

doi: 10. 6046/gtzyyg. 2017. 04. 31

引用格式:金平斌,徐鹏飞. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的城镇化进程及格局研究——以杭州市为例[J]. 国土资源遥感, 2017,29(4):205-213. (Jin P B,Xu P F. A study of urbanization progress and spatial pattern using DMSP/OLS nighttime light data: A case study of Hangzhou City[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2017,29(4):205-213.)

基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的城镇化进程及格局研究

——以杭州市为例

金平斌, 徐鹏飞

(浙江大学城市与区域发展研究所,杭州 310027)

摘要: 利用 1992—2013 年间覆盖杭州市的 DMSP/OLS 夜间灯光(nighttime light,NTL)数据,结合相关社会经济统计资料,采用分区阈值提取等方法提取杭州市各县、市的城镇区域面积,分析 NTL 数据与城镇化进程的关系及杭州市城镇化扩张模式;选取景观生态学相关研究方法,引入景观格局与斑块概念,结合主要交通线分布,对杭州市城镇化进程及格局进行分析。研究表明,利用 NTL 数据进行城镇化研究具有一定可行性。杭州市城镇化扩张表现为后期加速型,城镇化发展在 2000 年以前主要集中在主城区;2000 年以后,随着经济社会的发展,城镇化开始沿主要交通线呈面状分散发展,城镇化速度及水平全面提升,发展方式及发展重心都呈现出一定的转变。运用 DMSP/OLS NTL 数据从市域层面展开城镇化相关研究,并引入景观生态学相关概念,对城镇化研究以及城市规划有一定的借鉴意义。

关键词: DMSP/OLS 夜间灯光(NTL)数据; 城镇化; 景观格局; 杭州市

中图法分类号: TP 79 文献标志码: A 文章编号: 1001-070X(2017)04-0205-09

0 引言

城镇化是指由以农业为主的传统乡村社会转向以工业和服务业为主的现代都市社会的历史过程,主要表现在劳动力的转移、人口比重的转变以及城市空间结构的调整^[1]。中国城镇化发展迅速,据国家统计局相关资料,截至 2014 年底,中国大陆地区城镇人口占总人口的比重已由 1978 年的 17.9% 增加到 54.77%。对城镇化的研究涉及经济、社会、生态和空间等多个层面,城镇化水平的提高会导致城市规模扩张、城市空间形态转变等变化,城市的发展不仅体现在社会和经济上,也会在地理空间格局上呈现新的态势^[2-3]。

现有城镇化研究主要从定性及定量角度展开,然而受统计数据的滞后性以及统计工作中的不确定性影响,研究的及时性及可信度都存在一定不足;同时,地理空间信息的缺失,使得研究很难从宏观角度展开,因而缺乏对城镇化时空格局的分析^[4-5]。为了从地理空间角度实现对城镇化进程及格局的有

效监测,本文选用 DMSP/OLS 的夜间灯光(nighttime light,NTL)数据展开了相关研究。

美国国防气象卫星计划(defense meteorological satellite program,DMSP)是美国国防部极轨卫星项目,搭载有线性扫描业务系统传感器(operational linescan system,OLS)。与其他卫星传感器主要获取太阳辐射地表后反射信号不同,DMSP/OLS 传感器主要采集夜间灯光、火光等产生的辐射信号,可探测到城市灯光、零散居民地以及车流、油井等发出的微弱灯光,并区别于其他黑暗区域,在监测人类夜间活动方面具有一定的优越性。自 20 世纪 80 年代以来,DMSP/OLS NTL 数据得到了广泛的关注,相关研究主要集中于空间信息提取技术方法探索^[6-7]、人口密度估算^[8-9]、电力能源消耗^[10-11]、城市建设用地提取及城镇扩张监测等诸多领域。Croft^[12]于 1978 年首次利用 NTL 数据进行了城市建设用地的提取。随后,相关学者分别从全球与区域尺度展开了大量研究,但因数据受到非稳定光源、像元饱和及溢出等现象限制,研究具有一定的局限性;Henderson 等^[13]采用阈值法提取了北京和旧金山等不同经

收稿日期: 2016-06-30; 修订日期: 2016-08-19

基金项目: 浙江省自然科学基金项目“不同发展阶段下国家公园管理模式与规则导则研究”(编号: LY15G030004)和教育部人文社会科学研究规划基金项目“基于空间差异的大城市边缘区空间识别方法研究”(编号: 12YJAZH042)共同资助。

第一作者: 金平斌(1968-),男,教授,主要从事地理空间与城镇化方面的研究。Email: chshs@zju.edu.cn。

通信作者: 徐鹏飞(1992-),男,博士研究生,主要从事人文环境、地理空间与城镇化方面的研究。Email: crocodile_felix@163.com。

济发展水平城市的建设用地边界,并用 Landsat TM 图像提取的城市边界作为精度评价标准,进行对比分析,结果表明 DMSP/OLS 的稳定灯光数据和辐射定标图像均可作为城镇范围提取和城镇化水平检测的有效数据源;何春阳等^[14]以统计数据及 NTL 数据为基础,重建了中国大陆地区城镇化进程,表明 DMSP/OLS NTL 数据基本上能够反映中国大陆地区城镇化进程;Liu 等^[15]通过对 NTL 数据的系统校正,实现了 NTL 数据的逐年对比,模拟了 1992—2008 年间中国城镇化的扩张进程,并利用阈值法提取了城市区域;Yi 等^[16]构建了环形模型,并运用城市灯光指数(urban light index,ULI)对中国东北部地区城市用地进行了时空研究,发现 ULI 与城市用地类型、人口和经济等因子有极高的相关性;Ma 等^[17]则采取亮度梯度(brightness gradient)与邻域分析法对中国 271 个城市 1992—2012 年间城市用地变化情况进行了分析,研究表明大型城市与中小城市在城市土地利用类型转变方面存在一定的差异。现有研究通过将 DMSP/OLS NTL 数据与其他遥感数据结合的方式,采用适当的数据校准处理模型,在一定程度上克服了像元的饱和与溢出带来的影响,并应用于社会、生产、经济和安全等多个领域,具有一定的实践意义。

