

# Assessment of Spatial Dynamic Changes in Urbanization of Xi'an City Based on Luminous Remote Sensing

Mingyu Zhang Ru Li Jiulong Ren Lei Guo

Xi'an Surveying and Mapping Station, Xi'an, Shaanxi, 710000, China

## Abstract

Xi'an is located in the Guanzhong Plain and serves as a hub connecting western and central China. The study of urbanization spatial dynamic changes based on nighttime light remote sensing has important practical significance and reference value. This article selects global nighttime light remote sensing image data collected by DMSP/OLS sensors from 2005 to 2013 and nighttime light remote sensing image data including China collected by NPP/VIIRS sensors from 2013 to 2019. The nighttime light remote sensing images of Xi'an City over the years are cropped, processed and analyzed, and the brightness index of urban built-up areas and urban areas in Xi'an City from 2005 to 2019 is extracted. Combined with relevant data such as Xi'an City's GDP, correlation analysis is conducted to obtain the spatial dynamic changes of urbanization in Xi'an City. Based on the results, corresponding analysis and evaluation are carried out.

## Keywords

mutual correction; Urban area extraction; Light index; Correlation analysis; Dynamic change

# 基于夜光遥感的西安市城镇化空间动态变化评估

张明钰 李茹 任赳龙 郭磊

西安测绘总站, 中国·陕西 西安 710000

## 摘要

西安市地处关中平原, 是连接中国西部与中部地区的枢纽, 基于夜间灯光遥感的城镇化空间动态变化研究有着重要的现实意义和参考价值。本文选取2005年至2013年DMSP/OLS传感器采集的全球夜间灯光遥感影像数据和2013年至2019年NPP/VIIRS传感器采集的含中国区的夜光遥感影像数据, 裁剪出西安市历年夜间灯光遥感影像, 对影像进行处理分析, 提取西安市2005年至2019年的城市建成区和城市区域灯光亮度指数, 结合西安市GDP等有关数据做相关性分析, 得出西安市城镇化空间动态变化, 根据结果对其进行相应的分析评估。

## 关键词

相互校正; 城区提取; 灯光指数; 相关分析; 动态变化

## 1 引言

西安市作为中国西部地区的第一大城市, 经过 30 年的持续发展, 已成为连接中西部区域政治、经济、文化、金融、商贸、交通、信息、对外开放的重要中心城市。多元变动的社会经济关系使城镇化研究成为经济社会发展的焦点问题, 作为中西部地区的中心枢纽, 西安城市化进程迅速, 因此本研究选取西安市作为研究对象, 其城镇化问题是城市研究的核心问题。

夜间灯光遥感影像作为一种可以记录地表可见光信息的数据产品, 与普通遥感产品相比, 虽然牺牲了地物在日光下可反射出的表征信息, 但着重监测了夜间人类活动的现象, 以及人类活动分布的空间特征, 本文采用 DMSP/OLS

数据及 NPP/VIIRS 数据进行相关研究。

## 2 研究区域及数据预处理

### 2.1 研究区域概况

西安市地处关中平原, 北临渭水、南依秦岭, 不仅是古丝绸之路起点和“一带一路”核心区, 还是国家重要的科研、教育、工业基地。西安市的城镇规模不断扩大, 城市聚集、辐射功能和承载力增强, 农村人口向城镇转移及外省市人口的流入速度加快。根据西安市统计年鉴数据, 21 世纪初西安市城镇化率不足 50%, 至 2019 年已达 74.61%, 呈现出稳定上升的态势。

### 2.2 夜光遥感影像数据源

DMSP/OLS 数据是美国国防部极轨卫星计划所发射的美国军事卫星 DMSP 所记录的数据<sup>[1]</sup>。该卫星于 1976 年搭配夜间灯光探测系统, 每日记录清晨、白天、黄昏、夜晚四个时间段的全球覆盖影像, 其夜间灯光探测系统主要为遥感

