

doi: 10.6046/gtzyyg.2020.04.22

引用格式: 郑伯红,王志远,汪华. 基于 DMSP/OLS 数据的长株潭城市群建成区演变特征研究[J]. 国土资源遥感,2020,32(4):172-181. (Zheng B H, Wang Z Y, Wang H. A study of the evolution characteristics of built-up areas in Chang-Zhu-Tan urban agglomeration based on DMSP/OLS data[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2020,32(4):172-181.)

# 基于 DMSP/OLS 数据的长株潭城市群 建成区演变特征研究

郑伯红<sup>1</sup>, 王志远<sup>1,2</sup>, 汪华<sup>1</sup>

(1. 中南大学建筑与艺术学院,长沙 410075; 2. 南华大学建筑学院,衡阳 421001)

**摘要:**长株潭城市群是长江中游经济带重要组成部分,研究利用 DMSP/OLS 夜间灯光数据提取长株潭城市群 1993—2013 年建成区空间分布,采用空间扩张分析、标准差椭圆法、重心变动、景观格局指数、空间自相关等方法,定量分析 20 a 间长株潭城市群建成区空间演变时空特征,以为长株潭城市群未来城镇空间发展提供决策依据。结果表明:1993—2013 年间长株潭城市群灯光总量呈现出长株潭 3 市相对密集,而周边 5 市相对稀疏的核心—边缘结构;城市群各城市中心城区以面状发展模式为主,不规则圈层向外扩张。长株潭城市群向心力表现为“离散—向心”增强的趋势,建成区重心由长沙市岳麓区转移至望城区。长株潭城市群建成区分布不断集中,一体化程度不断提升;建成区斑块数量减少,形状复杂程度降低,建成区由“斑块数量增长”到“斑块规模扩张”。长株潭城市群建成区空间分布呈现集聚特征,空间集聚热点区主要集中在长株潭 3 市市辖区以及外围的长沙县、望城县、湘潭县、韶山市、醴陵市、宁乡市、湘阴市和汨罗市,而冷点区为沅江市、南县。

**关键词:** DMSP/OLS 数据; 建成区; 演变特征; 长株潭城市群

**中图法分类号:** TU 984 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2020)04-0172-10

## 0 引言

长株潭城市群是长江中游城市群核心区域之一,目前有较多学者对长株潭城市群空间结构演变进行了相关研究<sup>[1-3]</sup>。对于城市群建成区演变时空特征研究,国内学者从扩张模式<sup>[4-7]</sup>、驱动力分析<sup>[8-10]</sup>、空间变化<sup>[11-13]</sup>等方面进行了大量深入分析。随着遥感技术的飞速发展,城市空间研究开辟了新的技术路线,Croft<sup>[14]</sup>最早将美国军事气象卫星(DMSP)搭载的 OLS 传感器数据应用于城市研究。Imhoff 等<sup>[15]</sup>、舒松等<sup>[16]</sup>、杨洋等<sup>[17]</sup>、米晓楠等<sup>[18]</sup>、王晓慧等<sup>[19]</sup>提出了利用 DMSP/OLS 夜间灯光数据提取城市建成区空间信息的方法。DMSP/OLS 夜间灯光数据已广泛运用于全国<sup>[20-22]</sup>、区域<sup>[23-26]</sup>以及省域<sup>[27-30]</sup>等层面城镇用地空间研究。本文选取长株潭城市群 1993—2013 年 DMSP/OLS 夜间灯光数据,采用灯光阈值—辅助资料对比法提取长株潭城市群建成区空间分布,通过计算建成区空间扩张、标

准差椭圆、重心变动、景观格局指数和空间自相关等指标,定量分析长株潭城市群 1993—2013 年间建成区演变时空特征,探索总结城市群空间发展规律,为制定可持续发展的规划引导和管控措施提供思路。

## 1 研究区概况及数据源

### 1.1 研究区概况

长株潭城市群由湖南省长沙、株洲、湘潭、衡阳、岳阳、常德、益阳及娄底 8 市组成,研究区总面积为 9.68 万 km<sup>2</sup>,占湖南省的 45.8%;人口为 4 106 万,占湖南省的 61%;经济总量占湖南省的 80%,是长江中游经济社会和城镇化高度发展地区及全国资源节约和环境友好型社会建设综合配套改革试验区。

### 1.2 数据源

研究利用 DMSP/OLS 夜间灯光数据和相关辅助数据。DMSP/OLS 数据来源于美国国家地球物理数据中心,全分辨率数据的地面采样距离为 0.56 km,地面分辨率为 0.008 333 3°,研究区图像在 3 000 km

收稿日期: 2020-01-15; 修订日期: 2020-02-20

基金项目: 国家自然科学基金项目“基于碳流情景模拟的低碳新城空间规划研究”(编号: 51478470)、湖南省社会科学基金项目“基于生态优先的洞庭湖地区城镇空间规划管控研究”(编号: 18YBQ106)及湖南省教育厅科学研究优秀青年项目“长株潭都市区城市空间增长模拟及管控研究”(编号: 19B480)共同资助。

第一作者: 郑伯红(1966-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为国土空间规划。Email: zhengbohong@csu.edu.cn。

通信作者: 王志远(1985-),男,博士研究生,讲师,主要研究方向为国土空间规划。Email: wzhiyuan2005@yeah.net。

整体图像中截取。研究所采集的 1993—2013 年灯光数据均为栅格灰度遥感影像,该数据灰度值范围 0~63,空间分辨率为 1 km × 1 km<sup>[31]</sup>。同时为了提高空间计算精度,研究用 Landsat 系列卫星同期数据进行校正,并进行抽样检验精度,卫星数据来源于地理空间数据云。辅助数据包括《中国城市统计年鉴》统计数据 and 全国 1:400 万数据库中的市县(区)级面状数据。

## 2 研究方法

### 2.1 灯光阈值 - 辅助资料对比法提取城市群建成区

采用灯光阈值 - 辅助资料对比法,以夜间灯光数据为主要数据源,城市统计年鉴数据和 Landsat 系列卫星影像作为辅助数据,将城市群中每一个城市作为一个整体处理,将校正后的夜间灯光数据作为数据源,采用二分法提取长株潭城市群建成区,当动态阈值下灯光面积与统计年鉴市辖区建成区面积之间绝对差值最小时的阈值作为最佳阈值<sup>[32]</sup>,大于该阈值的灯光面积认为是建成区面积。