本文从市域层面入手,选择杭州市为研究对象,利用 1992—2013 年间获取的 DMSP/OLS NTL 数据以及相关统计数据,通过对数据的校准处理及阈值分析,提取杭州市各县、市的城镇区域面积;在此基础上,结合社会经济统计数据及相关生态学指标,探索 DMSP/OLS NTL 数据与城镇化的关系,并对杭州市城镇化进程及格局变化特征进行初步探讨。

1 研究区概况与数据源

1.1 研究区概况

杭州市位于杭州湾西端、长江三角洲南翼,是浙江省政治、经济、文化和科教中心,有较高的社会经济发展水平,城镇化水平亦居全国前列。全市丘陵山地占总面积的 65.6%,集中分布在西部、中部和南部;平原占 26.4%,主要分布在东北部。杭州市辖上城、下城、江干、拱墅、西湖、滨江、萧山和余杭 8 区,建德、临安和富阳 3 市,桐庐和淳安 2 县(2014 年 12 月 13 日,经国务院批准,撤销富阳市,设立杭州市富阳区,本研究以 2013 年现状为准)。出于对图像精度及统计数据可获取性的考虑,本文将研究对象分为主城区、建德、临安、富阳、桐庐和淳安 6 大区域。 万方数据

1.2 数据源

研究数据主要有 DMSP/OLS NTL 数据、社会经济统计数据及其他辅助数据。

1)DMSP/OLS NTL 数据。该数据可由美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration,NOAA)的国家地理数据中心(National Geophysical Data Center,NGDC)直接下载,空间分辨率约为 1 km,亮度值范围为 0~63(63 为其饱和亮度值)。本文选取 Version 4 Global DMSP/OLS Nighttime Lights Series 稳定灯光数据产品(nighttime stable light)进行分析,该数据包含有多个不同卫星的数据,即 F10(1992—1994 年)、F12(1994—1999 年)、F14(1997—2003 年)、F15(2000—2007 年)、F16(2004—2009 年)和 F18(2010—2013 年),共 34 景。为了提高不同卫星数据的连续性及可比性,需要对数据进行校准处理(数据来源: <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/downloadV4composites.html>)。

2)统计数据。杭州市人口、社会和经济统计数据,来源于《杭州市统计年鉴 1993—2014》及《城市统计年鉴 1993—2014》。

3)辅助数据。中国基础地理信息矢量图,包括中国国界矢量数据,杭州市及其市县界矢量数据,杭州市主要高速公路、国道、省道和河流矢量数据等。

2 研究方法

2.1 数据校准

由于研究区内部分数据是不同传感器在不同时期获取的,且每一年的数据都由多个卫星图像数据组成,数据之间缺乏连续性与可比性,因此需要对原始数据进行校准处理。NTL 数据 DN 统计如图 1 所示。

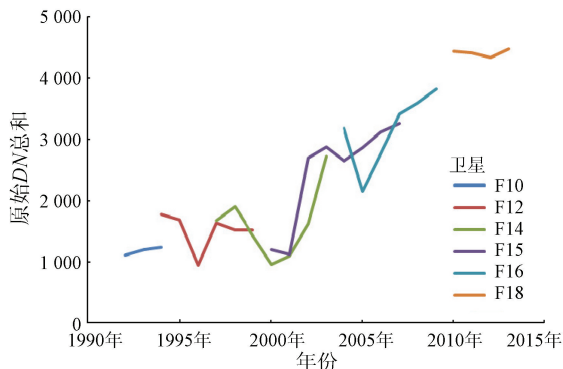


图 1 NTL 数据 DN 统计

Fig. 1 DN values of NTL data

Elvidge 等^[18]通过选取参考影像,并对参考影像与其他影像进行回归分析实现了不同时期 NTL

图像间的相互校准; Wu 等^[19]则提出一种不变目标区域法的 NTL 图像校正方法,并对全球范围图像进行校准,取得了较为理想的结果。本文采用 Wu 等^[19]提出的不变目标区域法,以实现不同年份图像之间的相互校准。运用矢量数据叠置选取感兴趣区(region of interest, ROI)的方法,生成假彩色图像;根据假彩色图像中白色部分处于饱和及城市区域的特征,选定参考区域;采用式(1)的二次回归模型,以 F12(1997)NTL 图像为参考图像,结合回归系数分布表对初始 DMSP/OLS NTL 数据进行回归分析,实现对原始图像的相互校准。

$$DN_{cal} = a + b \cdot DN + c \cdot DN^2 \quad , \quad (1)$$

式中: DN 为待校准图像中的像元亮度值; DN_{cal} 为校准后图像的像元亮度值; a 、 b 和 c 分别为标准图像与其他图像参考区域回归分析得到的系数。回归系数的分布情况如表 1 所示。