【作者简介】张明钰(1998-), 女, 中国陕西西安人, 硕士, 助理工程师, 从事测绘工程、遥感科学与技术研究。

器线型扫描系统 (OLS), 该传感器通常用于收集、探测和记录云层或陆地反射的月光以及地表人类活动发射或反射的光线特性, 是实现夜间灯光信息收集的主要传感器, 数据为 TIF 格式, 年限截止于 2013 年。NPP/VIIRS 数据是继 DMSP/OLS 数据后更加优化的夜间灯光遥感影像数据类型, 为 TIF 格式, 有年度数据及月度数据, 自 2013 年起至今的月度数据均可免费获取, 年度数据仅提供 2015 及 2016 两年的产品, 其他年份需用月度数据合成。

### 2.3 夜光遥感影像数据预处理

由于选用数据为多种类型, 且 DMSP/OLS 数据质量较低, 在时间序列上不具有连续性, 各年间的卫星传感器型号不一致, 因此在使用该类型数据前需进行数据的校正处理。DMSP/OLS 数据校正分为两部分, 一部分是传感器间相互校正, 另一部分是影像间的连续性校正。校正流程如下:

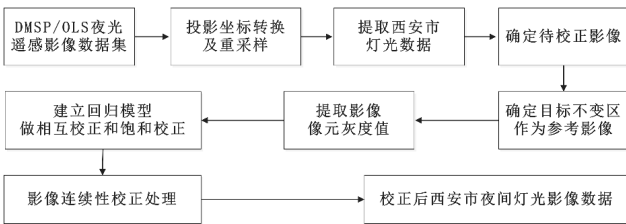


图 1 DMSP/OLS 数据预处理流程图

### 2.4 统计数据

本文所需的统计数据有西安市自 2005 年至 2019 年的国内生产总值 (GDP), 人口总数, 以及说明西安市城镇化发展的相关统计数据。这些数据可在西安市统计年鉴或国家统计局中获取。若要清晰准确地描述西安市城镇化空间动态变化, 需结合国内生产总值 (GDP)、人口<sup>[2]</sup>, 以及居民收入数据做相关分析。人口是城市发展的源泉, 有人才能带动发展。经济是城市发展的基础, 经济和城市的发展二者相互促进、相辅相成<sup>[3]</sup>。居民收入在一定程度上是城镇发展最为直观的表现, 城镇越发达, 居民生活水平越高, 经济流通带动市场, 市场流通带动发展, 城镇发展带动居民收入。

## 3 影像分割及城区提取

### 3.1 城区边界提取方法

城区边界提取方法有多种, 最常用的有经验阈值法、统计数据比较法、突变检测法和邻域极值法。本文使用的经验阈值法是根据 DMSP/OLS 数据和 VIIRS 数据的特性衍生出的分类方法, 由于夜光遥感数据只有一个波段, 可按需选取一定阈值判断是否为感兴趣区域。对于不同类型数据, 阈值选取也有差异, VIIRS 数据会根据地区实际情况自动改变光敏性, 避免灯光饱和现象出现, 因此 VIIRS 数据的 DN 值分布较为分散, 相应的分割阈值也与 DMSP 数据有所差异。根据经验, VIIRS 数据中 DN 值大于 5 的区域有较强的人类活动痕迹<sup>[4]</sup>。每年数据情况不尽相同, 针对不同年份提取城区使用不同分割阈值, 可根据其他相关数据辅助识别。使用

经验阈值分割法提取城区范围严格意义上是面向对象的影像类别区分提取, 这个过程依托影像内不同色彩、花纹和光谱信息特征, 基本流程大体上可分为识别待分类对象和特征提取。