### 2.2 建成区扩张规模分析

空间扩张规模分析主要包括扩张速度和扩张强度等指标。扩张速度反映建成区扩张快慢,是不同时期建成区扩张面积增量,即

$$A = \frac{\Delta S}{\Delta t} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $A$  为建成区扩张速度;  $\Delta S$  为建成区扩张面积;  $\Delta t$  为时间间隔;  $S$  为研究初期建成区总面积。

扩张强度反映建成区扩张的强弱,使不同时期的建成区扩张速度具有可比性,即

$$I = \frac{\Delta U}{T\Delta t} \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $I$  为建成区扩张强度指数;  $\Delta U$  为不同时期扩张面积差;  $T$  为区域总面积。

$$\delta_{i,2} = \left[ \frac{\left( \sum_{i=1}^n x_{ii}^2 + \sum_{i=1}^n y_{ii}^2 \right) \pm \sqrt{\left( \sum_{i=1}^n x_{ii}^2 - \sum_{i=1}^n y_{ii}^2 \right)^2 + 4 \left( \sum_{i=1}^n x_{ii} y_{ii} \right)^2}}{2n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

式中  $\delta_{i,2}$  为第  $t$  年  $X$  轴和  $Y$  轴的标准差。

### 2.4 建成区景观格局指数变化分析

为更好地反映城市群建成区空间格局演变特征,运用景观生态学中的景观格局指数进行分析。选取景观总面积(total landscape area, TA)、连接度指数(connectivity index, COHESION)、聚集度指数(aggregation index, AI)、斑块密度(patch density,

### 2.3 建成区重心变动与扩张方向分析

通过建成区重心位置的变化反映建成区空间分布变化情况。研究提取建成空间是由不同灰度值的像元构成的,以灰度值为权重的区域建成空间重心坐标为:

$$\begin{cases} X_t = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ii} x_{ii}}{\sum_{i=1}^n M_{ii}} \\ Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ii} y_{ii}}{\sum_{i=1}^n M_{ii}} \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $x_{ii}$  和  $y_{ii}$  为第  $t$  年第  $i$  个像元的平均中心坐标;  $M_{ii}$  为第  $t$  年该像元的灰度值;  $X_t$  和  $Y_t$  分别为第  $t$  年研究区域平均中心的经纬度坐标。

重心偏移距离  $\Delta X$  是建成区空间重心在某一研究时期内的移动距离,即

$$\Delta X = \sqrt{(X_{t+1} - X_t)^2 + (Y_{t+1} - Y_t)^2} \quad (4)$$

$$V_{t_{i+1}-t_i} = \frac{\Delta X}{t_{i+1} - t_i} \quad (5)$$

$$\alpha_t = N\pi + \arctan \frac{Y_{t_{i+1}} - Y_{t_i}}{X_{t_{i+1}} - X_{t_i}} \quad (N = 0, 1, 2) \quad (6)$$

式中: 平均偏移速度  $V_i$  为重心在某一研究时期内的平均移动速度; 偏移角度  $\alpha_t$  为建成区空间重心在某一研究时期内移动的方向与正东的夹角;  $X_{ii}$  和  $Y_{ii}$  分别为某一时刻区域建成区空间的平均重心坐标;  $t_{i+1} - t_i$  为建成区空间重心转移研究测度的时间差值。

利用标准差椭圆方法来表征建成区空间扩张方向,标准差椭圆可表现离散数据集空间密集性、分布范围、方向和形态随时间变化的动态特征<sup>[33]</sup>。椭圆长短轴分别表示建成区空间分布主趋势方向和次要方向,椭圆面积表示建成区空间分布的集中程度,即

PD)、最大斑块面积比(largest patch index, LPI)、斑块总数(number of patches, NP)、景观形状指数(landscape shape index, LSI)、香农多样性指数(shannon's diversity index, SHDI)、平均边界密度(edge density, ED)、蔓延度指数(contagion index, CONTAG)和周长面积分维数(perimeter area fractal dimension, PAFRAC)等 11 个指标,利用 Fragstats4.2

软件对长株潭城市群建成区景观格局变化进行定量计算。

### 2.5 建成区空间自相关分析

通过空间自相关模型 Moran's I 指数进一步分析建成区空间集聚和扩张情况,采用 Moran 散点图、LISA 集聚图和热点图等来表示空间相关性情况,即

$$Moran's I = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m W_{ij} (S_i - \bar{S})(S_j - \bar{S})}{S^2 \sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^m W_{ij}}, \quad (8)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (S_i - \bar{S})^2, \quad (9)$$

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^m S_i}{m}, \quad (10)$$

式中:  $m$  为建成区斑块数量;  $W_{ij}$  为空间邻接情况,  $W_{ij} = 1$  为邻接状态,  $W_{ij} = 0$  为不邻接状态;  $S_i$  为第  $i$  个建成区斑块空间扩张面积;  $Moran's I$  取值为  $(-1, 1)$ , 值越接近 1 空间越聚集, 值越接近 -1 空间越离散。

## 3 结果与分析

### 3.1 长株潭城市群夜间灯光变化

从 1993—2013 年长株潭城市群灯光分布时空特征来看,城市群灯光总量呈现出长株潭 3 市地区相对密集,而其他地区相对稀疏的核心—边缘结构。城市群建成区在时间尺度上表现为长株潭 3 市核心向外拓展,逐渐融合成一个整体的趋势。城市群灯光密度呈现出显著的差异性,其中 1993 年长株潭城市群整体灯光密度为  $0.2586/\text{km}^2$ ,长株潭 3 市灯光密度为  $0.5789/\text{km}^2$ ,其余 5 市灯光密度为  $0.1277/\text{km}^2$ ,约为长株潭 3 市的 1/5; 2013 年长株潭城市群整体灯光密度为  $2.4692/\text{km}^2$ ,长株潭 3 市灯光密度为  $6.5025/\text{km}^2$ ,其余 5 市灯光密度为  $0.8205/\text{km}^2$ ,约为长株潭 3 市的 1/8。可以看出,长株潭 3 市是明显的“高密度”集聚区,其余 5 市是相对“低密度”区域,而且这种差距在不断扩大,城市群集聚发展趋势明显。