表 1 回归系数分布

Tab.1 Distribution of regression coefficients					
卫星编号	年份	a	b	c	R^2
F10	1992 年	-0.019 2	0.021 8	-0.000 21	0.910
	1993 年	-0.043 9	0.024 2	0.000 24	0.926
	1994 年	-0.031 7	0.022 7	-0.000 22	0.949
F12	1994 年	-0.132 2	0.139 0	-0.000 70	0.953
	1995 年	-0.067 0	0.111 4	-0.000 30	0.971
	1996 年	-0.224 4	0.147 4	-0.000 60	0.981
	1997 年	0	1	0	—
	1998 年	0.085 3	0.078 9	0.000 30	0.992
	1999 年	0.027 4	0.053 5	0.000 50	0.980
F14	1997 年	-0.018 0	0.143 2	-0.000 80	0.991
	1998 年	0.060 0	0.118 8	-0.000 40	0.979
	1999 年	0.191 4	0.086 0	0.000 10	0.979
	2000 年	0.009 2	0.109 2	-0.000 20	0.981
	2001 年	0.205 2	0.069 2	0.000 50	0.980
	2002 年	0.365 8	0.039 9	0.000 80	0.977
	2003 年	0.080 8	-0.002 9	0.000 17	0.938
F15	2000 年	0.076 6	0.072 3	0.000 30	0.984
	2001 年	0.020 3	0.078 3	0.000 30	0.984
	2002 年	0.060 5	-0.000 4	0.000 15	0.961
	2003 年	0.049 7	0.001 7	0.000 11	0.958
	2004 年	0.070 1	-0.001 6	0.000 16	0.948
	2005 年	0.092 7	-0.004 7	0.000 21	0.951
	2006 年	0.115 7	-0.007 7	0.000 25	0.939
	2007 年	0.133 2	-0.009 9	0.000 27	0.880
F16	2004 年	0.085 4	-0.003 7	0.000 19	0.954
	2005 年	0.097 0	-0.005 4	0.000 22	0.928
	2006 年	0.161 7	-0.012 5	0.000 33	0.897
	2007 年	0.212 8	-0.016 4	0.000 34	0.807
	2008 年	0.230 5	-0.017 9	0.000 36	0.827
	2009 年	0.110 1	-0.007 7	0.000 28	0.913
F18	2010 年	0.527 7	-0.035 2	0.000 55	0.875
	2011 年	0.428 6	-0.029 6	0.000 48	0.791
	2012 年	0.426 7	-0.030 2	0.000 49	0.829
	2013 年	0.612 9	-0.039 6	0.000 60	0.828

相互校准处理在一定程度上提高了 NTL 数据

的连续性与可比性。然而,由于同年数据具有多个卫星来源,为了充分利用 NTL 数据,提高研究的精确度,本文采用

$$DN_{(n,i)} = \begin{cases} 0, & DN_{(n,i)}^a = 0 \mid DN_{(n,i)}^b = 0 \\ (DN_{(n,i)}^a + DN_{(n,i)}^b)/2, & \text{其他} \end{cases}, \quad (2)$$

计算平均灯光强度,实现 NTL 数据的年内合成,式中: $DN_{(n,i)}^a$ 和 $DN_{(n,i)}^b$ 分别为不同卫星 a 和 b 同一年份 NTL 数据第 i 个像元的亮度值; $DN_{(n,i)}$ 为经过年内合成后第 n 年 NTL 图像第 i 个像元的亮度值,其中 $n = 1992, 1993, 1994, \cdots, 2013$ 。

同时,为便于数据的比较分析与研究,对校准后的数据进行归一化处理,即

$$DN_1 = \frac{|DN - DN_{min}|}{DN_{max} - DN_{min}}, \quad (3)$$

式中: DN_1 为经过归一化处理的像元亮度值,其范围为 $[0, 1]$, 其中 1 表示像元亮度值达到饱和; DN_{max} 与 DN_{min} 分别为像元亮度最大值与像元亮度最小值。

校准后 NTL 数据的 DN 统计结果如图 2 所示。

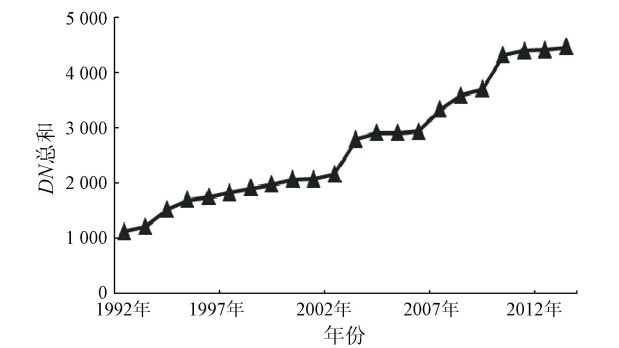


图 2 校准后 NTL 数据 DN 统计

Fig.2 DN values of calibrated NTL data

2.2 城镇分区阈值提取

利用 DMSP/OLS NTL 数据进行城镇化研究,需要确定提取城镇区域的阈值,从而对城镇区域进行提取。现有阈值确定方法主要有经验阈值法、突变检测法、统计数据法以及较高空间分辨率图像空间比较法等^[20]。本文采用提取准确度相对较高的突变检测法确定城镇区域边界阈值。突变检测法由 Imhoff 等^[21]提出,基于城镇边界应为完整多边形的假设,以多边形发生突变的点作为阈值点,提取城镇信息。该方法认为,在 NTL 图像中,城镇区域应该保持其几何形状的完整性;逐渐增加分割阈值,代表城镇边界的多边形将会沿着边缘逐步缩小;当阈值达到某一值时,斑块开始从内部出现破碎,斑块破

碎阈值即为城镇边界的分割阈值。

为了提高研究的科学性及精确度,本文针对不

同研究区域提取不同的分割阈值,同时选取主城区

提取的城镇区域面积进行误差估算^[22-23](表2)。

表 2 不同年份 DMSP/OLS NTL 数据分区阈值

Tab.2 Thresholds of DMSP/OLS NTL data in different years

年份	其他区域阈值	主城区阈值	主城区实际面积/km ²	主城区估算面积/km ²	误差/%
2013 年	0.74	0.95	462.48	432.24	-6.538
2012—2008 年	0.68	0.93	437.02	423.99	-2.982
2007—2003 年	0.64	0.92	344.48	337.27	-2.093
2002—1998 年	0.37	0.80	230.72	249.06	7.949
1997—1992 年	0.32	0.73	123.31	128.98	4.598