### 3.2 城区提取结果及分析

从西安市 2005 年至 2019 年城市区域提取结果和城区矢量数据方面入手, 分析西安市城区范围面积变化和城镇化结构空间分布。通过阈值分割法提取城镇区域, 可得到 2005 年至 2019 年城区矢量图。计算矢量区域面积, 得到西安市城镇化面积扩张变化图 (图 2), 可看出 2007 年城市范围扩张速度极为突出, 同比上一年增长率高达 6.1482%, 是近 15 年来增长最快的一年, 说明这一年西安市正在高速发展。2008 至 2011 年, 城镇范围的扩张速度较快且平稳, 较上一年的增长率都稳定在 4.0% 以上, 说明这 4 年西安市正在匀速稳定发展。2012 年至 2016 年, 城镇面积同比上一年增长率波动较大, 但均为正数, 说明西安市在这 5 年城镇化速度虽不够稳定, 但一直呈正向发展。自 2015 年开始至 2019 年, 西安市城区面积同比上一年的增长率逐年递增, 说明西安市从 2015 年开始一直都是正向发展, 城区范围的扩张速度越来越快, 城镇化进程十分迅速。

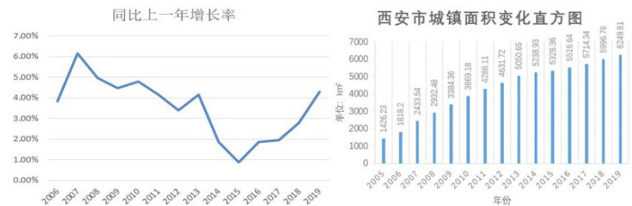


图 2 西安市城镇化面积扩张变化图

## 4 灯光指数与实验分析

### 4.1 提取灯光指数

夜间灯光指数 (CNLI) 就是在某区域范围内相对夜间灯光强度 (M), 与该区域范围内夜间灯光面积率 (L) 的乘积, 可用于描述该区域内的灯光情况。其公式如下:

$$CNLI = M \times L \quad (1)$$

其中, CNLI 表示城市夜间灯光指数, M 表示城市夜间灯光强度, L 表示城市夜间灯光面积率。

夜间灯光强度 (M) 为城区范围内所有像元亮度值之和与所有像元可能的最大亮度值之比。具体计算公式如下:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{62} (DN_i \times N_i)}{\sum_{i=1}^{62} (N_i \times DN_m)} \quad (2)$$

其中,  $DN_i$  表示城市范围内第 i 个灰度等级的灰度值,  $N_i$  表示城市范围内第 i 个灰度等级的像元个数,  $DN_m$  表示城市范围内夜间灯光像元中的最大灰度值<sup>[5]</sup>。

城市夜间灯光面积率 (L) 是指城市范围内灯光像元的总面积在城市范围内所有像元的总面积中所占的比例。具体计算公式如下:

$$L = \frac{S_a}{S} \times 100\% \quad (3)$$

其中,  $S_a$  表示城市范围内灯光像元的总面积,  $S$  表示城市范围内所有像元的总面积。

首先计算西安市夜间灯光强度 ( $M$ ), 其次计算西安市夜间灯光面积率。由于这部分是求一个比例, 所以可直接用像元个数之比来表示, 即统计出亮度值大于零的像元个数, 再除以西安市总像元个数即可得到西安市夜间灯光面积率。最后, 根据公式 (1), 常规计算即可得到西安市的灯光指数。计算结果如表 1 所示。

表 1 西安市各年灯光指数表

| 年份   | M        | L        | CNLI     |
|------|----------|----------|----------|
| 2005 | 0.363712 | 0.141127 | 0.05133  |
| 2006 | 0.414512 | 0.179319 | 0.07433  |
| 2007 | 0.439265 | 0.240801 | 0.105775 |
| 2008 | 0.460538 | 0.290172 | 0.133635 |
| 2009 | 0.478648 | 0.334886 | 0.160292 |
| 2010 | 0.502011 | 0.382859 | 0.192199 |
| 2011 | 0.514331 | 0.424313 | 0.218237 |
| 2012 | 0.544134 | 0.458313 | 0.249384 |
| 2013 | 0.565057 | 0.499767 | 0.282397 |
| 2014 | 0.589335 | 0.518398 | 0.30551  |
| 2015 | 0.616771 | 0.527247 | 0.325191 |
| 2016 | 0.627481 | 0.545878 | 0.342528 |
| 2017 | 0.632729 | 0.56544  | 0.35777  |
| 2018 | 0.733373 | 0.593386 | 0.435173 |
| 2019 | 0.76339  | 0.636297 | 0.485743 |