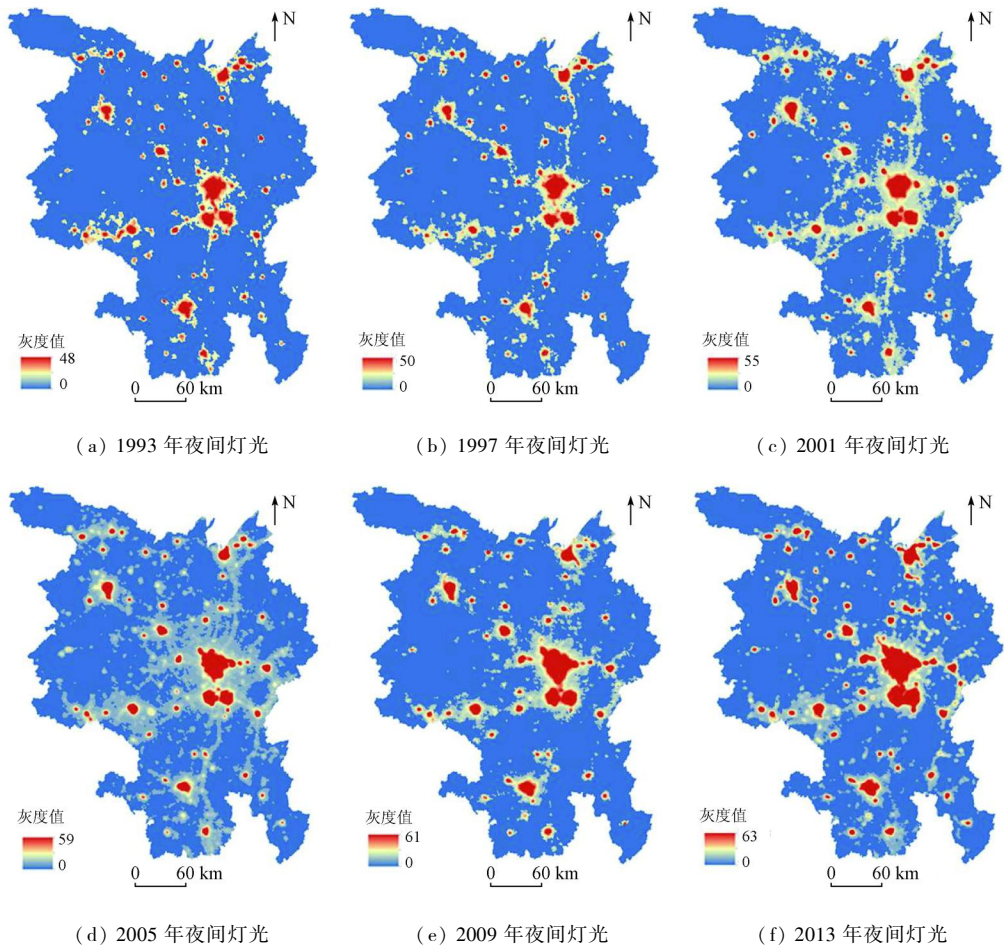


图 1 长株潭城市群 1993—2013 年夜间灯光变化

Fig. 1 Night light changes of Chang - Zhu - Tan urban agglomeration in 1993—2013

### 3.2 长株潭城市群建成区提取与扩张变化

研究利用统计年鉴中长株潭城市群各城市建成区面积信息和 DMSP/OLS 夜间灯光数据,采用二分阈值法获取每个城市不同年份的最佳阈值,利用最佳阈值提取建成区面积与统计年鉴数据对比,在 1993 年、1995 年、1997 年、1999 年、2001 年、2003 年、2005 年、2007 年、2009 年、2011 年和 2013 年平均误差率分别为 1.64%、-0.10%、2.27%、0.54%、-0.85%、0.27%、0.05%、-0.22%、0.50%、1.19% 和 -0.88%,都在 3% 以内。根据每个城市最佳阈值提取建成区空间信息,提取的城市群建成区面积分别为 832.59 km<sup>2</sup>、927.15 km<sup>2</sup>、1 068.35 km<sup>2</sup>、1 199.94 km<sup>2</sup>、1 323.62 km<sup>2</sup>、1 501.43 km<sup>2</sup>、1 636.49 km<sup>2</sup>、1 860.59 km<sup>2</sup>、2 024.76 km<sup>2</sup>、2 198.97 km<sup>2</sup> 和 2 361.23 km<sup>2</sup>。再选择城市群 30 m × 30 m 空间分辨率 Landsat 影像作为验证数据,评价提取建成区信息的相对精度。抽样选取 2005 年和 2013 年数据,将样本点与相对应的 TM 影像进行数据验证,Kappa 系数为 0.804 3。可以看出灯光阈值 - 辅助资料对比法提取的建成区数据样本精准度较高,提取结果可用来研究城市群建成区空间演变分析。

根据不同年份所提取的建成区,描绘 1993—2013 年建成区用地扩张情况(图 2),直观展示长株潭城市群建成区时空扩张过程,可以看到城市群各城市主城区以面状发展模式为主,不规则圈层向外扩张。小城镇在大城市的外围生长呈现点状样式,还有局部地区沿着交通干道呈现线状发展。长株潭 3 市一体化趋势明显,长沙除了向南与株洲、湘潭融合以外,还不断向西、向北方向拓展。株洲和湘潭相互向长沙扩张外,两者之间也相互靠拢,融合趋势明显。岳阳受长江、洞庭湖地形条件限制,明显向东、向南方向发展。其他城市某些年份发展方向会发生改变,但整体呈现圈层向外扩张模式,例如衡阳先向

西再向东和向南方向发展。

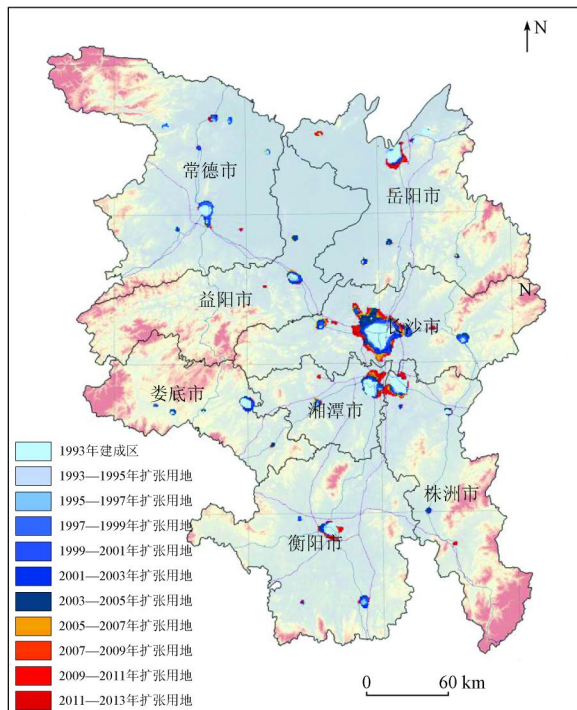


图 2 长株潭城市群建成区空间扩张演变(1993—2013 年)  
Fig. 2 Spatial expansion evolution of the built-up area in Chang-Zhu-Tan urban agglomeration (1993—2013)