不同区域的分割阈值不同,主城区分割阈值明显高于其他地区;同一地区不同年份的阈值不同,并且随着时间的向后推移,阈值逐渐增大。采用上述方法提取的城市区域边界与实际统计数据误差较小,因此上述方法可用来进行城镇区域边界提取。本文根据表 2 阈值,提取了杭州市各县、市的城镇区域。

2.3 空间格局评价

城镇化的发展使城镇在空间规模以及空间形态上出现一定的转变,而这一现象在 DMSP/OLS NTL 数据中呈现为亮度面积的变化以及亮度区域形状的改变。基于这一特征,本文引入景观生态学中景观格局及斑块的概念,并依据城镇区域图像空间非连续性 & 内部均质性的特征,将提取出的城镇区域归纳为城镇斑块,在此基础上选取典型景观指数来实现对城镇景观空间格局及城镇斑块的评价。

景观指数是指能够高度浓缩景观格局信息,反映其结构组成和空间配置某些方面特征的简单定量指标,可用来定量描述和监测景观结构特征随时间

的变化^[24]。本文选取斑块周长(patch perimeter, PERIM)、斑块形状指数(shape index, SHAPE)、最大斑块指数(largest patch index, LPI)、边缘总长度(total edge, TE)、边缘密度(edge density, ED)和景观形状指数(landscape shape index, LSI)等 6 个常用景观指数,运用 Fragstats 4.2 软件计算杭州市 1992—2013 年间的城镇空间格局特征。

3 杭州市城镇化及空间格局分析

3.1 灯光强度与城镇化水平

目前常用的城镇化指标及测度方法分为主要指标法和复合指标法。为了能够综合探索 NTL 强度与城镇化之间的关系,本文采用复合指标法,选取非农人口比重、人口密度、人均 GDP 及第二、三产业占比等反映城镇化水平的指标展开研究。基于 1992—2013 年间杭州市 DMSP/OLS NTL 数据以及相应的社会经济统计数据,对杭州市 NTL 总强度与城镇化相关指标进行回归分析,结果如图 3 所示。

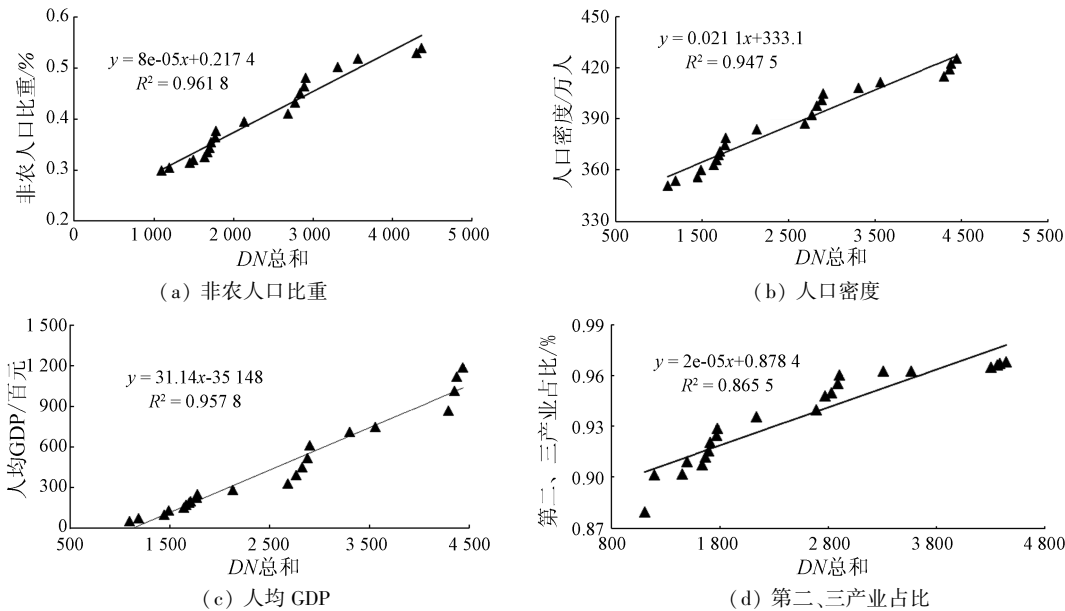


图 3 杭州市 NTL 总强度与城镇化指标回归分析

Fig.3 Correlations between NTL overall strength and urbanization indicators in Hangzhou City

万方数据

由图 3 可以看出,杭州市 NTL 总强度 (DN 总和)与城镇化各指标的相关系数较高,表明两者之间具有较强的正相关关系,即 DMSP/OLS NTL 数据可以在市域层面上很好反映杭州市的城镇化水平。

3.2 区域城镇扩张模式

城镇化伴随着城市范围的扩张,城镇扩张是一个动态过程。本文根据城镇化过程中城镇面积的变化特征及相关研究成果^[25],将城镇扩张模式分为早期扩张型、稳步增长型和后期加速型 3 类。其中,早

期扩张型城镇在发展初期由于社会经济基础良好,城镇化发展速度较快,伴随着城镇规模的不断扩张,城市发展的制约因素作用凸显,区域城镇化速度逐步放缓,呈对数型增长;稳步增长型城镇区域扩张呈线性,城镇化增长速率较为稳定;后期加速型城镇扩张呈指数状态,城镇化进程主要集中在后期,呈现出很强的增长后续力。本文利用城镇区域阈值提取出杭州市主城区及其辖区各县、市的城镇面积,并对其发展趋势进行预测(图 4)。

