引文格式：张家瑞. 基于夜光遥感的浦东新区开发开放35年城市空间演变分析[J]. 地理空间信息, 2026, 24(6):124-128. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.06.022

基于夜光遥感的浦东新区开发开放35年城市空间演变分析

张家瑞
（上海市测绘院，上海 200063）

摘　要：为系统分析浦东新区开发开放35年来的城市空间演变特征，基于1990—2024年长时序夜间灯光遥感数据，综合运用夜间灯光统计、相关性分析、标准差椭圆、空间自相关等方法，探究了浦东新区夜间灯光时空演变规律。结果表明：①35年间浦东新区夜间灯光总量增长近8倍，呈“缓慢起步-快速扩张-稳步提质”三阶段特征；②夜光总量与GDP呈显著正相关（R^2=0.823），可有效表征区域经济水平；③城市重心持续向东南迁移，沿“陆家嘴-张江-临港”主轴线梯度开发格局日益清晰；④空间自相关显著，格局由核心集聚向全域均衡演化；⑤剖面线揭示灯光从“单峰极化”向“多峰联动”演进，印证了临港新兴增长极的崛起。本研究为定量评估城市空间演变、验证政策空间响应提供了有效手段，可为浦东新一轮发展规划提供历史数据支撑。

关键词：夜间灯光遥感；浦东新区；城市空间格局
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）06-0124-05

Spatial Evolution Analysis of Urban Development in Pudong New Area, Shanghai City, China over 35 Years of Development and Opening-up Based on Nighttime Light Remote Sensing Data

ZHANG Jiarui
(Shanghai Surveying and Mapping Institute, Shanghai 200063, China)

Abstract: To systematically characterize the urban spatial evolution of Pudong New Area, Shanghai City, China over the 35 years since its development and opening-up, based on the long-term nighttime light remote sensing data from 1990 to 2024, we comprehensive used methods such as nighttime light statistics, correlation analysis, standard deviation ellipse, and spatial autocorrelation to explore the spatio-temporal evolution patterns of nighttime light in Pudong New Area. The results show that ①the total nighttime light in Pudong New Area has increased nearly eightfold over the 35-year period, exhibiting a three-stage pattern of “slow start-rapid expansion-steady quality improvement”. ②The total nighttime light shows a significant positive correlation with GDP (R^2 =0.823), effectively representing regional economic levels. ③The urban gravity center has continuously shifted southeastward, with the gradient development pattern along the “Lujiazui-Zhangjiang-Lingang” main axis becoming increasingly clear. ④Significant spatial autocorrelation is observed, with the spatial pattern evolving from core agglomeration to regional balance. ⑤The profile analysis reveals the evolution of light intensity from “unimodal polarization” to “multi-modal linkage”, confirming the rise of Lingang as an emerging growth pole. This study provides an effective means for quantitatively evaluating urban spatial evolution and verifying policy spatial responses, offering historical data support for Pudong New Area’s new round of development plannmain axis becoming increasingly clear. ④Significant spatial autocorrelation is observed, with the spatial pattern evolving from core agglomeraing.

Key words: nighttime light remote sensing, Pudong New Area, urban spatial pattern

1990年4月18日，党中央、国务院正式宣布开发开放浦东，历经35周年的发展，浦东新区地区生产总值从1990年的60亿元跃升至1.87万亿元，以仅占上海1/5的土地面积贡献了全市1/3的地区生产总值[1]，总部企业占全市总数的一半[2]，完成了从农田遍布的城郊到现代化都市的跨越，成为上海现代化建设的缩影[3]。作为高水平改革开放的开路先锋，探究浦东新区35年间社会经济发展的时空特征，能够为中国式现代化提供重要的空间实践样本。

夜光遥感数据通过捕捉城市中的人造光源来反映夜间的社会经济活动[4]，与统计数据等传统方法相比，夜光数据具有周期稳定、易获取等优势，为开展长时序城市动态监测的研究提供了独特的视角[5]。夜光遥感数据通过长时序的数据积累和较为稳定的数据质量已经为开展各种城市问题研究做出了极大的贡献，对于社会经济参数估算[6]、人口估算[7]、城市中心识别[8]、建成区提取[9]、城市空间格局[10-14]等城市问题研究有着极为显著的作用和效果。