在获取建成区面积的基础上分析建成区扩张速度和强度,得到长株潭城市群建成区空间扩张在时间尺度上整体呈现 W 型(图 3),1993—1999 年扩张面积、扩张速度和扩张强度 3 个指标都不断降低;1999—2005 年 3 个指标不断上升,扩张面积和扩张速度快速增加,并在 2005 年达到最大值,分别为 380.44 km<sup>2</sup> 和 190.22 km<sup>2</sup> · a<sup>-1</sup>; 随后 2005—2009 年 3 个指标下降,扩张面积和扩张速度不断减少;2009—2013 年又开始缓慢增加。其中,扩张强度在 1999—2003 年快速增加,2003 年达到最大值 13.78%;2003—2009 年快速减少,2009 年达到最小值 1.31%。

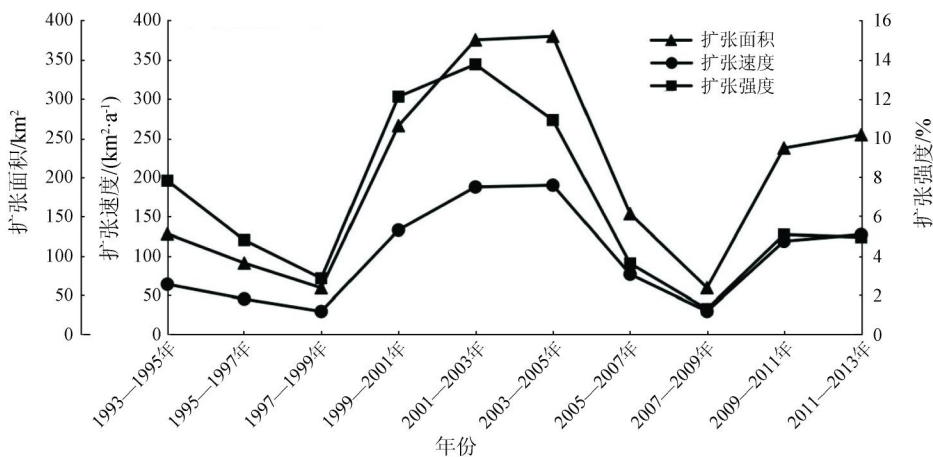


图 3 长株潭城市群建成区扩张分析(1993—2013 年)

Fig. 3 Expansion analysis of built-up area of Chang-Zhu-Tan urban agglomeration (1993—2013)

总体上,长株潭城市群建成区面积不断扩张增大,扩张速度和扩张强度随经济社会发展上升或下降,呈现一定周期性。

### 3.3 长株潭城市群建成区重心变动与扩张方向

长株潭城市群建成区标准差椭圆在 1993—2001 年长轴略长于短轴,总体呈现“东南—西北”格局,说明“东南—西北”方向的建成区发展略强于“东北—西南”方向,常德、益阳、株洲地区建成区扩张较岳阳、衡阳明显。2001—2013 年,标准差椭圆空间范围明显缩小,椭圆长短轴明显缩短,说明长株潭城市群向心集聚发展,长株潭 3 市核心区扩张快于城市群边缘地区。建成区空间演化向心力在 1993—2013 年 20 a 间表现为“离散—向心”增强的趋势。

长株潭城市群 1993—2013 年建成区重心由长

沙市岳麓区转移至望城区,1993 年重心始于岳麓区,1993—1995 年向西北部移动,并且偏移速度为  $20 \text{ a}$  间最快,达到  $5\,432.41 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$ 。1995—1997 年转向东南方向,1997—2001 年持续向西移动。这段时间重心虽然在南北方向上来回波动,但整体逐渐向西移动,说明城市群西部区域扩张快于东部区域,其中常德、益阳、娄底等地区建成区扩张较为显著。2001—2003 年重心急速向南移动,偏移角度达到  $-95.83^\circ$ ,偏移距离达到  $10\,438.88 \text{ m}$ 。2003—2011 年重心转向东部,并且整体趋势为东南方向,说明这段时期长沙、株洲建成区扩张更为明显。而重心在 2011—2013 年又出现一次波动,从东南转向西北方向转移  $10\,265.13 \text{ m}$ ,角度达到  $126.09^\circ$ ,2013 年重心落在望城区。具体见图 4 和表 1。

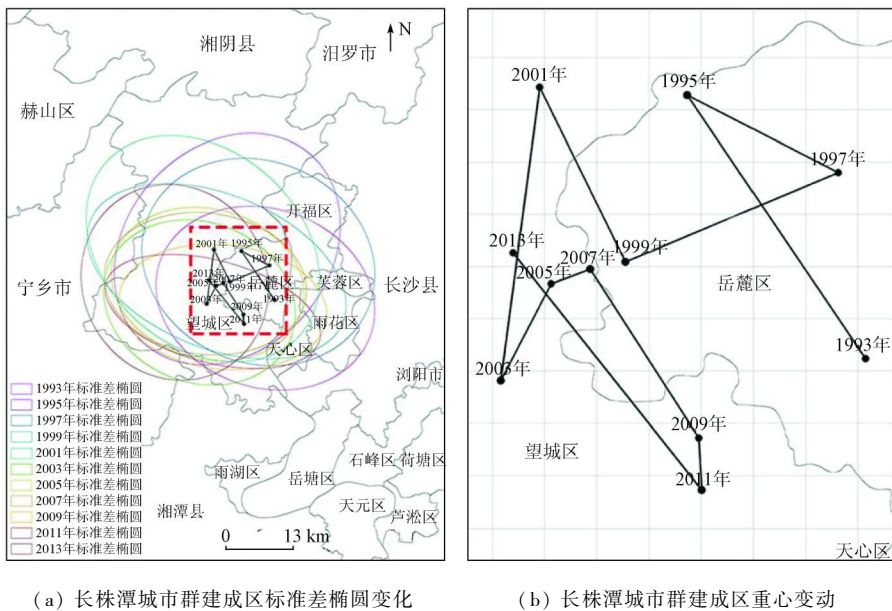


图 4 长株潭城市群建成区扩张标准差椭圆及重心变动(1993—2013 年)

Fig. 4 Standard deviation ellipse and center of gravity change of the built-up area in Chang-Zhu-Tan urban agglomeration(1993—2013)

表 1 1993—2013 年长株潭城市群建成区重心偏移轨迹

Tab. 1 Center of gravity migration track of built-up area of Chang-Zhu-Tan urban agglomeration from 1993 to 2013

