

基于夜间灯光数据的通州区社会经济发展动态分析

胡雪琦^{1*}, 鲁瑞洁^{2#}

¹北京工业大学城市交通学院, 北京

²北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京

收稿日期: 2025年11月11日; 录用日期: 2025年12月15日; 发布日期: 2025年12月26日

摘要

通州区作为北京城市副中心与京杭大运河的北起点, 其社会经济发展状况对区域协调发展具有重要参考价值。本文基于1984~2020年夜间灯光数据, 构建了包含灯光总量、平均亮度、类动能和平均类动能的四维灯光指数体系, 结合2006~2020年的常住人口、地区生产总值与空气污染物等统计数据, 系统分析通州区社会经济发展变化, 并与大运河北京段沿线其他六区(朝阳、西城、东城、海淀、昌平、顺义)进行比较。研究结果表明: 1984~2020年间, 通州区四项夜间灯光指数整体呈持续增长趋势, 类动能自2000年起显著提升, 夜间灯光总量于2004年后持续高于除昌平外的其他五区; 平均亮度与平均类动能虽低于东城、西城等中心城区, 但已高于昌平与顺义。夜间灯光指数变化趋势与2006~2020年通州区地区生产总值和常住人口的稳步增长、空气污染物浓度持续下降的统计结果相一致。研究验证了夜间灯光指数体系在多维度评估城镇发展中的有效性, 为城镇可持续发展评估与区域政策制定提供科学参考。

关键词

夜间灯光总量, 类动能, 四维灯光指数体系, 城镇发展, 通州区

Analysis of Socio-Economic Development Dynamics in Tongzhou District Based on Nighttime Light Data

Xueqi Hu^{1*}, Ruijie Lu^{2#}

¹College of Metropolitan Transportation, Beijing University of Technology, Beijing

²State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing

Received: November 11, 2025; accepted: December 15, 2025; published: December 26, 2025

*第一作者。

#通讯作者。

Abstract

Tongzhou District, as a sub-center of Beijing and the northern starting point of the Beijing-Hangzhou Grand Canal, holds significant reference value for regional coordinated development in terms of its socio-economic development. This study constructs a four-dimensional nighttime light index system comprising total light intensity, average brightness, kinetic-like energy, and average kinetic-like energy, based on nighttime light data from 1984 to 2020. By integrating statistical data such as resident population, gross regional product, and air pollutants from 2006 to 2020, this research systematically analyzes the socio-economic development changes in Tongzhou District and compares them with six other districts along the Beijing section of the Grand Canal (Chaoyang, Xicheng, Dongcheng, Haidian, Changping, and Shunyi). The results indicate that from 1984 to 2020, the four nighttime light indices in Tongzhou District showed an overall sustained growth trend: kinetic-like energy increased significantly since 2000, and total nighttime light intensity has remained higher than that of the other five districts except Changping since 2004. Although the average brightness and average kinetic-like energy are lower than those of central urban districts such as Dongcheng and Xicheng, they are higher than those of Changping and Shunyi. The changing trends of nighttime light indices are consistent with the statistical results of steady growth in Tongzhou's gross regional product and resident population, along with the continuous decline in air pollutant concentrations from 2006 to 2020. This study verifies the effectiveness of the nighttime light index system in multi-dimensional assessment of urban development and provides scientific reference for sustainable urban development evaluation and regional policy formulation.

Keywords

Total Nighttime Light Intensity, Kinetic-Like Energy, Four-Dimensional Nighttime Light Index System, Urban Development, Tongzhou District

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

通州区作为北京城市副中心和京杭大运河的北起点, 地处北京市东南部, 北接北京中心城区, 南邻河北廊坊与天津, 为推进京津冀协同发展提供了重要的水路交通基础[1]-[3]。近年来, 通州区正处于高质量快速发展的关键阶段, 科学、客观地评估其社会经济发展状况, 对促进城镇高质量发展和城市群协同发展具有重要参考价值。

传统的城镇社会经济发展状况测度主要依赖人口、社会经济和环境指标等统计指标, 然而此类数据普遍存在离散性高、更新滞后和主观性较强等问题。相比之下, 卫星夜间灯光数据能够客观地记录地球表面的人造灯光强度, 具有覆盖范围广、时效强、客观连续、易获取等优势。众多学者通过分析夜间灯光数据与城镇GDP、人口分布、能源消耗、PM_{2.5}浓度、碳排放等社会统计指标的关联, 证实了夜间灯光数据可有效反映城镇发展动态[4]-[9]。已有研究表明, 夜间灯光数据不仅能够弥补传统统计数据的不足, 还能揭示城市空间结构的演化规律, 为理解城市发展进程提供了新的视角, 已成为客观反映社会经济发展状况的重要数据源。目前, 多颗卫星搭载的传感器可以获取夜间灯光遥感影像, 如DMSP/OLS、NPP/VIIRS、EROS-B、“珞珈一号”01星和“吉林一号”等[4], 为长时间序列的城市发展研究提供了丰