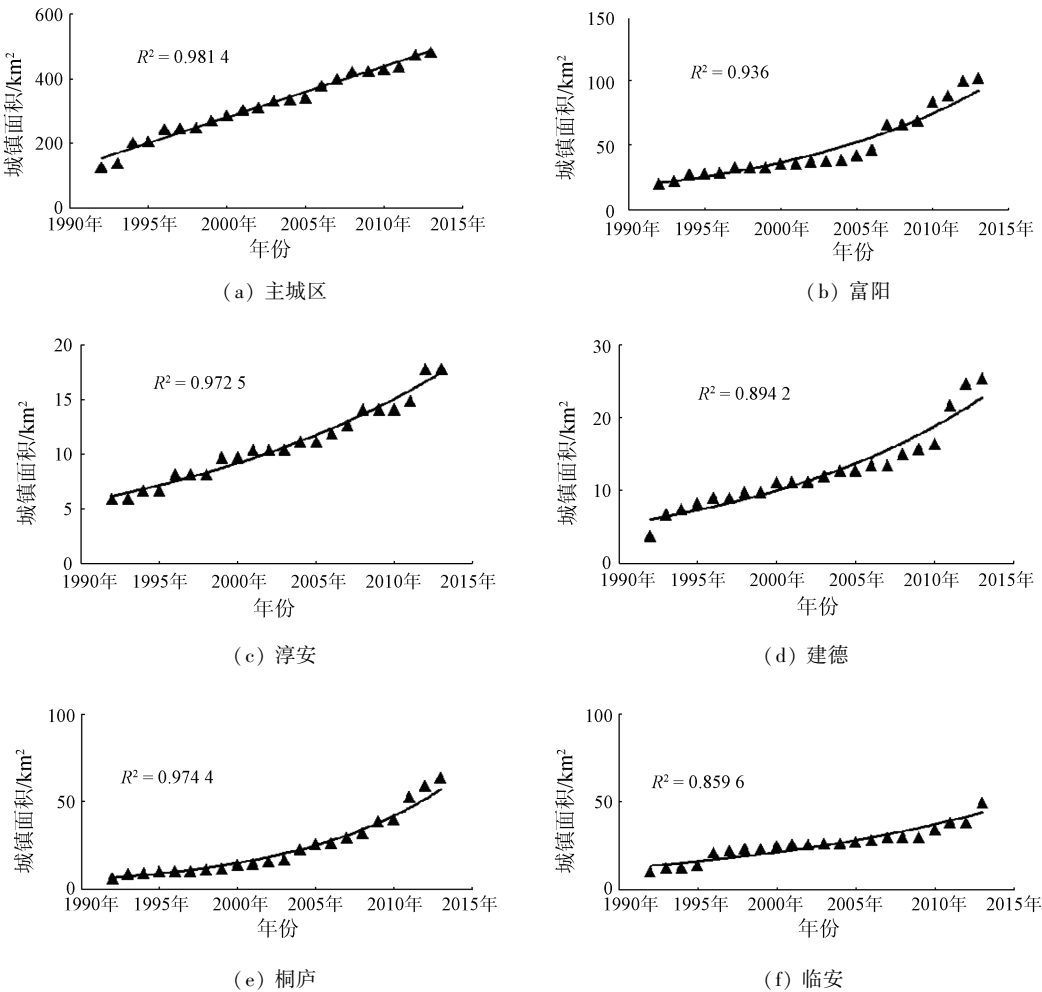


图 4 城镇化扩张模式分区估计

Fig. 4 Estimations for partitions of urban expansion model

本文对杭州市主城区、富阳、淳安、建德、桐庐及临安共 6 大区域进行城镇扩张模式研究。通过对其城镇面积变化趋势预测发现,杭州市仅主城区为稳步增长型城镇扩张模式,其他县、市皆为后期加速型。杭州市主城区为整个杭州市城镇化发展起步最早、水平最高、增长最稳定的区域,是杭州市经济、政治和文化中心,具有较好的城镇化发展基础。富阳、建德、临安、桐庐和淳安等地受地形、区位条件等限制,社会经济发展水平相对较低,城镇化发展基础

差、起步晚、增速缓;2000 年后,随着全省城镇化进程的全面推进,这些地区的城市扩张速度飞速提升,城镇化水平逐步提高。

3.3 城市空间格局变化分析

研究引入景观生态学中景观格局及斑块的概念,选取 6 个典型景观指数,结合 DMSP/OLS NTL 影像数据,对杭州市 1992—2013 年间城市空间格局进行分析,并对其景观指数计算结果进行回归分析,得到各指数在 1992—2013 年间变化趋势(图 5)。