基于此，本文以浦东新区1990—2024年长时序夜光遥感数据产品为基础，结合地区生产总值探究新区夜间灯光强度与经济发展水平的关系，并通过计算夜间灯光总量（total nighttime light，TNL）及其变化

作者简介：张家瑞（1999—），硕士，助理工程师，研究方向为城市遥感，E-mail：zhanjiru@126.com。

值、重心模型、标准差椭圆、莫兰指数探究浦东新区的社会经济发展特征，最后以陆家嘴–临港剖面线为载体，讨论了关键政策节点对城市亮度梯度的塑造作用，为浦东新一轮发展规划提供历史数据支撑和参考。

1　研究区概况与数据源

1.1　研究区概况

浦东新区位于上海市东部，长江入海口南侧，东濒东海，南临杭州湾，西隔黄浦江与上海市中心城区相望，北扼长江口，全区总面积约1 210 km^2，占上海市土地面积的19.2%。下辖12个街道、24个镇，区域地势平坦开阔，平均海拔约4～5 m。区域内水网密布，黄浦江、川杨河等主要河流纵横交错，形成典型的江南水乡地貌。受亚热带季风气候影响，浦东地区四季分明，雨量充沛，为城市生态建设提供了良好自然条件。

1.2　数据描述

本研究采用的数据包括夜光遥感数据和统计数据。夜间灯光数据为Tian等[15]发布的EVAL数据集，该数据集的时间范围为1986年至2024年，空间分辨率为500 m。数据集由两部分构成：1986—2013年为基于深度学习模型重建的VIIRS-like数据；2012—2024年为经极值校正的官方NPP-VIIRS年度合成数据。初始数据存在个别像元为异常值，采用八邻域异常值校正法通过异常值周围8个像元对异常值进行修正，并将灯光强度小于0的像元赋值为0，从而得到噪声去除后的灯光数据。同时将原始夜光遥感影像重投影为Albers等积投影。1990—2024年浦东新区GDP统计数据来源于《上海浦东新区统计年鉴》。

2　研究方法

2.1　夜间灯光统计

本研究采用夜间灯光总量（total nighttime light，TNL）、夜间灯光增量（light increment，L）和夜间灯光增长率（light growth rate，R）3个指标来衡量浦东新区35年夜间灯光的整体变化趋势，计算公式为：

$$\mathrm{TNL}=\sum_{i=1}^{n} r_i \tag{1}$$

$$L_t=\mathrm{TNL}_t-\mathrm{TNL}_{t-1} \tag{2}$$

$$R_t=\frac{\mathrm{TNL}_t-\mathrm{TNL}_{t-1}}{\mathrm{TNL}_{t-1}}\times 10 \tag{3}$$

式中，r_i为第i个像元的夜间灯光强度值；TNL_t、TNL_{t-1}分别为第t年和第$t-1$年的夜间灯光总量；L为第t年灯光增量；R为第t年灯光增长率。

2.2　相关性分析

为探究夜间灯光强度与区域经济发展水平之间的关联程度，本研究采用皮尔逊相关系数对TNL与GDP进行相关性分析。Pearson相关系数能够衡量2个变量之间的线性相关程度，计算公式为：

$$r=\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}} \tag{4}$$

式中，r为皮尔逊相关系数；x_i、y_i分别为2个变量；$\bar{x}$、$\bar{y}$分别为2个变量的样本均值；r的范围在[–1,1]之间，–1表示完全负相关，0表示无线性相关，1表示完全正相关。

2.3　重心分析

重心分析用于揭示城市夜间灯光分布的空间迁移轨迹，反映城市发展的主导方向。计算公式为：

$$\overline{X}=\frac{\sum_{i=1}^{n} w_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i},\overline{Y}=\frac{\sum_{i=1}^{n} w_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \tag{5}$$