年份	偏移距离/m	偏移速度/ ( $\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$ )	偏移角度/ $(^\circ)$
1993—1995 年	10 864.82	5 432.41	121.81
1995—1997 年	5 458.41	2 729.20	-29.17
1997—1999 年	7 373.87	3 686.94	-153.75
1999—2001 年	6 723.05	3 361.53	114.45
2001—2003 年	10 438.88	5 219.44	-95.83
2003—2005 年	3 772.90	1 886.45	66.13
2005—2007 年	1 332.19	666.10	24.04
2007—2009 年	6 873.97	3 436.99	-59.40
2009—2011 年	1 847.86	923.93	-86.29
2011—2013 年	10 265.13	5 132.56	126.09

### 3.4 长株潭城市群建成区景观格局变化

从 1993—2013 年长株潭城市群建成区景观格

局指标变化可知(表 2),11 个指标变化可归纳为 3 种类型:①整体增长类型。TA, COHESION, AI, PD 和 LPI 这 5 个指标呈现出整体增长特征。TA 逐年不断增加,表明长株潭城市群建成区面积不断增大;COHESION, AI 和 PD 在 1993—2013 年间呈现出整体不断增长的态势,在 2013 年均达到最大值,分别为  $57.71, 30.98$  和  $0.52 \text{ 个}/\text{km}^2$ ,表明长株潭城市群建成区用地不断扩张,景观分布不断集中,一体化程度不断提升;LPI 在 1993—2001 年稍微下降,随后不断增加,在 2007—2013 年基本维持稳定,达到最大值  $0.35$ ,表示中心城市长沙在城市群发展过程中起到了核心带动和辐射周边的作用,在自身不断发展过程中带动城市群的整体发展更加均衡化。②先增后减类型。NP, LSI, SHDI 和 ED 这 4 个指标呈现

出先增后减的趋势,1993—2005 年间呈增长上升趋势,2005—2013 年呈减少下降趋势。2005 年达到最大值,NP 最大值为 113.73,LSI 最大值为 24.79,SHDI 最大值为 3.62,ED 最大值为 17.68 m/km<sup>2</sup>。表明在 1993—2005 年期间,城镇增长点不连续扩张,斑块数量增加,形态复杂程度越来越高;随着时间推移,2005—2013 年城镇继续扩张,独立的城镇斑

块趋于融合连通成片,斑块数量减少,形状复杂程度降低,城镇发展更加紧凑,符合建成区扩张由“斑块数量增长”到“斑块规模扩张”的一般规律。③波动类型。CONTAG 和 PAFRAC 在 1993—2013 年间呈现出波动状态,表明城镇发展是一个复杂的扩张过程,破碎化和城镇建设用地之间融合是一个相互独立而又不断相互影响的过程。

表 2 1993—2013 年长株潭城市群建成区景观格局指标

Tab. 2 Landscape pattern indicators of built-up area of Chang-Zhu-Tan urban agglomeration from 1993 to 2013

年份	TA/ km <sup>2</sup>	COHESION	AI	PD/ (↑ km <sup>-2</sup> )	LPI	NP	LSI	SHDI	ED/ (nr km <sup>-2</sup> )	CONTAG/ %	PAFRAC
1993 年	832.59	23.35	12.35	0.26	0.29	49.80	16.86	3.30	17.24	19.05	1.62
1995 年	927.15	21.24	10.90	0.28	0.28	52.00	16.90	3.43	17.68	16.86	1.63
1997 年	1 068.35	25.31	14.78	0.33	0.29	50.20	16.97	3.31	16.94	20.36	1.57
1999 年	1 199.94	23.42	12.49	0.35	0.28	49.00	16.42	3.52	17.45	16.29	1.61
2001 年	1 323.62	25.41	14.44	0.36	0.28	71.33	19.86	3.47	17.08	18.68	1.56
2003 年	1 501.43	24.71	12.70	0.44	0.28	96.33	22.97	3.59	17.49	17.13	1.59
2005 年	1 636.49	26.81	13.96	0.45	0.31	113.73	24.79	3.62	17.38	17.62	1.57
2007 年	1 860.59	35.71	18.39	0.43	0.35	102.87	23.65	3.46	16.60	16.28	1.57
2009 年	2 024.76	37.92	19.38	0.44	0.35	99.87	21.08	3.34	16.76	20.37	1.61
2011 年	2 198.97	42.37	21.09	0.45	0.35	95.87	23.65	3.31	16.19	18.94	1.59
2013 年	2 361.23	57.71	30.98	0.52	0.34	90.40	23.06	2.96	13.73	18.29	1.55

### 3.5 长株潭城市群建成区空间集聚演化与分异

通过 Moran's I 指数计算, Moran's I 数值均在 0.3~0.5 之间,表现出正相关特征,反映出长株潭城市群建成区空间分布呈现集聚特征(图 5)。1993—2001 年 Moran's I 值逐渐降低,由 0.368 6 降至 0.306 3,说明此期间长株潭城市群建成区空间集

聚有弱化趋势。2001—2013 年 Moran's I 值在波动中提高,由 0.306 3 增加至 0.418 5,说明长株潭城市群建成区空间集聚特征有增强趋势。长株潭城市群建成区分布散点表明,1993—2013 年整体集聚态势在增强,少量建成区表现出离散状态。