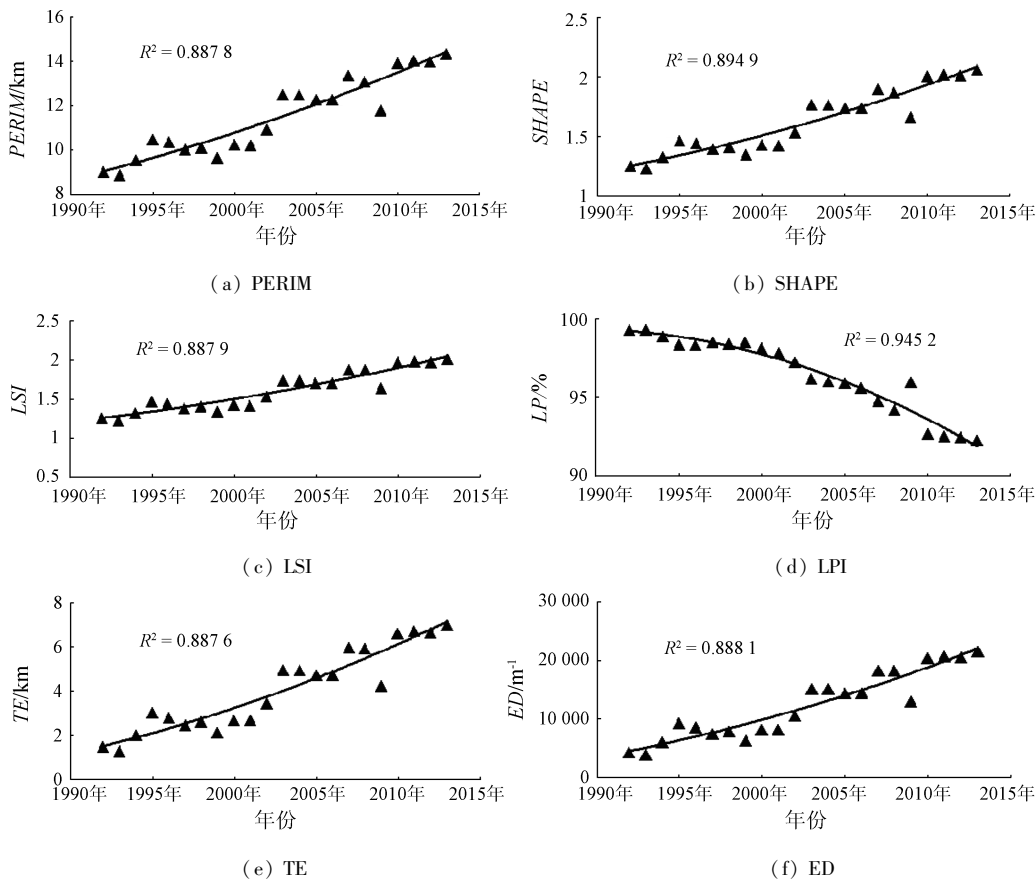


图 5 杭州市 1992—2013 年间景观指数变化趋势

Fig. 5 Trend of landscape indexes changes in Hangzhou City from 1992 to 2013

在斑块层面上, *PERIM* 与 *SHAPE* 代表了研究区域内斑块的大小、复杂程度以及不规则程度。研究发现, 杭州市 1992—2013 年间城市区域斑块规模、复杂程度以及不规则程度都有了一定程度的提升, 城市斑块面积逐步扩大, 且年均增长速度由 2000 年以前的 1.735% 提升到了 2000 年后的 2.855%, 表明杭州市整体城镇化水平逐步上升, 且 2000 年后上升速度明显提高。

在景观层面上, *TE*, *ED* 以及 *LSI* 也呈增长趋势, 表明 1992—2013 年间杭州市城市规模逐步提升, 复杂性加大, 一方面是现有城市的自生发展, 使得城市区域在空间范围内扩展; 另一方面新兴中小城市以及卫星城镇的崛起, 使大量的非城镇斑块转变成城镇斑块, 也导致了城镇规模以及内部复杂性的增大。

LPI 是指景观中最大斑块面积占景观总面积的比例, 该指数在一定程度上反映了城镇扩张的集中程度。在研究范围内, 杭州市主城区为 NTL 图像中最大斑块, 但因受到土地资源、区位条件等客观因素的制约, 城市的进一步扩张受到限制, 主城区的扩张速度逐渐变缓, 城镇化的发展逐步扩散到其他区域, 最终导致研究区域 *LPI* 降低; 同时也反映了杭州市范围内城镇化发展集中程度降低, 其他县、市城镇化

水平逐渐提升, 城镇化发展重心正在由主城区向全市其他范围扩散。

3.4 城市空间扩展与区域综合交通

交通是城市的基本骨架, 是城市空间扩展的主要内在适应性因素^[26]。交通通过多种作用机制促进城市形态的发展变化, 直接引导城市空间扩展方向, 决定城市形态的发展, 促使城市区域结构的空

间演化和城市形态的发展。本文利用 DMSP/OLS NTL 数据探讨城市空间扩展与区域交通之间的关系, 选取杭州市主要河流、高速公路、省道及国道等主要交通线, 从城镇空间扩展方向与城镇化水平 2 个方面探讨区域综合交通与城镇化的关系。

将通过 DMSP/OLS NTL 数据提取出的 1992—2013 年间城镇区域变化影像与杭州市主要河流矢量数据进行叠置分析, 结果如图 6 所示。从图 6 可以看出, 杭州市城镇扩张范围主要集中在钱塘江、富春江和天目溪等河流流域, 同时, 城镇扩张方向也与主要河流走向一致, 主要河流交汇处更易成为区域城镇中心。由此可知, 主要河流的分布对于杭州市城镇化发展的走向与规模具有一定的限制与引导作用。

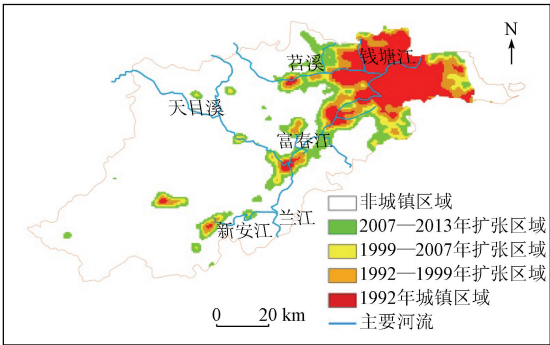


图6 1992—2013 年间杭州市城镇扩张情况

Fig.6 Urban expansion in Hangzhou City from 1992 to 2013

城镇化的外在直接表现是人流、物流和信息流在空间上的集聚和扩散,公路交通作为最重要的交通方式是城镇化的必要条件和有效催化剂,对城镇化的发展具有重大意义。本文选取高速公路、国道和省道等主要道路指标对杭州市 2013 年主要公路交通与城镇化的关系进行探讨。分别对杭州市主城区、建德、桐庐、临安、富阳和淳安等县、市内高速公路、国道和省道的长度进行统计(图 7)。