式中，$(\overline{X},\overline{Y})$为研究区夜间灯光分布重心的坐标；$(x_i,y_i)$为第$i$个像元的几何中心坐标；$w_i$为该像元的夜间灯光强度值；$n$为研究区内有效像元总数。

2.4　标准差椭圆分析

标准差椭圆（SDE）是描述空间分布方向性和离散程度的经典方法。本研究利用SDE刻画浦东新区夜间灯光分布的总体形态，通过椭圆转角θ、长短轴的变化揭示城市扩张的方向偏好和空间集聚趋势。计算公式为：

$$\tan\theta=\frac{\left(\sum_{i=1}^{n}\tilde{x}_i^2-\sum_{i=1}^{n}\tilde{y}_i^2\right)+\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n}\tilde{x}_i^2-\sum_{i=1}^{n}\tilde{y}_i^2\right)^2+4\left(\sum_{i=1}^{n}\tilde{x}_i\tilde{y}_i\right)^2}}{2\sum_{i=1}^{n}\tilde{x}_i\tilde{y}_i} \tag{6}$$

$$\begin{cases}\sigma_x=\sqrt{\dfrac{\sum_{i=1}^{n}\left(\tilde{x}_i\cos\theta-\tilde{y}_i\sin\theta\right)^2}{n}}\\ \sigma_y=\sqrt{\dfrac{\sum_{i=1}^{n}\left(\tilde{x}_i\sin\theta-\tilde{y}_i\cos\theta\right)^2}{n}}\end{cases} \tag{7}$$

式中，σ_x为旋转后X轴方向的标准差；σ_y为旋转后Y轴方向的标准差；θ为椭圆方位角；$(\tilde{x}_i,\tilde{y}_i)$为第$i$个像元与椭圆重心的坐标差，即$\tilde{x}_i=x_i-\overline{X}$，$\tilde{y}_i=y_i-\overline{Y}$。

2.5　莫兰指数

莫兰指数是衡量空间自相关性的重要指标，用于

探测夜间灯光在空间上的集聚或离散特征。全局莫兰指数用于度量整个研究区内夜间灯光的空间自相关程度，反映是否存在整体性的集聚趋势。局部莫兰指数用于识别局部区域的空间集聚模式。本研究分别计算全局莫兰指数和局部莫兰指数，计算公式为：

$$I=\frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}w_{ij}\left(T_i-\overline{T}\right)\left(T_j-\overline{T}\right)}{\boldsymbol{S}_0\sum_{i=1}^{n}\left(T_i-\overline{T}\right)^2} \tag{8}$$

$$I_i=\left(T_i-\overline{T}\right)\frac{n\sum_{k=1}^{n}W_{ik}\left(T_k-\overline{T}\right)^2}{\sum_{j=1}^{n}\left(T_j-\overline{T}\right)^2} \tag{9}$$

式中，I 为全局莫兰指数；I_i 为局部莫兰指数；w_{ij} 为 i，j 要素的空间权重；T_i 和 T_j 分别为 i，j 要素的属性值；$\overline{T}$ 为属性值全局均值；n 为空间单元总数；$\boldsymbol{S}_0$ 为空间权重矩阵元素之和。

3 研究结果与分析

3.1 夜间灯光统计结果分析

1990—2024年浦东新区TNL的变化趋势如图1所示，从图中可以看出，TNL呈现持续增长的总体态势，35年间增长了近8倍，直观反映了区域城镇化进程与经济发展的动态演进。从统计结果来看，TNL的增长可划分为3个阶段：1990—2000年为缓慢起步期，TNL增长平缓，年均增量较小，对应浦东新区开发开放初期以核心城区为主的渐进式建设阶段；2001—2015年为快速增长期，TNL进入加速上升通道，年均增量显著提升，与浦东工业化、城镇化快速推进及城市建成区持续扩张的发展节奏高度契合；2016—2024年为稳步提升期，TNL保持高位但增速有所放缓，体现区域发展进入存量优化与功能提质的新阶段。