富的数据基础。

在夜间灯光指标中, 灯光总量可表征区域经济总体规模, 平均亮度则反映单位面积上的经济发展密度。由刘冰洁等人构建的夜间灯光类动能指数[5]创新性地将灯光强度与空间扩展速度相结合, 既反映城镇当前发展水平, 也揭示其未来发展的总体趋势, 体现出城镇发展过程中的时空累积效应, 更适合于表征城镇动态发展能力[5]。然而, 现有研究多集中于单一灯光指标的应用, 缺乏对多维度灯光指标体系的综合运用, 特别是在城市副中心这类新兴区域的发展评估中, 尚未充分发挥夜间灯光数据的综合优势。

因此, 本研究选择 1984~2020 年的长时序夜间灯光数据, 计算夜间灯光总量、平均亮度、类动能和平均类动能四项灯光指数, 并结合 2006~2020 年通州区的常驻人口、地区生产总值以及空气污染物(可吸入颗粒物(PM_{10})、二氧化硫(SO_2)、二氧化氮(NO_2))等统计数据, 系统分析通州区社会经济发展演变特征, 并与大运河北京段沿线其他六区(朝阳、西城、东城、海淀、昌平、顺义)进行比较, 以进一步揭示通州区社会经济发展的速度和总体态势, 为城市副中心的发展评估提供新的方法论参考。

2. 数据来源与研究方法

2.1. 数据来源 2006~2020 年人口、经济、环境等相关数据

城镇社会经济发展在人口、经济、环境等相关数据上有重要体现。根据 2012~2020 年通州区国民经济和社会发展统计公报[10]~[18]、2020 年北京市统计局公布的统计年鉴[19]以及 2006~2020 年北京市环境状况公报[20], 本研究提取了 2006~2020 年间通州区的常住人口、地区生产总值、空气污染物(可吸入颗粒物(PM_{10})、细颗粒物($PM_{2.5}$)、二氧化硫(SO_2)、二氧化氮(NO_2))等统计指标数据。

由于在 2006~2020 年北京市环境状况公报中, $PM_{2.5}$ 仅有 2013~2020 年的年平均数据, 为了保持时间序列一致并便于后续综合分析, 本研究将可吸入颗粒物(PM_{10})、二氧化硫(SO_2)、二氧化氮(NO_2)的年平均浓度加总, 作为 2006~2020 年通州区污染物年平均总体浓度的代理指标。

研究所采用的 1984~2020 年的夜间灯光数据来源于国家青藏高原科学数据中心公布的中国长时间序列逐年人造夜间灯光数据集 PANDA [21]。该数据集已通过专业的预处理与系统校正, 具备良好的时空一致性与可比性。

2.2. 夜间灯光指数计算

本研究利用 MATLAB 编程, 将各行政区的矢量边界与 PANDA 夜间灯光栅格数据叠加, 提取了北京全市以及通州、昌平、海淀、西城、东城、朝阳、顺义各区的有效像元数据, 确保了数据提取的空间准确性。在此基础上, 计算了各区 1984~2020 年共 37 年的四项夜间灯光指数: 夜间灯光总量(N)、夜间灯光平均亮度(M)、类动能(E_t)和平均类动能(mE_t)。

夜间灯光总量 N 定义为区域内所有有效像素 DN 值总和, 可以直观反映区域范围内人类社会经济活动强度的综合变化[7], 计算公式如下:

$$N = \sum_{i=1}^n DN_i \quad (1)$$

式中, DN_i 对应第 i 个像素的 DN 值。

夜间灯光平均亮度 M 定义为区域内所有有效像元 DN 值的算术平均值, 是反映人类社会经济活动强度、发展密度的重要指标, 计算公式如下:

$$M = \frac{N}{n} \quad (2)$$

式中, n 是区域内所有有效像元个数之和。

根据文献[5], 基于夜间灯光总量 N 计算夜间灯光类动能指数 E_t , 其计算公式为:

$$E_t = N_t \times V_t^2, \quad V_t = \frac{N_t}{N_{t-1}} \quad (3)$$

式中, N_t 为第 t 年的区域夜间灯光总量, V 为第 t 年相对第 $t-1$ 年夜间灯光总量的增长倍数(即“增长率”)。

在此基础上, 本研究进一步构造了夜间灯光平均类动能指数 mE_t , 公式如下:

$$mE_t = M_t \times mV_t^2, \quad mV_t = \frac{M_t}{M_{t-1}} \quad (4)$$

式中, M_t 为第 t 年的区域夜间灯光平均亮度, mV_t 为第 t 年相对第 $t-1$ 年夜间灯光平均亮度的增长倍数。

结合文献[5], 夜间灯光类动能指数借鉴了物理学中动能的表达形式, 将灯光总量(N)视为“质量”, 年增长倍数(V)视为“速度”, 使其具有三个特点: 一是综合规模与增速, 通过 N 与 V^2 的乘积兼顾发展基础与增长强度, 比单一增长率或增量更能反映区域整体发展势头; 二是突出增长非线性, V^2 项使高速变化贡献倍增, 能有效识别经济变化的关键阶段; 三是体现时空累积效应, 将历史积淀(N)与即时变化(V)结合, 揭示发展惯性及动能转换规律。与增长率相比, 类动能兼顾发展规模; 与绝对增量相比, 它能表征增长活力; 与加速度相比, 它兼具动态敏感性与规模信息。

