expansion monitoring and analysis. *Geospatial Information*, 2015, 13(2): 147-149. (in Chinese)
- [14] 王丽萍, 周寅康, 薛俊菲. 江苏省城市用地扩张及驱动机制研究[J]. *中国土地科学*, 2005(6): 26-29.
WANG Liping, ZHOU Yinkang and XU Junfei. Study on urban land expansion and its driving mechanism in Jiangsu Province. *China Land Science*, 2005, 13(6): 26-29. (in Chinese)
- [15] 伍业纲, 李哈滨. 景观生态学的理论发展[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
WU Yegang, LI Habin. Theoretical development of landscape ecology. Beijing: China Science and Technology Press, 1992. (in Chinese)
- [16] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析[J]. *生态学报*, 1995(2): 113-120.
FU Bojie. The spatial pattern analysis of agricultural landscape in the loess area. *Acta Ecologica Sinica*, 1995(2): 113-120. (in Chinese)
- [17] 封志明, 刘东, 杨艳昭. 中国交通通达度评价: 从分县到分省[J]. *地理研究*, 2009, 28(2): 419-429.
FENG Zhiming, LIU Dong and YANG Yanzhao. Evaluation of transportation ability of China: From county to province level. *Geographical Research*, 2009, 28(2): 419-429. (in Chinese)
- [18] 宋鸿, 罗进锋. 山地城市道路网密度评价方法研究[J]. *公路与汽运*, 2013(6): 47-50.
SONG Hong, LUO Jinfeng. Research on evaluation method of road network density in mountain city. *Highways & Automotive Applications*, 2013(6): 47-50. (in Chinese)