夜间灯光增量与年增长率变化如图2所示，从年际波动来看，年增长率呈现明显的阶段性波动特征。1995年、2003年、2010年等节点增长率均处于高位，这些节点分别与陆家嘴金融贸易区加速建设、张江高科技园区扩区、上海世博会筹备与举办等重大事件的时间高度吻合，反映出重点区域开发和重大规划实施对城市夜间灯光强度的显著拉动作用。部分年份出现短暂负增长，主要受数据或特殊事件影响，但未改变TNL整体增长趋势；2016年以后，年增长率回落至10%以下，增量趋于稳定，表明浦东新区夜间灯光分布正逐步由外延扩张向内生增长转变，区域夜间经济与城市空间发展更趋均衡成熟。

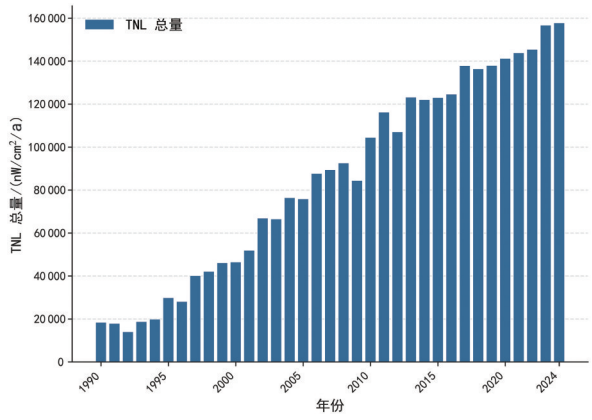


图1 1990—2024年浦东新区夜间灯光总量变化

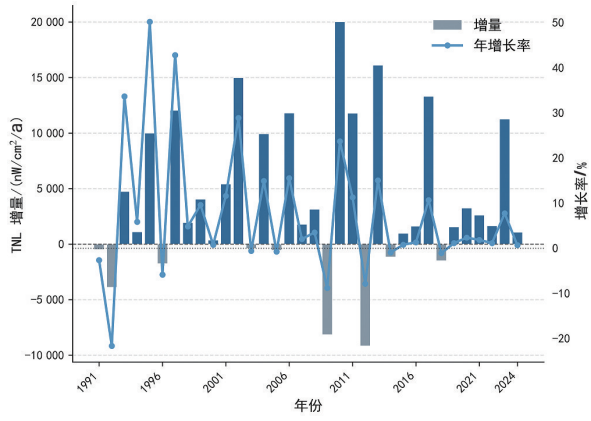


图2 1990—2024年浦东新区夜间灯光增量、年增长率变化

3.2 夜间灯光与GDP相关性分析

浦东新区TNL与GDP的相关性分析结果如图3所示。从图中可以看出二者呈现显著的正相关关系，表明 *TNL* 可有效表征区域经济发展水平。决定系数 R^2 = 0.823表明TNL与GDP之间存在稳定的线性关联，随着GDP增长，TNL同步提升，这一结果验证了利用夜间灯光数据刻画浦东新区经济发展动态的可行性。