综上所述, 夜间灯光总量与类动能侧重于反映区域发展的总体态势与动态速度, 而平均亮度与平均类动能作为像元尺度上的均值指标, 更能揭示区域发展密度和综合实力。

2.3. 人口 - 经济 - 环境 - 夜间灯光 4 个维度分析

首先, 运用统计分析方法, 对通州区 2006~2020 年(共 15 年)的常住人口、地区年均生产总值、空气污染物总体浓度、夜间灯光总量及灯光类动能等指标进行时序分析, 揭示该期间通州区社会经济发展的动态变化趋势。

随后, 基于 1984~2020 年通州区的夜间灯光总量、灯光平均亮度、类动能和平均类动能数据, 分析其长期发展轨迹; 并通过对通州区与大运河北京段沿线朝阳、西城、东城、海淀、昌平、顺义其他六区及北京全市在灯光平均亮度和平均类动能上的变化, 揭示各区在 37 年间的发展差异与相对演进态势。

3. 结果与分析

3.1. 通州区人口、经济、环境数据统计结果及分析

将 2006~2020 年通州区常住人口、地区生产总值、细颗粒物($PM_{2.5}$)、二氧化硫(SO_2)、二氧化氮(NO_2)等统计数据整理至 Excel 表格, 并将可吸入颗粒物(PM_{10})、二氧化硫(SO_2)、二氧化氮(NO_2)的年平均浓度加总, 作为州区污染物总体年平均浓度。利用 Excel 软件统计分析工具, 以时间为横轴, 绘制通州年均生产总值及其年增长率、常住人口及其年增长率统计图(图 1)、通州 PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 和 NO_2 年平均浓度统计图(图 2)、空气污染物年平均浓度及其年增长率统计图(图 3)。

根据图 1 所示, 2006~2020 年间通州区地区生产总值与常住人口均呈现持续增长态势。具体来看, 常住人口增长较为平缓, 年增长率普遍低于 6%; 而地区生产总值增长显著, 特别是在 2009、2010 和 2019 年, 年增长率均超过 20%, 显示出强劲的经济发展势头。

图 2 显示, 通州区 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 和 NO_2 等主要污染物的年平均浓度呈现明显下降趋势。2014 年后各项污染物浓度持续降低, 表明区域空气质量得到稳步改善。

图3展示了PM₁₀、SO₂和NO₂年平均浓度加总后的空气污染物综合浓度变化。可以看出，2006~2020年间空气污染物浓度总体呈波动下降趋势。其中2006年为研究期内的峰值，2008年空气质量相对较好，2009~2014年间污染物浓度维持在较高水平，2015年后出现显著下降。从年增长率来看，最大值为14.98%，最小值为-15.24%。在15个观测年份中，有5个年份出现正增长，9个年份为负增长，反映出污染物浓度在总体下降的过程中存在一定波动。

通州区地区生产总值与常住人口的持续增长，反映了区域社会经济的快速发展；而空气污染物浓度的总体下降趋势，则体现了生态环境治理取得的积极成效。这两方面变化共同勾勒出通州区在经济增长与环境保护协调推进的发展路径。

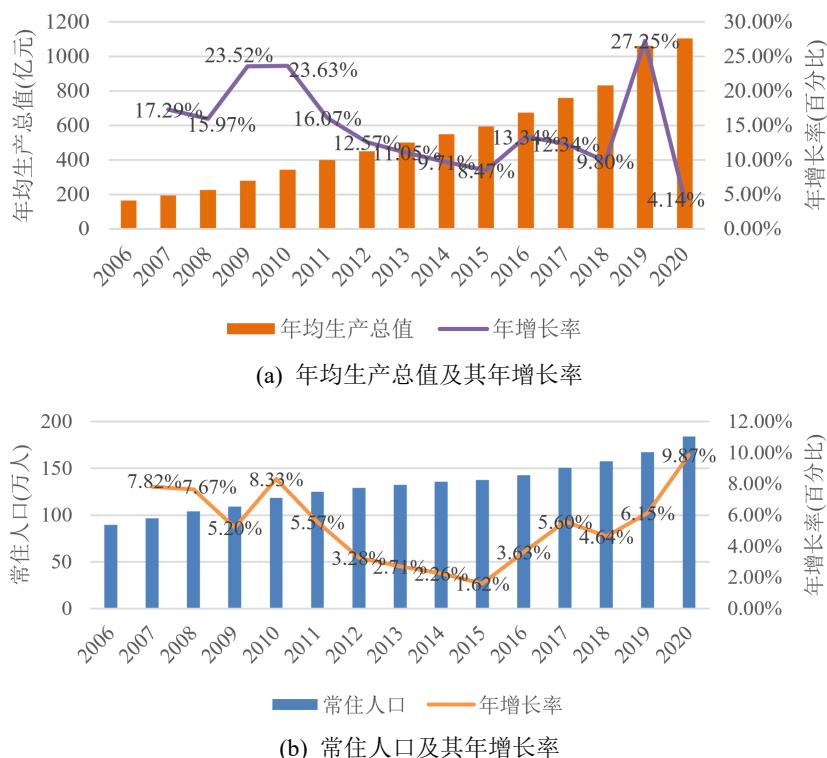


Figure 1. Statistics of Tongzhou's annual average GDP and its growth rate, resident population and its growth rate
图1. 通州年均生产总值及其年增长率、常住人口及其年增长率统计图