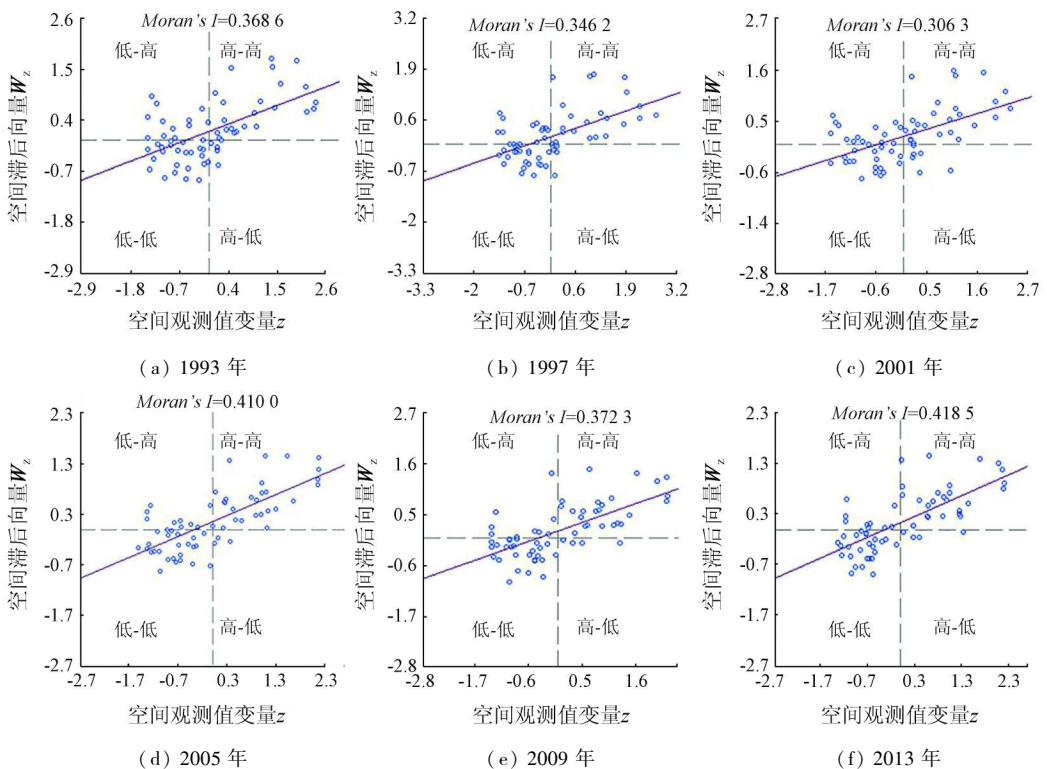


图 5 长株潭城市群建成区 Moran's I 指数和散点图(1993—2013 年间)

Fig. 5 Moran's I index and scatter plot of the built-up area in Chang-Zhu-Tan urban agglomeration(1993—2013)

通过长株潭城市群建成区空间集聚和热点分析(图6),建成区空间集聚和热点主要集中在长株潭3市,外围5市并不明显。空间集聚方面,1993年高集聚区主要为长株潭3市中心城区,2013年高集聚区向外围扩张,基本覆盖长株潭3市市辖区和长沙

县。空间热点方面,1993年热点区主要为长株潭3市市辖区以及外围的长沙县、望城区、湘潭县、韶山市和醴陵市,2013年热点区进一步扩大,在1993年基础上增加了宁乡市、湘阴市和汨罗市;而1993年和2013年冷点区为沅江市、南县。

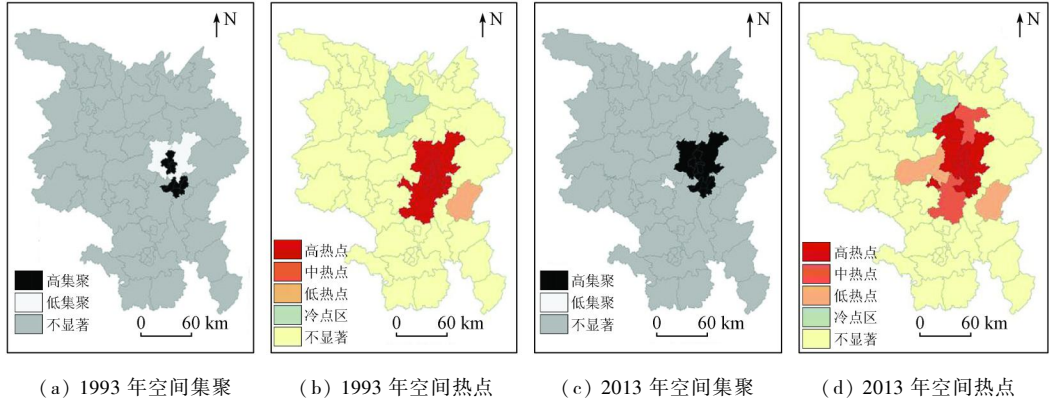


图6 1993年、2013年长株潭城市群建成区空间集聚和热点图

Fig. 6 Agglomeration and hot spots of the built-up area of Chang-Zhu-Tan urban agglomeration in 1993 and 2013

#### 4 结论与讨论

本文基于1993—2013年DMSP/OLS夜间灯光数据,利用辅助资料对比法提取城市群建成区,采用扩张规模、标准差椭圆、重心变动、景观格局指数和空间自相关等方法对长株潭城市群建成区演变特征进行了系统分析,结果表明:

1)1993—2013年间,长株潭城市群灯光总量呈现出长株潭3市相对密集,而周边5市相对稀疏的核心—边缘结构。城市群各城市中心城区以面状发展模式为主,不规则圈层向外扩张。城市群整体建成区扩张面积、扩张速度和扩张强度在时间尺度上整体呈现W型,1993—1999年3个指标不断降低,1999—2005年3个指标不断上升,在2005年达到最大值,2005—2009年下降,2009—2013年又开始缓慢增加。

2)长株潭城市群在1993—2001年“东南—西北”方向的建成区发展略强于“东北—西南”方向,常德、益阳、株洲建成区扩张较岳阳、衡阳明显;2001—2013年,长株潭3市核心区扩张快于城市群边缘地区。向心力在1993—2013年间表现为“离散—向心”增强的趋势。建成区重心由长沙市岳麓区转移至望城区。

3)景观总面积、连通性指数和聚集度指数等指标整体增长,反映出长株潭城市群建成区用地不断扩张,景观分布不断集中,一体化程度不断提升。斑块总数、景观形状指数和香农多样性指数等指标先

增后减,反映出建成区斑块数量减少,形状复杂程度降低,城镇发展更加紧凑,建成区由“斑块数量增长”到“斑块规模扩张”。

4)长株潭城市群建成区空间分布呈现集聚特征,整体集聚态势增强,少量建成区表现出离散状态。空间集聚热点区主要集中在长株潭3市市辖区以及外围的长沙县、望城区、湘潭县、韶山市、醴陵市、宁乡市、湘阴市和汨罗市,而冷点区为沅江市和南县。

利用DMSP/OLS夜间灯光数据监测和评价城市群建成区空间扩张是一种较好的技术方法,尤其对于地理空间较大区域的动态监测有技术优势。但是对于区域内小城镇灯光数据捕捉精确度一般,需要加以卫星影像数据斧正。今后的研究方向建议,一是利用多源遥感数据和土地调查数据相结合,进一步改善研究精细度;二是加强新技术在国土空间规划中的运用,如建成区现状评价与增长模拟预测。

#### 参考文献(References):

[1] 周国华,唐承丽,朱翔,等.长株潭城镇群体空间结构优化研究[J].热带地理,2002,22(4):330-334.  
Zhou G H, Tang C L, Zhu X, et al. A study on optimization of the spatial structure of urban agglomeration in Changsha - Zhuzhou - Xiangtan [J]. Tropical Geography, 2002, 22(4): 330 - 334.