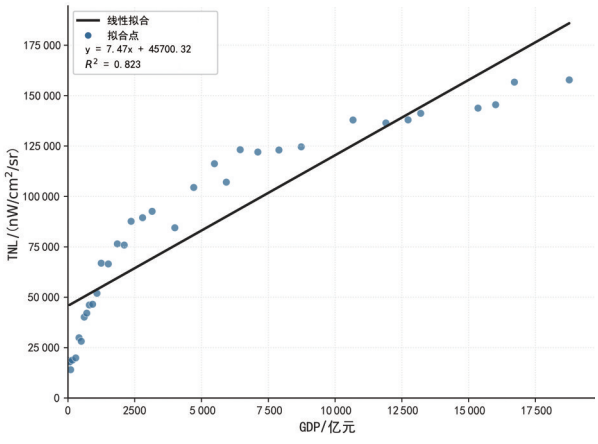


图3 TNL与GDP的相关性分析结果

3.3 夜间灯光空间格局演变分析

1990—2024年浦东新区夜间灯光重心与标准差椭圆的时空演变结果如图4所示。对灯光重心轨迹进行

分析，1990—2024年重心整体呈现向东南方向移动的趋势，可划分为3个阶段：1990—2000年，重心偏于西北方向且小幅波动，与浦东开发开放初期陆家嘴、金桥、外高桥等沿江核心区集中建设的格局相吻合；2001—2010年，重心稳步向南移动，对应张江高科技园区成熟、世纪公园等城市骨架向南拓展的阶段；2011—2024年，重心持续向东南延伸，与临港新片区设立、迪士尼度假区运营等东南板块崛起的发展节奏一致，反映出城市发展由沿江向沿海梯度转移的特征。

从标准差椭圆变化来看，椭圆范围持续扩大、形态逐步拉长，长轴始终保持西北–东南走向，与灯光重心移动方向一致。椭圆范围扩张体现了浦东从早期核心区点状开发向全域城市化推进的过程，农村地区逐步被城镇灯光覆盖，城市建成区边界持续外拓；椭圆形态拉长且方向性增强，表明开发活动始终沿“陆家嘴–张江–临港”主轴线推进，东南方向成为浦东35年来最核心的增长极。

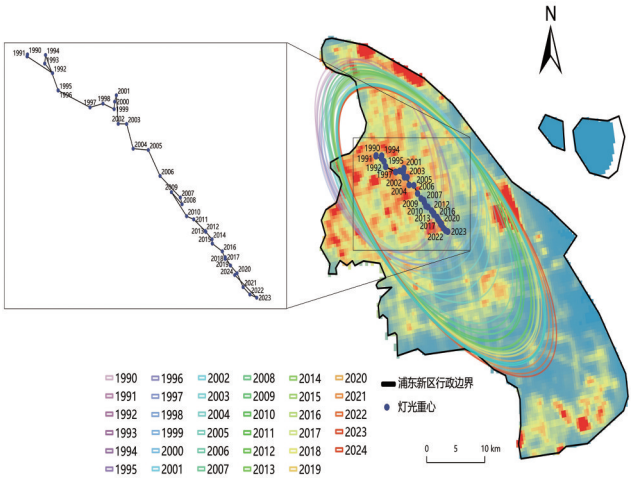


图4　1990—2024年浦东新区夜间灯光重心与标准差椭圆时空演变结果

审图号：GS(2024)0650

整体而言，灯光重心与标准差椭圆的演变规律，是政策引导下产业、人口、交通等要素空间重构的直接体现。

3.4　夜间灯光空间自相关分析

基于全局莫兰指数与局部莫兰指数，对1990—2024年浦东新区夜间灯光的空间集聚特征进行分析。结果如表1所示，表中各年份全局莫兰指数均介于0.790~0.910之间，且 Z 值均远大于临界值、P 值均为0，通过1%水平的显著性检验，说明浦东新区夜间灯光亮度始终呈现显著的空间正自相关特征，空间集聚格局稳定且突出。

从局部莫兰指数的空间集聚格局来看，1990—

表1　1990—2024年浦东新区夜间灯光全局莫兰指数结果

年份	莫兰指数	Z	P	年份	莫兰指数	Z	P
1990	0.893	95.542	0	2008	0.884	94.533	0
1991	0.886	94.807	0	2009	0.871	93.073	0
1992	0.886	94.762	0	2010	0.86	92.20	0
1993	0.892	95.430	0	2011	0.861	92.00	0
1994	0.903	96.591	0	2012	0.814	87.127	0
1995	0.910	97.299	0	2013	0.817	87.408	0
1996	0.909	97.209	0	2014	0.826	88.384	0
1997	0.910	97.222	0	2015	0.831	88.881	0
1998	0.900	96.232	0	2016	0.822	87.893	0
1999	0.900	96.255	0	2017	0.821	87.795	0
2000	0.902	96.427	0	2018	0.806	86.281	0
2001	0.903	96.480	0	2019	0.822	87.958	0
2002	0.911	97.333	0	2020	0.821	88.099	0
2003	0.898	96.005	0	2021	0.811	86.780	0
2004	0.898	96.007	0	2022	0.820	87.731	0
2005	0.890	95.098	0	2023	0.813	86.987	0
2006	0.892	95.296	0	2024	0.799	85.507	0
2007	0.872	93.220	0				