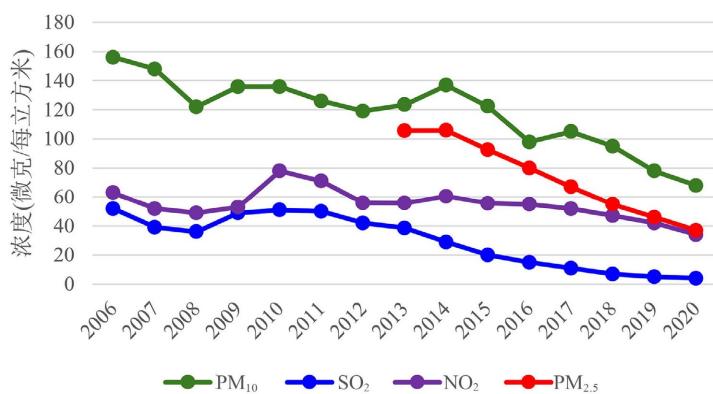


Figure 2. Statistics of Tongzhou's annual average concentration of PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂ and NO₂
图2. 通州PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂和NO₂年平均浓度统计图



Figure 3. Statistics of annual average concentration and annual growth rate of air pollutants
图 3. 空气污染物年平均浓度及其年增长率统计图

3.2. 夜间灯光指数计算结果及通州区长时序灯光指数分析

根据公式(1)~(4)计算得到 1984~2020 年间朝阳、西城、东城、海淀、昌平、顺义、通州七区及北京全市对应的夜间灯光总量、平均亮度、类动能和平均类动能共四项灯光指数。从通州区 1984~2020 年四项灯光指数的变化情况(图 4)来看, 各项指数在 37 年间总体呈持续上升趋势。尤其自 2000 年以来, 类动能和平均类动能的波动幅度显著增大, 夜间灯光总量和平均亮度也有明显跃升, 反映出通州区发展速度加快, 动态势能增强, 发展成果的累积效应日益凸显。这一变化趋势与通州区常住人口和地区生产总值的增长态势相吻合, 进一步印证了该区域社会经济的快速发展。

根据图 4 的分析结果, 以 2000 年为时间节点, 将朝阳、西城、东城、海淀、昌平、顺义、通州七区及北京全市的 1984~2020 年间共 37 年的夜间灯光总量、类动能、平均亮度与平均类动能数据划分为三个时段进行统计, 分别为 1984~2020 年(全时段)、1984~2000 年及 2001~2020 年, 统计结果如表 1 所示, 表 1 中的各区面积来源于北京市人民政府网站(<https://www.beijing.gov.cn/renwen/bjgk/>)。

由表 1 可知, 通州区在 2001~2020 年期间的夜间灯光总量、类动能、平均亮度与平均类动能的均值与最小值, 均显著高于整个 37 年时段的相应数值, 且各指标的最大值均出现在近 20 年内, 进一步表明该阶段通州区发展速度加快, 区域变化较为显著。与 1984~2000 年相比, 2001~2020 年间通州区的夜间灯光总量、类动能、平均亮度与平均类动能的平均值均提升约 0.8 倍以上, 反映出自 2000 年以来, 通州区在经济总量、发展速度与区域综合实力方面均实现稳步增强。



(a) 夜间灯光总量和类动能

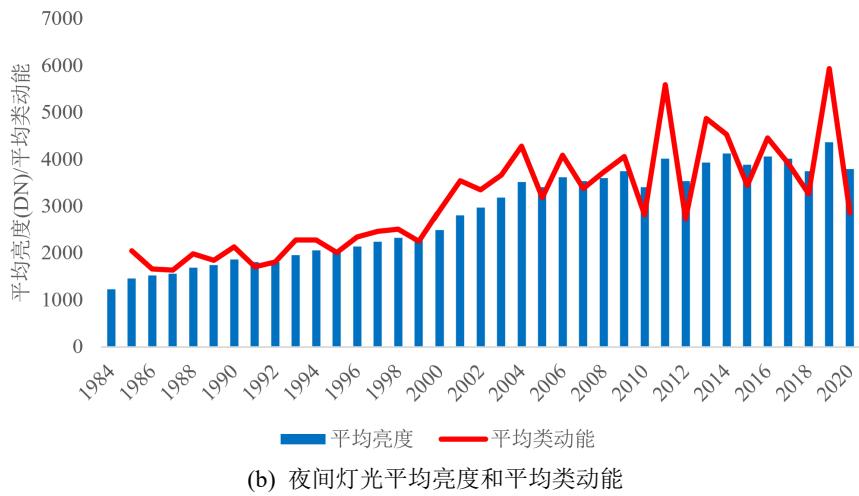


Figure 4. Statistics of total nighttime light, average nighttime light brightness, kinetic-like energy, and average kinetic-like energy in Tongzhou from 1984 to 2020