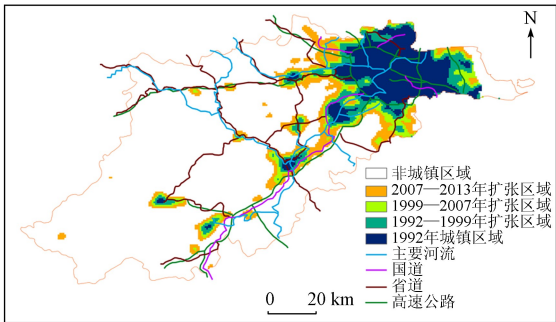


图7 杭州市交通分布

Fig.7 Traffic map of Hangzhou City

计算公路综合里程及路网密度^[27],并对其与相应县、市 NTL 统计相关性进行分析,结果见表 3。

表3 公路交通与城镇化相关性

Tab.3 Correlation between road traffic and urbanization

道路指标	城镇区域面积	DN 总和	DN 平均值
公路综合里程	0.878 * ^①	0.892 *	0.844 *
路网密度	0.805 *	0.812 *	0.851 *

① * 表示显著相关(置信度 5%)。

表 3 反映了杭州市各县、市 2013 年公路综合里程和路网密度与提取的城镇区域面积、DN 总和和区域 DN 平均值的关系。可以看出,杭州市公路交通能力与城镇区域面积以及区域灯光亮度指标的相关性较高,即公路交通能力与城镇化水平呈正相关,公路交通能力较强的县、市也具有相对较高的城镇化水平。结合图 7 可见,与其他县、市相比,DMSP/OLS NTL 亮度值高的杭州市主城区,公路交通网络较为密集,同时也有着较高的城镇化水平;而中西

部其他县、市因受到区位条件、社会经济和地形地貌等因素影响,公路交通能力及城镇化发展相对较弱。

4 结论

城镇化是一个较为复杂的过程,包含了社会、人口、空间及经济转换等多方面的内容。本文采用 DMSP/OLS 的夜间灯光数据(NTL),从地理空间格局角度展开了杭州市城镇化研究,弥补了传统定量分析与定性研究方法在数据时效性、空间分析和数据处理等方面的不足。主要结论如下:

1)通过对城镇扩张模式的分析发现,杭州市仅有主城区为稳步增长型城镇扩张模式,其他县、市皆为后期加速型模式;其城镇化的加速发展都集中在 21 世纪初,表现出强劲的发展动力。杭州市整体城镇化发展格局已经由“一点集中”的单核模式转变为“全面突破”的全域城镇化发展模式,城镇化发展方式及发展重心都呈现出一定的转变。城镇化发展导致了城市空间格局的变化,同时也在城镇化方向和水平方面与区域交通表现出很强的一致性。杭州市正处在一个快速城镇化和变革的重要阶段,要抓住杭州市主城区的核心带动作用以及辐射作用,依托公路、水路等交通干线,整合资源,通力合作,巩固历史城镇化成果,加快全市城镇化水平的提升。

2)利用 DMSP/OLS NTL 数据从空间分析角度对市域城镇化进行研究是一种新的方法尝试。本文引入景观生态学中的景观格局及斑块的概念,并将其应用于城镇化研究,取得了较好的结果;同时,本文创造性的探讨了 DMSP/OLS NTL 强度与区域综合交通的关联,对城市规划以及城市研究具有一定的借鉴意义。

本文主要着眼于对城镇化趋势与现状的研究,缺乏对城镇化过程演变的具体分析,今后应从省域乃至国家尺度开展更为全面深入的城镇化进程及格局研究。

参考文献(References):

[1] 许学强,周一星,宁越敏.城市地理学[M].2版.北京:高等教育出版社,2009:54-81.
Xu X Q,Zhou Y X,Ning Y M. Urban Geography [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2009: 54-81.

[2] 李强,陈宇琳,刘精明.中国城镇化“推进模式”研究[J].中国社会科学,2012(7):82-100,204-205.
Li Q,Chen Y L,Liu J M. Analysis of urbanization in China[J]. Social Sciences in China,2012(7):82-100,204-205.

[3] 刘彦随,杨忍.中国县域城镇化的空间特征与形成机理[J].地理学报,2012,67(8):1011-1020.
Liu Y S,Yang R. The spatial characteristics and formation mecha-