1995年，高高集聚区域始终集中于西北部陆家嘴、金桥等早期开发核心区，范围随时间逐步拓展；低低集聚区域大面积分布于东南部生态与非建设空间，与核心区形成鲜明分异；高低、低高异常值区域仅零星出现于核心区边缘。1995—2015年，高–高集聚向张江、唐镇等中部区域延伸，低–低集聚范围显著收缩，核心与外围的空间差异有所缓和。2024年，低–低集聚仅残留于东部沿海及南部生态片区，异常值区域基本消失，表明全域夜间灯光分布更趋均衡，局部空间异质性显著降低。

3.5　夜间灯光剖面线分析

为进一步揭示浦东新区夜间灯光沿主发展轴线的梯度差异与演变特征，本研究以陆家嘴—临港剖面线为载体开展剖面（图5）分析。

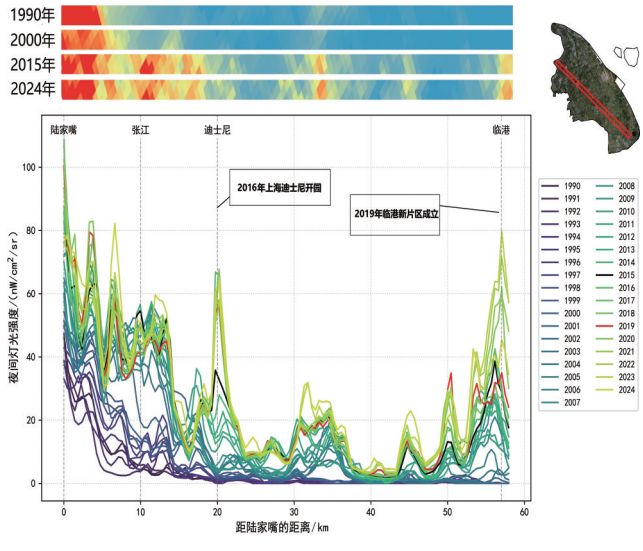


图5　陆家嘴–临港夜间灯光剖面图

审图号：GS(2024)0650

从空间梯度看，1990—2024年剖面线始终呈现“双峰多谷”的基本格局。第一峰值位于0 km处的陆家嘴核心区，其灯光强度始终居全剖面之首，代表着浦东开发开放的起点与核心增长极。第二峰值位于约55 km处的临港区域，灯光强度随时间推移持续提高，逐步成长为东南方向的新兴增长极。位于约10 km的张江和约20 km的迪士尼等节点则形成次级峰值，体现出轴线开发中多点支撑的结构特征。各峰值之间的谷底区域主要对应生态缓冲带或尚未完全开发的过渡空间。从时间演变看，剖面线形态经历了由单峰极化向多峰均衡的演进过程。1990—2000年为单一核心集聚阶段，剖面线仅在陆家嘴区域形成高值峰，其他区域灯光强度普遍偏低，开发活动高度集中于沿江核心区。2001—2015年为多峰格局形成阶段，张江、迪士尼等次级节点灯光强度显著提升，剖面线逐步呈现多峰形态，临港区域开始出现微弱峰值，表明开发活动已由核心区向中部腹地延伸。2016—2024年为轴线联动发展阶段，临港区域峰值快速抬升，与陆家嘴峰值的差距显著缩小，各次级节点灯光强度同步提升，剖面线整体趋于平缓，沿轴线的夜间灯光分布更趋均衡，全域城市化与轴线联动发展的格局基本形成。

