引文格式：范琳,张富玲,张理黎,等. 夜光视角下的西宁—海东都市圈城镇空间格局变化分析[J]. 地理空间信息, 2025, 23(3): 31-34. doi:10.3969/j.issn. 1672-4623.2025.03.008

夜光视角下的西宁—海东都市圈城镇空间格局变化分析

范　琳[1,2]，张富玲[1,2]，张理黎[1,2]，李　军[1,2]
（1. 青海省自然资源遥感中心，青海 西宁 810001；2. 青海地理空间信息技术与应用重点实验室，青海 西宁 810001）

摘　要：以西宁—海东都市圈为研究对象，基于2012—2022年VIIRS夜间灯光遥感影像数据，利用灯光信息统计、趋势分析和景观格局指数分析评价都市圈内城镇时空格局演变。结果表明：①在时间维度上研究区城镇建设和发展规模不断增强，一体化发展趋势明显；②在空间维度上研究区呈现明显的空间异质性，中心城区仍是主要的建设发展区，工业园区、清洁能源建设区成为新的增长极；③平均斑块面积标准差和周长面积分形维数呈V形变化，平均最近邻体距离不断缩小，说明研究区城镇差异性发展，聚集度不断提升。研究结果可为助力国土空间规划落实落地提供借鉴。

关键词：夜光遥感；西宁—海东都市圈；趋势分析；景观格局
中图分类号：TU984　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）03-0031-04

Analysis of Spatial Pattern Change in Xining-Haidong Metropolitan Area from the Perspective of Nighttime Light

FAN Lin[1,2], ZHANG Fuling[1,2], ZHANG Lili[1,2], LI Jun[1,2]
(1. Natural Resources Remote Sensing Center of Qinghai Province, Xining 810001, China;
2. Geomatics Technology and Application Key Laboratory of Qinghai Province, Xining 810001, China)

Abstract: Taking the Xining-Haidong Metropolitan Area as the research object, based on VIIRS nighttime light remote sensing image data from 2012 to 2022, we used the light information statistics, trend analysis, and landscape pattern index analysis to evaluate the evolution of urban spatial pattern within the metropolitan area. The results indicate that ①temporally, the construction and development scale of towns within metropolitan area have continuously increased, demonstrating a clear trend towards integrated development. ②Spatially, the development of metropolitan area exhibits significant spatial heterogeneity, with the central urban areas remaining the primary construction and development zones, while industrial parks and clean energy construction areas have emerged as new growth poles. ③The standard deviation of average patch area and perimeter-area fractal dimension show a V-shaped change, while the average nearest neighbor distance continues to decrease, illustrating the differential development and agglomeration degree of towns within the metropolitan area being constantly improving. The research findings provide valuable references to support the implementation of territorial spatial planning.

Key words: nighttime light remote sensing, Xining-Haidong Metropolitan Area, trend analysis, landscape pattern

都市圈是我国城镇化总体格局中承上启下的环节，也是推进新型城镇化的重要抓手。2018年国务院印发的《兰州—西宁城市群发展规划》[1]提出加快西宁—海东都市圈建设；2019年青海省委提出“两核一轴一高地”的西宁—海东都市圈发展新格局。目前西宁—海东都市圈存在中心城市带动能力不强、发展短板和瓶颈制约较多、资源环境约束加剧等问题，因此准确掌握都市圈空间格局变化和发展趋势，对建立高效协同发展机制、探索错位发展路径、总结区域协调发展经验具有借鉴意义。近年来，学者们基于统计资料，利用辐射扩散测度、断裂点理论与加权Voronoi图、VANUI指数等分析城市群空间发育格局和城市化进程[2-4]，但受限于资料的准确性、时效性和非空间化等问题，难以准确监测和分析城镇格局变化。随着遥感技术的发展，夜光数据能准确描述城镇建设发展规模[5-6]，直观反映人类活动的强度与范围，已被广泛用于人口时空分布、城市规模时空格局和城镇体系建设研究等领域[7-11]。目前研究[12-15]多以兰西城市群为对象进行发展评价，而对西宁—海东都市圈的细粒度研究较少，特别是缺乏像元尺度下西宁—海东都市圈城镇时空格局变化和发展趋势分析，未能准确掌握其城镇建设发展成效。因此，本文基于2012—2022年VIIRS数据，首先分析了西宁—海东都市圈灯光总量、建成区面积和灯光强度变化；再利用Theil-Sen Median趋