图4. 通州 1984~2020 年间灯光总量、夜间灯光平均亮度、类动能和平均类动能统计图

Table 1. Statistics of total nighttime light, kinetic-like energy, average brightness, average kinetic-like energy and area of each district

表1. 夜间灯光总量、类动能、平均亮度、平均类动统计及各区面积表

37年(1984~2020)		北京	通州	东城	西城	海淀	朝阳	顺义	昌平
灯光总量	均值	35471327	3911735	405860	418105	3209036	3840710	4046590	4430406
	最大	48210018	5991222	415800	428400	3781103	4354042	5976815	6037333
	最小	20892475	1684280	362708	373351	2291250	2964471	2284620	2699192
类动能	均值	37634209	4252475	406086	417486	3312177	3944302	4372423	4689616
	最大	66366792	8139122	525940	518217	4558153	5369140	9134870	7350954
	最小	23447449	2252977	280182	299773	2107440	2985994	2163049	2415449
平均亮度	均值	1419	2851	6149	6149	4870	5495	2609	2184
	最大	1928	4367	6300	6300	5738	6229	3854	2976
	最小	835	1228	5496	5490	3477	4241	1473	1330
平均类动能	均值	1505	3099	6153	6140	5026	5643	2819	2311
	最大	2654	5932	7969	7621	6917	7681	5890	3623
	最小	938	1642	4245	4408	3198	4272	1395	1190
17年(1984~2000)		北京	通州	东城	西城	海淀	朝阳	顺义	昌平
灯光总量	均值	26957428	2602328	413965	426427	2762370	3489755	3021514	3185776
	最大	32675379	3416282	415800	428400	3318553	3957309	3687767	4005729
	最小	20892475	1684280	406348	414904	2291250	2964471	2284620	2699192
类动能	均值	28956260	2906757	414991	426382	2914863	3653702	3280367	3382826
	最大	36599760	3992894	434010	454322	3523887	4071292	4154438	4670084
	最小	23447449	2252977	389820	390338	2107440	3068330	2163049	2415449

续表

	均值	1078	1897	6272	6271	4192	4992	1948	1570
平均亮度	最大	1307	2490	6300	6300	5036	5661	2378	1974
	最小	835	1228	6157	6102	3477	4241	1473	1330
	均值	1158	2119	6288	6270	4423	5227	2115	1667
平均类动能	最大	1464	2910	6576	6681	5347	5824	2679	2302
	最小	938	1642	5906	5740	3198	4390	1395	1190
20年(2001~2020)	北京	通州	东城	西城	海淀	朝阳	顺义	昌平	
	均值	42708142	5024731	398970	411031	3588702	4139022	4917905	5488341
灯光总量	最大	48210018	5991222	415800	428400	3781103	4354042	5976815	6037333
	最小	36579446	3843337	362708	373351	3356893	3762562	4048436	4584973
	均值	44576567	5329049	398963	410370	3630029	4176781	5246068	5735048
类动能	最大	66366792	8139122	525940	518217	4558153	5369140	9134870	7350954
	最小	34019436	3742878	280182	299773	2865840	2985994	3439036	4354201
	均值	1708	3662	6045	6045	5446	5921	3171	2705
平均亮度	最大	1928	4367	6300	6300	5738	6229	3854	2976
	最小	1463	2801	5496	5490	5094	5383	2610	2260
	均值	1783	3884	6045	6035	5508	5975	3382	2827
平均类动能	最大	2654	5932	7969	7621	6917	7681	5890	3623
	最小	1360	2728	4245	4408	4349	4272	2217	2146
面积(平方公里)		16410	905.95	41.84	50.7	430.77	470.8	1021	1343.5