陆家嘴–临港剖面线刻画了浦东新区夜间灯光从“单点核心集聚”到“多点轴线联动”的梯度演变过程，反映了城市发展沿东南主轴线逐步推进、由核心区向东南沿海梯度延伸的空间规律。

4 结 语

本文基于1990—2024年长时序夜间灯光遥感数据，系统揭示了浦东新区开发开放35年来的城市空间演变规律。研究表明，夜间灯光总量增长近8倍，呈“缓慢起步—快速扩张—稳步提质”三阶段演进，与重大政策节点高度契合；*TNL*与GDP显著正相关（R^2=0.823），可有效表征区域经济发展；城市空间沿陆家嘴—张江—临港主轴线梯度推进，格局由核心区集聚向全域均衡演化，临港实现从“孤岛”到新兴增长极的突围。长时序夜光遥感为评估城市空间发展、支撑国土空间规划提供了科学依据与历史参照。受限于数据分辨率及指标维度，后续研究将进一步深化多源数据融合与多维度社会经济分析，以期为浦东新区新一轮高质量发展提供更为精准的空间决策支持。

参考文献

[1] 缪晓琴. 上海浦东开发开放35周年:勇立潮头敢为先,引领未来谱新篇[N]. 中国经济导报,2025-04-17(004)

[2] 杜晨薇. 再出发再创业,浦东以开放拥抱世界[N]. 解放日报,2025-04-18(001)

[3] 宋薇萍,严曦梦. 浦东开发开放35周年:从中国“试验田”到全球“创新场”[N]. 上海证券报,2025-04-19(005)

[4] Zhao M, Zhou Y, Li X, et al. Applications of Satellite Remote Sensing of Nighttime Light Observations: Advances, Challenges, and Perspectives[J]. Remote Sensing, 2019, 11(17):1971

[5] 余柏蒗,王丛笑,宫文康,等. 夜间灯光遥感与城市问题研究:数据、方法、应用和展望[J]. 遥感学报,2021,25(1): 342-364

[6] Shi K, Yu B, Huang Y, et al. Evaluating the Ability of NPP-VIIRS Nighttime Light Data to Estimate the Gross Domestic Product and the Electric Power Consumption of China at Multiple Scales: A Comparison with DMSP-OLS Data[J]. Remote Sensing, 2014, 6(2):1705-1724

[7] Bennett M M, Smith L C. Advances in Using Multitemporal Night-time Lights Satellite Imagery to Detect, Estimate, and Monitor Socioeconomic Dynamics[J]. Remote Sensing of Environment, 2017, 192:176-197

[8] Chen Z, Yu B, Song W, et al. A New Approach for Detecting Urban Centers and Their Spatial Structure with Nighttime Light Remote Sensing[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2017, 55(11):6305-6319

[9] 鹿一凡,孙国栋,冯子元,等. 基于NPP-VIIRS夜光数据的北京市建成区提取和分析[J]. 科技资讯, 2021, 19(27): 1-5

[10] 罗虹, 赵政权. 基于NPP-VIIRS的云南省城市经济空间格局演变[J]. 地理空间信息,2022,20(1):32-37

[11] 朱惠,张清凌,张珊. 1992—2017年基于夜光遥感的中亚社会经济发展时空特征分析[J]. 地球信息科学学报,2020,22(7):1449-1462

[12] 赵建才,王妍. 基于夜光遥感的江苏省城市格局动态发展研究[J]. 地理空间信息,2024,22(11):20-23

[13] 单治彬,李丹,肖薇薇,等. 基于夜光遥感数据的陕西省城市扩张时空变化研究[J]. 地理空间信息,2026,24(2):59-63

[14] 萨木哈·单山白,高宇潇,邓文彬. 基于夜光遥感数据整合的南疆四地州经济发展时空格局特征分析[J]. 遥感技术与应用,2024,39(1):234-247

[15] Tian Y, Cheng K M, Zhang Z, et al. An Extended VIIRS-like Artificial Nighttime Light Data Reconstruction (1986—2024)[J]. Scientific Data, 2026, 13:233