项目来源：2022年度青海省“昆仑英才·高端创新创业人才”资助项目。
第一作者简介：范琳（1988—），硕士，工程师，从事遥感图像处理和空间大数据分析工作，E-mail：465671445@qq.com。

势分析和Mann-Kendall显著性检验讨论了都市圈内城镇规模的时空变化；最后采用景观格局指数评价都市圈城镇建成区空间特征，为准确掌握都市圈城镇体系时空格局、优化城镇生产要素配置、推动西宁—海东都市圈一体化发展提供借鉴。

1 数据来源与研究方法

根据《兰州—西宁城市群发展规划》中西宁—海东都市圈的规划布局，本文选取西宁市5区2县，海东市2区4县，海北州海晏县，海南州共和县、贵德县、贵南县，黄南州同仁县、尖扎县共19县（区）作为分析单元。西宁—海东都市圈地处青海省东部，是青藏高原最大的中心城市，总面积为5.8万km^2，占青海省总面积的8.01%；2021年都市圈内人口为433.5万人（数据来源于第七次全国人口普查），占全省人口总数的72.97%；2021年都市圈GDP总量为2 507.96亿元，占全省GDP总量的74.09%。

1.1 数据来源

夜光数据选用科罗拉矿业大学2012—2022年全球年度灯光数据集Annual VNL V2。在VIIRS昼夜波段数据的基础上剔除杂散光、闪电、月光和云层覆盖影响，得到月度无云辐射平均值数据[16]；再过滤生物质燃烧、极光和背景等噪声，得到年度灯光数据集[17]。以2019年中国地图行政区划成果为基础制作分析单元矢量界线。

1.2 研究方法

夜光DN值与人口总量、GDP值等统计指标具有较强的相关性，本文用于描述西宁—海东都市圈城镇空间格局发展和趋势变化[18]。

1.2.1 趋势分析与显著性检验

本文选用Sen斜率和MK检验来估计年际间夜光数据的变化趋势以及判断趋势的显著性水平。Sen斜率是一种稳健的非参数统计的趋势分析方法，对于离群数据和观测误差不敏感，常用于长序列数据的趋势分析，计算公式为：

$$\beta = \mathrm{Median}\left(\frac{X_j - X_i}{j - i}\right) \quad \forall j > i \tag{1}$$

式中，$\beta>0$、$\beta<0$和$\beta=0$分别表示城镇建设区发展态势增强、减弱和不变。

MK检验是非参数的时序趋势性检验方法，无需样本服从正态分布，且不受异常值和缺省值的影响，适用于长时序数据的趋势显著性检验，已广泛应用于水文、气象、植被盖度等趋势变化研究[19]。本文选用统计量Z进行趋势检验，$Z>2.58$表示极显著变化；$1.96<Z<2.58$表示显著变化；$1.65<Z<1.96$表示微显著变化；$Z<1.65$表示不显著变化。

1.2.2 城镇景观指数

景观指数通常描述生态系统及其属性的变异程度，本文用于反映西宁—海东都市圈城镇建成区规模与密度、形状复杂度和聚集度。将夜光数据分为建成区和非建成区两类，分析建成区的空间布局，从整体上描述西宁—海东都市圈内城镇建设区分布格局和聚集变化特点[20]。

1）斑块规模与密度包括斑块数量、斑块密度、斑块面积标准差、最大斑块指数4个指标，计算公式为：

$$NP = \sum_{j=1}^{n} N_j \tag{2}$$

$$PD = NP/\mathrm{Area_{DN}} \tag{3}$$

$$\mathrm{Area_{sd}} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left[\mathrm{Area}_j - \left(\sum_{j=1}^{n}\mathrm{Area}_j/n\right)\right]^2/n} \tag{4}$$

$$\mathrm{LPI} = \max_N/\mathrm{Area_{DN}} \times 100 \tag{5}$$

式中，NP为斑块数量，n为建成区斑块数量；PD为斑块密度，值越大表明区域内建设用地的破碎度越高；$\mathrm{Area_{sd}}$为斑块面积标准差，n为区域内斑块数量，Area_j为斑块j的面积，值越大表示斑块间大小差异越大，区域内发展越不均衡；LPI为最大斑块指数，$\max_N$为最大斑块面积，$\mathrm{Area_{DN}}$为夜光总面积，值越大表示最大斑块在区域内的优势越大。