- nism of the county urbanization in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(8): 1011–1020.
- [4] 杨 洋, 何春阳, 赵媛媛, 等. 利用 DMSP/OLS 稳定夜间灯光数据提取城镇用地信息的分层阈值法研究[J]. *中国图象图形学报*, 2011, 16(4): 666–673.
- Yang Y, He C Y, Zhao Y Y, et al. Research on the layered threshold method for extracting urban land using the DMSP/OLS stable nighttime light data[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2011, 16(4): 666–673.
- [5] 周 垠, 李 磊, 廖 菲. 成都平原城市群城镇化时空格局——基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的研究[J]. *城市发展研究*, 2015, 22(3): 28–32.
- Zhou Y, Li L, Liao F. Analysis the spatial-temporal pattern of the urbanization of Chengdu metropolitan region using nighttime light image[J]. *Urban Development Studies*, 2015, 22(3): 28–32.
- [6] Zhuo L, Zheng J, Zhang X F, et al. An improved method of night-time light saturation reduction based on EVI[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2015, 36(16): 4114–4130.
- [7] Liu Y X, Wang Y L, Peng J, et al. Correlations between urbanization and vegetation degradation across the world's metropolises using DMSP/OLS nighttime light data[J]. *Remote Sensing*, 2015, 7(2): 2067–2088.
- [8] Letu H, Hara M, Tana G, et al. Generating the nighttime light of the human settlements by identifying periodic components from DMSP/OLS satellite imagery[J]. *Environment Science and Technology*, 2015, 40(17): 10503–10509.
- [9] Letu H, Hara M, Yagi H, et al. Estimating energy consumption from night-time DMSP/OLS imagery after correcting for saturation effects[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2010, 31(16): 4443–4458.
- [10] 李 通, 何春阳, 杨 洋, 等. 1995—2008 年中国大陆电力消费量时空动态[J]. *地理学报*, 2011, 66(10): 1403–1412.
- Li T, He C Y, Yang Y, et al. Understanding electricity consumption changes in Chinese mainland from 1995 to 2008 by using DMSP/OLS stable nighttime light time series data[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(10): 1403–1412.
- [11] 吴健生, 牛 妍, 彭 建, 等. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的 1995—2009 年中国地级市能源消费动态[J]. *地理研究*, 2014, 33(4): 625–634.
- Wu J S, Niu Y, Peng J, et al. Research on energy consumption dynamic among prefecture-level cities in China based on DMSP/OLS nighttime light[J]. *Geographical Research*, 2014, 33(4): 625–634.
- [12] Croft T A. Nighttime images of the earth from space[J]. *Scientific American*, 1978, 239(1): 86–98.
- [13] Henderson M, Yeh E T, Gong P, et al. Validation of urban boundaries derived from global night-time satellite imagery[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(3): 595–609.
- [14] 何春阳, 史培军, 李景刚, 等. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据和统计数据的中国大陆 20 世纪 90 年代城市化空间过程重建研究[J]. *科学通报*, 2006, 51(7): 856–861.
- He C Y, Shi P J, Li J G, et al. Restoring urbanization process in China in the 1990s by using non-radiance-calibrated DMSP/OLS nighttime light imagery and statistical data[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(13): 1614–1620.
- [15] Liu Z F, He C Y, Yang Y. Mapping urban areas by performing systematic correction for DMSP/OLS nighttime lights time series in China from 1992 to 2008[C]. // *Proceedings of 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Vancouver, BC, Canada: IEEE, 2011: 1858–1861.
- [16] Yi K P, Tani H, Li Q, et al. Mapping and evaluating the urbanization process in northeast China using DMSP/OLS nighttime light data[J]. *Sensor*, 2014, 14(2): 3207–3226.
- [17] Ma T, Zhou Y K, Zhou C H, et al. Night-time light derived estimation of spatio-temporal characteristics of urbanization dynamics using DMSP/OLS satellite data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 158: 453–464.
- [18] Elvidge C D, Ziskin D, Baugh K E, et al. A fifteen year record of global natural gas flaring derived from satellite data[J]. *Energies*, 2009, 2(3): 595–622.
- [19] Wu J S, He S B, Peng J, et al. Intercalibration of DMSP-OLS night-time light data by the invariant region method[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2013, 34(20): 7356–7368.
- [20] 舒 松, 余柏蒴, 吴健平, 等. 基于夜间灯光数据的城市建成区提取方法评价与应用[J]. *遥感技术与应用*, 2011, 26(2): 169–176.
- Shu S, Wu B L, Wu J P, et al. Methods for deriving urban built-up area using night-light data: Assessment and application[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2011, 26(2): 169–176.
- [21] Imhoff M L, Lawrence W T, Stutzer D C, et al. A technique for using composite DMSP/OLS “City Lights” satellite data to map urban area[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 61(3): 361–370.
- [22] Zhang Q L, Seto K C. Mapping urbanization dynamics at regional and global scales using multi-temporal DMSP/OLS nighttime light data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(9): 2320–2329.
- [23] Huang Q X, Yang X, Gao B, et al. Application of DMSP/OLS nighttime light images: A meta-analysis and a systematic literature review[J]. *Remote Sensing*, 2014, 6(8): 6844–6866.
- [24] 郭建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- Wu J G. *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy* [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2007.
- [25] Wu J S, Ma L, Li W F, et al. Dynamics of urban density in China: Estimations based on DMSP/OLS nighttime light data[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2014, 7(10): 4266–4275.
- [26] 何春阳, 史培军, 陈 晋, 等. 北京地区城市化过程与机制研究[J]. *地理学报*, 2002, 57(3): 363–371.
- He C Y, Shi P J, Chen J, et al. Process and mechanism of urbanization in Beijing area[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(3): 363–371.
- [27] 夏 飞, 叶 莉, 袁 洁. 中国公路交通与城镇化发展综合评价及其相关性研究[J]. *广西财经学院学报*, 2010, 23(4): 1–6.
- Xia F, Ye L, Yuan J. Comprehensive evaluation and correlations research of China highway traffic and urbanization development[J]. *Journal of Guangxi University of Finance and Economics*, 2010, 23(4): 1–6.

A study of urbanization progress and spatial pattern using DMSP/OLS nighttime light data :A case study of Hangzhou City

JIN Pingbin, XU Pengfei

(*Institute of Urban and Regional Development, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China*)

Abstract: The DMSP/OLS nighttime light (NTL) data provide an effective approach to characterizing the urbanization progress of cities, especially its spatial – temporal changes. In this paper, the authors combined the DMSP/OLS NTL data with the social economic statistics to examine the urban expansion of Hangzhou City, the capital of Zhejiang Province in eastern coastal region of China, during the period of 1992 — 2013. The relationship between urban expansion and traffic lines were also detected with the concept of landscape pattern and patches. The results show that the urbanization in Hangzhou City before 2000 was quite slow, and there existed an accelerated process since 2000 due to the development of economy, with the urbanization region also converted from central downtown to other areas along with the process. Further research indicates that the urbanization process in Hangzhou City has a great relevance with transportation in terms of direction and pattern, which might be attributed to the terrain and local condition. It is a novel attempt to investigate the urbanization of Hangzhou City on the basis of the DMSP/OLS NTL data and concepts of landscape, which would provide a significant guideline for the urban planning and development.

Keywords: DMSP/OLS nighttime light(NTL) data; urbanization; landscape; Hangzhou City

(责任编辑: 张 仙)