3.3. 七区灯光指数综合分析结果

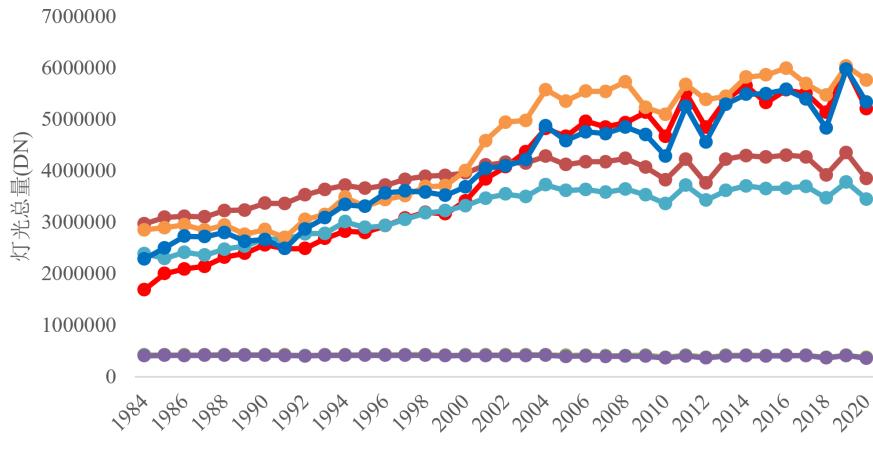
分别绘制了通州、朝阳、西城、东城、海淀、昌平、顺义等大运河北京段七区在 1984~2020 年间夜间灯光总量、类动能、平均亮度与平均类动能的对比分析折线图(图 5)。

从灯光总量看(图 5(a)), 通州区在 2000~2004 年间灯光总量开始显著增长; 自 2004 年起, 其灯光总量明显超过东城、西城、海淀、朝阳, 略超过顺义; 2009 年后, 其灯光总量开始接近昌平。进一步印证其在区域发展中总体规模的增长。

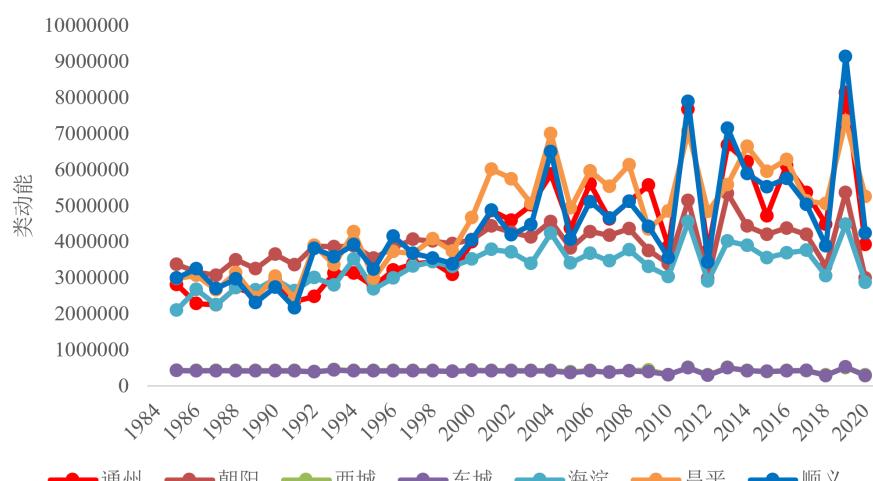
从类动能来看(图 5(b)), 通州区自 2000 年后类动能数值明显上升, 特别是 2011、2013、2019 年其类动能仅次于顺义, 处于峰值区。表 1 中 2001~2020 年除昌平外, 其类动能均值高于其他五区。尽管通州区面积约为朝阳区的 2 倍, 在 1984~2000 年其夜间灯光总量均值与类动能均值低于朝阳; 而 2001~2020 年其夜间灯光总量均值与类动能均值反超朝阳(表 1); 2001 年起其类动能开始超过朝阳(图 5(b)), 2004 年起灯光总量也超过朝阳(图 5(a))。这些灯光指数数据的变化反映出近 20 年来通州区进入快速发展阶段。

夜间灯光平均亮度与平均类动能作为像元尺度上的均值指标, 更能够反映地区的发展密度和综合实力。从图 5(c)和图 5(d)可见, 通州区在平均亮度与平均类动能上低于东城、西城、朝阳和海淀等中心城区, 但从 2000 年起其平均亮度与平均类动能明显高于昌平和顺义。表 1 显示, 2001~2020 年通州区这两项指标均值同样低于东城、西城、朝阳和海淀, 但高于昌平和顺义。此外, 大运河北京段七区平均亮度与平均类

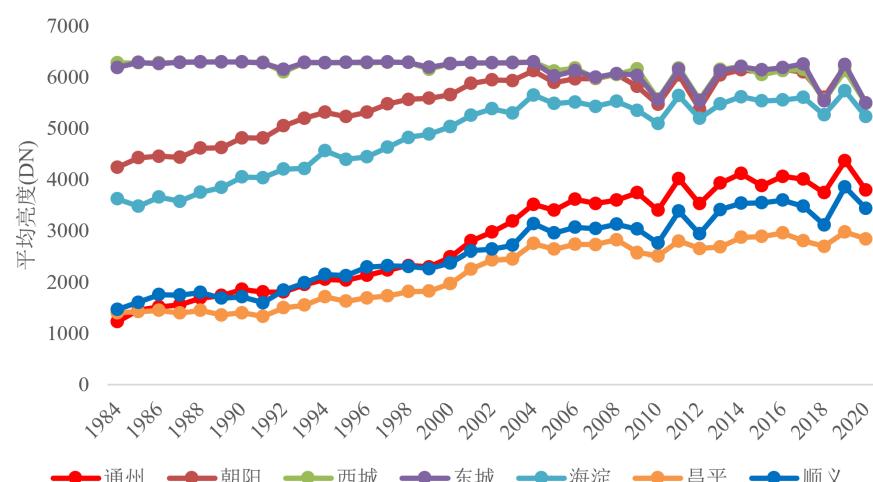
动能的均值均高于北京全市整体水平, 说明这七个区在发展密度与综合实力上具有较强优势。