#### 4.2 灯光指数与统计数据的相关分析

从表 1 中可以看出, 西安市的城市夜间灯光指数逐渐增大, 由 2005 年的 0.05133 增长到 2019 年的 0.485743, 增幅近十倍, 可得到 CNLI 与西安市国内生产总值及其对应的第一产业、第二产业、第三产业做相关性分析, 得到与之对应的散点图, 根据相关系数  $R^2$  可以判断二者的相关程度 ( $R^2$  越接近 1 则说明相关程度越高)。根据散点图的走向可判断出 CNLI 与 GDP 基本呈线性相关, 因此, 可建立线性回归方程, 选用的回归模型为  $Y=ax+b$ , 做回归分析即可得到与散点图拟合程度较高的线性方程的系数。

#### 4.3 城镇化空间动态变化分析

以每三年为一个周期, 共五个阶段周期, 如 2005-2007 表示第一阶段, 2008-2010 表示第二阶段, 类推 2017-2019 表示第五阶段。结合城镇化进程数据可分析得出西安市近十五年来城镇区域空间的发展情况及动态的方向如图 3 所示。

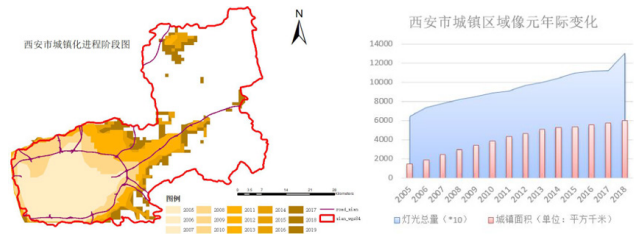


图 3 西安市城镇化进程阶段图 (左) 和西安市城镇区域像元年际变化 (右)

从城镇化的空间结构上来说, 可以看出西安市的城镇扩张是以原有城区为中心, 沿主要公路向四周呈放射性向外扩张。西安市的城镇结构分布在南北方向上有较大差异, 南方主要道路较多, 北方较少, 南方地区城镇化程度更高, 由此表明城市在发展的过程中, 受主要道路分布的影响较大。通过提取分割后的西安市城镇区域的灯光亮度值, 计算西安市的灯光指数, 之后提取西安市年鉴数据计算每年的城镇化率 (城区面积 / 总面积), 将 GDP 及其各类产业 GDP 作为衡量经济的城镇化水平指标, 计算灯光指数与 GDP 及各类产业之间的相关系数, 发现灯光指数与经济等统计指标及其第二产业都有着很好的相关性, 可用于有效评估城镇化发展水平。

### 5 结论

本文分别从时间和空间方面, 运用 DMSP/OLS 和 NPP/VIIRS 两种类型夜光数据, 对西安市城镇化进行空间动态变化评估, 对城镇区域进行矢量提取, 计算灯光指数, 结合统计数据进行分析。不足之处是夜间灯光影像数据分辨率有待提升, 时间分辨率上两种类型的数据无法消除差异, 在灯光总亮度提取过程中存在一定偏差, 导致对城区范围提取造成相应误差。

#### 参考文献

- [1] 王海羽. 基于DMSP/OLS 夜间灯光数据的武汉城市圈拓展研究[J]. 测绘地理信息. 2015.40(1): 80-83.
- [2] Noam Levin; Christopher C.M. Kyba. Remote Sensing of Night Lights—Beyond DMSP. Remote Sens. 2019.1.1472.
- [3] Zutao Ouyang; Peilei Fan; iquan Chen. Urban Built-up Areas in Transitional Economies of Southeast Asia: Spatial Extent and Dynamics. Remote Sens. 2016.8.819.
- [4] 王昀. 基于DMSP/OLS夜光数据的中国省域经济发展时空变化[J]. 地理空间信息. 2019.17(11): 75-79.
- [5] 乔雪伟. 基于DMSP/OLS夜间灯光数据的新疆城市变化驱动力分析[J]. 江苏农业科学. 2019.47(24): 308-313.