[2] 王良健,周克刚,许抄军,等.基于分形理论的长株潭城市群空间结构特征研究[J].地理与地理信息科学,2005,21(6):78-103.  
Wang L J, Zhou K G, Xu C J, et al. Study on spatial structure of Changsha - Zhuzhou - Xiangtan urban agglomeration based on fractal theory [J]. Geography and Geo - Information Science,

- 2005, 21(6): 78 - 103.
- [3] 汤放华, 陈立立, 曾志伟, 等. 城市群空间结构演化趋势与空间重构——以长株潭城市群为例[J]. 城市发展研究, 2010, 17(3): 65 - 69.  
Tang F H, Chen L L, Zeng Z W, et al. Evolution trends and restructuring of spatial structure about urban agglomeration: By the case of Chang - Zhu - Tan agglomeration [J]. Urban Studies, 2010, 17(3): 65 - 69.
- [4] 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, 55(4): 407 - 416.  
Liu S H, Wu C J, Shen H Q. A GIS based model of urban land use growth in Beijing [J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(4): 407 - 416.
- [5] 刘盛和. 城市土地利用扩展的空间模式与动力机制[J]. 地理科学进展, 2002, 21(1): 43 - 50.  
Liu S H. Spatial patterns and dynamic mechanisms of urban land use growth [J]. Progress in Geography, 2002, 21(1): 43 - 50.
- [6] 李晓文, 方精云, 朴世龙. 上海城市用地扩展强度、模式及其空间分异特征[J]. 自然资源学报, 2003, 18(4): 412 - 422.  
Li X W, Fang J Y, Piao S L. The intensity and modes of urban land use growth in Shanghai [J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(4): 412 - 422.
- [7] 王海军, 张彬, 刘耀林, 等. 基于重心 - GTWR 模型的京津冀城市群城镇扩展格局与驱动力多维解析[J]. 地理学报, 2018, 73(6): 1076 - 1092.  
Wang H J, Zhang B, Liu Y L, et al. Multi - dimensional analysis of urban expansion patterns and their driving forces based on the center of gravity - GTWR model: A case study of the Beijing - Tianjin - Hebei urban agglomeration [J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(6): 1076 - 1092.
- [8] 谈明洪, 李秀彬, 吕昌河. 我国城市用地扩张的驱动力分析[J]. 经济地理, 2003, 23(5): 635 - 639.  
Tan M H, Li X B, Lyu C H. An analysis of driving forces of urban land expansion in China [J]. Economic Geography, 2003, 23(5): 635 - 639.
- [9] 陈本清, 徐涵秋. 城市扩展及其驱动力遥感分析——以厦门市为例[J]. 经济地理, 2005, 25(1): 79 - 83.  
Chen B Q, Xu H Q. Urban expansion and its driving force analysis using remote sensed data: A case of Xiamen City [J]. Economic Geography, 2005, 25(1): 79 - 83.
- [10] 王海军, 刘艺明, 张彬, 等. 基于 Logistic - GTWR 模型的武汉城市圈城镇用地扩展驱动力分析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(19): 248 - 257.  
Wang H J, Liu Y M, Zhang B, et al. Analysis of driving forces of urban land expansion in Wuhan metropolitan area based on Logistic - GTWR model [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(19): 248 - 257.
- [11] 李加林, 许继琴, 李伟芳, 等. 长江三角洲地区城市用地增长的时空特征分析[J]. 地理学报, 2007, 62(4): 437 - 447.  
Li J L, Xu J Q, Li W F, et al. Spatio - temporal characteristics of urbanization area growth in the Yangtze River Delta [J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(4): 437 - 447.
- [12] 马晓冬, 朱传耿, 马荣华, 等. 苏州地区城镇扩展的空间格局及其演化分析[J]. 地理学报, 2008, 63(4): 405 - 416.  
Ma X D, Zhu C G, Ma R H, et al. Urban spatial growth pattern and its evolution in Suzhou, Jiangsu Province, China [J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(4): 405 - 416.
- [13] 车前进, 段学军, 郭 垚, 等. 长江三角洲地区城镇空间扩展特征及机制[J]. 地理学报, 2011, 66(4): 446 - 456.  
Che Q J, Duan X J, Guo Y, et al. Urban spatial expansion process, pattern and mechanism in Yangtze River Delta [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(4): 446 - 456.
- [14] Croft T A. Burning waste gas in oil fields [J]. Nature, 1973, 245: 375 - 376.
- [15] Imhoff M L, Lawrence W T, Stutzer D C, et al. A technique for using composite DMSP/OLS city lights satellite data to accurately map urban areas [J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 61(3): 361 - 370.
- [16] 舒松, 余柏菘, 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, Yu 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.
- [17] 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 night time light data [J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(4): 666 - 673.
- [18] 米晓楠, 白林燕, 谭雪航, 等. 基于 DMSP/OLS 数据的城市中心城区提取新方法[J]. 地球信息科学学报, 2013, 15(2): 255 - 261.  
Mi X N, Bai L Y, Tan X H, et al. A new method of extracting areas of center city regions based on DMSP/OLS data [J]. Journal of Geo - Information Science, 2013, 15(2): 255 - 261.
- [19] 王晓慧, 肖鹏峰, 冯学智, 等. 基于 DMSP/OLS 数据的中国大尺度城镇用地信息提取[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(3): 159 - 164. doi:10.6046/gtzyyg.2013.03.26.  
Wang X H, Xiao P F, Feng X Z, et al. Extraction of large - scale urban area information in China using DMSP/OLS nighttime light data [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(3): 159 - 164. doi:10.6046/gtzyyg.2013.03.26.
- [20] 卓莉, 李强, 史培军, 等. 基于夜间灯光数据的中国城市用地扩展类型[J]. 地理学报, 2006, 61(2): 169 - 178.  
Zhuo L, Li Q, Shi P J, et al. Identification and characteristics analysis of urban land expansion types in China in the 1990s using DMSP/OLS data [J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(2): 169 - 178.
- [21] 刘沁萍, 杨永春, 付冬暇, 等. 基于 DMSP/OLS 灯光数据的 1992—2010 年中国城市空间扩张研究[J]. 地理科学, 2014, 34(2): 129 - 136.  
Liu Q P, Yang Y C, Fu D X, et al. Urban spatial expansion based on DMSP/OLS nighttime light data in China in 1992—2010 [J]. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(2): 129 - 136.
- [22] Huang X, Schneider A, Friedl M A. Mapping sub - pixel urban expansion in China using MODIS and DMSP/OLS nighttime lights [J]. Remote Sensing of Environment, 2016, 175(15): 92 - 108.