2）斑块形状复杂度通过周长面积分形维数表示，计算公式为：

$$\mathrm{PAFRAC} = \frac{2}{\left[NP\sum_{j=1}^{n}\left(\ln p_j \times \ln \mathrm{Area}_j\right)\right] - \sum_{j=1}^{n}\ln p_j \times \sum_{j=1}^{n}\ln \mathrm{Area}_j}{NP\sum_{j=1}^{n}\ln p_i^2 - \ln p_i} \tag{6}$$

式中，p_j、Area_j为斑块j的周长和面积；PAFRAC的取值范围为1~2，值越大说明建成区形状越复杂、受人类活动干扰程度越大。

3）斑块聚集度通过平均最近邻体距离表示，计算公式为：

$$\mathrm{ENN} = \sum h_{ij}/NP \tag{7}$$

式中，h_{ij}为斑块i到j的最近距离；ENN值越小，表示建成区空间分布越紧凑。

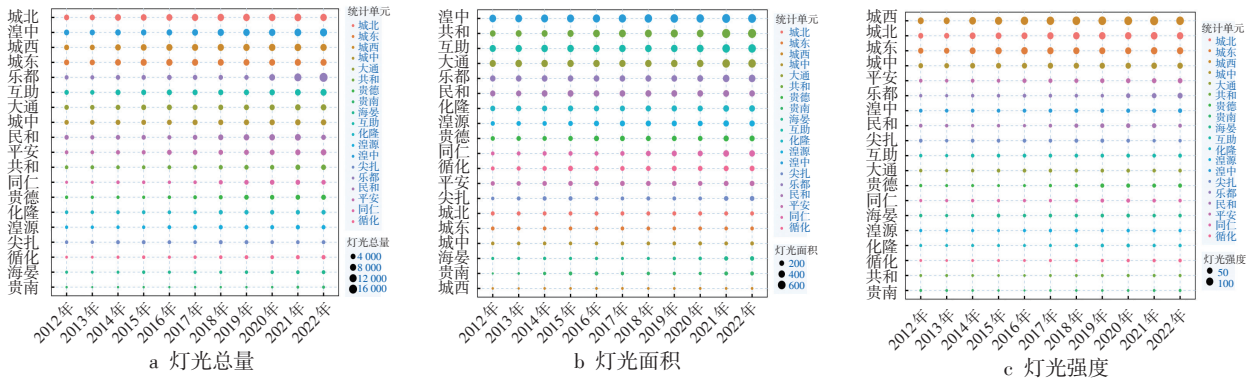
2　西宁—海东都市圈夜光分析结果

本文基于行政区划界线，对西宁—海东都市圈19个分析单元范围内建成区的夜光总量、灯光面积和灯光强度进行了统计，得到的灯光统计见图1。在灯光总量方面，2012—2022年西宁—海东都市圈的夜光DN值由39 179增至99 214，增长率达153%，其中海东市乐都区增加最多，增长率达726%，主要集中在2020—2022年；海东市平安区和循化县、黄南州同仁市、海南州共和县和贵德县的增长率分别为300%、314%、335%、209%和279%，呈较明显的灯光增长趋势。在灯光面积方面，建成区面积由3 450 km^2增至5 460 km^2，增长率达58%，其中海南州共和县面积增加最多，黄南州同仁市面积增加比最大（173%），呈持续阶梯式增长趋势；海南州贵德县、黄南州尖扎县、西宁市湟源县、海东市循化县分别增长了74%、86%、80%和81%，呈明显的扩张趋势。在灯光强度方面，2022年平均夜光强度为18.17，西宁市城西、城北、城东、城中4区夜光强度较高，分别为117.55、74.01、70.24和46.05，说明中心城区仍是都市圈发展成熟度最高的区域；海东市乐都区、平安区分别为37.82和28.94，高于平均值，说明海东市副中心也在经历较强劲的城镇建设发展过程；剩余区县明显低于平均值，体现城镇建设发展不充分的现状。