(a) 七区夜间灯光总量对比



(b) 七区夜间灯光类动能对比



(c) 七区夜间灯光平均亮度对比

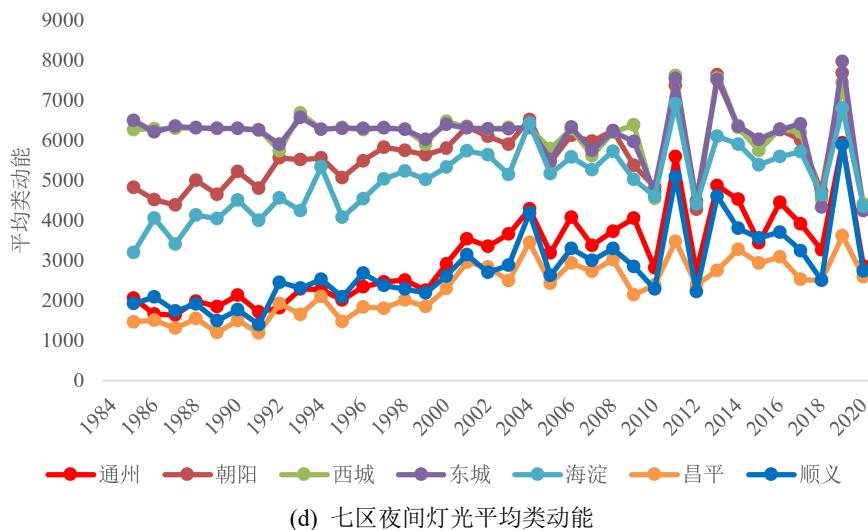


Figure 5. Comparison of four nighttime light indices in seven districts from 1984 to 2020
图 5. 1984~2020 年七区四项夜间灯光指数对比

4. 讨论

通过对大运河北京段七区(通州、朝阳、西城、东城、海淀、昌平、顺义)1984~2020 年间夜间灯光指数的系统分析,本研究揭示出通州区自 2000 年以来呈现出显著的快速发展态势。具体表现为:在规模与速度维度,通州区灯光总量与类动能分别于 2004 年和 2000 年左右实现关键性突破,不仅反超朝阳区,更在多数年份领先于或接近其他各区,反映出其发展能级的整体跃升(图 5(a)和图 5(b), 表 1)。

这一发展趋势与北京市发展规划吻合。2005 年将通州定位为“重点发展新城”,2012 年通州被正式确立为“北京城市副中心”;2019 年以来,随着市级机关迁入与京津冀协同发展战略的深入推进,通州进入全面建设阶段。这些关键政策节点有效解释了 2000 年后类动能跃升、2004 年后灯光总量持续领先的发展轨迹。

从经济社会与环境协同发展的角度看,通州区在 2009、2010 及 2019 年的地区生产总值年增长率均超过 20%(图 1),展现出强劲的经济活力。与此同时,2006~2020 年间共有 9 个年份的空气污染物浓度实现负增长(图 3),说明通州在快速发展过程中同步推进生态环境治理,逐步实现经济增长与环境改善的良性互动。

在发展质量方面,通州区表现出经济增长与环境改善的协同态势。地区生产总值持续增长(图 1),同时空气污染物浓度显著下降,2006~2020 年间有 9 个年份实现负增长(图 3),显示出高质量发展特征。就发展密度而言,通州区平均亮度与平均类动能虽仍低于东城、西城、朝阳与海淀等中心城区,但已高于昌平与顺义(图 5(c)和图 5(d)),表明其正处于从规模扩张向质量提升的转型阶段。

值得注意的是,大运河北京段七区作为整体,其平均亮度与平均类动能均值均高于北京全市水平(表 1),体现出该区域在发展集聚上的优势。通州作为该区域的重要组成部分,其快速发展既受益于北京全域的资源集聚效应,也通过自身区位与政策优势反过来强化了区域整体能级。

本研究证实,夜间灯光指数体系能够从规模、速度与密度多个维度,有效刻画城市副中心的成长轨迹与发展模式的动态演变。通州的案例显示,其发展路径呈现出明显的“规模突破-速度提升-质量追赶”特征,这对于理解和评估类似城市新兴区域的发展规律具有重要参考价值。

5. 结论

本研究基于 1984~2020 年时序夜间灯光数据及 2006~2020 年人口、经济与环境统计数据,系统揭示

了通州区社会经济发展的动态特征，主要发现如下：

(1) 1984~2020 年间，通州区夜间灯光总量、平均亮度、类动能与平均类动能整体持续增长。类动能自 2000 年起显著提升，夜间灯光总量也于 2004 年后持续高于除昌平外的其他五区，接近昌平。反映出通州区在发展速度与规模上已实现区域性跨越。