- [23] 杨洋,黄庆旭,章立玲.基于DMSP/OLS夜间灯光数据的土地城镇化水平时空测度研究——以环渤海地区为例[J].经济地理,2015,35(2):141-149.  
Yang Y, Huang Q X, Zhang L L. Study on temporal and spatial measurement of land urbanization based on DMSP/OLS night light data: A case study of the Bohai rim region[J]. Economic Geography, 2015, 35(2): 141-149.
- [24] 刘春霞,朱康文,李月臣.成渝经济区近20年城市扩展研究——基于DMSP/OLS夜间灯光数据[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2017,34(6):117-126.  
Liu C X, Zhu K W, Li Y C. Research on the urban expansion in Chengdu - Chongqing Economic Zone based on DMSP/OLS nighttime light data in recent 20 years[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2017, 34(6): 117-126.
- [25] 钟洋,林爱文,胡碧松,等.基于DMSP-OLS夜间灯光数据的长江经济带城镇体系空间格局演变(1992—2013)[J].长江流域资源与环境,2018,27(10):2162-2171.  
Zhong Y, Lin A W, Hu B S, et al. Spatial pattern evolution of urban system in Yangtze River economic belt based on DMSP - OLS night light data(1992—2013)[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(10): 2162-2171.
- [26] 路春燕,许燕婷,林晓晴,等.基于DMSP/OLS夜间灯光数据的环渤海城市群时空演变研究[J].国土资源遥感,2019,31(4):218-226. doi:10.6046/gtzyyg.2019.04.28.  
Lu C Y, Xu Y T, Lin X Q, et al. Study of spatio-temporal evolution of the circum-Bohai urban agglomeration based on DMSP/OLS night-time light data[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2019, 31(4): 218-226. doi:10.6046/gtzyyg.2019.04.28.
- [27] 王跃云,徐昀,朱喜钢.江苏省城镇建设用地扩展时空格局演化——基于1993、1998、2003年度夜间灯光数据的分析[J].现代城市研究,2010,19(2):67-73.  
Wang Y Y, Xu D, Zhu X G. The spatio-temporal characteristics of the urban and town construction land expansion in Jiangsu Province from DMSP - OLS nighttime images[J]. Modern Urban Research, 2010, 19(2): 67-73.
- [28] 陈征,胡德勇,曾文华,等.基于TM图像和夜间灯光数据的区域城镇扩张监测——以浙江省为例[J].国土资源遥感,2014,26(1):83-89. doi:10.6046/gtzyyg.2014.01.15.  
Chen Z, Hu D Y, Zeng W H, et al. TM image and nighttime light data to monitoring regional urban expansion: A case study of Zhejiang Province[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2014, 26(1): 83-89. doi:10.6046/gtzyyg.2014.01.15.
- [29] 万意,陈云浩,李京.基于DMSP/OLS数据的河南省城市空间格局及动态扩张分析[J].地理与地理信息科学,2019,35(1):89-94.  
Wan Y, Chen Y H, Li J. Urban spatial pattern and dynamic expansion in Henan Province based on DMSP/OLS data[J]. Geography and Geo-Information Science, 2019, 35(1): 89-94.
- [30] 王钊,杨山,刘帅宾.基于DMSP/OLS数据的江苏省城镇人口空间分异研究[J].长江流域资源与环境,2015,24(12):2021-2029.  
Wang Z, Yang S, Liu S B. Study on spatial differentiation of urban population in Jiangsu Province based on DMSP/OLS data[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(12): 2021-2029.
- [31] Zhou Y, Smith S J, Elvidge C D, et al. A cluster-based method to map urban area from DMSP/OLS nightlights[J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 147(18): 173-185.
- [32] 王鹤饶,郑新奇,袁涛. DMSP/OLS数据应用研究综述[J].地理科学进展,2012,31(1):11-19.  
Wang H R, Zheng X Q, Yuan T. Overview of researches based on DMSP/OLS nighttime light data[J]. Progress in Geography, 2012, 31(1): 11-19.
- [33] Gangopadhyay K, Basu B. City size distributions for India and China[J]. Physica A Statistical Mechanics and Its Applications, 2010, 388(13): 2682-2688.

## A study of the evolution characteristics of built-up areas in Chang-Zhu-Tan urban agglomeration based on DMSP/OLS data

ZHENG Bohong<sup>1</sup>, WANG Zhiyuan<sup>1,2</sup>, WANG Hua<sup>1</sup>

(1. School of Architecture and Art, Central South University, Changsha 410075, China; 2. School of Architecture, University of South China, Hengyang 421001, China)

**Abstract:** Chang-Zhu-Tan urban agglomeration is an important part of the economic belt in the middle reaches of the Yangtze River. The DMSP/OLS night light data was used to extract the space of the built-up area of Chang-Zhu-Tan urban agglomeration from 1993 to 2013. The spatial expansion analysis, standard deviation ellipsoid method, center of gravity change, landscape pattern index, and spatial autocorrelation method were used to quantitatively analyze the space-time characteristics of the spatial evolution of the built-up area of Chang-Zhu-Tan urban agglomeration in the past 20 years. The result can provide decision-making basis for the future urban spatial development of Chang-Zhu-Tan urban agglomeration. The results are as follows: ① From 1993 to 2013, the total amount of lights in the Chang-Zhu-Tan urban agglomeration showed a relatively dense core edge structure, the three cities of Changsha, Zhuzhou and Xiangtan were relatively dense, while the surrounding five

cities were relatively sparse. The central urban areas of urban agglomerations were dominated by the planar development mode, showing irregular circular expansion outwards. ② The centripetal force of the Chang - Zhu - Tan urban agglomeration showed an increasing trend of “discrete - centripetal”. The center of gravity of the built - up area shifted from Yuelu District of Changsha City to Wangcheng District. ③ There existed the continuous concentration of the built - up areas and the continuous improvement of the degree of integration in the Chang - Zhu - Tan urban agglomeration. The number of patches in the built - up area decreased and the complexity of the shape also decreased. The built - up area grew from “patch quantity increase” to “patch scale expansion”. ④ The spatial distribution of the built - up area of the Chang - Zhu - Tan urban agglomeration presented cluster features. The hot spots of spatial agglomeration were mainly concentrated in the districts of the three cities of Changsha, Zhuzhou, Xiangtan and the surrounding counties of Changsha, Wangcheng, Xiangtan, Shaoshan, Liling, Ningxiang, Xiangyin and Miluo, while the cold spot areas were Yuanjiang and Nanxian.

**Keywords:** DMSP/OLS data; built - up area; evolution characteristics; Chang - Zhu - Tan urban agglomeration

(责任编辑: 李瑜)