2.1　时空演变分析

本文通过计算2012—2022年夜光增量、SEN斜率和显著性检验Z值，分析都市圈时空演变趋势。2012—2022年西宁—海东都市圈的年均夜光增量为−113.187~187.266，夜光增加的建成区占都市圈总面积的82.43%，明显增长区域集中在城镇建成区周边；其中18个县（区）中心城区产生了较大的夜光增量，仅尖扎县城出现灯光值东城区下降、西城区上升的情况；共和盆地远离城镇区域出现了多个灯光增加斑块，结合卫星影像可知，主要为光伏产业建设区，道路、桥梁等线性工程施工区是产生较多的离散斑块的原因。2012—2022年都市圈的年均SEN斜率为−7.11~11.76，斜率正值区占都市圈总面积的83.44%，这与灯光增量区域基本一致。增加斜率大于1的范围仅占5.92%，呈零星的空间分布；西宁市城西区和城北区变化斜率较大，海东市乐都区、平安区、民和区和互助县，海南州共和县和贵德县，黄南州同仁市中心城区变化增长明显。减弱斜率大于1的范围仅占1.28%，主要为路桥建设区，因施工完成后土地恢复，产生了较大的灯光减弱区；部分工业园区、工矿企业出现不同程度的下降，一定程度是受其运行状态的影响。在显著性方面，西宁—海东都市圈呈显著和极显著上升趋势的面积占比为54.06%，集中分布在西宁、海东集中连片建设区；呈显著和极显著下降趋势的面积占比为32.81%，分布在民和、互助和大通建成区附近的零星地块。

从时序视角分析夜光变化发现，西宁、海东两市正逐步由2012年的相对独立空间发展转变为2022年的明显空间关联发展，体现出都市圈的错位协同发展态势。海东临空工业园·海东河湟新区作为西宁、海东两市联系的纽带，具有较强劲的发展势头，都市圈中心城镇一体化建设正逐步形成，以西宁—海东为主体、辐射周边的城镇发展格局正在有序推进。都市圈内新生中小城市培育名录中，西宁市湟中区，海东市民和县、互助县，海南州共和县、贵德县和黄南州同仁县表现出了良好的发展过程；此外海东市循化县城镇建设取得了较好的成绩，但海北州海晏县发展建设处在较低水平，这与何剑鸣等[21]的地区增加值和增速统计信息一致。



a 灯光总量　　b 灯光面积　　c 灯光强度

图1　都市圈灯光统计

2.2　景观格局演变分析

本文对西宁—海东都市圈的斑块数量、斑块密度、斑块面积标准差、最大斑块指数、周长面积分形维数、最近邻体距离6个景观格局指标进行分析，结

果见图2。都市圈内建成区斑块数量由281个增至506个，发生了较明显的增长。随着斑块数量的增加，斑块密度也翻了近一倍，建成区破碎程度进一步增加，表明都市圈内大量的建制镇、乡村得到了较好的发展建设。西宁中心城区仍是都市圈的最大城镇，最大斑块指数由2.68%增至3.77%，呈稳定增长态势，说明中心城区城市化水平较高，城市化发展呈现较快的邻域扩张趋势。斑块面积标准差由90.84 km^2降至2019年的83.01 km^2，表明都市圈内较多的小城镇得到一定发展，但因处于起步阶段且城镇面积较小，导致斑块面积标准差小幅下降；随后迅速升至2022年的95.53 km^2，表明较大建成区又经历了较强的发展建设过程，与较小斑块间面积差异逐渐增大。2012—2018年周长面积分形维数呈明显下降趋势，说明城市群内城镇发展与扩张程度较低，建成区斑块形状由复杂趋于简单；2020年后上升明显，说明建成区形状逐渐复杂，都市圈内城镇体系经历了强劲的发展过程，人类活动对该类型斑块的影响程度逐渐增大。平均最近邻体距离由3.1 km降至2.23 km，说明城镇间距离越来越小，城市发展越来越集中。总体来看，西宁—海东都市圈城镇数量增多，建成区密度增大，城镇区破碎程度增强，不同规模城镇之间的发展建设差异明显，人类活动对城镇发展的影响不断增强，城镇建成区在空间分布上呈现聚集发展特征。其原因在于，《兰西城市群发展规划》等一系列宏观决策为西宁—海东都市圈的发展建设注入了强劲动力，促使都市圈城镇建设规模不断增强。