(2) 尽管通州区的夜间灯光平均亮度与平均类动能在整个研究期内仍低于东城、西城、朝阳和海淀等中心城区，但自 2000 年以来两项指标均呈稳步提升态势，表明通州在发展密度与综合质量方面不断进步，与中心城区的差距有所收窄。

(3) 2006~2020 年间，通州区地区生产总值与常住人口均保持持续增长，而空气污染物浓度总体呈下降趋势，该结果与夜间灯光数据所反映的发展态势高度一致，说明通州在经济增长和人口集聚的同时，实现了环境质量的有效改善，初步呈现出“质”“量”协同的发展特征。

致 谢

感谢北京市翱翔计划的培养，感谢首都师范大学附属中学在北京市翱翔计划期间给予的支持和鼓励。

参 考 文 献

- [1] 王新迎. 北京大运河文化带通州段的地标价值[J]. 新视野, 2021(3): 101-107.
- [2] 一图读懂《大运河生态环境保护修复专项规划》[EB/OL]. 2020-10-09.
https://www.mee.gov.cn/zcwi/zcjd/202010/t20201009_802276.shtml, 2022-03-21.
- [3] 光明日报. 北京通州：城市副中心扬帆起航[EB/OL]. 2018-10-27.
https://epaper.gmw.cn/gmrb/html/2018-10/27/nw.D110000gmrb_20181027_5-01.htm, 2022-03-21.
- [4] 余柏蒗, 王从笑, 宫文康, 陈佐旗, 施开放, 吴宾, 洪宇辰, 李乔玄, 吴健平. 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.
- [5] 刘冰洁, 陈佐旗, 余柏蒗, 杨成术, 邱炳文, 涂越. 夜间灯光遥感对城市发展类动能与相似性评估[J]. 遥感学报, 2021, 25(5): 1187-1200.
- [6] 郝蕊芳, 于德永, 刘宇鹏, 孙云. DMSP/OLS 灯光数据在城市化监测中的应用[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2014, 50(4): 407-413.
- [7] 张大成. 基于夜光遥感的杭州湾城市群发展轨迹研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2019.
- [8] 林中立, 徐涵秋, 林从华. 珞珈一号夜间灯光数据的福建省人为热通量估算[J]. 遥感学报, 2022, 26(6): 1236-1246.
- [9] 王正, 贾公旭, 张清凌, 黄粤. COVID-19 疫情背景下 2020 年第一季度广东省二、三产业 GDP 空间分布变化分析[J]. 自然资源遥感, 2021, 33(3): 184-193.
- [10] 通州区 2012 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. 2013-08-01.
<http://www.bjtz.gov.cn/bjtz/xxfb/201808/1160743.shtml>, 2022-03-21.
- [11] 通州区 2013 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. 2014-09-05.
<http://www.bjtz.gov.cn/bjtz/xxfb/201808/1160742.shtml>, 2022-03-21.
- [12] 通州区 2014 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. 2015-05-26.
<http://www.bjtz.gov.cn/bjtz/xxfb/201808/1160740.shtml>, 2022-03-21.
- [13] 通州区 2015 年暨“十二五”时期国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. 2016-04-20.
<https://www.bjtz.gov.cn/bjtz/xxfb/202407/1720609.shtml>, 2025-02-03.
- [14] 通州区 2016 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. 2017-04-27.
http://www.bjtz.gov.cn/bjtz/xxfb/2018-08/08/content_1160738.shtml, 2022-03-21.
- [15] 通州区 2017 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. 2018-04-12.
http://www.bjtz.gov.cn/bjtz/xxfb/2018-08/08/content_1160737.shtml, 2022-03-21.
- [16] 通州区 2018 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. 2019-04-18.
<http://www.bjtz.gov.cn/bjtz/xxfb/201904/1222819.shtml>, 2022-03-21.

-
- [17] 通州区 2019 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. 2020-05-08.
<http://www.bjtzh.gov.cn/bjtz/xxfb/202005/1271386.shtml>, 2022-03-21.
 - [18] 通州区 2020 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. 2021-04-14.
<http://www.bjtzh.gov.cn/bjtz/xxfb/202104/1345896.shtml>, 2022-03-21.
 - [19] 2020 北京统计年鉴[EB/OL]. <http://nj.tjj.beijing.gov.cn/nj/main/2020-tnj/zk/indexch.htm>, 2022-03-21.
 - [20] 2006-2020 年北京市环境状况公报[EB/OL].
<http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/sthjlyzwg/1718880/1718881/1718882/index.html>, 2022-03-21.
 - [21] 张立贤, 任浙豪, 陈斌, 宫鹏, 付昊桓, 徐冰. 中国长时间序列逐年人造夜间灯光数据集(1984-2020) [EB/OL]. 国家青藏高原科学数据中心. <https://cstr.cn/18406.11.Socioeco.tpdc.271202>, 2022-03-21.