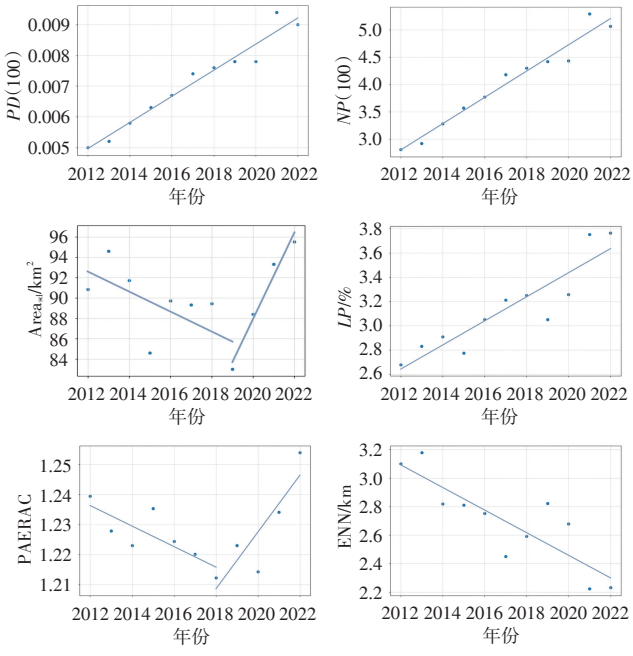


图2 都市圈景观指数

3 结 语

通过统计分析VIIRS夜光遥感数据发现，2012—2022年西宁—海东都市圈城市化建设不断增强，都市圈一体化建设总体布局有序推进。都市圈建成区夜光总量、灯光面积和平均灯光强度增加明显，说明都市圈城镇规模整体呈上升趋势，正在经历较强的建设发展过程。都市圈建成区表现为邻域扩张，光伏、风力等清洁能源建设用地成为共和盆地新增斑块的主要拉力，体现落实省委省政府“清洁能源高地”的战略部署。湟中区、同仁市等重点培育中小城市发展迅猛，但也不能忽视个别城镇发展程度不高的问题。景观格局指数中斑块数量、斑块密度和最大斑块指数呈线性增加，说明都市圈城镇建设强度和发展规模不断增强；平均斑块块面积标准差、周长面积分形维数呈V形变化趋势，反映《兰西城市群发展规划》对西宁—海东都市圈发展的强大促进作用；平均最近邻体距离不断缩小，说明城镇间的联系度不断增强，都市圈城镇规模分布趋于合理。

本文通过定量与定性相结合的分析方法，直观反映了都市圈城镇体系的发展动态与演变趋势。分析研究发现，西宁—海东都市圈的城镇空间格局呈现明显的集聚与扩散并存的特征，城镇体系日益完善，但也存在发展不均衡、资源配置效率有待提升等问题。研究结果不仅揭示了都市圈的发展现状，也为后续区域经济发展规划和资源合理配置提供了重要的科学依据，可为推动西宁—海东都市圈可持续发展提供一定的参考。

参考文献

[1] 国务院. 国务院关于兰州—西宁城市群发展规划的批复[J]. 中华人民共和国国务院公报,2018(8):8-9

[2] 黄金川. 基于辐射扩散测度的中国城市群发育格局识别[J]. 经济地理,2016,36(11):199-206

[3] 谷景祎,周廷刚,郭丽敏. 基于断裂点理论与加权Voronoi图的京津冀地区城市影响范围研究[J]. 地理与地理信息科学,2014,30(1):65-69

[4] 张晓璇,胡永红,樊彦国. VANUI指数监测京津冀城市群区域2001—2012年城市化过程[J]. 遥感技术与应用,2015,30(6):1 153-1 159

[5] 李德仁,李熙. 论夜光遥感数据挖掘[J]. 测绘学报,2015,44(6):591-601

[6] 王美玲,张和生. 基于珞珈一号夜间灯光数据的人口空间

（下转第42页）